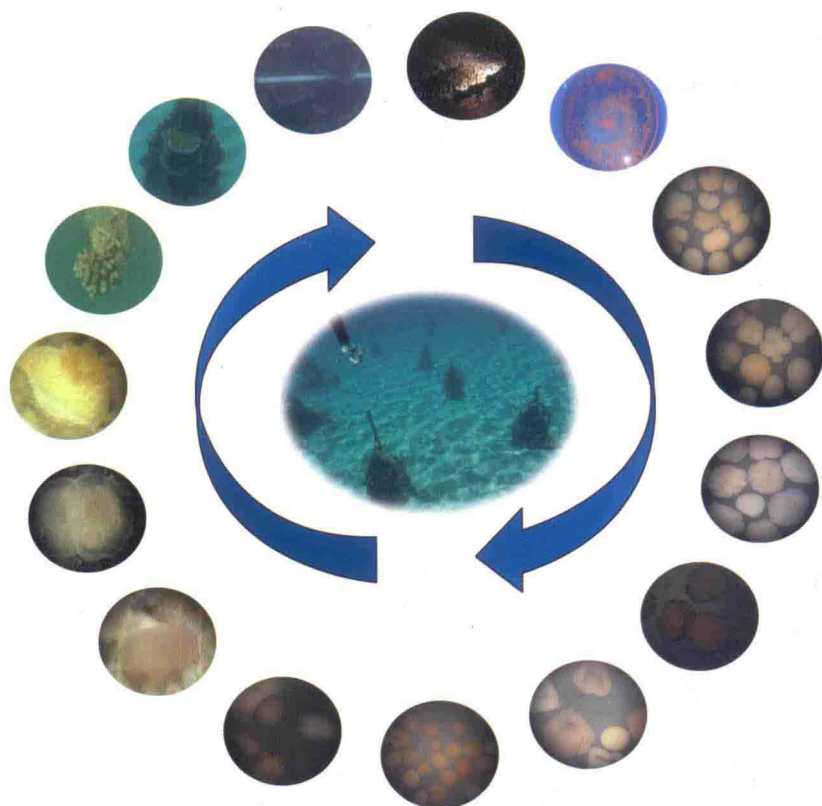


海南省教育厅高等学校科学研究重点项目（项目编号：Hnky2016ZD-4）
海南省科技厅重点项目（项目编号：ZDYF2016154）

珊瑚增殖与生态修复

李洪武 李仕平 柏程华 等 著



中国科学技术大学出版社

海南省教育厅高等学校科学研究重点项目（项目编号：Hnky2016ZD-4）
海南省科技厅重点项目（项目编号：ZDYF2016154）

珊瑚增殖与生态修复

李洪武 李仕平 柏程华 等 著



中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书介绍了海洋三大生态系统之一的珊瑚礁生态系统,主要包括各种珊瑚礁的介绍、目前珊瑚礁的脆弱生态,以及如何对珊瑚礁进行生态修复等内容。

图书在版编目(CIP)数据

珊瑚增殖与生态修复/李洪武,李仕平,柏程华,等著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2017. 12

ISBN 978-7-312-04257-7

I. 珊… II. ①李… ②李… ③柏… III. 珊瑚虫纲—研究 IV. Q959. 133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 140831 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>
<https://zgkxjssdxcs.tmall.com>
印刷 合肥市宏基印刷有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710 mm×1000 mm 1/16
印张 12.25
字数 237 千
版次 2017 年 12 月第 1 版
印次 2017 年 12 月第 1 次印刷
定价 50.00 元

前言

珊瑚礁生态系统是海洋三大生态系统之一,它在全球海洋环境中覆盖率不足 0.25%,但超过 25%的已知海洋鱼类和其他海洋生物幼年期靠珊瑚礁提供食物,以珊瑚礁为繁殖、生存场所。

珊瑚对生长环境要求很高,目前由于海洋环境的不断恶化,大面积的珊瑚已经出现了周期性的白化死亡现象。2007 年(吴钟解等)的调查显示,海南岛珊瑚礁覆盖率仅为 20 世纪 60 年代珊瑚覆盖率的 43%,维持海洋生态系统平衡的珊瑚礁面临着急速退化的危机,珊瑚修复迫在眉睫。

从 2008 年到 2016 年,我们连续 8 年采集大量珊瑚卵进行观察研究,通过对珊瑚胚胎发育过程的研究发现:珊瑚从受精卵开始发育,经过分裂期、囊胚期、浮浪幼虫期及着床后一直到珊瑚幼体形成,需要 168 小时(1 周)的时间;从幼体珊瑚发育为可产卵的成体珊瑚需要 7 年的时间。经过对珊瑚生长速率的调查,我们发现珊瑚生长速率并不慢,有些生长快的珊瑚能达到平均每年生长 10 cm,甚至更快。目前,我们已经熟练掌握了珊瑚有性繁殖和无性繁殖技术,并开展了珊瑚修复工作,积累了一定的珊瑚生态修复实践经验,移植培养的珊瑚面积达到了 6000 m² 以上,人工繁殖的珊瑚成活率在 95% 以上,成效显著,珊瑚修复技术已经成熟。基于这些研究,本书致力于把珊瑚增殖技术推广开来,让大家都能参与到珊瑚保护与修复的事业中来。

珊瑚礁退化的原因很多,其中人类活动对珊瑚礁的影响最为显著。珊瑚礁能够吸引鱼群和底栖生物,珊瑚礁海域附近的鱼类往往比较丰富。大部分渔民对珊瑚缺乏了解,经常在珊瑚礁海域附近用炸鱼、电鱼等方式捕鱼,这些捕鱼方式对珊瑚有毁灭性的破坏作用。珊瑚一旦遭受破坏,短期内无法恢复,也就失去了对鱼群的吸引力,可谓是涸泽而渔。本书可作为大众科普读物,向渔民们宣传珊瑚知识,让他们能够认识珊瑚,从而自发地保护好珊瑚。

本书最大的特点就是图文并茂,珊瑚等的图片均由作者拍摄。书中介绍的珊瑚的胚胎发育以及生态修复都是作者所在团队的原创性研究成果,特别是珊瑚修复工作,是团队全体成员群策群力,历时 39 个月(共计 1189 天)才圆满完成的。本



书的编写也是团队智慧的结晶,参与编写工作的有李洪武、李仕平、柏程华、刘建根、古倩怡、刘丽凤、师彦飞、王章义、宋莹莹、钱军、宋培学、谢杰坤、谢买胜、肖博中、殷安齐、张薇、罗颖、李袁源、丁奎瑞、朱潜、王达恒、李文军、符策鹄、任海滔、崔敏、林道明、吴天国。

本书的出版得到了海南省教育厅高等学校科学研究重点项目“海底沙滩珊瑚移植创新技术的研究”(项目编号:Hnky2016ZD-4)以及海南省科技厅重点项目“利用‘海底流沙环境珊瑚移植礁基’开展珊瑚生态系统的修复和建立”(项目编号:ZDYF2016154)的资助,在此一并致谢。

现有的一些珊瑚人工礁基,或结构复杂,或体积巨大,有些礁基的重量数以吨计,只适用于较深的海域,难以广泛普及。与之相比,我们研制的礁基具有成本低,体积适中,能抗台风、抗流沙陷埋的优点,适用于多种复杂底质的浅海海域;其结构简单,制作方法对文化水平要求不高,中学水平就能操作,有利于向全社会普及,让更多的人参与到珊瑚生态修复的行列中来。

编 者

2017年2月

目 录

前言	(i)
第一章 珊瑚礁	(1)
第二章 造礁石珊瑚	(7)
第一节 石珊瑚的成礁环境	(7)
第二节 石珊瑚的共生与捕食	(8)
第三节 珊瑚的共生群落	(9)
第四节 石珊瑚的价值	(13)
第五节 造礁石珊瑚的天敌	(16)
第六节 珊瑚的繁殖方式	(18)
第七节 大洲岛珊瑚的群落结构和分布	(34)
第三章 珊瑚生态修复	(50)
第一节 珊瑚现状	(50)
第二节 珊瑚面临的威胁	(51)
第三节 珊瑚礁海域的生态调查	(54)
第四节 珊瑚生态修复	(103)
第四章 实例一——大洲岛珊瑚海草养护与修复项目	(107)
第一节 项目概况	(107)



第二节	设置大洲岛珊瑚海草修复区与养护区界标和标牌	(109)
第三节	珊瑚生物礁的投放工作	(120)
第四节	珊瑚移植	(133)
第五节	本项目成果总结	(166)
第五章	实例二——潮汐珊瑚繁殖设施	(167)
第一节	装置研制背景及意义	(167)
第二节	装置方案设计	(170)
第三节	装置的科学与先进性	(173)
第四节	装置的创新性	(175)
第五节	装置的实际应用成果	(175)
第六节	社会效益和经济效益	(184)
结语		(186)

第一章 珊瑚礁

珊瑚礁生态系统是热带海洋中的特色生态系统,与红树林生态系统以及海草生态系统并称为海洋三大生态系统。珊瑚礁面积在海洋中不足 0.25%,但是在其上生活的海洋生物却占海洋中所有生物总数的 25%,被称为“热带海洋沙漠中的绿洲”。



图 1-1 以指状蔷薇珊瑚为主的珊瑚礁群落(摄于大洲岛后港)

珊瑚(Coral)属于腔肠动物门(Cnidaria)珊瑚纲(Anthozoa),为珊瑚虫群体或骨骼化石。珊瑚虫是一种海生圆筒状腔肠动物,白天它们从共生藻中获取营养,晚上捕食海洋里细小的浮游生物。

珊瑚虫在生长过程中能吸收海水中的钙和二氧化碳,然后分泌出石灰质外壳,进而形成骨骼化石。老一代珊瑚虫死后留下遗骸,新一代继续发育繁衍,像树木抽枝发芽一样,向高处和两旁发展。如此年复一年,日积月累,珊瑚虫分泌的石灰质骨骼,连同藻类、贝壳等海洋生物残骸胶结在一起,堆积成一个个珊瑚礁体,这就是珊瑚礁。



图 1-2 疣状杯形珊瑚 *Pocillopora Verrucosa* (摄于大洲岛后港)

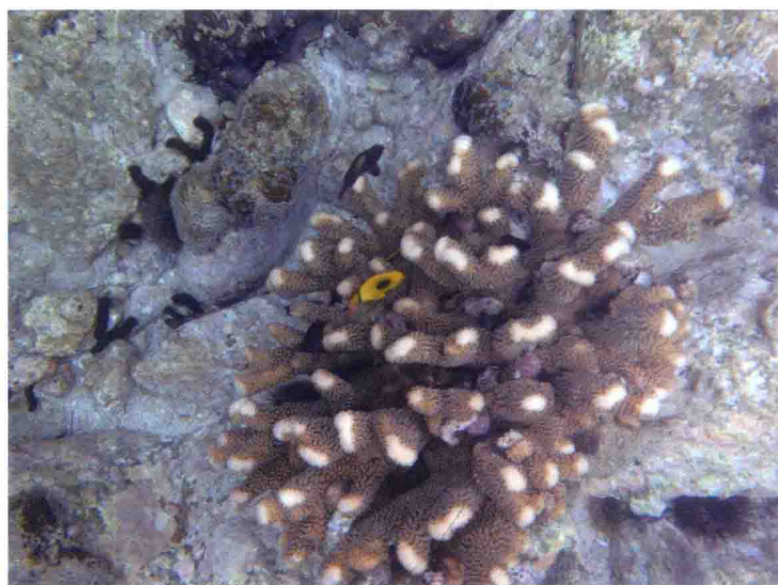


图 1-3 疣状杯形珊瑚 *Pocillopora Verrucosa* (摄于大洲岛后港)

珊瑚礁的形成过程十分缓慢,在最好的条件下,礁体每年也不过增厚 3~4 cm。但珊瑚寿命很长,太平洋里一些活珊瑚礁已有约 250 万年的历史,澳大利亚的大堡礁更有约 2500 万年历史!



图 1-4 鹿角珊瑚 *Acropora* sp. (摄于文昌云龙湾)

珊瑚礁蕴含丰富的油气资源。珊瑚礁及其潟湖沉积层中,还含有煤炭、铝土矿、锰矿、磷矿,礁体粗碎屑岩中发现有铜、铅、锌等多金属层控矿床。珊瑚灰岩可用作烧制石灰、水泥的原料。千姿百态的珊瑚可制作成装饰工艺品,不少礁区已开辟为旅游场所。



图 1-5 软珊瑚 *Alcyonacea* (摄于大洲岛后港)



图 1-6 佳丽鹿角珊瑚 *Acropora pulchra* (摄于大洲岛后港)

目前全球有造礁石珊瑚 700~1000 种,全世界珊瑚礁总面积约为 60 万 km^2 ,其中印度洋—太平洋地区(包括红海、印度洋、东南亚和太平洋)占 91.9%的面积(东南亚地区占 32.3%,太平洋地区(包括澳大利亚)占 40.8%),大西洋和加勒比海地区仅占全世界的 7.6%。



图 1-7 佳丽鹿角珊瑚 *Acropora pulchra* (摄于大洲岛后港)



图 1-8 佳丽鹿角珊瑚 *Acropora pulchra* (摄于大洲岛后港)

我国有造礁石珊瑚 192 种,珊瑚礁总面积约 3.85 万 km^2 ,相当于我国陆地面积的 0.4%。



图 1-9 鹿角杯形珊瑚 *Pocillopora damicornis* (摄于大洲岛后港)

我国珊瑚主要集中分布在南中国海的南沙群岛、西沙群岛、东沙群岛,以及台湾省、海南省周边,少量不成礁的珊瑚分布在香港、广东、广西的沿岸,从福建省东山岛到广东省雷州半岛,从台湾省北部钓鱼岛到广西壮族自治区涠洲岛。

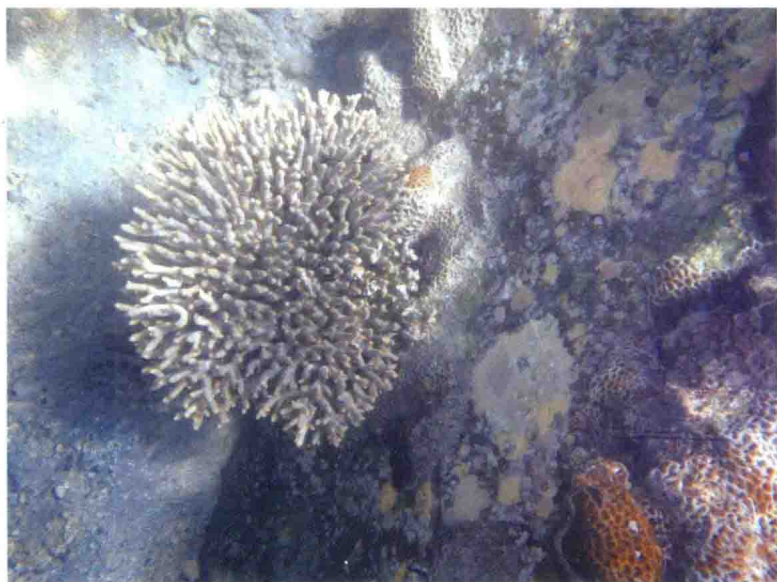


图 1-10 鹿角珊瑚 *Acropora* sp. (摄于大洲岛后港)

海南省是我国珊瑚礁生物多样性最丰富的地区。海南岛记录造礁石珊瑚 110 种,包括 5 个亚种和 10 个未定种。海南省珊瑚礁面积占全国珊瑚礁总面积的 98%。海南岛珊瑚礁分布较广,包括东部的文昌、琼海、万宁、陵水,南部的三亚,西部的东方、昌江、临高、儋州、澄迈沿岸,这些地方均有珊瑚礁及活造礁石珊瑚分布。其中东岸的万泉河口以北的琼海、文昌两市毗邻区的沿岸珊瑚礁连续分布长达 30 km,平均宽度达 4 km,是海南岛规模最大的礁区;文昌珊瑚礁的面积约 1.5 万 km^2 ,为海南岛最大珊瑚礁分布市县。

第二章 造礁石珊瑚

第一节 石珊瑚的成礁环境

造礁珊瑚对水温、盐度、水深和光照等条件都有较严格的要求。

珊瑚生长的水温一般为 $20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。海南岛和西沙群岛水温平均为 $25\sim 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，属珊瑚生长最佳水温范围，但海南岛的季节变化大，水温不稳定，对珊瑚生长有抑制作用。海南岛和台湾省的珊瑚礁被称为“高纬度珊瑚礁”。

造礁珊瑚生长在盐度为 $27\sim 40$ 的海水中，最佳盐度范围是 $34\sim 36$ 。南海盐度为 34 ，属最佳盐度范围，海南岛沿岸有淡水注入，盐度略低，为 32 左右。

7



图 2-1 粗野鹿角珊瑚 *Acropora humilis* (摄于大洲岛后港)

造礁珊瑚生长的水深范围是 $0\sim 50\text{ m}$ ，最佳水深为 20 m 以内，这实际上是与造礁珊瑚共生的虫黄藻进行光合作用所需的深度。热带光照强，时间长，平均光照率在 50% 以上，有利于珊瑚礁的发育。

迎风浪一侧珊瑚礁发育较好，新月形和马蹄形礁体的凸面是迎风迎浪的。如果风浪有季节性变化，礁体的形状会出现双马蹄形。所以根据古代礁的形态可判

断古风向。但是过强的风浪使珊瑚虫难以在基底上固着,无法形成珊瑚礁。



图 2-2 新生不久的澄黄滨珊瑚 *Porites lutea* (摄于大洲岛后港)

河流入海处,海水盐度低,泥沙含量大,浑浊度高,海水透明度低,会使珊瑚窒息而死,所以有大量泥沙入海的河口处一般不发育岸礁,如海南岛的岸礁在河口区缺失。

第二节 石珊瑚的共生与捕食

虫黄藻与造礁珊瑚共生,它吸收造礁珊瑚排出的 CO_2 ,为珊瑚虫提供钙质,形成骨骼中甲壳质(几丁质)的有机成分,它们构成一个相互依存的生态系统。



图 2-3 显微镜下观察虫黄藻

研究表明虫黄藻能够促进珊瑚骨骼钙化,加快造礁过程。虫黄藻还为珊瑚“着色”,使千姿百态的珊瑚丛呈现红、黄、蓝、棕、白等各种颜色,五彩缤纷,美丽壮观。

虫黄藻不仅负责供给珊瑚虫 O_2 和营养物。若将虫黄藻从珊瑚的身体内全部分离出来,并在人工条件下供给珊瑚 O_2 ,这时珊瑚虽然能活下来,但其骨骼得不到正常的发育。其原因在于珊瑚在代谢过程中排出大量的碳酸气(CO_2)妨碍其骨骼的增长,虫黄藻却有迅速吸收 CO_2 的功能,从而促进珊瑚骨骼的形成。

生物学家对虫黄藻直接参与珊瑚造骨的研究显示:虫黄藻在代谢过程中也排出 CO_2 ,它以 CO_3^{2-} 的形式存在,并与 Ca^{2+} 结合生成珊瑚的骨骼。钙化作用是在珊瑚外胚层中进行的,来自消化循环腔内水中的 Ca^{2+} 与 CO_2 (CO_3^{2-}) 结合生成 $CaCO_3$,它在高尔基扁囊内,然后分泌到体外,逐渐形成骨骼。

珊瑚虫可以捕食海洋中细小的浮游生物。

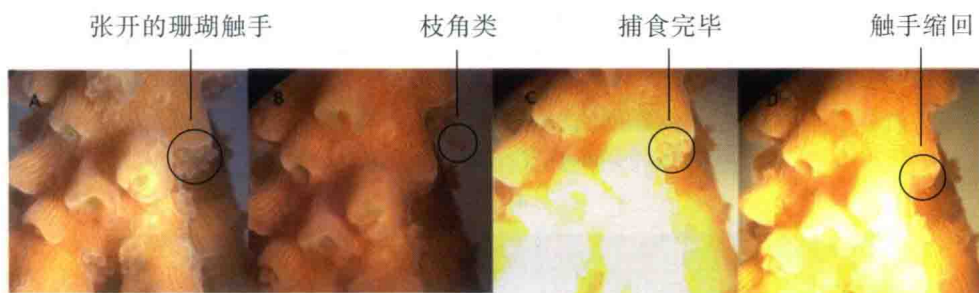


图 2-4 珊瑚捕食枝角类

第三节 珊瑚的共生群落

珊瑚礁是资源丰富的场所,生活在其中的数千种石珊瑚、海绵、多毛类、瓣鳃类、马蹄类、宝贝、海龟、甲壳动物、海胆、海星、海参、珊瑚藻和鱼类等构成一个生物多样性极高的顶级生物群落。

珊瑚礁生物群落是由造礁珊瑚和造礁藻类形成的珊瑚礁以及丰富多样的礁栖动物和植物共同组成的集合体。珊瑚礁生物群落种类丰富、形态多样、生命活动旺盛,是其他海洋生物群落无法与之相比的热带浅海特有的生物群落。



图 2-5 小丑鱼和它们的巢(摄于大洲岛后港)



图 2-6 小丑鱼和它们的巢(摄于大洲岛后港)