

文章编号: 1674-5566(2025)03-0618-18

DOI: 10.12024/jsou.20240404531

## 西沙群岛永乐四岛礁珊瑚礁区域鱼类物种组成及其差异

康志鹏<sup>1,2</sup>, 刘永<sup>1,2</sup>, 李纯厚<sup>1,2</sup>, 赵金发<sup>1,2</sup>, 石娟<sup>1,2</sup>, 王腾<sup>1,2,3</sup>, 谢宏宇<sup>1,2</sup>, 肖雅元<sup>1,2</sup>, 黄海<sup>1,3</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东 广州 510300; 2. 三亚热带水产研究院 西沙岛礁渔业生态系统海南省野外科学观测研究站, 海南 三亚 572018; 3. 海南热带海洋学院 热带海洋生物资源利用与保护教育部重点实验室, 海南 三亚 572022)

**摘要:** 为探究西沙群岛永乐环礁4个岛礁(晋卿岛、羚羊礁、全富岛和银屿)的珊瑚礁鱼类种类特征, 在2020至2023年期间, 采用手钓、潜水捕捞和水下录像等方式对永乐四岛礁的珊瑚礁鱼类进行了调查。结合2020—2021年对银屿的调查研究资料, 分析了永乐四岛礁珊瑚礁鱼类的种类组成、相似性和分类多样性等特征, 并结合文献资料分析了永乐四岛礁珊瑚礁鱼类的食性、个体大小类型等特征。结果表明:(1)永乐四岛礁附近海域共发现260种珊瑚礁鱼类, 隶属于2纲10目40科, 其中鲈形目占绝对优势, 隆头鱼科、雀鲷科和蝴蝶鱼科的种类数最多;(2)肉食性鱼类种类最为丰富, 且以中小型鱼类为主, 四岛礁大型鱼类的相似性系数显著低于中小型鱼类, 说明四岛礁受到了不同程度的捕捞影响;(3)肉食性鱼类和大型鱼类在各岛礁所占比例均为晋卿岛>羚羊礁>全富岛>银屿, 且平均分类差异指数( $\Delta^+$ )为晋卿岛(54.94)>羚羊礁(53.30)>全富岛(52.63)>银屿(52.05), 说明四岛礁珊瑚礁鱼类受到人类扰动的程度存在明显差异, 受扰动程度表现为晋卿岛<羚羊礁<全富岛<银屿。研究对永乐四岛礁珊瑚礁鱼类组成的本底情况进行了解析, 分析了人类扰动的影响, 将为促进西沙群岛珊瑚礁鱼类资源的可持续发展提供理论依据, 为珊瑚礁鱼类的保护与管理提供参考。

**关键词:** 西沙群岛; 永乐群岛; 珊瑚礁鱼类; 分类多样性; 人类扰动

**中图分类号:** S 932.4      **文献标志码:** A

珊瑚礁鱼类的物种多样性极高, 生活在珊瑚礁海域的鱼类数量达5 000~8 000种, 超过了海洋鱼类总数的1/3<sup>[1]</sup>。珊瑚礁鱼类在珊瑚礁生态系统中发挥着重要的作用, 其排泄物有助于提高初级生产力, 调节生态系统的营养平衡, 促进珊瑚礁生态系统的可持续发展<sup>[2-3]</sup>。另外, 珊瑚礁鱼类还可以通过食物网中的下行控制等方式修复受损的珊瑚礁生态系统<sup>[4]</sup>。因此, 珊瑚礁鱼类是维持健康珊瑚礁生态系统不可或缺的组成部分。此外, 珊瑚礁鱼类具有重要的经济价值, 为数亿人提供了直接的食物来源和经济收入<sup>[5]</sup>。

近几十年来, 受自然和人为扰动的影响, 全

球珊瑚礁鱼类的多样性显著降低, 一些经济价值高的大型鱼类逐渐被生命周期短、经济价值低的小型鱼类所取代<sup>[6-7]</sup>。自然扰动主要包括全球性的气候变化和海洋酸化。海水升温导致珊瑚出现大规模白化, 海水酸化则增加了珊瑚的溶解速率<sup>[8]</sup>, 生境退化导致珊瑚礁鱼类失去适宜的栖息地和庇护场所, 进而影响鱼类的组成和多样性<sup>[9-10]</sup>。人为扰动主要涵盖了过度捕捞和休闲旅游产业等局部范围的因素。对于生活在珊瑚礁附近的居民而言, 珊瑚礁鱼类是重要的食物蛋白来源<sup>[5]</sup>, 随着珊瑚礁附近人口的增加, 对鱼类蛋白的需求也相应提高, 因此许多珊瑚礁鱼类面临着

收稿日期: 2024-04-29      修回日期: 2024-07-02

基金项目: 海南省自然科学基金(323MS124, 322CXTD530); 农业农村部财政专项(NHZX2024); 2023年海南热带海洋学院水产南繁联合开放课题(2023SCNFKF06); 中国水产科学研究院基本科研业务费项目(2023TD16); 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2021SD04, 2019TS28)

作者简介: 康志鹏(1993—), 男, 博士研究生, 研究方向为渔业资源。E-mail:kangzzpp@outlook.com

通信作者: 王腾, E-mail:wt3074589@163.com

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydxxb.com>

过度捕捞的威胁。休闲旅游监管不善和一些海上休闲活动产生的噪声也会影响珊瑚虫和鱼类幼体对栖息地的识别和选择<sup>[11]</sup>。无节制的人为扰动将直接破坏珊瑚礁的结构,从而改变鱼类群落的结构和生态功能,破坏其生产潜力<sup>[12]</sup>。中国的珊瑚礁面积位列全球第8位,主要分布在南海,已记录近3 000种珊瑚礁鱼类<sup>[13]</sup>,对于维护南海的生态安全和生物多样性至关重要<sup>[14]</sup>。然而,近30年来,南海的珊瑚礁覆盖率下降了约80%<sup>[15-16]</sup>,同时珊瑚礁鱼类的多样性和生产力显著下降、大型鱼类数量减少、种群逐渐小型化<sup>[17-19]</sup>。因此,科学保护和可持续利用南海的珊瑚礁鱼类资源显得尤为迫切。

目前永乐环礁珊瑚礁鱼类主要受过度捕捞、栖息地退化等因素的影响,其丰富度和多样性下降,群落结构发生变化,鱼类组成经历了明显的演替过程<sup>[20]</sup>。永乐环礁中的晋卿岛居住的渔民较多,礁盘面积较大;羚羊礁拥有较大的浅水礁盘,只有少数渔民居住,但经常有外来渔民进行捕捞活动;全富岛上无人居住,却是1个旅游点;银屿是1个小型的旅游型沙洲,有少量渔民居住。本研究以永乐环礁四岛礁(晋卿岛、羚羊礁、全富岛和银屿)为研究对象,总结了2020—2023年永乐环礁四岛礁珊瑚礁鱼类的种类组成现状,分析了食性及个体大小类型、相似性和分类多样性等特征,结果可为促进西沙群岛珊瑚礁鱼类资源的可持续发展提供理论依据,为珊瑚礁鱼类的保护和管理提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域及方法

永乐环礁是西沙群岛珊瑚礁的重要组成部分,主要由泻湖和环礁两部分构成,泻湖水深0~50 m,其通过多个水道与外海相连,这些水道将礁环分割为多个礁盘<sup>[21]</sup>。本研究于2020—2023年对永乐环礁的晋卿岛、羚羊礁、全富岛和银屿附近珊瑚礁海域进行了鱼类资源调查(图1),并收集整理2020—2021年雷明凤等<sup>[22]</sup>关于银屿珊瑚礁鱼类的研究。调查方法为手钓、潜水捕捞和水下录像(表1),调查时间均为4月份。手钓为底层作业,时间包括白天和夜间,水深为5~20 m,

钓饵采用新鲜渔获物;潜水捕捞通常在20:00—24:00进行,由当地渔民潜入水下对鱼类进行无差别抓捕;水下录像由潜水员携带水下摄像机,在每个岛礁水深为5、10和15 m的海底对所有出现的珊瑚礁鱼类进行录像,每个深度进行2个平行调查,共6个监测点。调查结束后将影像资料带回实验室,由专业人员根据视频图像信息对水下录像中出现的鱼类进行识别和分类。手钓和潜水捕捞样本均冷冻保存运回实验室,在实验室解冻后立刻进行种类的鉴定和解剖分析,初步了解其食性类型。鱼类种类的鉴定参照《中国南海西南中沙群岛珊瑚礁鱼类图谱》<sup>[23]</sup>、《中国海洋鱼类》<sup>[24]</sup>、《西沙群岛珊瑚礁生物图册》<sup>[25]</sup>和《西沙群岛七连屿珊瑚礁鱼类图谱》<sup>[26]</sup>。

鱼类的食性分类参考文献<sup>[27]</sup>分为肉食性(Carnivore)、植食性(Herbivore)和杂食性(Omnivore)3组。鱼类的食性组成综合Fishbase数据库、文献<sup>[27]</sup>及《南海诸岛海域鱼类志》<sup>[28]</sup>进行分析,首先根据对食性特征进行分类,然后与Fishbase记录的食性分类信息进行比较。其中, Fishbase记录的碎屑食性与文献<sup>[27]</sup>中的植食性重叠度较高,解剖学数据显示Fishbase划分的碎屑食性基本为植食性。因此,将Fishbase中的碎屑食性划分为植食性,对于其他食性分类有差异的部分,参照《南海诸岛海域鱼类志》的描述进行区分。

鱼类的个体大小类型划分为3种:大型鱼类(最大全长 $\geq 65$  cm)、中型鱼类(35 cm $\leq$ 最大全长 $< 65$  cm)和小型鱼类(最大全长 $< 35$  cm)<sup>[29]</sup>。鱼类的最大全长数据参考Fishbase,极少数未记录最大全长的鱼类,参考同属鱼类的最大全长。

### 1.2 数据处理

#### 1.2.1 相似性分析

Jaccard相似性系数( $J_s$ )<sup>[30]</sup>:

$$J_s = c / (a + b - c) \quad (1)$$

式中: $a$ 为岛礁A的鱼类种类数或者目、科、属的数量; $b$ 为岛礁B的鱼类种类数或者目、科、属的数量; $c$ 为两个岛礁鱼类共有种类数或者目、科、属的数量。相似等级分别为: $0 < J_s < 0.25$ 为极不相似; $0.25 \leq J_s < 0.50$ 为不相似; $0.50 \leq J_s < 0.75$ 为中等相似; $0.75 \leq J_s < 1.00$ 为极相似。

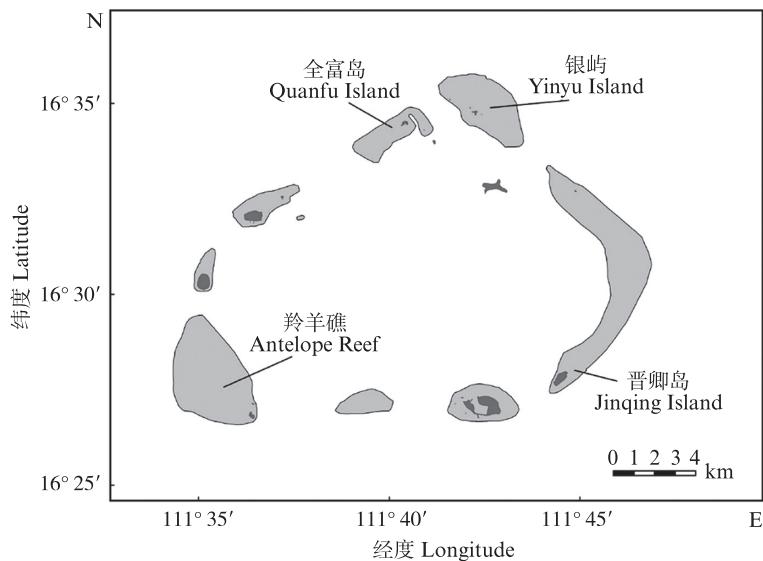


图1 西沙群岛永乐环礁四岛礁采样分布图

Fig. 1 Locations of the four islands in Yongle Atoll, Xisha Islands

表1 调查时间和方法  
Tab. 1 Time and method of the survey

调查区域 Survey area	年份 Year		
	2020	2021	2023
晋卿岛 Jinqing Island	潜水捕捞	潜水捕捞+水下录像	-
羚羊礁 Antelope Reef	-	潜水捕捞+水下录像	手钓+潜水捕捞+水下录像
全富岛 Quanfu Island	-	潜水捕捞+水下录像	潜水捕捞+水下录像
银屿 Yinyu Island	水下录像	潜水捕捞+水下录像	-

### 1.2.2 分类多样性

使用 Primer 5.0 软件中的 Taxdtest 软件包计算分类学多样性指数,包括平均分类差异指数( $\Delta^+$ )和分类差异变异指数( $\Lambda^+$ )<sup>[31]</sup>。 $\Delta^+$ 代表物种名录中任意一对物种之间的平均分类距离路径的理论平均值,不受物种数量的影响; $\Lambda^+$ 表示  $\Delta^+$  偏离程度的平均值,反映物种间路径长度的差异程度,表征种类组成亲缘关系的分布均匀程度。 $\Delta^+$ 越低,说明鱼类的亲缘关系越近,而  $\Lambda^+$ 越低,表明鱼类群落的物种分类关系的均匀程度越高<sup>[32]</sup>。相较于传统多样性计算方法,基于分类学地位的  $\Delta^+$  和  $\Lambda^+$  不受采样方法、栖息地、生态类型和自然变化等因素的影响,能够解释群落的种间关系<sup>[33]</sup>。

平均分类差异指数( $\Delta^+$ )和分类差异变异指数( $\Lambda^+$ )计算公式<sup>[33]</sup>:

$$\Delta^+ = \frac{\sum \sum_{i < j} \omega_{ij}}{S(S-1)/2} \quad (2)$$

$$\Lambda^+ = \frac{\sum \sum_{i \neq j} (\omega_{ij} - \Delta^+)^2}{S(S-1)/2} \quad (3)$$

式中: $\omega_{ij}$ 为第  $i$  和  $j$  个种类在分类系统树中的路径长度; $S$  为种类数。将门、纲、目、科、属、种 6 个分类等级间的加权路径长度的权重设置为 100.000、83.333、66.667、50.000、33.333、16.667。

## 2 结果

### 2.1 四岛礁珊瑚礁鱼类种类组成

调查结果显示,晋卿岛、羚羊礁、全富岛和银屿四岛礁 2020—2023 年共记录珊瑚礁鱼类 260 种,隶属于 2 纲 10 目 40 科(图 2,附表 1)。其中,辐鳍鱼纲(Actinopterygii)258 种,软骨鱼纲(Chondrichthyes)2 种。辐鳍鱼纲共记录 8 目鱼类,以鲈形目(Perciformes)占绝对优势,有 219 种,占总种数的 84.23%,其他种类数超过 10 种的目分别是鲀形目(Tetraodontiformes, 15 种)和金眼鲷目(Beryciformes, 12 种);而软骨鱼纲仅记录 2 目 2 种,分别是真鲨目(Carcharhiniformes, 1 种)和鲼目(Myliobatiformes, 1 种)。不同科之间,隆头鱼科(Labridae)、雀鲷科(Pomacentridae)和蝴蝶鱼科(Chaetodontidae)的种类数最多,均超过了 20 种;其次则是鹦嘴鱼科(Scaridae)、刺尾鱼科

(Acanthuridae)、鮨科 (Serranidae) 和 鲫科 (Holocentridae), 种类数均达 10 种及以上; 其余科的种类数均低于 10 种。2020—2023 年间, 在永乐环礁四岛礁, 使用水下录像记录的鱼类数量最多, 达到了 200 种; 其次是潜水捕捞, 有 140 种; 而手钓获取的鱼类最少, 仅有 7 种(表 2, 图 3)。各岛礁以羚羊礁发现鱼类物种数最多, 为 175 种, 其次为银

屿 142 种, 全富岛 129 种, 晋卿岛 116 种(图 4)。

食性方面, 肉食性鱼类的种类最多, 占总种类数的 49.61%; 其次为杂食性鱼类, 为 33.85%; 植食性鱼类仅占 16.54%。从个体大小类型来看, 小型鱼类种类最多, 占总种类数的 57.31%; 其次是中型鱼类, 占 28.08%; 大型鱼类占比最低, 为 14.61%(图 5)。

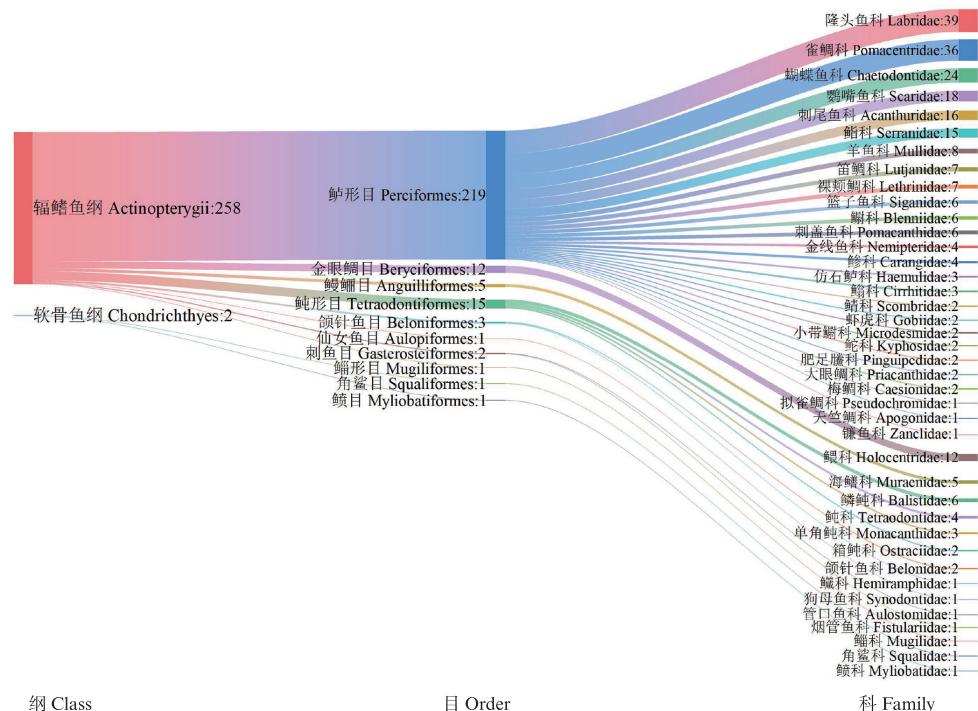


图 2 西沙群岛永乐环礁四岛礁珊瑚礁鱼类的物种组成

Fig. 2 Species composition of coral reef fishes from the four islands in Yongle Atoll, Xisha Islands

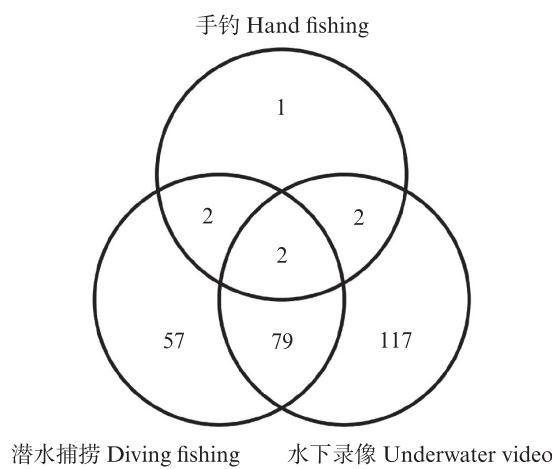


图 3 西沙群岛永乐环礁四岛礁不同采样方法  
得到的鱼类物种韦恩图

Fig. 3 Venn diagrams of fish species obtained  
by using different methods in the four islands  
in Yongle Atoll, Xisha Islands

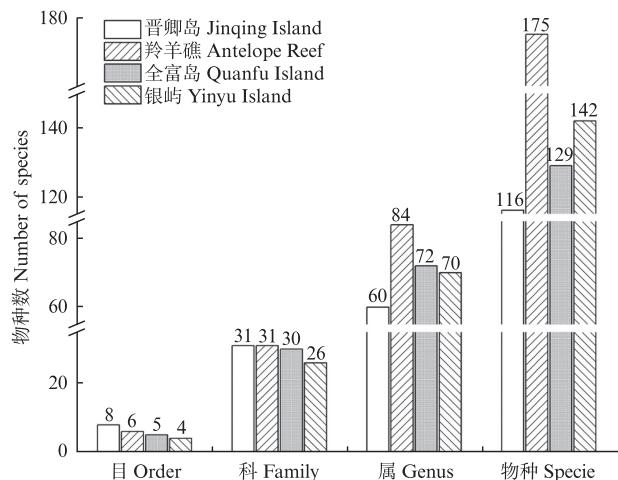


图4 西沙群岛永乐环礁四岛礁珊瑚礁鱼类目、科、属、物种数的比较

Fig. 4 Comparison of the number of orders, families, genera and species of coral reef fishes from the four islands in Yongle Atoll, Xisha Islands

表2 不同年份使用不同采样方法在各岛礁采集的鱼类种类数情况

Tab. 2 Number of fish species collected in different islands in different years using different methods

采样方式 Method	晋卿岛 Jinqing Island		羚羊礁 Antelope Reef		全富岛 Quanfu Island		银屿 Yinyu Island		总计 Total
	2020	2021	2021	2023	2021	2023	2020	2021	
手钓 Hand fishing	-	-	-	7	-	-	-	-	7
潜水捕捞 Diving fishing	81	42	60	60	42	23	-	33	140
水下录像 Underwater video	-	38	45	114	25	92	94	77	200
总计 Total	81	63	83	146	62	99	94	97	260

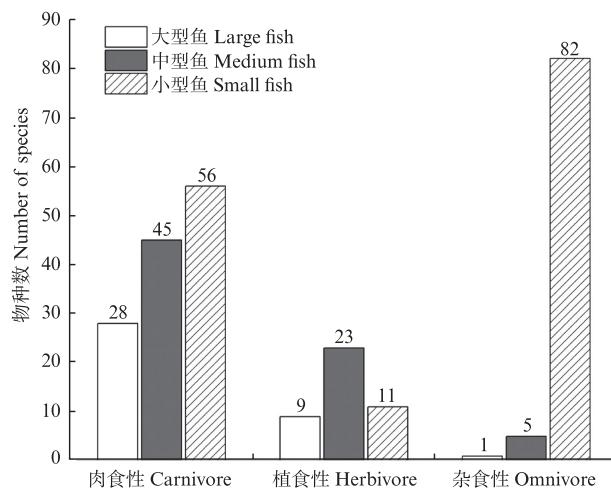


图5 西沙群岛永乐环礁四岛礁不同食性类型和不同个体大小珊瑚礁鱼类的分布特征

Fig. 5 Distribution characteristics of coral reef fishes with different feeding types and different individual sizes from the four islands in Yongle Atoll, Xisha Islands

在肉食性鱼类中,小型鱼类种类最多,大型鱼类最少;植食性鱼类中,中型鱼类占主导地位;而杂食性鱼类中,小型鱼类占据绝对优势,占比高达93.18%。大中型鱼类均以肉食性鱼类占绝对优势,分别占各自类群的73.68%和61.64%,其次是植食

性鱼类,分别占各自类群的23.68%和31.51%,杂食性鱼类最少;小型鱼类中,杂食性和肉食性鱼类占绝对优势,分别占各自类群的55.04%和37.58%,植食性鱼类最少,仅占7.38%(图5)。

## 2.2 不同岛礁珊瑚礁鱼类组成比较

从食性类型来看,各岛礁不同食性鱼类占比略有差异,肉食性鱼类比例为晋卿岛>羚羊礁>全富岛>银屿;杂食性比例为晋卿岛<羚羊礁<全富岛<银屿。从个体大小类型来看,四岛礁不同体型鱼类的种类数量差异明显,整体均以中小型鱼类为主。各岛礁不同体型鱼类占比略有差异,大中型鱼类比例为晋卿岛>羚羊礁>全富岛>银屿;小型鱼类比例为晋卿岛<羚羊礁<全富岛<银屿(图6)。

## 2.3 不同岛礁之间珊瑚礁鱼类相似性比较

在目级水平,全富岛和银屿的相似性系数最高,达到极相似,晋卿岛与羚羊礁的相似性系数最低,为不相似;在科、属、种级水平,羚羊礁和全富岛的相似性系数为最高,且在科级水平达到极

相似,晋卿岛与其他3个岛礁的相似性系数较低,且在属和种级水平均为不相似(表3)。

从食性类型来看,各食性类型鱼类的相似性系数差异不显著( $P>0.05$ ),杂食性鱼类的平均相似性系数最低;从个体大小类型来看,大型鱼类的相似性系数显著低于中小型鱼类( $P<0.05$ )(图7)。

## 2.4 不同岛礁珊瑚礁分类多样性比较

根据物种名录,计算得到四岛礁的鱼类平均分类差异指数( $\Delta^+$ )和变异分类差异指数( $\Lambda^+$ )的理论平均值及其95%置信漏斗曲线。其中 $\Delta^+$ 为晋卿岛(54.94)>羚羊礁(53.30)>全富岛(52.63)>银屿(52.05),且银屿的 $\Delta^+$ 低于95%置信区间的下边界; $\Lambda^+$ 为晋卿岛(119.40)>羚羊礁(111.30)>银屿(110.50)>全富岛(100.10)(图8)。

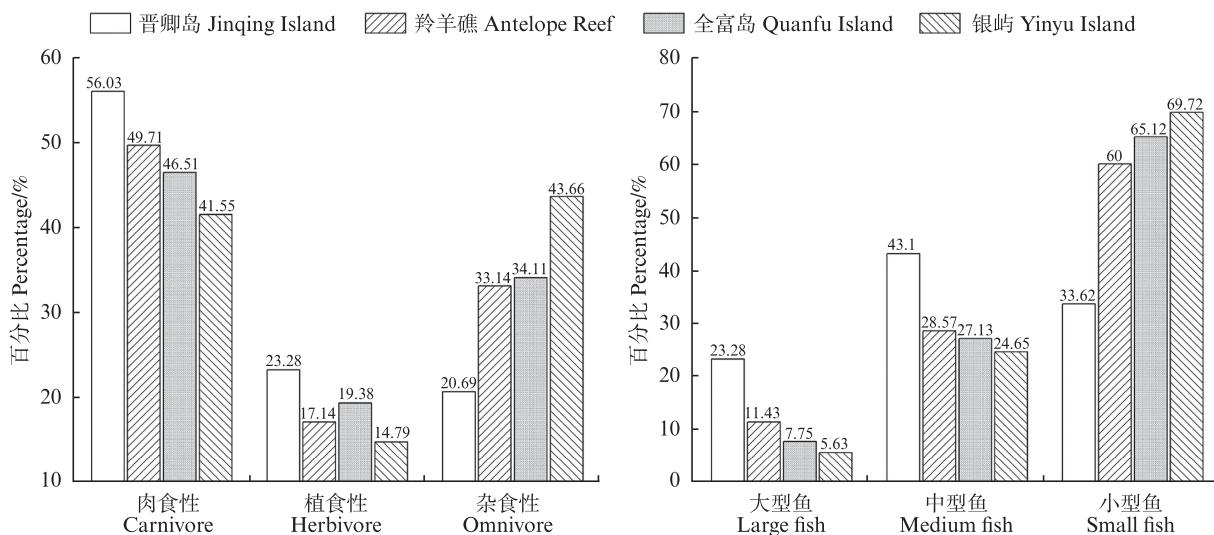


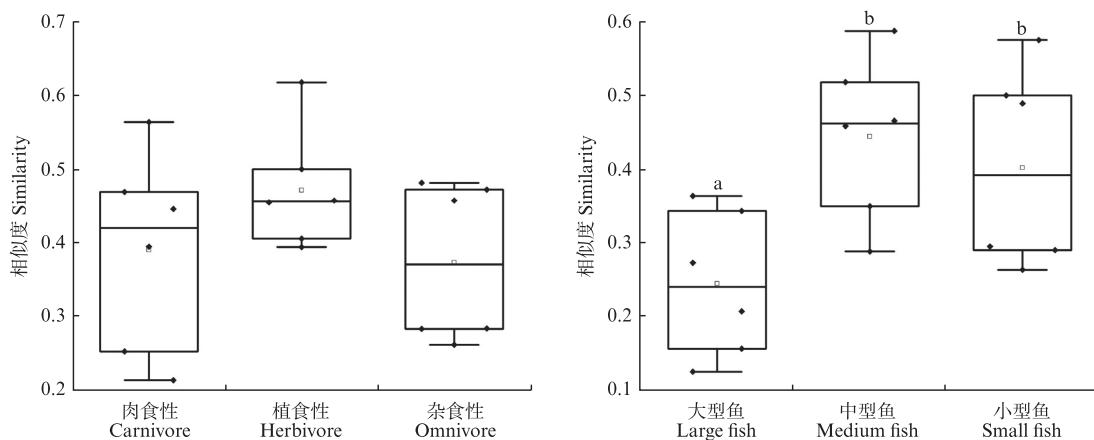
图6 西沙群岛永乐环礁四岛礁不同食性类型和大小类型鱼类的分布特征对比

Fig. 6 Comparison of distributional characteristics of different feeding types and different individual sizes of fish from the four islands in Yongle Atoll, Xisha Islands

表3 西沙群岛永乐环礁四岛礁珊瑚礁鱼类之间目、科、属、种层面的相似性

Tab. 3 Similarity coefficients at order, family, genus and species level among coral reef fishes from the four islands in Yongle Atoll, Xisha Islands

采样点 Sampling site	羚羊礁 Antelope Reef				全富岛 Quanfu Island				银屿 Yinyu Island			
	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species
晋卿岛 Jinqing Island	0.40	0.63	0.48	0.37	0.63	0.61	0.45	0.27	0.50	0.63	0.46	0.30
羚羊礁 Antelope Reef					0.57	0.79	0.70	0.54	0.67	0.78	0.59	0.46
全富岛 Quanfu Island									0.80	0.75	0.60	0.46



不同字母表示不同类群间相似度的差异显著( $P<0.05$ ),相同字母表示不同类群间相似度的差异不显著( $P>0.05$ )。

Different letters indicate a significant difference in similarity between groups ( $P<0.05$ ), and the same letter indicates a non-significant difference in similarity between groups ( $P>0.05$ ).

图7 西沙群岛永乐环礁四岛礁不同食性类型和个体大小类型珊瑚礁鱼类之间的相似性

Fig. 7 Similarity between reef fishes of different feeding types and individual sizes from the four islands in Yongle Atoll, Xisha Islands

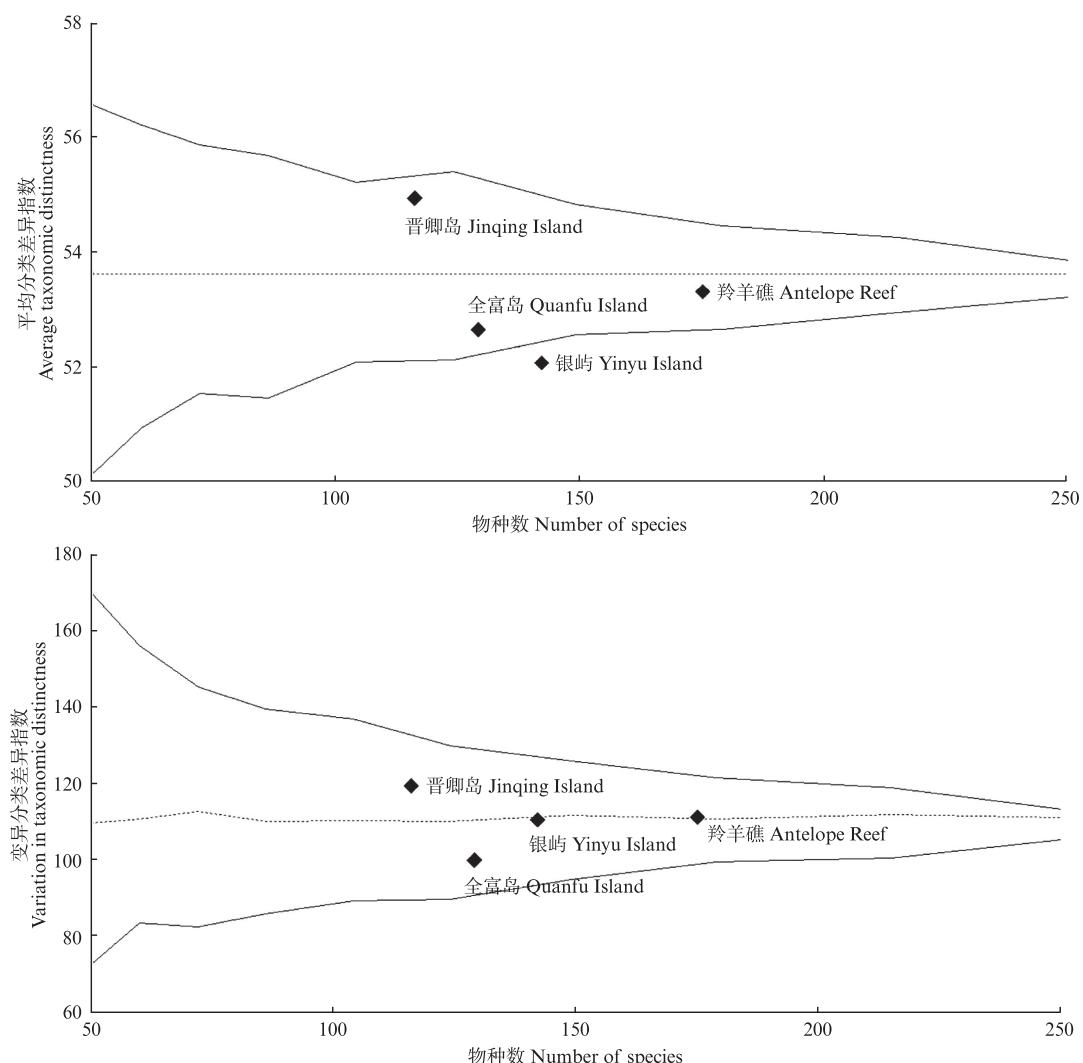


图8 西沙群岛永乐环礁四岛礁鱼类分类多样性指数的95%置信区间漏斗图

Fig. 8 Funnel plot for average taxonomic distinctness ( $\Delta^+$ ) and variation in taxonomic distinctness ( $\Delta^+$ ) with 95% confidence limit of fish species from the four islands in Yongle Atoll, Xisha Islands

### 3 讨论

#### 3.1 四岛礁珊瑚礁鱼类物种组成特征

在2020—2023年间,永乐环礁四岛礁附近海域记录了260种珊瑚礁鱼类,其中,水下录像记录的种类最多,其次是潜水捕捞,手钓最少。这是因为不同的调查方式会对调查结果产生较大的影响<sup>[34]</sup>:手钓只能收获裸颊鲷和石斑鱼等肉食性鱼类;而潜水捕捞由于珊瑚礁生态系统的特殊性,往往难以捕捉到雀鲷等小型鱼类;水下录像等原位观测获取的数据通常能更准确地反映珊瑚礁生态系统中的鱼类现状<sup>[35]</sup>。近年来,学者们开始采用水下录像的方法研究珊瑚礁鱼类多样性<sup>[17,36]</sup>,本研究结合手钓、潜水捕捞和水下录像,更全面地反映了永乐四岛礁鱼类的组成情况。邱书婷等<sup>[34]</sup>和高永利等<sup>[37]</sup>使用水下录像法分别对西沙群岛6个岛礁进行调查,共记录119种鱼类和116种鱼类,这两项调查结果均低于本研究使用水下录像法所得的数据(200种),可能是因为这两项研究仅覆盖了一年,而本研究跨越了2020—2023年,数据更为全面。

研究发现,四岛礁的珊瑚礁鱼类中,隆头鱼科、雀鲷科、蝴蝶鱼科、鹦嘴鱼科和刺尾鱼科是种类数排名前5的科,结果与七连屿<sup>[29]</sup>一致,与东岛<sup>[38]</sup>基本相符,仅是东岛的鳂科替换了雀鲷科的位置。而Cabo Pulmo珊瑚礁区域<sup>[39]</sup>前5科鱼类为隆头鱼科、雀鲷科、鮨科、刺尾鱼科和鰕科,仅有2科与本研究不同。说明珊瑚礁鱼类具有高度的连通性<sup>[40]</sup>,与珊瑚礁鱼类集中分布在29科的观点也是一致的<sup>[41]</sup>。

四岛礁小型鱼类的物种数远高于大型鱼类,与其他珊瑚礁海域<sup>[29,38]</sup>情况一致。这可能是因为:(1)小型鱼类游泳能力弱,且底栖产卵,但其生存需求范围较小,因此同一区域内可容纳更多小型鱼类<sup>[42]</sup>;(2)小型鱼类所需食物量较少,生活史周期较短,对生存环境的要求不高<sup>[43]</sup>;(3)大型鱼类容易受到捕捞的影响,导致物种数量较少<sup>[44]</sup>。在四岛礁,珊瑚礁鱼类以肉食性鱼类占据主导地位,与珊瑚礁鱼类以肉食性为主的研究一致<sup>[43]</sup>,同时支持珊瑚礁的营养结构呈倒金字塔状,即高营养级的物种生物量较高<sup>[45]</sup>。

#### 3.2 不同岛礁珊瑚礁鱼类的生境差异性

四岛礁的肉食性鱼类和大型鱼类比例均表

现为晋卿岛>羚羊礁>全富岛>银屿,这一结果刚好与四岛礁珊瑚礁鱼类的平均分类差异指数 $\Delta^+$ 结果一致,即平均分类差异指数 $\Delta^+$ 为晋卿岛>羚羊礁>全富岛>银屿,说明四岛礁珊瑚礁生态系统受到了不同程度的扰动,且其受到的扰动程度可能为晋卿岛<羚羊礁<全富岛<银屿。银屿的平均分类差异指数 $\Delta^+$ 低于95%置信区间的下边界,且其平均分类差异指数 $\Delta^+$ 最低,表明银屿的珊瑚礁鱼类生境受到了最显著的扰动。产生这一结果的原因可能是晋卿岛虽然居住着较多的渔民,但由于礁盘面积较大,因此珊瑚礁系统整体受到的扰动较小。羚羊礁拥有较大的浅水礁盘,尽管只有少数渔民居住,但经常有外来渔民来此进行捕捞活动,因而受到一定程度的扰动。全富岛虽然无人居住,却是一个旅游点,过重的旅游负荷导致珊瑚礁系统受到较大扰动。银屿是一个小型的旅游型沙洲,有少量居住渔民,受捕捞和旅游等多方面因素影响,珊瑚礁生态系统受到的扰动程度最大<sup>[22]</sup>。

#### 3.3 四岛礁珊瑚礁鱼类相似性特征

四岛礁珊瑚礁鱼类群落整体上以羚羊礁和全富岛的相似性系数最高,晋卿岛与其他3个岛礁均较低。整体而言,各岛礁的物种相似性系数比孙典荣等<sup>[46]</sup>的8个岛礁高。这可能是因为虽然孙典荣等<sup>[46]</sup>调查区域为西沙群岛,其研究的8个岛礁之间的距离较本研究的四岛礁为大,导致其相似性系数较低。羚羊礁和全富岛的科、属、种的相似性最高,这可能是因为二者均受到人类扰动的影响,且扰动程度相差不大,导致鱼类组成呈现较高的相似性。全富岛与银屿之间直线距离最短,珊瑚礁鱼类具有较高的连通性<sup>[40]</sup>,因此相似性相对较高。晋卿岛与其他岛屿的科、属、种的相似性均较低,可能是因为晋卿岛的鱼类栖息环境相对最好,而其他岛礁或多或少受到了不同程度的扰动,因此相似性较低。在四岛礁的珊瑚礁鱼类中,大型鱼类的相似性系数显著低于中小型鱼类,大型鱼是最先受到捕捞影响的类群<sup>[47]</sup>,说明四岛礁的珊瑚礁鱼类可能受到了不同程度的捕捞影响。

#### 3.4 不同岛礁珊瑚礁鱼类分类多样性特征

史贊荣等<sup>[48]</sup>的研究表明,河口鱼类的平均分类差异指数 $\Delta^+$ 最高,其次是陆架海域,珊瑚礁海域最低。本研究结果与陆架生境相比,四岛礁的

平均分类差异指数 $\Delta^+$ 明显低于东海陆架(65.70)。这可能是因为东海陆架区域终年受江河入海径流以及黑潮暖流等流系的共同影响,自然环境条件较为优越,因此平均分类差异指数 $\Delta^+$ 较高<sup>[49]</sup>。相较于近海生境,四岛礁的平均分类差异指数 $\Delta^+$ 均低于大亚湾(62.20)。大亚湾海域除湾口处连接海水外,其余为曲折的陆架海岸线,中部还有部分岛礁,因此这里既有陆架区鱼类,又有典型的珊瑚礁鱼类,导致分类多样性较高<sup>[50]</sup>。在与相似的珊瑚礁生境对比中,四岛礁的平均分类差异指数 $\Delta^+$ 均略低于渚碧礁(58.75)<sup>[10]</sup>,但高于赵述岛(50.30)<sup>[36]</sup>,这与史贊荣等<sup>[48]</sup>的研究结果一致,即在大尺度上,纬度越低,中国海洋鱼类平均分类差异指数 $\Delta^+$ 越小。渚碧礁是一个位于南沙群岛北部的封闭型环礁,远离大陆,受人类扰动极少,栖息地环境良好,鱼类物种丰富,因此其平均分类差异指数 $\Delta^+$ 较高<sup>[10]</sup>。赵述岛离大陆较近,频繁的人类扰动导致赵述岛的鱼类多样性不断降低<sup>[36]</sup>,因此其平均分类差异指数 $\Delta^+$ 较低。

西沙群岛的珊瑚礁鱼类在不同区域存在差异,受人类扰动影响,不同岛礁的珊瑚礁鱼类也呈现差异,研究将为促进西沙群岛珊瑚礁鱼类资源的可持续发展提供理论依据,为珊瑚礁鱼类的保护和管理提供参考。

作者声明本文无利益冲突。

## 参考文献:

- [1] COKER D J, WILSON S K, PRATCHETT M S. Importance of live coral habitat for reef fishes [J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2014, 24(1): 89-126.
- [2] AULT J S, SMITH S G, JOHNSON M W, et al. Length-based risk analysis of management options for the southern Florida USA multispecies coral reef fish fishery [J]. *Fisheries Research*, 2022, 249: 106210.
- [3] ALLGEIER J E, VALDIVIA A, COX C, et al. Fishing down nutrients on coral reefs [J]. *Nature Communications*, 2016, 7: 12461.
- [4] BELLWOOD D R, HUGHES T P, FOLKE C, et al. Confronting the coral reef crisis [J]. *Nature*, 2004, 429 (6994): 827-833.
- [5] 黄洪亮, 冯超, 李灵智, 等. 当代海洋捕捞的发展现状和展望[J]. 中国水产科学, 2022, 29(6): 938-949.
- [6] 王雪辉, 杜飞雁, 林昭进, 等. 西沙群岛主要岛礁鱼类物种多样性及其群落格局[J]. 生物多样性, 2011, 19 (4): 463-469.
- [7] WANG X H, DU F Y, LIN Z J, et al. Fish species diversity and community pattern in coral reefs of the Xisha Islands, South China Sea [J]. *Biodiversity Science*, 2011, 19(4): 463-469.
- [8] MCCLANAHAN T R. Coral reef fish communities, diversity, and their fisheries and biodiversity status in East Africa [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2019, 632: 175-191.
- [9] YATES K K, HALLEY R B.  $\text{CO}_3^{2-}$  concentration and  $\text{pCO}_2$  thresholds for calcification and dissolution on the Molokai reef flat, Hawaii [J]. *Biogeosciences*, 2006, 3 (3): 357-369.
- [10] ROBINSON J P W, WILSON S K, JENNINGS S, et al. Thermal stress induces persistently altered coral reef fish assemblages [J]. *Global Change Biology*, 2019, 25(8): 2739-2750.
- [11] 李媛洁, 张俊, 陈作志, 等. 南沙群岛渚碧礁鱼类分类多样性研究[J]. 南方水产科学, 2020, 16(1): 36-41.
- [12] LI Y J, ZHANG J, CHEN Z Z, et al. Study on taxonomic diversity of fish in Zhubi reef of Nansha Islands [J]. *South China Fisheries Science*, 2020, 16(1): 36-41.
- [13] MILLS S C, BELDADE R, HENRY L, et al. Hormonal and behavioural effects of motorboat noise on wild coral reef fish [J]. *Environmental Pollution*, 2020, 262: 114250.
- [14] 代血娇, 张俊, 陈作志. 珊瑚礁鱼类多样性及保护研究进展[J]. 生态学杂志, 2021, 40(9): 2996-3006.
- [15] DAI X J, ZHANG J, CHEN Z Z. Research advances on coral reef fish biodiversity and conservation [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, 40(9): 2996-3006.
- [16] SHI J, LI C H, WANG T, et al. Distribution pattern of coral reef fishes in China [J]. *Sustainability*, 2022, 14 (22): 15107.
- [17] 曾昭璇, 梁景芬, 丘世钧. 中国珊瑚礁地貌研究[M]. 广州: 广东人民出版社, 1997.
- [18] ZENG Z X, LIANG J F, QIU S J. A study of the geomorphology of coral reefs in China [M]. Guangzhou: Guangdong People's Publishing House, 1997.
- [19] HUGHES T P, KERRY J T, ÁLVAREZ-NORIEGA M, et al. Global warming and recurrent mass bleaching of corals [J]. *Nature*, 2017, 543(7645): 373-377.
- [20] 张健, 杨翼, 曲艳敏, 等. 人类用海活动造成珊瑚礁损害的生态补偿方法研究——以三亚为例[J]. 环境与可持续发展, 2017, 42(1): 33-36.
- [21] ZHANG J, YANG Y, QU Y M, et al. Ecological

- compensation method of coral reef damage caused by human sea activities: case study of Sanya [J]. Environment and Sustainable Development, 2017, 42 (1): 33-36.
- [17] 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): 509-516.
- LI Y C, WU Z J, CHEN S Q, et al. Discussion of the diversity of the coral reef fish in the shallow reefs along the Yongxing and Qilianyu island [J]. Marine Environmental Science, 2017, 36(4): 509-516.
- [18] 张俊, 陈作志, 董俊德, 等. 近20年南海四带笛鲷(*Lutjanus kasmira*)种群特征变化[J]. 海洋与湖沼, 2020, 51(1): 114-124.
- ZHANG J, CHEN Z Z, DONG J D, et al. Variation in the population characteristics of blue-striped snapper *Lutjanus kasmira* in the South China Sea in recent 20 years [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2020, 51(1): 114-124.
- [19] 王腾, 石娟, 于洋飞, 等. 西沙珊瑚礁鱼类研究进展和保护建议[J]. 生态学杂志, 2023, 42(7): 1755-1763.
- WANG T, SHI J, YU Y F, et al. Research progress and conservation suggestions of coral reef fishes in the Xisha Islands [J]. Chinese Journal of Ecology, 2023, 42(7): 1755-1763.
- [20] ZHAO J F, LI C H, WANG T, et al. Composition and long-term variation characteristics of coral reef fish species in Yongle Atoll, Xisha Islands, China [J]. Biology, 2023, 12(8): 1062.
- [21] 李学林, 张汉羽, 刘刚, 等. 西沙孤立碳酸盐台地的地震层序及演化模式——以永乐环礁为例[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2020, 40(5): 87-96.
- LI X L, ZHANG H Y, LIU G, et al. Seismic sequence and evolution model of isolated carbonate platform—A case from Yongle Atoll, Xisha Islands [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2020, 40(5): 87-96.
- [22] 雷明凤, 余克服, 廖芝衡, 等. 西沙群岛银屿珊瑚礁的生态快速退化及其对鱼类的影响[J]. 热带海洋学报, 2024, 43(3): 87-99.
- LEI M F, YU K F, LIAO Z H, et al. The rapid ecological degradation and its impact on fish of the Yinyu Island in the Xisha Island [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2024, 43(3): 87-99.
- [23] 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.
- FU L. Coral reef fishes of the South China Sea, the Xisha, Nansha and Zhongsha Islands [M]. Beijing: CITIC Press, 2014.
- [24] 陈大刚, 张美昭. 中国海洋鱼类[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2015.
- CHEN D G, ZHANG M Z. Marine fishes of China [M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2015.
- [25] 黄晖. 西沙群岛珊瑚礁生物图册[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- HUANG H. Coral reef atlas of Xisha Islands [M]. Beijing: Science Press, 2018.
- [26] 王腾, 刘永, 李纯厚, 等. 西沙群岛七连屿珊瑚礁鱼类图谱[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
- WANG T, LIU Y, LI C H, et al. Atlas of coral reef fishes of Qilianyu Island, Xisha Islands [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2022.
- [27] SALE P F. The ecology of fishes on coral reefs[M]. San Diego: Academic Press, 1991: 47-51.
- [28] 国家水产总局南海水产研究所, 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: 1-573.
- South China Sea Fisheries Institute, China National Bureau of Aquatic Products, Xiamen Fisheries College, Institute of Oceanology, Academia Sinica, et al. The fishes of the islands in the South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 1979: 1-573.
- [29] 王腾, 刘永, 全秋梅, 等. 七连屿珊瑚礁鱼类种类组成特征分析[J]. 中国水产科学, 2022, 29(1): 102-117.
- WANG T, LIU Y, QUAN Q M, et al. Species composition characteristics analysis of Qilianyu reef fishes of Xisha Islands [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(1): 102-117.
- [30] ZINTZEN V, ANDERSON M J, ROBERTS C D, et al. Increasing variation in taxonomic distinctness reveals clusters of specialists in the deep sea [J]. Ecography, 2011, 34(2): 306-317.
- [31] MOUILLOT D, LAUNE J, TOMASINI J A, et al. Assessment of coastal lagoon quality with taxonomic diversity indices of fish, zoobenthos and macrophyte communities [J]. Hydrobiologia, 2005, 550(1): 121-130.
- [32] BARJAU-GONZÁLEZ E, RODRÍGUEZ-ROMERO J, GALVÁN-MAGAÑA F, et al. Changes in the taxonomic diversity of the reef fish community of San José Island, Gulf of California, Mexico [J]. Biodiversity and Conservation, 2012, 21(14): 3543-3554.
- [33] CLARKE K R, WARWICK R M. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness [J]. Marine Ecology Progress Series, 2001, 216: 265-278.
- [34] 邱书婷, 刘昕明, 陈彬, 等. 西沙群岛珊瑚礁鱼类多样性及分布格局[J]. 海洋环境科学, 2022, 41(3): 395-401.
- QIU S T, LIU X M, CHEN B, et al. Reef fish diversity and community pattern of the Xisha Islands, South China Sea [J]. Marine Environmental Science, 2022, 41(3): 395-401.

- [35] EDGAR G J, STUART-SMITH R D. Systematic global assessment of reef fish communities by the Reef Life Survey program[J]. *Scientific Data*, 2014, 1: 140007.
- [36] 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.
- YANG W D, HU J T, LIN B A, et al. Species diversity of coral reef fishes in Zhaoshu Island waters, Xisha Islands [J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2018, 57(6): 819-826.
- [37] 高永利, 黄晖, 练健生, 等. 西沙群岛礁栖鱼类物种多样性及其食性特征[J]. 生物多样性, 2014, 22(5): 618-623.
- GAO Y L, HUANG H, LIAN J S, et al. The species diversity and trophic structure of reef fishes in the waters of the Xisha Archipelago [J]. *Biodiversity Science*, 2014, 22(5): 618-623.
- [38] 王腾, 李纯厚, 赵金发, 等. 西沙东岛珊瑚礁鱼类种类组成特征与演变[J]. 水生生物学报, 2023, 47(9): 1456-1463.
- WANG T, LI C H, ZHAO J F, et al. The characteristics of species composition and succession of coral reef fishes in Xisha East Island [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, 47(9): 1456-1463.
- [39] ALVAREZ-FILIP L, REYES-BONILLA H, CALDERON-AGUILERA L E. Community structure of fishes in Cabo Pulmo Reef, Gulf of California [J]. *Marine Ecology*, 2006, 27(3): 253-262.
- [40] HOGAN J D, THIESSEN R J, SALE P F, et al. Local retention, dispersal and fluctuating connectivity among populations of a coral reef fish[J]. *Oecologia*, 2012, 168 (1): 61-71.
- [41] ALLEN G R. Indo-Pacific coral-reef fishes as indicators of conservation hotspots [C]//Proceedings of the Ninth International Coral Reef Symposium. Bali, 2000: 921-926.
- [42] CASTRO R M C, POLAZ C N M. Small-sized fish: the largest and most threatened portion of the megadiverse neotropical freshwater fish fauna [J]. *Biota Neotropica*, 2020, 20(1): e20180683.
- [43] MORA C. *Ecology of fishes on coral reefs* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.
- [44] PLANQUE B, FROMENTIN J M, CURY P, et al. How does fishing alter marine populations and ecosystems sensitivity to climate? [J]. *Journal of Marine Systems*, 2010, 79(3/4): 403-417.
- [45] VALENTINE J F, HECK K L. Perspective review of the impacts of overfishing on coral reef food web linkages [J]. *Coral Reefs*, 2005, 24(2): 209-213.
- [46] 孙典荣, 林昭进, 邱永松, 等. 西沙群岛重要珊瑚礁海域鱼类区系[J]. 南方水产, 2005, 1(5): 18-25.
- SUN D R, LIN Z J, QIU Y S, et al. Fish fauna of coral reef waters of the Xisha Islands[J]. *South China Fisheries Science*, 2005, 1(5): 18-25.
- [47] PAULY D, CHRISTENSEN V, GUÉNETTE S, et al. Towards sustainability in world fisheries [J]. *Nature*, 2002, 418(6898): 689-695.
- [48] 史贲荣, 李永振, 卢伟华, 等. 东沙群岛珊瑚礁海域鱼类物种分类多样性研究[J]. 南方水产, 2009, 5(2): 10-16.
- SHI Y R, LI Y Z, LU W H, et al. Taxonomic diversity of fish species in coral reef area from Dongsha Islands [J]. *South China Fisheries Science*, 2009, 5(2): 10-16.
- [49] 李圣法. 东海大陆架鱼类群落生态学研究—空间格局及其多样性[D]. 上海: 华东师范大学, 2005.
- LI S F. The ecological study for fish community in the East China Sea continental shelf: the spatial pattern and diversity [D]. Shanghai: East China Normal University, 2005.
- [50] 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.
- LI N N, DONG L N, LI Y Z, et al. Taxonomic diversity of fish species in the Daya Bay, the South China Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(6): 863-870.

## Fish species composition and differences in the coral reef area of the four islands in Yongle Atoll, Xisha Islands

KANG Zhipeng<sup>1,2</sup>, LIU Yong<sup>1,2</sup>, LI Chunhou<sup>1,2</sup>, ZHAO Jinfa<sup>1,2</sup>, SHI Juan<sup>1,2</sup>, WANG Teng<sup>1,2,3</sup>, XIE Hongyu<sup>1,2</sup>, XIAO Yayuan<sup>1,2</sup>, HUANG Hai<sup>1,3</sup>

(1. Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, Guangdong, China; 2. Scientific Observation and Research Station of Xisha Island Reef Fishery Ecosystem of Hainan Province, Sanya Tropical Fisheries Research Institute, Sanya 572018, Hainan, China; 3. Key Laboratory of Utilization and Conservation for Tropical Marine Bioresources, Ministry of Education, Hainan Tropical Ocean University, Sanya 572022, Hainan, China)

**Abstract:** In order to investigate the species characteristics of coral reef fishes in the four islands in Yongle Atoll (Jinqing Island, Antelope Reef, Quanfu Island, and Yinyu Island) of Xisha Islands, this study was conducted on the coral reef fishes of the four islands from 2020 to 2023 by using hand-fishing, diving fishing, and underwater video methods. The species composition, similarity, and taxonomic diversity of coral reef fishes in the four islands were analyzed, incorporating data from the survey conducted on Yinyu Island from 2020 to 2021. Additionally, the feeding type and individual size of coral reef fishes in the four islands were examined in conjunction with relevant literature. The findings indicate that: (1) There are 260 species of coral reef fishes in the four islands of Yongle Atoll in recent years, belonging to 40 families in 10 orders of 2 classes. Perciformes emerges as the predominant order, with Labridae, Pomacentridae, and Chaetodontidae exhibiting the highest number of species. (2) The coral reef fishes from the four islands of Yongle Atoll were primarily composed of carnivorous fishes, with a prevalence of medium and small fishes and the coefficient of similarity was significantly lower for large fish than for small and medium fish, indicating that the four reefs have been affected by fishing to varying extents. (3) The proportions of carnivorous fish and large fish displayed the following order: Jinqing Island > Antelope Reef > Quanfu Island > Yinyu Island, and the average classification difference index ( $\Delta^+$ ) followed the sequence: Jinqing Island (54.94) > Antelope Reef (53.30) > Quanfu Island (52.63) > Yinyu Island (52.05), which suggested a significant difference in the degree of human disturbance levels among four islands, with the disturbance ranking as Jinqing Island < Antelope Reef < Quanfu Island < Yinyu Island. The study conducted an in-depth analysis of the coral reef fish composition at the four islands in Yongle Atoll, analyzed the influence of human disturbance, which will offer a theoretical basis for promoting the sustainable development of coral reef fish resources in the Xisha Islands and provide references for the conservation and management of coral reef fish.

**Key words:** Xisha Islands; Yongle Atoll; coral reef fishes; taxonomic diversity; human disturbance

附表1 西沙群岛永乐四岛礁珊瑚礁区域鱼类物种名录  
Appendix 1 List of fish species in the coral reef area of the four islands in Yongle Atoll, Xisha Islands

序号 No.	科 Family	物种 Species	拉丁名 Latin name	晋卿岛 Jinqing Island	羚羊礁 Antelope Reef	全富岛 Quanfu Island	银屿 Yinyu Island
1	海鳝科 Muraenidae	白缘裸胸鳝	<i>Gymnothorax albimarginatus</i>		+	+	
2		爪哇裸胸鳝	<i>Gymnothorax javanicus</i>	+			
3		斑点裸胸鳝	<i>Gymnothorax meleagris</i>		+		+
4		花斑裸胸鳝	<i>Gymnothorax pictus</i>	+			
5		波纹裸胸鳝	<i>Gymnothorax undulatus</i>	+	+	+	
6	狗母鱼科 Synodontidae	云纹蛇鲻	<i>Saurida nebulosa</i>		+		
7	鱲科 Hemiramphidae	杜氏下鱲鱼	<i>Hyporhamphus dussumieri</i>	+			
8	颌针鱼科 Belonidae	琉球柱颌针鱼	<i>Strongylura incisa</i>	+			
9		黑背圆颌针鱼	<i>Tylosurus melanotus</i>	+			
10	金鳞鱼科 Holocentridae	康德锯鳞鱼	<i>Myripristis kuhnee</i>	+	+	+	+
11		白边锯鳞鱼	<i>Myripristis murdjan</i>	+	+		
12		紫红锯鳞鱼	<i>Myripristis violacea</i>	+	+	+	+
13		银色新东洋鳂	<i>Neoniphon argenteus</i>		+		
14		黑鳍新东洋鳂	<i>Neoniphon opercularis</i>	+	+	+	+
15		莎姆新东洋鳂	<i>Neoniphon sammara</i>	+	+	+	+
16		尾斑棘鳞鱼	<i>Sargocentron caudimaculatum</i>	+	+	+	+
17		黑鳍棘鳞鱼	<i>Sargocentron diadema</i>				+
18		黑点棘鳞鱼	<i>Sargocentron melanospilos</i>		+	+	+
19		斑纹棘鳞鱼	<i>Sargocentron punctatissimum</i>		+		+
20		尖吻棘鳞鱼	<i>Sargocentron spiniferum</i>	+	+		
21		白边棘鳞鱼	<i>Sargocentron violaceum</i>		+		
22	管口鱼科 Aulostomidae	中华管口鱼	<i>Aulostomus chinensis</i>				+
23	烟管鱼科 Fistulariidae	无鳞烟管鱼	<i>Fistularia commersonii</i>	+			
24	鲻科 Mugilidae	角瘤唇鲻	<i>Oedalechilus labiosus</i>	+			
25	刺尾鱼科 Acanthuridae	日本刺尾鱼	<i>Acanthurus japonicus</i>		+	+	+
26		纵带刺尾鱼	<i>Acanthurus lineatus</i>				+
27		褐斑刺尾鱼	<i>Acanthurus nigrofasciatus</i>				+
28		橙斑刺尾鱼	<i>Acanthurus olivaceus</i>			+	+
29		黑鳃刺尾鱼	<i>Acanthurus pyroferus</i>		+	+	
30		横带刺尾鱼	<i>Acanthurus triostegus</i>	+	+	+	+
31		黄鳍刺尾鱼	<i>Acanthurus xanthopterus</i>	+			+
32		双斑栉齿刺尾鱼	<i>Ctenochaetus binotatus</i>		+	+	+
33		栉齿刺尾鱼	<i>Ctenochaetus striatus</i>	+	+	+	+
34		青唇栉齿刺尾鱼	<i>Ctenochaetus cyanochelus</i>		+		+
35		短吻鼻鱼	<i>Naso brevirostris</i>	+	+		
36		六棘鼻鱼	<i>Naso hexacanthus</i>				+
37		颊吻鼻鱼	<i>Naso lituratus</i>	+	+	+	+
38		单角鼻鱼	<i>Naso unicornis</i>	+	+	+	+
39		小高鳍刺尾鱼	<i>Zebrasoma scopas</i>		+	+	
40		横带高鳍刺尾鱼	<i>Zebrasoma velifer</i>		+	+	
41	天竺鲷科 Apogonidae	菲律宾裸天竺鲷	<i>Gymnapogon philippinus</i>	+			
42	鲷科 Blenniidae	巴氏异齿鲷	<i>Ecsenius bathi</i>				+
43		金鳍稀棘鲷	<i>Meiacanthus atrodorsalis</i>		+	+	
44		黑带稀棘鲷	<i>Meiacanthus grammistes</i>		+		
45		云雀短带鳚	<i>Plagiotremus laudandus</i>		+		

·续表·

序号 No.	科 Family	物种 Species	拉丁名 Latin name	晋卿岛 Jinqing Island	羚羊礁 Antelope Reef	全富岛 Quanfu Island	银屿 Yinyu Island
46		窄体短带鳚	<i>Plagiotremus tapeinosoma</i>				+
47		细纹凤鳚	<i>Salarias fasciatus</i>	+			+
48	梅鲷科 Caesionidae	黄蓝背梅鲷	<i>Caesio teres</i>				+
49		黑带鳞鳍梅鲷	<i>Pterocaesio tile</i>		+	+	
50	鲹科 Carangidae	平线若鲹	<i>Carangoides ferdau</i>	+			
51		黑尻鲹	<i>Caranx melampygus</i>	+	+		+
52		六带鲹	<i>Caranx sexfasciatus</i>	+			
53		长颌似鲹	<i>Scomberoides lysan</i>	+	+		
54	蝴蝶鱼科 Chaetodontidae	项斑蝴蝶鱼	<i>Chaetodon adiergastos</i>				+
55		丝蝴蝶鱼	<i>Chaetodon auriga</i>	+	+	+	+
56		叉纹蝴蝶鱼	<i>Chaetodon auripes</i>		+	+	+
57		密点蝴蝶鱼	<i>Chaetodon citrinellus</i>	+	+		+
58		鞭蝴蝶鱼	<i>Chaetodon ephippium</i>		+		
59		珠蝴蝶鱼	<i>Chaetodon kleinii</i>		+	+	+
60		细纹蝴蝶鱼	<i>Chaetodon lineolatus</i>	+			+
61		新月蝴蝶鱼	<i>Chaetodon lunula</i>		+		+
62		弓月蝴蝶鱼	<i>Chaetodon lunulatus</i>	+	+	+	+
63		马达加斯加蝴蝶鱼	<i>Chaetodon madagaskariensis</i>		+		
64		黑背蝴蝶鱼	<i>Chaetodon melannotus</i>		+	+	+
65		华丽蝴蝶鱼	<i>Chaetodon ornatissimus</i>	+	+	+	+
66		斑带蝴蝶鱼	<i>Chaetodon punctatofasciatus</i>		+	+	+
67		格纹蝴蝶鱼	<i>Chaetodon rafflesii</i>	+	+	+	+
68		三纹蝴蝶鱼	<i>Chaetodon trifascialis</i>	+	+	+	+
69		三带蝴蝶鱼	<i>Chaetodon trifasciatus</i>				+
70		乌利蝴蝶鱼	<i>Chaetodon ulietensis</i>		+		+
71		斜纹蝴蝶鱼	<i>Chaetodon vagabundus</i>		+		
72		丽蝴蝶鱼	<i>Chaetodon wiebeli</i>	+		+	+
73		黄蝴蝶鱼	<i>Chaetodon xanthurus</i>		+	+	+
74		黄镊口鱼	<i>Forcipiger flavissimus</i>		+	+	+
75		多鳞霞蝶鱼	<i>Hemitaurichthys polylepis</i>		+	+	+
76		金口马夫鱼	<i>Heniochus chrysostomus</i>		+		+
77		四带马夫鱼	<i>Heniochus singularis</i>				+
78	鮨科 Cirrhitidae	尖头金鮨	<i>Cirrhitichthys oxycephalus</i>				+
79		翼鮨	<i>Cirrhitus pinnulatus</i>			+	+
80		副鮨	<i>Paracirrhites arcatus</i>	+	+	+	+
81	虾虎鱼科 Gobiidae	胸斑矶塘鳢	<i>Eviota prasites</i>				+
82		丝条凡塘鳢	<i>Valenciennea strigata</i>			+	
83	仿石鲈科 Haemulidae	斑胡椒鲷	<i>Plectrohinchus chaetodonoides</i>	+	+		
84		双带胡椒鲷	<i>Plectrohinchus diagrammus</i>	+			
85		条斑胡椒鲷	<i>Plectrohinchus vittatus</i>	+	+		+
86	鮈科 Kyphosidae	长鳍鮈	<i>Kyphosus cinerascens</i>	+	+	+	
87		低鳍鮈	<i>Kyphosus vaigiensis</i>	+	+		+
88	隆头鱼科 Labridae	黄尾阿南鱼	<i>Anampsese meleagrides</i>		+	+	
89		腋斑普提鱼	<i>Bodianus axillaris</i>		+	+	+
90		双带普提鱼	<i>Bodianus bilunulatus</i>				+
91		绿尾唇鱼	<i>Cheilinus chlorourus</i>	+	+		

·续表·

序号 No.	科 Family	物种 Species	拉丁名 Latin name	晋卿岛 Jinqing Island	羚羊礁 Antelope Reef	全富岛 Quanfu Island	银屿 Yinyu Island
92		横带唇鱼	<i>Cheilinus fasciatus</i>		+	+	+
93		尖头唇鱼	<i>Cheilinus oxycephalus</i>			+	
94		三叶唇鱼	<i>Cheilinus trilobatus</i>	+	+		+
95		蓝身丝隆头鱼	<i>Cirrhitabrus cyanopleura</i>				+
96		黑缘丝隆头鱼	<i>Cirrhitabrus melanomarginatus</i>		+	+	+
97		露珠盔鱼	<i>Coris gaimard</i>		+	+	+
98		伸口鱼	<i>Epibulus insidiator</i>	+	+	+	+
99		杂色尖嘴鱼	<i>Gomphosus varius</i>	+	+	+	+
100		双眼斑海猪鱼	<i>Halichoeres biocellatus</i>		+	+	+
101		格纹海猪鱼	<i>Halichoeres hortulanus</i>	+	+	+	+
102		缘鳍海猪鱼	<i>Halichoeres marginatus</i>				+
103		黑额海猪鱼	<i>Halichoeres prosopeion</i>		+		
104		三斑海猪鱼	<i>Halichoeres trimaculatus</i>	+	+	+	+
105		绿鳍海猪鱼	<i>Halichoeres chloropterus</i>				+
106		横带厚唇鱼	<i>Hemigymnus fasciatus</i>		+	+	+
107		黑鳍厚唇鱼	<i>Hemigymnus melapterus</i>	+	+	+	+
108		狭带细鳞盔鱼	<i>Hologymnos doliatus</i>				+
109		双色裂唇鱼	<i>Labroides bicolor</i>		+	+	+
110		裂唇鱼	<i>Labroides dimidiatus</i>	+	+	+	+
111		胸斑裂唇鱼	<i>Labroides pectoralis</i>				+
112		多纹褶唇鱼	<i>Labropsis xanthonota</i>		+	+	
113		珠斑大咽齿鱼	<i>Macropharyngodon meleagris</i>		+	+	+
114		带尾美鳍鱼	<i>Novaculichthys taeniourus</i>	+	+		
115		双斑尖唇鱼	<i>Oxycheilinus bimaculatus</i>		+		
116		双线尖唇鱼	<i>Oxycheilinus digramma</i>	+			
117		单带尖唇鱼	<i>Oxycheilinus unifasciatus</i>		+	+	+
118		姬拟唇鱼	<i>Pseudocheilinus evanidus</i>		+	+	
119		八带拟唇鱼	<i>Pseudocheilinus octotaenia</i>		+		
120		摩鹿加拟齿牙鱼	<i>Pseudodax moluccanus</i>		+		
121		黑星紫胸鱼	<i>Stethojulis bandanensis</i>				+
122		钝头锦鱼	<i>Thalassoma amblycephalum</i>		+	+	+
123		鞍斑锦鱼	<i>Thalassoma hardwicke</i>	+	+	+	+
124		新月锦鱼	<i>Thalassoma lunare</i>	+	+		
125		紫锦鱼	<i>Thalassoma purpureum</i>				+
126		纵纹锦鱼	<i>Thalassoma quinquevittatum</i>	+	+	+	+
127	裸颊鲷科 Lethrinidae	金带齿颌鲷	<i>Gnathodentex aureolineatus</i>	+	+	+	+
128		赤鳍裸颊鲷	<i>Lethrinus erythropterus</i>	+	+		
129		桔带裸颊鲷	<i>Lethrinus obsoletus</i>	+	+		
130		尖吻裸颊鲷	<i>Lethrinus olivaceus</i>	+	+		
131		红裸颊鲷	<i>Lethrinus rubrioperculatus</i>	+	+		
132		黄唇裸颊鲷	<i>Lethrinus xanthochilus</i>	+			
133		单列齿鲷	<i>Monotaxis grandoculis</i>	+	+		+
134	笛鲷科 Lutjanidae	叉尾鲷	<i>Aphareus furca</i>		+		
135		蓝短鳍笛鲷	<i>Aprion virescens</i>	+	+	+	
136		紫红笛鲷	<i>Lutjanus argentinimaculatus</i>	+			
137		白斑笛鲷	<i>Lutjanus bohar</i>		+	+	

·续表·

序号 No.	科 Family	物种 Species	拉丁名 Latin name	晋卿岛 Jinqing Island	羚羊礁 Antelope Reef	全富岛 Quanfu Island	银屿 Yinyu Island
138		隆背笛鲷	<i>Lutjanus gibbus</i>	+	+		
139		四线笛鲷	<i>Lutjanus kasmira</i>	+	+		
140		单斑笛鲷	<i>Lutjanus monostigma</i>	+			
141	小带鳚科 Microdesmidae	大口线塘鳢	<i>Nemateleotris magnifica</i>		+	+	+
142		黑尾鳍塘鳢	<i>Ptereleotris evides</i>		+	+	+
143	羊鱼科 Mullidae	黄带拟羊鱼	<i>Mulloidichthys flavolineatus</i>	+	+	+	+
144		无斑拟羊鱼	<i>Mulloidichthys vanicolensis</i>	+	+		+
145		条斑副绯鲤	<i>Parupeneus barberinus</i>	+	+		
146		圆口副绯鲤	<i>Parupeneus cyclostomus</i>	+	+		
147		印度副绯鲤	<i>Parupeneus indicus</i>	+			
148		多带副绯鲤	<i>Parupeneus multifasciatus</i>	+	+	+	+
149		黑斑副绯鲤	<i>Parupeneus pleurostigma</i>	+			
150		三带副绯鲤	<i>Parupeneus trifasciatus</i>		+	+	
151	金线鱼科 Nemipteridae	黄带锥齿鲷	<i>Pentapodus aureofasciatus</i>				
152		犬牙锥齿鲷	<i>Pentapodus caninus</i>		+	+	
153		双带眶棘鲈	<i>Scolopsis bilineata</i>		+	+	+
154		线纹眶棘鲈	<i>Scolopsis lineata</i>	+	+	+	+
155	拟鲈科 Pinguipedidae	四斑拟鲈	<i>Parapercis clathrata</i>		+	+	
156		太平洋拟鲈	<i>Parapercis pacifica</i>			+	
157	刺盖鱼科 Pomacanthidae	三点阿波鱼	<i>Apolemichthys trimaculatus</i>				+
158		双棘刺尻鱼	<i>Centropyge bispinosa</i>		+	+	
159		海氏刺尻鱼	<i>Centropyge heraldi</i>		+	+	+
160		福氏刺尻鱼	<i>Centropyge vrolikii</i>	+	+	+	+
161		黑斑月蝶鱼	<i>Genicanthus melanospilos</i>			+	
162		双棘甲尻鱼	<i>Pygoplites diacanthus</i>		+		
163	雀鲷科 Pomacentridae	金凹牙豆娘鱼	<i>Amblyglyphidodon aureus</i>				+
164		白腹凹牙豆娘鱼	<i>Amblyglyphidodon leucogaster</i>		+		
165		七带豆娘鱼	<i>Abudefduf septemfasciatus</i>	+			
166		五带豆娘鱼	<i>Abudefduf vaigiensis</i>	+	+	+	+
167		细鳞光鳃鱼	<i>Chromis lepidolepis</i>			+	
168		条尾光鳃鱼	<i>Chromis ternatensis</i>				+
169		蓝绿光鳃鱼	<i>Chromis viridis</i>		+		+
170		韦氏光鳃鱼	<i>Chromis weberi</i>				+
171		黄尾光鳃鱼	<i>Chromis xanthurus</i>				+
172		腋斑光鳃鱼	<i>Chromis atripectoralis</i>		+	+	
173		双斑光鳃鱼	<i>Chromis margaritifer</i>	+	+	+	+
174		卵形光鳃鱼	<i>Chromis ovatiformis</i>		+	+	
175		凡氏光鳃鱼	<i>Chromis vanderbilti</i>		+	+	+
176		狄氏椒雀鲷	<i>Plectroglyphidodon dickii</i>				+
177		眼斑椒雀鲷	<i>Stegastes lacrymatus</i>		+		+
178		勃氏金翅雀鲷	<i>Chrysiptera brownriggii</i>	+	+		
179		金头金翅雀鲷	<i>Chrysiptera chrysocephala</i>		+		
180		圆尾金翅雀鲷	<i>Chrysiptera cyanea</i>				+
181		双斑金翅雀鲷	<i>Chrysiptera biocellata</i>	+		+	+
182		胸斑眶锯雀鲷	<i>Plectroglyphidodon fasciolatus</i>				+
183		密鳃鱼	<i>Hemiglyphidodon plagiometopon</i>			+	+

·续表·

序号 No.	科 Family	物种 Species	拉丁名 Latin name	晋卿岛 Jinqing Island	羚羊礁 Antelope Reef	全富岛 Quanfu Island	银屿 Yinyu Island
184		安汶雀鲷	<i>Pomacentrus ambionensis</i>		+	+	
185		班卡雀鲷	<i>Pomacentrus bankanensis</i>		+		+
186		霓虹雀鲷	<i>Pomacentrus coelestis</i>		+	+	+
187		黑缘雀鲷	<i>Pomacentrus nigromarginatus</i>			+	
188		孔雀雀鲷	<i>Pomacentrus pavo</i>				+
189		菲律宾雀鲷	<i>Pomacentrus philippinus</i>		+	+	+
190		王子雀鲷	<i>Pomacentrus vaiuli</i>		+	+	+
191		克氏双锯鱼	<i>Amphiprion clarkii</i>		+	+	+
192		白条双锯鱼	<i>Amphiprion frenatus</i>		+		
193		白背双锯鱼	<i>Amphiprion sandaracinos</i>		+		
194		黑新箭齿雀鲷	<i>Neoglyphidodon melas</i>		+		
195		宅泥鱼	<i>Dascyllus aruanus</i>			+	+
196		黑尾宅泥鱼	<i>Dascyllus melanurus</i>			+	
197		三斑宅泥鱼	<i>Dascyllus trimaculatus</i>		+	+	+
198		网纹宅泥鱼	<i>Dascyllus reticulatus</i>		+		+
199	大眼鲷科 Priacanthidae	灰鳍异大眼鲷	<i>Heteropriacanthus cruentatus</i>	+			
200		金目大眼鲷	<i>Priacanthus hamrur</i>			+	
201	拟雀鲷科 Pseudochromidae	紫红背绣雀鲷	<i>Pictichromis diadema</i>		+	+	
202	鹦嘴鱼科 Scaridae	星眼绚鹦嘴鱼	<i>Calotomus carolinus</i>	+	+	+	
203		小鼻绿鹦嘴鱼	<i>Chlorurus microrhinos</i>	+	+	+	
204		蓝头绿鹦嘴鱼	<i>Chlorurus sordidus</i>	+	+	+	+
205		长头马鹦嘴鱼	<i>Hipposcarus longiceps</i>	+	+	+	
206		蓝臀鹦嘴鱼	<i>Scarus chameleon</i>	+			
207		弧带鹦嘴鱼	<i>Scarus dimidiatus</i>		+		+
208		绿唇鹦嘴鱼	<i>Scarus forsteni</i>	+	+	+	+
209		网纹鹦嘴鱼	<i>Scarus frenatus</i>	+			+
210		青点鹦嘴鱼	<i>Scarus ghobban</i>	+			
211		黑斑鹦嘴鱼	<i>Scarus globiceps</i>	+	+	+	+
212		黑鹦嘴鱼	<i>Scarus niger</i>			+	
213		黄鞍鹦嘴鱼	<i>Scarus oviceps</i>	+	+	+	+
214		绿领鹦嘴鱼	<i>Scarus prasiognathos</i>		+		
215		棕吻鹦嘴鱼	<i>Scarus psittacus</i>	+	+	+	+
216		截尾鹦嘴鱼	<i>Scarus rivulatus</i>	+	+		+
217		钝头鹦嘴鱼	<i>Scarus rubroviolaceus</i>	+	+		
218		许氏鹦嘴鱼	<i>Scarus schlegeli</i>	+	+	+	
219		刺鹦嘴鱼	<i>Scarus spinus</i>		+	+	
220	鲭科 Scombridae	小眼双线鲅	<i>Grammatocynus bicarinatus</i>	+			
221		裸狐鲣	<i>Gymnosarda unicolor</i>		+	+	
222	鮨科 Serranidae	红嘴烟鲈	<i>Aethaloperca rogaa</i>	+	+		
223		斑点九棘鲈	<i>Cephalopholis argus</i>	+	+	+	+
224		豹纹九棘鲈	<i>Cephalopholis leopardus</i>				+
225		索氏九棘鲈	<i>Cephalopholis sonnerati</i>		+		+
226		尾纹九棘鲈	<i>Cephalopholis urodetta</i>	+	+	+	+
227		横条石斑鱼	<i>Epinephelus fasciatus</i>		+	+	+
228		六角石斑鱼	<i>Epinephelus hexagonatus</i>		+	+	+
229		花点石斑鱼	<i>Epinephelus maculatus</i>	+			

·续表·

序号 No.	科 Family	物种 Species	拉丁名 Latin name	晋卿岛 Jinqing Island	羚羊礁 Antelope Reef	全富岛 Quanfu Island	银屿 Yinyu Island
230		蜂巢石斑鱼	<i>Epinephelus merra</i>	+	+	+	+
231		吻斑石斑鱼	<i>Epinephelus spilotoceps</i>				+
232		巨石斑鱼	<i>Epinephelus tauvina</i>	+			
233		紫红拟花鮨	<i>Mirolabrichthys pascalus</i>		+	+	
234		豹纹鮨棘鮨	<i>Plectropomus leopardus</i>	+			
235		白边侧牙鲈	<i>Variola albimarginata</i>		+	+	
236		侧牙鲈	<i>Variola louti</i>				+
237	篮子鱼科 Siganidae	银色篮子鱼	<i>Siganus argenteus</i>	+	+	+	+
238		凹吻篮子鱼	<i>Siganus corallinus</i>	+			
239		眼带篮子鱼	<i>Siganus puillus</i>	+			+
240		黑身篮子鱼	<i>Siganus punctatissimus</i>	+			
241		蟠纹篮子鱼	<i>Siganus vermiculatus</i>	+			
242		狐篮子鱼	<i>Siganus vulpinus</i>		+		
243	镰鱼科 Zanclidae	角镰鱼	<i>Zanclus cornutus</i>	+	+	+	+
244	鳞鲀科 Balistidae	波纹钩鳞鲀	<i>Balistapus undulatus</i>		+		+
245		黑边角鳞鲀	<i>Melichthys vidua</i>	+	+	+	+
246		叉斑锉鳞鲀	<i>Rhinecanthus aculeatus</i>			+	+
247		黑带锉鳞鲀	<i>Rhinecanthus rectangularis</i>	+		+	
248		黄鳍多棘鳞鲀	<i>Sufflamen chrysopterum</i>	+	+	+	+
249		金边黄鳞鲀	<i>Xanthichthys auromarginatus</i>			+	+
250	单角鲀科 Monacanthidae	拟态革鲀	<i>Aluterus scriptus</i>		+		
251		棘尾前孔鲀	<i>Cantherhines dumerili</i>	+	+	+	+
252		细斑前孔鲀	<i>Cantherhines pardalis</i>	+	+		
253	箱鲀科 Ostraciidae	粒突箱鲀	<i>Ostracion cubicus</i>	+	+		+
254		白点箱鲀	<i>Ostracion meleagris</i>		+	+	
255	鲀科 Tetraodontidae	纹腹叉鼻鲀	<i>Arothron hispidus</i>			+	+
256		辐纹叉鼻鲀	<i>Arothron mappa</i>		+	+	+
257		黑斑叉鼻鲀	<i>Arothron nigropunctatus</i>	+	+		+
258		横带扁背鲀	<i>Canthigaster valentini</i>		+		
259	鲼科 Myliobatidae	褐背蝠鲼	<i>Mobula tarapacana</i>		+		
260	角鲨科 Squalidae	日本角鲨	<i>Squalus japonicus</i>	+			

注:“+”表示物种在该岛礁附近海域出现。

Notes: "+" indicates that the species occurred in the waters adjacent to the island.