

南海主要珊瑚礁水域的鱼类物种多样性研究

陈国宝^{1,2} 李永振^{1*} 陈新军²

1 (中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300)

2 (上海水产大学海洋学院, 上海 200090)

摘要: 根据2004年5–7月和2005年3–4月采用深水三重刺网在南海的羚羊礁、华光礁、银砾滩、东岛、滨湄滩、排洪滩、本固暗沙、比微暗沙、武勇暗沙、海鸠暗沙、双子群礁、中业群礁、鲎藤礁、美济礁、仁爱礁、仙宾礁、南方浅滩、棕滩、大渊滩、永署礁、南薰礁、牛轭礁、道明群礁等23座主要珊瑚礁过渡性水域进行的2个航次专业调查资料, 分析了南海主要珊瑚礁水域的鱼类种类组成和群落特征。结果表明, 在珊瑚礁水域软骨鱼类以真鲨目和鲭目的种类数占优势, 硬骨鱼类以鲈形目和鲷形目的种类数占优势。相对重要指数(IRI)大于500的鱼类定为优势种, 西沙群岛有5种, 分别为迈氏条尾魮(*Taeniura meyeni*)、长吻裸颊鲷(*Lethrinus miniatus*)、胡椒鲷(*Plectorhinchus pictus*)、黄斑胡椒鲷(*P. flavomaculatus*)和灰六鳃鲨(*Hexanchus griseus*); 中沙群岛有6种, 分别为黄斑胡椒鲷、迈氏条尾魮、圆燕鱼(*Platax orbicularis*)、密斑刺鲀(*Dioson hystrix*)、红裸颊鲷(*Lethrinus rubrioperculatus*)和胡椒鲷; 南沙群岛有3种, 分别为黑梢真鲨(*Carcharhinus limbatus*)、灰三齿鲨(*Triaenodon obesus*)和星点鲹(*Caranx stellatus*)。针对南海珊瑚礁水域鱼类个体大小悬殊的特点, 本文分别以个体数和生物量为基础计算该水域的Margalef丰富度指数、Shannon-Wiener多样性指数、Simpson多样性指数和Pielou均匀度指数。物种组成的区域差异分析结果表明, 各珊瑚礁水域的鱼类物种无论与南海北部陆架海域还是与南沙西南陆架区相比都有明显的差异, 而属于相同生境类型水域的鱼类物种相似性较高。

关键词: 多样性, 鱼类, 珊瑚礁, 南海, 三重刺网

Species diversity of fishes in the coral reefs of South China Sea

Guobao Chen^{1,2}, Yongzhen Li^{1*}, Xinjun Chen²

1 South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300

2 Ocean College, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090

Abstract: During May to July 2004 and March to April 2005, we carried out two cruise surveys on fish resources using trammel net in the adjacent waters of 23 coral reefs of the South China Sea. We analyzed fish species composition and community characteristics. The results showed that Carcharhiniformes and Myliobatiformes were dominant families of the cartilaginous fishes, while Perciformes and Teraodontiformes were dominant families in the bony fishes. We defined the species with an Index of Relative Importance (IRI) >500 as dominant species. Accordingly, five dominant species were found in Xisha Archipelago waters, namely *Taeniura meyeni*, *Lethrinus miniatus*, *Plectorhinchus pictus*, *P. flavomaculatus*, and *Hexanchus griseus*. Six dominant species were found in the Zhongsha Archipelago water, namely *Plectorhinchus flavomaculatus*, *Taeniura meyeni*, *Platax orbicularis*, *Dioson hystrix*, *Lethrinus rubrioperculatus*, and *Plectorhinchus pictus*, and the three dominant species were in the Nansha Archipelago water, *Carcharhinus limbatus*, *Triaenodon obesus*, and *Caranx stellatus*. Since the fish body sizes varied remarkably, we calculated Margalef richness index, Shannon-Wiener index, Simpson index and Pielou evenness index based on both individual number and biomass. The results indicated that fish species diversity in coral reefs water were significantly different compared with those either in the northern or southwestern continental shelf waters of South China Sea. Fish species in similar habitats had higher similarity.

收稿日期: 2006-10-29; 接受日期: 2007-01-29

基金项目: 国家科技基础条件平台工作重点项目(2003DEA6N042)、广东省自然科学基金项目(04001263)和国家社会公益研究专项项目(2004DIB3J098)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: Y.Z.Li@163.net

Key words: diversity, fish, coral reef, South China Sea, trammel net

中国南海的西沙、中沙和南沙群岛绝大部分是由造礁珊瑚所构成的珊瑚礁,为海洋中一类特殊的生态系统,蕴藏着丰富的鱼类资源(陈清潮,1997)。中国关于南海珊瑚礁水域的生物多样性方面已经开展了不少工作,尤其是在软体动物、浮游动物和浮游植物方面(中国科学院南沙综合科学考察队,1994,1996),而近海鱼类物种的多样性研究也有不少的报道(费鸿年等,1981;金显仕和邓景耀,2000)。然而,针对南海珊瑚礁水域的鱼类资源调查的次数不多,调查数据和渔业生产资料的收集不系统(李永振等,2006)。除了南海水产研究所对南海珊瑚礁水域进行过几次鱼类资源专业调查外,日本海洋水产资源开发中心、台湾省水产试验所和南海海洋研究所也进行了一些调查,并对渔获物进行分类,但未见对鱼类物种多样性的深入研究报道。本文根据2004年5-7月和2005年3-4月采用三重刺网在南海23座主要珊瑚礁水域进行的2个航次专业调查并结合历史调查资料对南海主要珊瑚礁水域的鱼类物种多样性进行了研究,以期对南海珊瑚礁渔业资源的合理开发和有效的渔业管理提供科学依据。

1 研究方法

1.1 鱼类调查

2004年5-7月和2005年3-4月采用三重刺网在南海23座主要珊瑚礁水域进行了2个航次专业调查,包括西沙群岛的羚羊礁、华光礁、银砾滩、东岛、滨湄滩等5座珊瑚礁,中沙群岛的排洪滩、本固暗沙、比微暗沙、武勇暗沙、海鸠暗沙等5座珊瑚礁和南沙群岛的双子群礁、中业群礁、鲎藤礁、美济礁、仁爱礁、仙宾礁、南方浅滩、棕滩、大渊滩、永署礁、南薰礁、牛轭礁、道明群礁等13座珊瑚礁,调查站位地理位置见表1。其中在西沙群岛调查15个网次,中沙群岛调查9个网次,南沙群岛调查20个网次,调查所采用的三重刺网的参数见表2。调查时一般将3-8张网连在一起作为一组网进行采样,每个网次根据现场调查水域的具体情况一般放3-6组网,放网时间一般为16:00至翌日06:00。

1.2 数据分析

根据南海珊瑚礁水域的生态特征及所获数据的具体情况,本文采用相对重要性指数(*IRI*)(Pinkas *et al.*, 1971)、Margalef丰富度指数(Margalef, 1958)、Shannon-Wiener多样性指数(Krebs, 1989)、Simpson多样性指数(Simpson, 1949)、Pielou均匀度指数(Pielou, 1966)和Jaccard相似性系数(Simpson, 1949)对其鱼类物种多样性进行分析研究,主要公式如下:

(1)相对重要性指数(*IRI*):

$$IRI = (n_i / N + w_i / W) \times f_i$$

本文将 $IRI \geq 500$ 的物种定为优势种, $100 \leq IRI < 500$ 的物种定为常见种, $10 \leq IRI < 100$ 的物种定为一般种, $IRI < 10$ 的物种定为少见种。

(2)Margalef 丰富度指数的一般模式为:

$$D_{(I)} = (S-1) / \log_2 N$$

本文尝试以种类(*S*)与生物量(*W*)表示的Margalef 丰富度指数为:

$$D_{(B)} = (S-1) / \log_2 W$$

(3)Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H'_{(I)} = - \sum_{i=1}^S (n_i / N) \log_2 (n_i / N)$$

以生物量代替个体数来估算的Shannon-Wiener多样性指数为:

$$H'_{(B)} = - \sum_{i=1}^S (w_i / W) \log_2 (w_i / W)$$

(4)Simpson 多样性指数:

$$C_{(I)} = 1 - \sum_{i=1}^S (n_i / N)^2$$

应用以生物量代替个体数估算的Simpson多样性指数为:

$$C_{(B)} = 1 - \sum_{i=1}^S (w_i / W)^2$$

(5)Pielou 均匀度指数:

$$J_{(I)} = H'_{(I)} / \log_2 S$$

应用生物量代替个体数来估算的Pielou均匀度指数为:

表1 2004年和2005年南海主要珊瑚礁水域的调查站位地理位置

Table 1 Location of the sampling stations in the coral reefs of South China Sea surveyed in 2004 and 2005

群礁 Reefs	珊瑚礁 Coral reef	北纬 Latitude(N)	东经 Longitude(E)	群礁 Reefs	珊瑚礁 Coral reef	北纬 Latitude(N)	东经 Longitude(E)
西沙群岛 Xisha Islands	羚羊礁 Lingyang Reef	16°27'	111°30'	南沙群岛 Nansha Islands	双子群礁 Shuangzi Reefs	11°29'	114°24'
	华光礁 Huaguang Reef	16°16'	111°39'		中业群礁 Zhongye Reefs	11°05'	114°20'
	银砾滩 Yinli Bank	16°46'	112°12'		萤藤礁 Houteng Reef	10°38'	116°11'
	东岛 Dongdao Island	16°38'	112°41'		美济礁 Meiji Reef	9°54'	115°35'
	滨湄滩 Binmei Bank	16°19'	112°30'		仁爱礁 Ren'ai Reef	9°39'	115°51'
中沙群岛 Zhongsha Islands	排洪滩 Paihong Bank	15°39'	113°43'		仙宾礁 Xianbin Reef	9°47'	116°25'
	本固暗沙 Bengu Shoal	15°58'	114°02'		南方浅滩 Nanfang Bank	10°19'	116°33'
	比微暗沙 Biwei Shoal	16°06'	114°28'		棕滩 Zong Bank	10°44'	117°18'
	武勇暗沙 Wuyong Shoal	15°52'	114°48'		大渊滩 Dayuan Bank	11°10'	116°07'
	海鸠暗沙 Haijiu Shoal	15°36'	114°29'		永暑礁 Yongshu Reef	9°41'	113°03'
					南薰礁 Nanxun Reef	10°14'	114°14'
					牛轭礁 Niue Reef	10°00'	114°40'
					道明群礁 Daoming Reefs	10°43'	114°33'

表2 三重刺网的主要参数

Table 2 The main parameters of the trammel net used in survey

调查海域 Sea waters surveyed	网长 Netting length (m)	网高 Netting height (m)	外网目 Outside mesh size (cm)	内网目 Inside mesh size (cm)
南沙群岛 Nansha Islands	80	8.0	75	17
西沙、中沙群岛 Xisha Islands and Zhongsha Islands	80	7.5	80	20

$$J_{(B)} = H'_{(B)} / \log_2 S$$

(6) Jaccard 相似性系数:

$$J_s = c / (a + b - c)$$

以上各式中 n_i 为第*i*种的个体数, w_i 为第*i*种的重量, N 为所有渔获种类的总个体数, W 为所有渔获种类的总重量, f_i 为第*i*种出现的站数占总调查站数的百分比(即出现频率), S 为渔获种类数, a 为在a水域的种数, b 为在b水域的种数, c 为a水域和b水域的共有种数。

2 结果

2.1 鱼类种类组成

两个航次调查共渔获鱼类16目52科168种(包括2种未鉴定种类), 软骨鱼类占7目33种, 硬骨鱼类占9目135种; 在西沙渔获13目38科115种, 中沙渔获11目29科68种, 南沙渔获13目37科101种。从目级水平分析, 软骨鱼类以真鲨目(4科13种)和鲭目的种类数占优势; 硬骨鱼类以鲈形目(20科104种)和鲷形目的种类数占优势。从科级水平分析, 笛鲷科种类

最多, 有24种, 其次是鲹科(15种)、刺尾鱼科(13种)、鲳科(12种)、真鲨科(9种)、裸颊鲷科(8种)和鹦嘴鱼科(6种), 魮科、鰕科、石鲈科、蝴蝶鱼科和刺鲃科均为4种, 白鲳科、金枪鱼科、鲷科和鳞鲷科各3种, 长尾鲨科、猫鲨科、角鲨科、鹦鲷科、蝠鲮科、须鰈科、鲟科、锥齿鲷科、蛇鲭科、箱鲷科和鲷科等均均为2种, 其余各科仅1种。

西沙、中沙和南沙都是笛鲷科的种类最多, 其次为鲹科, 刺尾鱼科为第三。西沙与中沙的共有科数为24科, 与南沙的共有科数为26科, 中沙和南沙的共有科数为20科。以科类表示的相似度以西沙和中沙最高, 相似性系数为0.55, 这与西沙群岛和中沙群岛两个礁群相距较近有关系; 其次是西沙和南沙, 相似性系数为0.54; 南沙与中沙捕获的科的相似度最低, 相似性系数为0.46。

根据珊瑚礁水域渔获物个体大小悬殊的特点, 本文选用相对重要性指数(*IRI*) 作为生态优势度的度量指标。西沙群岛的优势种有5种, 分别为迈氏条纹魮 (*Taeniura meyeni*)、长吻裸颊鲷 (*Lethrinus*

miniatus)、胡椒鲷(*Plectorhinchus pictus*)、黄斑胡椒鲷(*P. flavomaculatus*)和灰六鳃鲨(*Hexanchus gri-seus*); 常见种有 13 种, 分别为丝鳍紫鱼(*Pristipomoides filamentosus*)、黑梢真鲨(*Carcharhinus limbatus*)、红钻鱼(*Etelis carbunculus*)、棘鳞蛇鲭(*Ruvettus pretiosus*)、红裸颊鲷(*Lethrinus rubrioperculatus*)、星斑叉鼻鲷(*Arothron stellatus*)、黑副鳞鲷(*Pseudobalistes fuscus*)、黄尾鲷(*Seriola lalandei*)、及达尖犁头鲷(*Rhynchobatus djiddensis*)、帆鳍鱼(*Histioporus typus*)、鼬鲨(*Galeocerdo cuvier*)、黄鳍棘鲷(*Sparus latus*)和白斑笛鲷(*Lutjanus bohar*); 一般种有 33 种, 少见种有 64 种。

中沙群岛的优势种有 6 种, 分别为黄斑胡椒鲷、迈氏条尾魮、圆燕鱼(*Platax orbicularis*)、密斑刺鲀(*Dioson hystrix*)、红裸颊鲷和胡椒鲷; 常见种有 13 种, 黑副鳞鲷、刺尾鱼科一种(*Acanthuridae* sp.)、丝鳍紫鱼、燕鱼(*Platax teira*)、额带刺尾鱼(*Acanthurus dussumieri*)、星斑叉鼻鲷、灰三齿鲨(*Triaenodon obesus*)、黄鳍棘鲷、平线若鲹(*Carangoides ferdau*)、长吻裸颊鲷、单列齿鲷(*Monotaxis grandoculis*)、尖吻鲭鲨(*Isurus oxyrinchus*)和鼻鱼属(*Naso* spp.); 一般种有 30 种, 少见种有 19 种。

南沙群岛的优势种有 3 种, 分别为黑梢真鲨、灰三齿鲨和星点鲹(*Caranx stellatus*); 常见种有 15 种, 分别为灰六鳃鲨、裸狐鲣(*Gymnosarda unicolor*)、珍鲹(*Caranx ignobilis*)、尖吻鲭鲨、棘鳞蛇鲭、迈氏条尾魮、黄斑胡椒鲷、长吻六鳃鲨(*Hexanchus nakamurai*)、胡椒鲷、锯齿刺鲷(*Centrophorus tessellatus*)、黑鲹(*Caranx lugubris*)、红叉尾鲷(*Aphareus rutilans*)、紫红笛鲷(*Lutjanus argentimaculatus*)、路氏双髻鲨(*Sphyrna lewini*)和长吻裸颊鲷; 一般种有 18 种, 少见种有 65 种。

2.2 各珊瑚礁水域鱼类物种多样性水平

2.2.1 Margalef 丰富度指数

从表 3 中可以看出, 无论以个体数还是以生物量为基础计算, 西沙群岛海域 Margalef 丰富度指数均为最大。西沙调查的 5 座珊瑚礁的鱼类丰富度指数差异不大, 东岛、羚羊礁和滨湄滩的物种丰度相对较大, 银砾滩的物种丰富度相对较小。西沙群岛各珊瑚礁渔获种数从大到小依次为东岛、羚羊礁、滨湄滩、华光礁和银砾滩。

中沙群岛 5 座珊瑚礁的鱼类丰富度指数和渔获种类数均差异明显, 无论以个体数还是以生物量为基础计算, 从大到小均为武勇暗沙、排洪滩、比微暗沙、海鸠暗沙和本固暗沙。

南沙群岛 13 座珊瑚礁鱼类丰富度指数差异比较明显。无论以个体数还是以生物量为基础计算, 均是以大渊滩、牛轭礁、道明群礁、鲎藤礁、仙宾礁和仁爱礁等 6 座珊瑚礁较高, 永署礁、南薰礁和棕滩等 3 座珊瑚礁居中, 双子群礁、中业群礁、南方浅滩和美济礁等 4 座珊瑚礁较低。南沙群岛珊瑚礁丰富度指数的平均值明显低于西沙群岛和中沙群岛。

从表 3 还可以看出, 调查的 23 座珊瑚礁中以个体数计算的 Margalef 丰富度指数较高的依次为滨湄滩、羚羊礁、东岛、华光礁和银砾滩, 均处于西沙群岛; 以生物量计算的 Margalef 丰富度指数较高的依次为大渊滩、鲎藤礁、道明群礁、牛轭礁和仙宾礁, 均处于南沙群岛。

2.2.2 Shannon-Wiener 多样性指数

以个体数计算的多样性指数, 西沙群岛各珊瑚礁非常接近, 最高的为东岛, 最低的为银砾滩(表 3); 而以生物量计算的多样性指数除羚羊礁较低外, 其他 4 座珊瑚礁均较高, 并且比较接近。

以个体数计算的多样性指数中沙群岛比西沙群岛低, 5 座珊瑚礁中以武勇暗沙和排洪滩稍高, 比微暗沙、海鸠暗沙和本固暗沙稍低。但以生物量计算的多样性指数中沙群岛比西沙群岛高, 并且中沙群岛 5 座珊瑚礁的差异明显, 从大到小依次为排洪滩、武勇暗沙、海鸠暗沙、比微暗沙和本固暗沙。

无论以个体数计算的多样性指数还是以生物量计算的多样性指数南沙群岛均低于西沙和中沙群岛, 并且 13 座珊瑚礁之间的差异较明显。以个体数计算的多样性指数以鲎藤礁、仁爱礁、大渊滩、仙宾礁、道明群礁和牛轭礁的较高, 永署礁、棕滩、中业群礁、双子群礁和南薰礁居中, 美济礁和南方浅滩最低。以生物量计算的多样性指数从高到低依次为大渊滩、仙宾礁、棕滩、鲎藤礁、永署礁、牛轭礁、双子群礁、道明群礁、南薰礁、南方浅滩、中业群礁、仁爱礁和美济礁。从以上分析也可以看出, 仁爱礁的多样性指数若以个体数计算比较高, 而以生物量计算则比较低, 这是由于在该珊瑚礁渔获大型鱼类尖吻鲭鲨的生物量占总生物量的绝大部分所致(74.6%)。

表3 南海主要珊瑚礁水域的鱼类物种多样性指数
Table 3 Diversity index of fish species in the coral reef waters of South China Sea

群礁 Reefs	珊瑚礁 Coral reef	种类数 Total number of species	Margalef指数 Margalef index		Shannon-Wiener指数 Shannon-Wiener index		Simpson指数 Simpson index		Pielou均匀度 Pielou evenness index	
			$D_{(I)}$	$D_{(B)}$	$H'_{(I)}$	$H'_{(B)}$	$C_{(I)}$	$C_{(B)}$	$J_{(I)}$	$J_{(B)}$
西沙群岛 Xisha Islands	羚羊礁 Lingyang Reef	51	10.41	2.61	4.66	1.95	0.93	0.45	0.82	0.34
	华光礁 Huaguang Reef	45	9.64	2.55	4.78	3.47	0.94	0.83	0.87	0.63
	银砾滩 Yinli Bank	43	9.16	2.35	4.53	3.55	0.92	0.85	0.83	0.65
	东岛 Dongdao Island	54	10.23	2.90	5.07	3.86	0.96	0.87	0.88	0.67
	滨湄滩 Binmei Bank	50	10.63	2.70	4.63	3.39	0.92	0.83	0.82	0.60
	平均值 Mean	48.6	10.01	2.62	4.73	3.24	0.93	0.77	0.84	0.58
中沙群岛 Zhongsha Islands	排洪滩 Paihong Bank	33	7.08	1.91	4.59	4.10	0.94	0.91	0.91	0.81
	本固暗沙 Bengu Shoal	20	4.47	1.17	3.77	2.70	0.89	0.74	0.87	0.62
	比微暗沙 Biwei Shoal	29	6.26	1.63	4.03	3.13	0.89	0.81	0.83	0.64
	武勇暗沙 Wuyong Shoal	36	7.30	2.01	4.66	3.87	0.95	0.88	0.90	0.75
	海鸠暗沙 Haijiu Shoal	26	5.61	1.52	4.01	3.57	0.92	0.88	0.85	0.76
	平均值 Mean	28.8	6.14	1.65	4.21	3.47	0.92	0.84	0.87	0.72
南沙群岛 Nansha Islands	双子群礁 Shuangzi Reefs	12	2.59	1.65	3.29	2.79	0.88	0.82	0.92	0.78
	中业群礁 Zhongye Reefs	13	3.19	1.46	3.44	2.02	0.89	0.63	0.93	0.55
	鲨藤礁 Houteng Reef	33	5.96	3.75	4.61	3.06	0.95	0.76	0.91	0.61
	美济礁 Meiji Reef	2	0.25	0.17	0.81	0.92	0.38	0.44	0.81	0.92
	仁爱礁 Ren'ai Reef	27	5.10	2.64	4.41	1.62	0.94	0.43	0.93	0.34
	仙宾礁 Xianbin Reef	27	5.43	3.34	4.29	3.26	0.93	0.84	0.90	0.69
	南方浅滩 Nanfang Bank	8	1.37	1.03	1.95	2.21	0.60	0.71	0.65	0.74
	棕滩 Zong Bank	15	3.21	2.13	3.46	3.17	0.88	0.85	0.89	0.81
	大渊滩 Dayuan Bank	28	6.35	4.12	4.39	3.71	0.94	0.88	0.91	0.77
	永署礁 Yongshu Reef	19	4.61	2.55	3.95	2.90	0.92	0.77	0.93	0.68
	南薰礁 Nanxun Reef	18	3.67	2.22	3.08	2.38	0.80	0.68	0.74	0.57
	牛轭礁 Niue Reef	31	6.27	3.37	4.22	2.88	0.91	0.78	0.85	0.58
	道明群礁 Daoming Reefs	33	6.14	3.53	4.29	2.61	0.93	0.65	0.85	0.52
平均值 Mean	20.5	4.16	2.46	3.55	2.58	0.84	0.71	0.86	0.66	

调查的 23 座珊瑚礁中以个体数计算的 Shannon-Wiener 多样性指数较高的依次为东岛、华光礁、武勇暗沙、羚羊礁和滨湄滩, 而以生物量计算的 Shannon-Wiener 多样性指数较高的依次为排洪滩、武勇暗沙、东岛、大渊滩和海鸠暗沙。

2.2.3 Simpson 多样性指数

以个体数计算的西沙群岛 5 座珊瑚礁水域的 Simpson 多样性指数均较高, 而以生物量计算的 Simpson 指数除了羚羊礁较低外, 其余 4 座珊瑚礁比较接近 (表 3)。造成羚羊礁以个体数和生物量计算的 Simpson 多样性指数差异较明显的原因主要是由于在该珊瑚礁渔获的 5 尾大型鱼类灰六鳃鲨的生物量占总生物量的绝大部分所致。

中沙群岛调查的 5 座珊瑚礁水域中, 以个体数计算的武勇暗沙、排洪滩和海鸠暗沙等 3 座珊瑚礁的 Simpson 多样性指数值较高, 本固暗沙和比微暗沙低, 其平均值和西沙群岛调查的 5 座珊瑚礁的平均值比较接近。各珊瑚礁以生物量计算的 Simpson 多样性指数差异稍明显, 仍以本固暗沙最低。

南沙群岛各珊瑚礁 Simpson 多样性指数比西沙和中沙群岛都低, 调查的 13 座珊瑚礁中, 鲨藤礁、仁爱礁、大渊滩、仙宾礁、道明群礁、永署礁和牛轭礁等以个体数计算的 Simpson 多样性指数均超过 0.9, 中业群礁、棕滩、双子群礁和南薰礁其次, 美济礁和南方浅滩最低。以生物量计算的 Simpson 多样性指数来看, 仁爱礁最低, 大渊滩最高。美济礁

无论是以个体数还是以生物量计算的Simpson多样性指数均很低,主要是由于当时受台风影响在该水域的调查作业异常。仁爱礁的Simpson多样性指数若以个体数计算比较高,而以生物量计算则比较低,主要是由于在该珊瑚礁渔获到大型鱼类尖吻鲭鲨的生物量已占总生物量的绝大部分所致,与上述的Shannon-Wiener多样性指数类似。

调查的23座珊瑚礁中以个体数计算的Simpson多样性指数较高的依次为东岛、武勇暗沙、鲎藤礁、排洪滩和大渊滩,而以生物量计算的Simpson多样性指数较高的依次为排洪滩、武勇暗沙、大渊滩、海鸠暗沙和东岛。

2.2.4 Pielou均匀度指数

以个体数计算的Pielou均匀度指数中,西沙群岛的5座调查珊瑚礁的均匀度比较接近(表3),各珊瑚礁鱼类资源结构的均匀度差异不大;而以生物量计算的Pielou均匀度指数更低,但5座珊瑚礁的差异稍明显。

中沙群岛5座调查珊瑚礁的均匀度的平均值比西沙群岛略高,其中位于中沙大环礁东西两侧的排洪滩和武勇暗沙的均匀度较高。以生物量计算的Pielou均匀度指数差异明显,比西沙和南沙群岛均高。

以个体数计算的海南群岛调查珊瑚礁的均匀度平均值介于西沙群岛和中沙群岛之间,其中双子群礁、中业群礁、鲎藤礁、仁爱礁、仙宾礁、大渊滩、永署礁的均匀度最高,均在0.9以上;其次为美济礁、棕滩、牛轭礁和道明群礁,也在0.8以上;南方浅滩和南薰礁较低。以生物量计算的Pielou均匀度指数差异明显,美济礁、棕滩、双子群礁、大渊滩和南方浅滩较高,仙宾礁、永署礁、鲎藤礁、牛轭礁、南薰礁、中业群礁和道明群礁居中,仁爱礁最低。

调查的23座珊瑚礁中以个体数计算的Pielou均匀度指数较高的依次为永署礁、中业群礁、仁爱礁、双子群礁和排洪滩,而以生物量计算的Pielou均匀度指数较高的依次为美济礁、排洪滩、棕滩、双子群礁和大渊滩。

2.3 鱼类物种组成的区域差异

表4列出了南海不同海域鱼类物种组成的区域差异。“海域1”指126海洋勘测专项在南海北部陆

架区的底拖网调查范围(贾晓平等,2004)，“海域2”指在南沙群岛西南部陆架海域底拖网渔业资源调查范围(中国科学院南沙综合科学考察队,1991)，“海域3”指台湾省水产试验所在太平岛进行的几次生态调查范围(杨鸿嘉,1961;刘振乡,1977;黄士宗,1984;戚桐欣,1989)，“海域4”指在西沙、中沙和南沙北部海域大洋性鱼类资源调查范围(南海水产研究所西、南、中沙渔业资源调查组,1978)，“海域8”和“海域9”分别指在西沙和南沙礁区调查范围(南海主要岛礁生物资源调查研究课题组,2004)，“海域10”、“海域11”和“海域12”分别指在西沙、中沙和南沙群岛珊瑚礁外缘水域调查范围(李永振等,2006)，“海域6”指“海域8-9”的综合，“海域7”指“海域10-12”的综合，“海域5”指“海域6-7”的综合。

根据表4的统计结果分析,南海珊瑚礁海域与陆架区海域鱼类种类组成具有明显的差异。南海珊瑚礁海域(海域5)与南沙西南陆架(海域2)和南海北部陆架(海域1)海域的相似性系数分别为0.07和0.08,而它们的共有种类分别为39种和71种(仅包括鉴定到种的种类)。南海珊瑚礁外缘水域(海域7)分别与南沙西南陆架(海域2)和南海北部陆架(海域1)海域相比,种类组成的差异也比较明显,物种相似性系数仅为0.07和0.05,共有种类仅为24种和36种。西沙礁区(海域8)和南沙礁区(海域9)属于相同的生境类型但相互隔离的地理区域,其种类组成具有一定的相似性,物种相似性系数为0.39,共有种类为93种;同样,珊瑚礁外缘水域之间相比,比如南沙外缘水域(海域12)与西沙外缘水域(海域10)的相似度最高,相似性系数和共有种类分别为0.41和62种;中沙外缘水域(海域11)与南沙外缘水域的相似性最低,其相似性系数和共有种类分别为0.33和41种;而西沙外缘水域与中沙外缘水域的相似性系数和共有种类则分别为0.38和49种。南海珊瑚礁区水域(海域6)与外缘水域(海域7)相比,虽然相互邻接,但物种组成的相似性并不高,相似性系数和共有种类分别为0.17和58种。可见,珊瑚礁海域的鱼类物种无论是与南海北部陆架海域还是与南沙西南陆架区相比均有明显的差异,而属于相同生境类型水域的鱼类物种相似性高,相互邻接的礁区水域和外缘水域的种类相似性并不明显。

表4 南海不同海域鱼类物种组成的区域差异

Table 4 Regional differences of fish species composition in the various areas of South China Sea

海域编号 No. of sea area	海域编号 No. of sea area											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		146	29	16	71	50	36	32	31	22	12	26
2	0.22		13	8	39	19	24	11	11	16	12	16
3	0.03	0.02		8	114	94	44	71	71	34	23	28
4	0.02	0.03	0.02		21	10	19	9	8	14	8	12
5	0.08	0.07	0.18	0.06		239	166	155	177	113	66	100
6	0.06	0.04	0.17	0.04	0.69		58	155	177	38	26	41
7	0.05	0.07	0.08	0.10	0.48	0.17		41	44	113	66	100
8	0.04	0.03	0.14	0.05	0.45	0.65	0.15		93	29	17	26
9	0.04	0.03	0.14	0.04	0.51	0.74	0.15	0.39		31	22	33
10	0.03	0.05	0.07	0.09	0.33	0.12	0.69	0.12	0.12		49	62
11	0.02	0.04	0.05	0.07	0.19	0.09	0.40	0.08	0.10	0.38		41
12	0.04	0.05	0.06	0.09	0.29	0.14	0.60	0.11	0.14	0.41	0.33	
种类数 Total species	611	214	406	52	347	239	166	155	177	113	66	100

对角线上方为共有种数, 对角线下方为Jaccard相似性系数。

“海域1”指126海洋勘测专项在南海北部陆架区的底拖网调查范围; “海域2”指在南沙群岛西南部陆架海域底拖网渔业资源调查范围; “海域3”指台湾省水产试验所在太平岛进行的几次生态调查范围; “海域4”指在西沙、中沙和南沙北部海域大洋性鱼类资源调查范围; “海域8”和“海域9”分别指在西沙和南沙礁区调查范围; “海域10”、“海域11”和“海域12”分别指在西沙、中沙和南沙群岛珊瑚礁外缘水域调查范围; “海域6”指“海域8-9”的综合; “海域7”指“海域10-12”的综合; “海域5”指“海域6-7”的综合

Common species in top right corner and Jaccard similarity coefficient of species composition in below left corner.

表5 多样性指数的区域比较

Table 5 Comparison of diversity index among several different sea areas

海域 Sea area	Shannon-Wiener指数 Shannon-Wiener index		Pielou均匀度指数 Pielou evenness index		参考文献 Reference
	$H'_{(I)}$	$H'_{(B)}$	$J_{(I)}$	$J_{(B)}$	
	西班牙的地中海近海 Coastal waters of Mediterranean Sea in Spain	1.00-2.40			
布洛克岛近海和长岛外海 Coastal waters of Block Island and offshore of Long Island	0.70-1.70				Haedrich & Haedrich (1974)
南海北部大陆 Continental shelf of northern South China Sea			1.40-4.40		费鸿年等 (1981)
东海深海 Deep sea of East China Sea	0.97-3.83				沈金鳌和程炎宏 (1987)
闽南-台湾浅滩 Southern Fujian and Taiwan Bank			1.10-2.75		黄宗强和施并章(1986)
浙江北部海域黄龙岛周围海域 Waters surrounding Huanglong Islands of the northern Zhejiang	0.66-3.18	1.22-3.36	0.17-0.80	0.28-0.84	郁尧山(1983)
浙江北部海域蚂蚁岛周围海域 Waters surrounding Mayi Islands of the northern Zhejiang	0.96-2.37	0.28-3.81	0.29-0.63	0.10-0.78	郁尧山(1983)
西沙群岛 Xisha Islands	4.53-5.07	1.95-3.86	0.82-0.88	0.34-0.67	本文
中沙群岛 Zhongsha Islands	3.77-4.66	2.70-4.10	0.83-0.91	0.62-0.81	本文
南沙群岛 Nansha Islands	0.81-4.61	0.92-3.71	0.65-0.93	0.34-0.92	本文

3 讨论

3.1 以个体数和生物量所计算的多样性指数比较

依表3可以计算出 $D_{(I)}$ 和 $D_{(B)}$ 的相关系数 $r_D=0.52$, $H'_{(I)}$ 和 $H'_{(B)}$ 的相关系数 $r_H=0.68$, $C_{(I)}$ 和 $C_{(B)}$ 的相关系数 $r_C=0.46$, $J_{(I)}$ 和 $J_{(B)}$ 的相关系数 $r_J=-0.02$ 。经t检验,

$t=0.40$, 证明以个体数和生物量计算的Margalef丰富度指数、Shannon-Wiener多样性指数和Simpson多样性指数显著相关, 而Pielou均匀度指数不存在相关关系。费鸿年等(1981)分别以个体数和生物量为基础计算南海北部大陆架底栖鱼类的Shannon-Wiener多样性指数, 2种方法计算的结果有

显著相关,与本文一致。显著相关说明既可以个体数为基础计算其多样性指数,也可以生物量为基础计算。然而,郁尧山(1983)用以上2种方法计算的浙江北部岛礁周围海域鱼类的Shannon-Wiener多样性指数,结果无显著相关。由于参考文献原文未把所有数据详列,无法对发生这一差异原因做出推断,可能与本文研究对象为亚热带-热带鱼类有密切关系,这方面有待以后作进一步研究。

依表3可以看出以种类与个体数计算的Margalef丰富度指数($D_{(I)}$)和种类数有比较相似的分布趋势,说明种类数起着重要作用;但以种类与生物量计算的Margalef丰富度指数($D_{(B)}$)和种类的分布相似性不明显。除了美济礁和南方浅滩外,以个体数计算的 $H'_{(I)}$ 、 $C_{(I)}$ 和 $J_{(I)}$ 都比以生物量计算的 $H'_{(B)}$ 、 $C_{(B)}$ 和 $J_{(B)}$ 高。同时,以个体数和生物量计算的结果差距较大的出现在西沙群岛的羚羊礁和南沙群岛的仁爱礁,这是由于在羚羊礁仅渔获的5尾大型鱼类灰六鳃鲨其生物量占总生物量的绝大部分,同样在仁爱礁渔获的2尾大型鱼类尖吻鲭鲨的生物量占总生物量的74.6%。Pielou(1975)对用生物量代替个体数计算的Shannon-Wiener多样性指数结果进行讨论,认为这样的计算方法是合理的。在南海珊瑚礁鱼类个体大小悬殊的情况下,要准确计算多样性指数是不容易的。由于在渔业生产中较容易收集生物量数据,因此若从资源保护的角度考虑应以个体数为基础估算,若从渔业经济开发考虑则应以生物量来计算。

3.2 珊瑚礁水域鱼类物种多样性的影响因素

珊瑚礁水域鱼类种类繁多,许多种类是渔业开发的对象。为了更好探讨珊瑚礁水域的鱼类物种多样性的影响因素,表5列出了国内外几个海域的Shannon-Wiener指数和Pielou均匀度指数。从表5可以看出,国外两篇文献的结果比国内均低得多,本文所计算的南海珊瑚礁海域多样性指数结果比国内其他海域稍高,Pielou均匀度指数也比浙江北部海域黄龙岛周围海域和蚂蚁岛周围海域的高。这种现象与各海域所处的地理位置有密切关系,一般高纬度海域比低纬度海域的物种多样性低,布洛克岛近海和长岛外海、西班牙的地中海近海均为纬度较高的海域,南海也比东海的纬度低。费鸿年等(1981)研究南海北部大陆架底栖鱼类结果还表明,物种多样性与温度及水深有比较明显的关系,一般呈直线相关。

珊瑚礁生态系统比较复杂,南海珊瑚礁分布于低纬高温的热带,其鱼类物种多样性更明显。影响物种多样性的因素是多方面的,包括海域的地形、地貌、水文环境以及人为因素等。南海珊瑚礁大部分耸立于深海中,礁区内较浅,其四周礁外坡陡峭,有些礁缘外很近的水深达到500 m,地形地貌较特殊,各珊瑚礁的差异又比较明显。另外,南海珊瑚礁水域为一种热带海洋生态系统,光能比较充足,珊瑚礁上布满了各种孔穴、裂隙,每座珊瑚礁都有其自身特性,形成有利于不同水生生物栖息的生境。鱼类优势种和在各珊瑚礁水域捕捞强度也是影响珊瑚礁水域鱼类物种多样性的主要因素,主要通过改变各种主要鱼类的尾数和生物量组成来影响多样性。由于珊瑚礁的地质、地貌情况各有差异,所以生活在珊瑚礁中的生物种类很复杂,鱼类物种多样性较高。

参考文献

- Chen QC (陈清潮)(1997) Current status and prospects of marine biodiversity in China. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **5**, 142-146. (in Chinese with English abstract)
- Chi TX (戚桐欣)(1989) Investigation on fishing ground of Nansha Islands. *Bulletin of Taiwan Fisheries Research Institute* (台湾省水产试验所试验研究报告), **46**, 53-60. (in Chinese)
- Fei HN (费鸿年), He BQ (何宝全), Chen GM (陈国铭)(1981) The regional and seasonal variations of diversity and dominant species of demersal fish communities in continental shelf of northern Nan Hai. *Journal of Fisheries of China* (水产学报), **5**, 1-20. (in Chinese with English abstract)
- Fishery Resources Expedition Team of South China Sea Fisheries Research Institute to Xisha, Nansha and Zhongsha Islands (南海水产研究所西、南、中沙渔业资源调查组)(1978) *Survey Report of Pelagic Fish Resources in the Waters of Xisha, Zhongsha and the North of Nansha* (西沙、中沙、南沙北部海域大洋性鱼类资源调查报告), South China Sea Fisheries Research Institute. (in Chinese)
- Haedrich RL, Haedrich SO (1974) A seasonal survey of the fishes in the Mystic River, a polluted estuary in downtown Boston, Massachusetts. *Estuarine and Coastal Marine Science*, **2**, 59-73.
- Huang SZ (黄士宗)(1984) Investigation and research on fishing ground of Nansha Island in 1972. *Bulletin of Taiwan Fisheries Research Institute* (台湾省水产试验所试验研究报告), **37**, 35-38. (in Chinese)
- Huang ZQ (黄宗强), Shi BZ (施并章)(1986) Studies on the temporal variation in pelagic photo tactic fish community

- structure in the fishing ground of the southern Fujian. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), **5**, 175–182. (in Chinese with English abstract)
- Jia XP (贾晓平), Li YZ (李永振), Li CH (李纯厚), Qiu YS (邱永松), Gan JL (甘居利)(2004) *Fishery Environment and Fishery Resources in the Exclusive Economic Zone and the Continental Shelf of South China Sea* (南海专属经济区和大陆架渔业生态环境与渔业资源). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Jin XS (金显仕), Deng JY (邓景耀)(2000) Variations in community structure of fishery resources and biodiversity in the Laizhou Bay. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **8**, 65–72. (in Chinese with English abstract)
- Krebs CJ (1989) *Ecological Methodology*. Harper Collins Publishers, New York.
- Li YZ (李永振), Jia XP (贾晓平), Chen GB (陈国宝), Chen PM (陈丕茂)(2006) *Fish Resources of Coral Reefs in South China Sea* (南海珊瑚礁鱼类资源). Marine Press, Beijing. (in Chinese)
- Liu ZX (刘振乡)(1977) Bulletin of fishes and seashell in Taiping Island of Nansha Islands. *China Fisheries (Taiwan)*(中国水产(台湾)), **293**,19–21. (in Chinese)
- Margalef R (1958) Information theory in ecology. *General System Yearbook*, **3**, 36–71.
- Margalef R (1968) *Perspectives in Ecological Theory*. University of Chicago Press, Chicago.
- Pielou EC (1966) The use of information theory in the study of ecological succession. *Journal of Theoretical Biology*, **10**, 370–383.
- Pielou EC (1975) *Ecological Diversity*. John Wiley & Sons, New York.
- Pinkas L, Oliphant MS, Iverson ILK (1971) Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. *California Department of Fish and Game Fish Bulletin*, **152**, 1–105.
- Research Team of Biological Resources in the Coral Reefs of South China Sea (南海主要岛礁生物资源调查研究课题组)(2004) *Research Report of Biological Resources in the Coral Reefs of South China Sea* (南海主要岛礁生物资源调查研究). Marine Press, Beijing. (in Chinese)
- Shen JA (沈金鳌), Cheng YH (程炎宏)(1987) A study on the deep sea demersal fish communities and their structures in the East China Sea. *Journal of Fisheries of China* (水产学报), **11**, 293–306. (in Chinese with English abstract)
- Simpson EH (1949) Measurement of diversity. *Nature*, **163**, 688.
- The Multidisciplinary Oceanographic Expedition Team of Academia Sinica to the Nansha Islands (中国科学院南沙综合科学考察队)(1994) *Study on Marine Biodiversity in Nansha Islands and the Nearest Areas (I .)* (南沙群岛及其邻近海区海洋生物研究论文集 I). Marine Press, Beijing. (in Chinese)
- The Multidisciplinary Oceanographic Expedition Team of Academia Sinica to the Nansha Islands (中国科学院南沙综合科学考察队) (1996) *Study on Marine Biodiversity in Nansha Islands and the Nearest Areas II.* (南沙群岛及其邻近海区海洋生物研究论文集 II). Marine Press, Beijing. (in Chinese)
- The Multidisciplinary Oceanographic Expedition Team of Academia Sinica to the Nansha Islands (中国科学院南沙综合科学考察队)(1991) *Research Report on Bottom Trawl Fishery Resources Investigation in Southwestern Continental Shelf Sea Waters of Nansha Islands* (南沙群岛西南部陆架海区底拖网渔业资源调查研究报告). Marine Press, Beijing. (in Chinese)
- Yang HJ (杨鸿嘉)(1961) Study on fishes of Nansha Islands. *China Fisheries (Taiwan)* (中国水产(台湾)), **98**, 12–13. (in Chinese with English abstract)
- Yu YS (郁尧山)(1983) A preliminary study on eigenvalus of fish communities in waters surrounding islands of the northern Zhejiang. *Journal of Fisheries of China* (水产学报), **10**, 305–314. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 闫文杰)