

## 基于刺网、地笼的考洲洋游泳动物群落结构和多样性分析

应锐, 蒋力, 尹芳敏, 黄建荣, 黎祖福, 王英永, 冯建祥

(中山大学生命科学学院, 广东省水生经济动物良种繁育重点实验室, 广东 广州 510275)

**摘要:** 为准确了解考洲洋的渔业资源状况, 文章基于2017年11月至2018年7月4个季节对考洲洋的刺网、地笼调查数据, 对目前考洲洋的游泳生物群落结构、多样性进行了分析。调查中共捕获经济物种93种, 其中鱼类11目33科61种, 占总物种数的64.52%; 甲壳类2目6科33种, 占总物种数的35.48%。鱼类以鲈形目(45.16%)和鲱形目(7.52%)居多, 且绝大部分(96.7%)为暖水种。各季节渔获量变化明显, 夏季最高, 其次是春、秋、冬季, 但四季的大部分个体体质量都在0~8 g和8~64 g 2个区间内。考洲洋的多样性指数值波动较大, 物种丰富度( $D$ )为0.81~3.63, Shannon-Wiener指数( $H'$ )为0.81~2.03, 均匀度指数( $J'$ )为0.55~1.69。但方差分析结果显示, 不同季节、站点间的 $D$ 、 $H'$ 、 $J'$ 均无显著性差异。结果表明考洲洋总体资源量较低, 多样性水平季节变化较大, 湾内资源空间分布较为均匀。

**关键词:** 游泳生物; 群落结构; 粒径谱; 网具; 考洲洋

中图分类号: S 931

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Analysis of community structure and diversity of nekton in Kaozhouyang Bay using gill nets and cages

YING Rui, JIANG Li, YIN Fangmin, HUANG Jianrong, LI Zufu, WANG Yingyong, FENG Jianxiang

(Guangdong Provincial Key Laboratory for Improved Variety Reproduction of Aquatic Economic Animals, School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** To better understand the status of fishery resource of Kaozhouyang Bay, we have conducted a seasonal investigation of the community structure and diversity of the nekton by using gill nets and cages net from November 2017 to July 2018. A total of 93 economic species were collected, and among them 61 were fish belonging to 11 orders and 33 families, accounting for 64.52% of the total species number, and the rest were crustaceans. Perciformes (45.16%) and Clupeiformes (7.52%) which were mostly warm water species were the two largest orders of fish. The catches had significant seasonal variation (summer>spring>autumn>winter), and mostly fell in two intervals of 0–8 g and 8–64 g. The diversity indices in Kaozhouyang Bay showed obvious variation. The species richness index was 0.81–3.63; the Shannon-Wiener index was 0.81–2.03; the evenness index was 0.55–1.69. No significant difference was found in the richness index, Shannon-Wiener index and evenness index among different seasons and stations. In conclusion, the total fishery resources in Kaozhouyang Bay are relatively small. The biodiversity shows obvious seasonal variation, while the spatial variation is insignificant.

**Key words:** nekton; community structure; size spectrum; net gear; Kaozhouyang Bay

收稿日期: 2019-01-10; 修回日期: 2019-03-06

资助项目: 惠州市2017年市级统筹油补资金项目(F2017-01-4); 国家自然科学基金项目(41706090); 中山大学高校基本科研业务费项目(17lgpy96)

作者简介: 应锐(1996—), 男, 硕士研究生, 从事海洋渔业资源调查研究。E-mail: yingr3@mail2.sysu.edu.cn

通信作者: 冯建祥(1985—), 男, 博士, 副研究员, 从事水产养殖生态学研究。E-mail: fengjx23@mail.sysu.edu.cn

考洲洋位于广东省惠东县,是红海湾向内陆延伸的典型半封闭性浅水海湾,其自然地理条件独特,是粤东地区重要的水产增养殖海域之一<sup>[1]</sup>。此外,考洲洋还是惠东红树林主要分布区,红树林可为鸟类、昆虫、贝类等提供栖息地,其根系复杂,也是鱼类和甲壳动物等游泳动物重要的庇护和摄食场所<sup>[2]</sup>;红树林与渔业资源的关系也十分紧密,对当地渔业资源产量有着显著的提升作用<sup>[3]</sup>。当前考洲洋牡蛎养殖过程中建设的大量养殖筏架在一定程度上也能起到人工鱼礁的作用,吸引鱼类聚集<sup>[4]</sup>。同时,双壳动物强烈的生物沉积作用可为底栖动物提供食物源,从而进一步影响食物网的能量传递<sup>[5]</sup>。

近年来由于考洲洋海域的人工养殖密度逐渐上升,加之其周边是重要的皮革产区,大量污染物质被排入湾内,导致海水环境质量不断降低,水产品质量安全受到威胁<sup>[6-7]</sup>的同时,也对考洲洋内物种组成带来了负面影响<sup>[1]</sup>。此外,由于之前考洲洋内围网和地笼的大量投放,也会严重影响湾内渔业群落的分布和资源更新。针对考洲洋环境和渔业资源现状,自2014年起,有关部门对湾内违规养殖设施以及围网、拦网等网具进行了拆除清理,仅保留刺网作业,并启动红树林生态修复工程,有效地改善了考洲洋的海水环境质量<sup>[8]</sup>。目前关于考洲洋的研究主要集中在水质条件<sup>[9]</sup>、沉积物<sup>[10]</sup>、重金属污染<sup>[11]</sup>、有机污染物<sup>[12]</sup>等环境质量监控方面,而对于考洲洋海域的渔业资源状况仍无较为系统的认识。准确了解考洲洋的生态系统渔业资源状况,可为科学评价生态保护和修复工程的实际效果提供客观翔实的基础数据,因此有必要对考洲洋的渔业生物资源群落结构及其时空分布特征进行更全面的调查分析。

由于不同的网具对物种和个体的选择性往往存在一定差异,网具的选择对渔获资源结果也会造成一定影响<sup>[13]</sup>。不同网具对鱼类的长期选择作用也会影响鱼类的生活史特征,不当的选择范围会对渔业资源造成不可恢复的负面影响<sup>[14]</sup>。对于类似的封闭型内湾(如广东流沙湾),资源调查常使用定置张网或刺网等方式<sup>[15]</sup>,考虑到考洲洋复杂的底质环境和水深变化,加之考洲洋内大量养殖筏架的存在,为保证调查准确性,本研究采用刺网和地笼2种方式,对当前考洲洋的自然渔业资源状况进行系统调

查,分析其资源季节动态及空间分布,为考洲洋渔业资源的科学管理与生物多样性保护提供科学支撑,并为其他地理环境类似的内湾渔业资源调查提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样时间站点布设

考洲洋地处稔平半岛(114°52'E~114°56'E, 22°43'N~22°45'N),总面积44.7 km<sup>2</sup>,海岸线长65.3 km,通过一条狭长的水道与外界相连,最窄处仅253 m。考洲洋的海底较平坦,平均水深2.2 m,大部分水域水深0.3~1.0 m,受不规则半日潮影响,日平均潮差约为2.31 m。该地平均气温22.1℃,年平均雨量1 944.3 mm,4—10月为雨季,降雨量可占全年的82.8%。考洲洋中部区域大部分被牡蛎吊养竹筏覆盖。

本研究于2017年11月和2018年1月、4月、7月,分秋、冬、春、夏四季分别对考洲洋渔业资源状况进行调查。由湾外至湾内,均匀布设5个站点(图1)。

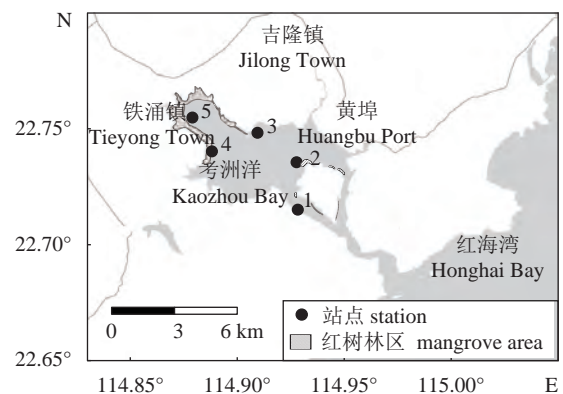


图1 考洲洋调查站点布设示意图

Fig.1 Sketch map of sampling stations in Kaozhouyang Bay

### 1.2 样品采集与处理

本研究分别采用刺网、地笼方式采集渔获物样品,规格和设置具体为:

刺网每张高1.5 m、长35 m,分为3层,每层网目尺寸分别为42 mm、48 mm和52 mm。刺网放置时间为1 h,每个站点各放置4组重复,每个重复2张刺网。

地笼每个共5节,每节规格10 m,总长50 m。每个地笼网衣分为3层,每层网目均为55目。每

个站点放置 5 个地笼作为重复, 放置时间为一个潮水周期 (12 h)。

在每个站点同时使用便携式温度计、盐度计、pH 计及溶氧仪对海水理化因子进行测量。采样完成后, 对全部渔获物进行种类组成鉴定、分类, 计数、称质量, 并对渔获物进行生物学测定, 包括其体长、全长、体质量、头胸甲长和宽等指标。采用单位捕捞努力量渔获量 (catch per unit effort, CPUE) 和单位捕捞努力量渔获个体数 (number of catches per unit effort, NPUE) 作为渔获资源量的指标, 计算公式为:

$$CPUE = \frac{C}{XT} \quad (1)$$

$$NPUE = \frac{N}{XT} \quad (2)$$

式中  $C$  为渔获量,  $N$  为捕捞个体数,  $X$  为网数,  $T$  为放网时间。

水样采集和分析按照《海洋监测规范》(GB/T 17378.4—2007) 进行, 动物样品处理、保存等按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.4—2007) 进行, 物种所有个体鉴定到种, 物种鉴定和生态特征参照《中国海洋鱼类》<sup>[16]</sup> 检索。

### 1.3 数据处理

1.3.1 优势种 采用 Pinkas 等<sup>[17]</sup> 提出的相对重要性指数 (IRI) 来确定群落的优势种。IRI 指数计算公式为:

$$IRI = (N + W) \times F \quad (3)$$

其中  $N$  为某物种丰度占总丰度的百分比;  $W$  为某一类群的生物量占总生物量的比例;  $F$  为该物种出现的频率。

一般而言, IRI 大于 1 000 为优势种; IRI 大于 100 且小于 1 000 为重要种; IRI 大于 10 且小于 100 为一般种; IRI 小于 10 为稀有种。

1.3.2 群落生态多样性指数 分别采用 Margalef 物种丰富度指数 ( $D$ )、Shannon-Wiener 指数 ( $H'$ )、Pielou 均匀度指数 ( $J'$ ) 来研究群落的多样性。为

Margalef 丰富度<sup>[18]</sup>:

$$D = \frac{S - 1}{\ln N} \quad (4)$$

Shannon-Wiener 指数<sup>[19]</sup>:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (5)$$

Pielou 均匀度指数<sup>[20]</sup>:

$$J' = \frac{H'}{\ln S} \quad (6)$$

其中  $S$  为各站点物种种类总数,  $N$  为各站点捕捞个体数,  $P_i$  为某一类群生物量占总生物量的比例。

1.3.3 群落结构相似度 根据渔获生物量 ( $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ) 数据, 经平方根转化后, 得到 Bray-Curtis 相似性系数<sup>[21]</sup> 矩阵, 并根据矩阵使用非度量多维标度分析 (NMDS) 方法分析考洲洋各站点之间的群落结构差异。采用单因子相似性分析 (ANOSIM) 检验不同站点之间的显著性, 并采用 *stress* 压力系数来衡量 NMDS 结果可信度, *stress* 系数小于 0.1 说明排序较好; *stress* 系数小于 0.05 说明图形具有很好的代表性<sup>[22]</sup>。采用 Primer 7.0 进行上述分析<sup>[23]</sup>。

1.3.4 粒径谱 水生生物粒径谱 (size spectrum) 模型是常用于反映水生生态系统生物量分布的模型。本文以经过以 2 为底的对数转换后的个体体质量数据作为个体尺寸特征, 渔获生物量 ( $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ) 按照 Sprules 和 Barth<sup>[24]</sup> 的示例标准化。按对数转换后的个体尺寸分类聚合后, 对个体尺寸 ( $x$  轴) 和生物量 ( $y$  轴) 作关系图, 得出不同尺寸个体的生物量分布情况。

1.3.5 数据分析 采用双因素方差分析对资源量 (CPUE、NPUE) 和多样性指数进行显著性检验, 自变量为季节、站点。 $P$  值显著性水平为 0.05。使用 LSD 法进行事后检验。采用 IBM SPSS 25.0 软件进行上述分析。

## 2 结果

### 2.1 理化环境因子

调查结果显示, 考洲洋海域的理化环境指标季节变化较大 (表 1)。考洲洋调查水深为 0.88~2.45 m, 温度 14.9~31.5 °C, 盐度 8.93~32.0, pH 6.35~8.6。整体上, 不同站点间的水深、盐度差异较大, 不同季节间的温度、pH 差异较大。

### 2.2 种类组成及优势种

4 个季度调查共记录到渔获物种类 2 门 2 纲 13 目 36 科 93 种, 其中鱼类 11 目 32 科 60 种, 占总物种数的 64.52%; 甲壳类 2 目 6 科 33 种, 占总物种数的 35.48% (表 2)。其中鲈形目出现种类最多 [42 种 (45.16%)]；其次为十足目 [29 种 (31.18%)]、鲱形目 [7 种 (7.52%)]。鱼类物种中, 绝大部分 (96.7%) 为暖水性鱼类。

表1 考洲洋四季各站点环境因子

Tab.1 Hydrological environmental variables in Kaozhouyang Bay during four seasons

季节 season	站点 station	深度 depth	温度 temperature	盐度 salinity	pH
春季 autumn	S1	2.00	24.3	28.7	8.1
	S2	1.96	24.6	28.5	8.0
	S3	1.41	24.5	22.1	8.0
	S4	1.60	24.0	19.1	8.2
	S5	1.20	23.9	19.9	7.9
冬季 winter	S1	0.90	17.1	26.6	6.9
	S2	1.35	16.5	24.5	6.8
	S3	1.17	15.5	20.6	6.9
	S4	1.22	17.0	24.1	6.9
	S5	0.76	14.9	18.5	6.9
春季 spring	S1	1.46	24.6	32.0	6.9
	S2	1.92	24.5	31.1	6.7
	S3	1.73	24.0	27.8	6.8
	S4	2.06	24.7	31.0	6.6
	S5	1.63	23.9	25.7	6.4
夏季 summer	S1	0.88	31.5	22.5	8.3
	S2	2.45	31.5	20.6	8.2
	S3	1.41	31.5	13.7	8.2
	S4	1.10	31.5	17.4	8.4
	S5	1.10	30.5	8.9	8.6

考洲洋四季优势种组成见表3,其中刺网四季优势种组成基本为鱼类,地笼四季优势种中也包含部分甲壳类。

优势种四季出现情况见表4。刺网渔获物中,秋季优势种为圆吻海鲷 (*Nematalosa nasus*)、花鲷 (*Clupanodon thrissa*);冬季优势种为圆吻海鲷、长鳍骨鲷 (*Osteomugil cunnesius*);春季优势种为花鲷、尖突吻鲷 (*Rhynchopelates oxyrhynchus*);夏季优势种为花鲷、褐篮子鱼 (*Siganus fuscescens*)、圆吻海鲷、墨吉对虾 (*Banana prawn*)、少刺短桨蟹 (*Thalamita danae*)、黄鳍鲷 (*Acanthopagrus latus*)、平鲷 (*Rhabdosargus sarba*) 等7种。

地笼渔获物中,秋季优势种为墨吉对虾、底栖短桨蟹 (*T. prymna*)、短吻鲷 (*Leiognathus brevirostris*)、

眼瓣沟鲷虎鱼 (*Oxyurichthys ophthalmonema*) 等4种;冬季为短吻鲷、长鳍骨鲷、黄斑鲷 (*Photopectoralis bindus*) 等3种;春季优势种为黄鳍鲷、沙栖新对虾 (*Metapenaeus joyneri*);夏季优势种为短吻鲷、长鳍骨鲷、黄斑鲷。

### 2.3 资源量

资源量调查结果显示,基于刺网与地笼调查的CPUE皆表现出明显的季节性(图2)。夏季[地笼  $0.014 \text{ kg} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ , 刺网  $0.128 \text{ kg} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ ] $>$ 春季[地笼  $0.010 \text{ kg} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ , 刺网  $0.121 \text{ kg} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ ] $>$ 秋季[地笼  $0.007 \text{ kg} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ , 刺网  $0.091 \text{ kg} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ ] $>$ 冬季[地笼  $0.006 \text{ kg} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ , 刺网  $0.068 \text{ kg} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ ]。

单位时间渔获个体数方面,刺网的季节趋势与渔获率相同,表现出夏季[平均  $4.5 \text{ 个} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ ] $>$ 春季[平均  $2.8 \text{ 个} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ ] $>$ 秋季[平均  $2.7 \text{ 个} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ ] $>$ 冬季秋季[平均  $1.9 \text{ 个} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ ]。地笼同样是夏季最高,平均达到  $1.96 \text{ 个} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ ,其次是冬季[平均  $1.1 \text{ 个} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ ]、春季[平均  $0.73 \text{ 个} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ ]、秋季[平均  $0.73 \text{ 个} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ ]。以季节、站点作自变量,采用双因素方差分析对资源量进行显著性检验。结果显示,季节和站点对CPUE、NPUE影响不显著。

### 2.4 群落结构相似性

各个季节刺网与地笼群落结构皆不存在站点之间的显著差异(图3)。除去冬季底层的 *stress* 值为0.02外,其余NMDS的 *stress* 值皆为0,说明图形具有很好的代表性。因此可以认为,考洲洋各站点之间渔业资源群落结构无显著差异,可以看作一个整体进一步分析多样性变化。

### 2.5 群落多样性指数

基于刺网的中上层调查中,群落多样性呈现出明显的季节动态。其中 *D* 以秋季最高(2.34),其次是冬季(2.20)、春季(1.49)、夏季(0.81);群落 *H'* 仍是秋季最高(1.90),其次是冬季(1.18),春季(0.81)与夏季(0.82)接近;*J'*, 秋季、冬季、春季相近,分别为1.69、1.58、1.69,夏季最低(0.79)。

基于地笼的底层调查中,多样性指数变化与中上层略有差异。其中春、秋季的 *D* 较高,分别达到3.33、3.63;冬、夏季则分别为2.24、2.93;对于群落 *H'* 而言,四季差异较小,但仍以春(2.02)、秋季(2.03)较高,冬季(1.78)和夏季(1.52)较低;

表2 考洲洋四季渔获游泳动物物种名录

Tab.2 List of swimming species caught in Kaozhouyang Bay during four seasons

种名 Species	种名 Species
辐鳍鱼纲 Actinopterygii	新月锦鱼 <i>Thalassoma lunare</i>
鳗鲡目 Anguilliformes	弯棘鲯 <i>Callionymus curvicornis</i>
大鳍虫鳗 <i>Muraenichthys macropterus</i>	褐篮子鱼 <i>Signanus fuscescens</i>
海鲢目 Elopiformes	嵴塘鳢 <i>Butis butis</i>
海鲢 <i>Elops saurus</i>	犬牙鰐虎鱼 <i>Amoya caninus</i>
鲱形目 Clupeiformes	斑纹舌鰐虎鱼 <i>Glossogobius olivaceus</i>
圆吻海鲢 <i>Nematalosa nasus</i>	拟矛尾鰐虎鱼 <i>Parachaeturichthys polynema</i>
日本海鲢 <i>Nematalosa japonica</i>	孔鰐虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>
花鲢 <i>Clupanodon thrissa</i>	裸项纹鰐虎鱼 <i>Tridentiger nudicervicus</i>
黑尾小沙丁 <i>Sardinella melanura</i>	双斑舌鰐虎鱼 <i>Psammogobius biocellatus</i>
康氏小公鱼 <i>Stolephorus commersonnii</i>	尖鳍寡鳞鰐虎鱼 <i>Oligolepis acutipinnis</i>
汉氏棱鯧 <i>Thryssa hamiltonii</i>	眼瓣沟鰐虎鱼 <i>Oxyurichthys ophthalmomema</i>
鲱形目 Siluriformes	小鳞沟鰐虎鱼 <i>Oxyurichthys microlepis</i>
线纹鰐鯧 <i>Plotosus lineatus</i>	红狼牙鰐虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>
鲷形目 Mugiliformes	鲷形目 Pleuronectiformes
长鳍骨鲷 <i>Osteomugil cunnesius</i>	卵鲷 <i>Solea ovata</i>
梭鲈 <i>Liza carinata</i>	东方箭鲷 <i>Brachirus orientalis</i>
银汉鱼目 Atheriniformes	鲷形目 Tetraodontiformes
白氏银汉鱼 <i>Hypoatherina valenciennei</i>	纹腹叉鼻鲷 <i>Arothron hispidus</i>
颌针鱼目 Beloniformes	甲壳纲 Crustacea
日本下鱈鱼 <i>Hyporhamphus sajori</i>	十足目 Decapoda
鲷形目 Scorpaeniformes	近缘新对虾 <i>Metapenaeus affinis</i>
鲷 <i>Platycephalus indicus</i>	斑节对虾 <i>Penaeus monodon</i>
粗棘鲷 <i>Vespicula trachinoides</i>	宽突赤虾 <i>Metapenaeopsis mogiensis</i>
鲈形目 Perciformes	中型新对虾 <i>Metapenaeus intermedius</i>
罗非鱼 <i>Oreochromis</i> sp.	刀额新对虾 <i>Metapenaeus ensis</i>
倒牙鲷 <i>Sphyræna putnamae</i>	日本对虾 <i>Marsupenaeus japonicus</i>
眶棘双边鱼 <i>Ambassis gymnocephalus</i>	沙栖新对虾 <i>Metapenaeus joyneri</i>
日本花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>	短沟对虾 <i>Penaeus scmisulcatus</i>
多鳞鲈 <i>Sillago sihama</i>	墨吉对虾 <i>Penaeus merguensis</i>
珍鲷 <i>Caranx ignobilis</i>	周氏新对虾 <i>Metapenaeus joyneri</i>
金带细鲷 <i>Selaroides leptolepis</i>	长毛对虾 <i>Penaeus penicillatus</i>
高体若鲷 <i>Caranx equula</i>	秀丽白虾 <i>Palaemon modestus</i>
勒氏枝鲷石首鱼 <i>Dendrophysa russelii</i>	脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>
短吻鲷 <i>Leiognathus brevirostris</i>	日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponense</i>
颈斑鲷 <i>Nuchequula nuchalis</i>	底栖短桨蟹 <i>Thalamita prymna</i>
短棘鲷 <i>Leiognathus equulus</i>	武士蟹 <i>Charybdis miles</i>
长吻银鲈 <i>Gerres longirostris</i>	日本蟹 <i>Charybdis japonica</i>
长棘银鲈 <i>Gerres filamentosus</i>	近亲蟹 <i>Charybdis affinis</i>
日本十棘银鲈 <i>Gerres japonicus</i>	锐齿蟹 <i>Charybdis acuta</i>
短棘银鲈 <i>Gerres lucidus</i>	拟穴青蟹 <i>Scylla paramamosain</i>
金焰笛鲷 <i>Lutjanus fulviflamma</i>	少刺短桨蟹 <i>Thalamita danae</i>
勒氏笛鲷 <i>Lutjanus russellii</i>	远海梭子蟹 <i>Portunus pelagicus</i>
黄鳍鲷 <i>Acanthopagrus latus</i>	双额短桨蟹 <i>Thalamita sima</i>
灰鳍棘鲷 <i>Acanthopagrus berda</i>	香港蟹 <i>Charybdis hongkongensis</i>
平鲷 <i>Rhabdosargus sarba</i>	变态蟹 <i>Charybdis variegata</i>
黑鲷 <i>Acanthopagrus schlegelii</i>	悦目大眼蟹 <i>Macrophthalmus erato</i>
胡椒鲷 <i>Plectorhinchus pictus</i>	强壮大眼蟹 <i>Macrophthalmus crassipes</i>
细鳞鲷 <i>Terapon jarbua</i>	四齿大额蟹 <i>Metopograpsus quadridentatus</i>
列牙鲷 <i>Pelates quadrilineatus</i>	字纹弓蟹 <i>Varuna litterata</i>
尖突吻鲷 <i>Rhynchopelates oxyrhynchus</i>	口足目 Stomatopoda
黑斑绯鲤 <i>Upeneus tragula</i>	断脊拟虾蛄 <i>Oratosquilla interrupta</i>
金钱鱼 <i>Scatophagus argus</i>	口虾蛄 <i>Squilla oratoria</i>

$J'$ 由秋季至夏季逐渐下降,分别为0.73、0.71、0.68、0.55。

采用双因子方差分析进行显著性检验,结果显示,不同季节、站点之间的D、 $H'$ 、 $J'$ 皆无显著性差异( $P>0.05$ ,图4)。

## 2.6 考洲洋群落粒径谱

考洲洋渔获个体的粒径谱基本呈现双峰的形态,第一峰介于0~8 g,第二峰介于8~64 g(图5)。以第一峰而言,夏季标准化生物量波峰高于其他三季,春、冬季相近,秋季第一峰最弱。各季节波峰个体尺寸基本一致,约为2 g。

以第二峰而言,夏季标准化生物量波峰仍高于其他三季,其次是冬、春、秋季。波峰所处的个体尺寸以冬季最高(32 g),其他三季约为16 g。

## 3 讨论

### 3.1 考洲洋渔业资源种类组成及资源量

考洲洋是粤东地区重要的内洋,为周边惠东地区带来了大规模的水产养殖产业(如牡蛎养殖),也为大量物种提供了关键的生态栖息环境。本次调查的考洲洋内的物种组成以鱼类和甲壳类为主,其中绝大部分鱼类为暖水性鱼类,以鲈形目和鲱形目居多,物种种类与南海其他海域物种较接近<sup>[16,25]</sup>。考洲洋优势种基本集中在短吻鲷、花鲢、圆吻海鲢、墨吉对虾等物种间,大部分物种都生活在内

湾、咸淡水、近海海域内,与考洲洋的海水环境一致。大部分渔获个体质量在100 g以内,鲜有超过500 g的个体。资源量上,考洲洋渔获的平均CPUE不超过 $0.15 \text{ kg} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ ,平均个体数不超过 $5 \text{ ind} \cdot (\text{h} \cdot \text{网})^{-1}$ ,整体渔业资源量较低,仅靠野生渔获难以产生较高的经济价值。但是考洲洋的经济物种数达到96种,物种丰富度最高达到3.63,目前湾内总体的多样性处于较高水平,推测与周边大面积的红树林湿地有一定关系。考洲洋湾内各个站点间的资源量分布均匀,群落结构相似度高,推测原因是考洲洋类似的小型封闭式海湾受潮汐影响较大,因而整体资源分布趋于均匀。

### 3.2 季节动态

季节是渔业资源非常重要的影响因素之一。鱼类的季节性洄游会对物种组成和生物量造成直接影响<sup>[26]</sup>;在春、夏产卵季节,一年生的小鱼(如考洲洋的鲷科鱼类)快速发育,对生物量也会有较大改变<sup>[27]</sup>;此外,秋、冬季的藻类和浮游生物有限,对整个生态系统提供的能量输入也较低<sup>[28]</sup>,会导致渔业资源量下降。而且,季节变化也与人类的捕捞强度相关(例如夏季的禁渔期),从而影响考洲洋的渔业资源量。

考洲洋的季节变化体现在资源量、优势种、多样性、个体尺寸分布等4个方面。资源量方面,刺网与地笼的趋势基本一致,夏季CPUE和平均渔

表3 考洲洋各季节优势种组成 (IRI > 1 000)

Tab.3 Dominant species composition in Kaozhouyang Bay in different season

网具 gear	秋季 autumn		冬季 winter		春季 spring		夏季 summer	
	种类 species	IRI	种类 species	IRI	种类 species	IRI	种类 species	IRI
地笼 cage	墨吉对虾	6 156.4	短吻鲷	4 706.7	黄鳍鲷	6 779.4	短吻鲷	4 706.7
	底栖短桨蟹	2 281.2	长鳍骨鲷	2 648.0	沙栖新对虾	2 083.9	长鳍骨鲷	2 648.0
	短吻鲷	1 312.4	黄斑鲷	2 066.1			黄斑鲷	2 066.1
	眼瓣沟鲈虎鱼	1 008.3						
刺网 gill net	圆吻海鲢	8 254.4	圆吻海鲢	5 680.9	花鲢	3 531.4	花鲢	4 508.4
	花鲢	2 816.3	长鳍骨鲷	2 023.5	尖突吻鲷	2 006.4	褐篮子鱼	2 949.6
							圆吻海鲢	1 854.7
							墨吉对虾	1 620.6
							少刺短桨蟹	1 385.7
							黄鳍鲷	1 356.4
							平鲷	1 191.2

表4  考洲洋四季优势种类出现情况

Tab.4  Occurrence of seasonal dominant species in Kaozhouyang Bay					
分层 layer	种名 species	秋季 autumn	冬季 winter	春季 spring	夏季 summer
刺网 gill net	墨吉对虾		√		√
	少刺短桨蟹			√	√
	花鲚	√	√	√	√
	圆吻海鲈	√	√	√	√
	长鳍骨鲇	√	√	√	√
	平鲷				√
	黄鳍鲷	√	√	√	√
	尖突吻鲷	√		√	
	褐篮子鱼	√	√	√	√
	墨吉对虾	√	√	√	√
地笼 cage	沙栖新对虾			√	√
	底栖短桨蟹	√	√		
	短吻鲷	√	√	√	√
	黄斑鲷	√	√		√
	长鳍骨鲇	√	√	√	√
	黄鳍鲷	√		√	√
	眼瓣沟鲈虎鱼	√	√	√	√
	眼瓣沟鲈虎鱼	√	√	√	√

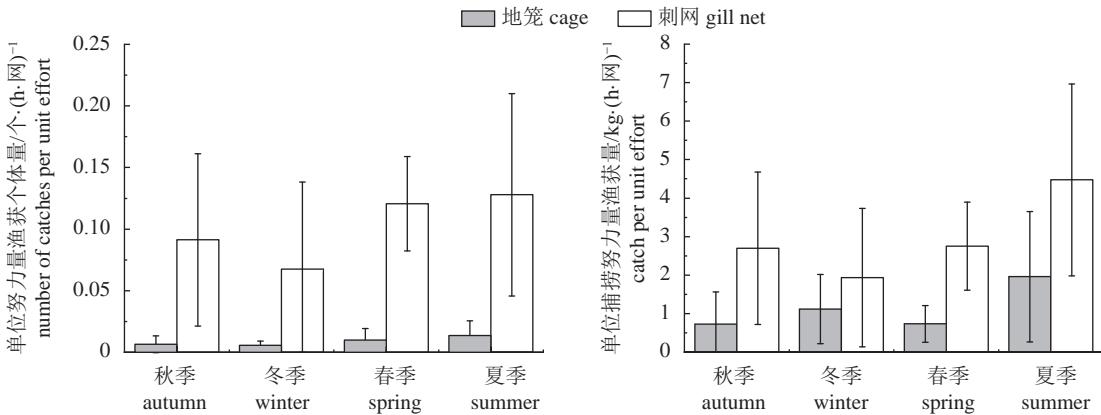


图2  考洲洋各站点间单位捕捞努力量渔获量和单位努力量渔获个体数  
Fig.2  Catch per unit effort and number of catches per unit effort at different stations in four seasons

获个体数都最高，其次是春季、秋季和冬季，这与长江口海域趋势一致<sup>[29]</sup>。优势种方面，除夏季刺网外，各季节的优势种基本为 2~3 种，其中秋季和夏季地笼群落以墨吉对虾等甲壳类为主要优势种，而春、冬季则以短吻鲷、长鳍骨鲇等鱼类为主要优势种；这与单秀娟等<sup>[30]</sup>的结果一致，黄海海域也以夏、秋季的甲壳类相对资源密度较高。群落多样

性方面，春、秋两季的  $D$  和  $H'$  均高于夏、冬两季。其中冬季的  $H'$  和  $D$  与环境因子关系较大，冬季水温低，个体基本迁徙或停止产卵，生物量较低<sup>[31]</sup>；而夏季的均匀度最低，因而推测与优势种生物量的爆发有关。生物粒径谱方面，四季的模式较为相似，基本可以按照个体大小分为两大类：1) 以短吻鲷为主的小型个体或幼鱼，集中在 5 g 以下；



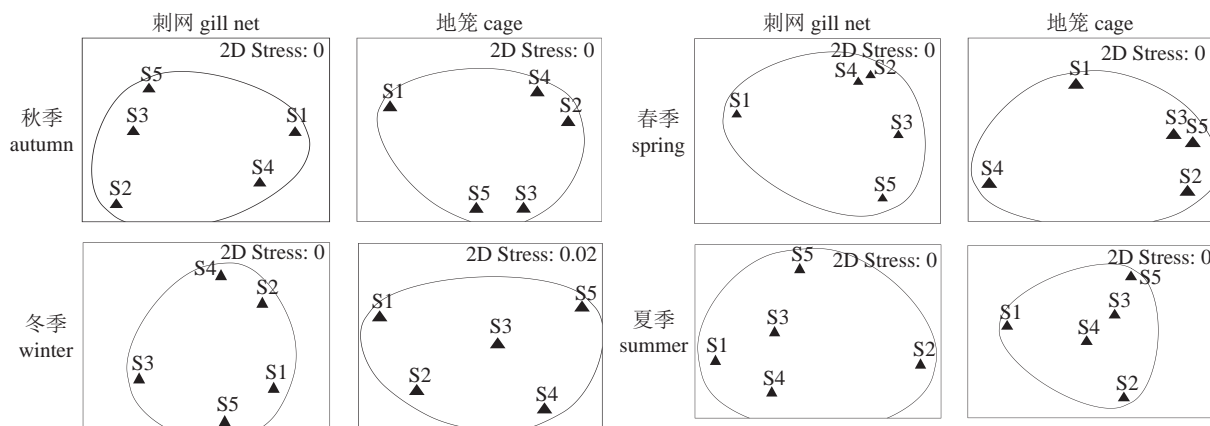


图3 考洲洋四季各站点群落结构NMDS分析

Fig.3 NMDS analysis of community structure in Kaozhouyang Bay in four seasons

2) 以圆吻海鲷、底栖短桨蟹等为主的较大体型的成熟个体,集中在15~60 g。考洲洋夏季的生物量明显较高,因此2个波峰也高于其余三季。这与单秀娟等<sup>[32]</sup>构建的生物量谱相似。

### 3.3 网具差异对渔获量的影响

目前,渔业调查方式趋于多元化,除拖网、刺网、地笼、定置张网等传统作业方式外,还有声学探测设备等新兴监测技术,以及针对特定种类的方式(如鼓线用作捕鲨<sup>[33]</sup>)。不同网具对种类和个体大小的选择性不同,调查结果也会存在差异<sup>[13]</sup>,不同的网具和尺寸都会对结果造成一定影响,因此网具的选择对渔业资源调查的准确度十分重要。目前同时使用地笼和刺网进行比较调查的研究较少。徐胜南等<sup>[4]</sup>利用刺网和地笼分别对人工鱼礁附近的渔获组成、资源量、多样性进行了比较,发现刺网渔获组成主要为鱼类,而地笼的渔获组成则更加均衡。这与本文结果一致,刺网捕获的优势种基本为鱼类(如花鲷、圆吻海鲷),而地笼的优势种则包含数种甲壳类(如墨吉对虾、沙栖新对虾)。除渔获组成外,2种调查方式的资源量也有较大差异,刺网的CPUE和平均渔获个体数都要显著高于地笼,这与徐胜南等<sup>[4]</sup>调查得到刺网的生物量最高的结果也一致,同时在本次调查中也可能与刺网的调查时间较短有关。群落多样性方面,刺网和地笼的丰富度和多样性指数都没有显著差异,但刺网 $J'$ 显著高于地笼,这可能因为地笼渔获的总体生物量虽然更高,但是优势种占了大部分,而2种调查方式皆能反映出考洲洋的多样性情况。

相同的网具,不同的尺寸对结果也有影响。国

内外多个研究对不同尺寸、结构的刺网作比对,发现网目尺寸影响较大,不同网目的刺网之间的渔获种类、个体数都有差异,但多样性差异较小<sup>[34-37]</sup>。影响网具对鱼类选择性的因素复杂,除去网目尺寸外,还包括网线缠绕厚度、悬挂率等因素<sup>[38]</sup>。因此,在开展渔业资源调查以及制定渔获政策时,要充分考虑网具选择及网具结构、尺寸的影响,高选择性的网具可能会降低调查结果的准确度,而过小的网目尺寸则不利于当地渔业的长期发展<sup>[33]</sup>。

### 3.4 渔业资源生物量单位及多样性指数比较

在渔业资源调查中,一般以多样性指数作为描述群落结构多样性的参数,而生物量和个体数都可以用作计算多样性指数<sup>[39]</sup>。陈国宝等<sup>[39]</sup>的研究显示2种计算方式的结果显著相关,但是部分研究则认为两者无显著相关<sup>[36,40]</sup>。虽然这2种计算方式的关系很可能与特定的区域环境有关,但各海域间比较多样性高低时,可能因此产生误解。以距考洲洋较近的大亚湾海域为例,孙宝权等<sup>[41]</sup>计算的 $H'$ 多样性指数为0.09~2.57,平均1.65;而王雪辉等<sup>[25]</sup>的结果为2.40~3.82,平均3.15,两文都以2004—2005年的底拖网数据为基础,但结果差异较大,很可能由计算方式不同导致。同理,物种丰富度也会受到影响。以珠江口水域的研究为例,晏磊等<sup>[36]</sup>的 $D$ 为3.60~6.73,而袁梦等<sup>[42]</sup>的 $D$ 为0~1.93,两者差异较大。虽然结果如上文所讨论,多样性结果和作业方式有一定关系,但是无论是由网具差异还是计算方式导致,结果都不利于海域间的比较;且在以生物量为计算单位时,生物量的标准化也存在不同。谢旭等<sup>[43]</sup>使用 $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 的方式来描述渔获



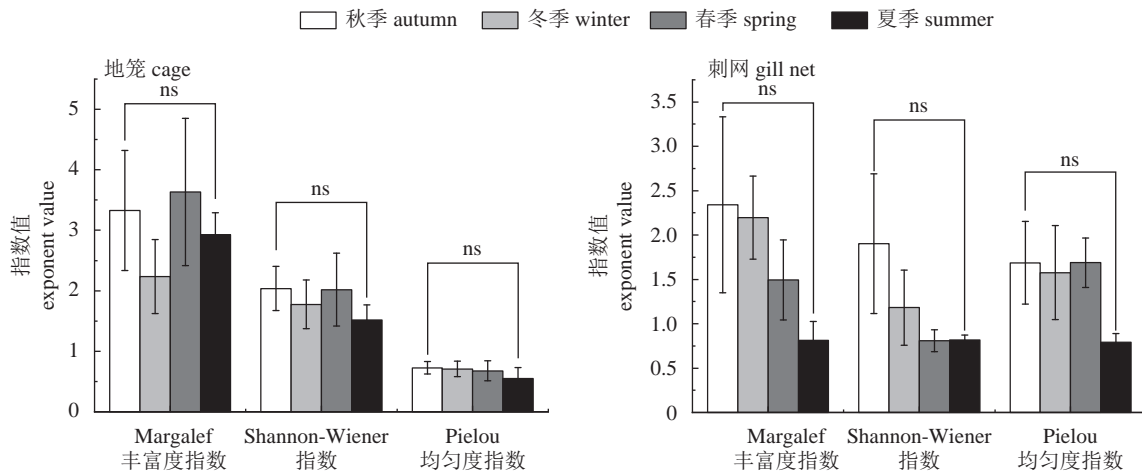


图4 基于刺网与地笼调查的多样性指数

ns. 四季多样性无显著性差异 ( $P>0.05$ )

Fig.4 Diversity indices of gill net and cage

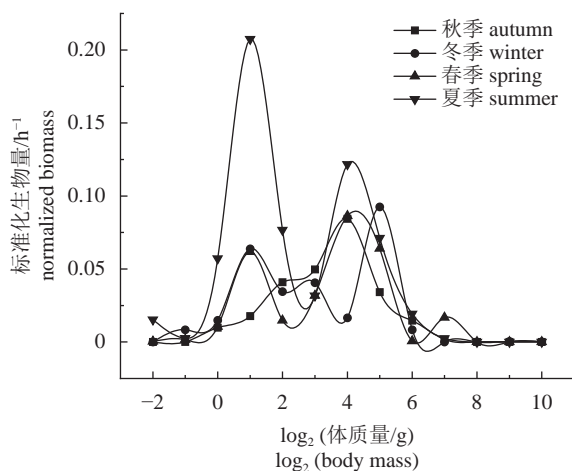
ns. insignificant difference in four seasons ( $P>0.05$ )

图5 考洲洋群落粒径谱

Fig.5 Size spectrum of community in Kaozhouyang Bay

率或生物量大小, 有的研究<sup>[30]</sup>使用  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  或  $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$ , 孙鹏飞等<sup>[29]</sup>使用 CPUE, 不利于对不同海域之间的生物量、多样性进行比较。笔者认为, 对于刺网、地笼等被动式捕获且不利于计算面积的调查方式, 可以使用  $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$  或 CPUE 作为资源量单位; 对于底拖网、双拖网等主动式的调查方式, 则可以使用  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  或  $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$  作为资源量单位。

#### 4 结论

基于刺网、地笼 2 种网具的调查, 本文首次对考洲洋进行了四季的渔业资源调查分析。结果显示, 考洲洋总体渔业资源量较低, 呈现出夏、春高, 秋、冬低的趋势, 物种丰富度、群落多样性、

群落均匀度也存在较大的季节波动, 且湾内资源总体空间分布较均匀。本文还通过对比刺网与地笼 2 种网具的结果, 分析了网具选择对渔业资源调查准确度和制定长期渔获管理政策的影响。未来的研究应明确计算方式、统一计量单位, 以便于不同海域之间的比较。

#### 参考文献:

- [1] 左娅, 陈向明, 康德礼, 等. 基于耗散结构理论的考洲洋生态修复研究 [J]. 生态科学, 2015, 34(4): 71-75.
- [2] NAGELKERKEN I, BLABER S, BOUILLON S, et al. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: a review[J]. Aquat Bot, 2008, 89(2): 155-185.
- [3] ABURTO-OROPEZA O, EZCURRA E, DANEMANN G, et al. Mangroves in the gulf of California increase fishery yields[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2008, 105(30): 10456-10459.
- [4] 徐胜南, 汪振华, 梁金玲, 等. 不同网具在人工鱼礁水平方向上诱集效果的比较 [J]. 水产学报, 2016, 40(5): 820-831.
- [5] GAO Q F, SHIN P K S, LIN G H, et al. Stable isotope and fatty acid evidence for uptake of organic waste by green-lipped mussels *Perna viridis* in a polyculture fish farm system[J]. Mar Ecol Prog Ser, 2006, 317: 273-283.
- [6] LUO H, WANG Q, NIE X, et al. Heavy metal contamination in the cultivated oyster *Crassostrea rivularis* and associated health risks from a typical mariculture zone in the South China Sea[J]. Bull Environ Contam Toxicol, 2018, 101(1): 33-41.
- [7] WANG X, GU Y, WANG Z, et al. Biological risk assessment of heavy metals in sediments and health risk assessment in bivalve mollusks from Kaozhouyang Bay, South China[J]. Mar Pollut Bull, 2018, 133: 312-319.

- [8] 马正波, 梁浩亮, 梁婷婷, 等. 考洲洋水环境质量现状及受潮汐影响变化分析[J]. 环境保护科学, 2017, 43(4): 72-78.
- [9] 甘居利, 贾晓平, 李纯厚, 等. 南海东北部考洲洋海洋渔业环境质量评价[J]. 海洋环境科学, 2004, 23(1): 9-12.
- [10] 甘居利, 林钦, 李纯厚, 等. 考洲洋表层沉积物的重金属含量及其污染分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2002, 21(3): 242-246.
- [11] 蔡文贵, 贾晓平, 林钦, 等. 基于GIS的考洲洋养殖水域水质状况分析[J]. 水产学报, 2004, 28(5): 522-528.
- [12] YU Z, LIN Q, GU Y, et al. Spatial-temporal trend and health implications of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in resident oysters, South China Sea: a case study of eastern Guangdong coast[J]. Mar Pollut Bull, 2016, 110(1): 203-211.
- [13] BARLOW J, CAMERON G A. Field experiments show that acoustic pingers reduce marine mammal bycatch in the California drift gill net fishery[J]. Mar Mamm Sci, 2003, 19(2): 265-283.
- [14] LIANG Z, SUN P, YAN W, et al. Significant effects of fishing gear selectivity on fish life history[J]. J Ocean Univ China, 2014, 13(3): 467-471.
- [15] 沈春燕, 叶宁, 申玉春, 等. 广东流沙湾游泳动物种群结构和生物多样性[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(1): 227-233.
- [16] 陈大刚, 张美昭. 中国海洋鱼类[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2015: 17-2014.
- [17] PINKAS L, OLIPHANT M S, IVERSON I K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. Calif Dep Fish and Game, 1971(152): 1-105.
- [18] MARGALEF R. Information theory in biology[J]. Gen Syst, 1958(3): 36-71.
- [19] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication. 1949[J]. Addison-Wesley Pub, 1981, 97(3): 29-125.
- [20] PIELOU E. Ecology diversity[J]. J Theor Biol, 1966(10): 370-383.
- [21] BRAY J R, CURTIS J T. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin[J]. Ecol Monogr, 1957, 27(4): 325-349.
- [22] 李圣法, 程家骅, 严利平. 东海南中部鱼类群聚结构的特征[J]. 海洋学报(中文版), 2005, 27(3): 110-118.
- [23] CLARKE K, GORLEY R. Primer v7: user, manual/tutorial [M]. PRIMER-E: Plymouth, UK, 2015: 17-20.
- [24] SPRULES W G, BARTH L E. Surfing the biomass size spectrum: some remarks on history, theory, and application[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2015, 73(4): 477-495.
- [25] 王雪辉, 杜飞雁, 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.
- [26] BRÖNMARK C, BRODERSEN J, CHAPMAN B B, et al. Regime shifts in shallow lakes: the importance of seasonal fish migration[J]. Hydrobiologia, 2010, 646(1): 91-100.
- [27] HERNÁNDEZ-MIRANDA E, PALMA A, OJEDA F. Larval fish assemblages in nearshore coastal waters off central Chile: temporal and spatial patterns[J]. Estuar Coast Shelf Sci, 2003, 56(5): 1075-1092.
- [28] FAYE D, TITO de MORAIS L, RAFFRAY J, et al. Structure and seasonal variability of fish food webs in an estuarine tropical marine protected area (Senegal): evidence from stable isotope analysis[J]. Estuar Coast Shelf Sci, 2011, 92(4): 607-617.
- [29] 孙鹏飞, 戴芳群, 陈云龙, 等. 长江口及其邻近海域渔业资源结构的季节变化[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(6): 8-16.
- [30] 单秀娟, 孙鹏飞, 金显仕, 等. 黄海典型断面渔业资源结构的季节变化[J]. 水产学报, 2013, 37(3): 425-435.
- [31] 翟璐, 韩东燕, 傅道军, 等. 胶州湾及其邻近海域鱼类群落结构及与环境因子的关系[J]. 中国水产科学, 2014, 21(4): 810-821.
- [32] 单秀娟, 陈云龙, 戴芳群, 等. 黄海中南部不同断面鱼类群落结构及其多样性[J]. 生态学报, 2014, 34(2): 377-389.
- [33] SUMPTON W, TAYLOR S, GRIBBLE N, et al. Gear selectivity of large-mesh nets and drumlines used to catch sharks in the Queensland Shark Control Program[J]. Afr J Mar Sci, 2011, 33(1): 37-43.
- [34] 赵静, 章守宇, 周曦杰, 等. 浙江嵊泗枸杞岛岩礁生境两种刺网采样网具的比较[J]. 水产学报, 2013, 37(2): 311-320.
- [35] 邢彬彬, 郭瑞, 李显森, 等. 辽东湾不同型刺网捕捞性能的比较[J]. 渔业科学进展, 2017, 38(2): 24-30.
- [36] 晏磊, 谭永光, 杨齐, 等. 珠江口水域秋季刺网的渔获组成及多样性分析[J]. 南方水产科学, 2016, 12(1): 111-119.
- [37] PSUTY-LIPSKA I, MADSEN N, DRAGANIK B, et al. Gill net selectivity for perch (*Perca fluviatilis*) in the Szczecin Lagoon, Poland[J]. Fish Res, 2006, 80(2): 339-344.
- [38] MADSEN N. Selectivity of fishing gears used in the Baltic Sea cod fishery[J]. Rev Fish Biol Fish, 2007, 17(4): 517-544.
- [39] 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, 15(4): 373-381.
- [40] 郁尧山, 张庆生, 陈卫民, 等. 浙江北部岛礁周围海域鱼类群聚特征值的初步研究[J]. 水产学报, 1986, 10(3): 305-313.
- [41] 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, 2007, 26(7): 394-399.
- [42] 袁梦, 汤勇, 徐姗姗, 等. 珠江口南沙海域秋季渔业资源群落结构特征[J]. 南方水产科学, 2017, 13(2): 18-25.
- [43] 谢旭, 俞存根, 周青松, 等. 杭州湾海域春、秋季鱼类种类组成和数量分布[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(3): 656-663.