

DOI: 10.12264/JFSC2021-0122

## 七连屿珊瑚礁鱼类种类组成特征分析

王腾<sup>1,2</sup>, 刘永<sup>1,2</sup>, 全秋梅<sup>1</sup>, 肖雅元<sup>1</sup>, 吴鹏<sup>1</sup>, 李纯厚<sup>1,2</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, 广东珠江口生态系统野外科学观测研究站, 广东省渔业生态环境重点实验室, 广东 广州 510300;
2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州), 广东 广州 511458

**摘要:** 为了更好地了解和保护西沙群岛七连屿珊瑚礁生态系统和珊瑚礁鱼类, 本研究综合 2018—2020 年的调查结果及历史资料表明, 七连屿珊瑚礁海域目前共发现珊瑚礁鱼类 315 种, 区域物种密度为 12.6 种/km<sup>2</sup>。七连屿珊瑚礁鱼类隶属于 12 目 49 科, 以鲈形目(Perciformes)鱼类最多, 占总种类数的 79.05%; 其中 28 科鱼类(加上未发现的小带鲷科, 这 29 科鱼类组成了印度太平洋珊瑚礁鱼类的大部分物种)占总物种数的 89.52%。从科级层面对南海岛礁鱼类聚类分析表明, 七连屿珊瑚礁鱼类与越南近岸三个珊瑚礁岛鱼类相似度最高。七连屿珊瑚礁鱼类以小型鱼类最多, 占总种类数的 49.04%; 其次是中型鱼类, 为 31.09%; 大型鱼类占比仅为 19.87%。从食性类型来看, 肉食性鱼类最多, 为 163 种; 其次是杂食性鱼类, 91 种; 植食性鱼类最少, 61 种。与历史研究比较, 共有 37 种鱼类近年未发现, 以肉食性最多, 且大型鱼类全为肉食性鱼类, 表明七连屿珊瑚礁鱼类正遭受过度捕捞; 小型鱼类高达 66.57%, 这些大部分属于雀鲷科(Pomacentridae), 蝴蝶鱼科(Chaetodontidae)及隆头鱼科(Labridae)鱼类, 均为对珊瑚礁依赖程度高的鱼类, 表明七连屿珊瑚礁生态系统呈现显著衰退现象。因此保护七连屿珊瑚礁鱼类资源, 不仅要控制捕捞强度, 同时还要保护好这一独特的珊瑚礁栖息生境。

**关键词:** 珊瑚礁鱼类; 七连屿; 种类组成; 食性类型; 个体大小; 过度捕捞; 生境退化

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)01-0102-16

七连屿(16°55'N~17°00'N, 112°12'E~112°21'E)位于西沙宣德群岛东北部, 与永兴岛所在礁盘相隔仅约 4 海里, 由赵述岛、北岛、中岛、南岛、北沙洲、中沙洲、南沙洲、西沙洲、赵述门、东新沙洲、西新沙洲及其附近礁盘组成, 礁盘面积约 25 km<sup>2</sup>, 是典型的珊瑚礁生态系统。珊瑚礁分布于全球约 110 个国家, 其总面积占全部海域面积的 0.1%~0.5%, 已记录的礁栖生物占海洋生物总种类数的 30%<sup>[1]</sup>, 有 5000~8000 种鱼类生活在珊瑚礁海域, 超过海洋鱼类总种类数的 1/3<sup>[2-5]</sup>, 因此, 珊瑚礁被称为海洋中的热带雨林。

鱼类是珊瑚礁的重要组成部分, 是维系珊瑚

礁健康的必不可少的部分<sup>[6-7]</sup>。许多鱼类是珊瑚礁健康的重要指示物种, 如蝴蝶鱼(Chaetodontidae)等<sup>[8]</sup>。有些鱼类是珊瑚礁敌害生物长棘海星的捕食者, 如波纹唇鱼(*Cheilinus undulatus*)等。珊瑚礁区草食性鱼类食用珊瑚礁上的草皮海藻, 可以让海藻让出占据珊瑚的生存空间<sup>[7,9]</sup>, 促进珊瑚的附着和生长<sup>[10]</sup>, 为更多与珊瑚礁相关的生物提供繁殖和栖息空间<sup>[11]</sup>, 从而维系了珊瑚礁生态系统的健康与多样性<sup>[12]</sup>。

珊瑚礁生态系统不仅为珊瑚礁鱼类提供了栖息生境, 也是许多鱼类的主要食物来源, 珊瑚礁生态系统的退化会直接导致鱼类多样性的下降。

收稿日期: 2021-03-29; 修订日期: 2021-06-09.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0900803); 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项(GML2019ZD0605); 农业农村部财政专项(NFZX2018); 中国水产科学研究院基本科研业务费项目(2020TD16); 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资金项目(2021SD04, 2019TS28).

作者简介: 王腾(1986-), 男, 助理研究员, 研究方向为鱼类生态学. E-mail: wt3074589@163.com

通信作者: 李纯厚, 研究员, 从事水生生物学研究. E-mail: chunhou@scsfri.ac.cn

Coker 等<sup>[4]</sup>对全球珊瑚礁鱼类进行总结与分析, 发现有 320 种鱼类是严格依赖活珊瑚生存的。其中还有些鱼类以珊瑚为食, 如蝴蝶鱼。Darling 等<sup>[13]</sup>对 157 个位点的珊瑚礁立体结构研究表明, 珊瑚礁的三维结构越复杂, 珊瑚礁鱼类的多样性就越高, 同时发现珊瑚礁立体结构的复杂性非常依赖于活珊瑚。Wilson 等<sup>[14]</sup>对多项研究进行总结发现, 珊瑚覆盖度下降超过 10%, 珊瑚礁鱼类会减少 62%。珊瑚覆盖度灾难性的下降会严重导致鱼类多样性下降, 预计超过 75% 的珊瑚礁鱼类丰度会下降, 50% 的鱼类种类会下降到原来种群数量的一半以下<sup>[15]</sup>。

目前, 由于人类扰动及气候变化, 南海离岸的造礁石珊瑚覆盖率从接近 60% 下降到不足 20%, 南海的渔业资源受到了严重的威胁, 渔获量显著下降<sup>[16]</sup>。七连屿及永兴岛区域造礁石珊瑚也呈现显著下降, 从 2007 年的平均覆盖率 53.80% 下降到 2016 年的 5.44%<sup>[17]</sup>, 鱼类平均密度也由 2005 年的 3.10 ind/m<sup>2</sup> 下降到 2013 年 1.23 ind/m<sup>2</sup><sup>[18]</sup>。同时, 对七连屿区域鱼类的研究较为欠缺<sup>[18-20]</sup>, 而保护和修复七连屿珊瑚礁生态系统需要更为系统的鱼类研究。本研究结合历史资料, 系统总结了七连屿鱼类的物种名录, 研究不同大小及食性鱼类类群的分布, 探讨珊瑚礁鱼类的演变, 以期对七连屿珊瑚礁鱼类的保护和生态修复提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 鱼类物种名录的整理

收集整理已有七连屿珊瑚礁海域的历史研究中的鱼类物种名录<sup>[19,21]</sup>, 同时结合本研究 2018—2020 年调查研究结果。调查方法主要是通过购买七连屿的赵述岛渔获物样品。七连屿几乎所有渔民均分布于赵述岛, 赵述岛用于渔业捕捞的渔船均为小型渔船, 无法进行长距离作业。赵述岛与除七连屿外的最近岛屿是永兴岛-石岛, 距离为 16 km, 永兴岛附近有一处几千米深的海沟, 直接阻拦小渔船前往永兴岛。于 2018 年 7 月、9 月、11 月, 2019 年 4 月、9 月及 2020 年的 3 月、4 月各购买了一批渔获物, 每批次样品量不低于 150 kg; 雇佣渔民进行潜水采样, 主要是搭载于渔民晚上的潜水作业(全年海况良好情况下基本都会作业, 一年作业天数在 70~120 d)进行采样,

作业区域为七连屿整个海域, 主要顺带捕捞少量非经济和非保护的物种, 以上两种方式采集的样本均冰鲜保存并带回实验室解剖分析, 并初步了解其食性分类; 长期雇佣 1~2 名渔民记录捕捞日志, 每一捕捞日志均附上当天渔获的鱼类图片, 根据图片信息进行分析整理。

### 1.2 鱼类食性

参考 Peter<sup>[22]</sup>将鱼类食性分成 3 组, 分别是植食性(herbivores)、肉食性(carnivore)和杂食性(omnivores)。鱼类的食性组成信息参考 Peter<sup>[22]</sup>、FishBase 及《南海诸岛海域鱼类志》<sup>[21]</sup>进行综合分析, 每种鱼类的食性信息首先参考 Peter<sup>[22]</sup>的方法进行区分, 其次是参考 FishBase, 由于 FishBase 中的碎屑食性与 Peter<sup>[22]</sup>中的植食性分类基本重叠, 同时作者的解剖中也发现 FishBase 归类的碎屑食性也是植食性, 因此将 FishBase 中的碎屑食性全部归类为植食性, 其他食性信息不一致, 参考《南海诸岛海域鱼类志》<sup>[21]</sup>描述进行判定。

### 1.3 鱼类个体大小划分

研究从 FishBase 中获取鱼类的最大全长, 依据最大全长, 将七连屿珊瑚礁鱼类划分为 3 种类型, 小型鱼类: 最大全长 < 35 cm; 中型鱼类: 65 cm > 最大全长 ≥ 35 cm; 大型鱼类: 最大全长 ≥ 65 cm。

### 1.4 数据分析

单因素方差分析(one-way ANOVA)应用 SPSS 26.0 软件进行, 方差差异显著, 则进行多重比较; 方差具有同质性, 则进行 LSD (the least significant difference)检验; 方差不具同质性, 则选用非参数 Games-Howell 检验; 采用 Origin 2018 软件绘制箱体图。

聚类分析应用 Primer Premier 5.0 软件进行, 以不同地点珊瑚礁鱼类科级水平和科级物种数组成原始矩阵, 样本为地点, 变量为科级物种数。以 Bray-Curtis 相似性系数为基础构建不同地点的珊瑚礁鱼类相似性矩阵, 建立聚类分析图。

## 2 结果与分析

本研究于 2018—2020 年连续 3 年对七连屿珊瑚礁鱼类进行调查研究, 结合历史资料表明, 七连屿目前共发现鱼类 315 种(而七连屿礁盘面积仅为 25 km<sup>2</sup>)(图 1, 附表 1)。2018 年较以往研究新

发现鱼类最多, 达 108 种, 2020 年仍较 2019 年多发现新的鱼类 39 种, 因此, 可以断定七连屿原本拥有的珊瑚礁鱼类远比现在发现的种类要多。

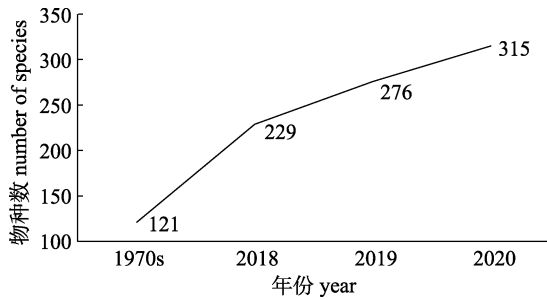


图 1 七连屿珊瑚礁鱼类随时间变化的物种数分布特征  
Fig. 1 Temporal variation of species number of coral reef fishes in Qilianyu Island

七连屿珊瑚礁鱼类隶属于硬骨鱼纲(Osteichthys) (314 种)和软骨鱼纲(Chondrichthyes) (1 种), 共由 12 个目组成, 分别是鲈形目(Perciformes)、鲉形目(Tetraodontiformes)、金眼鲷目(Beryciformes)、鳗鲡目(Anguilliformes)、颌针鱼目(Beloniformes)、刺尾鱼目(Gasterosteiformes)、鲉形目(Scorpaeniformes)、鲹形目(Pleuronectiformes)、鲻形目(Mugiliformes)、仙鱼目(Aulopiformes)、鼬鲷目(Ophidiiformes)和鲷目(Myliobatiformes)。其中鲈形目鱼类最多, 为 249 种, 占总种类的 79.05%; 其次是鲉形目 19 种、金眼鲷目 15 种、鳗鲡目 13 种; 其他目均低于 10 种(图 2)。七连屿珊瑚礁鱼类由 49 个科组成, 其中, 雀鲷科(Pomacentridae)最多, 达 32 种, 其

次是蝴蝶鱼科(Chaetodontidae) 28 种、鹦嘴鱼科(Scaridae) 24 种、隆头鱼科(Labridae) 23 种、刺尾鱼科(Acanthuridae) 21 种、鲷科(Serranidae) 17 种、鳃(金鳞鱼)科(Holocentridae) 15 种、裸颊鲷科(Lethrinidae) 14 种、笛鲷科(Lutjanidae) 12 种、海鲢科(Muraenidae) 11 种、羊鱼科(Mullidae) 10 种, 其他科的种类数均低于 10 种(图 3)。

根据 FishBase 的数据库资料, 获取了七连屿珊瑚礁鱼类的最大全长。七连屿珊瑚礁鱼类的最大全长从最小的五线叶虾虎鱼(*Gobiodon quinquestrigatus*)(4.5 cm)到最大的纳氏鰨(Aetobatus narinari)(330 cm), 均值为 46.71 cm。最大全长为 10~30 cm 的个体最多, 占总物种数的 46.35%, 绝大部分的个体(79.36%)最大全长不到 70 cm (图 4)。

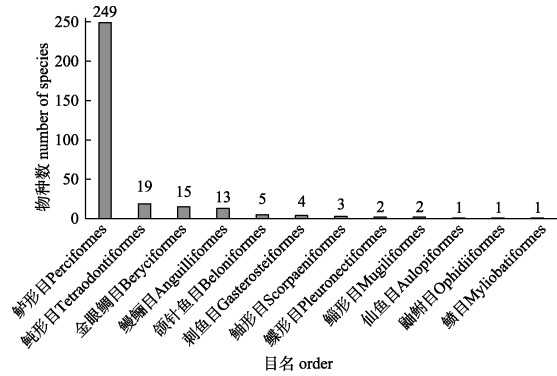


图 2 七连屿珊瑚礁鱼类目水平的物种数分布特征  
Fig. 2 The distribution characteristics of species number at the order level of coral reef fishes in Qilianyu Island

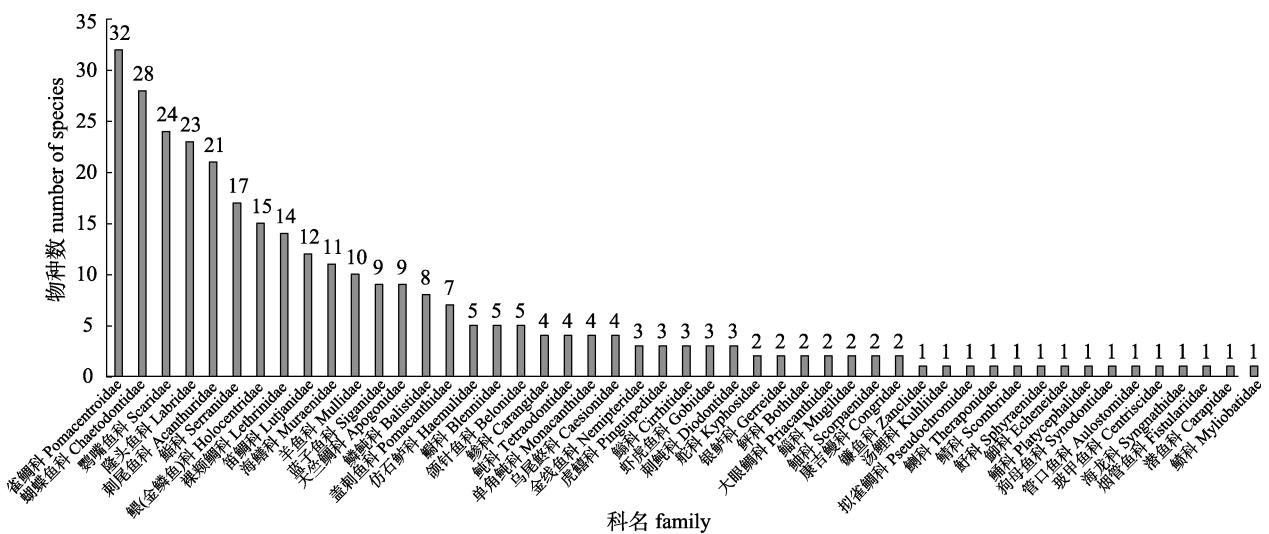


图 3 七连屿珊瑚礁鱼类科水平的物种数分布特征  
Fig. 3 The distribution characteristics of species number at the family level of coral reef fishes in Qilianyu Island

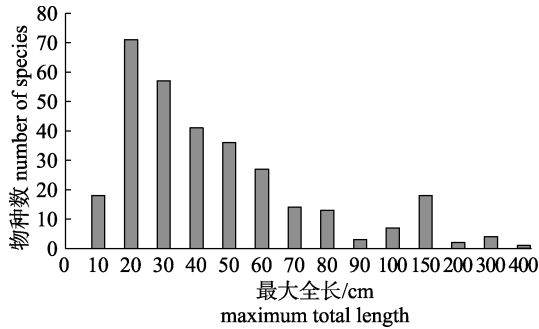


图 4 七连屿珊瑚礁鱼类的最大全长分布特征  
Fig. 4 Distribution characteristics of the maximum total length of fishes in the coral reef of Qiliany Island

七连屿鱼类以小型鱼类最多, 占总种类数的 49.04%; 其次是中型鱼类, 为 31.09%; 大型鱼类仅为 19.87%。因此, 七连屿珊瑚礁鱼类以中小型鱼类为主。

从食性类型来看, 七连屿肉食性鱼类最多, 为 163 种, 占七连屿物种数的 51.74%; 其次是杂食性鱼类, 91 种; 植食性鱼类最少, 61 种。大型鱼类以肉食性鱼类占绝对的优势, 占种类数的 79.03%; 中型鱼类以肉食性最多, 占中型鱼类种类数的 55.67%, 植食性次之, 为 35.05%; 小型鱼类以杂食性最多, 占小型鱼类种类数的 52.29%, 肉食性次之, 为 37.91%。肉食性鱼类在小型鱼类中分布最多, 但不同大小类型鱼类分布较为均匀; 植食性鱼类以中型鱼类占绝对优势; 而杂食性以小型鱼类占绝对优势, 高达 87.91% (图 5)。三种食性类型鱼类的最大个体全长差异显著, 以杂食性鱼类最小, 均值为 21.73 cm, 分布范围也最窄, 为 7.30~75 cm; 草食性鱼类稍大, 均值为 47.75 cm, 最大全长分布范围稍宽, 为 20~130 cm; 肉食性鱼类个体最大, 均值为 60.44 cm, 最大全长分布范围也最广, 为 8.5~300 cm (图 6)。

近年的调查与 20 世纪 70 年代比较表明, 共有 37 种鱼类近年未发现, 这些鱼类以肉食性最多, 为 19 种, 植食性鱼类最少, 仅 3 种。大型鱼类中, 全部为肉食性鱼类; 中型鱼类也是肉食性占绝对优势, 占未发现中型鱼类 66.67%; 高达 66.57% 的未发现鱼类为小型鱼类, 这些未发现的小型鱼类有 60% 属于雀鲷科、蝴蝶鱼科和隆头鱼科 (图 7)。

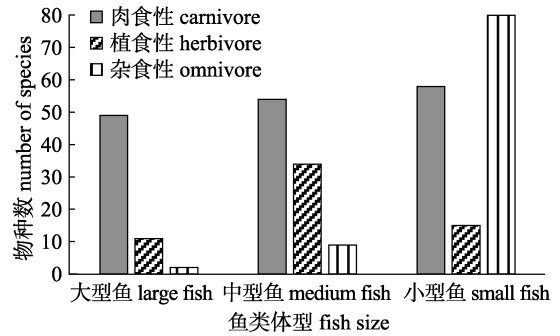


图 5 七连屿不同大小和食性类型珊瑚礁鱼类的分布特征  
Fig. 5 Distribution characteristics of coral reef fishes with different sizes and feeding habits in Qiliany Island

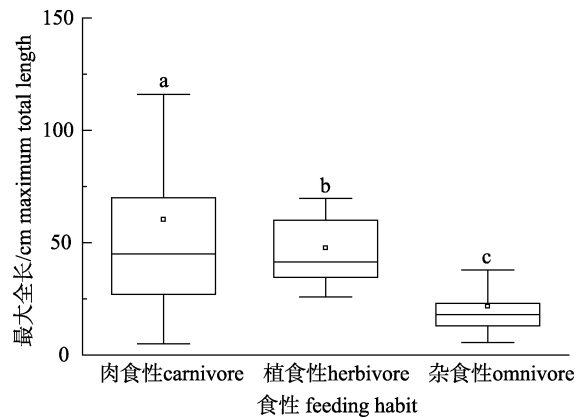


图 6 七连屿不同食性类型的珊瑚礁鱼类大小特征  
Fig. 6 Size characteristics of coral reef fishes with different feeding habits in Qiliany Island

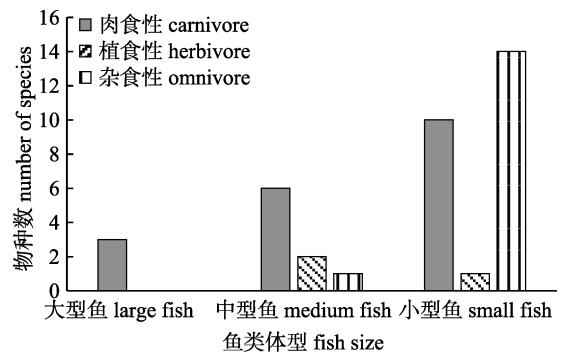


图 7 七连屿消亡的珊瑚礁鱼类个体大小及食性特征  
Fig. 7 The individual size and feeding habits of the disappearing coral reef fishes in Qiliany Island

### 3 讨论

在珊瑚礁海域, 珊瑚种类数(x)与鱼类种类数(y)存在显著的相关性( $y = -13.63 + 3.92x$ )<sup>[23]</sup>。西沙七连屿仅赵述岛海域记录的石珊瑚种类数就多达 72 种<sup>[24]</sup>, 李元超等<sup>[17]</sup>对七连屿和永兴岛的造礁石珊

瑚调查表明,这一区域石珊瑚总种类数达 113 种,如果将柳珊瑚计算在内,七连屿水域珊瑚的种类数不少于 100 种,由此可以推测七连屿珊瑚礁海域的鱼类种类数应在 400 种甚至更多。对比本研究结果,提示可能七连屿水域还有 100 种鱼类未被发现。这些未发现的鱼类有可能大部分已经消亡或者种群数量极少,一方面是因为本研究调查强度较大,连续不断地进行调查采样;另一方面是七连屿水域生境受人类的扰动较大<sup>[17-18]</sup>,生境的破坏会导致鱼类物种和数量的急剧下降。根据本研究结果,七连屿珊瑚礁鱼类已达到西沙珊瑚礁海域鱼类总数(643 种)的 50%<sup>[25]</sup>,比李媛洁等<sup>[20]</sup>研究发现的 175 种多了近 140 种。七连屿珊瑚礁鱼类的物种密度为 12.6 种/km<sup>2</sup>,这一水平远高于从国家和地区层面统计的密度,从最低的澳大利亚 0.037 种/km<sup>2</sup>到最高的台湾地区 1.462 种/km<sup>2</sup><sup>[26]</sup>;这一水平远高于近岸的徐闻珊瑚礁保护区 0.939 种/km<sup>2</sup><sup>[27]</sup>及涠洲岛珊瑚礁海域 3.924 种/km<sup>2</sup><sup>[28]</sup>,同样也高于远海的东沙群岛 2.173 种/km<sup>2</sup><sup>[29]</sup>,渚碧礁的 9.441 种/km<sup>2</sup><sup>[30]</sup>,而远低于太平岛的 58.25 种/km<sup>2</sup><sup>[29]</sup>,这是因为太平岛更接近于珊瑚礁三角区域<sup>[26]</sup>。

印度太平洋珊瑚礁水域共栖息了 100 多科鱼类,但是这一特殊水域的大部分物种仅隶属于很小比例的科,大量的鱼类物种由 29 科鱼类组成<sup>[31]</sup>,这些科分别是鮨科、羊鱼科、蓝子鱼科(Siganidae)、金线鱼科(Nemipteridae)、笛鲷科、仿石鲈科(Haemulidae)、裸颊鲷科、蝴蝶鱼科、隆头鱼科、天竺鲷科(Apogonidae)、雀鲷科、拟雀鲷科(Pseudochromidae)、刺尾鱼科、鹦嘴鱼科、鲷科(Cirrhitidae)、盖刺鱼科(Pomacanthidae)、鲈科(Carangidae)、虾虎鱼科(Gobiidae)、鳚科(Bleniidae)、鰕(金鳞鱼)科、鲉科(Tetraodontidae)、鳞鲉科(Balistidae)、单角鲉科(Monacanthidae)、鲉科(Scorpaenidae)、海鲳科、海龙科(Syngnathidae)、虎鯊科(Pinguipedidae)、乌尾鮨科(Caesionidae)和小带鰨科(Microdesmidae),本研究与这一结果非常吻合,除了小带鰨科未发现外,其他科均有分布,并且这 28 科鱼类的物种数占七连屿鱼类总物种数的 89.52%。本研究结果支持珊瑚礁鱼类的高

度连通性<sup>[32]</sup>造成物种趋同性这一珊瑚礁鱼类的经典理论。

为了进一步了解七连屿珊瑚礁鱼类与南海其他海域珊瑚礁鱼类的异同,从科级水平对南海主要珊瑚礁鱼类进行聚类分析,结果显示,七连屿与越南近岸的三个珊瑚礁岛(昏果岛、李山岛、昆岛)鱼类相似性最高,这可能是昏果岛与七连屿直线距离最近,同时珊瑚礁鱼类具有高度的连通性<sup>[32]</sup>。在 44.24% 的相似性水平下,聚为 2 枝:一枝是北部近岸的涠洲岛和徐闻珊瑚礁鱼类,这两个区域地理位置较近,且是我国大陆近岸成片珊瑚礁分布的最北缘区域,也是受到人类扰动最多的区域,因此物种组成相似性较高;另一枝是南海低纬度珊瑚礁鱼类,东沙群岛珊瑚礁鱼类也聚在低纬度岛礁鱼类中,这因为东沙群岛受到台湾暖流的影响,从而导致其与低纬度珊瑚礁高度相似(图 8)。

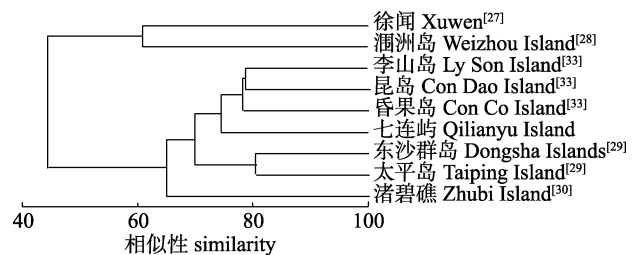


图 8 南海不同珊瑚礁海域鱼类物种的聚类分析

Fig. 8 Cluster analysis of coral fish in different coral reefs of South China Sea

Bellwood 等<sup>[34]</sup>研究指出大型肉食性鱼类出现下降是珊瑚礁鱼类过度捕捞的一种典型表现。近年来,七连屿消亡的大型鱼类全部为肉食性鱼类,这一结果表明七连屿珊瑚礁鱼类呈现过度捕捞状态。李元超等<sup>[18]</sup>对永兴岛及七连屿浅水礁区珊瑚礁鱼类近十年的研究表明,鱼类平均密度由 2005 年的 3.10 ind/m<sup>2</sup>下降到 2013 年的 1.23 ind/m<sup>2</sup>,北岛、西沙洲和赵述岛由 2005 年的 2.35~3.00 ind/m<sup>2</sup>下降到 2013 年的 0.85~1.43 ind/m<sup>2</sup>,认为导致鱼类数量及密度减少的主要原因是西沙群岛渔业活动的频繁以及超负荷的捕捞。李媛洁等<sup>[20]</sup>的研究也同样支持了这一观点,研究发现红唇鱼个体大小较 20 世纪 70 年代出现明显下降,同时众多 70 年代出现的物种未在 2018—2019 年的调查中出

现。近年来消亡的肉食性鱼类最多,这一结果进一步支持了七连屿珊瑚礁鱼类受到了过度捕捞影响,因为随着捕捞压力的增加,首先大个体鱼类减少,特别是肉食性鱼类减少<sup>[5]</sup>。

小型鱼类是近年来消亡最多的鱼类,其中雀鲷科、蝴蝶鱼科和隆头鱼科鱼类占了很大比重,这些鱼类对珊瑚礁的依赖程度高,甚至只能在活珊瑚栖息地中才可以生存<sup>[4]</sup>。这些鱼类是珊瑚礁生态系统健康的重要指示物种,其消亡说明活珊瑚的覆盖度下降,珊瑚礁生态系统退化。这一预测结果与珊瑚研究非常吻合,2004—2006年七连屿及永兴岛水域珊瑚覆盖率为 65.00%~70.00%,2007年由于长棘海星暴发<sup>[35]</sup>,该海域珊瑚礁出现严重退化,到 2009 年活珊瑚礁的覆盖率下降至 7.93%,截至 2016 年,这一区域活珊瑚礁的覆盖率不到 10%<sup>[17]</sup>。随着珊瑚覆盖度的下降,小型珊瑚礁鱼类最先受到影响,其丰度出现快速的显著下降,而大型鱼类丰度的变化一般会出现延后<sup>[4,14]</sup>,这一结果也与本研究结果高度一致。

目前七连屿珊瑚礁生态系统受到了人类活动严重影响,一方面是过度捕捞导致珊瑚礁渔业出现显著的衰退<sup>[18]</sup>;另一方面是长棘海星暴发<sup>[35]</sup>及其他一些生态危害,造成了本海域珊瑚覆盖率显著下降和栖息地消失<sup>[17]</sup>,继而造成珊瑚鱼类的灭绝<sup>[36-37]</sup>。因此保护七连屿珊瑚礁鱼类资源,不仅要控制捕捞强度,同时还要保护好这一独特的珊瑚礁栖息生境。

## 参考文献

- [1] Smith S V. Coral-reef area and the contributions of reefs to processes and resources of the world' oceans[J]. *Nature*, 1978, 273(5659): 225-226.
- [2] Hixon M A. 60 years of coral reef fish ecology: Past, present, future[J]. *Bulletin of Marine Science*, 2011, 87(4): 727-765.
- [3] Bellwood D R, Renema W, Rosen B R. Biodiversity hotspots, evolution and coral reef biogeography[M]//*Biotic Evolution and Environmental Change in Southeast Asia*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012: 216-245.
- [4] 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.
- [5] Kirk Cochran J, Bokuniewicz H J, Yager P L. *Encyclopedia of Ocean Sciences*[M]. Third Edition. Amsterdam: Elsevier, 2019.
- [6] Niu W T, Liu Y X, Lin R C. Research progress of the health assessment method of coral reef ecosystem[J]. *Journal of Marine Sciences*, 2009, 27(4): 77-85. [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.]
- [7] Wu Y Y, Lei X M, Huang H, et al. Study on the health assessment method of typical coral reef ecosystem in the South China Sea[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2021, 40(4): 84-97. [吴莹莹, 雷新明, 黄晖, 等. 南海典型珊瑚礁生态系统健康评价方法研究[J]. *热带海洋学报*, 2021, 40(4): 84-97.]
- [8] Reese E S. Reef fishes as indicators of conditions on coral reefs[J]. *Oceanographic Literature Review*, 1995, 42(8): 673.
- [9] Vermeij M J A, Marhaver K L, Huijbers C M, et al. Coral larvae move toward reef sounds[J]. *PLoS One*, 2010, 5(5): e10660.
- [10] Paddock M J, Reynolds J D, Aguilar C, et al. Recent region-wide declines in Caribbean reef fish abundance[J]. *Current Biology*, 2009, 19(7): 590-595.
- [11] Edwards C B, Friedlander A M, Green A G, et al. Global assessment of the status of coral reef herbivorous fishes: Evidence for fishing effects[J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2014, 281(1774): 20131835.
- [12] Cheal A J, MacNeil M A, Cripps E, et al. Coral-macroalgal phase shifts or reef resilience: Links with diversity and functional roles of herbivorous fishes on the Great Barrier Reef[J]. *Coral Reefs*, 2010, 29(4): 1005-1015.
- [13] Darling E S, Graham N A J, Januchowski-Hartley F A, et al. Relationships between structural complexity, coral traits, and reef fish assemblages[J]. *Coral Reefs*, 2017, 36(2): 561-575.
- [14] Wilson S K, Graham N A J, Pratchett M S, et al. Multiple disturbances and the global degradation of coral reefs: Are reef fishes at risk or resilient?[J]. *Global Change Biology*, 2006, 12(11): 2220-2234.
- [15] Jones G P, McCormick M I, Srinivasan M, et al. Coral decline threatens fish biodiversity in marine reserves[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(21): 8251-8253.
- [16] Huang H, Zhang Y Y, Liu C Y. Coral reef habitat and resources restoration in tropical island marine ranching[J]. *Science & Technology for Development*, 2020, 16(2): 225-230. [黄晖, 张浴阳, 刘骋跃. 热带岛礁型海洋牧场中珊瑚礁生境与资源的修复[J]. *科技促进发展*, 2020, 16(2): 225-230.]
- [17] Li Y C, Chen S Q, Zheng X Q, et al. Analysis of the change of hermatypic corals in Yongxing Island and Qilianyuan Island

- in nearly a decade[J]. Haiyang Xuebao, 2018, 40(8): 97-109. [李元超, 陈石泉, 郑新庆, 等. 永兴岛及七连屿造礁石珊瑚近 10 年变化分析[J]. 海洋学报, 2018, 40(8): 97-109.]
- [18] 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 Qilianyuan island[J]. Marine Environmental Science, 2017, 36(4): 509-516. [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.]
- [19] 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. [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.]
- [20] Li Y J, Chen Z Z, Zhang J, et al. Species and taxonomic diversity of Qilianyuan Island reef fish in the Xisha Islands[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(7): 815-823. [李媛洁, 陈作志, 张俊, 等. 西沙群岛七连屿礁栖鱼类物种和分类多样性[J]. 中国水产科学, 2020, 27(7): 815-823.]
- [21] 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. [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.]
- [22] Peter F S. The Ecology of Fishes on Coral Reefs[M]. California: Academic Press, 1991.
- [23] Öhman M C, Rajasuriya A, Ólafsson E. Reef fish assemblages in north-western Sri Lanka: Distribution patterns and influences of fishing practises[J]. Environmental Biology of Fishes, 1997, 49(1): 45-61.
- [24] Zou R L. Further analysis on the community structure of the hermatypic corals of the Xisha Qundao (Hsisha Islands), Guangdong Sheng (Kwangtung Province), China[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1980, 2(3): 98-110. [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.]
- [25] 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. [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.]
- [26] Allen G R. Conservation hotspots of biodiversity and endemism for Indo-Pacific coral reef fishes[J]. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2008, 18(5): 541-556.
- [27] Yang G H, Hou X Q, Chen C L, et al. Fish species composition in the coral reef of coastal Xuwen County[J]. Fisheries Science, 2008, 27(10): 533-538. [杨国欢, 侯秀琼, 陈春亮, 等. 徐闻珊瑚礁保护区鱼类种类组成初步研究[J]. 水产科学, 2008, 27(10): 533-538.]
- [28] Zou Q, Wu Z Q, Huang L L, et al. Coral reef fish species composition in Weizhou Island, Guangxi[J]. Journal of Southern Agriculture, 2020, 51(1): 1-10. [邹琦, 吴志强, 黄亮亮, 等. 广西涠洲岛珊瑚礁海域鱼类物种组成的调查分析[J]. 南方农业学报, 2020, 51(1): 1-10.]
- [29] Shao K T, Chen J P, Chen C Y, et al. Species composition and geographical distribution of fishes in Tungsha Island and Taiping Island in the South China Sea[J]. Biodiversity Science, 2011, 19(6): 737-763. [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.]
- [30] 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. [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.]
- [31] Allen G R. Indo-Pacific coral-reef fishes as indicators of conservation hotspots[C]//Proceedings of the Ninth International Coral Reef Symposium, Bali, Indonesia, 2000, 2: 921-926.
- [32] 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.
- [33] Van Nguyen L, Mai D X. Reef fish fauna in the coastal waters of Vietnam[J]. Marine Biodiversity, 2020, 50: Article No.100.
- [34] Bellwood D R, Hughes T P, Folke C, et al. Confronting the coral reef crisis[J]. Nature, 2004, 429(6994): 827-833.
- [35] Li Y C, Wu Z J, Liang J L, et al. Analysis on the outbreak period and cause of *Acanthaster planci* in Xisha Islands in recent 15 years[J]. Chinese Science Bulletin, 2019, 64(33): 3478-3484. [李元超, 吴钟解, 梁计林, 等. 近 15 年西沙群岛长棘海星暴发周期及暴发原因分析[J]. 科学通报, 2019, 64(33): 3478-3484.]
- [36] Dulvy N K, Sadovy Y, Reynolds J D. Extinction vulnerability in marine populations[J]. Fish and Fisheries, 2003, 4(1): 25-64.
- [37] Pratchett M S, Munday P L, Wilson S K, et al. Effects of climate-induced coral bleaching on coral-reef fishes—ecological and economic consequences[J]. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 2008, 46: 251-296.

## Species composition characteristics analysis of Qilianyu reef fishes of Xisha Islands

WANG Teng<sup>1,2</sup>, LIU Yong<sup>1,2</sup>, QUAN Qiumei<sup>1</sup>, XIAO Yayuan<sup>1</sup>, WU Peng<sup>1</sup>, LI Chunhou<sup>1,2</sup>

1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Observation and Research Station of Pearl River Estuary Ecosystem, Guangdong Province; Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Guangzhou 510300, China;
2. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou 511458, China

**Abstract:** Coral reef ecosystems harbor the highest biodiversity of all marine ecosystems and are known as the “tropical rainforests in the ocean.” Fish biodiversity in coral reef ecosystems is extremely rich, as high as 1/3 of the total number of marine fishes. Importantly, reef fishes are the major source of protein for many island nations and account for approximately 10% of the global fisheries catch. Fish are an important part of coral reefs and an essential part of maintaining the health of coral reefs. Coral reef ecosystems provide habitat and the primary food sources for coral reef fishes. At present, the coral reef ecosystem off the coast of the South China Sea is experiencing a significant decline, fishery resources are under a serious threat, and catches have decreased significantly. To better understand and protect the coral reef ecosystem and fishes in the Qilian reef of Xisha Islands, we conducted comprehensive surveys from 2018 to 2020. Historical data showed that 315 fish species were found in Qilianyu Island, belonging to 49 families and 12 orders. Perciformes was the largest, accounting for 79.05%. A large number of fish species in Indo-Pacific coral reefs were composed of 29 families. In our survey, except for Microdesmidae, which was not found in this study, other 28 families were recorded and accounted for 89.52% of the total number of species. The results supported the classic theory of the high connectivity of coral reef fish. The cluster analysis of fishes on the reefs of the South China Sea at the family level showed that the coral reef fishes of Qilianyu were the most similar to the fishes of the three offshore reef islands in Vietnam. Overall, small fishes were the most abundant, accounting for 49.04%, followed by medium-sized fishes with 31.09%, and large-sized fishes with only 19.87%. Regarding food types, carnivorous fish were the most abundant with 163 species, followed by omnivorous fish with 91 species and herbivorous fish were the least with 61 species. A total of 37 fish species, mostly carnivorous species, were not found in recent years compared with the historical research data. Furthermore, large fishes were all carnivorous, indicating that the Qilianyu coral reef fishes are being overfished. The number of small fishes was as high as 66.57%, and most of these fish belonged to Pomacentridae, Chaetodontidae, and Labridae, which were all highly dependent on coral reefs, indicating a significant decline in the Qilianyu coral reef ecosystem. According to the number of coral species, it can be inferred that the number of fish species in the Qilianyu coral reef area would be 400 or more, indicating a rich fish diversity. However, nearly 100 species were not recorded in recent surveys, further indicating that the coral reef ecosystem has been severely disturbed by human and has declined. At present, the coral reef ecosystem of Qilianyu has been greatly affected by human activities, especially overfishing, which has led to an instability of the coral reef ecosystem. Therefore, protecting Qilianyu coral reef fish resources requires the control of fishing intensity and protection of this unique coral reef habitat.

**Key words:** coral reef fish; Qilianyu Island; species composition; feeding type; individual size; overfishing; habitat degradation

**Corresponding author:** LI Chunhou. E-mail: chunhou@scsfri.ac.cn



附表 1 七连屿珊瑚礁鱼类名录  
Tab. S1 List of coral reef fishes in Qilianyu

科名 family	种名 species	食性类型 feeding type	1970s	2018–2020	
鲷科 Serranidae	静拟花鲷	<i>Pseudanthias tuka</i>	肉食性 carnivore	+	
	白边侧牙鲷	<i>Variola albimarginata</i>	肉食性 carnivore	+	
	侧牙鲷	<i>Variola louti</i>	肉食性 carnivore	+	
	斑点九棘鲷	<i>Cephalopholis argus</i>	肉食性 carnivore	+	
	尾纹九棘鲷	<i>Cephalopholis urodeta</i>	肉食性 carnivore	+	
	六斑九棘鲷	<i>Cephalopholis sexmaculata</i>	肉食性 carnivore	+	
	青星九棘鲷	<i>Cephalopholis miniata</i>	肉食性 carnivore	+	
	蜂巢石斑鱼	<i>Epinephelus merra</i>	肉食性 carnivore	+	
	六角石斑鱼	<i>Epinephelus hexagonatus</i>	肉食性 carnivore	+	
	巨石斑鱼	<i>Epinephelus tauvina</i>	肉食性 carnivore	+	
	花点石斑鱼	<i>Epinephelus maculatus</i>	肉食性 carnivore	+	
	横条石斑鱼	<i>Epinephelus fasciatus</i>	肉食性 carnivore	+	
	棕点石斑鱼	<i>Epinephelus fuscoguttatus</i>	肉食性 carnivore	+	
	吻斑石斑鱼	<i>Epinephelus spilotoceps</i>	肉食性 carnivore	+	
	鞍带石斑鱼	<i>Epinephelus lanceolatus</i>	肉食性 carnivore	+	
	黑鞍鳃棘鲷	<i>Plectropomus laevis</i>	肉食性 carnivore	+	
	红嘴烟鲷	<i>Aethaloperca rogae</i>	肉食性 carnivore	+	
	舵鱼科 Kyphosidae	低鳍舵鱼	<i>Kyphosus vaigiensis</i>	植食性 herbivore	+
		长鳍舵鱼	<i>Kyphosus cinerascens</i>	植食性 herbivore	+
银鲷科 Gerreidae	奥奈银鲷	<i>Gerres oyena</i>	肉食性 carnivore	+	
	长圆银鲷	<i>Gerres oblongus</i>	肉食性 carnivore	+	
羊鱼科 Mullidae	二带副绯鲤	<i>Parupeneus trifasciatus</i>	肉食性 carnivore	+	
	条斑副绯鲤	<i>Parupeneus barberinus</i>	肉食性 carnivore	+	
	黑斑副绯鲤	<i>Parupeneus pleurostigma</i>	肉食性 carnivore	+	
	多带副绯鲤	<i>Parupeneus multifasciatus</i>	肉食性 carnivore	+	
	圆口副绯鲤	<i>Parupeneus cyclostomus</i>	肉食性 carnivore	+	
	印度副绯鲤	<i>Parupeneus indicus</i>	肉食性 carnivore	+	
	短须副绯鲤	<i>Parupeneus ciliatus</i>	肉食性 carnivore	+	
	无斑拟羊鱼	<i>Mulloidichthys vanicolensis</i>	肉食性 carnivore	+	
	黄带拟羊鱼	<i>Mulloidichthys flavolineatus</i>	肉食性 carnivore	+	
汤鲤科 Kuhliidae	马六甲绯鲤	<i>Upeneus moluccensis</i>	肉食性 carnivore	+	
	鲷形汤鲤	<i>Kuhlia mugil</i>	肉食性 carnivore	+	
蓝子鱼科 Siganidae	凹吻蓝子鱼	<i>Siganus corallinus</i>	植食性 herbivore	+	
	褐蓝子鱼	<i>Siganus fuscescens</i>	植食性 herbivore	+	
	眼带蓝子鱼	<i>Siganus puellus</i>	植食性 herbivore	+	
	黑身蓝子鱼	<i>Siganus punctatissimus</i>	植食性 herbivore	+	
	狐蓝子鱼	<i>Siganus vulpinus</i>	植食性 herbivore	+	
	银色蓝子鱼	<i>Siganus argenteus</i>	植食性 herbivore	+	
	斑蓝子鱼	<i>Siganus punctatus</i>	植食性 herbivore	+	
	蠕纹蓝子鱼	<i>Siganus vermiculatus</i>	植食性 herbivore	+	
蓝子鱼未定种	<i>Siganus sp.</i>	植食性 herbivore	+		
金线鱼科 Nemipteridae	线纹眶棘鲷	<i>Scolopsis lineata</i>	肉食性 carnivore	+	
	双线眶棘鲷	<i>Scolopsis Bilineatus</i>	肉食性 carnivore	+	

(待续 to be continued)

(续附表 1 Tab.S1 to be continued)

科名 family	种名	species	食性类型 feeding type	1970s	2018–2020
金线鱼科 Nemipteridae	乌面眶棘鲈	<i>Scolopsis affinis</i>	肉食性 carnivore		+
笛鲷科 Lutjanidae	斑点羽鳃笛鲷	<i>Macolor macularis</i>	肉食性 carnivore		+
	黑背羽鳃笛鲷	<i>Macolor niger</i>	肉食性 carnivore	+	+
	紫红笛鲷	<i>Lutjanus argentimaculatus</i>	肉食性 carnivore		+
	白斑笛鲷	<i>Lutjanus bohar</i>	肉食性 carnivore	+	+
	隆背笛鲷	<i>Lutjanus gibbus</i>	肉食性 carnivore	+	+
	四线笛鲷	<i>Lutjanus kasmira</i>	肉食性 carnivore	+	+
	焦黄笛鲷	<i>Lutjanus fulvus</i>	肉食性 carnivore	+	+
	金焰笛鲷	<i>Lutjanus fulviflamma</i>	肉食性 carnivore	+	
	单斑笛鲷	<i>Lutjanus monostigma</i>	肉食性 carnivore		+
	蓝短鳍笛鲷	<i>Aprion virescens</i>	肉食性 carnivore		+
	叉尾鲷	<i>Aphareus furca</i>	肉食性 carnivore	+	+
	黄背若梅鲷	<i>Paracaesio xanthura</i>	肉食性 carnivore	+	
	乌尾鲈科 Caesionidae	褐梅鲷	<i>Caesio caeruleaurea</i>	肉食性 carnivore	+
新月梅鲷		<i>Caesio lunaris</i>	肉食性 carnivore	+	
黑带鳞鳍梅鲷		<i>Pterocaesio tile</i>	肉食性 carnivore	+	+
双带鳞鳍梅鲷		<i>Pterocaesio digramma</i>	肉食性 carnivore	+	
仿石鲈科 Haemulidae	斑胡椒鲷	<i>Plectorhinchus chaetodonoides</i>	肉食性 carnivore	+	+
	条斑胡椒鲷	<i>Plectorhinchus vittatus</i>	肉食性 carnivore		+
	黄点胡椒鲷	<i>Plectorhinchus flavomaculatus</i>	肉食性 carnivore		+
	双带胡椒鲷	<i>Plectorhinchus diagrammus</i>	肉食性 carnivore	+	+
	条纹胡椒鲷	<i>Plectorhinchus lineatus</i>	肉食性 carnivore	+	+
大眼鲷科 Priacanthidae	金目大眼鲷	<i>Priacanthus hamrus</i>	肉食性 carnivore		+
	灰鳍异大眼鲷	<i>Heteropriacanthus cruentatus</i>	肉食性 carnivore		+
裸颊鲷科 Lethrinidae	扁裸颊鲷	<i>Lethrinus lentjan</i>	肉食性 carnivore		+
	小牙裸颊鲷	<i>Lethrinus microdon</i>	肉食性 carnivore		+
	桔带裸颊鲷	<i>Lethrinus obsoletus</i>	肉食性 carnivore		+
	阿氏裸颊鲷	<i>Lethrinus atkinsoni</i>	肉食性 carnivore		+
	杂色裸颊鲷	<i>Lethrinus variegatus</i>	肉食性 carnivore	+	+
	赤鳍裸颊鲷	<i>Lethrinus erythropterus</i>	肉食性 carnivore		+
	红棘裸颊鲷	<i>Lethrinus erythracanthus</i>	肉食性 carnivore		+
	红裸颊鲷	<i>Lethrinus rubrioperculatus</i>	肉食性 carnivore		+
	红鳍裸颊鲷	<i>Lethrinus haematopterus</i>	肉食性 carnivore		+
	黄唇裸颊鲷	<i>Lethrinus xanthochilus</i>	肉食性 carnivore		+
	裸颊鲷未定种	<i>Lethrinus sp.</i>	肉食性 carnivore		+
	尖吻裸颊鲷	<i>Lethrinus olivaceus</i>	肉食性 carnivore		+
	单列齿鲷	<i>Monotaxis grandoculis</i>	肉食性 carnivore		+
	金带齿颌鲷	<i>Gnathodentex aureolineatus</i>	肉食性 carnivore		+
镰鱼科 Zanclidae	角镰鱼	<i>Zanclus cornutus</i>	植食性 herbivore	+	+
蝴蝶鱼科 Chaetodontidae	鞭蝴蝶鱼	<i>Chaetodon ephippium</i>	杂食性 omnivore	+	+
	叉纹蝴蝶鱼	<i>Chaetodon auripes</i>	杂食性 omnivore		+
	黑背蝴蝶鱼	<i>Chaetodon melannotus</i>	杂食性 omnivore	+	+
	三带蝴蝶鱼	<i>Chaetodon trifasciatus</i>	杂食性 omnivore	+	+
	格纹蝴蝶鱼	<i>Chaetodon rafflesii</i>	杂食性 omnivore		+
	丝蝴蝶鱼	<i>Chaetodon auriga</i>	杂食性 omnivore	+	+

(待续 to be continued)

(续附表 1 Tab.S1 to be continued)

科名 family	种名	species	食性类型 feeding type	1970s	2018–2020
	黄尾蝴蝶鱼	<i>Chaetodon xanthurus</i>	杂食性 omnivore		+
	细纹蝴蝶鱼	<i>Chaetodon lineolatus</i>	杂食性 omnivore	+	+
	镜斑蝴蝶鱼	<i>Chaetodon speculum</i>	杂食性 omnivore		+
	丽蝴蝶鱼	<i>Chaetodon wiebeli</i>	杂食性 omnivore		+
	单斑蝴蝶鱼	<i>Chaetodon unimaculatus</i>	杂食性 omnivore		+
	三纹蝴蝶鱼	<i>Chaetodon trifascialis</i>	杂食性 omnivore	+	+
	新月蝴蝶鱼	<i>Chaetodon lunula</i>	杂食性 omnivore	+	+
	马达加斯加蝴蝶鱼	<i>Chaetodon madagaskariensis</i>	杂食性 omnivore	+	+
	斜纹蝴蝶鱼	<i>Chaetodon vagabundus</i>	杂食性 omnivore		+
	华丽蝴蝶鱼	<i>Chaetodon ornatissimus</i>	杂食性 omnivore		+
	乌利蝴蝶鱼	<i>Chaetodon ulietensis</i>	杂食性 omnivore		+
	纹带蝴蝶鱼	<i>Chaetodon falcula</i>	杂食性 omnivore		+
	密点蝴蝶鱼	<i>Chaetodon citrinellus</i>	杂食性 omnivore	+	
	双丝蝴蝶鱼	<i>Chaetodon bennetti</i>	杂食性 omnivore	+	
	弓月蝴蝶鱼	<i>Chaetodon lunulatus</i>	杂食性 omnivore		+
	珠蝴蝶鱼	<i>Chaetodon kleinii</i>	杂食性 omnivore		+
	黄镊口鱼	<i>Forcipiger flavissimus</i>	杂食性 omnivore		+
	多鳞霞蝶鱼	<i>Hemitaurichthys polylepis</i>	杂食性 omnivore		+
	金口马夫鱼	<i>Heniochus chrysostomus</i>	杂食性 omnivore	+	+
	四带马夫鱼	<i>Heniochus singularius</i>	杂食性 omnivore	+	+
	白带马夫鱼	<i>Heniochus varius</i>	杂食性 omnivore	+	
	马夫鱼	<i>Heniochus acuminatus</i>	杂食性 omnivore	+	
隆头鱼科 Labridae	三叶唇鱼	<i>Cheilinus trilobatus</i>	肉食性 carnivore	+	+
	横带唇鱼	<i>Cheilinus fasciatus</i>	肉食性 carnivore		+
	波纹唇鱼	<i>Cheilinus undulatus</i>	肉食性 carnivore	+	
	单带尖唇鱼	<i>Oxycheilinus unifasciatus</i>	肉食性 carnivore	+	+
	双线尖唇鱼	<i>Oxycheilinus digramma</i>	肉食性 carnivore	+	+
	黑鳍厚唇鱼	<i>Hemigymnus melapterus</i>	肉食性 carnivore	+	+
	横带厚唇鱼	<i>Hemigymnus fasciatus</i>	肉食性 carnivore	+	+
	双带普提鱼	<i>Bodianus bilunulatus</i>	肉食性 carnivore		+
	腋斑普提鱼	<i>Bodianus axillaris</i>	肉食性 carnivore	+	
	三斑海猪鱼	<i>Halichoeres trimaculatus</i>	肉食性 carnivore		+
	格纹海猪鱼	<i>Halichoeres hortulanus</i>	肉食性 carnivore	+	+
	缘鳍海猪鱼	<i>Halichoeres marginatus</i>	肉食性 carnivore	+	
	黑斑项鳍鱼	<i>Iniistius melanopus</i>	肉食性 carnivore	+	
	断带紫胸鱼	<i>Stethojulis interrupta</i>	肉食性 carnivore		+
	伸口鱼	<i>Epibulus insidiator</i>	肉食性 carnivore	+	+
	杂色尖嘴鱼	<i>Gomphosus varius</i>	肉食性 carnivore	+	+
	紫锦鱼	<i>Thalassoma purpureum</i>	肉食性 carnivore		+
	纵纹锦鱼	<i>Thalassoma quinquevittatum</i>	肉食性 carnivore	+	+
	鞍斑锦鱼	<i>Thalassoma hardwicke</i>	肉食性 carnivore	+	
	露珠盔鱼	<i>Coris gaimard</i>	肉食性 carnivore		+
	带尾美鳍鱼	<i>Novaculichthys taeniourus</i>	肉食性 carnivore		+
	裂唇鱼	<i>Labroides dimidiatus</i>	肉食性 carnivore		+
	珠斑大咽齿鱼	<i>Macropharyngodon meleagris</i>	肉食性 carnivore		+

(待续 to be continued)

(续附表 1 Tab.S1 to be continued)

科名 family	种名	species	食性类型 feeding type	1970s	2018–2020
虎鯊科 Pinguipedidae	六睛拟鲈	<i>Parapercis hexophthalma</i>	肉食性 carnivore		+
	太平洋拟鲈	<i>Parapercis pacifica</i>	肉食性 carnivore		+
	圆拟鲈	<i>Parapercis cylindrica</i>	肉食性 carnivore		+
天竺鲷科 Apogonidae	黑带鹦天竺鲷	<i>Ostorhinchus nigrofasciatus</i>	肉食性 carnivore		+
	九线鹦天竺鲷	<i>Ostorhinchus novemfasciatus</i>	肉食性 carnivore		+
	条腹鹦天竺鲷	<i>Ostorhinchus thermalis</i>	肉食性 carnivore		+
	巨牙天竺鲷	<i>Cheilodipterus macrodon</i>	肉食性 carnivore		+
	五带巨牙天竺鲷	<i>Cheilodipterus quinquelineatus</i>	肉食性 carnivore		+
	黑边天竺鲷	<i>Apogon ellioti</i>	肉食性 carnivore		+
	丽鳍棘眼天竺鲷	<i>Pristiapogon kallopterus</i>	肉食性 carnivore		+
	褐色圣天竺鲷	<i>Nectamia fusca</i>	肉食性 carnivore		+
	三斑锯竺鲷	<i>Pristicon trimaculatus</i>	肉食性 carnivore		+
	雀鲷科 Pomacentroidae	白条双锯鱼	<i>Amphiprion frenatus</i>	杂食性 omnivore	
克氏双锯鱼		<i>Amphiprion clarkii</i>	杂食性 omnivore		+
五带豆娘鱼		<i>Abudefduf vaigiensis</i>	杂食性 omnivore	+	+
六带豆娘鱼		<i>Abudefduf sexfasciatus</i>	杂食性 omnivore	+	+
七带豆娘鱼		<i>Abudefduf septemfasciatus</i>	杂食性 omnivore		+
宅泥鱼		<i>Dascyllus aruanus</i>	杂食性 omnivore	+	+
三斑宅泥鱼		<i>Dascyllus trimaculatus</i>	杂食性 omnivore	+	+
库拉索凹牙豆娘鱼		<i>Amblyglyphidodon curacao</i>	杂食性 omnivore		+
双斑金翅雀鲷		<i>Chrysiptera biocellata</i>	杂食性 omnivore		+
黑背盘雀鲷		<i>Dischistodus prosopotaenia</i>	杂食性 omnivore		+
黑斑盘雀鲷		<i>Dischistodus melanotus</i>	杂食性 omnivore	+	+
显盘雀鲷		<i>Dischistodus perspicillatus</i>	杂食性 omnivore	+	+
摩鹿加雀鲷		<i>Pomacentrus moluccensis</i>	杂食性 omnivore	+	+
安汶雀鲷		<i>Pomacentrus ambionensis</i>	杂食性 omnivore		+
菲律宾雀鲷		<i>Pomacentrus philippinus</i>	杂食性 omnivore	+	+
三斑雀鲷		<i>Pomacentrus tripunctatus</i>	杂食性 omnivore	+	
王子雀鲷		<i>Pomacentrus vaiuli</i>	杂食性 omnivore		+
班卡雀鲷		<i>Pomacentrus bankanensis</i>	杂食性 omnivore		+
霓虹雀鲷		<i>Pomacentrus coelestis</i>	杂食性 omnivore		+
黑鳍雀鲷		<i>Pomacentrus brachialis</i>	杂食性 omnivore	+	
黑新箭齿雀鲷		<i>Neoglyphidodon melas</i>	杂食性 omnivore	+	+
白带眶锯雀鲷		<i>Stegastes albifasciatus</i>	杂食性 omnivore	+	
长吻眶锯雀鲷		<i>Stegastes lividus</i>	杂食性 omnivore	+	+
胸斑眶锯雀鲷		<i>Stegastes fasciolatus</i>	杂食性 omnivore	+	+
黑眶锯雀鲷		<i>Stegastes nigricans</i>	杂食性 omnivore	+	
眼斑椒雀鲷		<i>Plectroglyphidodon lacrymatus</i>	杂食性 omnivore	+	+
白带椒雀鲷		<i>Plectroglyphidodon leucozonus</i>	杂食性 omnivore		+
李氏波光鳃鱼		<i>Pomachromis richardsoni</i>	杂食性 omnivore	+	
蓝绿光鳃鱼		<i>Chromis viridis</i>	杂食性 omnivore	+	+
尾斑光鳃鱼		<i>Chromis notata</i>	杂食性 omnivore	+	
黄尾光鳃鱼		<i>Chromis xanthura</i>	杂食性 omnivore	+	
密鳃鱼		<i>Hemiglyphidodon plagiometopon</i>	杂食性 omnivore	+	+

(待续 to be continued)

(续附表 1 Tab.S1 to be continued)

科名 family	种名	species	食性类型 feeding type	1970s	2018–2020	
拟雀鲷科 Pseudochromidae	圆眼戴氏鱼	<i>Labracinus cyclophthalmus</i>	肉食性 carnivore	+		
刺尾鱼科 Acanthuridae	纵带刺尾鱼	<i>Acanthurus lineatus</i>	植食性 herbivore		+	
	日本刺尾鱼	<i>Acanthurus japonicus</i>	植食性 herbivore		+	
	横带刺尾鱼	<i>Acanthurus triostegus</i>	植食性 herbivore	+	+	
	黄鳍刺尾鱼	<i>Acanthurus xanthopterus</i>	植食性 herbivore		+	
	额带刺尾鱼	<i>Acanthurus dussumieri</i>	植食性 herbivore	+	+	
	橙斑刺尾鱼	<i>Acanthurus olivaceus</i>	植食性 herbivore	+	+	
	黑尾刺尾鱼	<i>Acanthurus nigricauda</i>	植食性 herbivore		+	
	黑鳃刺尾鱼	<i>Acanthurus pyroferus</i>	植食性 herbivore		+	
	黄尾刺尾鱼	<i>Acanthurus thompsoni</i>	植食性 herbivore	+		
	短吻鼻鱼	<i>Naso brevirostris</i>	植食性 herbivore	+	+	
	突角鼻鱼	<i>Naso annulatus</i>	植食性 herbivore		+	
	单角鼻鱼	<i>Naso unicornis</i>	植食性 herbivore	+	+	
	丝尾鼻鱼	<i>Naso vlamingii</i>	植食性 herbivore		+	
	拟鲷鼻鱼	<i>Naso thynnoides</i>	植食性 herbivore	+	+	
	颊吻鼻鱼	<i>Naso lituratus</i>	植食性 herbivore	+	+	
	六棘鼻鱼	<i>Naso hexacanthus</i>	植食性 herbivore	+	+	
	小高鳍刺尾鱼	<i>Zebrasoma scopas</i>	植食性 herbivore		+	
	横带高鳍刺尾鱼	<i>Zebrasoma velifer</i>	植食性 herbivore	+	+	
	黄高鳍刺尾鱼	<i>Zebrasoma flavescens</i>	植食性 herbivore		+	
	双斑栉齿刺尾鱼	<i>Ctenochaetus bintatus</i>	植食性 herbivore		+	
	栉齿刺尾鱼	<i>Ctenochaetus striatus</i>	植食性 herbivore	+	+	
	鹦嘴鱼科 Scaridae	刺鹦嘴鱼	<i>Scarus spinus</i>	植食性 herbivore		+
		绿唇鹦嘴鱼	<i>Scarus forsteni</i>	植食性 herbivore		+
		黄鞍鹦嘴鱼	<i>Scarus oviceps</i>	植食性 herbivore	+	+
		弧带鹦嘴鱼	<i>Scarus dimidiatus</i>	植食性 herbivore		+
		截尾鹦嘴鱼	<i>Scarus rivulatus</i>	植食性 herbivore		+
青点鹦嘴鱼		<i>Scarus ghobban</i>	植食性 herbivore		+	
钝头鹦嘴鱼		<i>Scarus rubroviolaceus</i>	植食性 herbivore		+	
黑鹦嘴鱼		<i>Scarus niger</i>	植食性 herbivore	+	+	
许氏鹦嘴鱼		<i>Scarus schlegeli</i>	植食性 herbivore		+	
蓝臀鹦嘴鱼		<i>Scarus chameleon</i>	植食性 herbivore		+	
黑斑鹦嘴鱼		<i>Scarus globiceps</i>	植食性 herbivore	+	+	
绿颌鹦嘴鱼		<i>Scarus prasiognathos</i>	植食性 herbivore	+	+	
瓜氏鹦嘴鱼		<i>Scarus quoyi</i>	植食性 herbivore		+	
网纹鹦嘴鱼		<i>Scarus frenatus</i>	植食性 herbivore	+	+	
棕吻鹦嘴鱼		<i>Scarus psittacus</i>	植食性 herbivore	+	+	
横带鹦嘴鱼		<i>Scarus scaber</i>	植食性 herbivore	+		
日本绿鹦嘴鱼		<i>Chlorurus japanensis</i>	植食性 herbivore		+	
小鼻绿鹦嘴鱼		<i>Chlorurus microrhinos</i>	植食性 herbivore	+	+	
蓝头绿鹦嘴鱼		<i>Chlorurus sordidus</i>	植食性 herbivore	+	+	
长头马鹦嘴鱼		<i>Hipposcarus longiceps</i>	植食性 herbivore		+	
驼峰大鹦嘴鱼		<i>Bolbometopon muricatum</i>	植食性 herbivore	+	+	
双色鲸鹦嘴鱼		<i>Cetoscarus bicolor</i>	植食性 herbivore		+	
星眼绚鹦嘴鱼		<i>Calotomus carolinus</i>	植食性 herbivore		+	

(待续 to be continued)

(续附表 1 Tab.S1 to be continued)

科名 family	种名	species	食性类型 feeding type	1970s	2018–2020
鱚科 Cirrhitidae	日本绚鹦嘴鱼	<i>Calotomus japonicus</i>	植食性 herbivore		+
	翼鱚	<i>Cirrhitus pinnulatus</i>	肉食性 carnivore		+
	副鱚	<i>Paracirrhites arcatus</i>	肉食性 carnivore		+
	福氏副鱚	<i>Paracirrhites forsteri</i>	肉食性 carnivore		+
	条纹鱚	<i>Terapon theraps</i>	肉食性 carnivore		+
鲭科 Scombridae	小鲭	<i>Euthynnus affinis</i>	肉食性 carnivore		+
盖刺鱼科 Pomacanthidae	半环刺盖鱼	<i>Pomacanthus semicirculatus</i>	杂食性 omnivore		+
	主刺盖鱼	<i>Pomacanthus imperator</i>	杂食性 omnivore		+
	三点阿波鱼	<i>Apolemichthys trimaculatus</i>	杂食性 omnivore		+
	海氏刺尻鱼	<i>Centropyge heraldi</i>	杂食性 omnivore		+
	双棘刺尻鱼	<i>Centropyge bispinosa</i>	杂食性 omnivore	+	+
	福氏刺尻鱼	<i>Centropyge vrolikii</i>	杂食性 omnivore	+	+
	双棘甲尻鱼	<i>Pygoplites diacanthus</i>	杂食性 omnivore		+
鲹科 Carangidae	六带鲹	<i>Caranx sexfasciatus</i>	肉食性 carnivore	+	+
	黑尻鲹	<i>Caranx melampygus</i>	肉食性 carnivore	+	+
	平线若鲹	<i>Carangoides ferdau</i>	肉食性 carnivore	+	+
	纺锤鲷	<i>Elagatis bipinnulata</i>	肉食性 carnivore	+	+
鲆科 Sphyracidae	大眼鲆	<i>Sphyracna forsteri</i>	肉食性 carnivore		+
虾虎鱼科 Gobiidae	五带叶虾虎鱼	<i>Gobiodon quinquestrigatus</i>	杂食性 omnivore	+	+
	丝棘栉眼虾虎鱼	<i>Ctenogobius feroculus</i>	杂食性 omnivore		+
	黑点鹦虾虎鱼	<i>Exyrias belissimus</i>	植食性 herbivore		+
鲷科 Echeidae	鲷	<i>Echeneis naucrates</i>	肉食性 carnivore		+
𧀸科 Blenniidae	短豹𧀸	<i>Exallias brevis</i>	杂食性 omnivore		+
	细纹凤𧀸	<i>Salarias fasciatus</i>	杂食性 omnivore		+
	纵带盾齿𧀸	<i>Aspidontus taeniatus</i>	杂食性 omnivore		+
	暗纹动齿𧀸	<i>Istiblennius edentulus</i>	杂食性 omnivore		+
	条纹动齿𧀸	<i>Istiblennius lineatus</i>	杂食性 omnivore		+
鲆科 Bothidae	凹吻鲆	<i>Bothus mancus</i>	肉食性 carnivore		+
	繁星鲆	<i>Bothus myriaster</i>	肉食性 carnivore		+
金鳞鱼科 Holocentridae	尖吻棘鳞鱼	<i>Sargocentron spiniferum</i>	肉食性 carnivore	+	+
	尾斑棘鳞鱼	<i>Sargocentron caudimaculatum</i>	肉食性 carnivore		+
	点带棘鳞鱼	<i>Sargocentron rubrum</i>	肉食性 carnivore		+
	黑鳍棘鳞鱼	<i>Sargocentron diadema</i>	肉食性 carnivore	+	+
	剑棘鳞鱼	<i>Sargocentron ensifer</i>	肉食性 carnivore	+	
	小口棘鳞鱼	<i>Sargocentron microstoma</i>	肉食性 carnivore	+	
	白边棘鳞鱼	<i>Sargocentron violaceum</i>	肉食性 carnivore		+
	黑点棘鳞鱼	<i>Sargocentron melanospilos</i>	肉食性 carnivore		+
	黑鳍新东洋鲷	<i>Neoniphon opercularis</i>	肉食性 carnivore	+	+
	莎姆新东洋鲷	<i>Neoniphon sammara</i>	肉食性 carnivore	+	+
	白边锯鳞鱼	<i>Myripristis murdjan</i>	肉食性 carnivore	+	+
	康德锯鳞鱼	<i>Myripristis kuntee</i>	肉食性 carnivore		+
	无斑锯鳞鱼	<i>Myripristis vittata</i>	肉食性 carnivore		+
	红锯鳞鱼	<i>Myripristis pralinia</i>	肉食性 carnivore	+	
	紫红锯鳞鱼	<i>Myripristis violacea</i>	肉食性 carnivore	+	

(待续 to be continued)

(续附表 1 Tab.S1 to be continued)

科名 family	种名	species	食性类型 feeding type	1970s	2018–2020	
鲮科 Mugilidae	大鳞鱼鲮	<i>Chelon macrolepis</i>	植食性 herbivore		+	
	角瘤唇鲮	<i>Oedalechilus labiosus</i>	杂食性 omnivore		+	
鲮科 Tetraodontidae	白点叉鼻鲮	<i>Arothron meleagris</i>	杂食性 omnivore	+		
	纹腹叉鼻鲮	<i>Arothron hispidus</i>	杂食性 omnivore		+	
	星斑叉鼻鲮	<i>Arothron stellatus</i>	杂食性 omnivore		+	
	横带扁背鲮	<i>Canthigaster valentini</i>	植食性 herbivore		+	
鳞鲮科 Balistidae	叉斑锉鳞鲮	<i>Rhinecanthus aculeatus</i>	杂食性 omnivore		+	
	黑带锉鳞鲮	<i>Rhinecanthus rectangulus</i>	杂食性 omnivore	+	+	
	波纹钩鳞鲮	<i>Balistapus undulatus</i>	杂食性 omnivore		+	
	黑边角鳞鲮	<i>Melichthys vidua</i>	杂食性 omnivore		+	
	黑副鳞鲮	<i>Pseudobalistes fuscus</i>	杂食性 omnivore		+	
	褐拟鳞鲮	<i>Balistoides viridescens</i>	杂食性 omnivore		+	
	黄鳍多棘鳞鲮	<i>Sufflamen chrysopterum</i>	杂食性 omnivore	+	+	
	疣鳞鲮	<i>Canthidermis maculata</i>	杂食性 omnivore	+	+	
	刺鲮科 Diodontidae	密斑刺鲮	<i>Diodon hystrix</i>	肉食性 carnivore	+	+
		大斑刺鲮	<i>Diodon liturosus</i>	肉食性 carnivore		+
网纹短刺鲮		<i>Chilomycterus reticulatus</i>	肉食性 carnivore		+	
单角鲮科 Monacanthidae	黑头前角鲮	<i>Pervagor melanocephalus</i>	杂食性 omnivore	+		
	棘尾前孔鲮	<i>Cantherhines dumerilii</i>	杂食性 omnivore		+	
	细斑前孔鲮	<i>Cantherhines pardalis</i>	杂食性 omnivore	+	+	
鲈科 Scorpaenidae	拟态革鲈	<i>Aluterus scriptus</i>	植食性 herbivore	+	+	
	玫瑰毒鲈	<i>Synanceia verrucosa</i>	肉食性 carnivore		+	
鲈科 Platycephalidae	须拟鲈	<i>Scorpaenopsis cirrosa</i>	肉食性 carnivore		+	
	窄眶缝鲈	<i>Thysanophrys chiltonae</i>	肉食性 carnivore		+	
海鲳科 Muraenidae	白缘裸胸鲳	<i>Gymnothorax albimarginatus</i>	肉食性 carnivore		+	
	波纹裸胸鲳	<i>Gymnothorax undulatus</i>	肉食性 carnivore		+	
	爪哇裸胸鲳	<i>Gymnothorax javanicus</i>	肉食性 carnivore		+	
	蠕纹裸胸鲳	<i>Gymnothorax kidako</i>	肉食性 carnivore		+	
	细斑裸胸鲳	<i>Gymnothorax fimbriatus</i>	肉食性 carnivore		+	
	密点裸胸鲳	<i>Gymnothorax thyrsoideus</i>	肉食性 carnivore		+	
	鞍斑裸胸鲳	<i>Gymnothorax rueppellii</i>	肉食性 carnivore		+	
	斑点裸胸鲳	<i>Gymnothorax meleagris</i>	肉食性 carnivore		+	
	花斑裸胸鲳	<i>Gymnothorax pictus</i>	肉食性 carnivore		+	
	豆点裸胸鲳	<i>Gymnothorax favagineus</i>	肉食性 carnivore		+	
	条纹裸海鲳	<i>Gymnothorax zebra</i>	肉食性 carnivore	+		
	康吉鳗科 Congridae	尖尾鳗	<i>Uroconger lepturus</i>	肉食性 carnivore		+
日本康吉鳗		<i>Conger japonicus</i>	肉食性 carnivore		+	
狗母鱼科 Synodontidae	云纹蛇鲻	<i>Saurida nebulosa</i>	肉食性 carnivore		+	
颌针鱼科 Belonidae	无斑柱颌针鱼	<i>Strongylura leiura</i>	肉食性 carnivore		+	
	琉球柱颌针鱼	<i>Strongylura incisa</i>	肉食性 carnivore		+	
	黑背圆颌针鱼	<i>Tylosurus acus melanotus</i>	肉食性 carnivore		+	
	鳄形圆颌针鱼	<i>Tylosurus crocodilus</i>	肉食性 carnivore		+	
	东非宽尾颌针鱼	<i>Platybelone argalus platyura</i>	肉食性 carnivore	+		
管口鱼科 Aulostomidae	中华管口鱼	<i>Aulostomus chinensis</i>	肉食性 carnivore		+	

(待续 to be continued)

(续附表 1 Tab.S1 to be continued)

科名 family	种名	species	食性类型 feeding type	1970s	2018–2020
玻甲鱼科 Centriscidae	玻甲鱼	<i>Centriscus scutatus</i>	杂食性 omnivore	+	
海龙科 Syngnathidae	史氏冠海龙	<i>Corythoichthys schultzi</i>	肉食性 carnivore		+
烟管鱼科 Fistulariidae	鳞烟管鱼	<i>Fistularia petimba</i>	肉食性 carnivore		+
潜鱼科 Carapidae	蒙氏潜鱼	<i>Carapus mourlani</i>	杂食性 omnivore	+	
鲾科 Myliobatidae	纳氏鰐鲛	<i>Aetobatus narinari</i>	肉食性 carnivore		+

注: +表示有这种鱼的记载. 1970s 表示为《南海诸岛海域鱼类志》<sup>[21]</sup>记载鱼类. 2018–2020 表示为杨位迪等<sup>[19]</sup>和本研究鱼类.

NOTE: + indicates that there is the record of this fish. 1970s represents fishes in *The Fishes of the Islands in the South China Sea*<sup>[21]</sup>. 2018–2020 represents fishes recorded in our study and Yang et al<sup>[19]</sup>.