海洋碳汇生态系统及其监测评估方法

主编　文莉莉　邬　满　陆柳霖

澳門科學出版社
Macao Scientific Publishers

图书在版编目

海洋碳汇生态系统及其监测评估方法 / 文莉莉，邬满，陆柳霖 主编. —澳门：澳门科学出版社，2024.10

ISBN 978-99981-16-28-3

I. ①海… II. ①文…②邬…③陆… III. ①海洋碳汇—监测

IV. ①P71

海洋碳汇生态系统及其监测评估方法

文莉莉，邬　满，陆柳霖 主编

ISBN 978-99981-16-28-3

责任编辑：谢嘉深

责任校对：谢嘉深

装帧设计：吴惠华

出版发行：澳门科学出版社

地　址：澳门南湾大马路恒昌大厦 11 楼 F 座　**邮　编：**999078

网　址：https://www.mospbs.com，https://moaj.mospbs.com

总　机：+853-62961666　　**反　馈：**book@mospbs.com

印装公司：翰林出版集团有限公司

开　本：787 mm × 1092 mm 1/16　**印　张：**12

字　数：285 千字　　**印　数：**1 ~ 3000

版　　次：2024 年 10 月第 1 版

印　　次：2024 年 10 月第 1 次印刷

核准编号：2024101505

如有缺损质量问题，请联系本社销售中心。　　**版权所有 违者必究**

作者简介

文莉莉，女，1988 年 10 月，高级工程师，硕士毕业于广西大学项目管理专业，从事海洋信息化、地理信息系统、海洋碳汇等研究。兼任广西人工智能学会理事、中国地理信息产业协会空间大数据技术与应用工作委员会委员、广西科技评审专家、广西药监局专家、广西海域使用论证专家、电子学会高级专家等。参与了国家重点研发计划专项、广西科技重大专项、广西重点研发等项目 10 余项，获得广西科技进步二等奖、海洋科学技术二等奖、中国电子学会科技进步二等奖、八桂人工智能科技进步特等奖、广西第十七次社会科学优秀成果奖三等奖、八桂人工智能科学技术奖一等奖、八桂人工智能优秀科技工作者奖等奖项 6 项，发表论文 13 余篇，出版专著 4 部，申请专利 16 项，获得软件著作权 14 项。

邬　满，男，1985 年 10 月，正高级工程师，硕士毕业于长安大学计算机应用技术专业，博士就读于广西大学电气工程专业，广西科学院数字孪生新技术研究院副院长、广西北部湾碳汇与低碳工程研究中心主任、广西近海海洋环境科学重点实验室副主任、广西北部湾智慧海洋牧场工程研究中心副主任、广西科学院新一代信息技术专业委员会副主任，兼任广西大学计算机与电子信息学院硕士研究生导师、中国测绘学会位置服务工作委员会专家委员、北部湾人工智能应用技术研究院副院长、广西人工智能学会理事、广西应急管理厅信息化专家组副组长、广西科技评审专家、广西药监局专家、广西标准化专家等。承担了国家重点研发计划专项、广西科技重大专项、广西重点研发等 10 余项重大项目，获广西科技进步二等奖、中国测绘学会测绘科学技术二等奖、地理信息科技进步特等奖、海洋科学技术二等奖、中国电子学会科技进步二等奖、八桂人工智能科技进

步特等奖、广西第十七次社会科学优秀成果奖三等奖等奖项 9 项，发表论文 26 余篇，出版专著 2 部，申请专利 29 项，获得软件著作权 23 项。

陆柳霖，女，1986 年 8 月，硕士研究生，高级工程师，毕业于广西师范学院（现南宁师范大学），广西北部湾碳汇与低碳工程研究中心副主任，主要从事海洋环境监测与生态修复、智能信息系统等研究工作，参与国家重点研发专项、广西重大科技专项等项目 3 项，申请发明专利 1 项，参与发布团体标准 2 项，获 2024 年八桂人工智能科学技术奖一等奖 1 项。

编委会

主　编

文莉莉　广西科学院/广西海洋科学院/广西北部湾碳汇与低碳工程研究中心

邬　满　广西科学院/广西海洋科学院/广西北部湾碳汇与低碳工程研究中心

陆柳霖　广西科学院/广西海洋科学院/广西北部湾碳汇与低碳工程研究中心

副主编

于毓佳　广西海洋科学院

刘小宁　广西科学院/广西海洋科学院/广西北部湾碳汇与低碳工程研究中心

黎倩君　广西科学院/广西海洋科学院/广西北部湾碳汇与低碳工程研究中心

前　言

海洋，这片覆盖地球表面三分之二的蔚蓝领域，自古以来就是人类探索与憧憬的圣地。它不仅蕴藏着无尽的生物资源，更是地球上最重要的碳汇系统之一。在全球气候变化和生态环境日益恶化的今天，海洋碳汇生态系统及其监测评估方法的研究显得尤为重要。本书正是基于这一背景，深入探讨了海洋碳汇生态系统的科学问题与实践应用，旨在为海洋碳汇的保护与管理提供科学依据和技术支持。

海洋碳汇生态系统是指海洋通过吸收和储存大气中的二氧化碳（CO_2），从而减缓全球气候变暖的过程。这一过程主要依赖于海洋中的浮游植物、藻类、珊瑚礁、海草床等生物群落，它们通过光合作用将二氧化碳转化为有机物质，并将其储存在生物体内或海底沉积物中。海洋碳汇生态系统对于维持地球气候稳定、保护生物多样性、促进渔业资源可持续利用等方面都具有不可替代的重要作用。

随着人类活动的加剧，海洋碳汇生态系统正面临着前所未有的威胁。过度捕捞、海洋污染、气候变化等因素导致海洋生态系统遭受严重破坏，海洋碳汇能力大幅下降。因此，加强海洋碳汇生态系统的研究，探索其形成机制、生态功能和环境影响，对于保护地球生态环境、应对全球气候变化具有重要意义。

为了深入了解海洋碳汇生态系统的现状和未来发展趋势，科学家们开展了大量的监测和研究工作。从最初的简单观测到如今的遥感技术、无人机技术等先进手段的应用，海洋碳汇监测技术不断取得新的突破。评估方法也在不断完善和发展，包括基于模型的评估、基于数据的评估等多种方法。这些方法为我们提供了更加准确、全面的海洋碳汇信息，为制定科学的保护和管理策略提供了有力支持。

海洋碳汇监测与评估工作仍面临着诸多挑战。一方面，海洋环境复杂多变，监测数据的获取和处理难度较大；另一方面，评估方法的选择和应用也需要考虑到不同区域、不同生态系统的特点。因此，我们需要不断探索和创新，提高海洋碳汇监测与评估的准确性和可靠性。

本书旨在全面介绍海洋碳汇生态系统的科学问题与实践应用。通过对海洋碳汇的形成机制、生态功能和环境影响的深入研究，结合最新的监测技术和评估方法，本书旨在为科学家、研究者和政策制定者提供可靠的科学依据和技术支持。本书也希望通

过普及海洋碳汇知识，提高公众对海洋碳汇生态系统的认识和保护意识。

在内容安排上，本书首先介绍了海洋碳汇生态系统的基本概念和理论基础，包括海洋碳汇的定义、分类、分布和形成机制等。接着，本书重点介绍了海洋碳汇的监测技术与方法，包括遥感监测、现场观测、无人机监测等多种手段的应用。本书还详细阐述了海洋碳汇的评估方法，包括基于模型的评估、基于数据的评估等多种方法的原理和应用。本书结合案例研究，探讨了海洋碳汇生态系统的保护与管理策略，为实践应用提供了有益的参考。

本书在编写过程中力求体现以下几个方面的创新与特色：

综合性强：本书全面介绍了海洋碳汇生态系统的科学问题与实践应用，涉及了海洋碳汇的监测、评估和管理等多个方面。

前沿性强：本书结合最新的监测技术和评估方法，探讨了海洋碳汇生态系统的最新研究成果和发展趋势。

实践性强：本书通过案例研究的方式，探讨了海洋碳汇生态系统的保护与管理策略，为实践应用提供了有益的参考。

国际化视野：本书在编写过程中参考了大量国际上的研究成果和经验教训，旨在为全球海洋碳汇生态系统的保护与管理提供借鉴和参考。

海洋碳汇生态系统是地球上最重要的生态系统之一，对于维护地球气候稳定、保护生物多样性等方面都具有不可替代的重要作用。随着人类活动的加剧，海洋碳汇生态系统正面临着前所未有的威胁。因此，加强海洋碳汇生态系统的研究、探索其监测评估方法具有重要意义。本书正是基于这一背景而编写的，希望能够对海洋碳汇生态系统的保护与管理做出自己的贡献。我们也呼吁更多的科学家、研究者和政策制定者关注海洋碳汇生态系统的问题，共同为保护地球生态环境、应对全球气候变化而努力。

目　录

第一篇　海洋碳汇生态系统的基础理论 1
第一章　海洋碳汇的形成与演变 1
第一节　海洋碳汇的定义与特征 1
第二节　海洋碳汇的形成机制 11
第三节　海洋碳汇的地域分布与演变规律 18
第二章　海洋碳汇的生态功能与环境影响 24
第一节　海洋碳汇的生态作用与生物多样性 24
第二节　海洋碳汇对海洋生态系统的影响 32
第三节　海洋碳汇与气候变化的关系 39
参考文献 44
第二篇　海洋碳汇监测与评估方法 48
第一章　海洋碳汇监测技术综述 48
第一节　海洋碳汇监测技术概述 48
第二节　海洋碳汇监测方法的原理与应用 54
第三节　海洋碳汇监测技术的发展趋势 56
第二章　海洋碳汇评估方法与模型 68
第一节　海洋碳汇评估的基本原理与方法 68
第二节　海洋碳汇评估模型的构建与应用 75
第三节　海洋碳汇评估案例分析与实践 87
参考文献 93
第三篇　海洋碳汇保护与管理 95
第一章　海洋碳汇保护与修复 95
第一节　海洋碳汇保护的重要性与现状 95
第二节　海洋碳汇修复技术与策略 101
第三节　海洋碳汇保护与修复的案例分析 113
第二章　海洋碳汇管理与政策 121
第一节　海洋碳汇管理的法律与政策框架 121
第二节　海洋碳汇管理的实践与经验 126
第三节　海洋碳汇政策的未来展望 131
参考文献 141
第四篇　海洋碳汇研究前沿与创新 143
第一章　海洋碳汇生态系统演化机制 143
第一节　海洋碳汇生态系统的时空动态演变 143
第二节　海洋碳汇生态系统演化的反馈机制 148
第三节　海洋碳汇与生态系统稳定性的关系 154
第四节　保护海洋碳汇生态系统的策略 159
第二章　蓝碳金融发展与未来趋势研究 167
第一节　蓝碳价值特点 167
第二节　蓝碳金融发展的动力与阻碍 169
第三节　建立蓝碳保险的探索 171

第四节　蓝碳金融未来趋势的多维度分析 174
参考文献 178

第一篇　海洋碳汇生态系统的基础理论

第一章　海洋碳汇的形成与演变

第一节　海洋碳汇的定义与特征

一、海洋碳汇的基本概念

海洋是地球上最大的活跃碳库，是陆地碳库的 20 倍、大气碳库的 50 倍[1]。海洋在调节全球气候变化，尤其在吸收二氧化碳等温室效应气体方面被公知作用巨大。海洋覆盖地球表面的 70%，是地球上最重要的“碳汇”聚集地。据测算，地球上每年使用化石燃料所产生的二氧化碳约 13%为陆地植被吸收，35%为海洋所吸收，其余部分暂留存于大气中，其中海洋储碳周期可达数千年。海洋在调节全球气候变化，特别是吸收二氧化碳等温室气体效应方面作用巨大。海洋的固碳能力高达 4000 万亿，年新增储存力 5 亿～6 亿吨，人类活动每年向大气排放的二氧化碳总量达 55 亿吨，其中约 20 亿吨被海洋所吸收[2]，陆地生态系统仅吸收 7 亿吨左右。中国渤海、黄海、东海和南海临海面积为 473 万平方千米，中国的海每年可从大气中吸收 2 亿 3700 万吨碳，其中渤海为 300 万吨碳，黄海每年吸收 900 万吨，东海可吸收 2500 万吨，南海可达到 2 亿吨，在气候变化中发挥着不可替代的作用。因此，海洋负排放潜力巨大，是当前缓解气候变暖最具双赢性、最符合成本-效益原则的途径。

（一）什么是海洋碳汇

海洋碳汇，是将海洋作为一个特定载体吸收大气中的二氧化碳，并将其固化的过程和机制。地球上超过一半的生物碳和绿色碳是由海洋生物捕获的。全国人大代表、中国科学院院士焦念志提出了海洋“微型生物碳泵”的概念[3]，改变了之前科学家们对于海洋储碳的认识。焦念志研究发现，“海洋碳汇”比“森林碳汇”具有储碳量大、储存时间长等优势。这一发现，对中国来说意义重大，可解决增加二氧化碳的吸收和储藏（即增汇）的问题。有学者表示，该研究将为我国发展低碳经济、增加气候谈判筹码、提高国际影响力提供科学依据和技术支撑。今年两会上，焦念志将提交“建议建立国家海洋碳汇研发基地、科普教育基地、国际协作基地”的议案。焦念志说，“海洋微型生物碳泵”理论，简单地说就是通过海洋中个体极小、但数量极大的微型生物，把活性有机碳转化为惰性有机碳，从而使碳长期保存在海洋里[4]。焦念志也表示，“固碳”不等于“储碳”，相对而言森林碳汇的储存周期较短，而在

2019 历史机遇 · 打造交流合作基地

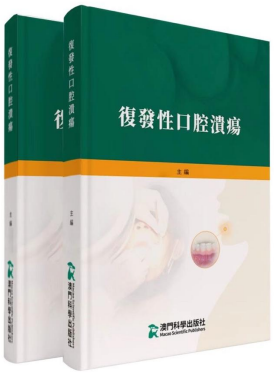
Historic Opportunity · Build Communication And Cooperation Bases

大湾区规划 · Introduction

《粤港澳大湾区发展规划纲要》明确了澳门“一个中心、一个平台、一个基地”的三个定位，即：建设世界旅游休闲中心、中国与葡语国家商贸合作服务平台，**打造以中华文化为主流、多元文化共存的交流合作基地**。

It further clarified the three orientations of "one center, one platform and one base" of Macao, namely, to build a world tourism and leisure center, a business and trade cooperation service platform between China and Portuguese-speaking countries, and to build an exchange and cooperation base with Chinese culture as the mainstream and multicultural coexistence.

MACAU TECHNOLOGY GENERAL ASSOCIATION 澳門科技總會
澳門科學出版社 Macao Scientific Publishers
澳门科学出版社（MOSP）
网址：moaj.mospbs.com 电话：+853-62961666
邮箱：book@mospbs.com 邮编：999078
经营场所：中国澳门南湾大马路恒昌大夏F座11楼
禁忌内容或注意事项本资料未能详尽 © 版权所有，翻版必究。



全球发行 · Publishing worldwide

由于国内自费书没有实际销售，出版社不会实际发行，属于非正式出版物，因此国内自费书绝大部分是属于非正式出版物。国际出版即便在没有销售市场的情况下也可以在海外发行上架。世界上其他地方（包括中国）的读者可以通过海外电商平台进行订购和销售。

Since there is no market for self-funded books in mainland China, mainland publishing houses will not actually issue them, so most of self-funded books in the Mainland are informal publications.

- 呼吸系统基本基础与临床 Fundamentals and clinic of respiratory diseases
- 临床肿瘤护理学 Clinical oncology nursing
- 感染性皮肤病学 Infectious dermatology
- 内分泌系统疾病 Endocrine system disease

- 实用小儿内科学 Practical pediatric internal medicine
- 消化系统疾病诊疗学 Diagnosis and treatment of digestive system diseases
- 现代中医诊断学 Modern diagnostics of traditional chinese medicine
- 皮肤修复与再生 Skin repair and regeneration

MACAU TECHNOLOGY GENERAL ASSOCIATION 澳門科技總會
澳門科學出版社 Macao Scientific Publishers

澳门科学出版社（MOSP）
网址：moaj.mospbs.com
邮箱：book@mospbs.com
电话：+853-62961666
邮编：999078
经营场所：中国澳门南湾大马路恒昌大夏F座11楼
禁忌内容或注意事项本资料未能详尽 © 版权所有，翻版必究。

出版流程 · Publishing Process

出版流程快速简便，在填写基本信息、签订合同并支付费用后，IBPC将原始内容进行校对、排版及封面设计；在经过多次校对后，提交申请国际书号；可根据实际需求进行印刷和馆藏存档，最后上架发行。全程专人沟通指导，以极高性价比的方式出版属于自己的作品。

The publishing process is simple and convenient, after filling in the basic information, signing the contract and paying the fee, IBPC will conduct proofreading, typesetting and cover design. After multiple proofreading, submit the ISBN application. According to the actual needs, we will arrange printing and collection archiving, and finally put on the shelves and issued.

检索服务 · Retrieval Service

IBPC的检索服务可提供出版物国际注册文件及出版物所在地的图书馆检索证明，为作者提供证明文件支撑。同时，优秀图书将推荐至国际数据库中收录，提升出版物的认可度。

IBPC can provide retrieval service including the registration documents and the library search certificate. Meanwhile, excellent books will be recommended for inclusion in authoritative databases to enhance the recognition of publications.

销售协议 · Sales Agreement

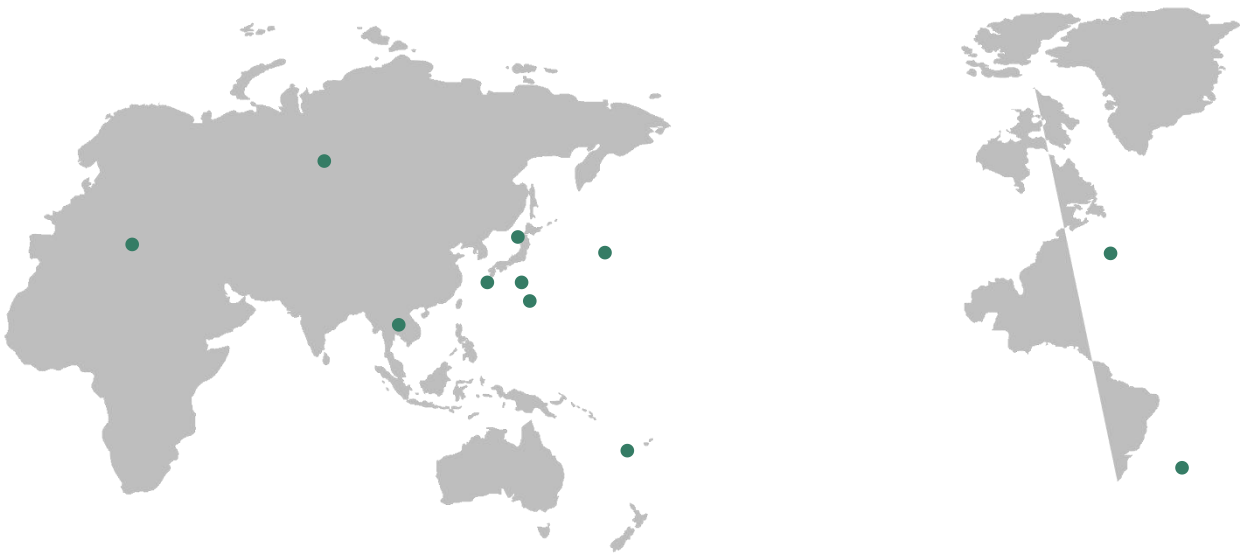
作者签订销售合作协议后，IBPC可提供多种上架渠道，包括官网、京东、天猫、亚马逊、当当网等平台，可销售字纸印本与电子图书等形式，并按照合作协议进行利润分成。

After the author signs the sales agreement, IBPC can provide a variety of sales channels, such as the official website, JD & T-mall overseas Purchase, Amazon and other platforms, printed paper and electronic books are available, and the authors share the profits according to the sales agreement.

澳门科学出版社（MOSP）
网址：moaj.mospbs.com
邮箱：bookt@mospbs.com
电话：+853-62961666
邮编：999078
经营场所：中国澳门南湾大马路恒昌大夏F座11楼
禁忌内容或注意事项本资料未能详尽 © 版权所有，翻版必究。

澳门科学出版社
MOSP

“以服务青少年及青年科学才俊为己任，
打造国际性的科学技术交流平台”



正规国际出版，首选澳科出版

- 学术著作/个人作品 – 优质
- 中华“强国文化”输出战略 – 翻译后国际出版
- 数字教材 – 教材出书 & 数字化媒体上线

所有优质内容，均可申请出版减免资助。

所有澳门本土内容，均可申请出版减免资助；

澳门总部

电话：0853-62961666（澳门）

邮件：book@mospbs.com

地址：中国澳门南湾大马路恒昌大夏F座11楼

网址：www.mospbs.com（英文）| moaj.mospbs.com（中文）

特别提醒：MOSP所有业务均有出版社的正规盖章合同，若有任何疑问，可联系出版社编辑确认。