

# 1980—2007年大亚湾鱼类物种多样性、区系特征和数量变化\*

王雪辉<sup>1,2\*</sup> 杜飞雁<sup>1,3</sup> 邱永松<sup>1</sup> 李纯厚<sup>1</sup> 孙典荣<sup>1</sup> 贾晓平<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300; <sup>2</sup>上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; <sup>3</sup>厦门大学海洋与环境学院博士后流动站, 福建厦门 361005)

**摘要** 根据 2004—2005 年大亚湾海域底拖网鱼类调查数据, 并结合 1980—2007 年的历史资料, 分析了该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。结果表明: 2004—2005 年, 大亚湾海域共记录鱼类 107 种, 分属 13 目 50 科, 以中下层鱼类的种类最多, 为 48 种, 其次是中上层和底层种类, 分别为 37 种和 21 种。大亚湾鱼类区系具热带和亚热带特性, 以暖水性种类占绝对优势, 为 97 种, 暖温性种类为 10 种。多样性指数以夏季最高 (3.82), 其次是冬季 (3.37) 和秋季 (3.00), 春季最低 (2.40)。Pielou 均匀度指数的季节变化情况与多样性指数相似。1980—2007 年大亚湾海域鱼类群落特征发生了明显的变化: 鱼类种类数减少, 优势种更替明显。鱼类种类数由 1980 年的 157 种减少至 1990 年的 110 种, 2004—2005 年继续减少至 107 种; 鱼类优势种由 1980 年以带鱼和银鲳等优质鱼为主, 更替为以小型和低值的小沙 鲷、小公鱼和二长棘鲷幼鱼为主。用包含年际变化趋势和季节性周期变化的回归模型模拟 1980—2007 年大亚湾鱼类资源密度的变化, 鱼类资源密度在 1980—1999 年和 1990—2007 年两个时期均呈下降趋势, 但 1990—2007 年间下降幅度比 1980—1999 年间大; 1980—1999 年鱼类资源密度的季节波动幅度较平缓 (振幅为 0.099), 而 1990—2007 年的季节波动较大 (振幅为 0.420), 说明 1990—2007 年阶段大亚湾鱼类数量的季节变化更为显著。

**关键词** 鱼类多样性 种类组成 优势种 区系特征 资源密度 大亚湾

文章编号 1001-9332(2010)09-2403-08 中图分类号 S931 文献标识码 A

**Variations of fish species diversity, faunal assemblage, and abundances in Daya Bay in 1980–2007.** WANG Xue-hui<sup>1,2</sup>, DU Fei-yan<sup>1,3</sup>, QIU Yong-song<sup>1</sup>, LI Chun-hou<sup>1</sup>, SUN Dian-rong<sup>1</sup>, JIA Xiao-ping<sup>1</sup> (<sup>1</sup>South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300 China; <sup>2</sup>College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306 China; <sup>3</sup>Post-doctor Research Station, College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005 Fujian, China). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2010, **21**(9): 2403–2410

**Abstract** Based on the 2004–2005 otter trawl survey data and the 1980–2007 relevant historical records, this paper analyzed the variations of fish species composition, faunal assemblage, diversity indices, dominant species, and abundance in Daya Bay. In the 2004–2005 trawl survey, a total of 107 fish species were recorded, belonging to 50 families and 13 orders, among which meso-demersal fish were predominant, with 48 species recorded, and followed by pelagic and demersal fishes with 37 and 21 species, respectively. The fishes in the Bay belonged to tropical and subtropical fauna with the dominance of warm water fishes (97 species) and warm-temperate water fishes (10 species). The diversity index was the highest in summer (3.82), followed by in winter (3.37) and autumn (3.00), and the lowest in spring (2.40). The seasonal variation of Pielou evenness index mimicked that of diversity index. In 1980–2007, the characteristics of fish community in the Bay changed obviously. The species number reduced from 157 species in the 1980s to 110 species in the 1990s and to 107 species in 2004–2005, and the dominant species shifted from the high-value fishes such as hairtail and pomfret in the 1980s to low-value fishes such as sardine fish, an-

\* 中央级公益性科研院所基本科研业务专项 (2010YD1Q 2009TS08) 资助。

\*\* 通讯作者。E-mail: wxhs@163.com

2010-01-27 收稿, 2010-06-21 接受。

chovy and juvenile poig. A non-linear regression model composed of inter-annual trend and seasonal cycle was used to simulate the changes of fish stock density in 1980–1999 and 1990–2007, and the results indicated that in the two periods, the fish stock density in the Bay all showed a decreasing trend, but the decrement was larger in 1990–2007 than in 1980–1999. The seasonal variation of the stock density in 1980–1999 was relatively small, with an amplitude being 0.099, while that in 1990–2007 was relatively larger, with the amplitude being 0.420, illustrating that the fish abundance in the Bay had a larger seasonal fluctuation in 1990–2007.

**Key words** fish diversity; species composition; dominant species; faunal assemblage; stock density; Daya Bay.

大亚湾三面环山,为半封闭海湾,湾内岛屿众多、生境多样,是众多经济鱼类的产卵、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.近30年来,大亚湾捕捞强度不断增加,工业、农业和养殖业等产业迅速发展,特别是大亚湾核电站和南海石化等大型项目的建设和运营,给大亚湾海域生态环境带来巨大的压力.海岸线的改变、湿地的减少以及大量陆源物质的输入等,使大亚湾海域的生态环境发生了较大的变化,海洋生态环境恶化日益严重<sup>[1]</sup>.因此,大亚湾成为资源合理利用和生态环境持续发展之间矛盾极为突出的热点海湾之一.如何处理好上述矛盾,实施科学管理,使大亚湾生态系统进入健康稳定的发展状态,是当前亟待解决的科学问题.

自20世纪80年代末期以来,许多学者对大亚湾鱼类的区系特征<sup>[2-3]</sup>、种类组成<sup>[4]</sup>、繁殖<sup>[5]</sup>、食性<sup>[6]</sup>和资源状况<sup>[7]</sup>等方面开展了大量的研究.近年来,为论证和评估上述项目对大亚湾海域的生态环境产生影响,又开展了调查和研究<sup>[8]</sup>,为系统研究大亚湾生态系统的变化奠定了基础.近30年来,大亚湾鱼类的种类组成和多样性等究竟发生了怎样的变化?本文根据1980–2007年在在大亚湾进行的渔业资源调查数据,并结合历史资料,通过建立非线性回归模型对大亚湾海域近30年来的鱼类物种多样性和资源密度的变化趋势进行分析,以期为大亚湾鱼类资源的保护和可持续利用提供科学管理依据,为研究人类活动和环境变化对大亚湾鱼类群落演替及其生态系统的影响提供基础资料.

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

本研究所用的资料来自1980–2007年来在大亚湾海域进行的渔业资源调查数据<sup>[2-4,6-8]</sup>.其中物种多样性分析的数据来自2004–2005年在在大亚湾

海域进行的4个航次的底拖网渔业资源数据,调查分别为2004年12月、2005年3月、2005年5月和2005年9月,分别代表冬季、春季、夏季和秋季.执行海上调查任务的调查船为“粤东莞00019”和“粤东莞00020”双拖渔船,渔船总吨位分别为108 t和107 t,主机功率均为254 kW.采样网具上纲长度90 m,网口网目尺寸260 mm,网衣全长150 m,网囊目尺寸25 mm.拖网试捕时平均拖速为4.1 km·h<sup>-1</sup>.数量变化趋势分析资料取自1980–2007年间在大亚湾海域开展的底拖网调查鱼类资源密度数据,累计180个站次.本研究分1980–1999年和1990–2007年2个阶段分析大亚湾鱼类资源密度的变化趋势.调查范围示意图见图1,调查区域基本覆盖了整个大亚湾海域.

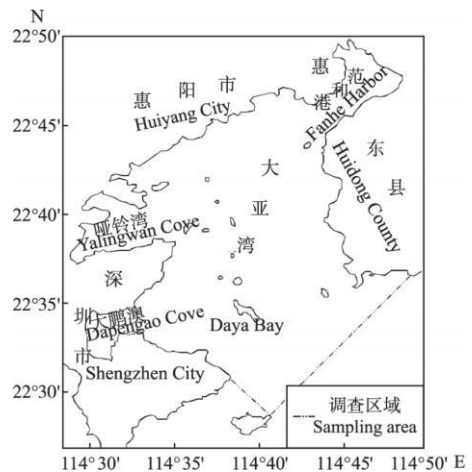


图1 大亚湾调查区域示意图

Fig 1 Sketch map of survey area in the Daya Bay

### 1.2 研究方法

本文选用以下指数计算和分析鱼类群落物种多样性<sup>[9-11]</sup>:

1) Wilhm改进公式:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (w_i / \omega) \log_2 (w_i / \omega)$$

2) Pie lou均匀度指数:

$$J = H' / H_{\max}$$

$$H_{\max} = \log_2 S$$

式中:  $S$  为种数;  $W_i$  为第  $i$  种鱼类的质量;  $W$  为鱼类样品的总质量。

3) 群落季节更替指数 (seasonal dynamics of replacement index,  $AI$ ) 和迁移指数 (migratory index,  $MI$ )<sup>[12-13]</sup>:

$$AI = \frac{C + D}{A - R} \times 100$$

$$MI = \frac{C - D}{A - R} \times 100$$

式中:  $A$  为各 (月) 季节间实际种类数;  $C$  为本季度月新迁入的种类数;  $D$  为本季度月将游出的种类数;  $R$  为全年均出现的种类数。  $AI$  反映物种更替导致群落稳定性降低的季节规律, 其值越大则表示群落稳定性越小。  $MI$  定义为研究系统外迁入与游出种的两成分在群落中的相对比例, 当  $C > D$  时,  $MI$  为正, 即表示迁入种大于游出种; 当  $C$  接近于  $D$  时,  $MI$  则为零, 意味着群落动态平衡。

4) 鱼类群落优势种的分析采用 Pinkas<sup>[14]</sup> 的相对重要性指数 ( $IRI$ ):

$$IRI = (N + W) F$$

式中:  $N$  为某一种类的尾数占总尾数的百分比;  $W$  为某一种类的质量占总质量的百分比;  $F$  为某一种类出现的站数占调查总站数的百分比。

鱼类在群落中的重要性由相对重要性指数 ( $IRI$ ) 来判定:  $IRI > 1000$  为优势种;  $1000 > IRI > 100$  为重要种;  $100 > IRI > 10$  为常见种;  $10 > IRI > 1$  为一般种;  $IRI < 1$  为少有种。

5) 资源密度: 资源密度指单位面积的鱼类生物量 (catch per unit area,  $CPUA$ ), 用下式计算<sup>[15]</sup>:

$$CPUA = C / [v \times t \times L \times 0.67 \times (1 - 0.5)] \quad (1)$$

式中:  $CPUA$  为每个站次的渔获密度 ( $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$ );  $C$  为渔获量 ( $\text{kg}$ );  $v$  为拖速 ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ );  $L$  为上纲长度 ( $\text{km}$ );  $t$  为拖曳时间 ( $\text{h}$ )。

6) 数量变动趋势: 鱼类的数量用资源密度来表示。用非线性回归模型模拟大亚湾鱼类数量的变化趋势<sup>[16]</sup>。各站次资源密度均作对数转换, 以满足正态分布要求。

$$Y_i = a + b \times t_i + c \times \cos \left[ \frac{2\pi}{T} \times (t_i + d) \right] \quad (2)$$

式中:  $Y_i$  为资源密度的对数值;  $t_i$  为时间 (用天数表示);  $T$  为一年天数, 取 365.25 天;  $a, d$  为常数项,  $b, c$

为对应于  $t_i$  的偏回归系数,  $a, b, c$  和  $d$  通过非线性回归迭代求算。该回归模型由两部分组成, 其中,  $a + b \times t_i$  反映鱼类数量的线性年际变动趋势;  $c \times \cos [2\pi/T \times (t_i + d)]$  反映鱼类数量的周期性 (季节) 变动情况。

## 2 结果与分析

### 2.1 大亚湾鱼类群落区系特征

2.1.1 种类组成 2004—2005 年在大亚湾海域共记录鱼类 107 种, 分属 13 目 50 科。以鲈形目为主, 有 29 科 64 种, 占总种数的 59.8%。在各科中, 又以鲈科和石首鱼科的种类最多, 各为 8 种; 其次是鳀科和鲱科, 各为 7 种; 其余各科均不超过 5 种。

2.1.2 生态类型 栖息水层: 在所获的 107 种鱼类中, 以中下层鱼类的种类最多, 为 48 种, 占总种数的 44.86%; 其次是中上层和底层, 分别为 37 和 21 种, 各占 34.58% 和 19.63%; 岩礁鱼类仅有 1 种, 占 0.93%。

适温性: 大亚湾海域鱼类具明显的热带和亚热带特性, 所有种类均属暖水性和暖温性种类, 且以暖水性种类占绝对优势, 有 97 种, 占总种类数的 90.65%; 暖温性种类有 10 种, 占 9.35%。未发现冷温性和冷水性种类。

### 2.2 大亚湾鱼类群落多样性指数及其季节变化

多样性指数是指群落中物种的数目和每一物种的个体数, 是群落结构和功能复杂性的量度。它不仅可以考虑物种的数量, 而且还考虑了群落的异质性, 可更好地认识群落的组成、变化和发展<sup>[17-18]</sup>。

由于鱼类不同种个体和同种个体之间差别较大, Willm<sup>[9]</sup> 提出以生物量代替个体数计算的多样性结果更接近种类间能量的分布。按 Willm<sup>[9]</sup> 改进公式计算了大亚湾各季的鱼类多样性指数 (图 2)。由图 2 可以看出, 鱼类种类数以夏季最高 (57 种), 春季最低 (36 种), 由夏季向秋季、冬季和春季递减。大亚湾鱼类群落多样性指数的变化范围为 2.40 ~ 3.82, 平均 3.15, 以夏季最高 (3.82), 春季最低 (2.40), 秋、冬季变化不大。Pielou 均匀度指数变化情况与多样性指数基本一致。

### 2.3 大亚湾鱼类优势种

在海洋鱼类群落中, 由于物种分布的季节动态多呈现为洄游性更替节律, 导致鱼类群落结构相对不稳定。本文采用 Pinkas<sup>[14]</sup> 的相对重要性指数 (index of relative importance,  $IRI$ ) 来判别大亚湾鱼类的

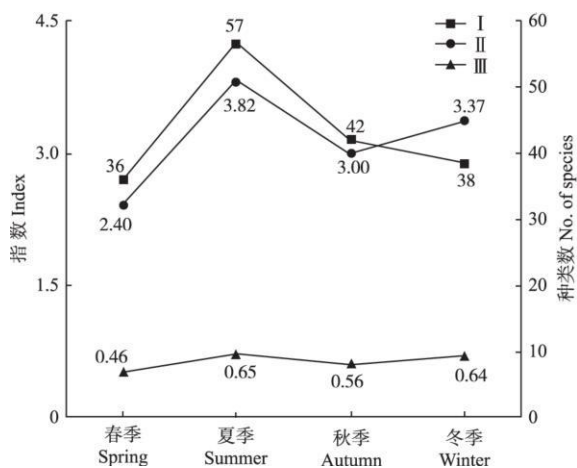


图 2 大亚湾鱼类种类数 (I)、多样性指数 (II) 和均匀度指数 (III) 的季节变化

Fig. 2 Seasonal change of number of species (I), diversity index (II) and Pielou evenness (III) in the Daya Bay

优势种, 该指数结合个体数、生物量组成和出现频率等信息, 已广泛应用于鱼类摄食生态和群落优势种成分的研究中。

表 1 列出大亚湾鱼类各季相对重要性指数在前 10 位的种类名录。不同季节种类的相对重要性差异较大, 主要种类的组成季节更替明显。除斑鲷 (*Clupanodon punctatus*) 和前鳞骨鲷 (*Osteomugil ophuyseni*) 为周年性的重要种类, 青鳞小沙丁鱼 (*Sardinella zunasi*) 和康氏小公鱼 (*Stolephorus commersoni*) 为 3 个季节共有的重要种类外, 其他主要种类均交替出现于各季。

表 1 大亚湾海域各季主要鱼类的相对重要性指数 (2004—2005)

Tab 1 Index of relative importance (IRI) of dominant fish species by seasons (2004—2005)

冬季 Winter		春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumn	
种名 Species	IRI	种名 Species	IRI	种名 Species	IRI	种名 Species	IRI
竹荚鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	6389	短吻鲷 <i>Leignathus brevirostris</i>	2589	青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	8079	康氏小公鱼 <i>Stolephorus commersoni</i>	4110
二长棘鲷 <i>Pargyrops edita</i>	6330	康氏小公鱼 <i>Stolephorus commersoni</i>	2170	赤鼻稜鯧 <i>Thrissa kammalensis</i>	1839	斑鲷 <i>Clupanodon punctatus</i>	2899
斑鲷 <i>Clupanodon punctatus</i>	925	斑鲷 <i>Clupanodon punctatus</i>	1995	前鳞骨鲷 <i>Osteomugil ophuyseni</i>	1403	多齿蛇鲷 <i>Saurida tum bil</i>	676
鲈 <i>Scomber japonicus</i>	414	前鳞骨鲷 <i>Osteomugil ophuyseni</i>	1837	康氏小公鱼 <i>Stolephorus commersoni</i>	1375	黄吻稜鯧 <i>Thrissa vitirostris</i>	618
前鳞骨鲷 <i>Osteomugil ophuyseni</i>	219	青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	746	斑鲷 <i>Clupanodon punctatus</i>	993	短吻鲷 <i>Leignathus brevirostris</i>	469
月腹刺鲷 <i>Gastrophysus lunaris</i>	80	二长棘鲷 <i>Pargyrops edita</i>	705	短吻鲷 <i>Leignathus brevirostris</i>	949	前鳞骨鲷 <i>Osteomugil ophuyseni</i>	294
油鲷 <i>Sphyræna pinguis</i>	35	黄斑鲷 <i>Leignathus bindus</i>	486	丽叶鲷 <i>Carangoides kalla</i>	755	带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>	189
黑鲷 <i>Acanthopagrus schlegelii</i>	33	黄斑蓝子鱼 <i>Siganus oramin</i>	360	月腹刺鲷 <i>Gastrophysus lunaris</i>	91	月腹刺鲷 <i>Gastrophysus lunaris</i>	134
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	27	油鲷 <i>Sphyræna pinguis</i>	181	多齿蛇鲷 <i>Saurida tum bil</i>	90	油鲷 <i>Sphyræna pinguis</i>	115
银牙鱼或 <i>Otolithes argenteus</i>	26	杜氏稜鯧 <i>Thrissa dussumieri</i>	128	带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>	65	鹿斑鲷 <i>Leignathus ruconius</i>	88

大亚湾海域鱼类优势种的更替较为明显, 1980 年代至 1990 年代重要鱼类主要有斑鲷、条鲷 (*Leignathus rivulatus*)、带鱼 (*Trichiurus japonicus*) 和银鲷 (*Pampus argentatus*) 4 种<sup>[19]</sup>。由表 1 可以看出, 2004—2005 年除斑鲷仍居优势种首位外, 其余 3 个优势种均发生了变化, 被小型和低值的小沙丁鱼属鱼类、小公鱼属鱼类和二长棘鲷 (*Pargyrops edita*) 幼鱼所替代。

### 2.4 大亚湾鱼类资源密度趋势分析

根据式 (1) 求算各站次的资源密度, 以采样时间  $t_i$  为自变量, 用经对数转化后的鱼类资源密度值为  $Y_i$ , 根据式 (2) 通过非线性迭代回归分析求算相关参数 (表 2)。

将回归结果进行方差检验后, 得出其相关系数  $R_{1980-1999} = 0.477$  和  $R_{1990-2007} = 0.465$ , 表明模拟结果没有显著性差异, 即  $Y_i$  与  $t_i$  之间的密切程度较强。因此, 大亚湾鱼类资源密度的年际和季节变化回归模型确定为:

$$R_{1980-1999} = 4.454 - 3.486 \times 10^{-5} t_i - 0.099 \times \cos [0.0172 \times (t_i - 57.162)]$$

$$R_{1990-2007} = 6.511 - 9.580 \times 10^{-5} t_i - 0.420 \times \cos [0.0172 \times (t_i - 54.650)]$$

根据以上回归方程拟合的大亚湾鱼类资源密度的变动趋势见图 3

从图 3 可以看出, 1980—1999 年和 1990—2007 年两个时期的鱼类资源密度均呈下降趋势, 但

表 2 根据鱼类资源密度用非线性回归分析估算的模型参数

Tab 2 Parameters estimated from the nonlinear regression models of stock density

年限 Years	参数 Parameter	估算值 Estimate	标准差 Std. error	95% 置信区间 95% Confidence interval	
				下限 Lower bound	上限 Upper bound
1980—1999	a	4.454	7.035	-9.639	18.548
	b	$-3.486 \times 10^{-5}$	0.000	0.000*	0.000*
	c	-0.099	0.107	-0.314	0.115
	d	-57.162	116.069	-289.676	175.353
1990—2009	a	6.511	1.090	4.358	8.665
	b	$-9.580 \times 10^{-5}$	0.000	0.000*	$-3.885 \times 10^{-5}$
	c	-0.420	0.085	-0.587	-0.252
	d	-54.650	12.279	-78.918	-30.382

\*  $< 1.0 \times 10^{-5}$ .

1990—2007年阶段的下降斜率比 1980—1999年阶段大。1980—1999年期间大亚湾鱼类资源密度的季节波动幅度较平缓(振幅为 0.099),而 1990—2007年期间的季节波动较大(振幅 0.420),说明 1990—2007年阶段大亚湾鱼类的季节更替较频繁。

### 3 讨论

#### 3.1 大亚湾鱼类种类组成的变化

从表 3 可见,在大亚湾海域进行的几次较大规模的渔业资源与渔业生态调查中记录的鱼类种类差异较大。徐恭昭<sup>[6]</sup>曾报道 1989年大亚湾鱼类有 157种,林双淡等<sup>[2-4]</sup> 1989年记录 253种,贾晓平<sup>[8]</sup> 1992年记录 110种。本研究 2004—2005年调查共鉴定鱼类 107种,除与以往的共有种外,还记录了花鲮(*C. hrissa*)等 17种。综上,大亚湾鱼类种类达 324种。初步研究表明,近 30年来大亚湾海域鱼类的种类数呈逐年减少的趋势,由 1980年的 157种减少至 2004—2005年的 107种,减少了 50种,但科类数变化不大。

近年来,大亚湾较大规模的填海造地、岛屿爆破、港口建设和养殖开发用地等,使大亚湾的岸线

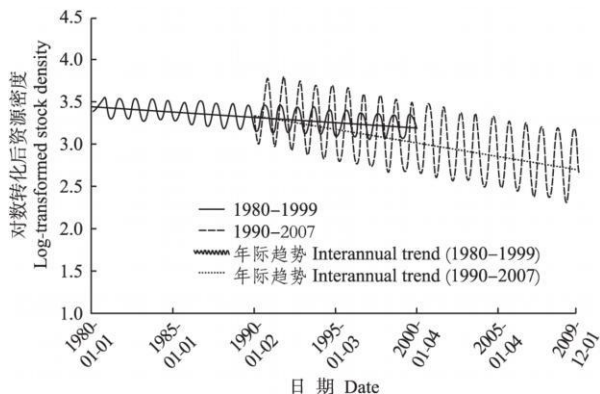


图 3 大亚湾海域鱼类资源密度变化趋势

Fig 3 Trends of fish stock density in the Daya Bay

和淤泥淤积宽度发生了较大的改变。于杰等<sup>[20]</sup>研究表明,1987—2005年,大亚湾岸线缩短了约 9 km,与此同时滩涂状况也发生了较大的变化。栖息地的破坏和改变可能也是鱼类种类数减少的重要原因之一。

#### 3.2 大亚湾鱼类生态类型变化

近 30年间大亚湾所记录的鱼类都以暖水性鱼类占绝对优势,均占渔获种类的 90% 以上,其余为暖温性种类。历次调查均未在大亚湾海域发现冷温性和冷水性种类(图 4)。大亚湾鱼类以中下层鱼类占优势,其次为中上层和底层鱼类,岩礁鱼类最少,但不同年代有所变化。中上层鱼类在大亚湾鱼类中所占比例较为稳定。中下层鱼类从 1980年到 2000年逐年增加。近年来,随着大亚湾经济的发展,深水码头的兴建和航道的挖掘与疏浚,大亚湾海域的底质环境的破坏和扰动现象较为显著,底层鱼类也由 1990年占渔获种类的 23.6% 减至 2000年的 20.4%。由于海岛的开发(如马鞭洲、大辣甲和小辣甲等岛屿成为储油基地和码头),岛礁鱼类赖以生

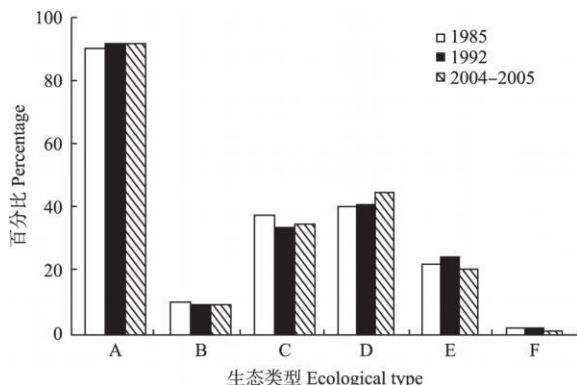


图 4 大亚湾不同年代鱼类的生态类型

Fig 4 Ecological types of the fishes in the Daya Bay in different years

A: 暖水性鱼 Warm-water fish B: 暖温性鱼 Warm-temperate fish C: 中上层鱼 Pelagic fish D: 中下层鱼 Mesodorsal fish E: 底层鱼 Demersal fish F: 岩礁鱼 Reef fish

表 3 不同年代大亚湾海域鱼类的科/种变化

Tab 3 Changes of number of fish families and species in the Daya Bay in different years

序号 No	目 Order	科数 Number of families			种数 Number of species		
		2004—2005	1992	1985	2004—2005	1992	1985
1	须鲨目 <i>Orectolobiformes</i>		1			1	
2	真鲨目 <i>Carcharhiniformes</i>	1	1	1	1	1	2
3	鳐形目 <i>Rajiformes</i>			1			1
4	鲛形目 <i>Myliobatiformes</i>		3	2		3	4
5	海鲢目 <i>Elopiformes</i>		1			1	
6	鲱形目 <i>Clupeiformes</i>	2	2	3	14	12	22
7	灯笼鱼目 <i>Mycetophiformes</i>	2	1	2	4	3	5
8	鳗鲡目 <i>Anguilliformes</i>	4	1		5	1	
9	鲑形目 <i>Siluriformes</i>	1	1		1	1	1
10	银汉鱼目 <i>Atheriniformes</i>	1	1	1	1	1	1
11	颌针鱼目 <i>Belontiiformes</i>	1			1		
12	刺鱼目 <i>Gasterosteiformes</i>	1			1		
13	鲻形目 <i>Mugiliformes</i>	3	3	3	6	6	6
14	鲈形目 <i>Perciformes</i>	29	30	31	64	71	90
15	鲯形目 <i>Scopaeiformes</i>	2	2	3	3	2	7
16	鲾形目 <i>Pleuronectiformes</i>	1	4	2	1	4	5
17	鲀形目 <i>Tetraodontiformes</i>	2	2	3	5	3	13
合计 Total		50	53	52	107	110	157

存的栖息地减少,从而至使岩礁鱼类从 1980年占渔获种类的 1.91% 减至 2000年的 0.93%.

### 3.3 大亚湾鱼类多样性的季节变化

鱼类群落多样性指数反映鱼类生物群落种类组成和结构特点,也是种数和种类间生物量分配均匀性的综合表现.大亚湾海域的鱼类群落多样性指数的变化范围为 2.40~ 3.82,在 Shannon 多样性指数的范围 (1.50~ 3.50) 内<sup>[21-22]</sup>.

如图 5 所示,大亚湾鱼类群落内种间的季节更替是引发多样性指数变化的主要原因.群落季节更替指数 (AI) 的变化规律与种类数的季节变化一致,由夏季到秋季、冬季、春季递减.各季迁移指数 MI 变动较大.大亚湾是多种鱼类的产卵场,春季在大亚

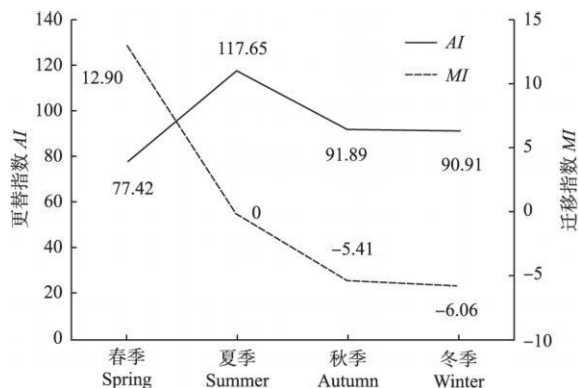


图 5 大亚湾鱼类群落更替指数和迁移指数的季节变化  
Fig 5 Seasonal dynamics of replacement index (AI) and migration index (MI) of the fish community in the Daya Bay.

湾聚集着数量占优势的竹荚鱼 (*Trachurus japonicus*) 幼鱼和二长棘鲷幼鱼,此时 MI 指数为正;夏季,幼鱼在此索饵育肥,群落结构达到一种动态的平衡,此时 MI 指数为零;秋季和冬季,长大的幼鱼大部分逐渐向湾外和近海较深海域迁移,使 MI 指数呈负值.

多样性指数 (H)、种类数 (S) 和群落季节更替指数 (AI) 之间的相关分析表明,多样性指数与种类数和群落季节更替指数正相关 (表 4). 由于群落季节更替指数是反映物种更替导致群落稳定性降低的指标, AI 值越大,说明群落越不稳定,即物种更替较快.因此,种类数较多,从而多样性指数相应较高.

### 3.4 大亚湾鱼类数量变化及优势种更替原因的初步分析

捕捞强度的快速增长是资源密度下降的直接原因之一. 1985—2000年间,广东省海洋捕捞渔船的功率持续增长,尤以 1994—1996年间更为显著,从 1994 年的  $1615.1 \times 10^3$  kW 增加至 1996 年的  $2081.5 \times 10^3$  kW. 据 2000 年统计,南海区共有海洋捕捞渔船

表 4 各群落指数间的相关系数  
Tab 4 Correlation coefficient of community indices in the Daya Bay

	H	S	AI
H	1	0.796	0.920
S		1	0.969
AI			1

81511艘(功率  $4734.4 \times 10^3$  kW), 其中广东、海南和广西 3 省区共有海洋捕捞渔船 77629 艘(功率  $3176.2 \times 10^3$  kW), 港澳地区流动渔船有 3882 艘(功率  $1558.3 \times 10^3$  kW)<sup>[23]</sup>. 袁蔚文等<sup>[24]</sup>估算南海区的最适捕捞作业量约为  $2100.0 \times 10^3$  kW. 再加上福建和越南等在南海区的捕捞作业, 南海北部沿海地区的海洋捕捞能力已大大超过了其最适捕捞作业量. 同时过度捕捞使鱼类个体小型化, 年龄结果简单, 即生命周期长的鱼类减少, 而生命周期短的鱼类数量增加<sup>[24]</sup>. 因此, 鱼类资源密度的季节波动较大且鱼类更替频繁.

徐恭昭等<sup>[6]</sup>研究表明, 20 世纪 80 年代大亚湾海域水质良好和洁净, 能维持较高的初级生产力. 近年来, 大亚湾周边经济的发展造成大亚湾海岸线变化、耕地和湿地减少, 大量陆源物质的输入和水产养殖业的发展等使大亚湾海域的生态环境承受巨大压力. 王友绍等<sup>[1]</sup>的研究表明, 大亚湾已由过去的贫营养发展到中营养状态, 局部海域出现富营养化的趋势, 营养盐限制因子由过去的 N 限制过渡到目前的 P 限制, 目前的 N/P 比率已经偏离正常生态系统的轨道, 且大亚湾澳头港附近海域赤潮频发<sup>[1, 19]</sup>. 王肇鼎等<sup>[19]</sup>探讨了大亚湾生态环境的退化现状及其特征, 认为大型建设造成的岸线变化、耕地湿地减少、陆源物质大量输入、水产养殖发展引发的水质富营养化等人类干扰, 加速了大亚湾生态环境的退化. 诸多研究表明大亚湾的生态环境在人类的过度扰动下正经历着退化的过程. 生物赖以生存的生态环境的退化必然引起生物群落种类组成和数量的变化, 而生物群落的变化也反映出生态环境的改变. 潘金培等<sup>[25]</sup>研究指出, 近年来大亚湾海域石珊瑚白化现象明显, 珊瑚礁群落的优势种变化显著. 杜飞雁等<sup>[26-27]</sup>分析海洋环境中重要生态类群(大型底栖动物)的群落结构及其生产力的变化, 指出大亚湾底栖动物生产力的区域差异与人类活动影响密切相关, 且在人类活动的影响下, 大亚湾底栖动物群落发生了演替, 在人类活动强烈扰动区内经次生演替出现了新的群落. 近 30 年来, 大亚湾海域鱼类生物量明显降低, 优势种的更替较为明显. 20 世纪 80 年代至 90 年代间, 以带鱼和银鲳等经济价值较高的优质鱼占优势; 而今, 大亚湾鱼类小型化和低值化的趋势非常明显. 2004—2005 年, 除斑鰹仍为第 1 优势种外, 其余优势种被小型和较为低值的小沙丁鱼、小公鱼和二长棘鲷幼鱼所替代. 生态环境的退化是大亚湾鱼类群落发生上述变化的原因之一. 此外, 过度捕

捞是使大亚湾鱼类生物量下降的另一重要因素, 由于大亚湾的地理条件优越, 湾内网箱养殖业发展迅速, 而用作网箱养鱼饵料的杂鱼和小鱼主要来自湾内, 从而使湾内的鱼类资源过度开发、补充群体严重受损. 近年来大亚湾海域内非法电鱼事件频繁发生, 部分在湾内作业的渔船在渔具网纲上加装电极, 通过电渔来提高产量. 这种毁灭性的作业方式更是加速了鱼类数量的下降趋势, 也必将引发鱼类和其他生物的群落变化、加剧大亚湾生态系统的退化速度. 非法电渔现象在近岸资源衰退的情况下, 近年来又有频繁发生, 在局部海域较为猖獗. 渔业行政主管部门应密切关注并加强打击力度, 尽快杜绝此类事件的发生, 以保护海洋生物资源.

致谢 厦门大学海洋与环境学院杨圣云教授审阅了此文, 并提出宝贵修改意见; 英国东安格利亚大学环境科学院 William L. Cheung 博士对英文摘要进行润色, 特致谢忱!

#### 参考文献

- [1] Wang Y-S (王友绍), Wang Z-D (王肇鼎), Huang L-M (黄良民). Environment changes and trends in Daya Bay in recent 20 years. *Journal of Tropical Oceanography* (热带海洋学报), 2004, 23(5): 85–95 (in Chinese)
- [2] Lin S-D (林双淡), Zhuang S-D (庄世德), Wang Z-Y (王志远). Characteristics of ichthyofauna in the Daya Bay // Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration (国家海洋局第三海洋研究所), ed. Collections of Papers on Marine Ecology in the Daya Bay (I). Beijing Ocean Press 1989: 153–165 (in Chinese)
- [3] Lin S-D (林双淡), Zhuang S-D (庄世德), Wang Z-Y (王志远). Characteristics of ichthyofauna in the Daya Bay (supplement) // Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration (国家海洋局第三海洋研究所), ed. Collections of Papers on Marine Ecology in the Daya Bay (II). Beijing Ocean Press 1990: 422–425 (in Chinese)
- [4] Lin S-D (林双淡), Zhuang S-D (庄世德), Wang Z-Y (王志远). Composition characters and space-time distribution of experimental fishery trawl in the Daya Bay // Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration (国家海洋局第三海洋研究所), ed. Collections of Papers on Marine Ecology in the Daya Bay (II). Beijing Ocean Press 1990: 298–304 (in Chinese)
- [5] Chen T (陈涛), Lin J-B (林金表), Guo J-F (郭金富), et al. A study on status of red sea bream *Pagrosor*

- mus major* stock in the Daya Bay *Journal of Tropical Oceanography* (热带海洋学报). 2003, **22**(3): 30–35 (in Chinese)
- [6] Xu G-Z (徐恭昭). Environments and Resources of the Daya Bay. Hefei: Anhui Science and Technology Press, 1989 (in Chinese)
- [7] Guangdong Island Resources Survey Team (广东海岛综合调查大队). Report of Island Resources Survey in the Daya Bay. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1992 (in Chinese)
- [8] Jia X-P (贾晓平). Study on the Effect of Pollution on the Ecological Environment and Biological Resources in the South China Sea. Beijing: Ocean Press, 2004: 303–342 (in Chinese)
- [9] Wilhm JL. Use of biomass units in Shannon's formula. *Ecology*, 1968, **49**: 153–156
- [10] Pielou EC. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, **13**: 131–144
- [11] Fei H-N (费鸿年), He B-Q (何保全), Chen G-M (陈国铭). The regional and seasonal variations of diversity and dominant species of demersal fish communities in the continental shelf of northern South China Sea. *Journal of Fisheries of China* (水产学报), 1981, **5**(1): 1–20 (in Chinese)
- [12] Zhu X-H (朱鑫华), Yang JM (杨纪明), Tang Q-S (唐启升). Study on characteristics of fish community structure in the Bohai Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), 1996, **27**(1): 6–13 (in Chinese)
- [13] Zhu X-H (朱鑫华), Wu H-Z (吴鹤洲), Xu F-S (徐凤山), et al. Study on the diversity and its relational factor of the nekton community in the Yellow Sea and Bohai Sea. *Acta Oceanologica Sinica* (海洋学报), 1994, **16**(3): 102–112 (in Chinese)
- [14] Pinkas ER. Ecology of the agamid lizard *Amphibolurus isolepis* in western Australia. *Copeia*, 1971: 527–536
- [15] Sparre P, Venema SC. Introduction to Tropical Fish Stock Assessment. Part I. Manual. Rome: FAO, 1998: 333–342
- [16] Legendre L, Legendre P. Numerical Ecology. New York: Elsevier Scientific Press, 1983: 339–369
- [17] Fisher RA, Corbet SS, Williams CB. The relation between the number of species and number of individuals in a random sample of an animal population. *Journal of Animal Ecology*, 1943, **12**: 42–58
- [18] Song T-X (宋天祥), Zhang G-H (张国华), Chang J-B (常剑波), et al. Fish diversity in Honghu Lake. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 1999, **10**(1): 86–90 (in Chinese)
- [19] Wang Z-D (王肇鼎), Lian J-S (练建生), Hu J-X (胡建兴), et al. Characteristics of degraded ecosystem in Daya Bay. *Ecology Science* (生态科学), 2003, **22**(4): 313–320 (in Chinese)
- [20] Yu J (于杰), Du F-Y (杜飞雁), Chen G-B (陈国宝), et al. Research on coastline change of Daya Bay using remote sensing technology. *Remote Sensing Technology and Application* (遥感技术与应用), 2008, **24**(4): 512–516 (in Chinese)
- [21] Ma K-P (马克平), Liu Y-M (刘玉明). The methods for measuring biodiversity (II). *Biodiversity Science* (生物多样性), 1994, **2**(4): 231–239 (in Chinese)
- [22] Magurran AE. Ecological Diversity and its Measurement. New Jersey: Princeton University Press, 1988
- [23] Qiu Y-S (邱永松), Zeng X-G (曾晓光), Chen T (陈涛), et al. Fishery Resources and Fishery Management in the South China Sea. Beijing: Ocean Press, 2008: 192–193 (in Chinese)
- [24] Yuan W-W (袁蔚文). Dynamics and succession of demersal resources in the Beibu Gulf. *Journal of Fishery Sciences of China* (中国水产科学), 1995, **2**(2): 57–65 (in Chinese)
- [25] Pan J-P (潘金培), Wang Z-D (王肇鼎). Annual Report of Marine Biology Research Station at Daya Bay (II). Beijing: Science Press, 1998
- [26] Du F-Y (杜飞雁), Wang X-H (王雪辉), Li C-H (李纯厚), et al. Variation characteristics of macrobenthos productive in Daya Bay of South China Sea. *Chinese Journal Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(4): 873–880 (in Chinese)
- [27] Du F-Y (杜飞雁), Wang X-H (王雪辉), Li C-H (李纯厚), et al. Macrobenthic community structure in Daya Bay, South China Sea. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2009, **29**(3): 1091–1098 (in Chinese)

---

作者简介 王雪辉,男,1975年生,硕士.主要从事渔业资源与渔业生态研究,发表论文10余篇. E-mail: wxhs@163.com  
责任编辑 肖红

---