

## 涠洲岛珊瑚礁健康评估\*

# Assessment on the Health of Coral Reefs at Weizhou Island

周浩郎, 黎广钊\*\*

ZHOU Hao-lang, LI Guang-zhao

(广西科学院 广西红树林研究中心, 广西红树林保护重点实验室, 广西北海 536007)

(Guangxi Key Lab of Mangrove Conservation, Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Beihai, Guangxi, 536007, China)

**摘要:**【目的】科学地判断涠洲岛珊瑚礁的现状,并找出造成目前现状的主要原因,为及时采取有效措施以维持涠洲岛珊瑚礁的健康提供有力依据。【方法】根据历年来有关涠洲岛珊瑚礁生长、演变、环境变化与社会发展的研究成果和最新的调查研究资料,采用 HRHPI 的指标体系法,从生态结构、生态功能、压力及社会经济等几个特征属性对珊瑚礁健康进行评估。【结果】涠洲岛的自然环境仍适合石珊瑚的生存,石珊瑚的种类丰度仍正常;珊瑚礁的覆盖率降低、分布范围缩小、生物多样性下降,尤其在浅海和局部人为影响大的区域,珊瑚死亡率大于补充率。【结论】涠洲岛的珊瑚礁处于衰退中的亚健康状态。过度捕捞、污染、物理损伤(踩踏、抛锚、水下工程等)和大尺度环境变化(如气候异常)等是造成涠洲岛珊瑚礁衰退的主要原因。

**关键词:** 涠洲岛 珊瑚礁 健康 评估

中图分类号: Q178.532 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2014)04-0238-10

**Abstract:**【Objective】Scientific judgment was made on the current situation of coral reefs in Weizhou Island, and its main cause was found out, in order to provide powerful basis to take effective measures for timely sustaining the health of coral reefs in Weizhou Island.【Methods】According to the data derived from previous research and the survey results of this research, the indicator system based on HRHPI was used for the coral reef health assessment through analyzing ecosystem structure, ecological function, stress, and social economy.【Results】Natural condition in Weizhou Island still can support the survival of hermatypic corals and the species richness of hermatypic corals remains normal but with decreasing coverage, distribution scope, and biodiversity of coral reefs, especially in shallow sea and some areas suffering severe human activity. The mortality rate of corals is higher than its recruitment rate.【Conclusion】Coral reefs at Weizhou Island are in the trend of degradation, which is believed to be resulted from overfishing, pollution, physical injuries (crumbled by people trampling, anchoring, underwater engineering, etc.) and large-scale environmental changes (e. g. climate change).

**Key words:** Weizhou Island, coral reef, health, assessment

【研究意义】涠洲岛是北部湾内最大海岛,是华南沿海主要的珊瑚分布区,属北部湾内造礁珊瑚分

布的北缘,有 50 余种造礁石珊瑚并成礁<sup>[1~7]</sup>。涠洲岛珊瑚礁年龄为 $(6900 \pm 100) \text{a}$ <sup>[8]</sup>,是涠洲岛自然历史演变的见证,是涠洲岛人文历史发展的重要条件——涠洲岛的民房多以珊瑚礁为材料建造,与岛民的生计息息相关——至今部分岛民仍以浅海捕鱼为生。近年来,涠洲岛旅游业的快速发展,也得益于珊瑚礁的存在所形成的得天独厚的自然和人文条件。因此,涠洲岛珊瑚礁的健康与否,不仅关系海洋生物多样性的变化,也关系社会经济发展的走向。

收稿日期:2014-04-10

作者简介:周浩郎(1962-),男,副研究员,主要从事海洋生物和海洋生物多样性研究。

\* 广西壮族自治区科学技术厅北部湾重大专项项目(2010GXNSFE013003)和国家自然科学基金项目(40966001)资助。

\*\* 通讯作者:黎广钊(1954-),男,研究员,主要从事海洋地质及珊瑚礁研究。

对涠洲岛珊瑚礁健康状况做出科学客观的评估,将有助于采取正确与合理的对策和措施,以维持涠洲岛珊瑚礁的健康。【前人研究进展】珊瑚礁正在经历全球性的加速退化已充分定论,全球性变化、近岸海域富营养化和草食性动物的减少是普遍推测的原因,常被认为是珊瑚礁退化的主要原因<sup>[9]</sup>。珊瑚礁的健康,被视为珊瑚对流经和流过礁体的海水状况的综合反应<sup>[10,11]</sup>。“健康珊瑚礁服务健康人类倡议”(The Healthy Reefs for Healthy People Initiative, HRHPI)组织指出,能维持结构和功能并满足人类合理需要的珊瑚谓之健康<sup>[12]</sup>。珊瑚礁是生物多样性丰富、生产力高的海洋生态系统,但极脆弱,对物理、化学和生物条件的忍受范围最窄<sup>[9]</sup>。【本研究切入点】珊瑚礁的健康评估仍在探索中,尚未形成一套成熟的为大家广泛接受的评价珊瑚礁健康状况的指标或方法<sup>[13]</sup>。【拟解决的关键问题】根据历年有关涠洲岛珊瑚礁生长、演变、环境变化、社会发展的研究成果和最新的调查研究资料,对涠洲岛珊瑚礁健康进行综合分析评估。

## 1 材料与方法

珊瑚礁健康评估,是通过监测发现珊瑚礁变化后产生的需要。全球化的珊瑚礁衰退已是不争的事实,但定义和测量珊瑚礁的状况极其困难,表现在珊瑚礁的状况取决于无数生态因子之间复杂而高度变化的相互关系。企图通过使用一个“指示物种”的数量和测量一个生理过程来量化珊瑚礁状况是不可能的<sup>[14]</sup>。

本文根据历年来涠洲岛珊瑚礁生长、演变、环境变化与社会发展的研究成果和最新的调查研究资料,采用 HRHPI 所提出的指标体系法分析和评估涠洲岛珊瑚礁的健康,从生态结构、生态功能、压力及社会经济几个特征属性方面对珊瑚礁健康进行评价<sup>[15]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 涠洲岛珊瑚礁非生命因素

#### 2.1.1 海表面温度

1960~2001年涠洲岛年平均海表面温度(SST)变化于23.8~25.5℃,平均为24.6℃。1980年后以来,涠洲岛年平均SST的波动上升趋势明显,线性上升趋势为0.33℃/(10a),略大于全球上升率,特别是月平均最低SST和年最低SST显著上升<sup>[16]</sup>。SST的多年极端最高水温为35.0℃,多

年极端最低水温为12.3℃。但极端高、低水温持续时间很短<sup>[6]</sup>。

#### 2.1.2 水质和底质状况

1990年涠洲岛海水重金属(汞、铜、铅、锌、镉)含量和海水理化因子的浓度均不超出国家一类海水标准<sup>[17]</sup>。2007~2008年涠洲岛海水pH值、有机碳、无机氮、无机磷、铜、镉、铬和砷的浓度均低于标准值,油类仅在冬季局部超标,铅浓度超标率为20.8%,锌浓度超标率56.3%,汞浓度超标率达100%。采用依据有机碳、总氮、总磷、叶绿素等4个指标的营养指数法评价水体营养化状况的结果显示,涠洲岛珊瑚礁海区水体多呈微营养水平<sup>[18]</sup>。使用2005~2010年测得的溶解氧、化学耗氧量、油类、活性磷酸盐和无机氮等参数评价生态环境现状的结果表明,涠洲岛珊瑚礁海水符合一类海水水质标准<sup>[19]</sup>。1990年涠洲岛海域底质中的油类、硫化物、有机质和重金属含量均低于海岸带底质评价标准,属I类无污染环境<sup>[17]</sup>。2010年采用均值型综合污染指数对广西海岛潮间带底质环境质量进行综合评价的结果表明,涠洲岛表层沉积物的综合污染指数小于0.3,属清洁<sup>[20]</sup>。

2001年至2012年间,按Reef Check的标准化调查方法于每年秋季(9~10月)在涠洲岛北面的牛角坑近海和西南面的竹蔗寮近海开展的Reef Check调查结果<sup>[21]</sup>显示,硬珊瑚、岩石、砾石和砂是出现频度较高的四类底质(表1)。

#### 2.1.3 悬浮物

涠洲岛西南礁坪和礁坡珊瑚礁内悬浮物全年各月平均沉降速率分别是2157.9g/(m<sup>2</sup>·d)和1195.016g/(m<sup>2</sup>·d)。悬浮物组成类型有极粗砂、粗砂、中砂、细砂、极细砂、粗粉砂、中粉砂、细粉砂、极细粉砂、粗粘土和细粘土。礁坪与礁坡的粘土平均含量均小于10%,砂平均含量分别为85.7%和76.5%,粉砂平均含量分别为17.55%和10.6%<sup>[22]</sup>。本研究于2012年4月初在涠洲岛北面牛角坑浅海14个调查站位测得的悬沙含量平均为30mg/L。

#### 2.1.4 潮汐、潮流、日照与透明度

涠洲岛多年平均潮差为2.35m,最大潮差为5.26m;涨潮流速为32.4~74.3cm/s,落潮流速为40.6~90.5cm/s;海水透明度通常为2.5~6.0m,多年平均日照总时数达2234h,日照百分率达51%<sup>[6]</sup>。

表1 2001~2012年涠洲岛珊瑚礁健康调查底质观测数据统计

Table 1 Reef Check on coral reef from 2001 to 2012 in Weizhou Island

地点 Site	类型 Types	2001	2001	2002	2004	2004	2004	2005	2006	2007	2011	2012
竹蔗寮 Zhuzheliao	硬珊瑚 Hard corals	133	—	—	39	—	—	2	61	68	60	76
	软珊瑚 Soft corals	0	—	—	0	—	—	0	0	10	2	12
	近亡珊瑚 Newly died corals	0	—	—	1	—	—	0	0	0	0	0
	大型海藻 Seaweeds	0	—	—	0	—	—	0	0	0	0	0
	海绵 Sponges	0	—	—	0	—	—	42	0	2	0	0
	岩石 Rocks	23	—	—	65	—	—	33	32	37	55	38
	砾石 Pebbles(5~15cm)	0	—	—	12	—	—	20	42	4	7	0
	砂 Sands	4	—	—	43	—	—	0	25	39	36	34
	泥沙/黏土 Silty sands	0	—	—	0	—	—	0	0	0	0	0
	其他 Others	0	—	—	0	—	—	0	0	0	0	0
牛角坑 Niujiakeng	硬珊瑚 Hard corals	40	26	0	0	59	66	34	5	0	36	109
	软珊瑚 Soft corals	2	1	0	0	0	2	15	0	0	0	0
	近亡珊瑚 Newly died corals	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0
	大型海藻 Seaweeds	6	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0
	海绵 Sponges	12	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
	岩石 Rocks	33	18	0	146	65	29	58	81	46	71	16
	砾石 Pebbles (5~15cm)	36	88	0	14	35	57	16	65	78	50	35
	砂 Sands	24	25	0	0	0	4	35	8	23	3	0
	泥沙/黏土 Silty sands	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	其他 Others	7	1	—	0	0	1	0	0	0	0	0

## 2.2 涠洲岛生物多样性

### 2.2.1 海洋生物

1990年涠洲岛记录的浮游植物的种类有87种,其中硅藻31属81种,甲藻4属6种,浮游动物的种类有90种,以桡足类和水母类居多<sup>[23]</sup>;底栖生物有279种,种类丰度在广西沿海岛屿中最高;鱼类有80种<sup>[24]</sup>。

有记录的分布于涠洲岛珊瑚礁海区的海藻有马尾藻(*Sargassum* spp.)、团扇藻(*Padina* spp.)、囊藻(*Colpomenia sinuosa*)、网膜藻(*Hydroclathrusclathratus*)和叉节藻(*Amphiroa fragilis*)等约30余种,其中马尾藻有10余种,在礁坪和珊瑚生长带上部以马尾藻占优势。春季褐藻的覆盖率高达80%~90%<sup>[25]</sup>。本研究于2012年4月初在涠洲岛北面牛角坑附近浅海14个测站进行的海藻调查发现,分布的藻类以马尾藻和囊藻为主,藻类出现率85.7%,平均覆盖率29.3%。

Reef Check结果显示,作为指示生物鱼类出

现的频度很低,且主要是蝴蝶鱼。蝴蝶鱼出现的最高数量是2004年的71尾/断面,最低数量是2012年的6尾/断面。指示生物中的无脊椎动物被观察到的频度也很低,近乎于零,基本上只有长刺海胆出现,最高数量是2006年和2007年的13只/断面。

### 2.2.2 珊瑚的种类

历年来所记录并鉴定的涠洲岛造礁石珊瑚共有13科34属82种(表2)。1988年报道了造礁石珊瑚48种(含1964年的8科22属32种和1984年的8科23属35种)<sup>[26]</sup>;1987年记录了涠洲岛造礁石珊瑚21属45种<sup>[27]</sup>;1998年报道了造礁石珊瑚19属26种,9种未定种<sup>[28]</sup>;2001年记录造礁石珊瑚14属16种,4种未定种<sup>[29]</sup>;2005年记录造礁石珊瑚5科10属14种<sup>[30]</sup>;2006年记录了涠洲岛造礁石珊瑚12科16属33种<sup>[31]</sup>;2009年记录了涠洲岛西南分布的珊瑚7科16属24种<sup>[22]</sup>;2010年记录了涠洲岛造礁石珊瑚10科22属55种<sup>[7]</sup>。

表 2 历年记录的涠洲岛珊瑚种类

Table 2 Coral species found in Weizhou Island

科 Classes	属 Genus	种 Species	拉丁名 Latin names	1964	1984	1987	1998	2001	2005	2006	2009	2010		
铁星珊瑚科 Siderastrei- dae	假铁星珊瑚属		<i>Pseudosiderastrea</i>				+							
		沙珊瑚属		<i>Psammocora</i>				+						
		毗邻沙珊瑚		<i>Psammocora contigua</i>		+				+				
		深室沙珊瑚		<i>Psammocora profundacella</i>	+									
鹿角珊瑚科 Acroporidae	鹿角珊瑚属	沙珊瑚	<i>Psammocora</i> sp.				+							
		鹿角珊瑚属	<i>Acropora</i>				+							
		隆起鹿角珊瑚	<i>Acropora tumida</i>							+				
		鹿角珊瑚	<i>Acropora</i> sp.				+							
		鹿角珊瑚	<i>Acropora</i> sp.					+						
		鹿角珊瑚	<i>Acropora</i> sp.					+				+		
		鹿角珊瑚	<i>Acropora</i> sp.					+				+		
		佳丽鹿角珊瑚	<i>Acropora pulchra</i>	+						+	+			
		匍匐鹿角珊瑚	<i>Acropora prostrata</i>					+	+				+	
		多孔鹿角珊瑚	<i>Acropora millepora</i>	+	+			+	+	+	+		+	
		宽片鹿角珊瑚	<i>Acropora lutkeni</i>								+			
		粗野鹿角珊瑚	<i>Acropora humilis</i>	+	+		+	+				+		
		美丽鹿角珊瑚	<i>Acropora formosa</i>		+		+				+	+	+	
		浪花鹿角珊瑚	<i>Acropora cythessa</i>		+		+						+	
		松枝鹿角珊瑚	<i>Acropora brueggemanni</i>			+							+	
		霜鹿角珊瑚	<i>Acropora pruinosa</i>			+							+	
		伞房鹿角珊瑚	<i>Acropora corymbosa</i>								+			
		狭片鹿角珊瑚	<i>Acropora haimei</i>										+	
		花鹿角珊瑚	<i>Acropora florida</i>										+	
		粗野鹿角珊瑚	<i>Acropora humilis</i>										+	
		蔷薇珊瑚属		蔷薇珊瑚	<i>Montipora</i>				+					
				蔷薇珊瑚	<i>Montipora</i> sp.							+		
				单星蔷薇珊瑚	<i>Montipora monasteriata</i>	+	+					+		
	变形蔷薇珊瑚		<i>Montipora informlis</i>				+							
	叶状蔷薇珊瑚		<i>Montipora foliosa</i>							+				
	繁锦蔷薇珊瑚		<i>Montipora efflorescens</i>							+	+	+		
	指状蔷薇珊瑚		<i>Montiporadigitata</i>							+				
	鬃刺蔷薇珊瑚		<i>Montipora hispida</i>	+										
	浅窝蔷薇珊瑚		<i>Montipora faveolata</i>	+										
	膨胀蔷薇珊瑚		<i>Montipora turgescens</i>								+	+		
星孔珊瑚属	多星孔珊瑚		<i>Astreopora myriophthalma</i>	+										
	假鹿角珊瑚属		<i>Anacropora</i>					+						
菌珊瑚科 Agariciidae	牡丹珊瑚属		尖锥假鹿角珊瑚	<i>Anacropora tapera</i>	+									
			<i>Pavona</i>				+							
		叶形牡丹珊瑚	<i>Pavona frondifera</i>	+						+	+	+		
		十字牡丹珊瑚	<i>Pavona decussata</i>	+	+		+	+	+	+	+	+		
		易变牡丹珊瑚	<i>Pavona varians</i>	+										
		小牡丹珊瑚	<i>Pavona minuta</i>											
		牡丹珊瑚	<i>Pavona</i> sp.			+								
			<i>Pachyseris speciosa</i>								+			
		滨珊瑚科 Poritidae	滨珊瑚属	标准厚丝珊瑚								+		
				滨珊瑚	<i>Porites</i>				+					
滨珊瑚	<i>Porites</i> sp.						+					+		
澄黄滨珊瑚	<i>Porites lutea</i>				+		+	+	+	+	+	+		
扁枝滨珊瑚	<i>Porites andrewesi</i>			+										
普哥滨珊瑚	<i>Porites pukoensis</i>					+								
角孔珊瑚属		<i>Goniopora</i>				+								
	斯氏角孔珊瑚	<i>Goniopora stutchburyi</i>						+			+	+		

续表 2

Continue table 2

科 Classes	属 Genus	种 Species	拉丁名 Latin names	1964	1984	1987	1998	2001	2005	2006	2009	2010		
木珊瑚科 Dendrophyllidae	陀螺珊瑚属	二异角孔珊瑚	<i>Goniopora duofasciata</i>	+				+		+	+	+		
		柱角孔珊瑚	<i>Goniopora columnna</i>		+		+		+				+	
		大角孔珊瑚	<i>Goniopora djiboutiensi</i>										+	
		角孔珊瑚	<i>Goniopora</i> sp.							+	+			
			<i>Turbibaria</i>											+
			<i>Turbinaria stellulata</i>											+
			<i>Turbinaria</i> sp.											+
			<i>Turbinaria foliosa</i>											+
			<i>Turbinaria elegans</i>		+							+		
			<i>Tubinaria peltata</i>		+	+				+				+
			<i>Tubinaria undata</i>		+									
			<i>Tubinaria itrregularis</i>				+							
			<i>Tubinaria frondens</i>		+									+
			<i>Tubinaria stellulata</i>		+									
		枇杷珊瑚科 Oculiidae	盔形珊瑚属		<i>Galaxea</i>									
丛生盔形珊瑚	<i>Galaxea fascicularis</i>			+	+		+		+	+	+	+	+	
稀杯盔形珊瑚	<i>Galaxea astreata</i>			+	+			+		+	+	+	+	
裸肋珊瑚科 Merulinidae	刺柄珊瑚属	刺柄珊瑚	<i>Hydnophora</i> sp.										+	
		腐蚀刺柄珊瑚	<i>Hydnophora exesa</i>								+		+	
蜂巢珊瑚科 Faviidae	裸肋珊瑚属	阔裸肋珊瑚	<i>Merulina ampliata</i>										+	
			<i>Favia</i>											+
	蜂巢珊瑚属	黄癣蜂巢珊瑚	<i>Favia favius</i>						+					+
		帛琉蜂巢珊瑚	<i>Favia palauensis</i>											+
		蜂巢珊瑚	<i>Favia</i> sp.			+				+				+
		标准蜂巢珊瑚	<i>Favia speciosa</i>	+	+		+	+			+	+	+	
		翘齿蜂巢珊瑚	<i>Favia matthaii</i>	+			+				+		+	
		罗图马蜂巢珊瑚	<i>Favia rotumana</i>			+								+
			<i>Favites</i>											+
			<i>Favites flexuosa</i>							+				+
			<i>Favites abdita</i>		+	+		+			+	+	+	+
			<i>Favites halicora</i>			+					+			+
			<i>Favites penagona</i>											+
			<i>Favites</i> sp.								+			+
		扁脑珊瑚属		<i>Platygyra</i>										
中华扁脑珊瑚	<i>Platygyra sinensis</i>						+	+					+	
交替扁脑珊瑚	<i>Platygyra daedalea</i>		+								+	+	+	
精巧扁脑珊瑚	<i>Platygyra crosslandi</i>		+	+						+			+	
扁脑珊瑚	<i>Platygyra</i> sp.												+	
扁脑珊瑚	<i>Platygyra</i> sp.												+	
菊花珊瑚属			<i>Goniastrea</i>											+
	菊花珊瑚		<i>Goniastrea</i> sp.							+	+			+
	粗糙菊花珊瑚		<i>Goniastrea aspera</i>			+		+						+
	网状菊花珊瑚		<i>Goniastrea retiformis</i>			+								+
	少片菊花珊瑚	<i>Goniastrea yamanarii</i>	+									+	+	
圆菊珊瑚属		<i>Goniastrea</i> sp.			+								+	
	曲圆菊珊瑚	<i>Montastrea curta</i>											+	
刺星珊瑚属		<i>Cyphastrea</i>											+	
	刺星珊瑚	<i>Cyphastrea</i> sp.						+					+	
同星珊瑚属		<i>Cyphastrea serailia</i>			+				+			+	+	
		<i>Plesiastrea</i>											+	
	多孔同星珊瑚	<i>Plesiastrea versipora</i>							+			+	+	

续表 2

Continue table 2

科 Classes	属 Genus	种 Species	拉丁名 Latin names	1964	1984	1987	1998	2001	2005	2006	2009	2010
	双星珊瑚属	同双星珊瑚	<i>Diploastrea heliopora</i>									+
	小星珊瑚属		<i>Leptastrea</i>			+						
		紫小星珊瑚	<i>Leptastrea purpurea</i>		+		+	+			+	+
		横小星珊瑚	<i>Leptastrea transversa</i>	+								
	刺孔珊瑚属	薄片刺孔珊瑚	<i>Echinopora lamellosa</i>					+				
		宝石刺孔珊瑚	<i>Echinopora gemmacea</i>									+
		刺孔珊瑚	<i>Echinopora</i> sp.		+				+			
梳状珊瑚科 Pectiniidae	刺叶珊瑚属	刺叶珊瑚	<i>Echinophyllia</i> sp.		+	+	+					
		粗糙刺叶珊瑚	<i>Echinophyllia aspera</i>					+		+	+	+
杯形珊瑚科 Pocillopori- dae	杯形珊瑚属	杯形珊瑚	<i>Pocillopora</i> sp.				+					
石芝珊瑚科 Fungiidae	柱状珊瑚属	柱状珊瑚	<i>Stylophora</i> sp.				+					
	足柄珊瑚属		<i>Podabacia</i>	+		+						
		壳形足柄珊瑚	<i>Podabacia crustacea</i>							+		+
	帽状珊瑚属	小帽状珊瑚	<i>Halomitra pileus</i>		+							
裸肋珊瑚科 Merulinidae	裸肋珊瑚属		<i>Merulina</i>			+						
	刺柄珊瑚属	腐蚀刺柄珊瑚	<i>Hydnophora exesa</i>	+	+						+	
褶叶珊瑚科 Mussidae	合叶珊瑚属	菌状合叶珊瑚	<i>Symphyllia agaricia</i>							+		
		蓟珊瑚	<i>Scolymia</i> sp.				+					
	叶状珊瑚属	肋叶状珊瑚	<i>Lobophyllia costata</i>				+					
		赫氏叶状珊瑚	<i>Lobophyllia hemprichii</i>		+							
		叶状珊瑚	<i>Lobophyllia</i> sp.									+
		棘星珊瑚	<i>Acanthastrea</i> sp.					+				
	棘星珊瑚属	棘星珊瑚	<i>Acanthastrea echinata</i>		+							
种类数量				32	35	21	26	21	14	33	24	55

## 2.2.3 珊瑚分布面积、覆盖度和优势种

2008年涠洲岛珊瑚分布的岸线长约19.837km,主要分布于西北、东北、东南和西南面。西北面珊瑚分布宽度最宽为2.56km,东北、东、东南和西南面珊瑚的分布宽度分别为0.98~2.07km、1.11~2.35km、1.10~2.08km和0.86~1.15km。猪仔岭南面岸礁分布宽度为0.20~0.34km,涠洲岛西面(竹蔗寮-大岭脚)和南湾西侧有活造礁石珊瑚零星分布。涠洲岛珊瑚分布面积约29.05km<sup>2</sup>,猪仔岭珊瑚分布的岸线长约0.118km,面积约0.072km<sup>2</sup>[18]。

表3 不同年份涠洲岛沿岸珊瑚优势种

Table 3 Dominant species of corals along the coast of Weizhou Island in different years

年份 Year	东 East	东北 Northeast	东南 Southeast	西北 Northwest	西南 Southwest	北 North	南 South
1985	滨珊瑚 <i>Porites</i> sp.、蜂巢珊瑚 <i>Favia</i> sp.、扁脑珊瑚 <i>Platygyra</i> sp.	牡丹珊瑚 <i>Pavona</i> sp.	菊花珊瑚 <i>Goniastrea</i> sp.、蜂巢珊瑚 <i>Favia</i> sp.	鹿角珊瑚 <i>Acropora</i> sp.	鹿角珊瑚 <i>Acropora</i> sp.	滨珊瑚 <i>Porites</i> sp.、蜂巢珊瑚 <i>Favia</i> sp.、扁脑珊瑚 <i>Platygyra</i> sp.	—
1989	蜂巢珊瑚 <i>Favia</i> sp.、菊花珊瑚 <i>Goniastrea</i> sp.、伞房鹿角珊瑚 <i>Acropora corymbosa</i> 、牡丹珊瑚 <i>Pavona</i> sp.	—	—	—	—	—	—
1998	—	—	—	—	鹿角珊瑚 <i>Acropora</i> sp.、多孔鹿角珊瑚 <i>Acropora millepora</i>	鹿角珊瑚 <i>Acropora</i> sp.	—
2005	—	—	—	—	—	十字牡丹珊瑚 <i>Pavona decussata</i>	滨珊瑚 <i>Porites</i> sp.
2008	角蜂巢珊瑚 <i>Favites</i> sp.、滨珊瑚 <i>Porites</i> sp.、蔷薇珊瑚 <i>Montipora</i> sp.	—	—	—	—	—	—

不同年份涠洲岛珊瑚礁优势种见表3<sup>[4,5,18,28,30]</sup>。2005年涠洲岛活造礁石珊瑚平均覆盖率在北面的北港和西南面的滴水分别为33.2%和35.3%,浅水区活造礁石珊瑚覆盖率明显比深水区域低。涠洲岛东北、东南面海域,包括公山、横岭、猪仔岭的造礁石珊瑚基本没有<sup>[30]</sup>。2007年涠洲岛西南礁坪和礁坡活造礁石珊瑚的平均覆盖度分别为40.3%和64.2%<sup>[22]</sup>。2008年涠洲岛西北、东北、东南、北、西南面活造礁石珊瑚的平均覆盖度分别为25.3%、24.58%、17.58%、12.1%、8.45%<sup>[7]</sup>。

## 2.3 涠洲岛珊瑚礁生态功能

### 2.3.1 造礁石珊瑚的死亡

2005年黄晖等<sup>[30]</sup>发现调查区死亡造礁石珊瑚覆盖率很高,平均为31.4%,北、西南和南面浅水区分别达到91.3%、51%和39.7%,但深水区(3~5m)死珊瑚覆盖率很低。2007年涠洲岛西南礁坪珊瑚的平均褪色率为23.4%,平均死亡率为12.0%,礁坡珊瑚的平均褪色率为13.3%,平均死亡率为6.7%<sup>[22]</sup>。2008年涠洲岛珊瑚的平均死亡率为20.17%,东南、西南、西北、东北、北面珊瑚的平均死亡率分别为39.38%、18.51%、15.8%、15.45%、11.7%<sup>[18]</sup>。

### 2.3.2 珊瑚的白化和补充生长

2005年黄晖等<sup>[18]</sup>发现涠洲岛珊瑚大片白化和死亡的现象;2008年在10条广西908专项调查断面中,珊瑚的平均白化率为0.12%,平均白化病率为0.22%。活造礁石珊瑚补充量为每条调查断面2个到14个。

## 2.4 压力(驱动力)与社会经济

明朝万历六年(1578年)始有移民自雷州到涠洲岛开垦定居,至清朝咸丰末年(1860年),涠洲岛定居人口有400人。1980年以来,涠洲岛人口数量变动不大,1982年14577人,2007年15071人。涠洲岛现有8个行政村,51个自然村。渔业为主的自然村1个,人口308人;半渔半农的自然村19个,人口4274人。

涠洲岛近海的捕捞能力见表4。浅海渔业的捕捞方式主要有刺网捕鱼、施药麻痹和潜捕。典型的渔获主要有对虾、梭子蟹、珊瑚礁鱼类(石斑、黑斑猪齿鱼、海鳗等)、鱿鱼、海参、海胆、江珧等。涠洲岛现有耕地796.4hm<sup>2</sup>,其中香蕉种植面积533.3hm<sup>2</sup>,主要的农作物是香蕉和花生,年产香蕉3万多吨。2007年海水养殖面积达450hm<sup>2</sup>,养殖品种主要是扇贝、石斑鱼、鲍鱼和珍珠,养殖海域主要在南湾。79.4%岛民认为其生计与珊瑚礁有关,38.2%认为密切相关的大多从事渔业<sup>[32,33]</sup>。

南油涠洲终端处理厂于1998年8月8日建成投产,年加工原油逾2×10<sup>6</sup>t。涠洲岛液化天然气工程于2006年7月6日竣工并投产,日生产能力为1.5×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>天然气。涠洲岛现有使用中的码头3个,即位于南湾的南码头、位于西北角的石油码头和客运码头。涠洲岛工业废水年总量约为6.8×10<sup>6</sup>t,

生活废水年总量约为8.03×10<sup>4</sup>t,港口和船舶污染物中的含油污水年总量约为1.05×10<sup>4</sup>t<sup>[18]</sup>。

表4 涠洲岛海洋捕捞能力

Table 4 Fishing ability in Weizhou Island

年份 Year	机动船 Motor boats		木帆船 Sailing boats		水产品产量 Fishing Yields(t)
	数量 Number	功率 Power (kW)	数量 Number	载重量 Loading capacity (t)	
1980	31	1883	418	544	2001
1989	480	3789	418	418	3746
2007	810	6718	0	0	3328

2004年以来涠洲岛旅游快速发展(表5)。2000年涠洲岛只有65辆客运三轮摩托,165个座位;2008年岛上有运营客车78辆,1342个座位。2008年北海-涠洲客运航线的客轮有7艘2305客位。2012年涠洲岛有饭店、旅馆100余家,接待能力约3500人<sup>[32]</sup>。本研究于2012年4月和5月对前往涠洲岛的68位旅客进行的问卷调查结果显示,97.14%的旅客的上岛目的是观光旅游,71.64%的旅客没有潜水经历,52%的旅客愿意为珊瑚礁保护多付一点费用,不愿意的旅客中48.78%认为保护珊瑚礁是当地的责任,游客认为珊瑚和海里的鱼在浮潜和潜水体验中的重要性(10为满分)分别为8.19和8.52,浮潜和潜水的满意程度(10为满分)分别只有4.62和4.47,40%的旅客不会再次上岛旅游,其中10%将珊瑚礁不健康或正在死亡列为不会再次上岛的原因。

1994年7月北海涠洲岛旅游度假区管理委员会成立;1995年12月涠洲岛旅游度假区被批准为自治区旅游度假区;2000年北海市人民政府发布《关于加强珊瑚资源保护和管理的通告》(北政布【2000】2号);2003年11月北海涠洲岛旅游发展有限公司成立;2004年《涠洲岛旅游资源与生态环境保护规划》(2004~2015)开始实施;2004年涠洲岛被国土资源部批准为火山国家地质公园。涠洲岛-斜阳岛珊瑚礁海洋生态自然保护区建设列入2008年发布的《广西北部湾经济区发展规划》,《涠洲岛珊瑚礁保护区区划报告》已完成并提交审核。85.3%的岛民支持建立涠洲岛珊瑚礁自然保护区,认为有助于维持传统生计和带来经济发展的新机会,但主张单纯保护海洋生物多样性的支持者较少<sup>[33]</sup>。

表 5 涠洲岛游客数量和潜水人数

Table 5 The number of tourists who visit Weizhou Island and go diving

数量 Number	2001	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
游客数量 Number of tourists	28000	—	—	172000	202000	241400	315000	360000
潜水人数 Number of tourists who go diving	—	3500	4200	4500	5400	6000	—	—

### 3 讨论

#### 3.1 环境变化对珊瑚礁健康影响

SST 的上升, 有利于涠洲岛珊瑚的生长和多样性的丰富, 这是比较华南沿海珊瑚礁种类丰度和发育状态得出的合理推测<sup>[34]</sup>。极端水温持续时间很短, 对珊瑚影响甚微。涠洲岛海流、潮汐作用强, 海流和潮流均绕岛运动, 不断更新水体、保持水质良好, 仅南湾港及其附近水质因海水交换不足而较差。以硅藻占绝对优势的浮游植物群落分布现象, 也表明涠洲岛水质良好。涠洲岛远离大陆, 径流影响微, 海水中悬浮物含量不高, 对珊瑚不利的粘土比例仅占 10%。光照和透明度均适宜造礁石珊瑚的繁衍与生长<sup>[6]</sup>。涠洲岛浅海底质环境质量较高, 沿岸坡度缓, 浅海地貌适合珊瑚的生长。

#### 3.2 珊瑚礁白化、死亡与恢复

涠洲岛造礁石珊瑚死亡已是常态, 浅海和水质差的区域的造礁石珊瑚死亡率更高, 表明人类活动如过度捕捞、污染、物理损伤(踩踏、抛锚、水下工程等)造成了不利影响。鹿角珊瑚出现白化并死亡最为明显, 与 2002 年徐闻的鹿角珊瑚白化类似<sup>[35]</sup>。这种大尺度范围出现的类似现象, 解释为大尺度范围的相似影响所导致较为合理, 天气变化是可能的原因。涠洲岛仍有活造礁石珊瑚的补充生长, 但罕见鹿角珊瑚的恢复, 尽管鹿角珊瑚的生长速度最快, 极可能是人为的不利影响抑制了鹿角珊瑚的自然补充生长, 因为浅海和海水交流不畅的南湾的鹿角珊瑚死亡更严重且一直未见恢复。

#### 3.3 珊瑚礁属种及群落演化趋势

珊瑚分布岸线长度占涠洲岛岸线长度的 75%, 分布岸段充分。最新记录的造礁石珊瑚种类有 55 种, 已记录的造礁石珊瑚种类合计 82 种, 所记录的造礁石珊瑚种类的数量变化, 应是调查强度和范围不同所致, 而不反映种类数量的真实变化。涠洲岛的造礁石珊瑚种类数量, 与徐闻的造礁石珊瑚 11 科 75 种(5 个未定种)相当。优势种也类似, 表现为独特的北缘珊瑚礁生态系统<sup>[36]</sup>。研究表明, 珊瑚礁群落演替过程中初级群落以滨珊瑚为优势种, 中级群

落以菌珊瑚科的十字牡丹珊瑚为优势种, 顶级群落以鹿角珊瑚为优势种。涠洲岛造礁石珊瑚群落优势种从枝状珊瑚演变为块状珊瑚, 表明涠洲岛珊瑚礁群落正在退化。整体而言, 涠洲岛活造礁石珊瑚的覆盖度不高, 水深海区较高, 表明人为活动对珊瑚有负面影响, 也表明涠洲岛的自然环境仍适合珊瑚生存。

#### 3.4 涠洲岛珊瑚礁资源压力与管理

Reef Check 指标生物中非蝴蝶鱼类的珊瑚礁鱼类和无脊椎动物是涠洲岛的典型海产, 因被捕捞而数量稀少, 故出现率极低, 涠洲岛珊瑚礁的生物多样性较三亚大东海的低<sup>[21]</sup>。摄食藻类的植食性珊瑚礁鱼类数量的降低, 使得与珊瑚存在竞争关系的褐藻和珊瑚藻所受抑制减弱, 不利于珊瑚的生长, 藻类覆盖率高的现象可能与此有关。生物多样性的降低同样表现在近海捕捞的产量上, 尽管岛上人口数量变动不大, 但市场驱动使 2007 年涠洲岛的近海捕捞能力比 1989 年高出近一倍, 年产量却不升反降, 表明涠洲岛近海渔业资源捕捞已达到极限且渔业资源出现衰退。

几个世纪以来, 涠洲岛珊瑚礁一直为岛民所利用。以农业和渔业为主的产业格局随着海水养殖业、石油产业和旅游业的发展而发生着变化, 带动了码头建设、航运、物流、运输、景点建设、餐饮住宿、旅游等方面的发展, 在推动涠洲岛社会经济进步的同时也给涠洲岛的生态环境带来了压力与威胁。

涠洲岛民意识到其生活与珊瑚礁密切相关, 支持保护珊瑚礁以维持生计和提高生活水平。而游客对珊瑚礁的重要性认识不足, 对珊瑚礁景观的满意度低。

政府所采取的建立涠洲岛珊瑚礁自然保护区的步骤, 表达了保护珊瑚礁的政治意愿。但建区计划不具优先性, 导致建立涠洲岛珊瑚礁自然保护区的计划滞后。

### 4 结论

涠洲岛珊瑚礁近年来一直处在衰退当中, 人为影响是主因。总体而言, 涠洲岛的自然环境条件仍



能支持造礁石珊瑚的生长和恢复。综合分析涠洲岛珊瑚礁健康评估指标,我们认为涠洲岛珊瑚礁处在亚健康状态,并向不健康演变,表现在生态结构失衡、生态功能减弱和生态服务下降。延缓并扭转这一演变趋势的唯一途径是进行及时的人为干预,消除造成涠洲岛珊瑚礁衰退的不利因素。使涠洲岛珊瑚礁免于丧失的人为干预的介入时机,正随着涠洲岛社会经济的加速发展而迫近。

#### 参考文献:

- [1] 王国忠,吕炳全,全松青. 现代碳酸盐和陆源碎屑的混合沉积作用——涠洲岛珊瑚岸礁实例[J]. 石油与天然气地质,1987,8(1):15-25.  
Wang G Z, Lv B Q, Quan S Q. Mixed sedimentation of recent carbonateds and terrigenous clastics——example of the coral reef of the Weizhou Island [J]. Oil and Gas Geology,1987,8(1):15-25.
- [2] 莫永杰. 涠洲岛珊瑚岸礁的沉积特征[J]. 广西科学院学报,1988,4(2):54-59.  
Mo Y J. Characteristics of sedimentation in the fringing reefs at Weizhou Island [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences,1988,4(2):54-59.
- [3] 叶维强,黎广钊,庞衍军,等. 北部湾涠洲岛珊瑚礁海岸及第四纪沉积特征[J]. 海洋科学,1988(6):13-17.  
Ye W Q, Li G Z, Pang Y J, et al. Characteristics of the coastal coral reef and quaternary sediment from the Weizhou Island, Beibu Bulf [J]. Marine Sciences, 1988 (6):13-17.
- [4] 莫永杰. 涠洲岛海岸地貌的发育[J]. 热带地理,1989,9(3):243-248.  
Mo Y J. Development of coastal landform in Weizhou Island [J]. Tropical Geography, 1989, 9(3):243-248.
- [5] 王国忠,吕炳全,全松青. 南海涠洲岛区现代沉积环境和沉积作用演化[J]. 海洋地质与第四纪地质,1991,11(1):69-82.  
Wang G Z, Lv B Q, Quan S Q. Evolution of modern sedimentary environments and sedimentations in the Weizhou Island area, South China Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1991, 11(1):69-82.
- [6] 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[J]. 广西科学,2004,11(4):379-384.  
Li G Z, Liang W, Nong H Q, et al. Preliminary study on conditions of coral reef ecological environment along the coast of Weizhou Island [J]. Guangxi Sciences, 2004, 11(4):379-384.
- [7] 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[J]. 广西科学,2010,17(1):93-96.  
Liang W, Li G Z, Fan H Q, et al. Species composition and distribution of corals on Weizhou Island, Guangxi [J]. Guangxi Sciences, 2010, 17(1):93-96.
- [8] 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[J]. 环境科学研究,2002,15(6):5-16.  
Liang W, Li G Z. Preliminary study on characteristics of coral reef distribution and environmental protection in Weizhou Island [J]. Research of Environmental Sciences, 2002, 15(6):5-16.
- [9] Barber R T, Hilting A K, Hayes M L. The changing health of coral reefs [J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2001, 7(5):1255-1270.
- [10] Hatcher B G, Imberger J, Smith S V. Scaling analysis of coral reef systems; An approach to problems of scale [J]. Coral Reefs, 1987, 5(4):171-181.
- [11] Andrews J C, Pickard G L. The physical oceanography of coral-reef systems [J]. Ecosystems of the World, 1990, 25:11-48.
- [12] McField M, Kramer P. The Healthy Reefs for Healthy People: A Guide to Indicators of Reef Health and Social Well-being in the Mesoamerican Reef Region [M]. Washington:Frankin Trade Graphics, 2007.
- [13] 牛文涛,刘玉新,林荣澄. 珊瑚礁生态系统健康评价方法的研究进展[J]. 海洋学研究,2009,27(4):77-85.  
Niu W T, Liu Y X, Lin R D. Research progress of the health assessment method of coral reef ecosystem [J]. Journal of Marine Sciences, 2009, 27(4):77-85.
- [14] Rodgers K S, Jokiel P L, Brown B K. Modeling Hawaiian coral reef "health" [J]. Coral Reefs, 2006, 25(1):1-29.
- [15] HMR. The challenge of defining "reef health" in the Mesoamerican barrier reef: The search for yardsticks and a meaning index of reef integrity [G]. Miami: the Healthy Mesoamerican Reef Workshop, 2004:1-45.
- [16] 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[J]. 应用生态学报,2004,15(3):506-510.  
Yu K F, Jiang M X, Cheng Z Q, et al. Latest forty two years' sea surface temperature change of Weizhou Island and its influence on coral reef ecosystem [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(3):506-510.
- [17] 邱绍芳. 涠洲岛附近海域水质和底质环境的分析与评价[J]. 广西科学院学报,1999,15(4):170-173.  
Qiu S F. Analysis and evaluation of substrate environment and water quality of the sea area around Weizhou Island [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 1999, 15(4):170-173.
- [18] 广西红树林研究中心. 广西重点生态区综合调查报告 [R]. 北海:广西红树林研究中心,2010.  
Guangxi Mangrove Research Center. Report of Guangxi Important Ecoregion Comprehensive Survey [R]. Beihai: Guangxi Mangrove Research Center, 2010.
- [19] 史海燕,刘国强. 广西北海涠洲岛珊瑚礁海域生态环境现状与评价[J]. 科技创新与应用,2012(14):11-12.  
Shi H Y, Liu G Q. Current situation and evaluation of ecology environment for coral reef at Weizhou Island Beihai, Guangxi [J]. Technological Innovation and Application, 2012(14):11-12.

- [20] 广西海洋局. 广西壮族自治区近海海洋综合调查与评价总报告[R]. 南宁: 广西海洋局, 2010.  
Guangxi Oceanic Administration. General Report of Guangxi Offshore Integrated Investigation and Evaluation[R]. Nanning: Guangxi Oceanic Administration, 2010.
- [21] 陈刚. Reef Check 方法在三亚珊瑚礁区域的应用结果分析[J]. 南海研究与开发, 2002, 2: 17-21.  
Chen G. Analysis of the results of Reef Check on the coral reefs at Sanya [J]. Nanhai Yanjiu Yu Kaifa, 2002, 2: 17-21.
- [22] 王欣. 北部湾涠洲岛珊瑚礁区悬浮物沉降与珊瑚生长关系的研究[D]. 南宁: 广西大学林学院, 2009.  
Wang X. Research of the Relationship Between the Deposit of Suspended and Growth of Coral Reef in Weizhou Island, Beibu Bay [D]. Nanning: Forestry College of Guangxi University, 2009.
- [23] 韦蔓新, 黎广钊, 何本茂, 等. 涠洲岛珊瑚礁生态系中浮游动植物与环境因子关系的初步探讨[J]. 海洋湖沼通报, 2005(2): 34-39.  
Wei M X, Li G Z, He B M, et al. Preliminary study of the relationship between plankton and environmental factors in the coral reef system around Weizhou Island [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2005 (2): 34-39.
- [24] 广西海洋开发保护管理委员会. 广西海岛资源综合调查报告[R]. 南宁: 广西科学技术出版社, 1996.  
Guangxi Marine Development and Protection Management Committee. Guangxi Island Resources Comprehensive Survey Report[R]. Nanning: Guangxi Science and Technology Press, 1996.
- [25] 广西壮族自治区海岸带和海涂资源综合调查领导小组. 广西壮族自治区海岸带和海涂资源综合调查报告第四卷(海洋生物)[M]. [出版地不祥]: [出版者不祥], 1986.  
Leading Group of Comprehensive Investigation Report on Coastal Zone and Tidal Flat Resources of Guangxi Zhuang Nationality Autonomous Region. Comprehensive Investigation Report on Coastal Zone and Tidal Flat Resources of Guangxi Zhuang Nationality Autonomous Region, vol. 4 (Marine Life) [R]. [s. l.]: [s. n.], 1986.
- [26] Zou R L, Zhang Y L, Xie Y K. An ecological study of reef corals around Weizhou Island [M] // Xu G Z, Brian Mortor. Proceedings on Marine Biology of South China Sea. Beijing: China Ocean Press, 1988: 201-211.
- [27] 黄金森, 张元林. 北部湾涠洲岛珊瑚海岸沉积[J]. 热带地貌, 1987, 8(2): 1-3.  
Huang J S, Zhang Y L. Sedimentation along coral reef coast of Weizhou Island in Beibu Gulf [J]. Tropical Geomorphology, 1987, 8(2): 1-3.
- [28] 王敏干. 广西北部湾涠洲岛珊瑚初步调查[R]. [出版地不祥]: [出版者不祥], 1998.  
Wang M G. Preliminary Survey of Corals at Weizhou Island in Beibu Gulf, Guangxi [R]. [s. l.]: [s. n.], 1998.
- [29] 广西红树林研究中心. 广西 908 专项珊瑚礁生态系统调查报告[R]. 北海: 广西红树林研究中心, 2009.  
Guangxi Mangrove Research Center. Guangxi 908 Special Project: Coral Reefs Survey Report [R]. Beihai: Guangxi Mangrove Research Center, 2009.
- [30] 黄晖, 马斌儒, 练健生, 等. 广西涠洲岛海域珊瑚礁现状及保护策略研究[J]. 热带地理, 2009, 29(4): 307-312.  
Huang H, Ma B R, Lian J S, et al. Status and conservation strategies of the coral reef in Weizhou Island, Guangxi [J]. Tropical Geography, 2009, 29(4): 307-312.
- [31] 广西红树林研究中心. 涠洲岛海区珊瑚礁资源调查报告[R]. 北海: 广西红树林研究中心, 2006.  
Guangxi Mangrove Research Center. Report of Coral Reef Survey in Weizhou Island Sea Areas [R]. Beihai: Guangxi Mangrove Research Center, 2006.
- [32] 祝小东, 李海文, 史璠. 涠洲岛志[M]. 南宁: 广西人民出版社, 2012  
Zhu X D, Li H W, Shi F. Annals of Weizhou Island [M]. Nanning: Guangxi People's Publishing House, 2012.
- [33] 广西红树林研究中心. 中国南部沿海生物多样性管理项目(SCCBD)执行前利益相关者的知识和认知调查报告[R]. 北海: 广西红树林研究中心, 2008.  
Guangxi Mangrove Research Center. Report on Public Knowledge of and Awareness on Biodiversity before and after the Implementation of SCCBD Project [R]. Beihai: Guangxi Mangrove Research Center, 2008.
- [34] 宋朝景, 赵焕庭, 王丽荣. 华南大陆沿岸珊瑚礁的特点与分析[J]. 热带地理, 2007, 27(4): 294-299.  
Song C J, Zhao H T, Wang L R. Characteristics of the coral reefs along continental coast of South China [J]. Tropical Geography, 2007, 27(4): 294-299.
- [35] 赵焕庭, 王丽荣, 宋朝景. 徐闻县西部珊瑚礁的分布与保护[J]. 热带地理, 2006, 26(3): 202-206.  
Zhao H T, Wang L R, Song C J. The distribution and protection of the coral reefs in the west of Xuwen county [J]. Tropical Geography, 2006, 26(3): 202-206.
- [36] 廖宝林, 刘丽, 刘楚吾. 徐闻珊瑚礁的研究现状与前景展望[J]. 广东海洋大学学报, 2011, 31(4): 91-96.  
Liao B L, Liu L, Liu C W. Contemporary research of coral reefs at Xuwen and outlook [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2011, 31(4): 91-96.

(责任编辑: 陈小玲)