



Molecular Ecology of Mangroves

· 生态学研究 ·

红树林分子生态学

王友绍 著

By Wang Youshao



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

红树林分子生态学

Molecular Ecology of Mangroves

王友绍 著

By Wang Youshao

科学出版社

北 京

内 容 简 介

红树林分子生态学是海洋生态学中一门新的交叉学科,由分子生物学、海洋生态学、植物学等多学科交叉产生。本书将分子生物学的原理和技术贯穿始终,以实验室模拟全球环境变化为主要手段,并结合海洋学和生态学的原理与方法,较系统地阐明了污染(重金属、多环芳烃)、低温、干旱等环境变化条件下红树林生态系统中固氮微生物的群落结构特征,以及红树植物金属硫蛋白基因、几丁质酶基因、*C4H* 基因、*ADH* 基因、*CBF* 基因的表达与调控机制,从分子水平揭示了全球环境变化条件下红树林生态系统的变化过程及其维持机制,从整体和动态的视角阐明了红树林除具有“三高”(高生产力、高归还率、高分解率)特性外,还具有高抗逆性。全书图文并茂,内容深入浅出,是一本全面介绍全球环境变化条件下我国红树林分子生态学研究的教科书和参考书。

本书可供环境科学、海洋科学、生态学、植物学等相关专业的科技工作者、高年级本科生、研究生,以及相关管理和生产部门的工作人员阅读参考。

审图号: GS (2019) 3833 号

图书在版编目(CIP)数据

红树林分子生态学/王友绍著. —北京: 科学出版社, 2019.8
ISBN 978-7-03-061464-3

I. ①红… II. ①王… III. ①红树林—分子生物学—生态学—研究
IV. ①S718.54

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 106411 号

责任编辑: 王海光 郝晨扬 / 责任校对: 严 娜

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 刘新新

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>

北京汇瑞嘉合文化发展有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019 年 8 月第一次印刷 印张: 32 1/4

字数: 760 000

定价: 398.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

作者简介



王友绍 博士，1962年生，教授、博士生导师，国家重点研发计划项目（国家科技基础资源调查专项）首席科学家。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年在中国农业大学生物学院从事博士后研究；2006年和2009年两次作为访问学者在美国斯克里普斯海洋研究所学习。2000年至今在中国科学院南海海洋研究所工作，现

任中国科学院大亚湾海洋生物综合实验站（即广东大亚湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站）站长。兼任国家科学技术进步奖评审专家、国家重点研发计划项目评审专家、国家自然科学基金委员会评审专家，中国海洋湖沼学会生态学会理事、中国生态学会红树林生态专业委员会副主任，美国生态学会会员、美国科学促进会会员。长期从事海洋生态环境与生物资源研究，在河口海湾生态环境与监测、微生物多样性与生态维持机制、红树林生理生态与分子生态学机制方面获得了较为丰富的成果，建立了“计量海洋生态学”的理论体系和“红树林生态系统评价与修复技术”体系。先后主持国家重点研发计划项目、国家908专项、国家自然科学基金重点项目等40多项科研项目。在国内外重要学术刊物上发表研究论文200余篇，其中SCI收录论文150余篇，独立出版专著3部，获授权专利12项。1997年获“中国科学院院长奖学金”优秀奖、“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，2011年被评为“中国科学院优秀研究生指导教师”；2002年、2007年和2015年分别获山东省科学技术进步奖三等奖、国家科学技术进步奖二等奖和广州市科学技术进步奖一等奖各一项；2010年获Elsevier“2005~2010年度中国学者环境科学类杂志最高引用奖”，2011年、2012年、2017年获国际埃尼奖（Eni Award）提名。

序

红树林是生长在热带、亚热带地区海岸潮间带,受周期性潮水浸淹,以红树植物为主体的常绿灌木或乔木组成的潮滩湿地木本生物群落。红树林生态系统的净初级生产力高达 $2000\text{gC/m}^2\cdot\text{a}$, 具有高强度的物质循环、能量流动及丰富的生物多样性。红树林主要分布在南、北半球 25°C 等温线以内,在 100 多个国家和地区有分布,全球约有 1700 万 hm^2 , 中国约 2.2 万 hm^2 。红树林已成为国际海洋科学研究的前沿性内容之一,特别是在全球变化的挑战下红树林生态学及其生物资源保护研究。

红树林分子生态学是分子生物学和海洋生态学、植物学多学科交叉研究产生的一门新兴学科,《红树林分子生态学》一书的出版,对于国内外红树林生态学的科研与教学具有重要的科学意义和实践意义。该书以分子生物学的原理和技术贯彻始终,以实验室模拟全球环境变化(污染、低温、干旱等)为主要手段,并结合海洋学与生态学的原理与方法,较系统地阐述了重金属、多环芳烃、低温和干旱条件下红树林中生态系统(微生物、红树植物)的生理生化特征及其分子生态学机制。书中证实了红树林金属硫蛋白基因、几丁质酶基因参与抗重金属的表达和调控,从生理和分子水平上揭示了抗氧化酶系统、金属硫蛋白基因和几丁质酶基因在红树林抗重金属中的调控机理,解决了长期困扰海洋生态学家有关红树林抗污染机理的问题;书中还介绍了红树植物 *CBF/DREB* 基因参与低温、高盐、干旱等多种胁迫交叉响应的信号转导,为研究红树林应对全球气候变化的机制奠定了基础。该书第一章还介绍了我国科技工作者发现的一个红树植物新记录种——拉氏红树(*Rhizophora × lamarckii*)和一个新种——钟氏海桑(*Sonneratia zhongcairongii* Y.S. Wang & S.H. Shi),至此,我国天然红树植物已达 21 科 25 属 38 种,包括真红树植物 11 科 15 属 26 种,半红树植物 10 科 10 属 12 种。内容非常丰富、翔实。

该书以全新的视野,从分子水平上揭示了全球气候变化下红树林生态变化过程及其维持机制,从整体和动态的视角阐明了红树林除具有“三高”(高生产力、高归还率、高分解率)特性外,还具有高抗逆性的新观点。该书是国际上第一部较为系统地介绍红树林分子生态学研究的专著,在红树林生态学与保护研究方面具有较高的造诣,是对我国红树林生态系统进行多年野外考察与研究的基础上完成的,也是著者王友绍及其团队多年辛勤工作的结晶。该书将有助于读者深入了解红树林生态系统动态变化过程与演变机制,并为我国红树林生态系统的保护、恢复及其可持续发展提供科学理论依据。

真诚希望该书的出版能对红树林生态学的研究与发展起到一定的推动作用。



中国工程院院士

2019 年 6 月 16 日

前 言

海洋生态学是研究海洋生物与海洋环境之间相互关系的科学,它是生态学的一个分支,也是海洋生物学的主要组成部分。通过研究海洋生物在海洋环境中的繁殖、生长、分布和数量变化,以及生物与环境的相互作用,阐明生物海洋学的规律,为海洋生物资源的开发、利用、管理,以及保护海洋环境和生态平衡等提供科学依据。

不同学科的交叉与融合是当今自然科学发展的趋势,海洋生态学也不例外,对其研究更需要多学科交叉与融合,通过将分子生物学的原理与技术应用于海洋生态学研究,形成了海洋生态学新的分支学科——海洋分子生态学;同样,红树林分子生态学作为分子生物学和海洋生态学、植物学等多学科交叉研究而产生的一门新兴学科也是如此。海洋分子生态学已成为当前国际生态学研究热门课题之一,特别是近年来伴随分子生物学技术的飞速发展和计算机分析技术的日臻完善,海洋分子生态学研究得到了迅速发展。

分子生态学始于20世纪80年代中期,海洋分子生态学的诞生与陆地研究基本同步(始于20世纪80年代末期,1992年 *Molecular Ecology* 在英国正式创刊)。与国际上的研究相比,我国的相关研究并不落后,尤其在近几年得到迅速发展。本书的结构雏形始于2004年作者主持了中国科学院知识创新工程重要方向项目“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”,当时受康乐院士、李季伦院士、林鹏院士(已故)等专家的鼓励和支持,团队开始进行红树林分子生态学方面的研究工作,2006年作者初次以访问学者的身份去美国斯克里普斯海洋研究所(Scripps Institution of Oceanography)时,得到Ray F. Weiss、B. Greg Mitchell、Farooq Azam等教授的鼓励和支持,我们的团队开始拓展在海洋分子生态学和计量海洋生态学方面的研究工作,并于2009年第二次去该研究所访问时完成了《红树林分子生态学》的整体编写框架。本书是在对我国红树林10多年野外考察与研究的基础上完成的(也包括部分东南亚国家的考察工作),张凤琴、董俊德、孙福林、彭亚兰、王丽英、关贵方、宋晖等多位同学在攻读博士、硕士学位期间参与了相关工作,且绝大部分成果已经以论文的形式在国内外公开发表。

红树林生态系统是由生长在热带海岸泥滩上的红树科植物(常绿灌木或乔木)与其周围环境共同构成的生态功能统一体。我国红树林面积在历史上曾达25万 hm^2 。20世纪50年代为4万 hm^2 左右。1981~1986年全国海岸带和海涂资源综合调查结果表明,全国红树林面积为1.7万 hm^2 。2001年由国家林业局组织的全国湿地调查结果表明,全国红树林面积为22 680.9 hm^2 ,仅为20世纪50年代初的47%,其中海南减少了62%,广东减少了57%,广西减少了48%。近40年来,由于围海造田和以发展滩涂养殖业为目的的大规模围垦,我国沿海地区累计丧失滨海滩涂湿地约219万 hm^2 ,大约相当于沿海湿地面积的50%,与红树林被破坏情况相当。根据2010年出版的《世界红树林地图集》(*World Atlas of Mangroves*)和联合国粮食及农业组织(FAO)2007年的统计数据,全球红树林面积约为17 075 600 hm^2 ,

分别占全球森林总面积 (37.79 亿 hm^2) 的 4.5‰ 和热带雨林面积 (19.37 亿 hm^2) 的 8.8‰, 中国红树林面积仅占世界红树林面积的 1.3‰。自 1980 年以来, 全球约 1/5 的红树林已经消失, 且正以每年 7% 的速度继续消失, 是陆地森林退化速度的 2~3 倍, 海水养殖和海岸滩涂开发将对红树林造成进一步破坏, 并导致严重的经济影响及生态退化。

为应对全球变化, 世界各国积极开展对沿海红树林的研究与保护, 但一方面面临人类活动的强烈干扰, 即红树林污染、人为破坏及不合理的开发和利用; 另一方面还要面对全球气候变暖、海平面上升及经常性极端气候灾害等问题的挑战。在人类活动和全球气候变化的双重影响下, 我国红树林处于大规模、长时间持续衰退中, 虽然近年来有所好转, 但红树林对自然灾害的应变能力大为下降。就目前而言, 对于全球环境变化条件下红树林的分子生态学机制并不清楚, 这阻碍了红树林生态系统的保护, 制约了海洋经济和生态文明的发展。

考虑到本书主要以学术研究为主, 读者可能有高年级本科生和研究生, 因此书中内容将以循序渐进的方式展现给读者。第 1 章简要介绍了我国红树林概况, 第 2 章介绍了分子生态学基础知识和海洋分子生态学内涵, 第 3 章介绍了我国红树林生态系统中固氮微生物群落结构特征, 第 4 章和第 6 章阐述了在重金属胁迫下红树林生态系统中红树植物生理生态特征及其分子生态学机制, 第 5 章介绍了在有机污染物胁迫下红树植物生理生化特征及其分子生态学机制, 第 7 章和第 8 章阐述了在低温和干旱胁迫下红树林生态系统中红树植物生理生化特征及其分子生态学机制。读者可以通过典型实例研究逐步了解在全球环境变化下红树林生态系统动态变化过程及其维持机制的奥秘。本书以全新的视野, 从整体和动态的视角阐明了红树林除具有“三高”(高生产力、高归还率、高分解率) 特性外, 还具有高抗逆性的新观点。真诚希望本书的出版能对红树林生态学的研究与发展起到一定的推动作用。

本书自开始撰写到完成历时 10 年, 得到国家重点研发计划项目(国家科技基础资源调查专项)(2017FY100700)、国家自然科学基金重点项目(41430966)、国家自然科学基金面上项目(41876126、41176101、41076070 和 41106103)、广州市科技计划项目(201504010006)、中国科学院 A 类战略性先导科技专项(XDA13010500、XDA13020503 和 XDA23050200)、中国科学院国际伙伴计划项目(133244KYSB20180012)、中国科学院科技服务网络(STS)计划项目(5211449)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZSX2-SW-132、KSCX2-YW-Z-1024 和 KSCX2-EW-G-12C)、“十一五”国家科技支撑计划重点项目(2009BADB2B06 和 2012BAC07B0402)等的资助。本书涉及的研究内容还得到了广东湛江红树林国家级自然保护区管理局、广西山口红树林国家级自然保护区管理局、福建漳江口红树林国家级自然保护区管理局、广东内伶仃-福田国家级自然保护区管理局、广西红树林研究中心等单位的大力支持。在此表示最诚挚的谢意!

由于作者水平有限, 书中难免存在不足之处, 敬请各位读者批评指正。

王友绍

2019 年 1 月 20 日

目 录

第 1 章 中国红树林概况	1
1.1 中国红树林植物种类组成、外貌结构和演替特征	15
1.2 红树林的生理生态特点与生态、社会、经济意义	23
1.3 中国红树林生态系统的物种多样性	39
参考文献	58
第 2 章 海洋分子生态学基础	62
2.1 分子生态学的定义	65
2.2 分子生态学的起源和发展	66
2.3 分子生态学的内涵	70
2.4 分子生态学的研究方法	81
2.5 海洋分子生态学研究方法	86
参考文献	99
第 3 章 红树林固氮微生物群落结构特征	106
3.1 三亚红树林固氮微生物群落结构聚合酶链反应-变性梯度凝胶电泳分析	107
3.2 多环芳烃对珠江口红树林沉积物固氮细菌多样性的影响	121
参考文献	128
第 4 章 红树植物抗重金属生理生态特征及其分子生态学机理	139
4.1 国内外研究进展	139
4.2 人工复合重金属污水对两种红树植物幼苗的影响	149
4.3 两种红树植物金属硫蛋白全长 cDNA 的克隆	161
4.4 <i>kMT</i> 和 <i>bMT</i> 基因组的克隆与分析	176
4.5 <i>kMT</i> 和 <i>bMT</i> 在大肠杆菌中的表达	181
4.6 小结	189
参考文献	190
第 5 章 多环芳烃胁迫下红树植物的生理生化特征及其分子生态学机制	200
5.1 国内外研究进展	200
5.2 多环芳烃对红树植物抗氧化系统的影响	214
5.3 红树植物叶片总 RNA 提取方法的比较与优化	231
5.4 多环芳烃胁迫下红树植物抗氧化酶基因的实时定量表达	236
5.5 多环芳烃胁迫下红树植物细胞色素 P450 酶系统基因和 <i>GST</i> 基因的实时定量表达	255

5.6 多环芳烃对桐花树 <i>PPO</i> 基因和 <i>P5CS</i> 基因表达量的影响	264
参考文献	268
第 6 章 重金属胁迫下三种红树植物几丁质酶基因的克隆与表达	277
6.1 国内外研究进展	277
6.2 白骨壤 Class III 几丁质酶基因的克隆与表达	287
6.3 桐花树 Class III 几丁质酶基因的克隆与表达	307
6.4 桐花树 Class I 几丁质酶基因的克隆与表达	326
6.5 秋茄几丁质酶基因的克隆与表达	342
6.6 结论与展望	360
参考文献	361
第 7 章 红树植物对低温胁迫响应的生理生化特征及其分子生态学机制	369
7.1 国内外研究进展	370
7.2 红树植物响应低温胁迫的生理生化特征	379
7.3 桐花树中一种 <i>CBF/DREB1</i> 基因的克隆与表达	392
7.4 桐花树常用内参基因的稳定性分析	406
7.5 桐花树 <i>AcCBF1</i> 基因的克隆与表达	416
7.6 白骨壤中三种 <i>CBF/DREB1</i> 基因的克隆与表达	428
7.7 秋茄中两种 <i>CBF/DREB1</i> 基因的克隆与表达	442
7.8 木榄 <i>BgCBF1</i> 基因的克隆与表达	450
参考文献	457
第 8 章 红树植物对水分胁迫响应的生理生化特征及其分子生态学机制	466
8.1 国内外研究进展	466
8.2 干旱胁迫下两种红树植物的生理生化特征	476
8.3 两种红树植物乙醇脱氢酶基因 (<i>ADH</i>) 全长 cDNA 的克隆与表达	484
8.4 水分胁迫对两种红树植物乙醇脱氢酶基因 (<i>ADH</i>) 表达量的影响	493
8.5 结论与展望	498
参考文献	499

第1章 中国红树林概况

红树林是生长在热带、亚热带地区海岸潮间带，受周期性潮水浸淹，以红树植物为主体的常绿灌木或乔木组成的潮滩湿地木本生物群落，属于常绿阔叶林，主要分布于淤泥深厚的海湾或河口盐渍土壤。红树林素有“海底森林”之称，生物多样性丰富，是珍贵的生态资源。红树科植物通常富含单宁，其在空气中氧化后呈红褐色，而这类植物的树皮和树干被割破或砍伐后经常呈现红褐色，由此得名“红树”，由红树植物组成的森林，也自然地被称为“红树林”。红树林种类组成以红树科植物为主（植物分类学上的红树科植物），红树植物包括真红树植物（只能在潮间带生境生长的木本植物）和半红树植物（可在潮间带沿岸陆地生长，并可在潮间带形成优势种群的两栖木本植物）（图 1.1）。红树植物具有特殊的根系，可分为支柱根、板状根和呼吸根，即适应泥泞环境的红树植物，从茎基伸出拱形下弯的支柱根或宽厚的板状根，起到抗御风浪和输送氧气的作用；红树植物还具有奇特的“胎生”现象（即种子在树上果实中萌芽成小苗后，脱离母株，下坠插入淤泥中从而发育为新植株，红树植物就是通过这种方式繁衍后代、传播种子的）（图 1.2）。这一繁殖特性极为重要，对于探讨作为先锋红树植物的白骨壤（*Avicennia marina*）的拓荒性能、生殖生态、抗逆生态等具有重要的理论意义。除此之外，红树植物还有泌盐、拒盐现象和具有高的细胞渗透压。红树林为鸟类、鱼类和其他海洋生物提供了丰富的食物和良好的栖息环境，在维护和改善海湾、河口地区生态环境，防浪护岸，净化陆地径流，防治近海水域污染，维护近海渔业的稳产高产，保护沿海湿地生物多样性等方面具有不可替代的重要作用（王友绍，2013）。



图 1.1 涨潮和退潮的红树林

a. 涨潮，湛江；b. 退潮，九龙江口

全世界的红树林大致分布于南、北回归线之间，主要分布在印度洋及西太平洋沿岸，118 个国家和地区的海岸有红树林分布，面积大约为 $17\,075\,600\text{ hm}^2$ （FAO，2007）。若以子午线为分界线，可将世界红树林分成东方和西方两大分布中心：一是分布于亚洲、



图 1.2 红树植物的胎生现象（显胎与隐胎）与根系（支柱根、板状根和膝状根）

大洋洲沿岸和非洲东海岸的东方群系，以印度尼西亚的苏门答腊和马来半岛的西海岸为中心；二是分布于美洲东、西海岸和非洲西海岸的西方群系（图 1.3）。前者种类丰富，后者种类贫乏。两大类型的交界处在太平洋中部的斐济和汤加群岛。离赤道带越远，红树林越矮，最后成为灌木矮林，种类也逐渐减少。印度-马来西亚地区被认为是世界红树植物生物多样性最丰富的地区，澳大利亚为第二大红树植物生物多样性中心（王文卿和王琚，2007）。

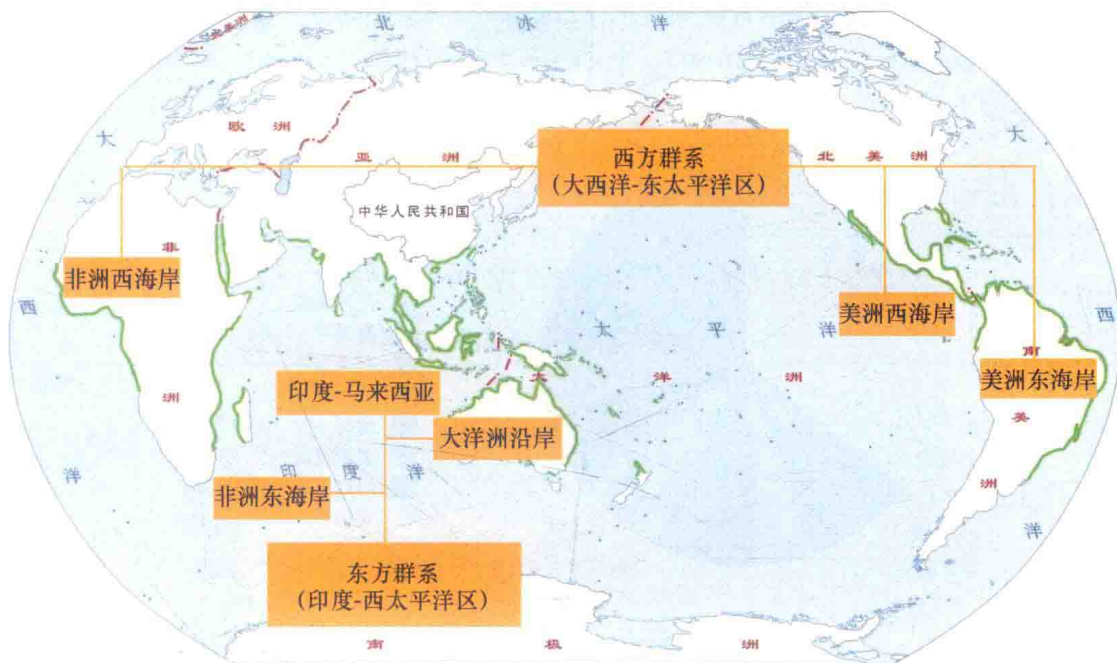


图 1.3 全球红树林分布-区系示意图

世界红树林面积前五位的国家分别是印度尼西亚（19%）、澳大利亚（10%）、巴西（7%）、尼日利亚（7%）、墨西哥（5%）（FAO，2007）（图 1.4，图 1.5，表 1.1）。世界上面积最大的红树林位于孟加拉湾，面积达 100 万 hm^2 ，其次是非洲的尼罗河三角洲，面积为 70 万 hm^2 。世界各国天然红树林及人工种植红树林见图 1.6~图 1.17。

我国红树林位于东方群系的亚洲沿岸和东太平洋群岛区（即印度-马来西亚区）的东北亚沿岸，自然分布于广东、广西、福建、海南、台湾、香港、澳门等地（林鹏，1997；王文卿和王琚，2007；王友绍，2013）。

我国红树林面积在历史上曾达 25 万 hm^2 ，20 世纪 50 年代为 4 万 hm^2 左右。人类在海岸带的不合理开发活动对红树林的破坏越来越严重，导致红树林面积不断减少；同时 2004 年印度洋海啸也给世人敲响了警钟，红树林的社会、生态、经济效益再次引起人们的关注；我国浙江、福建、广东、广西等地纷纷开展了人工种植红树林与示范区建设（图 1.18）。我国红树林自然分布于海南的榆林港（ $18^{\circ}09'N$ ）至福建福鼎的沙埕湾（ $27^{\circ}20'N$ ）之间，分布最北的红树植物是秋茄，天然分布北界是福建福鼎，红树林分布人工引种北界为浙江乐清（ $28^{\circ}25'N$ ），天然分布南界在海

南岛南岸，我国现存红树林面积约为 2.2 万 hm^2 （王文卿和王瑁，2007；王友绍，2013）（图 1.19）。

在国家科技基础资源调查专项的支持下，已发现了红树植物一个新记录种——拉氏红树（*Rhizophora* × *lamarckii*）（罗柳青等，2017）和一个新种——钟氏海桑（*Sonneratia zhongcairongii* Y. S. Wang & S. H. Shi）（图 1.20）；目前，我国天然红树植物共有 21 科 25 属 38 种，包括 11 科 15 属 26 种真红树植物（不包括从孟加拉国引种的无瓣海桑、从墨西哥引种的拉关木）和 10 科 10 属 12 种半红树植物（表 1.2，表 1.3）（王文卿和王瑁，2007；王友绍，2013）。我国台湾地区的 *Rhizophora mucronata*（台湾名为五花梨）实际应为红海榄（*Rhizophora stylosa*）、水笔仔实际应为秋茄（*Kandelia obovata*）、红茄苳实际应为木榄（*Bruguiera gymnorrhiza*）。

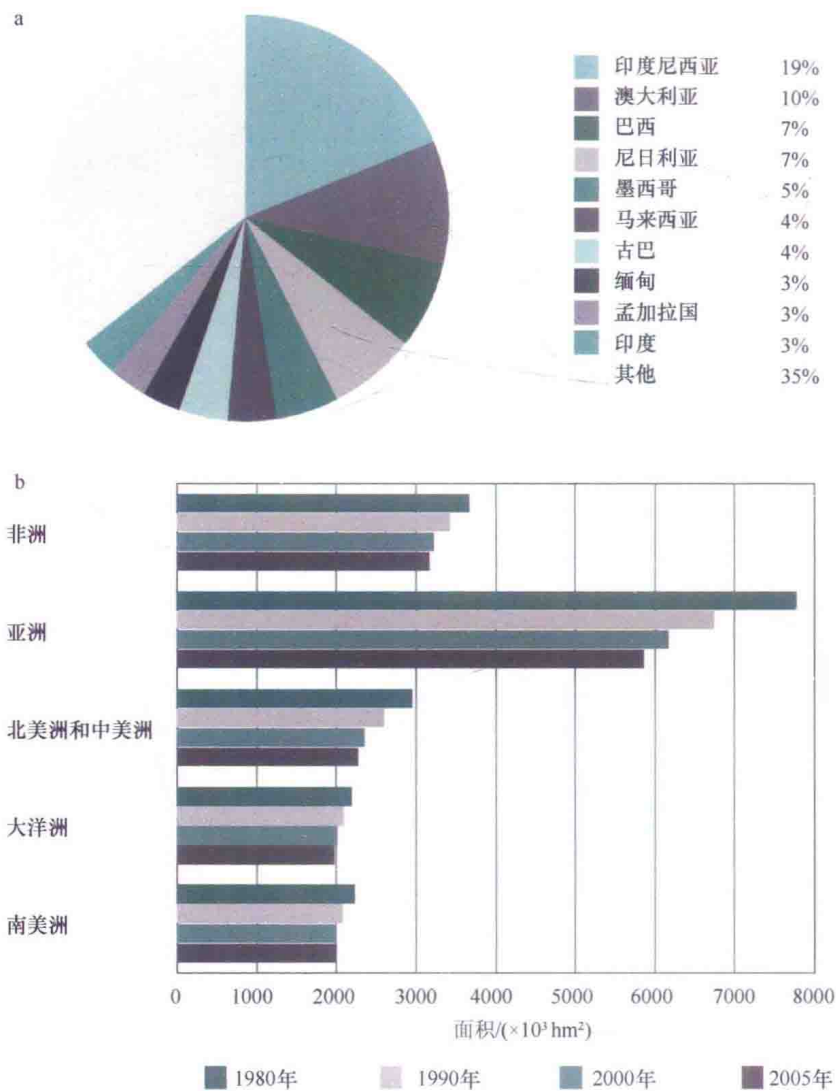


图 1.4 2005 年世界红树林的比例（a）和 1980~2005 年世界红树林面积变化（b）（FAO，2007）

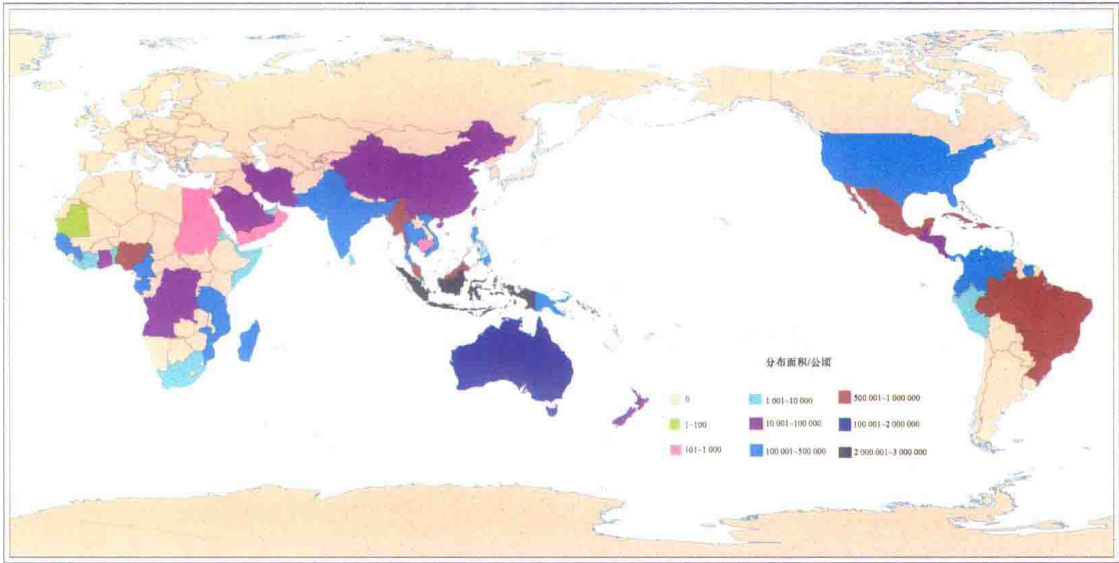


图 1.5 2005 年世界红树林面积分布示意图（改自 FAO，2007）

表 1.1 世界拥有红树林的国家、地区及岛屿（FAO，2007）

非洲		
安哥拉	加蓬	尼日利亚
贝宁	冈比亚	圣多美和普林西比
喀麦隆	加纳	塞内加尔
科摩罗	几内亚	塞舌尔
刚果	几内亚比绍	塞拉利昂
科特迪瓦	肯尼亚	索马里
刚果民主共和国	马达加斯加	南非
吉布提	毛里塔尼亚	苏丹
埃及	毛里求斯	坦桑尼亚
赤道几内亚	马约特	多哥
厄立特里亚	莫桑比克	
美洲		
安圭拉	多米尼加共和国	荷属安的列斯
安提瓜和巴布达	厄瓜多尔	尼加拉瓜
阿鲁巴	萨尔瓦多	巴拿马
巴哈马	法属圭亚那	秘鲁
巴巴多斯	格林纳达	波多黎各
伯利兹	瓜德罗普	圣基茨和尼维斯
百慕大	危地马拉	圣卢西亚
巴西	圭亚那	圣文森特和格林纳丁斯
英属维尔京群岛	海地	苏里南
开曼群岛	洪都拉斯	特立尼达和多巴哥
哥伦比亚	牙买加	特克斯和凯科斯群岛
哥斯达黎加	马提尼克	美属维尔京群岛
古巴	墨西哥	美国
多米尼克	蒙特塞拉特	委内瑞拉

续表

亚洲		
巴林	日本	沙特阿拉伯
孟加拉国	科威特	新加坡
文莱达鲁萨兰国	马来西亚	斯里兰卡
柬埔寨	马尔代夫	泰国
中国	缅甸	阿拉伯联合酋长国
东帝汶	阿曼	越南
印度	巴基斯坦	也门
印度尼西亚	菲律宾	卡塔尔
伊朗		
太平洋岛屿		
美属萨摩亚	瑙鲁	萨摩亚
澳大利亚	新喀里多尼亚	所罗门群岛
斐济	新西兰	托克劳
关岛	纽埃	汤加
基里巴斯	北马里亚纳群岛	图瓦卢
马绍尔群岛	帕劳	瓦努阿图
密克罗尼西亚	巴布亚新几内亚	瓦利斯和富图纳群岛







图 1.6 马来西亚 Kuala Gula 红树林、恢复示范区与苗圃



图 1.7 印度尼西亚巴厘岛红树林与苗圃