

珊瑚礁区的生物多样性及其生态功能

赵美霞^{1,2}, 余克服¹, 张乔民¹

(1. 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 珊瑚礁区生物多样性程度可以与陆地热带雨林相提并论, 目前关于珊瑚礁物种多样性及其空间分布特征方面研究进展迅速, 是生物多样性研究的重要基地。作为一种生态资源, 珊瑚礁还具有重要的生态功能, 近年来由于全球气候逐渐变暖、人类活动影响不断加剧, 导致其生物多样性缩减、生态功能严重退化。珊瑚礁生态系统多样性、遗传多样性已成为珊瑚礁研究热点, 珊瑚礁生态环境效应和保护管理方面的研究也越来越受到重视。我国珊瑚礁主要分布在广阔的南海海域和海南岛、台湾岛、香港和广东广西沿岸, 礁区生物种类繁多, 多样性程度较高, 以往研究主要涉及地质、地貌、生物、环境等方面, 现今和今后一段时间里迫切需要加强生物多样性和生态功能研究, 以确保更有效地保护和管理珊瑚礁。

关键词: 珊瑚礁; 生态系统; 生物多样性; 生态功能

文章编号: 1000-0933(2006)01-0186-09 中图分类号: Q14, Q178.1 文献标识码: A

Review on coral reefs biodiversity and ecological function

ZHAO Mei-Xia^{1,2}, YU Ke-Fu¹, ZHANG Qiao-Min¹ (1. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 186 ~ 194.

Abstract: Coral reefs are habitats to hundreds and thousands of organisms and are thus well known as "the rainforests in the ocean". They constitute one of the world's most spectacular ecosystems. Many biologists and ecologists have employed a multitude of experimental approaches in the study of coral reefs. These studies have revealed that reef systems host invaluable biodiversity. Albeit about a third of all marine organisms thrive in coral reef ecosystems, surprisingly, their total area makes up < 1% of marine surface area. Furthermore, only about 10% of all species on reefs have been studied and described with the direct implication that about 90% of the species on the world's coral reefs have remained undiscovered. There are two major coral faunas: Indo-pacific and Atlantic. The Indo-pacific reef system is characterized by relatively higher biodiversity than the Atlantic probably due to different dynamic processes taking place in these two systems. Corals are sensitive to factors such as salinity, sediment and nutrient inputs to marine systems, leading to the emergence of new and distinctive patterns. In addition to species diversity, genetic and ecological diversity has emerged as the new focus in this field. From a human perspective, coral reefs are not only a source of wonder, but also an invaluable source of marine food, medicine and industrial material. They also provide a protective role for mangrove and other near-shore ecosystems from tropical storms in addition to being an ideal treasured study destination for scientists. Different species may compliment the functions of each other in coral reef ecosystem. Recently due to anthropogenic activities and especially climate change (global warming), which have aggravated destruction on coral reef systems, biodiversity reduction and ecological function degradation have received incredible attention from researchers and nature conservationists. Therefore, the study of reef ecological function in relation to dwindling biodiversity is a current situation that requires extremely urgent attention to redress. In China, coral reef is very pretty and characterized by high biodiversity and

基金项目: 国家科技部重大基础研究前期研究专项资助项目(2002CCA02700); 国家自然科学基金重点资助项目(40231009); 中国科学院创新资助项目(KZCX3-SW-220)

收稿日期: 2005-05-04; **修订日期:** 2005-11-29

作者简介: 赵美霞(1981-), 女, 山东省菏泽市人, 博士生, 主要从事珊瑚礁生物与生态研究. E-mail: zhaomeix@scsio.ac.cn

Foundation item: the Chinese Ministry of Science & Technology Special Scheme (No. 2002CCA02700), National Natural Science Foundation of China (No. 40231009) and the Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (KZCX3-SW-220)

Received date: 2005-05-04; **Accepted date:** 2005-11-29

Biography: ZHAO Mei-Xia, Ph. D. candidate, mainly engaged in coral reef biology and ecology. E-mail: zhaomeix@scsio.ac.cn

important ecological functions, hence, the need for deep research aimed at conserving this rich ecosystem. The primary approach towards this important goal of conservation is to identify the species distribution and their ecological functions, classify and catalogue them and develop a long-term monitoring program for the coral reef dynamic processes. This approach, if effectively applied and implemented, will boost the recovery and conservation of coral reef systems not only in the South China Sea but also in other world marine environments.

Key words: coral reef; biodiversity; ecological function; ecosystem

珊瑚礁为海洋中一类极为特殊的生态系统,保持有较高的生物多样性和初级生产力,被誉为“海洋中的热带雨林”、“蓝色沙漠中的绿洲”,一般认为达到了海洋生态系统发展的上限。作为一种生态资源,珊瑚礁还具有重要的生态功能,不仅向人类社会提供海产品、药品、建筑和工业原材料,而且防岸护堤、保护环境,一直以来都是重要的生命支持系统。珊瑚礁研究由来已久,达尔文于 1842 年首次发表了关于世界珊瑚礁的类型和分布情况的论著,开创了珊瑚礁地质学的研究,分类学家对珊瑚是植物还是动物的争论吸引了众多生物学家对珊瑚礁生物的研究,近年来随着全球气候变化及人类活动影响加剧,珊瑚礁生物多样性缩减、生态功能退化现象日益突出,加强珊瑚礁生物多样性研究,特别是以物种多样性研究为基础开展生态系统多样性和遗传多样性研究,加强珊瑚礁生态功能尤其是生态环境效应研究,加强珊瑚礁保护管理和生态修复研究,对维持珊瑚礁生态平衡有更加重要的意义。

1 珊瑚礁生物的物种多样性

世界珊瑚礁主要分布在热带和亚热带海域,全球约 110 个国家拥有珊瑚礁资源,其总面积 (Smith^[1]: 617000km²; Copper^[2]: 1500000km²; Spalding 等^[3]: 255000km²) 约占全部海域面积 (Reaka-Kudla^[4]: 340 × 106 km²) 的 0.1% ~ 0.5%,已记录的礁栖生物却占到海洋生物总数的 30%^[4]。

Taylor 曾报道非洲塞舌尔珊瑚礁区 3100km² 范围的海域有软体动物 320 种^[5]; Peyrot 在 Moorea 礁坪的一个死珊瑚带发现生物 4 大门类 776 种^[6]; 在澳大利亚的大堡礁,造礁珊瑚有 350 种,海洋鱼类有 1500 ~ 2000 种,软体动物超过 4000 种^[7]。在更小区域范围内, Gibbs 曾报道过在一块死礁岩内发现 220 种 8265 个隐生生物个体^[8]; Grassle 也曾在一活珊瑚群体上发现 103 种多毛类生物^[9]。因此,珊瑚礁以其高生物多样性被誉为“蓝色沙漠中的绿洲”、“海洋中的热带雨林”。

但珊瑚礁区实际存在的生物种类还远不止这些,很多小型、微型的生物种类未被记录描述,特别是海洋细菌和微型浮游动植物等以前受采样和分析方法限制的种类;珊瑚礁岩石缝隙和珊瑚枝丛间隐生生活着众多的钻孔或穴居生物,它们虽然不容易被观察到,但其地位与热带雨林中的昆虫相当^[4],种类和数量也很惊人。此外,珊瑚礁生物还具有明显的区域特征,如大西洋珊瑚礁区等脚类甲壳动物中 90% 为地方特有种类,印度洋、中-东部太平洋、西太平洋分别为 50%、80%、40%^[10]。所以可以预测随着研究的逐步深入,会有越来越多的小型、微型、隐生性和地方性珊瑚礁生物种类被发现。Reaka-Kudla^[4] 按照种-面积之间的关系公式和假设估计珊瑚礁区生物物种总数约为 95 万种,而实际报道发现的珊瑚礁生物种类仅为 9.3 万种,还不到其估计量的 10%,大于 90% 的珊瑚礁生物还未被人们所知,因此还有广阔的研究空间。

就已知珊瑚礁物种而言,现代分类学借助新技术和方法研究发现,很多过去认为是同种的生物实际是由几种不同生物种类组成,例如 1992 年, Knowlton 等^[11] 人对加勒比海区的造礁石珊瑚 *Montastrea annularis* 抽样重新分类后确认为 3 种不同种类,这些认识进一步揭示和丰富了珊瑚礁区的高生物多样性。

2 珊瑚礁生物多样性的空间特征

研究同一生态系统内不同生物的物种多样性时发现,各生物种类之间具有很多相似性, Gaston^[12] 在 2000 年曾提出可以用某些生物类别作为研究区域生物多样性的代用指标。造礁珊瑚是珊瑚礁体的最主要贡献者,它的生长和分布对礁区其他生物的栖息和生长起了决定性作用,所以一定程度上,造礁珊瑚的多样性状况即可反映珊瑚礁区生物多样性的整体特征,例如, Bellwood 等^[13] 在研究中就用到以造礁珊瑚的物种多样性为代

用指标。

由于对自然环境条件有严格的要求,造礁珊瑚的分布范围只局限在热带和部分亚热带海区,主要有两大区系:大西洋-加勒比海区系和印度-太平洋区系。这两个地区的珊瑚礁面积分别占全球珊瑚礁总面积的8%和78%^[7],是最主要的珊瑚礁区。就已报道的造礁珊瑚种类,印度-太平洋区系有86个属1000余种,而大西洋-加勒比海区系有26个属68种^[14]。这两个海区的珊瑚在数量和种类上的差别很大,通常认为是由于地理障碍所致,其间的巴拿马海峡在600万年前形成使得这两个区系的珊瑚独立演化。

从生物种类的密集程度来看,东南亚珊瑚礁区是生物多样性程度非常高的地区,被称为“珊瑚三角地带”^[15],传统生物地理学对这个地区的高生物多样性的解释主要有起源中心说,累积重叠说和生存避难中心等,现在一般认为这里既是生物的避难所,又是新物种的滋生地。本区域以外的珊瑚礁地区随着纬度或距离的不同而呈现生物多样性的梯度变化。

在特定的某一礁区范围内,珊瑚礁生物多样性表现出水平分带和垂直分层的特征,礁前坡、礁坪和泻湖的生物在种类和数量上都有明显差异^[16],不同水深处的特殊生态环境适宜于不同生物生存。

3 珊瑚礁的生态功能

珊瑚礁多样的生物和环境构成复杂的生态系统,具有重要的生态功能。Moberg^[27]等曾系统地论述了珊瑚礁生态系提供资源和物理结构功能、生物功能、生物地球化学功能、信息功能和社会文化功能等。研究表明:健康的珊瑚礁系统每年每平方公里渔业产量达35t,全球约10%的渔业产量源于珊瑚礁地区^[1],在印度-太平洋等发展中国家则可高达25%^[28],是人类所需蛋白质的主要来源;海藻、海绵、软体动物和某些珊瑚体内含有高效抗癌、抗菌的化学物质,有广阔的药物开发潜力;珊瑚骨骼在医学上可用于骨骼移植;很多海藻可用来提取琼脂和胶等工业原料;珊瑚礁系统内的碳酸钙常被用作建筑材料,珊瑚礁还是重要的生态旅游基地,据1994年统计大堡礁每年的旅游收入约为6.82亿澳元,1990年加勒比海礁区的旅游收入达89亿美元^[27]。珊瑚礁对于环境研究具有很高的科学价值,如礁栖生物可用作污染监测的指示种^[29],造礁珊瑚特别是滨珊瑚可用来重建热带表层古海水温度^[45]等。造礁生物参与形成的礁体,不仅为其它喜礁生物提供复杂的三维立体生境,而且具有重要的防浪护岸效应,为海草、红树林以及人类提供安全的生态环境。珊瑚礁不断堆积成陆地,为人们繁衍生息提供了更多的生存空间。珊瑚礁生物的迁移对于维持生态平衡和促进营养循环有重要意义^[27]。

由珊瑚礁生物参与的生物化学过程和营养物质循环对于维持和促进全球碳循环有重要作用^[30]。同时,这种生物化学过程也维持了全球钙平衡,每年珊瑚礁沉淀输送到海洋中的钙约有 $1.2 \times 10^{13} \text{ mol}^{[1]}$ 。

Moberg等^[27]等认为珊瑚礁生物通过参与各项生态过程而形成各种特定的功能群,共同完成重要的生态功能,故生物多样性对维持和促进生态功能的发挥有重要作用。依据其生态功能的不同,珊瑚礁主要生态类群有:

(1)造礁生物 礁体最主要的贡献者是造礁石珊瑚,不同形状的珊瑚种类在构建珊瑚礁体方面的贡献和为喜礁生物提供生境的作用有明显不同,例如枝状珊瑚生长快,分叉多,利于游动型生物栖息捕食,而块状珊瑚为许多隐藏生物提供生存之所。依据其形态及功能不同,Bellwood^[31]将造礁珊瑚分成分枝状、叶片状、块状、蜂巢状,结壳状等功能群。

参与造礁的生物除造礁珊瑚外还有其他很多种类,如珊瑚藻、有孔虫、海绵、软体动物和棘皮动物等涉及动物、植物各大门类,依据其参与造礁的形式不同,可以概括为造架生物、堆积填充生物和粘结生物等3类^[32]。

(2)光合自养藻类 和陆上生态系统一样,珊瑚礁生态系的生产者主要也是靠光合作用来固定能量、提供营养。参与光合作用的藻类主要是微藻和共生藻类。其中虫黄藻(zooxanthella)一般共生于珊瑚组织内部,通过光合作用向珊瑚提供氧、糖等营养物质,同时消耗宿主珊瑚排泄的代谢产物维持生长,两者形成紧密的共生关系。研究表明虫黄藻能够促进珊瑚骨骼钙化、加快造礁过程^[33]。新近研究还发现因基因型不同,与珊瑚共

生的虫黄藻耐受高温的能力有明显不同,基因 D 型虫黄藻比 C 型虫黄藻更能耐受高温,在经历过严重白化事件后的珊瑚礁区,基因 D 型虫黄藻所占比例增高,占明显优势^[34],这对研究珊瑚礁适应全球气候变化有重要意义。

(3)控制系统结构的顶级捕食者 顶级捕食者,主要是一些肉食鱼类,通过捕食来控制系统结构的平衡,在珊瑚礁系统中占有重要的地位^[35]。例如肯尼亚珊瑚礁由于对顶级捕食者的过度捕捞,导致它们的猎物海胆数量猛增,大量海胆掠食珊瑚礁保护层的藻类,因而伤害珊瑚,海胆吃掉大量海藻后,使得赖海藻栖息的鱼及无脊椎也大量减少,不仅破坏了碳酸钙平衡^[36],而且大大减少了其他鱼类产量,所以过多的海胆一般被视为珊瑚礁不健康的讯号,代表珊瑚礁已被过度捕捞。长棘海星和其他一些专门啃食珊瑚为生的软体动物爆发式增长也常常与捕食性鱼类的大规模减少有关^[35]。

(4)调整和控制珊瑚群落的草食性种类 在维持系统状态、控制和调整珊瑚生长方面,草食性动物通过控制快速生长的藻类起作用,如加勒比海区海胆通过啃食藻类防止其与珊瑚争夺栖息地来保证珊瑚生长^[37]。依据作用方式的不同,Bellwood^[31]将利于珊瑚固着和生长的草食性鱼类大致分 3 类:生物侵蚀类、刮擦类和牧食类。

草食性动物作为食物链和食物网中关键的一环,在保证物质循环和能量流动方面意义重大,而且它们还会影响到物种组成、生产力状况和生物固氮和生态演替及其他生态过程和功能^[27]。譬如珊瑚礁区雀鲷(damselfish)通过强烈攻击侵入其领地的外来生物,包括驱赶采食珊瑚的鹦嘴鱼、长棘海星等保护珊瑚免受侵害^[38],从而在维持初级生产力、促进造礁珊瑚的恢复和固氮效应方面起重要作用。

专家利用主成分方法分析^[39]发现影响珊瑚礁区生态系统状况的主要生态类群是大型的草食性动物和杂食性动物。

(5)其他浮游和底栖微生物 珊瑚礁生物群落中的浮游和底栖微生物也很重要。礁区微生物和蓝绿藻可以吸收空气的氮,起到生物固氮的作用^[40]。珊瑚礁具有的环境优化功能也主要通过微生物起作用^[41],如微生物的分解作用可以对石油产品等进行解毒消化。

4 珊瑚礁生物多样性研究发展趋势

珊瑚礁生物多样性研究一般主要集中在物种多样性研究层面,主要包括物种多样性的现状(包括受威胁现状)、形成、演化及维持机制等方面,相关的研究涉及珊瑚礁各种生物种类,如甲壳动物、棘皮动物、珊瑚及礁栖鱼类^[16-20]等。目前生物多样性研究已经逐步向宏观和微观层面深入扩展,生态系统多样性和遗传多样性成为竞相研究的热点,而珊瑚礁生态环境效应和保护管理工作也越来越受到重视。

4.1 珊瑚礁生态系统多样性

不同珊瑚礁生态系统因其内部生境、生物群落和生态过程的不同而呈现多样化。生境的多样性是生物群落多样性形成的基本条件,生物群落的多样性主要表现为群落的组成、结构和动态(包括演替和波动)等方面的多样化,生态过程主要是指生态系统的组成、结构与功能在时间上的变化,以及生态系统的生物组分之间及其与环境之间的相互作用等。

根据地理位置和环境条件的不同,珊瑚礁生态系统可划分为四大生物地理区域:印度洋-西太平洋地区(IWP)、东太平洋地区(EP)、西大西洋地区(WA)和东大西洋地区(EA)^[19]。这四大地区在物种组成和多样性方面表现出明显的差异,IWP 和 WA 只有一种相同的造礁珊瑚物种,IWP 是生物多样性程度最高的地区,其造礁珊瑚种类是 WA 的 10 倍^[19],鱼类多样性是 WA 的 6 倍^[20],而且碎礁与藻、海葵与海葵鱼等的共生关系也较其他地区更为多样。

研究发现在珊瑚礁生态系统内部,生物群落具有水平分带和垂直分层的特征,生物多样性随环境梯度不同而变化显著。所以可以借助多样性指数描述生态系统内的生物特点^[17]、利用多样性指数与环境因子的相关性对生态系内生态过程进行研究^[16],而且长期、实时监测^[21]和模拟研究^[22]可以不断地加深对生态系统现状和动态变化的了解,促进对导致生物群落变化的机制的认识,这些对于珊瑚礁的保护和管理具有重要的指

导意义。

4.2 珊瑚礁生物的遗传多样性

遗传多样性,又称基因多样性,主要是指种内基因的变化。遗传多样性是物种水平多样性的最重要来源,决定(或影响)种内、种间及其与环境相互作用的方式,是一个物种对人为干扰进行成功反应的决定因素,同时决定着物种进化的潜能。

珊瑚礁区是巨大的基因库,种类繁多的生物其基因型表现各异。研究各生物种类的遗传多样性,对于明确珊瑚礁生物的内在适应性、搞清生物进化动力和变异程度,以及物种以上生物多样性的产生和变化等具有重要意义。

现在关于珊瑚礁生物的遗传多样性方面研究越来越多,但总体来看,主要集中在造礁珊瑚和礁栖鱼类等少数物种,如 Morton^[23]对香港附近的石珊瑚 *Platyra sinensis* 和 Bay^[24]对印度-太平洋海域的珊瑚礁鱼 *Chlorurus sordidus* 的遗传多样性研究等, Uthicke^[25] 和 Leaw^[26] 等人针对海参的种群遗传学进行了初步研究。

4.3 珊瑚礁的生态环境效应与保护管理

(1) 珊瑚礁现状评估 20世纪90年代以来全球珊瑚礁持续衰退。1992年首次定量评估全球珊瑚礁,认为世界珊瑚礁已经彻底消失10%,如果没有紧急管理行动,另外30%将在10~20a内消失;2000年重新评估时认为,全球珊瑚礁已经减少27%(退化程度>90%,其中1998年前因人类活动减少11%,因1998年全球白化事件减少16%),处于紧急状态礁(退化程度50%~90%,2~10a内可能消失)14%,受到威胁礁(退化程度20%~50%,10~30a内可能消失)18%,其余41%为健康状态。2004年评估认为全球珊瑚礁减少20%(因为1998年白化事件减少的16%中已经恢复6.4%),紧急状态礁和受到威胁礁分别上升到24%和26%,健康状态礁下降到30%。即使被认为保持原始状态最好的大堡礁也显示了系统的退化,过去40a中活珊瑚平均覆盖率由40%下降到20%,长棘海星爆发和白化事件不断上升^[31]。加勒比海地区珊瑚礁发生灾难性退化,活珊瑚平均覆盖率由50%(1977年)下降到10%(2001年)^[42]。

影响珊瑚礁退化的因素很多,主要包括人类活动和气候变化两个方面。由于人类活动影响的范围和强度不断增大,全球气候持续变暖,珊瑚礁生态系面临前所未有的威胁。

人类活动对珊瑚礁的影响主要表现为过度捕捞、生态环境污染和直接挖掘等方面。随着人口迅速增长,对珊瑚礁资源的需求量日益增加,珊瑚礁的渔业捕捞量已经远远超出了其所能提供的最大持续产量,导致珊瑚礁群落结构简单化^[35],系统功能受损。20世纪60年代大堡礁发生的长棘海星(*Acanthaster planci*)猖獗事件和80年代西大西洋发生的珊瑚灾难性死亡事件^[37]均与过度捕捞有关。珊瑚礁区生态环境污染主要来自于未经处理的排污和油气污染等,特别是城市污水和农业用水未经处理而直接排放入海导致浅海水域富营养化,造成大藻类繁茂生长,珊瑚礁区转变成由大藻占主导地位的“大藻状态”。最严重的一次油溢事件导致巴拿马珊瑚礁区珊瑚覆盖率下降了50%~75%^[7]。海岸建设、土地利用和珊瑚礁区的直接挖掘导致浅海水域沉积物的增加,进而降低海水的透光度,使珊瑚得不到充足的光照而生长受限。即使被认为是保持原始状态最好的大堡礁,陆源沉积自欧洲移民定居以来已经增加了四倍^[31]。除此之外,采掘珊瑚烧制石灰、建筑房屋和制作纪念品和工艺品等行为虽严加禁止但一直没有杜绝,随着旅游业的发展,日益增多的直接潜水和船体抛锚对礁体和生态系的破坏也越来越突出。

有观点认为气候变化是珊瑚礁目前所面临的最大威胁^[31],温室气体含量增加,全球持续变暖导致的珊瑚礁白化是造成当前珊瑚礁生态系统退化的最主要原因。研究表明礁区温度只要持续几周高出珊瑚生长极限温度1~2℃就可以导致珊瑚礁白化^[7],如1997~1998年由于ENSO的强烈影响,海水温度升高,全球珊瑚礁大面积白化,在印度洋中部,有90%以上的珊瑚礁区出现白化现象,生物多样性损失严重。此外,可以导致珊瑚礁白化的因素还有盐度降低、高紫外线辐射和低温^[43-45]等,余克服等人^[45]首次提出冷白化“cold-bleaching”新概念。海水化学成分由于空气中的CO₂含量增加而发生变化导致珊瑚骨骼疏松,礁体增长缓慢;频繁发生的强烈台风事件,直接摧毁折断枝状珊瑚、掀翻大块礁岩并降低海水盐度、增大海水混浊度、减少溶解氧等恶化

珊瑚礁生态环境从而影响生物群落变化,使得珊瑚礁受损,短期内得不到很好恢复。此外,珊瑚病害也愈来愈严重,自从 20 世纪 70 年代以来,珊瑚疾病已经涉及到 106 种珊瑚,范围遍及 54 个国家^[7],最严重的一次是 20 世纪 80 年代发生在加勒比海区的珊瑚病害事件^[31]。

(2) 珊瑚礁的保护和管理 珊瑚礁生态系统的健康发展是维持珊瑚礁区生物多样性并正常发挥生态功能的前提条件,因此保护珊瑚礁十分必要。具体包括:

① 普及珊瑚礁生态环境和生物多样性知识,增强人们的保护意识 保护珊瑚礁是一项以保护全民利益为目标的巨大工程,需要人们共同的关注和维护,因此普及珊瑚礁知识必不可少。许多国际组织(ICRI 国际珊瑚礁倡议,UNEP 联合国环境规划署,IUCN 国际自然保护联盟,IOC 国际海洋学委员会,UNESCO 联合国教科文组织等)通过国际研讨会、发表和出版珊瑚礁研究资料的形式引起各个国家和地区有关部门的重视,并为其提供评价和管理的依据。各国的研究部门和环保工作者在这方面起到了积极推进的作用。

② 建立保护区,保护珊瑚礁生态环境和生物多样性 建立保护区,是保护珊瑚礁生态环境和生物多样性的有利措施,1975 年澳大利亚的大堡礁成为世界上第一个珊瑚礁保护区。在保护区及附近礁区,通常渔产量保持稳定并有显著提高,而且还可以带动生态旅游的发展,从而促进地方经济。2002 年联合国可持续发展世界首脑会议(在南非约翰内斯堡举行)号召建立更大的海洋保护区网络以减少生物多样性的损失,并且扩大完全保护区(no-take area)的面积,2004 年初澳大利亚把大堡礁完全保护区面积从 1981 年的 5% 扩大到 33%,美国计划到 2010 年珊瑚礁完全保护区面积达到 20%^[31]。

③ 开展珊瑚礁修复工作 在已遭到破坏和正在退化的珊瑚礁区进行的生态修复工作^[46]主要有:将倾覆的珊瑚礁岩翻转,将破碎的珊瑚体转迁到安全地带暂时保存;清除或者固定疏松碎屑物,防止其覆盖珊瑚或致使水质混浊;重建礁岩三维立体结构,为海洋生物营造生存空间;移植珊瑚和海绵动物等,使其在新的领地固着生长等。

④ 建立长期监测网络,监测珊瑚礁的动态过程 对珊瑚礁进行长期监测可以积累有关珊瑚礁现状和动态的基础资料,供管理和决策参考。建立生态监测网络,重视关键功能群的生态功能和功能冗余情况以及功能群中各种生物对外界变化的不同响应等^[31],对深化认识各地珊瑚礁区生态变化有重要意义,使得进一步开展珊瑚礁保护和管理工作更有针对性。

5 我国珊瑚礁生物多样性研究概况和展望

我国的珊瑚礁主要分布在南海,环礁为主,在海南岛、广东省和台湾岛沿岸分布有岸礁。

粗略估算,南海诸岛珊瑚礁总面积约 3 万 km²^[47],迄今为止已记录的南海周边地区和南海诸岛造礁珊瑚 50 多属 300 多种^[48]。已报道的南海鱼类、虾蟹类、软体动物和棘皮动物物种数^[49]分别占中国海域物种的 67%、80%、75%、76% (中国海生物共 44 门,20278 种)。

近年来,我国对现代珊瑚礁的调查研究已经触及南海各个珊瑚礁地区,研究领域涉及地貌与表层沉积、地质及其发育演化、珊瑚记录环境变化、生物生态、工程^[50-54]等。我国台湾学者在台湾珊瑚礁生物多样性方面做了很多有意义的工作^[55,56],我国大陆关于南海珊瑚礁区生物多样性方面也开展了不少工作,大大丰富了南海海洋生物物种多样性:造礁石珊瑚、鱼类、软体动物、浮游动物、浮游植物^[57,58]等,而且对与生物多样性联系紧密的环境条件及相关关系作了论述^[59]。

关于我国珊瑚礁生物多样性的保护与管理方面,不少学者提出了宝贵建议^[60]。政府部门也制定了保护生物多样性的法律法规、编制多项行动计划,并将各项管理措施付诸实施,建立了海南三亚珊瑚礁自然保护区(1990 年,国家级)、福建东山珊瑚礁自然保护区(1997 年,省级)和广东徐闻珊瑚礁自然保护区(2003 年,省级)。涠洲岛于 2001 年底初步组建了监测与研究珊瑚礁生态系的海洋生态站,监测生态系统状况,如物种组成及分布变化、生物量、受人类活动影响程度等。

但是相比于国际珊瑚礁生物多样性的研究,我国这方面的研究还相对粗浅,需要在以下几方面开展深入研究:

(1)进一步对珊瑚礁区生物调查和编目,丰富生物多样性基础数据。珊瑚礁区大量小型、微型、营钻孔穴居等生物物种都有待发现并描述记录,所以加强珊瑚礁区生物普查和编目十分必要,以求获得生物多样性方面更新更全物种资料。

(2)利用现代分类学技术加强生物分类,健全生物多样性信息。传统的分类学主要靠形态特征和生理特性进行分类,有很多不同的生物种类被近似地归为一类,利用现代分子生物学技术可纠正这样的错误,一定程度上增加生物种类数目,进一步丰富生物多样性信息。

(3)加强珊瑚礁保护区的管理工作,切实做到保护珊瑚礁生物多样性。虽然建立了不少珊瑚礁保护区,但是珊瑚礁遭破坏现象时有发生,所以必须要健全法律法规,加强保护和管理力度,使保护区真正地起到保护作用。

(4)加强珊瑚礁区长期监测,寻找珊瑚礁动态变化规律,避免以偏概全的片面结论。而且对珊瑚礁方面的某些争论,如引起珊瑚礁白化的具体机制、珊瑚礁白化究竟是一种被迫反应,还是主动适应等问题,需要更多的实验和实测数据来解决。

(5)重视珊瑚礁的生态修复研究和实践。尽管关于珊瑚礁生态修复已经进行了很多研究和实践,但有些生态特征我们还不了解,总体来说仍然处在试验阶段,并且不同礁区控制珊瑚礁发育的主要因素如光照、盐度、沉积、营养水平、捕食、竞争等不同,表现出很强的地域性。所以还需对这些影响因子的作用系数作进一步研究,针对具体礁区确定更加详细的恢复方案。

References:

- [1] Smith S V. Coral reef area and the contributions of reef to processes and resources of the world's oceans. *Nature*, 1978, 273: 225 ~ 226.
- [2] Copper P. Ancient reef ecosystem expansion and collapse. *Coral Reefs*, 1994, 13: 3 ~ 11.
- [3] Spalding M D, Grenfell A M. New estimates of global and regional coral reef areas. *Coral Reefs*, 1997, 16: 225 ~ 230.
- [4] Reaka-Kudla M L. The global biodiversity of coral reefs: a comparison with rain forests. In: Reaka-Kudla M L., Wilson E O. eds. *Biodiversity II: Understanding and protecting our biological resources*. Washington D C. J.H. Press, 1997. 83 ~ 108.
- [5] Taylor J. Coral reef-associated invertebrate communities (mainly molluscan) around Mahe, Seychelles. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 1968, 254: 129 ~ 206.
- [6] Peyrot C M. Transplanting experiments of motile cryptofauna on a coral reef flat of Tulear (Madagascar). *Thalassographica*, 1983, 6: 27 ~ 48.
- [7] Spalding M D, Corinna R, Green E P. *World atlas of coral reefs*. Berkeley and Los Angeles. London University of California Press, 2001.
- [8] Gibbs P E. The polychaete fauna of the Solomon Islands. *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.) Zool*, 1971, 21: 99 ~ 211.
- [9] Grassle J F. Variety in coral reef communities. In: Jones O A, Endean R. eds. *Biology and Geology of Coral Reefs*, Vol. 2, biology 1. Academic Press, N. Y., 1973.
- [10] Kensley B. Estimates of species diversity of free-living marine isopod crustaceans on coral reefs. *Coral Reefs*, 1998, 17: 83 ~ 88.
- [11] Knowlton N. Sibling species in *Montastraea annularis*, coral bleaching and the coral climate record. *Science*, 1992, 255: 330 ~ 333.
- [12] Gaston K J. Global patterns in biodiversity. *Nature*, 2000, 405: 220 ~ 227.
- [13] Bellwood D R, Hughes T P. Regional-scale assembly rules and biodiversity of coral reefs. *Science*, 2001, 292: 1532 ~ 1534.
- [14] Zou R L. Hermatrypic corals. *Biology Bulletin*, 1998, 33(6): 8 ~ 11.
- [15] Roberts C M, McClean C J, Veron J N, et al. Coral reef biodiversity and conservation—Response. *Science*, 2002, 296: 1027 ~ 1028.
- [16] Yu D P, Zou R L. The scleratinan coral community on Luhuitou Fringing Reef. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(5): 469 ~ 475.
- [17] Vazquez D E. Diversity and distribution of crustaceans and echinoderms their relation with sedimentation levels in coral reefs. *Revista de Biología Tropical*, 2003, 51(1): 183 ~ 194.
- [18] Karlson R H, Cornell H V, Hughes T P. Coral communities are regionally enriched along an oceanic biodiversity gradient. *Nature*, 2004, 429: 867 ~ 870.
- [19] Paulay G. Diversity and distribution of reef organisms. In: Birkeland C, ed. *Life and Death of Coral Reefs*. New York: Chapman and Hall, 1997. 298 ~ 345.
- [20] Thresher R. E. Geographic variability in the ecology of coral reef fishes: evidence, evolution, and possible implications. In: Sale P F, ed. *The Ecology of Fishes on Coral Reefs*. San Diego. Academic Press, 1991. 431 ~ 436.
- [21] Mumby P J, Skirving W, Strong A E, et al. Remote sensing of coral reefs and their physical environment. *Mar Pollut Bull*, 2004, 48(3): 219 ~ 228.

- [22] Langmead C S. Coral reef community dynamics and disturbance: a simulation model. *Ecological Modeling*, 2004, 175: 271 ~ 290.
- [23] Ng W C, Morton B. Genetic structure of the scleractinian coral *Platygyra sinensis* in Hong Kong. *Marine Biology*, 2003, 143(5): 963 ~ 968.
- [24] Bay L K, Choat J H, Herwerden L V, Robertson D R. High genetic diversities and complex genetic structure in an Indo-Pacific tropical reef fish (*Chlorurus sordidus*): evidence of an unstable evolutionary past. *Marine Biology*, 2004, 144(4): 757 ~ 767.
- [25] Uthicke S, Benzie J H, Ballment E. Population genetics of the fissiparous holothurian *Stichopus chloronotus* (Aspidochirotida) on the Great Barrier Reef, Australia. *Coral Reefs*, 1999, 18(2): 123 ~ 132.
- [26] Leaw C P, Lim P T, Asmat A, Gires U. Genetic Diversity of *Ostreopsis ovata* (Dinophyceae) from Malaysia. *Marine Biotechnology*, 2001, 3(3): 246 ~ 255.
- [27] Moberg F, Folke C. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 1999, 29: 215 ~ 233.
- [28] Cesar H. Economic analysis of Indonesian Coral Reefs. The World Bank. 1996.
- [29] Eakin C M, McManus J W, Spalding M D, Jameson S C. Coral reef status around the world: where are we and where do we go from here? *Proc. 8th Int. Coral Reef Symp 1*, 1997 227 ~ 282.
- [30] Done T J, Ogden J C, Wiebe W J, *et al.* Biodiversity and ecosystem function of coral reefs. In: Mooney H A, Cushman J H, Medina E, *et al.* ed. Functional roles of biodiversity: a global perspective scope, John Wiley and Sons, 1996.
- [31] Bellwood D R, Hughes T P, Folke C, *et al.* Confronting the coral reef crisis. *Nature*, 2004, 429: 827 ~ 833.
- [32] Yu K F, Liao W H, Zhu Y Z. The biological composition in Nanyong 2th Well. In: The Cenozoic geology of YongShu Reef in Nansha Islands. Beijing: Scientific Press. 1997.
- [33] Muller P G., D'Elia C F. Interactions between corals and their symbiotic algae. In: Birkeland C. ed. Life and death of coral reefs. New York: Chapman and Hall, 1997.
- [34] Baker A C, Starger C J. *et al.* Corals' adaptive response to climate change. *Nature*, 2004, 430: 741.
- [35] Roberts C M. Effects of fishing on the ecosystem structure of coral reefs. *Conserv Biol*, 1995, 9(5): 988 ~ 995.
- [36] McClanahan T R, Muthiga N A. Changes in Kenya coral reef community structure and function due to exploitation. *Hydrobiologia*, 1988, 166: 269 ~ 276.
- [37] Hughes T P. Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science*, 1994, 265: 1547 ~ 1551.
- [38] Hixon M A. Effects of reef fishes on corals and algae. In: Birkeland C. ed. Life and death of coral reefs. New York: Chapman and Hall, 1997.
- [39] Pandolfi J M, Bradbury R H, *et al.* Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science*, 2003, 301: 955 ~ 958.
- [40] Sorokin Y I. Aspects of tropic relations, productivity and energy balance in reef ecosystem. In: Dubinsky Z. ed. Ecosystem of the world 25: Coral Reefs. Elsevier, New York, 1990, 401 ~ 410.
- [41] Peterson C H, Lubchenco J. On the value of marine ecosystem to society. In: Daily G C. ed. Nature's services. Society Dependent on Natural Ecosystems Island Press. New York, 1997. 114 ~ 194.
- [42] Toby A, Gardner I, Cote M, *et al.* Long-term region-wide declines in Caribbean Corals. *Science*, 2003, 301: 958 ~ 960.
- [43] Moberg F, Nystrom M, *et al.* Effects of reduced salinity on the rates of photosynthesis and respiration in the hermatypic coral *Porites lutea* and *Pocillopora damicornis*. *Mar Ecol Progr Ser*, 1997, 157: 53 ~ 59.
- [44] Goreau T J, Hayes R L. Coral bleaching and ocean' hot spots'. *Ambio*, 1994, 23(3): 176 ~ 180.
- [45] Yu K F, Zhao J X, Liu T S, *et al.* High-frequency winter cooling and coral mortality during the Holocene climatic optimum. *Earth and Planetary Science Letters*, 2004, 224(1 - 2): 143 ~ 155.
- [46] Walter C J. Coral reef restoration. *Ecological Engineering*, 2000, 15: 345 ~ 364.
- [47] Zhang Q M. Status of tropical biological coasts of China: implications on ecosystem restoration and reconstruction. *Oceanologia et limnologia sinica*, 2001, 32(4): 454 ~ 464.
- [48] Zeng Z X, Liang J F, Qiu S J. The physiognomy of coral reef in China. Guangzhou: Guangdong People's Press, 1997.
- [49] Zhang Li. On Protection of Marine Life Diversity of South China Sea. *Research of Agriculture Modernization*, 2003, 24(3): 217 ~ 221.
- [50] Zhang Q M. Coastal bio-geomorphologic zonation of coral reefs and mangroves and tide level control. *Journal of Coastal Research*, 2004, SI (43): 202 ~ 211.
- [51] Yu K F. Developments in the study of reef coral $\delta^{18}\text{O}$ recorded past climate. *Marine Science Bulletin*, 1998, 17(3): 72 ~ 78.
- [52] Zhao H T, Song C J, Zhu Y Z. The modern depositing and geomorphologic characteristic in Nan Sha Islands. *Quaternary Research*, 1992, (4): 203 ~ 212.
- [53] Yu K F, Jiang M X, Cheng Z Q, *et al.* Latest forty-two years' sea surface temperature change of Weizhou Island and its influence on coral reef ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(3): 506 ~ 510.
- [54] Wang R, Zhang L J, Yu L J, *et al.* Preliminary assessment on geological project on Yongshu Reef. In: The collection of thesis on geological geophysics and island reefs in Nansha Islands. Beijing: Science Press, 1994. 189 ~ 202.

- [55] Dai C F. Reef environment and coral fauna of southern Taiwan. *Atoll Res. Bull.*, 1991, 354:1 ~ 24.
- [56] Dai C F, Fan T Y. Coral fauna of Taiping Island (Itu Aba Island) in the Spratlys of the South China Sea. *Atoll Res Bull.*, 1996, 436:1 ~ 20.
- [57] Study on marine biodiversity in Nansha Islands and the nearest areas. Beijing: Marine Press, 1994.
- [58] Study on marine biodiversity in Nansha Islands and the nearest areas. Beijing: Marine Press, 1996.
- [59] Nie B F, Chen T G, Liang M T, *et al.* The relationship between reef coral and environmental changes of Nansha Islands and adjacent regions. Beijing: Science Press, 1997.
- [60] Wang L R, Zhao H T. Ecological conservation and management of coral reef. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(4): 103 ~ 108.

参考文献:

- [14] 邹仁林. 造礁石珊瑚. *生物学通报*, 1998, 33(6): 8 ~ 11.
- [16] 于登攀, 邹仁林. 鹿回头岸礁造礁石珊瑚物种多样性的研究. *生态学报*, 1996, 16(5): 469 ~ 475.
- [32] 余克服, 廖卫华, 朱袁智. 南永 2 井岩心的生物组分. 见: 朱袁智, 沙庆安, 郭丽芬, 等著. 南沙群岛永暑礁新生代珊瑚礁地质. 北京: 科学出版社, 1997.
- [47] 张乔民. 我国热带生物海岸的现状与生态系统的修复与重建. *海洋与湖沼*, 2001, 32(4): 454 ~ 464.
- [48] 曾昭璇, 梁景芬, 丘世钧. 中国珊瑚礁地貌研究. 广州: 广东人民出版社, 1997. 149 ~ 164.
- [49] 张莉. 论南海海洋生物多样性保护. *农业现代化研究*, 2003, 24(3): 217 ~ 221.
- [51] 余克服. 造礁珊瑚 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的去气候研究进展. *海洋通报*, 1998, 17(3): 72 ~ 78.
- [52] 赵焕庭, 宋朝景, 朱袁智. 南沙群岛“危险地带”腹地珊瑚礁地貌与现代沉积特征. *第四纪研究*, 1992, 4: 203 ~ 212.
- [53] 余克服, 蒋明星, 陈特固, 等. 涠洲岛 42 年来海面温度变化及其对珊瑚礁的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(3): 506 ~ 510.
- [54] 汪稔, 张利军, 余毓良, 万来玉. 永暑礁工程地质初评. 南沙群岛及其邻近海区地质地球物理及岛礁研究论文集(二). 北京: 科学出版社, 1994.
- [57] 南沙群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 I. 中国科学院南沙综合科学考察队. 北京: 海洋出版社, 1994.
- [58] 南沙群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 II. 中国科学院南沙综合科学考察队. 北京: 海洋出版社, 1996.
- [59] 聂宝符, 陈特固, 梁美桃著. 南沙群岛及其邻近礁区造礁珊瑚与环境变化的关系. 北京: 科学出版社, 1997.
- [60] 王丽荣, 赵焕庭. 珊瑚礁生态保护与管理研究. *生态学杂志*, 2004, 23(4): 103 ~ 108.