

海南三亚鹿回头造礁石珊瑚生长变化 与人类活动的影响

施 祺¹, 赵美霞¹, 张乔民¹, 王汉奎^{1,2}, 王丽荣¹

(1. 中国科学院边缘海地质重点实验室, 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301 2. 中国科学院海南热带海洋生物实验站, 三亚 572000)

摘要 采用全球珊瑚礁监测网络 (GCRMN) 推荐的永久样方法首次在国内开展珊瑚礁生长的监测和研究。在海南三亚鹿回头岸礁区建立了 10 个珊瑚礁永久样方, 分别于 2003 年 12 月、2004 年 4 月、2004 年 9 月和 2005 年 4 月开展了 4 次造礁石珊瑚生长的现场监测, 并对周边人类活动进行了相关调查。研究发现, 鹿回头东北部岸礁区 4 个样方的珊瑚覆盖率稳定增长, 珊瑚生长良好, 监测期间的珊瑚生长覆盖率平均为 3.1%, 珊瑚死亡覆盖率平均为 1.3%; 中部和南部岸礁区 5 个样方的珊瑚覆盖率明显下降, 珊瑚出现衰退, 衰退范围有明显扩大, 珊瑚生长覆盖率平均为 2.2%, 珊瑚死亡覆盖率平均达到 7.9%。珊瑚新个体的繁殖数量极少, 平均新生珊瑚数量近 1 个/m², 新生珊瑚覆盖率对珊瑚生长覆盖率的贡献较低。人类活动对鹿回头岸礁区珊瑚生长的影响主要有两类: 一是捕捞、炸鱼、船只抛锚、潜水等物理破坏; 二是沿岸养殖场和旅游餐馆污水排放产生的水质污染, 导致珊瑚生长机理的破坏。其中, 水质污染是造成中部和南部岸礁区样方珊瑚死亡的主要原因, 与沿岸养殖场和餐馆的分布、排污时间以及排污量有密切关系。

关键词 永久样方 珊瑚覆盖率 人类活动 鹿回头

文章编号 1000-0933 (2007)08-3316-08 中图分类号 Q178, Q958 文献标识码 A

Growth variations of scleratinan corals at Luhuitou, Sanya, Hainan Island, and the impacts from human activities

SHI Qi¹, ZHAO Mei-Xia¹, ZHANG Qiao-Min¹, WANG Han-Kui^{1,2}, WANG Li-Rong¹

1 CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences (CAS), Guangzhou 510301, China

2 Tropical Marine Biological Research Station in Hainan, CAS, Sanya 572000, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (8): 3316 ~ 3323.

Abstract: Adopting permanent quadrat method recommended by Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN), we firstly carried out monitoring and researching on coral growth at the fringing reef area of Luhuitou, Sanya, Hainan Island. By establishing ten permanent quadrats, scleratinan coral growth was measured in Dec. 2003, Apr. 2004, Sep. 2004 and Apr. 2005, respectively. Human activities along the coast and their impacts on corals were also investigated over this period. The results show a steadily increasing trend over the study period at the northeastern reef area and a declining trend at the central and southern areas. The average living coral cover in the four quadrats at the northeastern reef area is 3.1% and dead 1.3%; while in the five quadrats at the central and the southern areas the average living coral cover is 2.2% and

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (40406018) 中国科学院南海海洋研究所知识创新工程领域前沿资助项目 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目 (KZCX2-YW-318)

收稿日期 2006-05-30 ; **修订日期** 2007-03-30

作者简介 施祺 (1971 ~), 男, 湖南省茶陵县人, 博士, 副研究员, 主要从事珊瑚礁地貌与生态研究. E-mail: shiqi@scsio.ac.cn

Foundation item The project was financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40406018), the knowledge Innovation Project of South China Sea Institute of Oceanology, CAS and the Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX2-YW-318)

Received date 2006-05-30 ; **Accepted date** 2007-03-30

Biography SHI Qi, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in coral reef geomorphology and ecology. E-mail: shiqi@scsio.ac.cn

dead 7.9%. Coral recruitment in the ten quadrats is less than 1 colony /m² averagely and it contributes little to the total coral growth cover. During the study period, two types of human impacts on the coral growth were identified, they are from physical damage and seawater pollution. The former results from catching fish, bombing fish, boat anchoring, scuba diving, etc. ;and the later is mainly caused by sewage discharging from the aquafarms and restaurants along the coast and it directly resulted in the observed coral death in the quadrats at the central and southern area. The pollution degree strongly correlates with the amount of discharging of the nearby aquafarms and restaurants.

Key Words : permanent quadrat ; coral cover ; human activity ; Luhuitou

珊瑚礁不仅是高生物多样性和高资源生产力的海岸生态系统,也是热带海洋特有的海岸生物地貌类型之一,具有重要的生态效应、生物地貌功能和社会经济效益。但目前全球环境变化以及日益加剧的人类活动已经导致世界范围内珊瑚礁海岸遭受严重破坏和衰退。现代全球变化和人类活动影响下的珊瑚礁生态系统健康状况的监测、评估、保护和管理研究已成为 20 世纪 80 年代以来国际珊瑚礁研究的主题之一。1993 年迈阿密会议第一次对全球珊瑚礁健康状况进行专家评估,1994 年成立国际珊瑚礁对策 (CRI) 组织,1995 年成立了全球珊瑚礁监测网络 (GCRMN),先后发布 1998、2000、2002 年和 2004 年世界珊瑚礁状况报告,1997 年启动全球珊瑚礁考察 (Reef Check),2001 年全球珊瑚礁数据库 Reefbase 启动^[1]。此外,各热带海洋国家也纷纷开展珊瑚礁的监测和研究计划。这些都表明全球珊瑚礁保护的急迫性和重要性及其对现代珊瑚礁研究的新挑战。近十几年来我国也相继开展了珊瑚礁生物多样性和健康状况的调查和研究,但以往的调查都是一次性或短期性的,缺少对珊瑚生长过程和环境影响的长期动态监测,缺乏详细的监测资料和数据以及规律性的认识。GCRMN 2002 年的全球珊瑚礁状况报告中,有关中国珊瑚礁的内容极少,并指出我国缺少规范化和定期的监测,珊瑚礁的监测研究能力很低^[1]。这种状况也必然制约着国内的珊瑚礁研究和保护管理的水平。

本文研究采用 GCRMN 推荐的珊瑚礁监测方法,在海南三亚鹿回头岸礁区设立 10 个永久样方,开展系统的造礁石珊瑚生态过程的监测和研究,提供珊瑚生长、死亡和繁殖的详细记录,探讨研究区珊瑚生长的变化趋势并揭示珊瑚生长过程的主要环境影响因素,为改善珊瑚礁保护和和管理提供重要的科学依据。

1 研究区自然环境和珊瑚礁研究状况

鹿回头是我国珊瑚岸礁最为发育的岸段之一,在三亚湾热带海岸生态系统中扮演着海岸生态关键区的角色。该岸段位于海南岛三亚东南端,属热带季风气候。根据榆林海洋水文观测站 1961 ~ 1999 年的资料统计,本地多年平均气温为 25.7 ℃,多年平均表层海水温度为 26.9 ℃,全年最低海水温度出现在 12 ~ 2 月份,平均为 23.2 ℃,最高表层海水温度出现在 5 ~ 9 月份,平均达到 29.5 ℃^[2]。近岸海水盐度为 33.5 ~ 34.0^[3]。一般认为,造礁石珊瑚生活的水温要求在 18 ℃ 以上,最适宜的水温范围是 25 ~ 30 ℃,下限温度为 18 ~ 20 ℃。盐度范围为 27.0 ~ 40.0,最适宜盐度为 34.0 ~ 36.0,鹿回头岸段的水文条件适宜于珊瑚群落的生长发育,并且该岸段位于三亚湾东岸和鹿回头半岛西岸的背风低能岸段,水体交换条件良好,是珊瑚礁发育的理想场所^[4]。

鹿回头岸段一直是我国开展珊瑚礁研究和保护管理的代表地区,中国科学院海南热带海洋生物实验站于 1979 年定址于鹿回头岸段南部。小洲岛以南的鹿回头岸段被列入 1990 年成立的三亚珊瑚礁国家级自然保护区范围。自 20 世纪 50 年代末以来大批国内外专家都曾经在本岸段开展过珊瑚礁调查研究。早期的调查研究以生物分类和沉积、地貌为主,缺少珊瑚礁健康状况的定量资料。1993 ~ 1994 年首次在鹿回头开展了样方法的造礁石珊瑚群落结构与动态变化的研究^[5],1998 ~ 1999 年进行了 5 条横断面的生物地貌学研究^[6],2000 年首次开展了 Reef Check 方法的珊瑚礁调查^[7],2002 年第 1 次采用 GCRMN 推荐方法进行珊瑚礁监测调查^[8]。以上调查研究获得了关于鹿回头珊瑚礁生物多样性以及珊瑚礁健康状况的重要资料。

鹿回头岸段珊瑚礁长约 3500 m,平均宽度约为 250 m,最大宽度超过 500 m,活体石珊瑚主要分布于低潮面以下的礁前斜坡,水深在 6 m 以内,生长带宽约为 10 ~ 120 m^[9]。过去调查研究的综合对比发现^[1],20 世纪 60 年代鹿回头珊瑚礁区呈现高生物多样性的特点,调查记录到该岸段石珊瑚种类有 12 科、24 属、80 种和 3

亚种,珊瑚分布极为茂盛,估计珊瑚覆盖率约 80% ~ 90% ;自 80 年代以来,珊瑚礁人为破坏相当严重,珊瑚覆盖率显著下降,1983 年的观测发现珊瑚覆盖率已经降为 60% ;1993 ~ 1994 年间的调查证实鹿回头珊瑚礁生物多样性衰退,虽然有 7 个新增种,但 20 世纪 60 年代以来的珊瑚种数的 37% (60 种) 已经区域性绝灭,珊瑚覆盖率持续下降,至 1990 年珊瑚覆盖率为 30% ~ 40% ;1998 ~ 1999 年的调查发现珊瑚覆盖率为 41.5% ,2002 年的调查结果显示珊瑚覆盖率已经降至 23.4% 。多年来的调查和研究证实并认识到鹿回头珊瑚礁是三亚海区生物多样性中心区,但该岸段的珊瑚群落呈明显的衰退趋势,珊瑚礁生物多样性面临严重威胁^[1]。

2 研究方法

全球珊瑚礁监测网络 (GCRMN) 推荐的珊瑚礁监测调查方法主要包括拖板法、截线样条法和永久样方法,已成为国际上通用的珊瑚礁监测方法^[1]。在这些方法中,拖板法和截线样条法适宜于珊瑚礁底栖群落现状调查,前者适用于短时间大范围珊瑚礁底栖群落的粗略评估,后者适用于珊瑚礁底栖生物较详细和较准确的评估。永久样方法则适用于监测珊瑚群落生长过程的动态变化,通过长期对样方珊瑚个体变化的详细记录,揭示珊瑚生长过程中包括生长、死亡和繁殖的时空变化特点和规律。2002 年本文研究成员在国内首次采用拖板法和截线样条法在鹿回头岸礁区开展了珊瑚礁监测调查,获得珊瑚群落现状的详细数据^[1]。在这次调查的基础上,2003 年年底开始在鹿回头岸段采用永久样方法开展珊瑚礁的长期监测,这也是国内首次采用该方法进行珊瑚生长过程的定期监测。

本研究以过去在鹿回头岸礁区建立的 5 个调查断面为基础,依据 2002 年监测资料,选择在断面水深 1 ~ 3 m 左右的礁前坡,确定具有不同环境特征的珊瑚礁小班设置样方,每个断面附近分别设立两个 2 m × 1 m 的永久样方,共计 10 个样方。按断面和样方分布划分出东北部岸段 (断面 1、2,样方 1、2、3、4),中部岸段 (断面 3、4,样方 5、6、7、8) 和南部岸段 (断面 5,样方 9、10) 3 个区域 (图 1)。利用 SCUBA 潜水设备,对样方内珊瑚个体进行现场测量统计,记录珊瑚个体的最大长度和最大宽度,并进行图示和水下摄影。分别于 2003 年 12 月、2004 年 4 月、2004 年 9 月和 2005 年 4 月进行了 4 次现场测量和统计。其中,2005 年 4 月的监测过程中,发现样方 6 和样方 8 的永久标志被破坏,样方无法恢复,缺失这两个样方该时段的监测数据。依据永久样方法的监测规范,计算不同时段珊瑚个体面积 (长度 × 宽度) 以及样方珊瑚覆盖率作为标识珊瑚生长过程的指标,用于探讨各样方内珊瑚群落的生长、死亡和繁殖的变化。

3 结果与讨论

3.1 样方珊瑚群落组成

通过对样方内珊瑚个体的现场观察和室内图像判读分析,初步鉴别和统计出所有样方出现的珊瑚属种,共计 12 属 27 种。20 世纪 90 年代鹿回头岸段珊瑚礁调查发现的珊瑚种类为 10 科 21 属 58 种^[1],本次样方的珊瑚属和珊瑚种分别占到岸段珊瑚属和珊瑚种的 57% 和 47%。在所有样方中,鹿角珊瑚属出现最多,共有 7 个鹿角珊瑚种,蔷薇珊瑚属、菊花珊瑚属、扁脑珊瑚属和滨珊瑚属各有 3 ~ 4 个珊瑚种出现,其余珊瑚属 (星孔珊瑚属、牡丹珊瑚属、角蜂巢珊瑚属、蜂巢珊瑚属、盔形珊瑚属、杯形珊瑚属和角孔珊瑚属) 只发现有一个珊瑚种。鹿角珊瑚各样方均有分布,样方 5、6、7 分布较多,达到 4 ~ 6 个种;滨珊瑚属除样方 6 未发现外,其余样方均有 2 ~ 3 个种分布;蔷薇珊瑚属以样方 1 分布最多有 3 个种;其余珊瑚属种散见于不同样方中。

20 世纪 90 年代的珊瑚礁调查发现,在研究区珊瑚

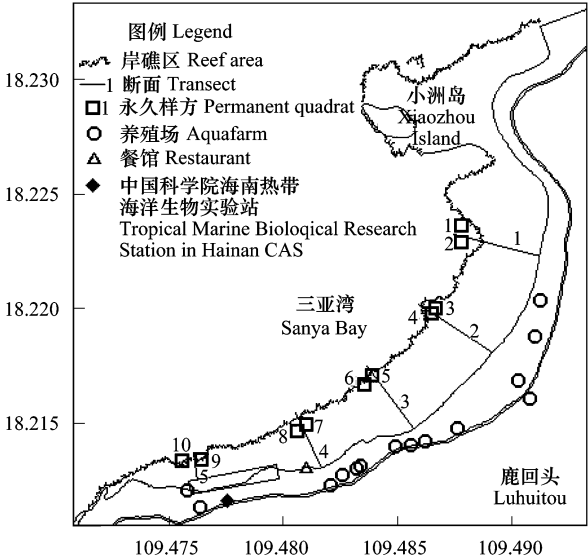


图 1 三亚鹿回头珊瑚礁永久样方位置及分布
Fig. 1 Site and distribution of coral permanent quadrats at Luhuitou area

属级组成中,高优势度的珊瑚属为滨珊瑚属、菊花珊瑚属和鹿角珊瑚属^[4]。本文样方中珊瑚属种出现的相对频度显示,鹿角珊瑚属和滨珊瑚属在样方中具有很高的优势度,而菊花珊瑚属的优势地位并不明显。

3.2 珊瑚覆盖率及其统计检验

珊瑚覆盖率是指样方活珊瑚覆盖面积占样方面积的比率,用以指示珊瑚分布的整体状况。2003 年 12 月统计的 10 个样方珊瑚覆盖率不尽相同,即使同一个断面附近的样方珊瑚覆盖率也存在较大差别(表 1),表明鹿回头岸礁区珊瑚分布的区域差异性大。断面 1、2 和 3 各自相邻样方的珊瑚覆盖率差别较大,其中,样方 4 和 6 的珊瑚覆盖率超过 30%,样方 1 的珊瑚覆盖率也接近为 30%,而样方 2、3、5 的珊瑚覆盖率仅有 12%~15%。断面 4 和 5 相邻样方的珊瑚覆盖率则大体接近,其中样方 7、9、10 的珊瑚覆盖率超过 40%,样方 8 也达到 35%。

表 1 鹿回头永久样方珊瑚覆盖率(%)
Table 1 Coral cover (%) of permanent quadrats at Luhuitou area

时间 Time Year-month	断面 1 Transect 1		断面 2 Transect 2		断面 3 Transect 3		断面 4 Transect 4		断面 5 Transect 5	
	样方 1 Quadrat1	样方 2 Quadrat2	样方 3 Quadrat3	样方 4 Quadrat4	样方 5 Quadrat5	样方 6 Quadrat6	样方 7 Quadrat7	样方 8 Quadrat8	样方 9 Quadrat9	样方 10 Quadrat10
2003-12	28.3	14.5	13.9	36.9	12.0	32.2	42.3	35.0	42.8	41.5
2004-04	29.5	16.2	14.6	39.7	16.2	35.3	39.1	18.1	26.2	41.3
2004-09	34.7	18.3	16.6	42.9	12.8	13.2	32.0	9.7	15.1	43.4
2005-04	35.3	19.0	17.2	43.5	12.5		30.8		13.8	42.2

表 1 显示出 2003 年 12 月、2004 年 4 月、2004 年 9 月和 2005 年 4 月 4 个监测时段统计的样方珊瑚覆盖率存在不同程度的差别,体现了监测期间各样方珊瑚整体分布的变化态势。样方 1、2、3、4 的珊瑚覆盖率持续增加,其中以 2004 年 4 月至 2004 年 9 月期间的增幅最大,平均达到 3.1%,而 2004 年 9 月至 2005 年 4 月期间平均增幅则仅为 0.6%。样方 7、8、9 珊瑚覆盖率持续减少,以 2003 年 12 月至 2004 年 4 月减幅最大,平均达到 12.3%,2004 年 9 月至 2005 年 4 月期间的平均减幅最小为 1.3%。样方 5 和 6 的珊瑚覆盖率经历先增后减的变化,其中样方 6 在 2004 年 4 月至 2004 年 9 月间减幅达 22%。样方 10 则变化相对复杂,珊瑚覆盖率先后经历减-增-减的波动,但变化的幅度相对较小。

为确定各样方珊瑚覆盖率在 4 个时段的变化是否显著,采用统计学方法进行统计检验。由于各样方珊瑚个体覆盖数据呈偏态分布,且个别数据偏离过大,本文采用非参数检验中的秩和检验法进行检验。4 个时段的样方珊瑚个体覆盖数据之间不是相互独立,可看作彼此相关联的数据组,采用 Friedman 秩和检验法。

对样方 4 个时段的珊瑚个体覆盖数据按 $\alpha=0.05$ 水准进行秩和检验,计算的统计量 χ^2 值见表 2。查 χ^2 界值表,当 $\chi^2>7.81$ 时, $P<0.05$,可认为样方 4 个时段的珊瑚个体覆盖分布不同或不全同;反之当 $\chi^2<7.81$ 时, $P>0.05$,则认为样方 4 个时段的珊瑚个体覆盖分布相同。结果显示,除样方 10 在 4 个时段的珊瑚覆盖分布相同之外,其他 9 个样方在 4 个时段的珊瑚覆盖分布不同或不全同。可以认为样方 10 的珊瑚覆盖率在 4 个时段虽有增减变化,但没有明显的差异,该样方珊瑚的生长相对稳定。而其他样方珊瑚覆盖率至少有两个时段表现出统计意义上的差异,指示着珊瑚生长过程的显著变化。

表 2 鹿回头永久样方珊瑚覆盖数据的秩和检验统计量 χ^2 值
Table 2 Result (χ^2) of rank test of coral cover data from permanent quadrats at Luhuitou area

	样方 1 Quadrat1	样方 2 Quadrat2	样方 3 Quadrat3	样方 4 Quadrat4	样方 5 Quadrat5	样方 6 Quadrat6	样方 7 Quadrat7	样方 8 Quadrat8	样方 9 Quadrat9	样方 10 Quadrat10
χ^2	18.989	22.580	24.150	37.992	17.407	21.524	22.443	31.410	43.607	4.939

为了进一步推断其余 9 个样方具体在哪两个时段出现珊瑚覆盖率的显著变化,按 $\alpha=0.05$ 水准,继续对 4 个时段之间珊瑚个体覆盖数据进行两两比较的秩和检验,计算的统计量 u 值见表 3。查 u 界值,当 $u>2.63$

时, $P < 0.05$, 可认为两个时段的珊瑚覆盖分布不同;反之当 $u < 2.63$ 时, $P > 0.05$, 则认为两个时段的珊瑚覆盖分布相同。结果显示,2003 年 12 月至 2004 年 4 月期间,样方 1、2、3 的珊瑚覆盖率变化不显著,而样方 4、5、6、7、8、9 的珊瑚覆盖率存在显著差异。2004 年 4 月与 2004 年 9 月期间,9 个样方的珊瑚覆盖率都出现显著变化。2004 年 9 月与 2005 年 4 月期间,样方 6 和样方 8 无数据外,其余 7 个样方的珊瑚覆盖率变化不明显。

表 3 鹿回头永久样方珊瑚覆盖数据两两比较的秩和检验统计量 u 值

Table 3 Result (i) of pairwise rank test of coral cover data from permanent quadrats at Luhuitou area

时间 Time Year-month	样方 1 Quadrat1	样方 2 Quadrat2	样方 3 Quadrat3	样方 4 Quadrat4	样方 5 Quadrat5	样方 6 Quadrat6	样方 7 Quadrat7	样方 8 Quadrat8	样方 9 Quadrat9
2003-12 ~ 2004-04	0.17	0.40	0.23	2.70	3.88	2.84	2.71	2.80	2.79
2004-04 ~ 2004-09	3.59	2.70	2.83	2.65	2.80	3.96	3.21	2.80	2.66
2004-09 ~ 2005-04	0.83	0.80	0.93	1.01	0.38		0.68		0.34

3.3 珊瑚生长覆盖率和珊瑚死亡覆盖率

珊瑚生长和死亡是珊瑚发育过程中两个对立的环节,珊瑚生长通常指已有珊瑚个体的生长和新珊瑚个体的繁殖。珊瑚死亡则包括珊瑚个体的部分死亡和完全死亡。珊瑚覆盖率取决于珊瑚个体生长与死亡的消长,因此分别以珊瑚生长覆盖率和珊瑚死亡覆盖率来指示珊瑚生长和死亡的速率,能更直接地揭示珊瑚生长过程的变化。通过对 3 个时期 (2003 年 12 月至 2004 年 4 月,2004 年 4 月至 2004 年 9 月,2004 年 9 月至 2005 年 4 月) 即相邻两个监测时段各样方珊瑚个体覆盖面积增减的测算,可获得珊瑚覆盖率的增长量和减少量,分别标识为珊瑚生长覆盖率和珊瑚死亡覆盖率 (图 2)。3 个时期样方的平均珊瑚生长覆盖率分别为 3.3%、2.3% 和 2.4%, 平均珊瑚死亡覆盖率分别为 5.7%、6.0% 和 2.6%。分别对各样方 4 个时段珊瑚生长个体的覆盖数据和珊瑚死亡个体的覆盖数据进行秩和检验,发现样方 2 和 3 在 2004 年 4 月和 2004 年 9 月两个时段以及样方 4 在 2004 年 9 月和 2005 年 4 月两个时段的珊瑚死亡个体覆盖分布相同,样方 9 在 2003 年 12 月和 2004 年 4 月两个时段的珊瑚生长个体覆盖分布相同,表明对应时期的珊瑚无明显死亡和生长,珊瑚覆盖面积的增减是由于两个时段测量误差所造成。

同一样方同一时期珊瑚生长覆盖率和珊瑚死亡覆盖率的对比能反映出该时期珊瑚生长与死亡的消长。当样方珊瑚生长覆盖率大于珊瑚死亡覆盖率,珊瑚生长过程以生长占优,珊瑚群落呈现良好的生长态势;当珊瑚死亡覆盖率大于珊瑚生长覆盖率,则说明珊瑚生长过程中以珊瑚死亡为主,珊瑚群落出现衰退。图 2 显示出样方的珊瑚生长覆盖率和珊瑚死亡覆盖率呈现出规律性的区域分布。

2003 年 12 月至 2004 年 4 月间,样方 1、2、3、4、5 和样方 6 的珊瑚生长覆盖率高于同时期珊瑚死亡覆盖率,并且珊瑚死亡覆盖率相对较低,这些样方珊瑚在该时期的生长良好。样方 7、8、9、10 的珊瑚死亡覆盖率高于珊瑚生长覆盖率,其中样方 8 和样方 9 的珊瑚生长覆盖率均不到 1%,而珊瑚死亡覆盖率均超过 16%,样方中珊瑚以死亡为主,生长减缓,珊瑚群落呈现衰退迹象。虽然样方 7 和样方 10 珊瑚死亡覆盖率高和略高于珊瑚生长覆盖率,但各自的珊瑚生长覆盖率仍较高,分别达到 6.4% 和 4.2%,表明在这两个样方中,珊瑚生长过程存在高生长率和高死亡率的矛盾关系。2004 年 4 月至 2004 年 9 月间,样方 1、2、3、4 和样方 10 的珊瑚生长覆盖率高于珊瑚死亡覆盖率,珊瑚死亡覆盖率较低,样方 1、2、3、4 的珊瑚群落继续维持良好的生长态势,样方 10 则表现出珊瑚死亡率下降的变化,珊瑚群落的生长有所恢复。样方 5、6、7、8、9 有较高的珊瑚死亡覆盖率,其中样方 6 的珊瑚死亡覆盖率达 22.5%,而这些样方中珊瑚生长覆盖率低于 1%,珊瑚以死亡为主,珊瑚群落持续衰退,并且衰退的分布范围较前一时期明显扩大到样方 5、6 和样方 7。2004 年 9 月至 2005 年 4 月间,各样方的珊瑚生长覆盖率和珊瑚死亡覆盖率差别不大,这一时期各样方珊瑚的生长过程相对稳定,样方 1、2、3、4 的珊瑚生长覆盖率略高于珊瑚死亡覆盖率,珊瑚仍维持良好的生长。样方 5、7、9 和样方 10 的珊瑚死亡覆盖率略高于珊瑚生长覆盖率,珊瑚的生长仍处于弱势,但前期珊瑚群落的衰退有所减缓。

以上结果表明,在监测期间,鹿回头东北部岸段 (断面 1 和断面 2) 样方的珊瑚群落一直保持良好的生长

态势,珊瑚生长较稳定,外部的环境影响相对较小。鹿回头中部和南部岸段(断面 3、4 和断面 5)样方珊瑚群落逐渐衰退,并且珊瑚衰退的分布范围有显著扩大,原来生长良好的中部岸段样方 5、6 所在区域珊瑚也出现衰退变化,珊瑚生长过程中受到明显外部环境因素的影响,但后期影响减弱,珊瑚群落的衰退减缓。位于断面 5 以西的样方 10 在整个研究期间都具有较高的珊瑚生长覆盖率,但珊瑚的死亡覆盖率也相对较高,表明在该区域珊瑚群落保持稳定生长的情况下,也存在不容忽视的环境影响。

3.4 新生珊瑚数量及覆盖率

珊瑚新个体的繁殖是珊瑚群落生长过程中的一个重要补充。调查期间发现的新珊瑚个体数量极少(图 3),样方 3 个时期平均新生珊瑚数量分别为 1.0、1.2 个/ m^2 和 0.6 个/ m^2 ,后期数量明显减少。2003 年 12 月至 2004 年 4 月期间,样方 9 没有发现新生珊瑚,样方 6 新生珊瑚分布最多达 3.9 个/ m^2 ,其他样方新生珊瑚均低于 1.0 个/ m^2 。2004 年 4 月至 2004 年 9 月,各样方都有新生珊瑚出现,样方 1、4 和样方 5 的新生珊瑚分布较少低于 0.5 个/ m^2 ,其余样方新生珊瑚在 1.2~1.9 个/ m^2 之间。2004 年 9 月至 2005 年 4 月,除去样方 6 和样方 8 无数据外,样方 1、4、9 没有发现新生珊瑚,样方 2、5、10 的新生珊瑚分布低于 1.0 个/ m^2 ,样方 3 和样方 7 的新生珊瑚分布超过 1.0 个/ m^2 。

3 个时期样方的新生珊瑚覆盖率也较低,平均的新生珊瑚覆盖率仅有 0.35%、0.29%、0.14%,呈减少态势。2003 年 12 月至 2004 年 4 月和 2004 年 4 月至 2004 年 9 月两个时期,样方 6 新生珊瑚覆盖率达到 1.75% 和 1.17%,其他样方新生珊瑚均低于 0.5%。2004 年 9 月至 2005 年 4 月,仅样方 7 的新生珊瑚覆盖率达到 0.63%,其余样方新生珊瑚都低于 0.4%。整体来看,新生珊瑚覆盖率所占珊瑚生长覆盖率的比率较低,对珊瑚生长覆盖率贡献较小,珊瑚群落主要以已有珊瑚个体

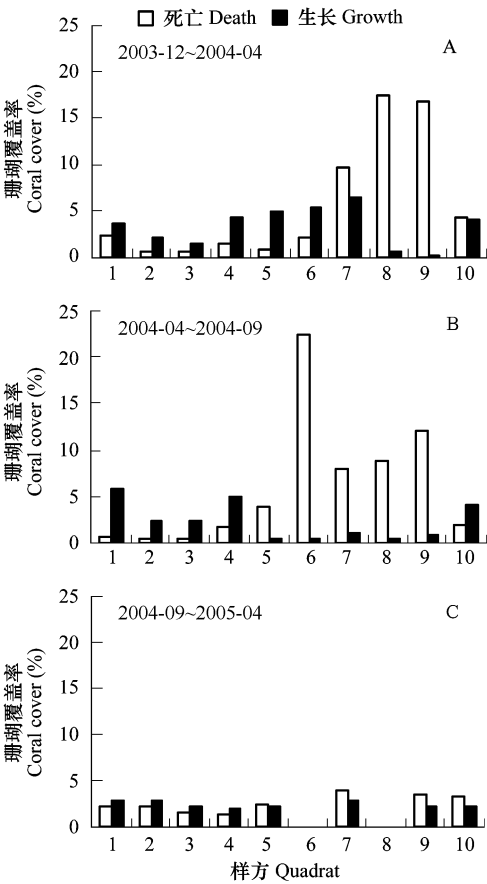


图 2 鹿回头永久样方珊瑚生长覆盖率和珊瑚死亡覆盖率
Fig.2 Coral growth cover and coral death cover of permanent quadrats at Luhuitou area

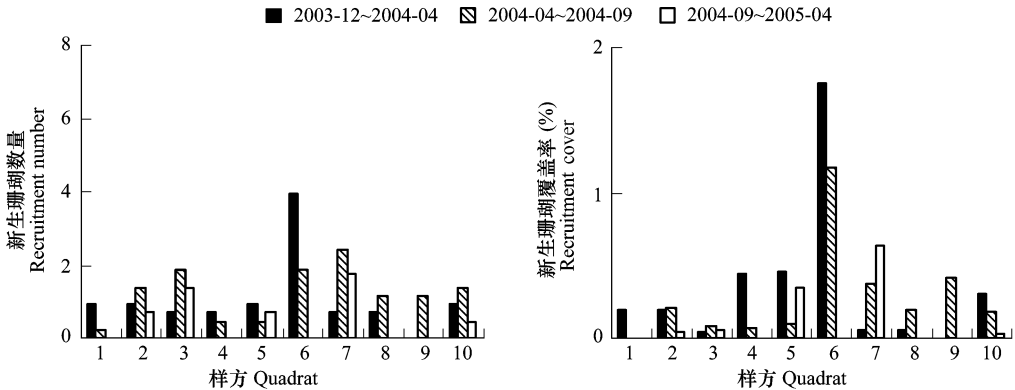


图 3 鹿回头永久样方新生珊瑚数量和新生珊瑚覆盖率
Fig.3 Coral recruitment number and recruitment cover of quadrats at Luhuitou area

的生长为主,新个体的繁殖有限。

3.5 珊瑚覆盖率变化对人类活动影响的响应

日益加剧的人类活动造成严重的珊瑚死亡,珊瑚礁破坏和衰退,已经成为全球珊瑚礁生存发展的重大威胁^[1]。人类活动的威胁一方面体现在对珊瑚礁的直接外力破坏,例如过度和破坏性捕捞(爆炸,氰化物),抛锚,践踏,采沙挖泥,港口和码头建设,珊瑚礁爆破和开采;另一方面人类活动导致珊瑚礁生存环境的严重恶化,例如排污产生的富营养化和水质恶化,砍伐森林造成的水土流失,沉积物增加。此外,全球性的气候环境事件也对珊瑚礁构成严重的威胁。其中,由 El Nino 事件导致的表层海水温度异常升高,造成珊瑚大范围白化和死亡,是当前全球珊瑚礁面临的最大自然威胁^[1]。

过去的多次调查和研究表明,鹿回头岸段珊瑚礁呈明显的衰退趋势,珊瑚礁生物多样性面临严重威胁,已成为三亚珊瑚礁国家级自然保护区中破坏最严重和衰退最显著的岸段^[1]。但是研究发现,三亚湾海区近 30a 来的表层海水温度并无异常变化,基本处于珊瑚生长的适宜海水温度范围之内^[1]。鹿回头岸礁区未发现类似 1998 年全球珊瑚礁白化事件的明显表现和相关报道。不合理的人类活动被认为是鹿回头珊瑚礁遭受严重破坏的主要原因^[1]。但以往的调查局限于对珊瑚礁破坏和相关人类活动的定性描述和认识。本文的永久样方动态监测数据,结合鹿回头沿岸人类活动现状的调查结果,揭示出影响珊瑚生长的主要人类活动及其影响程度、范围和时空变化规律。

大规模的珊瑚礁采挖和破坏性的捕捞曾经是三亚珊瑚死亡和珊瑚礁衰退的首要因素^[1],自 1990 年建立三亚珊瑚礁国家级自然保护区和 1998 年海南省珊瑚礁保护规定实施以来,大规模的珊瑚礁破坏已经消失,但破坏性的活动屡禁不止。目前在鹿回头岸礁区依然存在捕捞、炸鱼、采捞鱼贝、渔船抛锚、潜水等活动。研究期间,在研究区多次遇到捕捞、采集和炸鱼等个案。这类活动往往通过外力使珊瑚个体断裂、破碎、翻转,导致珊瑚死亡,属于外力机械破坏作用,并不影响珊瑚的生长机理,并且这类活动的发生具有随机性。因此在这类活动影响的区域,珊瑚保持正常生长,具有较稳定的珊瑚生长覆盖率,但又有较高的珊瑚死亡率,这类活动的影响分布规律性不强。图 2 显示,2003 年 12 月至 2004 年 4 月期间,样方 7 和 10 有较高的珊瑚生长覆盖率,也有较高的珊瑚死亡覆盖率,反映出这两处受到外力机械破坏活动的影响。

此外,陆地和港口活动输入的泥沙和污染物排放及其导致的水环境恶化被认为是导致三亚珊瑚礁衰退的另一个重要因素^[1]。三亚港北侧的白排礁岸段珊瑚已经灭绝,鹿回头岸段北部的小洲岛礁坡珊瑚也面临消失,都与三亚港及泻湖口门水质污染有关^[1]。已有的海水水质监测和研究发现^[6,10],三亚河口和三亚港海水营养盐、重金属和有机物严重超标,呈现被污染的状况,但三亚湾其他水域水质依然保持良好,达到一类海水水质标准。位于小洲岛南约 400 ~ 500 m 的断面 1 和 2 的 4 个样方监测也未发现有珊瑚大量死亡的现象。这可能与海流的作用有关,泥沙和污染物出三亚港后经海流输送很快扩散,因此三亚河径流输入的陆源沉积物和污染物对鹿回头岸礁区珊瑚生长的影响相对有限。但鹿回头珊瑚骨骼重金属的研究则发现,自 20 世纪 90 年代中期以来珊瑚骨骼重金属出现大幅度增长,反映了海水重金属浓度的显著增加,表明岸礁区海水水质近 10 a 来有明显的恶化趋势^[11]。

新的调查发现,随着养殖育种和滨海旅游的兴起,鹿回头沿岸对虾或鲍鱼育苗场和旅游餐馆,以及海上珍珠养殖和麒麟菜养殖活动显著增多,这类活动已经成为影响鹿回头岸礁区珊瑚生长新的重要因素。2002 年和 2003 年的调查中就曾发现岸礁区出现有海上珍珠养殖和大规模麒麟菜养殖。2003 年 12 月对鹿回头沿岸的对虾和鲍鱼育苗场进行了调查,共发现 14 家养殖场并进行了 GPS 定位(图 1)。图 1 显示,邻近鹿回头东北部岸段断面 1 和断面 2 的养殖场有 4 家,邻近中部岸段断面 3 和断面 4 的养殖场有 8 家,邻近南部岸段断面 5 的养殖场有 2 家。2004 年 4 月的调查还发现鹿回头中部岸段新增一家海鲜餐馆,该餐馆于 2004 年年底关闭。这些养殖场和餐馆大部分通过污水管或污水沟把污水直接排入珊瑚礁海区,使得珊瑚礁区的水体极易受到污染,出现水质恶化,影响珊瑚的生长机理,导致珊瑚生长减缓、停滞乃至死亡,珊瑚生长覆盖率下降,珊瑚死亡覆盖率大幅度增加。受养殖场和餐馆及其排污分布的控制,这类活动对珊瑚礁的影响具有明显的区域分布特

点。2003 年 12 月至 2004 年 4 月期间,仅有样方 8 和样方 9 有较低的珊瑚生长覆盖率和极高的珊瑚死亡覆盖率,表明这两处可能受到水质污染的影响。2004 年 4 月至 2004 年 9 月间,鹿回头中部和南部岸段的 5 个样方都出现较低的珊瑚生长覆盖率和高的珊瑚死亡覆盖率,与该区域邻近的鹿回头沿岸分布的多数养殖场和餐馆对应,表明在这一时期养殖场的排污活动和排污量都有显著增加,水质污染加重并且范围向北扩大到样方 7、6 和样方 5 所在地。2004 年 9 月至 2005 年 4 月间,以上受污染水质影响区域的珊瑚生长覆盖率有所恢复,珊瑚死亡覆盖率则大幅度回落,表明这一时期水质有所改善,可能与养殖场的排污活动和排污量减少以及餐馆关闭有关。鹿回头东北部岸段断面 1 和断面 2 的 4 个样方在整个研究期间都保持较稳定的珊瑚生长覆盖率和较低的珊瑚死亡覆盖率,珊瑚生长态势良好,表明该区域的水质环境仍较好,这与沿岸较少的养殖场和排污量有关。由于尚未开展珊瑚礁区的水环境质量监测,加之鹿回头沿岸的养殖场多采取不定期暗排和偷排的方式向海区排放污水,难以实时监控,目前仍缺少直接的海水水质分析数据。但珊瑚生长覆盖率和死亡覆盖率的对比仍有效地揭示出人类活动特别是沿岸污染排放活动对珊瑚生长的影响。

4 结论

近两年的珊瑚礁永久样方监测调查发现,鹿回头东北部岸段珊瑚保持较好的生长态势,珊瑚覆盖率稳定增长,中部和南部的珊瑚覆盖率显著下降,珊瑚礁面临逐渐衰退的局面。目前鹿回头珊瑚礁的主要威胁来自沿岸养殖场和旅游餐馆污水排放导致的水质污染,同时也存在诸如抛锚、捕捞、潜水等随机性的外力机械破坏。中部和南部岸段的珊瑚礁面临保护的紧迫性,应受到更多关注,其他岸段的珊瑚礁也存在潜在的威胁。加强综合管理是鹿回头珊瑚礁生态系统恢复和改善的唯一途径^[1],应采取针对性的保护措施,特别是对珊瑚礁污染影响的监测和管理。随着三亚港外人工岛和大型国际旅游客运深水泊位的兴建,对鹿回头珊瑚礁的影响在未来几年有可能愈加严重,值得进一步监测和研究。

References :

[1] Wilkinson C. GCRMN, Status of coral reefs of the world :2002. Townsville :Australian Institute of Marine Science, 2002. 7—21, 153—162.
[2] Shi Q, Zhang Y C, Sun D H. Characteristics of growth rate of *Porites* from Sanya, Hainan Island and its relationship to environmental variables. Marine Science Bulletin, 2002, 21 (6) :31—36.
[3] Huang D Y, Shi Q, Yu K F, et al. Advances in the study on coral reef in Region of Luhuitou, Hainan Island. Marine Science Bulletin, 2004, 23 (1) :56—64.
[4] Yu D P, Zou R L. The scleratinan coral community on Luhuitou Fringing Reef. Acta Ecologica Sinica, 1996, 16 (5) :469—475.
[5] Zhang Q M. On biogeomorphology of Luhuitou fringing reef of Sanya City, Hainan Island, China. Chinese Science Bulletin, 2001, 46 (supp) :97—102.
[6] Chen G. Analysis and application of Reef Check method at coral reef of Sanya. South China Sea Research and Exploit, 2002, (1) :17—21.
[7] Zhang Q M, Shi Q, Chen Gang, et al. Status monitoring and health assessment of Luhuitou fringing reef of Sanya, Hanan, China. Chinese Science Bulletin, 2006 51 (Supp. II) :81—88.
[8] English S, Wilkinson C, Baker V. Survey Manual for Tropical Marine Resources. Townsville :Australian Institute of Marine Science, 1997. 52—67.
[9] He X Q, Wen W Y, He Q X. Assessment of water quality in sea area of Sanya Bay, Hainan. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2001, 20 (1) :165—170.
[10] Chen Z Q, Zhang H S, Liu X Y. Distributions of the dissolved trace metals (Cu, Pb, Zn, Cd and Cr) in Sanya and Yulin Bay, Hainan. Marine Environmental Science, 1999, 18 (1) :31—37.
[11] Shi Q, Zhang Y C. Relationships between heavy metals in coral *Porites* skeleton and environmental factors of Sanya Bay in Hainan Island. Journal of Tropical Oceanography, 2004, 23 (1) :21—27.

参考文献 :

[2] 施祺, 张叶春, 孙东怀. 海南岛三亚滨珊瑚生长率特征及其与环境因素的关系. 海洋通报, 2002, 21 (6) :31~38.
[3] 黄德银, 施祺, 余克服, 等. 海南岛鹿回头珊瑚礁研究进展. 海洋通报, 2004, 23 (1) :56~64.
[4] 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.
[6] 陈刚. Reef Check 方法在三亚珊瑚礁区域的应用结果分析. 南海研究与开发, 2002, 2 :17~21.
[7] 张乔民, 施祺, 陈刚, 等. 海南三亚鹿回头珊瑚岸礁监测与健康评估. 科学通报, 2006, 51 (增刊 II) :71~77.
[9] 何雪琴, 温伟英, 何清溪. 海南三亚湾海域水质状况评价. 台湾海峡, 2001, 20 (2) :165~170.
[10] 陈志强, 张海生, 刘小涯. 三亚湾和榆林湾海水溶解态 Cu, Pb, Zn, Cd, Cr 的分布. 海洋环境科学, 1999, 18 (1) :31~37.
[11] 施祺, 张叶春. 三亚湾滨珊瑚骨骼重金属与环境因子的关系. 热带海洋学报, 2004, 23 (1) :21~27.