

大亚湾海域鱼类分类多样性研究

李娜娜^{1,2#}, 董丽娜^{2,3#}, 李永振^{2*}, 艾红², 李夏², 陈国宝², 史赞荣³

(1. 大连海洋大学海洋工程学院, 辽宁 大连 116023;

2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300;

3. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 根据20世纪80年代起大亚湾海域鱼类调查研究的历史资料, 采用Nelson分类系统对鱼类物种组成进行了系统整理, 从不同分类阶元分析了大亚湾海域鱼类的多样性。分类阶元包含指数($TINCL_i$), 分类多样性指数(Δ^+ 和 Λ^+), 目级和科级水平丰富度(R)以及目级和科级水平相似性系数(C)为本研究的主要研究指数, 其中分类阶元包含指数 $TINCL_i$ 为本文首次提出。结果显示, 大亚湾海域共记录鱼类22目94科206属, 以鲈形目种类居绝对优势。采用分类阶元包含指数分析, 大亚湾海域鱼类组成目、科、属所分别拥有的(科、属、种), (属、种)和(种)的平均数目分别为(4.27, 9.36, 14.55), (2.19, 3.40)和(1.55), 高于东海陆架, 而低于东沙群岛海域, 并且与纬度梯度成反比, 证明低纬度海域的鱼类分类多样性低, 种类组成主要集中在分布于较少数的分类类群。使用PRIMER 5.2软件计算了平均分类差异指数 Δ^+ 和分类差异变异指数 Λ^+ , 数值分别为62.2和110.0, 其中 Δ^+ 低于东海陆架区(65.7), 高于东沙群岛海域(55.2), 说明大亚湾海域鱼类的亲缘关系比东海陆架区海域鱼类近, 比东沙群岛海域鱼类的远, 并且分布较不均匀。3个海区的相似性系数比较结果显示, 在目级水平上, 大亚湾海域鱼类组成同东沙群岛接近, 而科级水平上同东海陆架区更为接近。本研究在种以上的分类阶元审视大亚湾海域鱼类组成, 以期增加对大亚湾鱼类多样性的认识, 为该区域鱼类资源的开发、利用和保护提供参考依据。

关键词: 分类阶元包含指数; 分类多样性; 相对丰富度指数; 相似性指数; 大亚湾

中图分类号: Q 985.8; S 932.4

文献标志码: A

大亚湾三面环山, 为半封闭海湾, 湾内岛屿众多、生境多样, 不少地方有藻场或珊瑚礁分布, 是众多经济鱼类产卵、索饵和育肥场所, 也是我国水域生物多样性保存良好的海湾之一, 1985年经广东省人民政府批准设立水产资源自然保护区, 是南海北部重要渔业种质资源库^[1]。由于地理位置比较特殊, 对大亚湾鱼类资源组成、分布以及生物多样性已经有不少报道, 主要包括大亚湾主要鱼类数量的逐月因子分析^[2], 西大亚湾海域鱼类群落多样性现状的初步分析^[3]; 大亚湾鱼卵数量和种类组成的年间变化和季节变化^[4], 大亚湾海域鱼类的种类组

成、区系特征、多样性、优势种和数量变化趋势^[5]。这些研究只是综合了一个群落内物种相对数量的信息量, 而未考虑物种间的差异以及它们的分类关系^[6]。由于具有相同生态多样性的群落, 既可以是由分类学上彼此紧密联系的种类组成, 也可以是由分类学上相距较远的种类组成^[7-9], 因此, 尽管鱼类组成之间的物种多样性是一致的, 其分类多样性的等级水平却是可以变化的。换言之, 物种在各个分类阶元上的分布也存在差异性。本研究通过对大亚湾海域鱼类分类多样性的分析, 对比其他不同海域研究结果, 在种以上的分类阶元审视大亚湾海

收稿日期: 2011-01-26 修回日期: 2011-04-22

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(2010B030800008, 2005B31001005); 国家农业财政专项项目

#作者简介: 李娜娜, 董丽娜为同等贡献作者

通讯作者: 李永振, E-mail: Y. Z. Li@qq.com

域鱼类组成,从更加宏观的角度揭示其多样性特征,以期增加对大亚湾鱼类多样性的认识,为受损生态系统的恢复和生物资源的持续利用提供基础资料,为该区域鱼类资源的开发、利用和保护提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

天然海湾是海洋在两个陆角或海岬之间向陆凹进、有广大范围被海岸部分环绕的水域^[1]。大亚湾位于珠江口东侧,面积约为 600 km²^[10],水深 10~20 m,被深圳大鹏半岛、惠阳南部沿海及惠东平海半岛三面环绕,且无大的地表径流注入,湾内多岛礁,小湾和海港,生境多样,历年平均气温为 21.8 °C,富有亚热带特色,是华南沿海渔业资源重要的种苗繁衍场所。根据自 20 世纪 80 年代起的历史资料,将本次研究的大亚湾海域鱼类区域定为东经 114°28'~114°48',大鹏半岛的鞋柴角和平海半岛的斗牛山之间连线之内的海域。

1.2 数据来源

根据大亚湾海域鱼类调查研究的历史资料^[1-5,11],系统地整理了大亚湾海域鱼类物种组成,按 Nelson 分类系统^[12-13],在排除同种异名的情况下,建立大亚湾海域的鱼类分类总名录。为提高分析的准确性,本研究中的鱼类物种组成只选用鉴定到种的物种。

1.3 分类阶元包含指数

为了在各分类阶元上表征鱼类组成之间的多样性,本研究提出了分类阶元包含指数 $TINCL_i$,用以分析各阶元鱼类种类分布的集中程度,解释鱼类物种之间的亲缘关系。 $TINCL_i$ 值越大,表示更多的种(属,科,目)级阶元类群数目归属于属(科,目)级分类阶元的一个类群,说明鱼类在该分类阶元的种类分布越集中,亲缘关系越近。

分类阶元包含指数 $TINCL_i$ 的表达式为

$$TINCL_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} C_{ki}, \quad (k = i) \quad (1)$$

式中, N_i 表示第 i 级分类阶元的数目, C_{kj} 为第 j 个 k 级分类阶段元的数目。通过对比不同海区之间的分类阶元包含指数分析不同环境条件下各海区的鱼类分类组成差异。

1.4 分类学多样性指数

20 世纪 90 年代,WARWICK 等^[8]和 CLARKE

等^[14]提出了两个生物分类多样性的概念,这两个概念及测定物种分类多样性指数的提出为解决物种丰度以及物种亲缘的群落结构关系提供了具体的标准。平均分类差异指数 Δ^+ 是依据物种不同的分类阶元,根据物种有无对群落物种的多样性进行评估,这就摆脱了在对海域鱼类多样性鉴定中需要依赖物种数目的多样性鉴定方法。平均分类差异指数 Δ^+ 是指群落中随意选择的任意两个种类之间平均分类等级路径的长度,是对群落中优势种与常见种权重的最简化处理,其平均值不受样本大小和取样性质的影响^[15-17]。 Λ^+ 值即与平均分类差异指数 Δ^+ 偏离程度的理论平均值,反映鱼类组成亲缘关系分布的均匀程度,也可看作是衡量分类树复杂程度的一个指数^[18],仅在种类数很少时才发生数值偏小的情况^[19]。

平均分类差异指数^[7]

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

分类差异变异指数^[7]

$$\Lambda^+ = \sum \sum_{i < j} (\omega_{ij} - \Delta^+)^2 / [S(S-1)/2] \quad (3)$$

式中, 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。由于鱼类都属于脊索动物门,因此研究中分类等级确定为纲、目、科、属、种,共 5 个水平。平均分类差异指数 Δ^+ 和分类差异变异指数 Λ^+ 由 PRIMER 5.2 软件包的 TAXDTEST 求得^[6,17]。各海域之间的 Δ^+ 和 Λ^+ 差异性分别用差异不显著 ($P > 0.05$),差异显著 ($0.05 < P < 0.01$) 和差异极显著 ($P < 0.01$) 3 个等级表示(表 1)。

表 1 不同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 relationships amongst species	路径长度的权重 ω_{ij} branch weight
种 species	物种属于一属	16.667
属 genus	物种属于一科不同属	33.333
科 family	物种属于一目不同科	50.000
目 order	物种属于一纲不同目	66.667
纲 class	物种属于一门不同纲	83.333

注: * 数据引自文献[20]。

Notes: * Data are cited from reference[20]

1.5 相对丰富度

群落中物种数目的多少称为物种丰富度。本

研究拟从种以上的分类阶元审视大亚湾海域鱼类分类间的丰富度,因此尝试采用相对丰富度指数从科/目级分类阶元来表征不同科/目间鱼类所占的相对比例。

$$R = S_i \times 100/S \quad (4)$$

式中, S_i 为第 i 属(科、目)鱼类种的物种数目, S 为该海域记录的相应的鱼类属(科、目)的数目。由于各个分类阶元的相对丰富度指数反映的影响趋势基本一致,因此本文中只计算了科和目级分类阶元的相对丰富度,即科/目级分类阶元所平均拥有的第 i 科/目的物种数目。

1.6 相似性指数

在物种构成相近似的群落中,宜用物种总数和共有种数的综合性指标,即群落相似性系数,表示种组成相似程度。本研究中用索雷申(Sorensen)群落相似性系数^[21]计算了西沙和中沙群岛、南沙群岛以及东沙群岛海域之间鱼类物种分类阶元和科级分类阶元的相似性。

$$C = (2S_{xy})/(S_x + S_y) \quad (5)$$

式中, S_x 为甲海域记录的鱼类目(科、属、种)的数目, S_y 为乙海域记录的鱼类目(科、属、种)的数目, S_{xy} 为两者共有鱼类目(科、属、种)的数目, C 为 Czechanowski 系数,其最大值为 1。当两个海域所含有的种完全相同时,其系数为最大值;当两个群落所含有的种完全不同时,其系数为 0;系数自 0 至最大值之间,顺次表示两个海域鱼类组成相似程度的大小。

2 结果与分析

2.1 鱼类分类组成

统计结果表明,大亚湾海域记录的鱼类隶属于 22 目、94 科、206 属,其中软骨鱼类 5 目、11 科、13 属,硬骨鱼类 17 目、83 科、193 属(表 2)。鲈形目(Perciformes)鱼类居绝对优势,有 43 科 109 属;其次为鲱形目(Clupeiformes),隶属于 4 科 13 属。从科级水平上,大亚湾海域鱼类物种丰富度较高,5 科从高到低排列依次为鲹科(Carangidae)、鰕虎鱼科(Gobiidae)、石首鱼科(Sciaenidae)、鯷科(Engraulidae)和鲈科(Tetraodontidae)。另外,在大亚湾海域还有典型的礁栖性鱼类,其中鳚科(Bleniidae)4 属,雀鲷科(Pomacentridae)2 属,蝴蝶鱼科(Chaetodontidae)1 属。

表 2 大亚湾海域鱼类目、科和属的组成比例

Tab.2 Compositions of order, family, and genus of fishes in the Daya Bay

纲 class	目 order	科/% family	属/% genus
软骨鱼纲 Elasmobranchii	鲭形目 Myliobatiformes	4.3	2.5
	鳐形目 Rajiformes	3.2	1.5
	真鲨目 Archarhiniformes	2.1	1.0
	须鲨目 Orectolobiformes	1.1	0.5
	电鳐目 Torpediniformes	1.1	1.0
硬骨鱼纲 Osteichthyes	鲈形目 Perciformes	6.0	54.5
	鳗鲡目 Anguilliformes	6.4	5.5
	鲉形目 Scorpaeniformes	5.3	7.5
	鲀形目 Tetraodontiformes	4.3	4.5
	鲱形目 Mugiliformes	3.2	2.0
	颌针鱼目 Beloniformes	3.2	2.0
	蝶形目 Leuronectiformes	3.2	5.0
	金眼鲷目 Beryciformes	2.1	1.5
	鲱形目 Clupeiformes	2.1	6.0
	海鲢目 Elopiformes	2.1	1.0
	灯笼鱼目 Myctophiformes	2.1	1.5
	鲱形目 Siluriformes	2.1	1.0
	鲑形目 Salmoniformes	2.1	1.5
	银汉鱼目 Atheriniformes	1.1	0.5
	鳕形目 Gadiformes	1.1	0.5
	刺鱼目 Gasterosteiformes	1.1	1.5
	鲉形目 Lophiiformes	1.1	0.5

2.2 分类阶元包含指数

应用分类阶元包含指数 $TINCL_i$ 分析大亚湾海域鱼类组成,结果显示,大亚湾海域鱼类组成目、科、属所分别拥有的(科、属、种),(属、种)和(种)的平均数目分别为(4.27、9.36、14.55),(2.19、3.40)和(1.55),本研究中与东沙群岛^[20]和东海陆架海域^[22]进行比较,如表 3 所示,可以用来解释其物种在各个分类阶元的分布以及物种之间的亲缘关系。 $TINCL_i$ 值越小,则在上一级分类阶元所包含的下一级阶元的均值越小,表示鱼类在该分类阶元的种类分布越不集中,亲缘关系较远,相应分类多样性也越高。

2.3 鱼类分类学多样性指数

分类学多样性指数分析结果显示,大亚湾海域鱼类种类数为 320 种, Δ^+ 值为 62.2, Λ^+ 值为 110。图 1、图 2 中某一特定的物种数均对应两点,这两点即是某海域鱼类物种数在最小阶元和最大阶元的分类多样性的值。在该范围内, Δ^+ 值

越大表明生物或群落间的亲缘关系越远, Δ^+ 值越大表明生物或群落间的分类地位关系均匀程度越不均匀。图中虚线所示表明其理论平均值不会随着鱼类种类数目的变化而变化。而分类差异变

异指数 Δ^+ 只有在种类数很小时才出现值偏小的情况。将 Δ^+ 值和 Δ^+ 值进行单个平均数的 u 检测, 得出大亚湾海域 320 种鱼类的 u 值为 0.232 6。该 u 值远小于标准正态分布中事件发

表 3 大亚湾海域鱼类各阶元种的分类阶元包含指数
Tab. 3 The inclusion index at taxonomic level in the Daya Bay

区域 area	纬度 latitude	鱼类物种数目(种) number of 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
东海陆架 East China Sea Continent Shelf	26°00' ~ 33°00'N	350	1.48	2.92	12.07	1.97	8.16	4.13
大亚湾 Daya Bay	22°30' ~ 22°50'N	320	1.55	3.40	14.55	2.19	9.36	4.27
东沙群岛 Dongsha Islands	20°33' ~ 21°10'N	514	2.41	7.45	24.48	3.09	10.14	3.29

注:表中 S,G,F,和 O 分别代表种,属,科和目。

Notes: S, G, F and O stand for species, genus, family and order, respectively.

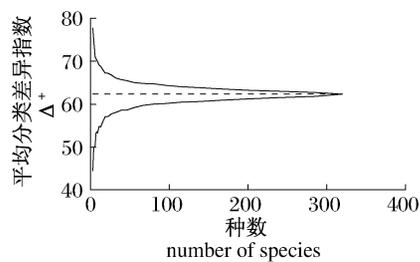


图 1 大亚湾鱼类的平均分类差异指数 Δ^+
Fig. 1 The average taxonomic distinctness of fish species in the Daya Bay

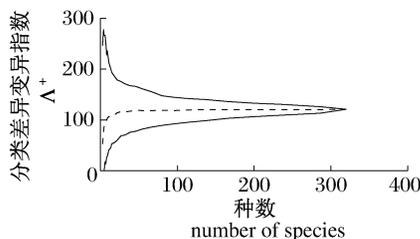


图 2 大亚湾鱼类的分类差异变异指数 Δ^+
Fig. 2 The variation in taxonomic distinctness of fish species in the Daya Bay

表 4 大亚湾海域鱼类目级相对丰富度
Tab. 4 Relative richness of orders of fish in the Daya Bay

目 order	相对丰富度 richness R	目 order	相对丰富度 richness R
鲈形目 Perciformes	809.09	金眼鲷目 Beryciformes	13.64
鲱形目 Clupeiformes	122.73	刺鱼目 Gasterosteiformes	13.64
鲹形目 Tetraodontiformes	86.36	鲷形目 Siluriformes	13.64
鲉形目 Scorpaeniformes	86.36	鲑形目 Salmoniformes	13.64
蝶形目 Leuronectiformes	77.27	真鲨目 Archarhiniformes	9.10
鳗鲡目 Anguilliformes	59.09	电鳐目 Torpediniformes	9.10
颌针鱼目 Beloniformes	36.36	海鲢目 Elopiformes	9.10
鲭形目 Myliobatiformes	31.82	须鲨目 Orectolobiformes	4.55
鲷形目 Mugiliformes	31.82	银汉鱼目 Atheriniformes	4.55
灯笼鱼目 Myctophiformes	18.18	鳕形目 Gadiformes	4.55
鳐形目 Rajiformes	13.64	鮫形目 Lophiiformes	4.55

生概率大于 95% 时 u 的绝对值 1.96, 即检验结果差异显著, 同时说明得出的两个分类多样性的 Δ^+ 值和 Δ^+ 值发生的概率大于 95%, 证明了这两个值的合理性。

2.4 相对丰富度

表 4 是目级水平上大亚湾海域 22 目鱼类的相对丰富度, 可知鲈形目的鱼类占有绝对优势 (809.09), 其次是鲱形目 (122.73), 然后是鲹形目 (86.36) 和鲉形目 (86.36)。大亚湾海域鱼类 7 个科记录鱼类较多 (记录物种数大于等于 10), 分别是鲈形目的鲹科 (Carangidae), 鰕虎鱼科 (Gobiidae), 石首鱼科 (Sciaenidae) 和 鲷科 (Sparidae), 鲱形目的鳀科 (Engraulidae), 鲹形目的 鲹科 (Tetraodontidae) 和 蝶形目的 鲷科 (Soleoidae)。经计算, 鲹科鱼类的相对丰富度 (24.47) 最大, 其次是鰕虎鱼科 (22.34), 石首鱼科 (15.96), 鳀科和鲹科 (13.83), 然后是鲷科和鲷科 (Soleidae) 均为 10.64。另外, 3 种典型珊瑚礁鱼类科的相对丰富度依次为 7.45, 3.19 和 2.13。

2.5 相似性指数

大亚湾海域与东沙群岛海域之间鱼类目级和科级的相似性系数分别为 0.588 和 0.523,而与东海陆架海域的鱼类目级和科的相似性系数分别为 0.600 和 0.388。对大亚湾海域与东海陆架和东沙群岛海域鱼类目/科的相似性进行比较

(表 5),结果显示,在目级水平上,大亚湾同东沙群岛海域鱼类的相似性较高,同东海陆架海域鱼类的相似性略低。然而在科级水平上,大亚湾同东海陆架区海域鱼类的相似性最高(0.523),同东沙群岛间的相似性只有 0.388。

表 5 大亚湾海域鱼类同东沙群岛及东海陆架海域鱼类相似性比较
Tab.5 Similarities between every two of the three waters in the East China Sea Continental Shelf, Daya Bay and Dongsha Islands

海域 waters	东海陆架(目级/科级) East China Sea Continental Shelf(order/family)	大亚湾(目级/科级) Daya Bay (order/family)	东沙群岛(目级/科级) Dongsha Islands (order/family)
东海陆架 East China Sea Continent Shelf ^[22]	-		
大亚湾 Daya Bay	0.588/0.523	-	
东沙群岛 Dongsha Islands ^[23]	0.511/0.280	0.600/0.388	-

3 讨论

大亚湾为一山地溺谷型半封闭海湾。岸线曲折,海底地势平缓,岛屿众多,局部还有珊瑚礁和藻场,水深 10~20 m,西侧相对较深,其潮流特性主要受来自太平洋的潮波制约。有研究指出,鱼类分布是鱼类群体长期在种群内、种群间以及环境的相互作用下形成的,在环境诸因子中,以水温、盐度、纬度和水深等因素最为重要^[23],因此随着环境的不同,鱼类组成也呈现出不同的分布情况。大亚湾冬季上下层海水混合均匀,密度垂直梯度小;春季表层水温升高,海水温度垂直梯度不断增大;夏季则会形成较强的温跃层和密度跃层;秋季表层海水降温,海水重新开始垂直对流,呈年周期变化趋势。因此,这些都是影响大亚湾海域鱼类组成多样性的原因^[24]。

本研究统计结果显示,大亚湾海域记录的鱼类共有 22 目、94 科、206 属、320 种,虽然物种数少于东海陆架区海域和东沙群岛海域,但分类阶元包含指数对比结果显示(表 3),大亚湾海域各分类阶元的 $TINCL_i$ 值高于东海陆架,而低于东沙群岛海域,三者不仅在物种数目上存在显著差异,在各分类阶元上的分布也存在差异,并且不同于物种数目随纬度的变化趋势。该结果说明,处于中间纬度的大亚湾海域鱼类组成中每一目、科、属所分别拥有的(科、属、种),(属、种)和(种)的平均数目比高纬度的东海陆架区海域低,比低纬度的东沙群岛海域高,证明纬度的变化能够影响鱼类的分类多样性,低纬度海域的鱼类分类多样性相对较低,种类组成

主要集中在少数分类类群。据研究,鱼类的地理分布受水温和海流等环境因子的影响最大^[25],大亚湾海域在不同阶元上多样性较高,可能是因为湾内有岛礁和珊瑚礁分布,而岛礁和珊瑚礁是鱼类容易聚集的原因。由比较结果还可推断,均质性高的低纬度海区鱼类的 $TINCL_i$ 值相对较高。

大亚湾海域鱼类组成在种以上分类阶元的相对丰富度指数结果显示,在目级水平上,鱼类组成多集中于鲈形目,其次是鲱形目,然后是鲹形目和鲷形目;而在科级水平上主要集中于鲈形目的鲈科,其次为鰕虎鱼科,石首鱼科和鲷科,鲱形目的鳀科,鲹形目的鲹科和蝶形目的鲷科。

国内根据种类间分类关系的路径长度,在分类统计结果的基础上量化群落的分类多样性和分类差异性已有不少报道,如黄、渤海^[16]和青岛近岸水域^[26]、长江口^[27]、东沙群岛^[20]和东海陆架^[22]等海域。因此,大亚湾海域鱼类组成在各分类阶元上差异性还可以由分类学多样性指数表示。由于各海域分类等级多样性权重值参照标准不同,本研究中只将大亚湾海域鱼类的平均分类差异指数 Δ^+ 值和分类差异变异指数 Λ^+ 值与采用相同标准的东海陆架和东沙群岛的研究进行比较(表 6)。结果显示,大亚湾海域鱼类平均分类差异指数 Δ^+ 值(62.2)低于东海陆架区(65.7),而高于东沙群岛海域(55.2)。这说明大亚湾海域鱼类的多样性不及东海陆架区,但是比鱼类聚集度高的东沙群岛海域要高,即大亚湾海域鱼类组成之间的亲缘关系比东海陆架区海域近,而比东沙群岛海域远。这可能是由于东沙群岛周围的海域大部分为深海,只有在珊瑚

礁及岛周围的海域有大量的珊瑚礁鱼类聚集,而鱼类的生态习性决定了鱼类的生活环境的大小,因此,珊瑚礁鱼类的活动范围相对较窄,使得整个海域鱼类的分类多样性较低。并且其一年中各个季节水温、盐度梯度变化较小,因此,可以分布的物种形态和亲缘关系比较接近。大亚湾海域中部发育有若干岛礁,四周除湾口处连接海水外,其余均为曲折的陆架海岸线,使得这里的鱼类不仅有大量的陆架区鱼类,还有典型的热带珊瑚礁鱼类栖息,导致分类多样性较高。而东海陆架区海域常年受到长江、钱塘江等江河入海径流以及黑潮暖流等流系的共同影响,为东海提供了丰富的生源要素,其优良的自然环境条件造就了丰富的鱼类分类多样性。

另外,不同的流系具有不同的温盐特征,影响了该海区鱼类的分布及其洄游,从而控制了不同鱼类群落类型的种类组成^[28],因此其形成了东海陆架区海域在三者中分类多样性最高。从纬度方面看,大亚湾海域鱼类亲缘关系比低纬度海域远,比高纬度海域近,这符合在大尺度上,海洋鱼类 Δ^+ 基本呈现梯度分布的规律^[29],与国外一些学者的研究结果相同^[30-31]。另外,大亚湾海域鱼类组成的分类差异变异指数 Λ^+ 值(110.0)与东沙群岛海域(110.0)相近,均低于东海陆架区(120.0),说明大亚湾海域鱼类分布较不均匀。统计结果检验表明(表7),大亚湾海域鱼类的分类多样性指数同东沙群岛和东海大陆架海域的差异均极显著($P < 0.01$)。

表6 大亚湾、东沙群岛和东海陆架区海域鱼类分类多样性指数表

Tab.6 Summary list of indices taxonomic diversity of fish species in the Daya Bay, Dongsha Islands and East China Sea Continental Shelf

区域 area	纬度 latitude	Δ^+	Λ^+
东海陆架 East China Sea Continental Shelf	26° ~ 33°N	65.7	120.0
大亚湾 Daya Bay	22°30' ~ 22°50'N	62.2	110.0
东沙群岛 Dongsha Islands	20°33' ~ 21°10'N	55.2	110.0

表7 大亚湾、东沙群岛和东海陆架区海域鱼类分类学多样性指数差异显著性比较(t 检验)

Tab.7 Comparisons of significance of differences of Δ^+ of fish species in the Daya Bay, Dongsha Islands and East China Sea Continental Shelf(t -test)

海域 waters	东海陆架 the East China Sea Continental Shelf	大亚湾 the Daya Bay	东沙群岛 the Dongsha Islands
东海陆架 East China Sea Continental Shelf	-		
大亚湾 Daya Bay	4.233 **	-	
东沙群岛 Dongsha Islands	13.412 **	8.914 **	-

注: ** 差异极显著($P < 0.01$)。

Notes: ** extremely significant differences($P < 0.01$).

在鱼类的分布情况上,大亚湾海域同东沙群岛海域的目级相似性最高(0.600),大亚湾海域鱼类同东海大陆架海域鱼类在目级水平上也较为相似,仅比大亚湾同东沙群岛之间的相似性系数低0.012。在科级上的相似性也相差不大。由此可知,大亚湾海域鱼类的分布虽然更类似于东海大陆架海域,但不完全是典型大陆架海域的特点,这可能是由于湾内的鱼类是陆架区鱼类和珊瑚礁鱼类混合栖息的状态,从而导致了大亚湾海域鱼类资源的分布呈现一种复合型状态。

近年来,由于在大亚湾沿海地区进行大规模的海洋工程建设和渔业资源的持续过度开发,给大亚湾海域的生态环境和渔业资源带来较大的负面影响,使得大亚湾海洋生态系统稳定性持续减

弱,朝异养演替方向发展,并经历着快速退化过程^[10],生物群落组成明显小型化,生物多样性降低。TILMAN^[32]认为,在人类活动影响和环境变化的扰动下,鱼类群落的分类学范围对维持系统的稳定性十分重要。因此,用分类学多样性指数来衡量大亚湾海域鱼类群落结构的变化具有非常重要的意义,借助于不依赖物种数目在种以上分类阶元的多样性研究方法,可以更全面的掌握所研究海域鱼类存在的情况,为鱼类资源的开发、利用和保护提供参考依据。

参考文献:

- [1] 国家海洋局第三海洋研究所. 大亚湾海洋生态文集(II)[M]. 北京:海洋出版社,1990.
- [2] 徐青. 大亚湾鱼类数量分布关系的因子分析[J].

- 热带海洋,1988,1(1):91-101.
- [3] 孙宝权,李恒翔,严岩. 西大亚湾海域鱼类群落的多样性研究[J]. 水产科学,2006,26(7):394-399.
- [4] 林昭进,王雪辉,江艳娥. 大亚湾鱼卵数量分布及种类组成特征[J]. 中国水产科学,2010,17(3):543-550.
- [5] 王雪辉,杜飞燕,邱永松,等. 1980-2007年大亚湾鱼类物种多样性区系特征和数量变化[J]. 应用生态学报,2010,21(9):2403-2410.
- [6] RICOTTA C, AVENA G C. On the information-theoretical meaning of Hills parametric evenness[J]. *Acta Biotheoretica*,2002,50:63-71.
- [7] LUDWIG J A, REYNOLDS J F. *Statistical Ecology* [M]. New York:John Wiley & Sons,1988.
- [8] WARWICK R M, CLARKE K R. New 'biodiversity' measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1995, 129:301-305.
- [9] ROGERS S I, CLARKE K R, REYNOLDS J D. The taxonomic distinctness of coastal bottom-dwelling fish communities of the Northeast Atlantic [J]. *Journal of Animal Ecology*,1999,68(4):769-782.
- [10] 王友绍,王肇鼎,黄良民. 近20年来大亚湾生态环境的变化及其发展趋势[J]. 热带海洋学报,2004,23(5):85-95.
- [11] 徐恭昭. 影响大亚湾鱼类生产力的主要生物类群[J]. 河北渔业,1992,2:5-8.
- [12] NELSON J S. *Fishes of the world* [M]. 2nd ed. New York:John Wiley & Sons,1984.
- [13] 孟庆闻,苏锦祥,缪学祖. 鱼类分类学[M]. 北京:中国农业出版社,1995.
- [14] CLARKE K R, WARWICK R M. A taxonomic distinctness index and its statistical properties [J]. *Journal of Animal Ecology*,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]. *Marine Ecology Progress Series*,2001,216:265-278.
- [16] 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.
- [17] 李明德. 鱼类分类学[M]. 北京:海洋出版社,1998.
- [18] DAVID M, JULIE L, TOMASINI J A, *et al.* Assessment of coastal lagoon quality with taxonomic diversity indices of fish, zoobenthos and macrophyte communities [J]. *Hydrobiologia*, 2005, 550 (1):121-130.
- [19] 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]. *Environmental Biology of Fishes*,2007,78(4):57-69.
- [20] 史赞荣,李永振,卢伟华,等. 东沙群岛珊瑚礁海域鱼类物种分类多样性研究[J]. 南方水产,2009,5(2):10-16.
- [21] 张懿铨. 植物区系地理研究中的重要参数——相似性系数[J]. 地理研究,1998,17(4):429-434.
- [22] 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.
- [23] 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[M]. 北京:海洋出版社,1996:110-117.
- [24] 殷建平,王友绍,徐继荣,等. 大亚湾温跃层形成及其对有关环境要素的影响[J]. 海洋通报,2006,25(4):1-8.
- [25] 上海市水产研究所鱼类研究室海水组. 东海大陆架边缘海区底层鱼类区系特征的初步研究[J]. 水产科技情报,1976(3):6-8.
- [26] 徐宾铎,任一平,叶振江,等. 青岛近岸水域鱼类群落分类学多样性的研究[J]. 中国海洋大学学报,2005,37(6):907-910.
- [27] 张衡,陆健. 鱼类多样性估算方法在长江口的应用[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,2007(2):11-22.
- [28] 李圣法,程家骅,严利平. 东海大陆架鱼类群落的空间结构[J]. 生态学报,2007,27(11):4377-4386.
- [29] 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,2007,5(4):373-381.
- [30] SHIN P K S, ELLINGSEN K E. Spatial patterns of soft-sediment benthic diversity in subtropical Hong Kong waters [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2004,276(1):25-35.
- [31] ELLINGSEN K E, CLARKER K R, SOMEFRIELD P J, *et al.* Taxonomic distinctness as a measure of diversity applied over a large scale:the benthos of the Norwegian continental shelf [J]. *Journal of Animal Ecology*,2005,74(1):1069-1079.
- [32] TILMAN D. Biodiversity: population versus ecosystem stability [J]. *Ecology*, 1996, 77:350-363.

Taxonomic diversity of fish species in the Daya Bay, the South China Sea

LI Na-na^{1,2}, DONG Li-na^{2,3}, LI Yong-zhen^{2*}, AI Hong², LI Xia², CHEN Guo-bao², SHI Yun-rong³

(1. College of Ocean Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

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

3. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: This paper documented the data of fish species systematically collected in the Daya Bay from 1980s on according to Nelson's classification system and analyzed the diversity at different taxonomic levels. The inclusion index at taxonomic level ($TINCL_i$), taxonomic diversity (Δ^+ and Λ^+), relative abundances (R) and the similarity index (C) at Order and Family levels were used in this paper. $TINCL_i$ is used first in this paper. The results indicated that the fish species in the Daya Bay belonged to 22 orders, 94 families and 206 genera, and Perciformes is the major order. Analyzed by the inclusion index at taxonomic level, the average numbers of (families, genera, species), (genera, species) and (species) per order, family and genus are (4.27, 9.36, 14.55), (2.19, 3.40) and (1.55), lower than those of the Dongsha Islands and higher than those in the East China Sea Continent Shelf. The values assumed the inverse proportion with the variation of latitude which demonstrated that the taxonomic diversity of fishes in lower-latitude was lower than the higher-latitude. The average taxonomic distinctness Δ^+ and the variation in taxonomic distinctness Λ^+ of the Daya Bay were tested in this paper by the PRIMER 5.2. The average taxonomic distinctness Δ^+ was 62.2, and the variation in taxonomic distinctness Λ^+ was 110.0. Compared the Δ^+ with those of the East China Sea Continent Shelf and Dongsha Island, the genetic relationship of the composition of fish species in the Daya Bay was closer than the East China Sea Continent Shelf (65.7) and farther than the Dongsha Islands (55.2). Compared with the similarity index at the order level, the composition of fish species in the Daya Bay is similar to the Dongsha Islands, and similar to the East China Sea Continental Shelf at the family level. In order to increase the acquaintance of diversity in Daya Bay, this paper analyzed the composition of fish species at the species level. It can provide reference for the exploitation and conservation of fish species in the waters.

Key words: inclusion index at taxonomic level; taxonomic diversity; relative abundance index; similarity index; the Daya Bay

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