

近 50 年来三亚鹿回头岸礁 活珊瑚覆盖率的动态变化*

赵美霞 余克服 张乔民 施 祺

(中国科学院边缘海重点实验室 中国科学院南海海洋研究所 广州 510301)

提要 对三亚鹿回头珊瑚岸礁 5 条断面进行实地潜水调查并室内判读海底录像, 得到该岸段 2005 年和 2006 年的礁坡活珊瑚覆盖率分别为 14.79% 和 12.16%。与历史资料(1960 年、1978 年、1983 年和 1990 年测值分别为 80%—90%、60%、60% 和 35%, 1998 年约为 41.5%, 2002 年为 23.4%, 2004 年为 20%)对比分析显示, 近 50 年来该岸段活珊瑚覆盖率显著下降, 珊瑚礁总体呈衰退趋势。研究表明, 人类活动是造成三亚鹿回头珊瑚礁衰退并影响将来发展的重要因素: 过度和破坏性捕捞以及大规模采挖礁块等活动直接导致了该岸段珊瑚礁在七八十年代出现的巨大衰退; 海上珍珠贝、麒麟菜等养殖活动是造成近期破坏的主要原因; 正在影响该岸段珊瑚礁覆盖率仍持续下降的主要原因是沿岸对虾或鲍育苗养殖; 三亚河和近海工程建设、航运活动带来的泥沙和污染物以及正向鹿回头扩展的潜水旅游活动已成为不可忽视的威胁。所以, 保护该岸段珊瑚礁, 需要在了解该岸礁活珊瑚覆盖率动态变化的基础上认清保护管理的紧迫性, 并针对不同区域珊瑚群落的具体特征和影响因素制定合理、有效的管理措施。

关键词 活珊瑚覆盖率, 动态变化, 珊瑚礁, 鹿回头, 全球变化

中图分类号 P735

近年来, 珊瑚礁生态系统退化、生物多样性缩减日益引起关注(Done, 1992; Hughes, 1994; Knowlton, 2001; Mcclanhan, 2002; Pandolifi *et al*, 2003; Wilkinson, 2004), 大堡礁和加勒比海近几十年来活珊瑚覆盖率的巨大变化已经证实了这两大典型珊瑚礁区出现的区域性衰退(Gardner *et al*, 2003; Bellwood *et al*, 2004)。由于受到全球变暖、海水酸化和人类活动的影响, 珊瑚礁在未来几十年内仍将面临严重威胁(Wilkinson, 2004; Bellwood *et al*, 2004; Kleypas *et al*, 1999)。活珊瑚覆盖率作为表征珊瑚礁健康状况的一项重要指标, 其动态变化, 在一定程度上可反映出珊瑚礁生态系统在自然环境和人类活动影响下的发展渐变过程以及生态响应, 对预测评估珊瑚礁今后发展并指导开展珊瑚礁保护管理工作具有重要意义,

已成为当前国际珊瑚礁研究的焦点之一(Gardner *et al*, 2003; Bellwood *et al*, 2004; Connell *et al*, 1997; Edmunds, 2002; Nagelkerken *et al*, 2005; Wielgus *et al*, 2004)。

三亚鹿回头珊瑚礁 (109°28'E, 18°13'N), 位于海南岛南端三亚湾东岸和鹿回头半岛西岸, 是海南岛珊瑚岸礁发育典型和研究程度最高的珊瑚岸礁段。自 20 世纪 50 年代末以来, 国内外珊瑚和珊瑚礁专家在该岸段曾开展过多次珊瑚礁调查, 积累了丰富的历史资料, 成果涉及沉积、地质、地貌和生物学等领域(颜京松, 1956; B·纳乌莫夫等, 1960; 蔡爱智等, 1964; 邹仁林等, 1966, 1975; 高志文, 1987; 祝仲蓉等, 1989; Zhang, 2001, 2004, Zhang *et al*, 2006), 特别是长时间跨度上的活珊瑚覆盖率数据为后来研究

* 中国科学院知识创新工程重要方向性项目, kzcx2-yw-318 号; 国家自然科学基金项目, 40572102 号、40906043 号和 40406018 号; 海洋公益性行业科研专项, 200705026 号; 中国科学院边缘海地质重点实验室基金项目, MSGLO8-12 号。赵美霞, 博士, E-mail: zhaomeix@scsio.ac.cn

收稿日期: 2008-12-14, 收修改稿日期: 2009-03-16

提供了宝贵的参考和对比依据。作者通过实地潜水调查并在实验室判读分析海底录像资料的基础上, 结合前人的有关研究, 分析近 50 年来活珊瑚覆盖率的动态变化, 以期了解该岸段珊瑚礁健康状况的演变特征。

1 研究方法

1.1 野外调查

采用系统取样法选定鹿回头珊瑚礁岸段由北向南的 5 条与海岸垂直的横断面[大体和 1998 年设立的 5 条调查断面(Zhang, 2001)一致]为研究对象(图 1), 对垂直岸线样条、平行等深线样条和垂直岸线断面样方进行潜水调查并拍摄样条录像和样方照片: 沿垂直岸线的断面方向从潮间带珊瑚生长的上限到珊瑚分布的下限为止布设样条皮尺, 5 条断面的垂直样条长度分别为 240 m、240 m、190 m、140 m 和 80 m, 潜水调查者沿样条缓慢匀速游动观察并拍摄样条录像(镜头距离海底约 0.3 m); 参照皮尺刻度在样条上等距离(间隔为 10 m)放置 $1 \times 1 \text{ m}^2$ 的正方形样方, 每断面样方个数分别为 20、20、20、15 和 9, 垂直样方进行数码拍照, 每张照片分别记录略大于 1/4 的样方面积; 对样方内及断面附近的石珊瑚进行种类调查并拍摄特写照片。同时, 调查船沿垂直样条缓慢匀速行驶进行水深测量和 GPS 定位, 并结合潮汐预报值绘制各调查断面的地理位置和地形剖面图, 参考理论最低潮位是礁坪和礁坡分界线(Zhang, 2001)的珊瑚礁生物地貌结论, 将断面划分为礁坪和礁坡两部分, 并分别统计礁坪、礁坡所包含的样方数和样条长度(表 1)。另外, 以每断面上的 2 m、4 m 水深点为中点, 分别向两边延伸 25 m 共布设 10 条 50 m 等深线样条, 对等深线样条进行潜水调查并拍摄样条录像。本次野外调查工作主要于 2005 年 4 月 22—26 日进行, 2006 年 4 月份在该区同断面附近进行样条调查并采集部

分珊瑚标本。

1.2 室内分析

室内分析主要是根据采集到的珊瑚标本和潜水拍摄的珊瑚特写照片鉴定造礁石珊瑚种类, 结合现场观察和潜水拍摄的样条录像、样方照片统计计算该岸段活珊瑚覆盖率。

参考珊瑚分类学专业文献中的图版和微细结构描述(Veron, 2000; Wallace, 1999; 聂宝符等, 1991; 邹仁林, 2001; 陈乃观等, 2005), 结合以往关于该礁区珊瑚种属的研究资料(邹仁林等, 1966, 1975; 张乔民, 2003; Zhang *et al.*, 2006)对本次调查潜水拍摄的珊瑚特写照片和实地采集的珊瑚标本进行种类鉴定。

国际上通常使用的测量活珊瑚覆盖率方法是截线样条法(Line intercept transect)(English *et al.*, 1997), 以活珊瑚在 20 m 样条上的截线长度之和占样条总长度的比值代表该区域活珊瑚覆盖率的无偏估计。Zhang 等(2006)比较截线样条法和潜水录像法认为, 录像样条判读可取代潜水样条观测, 作者根据三亚

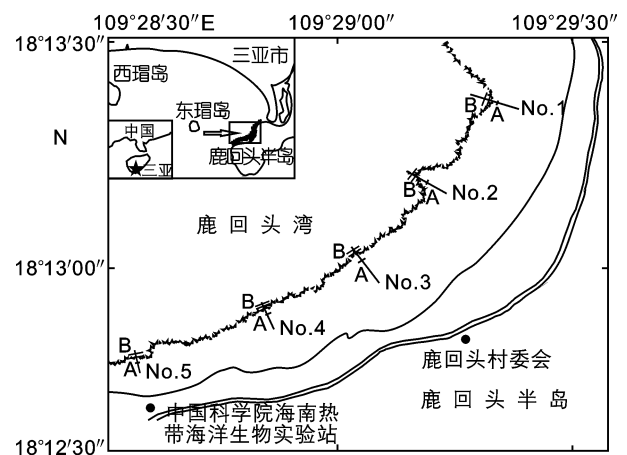


图 1 三亚鹿回头珊瑚岸礁的地理位置和 5 条调查断面图
Fig.1 The area of Luhuitou Fringing Reef and positions of 5 transects

表 1 三亚鹿回头珊瑚礁调查统计表

Tab.1 Basic data of quadrats and transects in Luhuitou coral reef

断面序号	断面样方(个)		垂直样条(m)		等深线样条(m)	
	礁坪	礁坡	礁坪	礁坡	2 m 等深线	4 m 等深线
1	7	13	110	130	50	50
2	9	11	130	110	50	50
3	13	7	120	70	50	50
4	8	7	70	70	50	50
5	4	5	30	50	50	50

鹿回头岸段珊瑚群落的分布特点选用录像截线条法在实验室判读 50 m 等深线条来测量该岸段活珊瑚覆盖率。此外,利用照片样方法(Photo-quadrat transect)(Foster *et al.*, 1991)和录像截线条法(Video line intercept transect)(English *et al.*, 1997)测量断面样方和垂直岸线样条活珊瑚覆盖率作为参考:把四张照片拼接在一起将 $1 \times 1 \text{ m}^2$ 样方等比例复原并对其进行网格化(每小格面积为 $1 \times 1 \text{ cm}^2$),分别统计样方内珊瑚种类数目、每种珊瑚的群体个数、每珊瑚群体所占网格面积,计算样方内活珊瑚覆盖的网格面积总和与样方总面积的比值为该样方活珊瑚覆盖率,以断面礁坪、礁坡的样方覆盖率平均值代表该断面礁坪、礁坡的活珊瑚覆盖率;判读垂直岸线样条录像,分别统计每 10 m 样条上活珊瑚的截线长度,计算截线长度之和与 10 m 样条长度的比值得到样条活珊瑚覆盖率,对由于拍摄不清导致无法判读的垂直样条活珊瑚覆盖率参考现场潜水观测进行补充校正,取礁坪、礁坡样条活珊瑚覆盖率平均值代表该断面礁坪、礁坡的活珊瑚覆盖率。

2 结果与讨论

通过判读样条录像和断面样方照片还可以对珊瑚物种多样性和群落结构等进行广泛研究。本文主要分析讨论活珊瑚覆盖率部分。

2.1 三亚鹿回头活珊瑚覆盖率现状

取平行于海岸线的 10 条 50 m 等深线条录像的平均值为礁坡活珊瑚覆盖率,得到 2005 年和 2006 年三亚鹿回头岸段礁坡平均活珊瑚覆盖率分别为 $(14.79 \pm 1.26)\%$ 和 $(12.16 \pm 0.85)\%$,其中 2 m 等深线条的活珊瑚覆盖率 $[(17.98 \pm 0.98)\%$ 和 $(15.93 \pm 1.95)\%]$ 高于 4 m 等深线条 $[(11.60 \pm 1.72)\%$ 和 $(8.39 \pm 1.77)\%]$ 。

判读 2005 年拍摄的 5 条垂直样条和 84 个断面样方(表 2)得到的该岸段礁坡平均活珊瑚覆盖率参考值分别为 15.10% 和 14.51%,标准误差(SE)分别为 1.46% 和 1.98%。比较垂直样条和断面样方活珊瑚覆盖率发现,除 15 个调查样方的活珊瑚覆盖率与附近 10 m 样条覆盖率差别较大(偏差大于 10%)和 7 个调查样方不能比较(样条录像不清晰导致无法准确判读此 7 个样方附近的样条活珊瑚覆盖率)外,其余 62 个样方的活珊瑚覆盖率与录像样条的判读值偏差在 0.15%—9.31% 之间,平均值偏差仅为 0.26%,这说明布设在垂直样条上的 $1 \times 1 \text{ m}^2$ 样方对附近 10 m 样条活珊瑚覆盖率有较好的代表性。根据实地潜水调查对样条录像

不可判读部分补充校正后,对由垂直样条、等深线条和断面样方得到的礁坡平均活珊瑚覆盖率进行比较(表 3),结果发现三组数据基本一致,而且在 5 条断面均吻合得比较好,这说明对该珊瑚礁岸段进行活珊瑚覆盖率调查时,可用垂直样条取代等深线条,布设在垂直样条上的断面样方不仅可以提取珊瑚群落信息,而且得到的活珊瑚覆盖率也可代替等深线条录像的判读值。

三亚鹿回头珊瑚礁岸段的礁坡比礁坪活珊瑚覆盖率高(表 2),2 m 等深线条比 4 m 等深线条处的活珊瑚覆盖率高,这主要是与礁区自然环境状况和珊瑚群落的生长分布特征有关(Guilcher, 1988; Spalding *et al.*, 2001):礁坪在低潮时常会不同程度地暴露在空气中,局部出现水循环受限、海水含氧量不足、海水温度波动性变化等不利于珊瑚生长的情况;礁坡一般在理论最低潮面以下不露出水面,而且坡度陡峭、生境多样,有较适宜珊瑚生长的光照、温盐和波浪等自然条件。该岸段礁坪宽阔平坦,除因时常暴露空气造成的自然环境条件恶劣外,受采挖珊瑚和潜水践踏等人类活动的影响也很明显(Wu *et al.*, 1986; 刘瑞玉, 1998),活珊瑚稀疏分布且多为耐受能力强的块状滨珊瑚,扁平而有分枝的蔷薇珊瑚和小而枝短的鹿角珊瑚只在低洼处和礁坪边缘少量零星生长;礁坡水深坡陡,有较为适宜的自然环境条件且受到人类活动的影响相对较弱,珊瑚种类较多、丛生分布。该岸段附近海区的海水透明度不高(吴重华等, 1996),本次进行野外潜水调查时发现底部海水混浊,水下可见度较低约为 2—3 m,有时竟低至不足 1 m,在海底附近悬浮的泥沙严重影响录像样条的拍摄,混浊的海水通过减弱透射入海的光照强度使珊瑚体内共生虫黄藻的光合作用降低(Philippe *et al.*, 2003; Fabricius, 2005)进而影响珊瑚生长,现场潜水调查发现,该岸段礁坡较浅处的珊瑚群落比较深处生长较好,与判读样条录像得到 2 m 等深线条比 4 m 等深线条活珊瑚覆盖率高结论一致,而水深 5.5 m 以下除个别大块滨珊瑚外,基本没有珊瑚生长。

三亚鹿回头珊瑚礁岸段礁坡活珊瑚覆盖率在南部第 5 断面和东北部第 1 断面较低(图 3),中间 3 条断面活珊瑚覆盖率稍高,在第 4 断面出现最高值(18.04%),但仍然低于 1997—2001 年珊瑚礁考查(Reef check)监测 1107 个珊瑚礁后得到的全球活珊瑚平均覆盖率(32%),整体来看该岸段珊瑚礁的健康状况不容乐观。

表 2 断面样方活珊瑚覆盖率(%)统计表
Tab.2 List of live coral cover (%) from Photo-quadrat transect monitoring methods

样方编号	活珊瑚覆盖率	样方编号	活珊瑚覆盖率	样方编号	活珊瑚覆盖率	样方编号	活珊瑚覆盖率	样方编号	活珊瑚覆盖率
1 断面		2 断面		3 断面		4 断面		5 断面	
1-1	4.00	2-1	2.60	3-1	1.45	4-1	4.51	5-1	5.40
1-2	2.98	2-2	18.11	3-2	5.96	4-2	5.80	5-2	0.00
1-3	4.43	2-3	11.65	3-3	1.74	4-3	4.11	5-3	1.41
1-4	1.57	2-4	7.56	3-4	7.87	4-4	7.05	5-4	1.08
1-5	5.12	2-5	10.05	3-5	4.24	4-5	6.49	5-5	0.00
1-6	0.51	2-6	9.29	3-6	4.75	4-6	6.53	5-6	11.04
1-7	2.82	2-7	13.01	3-7	3.89	4-7	9.89	5-7	13.45
1-8	34.43	2-8	14.54	3-8	6.00	4-8	6.05	5-8	7.82
1-9	24.91	2-9	1.52	3-9	3.63	4-9	39.84	5-9	5.07
1-10	0.77	2-10	10.25	3-10	2.99	4-10	24.32		
1-11	11.04	2-11	18.88	3-11	0.91	4-11	16.34		
1-12	0.00	2-12	13.50	3-12	1.42	4-12	1.59		
1-13	0.00	2-13	72.94	3-13	6.00	4-13	6.66		
1-14	5.79	2-14	11.76	3-14	33.42	4-14	43.74		
1-15	0.00	2-15	5.86	3-15	33.81	4-15	4.06		
1-16	29.59	2-16	0.00	3-16	8.19				
1-17	34.85	2-17	0.00	3-17	11.58				
1-18	5.61	2-18	18.89	3-18	7.14				
1-19	34.73	2-19	22.58	3-19	4.18				
1-20	0.00	2-20	5.41	3-20	8.05				

表 3 不同方法测量的活珊瑚覆盖率(%)对比表
Tab.3 Comparison of live coral cover (%) among different monitoring methods

项 目	1 断面	2 断面	3 断面	4 断面	5 断面	平均值(%)	标准误差(%)
等深线条录像	14.06	14.87	16.42	18.04	10.55	14.79	1.26
垂直线条录像	14.48	15.73	16.72	18.63	9.92	15.10	1.46
断面样方照片	13.98	16.37	15.20	19.51	7.47	14.51	1.98

2.2 近 50 年来三亚鹿回头珊瑚岸礁活珊瑚覆盖率的动态变化

三亚鹿回头岸礁曾发育着生长良好的石珊瑚群落,五六十年代的珊瑚礁调查显示该岸段珊瑚种类繁多,生长繁盛,与之共栖共生的各类动物也十分丰富,高生物多样性特点突出(B·纳乌莫夫等,1960;邹仁林等,1966,1975;刘瑞玉,1998)。1958—1960年刘瑞玉(1998)参加中苏海洋生物联合考察时,曾描述该岸段在大潮低潮时可露出壮观的珊瑚群落;1961年曾昭璇等(1997)对该岸段地貌调查后绘制出礁坪和礁坡剖面图;1962—1965年邹仁林等(1966,1975)在该岸段开展多次生态调查,利用传统分类学方法详细记

录珊瑚种类 12 科 24 属 81 种,并定性地将珊瑚群落由岸向海划分为礁坪菊花珊瑚带、蔷薇珊瑚带和礁坡鹿角珊瑚带;张乔民等(2006)根据文献资料的记载和描述,估计当时该岸段活珊瑚覆盖率可达 80%—90%;60 年代中期至 70 年代该岸段珊瑚礁遭到严重破坏而出现衰退性变化(Wu *et al.*, 1986; 刘瑞玉, 1998), 谢玉坎等(1981)进行鹿回头贝类调查时,潮间带已看不到成片的活珊瑚;1983 年冯增昭率领现代碳酸盐沉积科学考察团,对鹿回头珊瑚礁岸段考察时,按照自海向陆的地貌形态,将鹿回头岸段垂直岸线分为 6 个带,并指出礁前斜坡是活珊瑚丛生带;根据现场观测得到礁坡活珊瑚覆盖率约 60%¹⁾。1990 年对鹿回头岸段

1)中国矿物岩石地球化学学会、沉积学会海南岛及西沙群岛现代碳酸盐沉积科学考察团,1983. 海南岛及西沙群岛现代碳酸盐沉积科学考察总结. 1—51

一条断面重复观测后指出,该岸段活珊瑚覆盖率已经从1978年测得的60%降至30%—40%(王国忠,2001);1990年我国第一个珊瑚礁海洋自然保护区三亚国家级珊瑚礁自然保护区建立,鹿回头珊瑚礁岸段被列入保护区范围内,1993—1994年于登攀等对三亚鹿回头岸礁石珊瑚物种多样性和珊瑚群落现状及动态进行研究,证实了60年代的造礁石珊瑚种类37%出现区域性绝灭,群落以滨珊瑚为优势种,中等水深地段的珊瑚种类还比较丰富,多样性和均匀度指数较高,该岸段珊瑚礁处在严重破坏后的早期恢复阶段(于登攀等,1999);1998—1999年沿鹿回头岸段5条横断面进行潜水样方调查,得到该岸段礁坡活珊瑚平均覆盖率约为41.5%(Zhang,2001),2002年首次利用国际上通常使用的拖板法、截线样条法和鱼类目测记数法等方法对鹿回头珊瑚礁进行监测调查,结果发现该岸段平均活珊瑚覆盖率为23.4%(Zhang,2004);国家海洋局2004年和2005年《中国海洋环境质量公报》公布三亚鹿回头活珊瑚的平均覆盖率分别为20%和12.84%,本次利用照片样方法和录像截线样条法对5条断面的断面样方照片、垂直样条和等深线样条录像判读分析,得到该岸段2005年和2006年的礁坡活珊瑚覆盖率平均值分别为14.79%和12.16%。

已有的这些关于该岸段活珊瑚覆盖率的资料,有根据文献资料得到的估计值,有现场调查得到的目测值,也有利用规范化方法定量测得的精确值,共同点是由大量活珊瑚覆盖率得到的平均值并有同期相关珊瑚礁研究资料加以佐证,并且本文也通过对比研究证明了在测量活珊瑚覆盖率时断面样方、垂直样条和等深线样条结果具有的一致性,所以以往的活珊瑚覆盖率资料能够较为可靠地反映出当时该岸段礁坡活珊瑚覆盖率状况。通观近50年来鹿回头岸段活珊瑚覆盖率的动态变化(图2),发现该岸段活珊瑚覆盖率显著下降,同时,珊瑚物种多样性和群落特征分析发现60年代繁盛的珊瑚群落分带已经完全不在,澄黄滨珊瑚已成为该岸段礁坪优势种,鹿角珊瑚在礁坡虽仍占优势,但优势度明显降低,珊瑚物种多样性指数下降,该岸段珊瑚礁总体呈衰退趋势。这与全球珊瑚礁逐渐退化的总体趋势一致(Gardner *et al.*, 2003; Bellwood *et al.*, 2004; Nagelkerken *et al.*, 2005)。大堡礁一直被认为是全球保持原始状态最好

的珊瑚礁,但数据分析显示,过去40年中大堡礁活珊瑚平均覆盖率由40%下降到20%(Bellwood *et al.*, 2004);而加勒比海珊瑚礁区的活珊瑚平均覆盖率由50%(1977)下降到10%(2001),表明该地区出现区域性大规模衰退(Gardner *et al.*, 2003)。

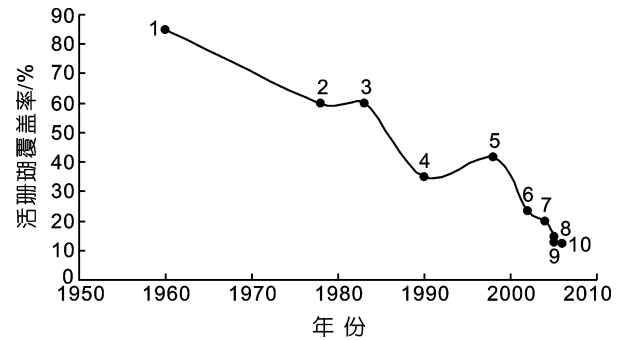


图2 近50年来三亚鹿回头活珊瑚覆盖率动态变化

Fig.2 The dynamics of live coral cover on Luhuitou fringing reef in past nearly 50 years

数据出处:1. 1960年据文献资料估计值(Zhang *et al.*, 2006); 2. 1978年现场断面观测值(王国忠,2001); 3. 1983年现场观测值¹⁾; 4. 1990年现场断面重复观测值(王国忠,2001); 5. 1998年潜水断面样方观测值(Zhang *et al.*, 2006); 6. 2002年潜水样条观测值(Zhang *et al.*, 2006); 7. 中国海洋环境质量公报(2004); 8. 赵美霞等样条录像判读值(2005); 9. 中国海洋环境质量公报(2005); 10. 赵美霞等样条录像判读值(2006)

引起珊瑚礁退化的原因(Wilkinson, 2004; Bellwood *et al.*, 2004; Aronson *et al.*, 2003)很多,从1998年发生大范围珊瑚礁白化死亡事件后,全球持续变暖引起的海水表层温度(SST)上升被普遍认为是影响珊瑚礁退化的最主要原因(Wilkinson, 2004)。1960—2002年莺歌海海洋观测站近43年资料显示,三亚附近海域SST存在上升趋势,与全球气候变暖趋势一致,且增温率0.017 /a,略大于全球同期增温速率0.013 /a; SST春夏秋冬四季的增温速率分别是0.020 /a、0.012 /a、0.014 /a和0.019 /a,升温主要发生在春、冬季,其中冬季最低SST升温速率为0.022 /a,而夏季最高为0.014 /a。理论上讲,该区的SST变化对珊瑚礁应该不会出现重大破坏性影响,而实际调查中,也尚未发现大规模白化的明显表现。根据广泛地调查访问发现,不合理地破坏性人类活动,是造成该岸段珊瑚礁现有衰退并影响将来

1) 中国矿物岩石地球化学学会、沉积学会海南岛及西沙群岛现代碳酸盐沉积科学考察团,1983. 海南岛及西沙群岛现代碳酸盐沉积科学考察总结. 1—51

发展的重要因素: 鹿回头珊瑚礁邻近三亚市和三亚港, 是当地居民赖以生存的重要经济来源地, 长期以来人们不断从中取得海产品和建筑材料等。过度捕捞和炸鱼、毒鱼等破坏性捕捞方式, 以及大规模采挖珊瑚礁块、践踏、抛锚等活动, 直接导致了该岸段珊瑚礁在七八十年代受到广泛地机械破坏, 生态环境大为衰退。1990 年建立三亚珊瑚礁国家级自然保护区后, 此类破坏活动总体上有所减少, 但是实际上往往屡禁不止, 1994 年三亚每天仍有几十起炸鱼毁礁事件发生¹⁾, 2002 年潜水调查仍可见炸鱼、抛锚、捕捞活动导致的珊瑚死亡、断枝、翻转等珊瑚遭破坏现象 (Zhang, 2004)。2002 年以来保护区对炸鱼、毒鱼和采挖珊瑚礁等活动加大惩罚力度, 现在已经基本杜绝了这类活动; 90 年代以来, 海上珍珠贝、麒麟菜等大规模养殖活动, 是造成该岸段珊瑚礁近期破坏的主要原因; 而沿岸对虾育苗场或鲍养殖场育苗场废水排放, 已经成为影响该岸段珊瑚礁的新的因素; 三亚河和附近港口工程、海岸建设、航运活动带来的泥沙和污染物导致海水水质下降, 对附近珊瑚礁有不利影响, 靠近三亚泻湖口门和三亚港区的白排礁和大洲岛的活珊瑚, 已完全或基本消失而失去保护价值 (张乔民, 2003), 而位于小洲岛南约 400—500 m 的该岸段东北部断面水下并未发现有珊瑚大量死亡, 但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, 对该区珊瑚礁的影响在未来几年可能会凸现出来。此外, 潜水旅游活动向鹿回头岸段扩展, 也成为影响本区珊瑚礁的威胁因素之一。

Zhang 等(2001)在鹿回头岸礁区从北向南布设 5 条断面进行样方潜水观测, 第一次得到该岸段礁坡活珊瑚覆盖率的分布特征(图 3), 可以看出各个断面的活珊瑚覆盖率有明显不同, 珊瑚群落分布不均: 东北部第 1、2 断面活珊瑚覆盖率较低(22.5%和 25%), 中南部的 3 条断面珊瑚生长较好, 活珊瑚覆盖率最高可达 65%; 2002 年对该岸段珊瑚礁进行现状监测调查时发现, 断面附近的活珊瑚覆盖率显著下降(图 3), 特别是在中南部第 4、5 断面(5%和 31.75%)最为明显; 而本次最新调查结果显示该区活珊瑚覆盖率仍继续下降, 特别是中南部第 3 和第 5 断面。整体来看, 该岸段中南部活珊瑚覆盖率迅速下降, 东北部降速较缓。

该岸段活珊瑚覆盖率, 在空间上的变化差异, 主

要与断面所在区域的生态环境和受到不同强度的人类活动影响有关。2003 年 12 月施祺等调查鹿回头沿岸的对虾育苗场和鲍养殖场, 并对其进行 GPS 定位, 结果发现, 邻近鹿回头东北部岸段第 1 和第 2 断面的

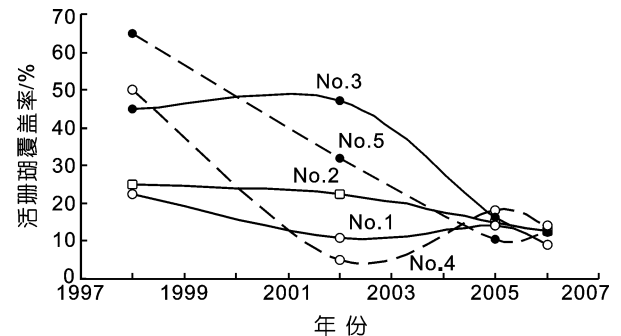


图 3 1998—2006 年三亚鹿回头 5 条断面活珊瑚覆盖率的动态变化

Fig.3 Dynamic change in live coral cover at 5 transects of Luhuitou Fringing Reef between 1998 and 2006

养殖场有 4 家, 而靠近中南部的养殖场有 10 家, 2004 年中部岸段还有一家海鲜餐馆在营业, 不过该餐馆已于 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直接把污水排入珊瑚礁海区, 使得珊瑚礁区的水体极易受到污染。该岸段已经禁止炸鱼、毒鱼等不合理捕捞和大规模养殖麒麟菜等活动, 但调查期间仍遇到捕捞、采集和炸鱼等个案, 在中南部出现的频率较多, 而且在岸段中南部水下发现的养殖残留垃圾和捕捞、炸鱼痕迹也比东北部较多。

一般来说, 自然灾害导致的生态破坏, 灾害过后生态系统可以自然恢复, 而由环境压力造成的生态系统衰退, 一旦环境压力消失也可以自然恢复 (张乔民, 2001), 而人为的生态修复措施可以加速自然恢复过程。国际上在已遭破坏和正在退化的珊瑚礁区进行的尝试性生态修复工作 (Walter, 2000) 主要有: 将倾覆的珊瑚礁岩翻转, 将破碎的珊瑚体转迁到别处; 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; 移植珊瑚等。在该岸段曾进行的造礁石珊瑚人工移植试验 (陈刚等, 1995) 在珊瑚移植后存活率、生长状况, 以及由移植珊瑚产生的局部生态效应等方面也有较满意的结果。但是移植毕竟是小范围的, 所需的费用也比较高, 而且移植过程还可能会对移植区珊瑚礁有破坏性影响 (Lindhahl, 2003), 所以保护该岸段

1) 国家海洋局第三海洋研究所, 海南省海洋厅海业发展公司. 1998 年 12 月. 海南省三亚市海洋开发规划(征求意见稿)

珊瑚礁归根到底需要深入研究近年来珊瑚礁衰退特征, 认清加强保护的紧迫性, 在尊重珊瑚礁发育的自然规律基础上, 不断加大管理力度清除现存的破坏性人类活动影响, 逐渐缓解该礁区受到的环境压力, 不断改善生态环境, 并辅助性进行生态修复工作。

3 结论

(1) 通过野外实地潜水调查和在实验室判读分析样方照片和样条录像资料相结合, 得到 2005 年和 2006 年三亚鹿回头珊瑚礁岸段的礁坡活珊瑚覆盖率平均值分别为 14.79% 和 12.16%。礁坡比礁坪活珊瑚覆盖率高, 2 m 等深线处比 4 m 等深线处活珊瑚覆盖率高, 这主要是与该岸段礁坪、礁坡的自然环境状况、珊瑚群落的生长分布特点有关。

(2) 对比历史资料发现, 近 50 年来鹿回头岸段活珊瑚覆盖率显著下降, 珊瑚礁总体呈衰退趋势。20 世纪 60 年代活珊瑚覆盖率高达 80%—90%, 1978 年、1983 年和 1990 年测得值分别为 60%、60% 和 35%, 活珊瑚覆盖率明显下降, 1998 年该岸段活珊瑚覆盖率约 41.5%, 而 2002 年(23.4%)、2004 年(20%) 和本次最新调查结果表明, 活珊瑚覆盖率仍持续下降。

(3) 人类活动是造成三亚鹿回头珊瑚礁现有衰退并影响将来发展的重要因素: 过度捕捞和炸鱼、毒鱼等破坏性捕捞以及大规模采挖礁块、践踏等活动, 直接导致了该岸段七八十年代的巨大衰退; 海上珍珠贝、麒麟菜等大规模养殖活动, 是造成该岸段珊瑚礁近期破坏的主要原因; 沿岸对虾育苗场或鲍养殖场的废水排放是当前主要影响因素; 而三亚河和附近港口工程、海岸建设、航运活动带来的泥沙和污染物, 以及正向鹿回头扩展的潜水旅游活动, 已成为该岸段不可忽视的威胁因素。

(4) 为了更好地保护该岸段珊瑚礁, 需要在了解该岸段活珊瑚覆盖率动态变化的基础上, 认清保护的紧迫性, 针对不同区域的珊瑚群落的具体特征和影响因素, 制定合理、有效的管理措施, 并辅助性进行生态修复。

参 考 文 献

于登攀, 邹仁林, 1999. 三亚鹿回头岸礁造礁石珊瑚群落结构的现状和动态. 见: 马克平编. 中国重点地区与类型生态系统多样性. 杭州: 浙江科学技术出版社, 225—268
 王国忠, 2001. 南海珊瑚礁区沉积学. 北京: 海洋出版社, 1—313
 刘瑞玉, 1998. 人类活动对底栖生物多样性的影响. 见: 中山大

学近岸海洋科学与技术研究中心编. 97 海岸海洋资源与环境研讨会论文集. 香港: 香港科技大学理学院及海岸与大气研究中心, 39—46
 吴重华, 王晓蓉, 张永战等, 1996. 海南一些港湾海水的水化学特征. 南京大学学报(自然科学版), 32(3): 454—459
 张乔民, 2001. 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, 32(4): 454—464
 张乔民, 2003. 三亚鹿回头珊瑚礁生物多样性面临威胁. 科学新闻, 9: 24—25
 邹仁林, 2001. 中国动物志 - 造礁石珊瑚. 北京: 科学出版社, 1—284
 邹仁林, 马江虎, 宋善文, 1966. 海南岛珊瑚礁垂直分带的初步研究. 海洋与湖沼, 8(2): 153—160
 邹仁林, 宋善文, 马江虎, 1975. 海南岛浅水造礁石珊瑚. 北京: 科学出版社, 1—64
 陈乃观, 蔡莉斯, 梦海莉等, 2005. 香港石珊瑚图鉴. 香港: 渔农自然护理署, 1—373
 陈刚, 熊仕林, 谢菊娘等, 1995. 三亚水域造礁石珊瑚移植试验研究. 热带海洋, 14(3): 51—57
 祝仲容, 黄金森, 1989. 海南岛三亚市鹿回头连岛坝碳酸盐沉积的岩石学特征. 见: 中国科学院南海海洋研究所. 南海海洋科学集刊(第 9 集). 北京: 科学出版社, 233—240
 聂宝符, 梁美桃, 朱袁智等, 1991. 南海礁区现代造礁珊瑚类骨骼细结构的研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1—147
 高志文, 1987. 海南岛鹿回头珊瑚岸礁沉积物的沉积特征. 见: 中国科学院南海海洋研究所. 南海海洋科学集刊(第 9 集). 北京: 科学出版社, 43—53
 曾昭璇, 梁景芬, 丘世钧, 1997. 中国珊瑚礁地貌研究. 广州: 广东人民出版社, 397—416
 谢玉坎, 林碧萍, 李庆欣, 1981. 海南岛鹿回头及附近的贝类. 动物学报, 27(4): 384—387
 蔡爱智, 李星元, 1964. 海南岛南岸珊瑚礁的若干特点. 海洋与湖沼, 6(2): 205—216
 颜京松, 1956. 石珊瑚. 生物学通报, 2: 23—27
 B·纳乌莫夫, 颜京松, 黄明显, 1960. 海南岛珊瑚礁的主要类型. 海洋与湖沼, 3(3): 157—176
 Aronson R B, Bruno J F, Precht W F *et al*, 2003. Causes of coral reef degradation. *Science*, 302: 1502—1504
 Bellwood D R, Hughes T P, Folke C *et al*, 2004. Confronting the coral reef crisis. *Nature*, 429: 827—833
 Connell J H, Hughes T P, Wallace C C, 1997. A 30-year study of coral abundance, recruitment and disturbance at several sites in space and time. *Ecological Monographs*, 67(4): 461—488
 Done T J, 1992. Phase-shifts in coral reef communities and their ecological significance. *Hydrobiologia*, 247: 121—132
 Edmunds P J, 2002. Long-term dynamics of coral reefs in St. John, US Virgin Islands. *Coral Reefs*, 21: 357—367
 English S, Wilkson C, Baker V, 1997. Survey manual for tropical marine resources, 2nd edition. Townville: Australian Institute of Marine Science, 1—390
 Fabricius K E, 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology

- of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 125—146
- Foster M S, Harrold C, Hardin D D, 1991. Point vs photo quadrat estimates of the cover of sessile marine organisms. *J Exp Mar Bio Ecol*, 146:193—203
- Gardner T A, Cote I M, Gill J A *et al*, 2003. Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science*, 301: 958—960
- Guilcher A, 1988. *Coral reef geomorphology*. Chichester: John Wiley & Sons, 1—32
- Hughes T P, 1994. Catastrophes, phase shifts and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science*, 265: 1547—1551
- Lindahl U, 2003. Coral reef rehabilitation through transplantation of staghorn corals: effects of artificial stabilization and mechanical damages. *Coral Reefs*, 22: 217—223
- Kleypas J A, Buddemeier R W, Archer D *et al*, 1999. Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on coral reefs. *Science*, 284: 118—120
- Knowlton N, 2001. The future of coral reefs. *Proc Natl Acad Sci USA*, 98: 5419—5425
- Mcclanhan T R, 2002. The near future of coral reefs. *Environ Conserv*, 29: 460—483
- Nagelkerken I, Vermond K, Moraes O C C *et al*, 2005. Changes in coral reef communities and an associated reef fish species, *Cephalopholis cruentata*, after 30 years on Curaçao (Netherlands Antilles). *Hydrobiologia*, 549:145—154
- Pandolfi J M, Bradbury R H, Sala E *et al*, 2003. Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science*, 301:925—958
- Philippe E, Fabricius K, 2003. Photophysiological stress in scleractinian corals in response to short-term sedimentation. *J Exp Mar Biol Ecol*, 287:57—78
- Spalding M D, Ravilious C, Green E P, 2001. *World atlas of coral reefs*. Berkeley: Angeles university of California press, 9—28
- Veron J, 2000. *Corals of the world*. Townsville: Australian Institute of Marine Science, 1—890
- Wallace C C, 1999. *Staghorn corals of the world: a revision of the coral genus Acropora*. Collingwood: CSIRO, 1—421
- Walter C J, 2000. Coral reef restoration. *Ecological Engineering*, 15: 345—364
- Wielgus J, Chadwick-Furman N E, Dubinsky Z, 2004. Coral cover and partial mortality on anthropogenically impacted coral reefs at Eilat, northern Red Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 48: 248—253
- Wilkinson C R, 2004. *Status of Coral Reefs of the World: 2004, Vol . 1*. Townsville. Australia: Australian Institute of Marine Science, 1—302
- Wu B L, Hutchings P A, 1986. Coral reefs of Hainan Island, South China Sea. *Collected Oceanic Works*, 9: 76—80
- Zhang Q M, 2001. On biogeomorphology of Luhuitou fringing reef of Sanya City, Hainan Island, China. *Chinese Science Bulletin*, 46(Supp): 97—102
- Zhang Q M, 2004. Status monitoring and management strategy research of Luhuitou fringing reef of the Sanya Reserve. In: UNEP. *Monitoring Coral Reefs for Better Management Schemes: UNEP EAS/RCU Small Grant Fund Programme 2002—2003*. Bangkok: UNEP, 241—258
- Zhang Q M, Shi Q, Chen G *et al*, 2006. Status monitoring and health assessment of Luhuitou fringing reef of Sanya, Hainan, China. *Chinese Science Bulletin*, 51(Supp): 81—88

LONG-TERM CHANGE IN CORAL COVER IN LUHUITOU FRINGING REEF, SANYA

ZHAO Mei-Xia, YU Ke-Fu, ZHANG Qiao-Min, SHI Qi

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

Abstract Five transects in Luhuitou Fringing Reef, Sanya, Hainan, China, were studied by scuba observation and laboratory interpretation from video transects and photo quadrats in 2005 and 2006; the mean live coral cover was 15% and 12% respectively. The live coral cover has been remarkably decreased. Prosperous coral communities were flourish in the past, in coverage of as high as 80%—90% in 1960s. Live coral cover was 60% in 1978 and 1983, and 35% in 1990, indicating a considerable degradation. It increased to 42% in 1998, but reduced again to 23% in 2002 and 20% in 2004, in downtrend at the investigation period. The human activities were the main factors on the reduction of live coral cover. Overfishing, destructive fishing activities, and large-scale reef rock quarrying in 1970s to 1980s directly resulted in the huge decline, maricultures of pearl oyster and *Eucheuma* led to recent reef destruction, and a dozen of breeding farms for prawn or abalone in Luhuitou coastal region may also be responsible for the degradation at present. Besides, sediment and pollutant from land, coastal engineering, and diving-oriented tourism has become another potential threat. Therefore, in order to protect the coral reef ecology, dynamic real-time long-term monitoring on live coral cover shall be implemented with reasonable and effective management measures.

Key words Live coral cover, Coral reef, Dynamic change, Luhuitou, Global change