

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2016.01.013

## 福建台山列岛周边海域鱼类群落分类多样性研究

陈杰<sup>1</sup>, 杨璐<sup>1</sup>, 杨圣云<sup>1</sup>, 鞠培龙<sup>1</sup>, 钟慧琪<sup>1</sup>, 杨顺良<sup>2</sup>, 肖佳媚<sup>1</sup>, 陈明茹<sup>1</sup>

(1. 厦门大学海洋与地球学院, 福建 厦门 361105; 2. 福建海洋研究所, 福建省海岛与海岸带管理技术研究重点实验室, 福建 厦门 361013)

**摘要:** 根据 2012 年~2013 年在台山列岛周边海域进行的 4 个航次底拖网调查资料, 并结合该海域的历史资料系统整理了台山列岛周边海域鱼类总名录, 使用 PRIMER 5.0 软件计算了该海域鱼类的分类多样性指数, 研究了分类多样性指数的季节变化。结果显示, 台山列岛周边海域共记录鱼类 2 纲 20 目 81 科 150 属 208 种, 以鲈形目种类占绝对优势; 2012 年~2013 年调查记录到鱼类 2 纲 11 目 40 科 63 属 77 种。台山列岛周边海域鱼类的平均分类差异指数( $\Delta^+$ )和分类差异变异指数( $\Lambda^+$ )的理论平均值分别为 63.14 和 378.4。鱼类分类多样性指数( $\Delta$ )秋季最高, 春、夏季次之, 冬季最低; 鱼类分类差异指数( $\Delta^+$ )秋季最高, 春季次之, 夏、冬季较低。研究结果表明, 春季鱼类种类数最多, 夏、秋季次之, 冬季最少, 水温和饵料决定了研究海域鱼类种类组成。

**关键词:** 分类多样性; 平均分类差异指数; 分类差异变异指数; 鱼类群落; 台山列岛

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2016)01-0094-08

## Taxonomic diversity of fish community in the waters surrounding the Taishan Islands of Fujian Province

CHEN Jie<sup>1</sup>, YANG Lu<sup>1</sup>, YANG Shengyun<sup>1</sup>, JU Peilong<sup>1</sup>, ZHONG Huiqi<sup>1</sup>,  
YANG Shunliang<sup>2</sup>, XIAO Jiamei<sup>1</sup>, CHEN Mingru<sup>1</sup>

(1. College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361105, China; 2. Fujian Institute of Oceanography, Fujian Provincial Key Lab. of Coast and Island Management Technology Study, Xiamen 361013, China)

**Abstract:** According to the data collected from four seasonal trawling surveys between 2012 and 2013 in the waters surrounding the Taishan Islands, we made a list of fish species in this area and calculated its taxonomic diversity by PRIMER 5.0. We identified 208 fish species including 2 classes, 20 orders, 81 families and 150 genera in the waters around Taishan Islands, with Perciformes being the major order. According to the survey data from 2012 to 2013, 77 fish species including 2 classes, 11 orders, 40 families and 63 genera were identified. The average taxonomic distinctness ( $\Delta^+$ ) and variation in taxonomic distinctness ( $\Lambda^+$ ) of fish species listed in that area were 63.14 and 378.4, respectively. The taxonomic diversity ( $\Delta$ ) and taxonomic distinctness ( $\Delta^+$ ) were higher in autumn and spring than in summer and winter. It is concluded that the species in spring was more than that in summer and autumn, and was the least in winter. Water temperature and food were the main factors which affect fish species composition.

**Key words:** taxonomic diversity; average taxonomic distinctness; variation in taxonomic distinctness; fish community; Taishan Islands

研究鱼类群落结构的变化是了解特定水域渔业资源状况的重要内容之一<sup>[1]</sup>, 而多样性是群落

收稿日期: 2015-03-19; 修回日期: 2015-04-29

资助项目: 国家自然科学基金项目(41106073); 福建省科技计划项目(2012Y0072); 福建省海洋与渔业厅科技项目[(2012)013号]

作者简介: 陈杰(1990-), 男, 硕士研究生, 从事海洋渔业资源保护研究。E-mail: 460357253@qq.com

通信作者: 陈明茹(1968-), 女, 副教授, 从事海洋渔业资源保护研究。E-mail: mrchen@xmu.edu.cn

的主要特征。目前中国物种多样性的主要研究方法包括种类丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、种类均匀度指数等。以上几种传统多样性指数只关注物种丰度、均匀度方面的信息,受取样方法和样本大小的影响较大,因此很难对不同历史时期的数据进行比较<sup>[2-3]</sup>。更重要的是,这些传统多样性指数忽视了物种在分类以及功能上存在的差异。如传统多样性指数完全相同的 2 个鱼类群落,其种类组成可能在分类学范畴上相距较远,即物种多样性相同的 2 个群落,它们的分类多样性水平可能相差甚远<sup>[4-6]</sup>。为了充分利用群落中物种分类学地位的信息,WARWICK 等<sup>[5]</sup>提出了分类多样性指数 ( $\Delta$ )。其中,分类多样性指数和分类差异指数 ( $\Delta^*$ ) 既考虑了群落中物种数量和均匀程度,也考虑了物种分类地位的差异,在实际应用过程中比传统多样性指数更灵敏<sup>[2-3, 5]</sup>。平均分类差异指数 ( $\Delta^+$ ) 和分类差异变异指数 ( $\Delta^+$ ) 仅根据物种有无便可计算,因此摆脱了对采样方法和样方大小的依赖,与传统多样性指数相比具有更加广泛的适用性<sup>[7-8]</sup>。

目前,以上几种分类多样性指数主要运用于海洋底栖生物、原生动物、植物以及鸟类的研究<sup>[9-12]</sup>。在鱼类群落研究方面,中国学者研究了近海海域及陆架区<sup>[13-17]</sup>、河口区<sup>[18-19]</sup>以及珊瑚礁区域<sup>[20-22]</sup>的鱼类群落。

福建台山列岛 (26°55'N ~ 27°00'N, 120°39'E ~ 120°43'E) 位于大陆以东 30 km 的东海大陆架海域,由东台山、西台山、南船屿等 15 个岛屿及 22 个礁石组成,周边海域受黑潮分支——台湾暖流和浙闽沿岸流的共同影响,记录为中国大陆沿海造礁石珊瑚自然分布的北缘<sup>[23]</sup>,具有明显的亚热带海域特征;同时也是闽东渔场的北部中心,海洋生物资源丰富,是海洋环境和生态十分典型的区域。但目前尚未见针对这一典型生态区域的鱼类物种分类多样性的研究报道。文章分析了该海域鱼类群落的分类多样性指数,以期增加对台山列岛周边海域鱼类分类多样性的认识,也为该海域渔业资源的评估和管理提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 采样方法

调查时间为 2012 年 5 月、8 月、11 月和 2013 年 2 月,调查站位见图 1。采样网具为单囊有翼拖

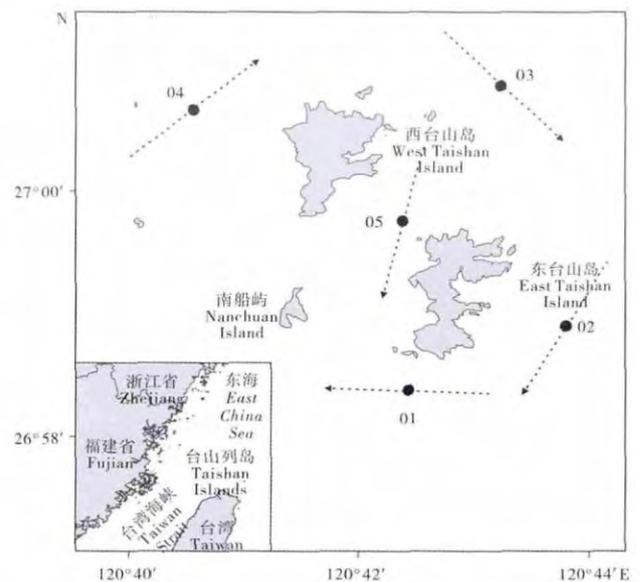


图 1 台山列岛周边海域渔业资源拖网调查站位图

圆点表示调查站位,虚线表示拖网航迹

Fig. 1 Sampling stations of the bottom trawls conducted around the Taishan Islands between 2012 and 2013

Dots indicate the survey stations and dashed lines indicate the trawl trajectory.

网,其网衣长为 28.5 m,网口拉紧周长为 50 m,最大和最小网目为 25 mm 和 13 mm。拖网作业持续时间约为 30 min,拖速约为 3 kn。起网后在现场对所有样品进行初步分类、计数、称质量、生物学测量和记录,样品带回实验室冷冻保存,并作进一步分类鉴定和统计分析。调查和分析均按照《海洋调查规范》(GB/T 12673—2007) 进行。

### 1.2 分类多样性分析

根据 4 个季度的底拖网调查资料,结合国家海洋局 908 专项游泳动物调查数据以及正式发表的文献资料<sup>[24-26]</sup>,系统整理了台山列岛周边海域鱼类的种类组成,在排除同物异名的情况下,根据 NELSON 分类系统<sup>[27]</sup>,建立了较为全面的台山列岛周边海域鱼类总名录。为了提高分析的准确性,此研究中的鱼类物种组成只选用已鉴定到种的物种。研究中用纲、目、科、属、种 5 个分类等级水平确定鱼类的分类地位,不同分类等级多样性权重值为<sup>[14]</sup>: 纲间  $\omega_{class} = 83.333$ ,目间  $\omega_{order} = 66.667$ ,科间  $\omega_{family} = 50.000$ ,属间  $\omega_{genus} = 33.333$ ,种间  $\omega_{species} = 16.667$ 。

采用以下 4 个指数来表征台山列岛周边海域鱼类的分类多样性<sup>[5, 7, 28]</sup>。

分类多样性指数公式为:

$$\Delta = \frac{\sum \sum_{i < j} \omega_{ij} X_j X_i}{\sum \sum_{i < j} X_j X_i + \sum_i X_i (X_i - 1) / 2} \quad (1)$$

分类差异指数公式为:

$$\Delta^* = \frac{\sum \sum_{i < j} \omega_{ij} X_j X_i}{\sum \sum_{i < j} X_j X_i} \quad (2)$$

平均分类差异指数公式为:

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

分类差异变异指数公式为:

$$\Lambda^+ = \frac{\sum \sum_{i < j} (\omega_{ij} - \Delta^+)^2}{S(S-1) / 2} \quad (4)$$

其中  $S$  表示群落中的物种数目,  $\omega_{ij}$  表示群落中种  $i$  和种  $j$  在分类系统树状图中的路径长度,  $X_i$  和  $X_j$  分别表示群落中种  $i$  和种  $j$  的丰度。以上 4 个分类多样性指数以及 95% 置信漏斗曲线运用大型多元统计软件 PRIMER 5.0 软件包的 TAXDTEST 计算。

## 2 结果

### 2.1 鱼类种类组成与季节变化

根据 2012 年 ~ 2013 年的底拖网调查数据和所有有关且已正式发表的历史资料, 台山列岛周边海域共记录鱼类 2 纲 20 目 81 科 150 属 208 种(表 1)。其中软骨鱼纲共 4 目 8 科 9 属 15 种, 占总物种数 7.21%。包括鲭形目鱼类有 3 科 3 属 8 种; 真鲨目 3 科 4 属 5 种; 须鲨目和鳐形目各 1 科 1 属 1 种。辐鳍鱼纲共 16 目 73 科 141 属 193 种。其中鲈形目的科、属、种均为最多, 有 39 科 78 属 106 种, 占总物种数 50.96%。在鲈形目的各科中, 种类数最多的是石首鱼科鱼类, 共 19 种, 占鲈形目总物种数 17.92%; 其次为鰕虎鱼科, 15 种, 占鲈形目总物种数 14.15%。其余辐鳍鱼纲各目鱼类中, 仅有鲱形目鱼类超过 20 种, 为 4 科 11 属 20 种, 占总物种数 9.62%。

此次调查共记录到鱼类(已鉴定到种) 2 纲 11 目 40 科 63 属 77 种(表 1)。软骨鱼纲仅 1 目 1 科 1 属 1 种。辐鳍鱼纲 10 目 39 科 62 属 76 种, 其中鲈形目鱼类种类数最多, 有 21 科 32 属 40 种, 占鱼类种类数 51.95%, 其余各目鱼类种类数均不超过 10 种。

在 2012 年 ~ 2013 年的调查中, 春季采集鱼类 1 纲 8 目 28 科 37 属 41 种; 夏季采集鱼类 1 纲 6 目 22 科 30 属 34 种; 秋季采集鱼类 1 纲 7 目 19 科 28

属 35 种; 冬季采集鱼类 2 纲 8 目 13 科 23 属 27 种。在 4 个季节都出现的鱼类有 9 种, 隶属 1 纲 4 目 6 科 8 属, 占鱼类种类数 11.84%。3 个季节出现的鱼类有 8 种, 隶属 1 纲 3 目 5 科 8 属, 占鱼类种类数 10.53%。只在 2 个季节出现的鱼类有 13 种, 隶属 1 纲 4 目 10 科 13 属, 占鱼类种类数 17.11%。只在 1 个季节出现的鱼类有 46 种, 隶属 2 纲 11 目 33 科 42 属, 占鱼类种类数 60.53% (表 1)。

### 2.2 分类多样性指数与分类差异指数

根据 2012 年 ~ 2013 年的底拖网调查数据, 计算了台山列岛周边海域不同季节的鱼类分类多样性指数  $\Delta$  和分类差异指数  $\Delta^*$  (图 2)。其中春季鱼类群落  $\Delta$  和  $\Delta^*$  分别为 33.86、49.84, 夏季分别为 33.23、39.37, 秋季分别为 44.36、50.88, 冬季分别为 31.75、39.71。 $\Delta$  秋季最高, 分别比春、夏、冬季高出 31.01%、33.49%、39.72%;  $\Delta^*$  秋季最高, 春季次之, 但相差甚微, 夏、冬季分类差异指数  $\Delta^*$  明显较低。

### 2.3 平均分类差异指数与分类差异变异指数

根据台山列岛周边海域鱼类总名录, 分别计算了鱼类的平均分类差异指数  $\Delta^+$  和分类差异变异指数  $\Lambda^+$  的理论平均值, 在此基础上作出 2 个指数的 95% 置信漏斗曲线(图 3)。结果显示, 台山列岛周边海域鱼类总名录的  $\Delta^+$  和  $\Lambda^+$  的理论平均值分别为 63.14 和 378.4。

将 2012 年 ~ 2013 年 4 个季度调查数据计算所得的  $\Delta^+$  和  $\Lambda^+$  叠加到台山列岛周边海域鱼类总体

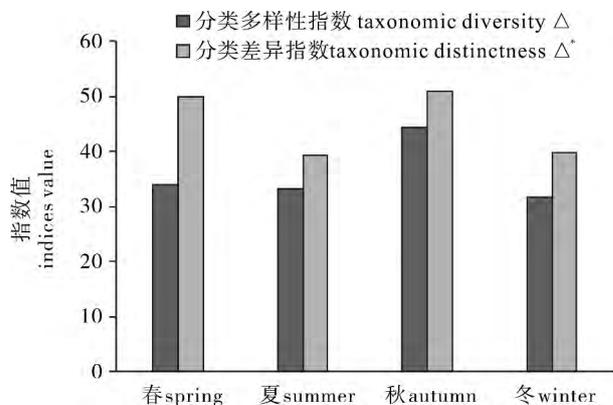


图 2 分类多样性指数(Δ)和分类差异指数(Δ\*)的季节变化

Fig. 2 Seasonal variation in taxonomic diversity(Δ) and taxonomic distinctness(Δ\*)

表 1 台山列岛周边海域鱼类种类组成

Tab. 1 Species composition of fish in the waters surrounding the Taishan Islands

纲 class	目 order	总名录 master species list		春季 spring		夏季 summer		秋季 autumn		冬季 winter		全年 whole year		
		种数 speices number	占比% percentage	种数 speices number	占比% percentage	种数 speices number	占比% percentage	种数 speices number	占比% percentage	种数 speices number	占比% percentage	种数 speices number	占比% percentage	
软骨鱼纲 Elasmobranchii	须鲨目	1	0.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	真鲨目	5	2.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	鲼形目	8	3.85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	鳐形目	1	0.48	0	0	0	0	0	0	1	3.70	1	1.30	
	鳗鲡目	9	4.33	3	7.32	2	5.88	3	8.57	0	0	4	5.19	
	鲱形目	20	9.62	4	9.76	3	8.82	5	14.29	4	15	8	10.39	
	仙女鱼目	4	1.92	2	4.88	1	2.94	1	2.86	1	4	2	2.60	
	鳕形目	2	0.96	2	4.88	0	0	0	0	0	0	2	2.60	
	鮫鱈目	5	2.40	0	0	0	0	0	0	1	4	1	1.30	
	鲶形目	2	0.96	0	0	0	0	0	0	1	4	1	1.30	
辐鳍鱼纲 Actinopterygii	海龙目	3	1.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	鲈形目	10	4.81	3	7.32	0	0	1	2.86	3	11	7	9.09	
	鲈形目	106	50.96	20	48.78	22	64.71	19	54.29	13	48	40	51.59	
	蝶形目	12	5.77	4	9.76	3	8.82	3	8.57	3	11	5	6.49	
	鲷形目	12	5.77	3	7.32	3	8.82	3	8.57	0	0	6	7.79	
	鳊形目	3	1.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	颌针鱼目	1	0.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	灯笼鱼目	1	0.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	银汉鱼目	1	0.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	胡瓜鱼目	2	0.96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	合计 total		208	100	41	100	34	100	35	100	27	100	77	100

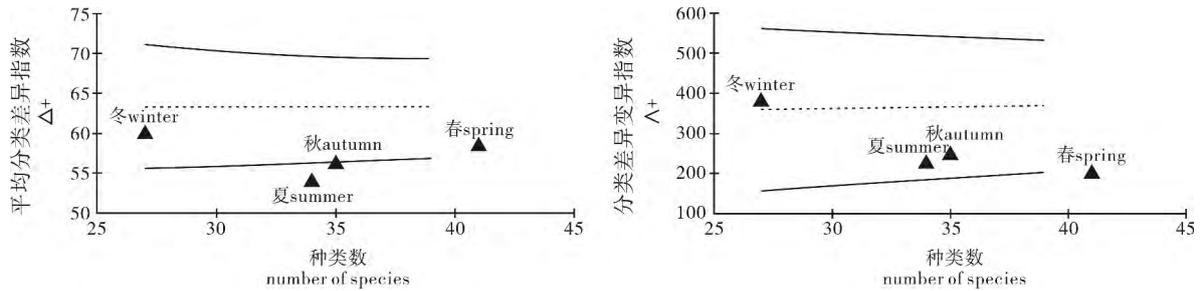


图 3 平均分类差异指数(  $\Delta^+$  ) 和分类差异变异指数(  $\Lambda^+$  ) 95% 置信漏斗曲线以及各季节相应指数在曲线中的位置

Fig. 3 Funnel plots of average taxonomic distinctness(  $\Delta^+$  ) and variation in taxonomic distinctness(  $\Lambda^+$  ) in the waters surrounding the Taishan Islands

的 95% 置信漏斗曲线中( 图 3)。其中春季鱼类群落  $\Delta^+$ 、 $\Lambda^+$  分别为 58.61, 205.39, 夏季分别为 54.15, 229.63, 秋季分别为 56.41, 254.56, 冬季分别为 60.17, 384.78。 $\Delta^+$  冬季最高, 春季次之, 夏、秋季较低; 而  $\Lambda^+$  则同样是冬季最高, 夏、秋季次之, 春季较低。 $\Delta^+$  在 4 个季节均低于总名录, 其中夏、秋季与总名录的差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ ); 而除冬季航次外, 其余季节航次的

$\Lambda^+$  均低于总名录, 但只有春季的  $\Lambda^+$  与总名录的理论平均值差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 鱼类种类组成

与黄、渤海鱼类组成<sup>[1]</sup> 相比, 该研究结果并未出现北方海区冷水性的代表性类群( 如鲈形目中的杜父鱼科、圆鳍鱼科、绵鳚科等); 且软骨鱼类

明显较少(15种),辐鳍鱼纲(193种)的种类较多,尤其是鳗鲡目(9种)、鲈形目中的石首鱼科(19种)和鰕虎鱼科(15种)以及鲱形目(20种)、鲽形目(12种)等鱼类较多(表1),这些鱼类通常是栖息于低纬度亚热带海区的近岸暖水性中、小型鱼类,这与台山列岛周边海域位于亚热带海域的环境特点相吻合。

4个航次调查共记录鱼类77种,但软骨鱼类仅记录到1种,比例为1.30%,而根据该海域鱼类总名录,软骨鱼类占比为7.21%。与已记录的种类数相比,此次调查软骨鱼类的比例明显较小。此次调查并未发现总名录中的须鲨目、鳐形目、魮形目、颌针鱼目、灯笼鱼目、银汉鱼目、胡瓜鱼目等鱼类。参考黄良敏等<sup>[16]</sup>的研究结果,将一年4个季节或3个季节均有出现的种类视为本地种,一年仅出现1个季节或2个季节的种类视为洄游种。此研究共记录本地种17种,占22.08%,洄游种60种,占77.92%。说明研究海域主要以季节性近距离洄游鱼类为主,以本地种鱼类为辅,这与研究海域处于东海大陆架,不同季节间饵料以及水温等因素波动较为剧烈有关。调查结果表明,研究海域春季鱼类种类数最多,夏、秋季次之,冬季最少,而且由春季到夏季鱼种数量变化梯度最大。究其原因,主要是冬季受北方冷空气和浙闽沿岸低温水影响,水温降至全年最低,浮游动物等饵料生物量也为全年最低值<sup>[26]</sup>,造成部分具有洄游习性的种类[如黑姑鱼(*Atrubucca nibe*)、海鳗(*Muraenesox cinereus*)、大头白姑鱼(*Pennahia macrocephalus*)等]向低纬度海域或外海域迁移,致使冬季航次鱼类种类数明显减少;春季,随着东北季风的衰退,低温低盐的浙闽沿岸水对近岸水域的影响逐渐减弱,水温回升,鱼类饵料也开始丰盛,鱼类则向台山列岛一带海域作生殖洄游<sup>[24-25]</sup>,水温和饵料决定了研究海域鱼类种类组成。

### 3.2 分类多样性指数与分类差异指数

分类多样性指数 $\Delta$ 表示样品中任意2个个体的平均分类路径长度<sup>[29]</sup>。一个全面的多样性指数应该既包含了物种数量和分布均匀度这2个信息,还应考虑不同物种在分类地位上的差异<sup>[30]</sup>。分类多样性指数 $\Delta$ 和分类差异指数 $\Delta^*$ 在兼顾了物种数量和均匀程度这2个信息的同时,还考虑到了物种分类地位的差异。实践证明,分类多样性指数 $\Delta$ 和分

类差异指数 $\Delta^*$ 在应用过程中比传统多样性指数更灵敏<sup>[3]</sup>。从计算公式上看,分类多样性指数 $\Delta$ 和分类差异指数 $\Delta^*$ 是从概率论的概念出发且与优势度相关的多样性指数,是辛普森多样性指数(Simpson's index of diversity)的自然延伸,即在辛普森多样性指数的基础上,增加了不同种类在分类学差异方面的信息<sup>[29-31]</sup>。研究海域的鱼类分类多样性指数 $\Delta$ 秋季最高(44.36),春、夏季次之,冬季最低,这与调查期间冬、夏季鲈形目部分种类[如六丝矛尾鰕虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)]优势度较高,而春、秋季优势度较低有一定的关系。分类差异指数 $\Delta^*$ 与分类多样性指数 $\Delta$ 相似,是对分类多样性指数 $\Delta$ 简化后处理后的指数,即在分类多样性指数 $\Delta$ 的基础上忽略相同物种个体的分类路径长度<sup>[2]</sup>。分类差异指数 $\Delta^*$ 秋季最高(50.88),春季次之,夏冬季较低,与分类多样性指数 $\Delta$ 计算结果相似,说明4个季节同种类个体数量对分类多样性指数 $\Delta$ 的计算结果影响甚微。

### 3.3 平均分类差异指数与分类差异变异指数

平均分类差异指数 $\Delta^+$ 表示群落中任意2个物种的平均分类路径长度,在计算过程中不考虑物种的丰度<sup>[31]</sup>。 $\Delta^+$ 值越大表明群落中物种间的分类学关系越远。分类差异变异指数 $\Lambda^+$ 表示物种间分类地位关系均匀程度,在实际运用过程中对平均分类差异指数 $\Delta^+$ 起到补充说明的作用。 $\Lambda^+$ 值越大表示群落中物种间的亲缘关系均匀程度越不均匀。将这2个指数的计算结果相结合,能够作为群落的分类学多样性特征的全面量化指标<sup>[29]</sup>。中国已有不少学者结合平均分类差异指数 $\Delta^+$ 和分类差异变异指数 $\Lambda^+$ 研究相关海域的鱼类群落结构,研究海域主要包括黄、渤海<sup>[13]</sup>、长江口<sup>[18]</sup>、东海陆架<sup>[14]</sup>、厦门海域<sup>[16]</sup>、东山湾<sup>[32]</sup>、大亚湾<sup>[33]</sup>、海州湾<sup>[34]</sup>和东沙群岛<sup>[20]</sup>等海域。平均分类差异指数 $\Delta^+$ 和分类差异变异指数 $\Lambda^+$ 基于不同物种在分类树上所处地位,通过物种间亲缘关系的远近,将群落分类学多样性特征以量化指标体现<sup>[6,15,35-36]</sup>。对比不同海区平均分类差异指数 $\Delta^+$ 和分类差异变异指数 $\Lambda^+$ ,有助于从宏观角度研究鱼类群落分布的空间变化规律<sup>[15]</sup>。该研究将计算结果与采用分类等级多样性权重值参照标准相同的东海陆架、大亚湾和东沙群岛海域的研究进行比较。结果显示,台山列岛周边海域平均分类差异指数 $\Delta^+$ (63.14)低于东海陆架区(65.7),略高于大亚湾(62.2),远高于东沙群

岛海域(55.52)(表2)。这说明台山列岛周边海域鱼类之间的亲缘关系较之东海大陆架区更近,而比纬度较低的大亚湾海域和东沙群岛海域亲缘关系要远。东沙群岛海域为珊瑚礁海域,一年中不同季节的环境因素(水温、盐度等)变化幅度较小。海域中的鱼类以真鲨目(占该海域软骨鱼类种类数的39.4%)和鲈形目(占该海域硬骨鱼类种类数的77.0%)为主<sup>[20]</sup>。因此东沙群岛海域中的鱼类分类学组成较为单一,不同物种间亲缘关系较近,导致其鱼类种类数(514)远高于其他海域,但其平均分类差异指数 $\Delta^+$ 却较低。东海陆架区由于受到长江、钱塘江等径流以及黑潮暖流的共同影响,不但饵料丰盛,而且自然条件适合多种生态类群的鱼类生存,因此其鱼类分类多样性较为丰富,平均分类差异指数 $\Delta^+$ 也较其他海域更高。台山列岛周边海

域处于东海大陆架,其平均分类差异指数 $\Delta^+$ (63.14)与东海大陆架(65.7)接近。大亚湾海域中部的岛礁使得该海域不仅适合热带珊瑚礁鱼类栖息,还有大量的陆架区鱼类,在群落中随机选择的任意2个种类的亲缘关系较远的概率较大,导致其平均分类差异指数 $\Delta^+$ 也较高<sup>[32]</sup>。从纬度角度看,台山列岛周边海域鱼类亲缘关系比低纬度海域(如大亚湾)远,比高纬度海域(如东海陆架)近,即从大尺度上看,不同海域鱼类的平均分类差异指数 $\Delta^+$ 随着纬度的变化呈现梯度分步<sup>[38]</sup>,这与SHINP和ELLINGSEN<sup>[38]</sup>、ELLINGSEN<sup>[39]</sup>的研究结果相似。此外,台山列岛周边海域鱼类组成的分类差异变异指数 $\Lambda^+$ (378.4)远高于东海陆架区(120)、大亚湾(110)和东沙群岛(110),说明研究海域鱼类物种间分类地位关系均匀程度分布较不均匀。

表2 不同海域平均分类差异指数( $\Delta^+$ )和分类差异变异指数( $\Lambda^+$ )的比较

Tab. 2 Comparison of average taxonomic distinctness  $\Delta^+$  and variation in taxonomic distinctness  $\Lambda^+$  for fishes in different sea areas of China

区域 area	纬度 latitude	鱼类物种数 species number	平均分类 差异指数 $\Delta^+$	分类差异 变异指数 $\Lambda^+$
台山列岛周边海域(此研究) the waters surrounding the Taishan Islands( this research)	26°55'N ~ 27°00'N	208	63.14	378.4
东海陆架 <sup>[14]</sup> the East China Sea Continental Shelf <sup>[14]</sup>	26°00'N ~ 33°00'N	350	65.7	120
大亚湾 <sup>[33]</sup> Daya Bay <sup>[33]</sup>	22°30'N ~ 22°50'N	320	62.2	110
东沙群岛 <sup>[20]</sup> Dongsha Islands <sup>[20]</sup>	20°33'N ~ 21°10'N	514	55.52	110

图3显示,4个季节的鱼类平均分类差异指数 $\Delta^+$ 呈现出冬季高,春秋季节次之,夏季最低的特征。冬季受水温和饵料等因素的共同影响,部分适应能力较差的鱼类类群离开该海域,因此冬季鱼类种类(27)最少。但冬季的 $\Delta^+$ 却最高,说明即使在冬季,研究海域的水温和饵料等条件仍然能够满足不同生态类群的鱼类生存。因此冬季的鱼类种类数在不同目之间分布较其他季节更均衡,平均分类差异指数 $\Delta^+$ 高于其他季节。夏季航次的 $\Delta^+$ 最低,可能是由于夏季研究海域水温升至全年最高且温度、盐度的水平梯度较大<sup>[26]</sup>,鲈形目中的较多类群的鱼类适应能力较强,导致夏季鱼类中有64.71%的鱼类均来自鲈形目,在计算群落中任意2个种类的平均分类路径长度时,随机选择的2个种类均为鲈形目鱼类的概率较大,因此计算出的 $\Delta^+$ 也相应较低<sup>[31]</sup>。

该研究根据2012年~2013年在台山列岛周边海域进行的4个航次底拖网调查资料,并结合有关该海域的历史资料,建立了鱼类总名录,该名录较为全面地反映了台山列岛周边海域的鱼类种类组成。并根据总名录计算出了多样性分析中所需的理论值和置信范围,为不同历史时期、不同采样方法的数据进行对比分析提供了参考<sup>[40]</sup>。徐宾铎等<sup>[41]</sup>将1985年和2000年的调查数据与已建立的黄海鱼类总名录对比,发现2000年黄海鱼类群落平均分类差异指数 $\Delta^+$ 与1985年相比显著降低。厦门海域<sup>[16]</sup>、青岛近岸水域<sup>[17]</sup>以及长江口<sup>[19]</sup>也呈现相似的变化趋势。平均分类差异指数 $\Delta^+$ 的显著下降意味着群落中的不同物种在分类学关系上更加接近。MIRANDA等<sup>[42]</sup>认为鱼类分类学关系与其生态位相关联。一般情况下,一个群落中分类学关系越接近的物种其生态位也越近<sup>[19,42]</sup>。物种的生态位

表示某个物种在群落中利用资源的能力<sup>[43]</sup>, 同一个群落生态位相近的物种对来自环境和人为扰动的响应也相近<sup>[42]</sup>。试想若一个群落由分类学关系相近的物种组成, 那么较小的外界环境扰动就能对该群落产生巨大的影响, 即该群落稳定性较差, 抵抗环境以及人为扰动的能力较低。运用分类多样性指数不仅能够认识研究区域鱼类分类多样性特征, 还能了解该区域鱼类生态位及群落结构的变化, 并进一步判断海洋生态系统的稳定性<sup>[44]</sup>。

分类多样性虽然帮助人们从一个全新的角度认识群落的结构, 但是在判断群落稳定性的时候, 还应结合传统多样性指数共同分析。即在分析群落稳定性时, 传统多样性指数应该作为分类多样性指数的补充工具<sup>[45]</sup>; 另外, 分类多样性指数的运用还受到生态系统类型的限制。BHAT 和 MAGUR-RAN<sup>[46]</sup>将分类多样性指数运用于淡水生态系统, 研究结果表明分类多样性指数对检测外界扰动对河水中鱼类群落的影响的效果不甚理想。

#### 参考文献:

- [1] 徐宾铎. 黄海鱼类群落结构的变化及重要种类生物学特征 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004: 6-9.
- [2] 丁兰平. 两个新的群落多样性指数 [J]. 海洋科学, 1999, 21(1): 25-28.
- [3] CLARKE K R, WARWICK R M. Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation [M]. 2nd ed. Plymouth: PRIMER-E, 2001: 3-4.
- [4] LUDWIG J A, YNOLDS J F. Statistical ecology [M]. New York: John Wiley and Sons, 1988: 20.
- [5] WARWICK R M, CLARKE K R. New 'biodiversity' measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1995, 129(1): 301-305.
- [6] ROGERS S I, CLARKE K R, REYNOLDS J D. The taxonomic distinctness of coastal bottom-dwelling fish communities of the Northeast Atlantic [J]. J Anim Ecol, 1999, 68(4): 769-782.
- [7] PIENKOWSKI M W, WATKINSON A R, KERBY G, et al. A taxonomic distinctness index and its statistical properties [J]. J Appl Ecol, 1998, 35(4): 523-531.
- [8] MOUILLOT D, LAUNE J, 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.
- [9] ZHOU H, HUA E, ZHANG Z. Taxonomic distinctness of macrofauna as an ecological indicator in Laizhou Bay and adjacent waters [J]. J Ocean Univ China, 2010, 9(4): 350-358.
- [10] XU H L, JIANG Y, AL-RASHEID K A S, et al. Spatial variation in taxonomic distinctness of ciliated protozoan communities at genus-level resolution and relationships to marine waterquality in Jiaozhou Bay, northern China [J]. Hydrobiologia, 2011, 665(1): 67-78.
- [11] Von EULER F, SVENSSON S. Taxonomic distinctness and species richness as measures of functional structure in bird assemblages [J]. Oecologia, 2001, 129(2): 304-311.
- [12] RICOTTA C, AVENA G, CHIARUCCI A. Quantifying the effects of nutrient addition on the taxonomic distinctness of serpentine vegetation [J]. Plant Ecol, 2005, 179(1): 21-29.
- [13] 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(自然科学版), 2005, 35(1): 25-28.
- [14] 李圣法. 东海大陆架鱼类群落生态学——空间格局及其多样性 [D]. 上海: 华东师范大学, 2005: 6-141.
- [15] 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.
- [16] 黄良敏, 谢仰杰, 李军, 等. 厦门海域鱼类群落分类学多样性的研究 [J]. 海洋学报(中文版), 2013, 3(2): 126-132.
- [17] 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(自然科学版), 2007, 11(6): 907-910, 878.
- [18] 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.
- [19] 沈新强, 史赞荣, 晁敏, 等. 长江口鱼类群落分类学多样性变动的分析 [J]. 渔业科学进展, 2013, 8(4): 1-7.
- [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] 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 [J]. 中国水产科学, 2011, 18(3): 619-628.
- [22] 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 [J]. 水产学报, 2010, 34(11): 1753-1761.
- [23] 杨顺良, 赵东波, 任岳森, 等. 在闽东海域发现的石珊瑚的种类组成和分布 [J]. 应用海洋学报, 2014, 33(1): 29-37.
- [24] 朱元鼎. 福建鱼类志(上, 下册) [M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1984: 1-700.
- [25] 朱元鼎. 东海鱼类志 [M]. 北京: 科学出版社, 1963: 1-642.
- [26] 福建省海岛资源综合调查编委会. 福建省海岛资源综合调查报告 [R]. 北京: 海洋出版社, 1996: 1-712.
- [27] NELSON J S. Fishes of the world [M]. 4th ed. New York: John Wiley and Sons Inc, 2006: 1-624.
- [28] 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(2): 265-278.
- [29] SHAN X J, JIN X S, YUAN W. Taxonomic diversity of fish assemblages in the Changjiang Estuary and its adjacent waters [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 29(2): 70-80.
- [30] PURVIS A, HECTOR A. Getting the measure of biodiversity [J].

- Nature, 2000, 405(6783): 212-219.
- [31] 刘光兴, 姜强, 朱延忠, 等. 北黄海浮游桡足类分类学多样性研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2010, 40(12): 89-96.
- [32] 林龙山, 王燕平, 李渊, 等. 东山湾及其邻近海域鱼类物种分类多样性[J]. 中国水产科学, 2012, 19(6): 1060-1067.
- [33] 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.
- [34] 苏巍, 薛莹, 任一平. 海州湾海域鱼类分类多样性的时空变化及其与环境因子的关系[J]. 中国水产科学, 2013, 20(3): 624-634.
- [35] 邬建国. 岛屿生物地理学理论: 模型与应用[J]. 生态学杂志, 1989, 8(6): 34-39.
- [36] CESCHIA C, FALACE A, WARWICK R. Biodiversity evaluation of the macroalgal flora of the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea) using taxonomic distinctness indices [J]. Hydrobiologia, 2007, 580(1): 43-56.
- [37] 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.
- [38] SHINP K S, ELLINGSEN K E. Spatial patterns of soft-sediment benthic diversity in subtropical Hong Kong waters [J]. Mar Ecol Prog Ser, 2004, 276(1): 25-35.
- [39] ELLINGSEN K E, CLARKE K R, SOMERFIELD P J, et al. Taxonomic distinctness as a measure of diversity applied over a large scale: the benthos of the Norwegian continental shelf [J]. J Anim Ecol, 2005, 74(6): 1069-1079.
- [40] ODUM E P, BARRETT C W. 生态学基础[M]. 5版. 北京: 高等教育出版社, 2008: 60-61.
- [41] 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(自然科学版), 2005, 35(4): 629-634.
- [42] MIRANDA J R, MOUILLOT D, HERNANDEZ D F, et al. Changes in four complementary facets of fish diversity in a tropical coastal lagoon after 18 years: a functional interpretation [J]. Mar Ecol Prog Ser, 2005, 304(6): 1-13.
- [43] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 186-187.
- [44] TILMAN D. Biodiversity: Population versus ecosystem stability [J]. Ecology, 1996, 77(2): 350-363.
- [45] HEINO J, SOININEN J, LAPPALAINEN J, et al. The relationship between species richness and taxonomic distinctness in freshwater organisms [J]. Limnol Oceanogr, 2005, 50(3): 978-986.
- [46] BHAT A, MAGURRAN A E. Taxonomic distinctness in a linear system: a test using a tropical freshwater fish assemblage [J]. Ecography (Cop.), 2006, 29(1): 104-110.