

文章编号: 1004 - 2490(2020)02 - 0183 - 09

三亚红塘湾珊瑚礁生态系统 健康评价与影响因素分析

李元超, 林国尧, 陈石泉, 吴钟解,
蔡泽富, 沈捷, 骆丽珍, 庞巧珠

(海南省海洋与渔业科学院, 海口 570125)

摘要: 为了解和掌握三亚红塘湾珊瑚礁生态系统的健康状况及其影响因素, 2017年3月采用断面监测法调查了三亚红塘湾海域珊瑚的物种多样性、覆盖率和补充量等指标, 并采用健康指数(CI)对红塘湾珊瑚礁生态系统进行了评估。结果表明, 红塘湾造礁石珊瑚共鉴定11科25属55种, 优势种是多孔鹿角珊瑚(*Acropora millepora*)、风信子鹿角珊瑚(*A. hyacinthus*)、平展蔷薇珊瑚(*Montipora solanderi*)、叶状蔷薇珊瑚(*M. foliosa*); 软珊瑚主要种有豆荚软珊瑚 *Lobophytum* sp.、短指软珊瑚 *Sinularia* sp.、肉芝软珊瑚 *Sarcophyton* sp. 以及柳珊瑚目一种; 造礁石珊瑚平均覆盖率为14.58%, 平均珊瑚补充量为0.15个·m⁻², 软珊瑚平均覆盖率为0.17%, 珊瑚主要分布在1~4 m水深, 水深6 m以外有零星的造礁石珊瑚或柳珊瑚分布; 目前该区域珊瑚礁生态系统的健康状况平均处于很好级别, 但与历史调查数据比较呈下降趋势, 主要受水体环境中悬浮物及叶绿素a增加、围填海悬浮泥沙以及大型藻类增多等因素影响。

关键词: 红塘湾; 珊瑚礁; 生态系统; 健康评价; 影响因素

中图分类号: S 913 **文献标志码:** A

海南岛珊瑚礁主要分布于文昌、琼海、万宁、陵水、三亚、东方、昌江、临高、儋州及澄迈等市县沿岸^[1-2], 其中南部的三亚海棠湾至大小洞天沿岸珊瑚礁断续分布, 离岛岸礁主要有蜈支洲、东排、西排、东锣岛、西鼓岛等, 是我国重要的岸礁研究区域^[3]。

早在20世纪60~70年代三亚大东海、鹿回头和东西瑁洲岛的沿岸珊瑚礁就已成为许多科研工作者的科学考察和研究对象^[4-9]。近几十年, 由于缺乏保护珊瑚礁意识, 当地村民随意采挖珊瑚, 采用珊瑚礁烧石灰或垒砌房子以及在珊瑚礁区毒鱼、炸鱼、抛锚、放网等活动, 给近岸水域珊瑚礁带来严重破坏, 使珊瑚礁生态系统面临严重威胁^[3,10]。同时, 随着海南城镇化及国际旅

游岛建设进程的加快, 沿岸各类海洋开发活动持续增加, 导致近海海洋环境发生污染、海水水质下降及藻类暴发等一系列生态环境问题, 加剧了海南近岸珊瑚礁生态系统的退化^[11-12]。

红塘湾位于海南三亚天涯镇, 周围有旅游区、航道区, 受到人类旅游、航运、围填海建设等一系列开发活动的影响。因此, 红塘湾附近海域的珊瑚礁生态系统可能会发生变化。

本文对三亚红塘湾附近海域的珊瑚礁资源进行了调查, 并应用健康指数法(condition index, CI)评估了调查区域珊瑚礁生态系统的健康状况, 分析了影响珊瑚健康状况的主要环境因素, 旨在为海南三亚珊瑚礁研究提供基础数据及理论参考。

收稿日期: 2019-07-10

基金项目: 海南省自然科学基金面上项目(318MS119); 国家自然科学基金项目(41661111); 国家重点研发计划重点专项(2017YFC0506104); 海南省海洋与渔业科学技术研究项目

作者简介: 李元超(1980—), 男, 副研究员, 从事热带典型海洋生态系统研究。E-mail: lycouc@foxmail.com

通信作者: 陈石泉, 副研究员。E-mail: breezysmile.c.s.q@163.com

1 材料与方 法

1.1 调查站位概况

红塘湾位于三亚市天涯镇,东邻天涯海角景区,西接南山佛文化旅游区,三面环山(东为马岭,西为红塘岭),南临广阔南海。区域内气候属热带海洋性季风气候,冬季气候温暖干燥,雨量较少;夏季高温多雨,并常有雷电、暴雨、台风,年平均气温为 25.8℃,年平均相对湿度 78.30%,年平均降水量为 1 392 mm。

2017年3月,自马岭至红塘岭,共布设珊瑚调查站位 12 个,一般调查站位选择在不同的珊瑚礁生境类型、活体珊瑚分布较好区域或珊瑚分布发生明显变化的区域,调查站位见图 1。

1.2 调查方法

珊瑚调查采用截线法,根据珊瑚分布的密度、均匀度、优劣情况以及海底地形,分别在 3、6、9 m 水深地段,选择具有代表性的珊瑚生境,布设 50 m 的皮尺,用水下摄像机拍摄,室内判读。

将珊瑚礁生态系统的本底数据分为 6 类:造礁石珊瑚(hermatypic coral, HC)、死珊瑚(dead coral, DC)、软珊瑚(soft coral, SC)、非生物物质(abiotic, AB)、藻类(algae, AL)和其他生物(other fauna, OT)。

统计每组 50 cm × 50 cm 样框照片中拥有直径小于 5 cm 的珊瑚个体的数量,计算硬珊瑚补充量(单位:个 · m⁻²)。

通过某一种珊瑚出现在样带中的频度高低确定其是否为优势种。

历史数据主要来源于海南省海洋生物多样性调查项目。

1.3 水环境评价

珊瑚礁生态系统健康评价按照《近岸海洋生态健康评价指南》(HY/T 087-2005)执行,水环境主要评价指标为 pH 值、叶绿素 a、浊度、活性磷酸盐及无机氮,样品的采样、储存、运输和预处理、检测分析按照《海洋监测规范》(GB17378-2007)执行,采样时间与珊瑚礁调查时间同步进行。每项评价指标的赋值按公式(1)进行,水环境健康指数按公式(2)进行,参考《近岸海洋生态健康评价指南》(HY/T 087-2005);相关计算公式及水体环境赋值见表 1 及表 2。

1.4 珊瑚礁生态系统评价

珊瑚健康指数(condition index, CI),表示珊瑚礁生态系统的健康状况和遭受环境压力的程度,根据半定性估算尺度^[13](表 3)评价该区域的珊瑚礁生态系统健康状况,并计算公式(3)(表 1)。

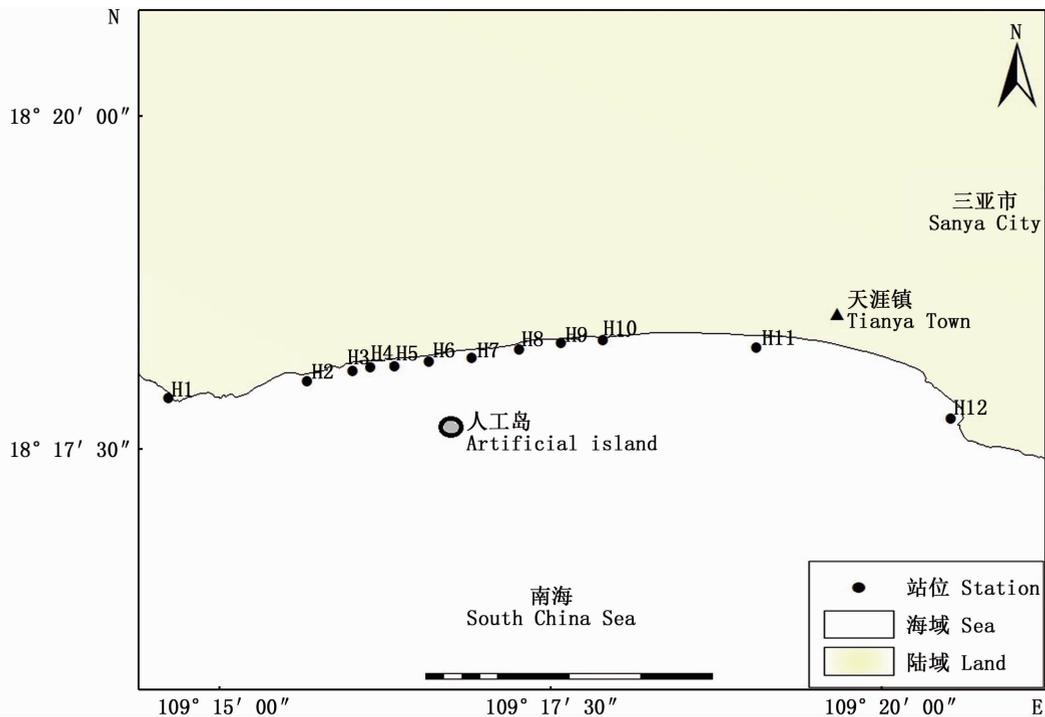


图 1 三亚红塘湾珊瑚调查站位分布示意图

Fig. 1 Distribution of coral survey stations in the Hongtang Bay

表1 珊瑚礁生态系统水环境评价

Tab.1 Evaluation of water environment of the coral reef ecosystem

序号 Number	公式 Formula	备注 Note
(1)	$W_q = \frac{\sum_1^n W_i}{n}$	式(1)、式(2)中: W_q 为第 q 项评价指标赋值; W_i 为第 i 个站位第 q 项评价指标赋值; n 为评价区域监测站位总数; W_{indx} 表示评价指标健康指数; m 为评价区域评价指数总数。当 $5.00 \leq W_{\text{indx}} < 8.00$ 时, 水环境为不健康; 当 $8.00 \leq W_{\text{indx}} < 11.00$ 时, 水环境为亚健康; 当 $11.00 \leq W_{\text{indx}} < 15.00$ 时, 水环境为健康。
(2)	$W_{\text{indx}} = \frac{\sum_1^m W_q}{m}$	
(3)	$CI = \lg[LC/(DC + AL + OT)]$	式(3)中: LC 为活珊瑚($HC + SC$)的覆盖率; DC 为死珊瑚的覆盖率; AL 为藻类的覆盖率; OT 为其他生物群落覆盖率。

表2 珊瑚礁生态系统水环境评价

Tab.2 Evaluation of water environment of the coral reef ecosystem

指标 Indicator	I 级 Class I		II 级 Class II		III 级 Class III	
	要求 Requirement	赋值 Assignment	要求 Requirement	赋值 Assignment	要求 Requirement	赋值 Assignment
pH 值	$7.50 \leq \text{pH} \leq 8.50$	15.00	$8.50 < \text{pH} \leq 9.00$	10.00	$\text{pH} > 9.00$	5.00
叶绿素 a/ $(\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}) C_{\text{chl-a}}$	$C_{\text{chl-a}} \leq 0.50$	15.00	$0.50 < C_{\text{chl-a}} \leq 1.50$	10.00	$C_{\text{chl-a}} > 1.50$	5.00
浊度/ $(\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}) C_Z$	$C_Z \leq 3.00$	15.00	$3.00 < C_Z \leq 6.00$	10.00	$C_Z > 6.00$	5.00
活性磷酸盐/ $(\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}) C_{\text{PO}_4\text{-P}}$	$C_{\text{PO}_4\text{-P}} \leq 15.00$	15.00	$15.00 < C_{\text{PO}_4\text{-P}} \leq 30.00$	10.00	$C_{\text{PO}_4\text{-P}} > 30.00$	5.00
无机氮/ $(\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}) C_{\text{DIN}}$	$C_{\text{DIN}} \leq 200.00$	15.00	$200.00 < C_{\text{DIN}} \leq 300.00$	10.00	$C_{\text{DIN}} > 300.00$	5.00

表3 半定性估算尺度

Tab.3 Semi-qualitative scale for the assessment

等级 Degree	标度 Scale
非常差	$CI \leq -0.602$
较差	$-0.602 < CI \leq -0.176$
一般	$-0.176 < CI \leq 0.176$
较好	$0.176 < CI \leq 0.602$
非常好	$CI > 0.602$

经珊瑚形态类群统计,红塘湾造礁石珊瑚形态类群主要以团块状、分枝状及叶片状为主,分别占总形态类群的 30.91%、23.64% 及 21.82%, 其次为皮壳状、板状以及锥状,分别占总类群比例的 12.73%、5.45% 及 1.82%。

2.2 珊瑚分布情况

红塘湾海域海底珊瑚分布沿岸呈半连续分布,沿岸分布宽度多在 100 ~ 300 m,天涯海角景区以西为砂质底,无珊瑚分布,垂直岸线上呈明显的分带现象;水深 1 m 以浅的区域相对狭窄,底质类型主要有细砂、小块的礁石和珊瑚碎屑等,有零星的珊瑚分布或无珊瑚分布。

随着水深增加珊瑚分布逐渐减少,水深 1 ~ 4 m 为主要的珊瑚生长带,分布有多种造礁石珊瑚,造礁石珊瑚覆盖率较高,珊瑚个体较大;4 m 以深的区域底质类型由礁石向砂质底过渡;5 m 以深海域珊瑚明显减少;6 m 以深主要为砂质底,基本无珊瑚分布。

造礁石珊瑚平均覆盖率为 14.67%,珊瑚分布较好的主要有两块区域,一是三美湾附近海域(站位 H1),造礁石珊瑚覆盖率可以达到 45.00%,另一块是人工岛附近区域(站位 H5 和站位 H6),造礁石珊瑚覆盖率可以达到 20.00% 以上。研究区域内平均珊瑚补充量范围在 0.00 ~ 0.67 个 · m⁻²,平均补充量为 0.15 个 · m⁻²(表

2 结果与分析

2.1 珊瑚种类

红塘湾分布造礁石珊瑚 11 科 25 属 55 种,优势种主要是多孔鹿角珊瑚(*Acropora millepora*)、风信子鹿角珊瑚(*A. hyacinthus*)、平展蔷薇珊瑚(*Montipora solanderi*)、叶状蔷薇珊瑚(*M. foliosa*),常见珊瑚种类主要有丛生盔形珊瑚(*Galaxea fascicularis*)、澄黄滨珊瑚(*Porites lutea*)、二异角孔珊瑚(*Goniopora duofasciata*)、精巧扁脑珊瑚(*Platygyra daeda*)、盾形陀螺珊瑚(*Turbinaria peltata*)等。珊瑚群体较大,如鹿角珊瑚和蔷薇珊瑚可以出现大面积群体的现象,在海南岛其他海区较少见到。软珊瑚主要种类有豆荚软珊瑚 *Lobophytum* sp.、短指软珊瑚 *Sinularia* sp.、肉芝软珊瑚 *Sarcophyton* sp. 以及柳珊瑚目(*Gorgonacea*)一种。

4)。

软珊瑚主要出现在2~4 m左右水深海区,覆盖率在0.00%~2.00%,平均覆盖率为0.17%。种类虽然不多,但多群体出现,呈地毯状(斑块状)分布,形态万千,颜色极其鲜艳,极具观赏性。此外,柳珊瑚主要分布于4 m以深区域。

2.3 健康状况评价

通过对研究区域各站位5类底质类型及健康指数分析,并结合半定性估算尺度判断研究海域珊瑚生长状况。结果显示,调查站位H1、H2及

H6的珊瑚礁健康状况非常好($CI > 0.602$),调查站位H4及H5珊瑚礁健康状况较好($0.176 < CI \leq 0.602$),调查站位H11及H12一般($-0.176 < CI \leq 0.176$),调查站位H9珊瑚较差($-0.602 < CI \leq -0.176$),调查站位H3、H7、H8及H10非常差($CI \leq -0.602$),整体来看,研究区域造礁石珊瑚覆盖率较高,其次为大型藻类,软珊瑚及死珊瑚覆盖率均不高,海葵等其他生物较少,研究区域珊瑚礁健康状较好(表5)。

表4 珊瑚分布情况

Tab.4 Distribution of coral reef

站位 Station	珊瑚覆盖率/% Coral coverage		底质/% Bottom material			其他生物/% Other organisms			珊瑚补充量/ (个·m ⁻²) Coral recruitment	总珊瑚覆盖率/% Total coral coverage
	造礁石珊瑚	软珊瑚	岩石	礁石	砂	死珊瑚	海葵	藻类		
H1	45.00	0.00	0.00	35.00	20.00	0.00	0.00	5.00	0.67	45.00
H2	16.67	2.00	24.00	13.00	44.33	0.00	0.00	1.00	0.27	18.67
H3	2.00	0.00	0.00	38.00	60.00	0.00	0.00	15.00	0.10	2.00
H4	15.00	0.00	0.00	25.00	56.67	3.33	0.00	6.67	0.20	15.00
H5	22.67	0.00	0.00	36.67	35.67	5.00	0.00	13.33	0.13	22.67
H6	25.00	0.00	0.00	43.33	26.67	5.00	0.00	6.67	0.13	25.00
H7	16.67	0.00	0.00	49.00	28.33	6.00	0.00	25.00	0.07	16.67
H8	14.33	0.00	0.00	47.33	31.67	6.00	0.00	16.67	0.07	14.33
H9	10.00	0.00	0.00	50.00	40.00	0.00	0.00	13.33	0.07	10.00
H10	4.33	0.00	0.00	46.33	43.33	0.00	0.00	20.00	0.03	4.33
H11	1.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00
H12	3.33	0.00	0.00	26.67	70.00	0.00	0.00	3.33	0.03	3.33
平均	14.67	0.17	2.00	34.19	46.39	2.11	0.00	10.58	0.15	14.83

表5 各站位5类底质类型及健康指数

Tab.5 Five benthic life forms and condition index

站位 Station	造礁石珊瑚 占比/% Proportion of hermatypic coral	软珊瑚 占比/% Proportion of soft coral	死珊瑚 占比/% Proportion of dead coral	藻类 占比/% Proportion of algae	其他生物 占比/% Proportion of other fauna	健康指数 Condition index	等级 Degree
H1	45.00	0.00	0.00	5.00	0.00	3.170	非常好
H2	16.67	2.00	0.00	1.00	0.00	4.223	非常好
H3	2.00	0.00	0.00	15.00	0.00	-2.907	非常差
H4	15.00	0.00	3.33	6.67	1.00	0.447	较好
H5	22.67	0.00	5.00	13.33	0.00	0.307	较好
H6	25.00	0.00	5.00	6.67	0.00	1.099	非常好
H7	16.67	0.00	6.00	25.00	0.00	-0.895	非常差
H8	14.33	0.00	6.00	16.67	0.00	-0.662	非常差
H9	10.00	0.00	0.00	13.33	0.00	-0.415	较差
H10	4.33	0.00	0.00	20.00	0.00	-2.208	非常差
H11	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.000	一般
H12	3.33	0.00	0.00	3.33	0.00	0.000	一般
平均	14.67	0.17	2.11	10.58	0.08	0.216	较好

2.4 历史数据对比

根据研究区域 2014 年、2016 年及 2017 年珊瑚礁分布情况可见, 2014 年至 2017 年造礁石珊瑚种类、石珊瑚覆盖率、软珊瑚覆盖率以及珊瑚补充量均有一定的下降(图 2, 表 6)。其中造礁石珊瑚种类从 57 种下降到 55 种, 覆盖率从 17.33% 下降到 14.58%; 软珊瑚覆盖率从 2.01% 下降到 0.17%, 造礁石珊瑚补充量从 0.22 个·m⁻² 下降到 0.17 个·m⁻²。

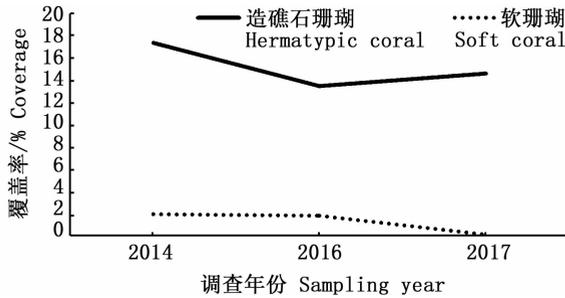


图 2 珊瑚覆盖率

Fig. 2 Coverage of coral

3 讨论

海南岛周边海域珊瑚礁生态系统都面临珊瑚退化发生的趋势, 主要原因有近岸工程、棘冠海星 (*Acanthaster planci*) 侵蚀、采挖珊瑚、炸鱼、礁区排放污水污物等, 甚至过度的潜水旅游观光活动也会对珊瑚及其生态环境造成影响^[12]。经调查, 研究区域未见或少见珊瑚敌害生物核果螺 (*Drupa morum*) 和棘冠海星, 而且周边旅游活动未成一定规模, 本研究结合区域内近几年珊瑚礁分布的变化及现状, 认为影响研究区内珊瑚礁健康状况的主要因素为水体环境、围填海活动以及大型藻类等。

3.1 水体环境对珊瑚礁健康状况影响

经水体环境健康指数评价, 红塘湾珊瑚礁生

态系统水环境 pH 为 8.05 ~ 8.30, 平均赋值为 15; 悬浮物含量范围为 3.60 ~ 28.70 mg·L⁻¹, 平均赋值为 6.67; 活性磷酸盐含量为 0.003 5 ~ 0.012 0 μg·L⁻¹, 平均赋值为 15.00; 无机氮含量范围为 0.004 0 ~ 0.026 μg·L⁻¹, 平均赋值为 15.00; 叶绿素 a 范围为 1.03 ~ 8.99 μg·L⁻¹, 平均赋值为 6.67 (表 7)。红塘湾珊瑚礁生态系统水环境健康评价指数为 11.67, 参照珊瑚礁生态系统水环境评价标准, 红塘湾珊瑚礁水环境为健康状态。

尽管水体环境健康评价为健康, 但研究中发现水环境中悬浮物与叶绿素 a 含量值较大, 赋值偏低, 平均赋值均为 6.67 (表 7)。

3.2 悬浮泥沙对珊瑚礁分布影响

填海施工会产生大量的悬浮泥沙, 在重力、波浪、潮流、风力等因素作用下扩散、运动会对水质环境和海洋生物产生不良影响^[14-15]。由于珊瑚生长对水质质量要求很高, 悬浮泥沙会影响珊瑚礁的生长繁殖, 造礁石珊瑚死亡的主要原因是沉积物较多, 覆盖在珊瑚表面, 导致珊瑚窒息死亡, 其次是悬浮物浓度较高, 导致珊瑚共生藻不能进行光合作用, 最后白化死亡, 珊瑚白化和病害的主要原因是该海域的沉积物大量增加, 覆盖在珊瑚表面, 造成珊瑚白化, 尤其是蔷薇珊瑚、鹿角珊瑚等敏感性种类, 白化发生的较多^[16]。

研究区域大潮期悬沙值介于 3.20 ~ 13.60 mg·L⁻¹ 之间, 平均值为 5.40 mg·L⁻¹; 小潮期悬沙值介于 2.60 ~ 16.60 mg·L⁻¹ 之间, 平均值为 7.20 mg·L⁻¹; 含沙量垂向方向上总体由表层至底层增大; 除了个别站含沙量最大值出现在涨潮期外, 其余测站含沙量最大值出现在落潮期; 同时, 研究海域发现大量珊瑚白化情况 (图 3), 尤其是人工岛 (2015 年开始建设, 填海面积 S = 47.416 6 hm²) 附近站位 H4、H5、H6、H7 和站位 H8

表 6 珊瑚分布数值变化

Tab. 6 Numerical changes of coral reef distribution

区域 Region	时间 Year	造礁石珊瑚种类 (科, 属, 种) Species of hermatypic coral (family, genus, species)	造礁石珊瑚覆盖率/% Coverage of hermatypic coral	软珊瑚覆盖率/% Coverage of soft coral	造礁石珊瑚补充量 (个·m ⁻²) Recruitment of hermatypic coral
红塘湾	2014	11, 24, 57	17.33	2.01	0.22
	2016	10, 23, 53	13.42	1.81	0.19
	2017	11, 25, 55	14.58	0.17	0.15

表7 珊瑚礁生态系统水环境评价

Tab.7 Evaluation of water environment of the coral reef ecosystem

站位 Station	pH	赋值 Assignment	悬浮物 $/(mg \cdot dm^{-3})$ C_Z	赋值 Assignment	活性磷酸盐 $/(μg \cdot dm^{-3})$ C_{PO_4-P}	赋值 Assignment	无机氮 $/(μg \cdot dm^{-3})$ C_{DIN}	赋值 Assignment	叶绿素 a $/(μg \cdot dm^{-3})$ C_{chl-a}	赋值 Assignment
H1	8.10	15.00	9.80	5.00	0.004 5	15.00	0.008 0	15.00	7.32	5.00
H2	8.15	15.00	6.70	5.00	0.008 5	15.00	0.005 0	15.00	4.36	5.00
H3	8.14	15.00	3.60	10.00	0.003 5	15.00	0.008 5	15.00	2.11	5.00
H4	8.16	15.00	4.40	10.00	0.004 0	15.00	0.004 0	15.00	1.32	10.00
H5	8.13	15.00	4.40	10.00	0.005 0	15.00	0.008 0	15.00	1.49	10.00
H6	8.15	15.00	4.40	10.00	0.005 0	15.00	0.004 0	15.00	2.32	5.00
H7	8.30	15.00	28.70	5.00	0.011 0	15.00	0.026 0	15.00	1.75	5.00
H8	8.26	15.00	13.90	5.00	0.008 0	15.00	0.021 0	15.00	1.03	10.00
H9	8.07	15.00	14.70	5.00	0.012 0	15.00	0.019 0	15.00	1.19	10.00
H10	8.22	15.00	15.20	5.00	0.009 0	15.00	0.026 0	15.00	8.99	5.00
H11	8.09	15.00	11.70	5.00	0.011 0	15.00	0.023 0	15.00	3.56	5.00
H12	8.05	15.00	15.70	5.00	0.011 0	15.00	0.021 0	15.00	5.27	5.00
平均 Average	8.15	15.00	11.10	6.67	0.007 7	15.00	0.014 5	15.00	2.21	6.67
健康评价指数及状态 Condition index and status	11.67(健康)									



图3 造礁石珊瑚白化现象

Fig.3 Hermatypic coral bleaching

都出现了造礁石珊瑚白化现象,死珊瑚覆盖率达到了5.00%~6.00%,种类主要是鹿角珊瑚、蔷薇珊瑚、杯形珊瑚等种类,站位H6和站位H7甚至出现了叶状蔷薇珊瑚整株珊瑚白化,其他调查站位的造礁石珊瑚暂时没有发生白化现象。

3.3 大型藻类对珊瑚礁健康影响

大型海藻一直以来都被认为是吸收、利用和延缓水质富营养化的有效载体^[17]。然而,大型藻类的增多,会在生态位的竞争中影响到造礁石珊瑚生长与分布,由于藻类生长快,会占据更多的生存空间,给造礁石珊瑚的恢复补充带来很大影响,进一步导致珊瑚生长变慢^[18]。经调查,研究海域的礁石和岩石底质上生长了大量的大型藻

类,平均覆盖率可以达到10.58%,常见的大型藻类有总状蕨藻(*Caulerpa racemosa*)、团扇藻*Padina* sp.、帚状乳节藻(*Galaxaura fastigiata*)、亚灌木状乳节藻(*G. subfruticulosa*)、耳壳藻(*Peyssonnelia caulifera*)、马尾藻*Sargassum* sp.、叉节藻(*Amphiroa ephedraea*)、环蠕藻(*Neomeris annulata*)、羽毛藻(*C. serrulata*)、海门冬(*Asparagopsis taxiformis*)等。

通过2014年至2017年藻类与珊瑚礁补充量对比分析可见,藻类覆盖率呈上升趋势,从2016年的6.31%上升到2017年的10.58%;珊瑚礁补充量呈下降趋势,从2014年的0.22个·m⁻²下降到2017年0.15个·m⁻²(图4)。

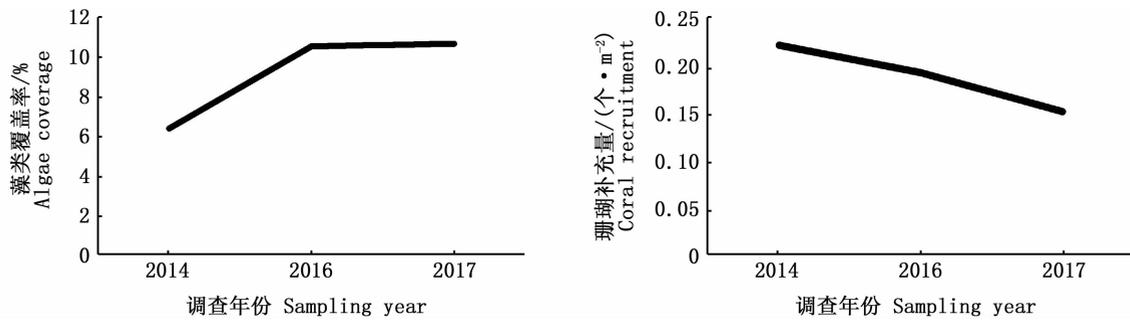


图4 藻类覆盖率及珊瑚补充量

Fig.4 Algae coverage and coral recruitment

4 小结

1) 造礁石珊瑚 11 科 25 属 55 种,优势种是多孔鹿角珊瑚、风信子鹿角珊瑚、平展蔷薇珊瑚、叶状蔷薇珊瑚,常见种类有丛生盔形珊瑚、澄黄滨珊瑚、二异角孔珊瑚、精巧扁脑珊瑚、盾形陀螺珊瑚等;软珊瑚主要种类有豆荚软珊瑚、短指软珊瑚、肉芝软珊瑚以及柳珊瑚。

2) 造礁石珊瑚平均覆盖率为 14.58%,平均珊瑚补充量为 $0.15 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$,软珊瑚平均覆盖率为 0.17%,珊瑚主要分布在 1~4 m 水深,水深 6 m 以外有零星的造礁石珊瑚或柳珊瑚分布,常见种有总状蕨藻、乳节藻、团扇藻、马尾藻等。

3) 目前该区域珊瑚礁分布很好,但呈下降趋势,主要原因为水体环境中悬浮物及叶绿素 a 增加、大量的悬浮泥沙影响以及大型藻类的增多等因素。

参考文献:

- [1] WANG D R, WU Z J, LI Y C, *et al.* Analysis on variation trend of coral reef in Xisha [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(5): 142-147.
- [2] 吴钟解,王道儒,涂志刚,等. 西沙生态监控区造礁石珊瑚退化原因分析[J]. *海洋学报*, 2011, 31(4): 1020-1025.
- WU Z J, WANG D R, TU Z G, *et al.* The analysis on the reason of hermatypic coral degradation in Xisha[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4): 1020-1025.
- [3] 吴钟解,陈石泉,陈敏,等. 海南岛造礁石珊瑚资源初步调查与分析[J]. *海洋湖沼通报*, 2013(2): 44-50.
- WU Z J, CHEN S Q, CHEN M, *et al.* Preliminary survey and analysis of the resources of hermatypic corals in Hainan Island [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2013(2): 44-50.
- [4] 邹仁林,宋善文,马江虎. 海南岛浅水造礁石珊瑚[M]. 北京: 科学出版社, 1975.
- ZOU R L, SONG S W, MA J H. Coral reef in the shallow-water of Hainan Island [M]. Beijing: Science Press, 1975.
- [5] 王国忠. 海南岛鹿回头珊瑚礁岸滩的沉相带[J]. *同济大学学报*, 1979, 7(2): 16-21.
- WANG G Z. The sedimentary zones of the Luhuitou fringing reefs, Hainan Island [J]. *Journal of Tongji University*, 1979, 7(2): 16-21.
- [6] 吕炳全,王国忠,全松青. 海南岛珊瑚岸礁的特点[J]. *地理研究*, 1984, 3(3): 1-16.
- LV B Q, WANG G Z, QUAN S Q. The characteristics of fringing reefs of Hainan Island [J]. *Geographical research*, 1984, 3(3): 1-16.
- [7] 张明书,刘健,李浩,等. 海南岛周缘珊瑚礁的基本特征和成礁时代[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1990, 10(2): 25-43.
- ZHANG M S, LIU J, LI H, *et al.* Basic characteristics and formation time of peripheral coral reefs in Hainan Island [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1990, 10(2): 25-43.
- [8] 于登攀,邹仁林. 鹿回头造礁石珊瑚群落多样性的现状及动态[J]. *生态学报*, 1996, 16(6): 559-563.
- YU D P, ZOU R L. Current situation and dynamics of species diversity in hermatypic coral community on Luhuitou fringing reef [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(6): 559-563.
- [9] 黄德银,施祺,余克服,等. 海南岛鹿回头珊瑚礁研究进展[J]. *海洋通报*, 2004, 23(2): 56-64.
- HUANG D Y, SHI Q, YU K F, *et al.* Advances in the study on coral reef in region of Luhuitou, Hainan

- Island[J]. Marine Science Bulletin, 2004, 23(2): 56-64.
- [10] 马鸿梅, 王云祥, 秦传新, 等. 风信子鹿角珊瑚对环境因子的响应研究[J]. 海洋渔业, 2019, 41(5): 536-545.
- MA H M, WANG Y X, QIN C X, *et al.* An experimental study on behavior responses of *Acropora hyacinthus* to environmental factors variations [J]. Marine Fisheries, 2019, 41(5): 536-545.
- [11] 施 祺, 赵美霞, 张乔民, 等. 海南三亚鹿回头造礁石珊瑚生长变化与人类活动的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3316-3321.
- SHI Q, ZHAO M X, ZHANG Q M, *et al.* Growth variations of scleratinan corals at Luhuitou, Sanya, Hainan Island, and the impacts from human activities [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(8): 3316-3321.
- [12] 吴钟解, 王道儒, 吴 瑞, 等. 海南岛东、南部珊瑚礁生态健康状况初步分析[J]. 热带作物学报, 2011, 32(1): 122-130.
- WU Z J, WANG D R, WU R, *et al.* A preliminary study on the status of coral reef health in the southeast coastal regions of Hainan Island [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2011, 32(1): 122-130.
- [13] IDRIS M H, MUTA H Z, ARSHAD A. status of coral reefs species at Patricia shoals, Bintulu, Sarawak, Malaysia[J]. Journal of Applied Sciences Research, 2006, 2(10): 816-820.
- [14] HOWLETT E. GIS-based tools in support of dredging operations [J]. Sea Technology, 2003, 44(3): 42-50.
- [15] 郑志华, 徐碧华. 航道疏浚中悬浮泥沙对海水水质和海洋生物影响的数值研究[J]. 上海船舶运输科学研究所学报, 2008, 31(2): 105-111.
- ZHENG Z H, XU B H. Numerical study of suspended particulate matter impact on sea water quality and marine creatures in process of water way dredging [J]. Journal of Shanghai Ship and Shipping Research Institute, 2008, 31(2): 105-111.
- [16] 陈海洲, 李元超. 文昌椰林湾珊瑚礁生态系统的健康状况及其对围填海建设的生态响应[J]. 海洋环境科学, 2019, 38(4): 533-539.
- CHEN H Z, LI Y C. The health status of the coral reef ecosystem and its ecological response to reclamation in Yelin Bay, Wenchang, Hainan Province [J]. Marine Environmental Science, 2019, 38(4): 533-539.
- [17] 李颖虹, 黄小平, 岳维忠, 等. 西沙永兴岛珊瑚礁与礁坪生物生态学研究[J]. 海洋与湖沼, 2004, 35(2): 176-182.
- LI Y H, HUANG X P, YUE W Z, *et al.* Ecological study on coral reef and intertidal benthos around Yongxing Island, South China Sea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2019, 38(4): 533-539.
- [18] CHRISTOPHER D, GEORGE R, MIRTA Z, *et al.* Reef-scale failure of coral settlement following typhoon disturbance and macroalgal bloom in Palau, Western Pacific [J]. Coral Reef, 2014(33): 613-623.

Health evaluation and influencing factors of the coral reef ecosystem in the Hongtang Bay, Sanya

LI Yuan-chao , LIN Guo-yao, CHEN Shi-quan, WU Zhong-jie,
CAI Ze-fu, SHEN Jie, LUO Li-zhen, PANG Qiao-zhu
(Hainan Academy of Ocean and Fisheries Sciences, Haikou 570125, China)

Abstract: To understand and master the health status and influencing factors of the coral reef ecosystems, and give a basic data and theoretical research for the coral reef survey and research in Sanya, Hainan, a cross-sectional monitoring method was used to investigate the species diversity, coverage and recruitment of the coral reef by setting up 12 coral survey stations in the Hongtang Bay, Sanya, in March 2017. And coral reef ecosystem was evaluated by the guidelines from *Assessment of the Health of Coastal Marine Ecosystems* (HY/T 087 - 2005); the evaluation indexes were pH value, chlorophyll a, turbidity, active phosphate and inorganic nitrogen, and the coral reef ecosystem in the Hongtang Bay was evaluated by condition index (CI). Results showed that there were 11 families, 25 genera and 55 species of coral reef in the Hongtang Bay. And the coral reef dominant species were *Acropora millepora*, *Acropora hyacinthus*, *Montipora solanderi*, *Montipora foliosa*. The main morphological groups were clump, branch and leaf. Soft corals mainly were *Lobophytum* sp., *Sinularia* sp., *Sarcophyton* sp and one Gorgonacea. The average coverage of coral reef was 14.58%, average coral recruitment was 0.15 ind. · m⁻², and the average coverage of soft coral was 0.17%. The distribution of corals in the Hongtang Bay was semi-continuous along the coast, and the distribution width along the coast was mostly 100 to 300 m, main types of sediment were fine sand, small rocks and coral fragments, and as the water depth increases, the distribution of corals decreases. Corals were mainly distributed in the water depths of 1 to 4 m, and there were scattered coral reef or Gorgonacea in the water depth more than 6 m. The coral reef water environment in the Hongtang Bay was healthy, but the concentration of suspended matter and Chlorophyll-a in the water environment was high, and the value assigned was low. The average health status of the region's coral reef ecosystems was currently at a good level based on qualitative estimation criteria, but showed a downward trend as the number species of coral reef decreased from 57 to 55, and the coverage of coral reef decreased from 17.33% to 14.58%; coverage of soft corals decreased from 2.01% to 0.17%, and the recruitment of coral reef decreased from 0.22% to 0.17%, compared to historical survey data. It was mainly affected by the increase of suspended matter and chlorophyll a, suspended sediment in reclamation and the increase of macro algae.

Keywords: Hongtang Bay; coral reefs; ecosystem; health evaluation; impact factors