

世界珊瑚礁现状和威胁研究进展*

A Review of Current Status of Coral Reefs and Their Threats in the World

张乔民¹, 赵美霞¹, 王丽荣¹, 李淑¹, 施祺¹, 余克服^{1,2,3,4**}

ZHANG Qiaomin¹, ZHAO Meixia¹, WANG Lirong¹, LI Shu¹, SHI Qi¹,

YU Kefu^{1,2,3,4}

(1. 中国科学院南海海洋研究所, 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室, 广东广州 510301; 2. 广西大学海洋学院, 广西南宁 530004; 3. 广西南海珊瑚礁研究重点实验室, 广西南宁 530004; 4. 广西大学珊瑚礁研究中心, 广西南宁 530004)

(1. CAS Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong, 510301, China; 2. School of Marine Sciences, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 3. Guangxi Laboratory on the Study of Coral Reefs in the South China Sea, Nanning, Guangxi, 530004, China; 4. Coral Reef Research Center of China, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China)

摘要: 鉴于珊瑚礁巨大的价值和面临全球气候变化严峻的威胁, 珊瑚礁退化和发展前景一直是珊瑚礁研究的最中心议题。人类活动和气候变化已经导致珊瑚礁全球性衰退损失 40%~50%。1998 年全球珊瑚礁严重白化和 2015—2017 年延时最长全球珊瑚礁白化事件, 一再证实全球变暖已经成为珊瑚礁可持续发展的主要威胁, 现在扭转导致海洋水温升高的全球变暖的趋势是保护珊瑚礁的唯一希望。由科学家和慈善机构发起的 2011 年 XL Catlin 海景调查和 2017 年 50 礁倡议成为珊瑚礁管理保护的创新举措。但仍然需要更多的人认识珊瑚礁, 热爱珊瑚礁, 研究珊瑚礁, 保护珊瑚礁。

关键词: 珊瑚礁 全球变化 珊瑚礁白化 XL Catlin 海景调查 50 礁倡议 综述

中图分类号: P748 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2017)05-0435-06

Abstract: In view of the great value of coral reefs and the threat of global climate change, the degradation and prospect of coral reefs have been the most central issues in the study of coral reefs. Human activity and climate change have led to a global decline in coral reefs by 40%—50%. The severe global coral reef bleaching in 1998 and the world's longest coral bleaching in 2015—2017, repeatedly confirmed that the global warming had already become a major threat to the sustainable development of coral reefs, and the protection of coral reefs depended only on delaying the seawater temperature rises caused by the global warming. The 2011 XL Catlin Seaview Survey and the 2017 50 Reefs Initiative sponsored by scientists and charities became the innovative measures for coral reef management and protection. But it still need more people to recognize coral reefs, to love coral reefs, to study coral reefs, and to protect coral reefs.

Key words: coral reefs, global change, coral reef bleaching, XL Catlin Seaview Survey, 50 Reefs Initiative, review

收稿日期: 2017-06-12

作者简介: 张乔民(1942—), 男, 研究员, 主要从事珊瑚礁, 红树林热带生物海岸现代过程研究, E-mail: qmzhang@scsio. ac. cn.

* 国家重大科学研究计划课题(2013CB956102)和国家自然科学基金项目(41025007, 41106075, 41306109)资助。

** 通信作者: 余克服(1969—), 男, 教授, 主要从事珊瑚礁地质与生态环境研究, E-mail: kefuyu@scsio. ac. cn.

珊瑚礁是热带、亚热带潮下浅海区造礁石珊瑚群落及其原地碳酸盐骨骼堆积和各种生物碎屑充填胶结共同形成的海底隆起^[1-2]。它既是指表层极高多样性生物组成的珊瑚礁生态系统,也是指一种碳酸盐地质地貌结构的岩体,两种概念的关系如同森林和其下的煤炭沉积,后者是前者的直接产物^[3]。无论1975年正式生效的拉姆萨尔湿地公约,还是我国第二次全国湿地资源调查,都把珊瑚礁列入近海与海岸湿地的一个类型^[4-5]。其中的珊瑚礁当然是指珊瑚礁生态系统,而且仅指低潮6 m以浅的部分^[6]。鉴于珊瑚礁生态系统对热带海洋生物多样性和资源生产力的巨大价值,珊瑚礁对热带海岸带民众巨大的生态价值和经济价值,珊瑚礁面临人类活动和全球气候变化广泛而强大的威胁,珊瑚礁退化受全球变化严重影响的确证和珊瑚礁前景的紧迫性,世界珊瑚礁现状和威胁一直是全球珊瑚礁研究的最中心议题^[7-8]。本文在2006年全球珊瑚礁综述^[7]的基础上,进一步综述世界珊瑚礁退化现状和威胁来源等研究进展,其中,部分内容曾在2016年12月26日广西壮族自治区人力资源和社会保障厅“海洋强国”战略背景下的海洋生态环境保护高级研修班和2017年5月24日广西大学海洋学院“走进海洋,走近科学”讲坛,分别以“关于珊瑚礁现状评估和前途预测”为题讲课。

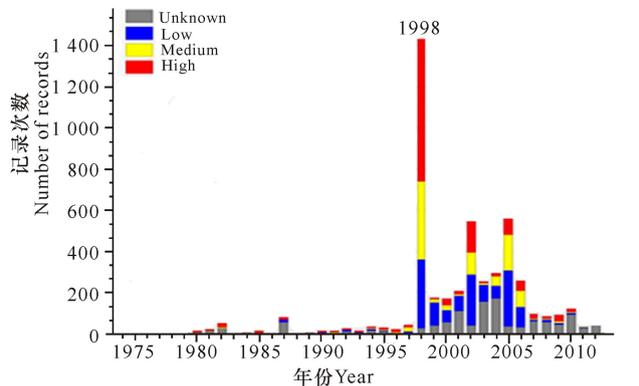
1 珊瑚礁退化现状

珊瑚礁是对维持生物多样性和资源生产力有特别价值的生物活动高度集中的海岸生态关键区^[9]。1970年代以来,随着大气CO₂浓度不断上升及全球气温和海温不断上升,珊瑚礁白化逐步变得普遍和严重^[10],珊瑚礁的传统性事件性干扰(包括自然干扰和人类干扰)和恢复逐步转变为持续趋势性干扰,破坏力和恢复力之间的平衡发生转变^[11]。由此导致活珊瑚覆盖率显著下降,西大西洋下降了53%,印度太平洋下降了40%,大堡礁下降了50%^[8]。1998年以来,全球珊瑚礁监测网络以破坏状况为基础,美国世界资源研究所威胁评估为基础,分别提出了世界珊瑚礁现状系列评估报告,该系列报告认为人类活动和气候变化已经导致珊瑚礁全球性衰退,受到中等及以上破坏程度的珊瑚礁现已经达到全球珊瑚礁面积的54%,其中19%为“有效失去”^[12];而受到人类活动中等及以上威胁程度的珊瑚礁则达到全球珊瑚礁面积的61%,若加上全球变化威胁则该比例上升到75%^[13]。各个地区之中,东南亚地区问题最严重,澳

大利亚地区最轻微。

2 全球变暖与珊瑚白化关系的逐步认识和首次确认

虽然世界珊瑚礁正在经历大尺度变化是越来越清楚了,但是造成这种现象的原因仍然是许多争论和怀疑的对象^[14-15]。近30多年来,珊瑚礁白化及其与温室效应增强和全球变暖关系的确认经历了复杂的过程。最早报道的大量珊瑚白化事件仅仅与El Niño事件有联系^[16-17],随着珊瑚白化事件的大量增加,以及1980年以来卫星海洋观测极大提高了观测海洋全球变化和准实时认定白化条件的能力,珊瑚白化与海表温度异常变暖的联系逐步建立^[18-20],但重视人类活动威胁而轻视全球变化威胁的观点始终存在。1991年6月,马里兰大学的Chris D'Elia、堪萨斯地质调查所的Robert Buddemeier和夏威夷大学的Stephen Smith共同发起“珊瑚白化,珊瑚礁和全球变化”迈阿密研讨会。42位科学家讨论4天得出8条结论,核心观点是世界珊瑚礁白化和退化原因不是温室气体效应增强全球变化的早期指示,而是人口爆炸和人类活动长期影响的结果^[21]。1994年一份联合国权威专家组讨论数年的报告仍然认为:人类压力是珊瑚礁当前的直接威胁,且远远大于气候变化的未来威胁;珊瑚礁压力主要来自人类活动(沉积作用、营养载荷和污染、物理破坏、过度捕捞),而气候变化威胁仅仅是遥远的将来^[22]。其后《科学》于1997年载文指出:大部分珊瑚礁科学家认为珊瑚礁在遭遇全球变暖影响之前,可能已经死于污染、破坏性捕鱼和其他更为直接的影响,人类活动导致珊瑚礁消失速度如此之快,我们必须首先要对付人类^[23]。《科学》于2003年又专门就珊瑚礁退化的原因进行讨论,仍然有人强调造礁珊瑚已经退化几个世纪,而过度捕捞是主要原因,但这也被认为是一种“新奇的解释”^[15]。1997—1998年最强厄尔尼诺现象和拉尼娜现象及1998年全球海表温度达到历史最高,这些变化先后导致北半球和南半球海洋升温,许多珊瑚礁严重白化和死亡,总“有效损失”高达全球珊瑚礁面积的16%,大大超过历年因人类活动造成的珊瑚礁损失总量所占比例的10%,有些巨大老年珊瑚被杀死,这被认为是千年一遇事件,至此,全球变暖成为珊瑚礁可持续发展的主要威胁逐步成为共识,并彻底改变了珊瑚礁保护的议程^[24-25](图1)。2000年2月蒙特利尔可持续发展峰会也肯定了1998年世界珊瑚礁白化与全球变暖直接相关^[26]。



Lack of data after 2010, after ReefBase web site: http://www.reefbase.org/global_database/default.aspx?section=t4

图1 全球珊瑚白化记录(按照白化严重程度)

Fig. 1 The global coral bleaching record according to the bleaching severity

3 全球变暖对珊瑚礁严重危害的确认

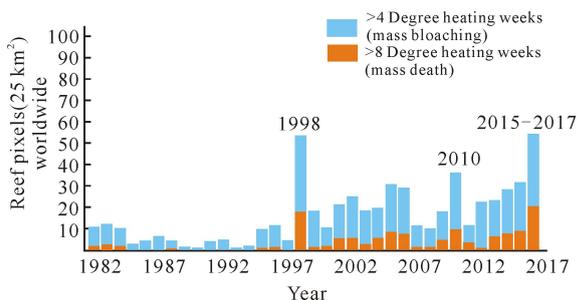
1998年全球温度在达到顶峰后连续十余年难以越过,全球变暖的脚步似乎“中断 hiatus”,并引起对全球变暖的诸多怀疑(后来证明所谓中断并不存在)^[27]。另一方面,于1998年最严重白化年全球珊瑚礁失去的16%,至2004年已恢复2/5^[28],至2008年已经恢复3/4^[12],而这期间又发生的几次新的全球性或区域性严重白化事件(但是在全球珊瑚礁监测网络的数据中并没有相应反映)。关于海水升温、海洋酸化等全球变化影响仍然是不可避免的,但同时也没有清楚的时间框架,目前尚无法预报^[12]。这些又导致对全球变暖主要威胁论的某种怀疑或忽视。直到不久后又一次类似1998年严重白化事件的再次发生,全球变暖的重大威胁才又一次成为共识。

1998年以后的全球变暖所谓“中断”,虽然一段时间内没有超过历史最高点,但始终在高点附近“高位震荡”,随时有可能冲破高点,其后果果然在2014年,2015年,2016年连续创全球新高,并导致美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)珊瑚礁监视项目,在依据卫星监测海温数据和全球珊瑚礁白化严重程度进行预报分析后,于2015年10月8日宣布确认发生第三次全球珊瑚白化事件^[29]。后来又发现白化事件一直延长到2017年,成为历史上延时最长的全球珊瑚白化事件^[30]。第三次全球珊瑚白化事件导致国际珊瑚礁协会(ISRS)于2015年10月发布关于气候变化和珊瑚礁白化共识声明,为联合国气候变化公约2015年12月巴黎第21次缔约国会议提出建议:承诺限制大气CO₂浓度短期内不超过0.45‰(450 ppm),长期不超过0.35‰(350 ppm);全球平均气温短期升幅<

2℃,长期升幅<1.5℃;若不采取紧急行动减排CO₂,则到21世纪中期大部分珊瑚礁功能会消失^[31]。该会议于2015年12月12日通过的决议是把全球平均气温升幅控制在2℃之内,并努力控制在1.5℃之内,显示ISRS的建议发挥了全球性作用^[32]。2017年6月19日NOAA宣布:基于卫星监测和模型分析,全球珊瑚白化事件研究可能结束(www.noaa.gov/media-release/global-coral-bleaching-event-likely-ending)。

4 第三次全球珊瑚白化事件后果的初步揭示

第三次全球珊瑚白化事件的后果万众瞩目。但是由于全球珊瑚礁监测网络的科学顾问Clive Wilkinson在2010年退休后由Jeremy Jackson接任,定期出版的全球珊瑚礁现状报告改为先定期出版区域性珊瑚礁现状报告,然后汇总出全球报告,于是全球珊瑚礁监测资料(包括珊瑚礁数据库ReefBase的珊瑚礁白化数据)汇总分析暂时停止^[33]。全球珊瑚礁倡议(International Coral Reef Initiative, ICRI)已经指示全球珊瑚礁监测网络予以关注,其它若干部门也正在努力。值得庆幸的是,澳大利亚珊瑚礁研究中心主任Terry P. Hughes亲自带队乘坐飞机观测大堡礁珊瑚礁白化情况,并成为了这场灾难的发言人,在媒体对白化报道的高峰时期,他一天接受了35场采访,并于2016年12月被《科学》评为全球十大科学人物之一,荣获“珊瑚礁哨兵”称号^[34]。第三次全球珊瑚白化事件后果与1998年相比的野外观测结果尚未揭晓,但NOAA依据卫星海温监测和珊瑚礁白化分析资料,绘制了1982—2017年历年发生大量白化(Mass Bleaching,热周度指标>4)和大量死亡(Mass Death,热周度指标>8)的礁单元(25 km²)的百分数,由此可以判断2015—2017年的珊瑚礁白化总和可能会略有超过1998年(图2)。



After NOAA video screenshot: Corals Under Threat-Coral Comeback? | Every Full Moon... <https://oceantoday.noaa.gov/fullmoon-coralsunderthreat/welcome.html>

图2 1982—2017 NOAA卫星海温监测热压力礁单元百分数
Fig. 2 1982—2017 NOAA satellite SST monitoring thermal pressure reef unit percentage

Hughes 等^[35]发表《科学》封面文章,分析对比大礁堡 1998 年,2002 年,2016 年共 3 次周期性珊瑚礁重大白化事件。1998 年的珊瑚礁白化主要发生在中南部海岸区,2002 年影响到中区外滨礁,2016 年影响更加广泛和严重,其中北部地区最严重,其次是中部地区,许多海岸、中陆架和外滨礁均受影响。作者发现以往的水质管理和渔业管理(如 2004 年把大堡礁国家海洋公园的禁猎区(No-take areas)面积从 1981 年的 5%扩大到 33%),礁区的原始性和遥远性,对前期白化的适应性等各种条件对 2016 年的白化范围和严重性的影响甚微,海水温度才是最重要的因素^[35]。科学家的结论是,扭转导致海洋水温升高的全球变暖的趋势是保护珊瑚礁的唯一希望。

5 珊瑚礁管理保护最新举措

为实施 21 世纪议程第 17 章的要求,1994 年美国等发起成立的全球珊瑚礁倡议(International Coral Reef Initiative,ICRI)一直是最重要的珊瑚礁管理保护国际协调机构。2016 年在法国巴黎召开的第 31 届大会上作出决定:要求全球珊瑚礁监测网络关注第三次全球珊瑚礁白化资料的综合,推荐 2018 年为国际珊瑚礁年,敦促各国相关组织采取行动,应对全球白化事件导致的珊瑚礁健康衰退。除此之外,我们更加关注由昆士兰大学教授 Ove Hoegh Guldberg、The Ocean Agency 的创建者和 CEO Richard Vevers 发起的,资金来自民间慈善团体的珊瑚礁管理保护新举措。首先是 2011 年发起的 XL Catlin 海景调查项目(XL Catlin Seaview Survey),该项目使用独创的水下全景照相设备高效率调查和快速评估世界各地珊瑚礁^[36-37],调查效率和影像判读效率均比传统方法提高约 50 倍。这一科学记录通过谷歌街景公开提供给世界各地的民众和科学家使用,从而在历史上第一次使得海洋的变化有目共睹,也让 99%没有潜水经历的人可以通过谷歌街景去真实地认识珊瑚礁,探索珊瑚礁,保护珊瑚礁。据网页 <http://www.globalreefrecord.org/>,截止 2017 年 4 月 4 日,XL Catlin 海景调查项目共完成 26 个国家的 1 020 km 断面的珊瑚礁调查(共计 60 万张照片)。2016 年 10 月 5 日,XL Catlin 海景调查项目在台湾召开“谷歌街景服务潜进台湾海底秘境媒体聚会”。其次,2017 年 2 月 23 日在印度尼西亚巴厘岛《经济学人》世界海洋峰会发起的“50 礁倡议(50 Reefs Initiative)”,是目前唯一的全球性拯救珊瑚礁行动的倡议。“目睹近两年难以想象的珊瑚礁损失,科学家们认识到迫切需要确保这个关键生态系统的未来的全球计划”。该计划通过昆

士兰大学环境决策卓越中心(www.ceed.edu.au)开发的“决策算法”将全球珊瑚礁科学鉴别和排名,选取世界上最耐受气候变化和最具有繁殖能力的最关键的 50 个礁加以重点资助和保护,一旦全球气温稳定下来,这 50 个礁将成为全球珊瑚礁恢复的种子和保证^[38-39]。这两项新举措令人耳目一新,印象深刻,充满期待。

6 世界珊瑚礁研究展望

Hatcher 等^[40]于 1989 年指出,珊瑚礁等热带浅海生态系统的未来取决于两种速度竞赛的结果:一是热带浅海生态系统不断加速衰退和消失的速度,另一个是人们在发展生态学和社会学上完美的海岸带管理模式和关于生物保护价值的有效公众教育的速度。28 年过去了,竞赛仍在继续,世界还要继续努力,包括政府部门、科学家和公众。Hodgson^[41]于 1999 年指出,现状是“太少的珊瑚礁科学家用太少的时间研究太少的珊瑚礁”。这种情况仍然存在,虽然确实有了很多改善。全球珊瑚礁现状监测和威胁评估系列报告也始终强调:许多地区仍然缺乏足够的监测资料,难以得出确切的损失数据和对未来的权威预报^[12,28],填补信息空白仍然是紧急优先^[13]。随着对珊瑚礁认识的提高和监测范围的扩大,珊瑚礁现状评估报告的作者从 1998 年的 41 人,2000 年 97 人,2002 年 151 人,2004 年 240 人,增加到 2008 年 372 人^[12]。尤其针对发展中国家珊瑚礁研究人才缺乏的问题,世界银行和联合国教科文政府兼海洋学委员会(IOC/UNESCO)在全球环境基金(GEF)支持下,启动了一项以管理为目标的珊瑚礁研究和能力建设项目(CRTR),期望向珊瑚礁资源管理者提供珊瑚礁响应人类干扰和气候变化方面最好的科学指导^[26]。该项目在发展中国家设立 3 个区域高级研究中心,培养了来自发展中国家的 50 名年轻科学家,他们在 2008 年第 11 届国际珊瑚礁研讨会上强势亮相,成为这一战略有效性的示范(据网页 www.gefcoral.org/)^[12]。在 2016 年第 13 届国际珊瑚礁研讨会上,菲律宾有 50 名代表参加,引起关注。鉴于中国珊瑚礁研究人员缺乏,且政府和民众对我南海珊瑚礁的关注超过历史上任何一个时期,2014 年广西大学适时地成立了珊瑚礁研究中心和海洋学院,2016 年又成立了广西南海珊瑚礁研究重点实验室,为珊瑚礁学科的人才培养、聚集和科学研究增加了新的基地^[42]。然而,目前仍然需要动员更多的人认识珊瑚礁,热爱珊瑚礁,研究珊瑚礁,保护珊瑚礁。

参考文献:

- [1] STODDART D R. Ecology and morphology of recent coral reef[J]. *Biological Review*, 1969, 44: 433-498.
- [2] 黄金森, 吕柄全. 珊瑚礁[M]//中国大百科全书编辑部. 中国大百科全书: 大气科学·海洋科学·水文科学. 北京, 上海: 中国大百科全书出版社, 1987: 654-657.
- HUANG J S, LV B Q. Coral reef[M]//China encyclopedia editorial department. *Encyclopedia of China, atmospheric sciences, marine sciences, hydrology science*. Beijing, Shanghai: Encyclopedia of China Press, 1987: 654-657.
- [3] VERON J E N. Corals; Biology, skeletal deposition, and reef-building[M]//HOPLAY D (ed.). *Encyclopedia of modern coral reefs: Structure, form and process*. The Netherlands: Springer, 2011: 275-281.
- [4] 牟晓杰, 刘兴土, 阎百兴, 等. 中国滨海湿地分类系统[J]. *湿地科学*, 2015, 13(1): 19-26.
- MOU X J, LIU X T, YAN B X, et al. Classification system of coastal wetlands in China[J]. *Wetland Science*, 2015, 13(1): 19-26.
- [5] 唐小平, 王志臣, 张阳武, 等. 全国湿地资源调查技术体系设计及结果分析[J]. *林业资源管理*, 2013(6): 62-69.
- TANG X P, WANG Z C, ZHANG Y W, et al. The national wetland inventory technique system design and result analysis[J]. *Forest Resources Management*, 2013(6): 62-69.
- [6] 赵焕庭, 王丽荣. 中国海岸湿地的类型[J]. *海洋通报*, 2000, 19(6): 72-82.
- ZHAO H T, WANG L R. Classification of the coastal wetland in China[J]. *Marine Science Bulletin*, 2000, 19(6): 72-82.
- [7] 张乔民, 余克服, 施祺, 等. 全球珊瑚礁监测与管理保护评述[J]. *热带海洋学报*, 2006, 25(2): 71-78.
- ZHANG Q M, YU K F, SHI Q, et al. A review of monitoring, conservation and management of global coral reefs[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2006, 25(2): 71-78.
- [8] BIRKELAND C. Coral reefs in the anthropocene[M]//BIRKELAND C (ed.). *Coral reefs in the anthropocene*. Dordrecht: Springer, 2015: 1-15.
- [9] CLARK J R. Coastal zone management handbook[M]. Boca Raton: CRC Press, 1995: 102-105.
- [10] VERON J E N, HOEGH-GULDBERG O, LENTON T M, et al. The coral reef crisis: The critical importance of < 350 ppm CO₂ [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, 58(10): 1428-1436.
- [11] MILLER M W. Coral disturbance and recovery in a changing world [M]//BIRKELAND C (ed.). *Coral reefs in the anthropocene*. Dordrecht: Springer, 2015: 217-230.
- [12] WILKINSON C. Status of coral reefs of the world: 2008[R]. Townsville, Australia: Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre, 2008: 1-296.
- [13] BURKE L, REYSTAR K, SPALDING M, et al. Reefs at risk revisited[M]. Washington D C: World Resources Institute, 2011: 1-114.
- [14] THOMAS J D. Proceedings of the international conference on scientific aspects of coral reef assessment, monitoring, and restoration [J]. *Bulletin of Marine Science*, 2001, 69(2): 293-294.
- [15] ARONSON R B, BRUNO J F, PRECHT W F, et al. Causes of coral reef degradation[J]. *Science*, 2003, 302(5650): 1502-1504.
- [16] GLYNN P W. Extensive "bleaching" and death of reef corals on the Pacific coast of Panama[J]. *Environmental Conservation*, 1983, 10(2): 149-154.
- [17] GLYNN P W. Widespread coral mortality and the 1982-83 El Niño warming event [J]. *Environmental Conservation*, 1984, 11: 133-146.
- [18] GLYNN P W. Coral reef bleaching in the 1980s and possible connections with global warming[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1991, 6(6): 175-179.
- [19] GLYNN P W. Coral reef bleaching: Facts, hypotheses and implications [J]. *Global Change Biology*, 1996, 2(6): 495-509.
- [20] BROWN B E. Coral bleaching: Causes and consequences[J]. *Coral Reefs*, 1997, 16(S1): S129-S138.
- [21] GRIGG R W. Coral reef environmental science: Truth versus the Cassandra Syndrome[J]. *Coral Reefs*, 1992, 11(4): 183-186.
- [22] WILKINSON C R, BUDDEMEIER R W. Global climate change and coral reefs: Implications for people and reefs[R]. Report of the UN EP-IOC-ASPEI-UCN Global Task Team on the Implications of Climate Change on Coral Reefs. Gland, Switzerland: IUCN, 1994: 1-124.
- [23] PENNISI E. Brighter prospects for the world's coral reefs? [J] *Science*, 1997, 277(5325): 491-493.
- [24] WILKINSON C. Status of coral reefs of the world: 2000[R]. Townsville, Australia: Australian Institute of Marine Science, 2000: 1-363.
- [25] POCKLEY P. Global warming identified as main threat to coral reefs[J]. *Nature*, 2000, 407(6807): 932.
- [26] WILKINSON C, (ed.). Status of coral reefs of the world: 2002[Z]. Townsville, Australia: Australian Institute of Marine Science, 2002: 1-378.
- [27] KARL T R, ARGUEZ A, HUANG B Y, et al. Possible artifacts of data biases in the recent global surface warming hiatus[J]. *Science*, 2015, 348(6242): 1469-1472.
- [28] WILKINSON C. Status of coral reefs of the world: 2004[R]. Townsville, Australia: Australian Institute of Marine Science, 2004: 1-302.

- [29] NOAA Headquarters. NOAA declares third ever global coral bleaching event; Bleaching intensifies in Hawaii, high ocean temperatures threaten Caribbean corals [EB/OL]. (2015-10-08)[2015-10-25]. www. science-daily. com/releases/2015/10/151008083753. htm.
- [30] EAKIN C M, LIU G, GOMEZ A M, et al. Global coral bleaching 2014-2017; Status and an appeal for observations[J]. Reef Encounter, 2016, 31(1): 20-26.
- [31] HOEGH-GULDBERG O, EAKIN, HODGSON C M, et al. Climate change threatens the survival of coral reefs. ISRS consensus statement on climate change and coral bleaching[EB/OL]. [2015-10-26]. http://www. gci. uq. edu. au/climate-change-threatens-survival-of-coral-reefs.
- [32] WELLS S, HOEGH-GULDBERG O, GUILLAUME M. Cardboard boxes, “consensus”, COP21 and Climate change[J]. Reef Encounter, 2016, 31(1): 11-14.
- [33] JACKSON J B C, DONOVAN M K, CRAMER K L, et al. Status and trends of caribbean coral reefs: 1970-2012 [Z]. Gland, Switzerland: IUCN, Global Coral Reef Monitoring Network, 2014: 1-304.
- [34] CRESSEY D. Terry Hughes: Reef sentinel[J]. Nature, 2016, 540: 510-511.
- [35] HUGHES T P, KERRY J T, ÁLVAREZ-NORIEGA M, et al. Global warming and recurrent mass bleaching of corals[J]. Nature, 2017, 543(7645): 373-377.
- [36] GONZÁLEZ-RIVERO M, BEIJBOM O, RODRIGUEZ-RAMIREZ A, et al. Scaling up ecological measurements of coral reefs using semi-automated field image collection and analysis [J]. Remote Sensing, 2016, 8(1): 30. DOI: 10. 3390/rs8010030.
- [37] GONZÁLEZ-RIVERO M, BONGAERTS P, BEIJBOM O, et al. The Catlin Seaview Survey - kilometre - scale seascape assessment, and monitoring of coral reef ecosystems[J]. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2014, 24(S2): 184-198.
- [38] HASSALL G, LATHAM R. 50 Reefs; World-first global plan says only 10 pc of coral reefs can be saved from extinction[Z]. 2017-05-21.
- [39] 50 Reefs. A global plan to save corals from extinction [EB/OL]. (2017-03-12). http://ens-newsire. com/2017/03/12/50-reefs-a-global-plan-to-save-corals-from-extinction/.
- [40] HATCHER H, JOHANNES R, ROBERTSON A. Review of research relevant to the conservation of shallow tropical marine ecosystems[J]. Oceanography & Marine Biology, 1989, 27: 337-414.
- [41] HODGSON G. A global assessment of human effects on coral reefs[J]. Marine Pollution Bulletin, 1999, 38(5): 345-355.
- [42] 余克服, 赵焕庭. 迎接我国珊瑚礁学科发展的春天——中国第四纪科学研究会珊瑚礁专业委员会 2016 年度学术会议[J]. 热带地理, 2016, 36(1): 1-2.
- YU K F, ZHAO H T. To meet spring of development of coral reef science in China—2006 annual meeting of coral reef committee of Chinese association for quaternary research[J]. Tropic Geography, 2016, 36(1): 1-2.

(责任编辑: 陆 雁)

(上接第 434 页 Continue from page 434)

- [8] 严飞, 董学刚. 长江口炮台湾湿地公园生态景观型海堤设计[J]. 人民长江, 2012, 43(S1): 7-10.
- YAN F, DONG X G. Ecological landscape type seawall design in Paotai Bay Wetland Park Yangtze estuary[J]. Yangtze River, 2012, 43(S1): 7-10.
- [9] 赵楠. 滨海堤防生态景观设计方法研究[J]. 河南水利与南水北调, 2014(11): 23-29.
- ZHAO N. Study on the design method of coastal embankment ecological landscape [J]. Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion, 2014(11): 23-29.
- [10] 国家海洋局. 围填海工程生态建设技术指南(试行)的通知(国海规范[2017]13号)[Z]. 2017-10.
- CSOA. Technical guide for ecological construction of reclamation works (Trial) (CSOA Standard [2017]13) [Z]. 2017-10.
- [11] 广西壮族自治区海洋局. 《广西海洋生态红线划定方案》(报批稿)[R]. 2016-10.
- GXOA. The marine ecological redline scheme in Guangxi (Draft) [R]. 2016-10.
- [12] 防城港市海洋局. 《防城港市海岸线保护与利用规划(2017-2020年)》(报批稿)[R]. 2017-10.
- FCGOA. The protection and utilization plan of shore line in Fangchenggang City (2017-2020) (Draft) [R]. 2017-10.
- [13] 国家海洋局. 海岸线保护与利用管理办法[Z]. 2017-03.
- CSOA. The administrative measures of the shore line protection and utilization[Z]. 2017-03.

(责任编辑: 陆 雁)