

文章编号: 1674 - 5566(2016)06 - 0900 - 08

DOI:10.12024/j.sou.20160401745

湛江湾海域夏季鱼类群落的完整性评价

王学锋¹, 曾嘉维¹, 韩兆方¹, 陈春亮², 林思露¹

(1. 广东海洋大学 水产学院, 广东 湛江 524088; 2. 广东海洋大学 海洋资源与环境监测中心, 广东 湛江 524088)

摘要: 鱼类群落结构及其完整性是渔业资源有效管理的重要组成部分。根据 2008 - 2012 年夏季(8 月)湛江湾海域拖网渔业资源调查数据, 本文通过单位捕捞努力量渔获量(CPUE)、种类相对重要性指数(IRI)、多样性指数分析了鱼类群落结构; 在此基础上应用赋值法构建了鱼类完整性评价指数(F-IBI), 以评价该鱼类群落的完整性和受干扰程度。结果表明: 该海域共捕获鱼类 103 种, 隶属于 17 目 48 科, 以鲈形目种类数(58 种)最多; 质量渔获率、尾数渔获率依次为 39.5 ~ 75.1 kg/h, $1.0 \times 10^3 \sim 1.8 \times 10^4$ 尾/h; 优势种以裘氏小沙丁鱼(*Sardinella jussieu*)为主。鱼类种类丰富度指数(D)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')分别为 3.34 ~ 5.03 和 2.80 ~ 3.28。2008 - 2012 年 CPUE 均值为(16.11 ± 5.13) kg/(kw · d), 整个海湾的年均资源量约为(93.04 ± 26.44)t。鱼类群落完整性分析表明, 2008 - 2012 年湛江湾鱼类群落受轻度干扰, 鱼类群落完整性较好; 2009、2010 年湛江湾鱼类群落受干扰程度较重, 其余年份较小。此外, 2010 - 2012 年鱼类个体平均体质量较 2008 - 2009 年降低了 53.9%, 一定程度上反映了鱼类个体的小型化。

关键词: 湛江湾; 鱼类完整性指数; 群落结构; 健康评价; 鱼类群落

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

近年来, 海洋捕捞中主要经济鱼类渔获率降低、优质鱼比例下降、鱼类小型化等现象使得民众对过度捕捞和资源衰退形成共识^[1-4]。鱼类群落的完整性可为渔业资源的动态监管、增殖放流的科学开展如种类选择、放流方式(时间、地点、规模)优化等提供重要参考依据。生物完整性指数可定量描述人类干扰与生物特征之间的关系, 广泛应用于生态系统健康评价^[5], 而鱼类作为水域生态系统的指标生物, 在构建完整性指数(fish-index of biological integrity, F-IBI)^[6]、流域生态质量状况^[7-9]和生物完整性评价^[10-11]等方面已见诸报道。

与基于水质理化参数进行的水域生态评价相比, F-IBI 的优势在于其通过鱼类群落参数(种类组成、丰度、年龄结构、分布格局)等反映生物沿环境的梯度变化特征: 如各水体支流、同一水体内的小区域生境对鱼类群落的屏障作用以及

外来种的影响程度^[7, 12]。利用 F-IBI 体系分析鱼类完整性多见于河流流域生态健康方面^[13-14], 而海湾方面的尚不多见。湛江湾是亚热带到热带的典型过渡海湾之一, 周围由东海岛、南三岛、特呈岛等大小岛屿环绕而形成天然屏障, 港内水深浪静^[15], 是南海近岸鱼类产卵、索饵的重要栖息地之一。湛江湾及其附近海域有关浮游生物^[16-18]、生态环境^[19-20]及渔业资源^[15]的研究已陆续开展, 而该海域鱼类群落结构的年际变化特征尚未见报道。本文基于 2008 - 2012 年湛江湾的拖网渔业资源调查数据, 构建 F-IBI 指标体系评价其鱼类群落完整性, 以期为该海域的渔业资源养护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

综合考虑航道交通、水深和底质类型等条

收稿日期: 2016-04-19 修回日期: 2016-08-06

基金项目: 广东省高等学校优秀青年教师培养计划(YQ2014002); 公益性行业专项(农业)(201403008); 创新强校项目(GDOU2013050247); 广东海洋大学引进人才科研启动费(E13033); 大学生创新创业训练(CXXL2014014)

作者简介: 王学锋(1980—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为渔业资源与生态学。E-mail: xuefeng1999@126.com

通信作者: 陈春亮, E-mail: f2362900@126.com

件,依据港湾形状从湾内向湾口进行单一断面的梯度式站位布设(图1)。于2008至2012年的每年夏季(8月1日~7日),采用同样的小型双拖网渔船在湛江湾进行渔业资源调查,作业时双拖船间距约100 m,船长均为12.7 m,宽3.8 m,主机功率均为75 kW;调查拖网网口网衣拉直周长为12 m,纵向拉直长度为40 m,结附网衣的上纲长度为60 m,囊网网目尺寸为3 cm。拖速在2.5~3.5 kn之间。每站位拖网作业时间0.5~1 h,调查过程中无大面积破网或其他原因导致渔业调查中断的,视为成功完成拖网调查1次。起网后,参照《海洋调查规范》^[21]完成生物学测定和分析。

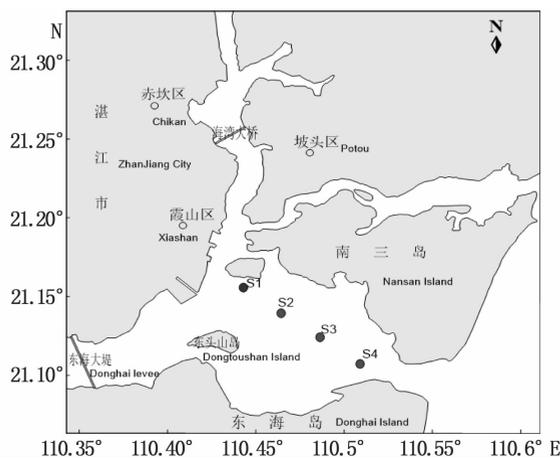


图1 湛江湾海域拖网调查站位

Fig. 1 Trawling stations in Zhanjiang Bay waters

S1~S4为调查站位

Symbols from S1 to S4 were the sampling stations respectively

1.2 分析方法

1.2.1 群落参数

采用单位捕捞努力量渔获量(Catch Per Unit Effort, CPUE)、相对重要性指数(Index of relative important, IRI), Margalef 种类丰富度指数(D)、Shannon-Wiener 指数 H' 和 Pielou 均匀度指数 J 分析群落多样性,并构建 F-IBI 体系分析湛江湾渔业群落的完整性。

(1) CPUE 计算公式如下^[22]:

$$C_{PUE} = \frac{T}{F \times E} \quad (1)$$

式中: T 为渔获物的总质量(kg); F 为捕捞渔船的总功率(kW); E 为捕捞时间(d)。

(2)资源量评估的计算公式如下^[15, 23]:

$$\rho = C/aq \quad (2)$$

$$B = \rho \times A \quad (3)$$

式中: ρ 为资源密度; C 为平均每小时的拖网渔获量; a 为网具每小时的面积(依据2/3浮子纲长与拖速乘积估算); q 为网具的渔获率,取0.5; B 为总资源量; A 为评估海域的面积。

(3)鱼类群落的优势种与主要种分析 采用 IRI 指数^[24]:

$$I_{RI} = 10^4 \times (N + W) \times F \quad (4)$$

式中: $N(\%)$ 为某一类尾数占总尾数的比例; $W(\%)$ 为某一类的质量占总质量的比例; $F(\%)$ 为出现频率,即某一类出现的站位数之和占总站位数的百分比。依据相对重要性指数(IRI)数值大小来确定鱼类在群落中的重要性。根据相关研究^[25],本文将 $I_{RI} > 1000$ 的种类定义为优势种,而介于200~1000之间的为主要种。

(4)鱼类群落多样性分析用以下公式^[26]计算。

Margalef 种类丰富度指数 D :

$$D = (S - 1) \ln N \quad (5)$$

Shannon - Wiener 多样性指数 H' :

$$H' = - \sum P_i \times \ln P_i \quad (6)$$

Pielou 均匀度指数 J :

$$J = H'/\ln S \quad (7)$$

式中: S 为种类数; N 为总尾数; P_i 为第 i 种鱼质量占总渔获质量的比例。

1.2.2 F-IBI 指标体系构建

F-IBI 评价体系通过分析群落的种类组成、多样性及功能结构而构建。指标值在时间序列或站点(区域)两方面的变化,有助于从时间、空间视角评估所研究的鱼类群落的完整性^[13-14]。

结合 F-IBI 的相关研究^[8, 10, 13-14, 27],本文将11个指标作为候选指标(表1),依据各候选指标在其四分位数区间的分布情况和指标的相关性2个准则进行筛选:若某个指标超过90%的样点得分皆为零,则该指标不纳入指标体系;其次是将纳入指标体系的指标进行 Pearson 相关性检验,若 $|R| < 0.9$ 则通过检验,若 $|R| > 0.9$ 则认为此2个指标高度相关,只选其一^[5, 28]。

对生物学指标进行计分以便统一评价量纲^[24]。本文采用目前 IBI 研究中应用较多的1、3、5赋值法^[8, 29],即将各指标的实际值在最低至最高范围内均分为3个区间,高值区间记为5分,中值区间记为3分,低值区间记为1分。F-IBI 值

为各参数标准化计分后的总和。

本文以 5 年 IBI 值分布的 75% 分位数作为健康评价的标准,若 IBI 分值大于或等于 75% 分位

数值,则表示该年份鱼类群落受干扰程度较小;若 IBI 值小于 75% 分位数值,则表示该年份鱼类群落结构受干扰程度较大。

表 1 群落完整性体系候选指标

Tab. 1 List of fish-index of biological integrity candidate metrics

归类 class	候选参数指标 candidate indices	参数缩写 abbreviation
个体及种群参数 individual and population parameters	鱼类总种类数	M1
	鲈形目鱼类种类数	M2
	鲱形目鱼类种类数	M3
	鲱形目鱼类种类数	M4
	鱼类个体总数	M5
群落参数 community parameters	鱼类丰富度指数	M6
	Shannon-Wiener 多样性指数	M7
	相对重要性指数	M8
	平均网获质量	M9
	平均网获尾数	M10

2 结果与分析

2.1 种类总数与渔获质量

2008 - 2012 年夏季连续 5 年的湛江湾拖网渔业资源调查,共采集到鱼类 103 种,隶属于 48 科 17 目,以鲈形目(共 58 种)的鲹科、石首鱼科和鲷科,鲱形目的鲟科和鲱科以及鲱形目的鲱科和鳊科为主。2008 - 2012 年夏季湛江湾平均资源密度为 $(357.86 \pm 101.70) \text{ kg/km}^2$,以湾内海域面积 260 km^2 计,湛江湾内年均资源量约 $(93.04 \pm 26.44) \text{ t}$ 。

2008 - 2012 年湛江湾海域 CPUE 的年均值为 $(16.11 \pm 5.12) \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{d})$ 。2009 年 CPUE 均值 $[12.09 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{d})]$ 较 2008 年 $[13.20 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{d})]$ 降低 8.41%;而 2010 年 $[22.84 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{d})]$ 则比 2009 年增加 88.91%;2011 年 $[12.02 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{d})]$ 则与 2009 年持平;而 2012 年 CPUE $[20.40 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{d})]$ 较 2011 年增加 69.72%。

2008 - 2012 年湛江湾鱼类质量渔获率均值为 53.02 kg/h ,其中 2010 和 2012 年相对较高,分别为 75.11 kg/h 和 67.17 kg/h ;其次为 2008 年 (43.47 kg/h) ,2009 与 2011 年较接近,分别为 39.81 kg/h 和 39.55 kg/h 。2008 - 2012 年尾数渔获率均值为 $9.28 \times 10^3 \text{ 尾/h}$,以 2010 年最高 $(18.0 \times 10^3 \text{ 尾/h})$,其次为 2012 年 $(13.6 \times 10^3 \text{ 尾/h})$,2011 年 $(6.9 \times 10^3 \text{ 尾/h})$;2008 与 2009 年较接近,分别为 $4.4 \times 10^3 \text{ 尾/h}$ 、 $3.4 \times 10^3 \text{ 尾/h}$ 。从

鱼类的个体平均质量来看,以 2009 年最高,为 11.59 g/尾 ,其次为 2008 年 (9.84 g/尾) ,而 2010 - 2012 年则分别为 4.17 g/尾 、 5.73 g/尾 、 4.92 g/尾 ,此 3 年的均值较 2008 - 2009 年的均值降低了 53.9%,一定程度上反映了鱼类个体的小型化。

2.2 优势种与主要种类

2008 年的优势种是裘氏小沙丁鱼 (*Sardinella jussieu*)、丽叶鲹 (*Alepes djedaba*)、鹿斑鲷 (*Secutor ruconius*) 和杜氏棱鳀 (*Thryssa dussumieri*),前两者的渔获质量分别占总渔获质量的 10.3% 和 9.9%;2009 年的优势种为尖头斜齿鲨 (*Scoliodon laticaudus*)、裘氏小沙丁鱼和杜氏棱鳀,其中尖头斜齿鲨的渔获质量占总渔获质量的 10.1%,而裘氏小沙丁鱼由 10.3% 减至 0.6%,杜氏棱鳀也由 2008 年的 2.9% 减少至 0.6%;2010 年优势种为裘氏小沙丁鱼和汉氏棱鳀 (*Thryssa hamiltoni*),裘氏小沙丁鱼所占总渔获质量比率上升至 32.0%;2011 年优势种是裘氏小沙丁鱼、前鳞骨鲷 (*Osteomugil ophuyseni*) 和杜氏棱鳀,裘氏小沙丁鱼所占总渔获质量的比率为 10.7%;前鳞骨鲷所占的比率上升至 16.7%;2012 年优势种为裘氏小沙丁、印度鲷 (*Ilisha melastoma*)、杜氏棱鳀和白氏银汉鱼 (*Hypoatherina valenciennei*),其中,裘氏小沙丁鱼所占总渔获质量比率为 37.2%,其余 3 种总共占总渔获质量的 9.9%。

2008 年湛江湾主要种类有 9 种,依次为尖头斜齿鲨、斑鲷 (*Konosirus punctatus*)、印度鲷、汉氏

棱鯧、龙头鱼 (*Harpadon nehereus*)、钝鲟 (*Sphyaena obtusata*)、前鳞骨鲯、粗鳞鲛 (*Liza subviridis*) 和银牙鲷 (*Otolithes ruber*); 2009 年主要种类增至 16 种, 较 2008 年新增种类为康氏小公鱼 (*Stolephorus commersonii*)、赤鼻棱鯧 (*Thryssa kammalensis*)、间鳢 (*Hyporhamphus intermedius*)、丽叶鲷、大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)、鹿斑鲷、沙带鱼 (*Lepturacanthus savala*)、康氏马鲛 (*Scomberomorus commerson*)、中国鲷 (*Pampus chinensis*) 和棕斑腹刺鲷 (*Lagocephalus spadiceus*); 2010 年主要种类有尖头斜齿鲨、斑鲹、印度鲷、白氏银汉鱼、钝鲟、丽叶鲷和康氏马鲛共 7 种; 2011

年主要种类仅尖头斜齿鲨、汉氏棱鯧、康氏马鲛和棕斑腹刺鲷 4 种; 2012 年主要种类为尖头斜齿鲨、间鳢、钝鲟、鹿斑鲷和沙带鱼 5 种。

2008 年至 2012 年湛江湾优势种占总渔获质量比率呈上升趋势, 由 2009 年 11.3% 上升至 2012 年 47.2%; 而裘氏小沙丁鱼作为绝对优势种, 产量由 2009 年 0.6% 上升为 2012 年 37.2%。在主要种方面, 2010 年种类数明显下降 (2009 年 21 种, 而 2010 年仅 10 种), 2011 和 2012 年皆为 6 种; 2008 ~ 2012 年主要种类渔获质量占总渔获质量的比例亦明显下降, 依次为 25.8%、55.0%、29.7%、24.6% 和 13.9%。

表 2 湛江湾拖网渔业生物主要种类的年间变化

Tab. 2 Annual variations of important trawling fishes in Zhanjiang Bay waters

种类 species	年份 year									
	2008		2009		2010		2011		2012	
	W/%	IRI	W/%	IRI	W/%	IRI	W/%	IRI	W/%	IRI
尖头斜齿鲨 <i>Scoliodon laticaudus</i>	5.5	604	10.1	1317	2.8	279	6.8	700	2.5	271
裘氏小沙丁鱼 <i>Sardinella jussieu</i>	10.3	3 536	0.6	1 039	32.0	8 325	10.7	6 615	37.2	8 107
斑鲹 <i>Konosirus punctatus</i>	4.8	542	3.7	627	2.4	261	1.7	190	1.6	193
印度鲷 <i>Ilisha melastoma</i>	1.5	589	0.1	271	2.8	945	0.3	128	5.0	2 087
康氏小公鱼 <i>Stolephorus commersonii</i>	0.3	132	0.8	599	0.4	81	0.2	68	0.3	137
赤鼻棱鯧 <i>Thryssa kammalensis</i>	0.3	106	0.3	238	-	-	0.2	28	0.3	57
汉氏棱鯧 <i>Thryssa hamiltoni</i>	2.7	399	4.4	748	4.1	2416	2.0	255	0.2	32
杜氏棱鯧 <i>Thryssa dussumieri</i>	2.9	1 900	0.6	2 171	-	-	1.6	1 317	2.4	1 470
长颌棱鯧 <i>Thryssa setirostris</i>	0.1	31	-	-	-	-	0.3	64	0.6	125
龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	2.1	200	2.3	267	1.5	128	-	-	0.9	80
白氏银汉鱼 <i>Hypoatherina valenciennesi</i>	0.0	13	0.1	61	1.2	750	0.0	8	2.5	1 650
间鳢 <i>Hemiramphus intermedius</i>	0.4	64	1.4	360	0.1	12	-	-	1.5	213
钝鲟 <i>Sphyaena obtusata</i>	2.2	252	4.2	625	3.1	271	-	-	3.1	285
前鳞骨鲯 <i>Osteomugil ophuyseni</i>	2.4	273	0.6	174	-	-	16.7	2 124	1.3	117
粗鳞鲛 <i>Liza subviridis</i>	2.4	256	3.7	583	1.6	137	-	-	1.5	134
丽叶鲷 <i>Alepes djedaba</i>	9.9	1 729	2.2	894	2.4	482	0.1	23	0.9	162
卵形鲳鲹 <i>Trachinotus ovatus</i>	1.0	86	-	-	1.1	87	2.3	191	0.9	72
银牙鲷 <i>Otolithes ruber</i>	2.2	205	-	-	0.4	31	0.3	34	0.9	76
大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i>	0.8	74	2.6	372	0.7	55	1.0	90	-	-
鹿斑鲷 <i>Secutor ruconius</i>	3.4	3 626	0.4	403	0.6	186	0.1	90	1.3	379
金钱鱼 <i>Scatophagus argus</i>	0.9	80	-	-	0.6	54	0.7	57	0.6	50
沙带鱼 <i>Lepturacanthus savala</i>	0.2	22	1.0	248	-	-	0.0	6	2.5	233
康氏马鲛 <i>Scomberomorus commerson</i>	-	-	4.5	399	7.0	588	4.4	428	1.3	121
中国鲷 <i>Pampus chinensis</i>	1.1	100	2.1	206	0.7	56	-	-	1.9	159
棕斑腹刺鲷 <i>Lagocephalus spadiceus</i>	1.1	141	1.5	309	1.5	170	2.2	241	1.8	198

2.3 群落的多样性与完整性

湛江湾 2008 - 2012 年鱼类多样性指数的变化见表 3。多样性指数 (H') 和均匀度指数 (J)、丰富度指数 (D) 存在一定的波动, 但总体上鱼类的群落结构相对稳定。

表 1 中的 10 个候选指标都通过了筛选。

Pearson 相关性检验 (表 4) 表明, Shannon-wiener 多样性指数 ($M7$) 与鱼类个体总数 ($M5$)、平均网获质量 ($M9$)、平均网获尾数 ($M10$), 以及鲱形目 ($M4$) 与鲷形目 ($M3$) 相关性显著, 因此最终确定了 6 个 F-IBI 指标 (表 5), 以评价湛江湾鱼类群落完整性。

表 3 2008 - 2012 年湛江湾鱼类群落多样性指数的变化

Tab. 3 Variation of biodiversity indices of fish community in Zhanjiang Bay waters from 2008 to 2012

多样性指数 biodiversity index	2008	2009	2010	2011	2012	均值 (mean ± SD)
种类丰富度 species richness (<i>D</i>)	4.69	4.46	3.34	5.03	4.58	4.42 ± 0.64
多样性 diversity (<i>H'</i>)	3.28	3.28	2.80	3.10	2.93	3.08 ± 0.22
均匀度 evenness (<i>J</i>)	0.83	0.87	0.75	0.76	0.73	0.79 ± 0.06

表 4 候选指标间的 Pearson 相关系数

Tab. 4 The Pearson coefficients between the nine candidate metrics

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
M1	1									
M2	0.798	1								
M3	0.495	0.226	1							
M4	0.492	0.408	0.946*	1						
M5	-0.070	0.441	0.001	0.214	1					
M6	0.784	0.293	0.454	0.308	-0.665	1				
M7	0.083	-0.352	-0.101	-0.263	-0.980*	0.646	1			
M8	0.037	0.541	0.185	0.487	0.766	-0.441	-0.672	1		
M9	-0.254	0.287	0.029	0.270	0.948	-0.761	-0.916*	0.863	1	
M10	-0.070	0.441	0.001	0.214	1.000	-0.665	-0.980*	0.766	0.948*	1

表 5 6 个参数指标及其对干扰的反应

Tab. 5 Six metrics and their response to human disturbance

属性归类 attributes	参数指标 metrics	参数缩写 abbreviation	对干扰的反应 response to disturbances
个体及种群参数 parameters of individual and population	鱼类总种类数	B1	下降
	鲈形目鱼类种类数	B2	下降
	鲱形目鱼类种类数	B3	下降
群落特征 traits of community	鱼类丰富度指数	B4	下降
	Shannon-Wiener 多样性指数	B5	下降
	相对重要性指数	B6	下降

基于 F-IBI 的评价结果(表 6)表明:2008 年、2012 年 F-IBI 值分别为 24、26,鱼类群落结构完整性受干扰程度最小;2011 年群落结构完整性受轻度干扰(F-IBI 值均为 20)。2009、2010 年受

干扰程度较严重(F-IBI 值均为 14)。综合 5 年的评价结果,湛江湾鱼类群落整体受轻度干扰程度(F-IBI 均值为 20,较轻),鱼类群落完整性较好。

表 6 湛江湾 IBI 各参数指标的评分计算

Tab. 6 IBI metrics scoring criteria for Zhanjiang harbor waters

	5	3	1	最大值 Max	最小值 Mix	75% 中位数
B1	>55	45 - 55	<45	58	42	56
B2	>25	15 - 25	<15	28	13	25
B3	>10	8 - 10	<8	12	8	9
B4	>4.50	3.50 - 4.50	<3.50	5.03	3.34	4.69
B5	>3.20	3.00 - 3.20	<3.00	3.28	2.8	3.28
B6	>16000	15000 - 16000	<15000	17423	14381	16564

3 讨论

3.1 渔获的种类、质量与渔具选择性密切相关

渔业资源调查所采用的渔具及渔具的选择性对渔业资源调查结果有重要影响。黄梓荣等^[15]采用单拖网具对湛江湾海域进行的调查结果与本文所采用的双拖网渔具是造成鱼类群落种类、数量差异的一个因素。作为主动性捕捞渔具,拖网具有选择性小、捕捞种类(特别是低层、近底层栖息种类)数量均较多的特点,因此在渔业资源调查和游泳生物群落生态学研究中的应用广泛^[15, 29]。影响拖网选择性的因素主要有渔具材料(包括网目尺寸、形状、囊网直径、网线材料,缩结)、渔具装配工艺、以及拖网作业时网具在水中的张开程度与拖速等 3 方面。本文调查中采用的拖网囊目尺寸为 3 cm,主要是由于近岸海域捕捞作业空间范围小,可捕捞时间短,若采用小网目囊网(2 cm)会影响拖速而降低游泳能力强的鱼类的种类和数量。

鱼类在水域中的洄游、移动等是渔业资源调查不确定性的另一主要因素。2005 年秋、冬季湛江港海域的渔业资源调查结果^[15]表明,湛江港内的鱼类质量渔获率介于 9.33 ~ 66.21 kg/h,资源密度 560.00 ~ 1189.06 kg/km²。本文 2008 - 2012 年湛江湾鱼类渔获质量均值为 53.02 kg/h,其中 2010 年最高,为 75.11 kg/h。可以看出,总体上湛江湾内的鱼类生物密度与 2005 年相比没有出现剧烈波动,一是湛江湾的主要功能是航运、小型网箱养殖(2012 年 1 月起湾内已全面禁止网箱养殖),除资源调查外无大量商业性捕捞;二是本文调查的夏季为南海伏季休渔刚结束的第一周内进行,渔获率相对其他季节要高。鉴于渔业资源本身的季节波动和调查时间、站位的差异,今后湛江湾的渔业资源年际、季节变化需继续深入研究以增强数据的可比性,准确评价其鱼类群落健康状况。

3.2 鱼类种类组成的变化及影响因素

结合历史资料与本文研究结果,2005 年秋、冬季、2008 - 2012 年夏季两个监测时段鱼类的总种类数变化较小。2005 年秋、冬 2 季捕获鱼类 89 种,包括 2 种软骨鱼类和 87 种硬骨鱼类,而鲈形目在硬骨鱼类中的种类数最多(44 种)^[15]。本文调查鱼类 103 种,包括鲈形目(58 种)。

2008 - 2012 年湛江湾优势种类的年际更替亦多表现为这些中上层小型鱼类相对资源量的变化。2009 年裘氏小沙丁鱼占总渔获质量的比例较 2008 年大幅度下降,而在 2010 年又迅速增加;2010 年汉氏棱鲷是优势种,而其他四个年份调查中,杜氏棱鲷则是优势种等。尽管调查期间裘氏小沙丁鱼一直是优势种,但其渔获质量存在年际波动,且 2010 - 2012 年个体平均质量明显低于 2008 - 2009 年。造成此波动的因素较多,包括该海域的捕捞努力量、水体状况及海湾内网箱养殖、湛江港东海岛一侧的涉海类工程等。

湛江湾海域的优势种和主要种类是中上层小型鱼类(如裘氏小沙丁、棱鲷、银汉鱼,小公鱼、鲷、丽叶鲷等),其共同特点是营养层次低,生长速度快,而低营养层次鱼类种类和数量的增加很可能降低该海湾的生态可塑性^[30],并导致生态系统结构和功能的改变。高营养层次的鱼类尽管数量少,但在鱼类群落稳定方面较低营养层次的鱼类扮演更为重要的角色^[30]。高营养层次的鱼类一般栖息范围较广,其在湾内的资源量受到迁入迁出的种群移动和海湾的饵料生物、水域环境的双重影响。湛江湾海域尖头斜齿鲨、沙带鱼、康氏马鲛等较高营养层次的鱼类较少。另外 2010 - 2012 年鱼类个体平均质量较 2008 - 2009 年降低,而整个海湾鱼类群落整体受轻度干扰。湛江湾东海岛一侧钢铁、石化工业兴起,人类活动对海湾生态系统的干扰程度日益增强,鱼类资源量和群落的完整性是海湾生态系统健康与否的重要指标之一,在定量评价各种影响因素的影响程度方面仍存在诸多困难。

参考文献:

- [1] 林龙山,程家骅,凌建忠. 东海区底拖网渔业资源变动分析[J]. 海洋渔业, 2007, 29(4): 371 - 374.
LIN L S, CHENG J H, LING J Z. Analysis on recent status of the bottom trawl fishery resources in the East China Sea region[J]. Marine Fishery, 2007, 29(4): 371 - 374.
- [2] 王学锋,冯波,卢伙胜. 2008 年南海北部拖网渔获组成及其多样性分析[J]. 渔业现代化, 2010, 37(1): 47 - 51, 59.
WANG X F, FENG B, LU H S. Catch composition and species diversity of the bottom trawl fishery in the northern South China Sea in 2008[J]. Fishery Modernization, 2010, 37(1): 47 - 51, 59.
- [3] 程家骅,姜亚洲. 捕捞对海洋鱼类群落影响的研究进展

- [J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 359-366.
- CHENG J H, JIANG Y Z. Methods of evaluating fishing effects on fish community[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(2): 359-366.
- [4] PITCHER T J. Ecosystem goals can reinvigorate fisheries management, help dispute resolution and encourage public support[J]. Fish and Fisheries, 2000, 1(1): 99-103.
- [5] 王备新, 杨莲芳, 刘正文. 生物完整性指数与水生态系统健康评价[J]. 生态学杂志, 2006, 25(6): 707-710.
- WANG B X, YANG L F, LIU Z W. Index of biological integrity and its application in health assessment of aquatic ecosystem[J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(6): 707-710.
- [6] 廖静秋, 黄艺. 应用生物完整性指数评价水生生态系统健康的研究进展[J]. 应用生态学报, 2013, 24(1): 295-302.
- LIAO J Q, HUANG Y. Research progress on using index of biological integrity to assess aquatic ecosystem health[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(1): 295-302.
- [7] BREINE J, SIMOENS I, GOETHALS P, et al. A fish-based index of biotic integrity for upstream brooks in Flanders (Belgium)[J]. Hydrobiologia, 2004, 522(1/2/3): 133-148.
- [8] KARR J R. Assessment of biotic integrity using fish communities[J]. Fisheries, 1981, 6(6): 21-27.
- [9] KARR J R, FAUSCH K D, ANGERMEIER P L, et al. Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale[J]. Illinois Natural History Survey, 1986, 5: 1-28.
- [10] KIMMEL W G, ARGENT D G. Development and application of an index of biotic integrity for fish communities of wadeable monongahela river tributaries[J]. Journal of Freshwater Ecology, 2006, 21(2): 183-190.
- [11] PÉREZ-DOMÍNGUEZ R, MACI S, COURRAT A, et al. Current developments on fish-based indices to assess ecological-quality status of estuaries and lagoons[J]. Ecological Indicators, 2012, 23: 34-45.
- [12] FORE L S, KARR J W, CONQUEST L L. Statistical properties of an index of biological integrity used to evaluate water resources[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1994, 51(5): 1077-1087.
- [13] 裴雪姣, 牛翠娟, 高欣, 等. 应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康[J]. 生态学报, 2010, 30(21): 5736-5746.
- PEI X J, NIU C J, GAO X, et al. The ecological health assessment of Liao River Basin, China, based on biotic integrity index of fish[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(21): 5736-5746.
- [14] 郑海涛. 怒江中上游鱼类生物完整性评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- ZHENG H T. Evaluating the biotic integrity of up and middle reaches of Nujiang River based on fish assemblages[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006.
- [15] 黄梓荣, 张汉华, 钟智辉, 等. 湛江港邻近水域游泳生物种类组成和资源密度的分布[J]. 南方水产, 2006, 2(5): 51-55.
- HUANG Z R, ZHANG H H, ZHONG Z H, et al. Species composition and stock density of nekton in the adjacent waters of Zhanjiang port[J]. South China Fisheries Science, 2006, 2(5): 51-55.
- [16] 吕颂辉, 齐雨藻, 钱宏林, 等. 湛江港浮游植物与赤潮植物的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(2): 190-196.
- LÜ S H, QI Y Z, QIAN H L, et al. Studies on phytoplankton and red tide causative species in Zhanjiang harbour, South China Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1994, 25(2): 190-196.
- [17] 张才学, 龚玉艳, 孙省利. 湛江港湾浮游植物的群落结构特征[J]. 海洋通报, 2012, 31(5): 530-538.
- ZHANG C X, GONG Y Y, SUN X L. Study on the ecological characteristics of phytoplankton community in Zhanjiang Bay[J]. Marine Science Bulletin, 2012, 31(5): 530-538.
- [18] 张才学, 龚玉艳, 王学锋, 等. 湛江港湾浮游桡足类群落结构的季节变化和影响因素[J]. 生态学报, 2011, 31(23): 7086-7096.
- ZHANG C X, GONG Y Y, WANG X F, et al. The effects of season and environmental factors on community structure of planktonic copepods in Zhanjiang Bay, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(23): 7086-7096.
- [19] 彭昆仑, 贾后磊. 湛江港外海水富营养化水平与浮游植物多样性[J]. 海洋通报, 2007, 26(2): 113-116.
- PENG K L, JIA H L. Level of eutrophication and phytoplankton diversity outside the Zhanjiang Bay[J]. Marine Science Bulletin, 2007, 26(2): 113-116.
- [20] 张才学, 孙省利, 陈春亮. 湛江港附近海域潮间带海水、沉积物和贝类体内的重金属[J]. 广东海洋大学学报, 2011, 31(1): 67-72.
- ZHANG C X, SUN X L, CHEN C L. Heavy metals in seawater, surface sediment and shellfishes in tideland of Zhanjiang Harbor[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2011, 31(1): 67-72.
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会 GB/T12763.6—2007 海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- The State Administration of Quality Supervision, Inspection and quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee. GB/T12763.6—2007 Specifications for oceanographic survey-part 6: marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [22] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.

- ZHAN B Y. Stock assessment [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1995.
- [23] 贾晓平,李纯厚,林昭进,等. 北部湾渔业生态环境与渔业资源[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- JIA X P, LI C H, LIN Z J, et al. Fisheries and eco-environments in the Beibu Gulf [M]. Beijing: Science Publishing House, 2003.
- [24] PINKAS L, OLIPHANT M S, IVERSON I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [J]. California Department of Fish and Game, Fish Bulletin, 1971, 152: 1-105.
- [25] 乔延龙,陈作志,林昭进. 北部湾春、秋季渔业生物群落结构的变化[J]. 中国水产科学, 2008, 15(5): 816-821.
- QIAO Y L, CHEN Z Z, LIN Z J. Changes of community structure of fishery species during spring and autumn in Beibu Gulf[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(5): 816-821.
- [26] 沈国英,黄凌风,郭丰,等. 海洋生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- SHEN G Y, HUANG L F, GUO F, et al. Marine ecology [M]. Beijing: Science Publishing House, 2010.
- [27] BREINE J, SIMOENS L, GOETHALS P, et al. A fish-based index of biotic integrity for upstream brooks in Flanders (Belgium)[J]. Hydrobiologia, 2004, 522(1/2/3): 133-148.
- [28] 渠晓东. 香溪河大型底栖动物时空动态、生物完整性及小水电站的影响研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.
- LIANG X D. Studies on the spatial-temporal variation and biological integrity of macroinvertebrate in the Xiangxi River, and the impact of small hydropower on its communities[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2006.
- [29] 唐衍力,黄六一,赵芬芳. 关于拖网选择性影响因子的分析研究[J]. 海洋湖沼通报, 2003, (3): 89-95.
- TANG Y L, HUANG L Y, ZHAO F F. Analysis of the influential factors for trawl selectivity[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2003, (3): 89-95.
- [30] RAPPORT D J, COSTANZA R, MCMICHAEL A J. Assessing ecosystem health[J]. Trends in Ecology & Evolution, 1998, 13(10): 397-402.

Biotic integrity assessment of summer fish communities in Zhanjiang Bay waters

WANG Xuefeng¹, ZENG Jiawei¹, HAN Zhaofang¹, CHEN Chunliang², LIN Silu¹

(1. College of Fisheries Science, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong, China; 2. Monitoring Center for Ocean Resources and Environments, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong, China)

Abstract: The fish community structure and its biotic integrity are indispensable for effective fisheries management. The field surveys were conducted in Zhanjiang Bay waters every August from 2008 to 2012 using pair trawls. A total of 103 species were recorded, of which there were 58 species belonging to Perciformes, including 48 families, 17 orders. The catch per hour and numbers per hour ranged from 39.5 kg/h to 75.1 kg/h and from 1.0×10^3 ind/h to 1.8×10^4 ind/h respectively. Following were the community parameters: *Sardinella jussieu* was the dominant species for five years; the Margalef's species richness index (D) ranged from 3.34 to 5.03 and the Shannon-Wiener diversity index (H') ranged from 3.34 to 5.03. The average annual biomass was about 93.04 ± 26.44 t from 2008 to 2012. The values of F-IBI showed that the fish community structure was disturbed more severely in 2009 and 2010 than in other three years, and the biological integrity was slightly disturbed in the whole five years, whereas the 53.9% decrease of average body mass of fish from 2010 to 2012 compared with that from 2008 to 2009 indicated the overall decreasing tendency of fish size.

Key words: Zhanjiang Bay waters; fish index of biotic integrity (F-IBI); community structure; health assessment; fish community