

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.00619

南海珊瑚礁海域鱼类分类多样性大尺度分布格局

李永振^{1,2}, 史赞荣³, 艾红², 董丽娜^{2,3}, 李娜娜^{2,4}, 李夏², 高天翔¹

1. 中国海洋大学, 山东 青岛 266003;
2. 中国水产科学研究院 南海水产研究所, 广东 广州 510300;
3. 上海海洋大学, 上海 201306;
4. 大连海洋大学, 辽宁 大连 116023

摘要: 珊瑚礁区生物多样性是当今生态学研究热点之一, 为更全面地了解南海诸岛珊瑚礁海域鱼类物种多样性分布格局, 系统整理了 20 世纪 70 年代以来南海东沙、西沙和中沙及南沙群岛珊瑚礁海域鱼类资源调查的历史资料, 研究了南海珊瑚礁鱼类分类学多样性。种类统计结果表明, 目前东沙记录鱼类种类 514 种, 西沙和中沙 632 种, 南沙 548 种; 各礁区记录鱼类物种数目少于预测数目, 也少于全球其他生境相似的海域记录的鱼类种数。估算了南海珊瑚礁鱼类平均分类差异指数 Δ^+ 和分类差异变异指数 $\wedge^+$, 结果显示, 东沙 Δ^+ 和 $\wedge^+$ 分别为 55.1、121; 西沙、中沙 Δ^+ 为 60.2, $\wedge^+$ 为 164; 南沙 Δ^+ 为 56.6、 $\wedge^+$ 为 150; 各礁区海域鱼类 Δ^+ 值均小于东海陆架海域, 而 $\wedge^+$ 值均高于东海陆架海域。在种和科的分类水平上, 计算了南海珊瑚礁海域与卡拉棉群岛、米尔恩湾、南沙群岛西南陆架和南海北部陆架海域鱼类的相似性系数, 结果表明, 西、中沙群岛与其他礁区海域鱼类在种级分类阶元上的相似性系数相差较大, 所有珊瑚礁海域鱼类在科级分类阶元上的相似性系数较为接近; 另外, 所有珊瑚礁海域鱼类种(科)间相似性均高于其与陆架海域鱼类种(科)间相似性。对南海珊瑚礁、卡拉棉群岛和米尔恩湾等海域典型礁栖性鱼类的科的物种相对丰富度进行了 Kruskal-Wallis 检验, 结果表明, 其差异均不显著($P>0.05$)。结论认为, 物种多样性较高而分类多样性较低是南海珊瑚礁鱼类多样性大尺度分布格局的主要特征。

关键词: 南海; 珊瑚礁; 鱼类; 分类学多样性; 相似性

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)03-0619-10

南海的东沙、西沙、中沙、南沙群岛统称为南海诸岛(图 1)^[1], 主要由珊瑚礁组成, 蕴藏着丰富的鱼类资源^[1-3]。目前, 中国已经开展了较多关于南海珊瑚礁生物多样性的研究, 如软体动物、浮游动物和浮游植物等^[3], 有关南海珊瑚礁海域鱼类物种多样性的研究也较多。以往的研究一般只涉及到某一礁群^[4-11], 也有研究用传统多样性方法做了大尺度分析^[3], 但所用资料一般为 1~2 个航次的数据, 或者是距今年代较长, 记录的物种也较少^[12]。随着调查研究的深入, 南海珊

瑚礁海域鱼类物种组成的资料也在不断更新, 因此对这些资料重新整合非常必要。

传统的生物多样性研究如 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数及 Pielou 均匀度指数的计算均须依赖物种个体数目, 对不同时间和方法采集的数据进行分析时需要标准化处理^[13]。然而, 由于在各个航次, 鱼类物种采集使用了不同的方法, 如手钓、延绳钓、刺网、潜水观察等^[1], 因此将采集的数据进行标准化处理给多样性研究带来了难度。

收稿日期: 2010-03-15; 修订日期: 2010-05-28.

基金项目: 国家科技基础条件平台工作重点项目(2003DEA6N042); 国家社会公益研究专项(2004DIB3J098); 广东省科技计划项目(2005B31001005, 2010B030800008).

作者简介: 李永振(1966-), 男, 主要从事渔业资源与渔业生态研究. E-mail: y.z.li@qq.com

通信作者: 高天翔, 教授. E-mail: gaozhang@ouc.edu.cn

平均分类差异指数 Δ^+ 和分类差异变异指数 $\wedge^+$ 基于物种间形态差异权重^[14], 可根据种类间形态关系的路径长度, 将群落分类多样性特征以量化指标体现^[14-17]。 Δ^+ 反映群落物种间的形态亲缘关系, 按照这种推理, 由不同属物种组成的群落就比由同一属物种组成的群落多样性高^[18-19]; $\wedge^+$ 反映了群落物种分类关系的均匀程度^[20]。

近年来, 中国近海渔业资源的持续衰退, 使部分捕捞努力量转移到了珊瑚礁海域, 已有研究发现, 中国珊瑚礁海域渔业资源有不断减少的趋势^[1-2]。因此, 珊瑚礁海域鱼类物种多样性研究是当前亟待开展的重要课题。本研究根据南海珊瑚礁海域鱼类的分布数据, 对南海珊瑚礁海域鱼类物种数目进行了整理, 计算了典型珊瑚礁鱼类科的相对丰富度、分类学多样性和相似性, 以期更全面地了解南海珊瑚礁海域大尺度上鱼类物种多样性分布情况。

1 材料与方法

1.1 研究区域

东沙群岛面积约 5 000 km², 由东沙岛、东沙环礁及南卫滩、北卫滩组成, 是南海诸岛中距大陆最近、岛礁最少的群岛^[21]。

西沙群岛位于南海西部, 分布在 50 多万 km² 的海域中。中沙群岛位于南海中部, 与西沙群岛仅相隔约 100 km。由于西沙群岛和中沙群岛距离较近, 本研究将两者作为一个整体来考虑^[21]。

南沙群岛位于中国南海诸岛中的南部, 分布于面积约 70 万 km² 的海域, 是南海诸岛海域面积最大、珊瑚礁个数分布最多的一个珊瑚岛群^[21]。

1.2 材料来源

根据南海珊瑚礁海域鱼类调查研究的历史资料^[1-12, 22-26], 系统地整理了南海珊瑚礁海域鱼类物种组成。为提高数据分析的准确性, 本研究中的鱼类物种组成只选用鉴定到种的物种, 这主要是因为考虑到南海珊瑚礁海域鱼类调查的时间跨度较大, 已很难再对当时鉴定的标本进行核对; 另外则是因为未鉴定到种的鱼类物种数目占鱼类总数的比例很小, 对数据分析的影响不大。种类

学名主要依据参考文献[27]。

1.3 研究方法

1.3.1 分类学多样性指数 分类学多样性指数^[14]主要包括分类多样性指数 Δ 、分类差异指数 Δ^* 、平均分类差异指数 Δ^+ 和分类差异变异指数 $\wedge^+$ 。

当只有种类出现与否的二元数据时, 分类学多样性指数可用下列指数来表示^[14, 28]。

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

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

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

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

Δ^+ 表示群落所有物种之间路径长度的平均值^[28-32], 为一理论平均值, $\wedge^+$ 为与 Δ^+ 的偏离程度^[33]。其中, ω_{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^[14], 不同分类等级间加权路径长度的权重设置见表 1。在此研究中分类等级确定为门、纲、目、科、属、种, 共 6 个水平, 由于鱼类均隶属脊索动物门, 实际上在计算时只运用到纲、目、科、属、种 5 个水平。

Δ^+ 和 $\wedge^+$ 由 PRIMER5.2 软件包的 TAXDTEST 求得^[34]。

表 1 各分类等级多样性权重值

Tab.1 Branch weight on species in different taxon level			
分类等级	taxon level	路径长度的权重	branch weight, ω_{ij}
种	species		16.667
属	genus		33.333
科	family		50.000
目	order		66.667
纲	class		83.333
门	phylum		100.000

1.3.2 鱼类相似性系数 由于 Czechanowski 系数更符合统计概率论理论^[35], 因此用 Czechanowski 系数分别计算各海域之间鱼类物种和科级分类阶元的相似性。Czechanowski 系数^[35]表达式为:

$$S_c = 2C / (A + B) \tag{3}$$

本研究在计算物种的相似性系数时只选用鉴定到种的鱼类进行计算。当 S_c 表示两海域鱼类物种相似性时, A 为甲海域记录的鱼类物种数目, B

为乙海域记录的鱼类物种数目, C 为两者共有鱼类物种数目。当 S_c 表示两海域鱼类科相似性时, A 为甲海域记录的鱼类科数目, B 为乙海域记录的鱼类科数目, C 为两者共有鱼类科数目。

1.3.3 鱼类物种组成分类学结构差异的比较 本研究利用 Kruskal-Wallis 成对样本检验来分析珊瑚礁海域的隆头鱼科 (Labridae)、天竺鲷科 (Apogontidae)、蝴蝶鱼科 (Chaetontidae)、雀鲷科 (Pomacentridae)、刺尾鱼科 (Acanthuridae)、鹦嘴鱼科 (Scaridae)、鲷科 (Blennidae)、鲹科 (Carangidae)、鰕科 (Holocentridae)、羊鱼科 (Mullidae) 这 10 科^[36-37] 典型珊瑚礁鱼类的相对物种丰富度差异。数据分析利用 SPSS 11.0 软件。

$$\text{相对丰富度}^{[36]} R = S_i \times 100 / S \quad (4)$$

式中, S_i 为第 i 科鱼类的物种数目, S 为该海域记录的鱼类物种数目。

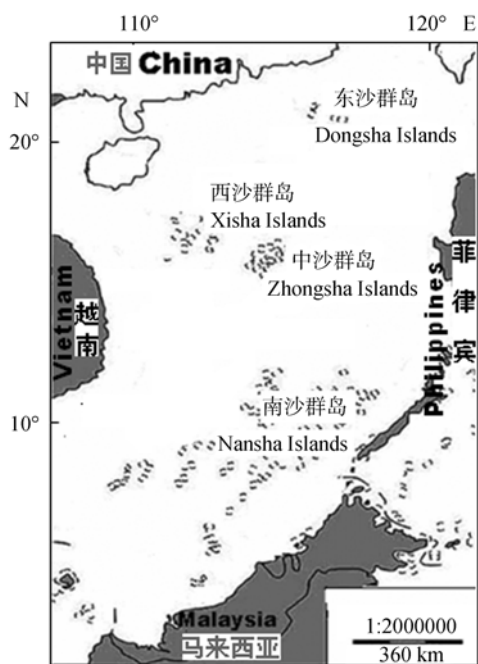


图1 南海诸岛分布图

Fig.1 Location of South China Sea islands

1.3.4 与其他海域的比较 为了显示南海珊瑚礁鱼类的分类多样性特征, 本研究选取了东海陆架区^[31] 海域鱼类分类学多样性指数作为对比, 还计算了距离相对较近的卡拉棉群岛^[38] (Calamine

Islands) 和较远的米尔恩湾^[38] (Milne Bay) 这 2 个珊瑚礁海域的鱼类分类学多样性。此外, 将南海珊瑚礁海域同这 2 个海域及南海北部陆架^[2] 和南沙群岛西南陆架^[39] 的种类组成和相似性进行了比较。卡拉棉群岛在菲律宾民都洛和巴拉望岛之间, 包括上百个小岛。米尔恩湾位于太平洋西南部, 是巴布亚新几内亚的一个海湾, 也有许多岛屿。

2 结果与分析

2.1 鱼类种类组成

从目前南海珊瑚礁海域记录的鱼类物种数目情况来看, 所记录的鱼类物种数目相对较多的是西、中沙群岛, 有 632 种, 隶属于 26 目, 99 科, 303 属; 其次南沙群岛记录 548 种, 隶属于 19 目, 74 科, 223 属; 东沙群岛记录 514 种, 隶属于 21 目, 69 科, 214 属。

表 2 列出了一些珊瑚礁海域鱼类的物种数目和鲈形目鱼类比例。在目级水平上, 各海域物种数目均以鲈形目鱼类占优势(表 2), 体现出珊瑚礁海域鱼类群落以鲈形目鱼类为主的特点。在科级分类水平上, 各海域物种数目较高的 10 科鱼类见表 2。隆头鱼科、虾虎鱼科、雀鲷科、蝴蝶鱼科、蝴蝶鱼科、鹦嘴鱼科、刺尾鱼科、鲷科这 8 个科都进入了南海珊瑚礁、卡拉棉群岛和米尔恩湾物种数目排名前 10 位的序列中。其中, 天竺鲷科鱼类数目在东沙群岛、卡拉棉群岛和米尔恩湾都排第 4, 但未进入西、中沙和南沙群岛前 10 位的序列中。同时, 鲷科也未进入西沙和中沙和南沙前 10 位的序列中, 而海鲢科正相反。鰕科鱼类在东沙和西、中沙群岛分别排第 9 和第 6, 但未进入南沙群岛、卡拉棉群岛和米尔恩湾前 10 位的序列。在 5 个海域中, 笛鲷科鱼类未能进入东沙群岛前 10 位的序列中, 而西沙和中沙群岛的鲹科和南沙群岛的裸颊鲷科鱼类则进入了前 10 位的序列中。

2.2 鱼类分类学多样性指数

表 3 同时给出了珊瑚礁海域鱼类 Δ^+ 和 $\wedge^+$ 的分布情况。由表 3 可见, 东海陆架的 Δ^+ 均高于各个珊瑚礁水域, 而西沙和中沙群岛珊瑚礁海域鱼

表 2 不同珊瑚礁海域各科鱼类和鲈形目鱼类的物种数目

Tab.2 Comparison of total fauna and species richness of reef-fish families and Perciformes recorded in South China Sea islands with those recorded in other regions

种类 category	东沙群岛 Dongsha Islands	西沙和中沙群岛 Xisha & Zhongsha Islands	南沙群岛 Nansha Islands	卡拉棉群岛 ^[38] Calamine Is-lands ^[38]	米尔恩湾 ^[38] Milne Bay ^[38]
隆头鱼科 Labridae ^a	71	58	77	82	104
雀鲷科 Pomacentridae ^a	53	39	51	86	106
鰕虎鱼科 Gobiidae	43	19	33	95	102
天竺鲷科 Apogonidae ^a	31	8	15	59	81
蝴蝶鱼 Chaetodontidae ^a	27	32	22	33	42
鹦嘴鱼科 Scaridae ^a	23	23	23	25	27
刺尾鱼科 Acanthuridae ^a	22	22	19	19	34
鲈科 Serranidae	18	44	31	27	72
鳾科 Holocentridae ^a	16	24	14	13	25
鳎科 Blennidae ^a	15	10	14	28	40
羊鱼科 Mullidae ^a	13	10	8	10	14
鲹科 Carangidae ^a	13	19	13	8	26
笛鲷科 Lutjanidae	13	24	23	16	31
海鲳科 Muraenidae	10	18	17	5	16
裸颊鲷科 Lethrinidae	11	14	16	11	18
鲈形目鱼类 Perciformes	419	432	426	614	882

注: ^a 表示该科鱼类为 Bellwood^[36-37]确定的典型珊瑚礁鱼类科。
Note: ^a donate “Consensus” families of Bellwood^[36-37] are italicized.

表 3 不同区域鱼类每属、科、目包含的物种数目、软骨鱼类物种数目及其平均分类差异指数(Δ^+)和平均分类差异变异指数($\wedge^+$)

Tab. 3 Number of species (S) per genus (G), family (F), and order (O), number of Chondrichthian species, average taxonomic distinctness index (Δ^+) and variation in taxonomic distinctness index($\wedge^+$) in each region

海域 region	生境类型 habitat	纬度 latitude	S/G	S/F	S/O	软骨鱼类数目 no. of Chondrichthian	Δ^+	$\wedge^+$
东沙群岛 Dongsha Islands	热带珊瑚礁 tropical coral reef	20°33′–21°10′N	2.54	7.88	28.63	10	55.1	121
西沙和中沙群岛 Xisha & Zhongsha Islands	热带珊瑚礁 tropical coral reef	14°00′–17°00′N	2.13	6.89	25.69	47	60.2	164
南沙群岛 Nansha Islands	热带珊瑚礁 tropical coral reef	4°00′–12°00′N	2.42	7.31	28.84	27	56.6	150
东海陆架 ^[31] East China Sea Continental Shelf ^[31]	亚热带陆架 Subtropical continental shelf	26°00′–33°00′N	1.48	2.92	12.07	26	65.7	110
卡拉棉群岛 ^[38] Calamine Islands ^[38]	热带珊瑚礁 tropical coral reef	11°30′–12°30′N	2.85	10.29	50.00	4	52.7	92
米尔恩湾 ^[38] Milne Bay ^[38]	热带珊瑚礁 tropical coral reef	10°00′–12°00′N	2.93	11.81	61.67	19	55.8	113

类的 Δ^+ 要高于东沙群岛及南沙群岛鱼类 Δ^+ ; $\wedge^+$ 的分布有所不同, 在 6 个水域中, 最高的是西沙和中沙群岛珊瑚礁海域, 其次为南沙群岛, 接着为东沙群岛, 而卡拉棉群岛 $\wedge^+$ 最小。

2.3 鱼类组成的相似性

南海珊瑚礁礁群之间, 南沙与东沙虽然相距较远, 但其鱼类种水平的组成相似性系数仍高于相距较近的西沙、中沙群岛与东沙群岛之间的

相似性, 也高于距离较近的李沙群岛与卡拉棉群岛的相似性(表 4); 科水平的组成相似性与种水平的组成相似性有所差异, 西沙、中沙与南沙之间科水平的组成相似性系数最高, 南沙与东沙鱼类科水平的组成相似性系数最小, 但三者之间科相似性系数均较接近。与卡拉棉群岛进行比较, 南沙和东沙与卡拉棉群岛鱼类种相似性系数比较接近, 而西、中沙群岛与卡拉棉群岛相

似性则最低；科相似性最高为南沙与卡拉棉群岛，其次为西、中沙群岛，东沙群岛最低。与米尔恩湾种相似性则跟与卡拉棉群岛情况基本类似；但科相似性分布则不同，东沙与米尔恩湾科相似性最高，西沙和中沙群岛其次，南沙群岛最小。另外，所有珊瑚礁海域鱼类之间种(科)相似性系数均高于其与陆架海域鱼类之间种(科)相似性系数，说明具有相似生境类型区域间的鱼类

相似性，要高于生境类型差异较大区域间的鱼类相似性。

2.4 鱼类分类学结构特征

用成对比较的 Kruskal-Wallis 一致性检结果表明，南海诸岛之间典型珊瑚礁鱼类科的相对物种丰富度差异均不显著($P>0.05$)，他们与卡拉棉群岛和米尔恩湾之间典型珊瑚礁鱼类科的相对物种丰富度差异也不显著($P>0.05$ ，表 5)。

表 4 不同海域鱼类的相似性(种/科)
Tab. 4 Similarities between fishes in different areas (species/family)

海域 region	东沙群岛 Dongsha Islands	西沙和中沙群岛 Xisha & Zhongsha Islands	南沙群岛 Nansha Islands
西沙和中沙群岛 Xisha & Zhongsha Islands	0.467/0.734	—	—
南沙群岛 Nansha Islands	0.595/0.713	0.548/0.798	—
卡拉棉群岛 ^[38] Calamine Islands ^[38]	0.479/0.721	0.322/0.639	0.446/0.745
米尔恩湾 ^[38] Milne Bay ^[38]	0.478/0.745	0.371/0.673	0.451/0.613
南海群岛西南陆架 ^[39] Southwestern Continental shelf on Nansha Islands ^[39]	0.077/0.502	0.166/0.588	0.126/0.535
南海北部陆架 ^[2] North Continental Shelf of South China Sea ^[2]	0.071/0.408	0.136/0.529	0.098/0.475

表 5 不同海域典型珊瑚礁鱼类科的相对物种丰富度比较
Tab.5 Comparison of relative species richness among typical families of fish faunas on different coral reef waters

海域 region	东沙群岛 Dongsha Islands	西沙和中沙群岛 Xisha & Zhongsha Islands	南沙群岛 Nansha Islands	卡拉棉群岛 Calamine Islands
西沙和中沙群岛 Xisha & Zhongsha Islands	0.094	—	—	—
南沙群岛 Nansha Islands	0.290	0.669	—	—
卡拉棉群岛 ^[38] Calamine Islands ^[38]	0.545	0.153	0.940	—
米尔恩湾 ^[38] Milne Bay ^[38]	0.251	0.172	0.821	0.821

注：表中数字表示 Kruskal-Wallis 检验两两比较的 P 值。
Note: Figures in the table are P values of Kruskal-Wallis test.

3 讨论

3.1 南海珊瑚礁鱼类多样性

不同地区物种丰富度的差异可以通过生态学和生物地理学进行解释^[40]。印度尼西亚-马来西亚-菲律宾海区作为全球海洋生物多样性的中心，仅鱼类就有 4 000 种^[41]，全球海洋生物物种数目大致以印-菲海区为中心沿经纬度变化而呈梯度分布^[42]。

南海珊瑚礁鱼类物种的具体数目目前还不能准确确定，但可以根据已有的研究对局部礁区的

鱼类物种数目进行初步推算。研究证实，全球珊瑚礁海域鱼类物种数目(y)与珊瑚物种数目(x)密切相关($y=-13.63+3.92x$)^[43-44]。目前东沙群岛记录 198 种珊瑚^[45]，据此推算东沙珊瑚礁海域鱼类物种数目应在 800 种以上，另有研究认为在 1 000 种以上^[9]；有报道越南芽庄湾记录珊瑚 350 种^[46]，南沙太平岛记录珊瑚 184 种^[47]；另有报道印-太海区记录的珊瑚数目是加勒比海区的 14 倍^[48]，这个倍数大致等于印-太海区跟加勒比海区拥有的浅海生境面积比；此外，还有研究报道礁区生境面积、所处经纬度都能影响珊瑚礁海域鱼类物种

数目^[49]。考虑到南海诸岛基本由珊瑚礁组成^[2]且距印-菲海区较近,尽管鱼种数目总体上难以准确定量,但可以推定应当非常丰富。目前,南海珊瑚礁海域记录的鱼类物种数目少于台湾南部(1 104)^[50]和东部(715)^[51]、大堡礁(>1 500)^[52]以及卡拉棉群岛和米尔恩湾,这种情况显然与调查次数较少和调查方式有关,这可从陈正平等^[9]在东沙群岛进行的几次调查,几乎每次均有新物种记录的事实得到证明。

3.2 南海珊瑚礁鱼类分类学多样性特征

陈国宝等^[3]用传统多样性指数分析鱼类群落时,发现南海珊瑚礁由于纬度较低,多样性指数比国内其他海域稍高,也高于布洛克岛近海和长岛外海、西班牙的地中海近海,而 Pielou 均匀度指数也高于浙江北部海域、黄龙岛周围海域和蚂蚁岛周围海域。史赞荣等^[53]发现河口鱼类的 H' 最高;其次是陆架海域;最小为热带珊瑚礁海域。Shin 等^[54]发现低纬度香港水域的贝类和甲壳类 Δ^+ 均低于较高纬度的挪威大陆架海域,同时 Ellingsen 等^[55]也发现在大尺度上挪威大陆架海域软底泥中大型底栖动物 Δ^+ 与纬度变化基本一致,但其中的软体动物门 Δ^+ 与纬度变化无关。本研究通过计算南海珊瑚礁海域鱼类 Δ^+ ,发现在大尺度上,南海珊瑚礁海域鱼类 Δ^+ 小于较高纬度的东海陆架鱼类 Δ^+ (表 6)。鱼类 Δ^+ 表现出与传统多样性指数有所差异的分布格局,这可能是本研究中 Δ^+ 的分析只考虑物种有无,而传统多样性指数依赖物种个体数目的缘故。尽管南海诸岛在空间上相距较远,但鱼类平均分类差异指数 Δ^+ 并没有表现出明显的纬度变化规律,这与李圣法^[31]及徐宾铎等^[30]的结论类似,可能与研究选择的各个区域都是热带珊瑚礁环境、环境因子(如水温、盐度等)在纬度方向上的梯度变化不大有关。另外,南海珊瑚礁海域鱼类 Δ^+ 均高于东海陆架鱼类,这可能是由于东海陆架鱼类物种数目只是根据 4 个季度的拖网调查资料得到^[31],物种形态和数目与东海陆架历史记录相差较大,从而使分类学范围变小的缘故。

表 6 南海珊瑚礁海域与东海陆架鱼类平均分类差异指数 Δ^+ 和分类差异变异指数 Δ^+ 的比较

Tab. 6 Comparisons of Δ^+ and Δ^+ of fish species between coral reef waters and East China Sea Continental Shelf

海域 Region	东沙群岛 Dongsha Islands	西沙和中沙群岛 Xisha & Zhong- sha Islands	南沙群岛 Nansha Islands
东海陆架 East China Sea Continent Shelf	18.89**/1.10**	9.36**/1.49**	15.25**/1.40**

注: A/B—A 和 B 分别代表 Δ^+ 的 F 检验的 F 值和 t 检验的 t 值; ** 表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

Note: A/B—A and B stand for F test value of Δ^+ and t test value of Δ^+ respectively; ** denotes extremely significant differences ($P < 0.01$).

南海珊瑚礁海域鱼类 Δ^+ 比东海陆架鱼类 Δ^+ 更低,反映了珊瑚礁海域鱼类在平均形态亲缘关系上更为接近,这也与不同海域每一属(科、目)平均拥有的物种数目有关,因为从表 3 可以看出无论是属、科还是目级水平,珊瑚礁海域每一分类阶元平均拥有的物种数目都要高于陆架。由于鱼类的分布与盐度、温度、水深等密切相关^[56],与陆架区域相比,珊瑚礁海域各季节水温、盐度梯度变化较小^[2],同时鱼类分布受底质复杂性、食物摄取、海流、波浪、躲避洞穴、珊瑚覆盖率等^[41]因素影响,微生境较多,鱼类进化速度快,因而可以分布的鱼类其形态亲缘关系较陆架区接近。不过,目前还不清楚全球其他珊瑚礁海域鱼类是否也具有这一特征,有待继续深入研究。

3.3 南海珊瑚礁鱼类相似性

本研究珊瑚礁海域之间鱼类物种种或科其相似性都要高于珊瑚礁海域与陆架鱼类间的相似性,这与 Robertson^[36]以及陈国宝等^[3]的研究结果基本一致。研究发现一些广泛分布在西太平洋至太平洋中部海岛的珊瑚礁鱼类,在亚洲东南部大陆架却很少出现^[57],如印-太海区记录 275 种雀鲷科鱼类^[58],而南沙群岛西南陆架仅记录 1 种^[56]。珊瑚礁和大陆架之间的生境差异将会使物种内的基因交流只发生在生境相似的区域,这也可以解释有些珊瑚礁即使相距数千千米,但其物种相似性却仍比临近的大陆架海区要高^[48]。如南沙群岛与南沙西南陆架以及东沙群岛与南海北部陆架尽管相距较近,但其鱼类相似性仍然低于与南沙

群岛相距较远的东沙群岛的相似性。另外,从种的相似性大小来看,南海诸岛内部的相似性相对较高,这可能与他们在地理空间上较为接近及洋流的分布格局有关(图2)^[59]。

从一些常见珊瑚礁鱼类科的物种数目来看,西沙和中沙群岛与卡拉棉群岛和米尔恩湾相比,一些如鳃科、鲈科、笛鲷科、裸颊鲷科等体型较大鱼类数目相差不大(表2),软骨鱼类甚至要多于其他海域;但体型较小的鱼类如天竺鲷科、鲷科等物种数目则较少(表2),如西沙和中沙群岛目前

只记录天竺鲷科鱼类8种、鲷科鱼类10种。这可能与在西沙和中沙群岛主要采用的是资源性调查有关,其采用的调查方法如延绳钓、流刺网等^[1-3]对体型较大的鱼类有较好的选择性,而其他海域多数采用了潜水观察或者水下摄影^[7-10,45],这对天竺鲷科等小型鱼类而言发现概率相对较高。本研究中,西沙和中沙群岛鱼类与卡拉棉群岛和米尔恩湾的物种相似性系数均较低,推测与鱼类物种采用的调查方法不同有关,调查方法的差异,一定程度上也会影响不同区系的鱼类的相似性。

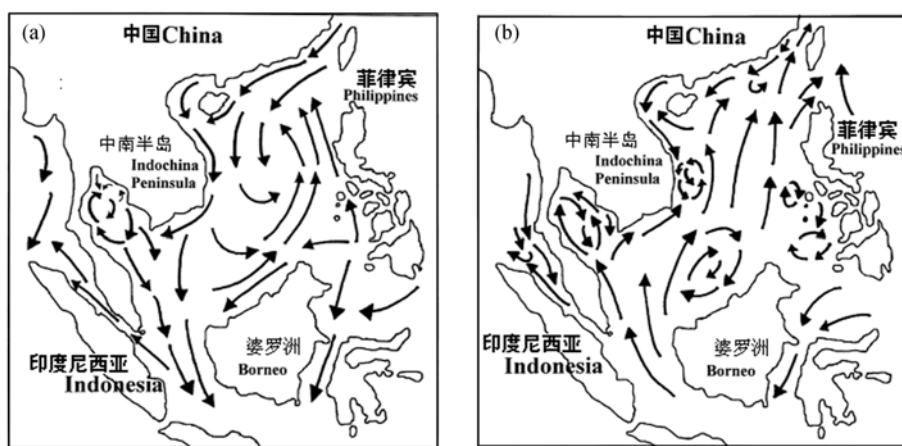


图2 南海冬季(a)和夏季(b)表层洋流分布^[59]

Fig. 2 Surface currents of the South China Sea in winter (a) and summer (b)^[59]

另外,在进行相似性分析时,如采用的种类组成数据较全,可以使相似性分析的效果更理想。再如假设上述文对南海珊瑚礁海域鱼类物种数目的推断能够成立,也就是目前相似性分析采用的种类组成数据只代表了南海珊瑚礁海域实际种类组成的一部分。将来随着调查研究的深入,该海域可能会新物种记录出现,届时,相似性系数的分布也可能会发生变化,因此,目前的相似性分析仍需要不断完善。但对比其他学者^[3-5,7,9]的研究,本研究采用的鱼类记录均较多。

3.4 鱼类物种相对丰富度

全球热带海洋环境可分为较大的印度-太平洋区系和较小的新世界区系(主要是加勒比海地区)两部分^[60]。Robertson^[36]发现一般有明显的地理屏障相隔的珊瑚礁海域,其典型珊瑚礁鱼类

科的相对丰富度差异显著。印-太生物区系鱼类的起源和扩散对太平洋和印度洋鱼类的集聚影响较大^[42],而本研究中各区域典型珊瑚礁鱼类科的物种相对丰富度一致性格局无显著性差异,结合Robertson^[36]的研究结果,可认为同一海洋生物区系内部的珊瑚礁海域鱼类物种相对丰富度差异不显著,而有明显地理屏障之间的海区,如热带东太平洋与中太平洋海域(有东太平洋深水屏障分割)(图3)^[61],其典型珊瑚礁鱼类相对丰富度差异显著。由于地理隔离能够影响物种分布,与东印度中心分离后,加勒比海地区一些珊瑚礁鱼类由于不能适应环境剧变而消失^[61],最终导致了鱼类种类组成与印-太海区相差较大的结果。

然而,尽管现代热带东太平洋和西北大西洋之间有巴拿马地峡相隔,但典型珊瑚礁鱼类科相

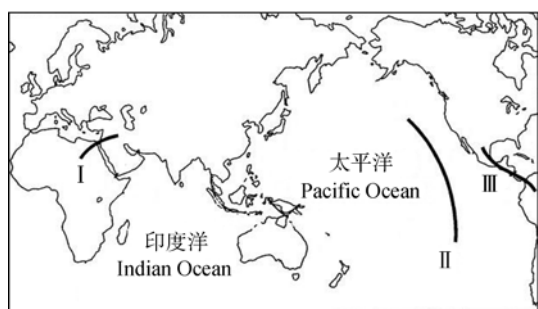


图 3 一些重要地理屏障的位置^[59]

I. 红海陆桥(发生于 1200 万~1800 万年前); II. 东太平洋障碍(发生于 650 万年前); III. 巴拿马地峡(发生于 320 万~350 万年前).

Fig.3 Locations of some geographical barriers^[59]

I. Red Sea land bridge(12–18 Ma); II. East Pacific Barrier (6.5 Ma); III. Isthmus of Panama (3.2–3.5 Ma).

对物种丰富度差异不显著^[36], 推测可能与两海域生态系统地理隔离发生时间相对较晚有关系。研究认为大约 1 000 多万年前中新世时期东太平洋屏障将全球热带海洋生物分为西特提斯海(相当于现在的印-太生物区)和东特提斯海(相当于现在的东太平洋、西北大西洋和加勒比海区), 热带东太平洋和西北大西洋地区直到 350 万年前还是相连的^[61]。因此可能的解释是鱼类区系的形成长期的历史过程, 350 万年的时间尚不能较大地改变热带东太平洋和热带西北大西洋两地典型珊瑚礁鱼类科的种类组成。

参考文献:

- [1] 南海主要岛礁生物资源调查研究课题组. 南海主要岛礁生物资源调查研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [2] 李永振, 贾晓平, 陈国宝, 等. 南海珊瑚礁鱼类资源[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.
- [3] 陈国宝, 李永振, 陈新军. 南海主要珊瑚礁水域的鱼类物种多样性研究[J]. 生物多样性, 2007, 15(4): 373–381.
- [4] Li Y Z, Chen Y, Yuan W W, et al. Fish fauna of coral reef waters in the centre & north of Nansha Islands[J]. J Fish Soc Taiwan, 2000, 27(3): 187–200.
- [5] 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.
- [6] 成庆泰, 王存信. 中国西沙群岛鱼类区系的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1966, 8(1): 29–36.
- [7] Chen J P, Jan R Q, Shao K T. Checklist of reef fishes from Taiping Island (Itu Aba Island), Spratly Islands, South China Sea[J]. Pac Sci, 1997, 51(2): 143–166.
- [8] Chen J P, Shao K T, Lin C P. A checklist of reef fishes from the Tungsha Tao (Pratas Island), South China Sea[J]. Acta Zool Taiwan, 1995, 6(2): 13–40.
- [9] 陈正平, 李展荣, 黄建华, 等. 2004 年东沙环礁鱼类状况[J]. 海洋生物学刊——东沙海洋生物多样性专刊, 屏东: 海洋生物博物馆, 2005: 1–24.
- [10] Chen L S, Shao K T, Fang L S, et al. Preliminary checklist of fishes from the waters at Tung-Sha Tao (Pratas Island), South China Sea[J]. Acta Oceanogr Taiwan, 1991, 27(1): 98–121.
- [11] 黄增岳, 李庆欣, 杨家驹, 等. 南沙群岛海区的鱼类初探[C]. 南沙群岛及其邻近海区海洋生物研究论文集 I, 北京: 海洋出版社, 1991: 197–209.
- [12] 王存信. 南海诸岛鱼类区系研究[C]海洋与湖沼论文集, 北京: 科学出版社, 1981: 137–165.
- [13] 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.
- [14] Clarke K R, Warwick R M. A taxonomic distinctness index and its statistical properties[J]. Appl Ecol, 1998, 35(4): 523–531.
- [15] Ceschia C, Falace A, Warwick R. Biodiversity evaluation of the macroalgal flora of the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea) using taxonomic distinctness indices[J]. Hydrobiologia, 2007, 580(1): 43–56.
- [16] Warwick R M, Clarke K R. New ‘biodiversity’ measure reveals a decrease in taxonomic distinctness with an increasing stress[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1995, 129(2): 301–305.
- [17] Rogers S I, Clarke K R, Reynolds J D. The taxonomic distinctness of coastal bottom-dwelling fish communities of the Northeast Atlantic[J]. J Anim Ecol, 1999, 68(4): 769–782.
- [18] Richard M. The use of taxonomic distinctness to assess environmental disturbance of insect communities from running water[J]. Freshw Biol, 2007, 52: 1634–1645.
- [19] Ricotta C, Avena G C. An information-theoretical measure of taxonomic diversity[J]. Acta Biotheoretica, 2003, 51(1): 35–41.
- [20] David M, Julie L, 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.
- [21] 国家广东省地名委员会. 南海诸岛地名资料汇编[G]. 广州: 广东省地图出版社, 1987: 164–168.
- [22] 水产总局南海水产研究所. 南海诸岛海域鱼类志[M]. 北

- 京: 科学出版社, 1979.
- [23] 中国科学院南海海洋研究所. 我国西沙、中沙群岛海域海洋生物资源调查研究报告集[R]. 北京: 科学出版社, 1978: 321–328.
- [24] 西、南、中沙渔业资源调查组. 西、中沙、南沙北部海域大洋性鱼类资源调查报告[R]. 广州: 国家水产总局南海水产研究所, 1978: 1–87.
- [25] 林昭进, 孙典荣, 邱永松, 等. 西、中沙礁盘海域渔业资源调查和开发前景分析课题-渔业资源专业调查报告[R]. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 2005: 1–42.
- [26] 东沙生态资源基础调查研究[Z/OL]. jfishhttp://tungsha.sinica.edu.tw/
- [27] 伍汉霖, 邵广昭, 赖春福. 拉汉世界鱼类名典[M]. 基隆: 水产出版社, 1999.
- [28] Clarke K R, Warwick R M. A further biodiversity index applicable to species lists: Variation in taxonomic distinctness[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 2001, 216(2): 265–278.
- [29] 徐宾铎, 金显仕, 梁振林. 对黄、渤海鱼类等级多样性的推算[J]. *中国海洋大学学报*, 2005, 35(1): 25–28.
- [30] 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*, 2005, 35(4): 629–634.
- [31] 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.
- [32] 张衡, 陆健健. 鱼类多样性估算方法在长江口的应用[J]. *华东师范大学学报: 自然科学版*, 2007(2): 11–22.
- [33] 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]. *Environ Biol Fish*, 2007, 6(78): 57–69.
- [34] Clarke K R, Warwick R M. Change in marine communities: An Approach to statistical analysis and interpretation[M]. 2nd ed. PRIMPER-E: Plymouth, 2001.
- [35] 张镜铨. 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.
- [36] Robertson D R. Do coral-reef fish faunas have a distinctive taxonomic structure?[J]. *Coral Reefs*, 1998, 17 (1): 179–186.
- [37] Bellwood D R. The Eocene fishes of Monte Bolca: the earliest coral reef fish assemblage[J]. *Coral Reefs*, 1996, 15 (1): 11–19.
- [38] Froese R, Pauly D. Fishbase[DB/OL]. 2010. <http://www.fishbase.org/>
- [39] 中国科学院南沙综合科学考察队. 南沙群岛及其邻近海区海洋生物研究论文集 II[C]. 北京: 海洋出版社, 1991, 38–52.
- [40] Bellwood D R, Hughes T P, Connolly S R, et al. Environmental and geometric constraints on Indo-Pacific coral reef biodiversity[J]. *Ecol Lett*, 2005, 763: 643–651.
- [41] Yolande B N, Claude B, Max L, et al. Biogeographic patterns of coastal fish assemblages in the West Indies[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 2005, 315(4): 31–47.
- [42] Mora C, Chittaro P M, Sale P F, et al. Patterns and processes in reef fish diversity[J]. *Nature*, 2003, 421(27): 933–936.
- [43] Öhman M C, Rajasuriya A, Ólafsson E. Reef fish assemblages in north-western Sri Lanka: distribution patterns and influences of fishing practices[J]. *Environ Biol Fish*, 1997, 49: 45–61.
- [44] Harmelin-Vivien, M L. Reef fish community structure: an Indo-Pacific comparison[J]. *Ecol Study*, 1989, 69: 21–60.
- [45] 樊同云, 郭兆杨, 方力行. 东沙环礁的珊瑚相与珊瑚群聚健康状况[J]. *海洋生物学刊: 东沙海洋生物多样性专刊*, 2005: 49–70.
- [46] Vo St, Devantier L M, Nguyen V L, et al. Coral reefs of the Hon Mun Marine Protected Area, Nha Trang Bay, Vietnam: species composition, community structure, status and management recommendation[C]. *Proceedings of the Scientific Conference “Bien Dong-2002”*, Nha Trang—Vietnam, 2004: 649–690.
- [47] Dai C F, Fan T Y. Coral fauna of Taiping Island (Itu Aba Island) in the Spratlys of the South China Sea[J]. *Atoll Res Bull*, 1996, 436: 1–21.
- [48] Findley J S, Findley M T. Global, regional, and local patterns in species richness and abundance of butter fishes[J]. *Ecol Monogr*, 2001, 71(1): 69–91.
- [49] Bellwood D R, Huges T P. Regional-scale assembly rules and biodiversity of coral reefs[J]. *Science*, 2001, 25(292): 1532–1534.
- [50] Shao K T, Chen J P, Shen S C. Marine fishes of the Ken-Ting National Park[R]. Taiwan: Ken-Ting National Park Headquarters Construction and Planning Administration Ministry of Interior, 1992: 427.
- [51] Shao K T, Chen J P, Ho L T, et al. Checklist and distribution patterns of the fishes of the Pescadores.[M]// Prasit M. *Proc. 4th Indo-Pacific Fish Conf.* Thailand: Kasertart Univ. Bangkok, 1994: 267–280.
- [52] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 第2版. 北京: 科学出版社, 2002: 335–340.
- [53] 史赞荣, 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.

- [54] Shin P K S, Ellingsen K E. Spatial patterns of soft-sediment benthic diversity in subtropical Hong Kong waters[J]. Mar Ecol Prog Ser, 2004 (276): 25–35.
- [55] Ellingsen K E, Clarke K R, Somerfield P J, et al. Taxonomic distinctness as a measure of diversity applied over a large scale: the benthos of the Norwegian continental shelf[J]. J Anim Ecol, 2005, 74: 1069–1079.
- [56] 中国科学院南沙综合科学考察队, 南沙群岛及其邻近海区海洋生物研究论文集 II. 北京: 海洋出版社, 1991: 110–117.
- [57] Guest Editorial. Marine centers of origin as evolutionary engines[J]. J Biogeogr, 2003, 30 (1): 1–18.
- [58] Allen G R, Timothy B W. Coral reef fish assessment in the 'coral triangle' of southeastern Asia[J]. Environl Biol Fish, 2002, 65: 209–214.
- [59] Chen C A, Ablan M C A, Mamanus J W, et al. Population structure and genetic variability of Six bar wrasse (*Thalassoma hardwicki*) in northern South China Sea revealed by mitochondrial control region sequences[J]. Mar Biotechnol, 2004, 6: 312–326.
- [60] Barberp H, Bellwood D R. Biodiversity hotspots: evolutionary origins of biodiversity in wrasses(Halichoeres: Labridae) in the Indo-Pacific and new world tropics[J]. Mol Phylogenet Evol, 2005, 35: 235–253.
- [61] Bellwood D R, Wainwright P C. The history and biogeography of fishes on coral reefs[M]//Sale P F. Coral reef fishes. dynamics and diversity in a complex ecosystem. San Diego: Academic Press, 2002: 5–32.

Large scale distribution patterns of taxonomic diversity of fish in coral reef waters, South China Sea

LI Yongzhen^{1,2}, SHI Yunrong³, AI Hong², DONG Lina^{2,3}, LI Nana^{2,4}, LI Xia², GAO Tianxiang¹

1. Ocean University of China, Qingdao 266003; China;

2. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

3. Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Dalian Oceans University, Dalian 116023, China

Abstract: The historical data of fish survey in Dongsha Islands, Xisha & Zhongsha Islands and Nansha Islands since 1970s were systematically collected and examined to study the large scale distribution patterns of fish diversity in coral reef waters of South China Sea as biodiversity of coral reef takes a significant role in ecological research. Based on the species statistics, 514 species were recorded in Dongsha Islands, 620 in Xisha & Zhongsha Islands, and 548 in Nansha Islands, respectively, which were less than expected and also below the average number in other reef waters elsewhere which have similar habitats with South China Sea. Additionally, we calculated the fish taxonomic diversity indices: the average taxonomic distinctness indices Δ^+ in Dongsha, Xisha & Zhongsha and Nansha Islands were 55.1, 60.2 and 56.6, respectively; variation in taxonomic distinctness index Δ^+ were 121, 164 and 150 in those islands, respectively. All Δ^+ values were lower than that of the continental shelf waters of East China Sea, while all Δ^+ values were higher than it. Regarding the species' and family's taxon level, we calculated the similarity coefficients between reef waters of South China Sea and Calamine Islands, Milne Bay, southwest continental shelf waters of Nansha Islands and northern continental shelf waters of South China Sea. The results indicated that there is greater difference in similarity coefficients on species level between Xisha & Zhongsha Islands and the other reef waters, but less difference occurred on family level, and all similarity values on species and family level are higher in reef waters than those in continental shelf waters. Moreover, with Kruskal-Wallis detection, we studied the relative species richness of associated reef fish families in South China Sea reef areas, Calamine Islands and Milne Bay, but no significance difference were found. Higher species diversity and lower taxonomic diversity are the main characteristics of large scale distribution patterns of diversity of fish in coral reef waters, South China Sea.

Key words: South China Sea; coral reefs; species diversity; taxonomic diversity; Czekanowski similarity

Corresponding author: GAO Tianxiang. E-mail: gaozhang@ouc.edu.cn