

西沙赵述岛海域珊瑚礁鱼类物种多样性

杨位迪¹, 胡俊彤¹, 林柏岸¹, 黄海², 刘敏^{1*}

(1. 厦门大学海洋与地球学院, 福建 厦门 361102; 2. 海南热带海洋学院 水产与生态学院, 海南省热带海洋渔业资源保护与利用重点实验室, 海南 三亚 572022)

摘要: 2017 年 4 月采用水下录像方式对西沙赵述岛潟湖内外珊瑚礁鱼类种类组成、密度和种类相似度以及造礁珊瑚覆盖率进行评估。共鉴定珊瑚礁鱼类 58 种, 隶属于 1 纲 3 目 18 科 37 属, 其中鲈形目占绝对优势, 共 55 种, 占总种类数的 94.83%。潟湖内外的珊瑚礁鱼类平均密度存在显著差异, 且潟湖内(1.712 3±0.273 2 尾/m²)高于潟湖外(0.655 1±0.029 3 尾/m²)。胸斑眶锯雀鲷(*Stegastes fasciolatus*)、三斑海猪鱼(*Halichoeres trimaculatus*)、宅泥鱼(*Dascyllus aruanus*)和栉齿刺尾鱼(*Ctenochaetus striatus*)为西沙赵述岛的主要鱼类, 前 3 种主要分布在潟湖内, 而栉齿刺尾鱼主要分布在潟湖外。潟湖内外珊瑚礁鱼类的种类相似性系数为 0.29, 属于中等不相似。潟湖内外的造礁珊瑚覆盖率分别为(7.98±9.91)%和(12.35±6.21)%, 不存在显著差异。调查区内珊瑚礁鱼类以小型种类为主, 珊瑚礁鱼类中食用价值高的石斑鱼科和鹦嘴鱼科的鱼类密度均不高, 这可能与日渐退化的珊瑚礁生态功能和日益增加的人类活动相关。

关键词: 珊瑚礁鱼类; 物种多样性; 鱼类密度; 造礁珊瑚覆盖率; 西沙群岛

中图分类号: P 735

文献标志码: A

文章编号: 0438-0479(2018)06-0819-08

珊瑚礁鱼类是珊瑚礁生态系统中最重要的一个类群, 与人类的民生、食品安全紧密相关。目前全球约 7 000 种珊瑚礁鱼类, 而种类最为丰富的是印度洋-太平洋区域, 约有 4 000~5 000 种^[1-2]。

我国的珊瑚礁面积不到全球面积的 1%^[3], 主要集中在南海。我国对南海的珊瑚礁鱼类物种多样性研究始于 20 世纪 50 年代, 主要采用延绳钓、底层刺网、手钓等传统渔具进行调查。《南海鱼类志》^[4] 记载了 1954—1959 年在广东沿海、海南岛海域及西沙群岛海域采集的 860 种鱼类, 隶属于 26 目 164 科 434 属。《南海诸岛海域鱼类志》^[5] 整理了 1949—1978 年在西沙群岛、南沙群岛、中沙群岛等海域采集的鱼类 521 种, 隶属于 18 目 89 科 235 属。《南沙群岛至华南沿岸的鱼类(一)》^[6] 和《南沙群岛至华南沿岸的鱼类(二)》^[7] 共记录南海鱼类 800 种。李永振等^[8] 2011 年通过对南海珊瑚礁鱼类历史资料进行梳理, 认为西沙、南沙、中沙群岛目前报道的种类在数量上是有所低估的。

近年来, 通过水下摄影研究珊瑚礁鱼类物种多样

性的方法也在不断普及。我国台湾地区学者通过对南海东沙岛和太平岛的历史资料整理和多年的潜水调查, 共统计出珊瑚礁鱼类 759 种^[9-10]。《中国南海西南中沙群岛珊瑚礁鱼类图谱》^[11] 中通过多年水下生态摄影, 记录了南海西沙群岛、南沙群岛和中沙群岛的珊瑚礁鱼类 408 种, 隶属于 12 目 54 科 160 属。

西沙群岛位于我国南海西北部, 有 8 座环礁、1 座台礁和 1 座暗礁, 此外, 还有环礁和台礁上发育的 28 座灰沙岛^[12]。西沙群岛由于靠近大陆, 交通相对便利, 渔民居住相对集中, 因此对该海域的珊瑚礁鱼类和其他海洋生物的研究和开发利用也最多。20 世纪 50 年代, 在西沙群岛共采集并鉴定鱼类 119 种, 隶属于 41 科 70 属^[13]。近年来通过长期监测, 在西沙群岛永兴岛和七连屿浅水礁区共记录珊瑚礁鱼类 131 种, 珊瑚礁鱼类资源密度呈现明显下降趋势, 并以个体较小、游泳能力较强的鱼类占优势^[14]。因此, 有必要对西沙群岛的珊瑚礁鱼类资源进行长期跟踪监测。

2017 年 4 月本研究通过对西沙赵述岛海域进行

收稿日期: 2018-07-01 录用日期: 2018-08-28

基金项目: 海南省重大科研项目(ZDKJ2016013); 农业农村部渔业渔政管理局项目(171821301354051007); 国家海洋局项目(220203993022761133)

* 通信作者: minliuxm@xmu.edu.cn

引文格式: 杨位迪, 胡俊彤, 林柏岸, 等. 西沙赵述岛海域珊瑚礁鱼类物种多样性[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2018, 57(6): 819-826.

Citation: YANG W D, HU J T, LIN B A, et al. Species diversity of coral reef fishes in Zhaoshu Island waters, Xisha Islands[J]. J Xiamen Univ Nat Sci, 2018, 57(6): 819-826. (in Chinese)



<http://jxmu.xmu.edu.cn>

水下录像,评估了潟湖内外珊瑚礁鱼类种类组成、生物多样性、密度和种类相似度以及造礁珊瑚覆盖率,旨在结合潟湖内外珊瑚礁鱼类的种类组成特点和珊瑚礁健康状况,探讨赵述岛海域珊瑚礁鱼类资源现状,并弥补赵述岛潟湖内相关数据的不足.

1 材料与方法

1.1 调查方法

2017 年 4 月在西沙赵述岛潟湖内(A1、A2、A3,水深 2~5 m)和潟湖外(B1、B2、B3,水深 9~12 m)各布设 3 条样线(图 1).由于礁盘大小不等,每条样线长 60~80 m,每条样线调查面积(即样线两侧各 1 m 宽形成的样带面积)为 120~160 m².样线布设完毕 15 min 后再下水,研究人员手持索尼运动录像机(Sony Action Camera IV),从样线的一端游向另一端,录像记录样线调查面积内的珊瑚礁鱼类,游速控制在 2.5~5 m/min,用于后续鱼类种类鉴定和尾数计算.完成珊瑚礁鱼类记录后,再次沿样线从一端游向另一端,录像记录样线上每 10 cm 点正下方的底质情况,用于后续的造礁珊瑚覆盖率计算.

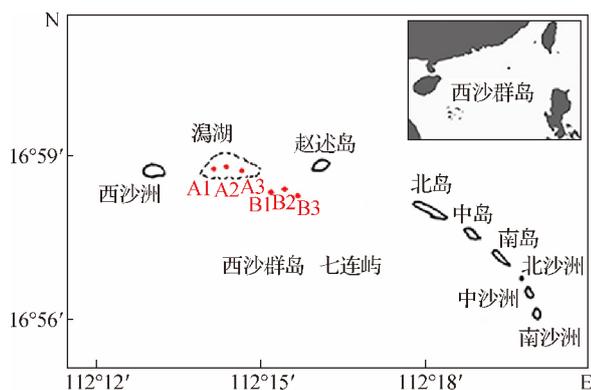


图 1 西沙赵述岛水下录像调查海域
Fig. 1 Underwater video survey areas in
Zhao Shu Island, Xisha Islands

1.2 数据处理

所有录像数据带回实验室,在电脑上进行影像重复慢速播放.从鱼类录像中截取鱼类出现的画面,并将每个画面中在样线调查面积内出现的鱼类全部标出,然后进行鱼类鉴定和尾数统计.鱼类分类系统依据《Fishes of the world》^[15],鉴定主要参考《东沙鱼类生态图鉴》^[9]、《中国南海西南中沙群岛珊瑚礁鱼类图谱》^[11]、《Groups of the world: a field and market guide》^[16]、台湾鱼类资料库^[17]及世界鱼类资料

<http://jxmu.xmu.edu.cn>

库^[18]等.

从样线点录像中记录样线底质类型,包括造礁珊瑚、软珊瑚、海藻、海草、死亡珊瑚骨骼、沙质底等.本研究中造礁珊瑚未进行种类鉴定.

1.3 数据计算公式

1.3.1 鱼类密度

鱼类密度(D)反映调查样带的单位面积内鱼类尾数(尾/m²):

$$D = N / (2LW).$$

式中: N 为样线上珊瑚礁鱼类总尾数; L 为样线总长度(m); W 为样线单侧宽度(m),本研究设定为 1 m.

1.3.2 不同分类阶元的物种多样性指数

通过分析不同分类阶元的物种多样性,掌握赵述岛潟湖内外珊瑚礁鱼类的物种多样性特点^[19].

$$\text{科的鱼类多样性指数}(D_F) = \sum_{k=1}^m D_{Fk},$$

$$D_{Fk} = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i,$$

式中, p_i 是 k 科 i 属中的鱼类种类数占 k 科鱼类种类总数的比值, n 为 k 科中的属数, m 为鉴定鱼类的科数, D_{Fk} 为 k 科的鱼类多样性指数.

$$\text{属的鱼类多样性指数}(D_G) = - \sum_{j=1}^p q_j \ln q_j,$$

式中, q_j 是鱼类 j 属中的种类数占纲的鱼类总种类数的比值, p 为纲的鱼类属数.

$$\text{标准化的 G-F 指数}(D_{G-F}) = 1 - D_G / D_F.$$

如果所调查鱼类所有的科都是单种科,即 $D_F = 0$ 时,则规定该区域的 $D_{G-F} = 0$;鱼类的非单种科越多, D_{G-F} 就越高, $D_G \leq D_F$,所以 D_{G-F} 范围一般是 $0 \leq D_{G-F} \leq 1$ ^[20].

1.3.3 相对丰富度

相对丰富度(R)用来衡量鱼类在不同阶元的丰富程度^[21]:

$$R = S_i / S \times 100,$$

式中, S_i 为第 i 属(科、目)鱼类种类数目, S 为该海域记录的相应鱼类属(科、目)的数目.

1.3.4 相似性系数

相似性系数可以用来表征物种组成的相似程度^[14,22].Sorensen 群落相似性系数(C)表示鱼类分类阶元的相似性,而 Jaccard's 种类相似性系数(I)表示鱼类物种的相似性.

$$C = 2S_{xy} / (S_x + S_y).$$

式中: S_x 和 S_y 分别为不同调查样线记录的鱼类目(科、属、种)的数目; S_{xy} 为两条样线共有鱼类目(科、属、种)

的数目; C 表示两条样线鱼类组成相似程度的大小,最大值为1,代表全部相同,最小值为0,代表完全不同。

$$I=c/(a+b-c).$$

式中: a 为在 X 水域的种类数, b 为在 Y 水域的种类数, c 为 X 水域和 Y 水域的共有种类数.本研究用此来表示两条样线之间鱼类种类的相似性,并计算潟湖内外鱼类种类的相似性.其中, $0 \leq I < 0.25$ 为极不相似, $0.25 \leq I < 0.50$ 为中等不相似, $0.50 \leq I < 0.75$ 为中等相似, $0.75 \leq I < 1.00$ 为极相似。

1.3.5 造礁珊瑚覆盖率

记录每条样线的造礁珊瑚点数,然后统计造礁珊瑚覆盖率。

$$\text{造礁珊瑚覆盖率} = n/M \times 100\%,$$

式中, n 为每条样线上的造礁珊瑚点数, M 为每条样线的总点数。

1.4 数据分析

利用方差未知且不等的 t 检验法^[23],对潟湖内外的鱼类密度、不同分类阶元的物种多样性指数、造礁珊瑚覆盖率进行比较, $p < 0.05$ 时表示潟湖内外存在显著差异。

2 结果与分析

2.1 珊瑚礁鱼类物种多样性和组成特点

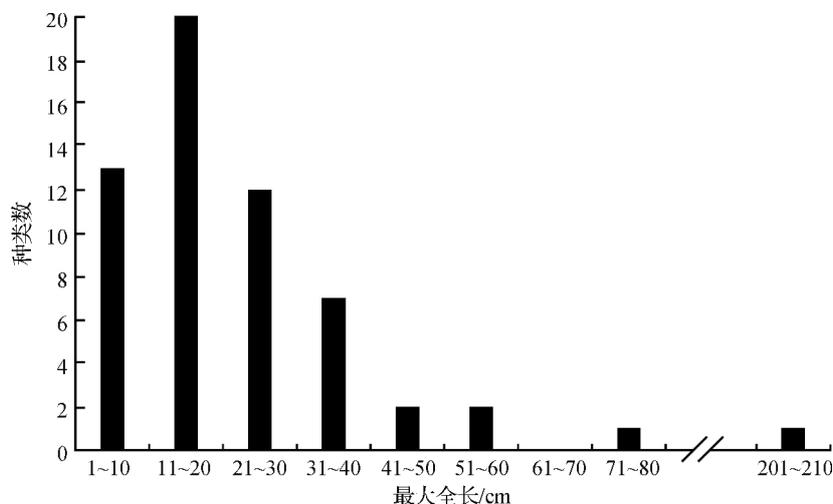
本研究采用录像截图对样线上出现的鱼类进行

物种鉴定,潟湖内外6条样线水下录像中共鉴定珊瑚礁鱼类58种,隶属于1纲(辐鳍鱼纲)3目18科37属;其中鲈形目占绝对优势,有16科34属55种(附录表S1, <http://jxmu.xmu.edu.cn/upload/html/20180609.html>)。鲈形目的雀鲷科种类最多,共16种;其次是隆头鱼科(9种)和蝴蝶鱼科(7种)。这3个科具有较高的观赏价值,其中蝴蝶鱼科还被认为是珊瑚礁生态系统健康的重要指示种^[24-25]。

潟湖内3条样线(A1、A2、A3)共记录鱼类41种,潟湖外3条样线(B1、B2、B3)共记录鱼类34种(附录表S1)。潟湖内外的种类存在差异:仅在潟湖内出现的种类有24种,仅在潟湖外出现的种类有17种,在潟湖内外均出现的种类有17种(占全部鱼类的29.31%)。不同样线出现的鱼类种类差异也较大,仅在一条样线上出现的有25种,占全部鱼类的43.10%;没有一种鱼类在6条样线上都出现;出现频率最高的是圆拟鲈,在5条样线上出现。

从潟湖内外58种鱼类的最大全长看,以小型鱼类(最大全长为20 cm及以下,33种,占全部鱼类的56.90%)为主(图2),主要隶属于雀鲷科、天竺鲷科、蝴蝶鱼科、隆头鱼科等;最大体长达200 cm以上的为鳞烟管鱼。而食用价值较高的如石斑鱼科和鹦嘴鱼科,种类都很少(附录表S1)。

从部分代表种的图像可见录像截图中能较好地采集到鱼类鉴定所需的形态信息(图3)。



数据来源:台湾地区鱼类资料库^[17]、世界鱼类资料库^[18]。

图2 西沙赵述岛潟湖内外58种珊瑚礁鱼类的记录最大全长分布图

Fig. 2 Maximum total length classes of 58 coral reef fishes inside and outside the lagoon of Zhaoshu Island, Xisha Islands

<http://jxmu.xmu.edu.cn>

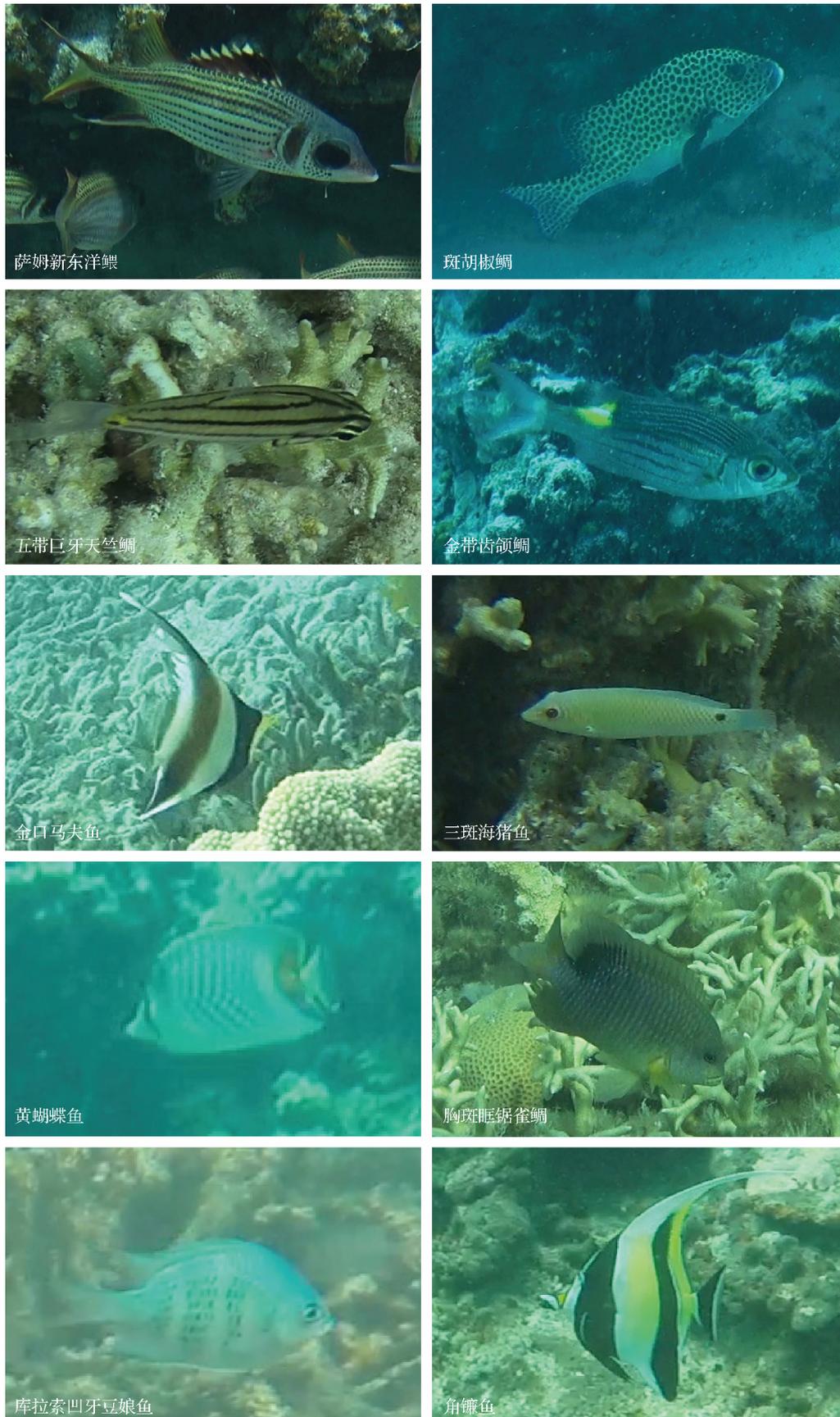


图 3 珊瑚礁鱼类的水下录像截图

Fig. 3 Photos of coral reef fishes extracted from underwater video records

<http://jxmu.xmu.edu.cn>

2.2 珊瑚礁鱼类密度

潟湖内 3 条样线共记录到鱼类 734 尾,潟湖外 3 条样线共记录到鱼类 275 尾. 潟湖内外的鱼类密度存在显著差异 ($p < 0.05$), 潟湖内鱼类密度 ($1.712 3 \pm 0.273 2$ 尾/ m^2) 高于潟湖外 ($0.655 1 \pm 0.029 3$ 尾/ m^2). 潟湖内 3 条样线密度前 3 位的鱼类有 7 种, 其中三斑海猪

鱼的密度最高(A1 样线, $0.600 0$ 尾/ m^2), 而胸斑眶锯雀鲷在 2 条样线中均占据第 1 位(A2 样线, $0.358 2$ 尾/ m^2 ; A3 样线, $0.342 1$ 尾/ m^2); 潟湖外 3 条样线密度前 3 位的鱼类也有 7 种, 其中栉齿刺尾鱼在 3 条样线中均为密度最高的种类, 在 B3 样线中密度达到 $0.308 3$ 尾/ m^2 (表 1).

表 1 西沙赵述岛潟湖内外密度前 3 位的珊瑚礁鱼类

Tab. 1 Fish density of the top three coral reef fishes inside and outside the lagoon of Zhaoshu Island, Xisha Islands

样线	第 1 位种类	密度/(尾· m^{-2})	第 2 位种类	密度/(尾· m^{-2})	第 3 位种类	密度/(尾· m^{-2})
A1	三斑海猪鱼	0.600 0	宅泥鱼	0.257 1	双斑金翅雀鲷	0.250 0
A2	胸斑眶锯雀鲷	0.358 2	萨姆新东洋鳗	0.262 0	蓝绿光鳃鱼	0.231 3
A3	胸斑眶锯雀鲷	0.342 1	宅泥鱼	0.151 3	眼斑椒雀鲷	0.105 3
B1	栉齿刺尾鱼	0.164 3	眼斑椒雀鲷	0.035 7	王子雀鲷	0.035 7
B2	栉齿刺尾鱼	0.250 0	霓虹雀鲷	0.093 8	班卡雀鲷	0.075 0
B3	栉齿刺尾鱼	0.308 3	灰鹦嘴鱼	0.108 3	菲律宾雀鲷	0.091 7

2.3 珊瑚礁鱼类不同分类阶元的物种多样性指数

潟湖内外鱼类在各样线的 D_F 、 D_G 和 D_{G-F} 如表 2 所示. 潟湖内珊瑚礁鱼类的 D_F 为 $3.792 4 \pm 1.064 8$; 潟湖外珊瑚礁鱼类的 D_F 低于潟湖内, 为 $1.922 8 \pm 0.874 3$. 潟湖内珊瑚礁鱼类的 D_G 为 $2.597 2 \pm 0.374 5$; 潟湖外珊瑚礁鱼类的 D_G 与潟湖内相近, 为 $2.520 3 \pm 0.136 5$. 潟湖内珊瑚礁鱼类的 D_{G-F} 为 $0.290 5 \pm 0.096 0$; 潟湖外珊瑚礁鱼类的 D_{G-F} 为 $0.059 5 \pm 0.042 9$. 潟湖内外鱼类不同分类阶元的物种多样性指数均无显著差异 ($p > 0.05$). D_F 和 D_G 的结果与 2005—2013 年赵述岛海域的平均 D_F (2.64) 和 D_G (2.49) 基本一致^[14], 但潟湖外 D_{G-F} 较潟湖内低很多. 造成低 D_{G-F} 的原因是存在着较多的单种属科.

表 2 西沙赵述岛潟湖内外珊瑚礁鱼类不同分类阶元的物种多样性指数

Tab. 2 Taxonomic diversity indices of coral reef fishes inside and outside the lagoon of Zhaoshu Island, Xisha Islands

样线	D_F	D_G	D_{G-F}
A1	2.939 1	2.162 1	0.264 4
A2	5.293 6	3.076 2	0.418 9
A3	3.144 6	2.553 2	0.188 1
B1	2.426 0	2.685 9	0.107 1
B2	2.649 2	2.523 2	0.047 5
B3	0.693 1	2.351 7	0.023 9

2.4 珊瑚礁鱼类相对丰富度

在所鉴定珊瑚礁鱼类的 3 个目中, 鲈形目的 R 最高, 达 1 833.3, 占绝对优势; 其次是金眼鲷目 (66.7), 刺鱼目 (33.4) 最低. 从科级水平来看, R 最高的是雀鲷科 (88.9), 其次是隆头鱼科 (50.0), 再次是蝴蝶鱼科 (38.9); 其余各科的 R 则在 5.6~22.2 之间, 即科内物种数在 1~4 种之间. 从属级水平来看, 蝴蝶鱼属有 6 种, R 最高, 达 16.2; 其次是雀鲷属, 有 5 种, R 为 13.5; 另有副鲱鲤属、盘雀鲷属和高鳍刺尾鱼属的 R 均为 8.1, 有 3 种; 其余各属则只含 1 种或 2 种, R 很低.

2.5 珊瑚礁鱼类物种相似性系数

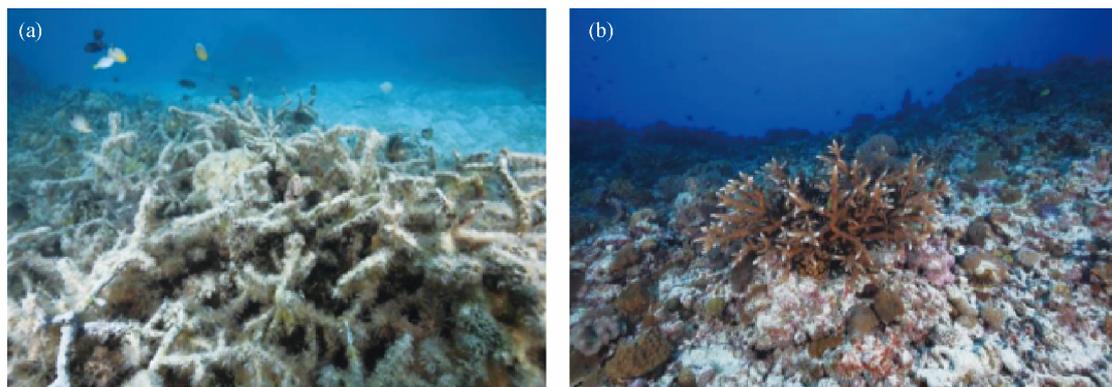
潟湖内外鱼类科级和属级的 C 分别为 0.69 和 0.68, 表明潟湖内外鱼类科级和属级组成的相似度居于中等略偏上水平; 而种级的 C 为 0.45, 表明潟湖内外鱼类种类组成的相似度居于中等偏下水平. 潟湖内外鱼类 I 为 0.29, 属于中等不相似. 上述分析结果说明潟湖内外的鱼类种类交流属于中等水平.

2.6 造礁珊瑚覆盖率

潟湖内 3 条样线的造礁珊瑚覆盖率分别为 5.83% (A1)、1.20% (A2) 和 15.78% (A3). 潟湖外 3 条样线的造礁珊瑚覆盖率分别为 13.89% (B1)、8.44% (B2) 和 15.92% (B3). 潟湖内外的造礁珊瑚覆盖率分别为 $(7.98 \pm 9.91)\%$ 和 $(12.35 \pm 6.21)\%$, 不存在显著差异 ($p > 0.05$). 潟湖内造礁珊瑚呈现明显的块状分布, 板

块之间为大面积的沙底质,时有海草生长. 潟湖内存在相当一部分的成片死亡造礁珊瑚骨骼,已被藻类完

全侵蚀;而潟湖外,珊瑚健康状况良好,未发现死亡珊瑚的现象(图 4).



(a) 潟湖内死亡的鹿角珊瑚骨骼; (b) 潟湖外健康的珊瑚.

图 4 西沙赵述岛潟湖内外底质现状

Fig. 4 Habitats inside and outside the lagoon of Zhaoshu Island, Xisha Islands

3 讨论

3.1 赵述岛海域珊瑚礁鱼类资源现状

赵述岛海域重要的鱼类类群有雀鲷科、隆头鱼科和蝴蝶鱼科,种类共占有鉴定鱼类的 55.17%,这与成庆泰等^[13]、李元超等^[14]的结果基本相似. 在 2005—2013 年针对永兴岛和七连屿海域的长期调查所鉴定的 131 种鱼类中,雀鲷科 26 种(占 19.85%)、隆头鱼科 25 种(占 19.08%)、鹦嘴鱼科 17 种(占 12.98%)和蝴蝶鱼科 14 种(占 10.69%),4 科共占有鉴定鱼类的 62.60%^[14]. 雀鲷科、蝴蝶鱼科和隆头鱼科的很多种类均属于个体较小、活动能力较强的珊瑚礁鱼类,具有一定的观赏价值,而食用价值较高的石斑鱼科和鹦嘴鱼科的种类则较少. 本研究发现赵述岛潟湖内外的鱼类密度存在显著差异($p < 0.05$),潟湖内(1.71 尾/ m^2)高于潟湖外(0.66 尾/ m^2). 与同海域 2005—2013 年的监测数据比较,鱼类密度呈现持续下降的趋势,从 2005 年 2.85 尾/ m^2 到 2013 年 1.43 尾/ m^2 ^[14],再到 2017 年潟湖内外平均 1.18 尾/ m^2 (本研究). 由此可见,西沙群岛的珊瑚礁鱼类资源现状不容乐观. 类似的水下监测需要长期进行才能做到客观地评估该海域的珊瑚礁鱼类资源变化.

3.2 赵述岛海域珊瑚礁退化对鱼类物种多样性的影响

珊瑚礁生态系统以其生物多样性高而著称,具有丰富的生物物种和复杂的种间关系,不同区域还常伴

有地方种的存在. 珊瑚礁的健康对依赖其生存的物种有直接影响.

自 20 世纪 70 年代起,我国学者对西沙群岛的珊瑚礁进行了多次考察,掌握了该海域造礁珊瑚的多样性、分布特点、连通性、退化原因等^[26-31]. 从 2005—2009 年西沙群岛的 5 个监测站位(包括赵述岛和西沙洲)看,造礁珊瑚覆盖率已由 2005 年的 65.00% 急剧下降至 2009 年的 7.93%,死亡珊瑚的覆盖率则由 4.70% 增加至 72.90%^[31]. 从本研究的调查结果来看,潟湖内外的造礁珊瑚平均覆盖率分别是 7.98% 和 12.35%,说明在过去近 10 年,赵述岛潟湖内的造礁珊瑚覆盖率一直保持在一个较低的水平,至今没有得到恢复. 潟湖内大量死亡的造礁珊瑚已被藻类侵蚀,尤其是枝状珊瑚(如鹿角珊瑚)受影响最为明显. 李元超等^[14]在 2005—2013 年对永兴岛和七连屿浅水礁区珊瑚礁鱼类的研究中,发现调查区平均鱼类密度由 3.10 尾/ m^2 下降到 1.23 尾/ m^2 . 这与同期造礁珊瑚覆盖率的大幅降低一致.

吴钟解等^[32]在对海南岛东岸和南岸浅水礁区近 10 年珊瑚礁鱼类的研究中,发现珊瑚礁鱼类密度的变化与其生长的珊瑚礁密不可分,活造礁珊瑚覆盖率与珊瑚礁鱼类密度的变化基本一致,造礁珊瑚的种类、数量以及礁体群落结构在一定程度上对珊瑚礁鱼类的趋避敌害以及生存繁衍存在影响.

3.3 赵述岛海域珊瑚礁鱼类物种多样性的保护建议

珊瑚礁生态系统中物种间关系的复杂性、物种的

<http://jxmu.xmu.edu.cn>

多样性和连通性,都对珊瑚礁鱼类物种多样性保护提出了更高的要求。赵述岛海域珊瑚礁鱼类目前面临的威胁主要有以下几方面:1)造礁珊瑚的严重退化,目前潟湖内外的造礁珊瑚覆盖率分别为 $(7.98 \pm 9.91)\%$ 和 $(12.35 \pm 6.21)\%$;2)随着西沙群岛居住人口的增加,对大中型经济价值较高的珊瑚礁鱼类需求增大,传统的潜水射枪捕捞和手钓方式在捕捞对象上具有极强的选择性(石斑鱼、鹦嘴鱼、蓝子鱼、刺豚、海鲳等都是主要捕捞对象),容易导致鱼类群落结构的改变;3)岛礁建设中吹填等作业对珊瑚礁生态系统环境的影响也在所难免。

对于赵述岛珊瑚礁鱼类物种多样性的保护,需要从对珊瑚礁生态系统的整体保护着手。主要有以下几点建议:1)通过大面积的珊瑚礁普查,确定核心区进行严格保护;2)减少人类活动对珊瑚礁的物理破坏,如禁止船舶在有珊瑚覆盖的区域锚定;3)控制浅水水域的渔业活动,重新恢复鱼类的群落结构;4)在完成岛礁基础建设后,加强岛礁人类生活污水的处理,控制营养盐的直接入海排放。

参考文献:

- [1] LIESKE E, MYERS R. Coral reef fishes: Indo-Pacific and Caribbean (revised edition)[M]. London: Harper Collins, 2001.
- [2] KUITER R H, DEBELIUS H. World atlas of marine fishes [M]. 2nd ed. Frankfurt: IKAN-Unterwasserarchiv, 2007.
- [3] SPALDING M D, RAVILIOUS C, GREEN E P. World atlas of coral reefs[M]. Berkeley: University of California Press, 2001.
- [4] 中国科学院动物研究所, 中国科学院海洋研究所, 上海水产学院. 南海鱼类志[M]. 北京: 科学出版社, 1962.
- [5] 国家水产总局, 厦门水产学院, 中国科学院海洋研究所, 等. 南海诸岛海域鱼类志[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [6] 陈清潮, 蔡永贞, 马兴明. 南沙群岛至华南沿岸的鱼类(一)[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [7] 陈清潮, 蔡永贞, 林昭进. 南沙群岛至华南沿岸的鱼类(二)[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [8] 李永振, 史赞荣, 艾红, 等. 南海珊瑚礁海域鱼类分类多样性大尺度分布格局[J]. 中国水产科学, 2011, 18(3): 619-628.
- [9] 陈正平, 詹荣桂, 黄建华. 东沙鱼类生态图鉴[M]. 垦丁: 海洋公园管理处, 2011.
- [10] 邵广昭, 陈正平, 陈静怡, 等. 南海东沙岛及太平岛鱼类种类组成和动物地理学特点[J]. 生物多样性, 2011, 19(6): 737-763.
- [11] 傅亮. 中国南海西南中沙群岛珊瑚礁鱼类图谱[M]. 北京: 中信出版社, 2014.
- [12] 赵焕庭. 西沙群岛考察史[J]. 地理研究, 1996, 15(4): 55-65.
- [13] 成庆泰, 王存信. 中国西沙群岛鱼类区系的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1966, 8(1): 29-36.
- [14] 李元超, 吴钟解, 陈石泉, 等. 永兴岛及七连屿浅水礁区珊瑚礁鱼类多样性探讨[J]. 海洋环境科学, 2017, 36(4): 510-516.
- [15] NELSON J S. Fishes of the world [M]. 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2006.
- [16] CRAIG M T, MITCHESON Y J S, HEEMSTRA P C. Groupers of the world: a field and market guide[M]. Grahamstown: National Inquiry Services Center (NISC) Ltd, 2011.
- [17] 邵广昭. 台湾鱼类资料库[DB/OL]. [2018-05-30]. <http://fishdb.sinica.edu.tw>.
- [18] FROESE R, PAULY D. FishBase[DB/OL]. [2018-05-30]. <http://www.fishbase.org>.
- [19] 蒋志刚, 纪力强. 鸟兽物种多样性测度的 G-F 指数方法[J]. 生物多样性, 1999, 7(3): 220-225.
- [20] PIELOU E C. An introduction to mathematical ecology [M]. New York: Wiley-Interscience, 1969.
- [21] 李娜娜, 董丽娜, 李永振, 等. 大亚湾海域鱼类分类多样性研究[J]. 水产学报, 2011, 35(6): 863-870.
- [22] 张镜铨, 张雪梅. 植物区系地理研究中的重要参数: 相似性系数[J]. 干旱区研究, 1998, 15(1): 59-63.
- [23] 李捷, 刘明杰, 孙疆明, 等. 概率论与数理统计[M]. 成都: 西南财经大学出版社, 2006: 109.
- [24] ÖHMAN M C, RAJASURIYA A, SEVENSSON S. The uses of butterflyfishes (Chaetodontidae) as bio-indicators of habitat structure and human disturbance[J]. Ambio, 1998, 27(8): 708-716.
- [25] CROSBY P M, REESE S E. A manual for monitoring coral reefs with indicator species: butterflyfishes as indicators of change on Indo-Pacific reefs[R]. Silver Spring: Office of Ocean and Coastal Resource Management, National Oceanic and Atmospheric Administration, 1996: 1-47.
- [26] 邹仁林. 西沙群岛造礁石珊瑚群落结构的初步分析[C]//中国科学院南海海洋研究所. 我国西沙、中沙群岛海域海洋生物调查研究报告集. 北京: 科学出版社, 1978: 125-132.
- [27] 邹仁林. 西沙群岛造礁石珊瑚群落结构的再分析[J]. 海洋学报, 1980, 2(3): 98-110.
- [28] 邹仁林. 中国动物志 腔肠动物 珊瑚虫纲 石珊瑚目 造礁石珊瑚[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [29] 黄晖, 练健生, 黄小平, 等. 用珊瑚覆盖率作为干扰指标: 永兴岛石珊瑚多样性研究[J]. 科学通报, 2006, 51(增II): 108-113.

<http://jxmu.xmu.edu.cn>

- [30] 黄晖, 尤丰, 练健生, 等. 西沙群岛海域造礁石珊瑚物种多样性和分布特点[J]. 生物多样性, 2011, 19(6): 710-715.
- [31] 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, 33(4): 140-146.
- [32] 吴钟解, 蔡泽富, 陈石泉, 等. 海南岛东岸、南岸浅水礁区近 10 年珊瑚礁鱼类种类分布及多样性探讨[J]. 水产学报, 2015, 39(8): 1203-1217.

Species Diversity of Coral Reef Fishes in Zhaoshu Island Waters, Xisha Islands

YANG Weidi¹, HU Juntong¹, LIN Baian¹, HUANG Hai², LIU Min^{1*}

(1. College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361102, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Hainan Key Laboratory for Conservation and Utilization of Tropical Marine Fishery Resources, Hainan Tropical Ocean University, Sanya 572022, China)

Abstract: Underwater video surveys were conducted in April 2017 to determine coral reef fish species composition, density, species similarity and stony coral coverage inside and outside the lagoon of Zhaoshu Island, Xisha Islands. Totally 58 coral reef fish species were identified from the videos of the six transects recorded, belonging to one class, three orders, 18 families and 37 genera. Among the 58 species, the Perciforms is absolutely dominant with 55 species (94.83%). The fish densities were significant different between inside (1.7123 ± 0.2732 ind/m²) and outside (0.6551 ± 0.0293 ind/m²) the lagoon ($p < 0.05$). The first four dominant species were *Stegastes fasciolatus*, *Halichoeres trimaculatus*, *Dascyllus aruanus* and *Ctenochaetus striatus* in Zhaoshu Island waters, of which the first three mainly occurred inside the lagoon and the last species outside the lagoon. The Jaccard's coefficient of similarity of coral reef fishes inside to those outside the lagoon was 0.29, indicating medium dissimilarity of the two habitats. The coverage of stony corals inside the lagoon (7.98 ± 9.91 %) was not significantly different from that outside the lagoon (12.35 ± 6.21 %). Dominant fish species in the surveyed areas were small in body size, while highly-valued commercially important reef fishes such as Epinephelidae and Scaridae were of low density. This may due to the reduction in coral reef ecological function and the increase of human activities in Xisha Islands.

Key words: coral reef fishes; species diversity; fish density; stony coral coverage; Xisha Islands