

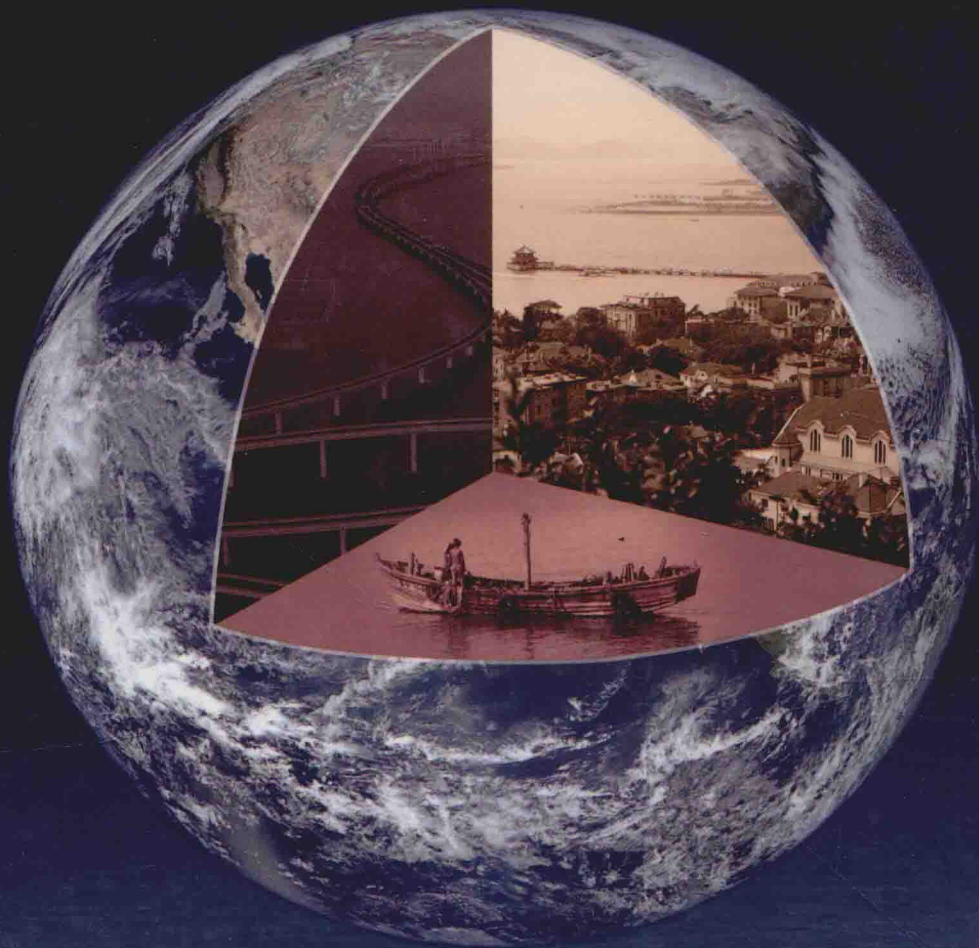


现代海洋科学：从近海到深海

# 海湾生态系统的 理论与实践

——以胶州湾为例

孙 松 孙晓霞 等 著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

现代海洋科学：从近海到深海

# 海湾生态系统的理论与实践 ——以胶州湾为例

孙 松 孙晓霞 等 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书是一部系统研究海湾生态学及相关理论的学术性专著。在系统总结国际典型海湾生态系统研究进展及近海生态学研究理论的基础上,以胶州湾生态系统为例,基于胶州湾生态系统长期、综合、系统的观测与分析,结合海洋生态学的基本理论、假说、新进展,从不同角度系统阐述海湾生态系统的长期变化规律与关键控制过程,是海洋生态学理论在近海生态系统研究中的重要体现,对近海生态系统的演变研究、基于生态系统的管理研究等具有重要参考价值,可为海湾生态系统长期变化研究、海洋生态系统健康评估、海洋生态环境保护、海洋经济可持续发展提供科学和决策依据。

本书可供从事海洋科学、生态科学及相关领域的科技人员、管理人员阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

海湾生态系统的理论与实践:以胶州湾为例 / 孙松等著. —北京:科学出版社, 2015.11

(现代海洋科学:从近海到深海)

ISBN 978-7-03-046437-8

I. ①海… II. ①孙… III. ①黄海—海湾—生态系—研究  
IV. ①Q178.53

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第283737号

责任编辑:王海光 郝晨扬 / 责任校对:郑金红  
责任印制:肖 兴 / 封面设计:北京图阅盛世文化传媒有限公司

**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>

**中国科学院印刷厂** 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2015年11月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年11月第一次印刷 印张:25 1/2

字数:582 000

**定价:208.00元**

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 《现代海洋科学：从近海到深海》

## 丛书编委会

主 任 孙 松

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

刘 鹰 逢少军 宋金明 孙 黎

孙 松 孙晓霞 万世明 王 凡

王 辉 王广策 徐奎栋 阎 军

尹宝树 俞志明 张国范

# 《现代海洋科学：从近海到深海》

## 丛书编委会

主 任 孙 松

编 委（按姓氏汉语拼音排序）

刘 鹰 逢少军 宋金明 孙 黎

孙 松 孙晓霞 万世明 王 凡

王 辉 王广策 徐奎栋 阎 军

尹宝树 俞志明 张国范

# 丛书序

海洋是地球上最大的气候调节器，是人类和其他所有生物的生命保障系统。人们虽然居住在陆地上，但生活的方方面面却与海洋密切相关：我们呼吸的氧气 70% 来自于海洋，生存所必需的水 97% 存在于海洋。有些生物可以在没有阳光和氧的环境中生存，但是任何生命都离不开水，而地球上所有水的最终源头都在海洋，正因为海洋的存在，地球上才形成了所有生物赖以生存的环境。

大多数人认为生命起源于海洋。地球上超过 80% 的生物生活在海洋中，而且在陆地上发现的生物类群在海洋中几乎都能发现，很多生活在海洋中的生物反而是特有的，例如，棘皮动物海参、海胆、海星和海蛇尾等只在海洋中生存。若以体积衡量，海洋占据了生物在地球上所能发展空间的 99%。

海洋对气候具有重要的驱动和调节作用，我们所熟知的“厄尔尼诺”“拉尼娜”等气候事件都起源于海洋，对我国影响很大的东亚季风与海洋的变化密切相关，大部分台风也是起源于海洋。

据联合国统计，世界上有超过 30 亿人的生计依赖于海洋和沿海的多种生物。在过去 60 多年中，人类从海洋中获取的鱼类资源超过 35 亿吨，全世界大约有 26 亿人摄入的动物蛋白来自海洋水产品，我国居民摄入的动物蛋白有 20% 以上来自于海洋。

海洋是人类赖以生存的基础，但反过来，人类又对海洋造成了极大的影响。据联合国数据显示，全球 40% 的海洋受到了人类活动的“严重影响”，包括污染、过度捕捞和沿海生物栖息地的破坏。

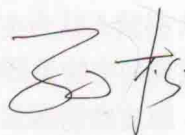
人类生活的陆地仅占地球表面积的 30%，对于占地球 70% 的海洋，我们应该有更多了解。1992 年在里约热内卢举行的地球首脑会议上首次提出“世界海洋日”的概念。联合国于 2008 年第 63 届联合国大会上，将每年的 6 月 8 日定为“世界海洋日”（World Ocean Day），以唤起人类关注海洋、保护海洋的意识。联合国秘书长潘基文就此发表致辞时指出，人类活动正在使海洋世界付出可怕的代价，个人和团体都有义务保护海洋环境，认真管理海洋资源。2009 年首个世界海洋日的主题为“我们的海洋，我们的责任”，2010 年主题“我们的海洋：机遇与挑战”，2011 年主题“我们的海洋，绿化我们的未来”，2012 年主题“海洋与可持续发展”，2013 年主题“团结一致，我们就有能力保护海洋”，2014 年主题“众志成城，保护海洋”。

让每个人了解海洋、热爱海洋，唤起人们保护海洋的意识，合理开发利用海洋，综合管控海洋，是每个海洋科技工作者的责任和义务。为传播海洋知识，及时介绍海

洋科技发展最新进展,记录海洋科技发展历程,科学出版社和中国科学院海洋研究所共同商定出版《现代海洋科学:从近海到深海》丛书,该丛书涉及从近海到深海大洋各个方面的研究进展,包含海洋生物学、海洋生态学、物理海洋学、化学海洋学、生物海洋学、海洋地质学和海洋生物资源开发利用等各个方面。

为把握好丛书的学术质量,我们设立了编委会,成员均为中国科学院海洋研究所各研究室的骨干科学家,他们在各自的研究领域都取得了卓越的成就。编委会将与出版社共同遴选出版物,主导丛书发展方向,确保丛书的出版质量。

我将和编委们共同努力,与出版社紧密合作,并广泛征求海洋学界朋友们的意见,争取把丛书办好。丛书前期的出版物主要是中国科学院的研究成果,我们期望后续会有更多同行参与进来,踊跃投稿或提出建议。希望丛书的出版能够为我国海洋科技发展、海洋开发利用和海洋保护起到重要的推动作用!



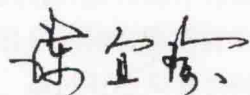
2015年1月于青岛

# 序

近海生态系统面临多重压力，这些压力有来自大的气候格局变化的影响，但更重要的是来自各种各样人类活动的影响。在多重压力影响下，近海生态系统发生了显著变化。近海生态系统在功能上的变化我们是能够感受到的，如海洋生物资源的减少、生境的破坏、海洋生态灾害的发生等。但生态系统结构上的变化、内在关系的改变等往往是我们所感受不到的，如海洋生物多样性组成的变化、关键生物种类的替代、生物分布格局的变化和海洋生产力的变化，等等。我们能够感受到的那些变化恰恰是由这些感受不到的变化引起的。这些变化累积到一定程度，就会导致整个海洋生态系统的改变，而这种改变往往在相当长的时间内难以恢复，有些改变甚至是不可逆的，从而导致一系列的资源、环境、经济和社会问题。因此，如何更好地应用生态系统的理论和实践经验对近海生态系统进行科学管理显得非常重要，这是维护近海生态系统健康，开展海洋生物资源可持续利用，促进海洋环境可持续发展的非常关键的环节。

由于海洋的特殊性和复杂性，对海洋生态系统进行长期系统观测是非常困难的，因此我们对我国近海生态系统的认识还很不充分，对它的过去、现在与未来目前还难以给出明确的定论。海湾生态系统相对封闭，与人类活动关系更加密切，对典型海湾开展长期的观测研究，了解海湾生态系统的演变规律与变化趋势，能够凝练出很多科学理论和实践经验，从而加深我们对整个近海生态系统的认识，进而建立基于科学的生态系统管理方法。

《海湾生态系统的理论与实践——以胶州湾为例》在中国科学院胶州湾海洋生态系统研究站长期定位观测的基础上，通过对胶州湾生态系统的特征、长期变化规律的研究，剖析气候变化和各种人类活动对海湾生态系统的影响，对重要的生态学理论、科学假说进行了解析、验证，并对海湾生态系统的管理与保护提出了重要举措。该书将为深入了解和掌握全球变化影响下近海生态系统的变动规律和内在机制奠定良好的基础，同时也为更好地进行近海生态系统的管理提供重要的科学与决策依据。



2015年4月

# 前 言

多年来一直想写本有关海洋生态学的书，以探讨一些海洋生态学研究中的基本问题，包括对这些问题的认识、体会和困惑。希望通过对这些问题的探讨，能够对海洋生态系统研究起到一些指导和促进作用。

选择什么材料进行研究非常重要，近些年我作为首席科学家承担了 973 计划项目、国家自然科学基金重点项目和中国科学院战略性先导科技专项“海洋专项”等科研项目。在海洋生态系统动力学相关的研究中，发现我们对海洋生态学研究的一些现象和规律缺乏足够的数据和实验进行解析，在对一些野外考察数据和实验结果进行解读时往往会得出相反的结论。例如，在进行海洋生态系统基础生物生产和食物网研究过程中，一般的规律应该是水体中浮游植物的数量高时营养盐含量和浮游动物的数量都应该是高的，因为从营养盐—浮游植物—浮游动物—鱼类这样的食物链关系进行考虑就应该是这样的结果，而实际上我们看到的现实情况是：在浮游植物数量出现高峰的时候水体中的营养盐含量却是低的，浮游动物的数量也不多，而在浮游动物数量很多的区域浮游植物的数量反而不高，很多研究人员会对出现这样的情况感到困惑，实际上这恰恰是生态系统研究中“上行控制”（bottom up）和“下行控制”（top down）的具体体现。在短时间内我们可能看到的是上行控制，但是过几天又变成了下行控制。另外，我们还要考虑海水的流动性和海洋生物的块状分布等实际情况，所以要想对一个生态系统真正有所了解，需要对这个生态系统在时间尺度和空间尺度上进行长时间的不断调查。

海洋考察需要耗费大量的时间、人力和物力，加上之前人们对海洋基础性研究的重要性认识不足，使得海洋生态系统长期变化的综合观测很匮乏。尽管我们在黄东海做过长时间研究，积累了很多资料，但远谈不上长期性和系统性。所以，人们对海洋生态系统出现的种种现象和变化难以判断是波动还是趋势、正常还是不正常，未来会向哪个方向发展。虽然在这方面已经有大量的文章发表，也有各种各样的解释与说法，但还是有太多悬而未决的问题需要我们去探索、研究。

考虑到资料的系统性、完整性和时间序列等方面的原因，我们选择胶州湾作为海洋生态系统研究的一个范例进行探讨。胶州湾是我国研究最早、最多和相对最透彻的一个海湾，特别是中国科学院胶州湾海洋生态系统研究站的建立，通过对胶州湾长时间的综合观测与研究，积累了大量资料，这也是我国在海洋生态研究中数据最全、资料最多和监测时间最长的一个区域，对于我们认识在全球气候变化和各种人类活动影

响下海洋生态系统演变和各种生态现象,研究生态系统基本理论和实践都是一个非常难得的区域。因此在选择生态系统研究基本问题的题材上我们选择了海湾生态系统,主要材料和数据来自胶州湾海洋生态系统研究站的观测资料,也包括一些综合研究项目的资料,如中国科学院的知识创新工程方向性项目“自然变化与人类活动共同作用下的海湾生态系统”等。在本书撰写之前,我们已经出版了《胶州湾海洋生态系统数据集》和《胶州湾生态系统长期变化图集》,书中囊括了胶州湾海洋生态系统研究站的主要观测资料。通过对这些数据资料的分析,我们力图对海湾生态系统研究的一些理论、方法和问题进行比较深入的探讨;通过与世界上一些不同类型的典型海湾进行比较,研究海湾生态系统中的一些共性问题 and 不同类型海湾的特性问题。这些问题包括:富营养化、有害藻华、基础生产力、生态系统结构与功能,以及驱动生态系统变化的环境因子和关键过程等。不同的海湾属于不同的生态类型,控制海湾生态系统的关键因子也不同,这对我们如何评价生态系统健康是很重要的。

开展海湾生态系统研究的另一个重要原因是,我们拟通过对海湾生态系统的研究,探讨近海生态系统的动态变化问题,尽管海湾生态系统有其自身的特点,但是在很多方面与近海生态系统是相同或类似的。

在撰写本书过程中,对一些海湾生态学研究的关键问题会用方框的形式展现出来,以示突出和强调,希望能够对读者解读一些数据和现象有所帮助。书中出现的一些图表都是根据实际调查数据绘制的,力求真实,在解读的过程中,希望大家能够考虑采样方法、时间和区域,具体问题具体分析,在不同的时间和区域获得的数据有时相差很大,需要进行综合判断。有些数据看起来有些“异常”,我们真实呈现在这里,希望能够和大家一起进行分析,有些异常现象和异常年份也许就是反映在这些特殊的数据里面。每次考察的数据都是根据不同站位综合分析的结果,2002年在中国科学院知识创新工程方向性项目的支持下,作者曾经组织相关专家在胶州湾设立34个站位,进行一周年的高密度、高频率综合调查,对一些重点站位每10d进行一次调查,摸清胶州湾的基础生态环境的周年变化和各个区域的相关关系,在此基础上结合以往的考察站位选取有代表性的站位进行逐月长期观测。

本书的总体框架设计、全书涉及内容的总体把握,以及前言、第一章、第八章和第六章的部分内容由我负责;基础材料准备、全书统稿,以及第二章、第五章和第一章、第六章的部分内容由孙晓霞研究员负责;第三章、第四章由宋金明研究员负责,段丽琴、李学刚、袁华茂、李宁参加编写;第七章由李新正研究员负责。尹宝树研究员、胡仔园博士参与第二章部分内容的撰写,张光涛研究员、王世伟博士、孙晓红博士参与第六章部分内容的撰写,罗璇博士参与第五章鳍藻部分内容的撰写。张芳、郑珊、赵永芳、朱明亮、杜娟、梁俊华等参与本书的校对。

本书所使用的观测资料绝大部分是由“胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站”获得的,在此对参与观测的各位专家和技术人员、“科交二号”和“创新号”科

学考察船的船长和全体船员表示衷心的感谢!

本书的出版得到中国科学院战略性先导科技专项“海洋专项”子课题“黑潮变异对黄、东海生态系统演变的作用”(XDA11020305)、“黄东海典型海域生物固碳速率研究”(XDA05030401),以及国家自然科学基金重点项目“黄东海浮游动物功能群变动与生态系统演变”(41230963)、国家自然科学基金委员会-山东省人民政府海洋科学研究中心联合资助项目“海洋生态与环境科学”(U1406403)的支持。本书的出版还获得了“国家科学技术学术著作出版基金”的资助,在基金申报过程中,国家自然科学基金委员会前主任陈宜瑜院士、国家海洋局第二海洋研究所陈大可研究员和中国海洋大学赵美训教授为此写了推荐信,陈宜瑜院士还专门为本书作序,在此一并致谢!

海湾生态系统的研究非常复杂,地域的不同、观测的连续性和长时间序列的构建都需要做大量的工作。尽管我们对胶州湾开展了长期的观测和研究,但是在代表性、一些结论的通用性和观测方法等方面还有很多需要改进和完善的地方,对海湾生态理论与研究方法的探索还需要付出更多的努力。书中的一些分析和结论未必具有普遍性,希望读者在阅读时能够注意数据的局限性和对问题认识的时效性,作者希望通过对胶州湾基本生态问题的探讨,能够对海湾生态学和近海生态系统研究起到一些促进作用。

孙 松

2015年5月

# 目 录

丛书序

序

前言

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第一章 海湾生态系统研究进展       | 1   |
| 第一节 典型海湾研究           | 2   |
| 第二节 胶州湾概况            | 12  |
| 参考文献                 | 16  |
| 第二章 胶州湾气象水文特征与长期变化   | 19  |
| 第一节 胶州湾气象要素特征及长期变化   | 20  |
| 第二节 胶州湾水文要素特征及长期变化   | 29  |
| 第三节 胶州湾的潮汐潮流         | 41  |
| 参考文献                 | 51  |
| 第三章 胶州湾海水营养盐化学与环境    | 52  |
| 第一节 营养盐的水平与分布        | 53  |
| 第二节 营养盐的月际变化特征       | 82  |
| 第三节 营养盐的年际变化特征       | 92  |
| 第四节 水体污染物及来源         | 111 |
| 参考文献                 | 122 |
| 第四章 胶州湾沉积物中的营养盐与环境演变 | 124 |
| 第一节 沉积物中氮和磷的地球化学特征   | 126 |
| 第二节 沉积物中氮的形态特征       | 135 |
| 第三节 沉积物中无机磷的形态特征     | 149 |
| 第四节 沉积物中的生源硅         | 164 |
| 第五节 胶州湾近百年来环境演变      | 170 |
| 参考文献                 | 174 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第五章 胶州湾的浮游植物与初级生产</b>     | 179 |
| 第一节 叶绿素 <i>a</i> 与初级生产力      | 180 |
| 第二节 胶州湾浮游植物粒级结构              | 192 |
| 第三节 胶州湾网采浮游植物群落结构            | 202 |
| 第四节 胶州湾的硅藻与甲藻                | 213 |
| 第五节 胶州湾的赤潮                   | 227 |
| 参考文献                         | 232 |
| <b>第六章 胶州湾的浮游动物功能群及其长期变化</b> | 236 |
| 第一节 浮游动物功能群组成与长期变化           | 237 |
| 第二节 胶州湾的桡足类                  | 254 |
| 第三节 胶州湾的毛颚类                  | 272 |
| 第四节 胶州湾的被囊类                  | 284 |
| 第五节 胶州湾的水母类                  | 295 |
| 参考文献                         | 308 |
| <b>第七章 胶州湾大型底栖生物</b>         | 316 |
| 第一节 数量变动及软体动物的地位             | 318 |
| 第二节 群落结构变化                   | 348 |
| 第三节 功能群变化                    | 364 |
| 第四节 导致胶州湾大型底栖生物数量变化的原因分析     | 379 |
| 参考文献                         | 383 |
| <b>第八章 多重压力下的胶州湾生态系统</b>     | 386 |
| <b>索引</b>                    | 390 |



# 第一章

## 海湾生态系统研究进展

### 摘 要

海湾是海洋中受人类活动影响最大的区域，也是海洋经济发展的核心区域之一。海湾生态系统的变化，不仅影响到生物资源的变化，更重要的是对海洋环境、海洋经济和社会稳定的影响。海湾生态系统的健康也是全球关注的问题。本章重点介绍国际上几个典型海湾的发展历程，包括切萨皮克湾、纳拉甘西特湾、东京湾和布雷斯特湾。这些海湾各有特点：富营养化及由此引发的一系列生态效应是切萨皮克湾和东京湾最大的问题，而纳拉甘西特湾则反映出气候变化和人类活动两个方面的问题，布雷斯特湾生态系统则显示出底栖-浮游生物耦合的重要性。

通过对几个海湾生态系统的比较研究，使我们对一些问题的认识更加清晰：①生态系统的变化受控于物理、化学和生物过程相互之间的复杂关系，不同海湾生态系统的表现方式差异较大；②人类活动对海湾生态系统的影响巨大，多种过程的不断积累是海湾生态系统演变的驱动力，其后果是使整个生态系统的结构与功能发生改变，在多重压力下，生态系统的恢复力不断受到损害，最终导致生态系统崩溃，而气候变化则通常会加剧这种影响；③底栖滤食性贝类对维持海湾生态系统健康起到重要作用，海草床是维持海湾生态系统健康的另一个重要因素；④海湾生态系统的修复和恢复极其困难，是一个漫长而耗费大量人力、物力的过程，减少污染物的排放、改善水质、保护底栖生态系统是维持海湾生态系统健康的关键因素。

海湾是海洋向陆地凹入的一片三面环陆的水域，与大洋和海相比，海湾具有避风和抗浪的作用，所以很多海湾都是天然良港。海湾与人类的关系非常密切，人类很早就定居在海湾附近，这是与海湾本身的特性密切相关的，因为海湾相对较浅、水流平缓，海湾中的鱼类和其他生物资源是人类最容易获得的海洋食物。后来人们发展贸易，建设港口，很多工业设施也建设在海湾，大量海水养殖活动的主要场所也是海湾，因此海湾是海洋中受人类活动影响最大的区域，也是海洋经济发展的核心区域。海湾生态系统的变化，不仅影响到生物资源的变化，更重要的是对海洋环境、海洋经济和社会稳定的影响。世界上有很多著名的海湾，如哈德逊湾（Hudson Bay）、缅因湾（Gulf of Maine）、比斯开湾（Bay of Biscay）、芬兰湾（Gulf of Finland）和波斯湾（Persian Gulf）等。有些海域尽管被称为湾，却是非常大的海，如墨西哥湾（Gulf of Mexico）、孟加拉湾（Bay of Bengal）、几内亚湾（Gulf of Guinea）和巴芬湾（Baffin Bay）等。我国的渤海应该是典型的海湾，我们却称其为海。在我国比较有名的海湾中，有3个位于渤海：渤海湾、莱州湾和辽东湾。

从海湾生态系统研究的角度，人们一般不会选择那些面积很大的海湾进行研究，通常优先选择的是那些在经济、社会、环境和资源等方面非常重要，同时面积又不很大的海湾，如美国的切萨皮克湾（Chesapeake Bay）、纳拉甘西特湾（Narragansett Bay），日本的东京湾（Tokyo Bay），法国的布雷斯特湾（Brest Bay）和中国的胶州湾（Jiaozhou Bay）等。这些海湾的一个共同特点是研究历史比较长，生态问题具有代表性，我们希望通过这些海湾的比较研究中，能够对海洋生态系统出现的问题有一个比较全面的了解。在上述这些海湾中，每个海湾都有其独特的地理和人文环境，具有其独特的生态系统，影响生态系统的环境因素也各不相同，但是这些海湾生态系统所存在的问题又具有很多共性。海湾生态系统的研究更容易突出海洋生态系统研究中的整体性和系统性的重要性。下面我们对这些典型海湾的特点和研究现状分别进行分析，以加深我们对海洋生态系统研究中一些关键问题的理解。

## 第一节 典型海湾研究

### 一、切萨皮克湾（Chesapeake Bay）

切萨皮克湾是河口海湾生态系统退化的一个典型案例。切萨皮克湾是美国最大的河口，被马里兰州和弗吉尼亚州包围。该湾长320km，宽48km，平均深度6.4m，海湾10%的区域水深小于1m，20%的区域水深小于2m。光照可以直接穿透海湾的绝大部分水域。

切萨皮克湾是北美最大的、也是生物多样性最高的河口区，栖息了3600余种生物。一般而言，近海初级生产是大洋的5倍，但实际上河口区的渔业生产更高，是大洋的10倍左右，切萨皮克湾的渔业生产是大洋的100倍甚至更多。切萨皮克湾曾经生产了美国全国1/4的牡蛎，1/2的蓝蟹，95%的软壳蟹。从北卡罗来纳州到缅因州，90%的

切萨皮克湾生态系统的—个典型特征是底栖生态系统对整个海湾生态系统健康的贡献。在切萨皮克湾生态系统中，滤食性贝类对维持海湾生态系统健康起到重要作用，通过下行控制（top down）过滤水体中的浮游植物和悬浮颗粒，从而将水体中的氮和磷转移到沉积物中，在一定程度上消除富营养化的影响。对海湾生态系统健康起到重要作用的另—个重要因素是海草床的存在：海草能够吸收水体中的营养盐，使水体中的富营养化得到缓解，海草床也为其他底栖生物的生长提供栖息地。切萨皮克湾生态系统研究给我们的—个重要启示是：资源开发和沿岸工业排放对生态系统健康影响显著，而海湾生态系统—旦遭到破坏，在很长时间内都难以进行恢复，这主要取决于生态系统的恢复力和受到破坏的程度。

条纹鲈出自这里。1950~2000年切萨皮克湾地区人口翻倍，在多种人类活动影响下，切萨皮克湾的生态环境与资源严重衰退（Wolfin, 2008）。

富营养化是切萨皮克湾的—个非常重要的特征，过多的氮和磷进入海湾，引起浮游藻类的爆发性生长，使水体变得浑浊，阻碍光线进入水下影响海草的生长。藻类死亡后沉入海底，细菌分解后消耗大量氧气。现在海湾的许多区域溶解氧很低，成为鱼、蟹和其他水生生物的沙漠。切萨皮克湾氮污染的问题是近海生态系统普遍存在的问题，在美国，超过127个海湾存在氮过量的问题，以及其他相似的环境问题，如低氧和海草床丧失。在切萨皮克湾的氮磷污染物中，超过2/3来自径流，包括雨水、地表和地下径流。除了富营养化外，对切萨皮克湾生态系统造成重要影响的关键因素是温度的变化。1949~2002年，切萨皮克湾表层和次表层温度每10年分别升高0.16℃和0.21℃，主要受冬、春季变暖的影响（Preston, 2004）。

营养盐的增加引起切萨皮克湾浮游植物数量的显著增加。富营养的海湾中浮游植物丰度虽然很高，但是不一定适合浮游动物生长，很难将能量传递至鱼类。在切萨皮克湾几百种浮游植物中，有15种在特定环境下能够产生毒素。1997年夏季，该湾首次暴发噬鱼费氏藻 *Pfiesteria piscicida* 赤潮，引起鱼类大量死亡（Burkholder and Glasgow, 1997）。人们意识到 *Pfiesteria piscicida* 赤潮或者其他类似生物的暴发能够很容易地摧毁海湾巨大海产品资源。

溶解氧对海湾生物的重要性就像氧气对人类的重要性—样。海湾中的大部分生物，在水体溶解氧高于5ppm<sup>①</sup>时可以生活得很好。从20世纪50年代开始，切萨皮克湾夏季水体低氧区（溶解氧低于2ppm）从年平均占海湾体积的4%增加到90年代后期的13%以上。缺氧（溶解氧低于0.5ppm）的情况在50年代很少发生，但是到90年代后期，超过海湾体积7%的水体是缺氧的。在情况比较严重的年份，接近25%的水体低氧，12%的水体缺氧（Horton, 2003）。

① 1ppm=1×10<sup>-6</sup>

氮、磷等生源要素的持续增多导致水体中的浮游植物数量增多，但这些浮游植物不能被浮游动物利用，水体透明度减弱，大量的浮游植物和碎屑沉降到海底，在分解的过程中消耗大量的氧气，导致水体缺氧，这种情况使底栖生物和水体中的生物的生存环境进一步恶化，有毒藻类和微生物数量增加，水质变差。这是富营养化的典型特征，富营养化对海洋生态系统健康造成极大影响。

受海湾环境变化的影响，切萨皮克湾的资源严重衰退。自 20 世纪 90 年代以后，蓝蟹的捕捞量稳步降低，约占长期平均值的 60%。更为糟糕的是，成年母蟹亲体数量降至半个世纪以来的最低水平，到 2002 年，蟹的产量仍然保持在低水平。牡蛎是切萨皮克湾另一重要资源。“Chesapeake”在印度语中是大牡蛎湾的意思，主要种类是美国牡蛎 (*Crassostrea virginica*)。牡蛎的产量在 19 世纪 80 年代曾达到顶峰，但由于过度捕捞和疾病等的影响，其后牡蛎产量出现下降趋势，从 1500 万 bu<sup>①</sup>降低到仅有 8 万 bu (Horton, 2003)。牡蛎的疾病问题并非直接与污染有关，水体缺氧和低水平毒素使得牡蛎对疾病的抵抗能力极为脆弱。

牡蛎的作用不仅在于资源，对于整个生态系统而言，它还是一个重要的过滤器，一个重要的循环器，以及其他生物重要的栖息地。牡蛎过滤水体中大量的浮游植物，一部分用于生长，一部分随排泄物沉降，经过再循环后重新用于初级生产。Newell (1988) 推断认为导致切萨皮克湾浮游植物高生物量的部分原因是下行控制作用的降低，特别是牡蛎的丰度的降低。根据 Newell 的估计，19 世纪早期牡蛎能过滤切萨皮克湾 9m 以浅 90% 的水体，到 1988 年，过滤量不足 1%。现在，切萨皮克湾水体浑浊、缺氧，牡蛎资源衰竭，就像水族馆缺失了过滤系统一样。此外，一个健康的牡蛎床能够为大量的海洋生物提供栖息地。直到最近几年科学家和管理者才认识到牡蛎对海湾环境的重要性。

海草床是各种动物的栖息地，该海湾 60 万亩<sup>②</sup>水下海草床的 90% 已经衰退。海草床对海湾生态系统健康的重要性主要体现在几个方面：通过与水体相互作用，增加系统的弹性——吸收氮、磷等多余的营养盐，然后每年在海草死亡后再将营养盐释放入水体中。春季，通过海草储存营养盐，降低微藻的生长。然后，在河流流量低的时候，死亡的海草释放营养盐，使得营养盐能够被食物链利用 (Boesch, 2000)。据美国国家环境保护局估计，健康的切萨皮克湾水下植被能够吸收现代污水释放至海湾中一半的氮和磷。海草床也过滤大量的沉积物悬浮体，将它们稳定在根部周围，在净化水质的同时允许阳光射入，为海草创造更好的生长环境。厚的海草床也能够减弱波浪击打海岸的能量，降低侵蚀和沉积。如果海底水草繁盛，能够主动调节水体上部的环境。切萨皮克湾海草的死亡主要是由于缺乏光照。近几十年海草床的衰退在全球范围内逐渐增加，多与营养盐污染有关 (Horton, 2003)。

① 1bu (蒲式耳) = 36.368L (英) 或 35.239L (美)

② 1 亩 ≈ 666.7m<sup>2</sup>