

滨海蓝碳

红树林、盐沼、海草床碳储量和碳排放因子评估方法

the
**BLUE
CARBON**
initiative

蓝碳行动计划

主编: Jennifer Howard Sarah Hoyt Kirsten Isensee
Emily Pidgeon Maciej Telszewski

译者: 陈鹭真 卢伟志 林光辉

CONSERVATION
INTERNATIONAL



保护国际基金会



世界自然
保护联盟



联合国教科文组织
政府间海洋学委员会



厦门大学出版社 | 国家一级出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS | 全国百佳图书出版单位

滨海蓝碳

红树林、盐沼、海草床碳储量和碳排放因子评估方法

the
**BLUE
CARBON**
initiative

蓝碳行动计划

主编: Jennifer Howard Sarah Hoyt Kirsten Isensee
Emily Pidgeon Maciej Telszewski

译者: 陈鹭真 卢伟志 林光辉



厦门大学出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS

国家一级出版社
全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

滨海蓝碳:红树林、盐沼、海草床碳储量和碳排放因子评估方法/陈鹭真,卢伟志,林光辉译.—厦门:厦门大学出版社,2018.12

ISBN 978-7-5615-7096-8

I. ①滨… II. ①陈… ②卢… ③林… III. ①海滨—沼泽化地—碳—储量—研究—中国
②海滨—沼泽化地—二氧化碳—排放总量—研究—中国 IV. ①P941.78

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 243371 号

出版人 郑文礼
责任编辑 郑丹
美术编辑 蒋卓群
技术编辑 许克华

出版发行 厦门大学出版社
社址 厦门市软件园二期望海路 39 号
邮政编码 361008
总编办 0592-2182177 0592-2181406(传真)
营销中心 0592-2184458 0592-2181365
网 址 <http://www.xmupress.com>
邮 箱 xmup@xmupress.com
印 刷 厦门市竞成印刷有限公司

开本 889 mm×1 194 mm 1/16
印张 12
字数 288 千字
版次 2018 年 12 月第 1 版
印次 2018 年 12 月第 1 次印刷
定价 138.00 元

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换



厦门大学出版社
微信二维码



厦门大学出版社
微博二维码

the
**BLUE
CARBON**
initiative

蓝碳行动计划

蓝碳行动计划协调员

蓝碳行动计划是由保护国际基金会、联合国教科文组织政府间海洋学委员会、世界自然保护联盟共同发起的，包括世界各国的科学家、政府官员等多方专家在内的工作平台，旨在通过保护和修复滨海生态系统来减缓气候变化。保护国际基金会、联合国教科文组织政府间海洋学委员会和世界自然保护联盟共同为该计划的协调员。^①

保护国际基金会（Conservation International, CI）

保护国际基金会是一个国际性组织。它以科学、伙伴关系和野外示范为工作基础，宗旨是让社会负责任地和可持续地关爱自然，关心全球生物多样性，为人类长期福祉服务。详细信息可访问 www.conservation.org。

联合国教科文组织政府间海洋学委员会（UNESCO'S Intergovernmental Oceanographic Commission, IOC—UNESCO）

政府间海洋学委员会是联合国教科文组织下属机构。其职责是促进国际合作，协调海洋研究与服务，帮助各国各机构改善海洋观测系统，增强防灾减灾能力，帮助其了解并有效管理海洋和沿海地区资源。详细信息可访问 www.ioc.unesco.org。

世界自然保护联盟（International Union for Conservation of Nature, IUCN）

世界自然保护联盟关注全球范围内的环境和发展问题，提供以自然为本的有效解决方案。世界自然保护联盟重视和保护自然、保障其有效利用和公平治理，为全球气候变化、粮食和发展等问题提供基于自然的解决方案。详细信息可访问 www.iucn.org。

封面: © KEITH A. ELLENBOGEN; 封底: © TROND LARSEN, CI

^① 译者注。

主编

Jennifer Howard——保护国际
Sarah Hoyt——美国杜克大学
Kirsten Isensee——联合国教科文组织政府间海洋学委员会
Emily Pidgeon——保护国际
Maciej Telszewski——波兰科学院海洋研究所

主要作者

James Fourqurean——美国佛罗里达国际大学
Beverly Johnson——美国贝茨学院
J. Boone Kauffman——美国俄勒冈州立大学
Hilary Kennedy——英国班戈大学
Catherine Lovelock——澳大利亚昆士兰大学
J. Patrick Megonigal——美国史密森尼环境研究中心
Abdullah (Faiz) Rahman——美国德克萨斯大学泛美分校
Neil Saintilan——澳大利亚新南威尔士环境和遗产署
Marc Simard——加州理工大学喷气推进实验室

共同作者

Daniel M. Alongi——澳大利亚海洋科学研究所
Miguel Cifuentes——哥斯达黎加热带农业研究和高等教育中心 (CATIE)
Margareth Copertino——巴西格兰德河大学基金会 (FURG)
Steve Crooks——美国环境科学学会 (ESA)
Carlos Duarte——西班牙地中海高级研究所 (IMEDEA, CSIC-UIB)、澳大利亚西澳大学
Iginio Emmer——西尔维斯特气候联营公司
Miguel Fortes——菲律宾大学
Chandra Giri——美国地质调查局
Dorothee Herr——世界自然保护联盟
Andreas Hutahaean——印度尼西亚海洋和渔业研究开发机构
James Kairo——肯尼亚海洋与渔业研究所
Daniel Laffoley——世界自然保护联盟
Núria Marbà——西班牙地中海高级研究所 (IMEDEA, CSIC-UIB)
James Morris——美国南卡罗来纳大学
Daniel Murdiyarto——国际林业研究中心
Marco Quesada——保护国际
Peter Ralph——澳大利亚悉尼科技大学
Oscar Serrano——澳大利亚埃迪斯科文大学、西澳大学
Jorge Luis Valdes——联合国教科文组织政府间海洋学委员会
Tonny Wagey——印度尼西亚海洋事务和渔业部

中文版译者

陈鹭真——厦门大学
卢伟志——国家海洋环境监测中心
林光辉——清华大学

中文校对者

唐剑武——美国芝加哥大学海洋生物实验室

译者序

“蓝碳”的概念来自联合国环境规划署2009年发布的《蓝碳报告》，特指那些固定在红树林、盐沼和海草床等生态系统中的碳。它们对缓解全球气候变暖、减少温室气体的排放将起到至关重要的作用，也是“减排”之外的一条可行路径。

《滨海蓝碳——红树林、盐沼、海草床碳储量和碳排放因子评估方法》是由保护国际基金会（CI）、世界自然保护联盟（IUCN）、联合国教科文组织政府间海洋学委员会（IOC-UNESCO）共同发起写作的。它是一本用于指导“蓝碳”监测和评估的工作手册，是“蓝碳”领域最具影响力的国际计划。它在2014年面世。很荣幸，我们在2016年获得保护国际基金会的授权，翻译和出版中文版《滨海蓝碳——红树林、盐沼、海草床碳储量和碳排放因子评估方法》。

我国是世界上少数几个同时拥有这三大蓝碳生态系统的国家之一，发展蓝碳的潜力巨大。近年来，我国在相关领域的科学研究、项目实施和政策指定等方面的投入不断增加。我们希望这本译著能为我国滨海蓝碳监测和评估工作提供借鉴。

在翻译过程中，得到了众多同仁给予的宝贵意见。在此，我们致以诚挚的谢意！感谢参与本书的翻译、校对和整理工作的顾肖璇、彭聪姣、赵何伟、徐炼、冯虹毓、江小芳、郑扬帆、董滢、胡娜胥、林秋莲和洪秋芸！感谢陈长平博士、闫静博士、陈能汪博士、李扬帆博士和邱广龙博士对本书的翻译提出的宝贵意见！最后，衷心感谢保护国际基金会Jennifer Howard博士、Jorge Ramos博士和Emily Pidgeon博士对本译著的支持和帮助！

本书的翻译和出版得到了国家自然科学基金面上项目（41476071）、国家重点研发计划科技基础资源调查专项（2017FY100703）、国家自然科学基金青年项目（31600338）和国家滨海湿地监测中心建设项目的共同资助。

陈鹭真 卢伟志 林光辉
2018年8月

缩写列表

A

AGEDI	阿布扎比全球环境数据倡议
ArcView	ArcGIS桌面页面
Arc	二维平面上可微曲线的闭合段
ASF	阿拉斯加卫星设备

B

<i>B</i>	生物量
----------	-----

C

C	碳
CaCO ₃	碳酸钙
CDM	清洁发展机制
CGIAR	国际农业研究协商小组
CH ₄	甲烷
CHN analyzer	碳、氢和氮元素分析仪
CI	置信区间
CI	保护国际基金会
CIFOR	国际林业研究中心
CO ₂	二氧化碳
C _{org}	有机碳

D

D_{30}	树干主茎离地面30 cm的直径
DAAC	NASA分布式主动归档中心
D_{base}	树干主茎基部的直径
DBD	干容重密度
dbh	胸径
DEM	数字高程地图
DIC	溶解性无机碳
D_{max}	树干主茎最大直径
D_{top}	树干主茎顶端直径

E

ECU	澳大利亚埃迪斯科文大学
Eqn	方程式

Equiv	当量
ESRI	美国环境系统研究所
EVI	增强型植被指数

F

FIU	美国佛罗里达国际大学
FURG	巴西格兰德河大学基金会

G

GHG	温室气体
GIS	地理信息系统
GLAS	地理科学激光测高系统
GPS	全球定位系统

H

H	水平横波
H	高度
H	氢
H_2O_2	过氧化氢
HCl	氯化氢
HH	水平发射、水平接收波
H_{max}	最大高度
HV	水平发射、垂直接收波

I

ICESat	冰云和陆地高程卫星
ID	编号
IITA	国际热带农业研究所
IOC	政府间海洋学委员会
IPCC	政府间气候变化专门委员会
IUCN	世界自然保护联盟

J

JAXA	日本宇宙航空研究开发机构
------	--------------

K

KIOST	韩国海洋科学与技术研究所
KKP	印度尼西亚海洋和渔业研究开发机构

L

LCCS	联合国土地覆盖体系
LPDAAC	陆地进程分布式活动存档中心
ln	自然对数
LOI	灼烧失重法

M

MH	系统的水平标志层
MODIS	中分辨率成像光谱仪

N

n	次级样方的数量
N	氮
N_2	氮气
N_2O	氧化亚氮
NASA	美国国家航空航天局
ND	无数据
NDVI	归一化植被指数
NSIDC	美国国家冰雪数据中心

O

O	氧
OEHSW	澳大利亚新南威尔士环境和遗产署
ORNL	美国橡树岭国家实验室
OSU	美国俄勒冈州立大学

P

ρ	木材密度
PALSAR	相控阵L波段合成孔径雷达
PCA	主成分分析
PVC	聚氯乙烯

Q

QMD	断面积平均木直径
-----	----------

R

R^2	回归方程的确定系数
RAE	“美国河口恢复”机构

REDD	减少森林砍伐和森林退化的排放
RFDI	雷达森林退化指数

S

SAR	合成孔径雷达
SCUBA	自携式水下呼吸装备
SD	标准差
SERC	美国史密森尼环境研究中心
SET	地表高程测定系统
SRTM	航天飞机雷达地形测绘任务
STS	美国国家航空和航天局空间运输系统
SWBD	航天飞机雷达地形测绘任务水体数据

T

T	温度
T_1	第一次测量
T_2	第二次测量
TanDEM-X	加载TerraSAR-X 的数字高程测量仪
th	树高

U

UNEP	联合国环境规划署
UNESCO	联合国教科文组织
USD	美元
USGS	美国地质调查局
UTS	澳大利亚悉尼科技大学
UW	美国威斯康辛大学
UWB	英国威尔士班戈大学

V

V	垂直的横向波
VCS	验证碳排放标准
VH	垂直发射、水平接收波
VI	植被指数
VV	垂直发射、垂直接收波

W

WCMC	世界保护监测中心
W	冠幅

单位和符号列表

atmos	大气压
°C	摄氏度
cm	厘米
cm ³	立方厘米
e	欧拉数, 约为2.718 28
h	时
ha	公顷 (10 000平方米)
g	克
K	开尔文
kg	千克
L	升
m	米
m ²	平方米
Mg	兆克 (吨)
mg	毫克
min	分
mL	毫升
mol	摩尔
%	百分数
π	圆周率, 约为3.14159
\$	美元
σ	标准差
t	吨

关键词

主动遥感：遥感系统的一种。它能传输自己的能量脉冲，测定它在目标物表面与传感器之间的传播时间和脉冲强度。

活动数据：地理数据显示的某一地区的土地覆盖和利用类型。

外源碳：在一地产生、在另一地沉淀下来的碳。在蓝碳系统中，外源碳是在水动力环境中，随水流从邻近的生态系统（近海的和陆地的）中运输而来的沉积物和相关碳形态。

异速生长方程：建立容易测定的特征参数（如茎高和直径）和难以测定的特征参数（如生物量）之间的数量关系。

内源碳：在同一地点产生和沉淀的碳。在蓝碳生态系统中，这种碳由植物吸收海洋和大气中的 CO_2 而固定并转移到植物组织中，随后在植物周围的土壤中分解。

蓝碳^①：红树林、潮汐盐沼和海草床的土壤和地上活体生物量（叶片、分枝和树干），地下活体生物量（根系）及非活体生物量（凋落物和枯死木）中储存的碳。

碳排放清单：一段时间内从大气和海洋中排放或清除的碳的收支情况。政策制定者应用该清单建立跟踪排放趋势的基线，制定缓解策略和政策，并评估进展。

碳库：存储在土壤、植被、水体和大气等碳储载体中可以吸收和释放的碳。总的碳库形成碳储量。

碳储量：一定体积的蓝碳生态系统中存储的有机碳总量。碳储量包含一个或者多个碳库的碳总量。

排放因子：描述特定区域碳含量变化。这些碳含量的变化由土地面积或利用方式改变（如从红树林变成虾塘）或土地利用类型的内部变化（如海草中的营养富集）引起。

通量法：直接测量或用模型测定土壤、植被、大气和水体界面温室气体通量的方法。该方法用于估算 IPCC 提出的等级2和等级3的碳库清单。

收获-损失法：基于特定活动（如种植、排水、重新灌水和毁林）的排放因子。该方法用于估算碳储量的差异，并得到等级1和等级2的估算。排放因子数据可来自文献和国家活动数据库。

土壤无机碳：碳酸盐中的碳组分（如 CaCO_3 ）和在滨海土壤中的贝壳和珊瑚块。

^① 译者注：联合国环境规划署给出的定义，是蓝碳的狭义定义。

“IPCC碳库清单”界定的方法等级：政府间气候变化专门委员会（IPCC）确定了三个等级的碳库清单估算方法细节，进而决定不同等级碳储存清单（评估）的分辨率或准确性。

等级1：精确度和分辨率最低的等级，数据来自简化的假设和公布的IPCC的活动数据和排放因素的默认值。等级1的评估误差较大，其地上碳库的误差为 $\pm 50\%$ ，土壤碳库的误差达 $\pm 90\%$ 。

等级2：精确度和分辨率较高的等级，数据来自国家或特定地区——就已知国家而言，已知该国不同生态系统类型的平均碳储量。

等级3：精确度和分辨率最高的等级。从事这一等级的评估，要收集与每个组件生态系统或土地利用区域的碳储量相关的特定数据，不同时间里重复测量关键碳储量，以估计该地区的变化或碳通量。碳通量的估算可以通过直接野外测定或者模型得到。

红树林：天然生长在海岸环境和海湾边缘的平均海平面以上潮间带的树木、灌木、棕榈或地被蕨类植物，高度一般超过1.5 m；也指生长树木和灌木的潮汐生境。

被动遥感：遥感系统的一种，例如航空摄影成像系统。它是一种本身不带有辐射源的探测系统。在遥感探测时，它只能检测物体自身发射或自然反射的能量。

分辨率：遥感图像中的分辨率是指像素所代表的地面范围的大小。分辨率越低，像素越小；分辨率越高，图像越清晰。250 m分辨率指可以用于辨识地面上 250 m \times 250 m的物体（如用于生态系统制图的范围）。高分辨率数据，如 30 m分辨率，可以用于检测更多细节（如有助于检测水产养殖业侵占的范围）。

海草床：隶属于4个科的开花植物，均属于泽泻目。它们生长在海洋和完全盐生环境，已知的共有12属约58种。

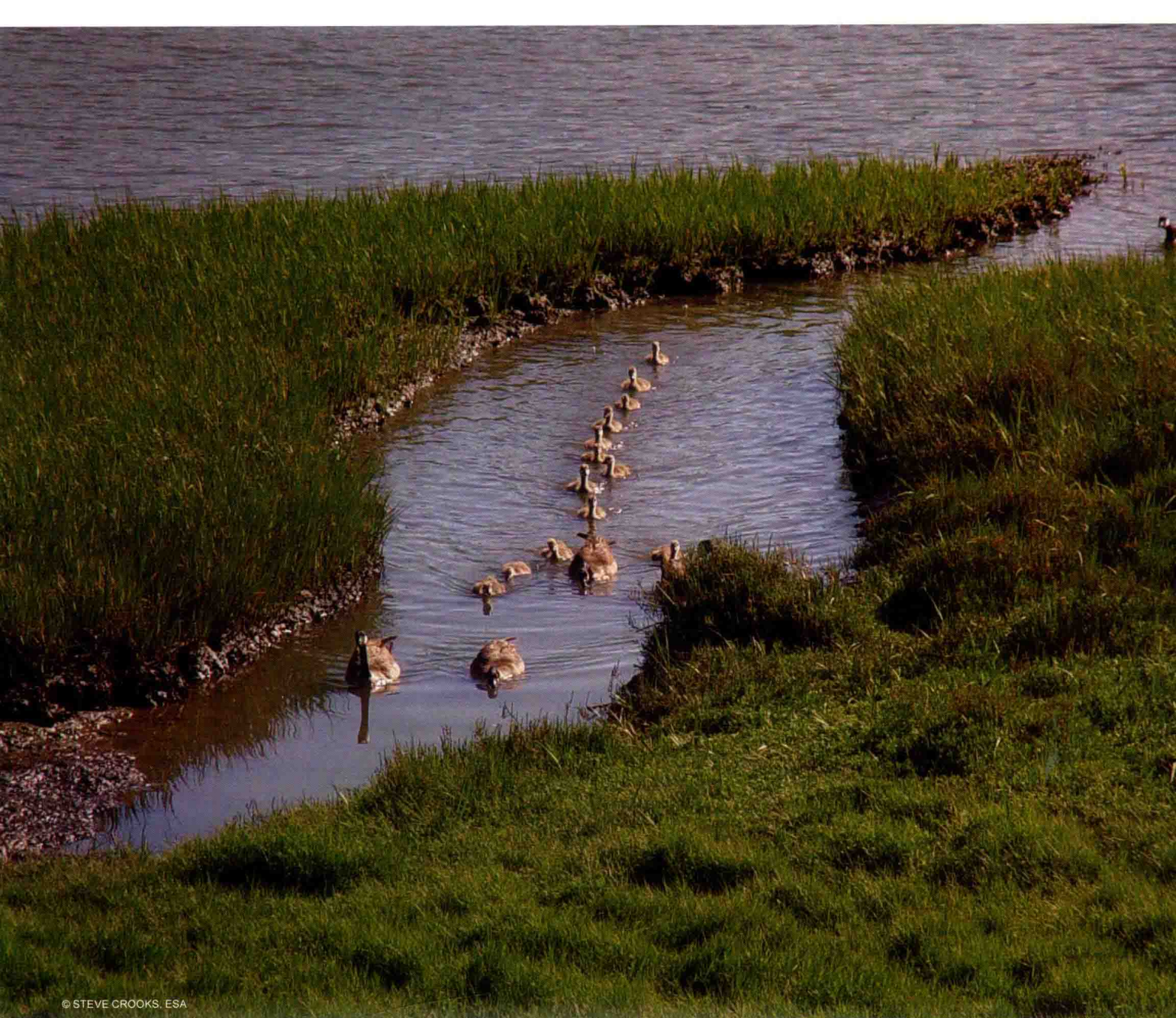
土壤有机碳：土壤有机质的碳含量组成。土壤有机碳量取决于土壤质地、气候、植被类型和历史上及现在的土地利用和管理类型。

土壤有机质：描述土壤中的有机质组成（如死的植物和动物体的未降解组织，这些物质分解的产物和土壤微生物生物量）。

储量差分法：该方法估算了在两个不同时间段测定的碳储量的差异，进而用于等级3的评估。

分层：用于划分大而具有异质性的区域（需要大量的取样来计算其中的差异）。它可以将这个区域分为一些均质的小区域（这些区域需要的样品量比较少）。在野外或因后勤问题和资源限制而无法密集取样时，使用该方法。

潮汐盐沼：陆地和被潮汐规律性淹没的开放盐水水体或者含盐水体之间的潮间带滨海系统。该区域密集生长有耐盐植物的植株，如草本植物、草地或低洼灌木丛。



© STEVE CROOKS. ESA

目录

- 1 第1章 为什么要测定碳储量
- 11 第2章 立项策划和野外测定方案制订
- 25 第3章 滨海生态系统土壤碳库的野外采样
- 53 第4章 滨海生态系统植被碳库的野外采样
- 95 第5章 估测二氧化碳排放
- 109 第6章 遥感和制图
- 123 第7章 数据管理
- 131 附录
- 159 参考文献

图片列表

图 1.1	蓝碳生态系统.....	2
图 1.2	北卡罗来纳州博福尔 (Beaufort) 的潮汐盐沼土壤样品.....	5
图 1.3	滨海湿地碳输入和输出机制.....	6
图 2.1	野外测定计划的准备步骤.....	13
图 2.2	红树林项目区域细分示例.....	14
图 2.3	红树林生态系统碳库.....	16
图 2.4	潮汐盐沼生态系统碳库.....	17
图 2.5	海草床生态系统碳库.....	18
图 2.6	样地排列策略.....	21
图 2.7	样地嵌套和聚类设计.....	22
图 3.1	陆地森林和滨海生态系统的土壤和生物量平均碳储量的比较.....	26
图 3.2	有机土和矿质土示例.....	27
图 3.3	野外土壤碳库采样常用设备.....	28
图 3.4	探测器测定土壤深度示意.....	29
图 3.5	用土钻采集土柱示意.....	32
图 3.6	海草床的土壤取样器.....	32
图 3.7	海草床土柱采样器压入示意.....	33
图 3.8	海草床土柱样品采集示意.....	33
图 3.9	采样时可能发生的土壤压缩现象示意.....	34
图 3.10	沿土柱剖面径向切开保存土柱和二次取样示意.....	35
图 3.11	水分饱和或松散的土柱示意.....	36
图 3.12	使用预先钻孔的土壤采样器和切割过的塑料注射器采集土柱示意.....	37
图 3.13	两种可供选择的土柱采样方法.....	38
图 3.14	土柱二次取样方法.....	39
图 3.15	开放式土钻采集土柱示意.....	39
图 3.16	样品单独放入预先编号的容器.....	40
图 3.17	注射器中样品挤取和烘干准备示意.....	41
图 3.18	土壤样品置于干燥器中冷却至室温.....	42
图 3.19	三个潮汐盐沼采样点土柱样品的容重剖面.....	42
图 3.20	土壤有机碳含量最适计算方案的决策示意.....	43
图 3.21	研磨并混匀土壤样品.....	44
图 3.22	CHN 元素分析仪显示的样品燃烧后的色谱图.....	45
图 3.23	CHN 元素分析的样品制备示意.....	46
图 3.24	碳酸盐的去除示意.....	47

图 4.1	红树林的类型.....	55
图 4.2	树高差异显著的红树林植被类型.....	55
图 4.3	样方尺度选择与测定对象的关系.....	57
图 4.4	不规则树干的红树植物胸径测定示意.....	59
图 4.5	树木生物量估测值的比较.....	63
图 4.6	矮红树林的野外测定方法.....	65
图 4.7	枯立木分解状态示例.....	66
图 4.8	藤本植物.....	68
图 4.9	红树植物中的棕榈植物示例.....	69
图 4.10	呼吸根.....	71
图 4.11	用预标记的塑料袋收集落叶.....	72
图 4.12	倒木.....	73
图 4.13	木片样线调查策略示例.....	74
图 4.14	木片样线对倒木进行取样示例：应用样线相交法测定红树林倒木.....	74
图 4.15	根据海洋生态区域划分的潮汐盐沼丰度的空间分布.....	77
图 4.16	北美东北地区盐沼植被的带状分布示意.....	78
图 4.17	推荐用于潮汐盐沼的样方布设方法.....	79
图 4.18	株高测定.....	80
图 4.19	植株生物量和植株高度的异速生长方程.....	81
图 4.20	灌木的野外测定方法.....	82
图 4.21	潮汐盐沼的叶片凋落物.....	85
图 4.22	常见海草植物种类示例.....	86
图 4.23	位于巴西塞阿拉州 (Ceara) 的海草床的生物量和土壤柱状样品取样.....	88
图 4.24	川蔓草 (<i>Ruppia maritime</i>) 的地上和地下生物量.....	88
图 4.25	附生生物.....	89
图 4.26	附生生物的去除和处理.....	90
图 5.1	建立土壤体积的参考基准点.....	97
图 5.2	沉积和侵蚀对土壤样品的影响.....	99
图 5.3	SET-MH方法示意.....	99
图 5.4	土壤表面由于浅部下沉或者侵蚀而造成的碳损失示意.....	101
图 5.5	静态箱示意.....	105
图 5.6	静态箱中的 CH ₄ 气体组成.....	106
图 6.1	分辨率大小对同一区域视觉外观的影响.....	111
图 6.2	Landsat-8 数据图像示例.....	112
图 6.3	MODIS 数据图像示例.....	114
图 6.4	SRTM 高程数据的伪彩色图像示例.....	115
图 6.5	PALSAR 图像数据示例.....	116

图 6.6	遥感图像的处理步骤.....	118
图 6.7	2000 年全球红树林分布图（应用 30 m 分辨率 Landsat 卫星数据 解析）.....	120
图 7.1	拍照监测的位置示意.....	127
图 7.2	数据记录表示例.....	128
图 D1	帕劳共和国红树林土壤样品通过灼烧失重法获得的有机质含量（%） 和通过干烧法获得的有机碳含量（%）的相关关系.....	147
图 D2	美国缅因州潮汐盐沼土壤样品通过灼烧失重法获得的有机质含量（%） 和通过干烧法获得的有机碳含量（%）.....	148
图 D3	海草床土壤样品通过灼烧失重法获得的有机质含量（%）和通过 干烧法获得的有机碳含量（%）.....	149