

海南岛东岸、南岸浅水礁区近 10 年珊瑚礁鱼类 种类分布及多样性探讨

吴钟解, 蔡泽富, 陈石泉*, 张光星, 李向民, 王道儒, 姚海君
(海南省海洋与渔业科学院, 海南 海口 570125)

摘要: 根据 2004—2013 年海南岛东岸、南岸浅水礁区珊瑚礁鱼类监控数据, 利用截线样条法、分类学多样性指数、相对丰富度及相似性指数等方法技术对海南岛东岸、南岸浅水礁区珊瑚礁鱼类种类组成及生物多样性进行研究。结果显示, 海南东岸、南岸浅水礁区近 10 年调查珊瑚礁鱼类共计 6 目 32 科 64 属 130 种, 其中鲈形目居绝对优势; 珊瑚礁鱼类密度大致呈现由南向北逐渐递减的趋势; 科级多样性平均值为 4.41, 属级多样性指数平均值为 3.09, 标准化的 $G-F$ 指数平均值为 0.30; 鲈形目珊瑚礁鱼类相对丰富度占有绝对优势, 相对丰富度较高的 6 个科分别为雀鲷科、隆头鱼科、蝴蝶鱼科、天竺鲷科、四齿鲷科及玻甲鱼科; 珊瑚礁鱼类在目级极为相似, 相似性指数在 0.86~1 之间; 科、属、种级相似性指数较低, 均在 0.5 以下, 通过 Jaccard's 种类相似性指数分析, 海南岛东岸、南岸珊瑚礁鱼类种类较多, 物种丰富。珊瑚礁鱼体长范围 6~10 cm 区间的数量最多, 其次为 0~5 cm 区间, 21~40 cm 区间的珊瑚礁鱼类在浅水礁区分布极少。本研究通过对海南岛东岸、南岸浅水礁区珊瑚礁鱼类近 10 a 的种类分布及多样性进行探讨, 旨在为海南岛珊瑚礁生态系统及珊瑚礁鱼类保护与研究提供基础数据及理论依据。

关键词: 珊瑚礁鱼类; 密度; 多样性; 相对丰富度; 相似性指数; 海南岛

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

海南省位于我国的最南端, 地理位置: N 3°58'~20°10', E 108°37'~117°50', 是我国最大的海洋省份, 得天独厚的地理位置和气候环境为珊瑚礁的生长发育及形成提供了优越条件。据统计, 海南岛共有造礁石珊瑚 110 种和 5 个亚种, 分别隶属于 13 科 34 属和 2 亚属^[1-3]。丰富的珊瑚礁资源为珊瑚礁鱼类提供了栖息及繁育场所, 造就了珊瑚礁鱼类物种丰富的特点。刘静等^[4]根据历年调查及收集资料对海南岛周边鱼类进行统计, 海南岛珊瑚礁鱼类有近 200 种, 分别隶属于 15 目 49 科 105 属。国外科研工作者主要在珊瑚礁鱼类种类组成与分布^[5-7]、生物多样性^[8-11]、区系分析^[12-13]、环境适应^[14-15]以及生物体活性成分^[16]等方面进行研究, 我国许多科研工作者对南海岛的珊瑚礁鱼类资源分布^[17-19]、种类组

成^[20-22]及鱼类区系^[23-24]方面进行了研究, 部分科研工作者对西南中沙珊瑚礁鱼类进行了多样性研究^[25-26], 而对海南岛周边浅水礁区珊瑚礁鱼类群落组成及分布特征分析较少。

本研究根据海南岛东岸及南岸近 10 年的珊瑚礁浅水礁坪区珊瑚礁鱼类的长期定点水下监测数据, 从种类组成、分布密度变化、多样性指数、相对丰富度以及相似性等方面探讨了海南岛东岸、南岸珊瑚礁浅水礁区鱼类物种组成及群落结构变化, 旨在为海南岛珊瑚礁生态系统以及珊瑚礁鱼类的保护提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

海南东岸沿海的文昌、琼海、万宁及陵水等地

收稿日期: 2015-01-26 修回日期: 2015-06-09

资助项目: 国家海洋公益性行业科研专项 (201005012)

通信作者: 陈石泉, E-mail: breezysmile. c. s. q@163. com

均有珊瑚礁及活珊瑚分布,其中万泉河口以北的琼海、文昌两市毗邻区的沿岸珊瑚礁连续分布长达 30 km,平均宽度达 4 km,是海南岛规模最大的礁区;文昌珊瑚礁的面积约 $1.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$,为海南岛最大珊瑚礁分布区市县^[27],南岸的海棠湾至大、小洞天沿岸均有珊瑚礁断续分布,其中鹿回头东、西两侧的海湾中,珊瑚礁发育良好,是我国重

要的岸礁研究区域。此外,离岛岸礁主要有蜈支洲岛、分界洲、大洲岛、东锣岛及西鼓岛等。

海南岛珊瑚礁鱼类监控频率 1 年 2 次,分春、秋两季进行,春季调查时间为 3—4 月,秋季调查时间为 10—11 月,监控区域共有 9 个,为文昌的铜鼓岭、长圪港,琼海的龙湾,三亚的蜈支洲岛、亚龙湾、大东海、小东海、鹿回头及西瑁洲岛(图 1)。

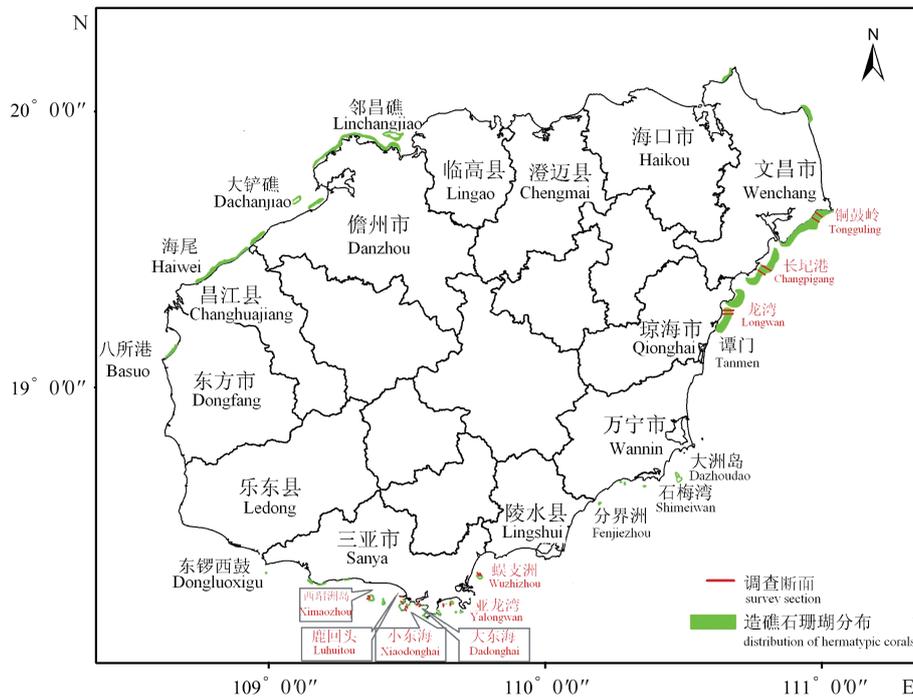


图 1 珊瑚礁鱼类调查断面

Fig. 1 Investigation of the coral reef fishes

1.2 数据来源

2004—2013 年对海南岛东岸、南岸浅水区珊瑚礁鱼类监控数据(图 1)。珊瑚礁鱼类监测采用截线样条法(line intercept transect),根据站位和断面的布设范围,选定珊瑚礁鱼类监测区域。分别在垂直岸线 1~3 m 和 4~5 m 水深处,各设置 50 m 长断面 1 条,断面间距约 50~100 m。佩戴潜水设备(潜水服、潜水镜、呼吸器、水下摄影机及脚蹼等)潜入水中,沿着断面一端游向断面的另一端,用佳能 G1X 水下摄影机记录断面两侧各 1 m 宽的范围内常见珊瑚礁鱼类种类的个体数量;并记录每条鱼种类名称,根据水下 50 m 皮尺(测量精度 0.01 m)判读珊瑚礁鱼类的体长范围等。

1.3 种群密度

种群密度(D ,尾/ m^2)采用截线样条法统计

公式(D):

$$D = \frac{N}{2LW}$$

式中, N (尾)为珊瑚礁鱼类总数量, L (m)为样线总长度, W (m)为单侧样线宽度。

采用 SPSS17.0 对调查样地平均密度进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),并对调查样地(采用 LSD 法)进行均数多重差异显著性分析。

1.4 分类学多样性指数

生物在不同结构层次上都存在多样性,分类阶元目、科、属及种之间的分布都是不均匀的,据此可以计算物种的多样性^[28],物种多样性是生物多样性的基本层次,采用标准化的 $G-F$ 指数,对珊瑚礁鱼类进行分析^[29-30]。

(1) 科的物种多样性指数(D_F):

$$D_F = - \sum_{k=1}^m D_{FK} \ln D_{FK} = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

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^[30]。

(2) 属的物种多样性指数 (D_G):

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

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^[30]。

(3) 标准化的 G-F 指数 (D_{G-F}):

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

若纲所有的科都是单种科, 即 $D_F = 0$ 时, 则规定该区域的 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 $0 \leq D_{G-F} \leq 1$ ^[30]。

1.5 相对丰富度

采用从种以上的分类阶元分析海南岛东岸、南岸浅水礁区珊瑚礁鱼类分类间的丰富度, 从科、目级分类阶元来表征不同科、目间鱼类所占的相对比例^[31-32]。

相对丰富度指数 (R):

$$R = S_i \times 100/S$$

式中, S_i (个) 为第 i 属 (科、目) 鱼类种的物种数目, S (个) 为该海域记录的相应的鱼类属 (科、目) 的数目。

1.6 相似性指数

群落相似性系数即种组成相似程度。采用 Sorensen 群落相似性系数计算了海南岛东岸、南岸浅水礁区珊瑚礁鱼类分类阶元相似性^[28,31]。采用 Jaccard's 种类相似性指数计算了珊瑚礁鱼类物种相似性^[31]。

(1) Sorensen 群落相似性系数 (C):

$$C = (2S_{xy}) / (S_x + S_y)$$

式中, S_x (个) 为 X 海域记录的鱼类目 (科、属、种) 的数目, S_y (个) 为 Y 海域记录的鱼类目 (科、属、种) 的数目, S_{xy} (个) 为两者共有鱼类目 (科、属、种) 的数目, C 表示 2 个海域鱼类组成相似程度的大小, C 最大值为 1, 当 2 个海域所含有的种完全相同时, 其系数为最大值, 当 2 个群落所含有的种完全不同时, 其系数为 0。

(2) Jaccard's 种类相似性指数 (I):

$$I = \frac{j}{a + b - j}$$

式中, a (个) 为其中一次调查记录到的鱼种类数; b (个) 为另一次调查记录到的鱼类种数; j (个) 为 2 次记录到的共有鱼类种数。当 $0 \leq I < 0.25$ 时, 为极不相似; $0.25 \leq I < 0.50$ 时, 为中等不相似; $0.50 \leq I < 0.75$ 为中等相似; $0.75 \leq I < 1.00$ 为极相似^[31]。

2 结果

2.1 鱼类种类组成

海南东岸、南岸浅水礁区调查到的珊瑚礁鱼类有 6 目 32 科 64 属 130 种, 其中鲈形目 (Perciformes) 居绝对优势, 有 22 科 49 属 108 种。鲈形目中雀鲷科 (Pomacentridae) 最多, 有 10 属 40 种, 隆头鱼科 (Labridae) 14 属 19 种, 蝴蝶鱼科 (Chaetodontidae) 2 属 17 种; 鲈形目 (Tetraodontiformes), 3 科 5 属 7 种; 刺鱼目 (Gasterosteiformes), 3 科 4 属 5 种; 鲉形目 (Scorpaeniformes), 1 科 2 属 4 种; 金眼鲷目 (Beryciformes) 2 科 3 属 4 种; 仙女鱼目 (Aulopiformes), 1 科 1 属 1 种 (表 1)。通过对珊瑚礁鱼类科、属所占百分比分析可见, 鲈形目中科 (68.57%) 及属 (78.79%) 均占绝对优势, 其次为刺鱼目及鲉形目, 科所占比例均为 8.57%, 属所占百分比在 (4.55 ~ 6.06)%, 鲉形目 (Scorpaeniformes) 及仙女鱼目科、属所占比例均在 3.03% 以下 (表 1)。

通过对样地不同年份的珊瑚礁鱼类种类数进行统计, 发现种类数随纬度由低向高呈递减趋势, 其中海南岛南岸的亚龙湾与蜈支洲岛种类数各采样年均较高, 东岸中部的长圪与龙湾各采样年均稍低, 东岸的铜鼓岭各采样年均最低 (图 2), 这与温度、地域或与珊瑚礁分布是否相关还需进一步研究。

海南东岸、南岸浅水礁区调查到的珊瑚礁鱼类近 10 年出现频率 ($f \geq 0.5$) 较高的种类有 18 种, 分别是灰边宅泥鱼 (*Dascyllus marginatus*)、三带蝴蝶鱼 (*Chaetodon trifasciatus*)、二带双锯鱼 (*Amphiprion bicinctus*)、尖嘴鲈 (*Oxymonacanthus longirostris*)、网纹宅泥鱼 (*D. reticulatus*)、黄雀鲷 (*Pomacentrus moluccensis*)、弧带豆娘鱼 (*Plectroglyphidodon dickii*)、杂色尖嘴鱼 (*Gomphonus varius*)、新月锦鱼 (*Thalassoma lunare*)、镜蝴蝶鱼 (*C. speculum*)、日本婆 (*Canthigaster valentini*)、三斑宅泥鱼 (*D.*

trimaculatus)、孔雀鲷 (*P. pavo*)、褐斑蓝子鱼 (*Siganus fuscescens*)、丝蝴蝶鱼 (*C. auriga*)、两色光鳃雀鲷 (*Chromis margaritifer*)、黄斑蓝子鱼 (*S. oramin*) 和双线眶棘鲈 (*Scolopsis bilineatus*)。

表 1 珊瑚礁鱼类科、属的组成

Tab. 1 Compositions of family and genera of the coral reef fishes

目 order	科 family	种类数 species number	百分比/% percentage	属 genus	种类数 species number	百分比/% percentage
鲈形目 Perciformes	刺尾鱼科 Acanthuridae	1	0.77%	刺尾鱼属 <i>Acanthurus</i>	1	0.77%
	笛鲷科 Lutjanidae	1	0.77%	笛鲷属 <i>Lutjanus</i>	1	0.77%
	舵鱼科 Kyphosidae	1	0.77%	舵鱼属 <i>Kyphosus</i>	1	0.77%
	绯鲤科 Mullidae	2	1.54%	绯鲤属 <i>Upeneus</i>	2	1.54%
	盖刺鱼科 Pomacanthidae	1	0.77%	阿波鱼属 <i>Apolemichthys</i>	1	0.77%
	鲭科 Gempylidae	1	0.77%	鲭属 <i>Pneumatophorus</i>	1	0.77%
	蝴蝶鱼科 Chaetodontidae	17	13.08%	蝴蝶鱼属 <i>Chaetodon</i>	15	11.54%
				马夫鱼属 <i>Heniochus</i>	2	1.54%
	虎鳊科 Pinguipedidae	2	1.54%	拟鲈属 <i>Parapercis</i>	2	1.54%
	金线鱼科 Nemipteridae	2	1.54%	眶棘鲈属 <i>Scolopsis</i>	2	1.54%
	蓝子鱼科 Siganidae	2	1.54%	蓝子鱼属 <i>Siganus</i>	2	1.54%
	镰鱼科 Zanclidae	1	0.77%	镰鱼属 <i>Zanclus</i>	1	0.77%
	隆头鱼科 Labridae	19	14.62%	大咽齿鱼属 <i>Macropharyngodon</i>	1	0.77%
				尖嘴鱼属 <i>Gomphonus</i>	1	0.77%
				海猪鱼属 <i>Halichoeres</i>	2	1.54%
				颈鳍鱼属 <i>Iniistius</i>	1	0.77%
				普提鱼属 <i>Bodianus</i>	2	1.54%
				锦鱼属 <i>Thalassoma</i>	4	3.08%
				紫胸鱼属 <i>Stethojulis</i>	1	0.77%
				伸口鱼属 <i>Epibulus</i>	1	0.77%
				拟唇鱼属 <i>Pseudocheilinus</i>	1	0.77%
				光唇鱼属 <i>Acrossocheilus</i>	1	0.77%
				裂唇鱼属 <i>Labroides</i>	1	0.77%
				厚唇鱼属 <i>Hemigymnus</i>	1	0.77%
				圆唇鱼属 <i>Labrichthys</i>	1	0.77%
				美鲷鱼属 <i>Novaculichthys</i>	1	0.77%
	龍占魚科 Lethrinidae	1	0.77%	裸颊鲷属 <i>Lethrinus</i>	1	0.77%
	拟雀鲷科 Pseudochromidae	1	0.77%	丹波鱼属 <i>Dampiera</i>	1	0.77%
	雀鲷科 Pomacentridae	40	30.77%	宅泥鱼属 <i>Dascyllus</i>	6	4.62%
				雀鲷属 <i>Chrysiptera</i>	8	6.15%
			豆娘鱼属 <i>Abudefduf</i>	7	5.38%	
			副雀鲷属 <i>Neoglyphidodon</i>	2	1.54%	
			光鳃鱼属 <i>Chromis</i>	7	5.38%	

续表 1

目 order	科 family	种类数 species number	百分比/% percentage	属 genus	种类数 species number	百分比/% percentage
				孔雀鲷属 <i>Trematocranus</i>	1	0.77%
				双锯鱼属 <i>Amphiprion</i>	5	3.85%
				棘光鲷属 <i>Acanthochromis</i>	1	0.77%
				眶锯雀鲷属 <i>Stegastes</i>	1	0.77%
				盘雀鲷属 <i>Dischistodus</i>	2	1.54%
	天竺鲷科 Apogonidae	6	4.62%	三棘天竺鲷属 <i>Amiichthys</i>	1	0.77%
				巨牙天竺鲷属 <i>Cheilodipterus</i>	2	1.54%
				天竺鲷属 <i>Apogon</i>	3	2.31%
	鲷科 Blenniidae	3	2.31%	稀棘鲷属 <i>Meiacanthus</i>	1	0.77%
				短带鲷属 <i>Plagiotremus</i>	2	1.54%
	乌尾鲉科 Caesionidae	1	0.77%	鳞鳍梅鲷属 <i>Pterochromis</i>	1	0.77%
	鰕虎鱼科 Gobiidae	1	0.77%	栉鰕虎鱼属 <i>Ctenogobius</i>	1	0.77%
	鲈科 Serranidae	2	1.54%	九棘鲈属 <i>Cephalopholis</i>	1	0.77%
				石斑鱼属 <i>Epinephelus</i>	2	1.54%
	银鲈科 Gerreidae	1	0.77%	银鲈属 <i>Gerres</i>	1	0.77%
	鹦嘴鱼科 Scaridae	1	0.77%	鹦嘴鱼属 <i>Scarus</i>	1	0.77%
鲈形目 Scorpaeni- formes	鲈科 Scorpaenidae	4	3.08%	短鳍蓑鲈属 <i>Dendrochirus</i>	1	0.77%
				蓑鲈属 <i>Pterois</i>	3	2.31%
刺鱼目 Gasterostei- formes	玻甲鱼科 Centriscidae	1	0.77%	虾鱼属 <i>Aeoliscus</i>	1	0.77%
	烟管鱼科 Fistularidae	2	1.54%	烟管鱼属 <i>Fistularia</i>	2	1.54%
	海龙科 Syngnathidae	2	1.54%	海龙属 <i>Syngnathus</i>	1	0.77%
				冠海龙鱼属 <i>Corythoichthys</i>	1	0.77%
仙女鱼目 Aulopiformes	狗母鱼科 Synodontidae	1	0.77%	狗母鱼属 <i>Synodus</i>	1	0.77%
金眼鲷目 Beryciformes	金鳞鱼科 Holocentridae	2	1.54%	棘鳞鱼属 <i>Sargocentron</i>	1	0.77%
				双棘鰾属 <i>Dispinus</i>	1	0.77%
	单鳍鱼科 Pempheridae	3	2.31%	单鳍鱼属 <i>Pempheris</i>	3	2.31%
鲉形目 Tetraodonti- formes	箱鲉科 Ostraciontidae	1	0.77%	角箱鲉属 <i>Lactoria</i>	1	0.77%
	单棘鲉科 Monacanthidae	1	0.77%	刺尾革单棘鲉属 <i>Acanthaluteres</i>	1	0.77%
	四齿鲉科 Tetraodontidae	5	3.85%	四齿鲉属 <i>Tetraodon</i>	1	0.77%
				叉鼻鲉属 <i>Arothron</i>	2	1.54%
				扁背鲉属 <i>Canthigaster</i>	2	1.54%

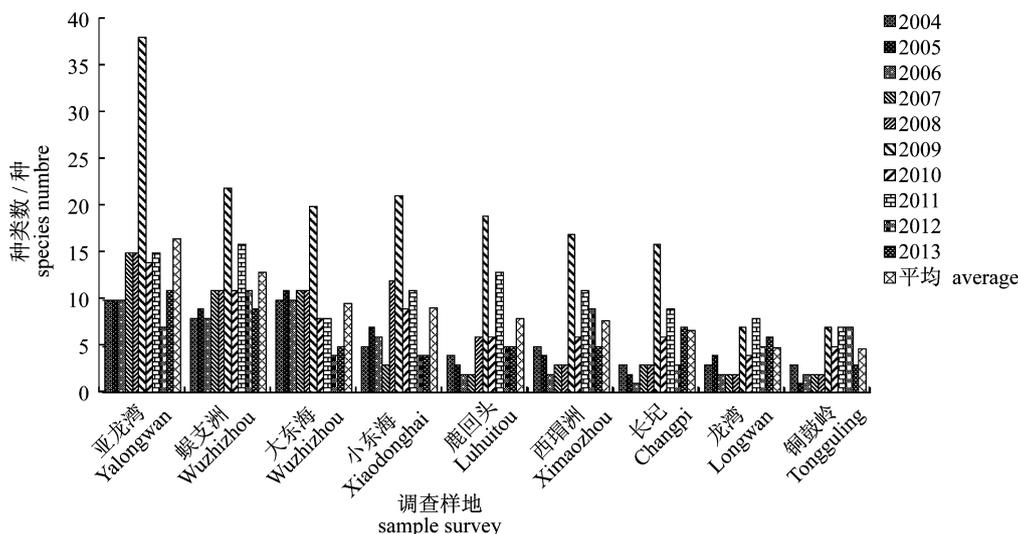


图 2 调查样地珊瑚礁鱼类近 10 年种类数图

Fig. 2 Species number of coral reef fishes in the sample survey in nearly 10 years

2.2 珊瑚礁鱼类密度变化

通过对海南岛东岸、南岸浅水礁区珊瑚礁鱼类近 10 年的分布密度统计,珊瑚礁鱼类密度大致呈现由南向北逐渐递减的趋势。亚龙湾及蜈支洲近 10 年珊瑚礁鱼类密度均较高,亚龙湾 2004—2013 年密度范围为 (0.53 ~ 3.64) 尾/ m^2 , 均值 1.25 尾/ m^2 ,蜈支洲岛 2004—2013 年密度范围为 (0.38 ~ 1.91) 尾/ m^2 , 均值 1.30 尾/ m^2 ;大东海、小东海、鹿回头、西瑁洲岛及长圪港居次,珊瑚礁鱼类密度相差不大,大东海密度范围为 (0.18 ~ 0.65) 尾/ m^2 , 均值 0.35 尾/ m^2 ;小东海密度范围为 (0.26 ~ 0.67) 尾/ m^2 , 均值 0.43 尾/ m^2 ;鹿回头密度范围为 (0.18 ~ 0.54) 尾/ m^2 , 均值 0.41 尾/ m^2 ;西瑁洲岛密度范围为 (0.23 ~ 0.92) 尾/ m^2 , 均值 0.41 尾/ m^2 ;长圪港密度范围为 (0.15 ~ 0.66) 尾/ m^2 , 均值 0.38 尾/ m^2 ;龙湾跟铜鼓岭珊瑚礁鱼类密度相对较低,龙湾密度范围为 (0.10 ~ 0.25) 尾/ m^2 , 均值 0.18 尾/ m^2 ,铜鼓岭密度范围为 (0.10 ~ 0.27) 尾/ m^2 , 均值 0.17 尾/ m^2 (图 3)。

通过平均密度方差分析,调查样地密度方差统计结果 ($F = 12.614, P = 0.000 < 0.01$) 表明,各调查样地存在极显著差异,通过调查样地均数之

间两两差异性比较 (LSD 法),除亚龙湾与蜈支洲岛均数差异不显著外,其余各地均数两两差异均显著 (表 2)。此外,将无显著差异均数归类可知,亚龙湾、蜈支洲岛均数 (1.254 0、1.303 0) 位于同一集团内,均数两两之间无显著差异;其余各地均数位于同一集团内,均数两两之间无显著差异,但亚龙湾、蜈支洲岛均数与其他各地均数均存在显著差异 (表 3)。

2.3 鱼类分类学多样性指数

本研究对科级的多样性指数进行计算,海南岛东岸、南岸浅水礁区珊瑚礁鱼类的科级多样性指数在 4.13 ~ 4.77,平均值为 4.41,其中龙湾科级多样性指数最低为 4.13,亚龙湾最高,达 4.77;对属级的物种多样性指数公式进行,海南岛东岸、南岸珊瑚礁鱼类的属级多样性指数在 2.97 ~ 3.20,平均值为 3.09,属级多样性指数最低值出现在西瑁洲岛,为 2.97,最高值在亚龙湾,达 3.20。标准化的 $G-F$ 指数范围在 0.25 ~ 0.34,最低值在龙湾,为 0.25,最高值为铜鼓岭,为 0.34,平均值为 0.30,珊瑚礁鱼类多样性呈现南岸多样性指数高于东岸的趋势 (铜鼓岭、鹿回头以及西瑁洲岛处于珊瑚礁保护区内,珊瑚礁鱼类有所差别) (表 4)。

表 2 均数差异性比较
Tab. 2 Multiple comparisons of mean value

调查样地 sample survey	亚龙湾 Yalongwan	蜈支洲岛 Wuzhizhou Island	大东海 Dadonghai	小东海 Xiaodonghai	鹿回头 Luhuitou	西瑁洲岛 Ximaozhou Island	长圯 Changpi	龙湾 Longwan	铜鼓岭 Tongguling
亚龙湾 Yalongwan	1								
蜈支洲岛 Wuzhizhou Island	0.049 00	1							
大东海 Dadonghai	0.903 00 *	0.952 00 *	1						
小东海 Xiaodonghai	0.821 00 *	0.870 00 *	-0.082 00	1					
鹿回头 Luhuitou	0.840 00 *	0.889 00 *	-0.063 00	0.019 00	1				
西瑁洲岛 Ximaozhou Island	0.840 00 *	0.889 00 *	-0.063 00	0.019 00	0.000 00	1			
长圯 Changpi	0.874 00 *	0.923 00 *	-0.029 00	0.053 00	0.034 00	0.034 00	1		
龙湾 Longwan	1.068 00 *	1.117 00 *	0.165 00	0.247 00	0.228 00	0.228 00	0.194 00	1	
铜鼓岭 Tongguling	1.084 00 *	1.133 00 *	0.181 00	0.263 00	0.244 00	0.244 00	0.210 00	-0.016 00	1

注: * , $P < 0.05$ 时, 差异显著

Notes: * $P < 0.05$, significant difference

表 3 密度方差分析
Tab. 3 Density variance analysis

调查样地 sample survey	方差分析 analysis of variance				
	平均数 mean	标准差 Std. deviation	标准误差 Std. error	$\alpha = 0.05$ 水准 subset for alpha = 0.05	
				1	2
亚龙湾 Yalongwan	1.254 0	0.901 94	0.285 22		1.254 0
蜈支洲岛 Wuzhizhou Island	1.303 0	0.586 63	0.185 51		1.303 0
大东海 Dadonghai	0.351 0	0.136 99	0.043 32	0.351 0	
小东海 Xiaodonghai	0.433 0	0.143 30	0.045 31	0.433 0	
鹿回头 Luhuitou	0.414 0	0.139 06	0.043 97	0.414 0	
西瑁洲岛 Ximaozhou Island	0.414 0	0.205 49	0.064 98	0.414 0	
长圯 Changpi	0.380 0	0.193 96	0.061 34	0.380 0	
龙湾 Longwan	0.186 0	0.046 00	0.014 54	0.186 0	
铜鼓岭 Tongguling	0.170 0	0.050 77	0.016 06	0.170 0	

注: 按 $\alpha = 0.05$ 水准, 位于同一集团内, 均数两两之间无显著差异

Notes: Subset for alpha = 0.05. There was no significant difference between the two mean values in the same subset

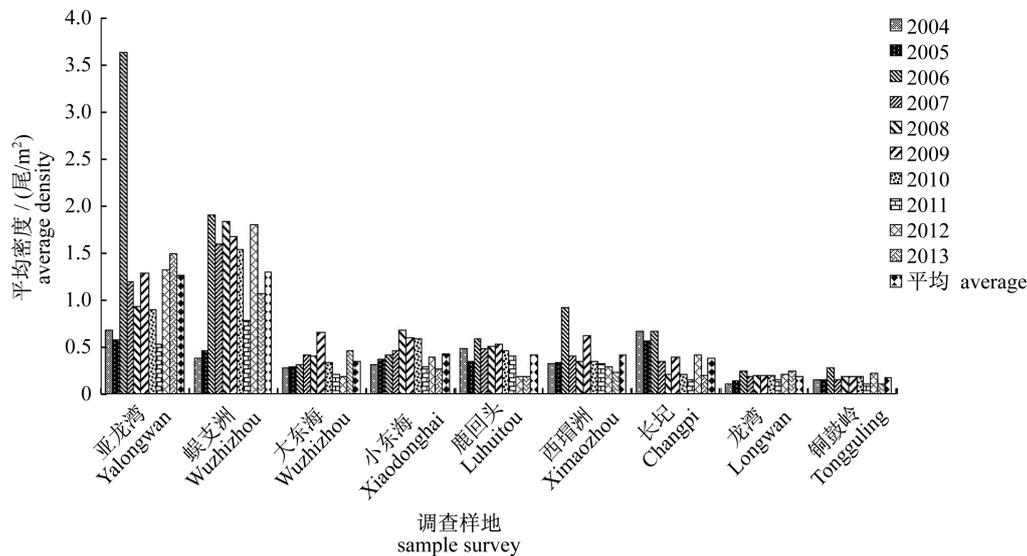


图3 调查样地珊瑚礁鱼类近10年平均密度柱状图

Fig. 3 Average density histogram of the coral reef fishes in the sample survey in the nearly 10 years

表4 珊瑚礁鱼类F指数、G指数及G-F指数

Tab. 4 Index F, index G and index G-F of investigation of the coral reef fishes

	蜈支洲岛 Wuzhizhou island	亚龙湾 Yalongwan	大东海 Dadonghai	小东海 Xiaodonghai	鹿回头 Luhuitou	西瑁洲 Ximaozhou island	长圪 Changpi	龙湾 Longwan	铜鼓岭 Tongguling	均值 mean value
F 指数 index F	4.43	4.77	4.33	4.48	4.22	4.27	4.28	4.13	4.74	4.41
G 指数 Index G	3.06	3.20	3.02	3.05	3.13	2.97	3.17	3.09	3.13	3.09
G-F 指数 index G-F	0.31	0.33	0.30	0.32	0.26	0.31	0.26	0.25	0.34	0.30

2.4 相对丰富度

通过对海南岛东岸、南岸珊瑚礁鱼类6目鱼类的相对丰富度计算,鲈形目鱼类占有绝对优势(1850.00),其次是鲷形目(116.67)及刺鱼目(83.33),仙女鱼目最低(16.67)。海南岛东岸、南岸珊瑚礁鱼类相对丰富度较高的6个科分别为鲈形目的雀鲷科(Pomacentridae)、隆头鱼科(Labridae)、蝴蝶鱼科(Chaetodontidae)和天竺鲷科(Apogonidae),鲷形目的四齿鲷科(Tetraodontidae),刺鱼目的玻甲鱼科(Centriscidae)。经计算,雀鲷科鱼类的相对丰富度(111.43)最大,其次是隆头鱼科(54.29),蝴蝶鱼科(48.57),四齿鲷科(20.00),天竺鲷科(17.14),玻甲鱼科(14.29)。通过对属的相对丰度计算,相对丰富度较高的6个属为蝴蝶鱼属(*Chaetodon*)最高(22.73),其次为雀鲷属

(*Chrysiptera*)为12.12,豆娘鱼属(*Abudefduf*)为10.61,光鳃鱼属(*Chromis*)为10.61,宅泥鱼属(*Dascyllus*)为9.09,双锯鱼属(*Amphiprion*)为6.06(表5)。

2.5 相似性指数

采用Sorensen群落相似性系数,海南岛东岸、南岸各调查海域珊瑚礁鱼类目级相似性指数在0.86~1.00之间,其中相似性指数为0.86所占百分比为41.67%,完全相似的两地所占百分比为58.53%;科级相似性指数范围0.27~0.75,两地科级相似性指数以0.40~0.50之间稍多,占55.56%,其次是相似性指数0.30~0.40之间,占30.56%,相似性指数在0.50以上,占11.11%,相似性指数在0.30以下,为2.78%,其中龙湾与长圪科级相似性指数最低,为0.27,蜈支洲岛与龙湾科级相似性最高,达0.75(表6);属相似性指数

以 0.40 ~ 0.50 之间居多,占 77.78%,0.30 ~ 0.40 之间,占 16.67%,0.20 的为 5.56%;种相似性指数以 0.30 ~ 0.40 之间居多,达 75.00%,相似性指数在 0.30 以下,占 16.67%,相似性指数在 0.40 以上,占 8.33% (表 7)。可见,海南岛东岸、南岸各调查海域珊瑚礁鱼类在目级极为相似,相

似性指数在 0.86 ~ 1.00 之间;科属种级相似性指数均在 0.50 以下,相似性较低,其中科级相似性指数主要在 0.30 ~ 0.50 之间,属级相似性指数在 0.40 ~ 0.50 之间,种级相似性指数在 0.30 ~ 0.40 之间。

表 5 珊瑚礁鱼类目、科及属相对丰度
Tab.5 Relative abundance of order, family and genera of coral reef fishes

目 order	相对丰度 relative abundance	科 family	相对丰度 relative abundance	属 genus	相对丰度 relative abundance
鲈形目 Perciformes	1850.00	雀鲷科 Pomacentridae	111.43	蝴蝶鱼属 <i>Chaetodon</i>	22.73
鲷形目 Tetraodontiformes	116.67	隆头鱼科 Labridae	54.29	雀鲷属 <i>Chrysiptera</i>	12.12
刺鱼目 Gasterosteiformes	83.33	蝴蝶鱼科 Chaetodontidae	48.57	豆娘鱼属 <i>Abudefduf</i>	10.61
鲈形目 Scorpaeniformes	66.67	四齿鲷科 Tetraodontidae	20.00	光鳃鱼属 <i>Chromis</i>	10.61
金眼鲷目 Beryciformes	50.00	天竺鲷科 Apogonidae	17.14	宅泥鱼属 <i>Dascyllus</i>	9.09
仙女鱼目 Aulopiformes	16.67	玻甲鱼科 Centriscidae	14.29	双锯鱼属 <i>Amphiprion</i>	6.06

表 6 珊瑚礁鱼目与科间相似性指数
Tab.6 Similarity index of order and family of coral reef fishes

调查区域 investigating areas	相似性指数(目/科) similarity index (order/family)								
	蜈支洲岛 Wuzhizhou Island	亚龙湾 Yalongwan	小东海 Xiaodonghai	西瑁洲岛 Ximaozhou Island	铜鼓岭 Tongguling	鹿回头 Luhuitou	龙湾 Longwan	大东海 Dadonghai	长圪 Changpi
蜈支洲岛 Wuzhizhou Island	1.00								
亚龙湾 Yalongwan	1.00/0.5	1.00							
小东海 Xiaodonghai	1.00/0.41	1.00/0.47	1.00						
西瑁洲岛 Ximaozhou Island	1.00/0.41	1.00/0.41	1.00/0.44	1.00					
铜鼓岭 Tongguling	1.00/0.47	1.00/0.47	1.00/0.44	1.00/0.44	1.00				
鹿回头 Luhuitou	1.00/0.42	1.00/0.47	1.00/0.44	1.00/0.39	1.00/0.44	1.00			
龙湾 Longwan	1.00/0.75	1.00/0.53	1.00/0.50	1.00/0.33	1.00/0.33	1.00/0.30	1.00		
大东海 Dadonghai	0.86/0.39	0.86/0.44	0.86/0.47	0.86/0.41	0.86/0.41	0.86/0.42	0.86/0.32	1.00	
长圪 Changpi	0.86/0.43	0.86/0.48	0.86/0.35	0.86/0.35	0.86/0.35	0.86/0.36	0.86/0.27	0.86/0.33	1.00

注:“/”左边表示目,右边表示科.
Notes:“/”the left is order and right is family.

表 7 珊瑚礁鱼属与种间相似性指数
Tab. 7 Similarity index of genera and species of coral reef fishes

调查区域 investigating areas	相似性指数(属/种) similarity index(genus/species)								
	蜈支洲岛 Wuzhizhou Island	亚龙湾 Yalongwan	小东海 Xiaodonghai	西瑁洲岛 Ximaozhou Island	铜鼓岭 Tongguling	鹿回头 Luhuitou	龙湾 Longwan	大东海 Dadonghai	长圪 Changpi
蜈支洲岛 Wuzhizhou Island	1.00								
亚龙湾 Yalongwan	0.48/0.38	1.00							
小东海 Xiaodonghai	0.44/0.35	0.44/0.31	1.00						
西瑁洲岛 Ximaozhou Island	0.42/0.34	0.44/0.34	0.44/0.36	1.00					
铜鼓岭 Tongguling	0.44/0.38	0.44/0.33	0.42/0.39	0.42/0.38	1.00				
鹿回头 Luhuitou	0.42/0.39	0.46/0.37	0.39/0.37	0.40/0.40	0.40/0.37	1.00			
龙湾 Longwan	0.44/0.33	0.46/0.31	0.46/0.39	0.30/0.25	0.26/0.22	0.26/0.23	1.00		
大东海 Dadonghai	0.41/0.36	0.45/0.36	0.49/0.41	0.41/0.37	0.39/0.38	0.41/0.36	0.33/0.24	1.00	
长圪 Changpi	0.44/0.31	0.44/0.29	0.44/0.41	0.40/0.34	0.40/0.34	0.37/0.30	0.31/0.25	0.39/0.32	1.00

注：“/”左边表示属,右边表示种。

Notes: “/” the left is genus and right is species.

采用 Jaccard's 种类相似性指数,2004—2013 年海南岛东岸、南岸浅水礁区珊瑚礁鱼类调查到的种类相似性系数较低,范围在 0.01 ~ 0.66。其中,极不相似($0 \leq I < 0.25$)年份对数有 33 对,占总对数的 73.33%,可见,2004—2013 年海南岛东、南岸浅水礁区珊瑚礁鱼类不同年份种类绝大多数极不相似;中等不相似($0.25 \leq I < 0.50$)有

10 对,即 2004 与 2005 年,2005 与 2006 年,2007 与 2010、2011、2012 年,2008 与 2011、2012 年,2010 与 2011 年,2011 与 2012 年,2012 与 2013 年,占总对数的 22.22%;中等相似($0.50 \leq I < 0.75$)只有 2 对,即 2004 与 2006 年,2007 与 2008 年,占总对数的 4.44%(表 8)。

表 8 2004—2013 年珊瑚礁鱼类 Jaccard's 相似系数
Tab. 8 Jaccard's similarity coefficient of coral reef fish from 2004 to 2013

年 year	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
2004	1.00									
2005	0.40	1.00								
2006	0.56	0.44	1.00							
2007	0.15	0.09	0.09	1.00						
2008	0.08	0.12	0.12	0.66	1.00					
2009	0.03	0.01	0.03	0.04	0.02	1.00				
2010	0.05	0.09	0.09	0.28	0.23	0.05	1.00			
2011	0.10	0.15	0.17	0.35	0.35	0.08	0.25	1.00		
2012	0.10	0.15	0.15	0.31	0.25	0.09	0.23	0.43	1.00	
2013	0.04	0.09	0.13	0.22	0.20	0.04	0.12	0.22	0.34	1.00

2.6 体长范围

通过对 2004—2013 年海南岛东、南岸浅水礁区珊瑚礁鱼类的体长测量数据分析,海南岛东岸、南岸珊瑚礁鱼类体长范围最多在 6 ~ 10 cm 的区间,占百分比近 50% 左右;其次为体

长在 0 ~ 5 cm 区间,占近 30% 左右,11 ~ 20 cm 的区间,占百分比近 20% 左右,体长在 21 ~ 40 cm 的区间的珊瑚礁鱼类在浅水礁区分布极少,所占百分比 1% (图 4),这与其生活环境密切相关。

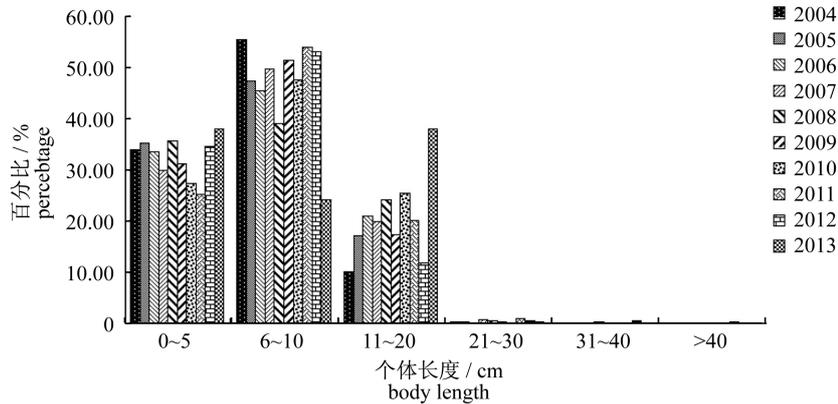


图 4 珊瑚礁鱼类体长近 10 年所占百分比
Fig. 4 Body length of coral reef fishes in nearly 10 years

3 讨论

据刘静等^[4]统计资料,海南岛获得硬骨鱼纲珊瑚礁鱼类有 12 目 44 科 192 种,鲈形目最多,共有 24 科 143 种,隆头鱼科是种数最多的一科,共 23 种,其次为雀鲷科,有 22 种,鰕虎鱼科 (Gobiidae) 有 14 种,笛鲷科 (Lutjanidae) 13 种,鲷科 (Serranidae) 10 种,蝴蝶鱼科 8 种,鹦嘴鱼科 (Scaridae) 8 种;鳗鲡目 (Anguilliformes)、鲉形目和鲀形目种类次于鲈形目,该统计资料显示珊瑚礁鱼类鲈形目中科所占比例在 54.55%,属占比例在 64.20%;刺鱼目及鲀形目,科所占百分比均在 9.09%,属所占百分比在 6.17% ~ 7.44%;其余目中科、属所占百分比均在 6.41% 以下 (表 9)。通过对海南岛东岸、南岸浅水礁区珊瑚礁鱼类的统计,其数据与刘静等^[4]统计数据类别组成大体一致,但略有差别:刘静等^[4]统计数据中鲷形目 (Pleuronectiformes)、鲱形目 (Clupeiformes)、喉盘鱼目 (Gobiesociformes)、鳕形目 (Gadiformes)、银汉鱼目 (Atheriniformes) 及鲻形目 (Mugiliformes) 在本研究统计未出现种,而本研究统计中出现的仙女鱼目未在其统计数据中出现,此差异主要在于本研究珊瑚礁鱼类调查方式只采用了水下摄像调查,并且调查区域局限于海南岛东岸及南岸浅

水礁区,调查到的种类均为珊瑚礁中上层鱼类,而刘静等^[4]统计数据来源有传统的围网、撒网及游钓等方式,同时还采用潜水记录及海底摄像,调查范围遍及整个海南岛周边浅水及深水礁区,调查到的种类除中上层鱼类外,底栖种类也较多。

通过对近 10 a 的海南岛东岸、南岸珊瑚礁鱼类的种类数统计,海南岛东南岸珊瑚礁鱼类呈现出种类数随纬度的升高而降低的趋势。这是否与纬度、温度还是地域有关有待进一步调查研究。通过对海南岛珊瑚礁的研究,珊瑚礁鱼类种类的变化与珊瑚礁种类数量由南向北递减及由叶片状、分枝状、皮壳状及团块状数量增加变化相吻合,这是生物适应环境的选择。此外,同为南岸的亚龙湾、蜈支洲鱼类种类数量明显比小东海、大东海等地高,亚龙湾与蜈支洲为旅游区域,部分地区还为珊瑚礁保护区。可见,珊瑚礁鱼类的变化在一定程度上与人类活动关系密切。

珊瑚礁鱼类的密度变化与其生长的珊瑚礁密不可分。珊瑚礁为珊瑚礁鱼类提供食物、栖息环境以及繁育场所,珊瑚礁生态系统环境的好坏在一定程度上影响珊瑚礁鱼类的生长繁殖。据研究,海南岛南岸的蜈支洲岛、亚龙湾及西瑁洲岛活造礁石珊瑚覆盖率在 50.00% 以上,大东海、小东海活造礁石珊瑚覆盖率在 40.00% 以上;而海南

岛东岸的龙湾及铜鼓岭活造礁石珊瑚覆盖率在 30.00% 以下,活造礁珊瑚覆盖率呈现由南向北逐渐递减的趋势^[3],这与本研究 2004—2013 年调查样地珊瑚礁鱼类平均密度统计数据基本一致。此外,通过对 2004—2013 年海南岛东南沿岸珊瑚礁种类及形态类群变化统计,造礁石珊瑚种类数量

以及 4 种形态类群(叶片状、分枝状、皮壳状及团块状)总体上存在由南向北递减的趋势,造礁石珊瑚的种类数量以及礁体群落结构在一定程度上对珊瑚礁鱼类的趋避敌害以及生存繁衍存在影响,在一定程度上导致海南岛珊瑚礁鱼类密度由南向北递减的趋势。

表 9 珊瑚礁鱼类目、科和属的组成比例及与其他资料比较

Tab. 9 Compositions of order, family and genera of the coral reef fishes, compared with the other materials

目级 order	本研究 this study		其他资料比较 ^[4] other datas	
	属级 /% genus level	科级 /% family level	属级 /% genus level	科级 /% family level
鲈形目 Perciformes	66.67	76.56	54.55	64.20
刺鱼目 Gasterosteiformes	9.09	6.25	9.09	6.17
鲷形目 Pleuronectiformes	--	--	4.55	3.70
鲱形目 Clupeiformes	--	--	2.27	1.23
喉盘鱼目 Gobiesociformes	--	--	2.27	1.23
金眼鲷目 Beryciformes	9.09	4.69	2.27	1.23
鳗鲡目 Anguilliformes	--	--	2.27	3.50
鲉形目 Tetraodontiformes	9.09	7.81	9.09	7.44
鳕形目 Gadiformes	--	--	2.27	1.23
银汉鱼目 Atheriniformes	--	--	2.27	1.23
鲉形目 Scorpaeniformes	3.03	3.13	4.55	6.41
鲻形目 Mugiliformes	--	--	4.55	2.43
仙女鱼目 Aulopiformes	3.03	1.56	--	--

注:“--”表示未调查到

Notes:“--”name failed to be investigated

传统生物多样性方法如 Shannon - Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数、Margalef 丰富度指数及 Pielou 均匀度指数等的计算都要依赖物种个体数目^[33-35],来源于不同时间和方法的数据多样性分析时需要标准化处理^[31],*G-F* 指数是测度物种多样性的一种尝试,是一种快速、有效测度物种多样性的方法,符合生物多样性测度的目标^[28]。本研究数据来源时间跨度较大,因此标准化处理数据更为合理。通过对海南岛东岸、南岸潜水礁区珊瑚礁鱼类多样性分析,研究区域内珊瑚礁鱼类多样性呈现由南岸多样性指数高于东岸的趋势(处于珊瑚礁保护区内珊瑚礁鱼类有差别),这也与海南岛珊瑚礁种类及形态分布情况相一致。相对丰富度较高的科分别为鲈形目的雀鲷科、隆头鱼科、蝴蝶鱼科和天竺鲷科,鲉形目的四齿鲷科,刺鱼目的玻甲鱼科。相对丰富度较高的 6 个属为:蝴蝶鱼属、雀鲷属、豆娘鱼属、光鳃鱼属、宅泥鱼属及双锯鱼属。

Sorensen 群落相似性指数说明调查海域珊瑚礁鱼类在目级极为相似,科属种级相似性较低,反

映了各调查区域不同地方种类差别较大, Jaccard's 种类相似性指数说明海南岛东岸、南岸浅水礁区珊瑚礁鱼类在不同年份种类极不相似。Sorensen 群落相似性指数与 Jaccard's 种类相似性指数表示出不同年份不同地方种类的显著差异,这是否与调查方法的选用有关,还是海南岛东岸、南岸浅水礁区珊瑚礁鱼类物种丰富,种类繁多有关有待考证。

海南岛东岸、南岸浅水礁区珊瑚礁鱼类体长一般在 20 cm 以下,20 cm 以上的珊瑚礁鱼类虽然在个体长上占有优势,位于食物链的上层,但随着海南岛周边渔民捕鱼频率越来越频繁,个体较长的鱼类不利于在珊瑚礁中躲避敌害,沿岸渔民在礁盘区内常年采用单层刺网、三重刺网以及延绳钓的方式捕捞作业,网目较大,渔民选择性捕捞导致个体较大的珊瑚礁鱼类数量不断减少,而个体较短小的珊瑚礁鱼类更容易逃逸捕捞、敌害而存活下来。此外,个体较小种类在珊瑚礁中活动更灵活,索食更便捷,更利于生存。

参考文献:

- [1] Lu B Q, Wang G Z, Quan S Q. The characteristics of fringing reefs of Hainan Island (in Chinese) [J]. Geographical Research, 1984, 3: 1 - 16. [吕炳全, 王国忠, 全松青. 海南岛珊瑚岸礁的特征. 地理研究, 1984, 3: 1 - 16.]
- [2] Zou R L. China animal fauna [M]. Beijing: Science Press, 2001: 1 - 18. [邹仁林. 中国动物志. 北京: 科学出版社, 2001: 1 - 18.]
- [3] Wu Z J, Chen S Q, Chen M, *et al.* Preliminary survey and analysis of the resources of hermatypic corals in Hainan Island [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2013, (2): 44 - 51. [吴钟解, 陈石泉, 陈敏, 等. 海南岛造礁石珊瑚资源初步调查与分析. 海洋湖沼通报, 2013(2): 44 - 51.]
- [4] Liu J, Tian M C. A preliminary study and review of the coral reef fishes from Hainan Island [J]. Marine Sciences. 1995, (5): 28 - 32. [刘静, 田明诚. 海南岛珊瑚礁鱼类的初步研究及前景探讨. 海洋科学, 1995, (5): 28 - 32.]
- [5] Allen G R, Timothy B W. Coral reef fish assessment in the " coral triangle ", of southeastern Asia [J]. Environmental Biology of Fishes, 2002, 65 (2): 209 - 214.
- [6] Dai C F, Fan T Y. Coral fauna of Taiping Island (Itu Aba Island) in the Spratlys of the South China Sea [J]. Atoll Research Bulletin, 1996, 436: 1 - 21.
- [7] Findley J S, Findley M T. Global, regional, and local patterns in species richness and abundance of butterflyfishes [J]. Ecological Monographs, 2001, 71 (1): 69 - 91.
- [8] Bellwood D R, Hughes T P, Cornnolly S R, *et al.* Environmental and geometric constraints on Indo-Pacific coral reef biodiversity [J]. Ecology Letters, 2005, 763 (8): 643 - 651.
- [9] Yolande B N, Claude B, Max L, *et al.* Biogeographic patterns of coastal fish assemblages in the West-Indies [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2005, 315 (4): 31 - 47.
- [10] Mora C, Chittaro P M, Sale P F, *et al.* Patterns and processes in reef fish diversity [J]. Nature, 2003, 421 (27): 933 - 936.
- [11] Harmelin-vivien M L. Reef fish community structure: An Indo-Pacific comparison [J]. Ecological Studies, 1989, 69: 21 - 60.
- [12] Barberp H, Bellwood D R. Bio-diversity hot-spots: Evolutionary origins of bio-diversity in wrasses (Halichoeres; Labridae) in the Indo-pacific and new world tropics [J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2005, 35 (1): 235 - 253
- [13] Robertson D R. Do coral - reef fish faunas have a distinctive taxonomic structure [J]. Coral Reefs, 1998, 17 (1): 179 - 186.
- [14] Bellwood D R, Huges T P. Regional-scale assembly rules and bio-diversity of coral reefs [J]. Science, 2001, 292 (25): 1532 - 1534.
- [15] Briggs J C. Coral reefs: Conserving the evolutionary sources [J]. Biological Conservation, 2005, 126 (3): 297 - 305.
- [16] Bidard J M, Vijeverberg H P M, Frelin C, *et al.* Ciguatoxin is a novel type of Na channel toxin [J]. Journal of Biological Chemistry, 1984, 259 (21): 8353 - 8357.
- [17] Sun D R, Qiu Y S, Lin Z J, *et al.* Preliminary studies on the composition of coral reef fish resources in the waters of Zhongsha Island in spring [J]. Transactions of Oceanology and Limnology. 2006, (3): 85 - 92. [孙典荣, 邱永松, 林昭进, 等. 中沙群岛春季珊瑚礁鱼类资源组成的初步研究. 海洋湖沼通报, 2006, (3): 85 - 92.]
- [18] Sun D R, Lin Z J, Qiu Y S. Survey of coral reef fish resources of the Xisha Islands [J]. Periodical of Ocean University of China: Natural Science, 2005, 35 (2): 225 - 231. [孙典荣, 林昭进, 邱永松. 西沙群岛重要岛礁鱼类资源调查. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2005, 35 (2): 225 - 231.]
- [19] Li Y Z, Chen P M. Quantitative distribution of fish resources in main coral reef waters of Nansha Islands [J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28 (6): 651 - 656. [李永振, 陈丕茂. 南沙群岛重要珊瑚礁水域鱼类资源数量分布. 水产学报, 2004, 28 (6): 651 - 656.]
- [20] Shu L M, Li Y Z, Chen G B. Composition and distribution of chondrichthyes in the main coral reef waters of the south china sea [J]. Periodical of Ocean University of China: Natural Science, 2006, 36 (2): 277 - 280. [舒黎明, 李永振, 陈国宝. 南海主要珊瑚礁水域软骨鱼类的组成与分布. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2006, 36 (2): 277 - 280.]
- [21] Chen G B, Li Y Z. Composition and distribution of Serranidae in main coral reef waters of south china sea [J]. South China Fisheries Science, 2005, 1 (3): 18 - 25. [陈国宝, 李永振. 南海主要珊瑚礁鲈科鱼类的组成与分布. 南方水产, 2005, 1 (3): 18 - 25.]
- [22] Chen G B, Li Y Z, Chen X J, *et al.* Composition and distribution of Cartilaginous fishes in the adjacent

- waters area of main Islands and reefs of South China Sea [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2006, 15(4): 461 - 467. [陈国宝, 李永振, 陈新军, 等. 南海重要珊瑚礁过渡性水域软骨鱼类的组成与分布. *上海水产大学学报*, 2006, 15(4): 461 - 467.]
- [23] Sun D R, Lin Z J, Qiu Y S, *et al.* Fish fauna of coral reefwaters of the Xisha Islands [J]. *South China Fisheries Science*, 2005, 1(5): 18 - 25. [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. *南方水产*, 2005, 1(5): 18 - 25.]
- [24] Ma C H, You K, Li F Q, *et al.* A study on the relationship of the fish biodiversity and the faunal distribution in the South China Sea [J]. *Periodical of Ocean University of China: Natural Science*, 2006, 36(4): 665 - 670. [马彩华, 游奎, 李凤岐, 等. 南海鱼类生物多样性与区系分布. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2006, 36(4): 665 - 670.]
- [25] 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 - 1760. [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. *水产学报*, 2010, 34(11): 1753 - 1760.]
- [26] 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. *中国水产科学*, 2011, 18(3): 619 - 628.]
- [27] Zhou Z G. Protection countermeasures and present situation of the coral reef in Hainan Island [J]. *Ocean Development and Management*, 2004(6): 48 - 51. [周祖光. 海南珊瑚礁的现状与保护对策. *海洋开发与管理*, 2004(6): 48 - 51.]
- [28] Zhang Y L. Coefficient of similarity an important parameter in floristic geography [J]. *Geographical Research*, 1998, 7(4): 429 - 434. [张懿铤. 植物区系地理研究中的重要参数—相似性系数. *地理研究*, 1998, 17(4): 429 - 434.]
- [29] Wilson E O. *Biodiversity* [M]. Washington D C: National Academy Press, 1988: 119 - 122.
- [30] Jiang Z G, Ji L Q. Avian - mammalian species diversity in nine representative sites in China [J]. *Biodiversity Science*, 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. *生物多样性*, 1999, 7(3): 220 - 225.]
- [31] Kong F Z, Yu R C, Xu Z J, *et al.* Application of excel in calculation of biodiversity indices [J]. *Marine Sciences*, 2012, 36(4): 57 - 62. [孔凡洲, 于仁成, 徐子钧, 等. 应用 Excel 软件计算生物多样性指数. *海洋科学*, 2012, 36(4): 57 - 62.]
- [32] Li N N, Dong L N, Li Y Z, *et al.* Taxonomic diversity of fish species in the Daya Bay, the South China Sea [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(6): 863 - 870. [李娜娜, 董丽娜, 李永振, 等. 大亚湾海域鱼类分类多样性研究. *水产学报*, 2011, 35(6): 863 - 870.]
- [33] Song L, Zhou Z C, Wang N B, *et al.* Zooplankton diversity of Liaodong Bay and relationship with oceanic environmental factors [J]. *Marine Sciences*, 2010, 34(2): 35 - 39. [宋伦, 周遵春, 王年斌, 等. 辽东湾浮游动物多样性及其与海洋环境因子的关系. *海洋科学*, 2010, 34(2): 35 - 39.]
- [34] Quan F, Zhu L. Study on the diversity of benthic arthropod in mangrove area of Dongzhaigang, Hainan [J]. *Marine Sciences*, 2013, 37(11): 35 - 40. [全峰, 朱麟. 海南东寨港红树林区底栖节肢动物多样性研究. *海洋科学*, 2013, 37(11): 35 - 40.]
- [35] Liu Y, Li S F, Chen X G, *et al.* The structure and diversity of demersal fish communities in winter 2000 in the East China Sea and the Yellow Sea [J]. *Marine Sciences*, 2001, 31(10): 19 - 24. [刘勇, 李圣法, 陈学刚, 等. 东、黄海 2000 年冬季底层鱼类群落结构及其多样性. *海洋科学*, 2001, 31(10): 19 - 24.]

Species distribution and diversity of the coral reef fishes in the shallow reefs along the east and south coasts of Hainan Island

WU Zhongjie, CAI Zefu, CHEN Shiquan*, ZHANG Guangxing,
LI Xiangmin, WANG Daoru, YAO Haijun
(*Hainan Academy of Ocean and Fisheries Sciences, Haikou 570125, China*)

Abstract: Research of species distribution and diversity of the coral reef fishes was conducted by the method of line intercept transect, taxonomic diversity index, relative abundance and similarity index, according to the monitoring data investigated along the east and south coasts of Hainan island from 2004 to 2013. The results showed that, there were 6 orders, 32 families, 64 genera and 130 species of coral reef fishes with density of a decreasing trend from south to north approximately. And Perciformes was in the absolute dominance. Average diversity index of the family was 4.41 when the genera was 3.09, and normalization $G-F$ was 0.30; Relative abundance of coral reef fishes of Perciformes has possessed absolute dominance. Six higher relative abundance families were Pomacentridae, Labridae, Chaetodontidae, Apogonidae, Tetraodontidae and Centriscidae; It was very similar in orders with similarity index between 0.86 to 1, when it was low as Family, Genus and Species, all of them below 0.5. There were many varieties and abundant species in the shallow reefs along the east and south coasts of Hainan Island, through the Jaccard's similarity index analysis. Length of fish body ranged 6 ~ 10 cm, followed by 0 to 5 cm, few of them 21 ~ 40 cm. This paper hopes to provide basic data and theoretical basis for protection of coral reef ecosystem and reef fishes, through the discussion of the species distribution and diversity of the coral reef fishes along the east and south coasts of Hainan Island in nearly a decade.

Key words: coral reef fish; density; diversity; relative abundance; similarity index; Hainan Island

Corresponding author: CHEN Shiquan. E-mail: breezysmile. c. s. q@163. com.