基于南沙群岛西南部海域探捕调查的鱼类分类多样性初步研究*

冯 佶[1], 李 渊[1], 林龙山[1], 王良明[1], 张 然[1], 张 静[2]**

(1. 自然资源部第三海洋研究所海洋生物与生态实验室, 福建 厦门 361005; 2. 集美大学水产学院, 福建 厦门 361021)

摘 要: 根据2012—2013年秋、春两个航次在南沙群岛西南部海域探捕调查数据, 系统整理了调查海域鱼类物种组成并分析其季节更替, 通过计算调查海域鱼类相对重要性指数(IRI)、分类阶元包含指数(TINCLi)以及分类学多样性指数(Δ^+和Λ^+), 初步探讨了该海域鱼类分类多样性现状。结果显示, 调查海域鱼类共有27目104科206属340种, 其中鲈形目种类数目占绝对优势。当采用$IRI \geqslant 500$标准定义优势种时, 秋季优势种有2种, 春季有4种, 不同季节鱼类优势种存在差异, 并且主要鱼种的季节更替现象明显。分类阶元包含指数分析结果显示, 鱼类物种组成中, 目、科、属各分类阶元包含各低级分类阶元的平均数目分别为(3.85、7.63、12.59), (1.98、3.27)和(1.65)。调查海域Δ^+值和Λ^+值分别为66.3和100.2, 其中Δ^+值高于大亚湾(62.2)和北部湾(63.5), 最接近于东海陆架区(65.7)。研究结果显示南沙群岛西南部海域鱼类分类多样性目前并未发生显著变化, 但仍应关注人类活动对该海域鱼类多样性的影响。

关键词: 分类多样性; 鱼类组成; 相对重要性指数; 分类阶元包含指数; 分类学多样性指数

中图法分类号: P735 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-5174(2020)05-076-09

DOI: 10.16441/j.cnki.hdxb.20190097

引用格式: 冯佶, 李渊, 林龙山. 等. 基于南沙群岛西南部海域探捕调查的鱼类分类多样性初步研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2020, 50(5): 76-84.

FENG Ji, LI Yuan, LIN Long-Shan, et al. Preliminary study on taxonomic diversity of fish species based on the fishing surveys in southwestern sea area of Nansha Islands[J]. Periodical of Ocean University of China, 2020, 50(5): 76-84.

南沙群岛西南部海域地处低纬的热带区域, 邻近地球赤道, 整体位于种类多样性最为丰富的印度-西太平洋海洋动物区系的中心区域[1-2]。海域外部与珊瑚礁水域相连, 地理条件复杂, 气候环境多变。加上周年太阳辐射强烈, 季风冬夏交替, 终年炎热且湿润。这些独有的复杂水文和地形特征, 以及所处热带和亚热带海域的常年高温环境均为孕育丰富而多样的物种提供了条件。一直以来, 南沙群岛西南部海域是良好的作业渔场, 拖网渔业生产主要集中于此, 渔获量曾一度占南沙群岛海域总渔获量的85%以上[3]。近年来, 中国对南海渔业资源的开发规模日益扩大, 而捕捞强度的不断增大也使得人们对南海海洋生物多样性的保护越发关注。此前已有不少学者对南海鱼类物种分类多样性进行过研究, 主要包括南海北部大亚湾海域[4]、北部湾海域[5]以及珊瑚礁区域[6-7]。曾晓光等[1]曾根据20世纪末开展的南海资源环境调查所获取的数据对南沙群岛西南部陆架海域鱼类分类多样性进行过研究, 此后尚未见有相关研究。基于此, 进一步探明该海域鱼类分类多样性现状是十分必要的, 有助于为日后开展多样性保护的深入研究提供基础性参考。

本研究基于2012—2013年秋、春季南沙群岛西南部海域两次探捕调查所获取的数据, 系统整理了鱼类物种组成并分析鱼类分布对于季节变化的响应, 揭示了南沙群岛西南部海域鱼类物种分类多样性现状。并且对比了不同纬度海域鱼类分类多样性研究以及曾晓光等[1]的研究结果, 初步探讨当前南沙群岛西南部海域鱼类分类多样性特征及其年代变化, 旨在为南沙群岛西南部海域鱼类多样性保护及渔业资源可持续利用提供科学判断和依据。

1 材料和方法

1.1 站位设置及数据采集

2012年9—10月(秋季)和2013年3—4月(春季)

* 基金项目: 全球变化与海气相互作用专项(GASI-02-SCS-YDsum; GASI-02-SCS-YDaut; GASI-02-SCS-YDspr)资助
Supported by the National Programme on Global Change and Air-Sea Interaction (GASI-02-SCS-YDsum; GASI-02-SCS-YDaut; GASI-02-SCS-YDspr)
收稿日期: 2019-03-14; 修订日期: 2019-06-30
作者简介: 冯 佶(1993-), 男, 硕士生。E-mail: fengji@tio.org.cn
** 通讯作者: E-mail: zhjing@jmu.edu.cn

在南沙群岛西南部海域进行 2 个航次的底拖网调查，每航次设 20 个调查站位(见图 1)。调查船为“桂北渔 60011”钢质渔船，渔船总吨位 300 t，总长 36.8 m，型宽 6.8 m，型深 3.8 m，主机功率 441 kW。所用网具为单囊底拖网，网口拉紧周长为 80.8 m，网衣长度为 59.5 m，网口宽度为 37.7 m，网囊网目为 40 mm。

探捕调查时考虑到站位海域底质情况和周围水文环境，每个站位进行 1 次拖网，拖网速度平均约为 3.0 kn，拖网时间为 1 h，拖网时间的计算从拖网曳纲停止投放，曳纲拉紧受力时起至起网绞车开始收曳纲时止。采样方法及样品保存与分析严格参照《海洋调查规范第 6 部分：海洋生物调查》(GB/T12763.6—2007)进行[8]，鱼类的分类鉴定依据 Nelson 分类系统标准[9]。为保证研究结果的准确度和可比性，研究中鉴定到种的分类阶元，并排除同种异名情况，最后建立鱼类物种名录。

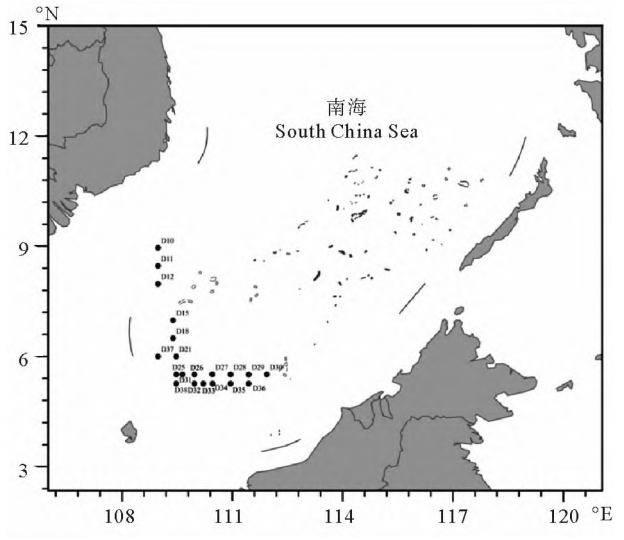

图 1　南沙群岛西南部海域调查站位

Fig.1　Surveyed stations in southwestern sea area of Nansha Islands

1.2 种类组成的季节更替

研究中采用种类组成的季节更替率[10]来表征南沙群岛西南部海域鱼类种类组成的季节更替变化：

$$A=\frac{C}{C+Z}\times 100\%。\qquad (1)$$

式中：C 为两个季节之间种类变化的数量，即两个季节间种类增加数与减少数之和；Z 为两个季节拥有的相同种类数量。更替率 A 能够表征两个季节之间的鱼类群落种类更替情况，如 2012 年秋季与 2013 年春季鱼类种类组成相比较。

1.3 相对重要性指数

此次研究借助相对重要性指数(IRI)[11]划分并比较南沙群岛西南部海域秋、春两季鱼类的优势种。

$$IRI=(N+W)\times F\ 。\qquad (2)$$

式中：N 是某一种鱼类尾数占所有捕获鱼类总尾数的百分比(%)；W 是某一种鱼类质量占所有捕获鱼类总质量的百分比(%)；F 是某一种鱼类实际出现站位数占所有站位数的百分比(%)，即出现频率。相对重要性指数结合数量信息、质量信息和出现频率信息，此前已在鱼类摄食生态和群落优势种成分的研究中得到了广泛应用[12]。

调查区域位于南海海域，因此定义鱼类在群落中的相对重要性指数(IRI)时参照陈国宝等[12]的划分标准：当 $IRI\geqslant 500$ 时，为优势种；当 $500>IRI\geqslant 100$ 时，为常见种；当 $100>IRI\geqslant 10$ 时，为一般种；当 $IRI<10$ 时，为少见种。

1.4 分类阶元包含指数

李娜娜等[4]提出的分类阶元包含指数($TINCL_i$)能够表征鱼类组成之间的多样性。研究中借助 $TINCL_i$ 分析及比较各分类阶元水平鱼类物种分布的集中情况，并解释它们之间的亲缘关系。$TINCL_i$ 值越大，代表越多的种(属、科)级分类阶元类群归属于属(科、目)级分类阶元，即鱼类在该分类阶元中的种类分布越集中，分类的亲缘关系越近[4]。分类阶元包含指数($TINCL_i$)表达式为：

$$TINCL_i=\frac{1}{N_i}\sum_{j=1}^{N_i}C_{kj},(k<i)\ 。\qquad (3)$$

式中：N_i 是第 i 级分类阶元的数目；C_{kj} 是第 j 个 k 级分类阶元的数目[4]。

1.5 分类学多样性指数

分类学多样性指数[13]能够度量并解释群落中物种间形态关系的差异，通过物种间分类关系的路径长度量化群落的分类多样性和分类差异性。当不考虑物种数量或缺乏数量数据、仅有物种组成时，分类学多样性指数可以主要通过平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Λ^+)进行表达[14-15]。

平均分类差异指数(Δ^+)是指群落中随机两个物种间的平均分类等级路径长度。由于其均值大小不会受到样本规模以及取样性质的影响，因此也进一步解决了传统多样性指数需要依赖物种数目的局限问题[1, 15]。分类差异变异指数(Λ^+)是指平均分类差异指数 Δ^+ 偏离程度的理论均值，在评估多样性时，若物种数目较少，Λ^+ 值可能偏小[4, 16]。平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Λ^+)的表达式为：

平均分类差异指数(Average Taxonomic Distinctness，AvTD)：

$$\Delta^+=(\Sigma\Sigma_{i<j}\omega_{ij})/[S(S-1)/2]\ 。\qquad (4)$$

分类差异变异指数(Variation in Taxonomic Dis-

tinctness, VarTD):

$$\Lambda^{+}=\Sigma\Sigma_{i<j}(\omega_{ij}-\Delta^{+})^{2}/[S(S-1)/2]。\quad(5)$$

式中:ω_{ij}是第i和第j个物种在分类系统树中的路径长度;S是种类数目[4, 14]。Δ^{+}和Λ^{+}计算结果通过PRIMER 5.2.8软件包中的TAXDTEST得到[17]。由于鱼类均隶属脊索动物门,因此在计算时实际只运用到纲、目、科、属、种5个分类阶元水平。分类阶元间加权路径长度的权重设置见表1。

表1 分类阶元间加权路径长度的权重

Table 1 Branch weight on species in different taxonomic level

分类等级 Taxon level	物种间亲缘关系 Relationships amongst species	路径长度权重 Branch weight
种 Species	属于同一属 In genus	16.667
属 Genus	属于一科不同属 In family	33.333
科 Family	属于一目不同科 In order	50.000
目 Order	属于一纲不同目 In class	66.667
纲 Class	属于一门不同纲 In phylum	83.333

2 结果

2.1 鱼类物种组成及季节更替变化

南沙群岛西南部海域秋、春两季探捕调查共鉴定鱼类340种,隶属于27目104科206属。其中软骨鱼纲8目15科21属26种,占捕获鱼类种类总数的7.65%,其中包括阴影绒毛鲨(*Cephaloscyllium umbratile*)、何氏瓮鳐(*Okamejei hollandi*)、短吻角鲨(*Squalus brevirostris*)等。辐鳍鱼纲19目89科185属314种,占捕获鱼类种类总数的92.35%,其中包括锯棘尖牙鲈(*Synagrops serratospinosus*)、密斑马面鲀(*Thamnaconus tessellatus*)、深水金线鱼(*Nemipterus bathybius*)等(见表2)。在所有鱼类中,鲈形目(Perciformes)种类最多,有107种,占捕获鱼类总数的31.47%,占绝对优势,种类包括高菱鲷(*Antigonia capros*)、短尾大眼鲷(*Priacanthus macracanthus*)、日本绯鲤(*Upeneus japonjcus*)等。

调查海域秋、春两季捕获鱼类种类数目差异明显,秋季共捕获鱼类184种,春季共捕获鱼类263种。其中秋、春两季在调查海域均被捕获的鱼类包括多齿蛇鲻(*Saurida tumbil*)、单棘鹭鱼(*Chaunax fimbriatus*)、绿尾低线鱼(*Chrionema chlorotaenia*)等。

调查海域秋、春两个季节之间种类变化数量为79种,两季相同种类数量为107种,根据公式(1)计算得到,调查海域秋、春两季鱼类种类组成的季节更替率为42.47%,表明调查海域鱼类种类组成的季节更替较为明显。

表2 南沙群岛西南部调查海域鱼类在各分类阶元上的组成及其占比

Table 2 Composition and proportion of fishes in southwestern sea area of Nansha Islands

纲 Class	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species
		数量(比例) No.(Probability/%)	数量(比例) No.(Probability/%)	数量(比例) No.(Probability/%)
软骨鱼纲 Elasmobranchii	银鲛目 Chimaeriformes	1(0.96)	1(0.49)	1(0.29)
	须鲨目 Orectolobiformes	1(0.96)	1(0.49)	1(0.29)
	真鲨目 Carcharhiniformes	3(2.88)	6(2.91)	7(2.06)
	六鳃鲨目 Hexanchiformes	1(0.96)	1(0.49)	1(0.29)
	角鲨目 Squaliformes	3(2.88)	3(1.46)	4(1.18)
	扁鲨目 Squatiniformes	1(0.96)	1(0.49)	2(0.59)
	鳐目 Rajiformes	3(2.88)	5(2.43)	7(2.06)
	鲼目 Myliobatiformes	2(1.92)	3(1.46)	3(0.88)
辐鳍鱼纲 Actinopterygii	鳗鲡目 Anguilliformes	5(4.81)	12(5.83)	21(6.18)
	鼠鳐目 Gonorynchiformes	1(0.96)	1(0.49)	1(0.29)
	水珍鱼目 Argentiniformes	1(0.96)	2(0.97)	2(0.59)
	巨口鱼目 Stomiiformes	3(2.88)	3(1.46)	6(1.76)
	辫鱼目 Ateleopodiformes	1(0.96)	1(0.49)	1(0.29)
	仙女鱼目 Aulopiformes	3(2.88)	4(1.94)	16(4.71)

续表 2

纲 Class	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species
		数量(比例) No.(Probability/%)	数量(比例) No.(Probability/%)	数量(比例) No.(Probability/%)
	灯笼鱼目 Myctophiformes	2(1.92)	2(0.97)	4(1.18)
	须鳃目 Polymixiiformes	1(0.96)	1(0.49)	1(0.29)
	鳕形目 Gadiformes	3(2.88)	6(2.91)	13(3.82)
	鼬鳚目 Ophidiiformes	1(0.96)	8(3.88)	9(2.64)
	鮟鱇目 Lophiiformes	4(3.85)	8(3.88)	12(3.53)
	颌针鱼目 Beloniformes	1(0.96)	1(0.49)	1(0.29)
	金眼鲷目 Beryciformes	5(4.81)	5(2.43)	6(1.76)
	海鲂目 Zeiformes	4(3.85)	6(2.91)	7(2.06)
	刺鱼目 Gasetrosteiformes	2(1.92)	2(0.97)	3(0.88)
	鲉形目 Scorpaeniformes	7(6.73)	31(15.05)	50(14.71)
	鲈形目 Perciformes	33(31.73)	59(28.64)	107(31.47)
	鲽形目 Pleuronectiformes	7(6.73)	20(9.71)	33(9.71)
	鲀形目 Tetraodontiformes	5(4.81)	13(6.31)	21(6.18)
合计 Total	27	104(100.00)	206(100.00)	340(100.00)

2.2 相对重要性指数

根据2012—2013年南沙群岛西南部调查海域秋、春两个航次的调查结果，分别计算两个季节所获鱼类物种的相对重要性指数(*IRI*)(见表3)。结果显示，不同季节鱼类的优势种差异较大。其中，秋季的优势种有2种，为锯棘尖牙鲈和密斑马面鲀。而春季的优势种有4种，分别为菲律宾尖牙鲈(*Synagrops philippinensis*)、土佐副眶棘鲈(*Parascolopsis tosensis*)、长体蛇鲻(*Saurida elongata*)和叉斑狗母鱼(*Synodus macrops*)。有3种常见种同时出现在两个季节，分别为单棘鲽鱼、黑鮟鱇(*Lophiomus setigerus*)和短尾大眼鲷。

此外，秋季常见种还包括高菱鲷、日本绯鲤和深海骨鳃(*Ostichthys kaianus*)。一般种有27种，占秋季所有出现鱼类种类总数的14.67%，包括多齿蛇鲻、琉球角鲂鮄(*Pterygotrigla ryukyuensis*)、弓背鳄齿鱼(*Champsodon atridorsalis*)等。少见种有149种，占总数的80.98%，主要包括印度无齿鲳(*Ariomma indica*)、魏氏红鲂鮄(*Satyrichthys welchi*)、黄鳍马面鲀(*Thamnaconus hypargyreus*)等。

春季常见种共17种，除上述2种常见种外还包括多齿蛇鲻、深水金线鱼、南非鳄齿鱼(*Champsodon capensis*)等。春季一般种有39种，占春季所有出现鱼类种类总数的14.77%，包括棘茄鱼(*Halieutaea stellata*)、细羊舌鲆(*Arnoglossus tenuis*)、拟三刺鲀(*Triacanthodes anomalus*)等。少见种有203种，占总数的77.19%，主要包括翼红娘鱼(*Lepidotrigla alata*)、日本绯鲤、哈氏原鲨(*Proscyllium habereri*)等。

表3　南沙群岛西南部调查海域主要鱼种相对重要性指数

Table 3　Index of relative importance (*IRI*) of main fish species in southwestern sea area of Nansha Islands

2012年秋季 Autumn in 2012		2013年春季 Spring in 2013	
种名 Species	相对重要性指数 *IRI*	种名 Species	相对重要性指数 *IRI*
锯棘尖牙鲈 *S. serratospinosus*	4 651	菲律宾尖牙鲈 *S. philippinensis*	1 311
密斑马面鲀 *T. tessellatus*	506	土佐副眶棘鲈 *P. tosensis*	534
高菱鲷 *A. capros*	246	长体蛇鲻 *S. elongata*	532
单棘鲽鱼 *C. fimbriatus*	225	叉斑狗母鱼 *S. macrops*	519
日本绯鲤 *U. japonjcus*	185	多齿蛇鲻 *S. tumbil*	490

续表 3

2012年秋季 Autumn in 2012		2013年春季 Spring in 2013	
种名 Species	相对重要性指数 *IRI*	种名 Species	相对重要性指数 *IRI*
黑鲛鳚 *L. setigerus*	123	深水金线鱼 *N. bathybius*	483
深海骨鳃 *O. kaianus*	121	鹿儿岛水珍鱼 *Argentina kagoshimae*	482
短尾大眼鲷 *P. macracanthus*	120	短尾大眼鲷 *P. macracanthus*	377
		燕赤鮨 *Chelidoperca hirundinacea*	353
		南非鳄齿鱼 *C. capensis*	349
		单棘鲹鱼 *C. fimbriatus*	305
		胁谷软鱼 *Malakichthys wakiyai*	300
		绿尾低线鱼 *C. chlorotaenia*	292
		大鳞拟棘鲆 *Citharoides macrolepidotus*	265
		弓背鳄齿鱼 *C. atridorsalis*	205
		黑鲛鳚 *L. setigerus*	201
		何氏翁鳐 *O. hollandi*	181
		密斑马面鲀 *T. tessellatus*	178
		花斑蛇鲻 *Saurida undosquamis*	165
		阿部单棘鲹鱼 *Chaunax abei*	142
		日本发光鲷 *Acropoma japonicus*	128

2.3 分类阶元包含指数

研究中采用分类阶元包含指数($TINCL_i$)对调查海域鱼类组成情况进行分析，以此来解释物种在各个分类阶元中的分布及物种间亲缘关系。结果显示，调查海域鱼类物种组成中，目级分类阶元包含的(科、属、种)的平均数目为(3.85、7.63、12.59)，科级分类阶元包含的(属、种)的平均数目为(1.98、3.27)，属级分类阶元包含的(属、种)的平均数目为(1.65)。

2.4 分类学多样性指数

根据调查海域鱼类物种名录，计算南沙群岛西南部海域鱼类的分类学多样性指数。结果显示，调查海域的平均分类差异指数 Δ^+ 值为 66.3，分类差异变异指数 Λ^+ 值为 100.2，图 2、3 分别为南沙群岛西南部海域鱼类平均分类差异指数(Δ^+)与分类差异变异指数(Λ^+)的95%置信漏斗曲线，虚线对应其理论均值。如图所示，每个种类数均分别对应在最小阶元和最大阶元水平上的两个分类多样性的值。当种类数变化时，Δ^+ 的理论均值一般不随之变化，而 Λ^+ 值则呈现出在种类较少时随种类数增加而增加，但随后则不随种类数变化而变化的趋势。

在最小阶元和最大阶元水平范围内，Δ^+ 值越小代表鱼类物种间亲缘关系越近，Λ^+ 值越小代表物种间分类地位的均匀程度越均匀。各海域鱼类分类学多样性指数对比结果如表 4 所示。结果显示，各海域的平均分类差异指数 Δ^+ 值差异较小，其中此次调查海域的平均分类差异指数 Δ^+ 值最大(66.3)，大亚湾的 Δ^+ 值最小(62.2)。而分类差异变异指数 Λ^+ 值呈现出较高纬度海域高于低纬度的南沙群岛西南部海域。除东海陆架区外，其他海域的分类差异变异指数 Λ^+ 值均为 110.0，此次调查海域的 Λ^+ 值为 100.2，这表明低纬度海域鱼类物种组成的亲缘关系分布更加均匀。

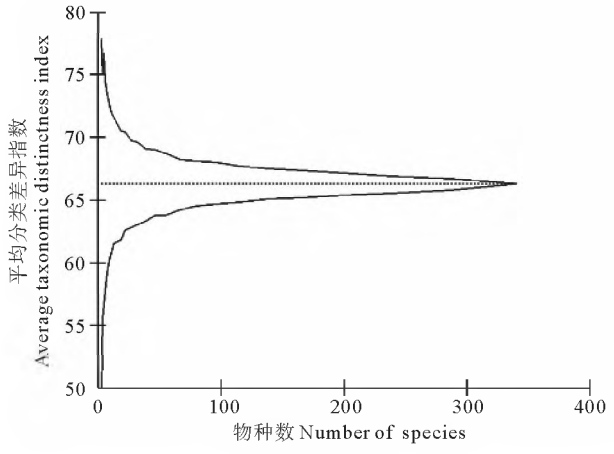

图 2 南沙群岛西南部调查海域鱼类的平均分类差异指数(Δ^+)

Fig.2 Average taxonomic distinctness of fish species in southwestern sea area of Nansha Islands

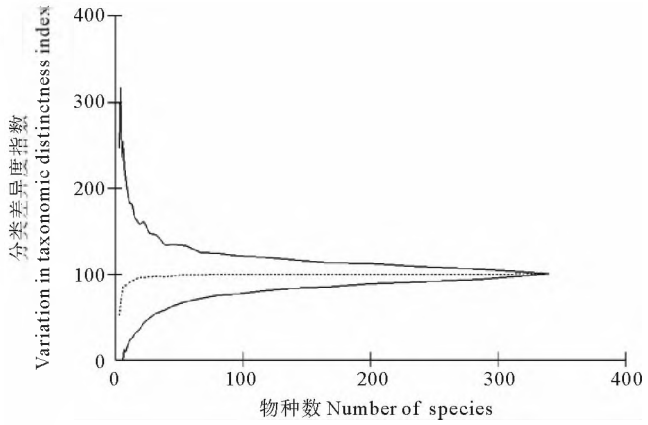

图3　南沙群岛西南部调查海域鱼类的分类差异变异指数(Λ^+)

Fig.3　Variation in taxonomic distinctness of fish species in southwestern sea area of Nansha Islands

3　讨论

本研究基于秋、春两个季节探捕调查的结果，南沙群岛西南部海域捕获鱼类隶属于27目104科206属共340种，物种数目相比曾晓光等[1]研究结果中的297种更多。而其中秋季鱼类种类数、优势种数量均少于春季，秋、春季节更替率为42.47%，鱼类组成的季节间变化较大。上述季节性变动的原因之一可能是由于调查海域整体位于热带地区且为陆架区地形，鱼类物种组成受到明显的周年季风气候影响。另一原因，可能与春季有大量鱼类补充群体出现，而秋季却有许多种类向较深海区开始越冬洄游的移动趋势有关[18-19]。

将调查海域各阶元的分类阶元包含指数 $TINCL_i$ 值与东海陆架区[20]、大亚湾[4]、北部湾[5]以及南沙群岛西南部陆架海域[1]历史数据进行对比(见表4)。结果显示，北部湾鱼类物种数目最多，其各分类阶元 $TINCL_i$ 值也普遍高于其他海域；与物种数目相近的东海陆架区对比后发现，南沙群岛西南部海域的各分类阶元 $TINCL_i$ 值接近于较高纬度的东海陆架区，说明两者的鱼类亲缘关系分布特点相类似，原因可能是由于两个海域各自生境内栖息的陆架鱼类有着相近的分类多样性；与大亚湾对比则发现，除种/属一级外，大亚湾的各分类阶元 $TINCL_i$ 值均明显大于此次调查海域，说明大亚湾在各分类阶元的多样性程度低于调查海域，可能是大亚湾生境栖息鱼类包括了陆架鱼类和岩礁及珊瑚礁鱼类，因此分类多样性程度低于具备典型陆架生境特征的调查海域。综合来看，位于热带低纬度的南沙群岛西南部海域的各分类阶元 $TINCL_i$ 值总体上低于较高纬度的其他海域，意味着有较少的较低层级分类阶元类群归属于更高等级的分类阶元，分类多样程度更高。这一结果说明，纬度的变化确能影响鱼类在分类阶元上的分布，这与曾晓光等[1]和李娜娜等[4]的结论类似。与南沙群岛西南部陆架海域历史数据比较各分类阶元 $TINCL_i$ 值发现，本次调查与历史数据在不同分类阶元的鱼类组成分布有所差异。曾晓光等[1]认为南沙群岛西南陆架处于热带季风气候和赤道气候，终年气温高，温差小，因此导致鱼类组成在目级水平上的分布较为集中。本研究结果显示，在目级分类阶元水平，鱼类组成也均多集中于鲈形目、鲉形目、鲽形目以及鲀形目，仍然较为集中；不同的是鱼类组成中

表4　海域鱼类分类阶元包含指数和分类学多样性指数的比较

Table 4　Comparisons of $TINCL_i$ and taxonomic diversity index of fish species among different sea areas

海域 Sea area	纬度范围 Latitude	鱼类种数 Number of fish species	种/属 S/G	种/科 S/F	种/目 S/O	属/科 G/F	属/目 G/O	科/目 F/O	Δ^+	Λ^+
东海陆架区 East China Sea Continent Shelf	26°00′N～33°00′N	350	1.48	2.92	12.07	1.97	8.16	4.13	65.7	—
大亚湾 Daya Bay	22°30′N～22°50′N	320	1.55	3.40	14.55	2.19	9.36	4.27	62.2	110.0
北部湾 Beibu Bay	17°00′N～21°45′N	626	1.69	4.54	23.19	2.69	13.74	5.11	63.5	110.0
南沙历史数据 Historical data of Nansha Islands	5°00′N～11°00′N	297	1.44	2.70	14.85	1.87	10.30	5.50	65.8	110.0
此次探捕调查 Data of two bottom trawl surveys	5°15′N～9°00′N	340	1.65	3.27	12.59	1.98	7.63	3.85	66.3	100.2

Note: S: Species; G: Genus; F: Family; O: Order.

每个科、属拥有的(属、种)和(种)的数目均高于历史数据,而在目级分类阶元水平上 $TINCL_i$ 值均低于历史数据。这表明此次调查中鱼类在目级以上分类阶元水平种类分布更为分散,分类多样性程度更高。而两者 $TINCL_i$ 值的差异可能是由于基于历史数据的研究中剔除了部分非经济种类以及幼鱼,以致纳入统计的鱼类物种数目偏少,种类组成主要集中分布于某些目级分类类群,如鲈形目等[1],这可能会影响到鱼类分类多样性的结果。

分类学多样性指数在概念和计算上均有别于传统多样性指数,其借助物种间形态关系的路径长度来量化分类差异,以此来表现类群的多样性程度。它的灵活运用能更准确地衡量生物类群的多样性水平。此前,国内已有诸多关于鱼类分类多样性及分类差异性分析的报道,本研究同样采用分类学多样性指数来反映南沙群岛西南部海域鱼类组成差异性。对比不同海区分类学多样性指数,有助于研究鱼类群落分布的空间变化[1]。因此,将本次调查海域鱼类分类学多样性指数 Δ^+ 值和 Λ^+ 值分别与不同海域的分类学多样性指数值进行比较(见表4),表中所列海域采用的分类等级多样性权重标准与本研究相同。结果显示,本次调查海域鱼类物种的 Δ^+ 值(66.3)高于大亚湾(62.2)和北部湾(63.5),最接近于东海陆架区(65.7),这说明调查海域鱼类物种分类多样性水平高于其他三个海域,并且鱼类种类组成间的亲缘关系与东海陆架区更为接近。这一结果与分类阶元包含指数 $TINCL_i$ 值的比较结果基本是一致的。而与南沙群岛西南部陆架海域历史数据比较 Δ^+ 值后发现两者差异不大,历史数据 Δ^+ 值65.8接近于本次调查 Δ^+ 值66.3,并且和鱼类物种数目的变化趋势相同。由于鱼类分类学多样性指数只考虑物种的有无[6-7],因此平均分类差异指数 Δ^+ 值的比较结果表明南沙群岛西南部海域鱼类分类多样性随时间推移变化不大,Δ^+ 值的略微增加可能是由于纳入统计的鱼类物种数目增多导致。

通过对鱼类物种的分类多样性进行研究,可以进一步了解到生物多样性受人类自身活动或自然条件改变的影响程度[21]。本研究中借助分类阶元包含指数以及分类学多样性指数来表征研究海域鱼类的分类多样性,与前人研究的对比结果显示出南沙群岛西南部海域鱼类分类多样性随时间推移变化不大的特征,并未出现曾晓光等[1]所预计的鱼类分类多样性降低的情况。但仍应关注人为因素作用下海域鱼类分类多样性的变化趋势。王良明等[22]曾对南沙群岛西南部海域鱼类群落结构进行分析,研究后发现捕捞是影响该海域鱼类群落稳定性的一个重要原因。人类持续增大捕捞强度会使得海域渔业资源结构出现较大变动,往往是鱼类群落多样性遭受破坏的主要人为因素。由于传统捕捞习惯和生产成本以及其他条件的限制,此前南海渔业资源开发多局限于北部海域,甚至出现了过度捕捞[18, 23]。也正因此,尔后人们逐渐将目光转向资源丰富且当时处于未被完全开发状态的南沙群岛西南陆架海域,并逐年加大这一海域渔业资源的开发强度。然而,通过对比本研究与历史数据结果可以发现,此前研究中曾经出现的某些经济种类在本次探捕调查中并没有出现。其中原因一方面可能是由于两者调查方式的差异以及鱼类种类受到季节变动影响,另一方面可能是捕捞压力持续增大导致南沙群岛西南部海域鱼类组成发生变化。因此,尽管当前调查海域鱼类分类学多样性指数尚未出现下降,仍需警惕捕捞等人为因素对其造成的影响。

4 结语

本研究基于南沙群岛西南部海域两次探捕调查的数据,借助分类阶元包含指数与分类学多样性指数,对该海域的鱼类分类多样性现状进行评估。对比前人研究结果显示出该海域鱼类分类多样性并未发生显著变化,但仍应注意到捕捞因素对鱼类多样性产生的影响。因此,未来应注重加强对该海域鱼类多样性的保护,尽可能降低人类活动对其造成的影响,进而才能达到海域内渔业资源可持续利用。

参考文献:

[1] 曾晓光,李娜娜,杨权,等. 南沙群岛西南部陆架海域鱼类分类的多样性[J]. 水产学报,2012,36(4):592-600.
Zeng X G, Li N N, Yang Q, et al. Taxonomic diversity of fish species in southwestern continental shelf of Nansha Islands[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(4): 592-600.

[2] 中国科学院南沙综合科学考察队. 南沙群岛西南部陆架海区底拖网渔业资源调查研究报告[M]. 北京:海洋出版社,1991.
Comprehensive Scientific Expedition Team of Chinese Academy of Sciences to Nansha Islands. Research Report on Bottom Trawl Fishery Resources Investigation in Southwestern Continental Shelf Sea Waters of Nansha Islands[M]. Beijing: China Ocean Press, 1991.

[3] 曾晓光,彭昌翰,罗家聪. 南沙海域渔业资源开发与管理研究[C]. //我国专属经济区与大陆架勘测研究论文集. 北京:海洋出版社,2003:398-404.
Zeng X G, Peng C H, Luo J C. Research on the development and management of fishery resources in Nansha waters[C]. //Research Studies on Exclusive Economic Zone and Continental Shelf Survey of China. Beijing: China Ocean Press, 2003: 398-404.

[4] 李娜娜,董丽娜,李永振,等. 大亚湾海域鱼类分类多样性研究[J]. 水产学报,2011,35(6):863-870.
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.

[5] 孙冬芳，朱文聪，艾红，等. 北部湾海域鱼类物种分类多样性研究[J]. 广东农业科学，2010，37(6)：4-7.
Sun D F，Zhu W C，Ai H，et al. Taxonomic diversity of fish species in Beibu gulf[J]. Guangdong Agricultural Sciences，2010，37(6)：4-7.

[6] 史赟荣，李永振，卢伟华，等. 东沙群岛珊瑚礁海域鱼类物种分类多样性研究[J]. 南方水产，2009，5(2)：10-16.
Shi Y R，Li Y Z，Lu W H，et al. Taxonomic diversity of fish species in coral reef area from Dongsha Islands[J]. South China Fisheries Science，2009，5(2)：10-16.

[7] 李永振，史赟荣，艾红，等. 南海珊瑚礁海域鱼类分类多样性大尺度分布格局[J]. 中国水产科学，2011，18(3)：619-628.
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 Fisheries Sciences of China，2011，18(3)：619-628.

[8] 国家质检总局，国家标准化委员会. 海洋调查规范第 6 部分：海洋生物调查[M]. 北京：中国标准出版社，2007：56-62.
General Administration of Quality Supervision，Inspection and Quarantine of the People's Republic of China，Standardization Administration of the People's Republic of China. Specifications for Oceanographic Survey Part 6：Marine Biological Survey[M]. Beijing：Standards Press of China，2007：56-62.

[9] Nelson J S. Fishes of the World[M]. 4th ed. New York：John Wiley and Sons，Inc，2006：39-451.

[10] 隋昊志，薛莹，任一平，等. 海州湾鱼类生态类群的研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版)，2017，47(12)：59-71.
Sui H Z，Xue Y，Ren Y P，et al. Studies on the ecological groups of fish communities in Haizhou Bay，China[J]. Periodical of Ocean University of China，2017，47(12)：59-71.

[11] Pinkas E R. Ecology of the agamid lizard *Amphibolurus isolepis* in Western Australia[J]. Copeia，1971，1971(3)：527-536.

[12] 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.
Chen G B，Li Y Z，Chen X J. Species diversity of fishes in the coral reefs of South China Sea[J]. Biodiversity Science，2007，15(4)：373-381.

[13] Clarke K R，Warwick R M. The taxonomic distinctness measure of biodiversity：Weighting of step lengths between hierarchical levels[J]. Mar Ecol Prog Ser，1999，184：21-29.

[14] Clarke K R，Warwick R M. A taxonomic distinctness index and its statistical properties[J]. J Appl Ecol，1998，35(4)：523-531.

[15] Clarke K R，Warwick R M. A further biodiversity index applicable to species list：Variation in taxonomic distinctness[J]. Mar Ecol Prog Ser，2001，216：265-278.

[16] 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，2007，78(1)：57-69.

[17] Clarke K R，Warwick R M. Change in Marine Communities：An Approach to Statistical Analysis and Interpretation[M]. Plymouth：Primer-E Ltd，2001.

[18] 李渊，张静，张然，等. 南沙群岛西南部和北部湾口海域鱼类物种多样性[J]. 生物多样性，2016，24(2)：166-174.
Li Y，Zhang J，Zhang R，et al. Fish diversity in southwestern seas of Nansha Islands and the mouth of Beibu Bay[J]. Biodiversity Science，2016，24(2)：166-174.

[19] 邱永松，曾晓光，陈涛，等. 南海渔业资源与渔业管理[M]. 北京：海洋出版社，2008：115-179，202-208.
Qiu Y S，Zeng X G，Chen T，et al. Fishery Resources and Management of South China Sea[M]. Beijing：China Ocean Press，2008：115-179，202-208.

[20] 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性[D]. 上海：华东师范大学，2005.
Li S F. The ecological study for Fish Community in the East China Sea Continental Shelf：The Spatial Pattern and Diversity[D]. Shanghai：East China Normal University，2005.

[21] 李渊，王燕平，张静，等. 北部湾口海域鱼类多样性的初步探讨[J]. 应用海洋学学报，2016，35(2)：229-235.
Li Y，Wang Y P，Zhang J，et al. Preliminary study on taxonomic diversity of fish species in the mouth of Beibu Bay[J]. Journal of Applied Oceanography，2016，35(2)：229-235.

[22] 王良明，李渊，张静，等. 南沙群岛西南部海域鱼类群落结构分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版)，2017，47(3)：58-65.
Wang L M，Li Y，Zhang J，et al. Studies on fish community structure in the southwestern waters of Nansha Islands[J]. Periodical of Ocean University of China，2017，47(3)：58-65.

[23] 马彩华，游奎，李凤岐，等. 南海鱼类生物多样性与区系分布[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版)，2006，36(4)：665-670.
Ma C H，You K，Li F J，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，2006，36(4)：665-670.

Preliminary Study on Taxonomic Diversity of Fish Species Based on the Fishing Surveys in Southwestern Sea Area of Nansha Islands

FENG Ji[1], LI Yuan[1], LIN Long-Shan[1], WANG Liang-Ming[1], ZHANG Ran[1], ZHANG Jing[2]
(1. Laboratory of Marine Biology and Ecology, Third Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Xiamen 361005, China; 2. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: Within this research, fish species data were collected from two bottom trawl surveys in spring and autumn respectively within southwestern sea area of Nansha Islands from 2012 to 2013. The species composition of fish in the survey sea area were systematically collated and the seasonal changes were analyzed. We calculated index of relative importance (IRI), the inclusion index at taxonomic level (TINCLi) and taxonomic diversity index (Δ^+ and Λ^+), and preliminarily discussed the status quo of taxonomic diversity of fish species in this sea area. The results indicated that 340 fish species involving 27 orders, 104 families and 206 genera were identified in the survey sea area, with Perciformes comprising the major order. Analysis by the index of relative importance showed that there were two dominant species occurring in autumn and four dominant species in spring, whose *IRI* indexes were equal or greater than 500. There were differences of dominant species in various seasons, and seasonal changes of main fish species were distinctness. Analysis by the inclusion index at the taxonomic level showed that the average numbers of (families, genera, species), (genera, species) and (species) per order, family and genus were (3.85, 7.63, 12.59), (1.98, 3.27) and (1.65), respectively. The values of Δ^+ and Λ^+ in the survey sea area were 66.3 and 100.2, respectively. The value of Δ^+ was higher than that of the Daya Bay (62.2) and the Beibu Bay (63.5), and was closest to that of the East China Sea Continent Shelf (65.7). This result is consistent with the indication of the inclusion index at taxonomic level. Our research suggests that there was no obvious change in the taxonomic diversity compared with historical data. However, attention should be paid to the impact of human factors on the diversity of fish species in this sea area.

Key words: taxonomic diversity; composition of fish species; index of relative importance (IRI); inclusion index at taxonomic level (TINCLi); taxonomic diversity index

责任编辑 高 蓓