

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.19291

西沙群岛七连屿礁栖鱼类物种和分类多样性

李媛洁^{1,2}, 陈作志², 张俊², 江艳娥², 龚玉艳², 蔡研聪², 杨玉滔²

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部外海渔业开发重点实验室, 广东省渔业生态环境重点实验室, 广东 广州 510300;

2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306

摘要: 为探讨以西沙群岛七连屿(16°55'N~17°00'N, 112°12'E~112°21'E)为代表的典型小尺度范围内珊瑚礁生态系统的物种组成及分类多样性, 本文以 20 世纪 70 年代、2018—2019 年南海七连屿鱼类调查资料为基础, 总结七连屿礁栖鱼类物种组成, 并利用分类学多样性指数和 G (属级)- F (科级)多样性测度指数对七连屿珊瑚礁鱼类物种组成及分类多样性进行研究。结果显示, 七连屿海域礁栖鱼类隶属于 8 目 33 科 70 属 175 种, 其中鲈形目(Perciformes)鱼类占绝对优势, 占比 81%; 平均分类差异指数(Δ^+)约为 54.19, 分类差异变异指数(A^+)约为 112.35。与国内外不同区域的鱼类群落组成对比发现, 七连屿鱼类的 Δ^+ 低于东海陆架、大亚湾和渚碧礁; 其 A^+ 则均低于东海陆架和大亚湾, 高于渚碧礁; 科级多样性指数(F -指数)平均值为 6.23, 属级多样性指数(G -指数)平均值为 3.09, 标准化的 $G-F$ 指数平均值为 0.40。结果表明, 七连屿鱼类群落物种间的分类多样性较高, 亲缘关系比东海陆架、大亚湾和渚碧礁更为接近。从 G -指数、 F -指数、 $G-F$ 指数综合来看, 七连屿礁栖性鱼类物种多样性较高, 且其科、属的分布在历史上较为合理, 但 2018—2019 年科属多样性显著降低, 建议对其及时予以保护。

关键词: 七连屿; 珊瑚礁鱼类; 物种组成; 分类多样性; 西沙群岛

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)07-0815-09

由于环境变化和人类活动影响, 全球鱼类群落受到严重破坏, 引起国际社会的广泛关注^[1-3]。珊瑚礁是南海独具特色的生态系统, 也是中国珊瑚礁渔业的主要渔场^[4-5]。珊瑚礁鱼类是珊瑚礁生态系统的重要组成部分及维系珊瑚礁健康的关键生物类群^[6-8], 七连屿作为西沙群岛的一部分, 应予以广泛关注。

国外学者对于珊瑚礁鱼类的研究多集中于气候变化以及海洋酸化对于珊瑚礁鱼类的影响^[9-10]、珊瑚白化造成的多样性丧失和鱼类群落结构的变化^[11-12]以及珊瑚礁鱼类多样性及生态系统等^[13], 这些都是基于大尺度区域的研究。我国学者先后对西沙群岛珊瑚礁鱼类种类组成及多样性^[14-15]、

鱼类分类多样性^[16-17]、食性特征^[18]、生物学^[15]等方面进行过研究, 对阐明西沙群岛珊瑚礁鱼类群落结构和功能有重要意义。以上研究主要关注大范围内(大尺度)鱼类群落的特征, 而对于某一具体珊瑚礁区域(小尺度)鱼类物种和分类多样性的深入研究极为缺乏。

本文以西沙群岛七连屿为研究对象, 根据 20 世纪 70 年代、2018—2019 年调查数据, 总结其鱼类群落物种组成、分类多样性及 $G-F$ 多样性测度指数(genus-family index), 旨在为保护七连屿珊瑚礁鱼类的多样性, 维系珊瑚礁生态系统健康提供基础数据及理论依据。

收稿日期: 2019-10-09; 修订日期: 2020-03-12.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1406502); 国家自然科学基金项目(31902374); 农业农村部财政专项(NFZX2018); 广东省促进经济发展专项(GDME-2018E004).

作者简介: 李媛洁(1994-), 女, 硕士, 研究方向为岛礁鱼类的物种多样性. E-mail: liyuanjiedl@163.com

通信作者: 陈作志, 研究员. E-mail: zzchen2000@163.com

1 材料与方法

1.1 研究区域概况——七连屿

七连屿位于宣德群岛东北部(16°55'N~17°00'N, 112°12'E~112°21'E), 是由赵述岛等岛礁、沙洲组成的大礁盘的整体名称, 包括赵述岛、西沙洲、北岛、中岛、南岛、北沙洲、中沙洲、南沙洲、西新沙洲、东新沙洲等岛屿沙洲^[19]。受热带季风气候的影响, 七连屿终年高温、高湿和高盐; 灾害性天气频发, 多大风、干旱、暴雨等极端天气; 受台风影响, 降水多集中于夏秋季 5—11 月, 潮汐属于不正规全日潮, 海浪以风浪为主^[20]。

1.2 生物学数据采集

有正式记录以来的生物学数据主要来自中国水产科学研究院南海水产研究所 20 世纪 70 年代、2018—2019 年在七连屿进行珊瑚礁鱼类调查时采集的样品, 采样位置、渔具、时间及船只等详细信息见表 1。

1.3 数据分析

分析 20 世纪 70 年代、2018—2019 年西沙群岛七连屿礁栖鱼类的种类组成, 及其分类学多样性指数^[21-22]。分类学多样性指数包括平均分类差异指数 Δ^+ 和分类差异变异指数 Λ^+ 。在一定范围内, Δ^+ 值越小表明鱼类群落间的亲缘关系越近, 反之

则越远; Λ^+ 值越小表明鱼类群落物种间分类关系的均匀程度越均匀, 反之则越不均匀。

平均分类差异指数(average taxonomic distinctness index):

$$\Delta^+ = (\sum \sum_{i < j} w_{ij}) / [S(S-1) / 2] \tag{1}$$

分类差异变异指数(variation in taxonomic distinctness index):

$$\Lambda^+ = \sum \sum_{i < j} (w_{ij} - \Delta^+)^2 / [S(S-1) / 2] \tag{2}$$

式中, Δ^+ 表示群落全部物种间路径长度的理论平均值, Λ^+ 为 Δ^+ 的偏离程度。其中, w_{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。平均分类差异指数 Δ^+ 是指群落中随机选择的任意两个种类之间平均分类等级路径的长度, 是对群落里优势种和常见种权重的最简化处理^[22], Λ^+ 值即与平均分类差异指数 Δ^+ 偏离程度的理论平均值, 反映鱼种间亲缘关系分布的均匀程度, 可看作是衡量分类树复杂程度的一个指数^[23], 仅在种类数较少时才发生数值偏小的情况^[24]。平均分类多样性指数 Δ^+ 和分类差异变异指数 Λ^+ 均不依赖样本大小和取样方法, 只考虑出现种类, 不考虑种类数量, 面对各种变量和不受控制的取样时具有稳健性^[25]。 Δ^+ 和 Λ^+ 由 PRIMER 5.2 软件包的 TAXDTEST 求得。

表 1 七连屿历次调查情况
Tab. 1 Qilianyu island's previous investigations

采集位置 sampling position	采样网具 sampling net	调查时间 survey time	调查船 survey vessel
浅水礁区 shallow reefs	未指明渔具 undefined gear	1970s	渔船 fishing vessel
浅水礁区 shallow reefs	手钩、流刺网 hand-lining, gill net	2018 年 5 月、8 月	“南锋”号 Nanfeng
浅水礁区 shallow reefs	手钩、流刺网 hand-lining, gill net	2019 年 8 月	“南锋”号 Nanfeng

1.4 G-F 指数

物种的分类阶元目、科、属及种间的分布是不均衡的, 都存在着多样性, 由此能够计算物种的多样性^[26]。

(1) 科的物种多样性指数(D_F):

$$D_F = \sum_{k=1}^m D_{Fk}, D_{Fk} = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \tag{3}$$

式中: $p_i = s_{ki} / S_k$, S_k (个) 为 k 科中的物种数, s_{ki} (个) 为 k 科 i 属中的物种数; n (个) 为 k 科中属数; m (个) 为纲中科数; D_{Fk} 为 k 科的物种多样性^[27]。

(2) 属的物种多样性指数(D_G):

$$D_G = - \sum_{j=1}^p q_j \ln q_j \tag{4}$$

式中, $q_j = s_j / S$, S (个) 为纲中的物种数, s_j (个) 为纲中 j 属中的物种数; p (个) 为纲的属数^[27]。

标准化的 $G-F$ 指数(D_{G-F}):

$$D_{G-F} = 1 - \frac{D_G}{D_F} \tag{5}$$

若纲所有的科都是单种科, 即 $D_F = 0$ 时, 则该区域的 $G-F$ 指数为零, 即 $D_{G-F} = 0$; 非单种科越多, $G-F$

指数越高, $G-F$ 指数范围 $0 \leq D_{G-F} \leq 1^{[27]}$ 。

2 结果与分析

2.1 鱼类物种组成

截至目前, 七连屿共采集鱼类标本 516 尾,

其中 515 尾能够鉴定到种。将同种异名的物种进行合并, 归纳总结出七连屿共记录礁栖鱼类 8 目 33 科 70 属 175 种(表 2)。全部物种中鲈形目(Perciformes)有 23 科 142 种, 占绝对优势, 占总编目种类的 81%。其次为金眼鲷目(Beryciformes)有

表 2 七连屿礁栖鱼类科、属的组成
Tab. 2 Compositions family and genera of the coral reef fishes along the Qilianyu island

目 order	科 family	种类数 species	百分比/% percentage	属 genera	种类数 species	百分比/% percentage
鳗鲡目 Anguilliformes	海鳝科 Muraenidae	1	0.57	蛇鳝属 <i>Echidna</i>	1	0.57
仙鱼目 Aulopiformes	狗母鱼科 Synodontidae	2	1.14	狗母鱼属 <i>Synodus</i>	2	1.14
颌针鱼目 Beloniformes	飞鱼科 Exocoetidae	1	0.57	文燕鳐属 <i>Hirundichthys</i>	1	0.57
	颌针鱼科 Belonidae	1	0.57	颌针鱼属 <i>Belone</i>	1	0.57
金眼鲷目 Beryciformes	金鳞鱼科 Holocentridae	17	9.71	锯鳞鱼属 <i>Myripristis</i>	6	3.43
				棘鳞鱼属 <i>Sargocentron</i>	9	5.14
				新东洋鲷属 <i>Neoniphon</i>	2	1.14
刺鱼目 Gasterosteiformes	玻甲鱼科 Centriscidae	1	0.57	玻甲鱼属 <i>Centriscus</i>	1	0.57
魮鲷目 Ophidiiformes	潜鱼科 Carapidae	2	1.14	鳗潜鱼属 <i>Encheliophis</i>	1	0.57
				潜鱼属 <i>Carapus</i>	1	0.57
鲈形目 Perciformes	(鱼鲛)科 Kyphosidae	1	0.57	(鱼鲛)属 <i>Kyphosus</i>	1	0.57
	刺盖鱼科 Pomacanthidae	2	1.14	刺尻鱼属 <i>Centropyge</i>	2	1.14
	刺尾鱼科 Acanthuridae	14	8.00	鼻鱼属 <i>Naso</i>	5	2.86
				刺尾鱼属 <i>Acanthurus</i>	6	3.43
				栉齿刺尾鱼属 <i>Ctenochaetus</i>	1	0.57
				高鳍刺尾鱼属 <i>Zebrasoma</i>	2	1.14
	笛鲷科 Lutjanidae	10	5.71	笛鲷属 <i>Lutjanus</i>	4	2.29
				叉尾鲷属 <i>Aphareus</i>	2	1.14
				红钻鱼属 <i>Etelis</i>	2	1.14
				若梅鲷属 <i>Paracaesio</i>	1	0.57
				羽鳃笛鲷属 <i>Macolor</i>	1	0.57
				马夫鱼属 <i>Heniochus</i>	4	2.29
	蝴蝶鱼科 Chaetodontidae	14	8.00	蝴蝶鱼属 <i>Chaetodon</i>	10	5.71
				角蝶鱼属 <i>Zanclus</i>	1	0.57
	角蝶鱼科 Zanclidae	1	0.57	眶棘鲈属 <i>Scolopsis</i>	2	1.14
	眶棘鲈科 Scolopsidae	2	1.14	蓝子鱼属 <i>Siganus</i>	1	0.57
	蓝子鱼科 Siganidae	1	0.57	唇鱼属 <i>Cheilinus</i>	8	4.57
	隆头鱼科 Labridae	24	13.71	粗唇鱼属 <i>Hemigymnus</i>	2	1.14
				海猪鱼属 <i>Halichoeres</i>	2	1.14
				尖嘴鱼属 <i>Gomphosus</i>	1	0.57
				连鳍唇鱼属 <i>Xyrichtys</i>	1	0.57
				丝隆头鱼属 <i>Cirrhitilabrus</i>	1	0.57
				盔鱼属 <i>Coris</i>	1	0.57

(待续 to be continued)

(续表 2 Tab. 2 continued)						
目 order	科 family	种类数 species	百分比/% percentage	属 genera	种类数 species	百分比/% percentage
鲈形目 Tetraodontiformes	拟雀鲷科 Pseudochromidae	1	0.57	拟唇鱼属 <i>Pseudocheilinus</i>	1	0.57
				锦鱼属 <i>Thalassoma</i>	2	1.14
				普提鱼属 <i>Bodianus</i>	3	1.71
				细鳞盔鱼属 <i>Hologymnosus</i>	2	1.14
	裸颊鲷科 Lethrinidae	6	3.43	裸颊鲷属 <i>Lethrinus</i>	5	2.86
				裸顶鲷属 <i>Gymnocranius</i>	1	0.57
	梅鲷科 Caesionidae	5	2.86	梅鲷属 <i>Caesio</i>	4	2.29
				鳞鳍梅鲷属 <i>Pterocaesio</i>	1	0.57
	拟雀鲷科 Pseudochromidae	1	0.57	戴氏鱼属 <i>Labracinus</i>	1	0.57
	虾虎鱼科 Gobiidae	1	0.57	叶虾虎鱼属 <i>Gobiodon</i>	1	0.57
	拟鲈科 Pinguipedidae	1	0.57	拟鲈属 <i>Parapercis</i>	1	0.57
	弱棘鱼科 Malacanthidae	1	0.57	弱棘鱼属 <i>Malacanthus</i>	1	0.57
	鲷科 Serranidae	6	3.43	石斑鱼属 <i>Epinephelus</i>	3	1.71
				九棘鲈属 <i>Cephalopholis</i>	3	1.71
	雀鲷科 Pomacentridae	21	12.00	豆娘鱼属 <i>Abudefduf</i>	6	3.43
				光鳃鱼属 <i>Chromis</i>	3	1.71
				眶锯雀鲷属 <i>Stegastes</i>	2	1.14
				雀鲷属 <i>Pomacentrus</i>	8	4.57
	鲹科 Carangidae	4	2.29	宅泥鱼属 <i>Dascyllus</i>	2	1.14
				若鲹属 <i>Carangoides</i>	1	0.57
				鲹属 <i>Caranx</i>	3	1.71
				胡椒鲷属 <i>Plectorhynchus</i>	3	1.71
	石鲈科 Pomadasyidae	3	1.71	巨牙天竺鲷属 <i>Cheilodipterus</i>	1	0.57
	天竺鲷科 Apodonidae	3	1.71	天竺鲷属 <i>Apogon</i>	2	1.14
	羊鱼科 Mullidae	6	3.43	拟羊鱼属 <i>Mulloidichthys</i>	1	0.57
				副绯鲤属 <i>Parupeneus</i>	5	2.86
	鹦嘴鱼科 Scaridae	11	6.29	绚鹦嘴鱼属 <i>Calotomus</i>	1	0.57
				鹦嘴鱼属 <i>Scarus</i>	10	5.71
	锥齿鲷科 Pentapodidae	4	2.29	齿颌鲷属 <i>Gnathodentex</i>	1	0.57
				裸顶鲷属 <i>Gymnocranius</i>	3	1.71
	单角鲀科 Monacanthidae	1	0.57	革鲀属 <i>Aluterus</i>	1	0.57
				刺鲀属 <i>Diodon</i>	1	0.57
	刺鲀科 Diodontidae	2	1.14	前孔鲀属 <i>Cantherhines</i>	1	0.57
				锉鳞鲀属 <i>Rhinecanthus</i>	1	0.57
	鳞鲀科 Balistidae	5	2.86	钩鳞鲀属 <i>Balistapus</i>	1	0.57
				角鳞鲀属 <i>Melichthys</i>	1	0.57
				多棘鳞鲀属 <i>sufflamen</i>	2	1.14
合计 total	10	34		71		

17 种; 鲀形目(Tetraodontiformes)有 8 种; 颌针目 (Beloniformes)、仙鱼目(Aulopiformes)、刺鱼目 (Gasterosteiformes)、鳗鲡目(Anguilliformes)、鼬 鰻目(Ophidiiformes)均小于 3 种。

在科级分类阶元, 隆头鱼科(Labridae)和雀鲷 科(Pomacentridae)种类数最多, 分别有 23 种和 21

种；其次为金鳞鱼科(Holocentridae)有 18 种；刺尾鱼科(Acanthuridae)有 14 种；蝴蝶鱼科(Chaetodontidae)有 14 种；鹦嘴鱼科(Scaridae)有 11 种；笛鲷科(Lutjanidae)有 10 种；鲈科(Serranidae)、羊鱼科(Mullidae)、裸颊鲷科(Lethrinidae)均为 6 种；鳞鲀科(Balistidae)和梅鲷科(Caesionidae)均为 5 种；鲹科(Carangidae)和锥齿鲷科(Pentapodidae)均为 4 种；石鲈科(Pomadasyidae)和天竺鲷科(Apodonidae)均为 3 种；其他科的种类数则均小于 3 种。

2.2 分类学多样性

七连屿礁栖鱼类的平均 Δ^+ 约为 54.19 (图 1 中虚线对应的纵坐标), Δ^+ 约为 112.35 (图 2 中虚线平滑后对应的纵坐标)。因为不同区域分类等级多样性权重值参照标准不同, 本文仅将七连屿礁栖鱼类 Δ^+ 值和 Δ^+ 值与使用相同标准的研究结果进行对比, 发现陆架生境中海东陆架的平均 Δ^+ 为 65.7, 近海生境中大亚湾平均 Δ^+ 为 62.2, 而相同生境中渚碧礁的平均 Δ^+ 为 58.75 (表 3)。

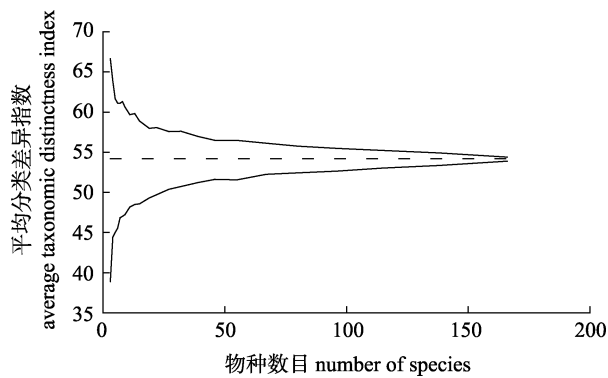


图 1 七连屿礁栖鱼类平均分类差异指数(Δ^+) 95%置信漏斗曲线
Fig. 1 Funnel plot for average taxonomic distinctness (Δ^+) with 95% confidence limit of fish species in Qilanyu island

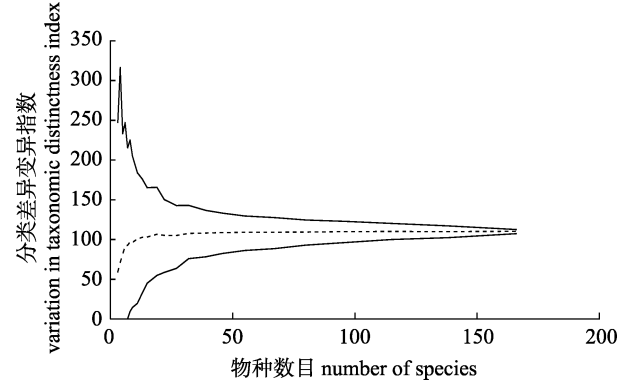


图 2 七连屿礁栖鱼类分类差异变异指数(Δ^+) 95%置信漏斗曲线
Fig. 2 Funnel plot for variation in taxonomic distinctness (Δ^+) with 95% confidence limit of fish species in Qilanyu island

2.3 G-F 多样性测度指数

七连屿礁栖鱼类的科级多样性指数在 3.56~11.04, 平均值为 6.23。七连屿礁栖鱼类的属级多样性指数在 2.71~3.62, 平均值为 3.09。标准化的 G-F 指数范围在 0.24~0.67, 平均值为 0.40。七连屿礁栖鱼类的科级多样性指数、属级多样性指数及标准化的 G-F 指数的最低值均在 2019 年, 而其最高值均在 20 世纪 70 年代(表 4)。

3 讨论

3.1 鱼类物种组成

有研究指出, 在没有受到扰动的生境里, 存在形态差异显著、属于不同门类的种类; 但在遭到严重扰动的群落里, 则往往只由部分关联比较密切的种组成^[30]。本研究中七连屿礁栖鱼类总数达到 175 种, 以鲈形目占绝对优势, 占比高达 81%, 首先与不同岛礁的生境面积不同有关; 与太平岛的 56 科 466 种相比少 291 种^[31], 这可能

表 3 不同区域鱼类平均分类多样性指数(Δ^+)及分类差异变异指数(Δ^+)
Tab. 3 Average taxonomic distinctness index (Δ^+) and variation in taxonomic distinctness index (Δ^+) in each region

海域 region	生境类型 habitat type	纬度 latitude	平均分类多样性指数(Δ^+)	分类差异变异指数(Δ^+)	参考文献 references
东海陆架 East China Sea continental shelf	陆架 continental shelf	26°00'N-33°00'N	65.7	120	[28]
大亚湾 Daya Bay	近海 offshore	22°30'N-22°50'N	62.2	110	[29]
渚碧礁 Zhubi Reef	热带珊瑚礁 tropical coral reef	10°54'N	58.75	102.60	最新资料 not yet published
七连屿 Qilanyu island	热带珊瑚礁 tropical coral reef	16°56'N	54.19	112.35	本文 this study

表 4 七连屿礁栖鱼类物种数目和
 $G-F$ 多样性测度指数的大小
Tab. 4 The number of species and $G-F$ index of
each reef in Qilianyu island

年份 year	物种数目 number of species	G	F	$G-F$
1970s	115	3.62	11.04	0.67
2018	32	2.95	4.08	0.28
2019	29	2.71	3.56	0.24
均值 mean	—	3.09	6.23	0.40

其次与太平岛海域珊瑚礁一定程度上保持着原始自然状态,且迄今受到人为活动影响较小有关。李元超等^[32]等研究指出,随着西沙群岛渔业活动的频繁以及珊瑚礁破坏等影响,珊瑚礁鱼类密度呈下降趋势,部分鱼种出现小型化,七连屿礁栖鱼类密度整体上呈下降趋势。本研究发现,以红唇鱼(*Cheilinus rhodochrous*)为例,20 世纪 70 年代时最大体长为 216 mm,2018 年减小为 208 mm,2019 年则为 182 mm。且 20 世纪 70 年代的调查中除黑鳍棘鳞鱼(*Sargocentron diadema*)、双线唇鱼(*Cheilinus diagrammus*)和红唇鱼,其他种在 2018 年和 2019 年的调查中再无出现,这是否表明这些鱼类在七连屿的局地消失或永久迁出需要继续深入研究。

3.2 分类学多样性特征

平均分类差异指数(average taxonomic distinctness index, Δ^+)和分类差异变异指数(variation in taxonomic distinctness index, Δ^+)基于物种间分类关系的路径长度来测度群落的分类多样性以及分类差异性; Δ^+ 反映群落物种间的形态亲缘关系及群落多样性; Δ^+ 反映群落物种间分类关系的均匀程度^[17, 22]。 Δ^+ 和 Δ^+ 不依赖于取样方法和样本量,弥补了传统生物多样性指数对数据标准化的要求,有助于不同区域、不同生境及历史数据的比较研究,是衡量生物群落退化的强有力指标^[21, 33]。史赞荣等^[34]研究认为在大尺度上,纬度越低,中国海洋鱼类 Δ^+ 越小,说明鱼类物种间的亲缘关系越近;同时指出河口鱼类的 Δ^+ 最高;其次是陆架海域;珊瑚礁海域最小。

与陆架生境相比,七连屿 Δ^+ (54.19)明显低于东海陆架(65.7)。这可能是东海陆架区域终年受到

长江、钱塘江等江河入海径流以及黑潮暖流等流系的联合影响,自然环境条件较好,生源要素丰富,因此鱼类分类多样性较高^[28]。与近海生境相比,七连屿 Δ^+ 低于大亚湾(62.2)。大亚湾海域除湾口处连接海水外,其余则为曲折的陆架海岸线,且中部有部分岛礁,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^[29]。与相同的珊瑚礁生境对比发现,七连屿 Δ^+ 略低于渚碧礁(58.75),渚碧礁为南沙群岛北部的一个封闭型环礁,面积较小且纬度位置较低,良好的栖息地环境使得大量鱼类栖息,鱼类物种丰富,因此分类多样性较高。

3.3 $G-F$ 多样性测度指数

在多样性的相关研究中,单一从物种水平来分析依然是不够的^[35], $G-F$ 多样性测度指数正是根据物种间不同科(属)所隶属物种数目的不同,反映群落物种在科、属级水平上物种多样性情况,从而来衡量一个地区的物种多样性^[21, 36]。 $G-F$ 指数是一种快速、有效测度物种多样性的尝试,符合对于生物多样性测度的要求^[26]。

研究发现七连屿礁栖鱼类物种数目较大时,则对应的 G -指数、 F -指数和 $G-F$ 指数也相对较高,这与史赞荣^[16]等的研究结果一致。由此说明物种数目的大小能够影响珊瑚礁鱼类科、属的多样性。杨道德等^[37]认为 $G-F$ 指数可以归纳动物区系中有关物种组成的信息,能客观、全面地说明较长时间内一个地区的物种多样性。20 世纪 70 年代七连屿礁栖性鱼类无论是 G -指数(3.62)、 F -指数(11.04),还是 $G-F$ 指数(0.67)均较高,表明该年份鱼类多样性较高,且在科、属水平上都较为丰富。但 F -指数远高于 G -指数,表明 20 世纪 70 年代七连屿礁栖性鱼类在科一级水平上其多样性更加丰富,即科间差异大于其属间差异。 F 指数较高说明科的多样性较高,但 G -指数较低,说明其属间差异较低,物种只能局限于较少的科,甚至有不少的单型科,而这也与调查结果相一致。经过标准化的 $G-F$ 指数较高,说明科、属间分布相对合理。而 2018 年和 2019 年的 G -指数、 F -指数以及 $G-F$ 指数较为接近但仍存在差异,差异不明显($t=1.38$, $df=3$, $P>0.05$),这与两次调查的时间邻近有

关, 表明两年间鱼类种类多样性没有明显变化。但 20 世纪 70 年代至 2019 年, G -指数、 F -指数、 $G-F$ 指数不断减小且差异较大, 这可能与近年来人为活动的影响(捕捞活动频繁)和区域环境的变化有关^[32]。笔者建议对七连屿鱼类与栖息地及时予以保护。

参考文献:

- [1] Hughes T P, Baird A H, Bellwood D R, et al. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs[J]. *Science*, 2003, 301(5635): 929-933.
- [2] Spalding M D, Brown B E. Warm-water coral reefs and climate change[J]. *Science*, 2015, 350(6262): 769-771.
- [3] Gamfeldt L, Lefcheck J S, Byrnes J E K, et al. Marine biodiversity and ecosystem functioning: What's known and what's next?[J]. *Oikos*, 2015, 124(3): 252-265.
- [4] Chen Q C. Current status and prospects of marine biodiversity in China[J]. *Chinese Biodiversity*, 1997, 5(2): 142-146. [陈清潮. 中国海洋生物多样性的现状和展望[J]. 生物多样性, 1997, 5(2): 142-146.]
- [5] Li Y Z, Lin Z J, Chen P M, et al. Survey for coral reef fish resources in the center & north waters of the Nansha Islands [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27(4): 315-321. [李永振, 林昭进, 陈丕茂, 等. 南沙群岛中北部重要岛礁鱼类资源调查[J]. 水产学报, 2003, 27(4): 315-321.]
- [6] Bellwood D R, Hoey A S, Ackerman J L, et al. Coral bleaching, reef fish community phase shifts and the resilience of coral reefs[J]. *Global Change Biology*, 2006, 12(9): 1587-1594.
- [7] MacNeil M A, Graham N A J, Cinner J E, et al. Recovery potential of the world's coral reef fishes[J]. *Nature*, 2015, 520(7547): 341-344.
- [8] Topor Z M, Rasher D B, Duffy J E, et al. Marine protected areas enhance coral reef functioning by promoting fish biodiversity[J]. *Conservation Letters*, 2019, 12(4): e12638.
- [9] Munday P L, Donelson J M, Domingos J A. Potential for adaptation to climate change in a coral reef fish[J]. *Global Change Biology*, 2017, 23(1): 307-317.
- [10] Harborne A R. The ecology, behaviour and physiology of fishes on coral reef flats, and the potential impacts of climate change[J]. *Journal of Fish Biology*, 2013, 83(3): 417-447.
- [11] Eakin C M, Sweatman H P A, Brainard R E. The 2014-2017 global-scale coral bleaching event: Insights and impacts[J]. *Coral Reefs*, 2019, 38(4): 539-545.
- [12] Johnston M A, Hickerson E L, Nuttall M F, et al. Coral bleaching and recovery from 2016 to 2017 at East and West Flower Garden Banks, Gulf of Mexico[J]. *Coral Reefs*, 2019, 38(4): 787-799.
- [13] 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.
- [14] 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, 501-504. [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, 501-504.]
- [15] Li Y Z. Species diversity and biology of fish in coral reef waters of Xisha, Zhongsha and Nansha Islands, South China Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010. [李永振. 西沙、中沙和南沙群岛海域珊瑚礁鱼类物种多样性与生物学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.]
- [16] Shi Y R, Li Y Z, Ai H, et al. Fish taxonomic diversity of coral reef areas in Xisha Islands[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(11): 1753-1761. [史赞荣, 李永振, 艾红, 等. 西沙群岛珊瑚礁海域鱼类分类学多样性[J]. 水产学报, 2010, 34(11): 1753-1761.]
- [17] Li Y Z, Shi Y R, Ai H, et al. Large scale distribution patterns of taxonomic diversity of fish in coral reef waters, South China Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(3): 619-628. [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.]
- [18] 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.]
- [19] Huang H, You F, Lian J S, et al. Species diversity and distribution of scleractinian coral at Xisha Islands, China[J]. *Biodiversity Science*, 2011, 19(6): 710-715. [黄晖, 尤丰, 练健生, 等. 西沙群岛海域造礁石珊瑚物种多样性与分布特点[J]. 生物多样性, 2011, 19(6): 710-715.]
- [20] Yang J Y. Spectral analysis and classification of coral reefs around Qilian Yu in the Xisha Islands[D]. Guangzhou: Guangzhou University, 2017. [杨君怡. 西沙群岛七连屿周边珊瑚礁光谱分析及分类研究[D]. 广州: 广州大学, 2017.]
- [21] Clarke K R, Warwick R M. A taxonomic distinctness index and its statistical properties[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1998, 35(4): 523-531.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Graham N A J, McClanahan T R, Letourneur Y, et al. Anthropogenic stressors, inter-specific competition and ENSO effects on a Mauritian coral reef[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2006, 78(1): 57-69.
- [25] Xu B D, Jin X S, Liang Z L. The taxonomic diversity of fish communities in the Yellow Sea[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2005, 35(4): 629-634. [徐宾铎, 金显仕, 梁振林. 黄海鱼类群落分类学多样性的研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2005, 35(4): 629-634.]
- [26] Zhang Y L. Coefficient of similarity-An important parameter in floristic geography[J]. *Geographical Research*, 1998, 17(4): 429-434. [张懿铨. 植物区系地理研究中的重要参数——相似性系数[J]. 地理研究, 1998, 17(4): 429-434.]
- [27] Jiang Z G, Ji L Q. Avian mammalian species diversity in nine representative sites in China[J]. *Chinese Biodiversity*, 1999, 7(3): 220-225. [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.]
- [28] Li S F. Ecology of fish community in the East China Sea continental shelf-spatial pattern and its diversity[D]. Shanghai: East China Normal University, 2005. [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.]
- [29] Li N N, Dong L N, Li Y Z, et al. Taxonomic diversity of fish in Daya Bay[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(6): 863-870. [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.]
- [30] Wu H L, Zhong J S. Chinese Animal Genus Bonefish, Scorpionfish (5) Goby[M]. Beijing: Science Press, 2008: 497-499. [伍汉霖, 钟俊生. 中国动物志硬骨鱼纲鲈形目(五)虾虎鱼亚目[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 497-499.]
- [31] 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.]
- [32] 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 Qilanyu 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.]
- [33] Ji L, He P, Ye J, et al. The taxonomic distinctness diversity of fish community in Lake Honghu during the past 50 years[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2017, 29(4): 932-941. [纪磊, 何平, 叶佳, 等. 近 50 年来洪湖鱼类群落分类学多样性变动[J]. 湖泊科学, 2017, 29(4): 932-941.]
- [34] 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. [史赟荣, 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.]
- [35] Zhang S P, Zhang Z W, Xu J L, et al. The analysis of water-bird diversity in Tianjin[J]. *Chinese Biodiversity*, 2002, 10(3): 280-285. [张淑萍, 张正旺, 徐基良, 等. 天津地区水鸟区系组成及多样性分析[J]. 生物多样性, 2002, 10(3): 280-285.]
- [36] Yang X J, Zhang S M, Zhang X X, et al. The composing and analysis of large water-birds diversity in the Three River Plain Areas[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2005, 33(3): 56-58. [杨秀娟, 张树苗, 张喜祥, 等. 春季三江平原大型水鸟区系组成及多样性分析[J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(3): 56-58.]
- [37] Yang D D, Liu S, Fei D B, et al. Field survey and faunal analysis on herpetological resources in Qiyunshan Nature Reserve, Jiangxi Province[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2008, 43(6): 68-76. [杨道德, 刘松, 费冬波, 等. 江西齐云山自然保护区两栖爬行动物资源调查与区系分析[J]. 动物学杂志, 2008, 43(6): 68-76.]

Species and taxonomic diversity of Qilianyu island reef fish in the Xisha Islands

LI Yuanjie^{1,2}, CHEN Zuozhi², ZHANG Jun², JIANG Yan'e², GONG Yuyan², CAI Yancong², YANG Yutao²

1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory of Offshore Fisheries Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Guangdong Key Laboratory of Fishery Ecology Environment, Guangzhou 510300, China;
2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Herein we investigate the species composition and taxonomic diversity of coral reef ecosystems in a typical small-scale area in Qilian in the Xisha Islands. Based on fish survey data from the Nanhai Qilian Islands fishery in the 1970s and 2018-2019, we summarized the species composition of the Qilian Islands reef fish species using the taxonomic diversity index and the G (genus)- F (family) diversity measure index. We found that the reef fish in the Qilian Islands area belonged to 175 species of 70 genera, 33 families, and 8 orders. Perciformes accounted for the largest percentage, at 81%. The average classification difference index (Δ^+) is about 54.19, and the classification difference variation index (A^+) is about 112.35. We compared the community composition of Qilianyu fish to different regions, both at home and abroad. We found that the Δ^+ of the Qilianyu fish is lower than the East China Sea shelf, Daya Bay, and Yubi Reef, but was higher than the Qibi Reef. The average grade-of-diversity index (F -index) was 6.23. The (G -index) average was 3.09 and the normalized G - F index average was 0.40. The results indicate that the classification of species in the fish community of Qilianyu is higher, and the genetic relationship is closer, than that of the East China Sea shelf, Daya Bay, and Zhubi Reef. The G -index, F -index, and G - F index values indicate that the species diversity of the reef fish in Qilianyu is relatively high, and that the distribution of families and genera was good historically. However, in 2018-2019, the diversities of the family and genus decreased significantly, so it is suggested to protect them in time.

Key words: Qilianyu island; coral reef fish; species composition; taxonomic diversity; Xisha Islands

Corresponding author: CHEN Zuozhi. E-mail: zzchen2000@163.com