

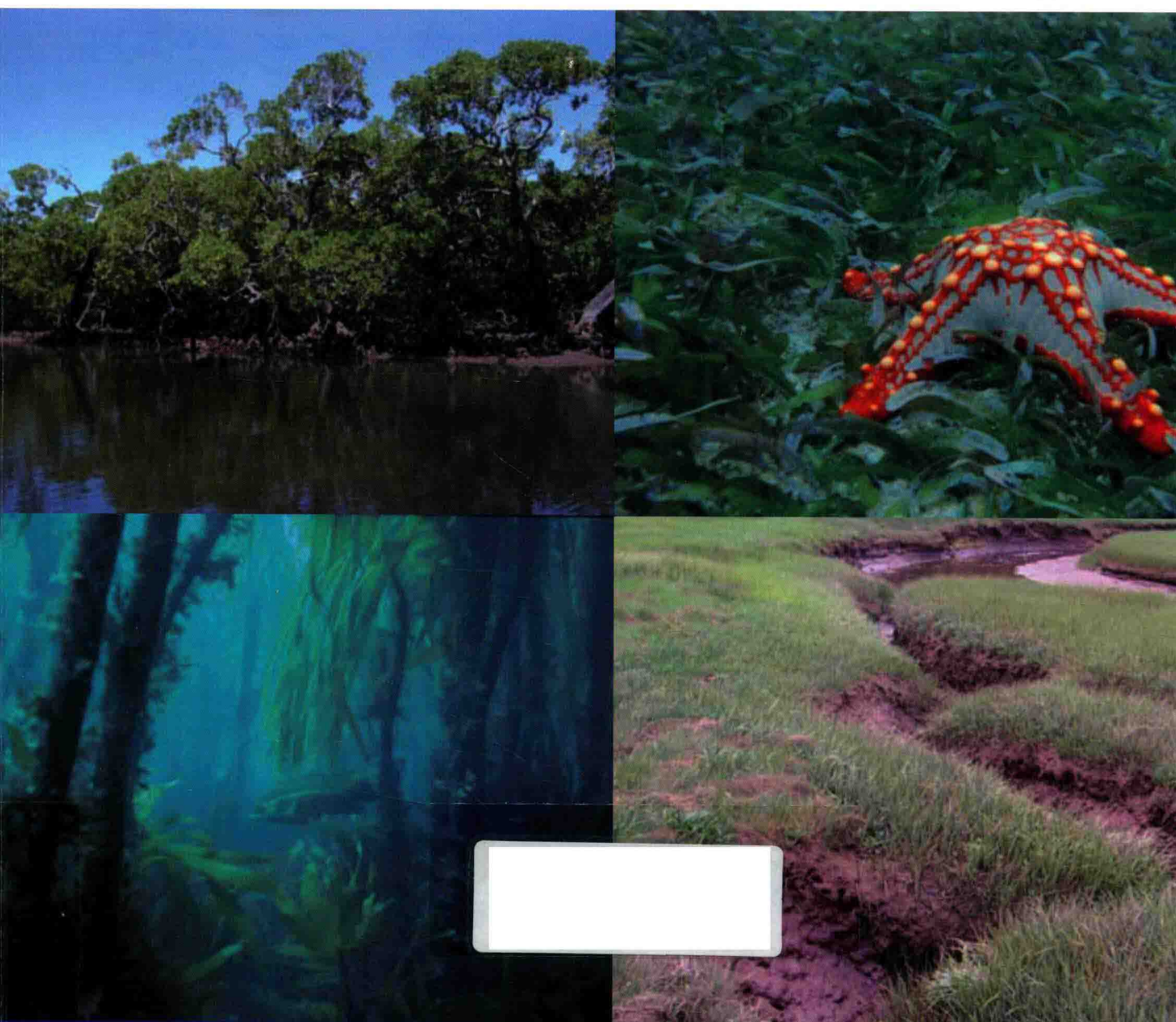


2012 年度海洋公益性行业专项经费项目（201205008）资助出版

# 海岸带典型生态系统碳汇管理

[英] 丹·拉弗莱 [肯尼亚] 加布里埃尔·格瑞斯蒂茨 主编

卢伟志 刘长安 等 译



海洋出版社



2012 年度海洋公益性行业专项经费项目（201205008）资助出版

# 海岸带典型生态系统 碳汇管理

[英] 丹·拉弗莱 [肯尼亚] 加布里埃尔·格瑞斯蒂茨 主编  
卢伟志 刘长安 等 译

海洋出版社

2016年·北京

## 图书在版编目(CIP)数据

海岸带典型生态系统碳汇管理 / (英) 拉弗莱  
(Laffoley, D.), (肯) 格瑞斯蒂茨 (Grimsditch, G.) 主编;  
卢伟志等译. — 北京: 海洋出版社, 2015.12

书名原文: The Management of Natural Coastal  
Carbon Sinks

ISBN 978-7-5027-9320-3

I. ①海… II. ①拉… ②格… ③卢… III. ①海岸带  
- 生态系统 - 二氧化碳 - 资源管理 - 研究 IV. ①P748

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第311561号

本书由世界自然保护联盟(IUCN)授权翻译并出版。

责任编辑: 张 荣

责任印制: 赵麟苏

**海洋出版社 出版发行**

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编: 100081

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷 新华书店经销

2016年3月第1版 2016年3月北京第1次印刷

开本: 880mm×1230mm 1/16 印张: 4.5

字数: 100千字 定价: 22.00元

发行部: 010-62132549 邮购部: 010-68038093 总编室: 010-62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换



本书中涉及的地理名称及所展示的材料并不代表世界自然保护联盟、世界保护区委员会、英格兰自然署、德国灯塔基金会或者联合国环境规划署对有关国家、领土、区域等法律地位或其应属部门对于其边界、疆域划分的意见。本书也并不完全代表世界自然保护联盟、世界保护区委员会、英格兰自然署、德国灯塔基金会或者联合国环境规划署的观点。感谢英格兰自然署，德国灯塔基金会和联合国环境规划署对本书发行给予的资助。

版权：2009 世界自然资源保护联盟

本书作为教育或其他非商业用途时不需著作权人书面授权许可即可使用，若用于其他商业途径需先获得著作权人授权方可使用。

本报告的引用格式：Laffoley, D.d'A. & Grimsditch, G.(eds) 2009. The management of natural coastal carbon sinks. IUCN, Gland, Switzerland.53pp

对于报告章节内容引用格式：Author(s).2009. Title of Chapter. In: Laffoley, D.d' A. & Grimsditch, G. (eds) 2009. The management of natural coastal carbon sinks. IUCN, Gland, Switzerland.53pp

ISBN: 978-2-8317-1205-5

封面设计：Laura Riddering  
装 帧：Laura Riddering  
印 刷：瑞士 IRL 印刷厂

## 本书中包含的照片

封面（从左上到右下）：

新喀里多尼亚的红树林，版权所有：Dan Laffoley；  
坦桑尼亚坦噶市新村湾海龟草上的原瘤海星属海星，版权所有：Jerker Tamelander；  
英国伦迪岛海藻森林，版权所有：Keith Hiscock；  
加拿大新不伦瑞克省潮间带盐沼湿地，版权所有：Gail L. Chmura。

正文：

VII 页 坦桑尼亚坦噶市生物多样性丰富的海草床；版权所有：Jerker Tamelander/ 世界自然保护联盟；  
第 4 页 加拿大新不伦瑞克省潮间带盐沼湿地，版权所有：Gail L. Chmura；  
第 12 页 肯尼亚嘎子湾红茄苳群落错综复杂的根系，版权所有：Steven Bouillon 和 K.U. Leuven；  
第 21 页 新喀里多尼亚的红树林，版权所有：Dan Laffoley/ 世界自然保护联盟；  
第 22 页 坦桑尼亚桑给巴尔地区潟湖的新村湾海龟草，版权所有：Mats Björk；  
第 30 页 上图：海藻森林分布图，版权所有：美国国家科学院院刊（PNAS）；  
下图：海藻林，版权所有：Keith Hiscock；  
第 39 页 奔巴岛的珊瑚礁柱，版权所有：Jerker Tamelander/ 世界自然保护联盟；  
第 48 页 坦桑尼亚坦噶市海菖蒲上的疣海星，版权所有：Jerker Tamelander/ 世界自然保护联盟；  
第 56 页 美国加利福尼亚圣巴巴拉市海藻森林中的密集的巨型海草（*Macrocystis pyrifera*）和红藻（*Macrocystis pyrifera*），版权所有：Clint Nelson。

封底（自上而下）：

生长在美国加利福尼亚州圣卡塔利娜岛的埃尔克霍恩藻（*Pelagophycus porra*），版权所有：Ron McPeak；  
物种丰富的珊瑚礁生态系统，版权所有：Jerker Tamelander/ 世界自然保护联盟。

## 联系方式

世界自然保护联盟  
地址：Rue Mauverney 28, 1196 Gland Switzerland  
电话：+41 22 999 0217 传真：+41 22 999 0025  
电子邮件：marine@iucn.org 网站：www.iucn.org/marine

## 关于本刊的品质保证

感谢以下科学家耗费大量时间对本报告的校对：  
佛罗里达技术研究所的 Richard B. Aronson；  
特拉维夫大学的 Sven Beer；  
加州州立大学的 Michael Graham；  
佛罗里达大学的 Jordan Mayor。

## 本书中所用的单位

| 数值                 | 符号 | 名称 |
|--------------------|----|----|
| 10 <sup>3</sup> g  | k  | 千克 |
| 10 <sup>6</sup> g  | Mg | 兆克 |
| 10 <sup>9</sup> g  | Gg | 吉克 |
| 10 <sup>12</sup> g | Tg | 太克 |
| 10 <sup>15</sup> g | Pg | 拍克 |
| 10 <sup>18</sup> g | Eg | 艾克 |
| 10 <sup>21</sup> g | Zg | 泽克 |

1亿吨=1×10<sup>12</sup>克

1公顷=1×10<sup>4</sup>平方米

## 翻译人员

---

卢伟志 刘长安 张悦 陈鹏飞

李郑杰 廖国祥 许道艳 丛丕福

张帆 周胜玲 刘玉安 邓丽杰

张祎萌 李晋

## 序 言

目前气候变化是人类面临最具争议的议题之一。许多国家领导人认为若想要避免气候变化加剧，减少温室气体排放是我们迫切需要开展的工作。与此同时，我们也必须妥善对待充当“碳汇”的重要的自然生态系统。这样才能确保这些生态系统尽可能多地固定碳，而不会由于管理不善转变为大气的“碳源”。如果这些生态系统储存的碳以  $\text{CO}_2$  形式释放，那么通常还会伴随释放其他温室效应更强的气体（如  $\text{CH}_4$ ），这将会让本来就严重的气候变化形势雪上加霜。

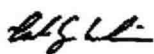
近几十年来，陆地碳汇譬如森林、某些特殊类型的土壤和泥炭地都受到了极大的关注。这些生态系统具有某种固有属性而表现为巨大的碳库，人类也正在通过努力管理并保护这些自然生态系统。同时，人类面临的另一重要挑战则是识别这些具有类似“碳汇”功能的生态系统，采取有力的管理政策予以保护。

海洋是全球碳循环的关键部分，也是地球上最大的碳汇之一。然而，目前对海洋碳循环过程却知之甚少。分析其可能有两个原因：一是误认为量化海洋碳汇潜力难度太大；二是缺乏相关的管理措施对海洋碳汇进行管理。

本书作为世界自然保护联盟联合英国保护区和英格兰自然署共同对这一问题的呼吁，受到全球许多合作伙伴和科学家们的关注，本书呼吁大家将关注重点移到碳汇管理上来。我们也亟需在全球范围内将海洋纳入保护体系，像保护陆地上的森林和泥炭地一样，将其作为碳汇管理的对象保护起来。

在过去的两年里，我们与世界顶级科学家一起，对特殊近岸海洋生态系统碳汇管理的可行性进行了研究。研究结果表明，这些海洋生态系统不仅在重要食物供给和海岸带保护方面具有重要作用，并且在碳汇管理上也和陆地生态系统一样重要。因此我们需要对其进行碳汇的管理，具体的管理措施包括建立海洋保护区，制定海洋规划和提供区域渔业管理技术等方面。本书文章中的引证均来自于世界顶级科学家对近岸海洋生态系统的最新研究结果。

鉴于需要全面考虑应对气候变化的策略，我们希望本书能有助于平衡陆地和海洋所采取的保护措施，让我们意识到将来不只是一味地禁止砍伐森林，同样也需要考虑到重要的近岸海洋生态系统。因此我们希望本书能够让全球的政策制定者及决策者认识到，近岸海洋生态系统在减缓气候变化中具有重要作用。



**Carl Gustaf Lundin**

秘书长  
世界自然保护联盟全球海洋计划



**Dan Laffoley**

海洋副理事长  
世界自然保护联盟保护区委员会，世界自然  
保护联盟海洋顾问 首席科学家  
英格兰自然署

概 述

本书聚焦在海岸带典型生态系统碳汇管理方面。由于人们对陆地生态系统的碳汇管理已经相当成熟，而对近岸海洋生态系统碳汇管理的认识 and 关注还很匮乏，为了填补这一空白，我们编制了本书。目前世界上许多国家正为应对气候变化立法，可以说本书的出版恰逢其时。如英国的《气候变化行动》就把量化自然碳汇作为总碳储量估算的重要内容，并从法律责任上加以明确，这些工作已经与最新科学研究结果紧密结合起来。

为了撰写本书，我们就近岸海洋生态系统碳汇管理问题咨询了许多相关领域的科学家，主要涉及的生态系统类型有盐沼、红树林、海草床、海藻林和珊瑚礁等。本书的核心部分由相关科学家共同起草撰写，详细阐述了这些生态系统如何更好发挥碳汇管理的作用。之所以选择这些生态系统，是因为了解到它们在固碳与储碳方面具有天然优势，并通过碳汇管理能够达到比较好的效果。当然海洋除了具有良好的碳汇功能以外，还有一些其他功能，但本工作的出发点是希望能够通过有效的管理措施，以确保并提升它们未来在碳汇功能方面的地位。如果条件允许的话，本工作将会把全球碳管理的选择范围延伸到近岸海洋生态系统，并通过投资等管理举措对其重要碳汇功能加以保护。

本书的重要发现包括：

- (1) 自然近岸海洋生态系统不仅可以为人类提供了大量的产品和服务，也具有本报告所阐述的碳汇管理潜力，通过适当的管理行动即可实现更多的政治目标与服务，因此这些生态系统显得更加重要。
- (2) 一定程度上讲，近岸海洋生态系统的碳汇管理潜力已经超过陆地生态系统。但珊瑚礁生态系统例外，由于其受海洋化学作用影响表现为弱碳源，并非之前认为的碳汇。
- (3) 下表是本报告重点介绍的近岸海洋生态系统碳汇资料，主要阐述了近岸海洋生态系统的碳储量及长期碳累积的对比数据。在报告正文中我们还将近岸海洋生态系统与陆地生态系统碳汇进行详细比较。
- (4) 某些特定近岸海洋生态系统（例如盐沼）沉积物化学性质表明：这些生态系统受地理位置影响，其他温室效应更强的温室气体如甲烷的排放量远低于陆地生态系统，因此单位面积上捕获碳的绝对值超过陆地生态系统。
- (5) 我们发现除了缺乏对这些生态系统碳汇进行管理之外，还缺乏相关的重要生态系统资料。本书详细阐述了建立海洋保护区名录的重要意义以及迫切需求。除了需要关注生态系统碳汇功能，还需要不断完善盐沼和海藻林

| 生态系统类型 | 单位面积植被碳储量/(g/m <sup>2</sup> )<br>(以碳计) | 单位面积土壤碳储量/(g/m <sup>2</sup> )<br>(以碳计) | 全球分布面积/<br>× 10 <sup>12</sup> m <sup>2</sup> | 全球植被碳储量/Pg<br>(以碳计) | 全球土壤碳储量/Pg<br>(以碳计) | 沉积物长期碳累积速率/(g/m <sup>2</sup> )<br>(以碳计) |
|--------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------------|
| 盐沼     |                                        |                                        | 未知 (约为0.22)                                  |                     |                     | 210                                     |
| 红树林    | 7 990                                  |                                        | 0.157                                        | 1.2                 |                     | 139                                     |
| 海草床    | 184                                    | 7 000                                  | 0.3                                          | 0.06                | 2.1                 | 83                                      |
| 海藻林    | 120–720                                | 无可用数据                                  | 0.02–0.4                                     | 0.009–0.02          | 无可用数据               | 无可用数据                                   |

的名录并保持实时更新。

(6) 在发展中国家, 这些近岸海洋生态系统对当地的食品安全来说起着非常重要的作用。它们不仅为个体渔业户提供育苗和养殖基地, 而且还具有抵御风暴潮, 减缓海岸带侵蚀的天然屏障的功能。因此, 更好地保护这些生态系统不仅能在碳汇管理方面具有重要意义, 在生态系统产品和服务方面也能获得共同的利益。

(7) 受管理不善、气候变化(特别是海平面上升)的影响, 加之缺乏应对当前和未来气候变化的政策影响, 使得全球范围内这些重要的近岸海洋生态系统损失特别严重。

(8) 大规模人类活动影响——尤其是陆源营养盐和沉积物的大量输入, 城市扩建, 水产养殖导致红树林消失, 以及海洋渔业的过度捕捞等都导致了这些生态系统的退化, 威胁它们的可持续发展, 降低了其捕获碳的能力。但所幸这些影响均可以通过建立有效管理制度得到有效缓解。

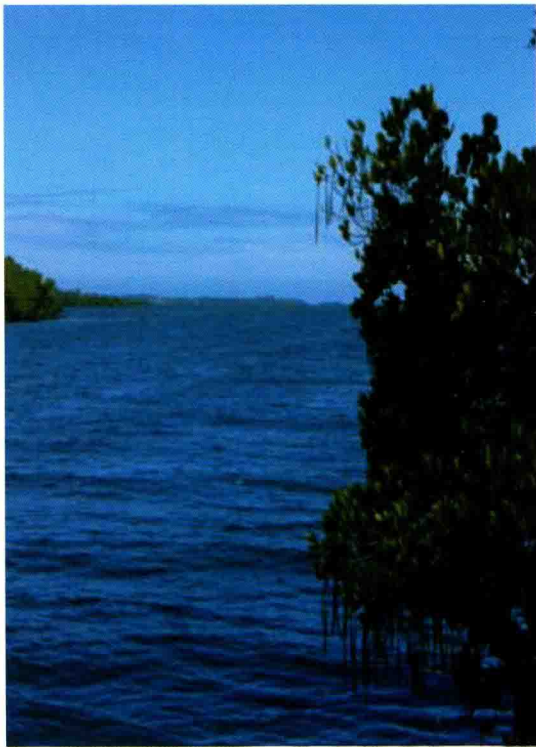
(9) 其实对近岸海洋生态系统碳汇潜力的管理早已存在, 并且大多数国家也已承诺要实施这些措施, 以实现近岸海洋生物多样性保护与可持续发展。这些有效的管理措施包括设立海洋保护区、海洋的空间规划、因地制宜的渔业管理手段、设立内陆区域向海岸碳汇迁移的缓冲区、协调海岸带开发, 以及开展生态系统修复等。

(10) 由于海岸带和海洋生境管理未列入国际气候变化机制(即 UNFCCC、京都和 CDM 等)或国家提交碳排放清单中, 这才导致近岸海洋生态系统温室气体不断排放。这意味着国家严重低估了人类活动导致温室气体排放量的增加, 也意味着在履行国际国内对气候变化所做出的承诺时, 并未考虑通过保护和

修复近岸海域所保存的碳。

本书为推动近岸海洋生态系统加入到国际国内碳排放削减战略的讨论、增加国家温室气体名录以及碳收益等问题提供了所需的基础数据。这将使人们认识到保护这些近岸海洋生态系统碳汇的重要性与“减少由于陆地森林砍伐和森林退化而导致的温室气体排放量”(REDD)同样重要, 也想让人类意识到不只要考虑 REDD, 也要考虑近岸海洋生态系统。

本书中提出采取有效的海洋保护区、海洋空间规划和因地制宜的渔业管理技术不仅仅是有助于生物多样性保护、食品安全和海岸保护的政治策略, 还能在减缓气候变化方面发挥重要作用。



从 Kidogoweni 河远眺肯尼亚嘎子湾, 右前方为挂着繁殖体的角果木(红树植物)。版权所有: Steven Bouillon, K.U. Leuven



# 目次

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 概述.....                  | I  |
| 简介.....                  | 1  |
| 潮间带盐沼.....               | 5  |
| 红树林.....                 | 13 |
| 海草床.....                 | 23 |
| 海藻林.....                 | 31 |
| 珊瑚礁.....                 | 41 |
| 近岸海洋碳汇：遗失的重要碳汇.....      | 51 |
| 近岸海洋生态系统碳汇管理下一步工作计划..... | 57 |

## 简介

**Dan Laffoley**

英国彼得堡市北部大教堂转英格兰自然署 PE1 1UA

dan.laffoley@naturalengland.org.uk

+44 (0) 300 0600816

**Gabriel Grimsditch**

联合国环境规划署

肯尼亚内罗毕市吉吉里 30552 邮箱

gabriel.grimsditch@unep.org

+254 20 762 4124

随着气候变化对环境产生影响的证据逐渐增多,越来越多的研究对其内在原因进行了分析。这些研究主要包括调控人类向大气中排放温室气体,避免森林被砍伐,保护和管理其他自然陆地碳汇,以及采取一些财政措施保护这些碳汇的价值,进而为减少温室气体排放提供经济动力。

海洋是地球上最大的碳汇,但在气候变化相关问题研究时,人们却甚少关注海洋与近岸海洋生态系统。人们的关注点往往在陆地生态系统,特别是森林、特殊类型土壤以及草原等,却很少将近岸海洋生态系统看做是全球的重要碳汇。在此背景下,为了改变人们的观念,我们撰写了本书。编制本书的最初想法是在 2007—2008 年撰写《陆地和海洋管理者论英格兰的自然碳管理》时开始形成的,针对“近岸与海洋生态系统是非常重要的碳库”这一观点,很快便得到了大家支持,然而从目前有限的研究中要找到支撑这一论点的证据却并不容易。

我们将来对气候变化问题进行讨论时,需要将近岸海洋生态系统碳汇纳入其中,或

者进一步强调更好地管理和保护这些生态系统,而这都需要提供清晰可靠的理论依据。2008 年,英格兰自然署开展上述工作的同时,世界自然保护联盟世界保护区委员会发布了《全球行动计划》(Laffoley, 2008)。该计划为世界海洋委员会的海洋环境工作制定了总体框架和发展方向。此框架将海洋保护区工作与应对气候变化、食品安全和人类健康等相关工作结合起来。本报告对近岸海洋碳汇管理的进展是英格兰自然署和世界自然保护联盟活动的共同成果,并将其作为对“海洋保护区全球行动计划”的贡献。在“灯塔基金”的支持下,联合国环境规划署也开始同世界自然保护联盟和英格兰自然署合作,这些都将进一步增加本书的创新性。

本报告通过对近岸海洋生态系统进行分析,量化其温室气体排放量,然后筛选出当下可实施的政策、因地制宜的管理工具和方法以及相应的管理措施。通过这些手段,将自然近岸海洋生态系统的碳汇管理纳入国家温室气体排放和吸收清单名录中,以保证它们在减缓气候变化方面发挥重要作用。

如果管理这些生态系统可带来明显的温室气体控制效益,同时还能通过现有方法找到最佳管理模式,这将为达到国际气候变化目标更好地评估其价值提供可能。为了使自然近岸海洋生态系统碳捕获潜力最大化,我们采用各种方法来保护这些近岸海洋生态系统,并用以应对气候变化。然而目前的问题是以前忽略了这个议题,这些知识的严重缺乏阻碍了国家对增强保护近岸海洋碳汇行动的实施。

本书初步选择盐沼、红树林、海草床、海藻林和珊瑚礁五个重要近岸海洋生态系统,对其碳汇研究成果进行整理分析。这些近岸海洋生态系统不仅能满足上述潜在碳汇要求及管理标准,并在保护生物多样性、提供产品和服务方面具有同样重要价值。

近岸海洋生态系统通过提供产品和服务,在满足当地居民生计、食物和收入来源的同时,也为应对气候变化发挥了重要作用。海洋、海岸带和陆地生态系统相互联系密不可分。例如,近岸海洋生态系统对陆源营养盐和污染物具有较强的过滤作用,这才使得宝贵的珊瑚礁能够留存下来。一些近岸海洋生态系统(如红树林)具有天然屏障作用,保护脆弱的海岸区域免受风暴潮、海浪甚至是海啸的袭击。红树植物和盐沼植物也可以通过根系固定土壤以减少海岸侵蚀的影响。除此之外,它们为近岸居民提供水产品,为重要的渔业资源提供育苗场等,因此近岸海域居民的主要经济来源也离不开近岸海洋生态系统。这些都为将其作为碳汇潜力进行管理提供了依据与保障。

我们相信本书是首次尝试将近岸海洋生态系统碳汇管理进行系统介绍,并尝试将其与陆地生态系统碳汇进行比较。将来我们还会关注海洋物种的多样性、深海生态系统和大陆架等方面。本书的出版时值联合国气候变化框架公

约(UNFCCC)缔约方第16次哥本哈根会议期间,因此本书为这些重要生态系统在碳汇功能上提供了依据,结果表明合理管理近岸海洋生态系统能够减缓气候变化,因此我们希望政策制定者、决策者和自然资源管理者在未来相关讨论、新的管理手段及战略和计划制订中能将这这些生态系统考虑在内。我们也希望本报告能推动近岸海洋生态系统的研究,增进我们对碳汇区物种、生态系统与区域的了解,认清它们对食品安全和海岸线保护方面的重要作用。正如我们需要不断研究陆地生态系统碳循环一样,我们也需要加深对这些近海海洋生态系统碳汇功能的研究。

我们希望本书所提出的论据能够激发人们对这些生态系统的兴趣,并为它们得到有效的保护和管理提供进一步的政策驱动力,利用诸如建立海洋保护区等措施对近岸海洋生态系统进行保护。正如本书中所阐述的,这些近岸海洋生态系统正在以惊人速度消失:人类活动如滥砍滥伐、农业和工业污染物排放、不合理的海岸带开发、过度捕捞、溢油、疏浚、围填和排污等都给这些生态系统造成沉积物堆积、富营养化和生物多样性丧失等严重问题。同时持续上升的海平面不断挤压近岸海洋生态系统,而它们本可以通过向陆侧扩展以适应这一变化的后路又被城市扩张和筑堤所阻断。我们希望通过近岸海洋生态系统作为碳汇这一新论据能够让相关部门恪守承诺,推动到2012年可持续发展峰会时完成建成海洋保护区网络的目标。

我们也希望借助新兴的碳交易市场建立这一契机,发起关于近岸海洋生态系统的管理、保护和修复的讨论。令人欣慰的是随着本报告的推进,世界各国政府开始意识到解决相关问题的重要性。正如在万鸦老(印尼东北部城

市) 2009 年世界海洋大会上发表的声明, 人们进一步意识到“这些健康而生产力极高的近岸海洋生态系统……在对近岸海洋减缓气候变化和短期经济发展中发挥了重大作用”, 并突出强调其“对近岸海洋生态系统可持续管理方面国家的战略需求, 尤其是红树林、湿地、海草床、河口和珊瑚礁, 其作为可保护的、生产力较高的缓冲地带, 能提供有价值的生态系统产品和服务, 这些在应对气候变化产生的负面效应上有明显潜力”。但满足此类需求时必然会增加额外成本, 然而我们应该考虑如果没有达到碳削减目标, 增加的隐性成本又何止这些呢?

后续部分我们将分别阐述世界顶尖科学家对近岸海洋生态系统碳汇管理潜力的观点与看法。每一部分都将会涉及相应生态系统最新的科学研究状况和未来工作的展望, 且这些内容都经过独立的同行评议。本书将按顺序依次阐述盐沼、红树林、海草床和海藻林作为碳汇的研究成果, 同时还将论述珊瑚礁的海洋化学过程在碳循环中的作用。

书中也开展了对近岸海洋生态系统作为有效碳汇进行管理的必要性和相关阻力的讨论。后续章节主要是阐述不同类型近岸海洋生态系统碳汇管理的作用, 并与现有陆地生态系统知识体系进行对比。报告最后一章主要阐述如果要将这些生态系统作为碳汇, 我们未来在行为和认知方面还有哪些需要提高。

参考文献

Laffoley, D. d' A., (ed.) 2008. Towards Networks of Marine Protected Areas. The MPA Plan of Action for IUCN' s World Commission on Protected Areas. IUCNWCPA, Gland, Switzerland. 28 pp. ISBN: 978-2-8317-1091-4

Thompson, D. 2008. Carbon management by land andmarine managers. Natural England Research Report NERR026

坦桑尼亚桑给巴尔海域的与珊瑚礁混杂的浅海海草床全楔草 (*Thalassodendron ciliatum*)。版权所有: Mats Björk





# 潮间带盐沼

Gail L Chmura

全球环境气候变化研究中心理事

麦吉尔大学地理系副教授

加拿大魁北克市蒙特利尔舍布鲁克西街 805, H3A 2K6

+1 514 398-4958

www.mcgill.ca/gec3

gail.@mcgill.ca

## 速览

- 潮间带盐沼生态系统植被以维管植物为主。
- 潮间带盐沼分布在亚寒带到热带的近海和河口海岸，但以温带分布最为广泛。
- 美国潮间带盐沼土壤固碳速率相对较快，约为  $210 \text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ （以碳计），占盐沼生态系统储碳量的  $1\% \sim 2\%$ 。
- 与其他自然生态系统相比，潮间带盐沼、红树林及类似热带生境几乎不产生其他温室气体，这就使得土壤中封存的  $\text{CO}_2$  分子具有更高的储碳价值。不同于淡水湿地，盐沼湿地土壤由于存在大量硫酸盐，使得产甲烷微生物活性降低，因此潮间带盐沼湿地几乎不产生温室效应更强的甲烷气体。
- 受疏浚、围填海、排水和道路建设的影响，大面积的潮间带盐沼生态系统消失速度加快，同时还面临着海平面上升的威胁。
- 修复潮间带盐沼可以增加全世界的自然碳汇，与此具有相同效果的是在退化的农业沼泽中进行海水重新灌溉工程。
- 随着海平面上升速度加快，潮间带盐沼为了实现可持续发展不得不向陆侧迁移，这就需要建立缓冲区来调节。缓冲区的建立不仅可以在盐沼向陆侧迁移的过程中发挥作用，它还有助于减缓盐沼的富营养化，从而增强固碳效率。

## 定义和全球分布

潮间带盐沼是地表以维管植物为优势种，同时覆盖大型藻类、硅藻和蓝藻等初级生产者的潮间带生态系统。维管植物和生长在潮间带最低潮位边缘的大叶藻不同，它在紧邻盐沼向海一侧边缘的滩涂比较难存活，其成活与否主要取决于能否与空气接触。大叶藻可以吸收海水中的溶解态  $\text{CO}_2$  进行光合作用，而盐沼维管束植物只能通过吸收大气中的  $\text{CO}_2$  进行光合作用。

Chapman (1977) 曾详细阐述了盐沼中优势种的形态及受地域影响的变化情况。北美和

南美的大西洋沿岸主要分布着互花米草和狐米草等多年生禾草植物；欧洲沿海主要分布着榆钱属阔叶草本植物；地中海气候区由于夏季干旱炎热，使得土壤呈现高盐特性，因此主要以如盐角草属 (*Salicornia*)、*Sarcocornia* 和节藜属 (*Arthrocnemum*) 等灌丛群落为主。

潮间带盐沼分布于亚寒带到热带气候区的近海和河口海岸，尤其在温带地区分布最为广泛。尽管有报道称热带海岸的红树林能取代盐沼植被，但在海拔相对较高的地区，盐沼依然占据绝对优势。

商业服务价值

潮间带盐沼不仅可以为许多植物、鸟类和鱼类提供重要的栖息地，还可以为它们提供丰富的食物来源。另外，盐沼群落为休闲捕猎活动提供了场所，创造了间接经济价值。与此同时，某些盐沼植物收获后还可以作为饲料或天然牧草被用于生活消费或商业销售（如欧洲海蓬子）。盐沼植被具有较强的耐盐性，因此可以作为内陆盐渍化区域农作物和饲草的替代植物（Gallagher, 1985）。受气候变暖和海平面上升的影响，内陆地区盐渍化区域面积越来越大。

盐沼还具有公益生态价值，盐沼中的洼地及相邻的滩涂经常能吸引水鸟和成群结队的候鸟，为鸟类观赏等活动提供平台。另外，盐沼还可以为公众学习自然史和有关生态环境方面的知识提供教育场所。除此之外，盐沼也具有其他间接价值，如抵御风暴潮（Koch et al., 2009）、“过滤”营养物质等。盐沼生态系统通过吸收水体中的营养物质，从而减少营养物质向地下水富集，进而降低富营养化对海草床的威胁。通过气体通量研究表明，湿地氮元素的富集可以增加湿地  $N_2O$  的排放，作为温室效应气体的一种，它的温室效应是  $CO_2$  的 298 倍（Forster et al., 2007）。因此，过多输入营养元素到盐沼生态系统可能会导致温室气体排放量增加，降低盐沼的可持续性。

生产力

盐沼维管植物的生产力受地理位置等因素影响，变化幅度非常大（图 1）。例如北美洲盐沼维管植物的地上部分生产力为  $60 \sim 812 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ （以碳计），其中生产力最小的是加拿大和阿拉斯加北部盐沼，生产力最大的盐沼位于墨西哥湾北部中心地区（Mendelssohn and Morris, 2000）。尽管生产力的评估计算方法目前仍存在差异，但还是可以发现具有一定趋势，例如，北美互花米草的生产力随着

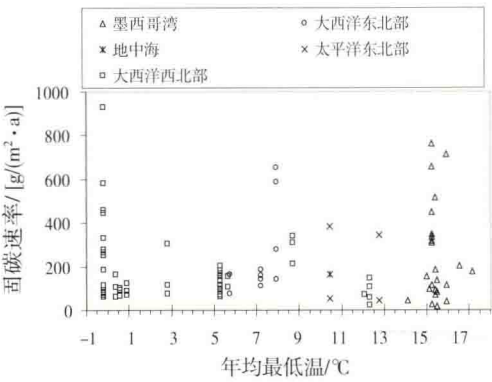


图1 世界各盐沼固碳速率比较  
改编自Chmura et al. (2003)

纬度的增加而明显降低（Turner, 1976）。目前对于维管束植物的研究多数集中于对地上部分的研究，对维管束植物地下部分生产力和非维管束植物生产力这两部分的研究相对较少。

潮间带盐沼表面生活的微生物（如蓝藻、微藻和硅藻）也是盐沼初级生产力的重要来源。底栖微生物群落是无脊椎动物的食物来源（如端足目动物、腹足、多毛类），是盐沼生态系统食物链的基础。Sullivan and Currin (2000) 曾比较了美国海岸线三个盐沼中底栖微生物群落与维管植物的生产力的关系，结果发现微生物群落生产力变化较大，例如在德克萨斯州微生物群落生产力仅是维管植物生产力的 8%，而在加州盐沼这一比值可以达到 140%。

维管植物地下部分生物量是另一部分被忽略的初级生产力。许多盐沼中根和根状茎的产量很高（表 1）。与淡水沼泽相比，盐沼地下生产力更高（Murphy, 2009）。而地下生物量一般会一直储存在土壤中，直到有机物被分解后才能进入到碎屑食物链中。目前我们已经研究了盐度和土壤含水率对地上部分生产力的影响，但它们对地下部分生产力的影响还不清楚，而后者才是影响碳储量的关键过程。高盐度土壤会限制维管植物生长并导致土壤板结。虽然潮间带优势植物耐受土

表1 北美和欧洲的三个不同属种的盐沼植物的地上和地下生物量，表明不同植物形态地下生物量的重要性

| 物 种                                      | 地下生物量<br>/[g/(m <sup>2</sup> ·a)] | 地上生物量<br>/[g/(m <sup>2</sup> ·a)] | 地 区     | 参考文献                 |
|------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------|----------------------|
| 藜科                                       |                                   |                                   |         |                      |
| 节藜 ( <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> ) | 1 260                             | 683                               | 波河三角洲   | Ibañez et al., 2000  |
| 节藜 ( <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> ) | 50                                | 190                               | 埃布罗河三角洲 | Ibañez et al., 2000  |
| 节藜 ( <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> ) | 340                               | 840                               | 埃布罗河三角洲 | Ibañez et al., 2000  |
| 海蓬子属 ( <i>fructosia</i> )                | 950                               | 580                               | 埃布罗河三角洲 | Ibañez et al., 2000  |
| 滨藜属 ( <i>portulacoides</i> )             | 1 601                             | 598                               | 瓜地亚纳河   | Neves et al., 2007   |
| 车前科                                      |                                   |                                   |         |                      |
| 沿海车前                                     | 648                               | 296                               | 芬迪湾     | Connor, 1995         |
| 禾本科                                      |                                   |                                   |         |                      |
| 狐米草                                      | 1 113                             | 500                               | 芬迪湾     | Connor, 1995         |
| 狐米草                                      | 3 300                             | 785                               | 特拉华湾    | Roman & Daiber, 1984 |
| 互花米草                                     | 1 575                             | 718                               | 芬迪湾     | Connor, 1995         |
| 互花米草                                     | 6 500                             | 1 487                             | 特拉华湾    | Roman & Daiber, 1984 |

壤孔隙水盐度与海水盐度相近，但土壤水分含盐量过高时仍然会对植物产生生理胁迫。如果出现生理胁迫，就会使得植物对氮的需求量增大，为了达到这一目的，植物就要通过生长更多的根来获取有限的营养元素。

潮间带盐沼对次级生产力尤其是近海渔业的贡献已受到广泛关注（例如 Boesch and Turner, 1984; Day et al., 2000），研究表明盐沼面积与鱼虾产量呈现显著相关关系。盐沼潮沟、池塘及其边缘为幼鱼生长提供了庇护场所，它们在大潮时到达这里，并以土壤动物为食（Laffaille et al., 2000）。盐沼植物残体中的营养物质在微生物作用下被分解后，通过横向输出进入碎屑食物链。

碳汇功能

据统计，全球盐沼 50 cm 以上的土壤中储存的碳超过了 430 Tg（Chmura et al., 2003）。而实际上这一数值可能会更大，原因如下：首先大多数盐沼土壤有数米深，已有的研究发现盐沼土壤碳含量并未出现随深度增加而明显降低的趋势（Connor et al., 2001）；其次，世界上许多地区盐沼的碳含量研究尚未开展。

因此了解碳的积累和储存速率，对判断盐沼如何影响气候变化具有重要的意义。

Chmura 等（2003）的研究表明，盐沼土壤平均可以储存 210 g/(m<sup>2</sup>·a)（以碳计）或 770 g CO<sub>2</sub>，美国盐沼土壤的固碳量可占全年总碳汇量的 1% ~ 2%。

盐沼和红树林土壤中由于存在着大量硫酸盐从而降低了产甲烷微生物的活性。在排水较好的盐沼中，土壤深处产生的甲烷在向表层移动的过程中也被氧化，所以与淡水湿地土壤相比（Bridgham et al., 2006），盐沼和红树林几乎不产生甲烷。以往研究发现，甲烷的温室效应（以 100 年为时间尺度）是 CO<sub>2</sub> 气体的 25 倍（Forster et al., 2007）。因此与其他自然生态系统相比，固定在盐沼和红树林土壤中的 CO<sub>2</sub> 在调控气候方面的价值更大。

潮水除了可以给潮间带土壤带来大量无机物之外，更重要的是潮水的浸润使土壤水含量达到饱和状态，从而降低了有氧分解速率，而厌氧过程对有机物分解较少，利于有机物质在土壤中进行积累，进而形成有效的碳汇。

相较于其他生态系统，潮间带盐沼和红树林土壤固碳的另一个优势体现在土壤的碳含量上。盐沼和红树林土壤可以不断累积有机碳，土壤碳含量会随之持续增加。而陆地生态系统土壤表面吸附的有机碳达到平衡时，便不再进行积累，而会通过分解者的呼吸作用向外