

## 九龙江口鱼类多样性和营养级分析

杜建国, 刘正华, 余兴光, 许章程, 胡文佳, 陈彬, 马志远, 林金兰

国家海洋局第三海洋研究所, 福建 厦门 361005

**摘要:** 2009年5月和11月对九龙江口进行了两个航次的拖网渔业资源调查, 探讨了该河口鱼类群落结构和物种多样性特征。结果表明, 两次拖网调查共鉴定鱼类35种, 隶属于2纲12目22科。其中中上层鱼类3种, 近底层鱼类7种, 底层鱼类25种; 暖水种22种, 暖温种13种; 河口性鱼类10种, 海洋性鱼类25种; 低级肉食性鱼类7种, 中级肉食性鱼类28种。中华海鲈 *Arius sinensis*、凤鲚 *Coilia mystus* 和红狼牙鰕虎鱼 *Odontamblyopus rubicundus* 是5月的优势种, 中华海鲈 *Arius sinensis*、凤鲚 *Coilia mystus* 和叫姑鱼 *Johnius belengerii* 是11月的优势种。5月和11月鱼类重量密度分别是  $471.53\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$  和  $143.97\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ , 5月和11月尾数密度分别为  $40811\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$  和  $3804\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$ 。九龙江口鱼类多样性指数为1.20, 均匀度指数为0.39, 丰富度指数为3.11, 营养级指数为3.55。与1985年同期的调查资料相比, 九龙江口鱼类群落结构和物种多样性发生了很大的变化, 平均营养级明显降低。九龙江口鱼类多样性下降的主要原因可能是过度捕捞、环境污染和栖息地丧失等。

**关键词:** 鱼类; 生物多样性; 营养级指数; 九龙江口

中图分类号: Q958.1 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2012)06-0076-07

## Fish species diversity and trophic level in the Jiulong Estuary

DU Jian-guo, LIU Zheng-hua, YU Xing-guang, XU Zhang-cheng, HU Wen-jia, CHEN Bin, MA Zhi-yuan, LIN Jin-lan

Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China

**Abstract:** The community structure and species diversity of fishes in the Jiulong Estuary were evaluated based on two trawling surveys conducted in May and November, 2009. Totally 35 fish species were identified, belonging to two classes, 12 orders and 22 families. According to their habitats, three species are pelagic fish, seven near-demersal fish and 25 demersal; and 10 species are estuarine and 25 marine. Based on their temperature adaptations, 22 species are warm water fish, and the rest 13 are temperate warm water fish. According to their feeding habits, seven species are lower carnivorous fish and 28 middle carnivorous fish. *Arius sinensis*, *Coilia mystus* and *Odontamblyopus rubicundus* were dominant species in the samples of May, and *A. sinensis*, *C. mystus* and *Johnius belengerii* were dominant species in the samples of November. The weight densities were  $471.53$  and  $143.97\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ , and the individual densities were  $40811$  and  $3804\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$  in May and November, respectively. The Shannon-Wiener index, Pielou index, Margalef index and Trophic index of the fishes in the Jiulong Estuary were 1.20, 0.39, 3.11 and 3.55, respectively. Compare to the survey data conducted in the same periods in 1985, the fish community structure and species diversity changed largely, and the trophic index decreased significantly in the Jiulong Estuary. Overfishing, environmental pollution and habitat loss are suggested to be the main factors contributing to the decline of fish diversity in the Jiulong Estuary.

**Key words:** fish; biodiversity; trophic index; Jiulong Estuary

收稿日期: 2011-05-31; 修订日期: 2012-01-12。孙淑杰编辑

基金项目: 国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务费专项 (海三科 2011006); 国家自然科学基金项目(31101902); 福建省自然科学基金项目 (2012J05074); 国家海洋局青年海洋科学基金项目 (2011143); 海洋公益性行业科研专项 (200805064, 201105015)

作者简介: 杜建国(1981—), 男, 河南省商丘市人, 博士, 助研, 从事海洋生物与生态学研究。E-mail: dujianguo999@gmail.com

通信作者: 陈彬。E-mail: chenbin910@yahoo.com.cn

入海河口是淡水和海水的交互地带,是连接陆地和海洋的重要区域,是全球物质和能量循环的重要通道,属于全球生态研究的热点区域。河口作为近岸典型的海洋生态系统之一,是许多鱼类、虾类和蟹类等主要海洋经济生物的产卵、育幼和索饵场,在国际上被普遍称为“海洋哺育场”,具有重要的生态价值和经济价值。同时,河口极高的初级生产力和丰富的生物多样性对人类的生存和发展也具有重要的价值<sup>[1]</sup>。

九龙江是福建境内第二大河流,流域面积 14240km<sup>2</sup>,年平均径流量 149 亿 m<sup>3</sup>。九龙江口是坛状河口,口宽仅 3.5km,湾内却达 7—8km。九龙江口水质肥沃,滩涂广阔,浅水面大,鱼类资源丰富。九龙江口附近有大小岛屿共 31 个,岸线曲折,水质肥沃,是很多经济鱼虾蟹类的产卵场<sup>[2-3]</sup>。然而随着厦门港和漳州港的建设,九龙江口两侧的填海工程等改变了河口区的生态地理环境,从而对附近的鱼类产生了影响<sup>[4-5]</sup>。

我国有关海洋鱼类群落结构的研究大多集中在 50m 等深线以外海域,如对黄海底层鱼类群落结构的研究以及对东海和黄海鱼类群落结构和多样性的研究等<sup>[6-7]</sup>;而对沿海各河口的海洋生物调查主要集中在黄河口<sup>[8-9]</sup>、长江口<sup>[10-11]</sup>、珠江口<sup>[12-14]</sup>和瓯江口<sup>[15]</sup>等,对其他河口的研究则较少。本文以 2009 年 5 月和 11 月九龙江口渔业资源调查数据为材料,研究该海域鱼类的生物多样性现状,以期渔业资源保护和生态修复措施的制定提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 调查地点和方法

2009 年 5 月和 11 月在九龙江口进行了 2 个航次的渔业资源调查。在河口区共设 5 个站位(图 1),以闽龙渔 1858 号为调查船,采用单拖网(16m×10m),网目范围 2.8—5cm,每网拖曳 45min,平均拖速

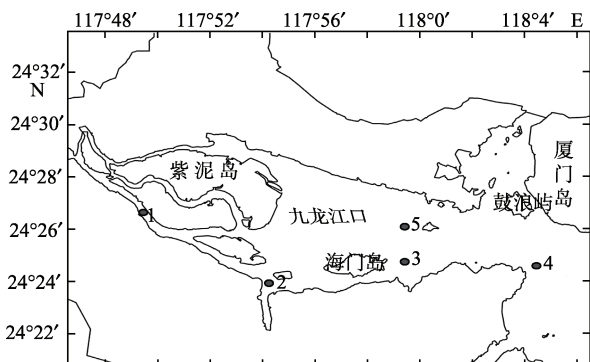


图 1 九龙江口鱼类群落结构调查站位图

Fig. 1 Survey stations for fish community in the Jiulong Estuary

4.0km·h<sup>-1</sup>,样品的采集、处理和分析均按照海洋调查规范<sup>[16]</sup>的有关规定进行。

### 1.2 数据处理

#### 1.2.1 资源密度估算

鱼类资源密度采用扫海面积法估算<sup>[17]</sup>,公式为:

$$P_i = C_i / a_i q$$

其中  $P_i$  为第  $i$  站的鱼类资源密度,重量按  $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$  计,尾数按  $\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$  计;  $C_i$  为第  $i$  站的每小时拖网鱼类数量,重量按  $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$  计,尾数按  $\text{ind}\cdot\text{h}^{-1}$  计;  $a_i$  为第  $i$  站的网具每小时扫海面积( $\text{km}^2/\text{h}$ ),按网口水平扩张宽度乘以拖曳距离计;  $q$  为网具捕获率(可捕率=1-逃逸率),本拖网网具的鱼类逃逸率取 0.4。

鱼类优势种的优势度用 Pinkas 相对重要性指数 (IRI) 来研究,其公式为<sup>[18]</sup>:

$$\text{IRI} = (W\% + N\%) \times F\%$$

其中  $W$  为该鱼类占总鱼类重量的百分比,  $N$  为该鱼类尾数占鱼类总尾数的百分比,  $F$  为该鱼类出现的站数占调查总站数的百分比。

#### 1.2.2 鱼类多样性计算

鱼类群落多样性分析采用以下公式<sup>[19-20]</sup>。

Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ):

$$H' = -\sum P_i \ln P_i$$

Pielou 均匀度指数 ( $J'$ ):

$$J' = H' / \ln S$$

Margalef 物种丰富度指数 ( $D$ ):

$$D = (S - 1) \ln N$$

式中,  $P_i$  为种类的生物量(或个数)占总生物量(或总个数)的百分比。在鱼类生态学研究,重量多样性指数和尾数多样性指数具有不同的生物学含义,因此本研究不同站位鱼类多样性指数分别采用重量百分比和尾数百分比计算;  $S$  为种类数;  $N$  为总个体数。

#### 1.2.3 鱼类平均营养级指数计算

鱼类平均营养级指数 ( $\overline{\text{TL}}_k$ ) 分析采用以下公式<sup>[21]</sup>:

$$\overline{\text{TL}}_k = \sum_{i=1}^m \text{TL}_i Y_{ik} / Y_k$$

式中  $\text{TL}_i$  为生物  $i$  的营养级,  $Y_{ik}$  表示  $i$  种类在  $k$  年的生物量,  $Y_k$  表示  $k$  年  $m$  个种类的总生物量。

由于鱼类的营养级近几十年来有变小的趋势,而且我国北海域的鱼类营养级也有差别<sup>[22]</sup>,所以 2009 年九龙江口鱼类的营养级计算主要参考泉州湾海域鱼类营养级研究<sup>[23]</sup>和厦门东海域鱼类食物网研究<sup>[24]</sup>,而 1985 年九龙江口鱼类营养级的计算主要

参考闽南-台湾浅滩渔场食物网研究<sup>[25-26]</sup>等。

## 2 结果

### 2.1 鱼类组成

根据 2009 年 5 月和 11 月的调查的九龙江口鱼类组成(表 1), 2 个航次共捕获鱼类 35 种, 隶属于 2

纲 12 目 22 科。软骨鱼纲中须鲨目、鳐形目和鲛形目均为 1 科 1 种。硬骨鱼纲中鲈形目物种数量最多, 8 科 16 种, 其中鰕虎鱼科最多, 为 7 种; 其次是鲷形目, 2 科 6 种; 鲉形目 3 科 3 种; 鮨形目 1 科 2 种; 其他种类还有鲱形目 1 科 1 种、鳗鲡目 1 科 1 种、灯笼鱼目 1 科 1 种、鲀形目 1 科 1 种、鲤形目 1 科 1 种。

表 1 2009 年九龙江口鱼类组成

Tab. 1 Community structure of fish species in the Jiulong Estuary in 2009

种类	5 月			11 月			适温型		生态型	
	W/%	N/%	出现率	W/%	N/%	出现率	暖水性	暖温性	海洋性	河口性
条纹斑竹鲨 <i>Chiloscyllium plagiosum</i>	0.85	0.13	20	11.2	2.62	60	√		√	
中国团扇鳐 <i>Platyrrhina sinensis</i>	—	—	—	6.39	0.40	20		√	√	
尖嘴魮 <i>Dasyatis zugei</i>	1.06	0.04	40	2.71	0.81	20	√		√	
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	9.92	7.63	100	4.09	32.26	100		√		√
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	0.15	0.02	20	1.08	1.61	60	√			√
海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	0.05	0.02	20	—	—	—	√		√	
鳙鱼 <i>Aristichthys nobilis</i>	—	—	—	0.01	0.20	20	√			√
中华海鲢 <i>Arius sinensis</i>	80.72	88.44	60	58.64	26.81	100	√		√	
海鲶 <i>A. thalassinus</i>	0.62	0.62	40	—	—	—	√		√	
花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>	—	—	—	1.86	0.20	20	√			√
叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	0.56	0.34	60	6.05	20.16	100	√		√	
棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	—	—	—	0.48	1.21	20		√	√	
鲷鱼 <i>Therapon theraps</i>	—	—	—	0.12	0.20	20	√		√	
青鲢 <i>Gnathagnus elongatus</i>	0.01	0.04	20	—	—	—		√	√	
银鲳 <i>Pampus argenteus</i>	0.07	0.02	20	—	—	—	√		√	
乌塘鳢 <i>Bostrichthys sinensis</i>	0.01	0.04	20	—	—	—	√			√
髯须鰕虎鱼 <i>Tridentiger barbatus</i>	—	—	—	0.74	4.23	40		√		√
斑纹舌鰕虎鱼 <i>Glossogobius olivaceus</i>	0.01	0.04	20	—	—	—	√			√
巴布亚沟鰕虎鱼 <i>Oxyurichthys papuensis</i>	0.04	0.09	20	—	—	—	√		√	
绿斑细棘鰕虎鱼 <i>Acentrogobius chlorosigmatoides</i>	0.01	0.04	20	0.07	1.21	20	√		√	
矛尾复鰕虎鱼 <i>Synechogobius hasta</i>	0.01	0.04	20	0.05	0.40	20		√	√	
拟矛尾鰕虎鱼 <i>Parachaeturichthys polynema</i>	0.05	0.13	40	0.07	0.81	40	√		√	
矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	0.07	0.24	40	0.04	0.20	20		√		√
红狼牙鰕虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	1.40	1.41	40	—	—	—	√		√	
孔鰕虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	0.14	0.15	40	0.39	2.62	40	√			√
日本鬼鲉 <i>Inimicus japonicus</i>	0.41	0.04	20	—	—	—		√	√	
凯氏红娘鱼 <i>Lepidotrigla kishinouyi</i>	0.05	0.02	20	—	—	—		√	√	
鲷 <i>Platycephalus indicus</i>	0.02	0.02	20	—	—	—	√		√	
木叶鲷 <i>Pleuronichthys cornutus</i>	0.02	0.02	20	—	—	—		√	√	
西宝舌鲷 <i>C. sibogae</i>	0.06	0.11	20	0.91	1.41	40	√		√	
斑头舌鲷 <i>Cynoglossus puncticeps</i>	0.06	0.11	20	—	—	—	√		√	
短吻红舌鲷 <i>C. joyneri</i>	3.17	0.13	20	4.90	2.02	20		√	√	
半滑舌鲷 <i>C. semilaevis</i>	0.44	0.04	20	—	—	—		√	√	
褐斑三线舌鲷 <i>C. trigrammus</i>	0.02	0.04	20	—	—	—		√		√
横纹东方鲀 <i>Fugu oblongus</i>	—	—	—	0.19	0.61	20	√		√	

注: “√”表示所属类型; “—”表示在该月没有出现。

按照鱼类的栖息习性, 九龙江口鱼类可划分为 3 种生态类型。中上层鱼类 3 种, 占 8.57%; 近底层鱼类 7 种, 占 20.00%; 底层鱼类 25 种, 占 71.43%。由此可见九龙江口鱼类以底层种为主。

按照鱼类的生态习性, 九龙江口有河口性鱼类 10 种, 占 28.57%; 海洋性鱼类 25 种, 占 71.43%。可见九龙江口鱼类以海洋性种类为主。

按照鱼类的适温性, 九龙江口鱼类有暖水性种和暖温性种, 无冷温性种和冷水性种。其中暖水性种类 22 种, 占 62.86%; 暖温性种类 13 种, 占 37.14%。可见九龙江口鱼类以暖水性种为主。

另外, 5 月, 中华海鲢 *Arius sinensis* 为主要优势种, 占总重量的 80.72%, 占总尾数的 88.44%。11 月, 基于重量, 中华海鲢是优势种, 占总重量的 58.6%; 基于种群数量, 凤鲚 *Coilia mystus* 是优势种, 占总尾数的 32.26%。

九龙江口鱼类群落以近岸和河口性种类、小型鱼类、底层和近底层鱼类、亚热带暖水性种类为主要特征, 与九龙江口属于亚热带河口这一生态环境相吻合。

## 2.2 鱼类营养级

九龙江口鱼类中低级肉食性有 28 种, 占 80%; 中级肉食性有 7 种, 占 20%。可见九龙江口鱼类以低级肉食性鱼类为主。另外, 2009 年九龙江口鱼类的平均营养级指数为 3.55。

## 2.3 鱼类密度分布

九龙江口 5 月和 11 月的鱼类重量密度均值分别为  $471.53\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$  和  $143.97\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ , 尾数密度均值分

别为  $40811\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$  和  $3804\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$ 。各站的重量密度和尾数密度见图 2。

5 月, 鱼类重量密度最高水域位于九龙江南港的 1 号站( $117^{\circ}52'376''\text{N}$ 、 $24^{\circ}23'710''\text{E}$ ), 重量密度为  $1501.56\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ , 表层水温  $24.8^{\circ}\text{C}$ , 水深 6.8m, 主要鱼类为中华海鲢; 2 号站的重量密度也较高, 为  $655.62\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ , 水深为 10.1m, 主要由中华海鲢、短吻红舌鲷 *Cynoglossus joyneri* 和凤鲚构成; 而 4 号站和 5 号站的重量密度则非常低, 仅  $20.63\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$  和  $12.50\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ 。1 号站和 2 号站的尾数密度也最高, 分别为  $147644\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$  和  $52002\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$ , 主要由中华海鲢和凤鲚构成; 4 号站和 5 号站的最低, 仅为  $268\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$  和  $575\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$ 。

11 月, 鱼类重量密度最高水域是 1 号站, 重量密度为  $286.9\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ , 表层水温  $20.0^{\circ}\text{C}$ , 水深 6.8m, 主要鱼类为中华海鲢; 5 号站的重量密度也较高, 这与中国团扇鲷 *Platyrrhina sinensis* 的出现有关; 3 号站的重量密度最低, 仅为  $35.28\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ 。鱼类尾数密度分布比较均匀, 差异不明显, 尾数密度最大站位出现在 5 号站, 其密度值为  $6404\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$ , 主要由叫姑鱼 *Johnius belengerii*、凤鲚和髯鰕虎鱼 *Tridentiger barbatus* 构成。

由以上结果可见, 总体上九龙江口 1 号站和 2 号站的重量密度和尾数密度较其余站点高, 这可能与 1 号站位于九龙江入海口和 2 号站位于红树林保护区附近, 而 3 号站位于漳州招银港口区、4 号站位于锚地、5 号站位于海沧港口区有关。

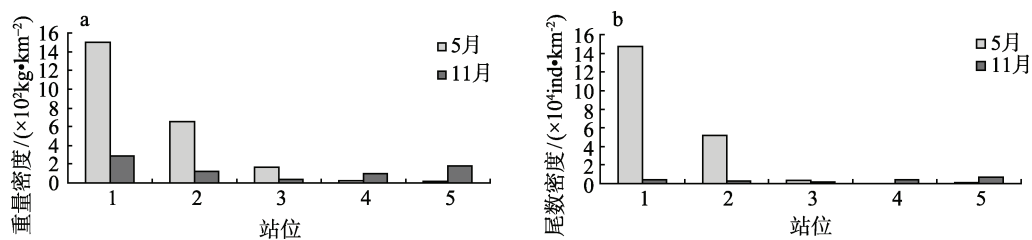


图 2 九龙江口鱼类资源密度

a. 重量密度; b. 尾数密度

Fig. 2 Fish densities in the Jiulong Estuary in 2009

## 2.4 主要优势种

九龙江口 5 月和 11 月鱼类的主要优势种特征见表 2。5 月份优势种相对重要性指数 IRI 最高值为中华海鲢, 尽管其出现率仅为 60%, 但其重量百分比和尾数百分比均占到整个鱼类的 80% 以上, 重量密度和尾数密度也分别高达  $380.62\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$  和  $36094\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$ ; 其次是凤鲚, 尽管出现率高达 100%,

但其重量密度和尾数密度均没有中华海鲢高, 分别为  $46.76\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$  和  $3114\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$ 。

11 月, 中华海鲢仍然是九龙江口最重要的鱼类, IRI 也明显大于其他优势种, 但其重量百分比已经从 5 月的 80.72% 下降到 58.64%, 其重量密度和尾数密度分别为  $84.43\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$  和  $1020\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$ 。凤鲚是尾数的主要优势种, 占总尾数的 32.26%, 出现率达

100%，其重量密度和尾数密度分别为  $5.89\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$  和  $1227\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$ 。另外，条纹斑竹鲨 *Chiloscyllium plagiosum* 和叫姑鱼的重量百分比增加很大。

表 2 2009 年九龙江口主要优势种鱼类生态特性  
Tab. 2 Ecological characteristics of the dominant species in the Jiulong Estuary in 2009

时间	优势种	重量密度 ( $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ )	尾数密度 ( $\text{ind}\cdot\text{km}^{-2}$ )	IRI
5月	中华海鲈	380.62	36094	101.50
	凤鲚	46.76	3114	17.55
	短吻红舌鲷	14.96	54	0.66
	红狼牙鰕虎鱼	6.62	575	1.13
	尖嘴鲷	4.99	15	0.22
11月	中华海鲈	84.43	1020	85.46
	条纹斑竹鲨	16.13	100	8.30
	叫姑鱼	8.71	767	26.21
	短吻红舌鲷	7.06	77	1.38
	凤鲚	5.89	1227	36.35

## 2.5 鱼类多样性指数

九龙江口水域 5 月和 11 月鱼类重量多样性指  $H'$  数值分别为 0.83 和 1.57，均匀度指数  $J'$  分别为 0.25 和 0.52，丰富度指数  $D$  分别为 3.15 和 3.06。可见，11 月九龙江口鱼类的多样性指数、均匀度指数以及营养级指数均比 5 月份高。另外，2009 年各站位鱼类多样性指数  $H'$  平均为 1.20，均匀度指数平均  $J'$  为 0.39，丰富度指数  $D$  平均为 3.11。

## 3 讨论

### 3.1 种类组成和优势种变化

1980—1981 年国家海洋局第三海洋研究所在九龙江口进行了 4 个季度的拖网调查，在厦门西港和九龙江口外侧海区共捕获和鉴定鱼类 41 种，其中中华栉孔鰕虎鱼 *Ctenotrypauchen chinensis* 和孔鰕虎鱼 *Trypauchen vagina* 是该海域的特征种类，叫姑鱼和大鳞舌鲷 *Cynoglossus macrolepidotus* 等为常见种；九龙江口内侧鉴定鱼类 33 种，凤鲚、短吻红舌鲷、短吻三线舌鲷 *C. abbreviatus* 和窄体舌鲷 *C. gracilis*

为该海域的特征种类，中华栉孔鰕虎鱼为常见种<sup>[27]</sup>。本次的调查结果与 1980 年的结果相比，九龙江口鱼类的常见种变化比较大。

另外，1985 年 5 月和 10 月福建省海岸带游泳生物调查在九龙江口两次拖网调查中共鉴定出鱼类 37 种，其中优势种为小眼鲷 *Dasyatis microphthalmus*、龙头鱼 *Harpodon nehereus*、赤鲷和丁氏双鳍电鳐 *Narcine timlei*<sup>[28]</sup>；而本次调查的优势种为中华海鲈、凤鲚、叫姑鱼和红狼牙鰕虎鱼。由此可见，九龙江口鱼类主要优势种由高营养层次的小眼鲷和赤鲷逐渐衰退到低营养层次的中华海鲈和凤鲚，质量呈下滑趋势。

### 3.2 平均营养级变化

海洋营养级指数能准确地反映渔获物及其营养层次的变化趋势，能很好地指示海洋生态系统完整性和生物多样性给人们所提供的产品和服务功能<sup>[29]</sup>，可以作为评价海洋生态系统多样性和健康程度的指标，是《生物多样性公约》缔约方大会评估 2010 年生物多样性目标的 8 个指标之一<sup>[30]</sup>。在海洋生态系统中，鱼类的营养级在食物网中处于相对较高的等级，但近几十年来过度捕捞已经使大型高价值捕食性鱼类的资源衰竭，导致渔获物的平均营养级降低，同时供人们消费的渔获物的总量也相应减少<sup>[31]</sup>。

我国鱼类的营养级近几十年来也有变小的趋势(表 3)。与渤海、黄海、东海<sup>[22]</sup>以及闽东渔场、闽中渔场和闽南-台湾浅滩渔场<sup>[32]</sup>相比，1983—1985 年九龙江口鱼类平均营养级接近于东海，略高于渤海和黄海。1999—2001 年九龙江口鱼类平均营养级与闽东、闽中和闽南-台湾浅滩渔场的相近，略高于渤海和黄海，但略低于东海。2009 年，九龙江口鱼类的平均营养级(3.55)与 2008 年厦门东海域鱼类平均营养级(3.50)<sup>[24]</sup>以及 2010 年泉州湾海域鱼类平均营养级(3.54)接近。九龙江口鱼类的营养级指数由 1985 年的 3.82 下降到 2000 年的 3.58<sup>[33]</sup>，再下降到 2009 年的 3.55，说明其整个生态系统结构发生了较大的变化，鱼类资源处于衰退状态。

表 3 我国不同海区鱼类平均营养级的比较

Tab. 3 Comparison of fish trophic levels in different marine zones of China

年份	渤海	黄海	东海	闽东	闽中	闽南	泉州湾	九龙江口
1983—1985	3.71	3.68	3.80	—	—	—	3.79	3.82
1999—2001	3.46	3.42	3.69	3.57	3.55	3.54	3.58	3.58
2008—2010	—	—	—	—	—	—	3.54	3.55

### 3.3 鱼类多样性的影响因素

与 1985 年 5 月和 11 月的调查数据相比<sup>[28]</sup>, 九龙江口鱼类多样指数明显降低。九龙江口鱼类多样性指数由 1985 年的 3.28 下降到 2009 年的 1.20, 均匀度指数由 1985 年的 0.78 下降到 2009 年的 0.39, 说明近 20 年来九龙江口鱼类的生物多样性降低了。

捕捞是导致营养级指数下降的主要因素<sup>[21]</sup>。厦门沿岸海域的实际渔获量和捕捞力量均超过了 Schaefer 和 Fox 剩余产量模式估算的最大持续产量和最适捕捞力量, 处于过度捕捞状态<sup>[34]</sup>。九龙江口附近曾是长毛对虾 *Penaeus penicillatus*、鳓鱼 *Ilisha elongate* 和真鲷 *Pagrosomus major* 的产卵场, 但现今已不复存在。九龙江口至大嶼一带海域是鳗苗的捕捞场所, 20 世纪 80 年代以来, 每年对溯河鳗苗的掠夺式捕捞导致鳗苗资源急剧下降, 由 1986—1990 年的 2171kg (约 0.235 亿尾) 下降到 1991—1995 年的 1300kg (约 0.14 亿尾)<sup>[35]</sup>, 到 1996 年则只有 867kg<sup>[36]</sup>, 且九龙江降海亲鳗已形不成渔汛<sup>[37-38]</sup>。另外, 厦门海域的定置网渔业对经济幼鱼的捕捞比例相当大, 限制乃至禁止定置网在该海域的作业对于本海域渔业资源的保护与恢复已是刻不容缓<sup>[4,39]</sup>。

其次, 环境污染也是影响鱼类生物多样性的因素之一<sup>[40]</sup>。从污染物平面分布趋势来看, 距离九龙江口越近, 溶解氧含量越低, 而化学需氧量  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、无机氮和活性磷酸盐等含量则越高, 九龙江口污染除了受城市排污的影响外, 受九龙江来水的影响更为强烈。另外, 厦门海域在 2000 年以前发生赤潮较少, 但 2001 年以后每年都有赤潮发生; 原来只有西海域发生赤潮, 现在九龙江口、同安湾和

东部海域都有发生赤潮的记录。九龙江口 1985 年出现的圆腹鲱 *Dussumieria hasseltii* 和赤鲳等对环境敏感的种类在 2009 年则不复出现, 2009 年却出现了一些 1985 年没有出现的对环境适应力强的中小型种类, 如红狼牙鰕虎鱼 *Odontamblyopus rubicundus* 等。

另外, 栖息环境的改变也能引起鱼类生物多样性改变<sup>[41]</sup>。1986—2005 年间, 九龙江河道以外浅滩面积急剧扩大, 增长约 39.01%; 1976 年紫泥岛东侧浅滩未与海门岛西北侧的河口拦门沙相连, 2005 年时已经连成完整的一片。另外, 九龙江北岸、南岸和玉枕洲填海新形成陆域面积分别为 1.56、3.32 和 1.37km<sup>2</sup>。受码头建设影响, 北岸 10m 线向西延伸, 南岸回填引起 5m 线向北迁移。九龙江口周围大量工程建设使得九龙江口邻近海域水动力作用发生变化, 改变了鱼类原来的栖息环境, 从而影响鱼类的多样性, 如由于底质的改变, 2009 年出现了多种鰕虎鱼。值得注意的是, 九龙江流域已经被其上的超过 1000 座水电站切割成数百个不连续的、非自然的河段, 造成生态破碎([www.infzm.com/content/58533](http://www.infzm.com/content/58533))<sup>[42]</sup>, 这对九龙江口的鱼类无疑也有一定的影响。

九龙江口鱼类大多数为沿岸、河口性种类。这些种类绝大多数种类属于地方性种群, 整个生命过程的主要阶段均在沿岸、河口水域度过, 不作长距离洄游, 因此捕捞和栖息环境的变化对其影响很大。属于这一类型的种类主要有中华海鲇和凤鲚等, 这些鱼类资源补充迅速, 通常可承受较大的捕捞强度; 但由于各年间几乎没有剩余群体, 其资源易受当年过度捕捞影响<sup>[22]</sup>。尤其值得注意的是, 九龙江口的鳓鱼等属于生命周期较长且资源补充量少的优质种类, 目前资源量很低, 应加以重点保护。

### 参考文献

- [1] HOBBIE J E. Estuarine Science: a synthetic approach to research and practice[M]. Washington D C: Island Press, 2000: 1-338.
- [2] 江素菲, 陈枫. 九龙江口鱼类浮游生物的生态[J]. 台湾海峡, 1993, 12(4): 351-357.
- [3] 蔡秉及, 王志远. 厦门港及邻近海域的浮性鱼卵和仔、稚鱼[J]. 台湾海峡, 1994, 13(2): 204-208.
- [4] 洪惠馨, 林利民, 翁奋发, 等. 福建九龙江口近海定置作业渔获物组成及其数量变动的调查研究[J]. 台湾海峡, 2004, 23(2): 174-185.
- [5] 林楠, 沈长春, 钟俊生. 九龙江口仔、稚鱼种类组成和季节变化[J]. 南方水产, 2009, 5(4): 1-8.
- [6] 徐宾铎, 金显仕, 梁振林. 秋季黄海底层鱼类群落结构的变化[J]. 中国水产科学, 2003, 10(2): 148-154.
- [7] 刘勇, 李圣法, 程家骅. 东海、黄海鱼类群落结构的季节变化研究[J]. 海洋学报, 2006, 28(4): 108-114.
- [8] 金显仕, 邓景耀. 莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性的变化[J]. 生物多样性, 2000, 8 (1): 65-72.
- [9] 邓景耀, 金显仕. 莱州湾及黄河口水域渔业生物多样性及其保护研究[J]. 动物学研究, 2000, 21 (1): 76-82.
- [10] 李建生, 李圣法, 丁峰元, 等. 长江口近海鱼类多样性的年际变化[J]. 中国水产科学, 2007, 14 (4): 637-643.
- [11] 张衡, 朱国平, 陆健健. 长江口湿地鱼类的种类组成及多样性分析[J]. 生物多样性, 2009, 17(1): 76-81.



- [12] 詹海刚. 珠江口及邻近水域鱼类群落结构研究[J]. 海洋学报, 1998, 20(3): 91-97.
- [13] 李永振, 陈国宝, 孙典荣. 珠江口鱼类组成分析[J]. 水产学报, 2000, 24(4): 312-317.
- [14] 王迪, 林昭进. 珠江口鱼类群落结构的时空变化[J]. 南方水产, 2006, 2(4): 37-45.
- [15] 徐兆礼. 瓯江口海域夏秋季鱼类多样性[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 5948-5956.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化委员会. 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: 1-158.
- [17] 唐启升. 中国专属经济区海洋生物资源与栖息环境[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 1-1237.
- [18] PINKAS L M, OLIPHANT S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonitoin Californian waters[J]. California Fish and Game, 1971, 152: 1-105.
- [19] LUDWING J A, REYNOLDS J F. Statistical ecology[M]. New York: John Wiley & Sons, 1988: 1-368.
- [20] 马克平. 生物群落多样性的测度方法[M]//钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理和方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 38-43.
- [21] PAULY D, CHRISTENSE V, DALAGAARD J, et al. Fishing down marine food webs[J]. Science, 1998, 279: 860-863.
- [22] 张波, 唐启升. 渤、黄、东海高营养层次重要生物资源种类的营养级研究[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(4): 393-404.
- [23] 杜建国, 陈彬, 卢振彬, 等. 泉州湾海域鱼类多样性及营养级变化[J]. 生物多样性, 2010, 18(4): 420-427.
- [24] 黄良敏, 张雅芝, 潘佳佳. 厦门东海域鱼类食物网研究[J]. 台湾海峡, 2008, 27(1): 64-73.
- [25] 张其永, 林秋眠, 林允通, 等. 闽南-台湾浅滩渔场鱼类食物网研究[J]. 海洋学报, 1981, 3(2): 275-290.
- [26] 丘书院, 杨圣云, 洪港船, 等. 闽南-台湾浅滩渔场主要中上层鱼类食物网关系的初步研究[M]//洪华生, 丘书院, 阮五崎, 等. 闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系统研究. 北京: 科学出版社, 1991: 638-645.
- [27] 林双淡. 厦门港湾底栖鱼类群落结构的基本特征及其季节差异[J]. 台湾海峡, 1985, 4(2): 201-208.
- [28] 张澄茂, 汪伟洋. 全国海岸带和海涂资源综合调查游泳生物数量统计[R]. 厦门: 福建水产研究所, 1985: 1-98.
- [29] Conservation on Biological Diversity (CBD). Indicators for assessing progress towards the 2010 target: Marine trophic index[R/OL]. 2004 [2010-12-31]. <http://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-10/information/sbstta-10-inf-18-en.pdf>.
- [30] Conservation on Biological Diversity (CBD). Indicators for assessing progress towards and communicating the 2010 target at the global level [R/OL]. 2004 [2010-12-31]. <http://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-10/official/sbstta-10-09-en.pdf>.
- [31] European Environment Agency. Halting the loss of biodiversity by 2010: Proposal for a first set of indicators to monitor progress in Europe[R]. EEA Technical Report No 11, Copenhagen, 2007: 1-175.
- [32] 李雪丁, 卢振彬. 福建近海渔业资源生产量和最大可持续开发量[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2008, 47(4): 596-601.
- [33] 卢振彬, 戴泉水, 肖方森. 闽南-台湾浅滩海域鱼类资源生产量[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(1): 60-66.
- [34] 卢振彬, 颜允明, 杜琦. 厦门沿岸海域渔业资源变化和最优捕捞力量的估算[J]. 台湾海峡, 1998, 17(3): 309-316.
- [35] 卢振彬. 厦门海域渔业资源评估[J]. 热带海洋, 2000, 19(2): 51-56.
- [36] 方少华, 吕小梅, 张跃平. 九龙江口鳗苗溯河生态与资源研究[J]. 台湾海峡, 1998, 17(2): 143-148.
- [37] 连珍水, 叶孙忠, 张壮丽, 等. 九龙江口鳗苗资源及其利用的研究[J]. 福建水产, 1997, 1: 38-45.
- [38] 吕小梅, 方少华, 张跃平. 九龙江口溯河鳗苗的种类及其形态特征[J]. 台湾海峡, 1999, 18(2): 191-194.
- [39] 黄良敏, 张雅芝, 姚舒栓. 厦门东海域定置网渔获鱼类种类组成及其季节变化[J]. 台湾海峡, 2006, 25(4): 509-520.
- [40] 潘怀剑, 田家怡. 黄河三角洲水质污染对淡水鱼类多样性的影响[J]. 水产科学, 2001, 20(4): 17-20.
- [41] 刘淑德, 钱薇薇. 长江口及其邻近水域鱼类浮游生物群落的时空格局[J]. 生物多样性, 2009, 17(2): 151-159.
- [42] 孟登科, 张晴. 千座水电站遗祸九龙江[N]. 南方周末, 2011-04-28(C9).