涠洲岛滨珊瑚中的生物侵蚀及其环境指示意义

陈天然^{①*}, 郑兆勇^②, 莫少华^③, 汤超莲^②, 周雄^③

① 中国科学院南海海洋研究所, 中国科学院边缘海地质重点实验室, 广州 510301;

② 国家海洋局南海分局, 广州 510310;

③ 国家海洋局北海海洋环境监测中心站, 北海 536000

* 联系人, E-mail: chentianran@scsio.ac.cn

2012-12-11 收稿, 2013-01-31 接受, 2013-05-10 网络版发表

国家重点基础研究发展计划(2013CB956104)、国家自然科学基金(41106054, 41025007)、中国科学院战略性先导科技专项(XDA05080300)和国家海洋局青年海洋科学基金(2010208)资助

摘要 海水污染、水体富营养化对南海北部涠洲岛珊瑚礁的负面影响已被初步肯定, 但缺少直接、定量的研究实例. 本文通过分析涠洲岛滨珊瑚骨骼内侵蚀生物的种类及其侵蚀强度, 研究水体富营养化与生物侵蚀之间的关系, 评估生物侵蚀作用对涠洲岛珊瑚以及珊瑚礁的负面影响. 研究结果显示, 在采集的滨珊瑚样品中发现的大型侵蚀生物主要包括: 双壳类(bivalves, 主要是 *Lithophaga* spp.)、海绵(sponges, 主要是 *Clathrospira* spp. 和 *Cliona* spp.)、藤壶(barnacles)和蠕虫(包括星虫 sipunculans 和多毛类 polychaetes), 此外还发现了微型生物侵蚀的痕迹. 其中, 双壳类 *Lithophaga* spp. 占主导, 特别是靠近人类活动密集、污染物排放集中、富营养化程度高的海域, 这主要集中在岛的南部, 其生物侵蚀强度也明显高于岛北部远离污染源、水质相对较好的海域. 水体富营养化加剧, 导致侵蚀生物数量明显上升, 侵蚀强度增加, 对涠洲岛珊瑚的生存、礁区碳酸钙的堆积乃至礁体的增长都极其不利. 本研究还提出, 珊瑚骨骼内的生物侵蚀强度, 特别是双壳类和海绵的侵蚀强度, 可用来指示礁区的水体富营养化程度.

关键词

生物侵蚀
滨珊瑚
富营养化
珊瑚礁
涠洲岛
南海北部

南海北部涠洲岛周围发育有全新世珊瑚礁, 对维持该岛的生物多样性以及渔业、旅游业等发挥着重要的作用^[1], 有较高的社会和经济效益. 近几年来, 在涠洲岛珊瑚礁区开展的包括物种多样性、种群结构、分布特征等的生态调查结果显示, 活珊瑚覆盖度正大幅度下降, 死亡率明显上升, 即呈现出显著退化的趋势^[2~5]. 岛上人口扩张以及迅速发展的旅游业、养殖业等排污造成的海水污染、水体富营养化对珊瑚生长不利并可能是导致珊瑚礁退化的一个重要因素^[2,3,5,6]. 然而, 水体富营养化导致珊瑚礁退化的结论缺少更加直接、定量的证据, 显得较为模糊, 这不利于有效保护珊瑚礁生态资源. 事实上, 富营养化的水质不仅能够诱发单个珊瑚的病害、死亡, 更重要的

是会加重珊瑚骨骼内的生物侵蚀(bioerosion)作用, 打破整个礁体碳酸钙沉积与损失之间的动态平衡, 不利于珊瑚礁的发育^[7~9].

珊瑚、珊瑚藻等钙质生物通过分泌碳酸钙骨骼并在基底上不断累积形成珊瑚礁, 这是典型的生物建造(bio-construction)过程, 为人们所熟悉; 而与之相反的生物破坏作用, 即生物侵蚀, 是热带、亚热带珊瑚礁区普遍存在的一种生态现象, 但因为相对隐蔽(在珊瑚内部)而常被忽略, 然而生物侵蚀作用显著影响着珊瑚礁的结构和形貌^[10~12]. 造成侵蚀的侵蚀生物分为大型(macro-bioeroders), 如海绵、贝类、蠕虫等; 以及微型(micro-bioeroders), 主要是一些藻类、细菌、真菌等. 现代珊瑚礁环境学的研究表明, 在人类

引用格式: 陈天然, 郑兆勇, 莫少华, 等. 涠洲岛滨珊瑚中的生物侵蚀及其环境指示意义. 科学通报, 2013, 58: 1574–1582

Chen T R, Zheng Z Y, Mo S H, et al. Bioerosion in *Porites* corals at Weizhou Island and its environmental significance (in Chinese). Chin Sci Bull (Chin Ver), 2013, 58: 1574–1582, doi: 10.1360/972011-2531

活动密集、污水持续排放的珊瑚礁区,生物侵蚀作用要比非污染礁区严重的多,因此珊瑚骨骼受生物侵蚀的程度可作为指示当地海水污染(富营养化)的代用指标^[13-15]。不仅如此,珊瑚骨骼化石中的生物侵蚀常用来指示古海水的富营养化程度以及与之相关的古环境状况^[16,17]。

本文通过分析采自涠洲岛礁区的滨珊瑚(*Porites*, 为南海主要的造礁珊瑚属)骨骼内部的生物侵蚀强度,研究其空间差异与海水富营养化的关系,探讨人为排污刺激生物侵蚀对珊瑚以及珊瑚礁的不利影响,为保护该岛的珊瑚礁生态资源提供科学支持,也为进一步研究生物侵蚀作用对现代珊瑚礁区碳酸盐沉积的影响做铺垫。

1 材料和方法

涠洲岛位于南海北部湾的东北部,为一火山岛,最高处海拔约 79 m,面积约 26 km²,是北部湾最大的岛屿(图 1)。涠洲岛属于亚热带季风气候区,年平均水温约 24℃,夏季水温可达 30℃ 以上,冬季可达 15℃ 以下。沿涠洲岛海岸发育有珊瑚礁,主要分布在岛的北部、东部和西南部的 10 m 水深以内^[1,18]。

采用潜水的方式,于 2010 年 8 月在靠近涠洲岛北港、竹蔗寮和滴水丹屏的礁区(分别对应于图 1 中的位点 1、2 和 3)随机采集 8 块近似半球状的滨珊瑚样品。室内用手锯沿珊瑚骨骼生长轴方向(纵向)切出 3

个平行的切面,其中中间的切面包含珊瑚骨骼最大生长轴(对应珊瑚块体顶部的最高点),两边的切面离中间切面相隔约 5 cm。用数码相机拍下每个切面的高分辨率照片,用于确定是何种生物留下的侵蚀痕迹,以及用于定量分析滨珊瑚骨骼受生物侵蚀的程度——侵蚀强度(bioerosion intensity)。

根据珊瑚切面上侵蚀孔洞的大小、形状等特征确定大型侵蚀生物物种^[12,16,19,20],具体辨别依据为:(1)双壳类 *Lithophaga* spp.等主要是化学侵蚀,能侵蚀珊瑚骨骼形成圆柱形的空腔(钻孔甚至可以从珊瑚群体的表面一直延伸到底部),而切开珊瑚骨骼后往往看见的是椭圆形或圆形的空腔,腔体表面平滑(图 2);(2)钻孔海绵(boring sponges),本研究遇见的是 *Cliothosa* 和 *Cliona* 两个属,前者会侵蚀掉整块珊瑚骨骼,形成球形、月牙形或不规则形状的空腔;而后者形成分散的不规则的小空腔,整体上看近似泡沫状,即并不是将整块珊瑚腐蚀掉(图 2);(3)蠕虫(worms)常被用作星虫(sipunculans)和多毛类(polychaetes)的统称,它们能通过机械和化学作用侵蚀珊瑚骨骼形成狭窄、弯曲、细长的孔洞,此外星虫侵蚀的孔洞往往有钙质的虫管残留,而多毛类动物侵蚀的孔洞则没有(图 2);(4)藤壶(barnacles)并不是钻孔生物,但它会附着在珊瑚表面生长,最终被珊瑚的外骨骼包裹,留下其圆锥形的钙质外壳(图 2)。

侵蚀强度的计算方法为:用图像分析软件

图 1 涠洲岛以及采集滨珊瑚样品的位置(▲1~3)示意图

图 2 涠洲岛滨珊瑚切面上侵蚀生物留下的痕迹

B, 双壳类; S, 海绵; W, 蠕虫; Ba, 藤壶; M, 微型侵蚀生物. 图片标注格式为“采样点-样品编号-切面编号”. 图中作为比例尺的铅笔长 19.1 cm

ScionImage (Scion Corporation ver. 4.0.3)计算各类生物钻孔以及珊瑚切面的面积大小,其比值就是该种侵蚀生物的侵蚀强度,而所有侵蚀面积与珊瑚切面面积的比值就是该珊瑚的总侵蚀强度,进而可以求出整个区域(包含多个样品)的总侵蚀强度。

2 结果与讨论

2.1 侵蚀生物与侵蚀强度

切开采集的滨珊瑚样品,切面上分布有大小不一的椭圆形、圆形、狭长形、不规则形状的孔洞,以及狭长的虫管等(图2)。根据上述侵蚀生物痕迹的判别依据,本研究所采集的样品中找到的大型侵蚀生物主要包括:(1)双壳类(endolithic bivalves),主要是 *Lithophaga* spp.;(2)海绵(boring sponges),主要是 *Cliothosa* spp.和 *Cliona* spp.;(3)藤壶(barnacles);以及(4)蠕虫(worms),主要是星虫(sipunculans)和多毛类(polychaetes)(图2和表1)。总体上,于位点2和3采集的珊瑚切面生物侵蚀相对位点1的珊瑚样品更为严重:位点1的两块珊瑚切面上主要是双壳类留下的孔洞,以及少量的蠕虫和海绵留下的侵蚀痕迹;位点2和3采集的样品中可明显观察到侵蚀生物数量增多,布满蠕虫和藤壶留下的钻孔和壳体,同时由双壳类和海绵侵蚀的孔洞面积(体积)也明显增大(图2),说明位点2和3的滨珊瑚内的侵蚀生物的数量和个体大小均比位点1样品中的要高。此外,在标号为3-3的滨珊瑚样品的切面上还发现了微型生物侵蚀的痕迹(图2,样品3-3-1~3-3-3)。这些橘红色条纹可能是一种属于 *Ostreobium* 属的石内藻(Endolithic algae)。这种藻类在滨珊瑚骨骼中较为常见,一般位于珊瑚软组织层下面几毫米至几厘米,呈红色、绿色等的条纹,而这种微型生物侵蚀在珊瑚骨骼上造成的微小孔洞只能在扫描电子显微镜下观察到^[21,22]。

表1按研究地点分别罗列了滨珊瑚骨骼中各种大型侵蚀生物的侵蚀强度,显示位点3的生物侵蚀强度最高,达8.64%,位点2的稍微低一点,为8.51%,而位点1的侵蚀强度最低(3.18%),最高值是最低值的近3倍。对于各侵蚀生物而言,无论是从各采样点或是从整个岛区上看,双壳类(*Lithophaga* spp.)造成的侵蚀占绝对主导(图3),位点3的双壳类相对侵蚀强度甚至占到了66%,即珊瑚切面上孔洞的面积有超过六成是双壳类的“贡献”。而海绵、蠕虫和藤壶则占相对较少的比例,从所有样品的平均看,这三者的相对侵蚀强度相加仍没有达到50%(见图3“涠洲岛”)。

2.2 生物侵蚀的环境指示意义

涠洲岛滨珊瑚骨骼中的生物侵蚀强度,数值上要明显高于国际上其他保护较好、受人类活动影响较少的珊瑚礁区,如澳大利亚大堡礁远离岸边的 Myrmidon Reef 等珊瑚礁^[19];而双壳类占绝对主导这一特点与同样受到污染的珊瑚礁区观察到的情况相类似,如法属波利尼西亚的 Moorea 岛(>50%)^[10]以及太平洋东部的 Gorgona 岛(>50%)^[23]等的珊瑚礁。经研究证实,珊瑚骨骼内侵蚀生物的丰度以及珊瑚受生物侵蚀的程度与当地的海水初级生产力^[24]以及水体富营养化程度^[14]呈显著正相关。最为经典的研究实例就是对大堡礁沿岸不同岛礁的生物侵蚀研究,其结果发现邻近岸边的岛礁上的滨珊瑚和鹿角珊瑚骨骼侵蚀强度高,而离岸远的岛礁上的同类珊瑚骨骼中的侵蚀强度低,即展现了一种侵蚀强度随离岸距离增加而递减的趋势(总侵蚀强度从10%左右逐渐降低到1%以下),特别是对于珊瑚骨骼内的双壳类侵蚀强度而言(从3%左右逐渐降低到0.1%左右)^[19,25]。对文本中3个研究地点的各种生物侵蚀强度和总侵蚀强度与当地水质参数(表2)做相关性统计分析(表3),发现双壳类和海绵的侵蚀强度与各参数之间有

表1 滨珊瑚骨骼切面上大型侵蚀生物的侵蚀强度

采样点	样品个数	侵蚀强度(%)				总侵蚀强度
		双壳类	海绵	蠕虫	藤壶	
1	2	1.92	0.77	0.45	0.05	3.18
2	3	3.48	1.06	1.65	2.31	8.51
3	3	5.69	1.29	0.45	1.22	8.64
涠洲岛	8	3.83	1.06	0.89	1.30	7.08

图 3 涠洲岛滨珊瑚骨骼中的相对生物侵蚀强度

高的相关性；而藤壶，特别是蠕虫，与水质参数之间的相关系数较低；由于双壳类和海绵已经占到大部分，因此总侵蚀强度与水质参数的相关系数相对较高。

受人类排污影响的海域往往富营养化程度高，即水体中的营养盐和有机物等的含量、浮游动植物的生物量、海水初级生产力等都远高于非污染区海水。这给侵蚀生物直接或间接提供了食物的来源，特别是对于作为典型的滤食性生物(filter-feeders)的双壳类和海绵^[26]。本文研究发现，位于涠洲岛北端的位点 1 的生物侵蚀强度较低，而位点 2 和 3 的生物侵蚀强度明显高于位点 1；此外，双壳类和海绵的侵蚀强度与水质参数的相关系数相对较高。这些规律符合涠洲岛周围海水富营养化程度的不同分布：位点 2, 3 靠近人类居住密集的涠洲镇以及潜水娱乐和海上养殖等排污较严重的海域，水体富营养化程度自然要明显高于岛的北部(位点 1)，从监测的水质参数的数据(表 2)就可以明显看出。并且，从其他一些零星的监测记录看，岛南部海域浮游植物生物量以及赤潮暴发的几率也是均高于岛的北部^[27,28]。这些监测的结果均与本文采集的滨珊瑚骨骼中的生物侵蚀强度“南高北低”的分布规律是一致的。除了大型侵蚀生物，在位点 3 发现的微型生物侵蚀现象也可能同样说明了在高营养环境下，微型生物侵蚀加剧^[22]，而在岛北部位点 1 采集的珊瑚骨骼中没有发现类似的现象。

2.3 生物侵蚀加剧的不利影响

海水富营养化刺激侵蚀生物大量繁殖，造成的影响是潜在且长期的，与珊瑚白化、疾病等表现、短期的生态现象相比，珊瑚内部的生物侵蚀过程更容易被忽视。然而，生物侵蚀作用是一个量变到质变的过程，对珊瑚礁的破坏作用不容忽视。双壳类 *Lithophaga* 等主要通过化学的方法分泌酸性物质腐蚀珊瑚骨骼达到钻孔的效果^[26,29]，双壳类在珊瑚骨骼中造成的空腔在所有侵蚀生物中是最大的(图 2)，且随着其个体长大，腐蚀的速率还会加快(其钻孔甚至从珊瑚表面一直延伸到底部)。即使双壳类个体死亡，留下的孔洞也会被其他侵蚀生物继续占据、腐蚀，因此双壳类(特别是 *Lithophaga*)对礁体的破坏力最强。经常遇见的情况就是，从珊瑚的表面上看仅有一些并不大的孔(图 4(a))，而切开珊瑚后发现内部已经“千疮百孔”(图 2)。相对于双壳类，虽然蠕虫的侵蚀效果没有那么严重，但它们的重要意义在于扮演了先行者的角色，即最先侵蚀珊瑚体，便利后续的侵蚀生物的“入驻”^[30,31]。藤壶幼体迁移到珊瑚表面生长，被后来的珊瑚骨骼包裹住，就形成了空隙，藤壶死亡后空隙不会再加宽，对珊瑚骨骼影响相对较小。钻孔海绵(boring sponges)覆盖在珊瑚表面，可造成被覆盖的珊瑚活体部分死亡，而下面的骨骼常被侵蚀成泡沫状的多孔型(*Cliona*)或整块珊瑚骨骼被腐蚀掉，形成不

表 2 涠洲岛水质参数^{a)}

采样点	时间	叶绿素 <i>a</i>	磷酸盐	亚硝酸盐	硝酸盐	氨氮	硅酸盐
1	2005	0.0011	0.0040	0.0008	0.0198	0.0060	0.0495
	2006	0.0011	0.0040	0.0009	0.0238	0.0135	0.1337
	2007	0.0010	0.0043	0.0017	0.0245	0.0105	0.1725
	2008	0.0012	0.0045	0.0027	0.0049	0.0301	0.1585
	平均	0.0011	0.0042	0.0015	0.0183	0.0150	0.1285
2	2005	0.0010	0.0055	0.0013	0.0072	0.0078	0.0520
	2006	0.0010	0.0043	0.0014	0.0185	0.0102	0.1652
	2007	0.0012	0.0053	0.0030	0.0207	0.0197	0.1080
	2008	0.0020	0.0042	0.0030	0.0522	0.0450	0.3368
	平均	0.0013	0.0048	0.0022	0.0246	0.0207	0.1655
3	2005	0.0012	0.0050	0.0020	0.0057	0.0149	0.0693
	2006	0.0013	0.0058	0.0018	0.0247	0.0170	0.1442
	2007	0.0010	0.0068	0.0018	0.0313	0.0127	0.2007
	2008	0.0024	0.0070	0.0033	0.0431	0.0439	0.3283
	平均	0.0015	0.0062	0.0023	0.0262	0.0221	0.1856

a) 数据取自北海海洋环境监测中心站“近岸海域生态监控区监测——广西北海监控区珊瑚礁水质报表”。由于水质监测位点并不一定正好位于珊瑚采样点，因此表中数值是采样点附近 3 个水质监测位点的数据平均值，每年的数据是年中 2 次调查(一般在 4 和 9 月)的平均值，各参数单位均为 mg/L

表 3 3 个采样点的生物侵蚀强度与水质参数的相关性^{a)}

	叶绿素 <i>a</i>	磷酸盐	亚硝酸盐	硝酸盐	氨氮	硅酸盐
双壳类	0.995	0.994	0.866	0.907	0.910	0.964
海绵	0.998	0.964	0.937	0.964	0.966	0.995
蠕虫	0.000	-0.203	0.412	0.328	0.323	0.168
藤壶	0.518	0.333	0.824	0.770	0.767	0.654
总侵蚀强度	0.876	0.760	0.997	0.986	0.985	0.945

a) 由于样本量偏少(仅 3 个研究地点，因此 $n=3$)，虽然有些相关系数很高(>0.9)，但在统计分析(SPSS 软件)上显著性并不高。这里用统计分析主要是展示双壳类和海绵相对蠕虫和藤壶与海水富营养化有更好的对应关系

图 4 现场水下照片

(a) 滨珊瑚表面布满星虫(虫管)和双壳类(椭圆形较大的孔)的钻孔(拍摄于采样点 3); (b) 布满枝状和块状珊瑚骨骼碎块的景象(虚线框内)在涠洲岛珊瑚礁区随处可见，这些碎块上常伴有大小不一的生物钻孔

规则形状的空穴(*Cliothosa*). 并且, 如果一个珊瑚被钻孔海绵侵染, 海绵会随着该珊瑚的断枝、碎块与其他邻近珊瑚接触, 而感染被接触的珊瑚, 从而继续扩散甚至在整个礁区蔓延开来, 即具有“传染”的特性^[32].

被侵蚀严重的珊瑚内部布满大小不一的空腔(钻孔), 使原本致密、结实的珊瑚骨骼变得脆弱^[33], 而分布在珊瑚底部的空腔松动了底部与基底的粘合, 使得珊瑚更容易在风暴、巨浪等强烈的外力作用下从基底上被剥落下来^[34]. 内部“千疮百孔”的珊瑚一旦剥落, 在翻滚、碰撞中很容易碎裂(图4(b)), 这对活珊瑚就意味着死亡, 而对于整个礁体而言, 则不利于其碳酸钙的堆积、礁体的增长^[7,8]. 在人类活动密集的区域, 如涠洲岛, 造成珊瑚剥落的外力作用除自然因素外还有抛锚、炸鱼、拖网、潜水观光等的人为破坏作用^[1,2,5]. 因此, 生物侵蚀加剧也可能是导致涠洲岛珊瑚礁活珊瑚覆盖度持续下降、珊瑚礁退化的一个重要因素. 而且, 作为生物建造的对立面, 生物侵蚀持续损耗着珊瑚礁的碳酸钙结构, 而水体富营养化刺激生物侵蚀加剧, 在抑制生物建造的同时加剧了损耗, 因此从某种意义上说, 礁区水体的营养状况严重影

响着礁体碳酸钙累积与破坏之间的动态平衡^[7,35]. 如果不采取相应措施, 生物侵蚀继续加剧, 当其损耗珊瑚礁的速率大于生物建造速率, 那么珊瑚礁就成为负增长状态, 将沉没于现代快速增长的海平面中, 礁体功能丧失, 珊瑚礁“死亡”.

3 结论

涠洲岛地理位置靠近南海珊瑚礁分布的北缘. 在人类活动密集的南部海域, 生活、养殖等污水的直接排放导致附近海域水体富营养化程度加剧, 刺激了珊瑚礁区侵蚀生物(特别是双壳类)的过度繁殖, 加剧了对活珊瑚、礁体的生物侵蚀和破坏作用. 在风暴等自然因素以及抛锚、拖网、潜水等人为外力作用下, 受生物侵蚀严重的块状、枝状珊瑚容易从底基上被剥落下来并破碎、死亡, 加上生物侵蚀过程损耗了珊瑚礁碳酸钙物质基础, 因此生物侵蚀加剧十分不利于珊瑚礁的堆积、增长. 然而, 这种影响是潜在、长期的, 容易被忽视, 但后果是严重的. 唯有控制污染物排放、改善水质, 才能有效减缓涠洲岛珊瑚礁的生物侵蚀作用, 才能真正为保护好宝贵的珊瑚礁生态资源起到积极的作用.

参考文献

- 1 梁文, 黎广钊. 涠洲岛珊瑚礁分布特征与环境保护的初步研究. 环境科学研究, 2002, 15: 5-7
- 2 黄晖, 马斌儒, 练健生, 等. 广西涠洲岛海域珊瑚礁现状及其保护策略研究. 热带地理, 2009, 29: 307-312
- 3 梁文, 黎广钊, 范航清, 等. 广西涠洲岛造礁石珊瑚属种组成及其分布特征. 广西科学, 2010, 17: 93-96
- 4 梁文, 黎广钊, 范航清, 等. 广西涠洲岛珊瑚礁物种生物多样性研究. 海洋通报, 2010, 29: 412-416
- 5 梁文, 张春华, 叶祖超, 等. 广西涠洲岛造礁珊瑚种群结构的空间分布. 生态学报, 2011, 31: 39-46
- 6 余克服, 蒋明星, 程志强, 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: 506-510
- 7 Hutchings P A. Biological destruction of coral reefs—A review. Coral Reefs, 1986, 4: 239-252
- 8 Glynn P W. Bioerosion and coral reef growth: A dynamic balance. In: Birkeland C, ed. Life and Death of Coral Reefs. New York: Chapman & Hall, International Thomson, 1997. 69-98
- 9 Perry C T, Hepburn L J. Syn-depositional alteration of coral reef framework through bioerosion, encrustation and cementation: Taphonomic signatures of reef accretion and reef depositional events. Earth-Sci Rev, 2008, 86: 106-144
- 10 Peyrot-Clausade M, Hutchings P, Richard G. Temporal variations of macroborers in massive *Porites lobata* on Moorea, French Polynesia. Coral Reefs, 1992, 11: 161-166
- 11 Perry C T. Distribution and abundance of macroborers in an upper Miocene reef system, Mallorca, Spain: Implications for reef development and framework destruction. Palaios, 1996, 11: 40-56
- 12 Perry C T. Macroborers within coral framework at Discovery Bay, north Jamaica: Species distribution and abundance, and effects on coral preservation. Coral Reefs, 1998, 17: 277-287
- 13 Edinger E N, Limmon G V, Jompa J, et al. Normal coral growth rates on dying reefs: Are coral growth rates good indicators of reef health? Mar Pollut Bull, 2000, 40: 404-425
- 14 Holmes K E, Edinger E N, Hariyadi, et al. Bioerosion of live massive corals and branching coral rubble on Indonesian coral reefs. Mar Pollut Bull, 2000, 40: 606-617

- 15 Le Grand H M, Fabricius K E. Relationship of internal macrobioeroder densities in living massive *Porites* to turbidity and chlorophyll on the Australian Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 2011, 30: 97–107
- 16 Klein R, Mokady O, Loya Y. Bioerosion in ancient and contemporary corals of the genus *Porites*: Patterns and paleoenvironmental implications. *Mar Ecol Prog Ser*, 1991, 77: 245–251
- 17 Edinger E N, Risk M J. Oligocene-Miocene extinction and geographic restriction of Caribbean corals—Roles of turbidity, temperature, and nutrients. *Palaos*, 1994, 9: 576–598
- 18 黎广钊, 梁文, 农华琼, 等. 涠洲岛珊瑚礁生态环境条件初步研究. *广西科学*, 2004, 11: 379–384
- 19 Sammarco P W, Risk M J. Large scale patterns in internal bioerosion of *Porites*: Cross continental shelf trends on the Great Barrier Reef. *Mar Ecol Prog Ser*, 1990, 59: 145–156
- 20 Macdonald I A, Perry C T. Biological degradation of coral framework in a turbid lagoon environment, Discovery Bay, North Jamaica. *Coral Reefs*, 2003, 22: 523–535
- 21 Zubia M, Peyrot-Clausade M. Internal bioerosion of *Acropora formosa* in Reunion (Indian Ocean): Microborer and macroborer activities. *Oceanol Acta*, 2001, 24: 251–262
- 22 Lecampionsumard T, Golubic S, Hutchings P. Microbial endoliths in skeletons of live and dead corals: *Porites lobata* (Moorea, French-Polynesia). *Mar Ecol Prog Ser*, 1995, 117: 149–157
- 23 Cantera J R K, Orozco C, Londono-Cruz E, et al. Abundance and distribution patterns of infaunal associates and macroborers of the branched coral (*Pocillopora damicornis*) in Gorgona Island (eastern tropical Pacific). *Bull Mar Sci*, 2003, 72: 207–219
- 24 Highsmith R C. Geographic patterns of coral bioerosion—A productivity hypothesis. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1980, 46: 177–196
- 25 Risk M J, Sammarco P W, Edinger E N. Bioerosion in *Acropora* across the continental shelf of the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 1995, 14: 79–86
- 26 Kleemann K. Biocorrosion by bivalves. *PSZNI Mar Ecol*, 1996, 17: 145–158
- 27 刘国强, 史海燕, 魏春雷, 等. 广西涠洲岛海域浮游植物和赤潮生物种类组成的初步研究. *海洋通报*, 2008, 27: 44–48
- 28 广西壮族自治区海洋局. 广西壮族自治区海洋环境质量公报. 2003–2010
- 29 Lazar B, Loya Y. Bioerosion of coral reefs—A chemical approach. *Limnol Oceanogr*, 1991, 36: 377–383
- 30 Hutchings P A, Peyrot-Clausade M. The distribution and abundance of boring species of polychaetes and sipunculans in coral substrates in French Polynesia. *J Exp Mar Biol Ecol*, 2002, 269: 101–121
- 31 Hutchings P. Role of polychaetes in bioerosion of coral substrates. In: Wisshak M, Tapanila L, eds. *Current Developments in Bioerosion*. Berlin: Springer Verlag, 2008. 249–264
- 32 Lopez-Victoria M, Zea S. Storm-mediated coral colonization by an excavating Caribbean sponge. *Clim Res*, 2004, 26: 251–256
- 33 Scott P J B, Risk M J. The effect of *Lithophaga* (Bivalvia, Mytilidae) boreholes on the strength of the coral *Porites lobata*. *Coral Reefs*, 1988, 7: 145–151
- 34 Chen T, Li S, Yu K. Macrobioerosion in *Porites* corals in subtropical northern South China Sea: A limiting factor for high-latitude reef framework development. *Coral Reefs*, 2013, doi: 10.1007/s00338-012-0946-4
- 35 Hallock P. The role of nutrient availability in bioerosion: Consequences to carbonate buildups. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 1988, 63: 275–291

Bioerosion in *Porites* corals at Weizhou Island and its environmental significance

CHEN TianRan¹, ZHENG ZhaoYong², MO ShaoHua³, TANG ChaoLian² & ZHOU Xiong³

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

²South China Sea Branch, SOA, Guangzhou 510310, China;

³BeiHai Marine Environmental Monitoring Center, SOA, BeiHai 536000, China

The negative impacts of water pollution and eutrophication on coral reefs at Weizhou Island in the northern South China Sea have been preliminarily affirmed, but quantitative research examples supporting these effects are still lacking. Here, we analyzed the species and bioerosion intensity of boring organisms in samples of *Porites* corals collected at Weizhou Island as well as the relationship between eutrophication and bioerosion to assess the impacts of local pollution on corals and coral reefs. The observed bioeroders included bivalves (*Lithophaga* spp.), sponges (*Cliothosa* spp. and *Cliona* spp.), barnacles, and sipunculid and polychaete worms. Additionally, traces of micro-bioerosion were observed. The most important borers were filter-feeding bivalves (*Lithophaga* spp.), especially south of the island, where the environment has been heavily impacted by intensive human activities and eutrophication. Bioerosion intensity in corals collected from the south was significantly higher than that in corals collected from the north. Eutrophication stimulated boring organisms and subsequently caused the bioerosion intensity to increase significantly, which subsequently threatened local coral survival, calcium carbonate accumulation, and reef framework development. The results of this study also suggested that the bioerosion intensity of macrobioeroders, especially boring bivalves and sponges, can be interpreted as an indicator of chronic exposure to decreased water quality in coastal coral areas, especially those lacking water quality monitoring activities.

bioerosion, *Porites*, eutrophication, coral reefs, Weizhou Island, northern South China Sea

doi: 10.1360/972011-2531