

三亚鹿回头珊瑚礁区沉降物的来源、分布及影响因素

赵美霞^{①②*}, 余克服^{①②}, 施祺^{①②}, 张乔民^{①②}, 严宏强^{①②}, 黄玲英^{①②}

① 中国科学院边缘海地质重点实验室, 广州 510301;

② 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301

* 联系人, E-mail: zhaomeix@scsio.ac.cn

2012-05-02 收稿, 2012-08-16 接受, 2012-11-27 网络版发表

中国科学院战略性先导科技专项(XDA05080300)、国家自然科学基金(40830852, 40906043, 41106075)和中国科学院南海海洋研究所青年人才领域前沿项目(SQ201011)资助

摘要 采用沉降物捕集器收集了海南三亚鹿回头珊瑚岸礁区的礁坡沉降物, 进而分析了其沉积速率、粒度组成和物质成分. 结果表明该岸段礁坡沉降物的平均沉积速率为 $29.9 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 变化于 $5.70 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (春季)~ $97.41 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (夏季)之间, 主要由有机质(~9.5%)、礁内海洋自生组分(~44.5%)和礁外输入的陆源组分(~45.9%)组成; 沉降物属黏土质粉砂, 80%以上的沉降颗粒粒径小于 $63 \mu\text{m}$. 沉降物的时空差异主要与沉降物特征和礁区水动力环境有关, 该珊瑚礁处于背风低波能岸段, 海面平静时段水动力条件较弱, 悬浮的细颗粒物可在礁区沉降, 下礁坡沉降物中细颗粒含量明显高于上礁坡; 受台风等强风浪影响时, 沉积速率急剧增加, 并导致沉降在礁区的细颗粒物再悬浮, 造成观察到的沉积速率比海面平静时高出 10 倍以上. 综合考虑沉积速率的时空分布特征, 计算得出三亚鹿回头珊瑚礁区的年平均陆源沉降物约 1900 mg/cm^2 , 陆源细颗粒物在向外海运移过程中途径珊瑚礁岸段, 在礁区沉降并停留较长时间, 通过参与再悬浮对该礁区的珊瑚等生物群落产生影响.

关键词

珊瑚礁
沉降物
陆源组分
生态影响

近 20 年来, 南海及全球珊瑚礁出现严重退化已经是不争的事实^[1-4]. 海水中日益增多的悬浮物和泥沙沉降被认为是导致珊瑚礁严重衰退的原因之一^[5-8]. 悬浮物增加会降低海水透明度, 导致造礁石珊瑚体内共生的虫黄藻因得不到充足的光照而光合作用速率下降^[9,10]; 泥沙覆盖于珊瑚礁礁石上会妨碍珊瑚幼体的定居, 从而降低珊瑚群落的生物补充量^[11]; 而大量泥沙直接覆盖在珊瑚表面甚至导致其窒息死亡^[12,13], 泥沙沉积还可通过改变造礁石珊瑚群体的生长形态、大小, 降低生长率等使珊瑚群落结构发生变化^[14-16]. 另外, 沉积物对礁区的珊瑚藻、鱼类、底栖生物等礁栖生物群落也会产生非常不利的影响^[17-19].

有研究发现, 当珊瑚礁区海底沉降物的沉积速率达到 $70 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 时, 短时间内就会引起光生理

压力, 这种情况持续多日就会导致珊瑚成体的局部死亡^[10]. 若沉积速率长期保持在 $10 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 以上, 该珊瑚礁的生物群落则面临较高的沉积压力^[14,20]. 珊瑚受到的损伤不仅与沉积物的数量和持续时间有关, 还与沉积物的粒径大小与成分组成密切相关. 沉积物粒度及其有机、营养相关属性是决定珊瑚礁受到沉积压力的重要因子^[21], 因为珊瑚除去粗颗粒沉积物的能力要强于细颗粒沉积物, 移除贫营养的沉积物比移除富含营养的沉积物要容易些, 而粒径越小的沉积物, 其含有的有机污染物也越多^[22]. 另外, 陆源沉积物比海洋自生物质形成的沉积物降低珊瑚礁光合作用效率的能力更强^[23], 其危害性也更大.

尽管沉积物增加对珊瑚造成的负面影响已经在实验中被多次证实^[14,24], 但是对礁区沉积物的实地研究不多, 特别是在靠近人类活动密集的珊瑚岸礁

引用格式: 赵美霞, 余克服, 施祺, 等. 三亚鹿回头珊瑚礁区沉降物的来源、分布及影响因素. 科学通报, 2013, 58: 1583-1589

Zhao M X, Yu K F, Shi Q, et al. Source, distribution and influencing factors of sediments on Luhuitou fringing reef, Northern South China Sea (in Chinese). Chin Sci Bull (Chin Ver), 2013, 58: 1583-1589, doi: 10.1360/972011-2610

区^[8,25-27]. 因此, 本文选定我国珊瑚岸礁发育最为典型的海南三亚鹿回头珊瑚礁区为研究地点, 收集该珊瑚礁区礁坡的海底沉积物, 对其沉积速率、粒度、成分组成等特征进行研究, 分析该珊瑚礁区海底沉积物的时空差异及影响因素, 特别讨论海底沉积物中陆源组分对该珊瑚礁的影响, 以期在实际的珊瑚礁资源管理中提供借鉴和指导.

1 研究区域

三亚鹿回头珊瑚礁岸段(109°28'E, 18°13'N)位于海南岛南端三亚湾东岸, 鹿回头半岛西岸, 是海南岛珊瑚岸礁发育非常典型岸段之一(图 1). 该岸段珊瑚礁长约 3500 m, 平均宽度约为 250 m, 最大宽度超过 500 m, 礁区生物种类繁多, 在三亚湾生态系统中扮演维持生物多样性和资源生产力有特别价值的海岸生态关键区的角色^[28]. 鹿回头珊瑚礁邻近三亚市和三亚港, 易受人类活动影响, 1990 年该岸段被列入三亚国家级珊瑚礁自然保护区. 在二十世纪五、六十年代, 鹿回头岸礁处于未受干扰的原始状态, 礁坪、礁坡均生长着茂盛的造礁石珊瑚群落, 礁栖生物种类繁多, 健康状态良好. 近 50 年来, 该岸段珊瑚礁发生了巨大变化, 造礁石珊瑚种类和数目不断减少, 活珊瑚覆盖率逐渐降低, 优势类群由枝状珊瑚向块状珊瑚转化, 珊瑚礁生物多样性降低^[29,30].

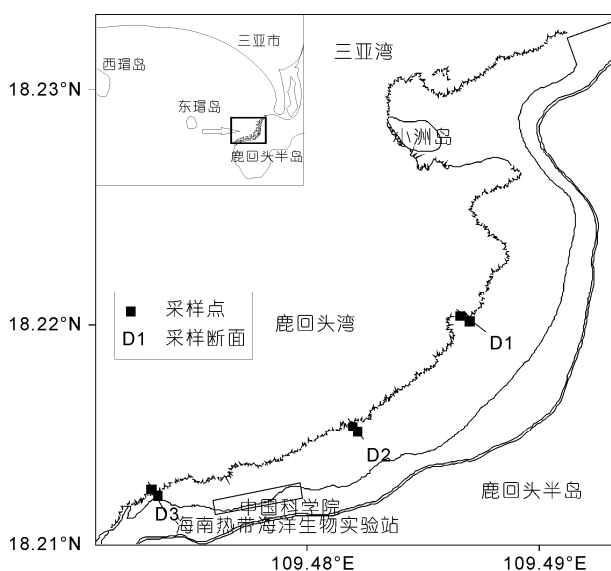


图 1 三亚鹿回头珊瑚礁区地理位置及礁区海底沉积物收集地点

2 研究方法

本研究参考国际上广泛使用的沉积物捕集器方法^[31-35]开展. 选定三亚鹿回头珊瑚礁岸段自北向南 3 条断面, 在每断面的礁坡地貌带水深 2~3 和 5~6 m(相对潮高基准面)设置采样点放置沉积物捕集器, 分别于 2009 年 3 月 19~26 日、7 月 19~28 日、10 月 19~26 日和 2010 年 1 月 25 日~2 月 1 日代表春、夏、秋、冬 4 个季节进行沉积物采集. 捕集器由铁架和 3 个直径 5 cm, 高 30 cm 的 PVC 管制作而成, PVC 管底部盖有 PVC 管帽, 顶部用细纱网封住(防止大型动物钻进管中). 铁架固定在海底, 沉积物捕集器口部离海底的距离约 50~60 cm, 回收沉积物时先在水下将管口封闭再将 PVC 管取回. 收集到的沉积物样品带回实验室进行沉积速率、粒度组成及物质成分等相关测试与分析.

对利用沉积物捕集器回收到的沉积物进行冲洗去盐后烘干称重得到沉积物收集总量, 结合捕集器的表面积和收集时间计算单位时间单位面积的海底沉积物数量, 即沉积速率. 海底沉积物经 550℃熔炉高温灼烧 1 h 去除有机质, 剩余的无机部分可用化学处理的方法将海洋自生组分分离出来^[36-38]. 本文选用醋酸和 NaOH 来分离海洋自生组分, 取无机沉积物干重 0.3 g, 加入 30 mL 25%的醋酸及少量去离子水, 进行 80℃水浴 5 min 后移入 1000 mL 高型烧杯并加满去离子水, 静置 24 h 后移去清液以去除碳酸盐等; 烘干称重后加入 12 g NaOH 及少量去离子水, 进行 80℃水浴 10 min 后移入 1000 mL 高型烧杯并加满去离子水, 静置 24 h 后移去清液以去除生物硅等自生物质, 对剩余部分烘干称重并送中山大学测试中心进行 X 射线衍射分析, 结果显示所含矿物为石英、伊利石和钾长石, 均为陆源组分. 根据称重数据分别计算有机质、海洋自生组分与陆源组分的百分比含量. 海底沉积物的粒度分析在中国科学院边缘海地质重点实验室利用 Mastersizer 2000G 型激光衍射粒度分析仪完成, 仪器测量范围为 0.02~2000 μm, 重复测量的相对误差小于 2%.

3 结果与分析

3.1 礁坡沉积物的沉积速率、成分组成与粒径分布

三亚鹿回头珊瑚礁区礁坡沉积物的平均沉积速

率为 $29.9 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 变化于 $5.70 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (春季)~ $97.41 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (夏季)之间(表 1). 沉降物中平均约 9.51% 为有机质, 无机部分中海洋自生组分和陆源组分的百分比含量分别为 44.54% 和 45.94%(表 2). 粒度测试分析表明, 海底沉降物中的砂($63 \mu\text{m} \sim 2 \text{ mm}$)占 15.12%、粉砂($4 \sim 63 \mu\text{m}$)占 55.57%, 黏土($<4 \mu\text{m}$)占 29.31%, 属黏土质粉砂, 粒径小于 $63 \mu\text{m}$ 的细颗粒百分比含量占 80% 以上(图 2).

三亚湾是一个典型的螺线型海湾, 两侧岬角沿岸及湾内岩礁附近海底表层沉积物较粗, 为粗砂和砾石, 海湾沿岸水下沉积物为细砂. 湾内由岸向海随水深增大, 表层沉积物粒径变细, 逐步过渡为粉砂质砂, 乃至黏土质粉砂^[39,40]. 受发育珊瑚岸礁的影响, 三亚湾沉积物中碳酸钙含量普遍较高, 约为 20%~80%, 东、西瑁岛四周平均含量高达 60%^[41]. 注入三亚湾的三亚河携带陆源物质以细颗粒为主, 主

表 1 三亚鹿回头珊瑚礁岸段海底沉降物沉积速率($\text{mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$)

采样区	断面	春	夏	秋	冬	平均
上礁坡	D1	3.19	117.75	7.61	4.20	33.19
	D2	10.57	48.54	3.71	2.91	16.43
	D3	6.11		8.53	4.02	6.22
	平均	6.63	83.15	6.62	3.71	25.02
下礁坡	D1	5.62	61.89	10.72	11.00	22.31
	D2	6.28	47.95	8.36	8.94	17.88
	D3	2.39	225.19	6.83	21.98	64.10
	平均	4.77	111.68	8.64	13.98	34.76
平均		5.70	97.41	7.63	8.84	29.89

表 2 三亚鹿回头珊瑚礁坡沉降物各组成成分的含量百分比(%)

成分	春		夏		秋		冬		平均
	上礁坡	下礁坡	上礁坡	下礁坡	上礁坡	下礁坡	上礁坡	下礁坡	
有机质	14.52	10.56	10.27	10.28	9.96	8.07	6.77	5.67	9.51
海洋自生组分(碳酸盐等)	35.96	21.60	64.67	46.40	22.59	21.68	18.43	21.55	31.61
海洋自生组分(生物硅等)	11.44	14.35	5.38	9.39	15.14	16.25	16.45	15.06	12.93
陆源组分	38.07	53.48	19.68	33.93	52.31	54.00	58.35	57.73	45.94

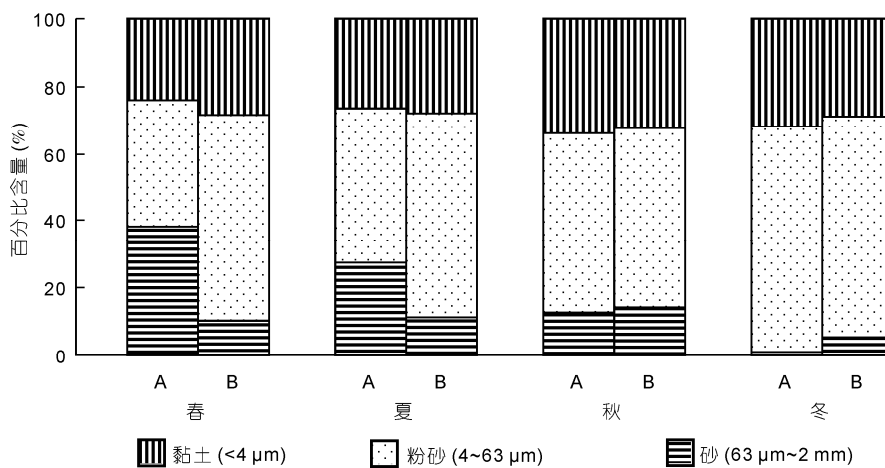


图 2 三亚鹿回头珊瑚礁坡沉降物粒径组成与分布

A, 上礁坡; B, 下礁坡

要堆积在三亚港区和湾内水深 10~20 m 水域^[40]. 湾内表层沉积物有机质含量约 1.55%, 其中鹿回头附近 0.67%~2.69%^[39]. 本研究收集到鹿回头珊瑚礁岸段的礁坡沉降物属黏土质粉砂, 所吸附的有机质含量较高, 主要成分由礁区内产生的碳酸盐碎屑和陆源输入的细颗粒物构成, 这是因为鹿回头珊瑚礁处于背风低波能岸段, 海面平静时段的水动力条件较弱, 故悬浮的细颗粒物可在礁区沉降.

对比其他珊瑚礁区, 本岸段礁坡沉降物沉积速率除夏季调查期间出现较高值外, 其他时段的平均值为 $7.49 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 比大堡礁海面平静时段稍高 ($2.4\sim 4.5 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$)^[27], 与波多黎各西南的 La Parguera 珊瑚礁区 ($6.9\sim 8.2 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$)^[26] 相当, 比委内瑞拉西北部的 Parque Nacional Morrocoy 国家公园^[42]、新加坡南部^[43]、夏威夷 Hanalei Bay^[37] 等珊瑚礁区要低. 沉降物中有机质含量比委内瑞拉西北部的 Parque Nacional Morrocoy 国家公园的 12.6% 低^[42], 高于大堡礁雨季的 7.16%^[44]. 本岸段礁坡海底沉降物中陆源组分的比重大, 明显高于美国 Molokai reef 礁坡的 6%~40%^[25] 和波多黎各西南的 La Parguera 珊瑚礁区的 9%~19%^[26].

3.2 礁坡沉降物的时空差异及影响因素

三亚鹿回头珊瑚礁岸段的礁坡沉降物空间差异主要表现为下礁坡比上礁坡沉积速率高 ($34.76 > 25.02 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$), 细颗粒物 ($< 63 \mu\text{m}$) 所占百分比高 ($89.64\% > 80.15\%$). 该岸段礁坡沉降物的时间差异主要表现为夏季调查期间的沉积速率 ($97.41 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) 较大, 陆源组分所占百分比 (26.81%) 较小, 海洋自生组分中碳酸盐等所占比重 (55.53%) 较大, 与其他调查时段明显不同.

三亚鹿回头岸段礁坡沉降物的时空差异主要与沉降物特征和水动力环境有关. 该岸段礁坡沉降物属黏土质粉砂, 平均粒径小, 80% 以上的沉降颗粒粒径小于 $63 \mu\text{m}$. 细颗粒物在水动力作用下悬浮, 随海流由岸向海水平对流同时因重力而逐渐沉降. 鹿回头珊瑚礁处于背风低波能岸段, 海面平静时段的水动力条件较弱, 悬浮的细颗粒物可在礁区沉降. 粒径较大的颗粒最先沉降, 粒径较小的颗粒可随海流迁移到较远的地方沉降^[8], 故本岸段下礁坡沉降物中细颗粒含量明显高于上礁坡.

三亚河位于三亚湾的东侧, 是注入三亚湾的最

大河流, 其流程 28.8 km, 集雨面积 337.02 km^2 , 年平均悬移质输沙量为 2420 t, 丰水期 (5~10 月) 的输沙量占全年输沙量的 90%~98%^[45]. 三亚海洋监测站 2009 年 3 月~2010 年 2 月的监测数据显示, 夏秋季降雨充足, 降雨量分别是 606.8 和 900.7 mm. 本次调查结果显示秋季调查期间的沉降物沉积速率和陆源组分百分比与春、冬季节相差不大, 说明三亚河带来的新增陆源泥沙出三亚港后迅速扩散, 对鹿回头珊瑚礁区的影响不大. 夏季调查期间的沉降物异常高沉积速率可能与强风浪影响下的水动力变化有关. 2009 年 7 月 19 日, 台风“莫拉菲”在广东省深圳市大鹏半岛沿海登陆, 中心附近最大风力 13 级, 风速达 38 m/s. 海南岛四周海面的风力为 5 级, 阵风 6~7 级. 鹿回头礁区水动力明显增强, 导致沉降物的沉积速率是其他海面平静时段的 11~17 倍. 台风等强风浪时段导致沉降物沉积速率明显增加的情况在其他珊瑚礁区也有出现, 大堡礁 High Island 和夏威夷 Molokai 附近礁坡沉降物在台风期间的平均沉积速率比平时海面平静时段高出 10 倍以上^[25,27], 某些站位可高达 39 倍^[25]. 同时, 台风引起的强风浪可以将粒径小的陆源颗粒移出珊瑚礁并运送到更远的外海^[27], 故该岸段的夏季礁坡沉降物中的陆源成分含量较低, 海洋自生组分中的碳酸盐等所占百分比明显增高.

3.3 陆源沉降物的积累及其影响

三亚河位于三亚湾的东侧, 其带来的新增陆源泥沙出三亚港后迅速扩散, 鹿回头珊瑚礁岸段处于背风低波能岸段, 海面平静时段的水动力条件较弱, 悬浮的陆源细颗粒物在途径鹿回头珊瑚礁岸段时可在礁区沉降. 根据中央气象局出版的《台风年鉴》中记录 1949~2009 年的热带气旋资料, 近 60 年来在三亚沿岸海区登陆的热带气旋共 26 个 (其中台风 15 个, 强热带风暴 3 个, 热带风暴 4 个, 热带低气压 4 个) 平均每年只有 0.43 个, 加之鹿回头珊瑚礁处于背风坡, 故台风对该岸礁的直接破坏较小, 但是受台风等强风浪影响, 该礁区水动力增强导致已沉降在礁区的细颗粒物再悬浮, 沉降物的沉积速率是海面平静时的 10 倍以上. 按 2009 年台风等强风浪引起该礁区水动力变化的时间 (20 天) 计算, 影响该礁区的沉降物全年约 4500 mg/cm^2 , 其中强风浪影响期间的贡献量为 2000 mg/cm^2 , 相当于大堡礁 High Island 附近珊瑚礁估算的一年沉降物收集量^[27], 可见台风等强

风浪对该珊瑚礁区的沉降物影响显著。已沉降在珊瑚礁区的陆源沉积物受台风等强风浪时段较强的水动力影响而再次悬浮,继而或再次沉降在礁区或被运移到礁外,故本次夏季调查期间收集到的沉降物中陆源组分含量偏低,但因沉积速率较高,陆源组分的沉积速率仍是海面平静时段的7倍左右。据估算,影响该礁区的陆源沉降物全年约 1900 mg/cm^2 。这与其他近岸珊瑚礁状况一致^[26,27,37],入海的陆源沉积物到达珊瑚礁区,沉降至海底并可以停留较长时间,通过参与再悬浮对该礁区的珊瑚等生物群落产生持续影响,直至在强动力情况下被逐渐移出珊瑚礁区。

近年来,三亚鹿回头珊瑚礁岸段由于受到各种不合理人类活动影响,活造礁石珊瑚覆盖率降低,生物多样性缩减,珊瑚优势类群由枝状珊瑚向块状珊瑚转化^[29,30],该岸段珊瑚礁出现明显衰退。保护区建立后,人类活动的影响强度有所减弱,该岸段现处于受破坏后的早期恢复阶段。本次调查显示该岸段收集到的细颗粒沉降物受外来陆源输入的影响较小,但已沉降在礁区的陆源沉积物会在强风浪影响时段通过再悬浮对珊瑚礁产生持续影响,可能对珊瑚礁的恢复不利。

4 结论

(1) 三亚鹿回头珊瑚礁区的礁坡沉降物平均沉积速率在 $5.70\sim 97.41\text{ mg cm}^{-2}\text{ d}^{-1}$ 之间。主要来自于礁内碳酸盐和生物硅等海洋自生组分和礁外输入的陆源组分构成,沉降物中有机质、陆源与海洋自生组分的百分比含量分别为9.51%,45.94%和44.54%。该礁坡沉降物属黏土质粉砂,平均粒径较小,80%以上的沉降颗粒粒径小于 $63\text{ }\mu\text{m}$ 。

(2) 该岸段礁坡沉降物的时空差异与沉降物特征和水动力环境有关。鹿回头珊瑚礁处于背风低波能岸段,海面平静时段的水动力条件较弱,悬浮的细颗粒物可在礁区沉降,下礁坡沉降物中细颗粒含量明显高于上礁坡。台风等强风浪时段该岸段水动力明显增强,沉降物沉积速率比海面平静时段高出10倍以上,部分陆源组分被移出珊瑚礁区。

(3) 影响三亚鹿回头珊瑚礁区的陆源沉降物全年约 1900 mg/cm^2 ,由岸入海的陆源细颗粒物质在途经珊瑚礁岸段向外海扩散的过程中,可在礁区沉降并停留较长时间,通过参与再悬浮对该礁区的珊瑚等生物群落产生影响。

参考文献

- 1 余克服. 南海珊瑚礁及其对全新世环境变化的记录与响应. 中国科学: 地球科学, 2012, 42: 1160-1172
- 2 Pandolfi J M, Bradbury R H, Sala E, et al. Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science*, 2003, 301: 955-958
- 3 Côté I, Gill J, Gardner T, et al. Measuring coral reef decline through meta-analyses. *Philos Trans R Soc London Ser B*, 2005, 360: 385-395
- 4 Wilkinson C. Status of coral reefs of the world: 2008. Townsville, Australia: Australian Institute of Marine Science and Global Coral Reef Monitoring Network, 2008
- 5 McCulloch M, Fallon S, Wyndham T, et al. Coral record of increased sediment flux to the inner Great Barrier Reef since European settlement. *Nature*, 2003, 421: 727-730
- 6 Fabricius K E. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Mar Pollut Bull*, 2005, 50: 125-146
- 7 Ryan K, Walsh J, Corbett D, et al. A record of recent change in terrestrial sedimentation in a coral-reef environment, La Parguera, Puerto Rico: A response to coastal development? *Mar Pollut Bull*, 2008, 56: 1177-1183
- 8 Jordan L, Banks K, Fisher L, et al. Elevated sedimentation on coral reefs adjacent to a beach nourishment project. *Mar Pollut Bull*, 2010, 60: 261-271
- 9 Hayward A. Coral reefs in a clastic sedimentary environment: Fossil (Miocene, SW Turkey) and modern (Recent, Red Sea) analogues. *Coral Reefs*, 1982, 1: 109-114
- 10 Philipp E, Fabricius K. Photophysiological stress in scleractinian corals in response to short-term sedimentation. *J Exp Mar Biol Ecol*, 2003, 287: 57-78
- 11 Wittenberg M, Hunte W. Effects of eutrophication and sedimentation on juvenile corals. *Mar Biol*, 1992, 112: 131-138
- 12 Golbuu Y, Victor S, Wolanski E, et al. Trapping of fine sediment in a semi-enclosed bay, Palau, Micronesia. *Estuar Coast Shelf S*, 2003, 57: 941-949

- 13 Nugues M M, Roberts C M. Partial mortality in massive reef corals as an indicator of sediment stress on coral reefs. *Mar Pollut Bull*, 2003, 46: 314–323
- 14 Rogers C. Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Mar Ecol-Prog Ser*, 1990, 62: 185–202
- 15 Van Woesik R, Done T. Coral communities and reef growth in the southern Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 1997, 16: 103–115
- 16 Crabbe M J C, Smith D J. Sediment impacts on growth rates of *Acropora* and *Porites* corals from fringing reefs of Sulawesi, Indonesia. *Coral Reefs*, 2005, 24: 437–441
- 17 Fabricius K, DéAth G. Environmental factors associated with the spatial distribution of crustose coralline algae on the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 2001, 19: 303–309
- 18 Hawkins J P, Roberts C M, Dytham C, et al. Effects of habitat characteristics and sedimentation on performance of marine reserves in St. Lucia. *Biol Conserv*, 2006, 127: 487–499
- 19 Colosio F, Abbiati M, Airoidi L. Effects of beach nourishment on sediments and benthic assemblages. *Mar Pollut Bull*, 2007, 54: 1197–1206
- 20 Nemeth R S, Nowlis J S. Monitoring the effects of land development on the near-shore reef environment of St. Thomas, USVI. *B Mar Sci*, 2001, 69: 759–775
- 21 Weber M, Lott C, Fabricius K. Sedimentation stress in a scleractinian coral exposed to terrestrial and marine sediments with contrasting physical, organic and geochemical properties. *J Exp Mar Biol Ecol*, 2006, 336: 18–32
- 22 Pait A S, Whitall D R, Jeffrey C F G, et al. Chemical contamination in southwest Puerto Rico: An assessment of organic contaminants in nearshore sediments. *Mar Pollut Bull*, 2008, 56: 580–587
- 23 Te F. Turbidity and its effects on corals: A model using the extinction coefficient (k) of photosynthetic active radiance (PAR). In: Lessios H A, Macintyre I G, eds. *Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium*. Panama: Smithsonian Tropical Research Institute, 1997. 1899–1904
- 24 牛文涛, 徐宪忠, 林荣澄, 等. 沉积物对珊瑚礁及礁区生物的影响. *海洋通报*, 2010, 29: 106–112
- 25 Bothner M H, Reynolds R L, Casso M A, et al. Quantity, composition, and source of sediment collected in sediment traps along the fringing coral reef off Molokai, Hawaii. *Mar Pollut Bull*, 2006, 52: 1034–1047
- 26 Hernandez R, Sherman C, Well E, et al. Spatial and temporal patterns in reef sediment accumulation and composition, southwestern insular shelf of Puerto Rico. *Caribb J Sci*, 2009, 45: 138–150
- 27 Wolanski E, Fabricius K, Spagnol S, et al. Fine sediment budget on an inner-shelf coral-fringed island, Great Barrier Reef of Australia. *Estuar Coast Shelf S*, 2005, 65: 153–158
- 28 张乔民. 三亚鹿回头珊瑚礁生物多样性面临威胁. *科学新闻*, 2003, 9: 24–25
- 29 赵美霞, 余克服, 张乔民, 等. 近 50 a 来三亚鹿回头石珊瑚物种多样性的演变特征及其环境意义. *海洋环境科学*, 2009, 28: 125–130
- 30 赵美霞, 余克服, 张乔民, 等. 近 50 年来三亚鹿回头岸礁活珊瑚覆盖率的动态变化. *海洋与湖沼*, 2010, 41: 440–447
- 31 Storlazzi C D, Field M E, Bothner M H. The use (and misuse) of sediment traps in coral reef environments: Theory, observations, and suggested protocols. *Coral Reefs*, 2011, 30: 1–16
- 32 Almada-Villela P, Sale P, Gold-Bouchot G, et al. *Manual of Methods for the MBRS Synoptic Monitoring Program*. Belize City, Belize: MBRS, 2003
- 33 Hill J, Wilkinson C. *Methods for Ecological Monitoring of Coral Reefs*. Townsville: Australian Institute of Marine Science, 2004
- 34 Storlazzi C D, Field M E, Bothner M H, et al. Sedimentation processes in a coral reef embayment: Hanalei Bay, Kauai. *Mar Geol*, 2009, 264: 140–151
- 35 Woolfe K J, Larcombe P. Terrigenous sedimentation and coral reef growth: A conceptual framework. *Mar Geol*, 1999, 155: 331–345
- 36 韦刚健, 刘颖, 邵磊, 等. 南海碎屑沉积物化学组成的气候记录. *海洋地质与第四纪地质*, 2004, 23: 1–4
- 37 谢昕, 郑洪波, 陈国成, 等. 古环境研究中深海沉积物粒度测试的预处理方法. *沉积学报*, 2007, 25: 684–692
- 38 徐方建, 万世明, 李安春, 等. 中国边缘海陆源沉积物粒度与矿物组成的关系. *自然科学进展*, 2008, 18: 1271–1278
- 39 卢博, 梁元博. 三亚角外海海底地形地貌及现代沉积. *海南大学学报*, 1995, 13: 226–231
- 40 毛龙江, 张永战, 张振克, 等. 海南岛三亚湾现代沉积环境. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27: 17–22
- 41 冯增昭, 王琦, 周莉, 等. 海南岛三亚湾现代碳酸盐沉积. *沉积学报*, 1984, 2: 1–14
- 42 Bastidas C, Bone D, Garcia E M. Sedimentation rates and metal content of sediments in a Venezuelan coral reef. *Mar Pollut Bull*, 1999, 38: 16–24
- 43 Dikou A, van Woesik R. Survival under chronic stress from sediment load: Spatial patterns of hard coral communities in the southern islands of Singapore. *Mar Pollut Bull*, 2006, 52: 7–21
- 44 Wolanski E, Fabricius K E, Cooper T F, et al. Wet season fine sediment dynamics on the inner shelf of the Great Barrier Reef. *Estuar Coast Shelf S*, 2008, 77: 755–762
- 45 车志伟. 三亚河入海口与感潮河段悬浮物分布特征及潮汐之影响. *广东海洋大学学报*, 2007, 27: 89–92

Source, distribution and influencing factors of sediments on Luhuitou fringing reef, Northern South China Sea

ZHAO MeiXia^{1,2}, YU KeFu^{1,2}, SHI Qi^{1,2}, ZHANG QiaoMin^{1,2}, YAN HongQiang^{1,2} & HUANG LingYing^{1,2}

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

²South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

Sediment traps were used for monitoring sedimentary processes on the Luhuitou fringing coral reef. Sedimentation rates, grain sizes and the composition of the collected sediments were then analyzed in this paper. The results indicate that (1) the average sedimentation rate varied from 5.70 mg cm⁻² d⁻¹ in spring to 97.41 mg cm⁻² d⁻¹ in summer, averaging at 29.9 mg cm⁻² d⁻¹; (2) the sediments were composed of organic (~9.5%), authigenic (~44.5%) and terrigenous (~45.9%) materials; (3) the average grain size of the collected particles was dominated by small and fine sediments (>80%), this is because the reef is located at a leeward bay and the waves are relatively weak; and (4) the spatial and temporal patterns of sediments were directly related to the reef's hydrodynamic condition, for example, the sedimentation rate at a stormy season was about 10 times higher than the stormless period; and the lower reef slope had more fine sands deposited than that of the upper reef slope where the hydrodynamic conditions was relatively stronger. Based on the above data, the calculated total terrigenous input was about 1900 mg cm⁻² a⁻¹, which would have a sustainable effect on the coral communities at this reef through suspension/re-suspension.

coral reef, sediments, land-derived, ecological effect

doi: 10.1360/972011-2610