

涠洲岛园艺式珊瑚苗圃的架设与移植*

The Construction and Transplantation of Coral Gardening Nursery in Weizhou Island

王欣^{1,2,3}, 高霆炜¹, 陈骁^{1,4}, 周浩郎¹, 李银强¹, 苏治南^{1,3}, 梁文¹

WANG Xin^{1,2,3}, GAO Tingwei¹, CHEN Xiao^{1,4}, ZHOU Haolang¹, LI Yinqiang¹, SU Zhinan^{1,3}, LIANG Wen¹

(1. 广西科学院广西红树林研究中心, 广西红树林保护与利用重点实验室, 广西北海 536000; 2. 广西大学海洋学院, 广西南宁 530004; 3. 广西大学林学院, 广西南宁 530004; 4. 华南农业大学海洋学院, 广东广州 510642)

(1. Guangxi Key Lab of Mangrove Conservation and Utilization, Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Beihai, Guangxi, 536000, China; 2. School of Marine Sciences, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 3. Forestry College, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 4. College of Marine Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong, 510642, China)

摘要:【目的】探讨涠洲岛不同底质下最适宜的硬珊瑚苗圃架设方法和最佳移植培育种类。【方法】在涠洲岛周边海域砂质、基岩、珊瑚碎屑和礁石等 4 种不同底质架设固定式(20 个)及悬浮式(112 个)珊瑚苗圃, 移植块状、枝状、叶状等 7 种硬珊瑚断枝, 共 2 436 个; 观测记录苗圃保存情况及珊瑚成活率、珊瑚体积增长率等。【结果】礁石底质海域的苗圃保存程度最高, 为 70%; 其次是珊瑚碎屑海域(北部牛角坑)的苗圃, 为 57%。铁架式苗圃的平均保存率为 63%, 是保存程度最好的苗圃形式。经过一年时间的培育, 风信子鹿角珊瑚 *Acropora hyacinthus* 的成活率为 20%~80%, 体积增加 3.5 倍; 粗野鹿角珊瑚 *Acropora humilis* 成活率为 25%~49%, 体积增加 1.5 倍。其他种类珊瑚生长较慢, 成活率较低。【结论】铁架式苗圃结构稳固、不易受台风等风暴潮的影响, 是涠洲岛最适合的珊瑚苗圃形式。涠洲岛四面环海, 珊瑚苗圃应架设在岛屿北部礁石和珊瑚碎屑基底的海域。风信子鹿角珊瑚在一年时间内体积可以增加 3 倍, 且存活率高, 是涠洲岛珊瑚礁移植最优先考虑的种类。

关键词: 珊瑚移植 珊瑚恢复 珊瑚苗圃 涠洲岛 北部湾

中图分类号: P745 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2017)05-0462-06

Abstract:【Objective】The objective of this study is to find the optimal methods for coral nursery construction and the most suitable transplanted species.【Methods】The coral fragments were transplanted to fixed (20) and floating (112) coral nurseries which were constructed in 4 different seabed (sand, rock, reef and dead coral fragments) in Weizhou Island. About 2 436 coral fragments were transplanted which belonged to 7 hermatypic coral species. Monitoring took

place over 5 seasons and each monitoring survey included the preservation degree of the nursery, coral survival rate, coral volume growth rate.

【Results】The preservation degree of coral nursery at reef area was over 70%, which was the highest, and at dead coral fragments area in Ni-ujiaokeng north of the island was 57%. The coral nursery preservation degree of galvanized metal

收稿日期: 2017-05-31

作者简介: 王欣(1983—), 男, 助理研究员, 主要从事海洋生态学研究, E-mail: matcie@163.com。

* 广西自然科学基金项目(2016GXNSFDA380035), 北部湾涠洲岛硬珊瑚移植与恢复技术研究项目(北科合 201203059)和珊瑚礁生态恢复示范工程项目(XYEZFG2016035)资助。

frame was 63%, which was the best coral nursery. After one year, the survival rate of *Acropora hyacinthus* was between 20%–80%, and the volume increased by 3.5 times. The survival rate of *Acropora humilis* was between 25%–49%, and the volume increased by 1.5 times. The other transplanted species had lower growth and survival rates. **【Conclusion】**The galvanized metal frame nursery had firm structure, less influence of storm tide. The coral nursery should be constructed in the sea area that the seabed was dead coral fragments or reef in the north Weizhou Island. *Acropora hyacinthus* was the best specie transplanted on the nursery, which had high survival rate and volume growth rate.

Key words: coral transplantation, coral restoration, coral nursery, Weizhou Island, Beibu Gulf

0 引言

【研究意义】涠洲岛位于世界珊瑚礁分布的北缘^[1],是广西唯一发育有珊瑚礁的海岛,是珊瑚应对全球海温升高的避难地。近年来,随着岛上石化厂和碳墨厂等的建立,以及旅游人数剧增^[2],工业、生活废水的排放和人为挖采破坏,涠洲岛珊瑚礁生态系统严重退化,出现大面积白化死亡,活珊瑚覆盖度从1991年的69.28%,下降到2010年的16.21%^[3],珊瑚种源急缺。因此,进行珊瑚礁人工恢复的时候将面临无种可移的难题。先进行珊瑚幼体培育再进行移植的园艺式苗圃培育和有性繁殖将是解决涠洲岛珊瑚移植种源稀少最终方法^[4]。**【前人研究进展】**Rinkevich^[5]最早在1995年提出了园艺珊瑚苗圃的概念,之后加勒比海、红海、新加坡、菲律宾、日本等都开展过园艺式珊瑚苗圃的研究^[6]。在国内,陈刚等^[7]、于登攀等^[8]、高永利等^[9]、李元超等^[10]也从1995年开始进行了珊瑚移植实验,但是他们都是直接进行珊瑚断枝的移植,没有进行苗圃培育。关于珊瑚苗圃的研究在国内尚无报道。**【本研究切入点】**为避免珊瑚礁生态系统和资源的持续退化,珊瑚礁人工恢复工作势在必行,需要有足够的种源保障和技术支持。**【拟解决的关键问题】**探讨涠洲岛特殊海洋环境下最适宜的园艺式珊瑚苗圃的构建方法和珊瑚移植种类。

1 材料与方法

1.1 研究地点

不同底质情况下苗圃的架设和固定需要不同的方法,根据涠洲岛海域的基底情况,选取砂质、基岩、珊瑚碎屑和礁石4种底质类型,同时由于涠洲岛不同方向所受季风和潮流的影响也不同,相对应地将实验区域布置在涠洲岛北部、西部、西南部和南部,实验区域位置见图1。牛角坑实验区域距岸1.3 km,珊瑚碎屑基底,水深2.8 m;石螺口实验区距岸87 m,基岩基底,水深2.8 m;滴水实验区域距岸108 m,砂质基底,水深3.5 m;南湾实验区域距岸180 m,礁石基

底,水深2.5 m。

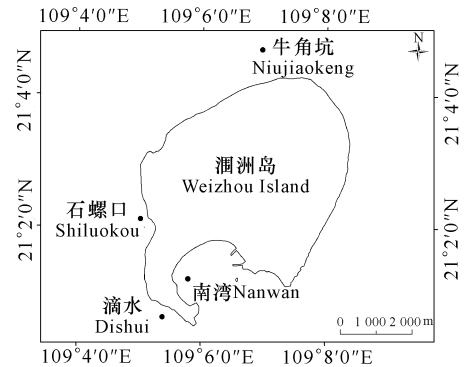


图1 各实验区域的位置

Fig. 1 The location of coral nursery in Weizhou Island

1.2 实验设置

园艺式珊瑚苗圃分固定式和悬浮式两种。固定式苗圃包括PVC管框架苗圃和铁架苗圃(图2),规格为1.5 m×2 m×1.5 m,固定后苗床离海底不小于0.6 m。其中PVC管灌注水泥后通过接头连接形成框架,用船搬运到实验区域投放并固定;铁架苗圃为螺纹钢或镀锌管焊接形成,底端削尖打入基底内,并用铁桩斜拉固定,用无节网覆盖在框架表层形成苗床。悬浮式苗圃包括浮动式苗圃(图3)和浮球吊养式苗圃(图4),浮动式苗圃以PVC管为框架,覆盖无节网形成苗床,用绳在框架上方固定浮球以保持苗床的悬浮,下方锚定在海底,规格为1 m×1 m。浮球吊养式苗圃使用钢缆锚定在铁桩或礁石上,钢缆顶端固

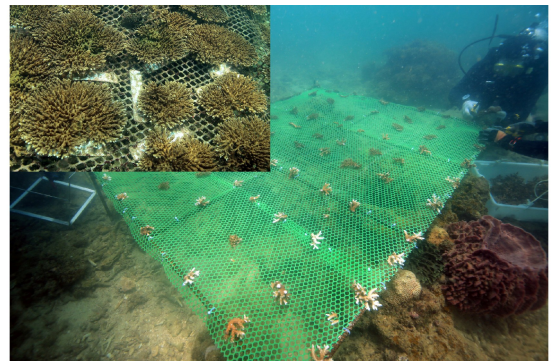


图2 铁架式苗圃(风信子鹿角珊瑚)

Fig. 2 Galvanized metal frame nursery (*Acropora humilis*)

定浮球,离海面距离不小于1 m。每个实验区域放置5个铁架苗圃,8个浮动式苗圃和20个吊养绳。

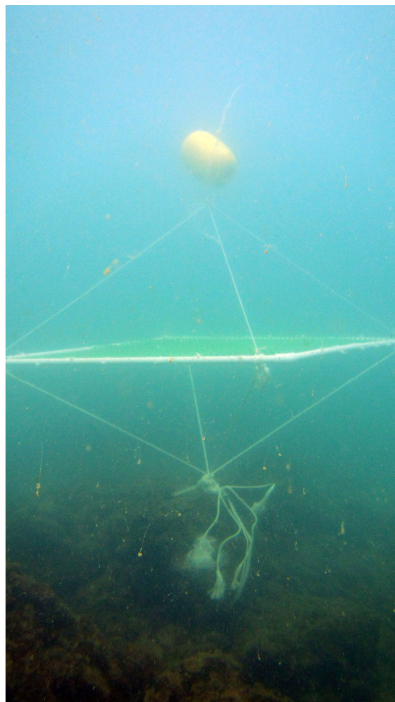


图3 浮动式苗圃
Fig.3 Floating nursery

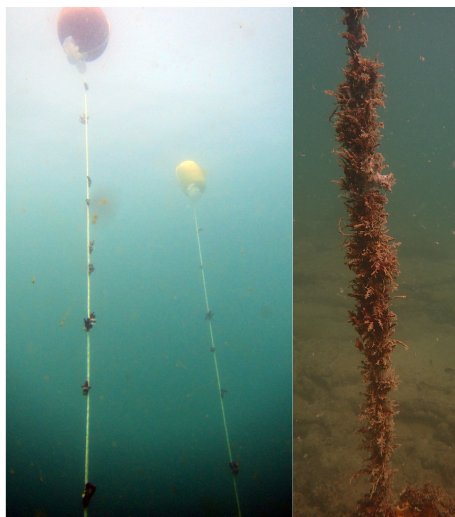


图4 吊养式苗圃(藻类附着)
Fig.4 Rope nursery(covered by algae)

表1 各实验区域苗圃保存程度

Table 1 The preservation degree of the Coral Nursery in different area

项目 Item	牛角坑 Niujiakeng	石螺口 Shiluokou	滴水 Dishui	南湾 Nanwan	平均 Average
基底 Seabed	珊瑚碎屑 Coral fragments	基岩 Rock	砂质 Sand	礁石 Reef	
铁架式苗圃 Galvanized metal frame nursery	80%	30%	50%	90%	63%
浮动式苗圃 Floating nursery	60%	30%	50%	60%	50%
吊养苗绳 Rope nursery	30%	30%	30%	60%	38%
平均 Average	57%	30%	43%	70%	50%

苗圃移植的珊瑚为涠洲岛的优势种类,其中枝状珊瑚包括风信子鹿角珊瑚 *Acropora hyacinthus*、粗野鹿角珊瑚 *Acropora humilis*,块状珊瑚包括橙黄滨珊瑚 *Porites lutea*、秘密角蜂巢珊瑚 *Favites abdita*、遁形陀螺珊瑚 *Turbinaria peltata*、柱状角孔珊瑚 *Goniopora columna*,叶状珊瑚包括十字牡丹珊瑚 *Pavona decussata*。每个种类分别在铁架苗圃上移植45个,浮动式苗圃移植28个,吊养苗绳移植14个,共87个,每个实验区域共移植609个珊瑚断枝。4个实验区域共移植珊瑚断枝2436个。断枝从母体珊瑚的外测向内采集,不破坏母体的固着点,采集量不超过母体的50%。所有移植固定在苗圃上的珊瑚断枝长度不小于5 cm且不大于10 cm,都是用扎带固定,间隔20 cm。

2015年6月移植珊瑚断枝后进行监测,每季度监测一次,至2016年9月,共5个季度。主要监测指标如下:

苗圃保存程度:根据苗圃的损坏程度进行估算,如焊接点脱落、附着污损生物、固定桩或缆绳损坏等,完全损坏并不能附着珊瑚则保存程度为0%。

珊瑚成活率:移植后活珊瑚个体数量占所有本种类移植数量的比例。

珊瑚体积增长率 V_r :将珊瑚个体放入盛满海水的大量筒或量杯,收集排出的海水并测量其体积。

$V_r = (V_b - V_a) / V_a$,其中 V_r 为珊瑚体积增长率, V_a 为珊瑚断枝移植初始体积, V_b 为监测时珊瑚体积。

2 结果与分析

2.1 苗圃保存程度

2015年10月第22号台风“彩虹”经过北部湾,涠洲岛海域受明显影响。台风过后,所有PVC管框架苗圃解体散落在海底各处,保存程度为0%。其他苗圃也有不同程度的损坏,及时进行修复和加固。至2016年9月,各实验区域的苗圃保存情况见表1。

在 4 个实验区域,南湾海域礁石底质的铁架苗圃除附着一些污损生物外无明显损坏,浮动式苗圃的部分浮球出现破损,导致苗床倾斜或沉底,所有苗圃平均保存程度达到 70%。牛角坑珊瑚碎屑底质的海域,铁架和浮动式苗圃的平均保存程度达到了 70%,但是吊养苗绳出现浮球破损和缆绳断裂等情况,保存程度只有 30%。石螺口海域苗圃保存程度最差,只有 30%,几乎所有苗圃都有破坏,出现接口断裂,缆绳脱落等。南湾礁石底质的苗圃保存最好,其次是珊瑚碎屑底质,基岩和砂质底质的苗圃保存程度较差,不适合架设园艺式苗圃。

铁架式苗圃在 4 个海域的平均保存程度达到 63%,最高达 90%,是最适合涠洲岛园艺式苗圃的方式,其次是浮动式苗圃。吊养式苗绳保存程度只有 38%,不适合在涠洲岛海域进行珊瑚断枝的培育。

表 2 移植一年后苗圃内珊瑚成活率(%)

Table 2 The survival rate of corals on the nursery after one year(%)

珊瑚种类 Coral species	牛角坑 Niujiakeng	石螺口 Shiluokou	滴水 Dishui	南湾 Nanwan	平均 Average
粗野鹿角珊瑚 <i>Acropora humilis</i>	75	25	31	63	49
风信子鹿角珊瑚 <i>Acropora hyacinthus</i>	88	30	20	81	55
橙黄滨珊瑚 <i>Porites lutea</i>	13	15	25	38	23
秘密角蜂巢珊瑚 <i>Favites abdita</i>	38	15	13	25	23
遁形陀螺珊瑚 <i>Turbinaria peltata</i>	56	18	20	25	30
柱状角孔珊瑚 <i>Goniopora columna</i>	15	18	20	13	17
十字牡丹珊瑚 <i>Pavona decussata</i>	31	25	20	18	24
平均 Average	45	21	21	38	31

2.3 珊瑚体积增长率

由于珊瑚生长的多维性,单纯的测量个体规格并不能反应珊瑚的生长速率和生物量,同时,不同珊瑚的骨骼密度也不一样^[11],因此,珊瑚体积增长是珊瑚生长状况直接的体现。风信子鹿角珊瑚和粗野鹿角珊瑚的体积分别增长了 3.5 倍和 1.5 倍,具有极高的生长速度,其他珊瑚种类生长速度相对较慢,秘密角蜂巢珊瑚只增长了初始体积的 23%(表 3)。

风信子鹿角珊瑚和粗野鹿角珊瑚具有较高的生长速率,一年时间可达到移植初期的 2~3 倍,是较为理想的珊瑚恢复种类。风信子鹿角珊瑚生长方向为平面横向,1 年后珊瑚之间的空隙已很小,因此,在培育 6~8 个月以后裁剪枝条进行二代移植。粗野鹿角

2.2 珊瑚成活率

在移植的 7 种珊瑚中,风信子鹿角珊瑚的成活率最高,在牛角坑和南湾都超过 80%,其次是粗野鹿角珊瑚,平均成活率 49%。块状和叶状珊瑚的成活率普遍较低,不足 50%(表 2)。2016 年 7 月,涠洲岛海水温度突然升高,7 月平均水温(水深 3.5 m 处)从 2015 年的 29.9℃增加到 2016 年的 31.23℃,并出现 33.12℃的极端高温(HOBO 光温记录器),移植的粗野鹿角珊瑚全部出现白化,但是 8 月份后水温回落,白化的粗野鹿角珊瑚大部分恢复正常,可能是因为超过 32℃的高温期持续时间不长,只有 32 h,未对珊瑚造成不可逆的损害。风信子鹿角珊瑚未出现白化现象。因此,风信子鹿角珊瑚具有较高的成活率和高温耐受性,是涠洲岛珊瑚礁人工移植恢复和修复的首选种类。

珊瑚生长方向多为纵向,可培育 1 年后开始移植。

3 讨论

3.1 园艺式珊瑚苗圃架设的选址

不同底质和位置对苗圃的保存有重要影响。涠洲岛远离大陆,四面环海,主要受冬季北风和夏、秋季西南季风的影响^[12],石螺口和滴水位于涠洲岛的西部和西南部,是西南浪的直接影响区域,波浪大,能见度低,因此各种苗圃在这两个海域的保存情况都较差,珊瑚成活率低,不适合作为珊瑚苗圃的架设区域。南湾位于涠洲岛南部,受北风和西南风的影响较小,全年海况好,但是湾内大量养殖扇贝和岸边生活污水直排,水质较差^[13],2016 年 3 月在苗圃上开始爆发宽

角叉珊藻 *Jania adhaerens*, 4 月达到最多,其覆盖度最高达到 30%,至 5 月宽角叉珊藻陆续消失,对珊瑚的生长存在潜在的威胁。其他海域未发现该藻的爆发。

表 3 移植一年后苗圃内珊瑚体积增长率

Table 3 The volume growth rate of the corals on Nursery after one year

珊瑚种类 Coral species	牛角坑 Niujiakong	石螺口 Shiluokou	滴水 Dishui	南湾 Nanwan	平均 Average
粗野鹿角珊瑚 <i>Acropora humilis</i>	1.8±0.48	1.5±0.78	1.3±0.28	1.5±0.52	1.525±0.515
风信子鹿角珊瑚 <i>Acropora hyacinthus</i>	3.8±0.15	3.6±0.45	3.2±0.54	3.4±0.38	3.5±0.38
橙黄滨珊瑚 <i>Porites lutea</i>	0.42±0.12	0.48±0.14	0.41±0.056	0.5±0.091	0.46±0.095
秘密角蜂巢珊瑚 <i>Favites abdita</i>	0.20±0.06	0.25±0.056	0.18±0.084	0.26±0.05	0.23±0.063
遁形陀螺珊瑚 <i>Turbinaria peltata</i>	0.86±0.18	0.78±0.1	0.82±0.085	0.84±0.078	0.81±0.087
柱状角孔珊瑚 <i>Goniopora columna</i>	0.82±0.14	0.8±0.056	0.74±0.08	0.72±0.1	0.753±0.078
十字牡丹珊瑚 <i>Pavona decussata</i>	0.46±0.10	0.48±0.048	0.41±0.05	0.5±0.03	0.46±0.042

砂质底质上苗圃的固定需要在海底打桩,费时费力,受风浪影响,细砂的再悬浮也会影响苗圃上珊瑚的生长。涠洲岛为火山岛,基岩底质为火山碎屑岩^[14],难以固定苗圃。具有空隙的珊瑚礁分布区域是理想的苗圃架设地,礁石的缝隙可以固定铁桩,起伏的地形也可以抵消风浪,降低对苗圃的影响。

3.2 固定式苗圃和悬浮式苗圃

固定式苗圃和悬浮式苗圃在国外都有过尝试,各有利弊。固定式苗圃结构坚固,不易被风浪破坏,所有珊瑚都有相同的光照条件,缺点是不能离海底太近,易受海底沉积物再悬浮和珊瑚敌害生物的影响,需要及时清理。悬浮式苗圃离海面近,光照条件好,水流的冲刷使苗圃不易附着沉积物,可以放置在开放海域,不受珊瑚敌害生物的影响,且高度可以调节,但是悬浮式苗圃的锚定需要平衡浮球浮力和不断生长珊瑚的重力,造价更高,容易受风暴潮的影响,水流的冲刷也容易附着叉珊藻等污损生物,进而影响珊瑚的生长。

3.3 珊瑚移植种类的选择

珊瑚苗圃移植的种类应以本地种为主,历史上出现过的种类或其他珊瑚礁分布区移植过来的种类也可以在苗圃上进行适应性培育,再进行二代的人工移植,这样可以显著提高移植的成活率和基因多样性。在涠洲岛的主要优势种类中,鹿角珊瑚由 2002 年的优势种^[15],退化到 2010 年的稀缺种,如不采取措施,鹿角珊瑚在未来几年内将会在涠洲岛消失。涠洲岛珊瑚礁不能自然恢复的主要原因之一是覆盖在海底

发。北部牛角坑海域受西南季风影响弱,冬季北风的影响程度较小,因此珊瑚苗圃的保存程度较好,珊瑚成活率高,是理想的珊瑚苗圃选址地。

的珊瑚碎屑和碎石的影响,特别是死亡的鹿角珊瑚碎屑,2012 年涠洲岛公山海域死亡珊瑚碎屑的覆盖度高达 80%^[16]。珊瑚碎屑和碎石随风浪不断摩擦、滚动,影响了珊瑚受精卵的自然附着和发育,使珊瑚无法实现自我增殖。现存的鹿角珊瑚已经适应涠洲岛当前的海洋环境条件,只要给予稳定的附着基质和环境,就能实现珊瑚的快速恢复。鹿角珊瑚成活率高,生长速度快,可以快速构建珊瑚礁三维结构,为礁栖生物提供生境,是理想的人工恢复目标种类。风信子鹿角珊瑚枝条细长、脆弱、平面横向生长,粗野鹿角珊瑚枝条粗壮、立体纵向生长。单一的种群结构容易受病害、虫害、极端天气等的影响而崩溃,因此在进行珊瑚礁人工恢复时应注意不同珊瑚种类的搭配,以风信子鹿角珊瑚和粗野鹿角珊瑚为珊瑚礁主体,搭配遁形陀螺珊瑚、十字牡丹珊瑚等其他种类。

4 结论

涠洲岛园艺式珊瑚苗圃在移植时能最大程度减少对母体珊瑚的影响,可以短时间内提供大量的移植个体。铁架式苗圃结构稳固、不易受台风等风暴潮的影响,是涠洲岛最适合的珊瑚苗圃形式。涠洲岛四面环海,珊瑚苗圃应架设在岛屿北部礁石和珊瑚碎屑基底的海域。风信子鹿角珊瑚在一年时间内体积可以增加 3 倍,且存活率高,高温耐受性强,是涠洲岛珊瑚礁移植最优先考虑的种类,粗野鹿角珊瑚枝条粗壮,立体纵向生长,可与风信子鹿角珊瑚搭配移植。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 周浩郎,黎广钊. 涠洲岛珊瑚礁健康评估[J]. 广西科学院学报, 2014, 30(4):238-247.
ZHOU H L,LI G Z. Assessment on the health of coral reefs at Weizhou Island[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2014, 30(4):238-247.
- [3] 王文欢,余克服,王英辉. 北部湾涠洲岛珊瑚礁的研究历史、现状与特色[J]. 热带地理, 2016, 36(1):72-79.
WANG W H, YU K F, WANG Y H. A review on the research of coral reefs in the Weizhou Island, Beibu Gulf [J]. Tropical Geography, 2016, 36(1):72-79.
- [4] 李元超,黄晖,董志军,等. 珊瑚礁生态修复研究进展[J]. 生态学报, 2008, 28(10):5047-5054.
LI Y C, HUANG H, DONG Z J, et al. Headway of study on coral reefs ecological restoration[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10):5047-5054.
- [5] RINKEVICH B. Restoration strategies for coral reefs damaged by recreational activities: The use of sexual and asexual recruits[J]. Restoration Ecology, 1995, 3(4):241-251.
- [6] 覃祯俊,余克服,王英辉. 珊瑚礁生态修复的理论与实践[J]. 热带地理, 2016, 36(1):80-86.
QIN Z J, YU K F, WANG Y H. Review on ecological restoration theories and practices of coral reefs [J]. Tropical Geography, 2016, 36(1):80-86.
- [7] 陈刚,熊仕林,谢菊娘,等. 三亚水域造礁石珊瑚移植试验研究[J]. 热带海洋, 1995, 14(3):51-57.
CHEN G, XIONG S L, XIE J N, et al. A study on the transplantation of reef-building corals in Sanya waters, Hainan Province[J]. Tropic Oceanology, 1995, 14(3):51-57.
- [8] 于登攀,邹仁林,黄晖. 三亚鹿回头岸礁造礁石珊瑚移植的初步研究[C]//生物多样性与人类未来——第二届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 北京:中国科学院生物多样性委员会, 1996.
YU D P, ZOU R L, HUANG H. A preliminary study on hermatypic coral transplantation on Luhuitou fringing reef, SANYA[C]// Biological Diversity and the Future of Human Beings- Proceedings of the Second National Symposium on the Conservation and Sustainable Use of Biological Diversity. Beijing: Biodiversity Committee, Chinese Academy of Sciences, 1996.
- [9] 高永利,黄晖,练健生,等. 大亚湾造礁石珊瑚移植迁入地的选择及移植存活率监测[J]. 应用海洋学报, 2013, 32(2):243-249.
GAO Y L, HUANG H, LIAN J S, et al. Recipient site selection and hermatypic corals' survival rate in Daya Bay, China[J]. Journal of Applied Oceanography, 2013, 32(2):243-249.
- [10] 李元超,兰建新,郑新庆,等. 西沙赵述岛海域珊瑚礁生态修复效果的初步评估[J]. 应用海洋学报, 2014, 33(3):348-353.
LI Y C, LAN J X, ZHENG X Q, et al. Preliminary assessment of the coral reef restoration in areas of Zhaoshu Island, Xiasha Islands[J]. Journal of Applied Oceanography, 2014, 33(3):348-353.
- [11] 施祺,赵美霞,张乔民,等. 海南三亚鹿回头造礁石珊瑚碳酸盐生产力的估算[J]. 科学通报, 2009, 54(10):1471-1479.
SHI Q, ZHAO M X, ZHANG Q M, et al. Estimate of carbonate production by scleractinian corals at Luhuitou fringing reef, Sanya, China[J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(10):1471-1479.
- [12] 王欣,黎广钊. 北部湾涠洲岛珊瑚礁的研究现状及展望[J]. 广西科学院学报, 2009, 25(1):72-75, 80.
WANG X, LI G Z. The status and prospect of researches on coral reef in Weizhou Island [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2009, 25(1):72-75, 80.
- [13] 何本茂,黎广钊,韦蔓新,等. 涠洲岛珊瑚礁海域氮磷比值季节变化与浮游生物结构的关系[J]. 热带海洋学报, 2013, 32(4):64-72.
HE B M, LI G Z, WEI M X, et al. Relationship between the seasonality of seawater N:P ratio and the structure of plankton on the reefs of Weizhou Island, northern South China Sea[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2013, 32(4):64-72.
- [14] 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 Gulf[J]. Marine Sciences, 1988(6):13-17.
- [15] 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):5-7, 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):5-7, 16.
- [16] 陈刚,赵美霞,刘斌,等. 基于 Reef Check 调查的涠洲岛珊瑚礁生态状况评价[J]. 热带地理, 2016, 36(1):66-71.
CHEN G, ZHAO M X, LIU B, et al. Ecological situation of coral reefs in the Weizhou Island based on Reef Check[J]. Tropical Geography, 2016, 36(1):66-71.

(责任编辑:陆雁)