

西沙群岛珊瑚礁海域鱼类分类学多样性

史赞荣^{1,2}, 李永振^{1*}, 艾红¹, 陈国宝¹, 卢伟华³, 李希国³,
李娜娜⁴, 于杰¹, 董丽娜^{1,2}, 崔科², 孙冬芳^{1,2}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300;

2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

3. 东莞市海洋与渔业环境监测站, 广东 东莞 523079;

4. 大连海洋大学生命科学与技术学院, 辽宁 大连 116023)

摘要: 为评价南中国海西沙群岛珊瑚礁海域鱼类分类学多样性和更好地保护其鱼类, 根据西沙群岛珊瑚礁海域鱼类物种组成的历史资料对西沙群岛及其16座岛礁的珊瑚礁水域鱼类物种数目、平均分类差异指数和16座岛礁的 $G-F$ 多样性指数作了分析。结果显示, 西沙共记录鱼类661种, 隶属于25目、93科、305属。其中, 永兴岛(351种), 华光礁(173种), 东岛(160种)记录鱼类物种数目较多。西沙鱼类平均分类差异指数(Δ^+)约为60.2, 各岛礁的 Δ^+ 与物种数目无关。中建岛、晋卿岛、玉琢礁等岛礁鱼类平均 Δ^+ 显著低于西沙鱼类 Δ^+ 。西沙鱼类 Δ^+ 小于陆架和河口区鱼类 Δ^+ , 说明珊瑚礁海域鱼类亲缘关系比陆架和河口区域的都要接近, 此外大尺度上, 一般纬度越低, 中国海洋鱼类 Δ^+ 越小。但 $G-F$ 多样性测度各指数由物种数目的大小决定, 一般物种数目较大的岛礁 $G-F$ 多样性各指数也相对较高, 而 R_{G-F} 指数更适合该海域鱼类多样性的测度。以石岛为例初步探讨了 $G-F$ 指数为负的原因, 一是物种数目较少, 二是多样性测度的关键函数 $Y = -X \ln X$ 并不是单调函数所致; 物种数目较大的岛礁如永兴岛、华光礁、东岛等应该成为西沙珊瑚礁海域鱼类保护的重点区域。

关键词: 鱼类物种组成; 分类学多样性; 珊瑚礁; 西沙群岛

中图分类号: Q 958.8; S 932.4

文献标识码: A

西沙群岛位于南海西部, 分布于 $15^\circ \sim 17^\circ N$ 和 $111^\circ \sim 113^\circ E$, 长约250 km、宽约150 km的海域中, 全区由45座岛、洲、礁、沙滩组成, 是南海诸岛中岛屿出露水面最多、岛陆面积最大的一个珊瑚岛群^[1]。在这些珊瑚礁中, 蕴藏着种类繁多的鱼类生物^[2-3]。关于珊瑚礁鱼类物种多样性研究较少^[4], 目前只见用传统的多样性方法对包括西沙群岛在内的南海珊瑚礁海域鱼类物种多样性进行了研究^[4], 取得了一定的成果。此外, 还有部分学者对西沙群岛珊瑚礁海域鱼类区系有过报道^[5-7]。

传统的生物多样性研究依赖物种个体数目,

反映了物种个体在群落中的地位, 对不同时间、不同方法采集的原始数据进行分析比较时往往需要进行标准化处理^[8]。由于珊瑚礁海域鱼类物种多样性调查会采用各种方法, 如手钓、延绳钓、刺网、潜水观察等^[9], 因此如何将不同时间、不同方法采集的样本进行标准化处理给生物多样性研究带来了一定的难度。

平均分类差异指数(Δ^+)^[10-11]和 $G-F$ 多样性测度指数^[8]都依据物种不同的分类阶元, 只根据物种有无便可对群落物种的多样性进行评估。其中, 平均分类差异指数 Δ^+ 基于物种间形态差异权重^[10], 根据种类间形态关系的路径长度, 将群

收稿日期:2010-06-08 修回日期:2010-08-15

资助项目:科技部社会公益研究专项资金项目(2004DIB3J098);广东省科技计划项目(2005B31001005);国家科技基础性工作重点项目(2003DEA6N042);国家农业财政项目(2009-2011)

通讯作者:李永振, E-mail: Y. Z. Li@qq.com

落的分类多样性特征以量化指标体现,反映的是群落物种之间的形态亲缘关系,按照这种推理,由属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^[11-12]。在生物多样性研究中,仅从物种水平上进行分析还是不够的^[13],而 $G-F$ 多样性测度指数正是基于物种不同科(属)之间隶属物种数目的差异,反映了群落物种在科和属级水平的物种多样性状况^[8,14]。目前,还未见这些方法运用于西沙珊瑚礁海域鱼类物种多样性的研究。虽然西沙群岛只是南海广阔珊瑚礁海域的一部分,本文仍试图对此进行分析,以从一个侧面反映南海珊瑚礁海域鱼类物种的多样性特征,同时也试图为珊瑚礁海域鱼类的保护提供理论依据。

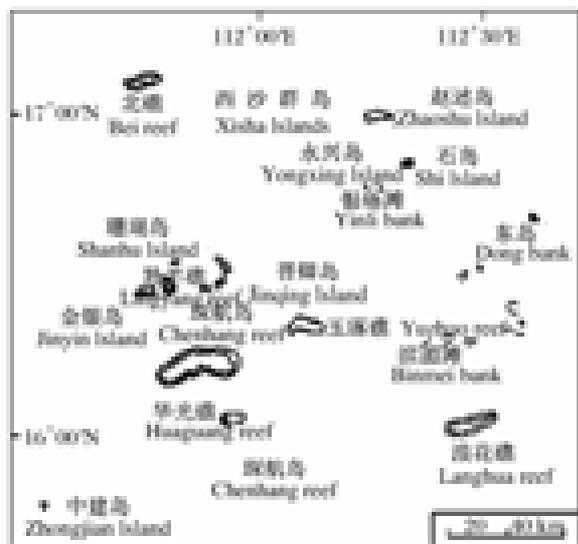


图1 西沙群岛区域图

Fig. 1 Location of Xisha Islands

1 材料与方法

1.1 资料来源和研究区域

根据西沙群岛珊瑚礁海域鱼类物种组成调查研究的历史资料^[2,5-7,9,15-16],系统地整理了鱼类物种组成,包括绝大部分已经鉴定到种的鱼类,少部分鉴定到属的鱼类并不会对多样性指数的计算产生影响,因此也包括在内。由于 Nelson 分类系统收录的鱼类物种更全^[17],同时在全球的运用也相对较广,因此本研究采用此分类系统,而不是中国传统使用的 Rass 分类系统。本文中,西沙群岛 16 座岛礁包括永兴岛(YXI)、东岛(DI)、琛航岛(CHI)、金银岛(JYI)、华光礁(HGR)、羚羊礁(LYR)、滨湄滩(BMB)、银砾滩(YLB)、石岛(SI)、中建岛(ZJI)、晋卿岛(JQI)、珊瑚岛(SHI)、玉琢礁(YZR)、北礁(BR)、赵述岛(ZSI)。

1.2 研究方法

平均分类差异指数 (average taxonomic distinctness, AvTD) 计算公式:

$$\Delta^+ = (\sum_{i < j} \omega_{ij}) / [S(S-1)/2]^{[10]}$$

式中, Δ^+ 表示群落所有物种之间路径长度的平均值。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。平均分类差异指数 Δ^+ 由 PRIMER5.2 软件包的 TAXDTEST 求得。上述公式中的 ω_{ij} 取值见表 1。本研究中分类等级确定为门、纲、目、科、属、种,共 6 个水平。由于鱼类均属于脊索动物门,实际上在计算时候只采用了纲、目、科、属、种,共 5 个水平。

表 1 各分类等级多样性权重值

Tab. 1 The branch weight on species at each taxonomic level

分类等级 taxon level	ω_{ij} 含义 - 物种的亲缘关系 the relationships amongst species	路径长度的权重 ω_{ij} branch weight
种 species	物种属于一属 species belonging to the same genus	16.667
属 genus	物种属于一科不同属 species belonging to different genera but to the same family	33.333
科 family	物种属于一目不同科 species belonging to different families but to the same order	50.000
目 order	物种属于一纲不同目 species belonging to different orders but to the same class	66.667
纲 class	物种属于一门不同纲 species belonging to different classes but to the same phylum	83.333
门 phylum	物种属不同门 species belonging to different phylum	100.000

$G-F$ 指数 F - 指数 (D_F): 指科间的多样性。在一个特定科 k , $D_{Fk} = - \sum_{ki=1}^n p_{ki} \ln p_{ki}$ ^[8] 其中, $p_{ki} = S_{ki}/S_k$, S_k 岛礁记录的鱼类 k 科中物种

数目, S_{ki} 为 k 科 i 属中的物种数目, n 为 k 科中的属数。一个地区的 F - 指数: $D_F = \sum_{k=1}^m D_{Fk}$, m 为岛礁记录的鱼类科数。

G -指数(D_G):指属间的多样性

$$D_G = - \sum_{ki=1}^p q_{ki} \ln q_{ki} \quad [8]$$

其中, $q_{ki} = S_{ki}/S$, S 为岛礁记录的鱼类物种数目, S_{ki} 为 k 科 i 属中的物种数目, p 为总属数。

$G-F$ 指数:一般用来进行鸟类和哺乳类的多样性测度, $D_{G-F} = 1 - D_G/D_F$

R_{G-F} 指数:蒋志刚等^[8]利用 $G - F' = (D_G - D_{Gmax})/D_{Gmax} / (D_F - D_{Fmax})/D_{Fmax}$ 指数处理物种较少、单种科较多时的 $G-F$ 指数为负的多样性测度,但是随着物种数目的增加,该指数反而减小,这与实际情况不符。为此,我们提出以下公式

$$R_{G-F} = 1 - \frac{(D_G - D_{Gmax})/D_{Gmax}}{(D_F - D_{Fmax})/D_{Fmax}}$$

式中, D_G 为岛礁的 G -指数, D_{Gmax} 为岛礁中 G -指数最大值, D_F 为岛礁的 F -指数, D_{Fmax} 为岛礁中 F -指数最大值。

2 结果

2.1 鱼类物种组成

整理结果表明,西沙群岛共记录鱼类 661 种,隶属于 2 纲、25 目、93 科、305 属。其中软骨鱼类为 7 目、17 科、30 属、43 种,硬骨鱼类为 18 目、76 科、285 属、618 种。目前西沙各岛礁记录的鱼类物种数目差异较大(表 2)。

从目级水平分析,西沙海域以鲈形目 Perciformes 鱼类(457 种)为主,占种类总数 68.93%,其次鲷形目 Tetraodontiformes(43 种)、金眼鲷目 Beryciformes(26 种)、鳗鲡目 Anguilliformes(24 种)、真鲨目 Carcharhiniformes(18 种)、鳐形目 Rajiformes(13 种),其他各目鱼类物种数均小于 10。

从科级水平分析,西沙海域鱼类物种丰富度较高的 10 科从高到低排列依次是隆头鱼科 Labridae(60 种)、鲷科 Serranidae(43 种)、雀鲷科 Pomacentridae(41 种)、蝴蝶鱼科 Chaetodontidae(34 种)、笛鲷科 Lutjanidae(34 种)、刺尾鱼科 Acanthuridae(30 种)、鹦嘴鱼科 Scaridae(30 种)、鳃科 Holocentridae(26 种)、鲹科 Carangidae(21 种)、海鲢科 Muraenidae(20 种)。

2.2 Δ^+ 的分布

西沙鱼类 Δ^+ 约为 60.2(图 3),为一理论平均值,其值一般不随种类数增加而增加。

表 2 同时给出了西沙 16 座岛礁鱼类平均 Δ^+ ,各岛礁 Δ^+ 值位于 48.4 ~ 63.2 之间(表 2),其中,滨湄滩、银砾滩、羚羊礁、石岛、珊瑚岛、北礁、琛航岛、华光礁等 9 座岛礁鱼类 Δ^+ 分布在西沙鱼类 Δ^+ 95% 置信漏斗曲线内,说明上述岛礁鱼类 Δ^+ 与西沙鱼类总体 Δ^+ 没有显著差异($P > 0.05$),而中建岛、晋卿岛、玉琢礁、赵述岛、浪花礁、永兴岛等 7 座岛礁鱼类 Δ^+ 则位于 95% 置信漏斗曲线以下,说明其 Δ^+ 显著小于西沙鱼类 Δ^+ ($P < 0.05$)。岛礁鱼类物种数目与 Δ^+ 之间无显著相关($R^2 = 0.0013, P > 0.05, n = 16$)(图 3),说明西沙鱼类 Δ^+ 不依赖岛礁鱼类物种数目的变化。

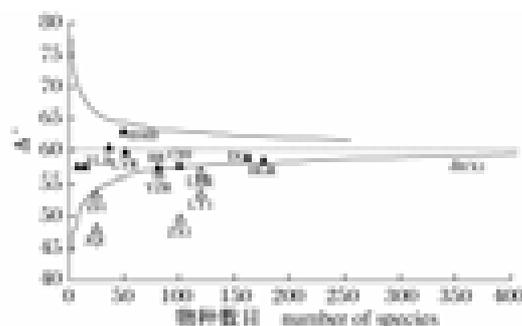


图 2 西沙群岛珊瑚礁海域鱼类平均分类差异指数 Δ^+ 95% 置信漏斗曲线

Δ : 该岛礁的 Δ^+ 预期值显著低于西沙群岛。

Fig. 2 Funnel plot for average taxonomic distinctness Δ^+ with 95% confidence limit of fish species in coral reef areas in Xisha Islands

Δ : The Δ^+ in the reef is significantly lower than Xisha Islands.

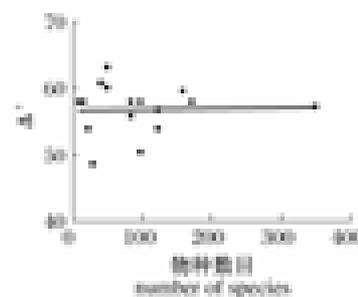


图 3 岛礁 Δ^+ 与物种数目关系

Fig. 3 Relationship between Δ^+ and species richness in each reef

2.3 $G-F$ 多样性测度指数的分布

从分析结果看,西沙群岛各岛礁表示鱼类属分类阶元多样性的 G -指数与物种数目自然对数呈极显著相关($R^2 = 0.97, n = 16, P < 0.01$)(图 4-

a), 而表示鱼类科分类阶元多样性的 F -指数则与物种数目呈极显著相关 ($R^2 = 0.95, n = 16, P < 0.01$) (图 4-b), 说明西沙不同岛礁之间, 鱼类物种数目较多的岛礁比物种数目较少的岛礁在科级水平上多样性增长更快。同时各岛礁鱼类 $G-F$ 指数与物种数目的对数也为极显著正相关 ($R^2 =$

$0.70, n = 16, P < 0.01$) (图 4-c), 中建岛和石岛的鱼类 $G-F$ 指数为负值 (表 2), R_{G-F} 指数与物种数目自然对数为极显著正相关 ($R^2 = 0.92, n = 16, P < 0.01$) (图 4-d), 但其与物种数目自然对数关系拟合效果要好于 $G-F$ 指数。

表 2 西沙各岛礁鱼类物种数目、 Δ^+ 和 $G-F$ 多样性测度指数的大小
Tab. 2 The number of species, Δ^+ and $G-F$ index of each reef in Xishan Islands

岛礁 reef	物种数目 number of species	Δ^+	G -指数 G -index	F -指数 F -index	$G-F$ 指数 $G-F$ index	R_{G-F} 指数 $G'-F$ index
永兴岛 YXI	351	57.2	4.61	35.93	0.87	0.87
东岛 DI	160	59.5	4.22	14.87	0.72	0.86
琛航岛 CHI	98	58	3.66	10.78	0.66	0.71
金银岛 JYI	122	54	3.93	8.09	0.75	0.73
浪花礁 LHR	123	56.8	3.95	14.38	0.73	0.76
华光礁 HGR	173	58	4.12	18.36	0.78	0.78
羚羊礁 LYR	51	60.1	3.50	8.30	0.58	0.69
中建岛 ZJI	23	54	2.87	2.03	-0.41	0.60
赵述岛 ZSI	98	50.3	3.81	8.07	0.53	0.78
北礁 BR	83	57.9	3.49	8.09	0.57	0.69
玉琢礁 YZR	85	55.8	3.70	4.50	0.18	0.77
银砾滩 YLB	40	60.7	3.21	4.32	0.26	0.65
滨湄滩 BMB	49	63.2	3.47	6.79	0.49	0.69
珊瑚岛 SHI	15	58	2.39	2.74	0.13	0.48
晋卿岛 JQI	30	48.4	3.06	5.48	0.44	0.60
石岛 SI	10	58	2.03	1.68	-0.21	0.41

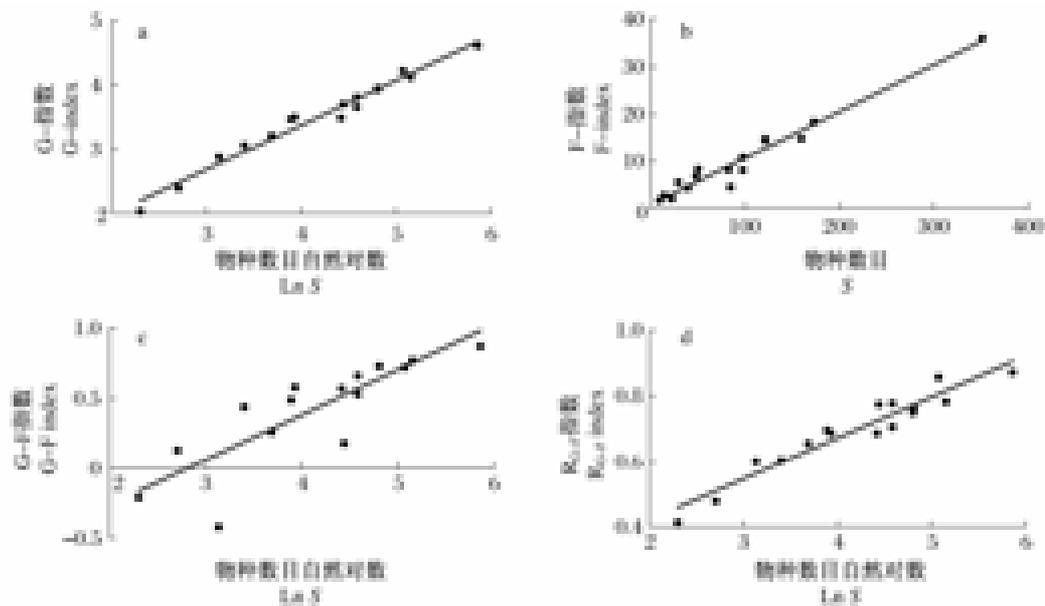


图 4 西沙群岛各岛礁 $G-F$ 指数与物种丰富度的关系

a. G -指数与物种数目自然对数 ($\ln S$); b. F -指数与物种数目 (S); c. $G-F$ 指数与物种数目自然对数; d. 修正的 $G-F$ 指数与鱼类物种数目自然对数。

Fig. 4 Relationship between $G-F$ index and number of species (S) in each reef of Xisha Islands

a. G -index and the natural logarithm number of species ($\ln S$); b. F -index and S ; c. $G-F$ index and $\ln S$; d. R_{G-F} index and $\ln S$.

3 讨论

物种数目是物种多样性程度最直接、最基本的表达,估计物种数目是当前国际上物种多样性研究的核心与热点内容^[18]。目前的研究认为,印度尼西亚-马来西亚-菲律宾海区是世界海洋生物多样性最高的地区,其中鱼类就有约4 000种^[19],世界各地的海洋生物物种数目大致以印度尼西亚-菲律宾海区为中心随经纬度的变化而呈现梯度分布的特点^[20-22]。目前南海诸岛仅西沙群岛珊瑚礁海域就已记录鱼类661种,高于太平洋中部社会群岛海域(519种)^[23],也高于西北大西洋海域(444种)^[23]和热带东太平洋海域(392种)^[23]。由于与印度尼西亚-菲律宾海区距离较近,因此西沙群岛珊瑚礁海域鱼类体现了较高的物种多样性。

一般而言,从热带到两极物种不断减少^[24-25]。陈国宝等^[4]用传统的多样性指数分析鱼类群落时,发现南海珊瑚礁海域由于纬度较低,多样性指数结果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,同时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。本文通过计算西沙珊瑚礁海域鱼类 Δ^+ ,发现西沙鱼类 Δ^+ 小于东海陆架^[26]($t = 104.04, P < 0.01$),另外徐宾铎等^[27]计算了黄、渤海鱼类 Δ^+ ,张衡等^[28]计算了长江口鱼类 Δ^+ ,(张衡等以及徐宾铎等^[27]的研究没有给出具体的路径长度权重值,如果按照表1的标准进行计算,上述两区域鱼类 Δ^+ 大小可能会稍有变化,所以没有将西沙海域鱼类与这两个区域鱼类差异进行显著性检验),但张衡等^[28]的

研究发现长江口鱼类 Δ^+ 要高于黄、渤海,而黄、渤海则高于东海陆架,据此,我们初步推算在大尺度上,从北到南随着纬度变化,中国海域海洋鱼类(长江口因有不少溯河性和淡水鱼类,所以没有列入) Δ^+ 基本呈现梯度分布,纬度低的海域, Δ^+ 一般也较小,而热带珊瑚礁海域 Δ^+ 最小, 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 Δ^+ 的分析只考虑物种有无,而传统多样性指数须依赖物种个体数目的缘故。但本研究中由于区域太少无法确认大尺度上鱼类 Δ^+ 与纬度是否有显著相关性,以后的研究中还需深入。而李圣法^[26]通过对东海陆架鱼类群落的研究没有发现东海陆架鱼类 Δ^+ 有明显的纬度变化规律,徐宾铎等^[29]对黄海鱼类的研究也没有发现黄海鱼类 Δ^+ 有明显的纬度变化规律,这可能与研究选择的尺度较小有关,也可能与区域小生境如水深、盐度等的叠加影响有关。此外不同生境类型的鱼类群落,其 Δ^+ 也会有差异,如河口鱼类的 Δ^+ 最高,其次陆架海域,最小为热带珊瑚礁海域。

鱼类的分布与盐度、温度、水深等密切相关^[30],与陆架、河口区域鱼类相比,珊瑚礁海域一年中各个季节水温、盐度梯度变化较小^[3],因此可以分布的物种形态和亲缘关系比较接近。这也可以由西沙(XSI)珊瑚礁海域鱼类物种数目(S)/鱼类目数目(O)的值都要高于东海陆架(ECS)以及黄、渤海(HBS)和河口(YZE)区域来解释(图5-a),同时西沙岛礁之间 Δ^+ 的差异基本也由岛礁 S/O 的值决定,低于西沙鱼类 Δ^+ 期望值的7座岛礁,其 S/O 值也基本是各岛礁的较大值(图5-b)。徐宾铎等^[29]的研究也证实区域鱼类分类学范围变小会使 Δ^+ 值变小。

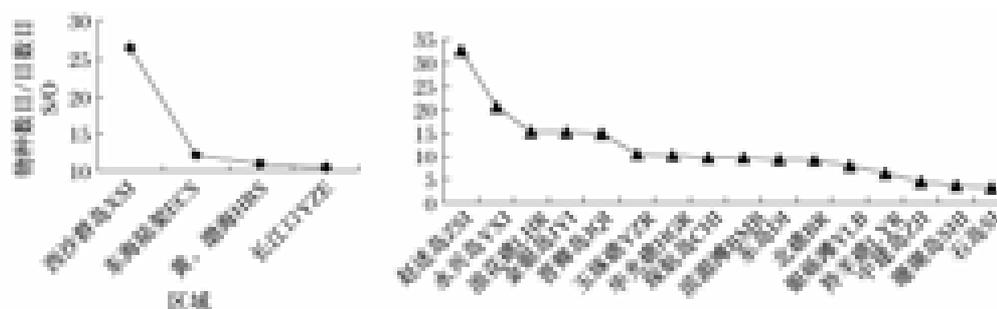


图5 不同区域鱼类平均每目拥有的物种数目

a. 中国不同区域; b. 西沙群岛各岛礁。

Fig. 5 The number of fish species (S) per order (O) in each area

a. Each area in China; b. Each reef.

自然界中,生物群落的不同结构层次上都存在着多样性^[8]。蒋志刚等^[8]最早提出 $G-F$ 指数并将其用于研究兽类和鸟类的多样性测度,目前在各类脊椎动物物种多样性研究领域运用广泛^[8,13,31-38]。蒋志刚等^[8]对中国自然保护区爬行动物和两栖类的研究发现某些保护区的 $G-F$ 指数会出现负数的情况,但哺乳动物和鸟类 $G-F$ 指数一般不会出现负数。本研究中西沙群岛石岛和中建岛鱼类的 $G-F$ 值也为负数。以石岛为例,此时该岛礁 $D_G > D_F$,可认为属多样性要大于科的多样性,显然与实际存在矛盾。在多样性测度中 $0 < p(q)_{ki} \leq 1$,所有的点 F_{ki} (横坐标为 p_{ki} , 纵坐标为 $D_{Fki} = -p_{ki} \ln p_{ki}$) 和点 G_{ki} (横坐标为

q_{ki} , 纵坐标为 $D_{Gki} = -q_{ki} \ln q_{ki}$) 都位于曲线 $Y = -X \ln X$ 上,但曲线 $Y = -X \ln X$ 在 $0 < X \leq 1$ 时并不是单调函数,只在 $X = 1/e \approx 0.3679$ 时取得最大值 $Y = 1/e$ (图6)。当一个地区物种较少,出现 $p_{ki} > 1/e$ 的概率就较大,此时 F_{ki} 分布在 $X = 1/e$ 右测,同时物种较少, D_{Gki} 也相对较大(如图6b的点 G_{12} 和 G_{22}),也可能会比 $X = 1/e$ 右侧的点 F_{ki} 更靠近 $1/e$ (图6-a的点 F_{12}),有单种科出现时, F_{ki} 对 F -指数的贡献为零(图6-a的 F_{31} , F_{41} 和 F_{51}),由于点 F_{ki} 和点 G_{ki} 的个数是相等的,而非零值的 D_{Fki} 个数要少于 D_{Gki} 的个数,因此 D_{Fki} 的值必须足够大才能抵消单种科对 F -指数的贡献为零的影响,反之可能出现 $D_G > D_F$ 的情况。

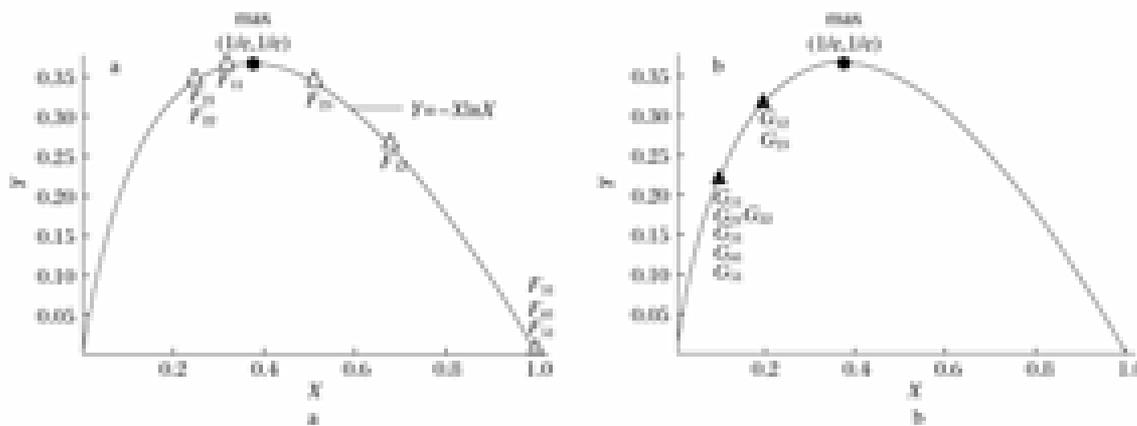


图6 西沙石岛 $G-F$ 指数的分布

a. p_{ki} 与 D_{Fki} ; b. q_{ki} 与 D_{Gki} 。

Fig. 6 Distribution of $G-F$ index in SI in Xisha Islands

a. Distribution of p_{ki} and D_{Fki} ; b. Distribution of q_{ki} and D_{Gki} .

本研究发现岛礁鱼类物种数目较大时,则该岛礁的 G -指数、 F -指数和 $G-F$ 指数也相对较高,由此可见珊瑚礁海域鱼类属和科的多样性依赖物种数目的大小。通过与长江流域一些脊椎动物物种 $G-F$ 多样性^[35-38] 等发现西沙海域各岛礁之间鱼类 G -指数和 F -指数差异要大于长江流域各类动物,可能是西沙各岛礁的鱼类物种数目差异较大,也可能是部分岛礁的鱼类单种科较多的缘故。蒋志刚等^[8] 和胡慧建等^[39] 分别对中国不同地区的鸟类和兽类的研究发现鸟类 $G-F$ 指数与兽类 $G-F$ 指数显著正相关,表明一个地区中科属间鸟兽物种多样性组成具有一定的规律。因此, $G-F$ 指数能较好地体现研究区域生境的复杂程度。而张淑萍等^[13] 和杨秀娟等^[40] 分别对天津地区鸟类和春季三江平原大型鸟类的研

究都没有发现 G -指数和 F -指数与物种数目之间有显著相关性,推测可能是上述研究中鸟类的物种的分类学范围较小,也可能与各个调查区域之间的鸟类物种数目比较接近或调查区域较少有关。本研究还发现西沙岛礁的 R_{G-F} 指数更适合西沙珊瑚礁海域鱼类物种多样性的测度,但目前还不清楚这一现象是否具有普遍性,如陆地兽类、鸟类、爬行类等是否也具有较好的拟合结果。

在进行物种保护时,需要考虑该区域物种的多样性、特有性和个体数量等因素^[13,40-41]。但目前全面了解西沙珊瑚礁鱼类物种数目、稀有种分布等,还存在着不少困难,再者珊瑚礁区的物种丰富,但很少有物种个体数量能够占据绝对优势^[41],有研究已证实西沙群岛岛礁之间鱼类的 Shannon - Wiener 多样性指数分布比较均匀^[2]。

另外鱼类物种数目较大的岛礁同时在属和科分类阶元上也体现着较高的多样性,因此永兴岛、华光礁、东岛等岛礁由于物种数目较多,应该成为珊瑚礁鱼类保护的重点区域。

感谢林昭进研究员向作者提供了部分资料,特别感谢蒋志刚研究员为本文完善所提出的宝贵建议。

参考文献:

- [1] Li Y Z, Chen Y, Yuan W W, *et al.* Fish fauna of coral reef waters in the Centre & North of Nansha Islands [J]. *Journal of the Fisheries Society of Taiwan*, 2000, 27(3): 187-200.
- [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] 陈史坚. 南海诸岛地名资料汇编[M]. 广州:广东省地图出版社,1987:160-180.
- [4] 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.
- [5] 成庆泰,王存信. 西沙群岛鱼类区系初步调查[J]. *海洋与湖沼*. 1966, 8(1): 29-36.
- [6] 王存信. 南海诸岛鱼类区系研究. 海洋与湖沼论文集[C]. 北京:科学出版社,1981:137-161.
- [7] 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, 5(1): 18-25.
- [8] 蒋志刚,纪力强. 鸟兽物种多样性测度的 GF 指数方法[J]. *生物多样性*. 1999, 7(3): 220-225.
- [9] 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[R]. 北京:海洋出版社,2004.
- [10] Clarke K R, Warwick R M. A taxonomic distinctness index and its statistical properties [J]. *Journal of Applied Ecology*, 1998, 35(4): 523-531.
- [11] Richard M. The use of taxonomic distinctness to assess environmental disturbance of insect communities from running water [J]. *Freshwater Biology*, 2007, 52(8): 1634-1645.
- [12] Ricota C, Avena G C. An information-theoretical measure of taxonomic diversity [J]. *Acta Biotheoretica*, 2003, 51(1): 35-41.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 南海水产研究所西、南、中沙渔业资源调查组. 西沙、中沙、南沙北部海域大洋性鱼类资源调查报告[R]. 1978.
- [16] 国家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.
- [17] 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.
- [18] 胡军华,胡慧建,蒋志刚. 大空间尺度上物种多样性的分布规律[J]. *应用与环境生物学报*, 2007, 13(5): 731-735.
- [19] 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(1): 31-47.
- [20] Mora C, Chitta R O, Sale P F *et al.* Patterns and processes in reef fish diversity [J]. *Nature*, 2003, 6926(421): 933-936.
- [21] Bellwood D R, Hughes T P, Connolly S R *et al.* Environmental and geometric constraints on Indo-Pacific coral reef biodiversity [J]. *Ecology Letters*, 2005, 763(6): 643-651.
- [22] Carpentera K E, Springer V G. The center of the center of marine shore fish biodiversity: the Philippine Islands [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2005, 72(4): 467-480.
- [23] Robertson D R. Do coral-reef fish faunas have a distinctive taxonomic structure? [J]. *Coral Reefs*, 1998, 17(2): 179-186.
- [24] Rogers S I, Klarker R T, Reynolds J D. The taxonomic distinctness of coastal bottom-dwelling fish communities of the North-east Atlantic [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1999, 68(4): 769-782.
- [25] Lappalainen J, Soininen J. Latitudinal gradients in niche breadth and position-regional patterns in freshwater fish [J]. *Naturwissenschaften*, 2006, 93(5): 246-250.
- [26] 李圣法. 东海大陆架鱼类群落生态学研究: 空间格局和多样性[D]. 上海:华东师范大学,2005.
- [27] 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.
- [28] 张衡,陆健健. 鱼类分类多样性估算方法在长江河口区的应用[J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 3(2): 11-22.
- [29] 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.

- [30] 中国科学院南沙综合科学考察队,南海水产研究所.南沙群岛西南部陆架区底拖网渔业资源调查研究专集[C].北京:海洋出版社,1996:110-117.
- [31] 韩宗先,胡锦矗.重庆市兽类资源及其区系分析[J].西华师范大学学报(自然科学版),2002,23(2):141-148.
- [32] 周立志,马勇.用GIS进行西部干旱地区啮齿动物物种分布的信息管理[J].安徽大学学报(自然科学版),2003,27(2):94-103.
- [33] 黄石林,饶纪腾,韩联宪,等.广东车八岭自然保护区鸟类多样性分析[J].四川动物,2003,22(2):101-106.
- [34] 吴少斌,吴法清,何定富,等.五道峡自然保护区兽类资源生态评价[J].华中师范大学学报(自然科学版),2005,39(3):389-394.
- [35] 于晓东,罗天宏,伍玉明,等.长江流域两栖动物物种多样性的大尺度格局[J].动物学研究,2005,26(6):565-579.
- [36] 于晓东,罗天宏,戴强,等.长江流域爬行动物物种多样性的大尺度格局[J].生物多样性,2005,13(6):298-314.
- [37] 于晓东,罗天宏,周红章,等.长江流域鱼类物种多样性大尺度格局[J].生物多样性,2005,13(6):473-495.
- [38] 于晓东,罗天宏,伍玉明,等.长江流域兽类物种多样性的分布格局[J].动物学研究,2006,27(2):121-143.
- [39] 胡慧建,蒋志刚,王祖望.中国不同地理区域鸟兽物种丰富度的相关性[J].生物多样性,2001,9(2):95-101.
- [40] 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.
- [41] Pullin A S. Conservation biology[M].贾竞波,译.北京:高等教育出版社,2005:138-140.

Fish taxonomic diversity of coral reef areas in Xisha Islands

SHI Yun-rong^{1,2}, LI Yong-zhen^{1*}, AI Hong¹, CHEN Guo-bao¹, LU Wei-hua³,
LI Xi-guo³, LI Na-na⁴, YU Jie¹, DONG Li-na^{1,2}, CUI Ke², SUN Dong-fang^{1,2}

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

2. College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Dongguan Sea and Fishery Environmental Monitoring Station, Dongguan 523079, China;

4. College of Life and Fisheries, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

Abstract: The aims of this study are were to assess the fish taxonomic diversity and protect its fishes of coral reef waters in Xisha Islands, which located in South China Sea. Based on the historical data on the fish species composition in coral reef areas in Xisha Islands, the recorded fish species composition was updated, which made the average taxonomic distinctness Δ^+ and $G - F$ index be used to assess the fish species taxonomic diversity in 16 reefs in Xisha, respectively. The results showed that a total of 661 fish species belonging to 305 genera, 93 families, and 25 orders were recorded. Among them, more species were recorded in Yongxing Island (351), Huaguang Reef (173) and Dong Island (160). Δ^+ in Xisha was about 60.2, however, Δ^+ in Zhongjian Island, Jinqing Island, Yuzhuo Reef and so on was significantly lower than that in Xisha Islands, and Δ^+ in Xisha Islands was also lower than that both in continental shelf and estuary area. This shows that the relationship among fish species in tropical coral reef areas was closer than those areas. Meanwhile Δ^+ of marine fish species in China seas generally displayed a positive relationship with latitude on a large scale. However, $G - F$ index was dependent on the number of species in the reef, and higher number of species would make higher $G - F$ index, while fitting effect between R_{G-F} index and natural logarithm number of species was much better than that of $G - F$ index in the paper. The reason why $G - F$ index in Shi Island was negative was discussed preliminarily, which might mainly be caused by the lower species richness and the key $Y = -X \ln X$ for measuring species diversity was not a monotonic function. It was concluded that as species richness in Yongxing Island, Huaguang Reef, Dong Island and so on was higher, these habitats should be specially protected.

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

Corresponding author: LI Yong-zhen. E-mail: Y. Z. Li@qq.com