



## 珠江口海洋牧场渔业资源关键功能群的遴选方法

周卫国<sup>1,2</sup>, 丁德文<sup>1,2</sup>, 索安宁<sup>1,2\*</sup>, 何伟宏<sup>1,2</sup>, 田涛<sup>3</sup>

(1. 中国科学院南海海洋研究所, 中国科学院热带海洋生物资源与生态重点实验室, 广东广州 510301;

2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州), 广东广州 511458;

3. 大连海洋大学, 辽宁省海洋牧场工程技术研究中心, 辽宁大连 116023)

**摘要:** 功能群是研究海洋牧场生态系统结构和能量流动的基础。实验以 2016 年和 2017 年对珠江口万山海域渔业资源调查数据为基础, 结合珠江口海域渔业资源历史资料, 通过渔业资源优势度、生物量和渔获率指标排序分析, 首次提出海洋牧场渔业资源关键功能群概念及其顶级经济物种遴选原则, 以食物链营养级为基础构造海洋牧场渔业资源关键功能群。结果显示, 丽叶鲹、棘头梅童鱼、周氏新对虾、隆线强蟹、凤鲚、口虾蛄、太阳强蟹和锐齿蟳为渔业资源优势度、生物量、渔获率排序中处于前 30 位的共有经济物种; 底栖动物食性和浮游动物食性类群构成了珠江口海域的优势类群, 分别占 34% 和 20%; 依据遴选原则遴选出名贵鱼类、高产鱼类和虾蟹类组成的 7 种海洋牧场渔业资源顶级经济物种, 构造了 7 种由顶级经济物种及其食物链各营养级生物组成的海洋牧场渔业资源关键功能群, 包括银鲳功能群、云纹石斑鱼功能群、鲈功能群、黄姑鱼功能群、鳮功能群、斑节对虾功能群和锯缘青蟹功能群。研究结果为我国现代化海洋牧场渔业资源功能群构造提供思路与方法。

**关键词:** 海洋牧场; 渔业资源; 经济物种; 关键功能群; 遴选方法

中图分类号: S 931

文献标志码: A

海洋渔业资源是人类优质蛋白的主要摄食来源, 每年可为人类提供大约 30 亿 t 水产品。然而, 由于受到过度捕捞、环境污染、生境破坏等多种人类活动影响, 近年来我国近海渔业资源持续衰退, 已难以满足社会经济快速发展对海洋优质蛋白的大量需求。为缓解海洋水产品供需失衡局面, 现代化海洋牧场建设逐步发展成为促进海洋渔业转型升级的重要方向, 预计到 2025 年将建设 200 个国家级海洋牧场示范区, 形成“一带三区”(一带: 沿海一带; 三区: 黄渤海区、东海区、南海区)的海洋牧场建设新

格局<sup>[1]</sup>。

海洋牧场渔业资源关键功能群是指在海洋牧场中发挥着关键渔业资源功能的海洋经济生物类群, 包括顶级经济生物及其食物链各营养级生物类群。海洋牧场渔业资源关键功能群遴选是现代化海洋牧场建设的基础工作, 对海洋牧场建设成败具有至关重要的作用。由于不同海域的海洋生态环境特点不同, 适应该海洋生态环境特点的渔业资源关键功能群也存在差异, 因此, 每个现代化海洋牧场建设前都要遴选适合本海域的渔业资源关键功能群。

收稿日期: 2019-12-24 修回日期: 2020-07-01

资助项目: 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项(GML2019ZD0402); 中国科学院南海生态环境工程创新研究院自主部署项目(ISEE2019ZR03)

第一作者: 周卫国(照片), 从事海洋牧场生态承载力研究, E-mail: zhouweigu@scsio.ac.cn

通信作者: 索安宁, E-mail: san720@sina.com



珠江口渔场是我国南方著名的海洋渔场,该海域生物资源丰富,被誉为中国八大渔场之一,尤其适宜名贵海珍品的增殖及大型海洋牧场建设<sup>[2-3]</sup>。依托其优越的资源环境条件,农业农村部在珠江口万山海域批复建设了2个国家级海洋牧场示范区,总面积超过22000 hm<sup>2</sup>。在珠江口万山海洋牧场建设过程中,如何遴选海洋牧场渔业资源关键功能群,一直没有可借鉴的思路与方法。虽然前期该海域开展了增殖放流试验,但渔业资源增殖放流一般只考虑重要经济物种,并未从系统稳定角度考虑整个生物资源的群落构建,这与海洋牧场关键功能群构造存在差异。鉴于此,本实验以珠江口万山海域为实证案例,探索构建海洋牧场渔业资源关键功能群遴选方法,为我国现代化海洋牧场建设过程中的渔业资源功能群构造探索理论与思路。

## 1 材料与与方法

### 1.1 研究区域与数据来源

珠江口万山海域位于珠江口外的南海近岸海域,是珠江口入海径流与南海海洋水体的咸淡水混合区域,总面积约2600 km<sup>2</sup>,被万山群岛大小76个岛屿分割成水深各异的众多水道,主要有大西水道、青洲水道、大濠水道、担杆水道和大担尾水道。珠江口万山海域属于亚热带湿润气候,年平均降水量1849 mm。8—9月多热带风暴或台风,平均潮差1 m左右。海流受季风控制,东北季风期为西南流,西南季风期为东北流。由于受珠江冲淡水 and 外海潮流的共同作用,珠江口万山海域在陆源物质向海输送过程中起着重要的作用,导致该水域初级生产力极高,进而形成珠江口海水鱼类重要的产卵育肥场<sup>[4-6]</sup>,盛产蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi*)、带鱼(*Trichiurus lepturus*)、黄姑鱼(*Nibea albiflora*)、真鲷(*Pagrosomus major*)等,贝类、藻类资源也很丰富,水产养殖业发达。

实验于2016年和2017年在珠江口万山海域开展了渔业资源现场调查,调查站位分布见图1。调查采用单船有翼单囊拖网,在距离站位位置2~4 n mile处放网,拖速为3~4 kn。渔获物样品均鉴定到种,并记录各种类的名称、尾数、重量,样品种最小、最大体长,最小与最大体质

量。样品的采集和分析均遵循《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007)进行。同时搜集1980年以来该海域渔业资源经济生物调查分析论文10篇,共同作为珠江口万山海域渔业资源物种结构分析的基本数据。珠江口万山海域渔业资源物种分析基本数据来源见表1。因研究目的在于珠江口万山海域渔业资源关键功能群的筛选,不考虑历史数据中网具种类的不同对渔业资源结果的影响。

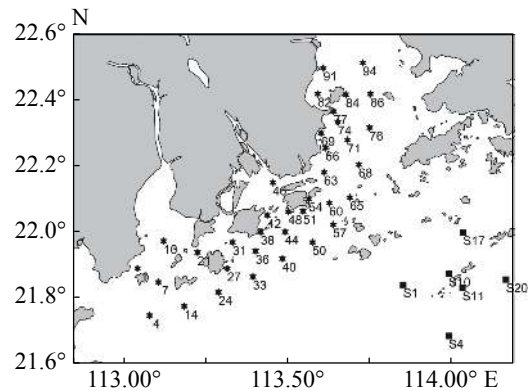


图1 珠江口万山海域渔业资源调查站位图

Fig. 1 Sampling stations of fishery resources in Wanshan islands adjacent sea in Pearl River Estuary

### 1.2 数据分析

渔业资源物种组成结构分析方法 一个区域海洋渔业资源一般由很多种渔业资源经济物种组成,相关文献对渔业资源物种组成结构进行了深入研究<sup>[16-17]</sup>。本实验采用最大值集成法分别计算调查获取每个渔业资源经济物种的优势度、生物量和渔获率,作为该渔业资源经济物种的结构特征指标。

①优势度。优势度用相对重要性指数(*IRI*)进行表示,计算公式:

$$IRI = (N\% + W\%) \times F\% \quad (1)$$

式中,*N%*代表某种渔获种类的尾数百分比;*W%*代表重量百分比,*F%*表示出现频率百分比。

②生物量。生物量采用每小时渔获量除以每小时扫海面积再乘以网具捕获率,计算公式:

$$D = C/Q \times a \quad (2)$$

式中,*D*为渔业资源密度(kg/km<sup>2</sup>),*C*为平均拖网每小时渔获量,*a*为每小时扫海面积。*Q*为网具捕获率。为了便于不同年份调查数据整合对

表 1 珠江口万山海域渔业资源物种结构分析资料来源

Tab. 1 Data sources of fishery resources of Wansha islands adjacent sea in Pearl River Estuary

调查时间 survey time	调查区域 survey area	采样方式 sample method	站位数 number of sites	数据来源 data sources
1980—1981	珠江口近海区 vicinity of Pearl River estuary	阿氏拖网 agassiz trawl	27	[2]
1986—1987	虎门水道-近海区 Humen estuary - offshore	底拖网 bottom trawl	18	[2]
1990—1991	珠江口近海区 vicinity of Pearl River estuary	底拖网 bottom trawl	25	[2]
1997—1998	内伶仃岛附近 Neilingding Island	尖尾罟网、掺缙网 pointed tail net, doped net	5	[2]
2003	虎门水道-伶仃洋水域 Humen estuary - Lingdingyang Bay	底拖网 bottom trawl	6	[2]
1986—1987	珠江口近海区 vicinity of Pearl River estuary	底拖网 bottom trawl	21	[7]
1990—1994	珠江口渔场 Pearl River estuary fishing ground	底拖网 bottom trawl	9	[8]
1987—1999	珠江口渔场 Pearl River estuary fishing ground	底拖网 bottom trawl	/	[9]
2006	珠江口伶仃洋海域 Lingdingyang Bay	虾拖网 shrimp trawl	25	[10]
2006—2007	珠江口水域 Pearl River estuary coastal waters	底拖网 bottom trawl	20	[11]
2009—2010	珠江口伶仃洋海域 Lingdingyang Bay	尖尾罟网 pointed tail net	3	[12]
2014	珠江口沿岸 Pearl River estuary area	张网 stow-net	1	[13]
2014	珠江口渔场 Pearl River estuary fishing ground	刺网 gillnet	8	[14]
2015	珠江口南沙海域 Nansha waters of Pearl River estuary	底拖网 bottom trawl	11	[15]
2016	珠海沿岸海域 Zhuhai coastal water	单船有翼单囊拖网 single capsule trawl	36	本文调查数据 survey data
2017	珠江口庙湾海域 Miaowan Bay	单船有翼单囊拖网 single capsule trawl	6	本文调查数据 survey data

比, 实验用渔业资源的重量比值表征渔业资源的生物量特性。

③渔获率。渔获率泛指捕捞作业捕获的渔业资源经济生物总尾数。为了便于不同年份调查数据的比较, 实验用捕捞作业捕获的渔业资源经济物种数量比值表征渔获率特征。

海洋牧场顶级经济物种遴选方法 现代化海洋牧场主要是基于生态学原理, 充分利用自然生产力, 运用现代工程技术和管理模式, 通过生境修复和人工增殖, 在适宜海域构建兼具环境保护、资源养护和渔业持续产出功能的生态系统<sup>[18]</sup>。海洋牧场渔业资源关键功能群是海洋牧场渔业生产的核心生物群体, 也是维持海洋牧场生态系统稳定、持续、高产的主要生物群体, 其顶级经济物种遴选必须满足以下原则。

①本区域海洋经济物种。

本区域海洋经济物种是在长期适应该区域海洋生态环境过程中逐渐进化形成的适合本区域生态环境特点的渔业资源经济物种, 具有环

境适应性强、生态风险小、增殖成本低等多种优点, 是现代化海洋牧场建设的首选渔业资源经济物种。

②体型大, 产量高。

现代化海洋牧场, 尤其是增殖型海洋牧场是以生态系统稳定前提下的渔业生产为主要建设目标, 作为渔业生产的核心生物群体, 其顶级经济生物必须具备体型大、产量高等特点, 体型大一方面便于捕捞, 另一方面也是维持高生物量/高生产量的必要条件; 产量高是实现海洋牧场渔业生产目标的基础。

③肉质鲜美, 市场价值高。

现代化海洋牧场建设的目的是为人民群众提供优质的海洋水产品, 肉食鲜美是优质海洋水产品的主要特征, 只有顶级经济物种肉质鲜美才能满足人民群众的市场需求, 形成较高的市场价值, 才能实现海洋牧场产业健康发展。

④能够人工繁殖、培育和放流。

海洋牧场渔业资源关键功能群是在生态学



原理指导下人为构造的渔业生产生物群体。它必须能够大量人工繁殖或自然采苗、培育成幼苗,放流到自然海域促进其发育成长,才能形成渔业资源增殖效果,实现海洋牧场渔业生产目标。

⑤各种关键功能群具有不同的栖息水层。

遴选的海洋牧场渔业资源关键功能群必须栖息不同水层,一些关键功能群利用海洋牧场上层水域生态空间,一些关键功能群利用中层水域生态空间,另一些关键功能群利用底层、海床生态空间,才能实现海洋牧场生态空间的多维高效利用,提高海洋牧场整体渔业生产功能。

⑥各种关键功能群之间互利共生,不存在敌对关系。

遴选的海洋牧场关键功能群之间必须互利共生,顶级经济物种之间不存在捕食敌对关系,达到各种生物群体之间相互促进,多级多维高效利用海洋牧场有限资源,实现海洋牧场高效产出。

海洋牧场渔业资源关键功能群构造方法

由于海洋牧场渔业资源关键功能群是由顶级经济物种及其它们的食物链各营养级生物组成的生物类群,所以本实验采用顶级经济物种摄食习性分析方法和营养级分析方法,依据主要海洋渔业经济物种食物链营养级数据构建海洋牧场渔业资源关键功能群。主要经济物种营养级数据来源于 fishbase 数据库 (<http://www.fishbase.se/>),通过 R 语言 (v 4.0.1) 的 rfishbase 包获取<sup>[19]</sup>,并参考历史渔业资源营养结构研究结果,对于部分不能精确到种的营养级,采用其所在属的营养级。

## 2 结果

### 2.1 渔业资源物种组成结果特征

珠江口万山海域渔业资源经济物种优势度、生物量、渔获率处于前 30 位的共涉及到 57 个物种,其中鱼类 41 种,甲壳类 16 种。从经济价值来看,鱼类中属于名贵物种有 3 种,包括云纹石斑鱼 (*Epinehelus moara*)、深水金线鱼 (*Nemipterus bathybius*) 和银鲳 (*Pampus argenteus*); 优质物种有 5 种,包括棘头梅童鱼 (*Collichthys lucidus*)、长尾大眼鲷 (*Priacanthus tayenus*)、花鲈 (*Lateolabrax japonicus*)、黄鳍马面鲀 (*Thamnaconus hyparg-*

*yreus*)、鲻 (*Mugil cephalus*); 一般经济物种有 27 种,包括日本金线鱼 (*Nemipterus japonicus*)、带鱼、燕尾鲳 (*Pampus nozawae*)、刺鲳 (*Psenopsis anomala*)、白姑鱼 (*Argyrosomus argentatus*)、黄姑鱼、皮氏叫姑鱼 (*Johnius belangerii*)、截尾白姑鱼 (*Pennahia anea*)、蓝圆鲹、丽叶鲹 (*Alepes djedaba*)、短吻鲷 (*Leiognathus brevirostris*)、孔鰕虎鱼 (*Trypauchen vagina*)、二长棘鲷 (*Paerargyrops edita*)、褐斑三线舌鲷 (*Cynoglossus trigrammus*)、少牙斑鲆 (*Pseudorhombus oligodon*)、康氏小公鱼 (*Stolephorus commersonnii*)、凤鲚 (*Coilia mystus*)、金色小沙丁鱼 (*Sardinella aurita*)、棕斑腹刺鲀 (*Gastrophysus spadiceus*)、长蛇鲻 (*Saurida elongata*)、叉斑狗母鱼 (*Synodus macrops*)、鲷 (*Platycephalus indicus*)、中华青鳞鱼 (*Harengula nymphaea*)、黄带鲱鲤 (*Upeneus sulphureus*)、羽鳃鲈 (*Rastrelliger kanagurta*)、李氏鲻 (*Callionymus richardsoni*)、海鳗 (*Muraenesox cinereus*); 小杂鱼有 6 种,包括黄斑鲷 (*Leiognathus bindus*)、双带天竺鲷 (*Apogon taeniatus*)、中线天竺鲷 (*Apogon kiensis*)、杜氏棱鲷 (*Thryssa dussumieri*)、赤鼻棱鲷 (*Thryssa kammalensis*) 和斑鳍天竺鱼 (*Apogon carinatus*)。甲壳类中经济种有红星梭子蟹 (*Portunus sanguinolentus*)、锯缘青蟹 (*Scylla serrata*)、周氏新对虾 (*Metapenaeus joyneri*)、斑节对虾 (*Penaeus monodon*)、亨氏仿对虾 (*Parapenaeopsis hungerfordi*)、锐齿螯 (*Charybdis acuta*)、脊尾白虾 (*Exopalaemon carinicauda*)、宽突赤虾 (*Metapenaeopsis palmensis*)、近缘新对虾 (*Metapenaeus affinis*)、口虾蛄 (*Oratosquilla oratoria*)、黑斑口虾蛄 (*Oratosquilla kempfi*) 共 11 种; 常见种有直额螯 (*Charybdis truncate*)、矛形梭子蟹 (*Portunus hastatoides*)、美人螯 (*Charybdis callianassa*)、隆线强蟹 (*Eucrater crenata*)、太阳强蟹 (*Eucrater solaris*) 共 5 种。

采用渔业资源韦恩图分析法,分析珠江口万山海域渔业资源经济生物优势度、生物量和渔获率排序前 30 种的物种组成特征 (图 2)。可以看出,珠江口万山海域渔业资源经济物种中,同时在优势度和生物量排序处于前 30 位的有:皮氏叫姑鱼、赤鼻棱鲷、丽叶鲹、棘头梅童鱼、周氏新对虾、隆线强蟹、凤鲚、口虾蛄、太阳强蟹和锐齿螯,共 10 种; 同时在优势度和渔获率排序处于前 30 位的有:蓝圆鲹、杜氏棱鲷、康氏小公鱼、黄斑鲷、丽叶鲹、棘头梅童鱼、

周氏新对虾、隆线强蟹、凤鲚、口虾蛄、太阳强蟹和锐齿螯, 共 12 种; 同时在生物量和渔获率排序处于前 30 位的有: 金色小沙丁鱼、羽鳃鲶、中线天竺鲷、矛形梭子蟹、长蛇鲻、黄鳍马面鲀、截尾白姑鱼、日本金线鱼、二长棘鲷、双带天竺鲷、丽叶鲶、棘头梅童鱼、周氏新对

虾、隆线强蟹、凤鲚、口虾蛄、太阳强蟹和锐齿螯, 共 18 种; 同时在优势度、生物量、渔获率排序处于前 30 位的经济物种有: 丽叶鲶、棘头梅童鱼、周氏新对虾、隆线强蟹、凤鲚、口虾蛄、太阳强蟹和锐齿螯, 共 8 种。

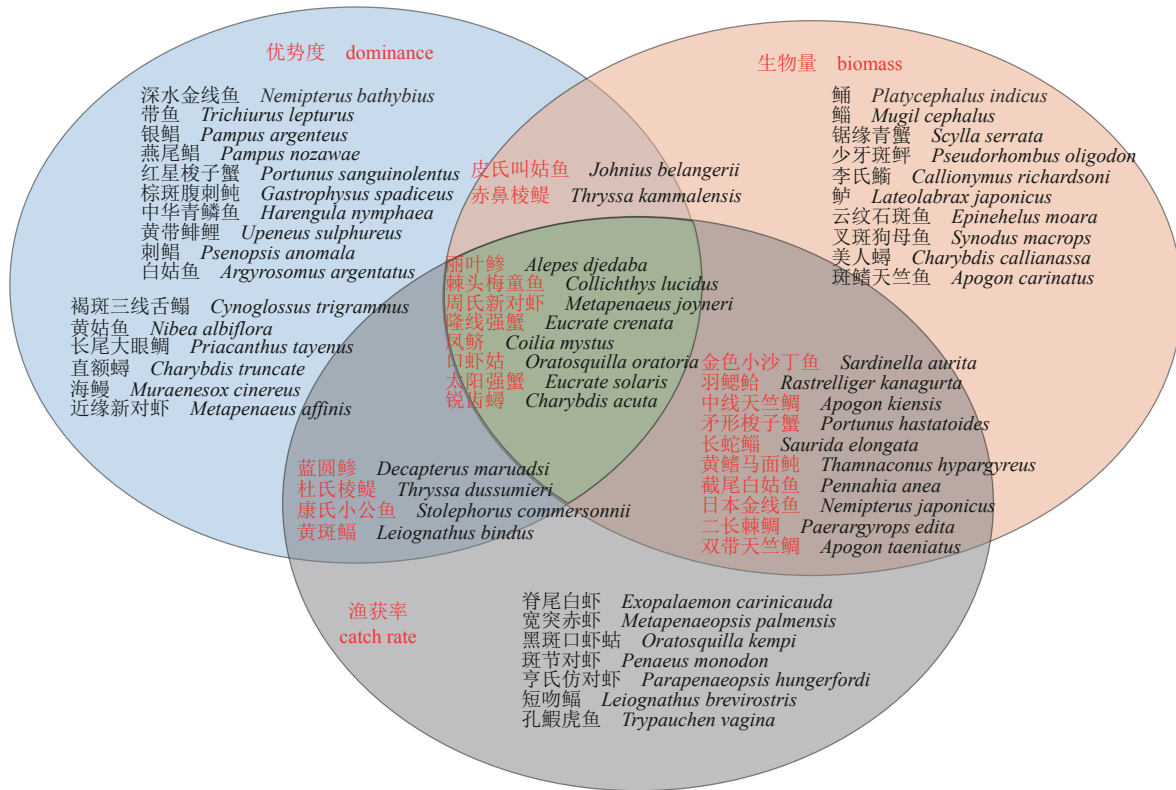


图 2 珠江口渔业资源韦恩图

Fig. 2 Venn diagram of fishery resources in Pearl River Estuary

依据现有的关于游泳动物摄食习性的文献资料<sup>[20-22]</sup>, 将珠江口渔业资源划分为 7 个类群, 主要有浮游动物食性类群、浮游动物/底栖动物食性类群、底栖动物食性类群、底栖动物/游泳动物食性类群、游泳动物食性类群、杂食性类群和碎屑食性类群。其中, 浮游动物食性类群包括丽叶鲶、凤鲚、金色小沙丁鱼、羽鳃鲶、蓝圆鲹、赤鼻棱鲷、杜氏棱鲷、银鲳、燕尾鲳、中华青鳞鱼和康氏小公鱼等 11 种; 浮游动物/底栖动物食性类群包括棘头梅童鱼、口虾蛄、黑斑口虾蛄、深水金线鱼、中线天竺鲷、黄斑鲷、云纹石斑鱼、斑鳍天竺鱼和双带天竺鲷等 9 种; 底栖动物食性类群包括少牙斑鲆、李氏鲻、脊尾白虾、短吻鲷、红星梭子蟹、棕斑腹刺鲀、棕腹刺鲀、黄鳍马面鲀、孔鰕虎鱼、隆线强蟹、

太阳强蟹、矛形梭子蟹、二长棘鲷、锯缘青蟹、宽突赤虾、斑节对虾、亨氏仿对虾、褐斑三线舌鲷和黄带鲱鲤等 19 种; 底栖动物/游泳动物食性类群包括皮氏叫姑鱼、花鲈、白姑鱼、黄姑鱼、锐齿螯、美人螯、直额螯和截尾白姑鱼等 8 种; 游泳动物食性类群包括长蛇鲻、日本金线鱼、刺鲳和叉斑狗母鱼等 4 种; 杂食性类群包括鲷、长尾大眼鲷、带鱼和周氏新对虾等 4 种; 碎屑食性类群仅有鲷 1 种。底栖动物食性和浮游动物食性类群构成了珠江口海域的优势类群, 分别占据 34% 和 20%(图 3)。

### 2.2 海洋牧场顶级经济物种遴选结果

根据实验场关键功能群顶级经济物种遴选方法, 以珠江口万山海域渔业资源结构分析结

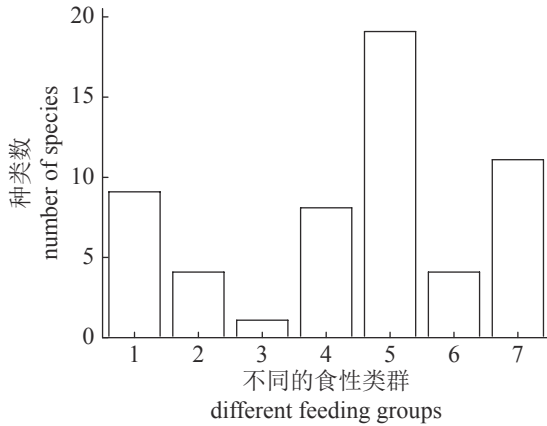


图3 珠江口主要渔业资源摄食习性

1. 浮游动物/底栖动物食性, 2. 杂食性, 3. 腐屑食性, 4. 底栖动物/游泳动物食性, 5. 底栖动物食性, 6. 游泳动物食性, 7. 浮游动物食性

Fig. 3 Feeding habit of fishery resources in Pearl River Estuary

1. zooplankton/zoobenthos predators, 2. Omnivory, 3. Detritivorous, 4. zoobenthos/nekton predators, 5. zoobenthos predators, 6. nekton predators, 7. zooplankton predators

果为基础, 遴选珠江口万山海域渔业资源关键功能群顶级经济物种。

首先, 珠江口万山海域渔业资源结构分析的所有物种都是珠江口万山海域本区域海洋经济物种, 都满足本区域海洋经济物种要求。

其次, 珠江口万山海域渔业资源经济物种中, 体型大、产量高的物种主要有银鲳、燕尾鲳、黄姑鱼、长尾大眼鲷、花鲈、鲷、海鳗、深水金线鱼、日本金线鱼、带鱼、刺鲃、白姑鱼、皮氏叫姑鱼、棘头梅童鱼、截尾白姑鱼、蓝圆鲹、二长棘鲷、褐斑三线舌鲷、少牙斑鲆、凤鲆、金色小沙丁鱼、棕斑腹刺鲀、黄鳍马面鲀、长蛇鲭、鲷、黄带鲱鲤、羽鳃鲈、李氏鳊、云纹石斑鱼、叉斑狗母鱼、中华青鳞鱼、红星梭子蟹、直额螳、锯缘青蟹、周氏新对虾、斑节对虾、亨氏仿对虾、隆线强蟹、脊尾白虾、近缘新对虾和口虾蛄。

第三, 在这些物种中, 属于肉质鲜美、市场价值高的名贵鱼类、高产鱼类有银鲳、燕尾鲳、黄姑鱼、长尾大眼鲷、花鲈、鲷、海鳗、深水金线鱼、日本金线鱼、带鱼、刺鲃、白姑鱼、褐斑三线舌鲷、金色小沙丁鱼、黄鳍马面鲀、长蛇鲭、鲷、云纹石斑鱼、红星梭子蟹、锯缘青蟹、周氏新对虾、斑节对虾、亨氏仿对虾、

脊尾白虾、近缘新对虾和口虾蛄。

第四, 这些名贵鱼类、高产鱼类中, 能够人工繁殖、培育, 且适合增殖放流的物种有银鲳、黄姑鱼、花鲈、鲷、云纹石斑鱼、斑节对虾、锯缘青蟹。

第五, 在第四步遴选的顶级经济物种中, 银鲳为暖温性中上层集群鱼类, 黄姑鱼和鲷属于中下层鱼类, 花鲈和云纹石斑鱼为暖水性底层鱼类, 斑节对虾和锯缘青蟹营底栖生活。

第六, 对遴选的功能群摄食习性分析表明, 银鲳为浮游动物食性, 黄姑鱼和花鲈为底栖动物/游泳动物食性, 鲷为碎屑食性, 云纹石斑鱼为浮游动物/底栖动物食性, 斑节对虾和锯缘青蟹为底栖动物食性, 它们之间不存在有食物的竞争和相互捕食压力的现象。同时, 已有的研究表明斑节对虾和锯缘青蟹混养结果能够提高养殖的经济效益, 对虾摄食后的残饵是蟹的良好饲料; 而蟹能够摄食有机碎屑、鱼虾和其他动物尸体以及携带对虾病原体的中间宿主, 抑制各类微生物的繁殖, 减少虾病害发生<sup>[23-24]</sup>。

根据以上遴选过程, 遴选出珠江口万山海域海洋牧场顶级经济物种, 包括名贵鱼类、高产鱼类、虾蟹类共7种。其中名贵鱼类有银鲳、云纹石斑鱼; 高产鱼类有花鲈、黄姑鱼、鲷; 虾蟹类有斑节对虾、锯缘青蟹。

### 2.3 海洋牧场渔业资源关键功能群构造

针对于筛选出的每种功能群顶级物种, 以食物链营养级为基础构造珠江口海域海洋牧场渔业资源关键功能群(图4)。根据张月平<sup>[25]</sup>提出的南海北部湾海洋生态系统食物网的划分标准, 以上7种顶级经济物种中, 云纹石斑鱼(3.90±0.02)和黄姑鱼(3.99±0.05)属于高级肉食性种类, 其中云纹石斑鱼属于底层鱼类, 主要摄食中小型鱼类、甲壳类和头足类; 黄姑鱼属于中下层鱼类, 主要摄食蓝圆鲹、金色小沙丁鱼、狗母鱼等中小型鱼类和口虾蛄、日本鼓虾、巨指长臂虾等虾类。银鲳(3.23±0.42)、花鲈(3.32±0.41)和锯缘青蟹(3.10±0.30)属于中级肉食性种类, 其中银鲳属于中上层鱼类, 主要摄食水母类、涟虫类、水蚤类等浮游动物; 花鲈属于底层鱼类, 主要摄食凤鲆、黄鲫等鱼类及口虾蛄等甲壳类; 锯缘青蟹属于底栖甲壳类, 主要摄食软体动物和小型甲壳类。鲷(2.48±0.17)属于中下层低级肉



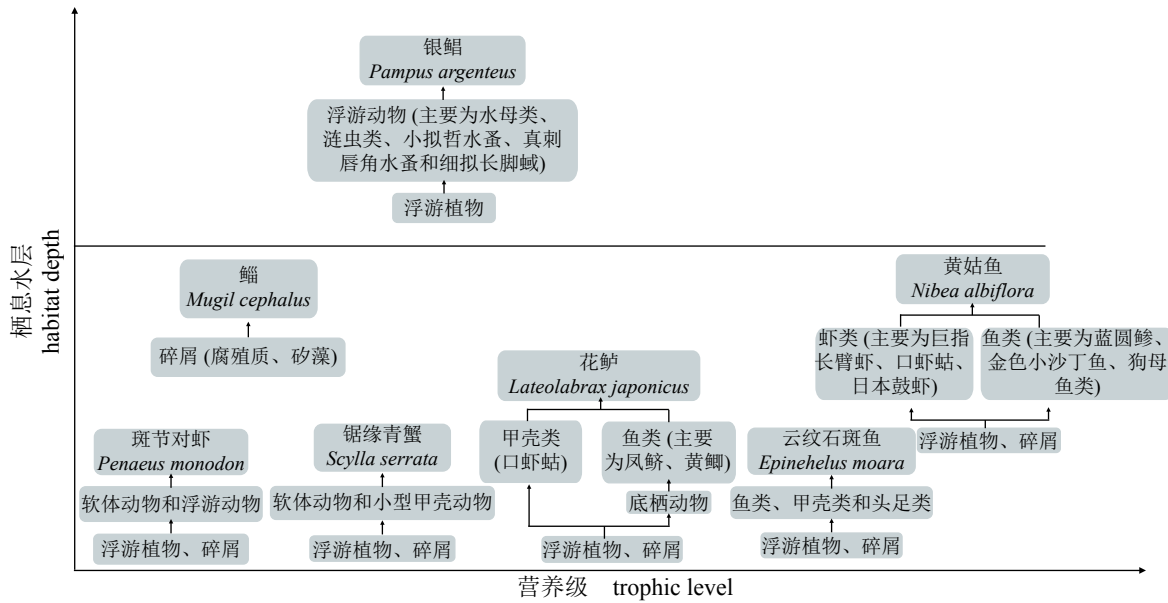


图 4 珠江口海洋牧场渔业资源关键功能群构造

Fig. 4 Key functional groups of marine ranching fishery resources in Pearl River Estuary

食性鱼类, 主要摄食碎屑、硅藻等。斑节对虾 (1.76) 属于底层杂食性种类, 主要摄食软体动物和浮游动物。

### 3 讨论

#### 3.1 珠江口海域海洋牧场关键功能群遴选

海洋牧场是一种受人为主导的海洋生态系统, 海洋牧场的建设包括有生境建设、资源增殖、开发利用、生态系统服务和管理维护<sup>[26]</sup>。合理的选择增殖放流种类是海洋牧场资源增殖的关键环节, 也是确保海洋牧场建设效果的前提条件。截至 2018 年, 世界沿海 80 多个国家开展了约 200 个物种的增殖放流, 但是绝大多数并没有达到预期效果<sup>[27]</sup>。林会洁等<sup>[28]</sup>发现不同的增殖放流种类会改变海洋牧场食物网结构, 进而影响生态系统的稳定。宋普庆等<sup>[29]</sup>对三都澳区域增殖放流种类的调查发现, 仅大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 的产量有明显的恢复。李忠义等<sup>[30]</sup>应用 ABC 曲线法分析崂山湾游泳动物群落结构稳定性的时间格局, 从渔业资源群落结构稳定性的角度来筛选增殖放流种类, 其研究结果表明虾蟹类有助于增强崂山湾渔业资源群落结构。在本研究中, 生物量、渔获率和优势度作为渔业资源物种的结构特征指标应用于海洋牧场关键功能群筛选, 其中, 生物量代表着渔

获物的总重量; 渔获率是估算渔业资源利用程度的标志; 优势度综合考虑渔业资源丰度、生物量及其在各调查位点出现的频次, 3 种指标表征着渔业资源的资源现状。本研究综合渔业资源本身的生态特性、经济价值及其市场价值遴选适合珠江口海域的海洋牧场渔业资源关键功能群 (名贵鱼类、高产鱼类和虾蟹类), 从系统稳定角度考虑整个生物资源的群落构建, 以期海洋牧场增殖放流提供参考对象和必要的科学依据。

#### 3.2 珠江口海域海洋牧场关键功能群特征

在游泳动物群落生态研究中, 功能群是一种简化群落结构的重要研究手段。采用划分功能群的方法来研究生物群落结构可以大大简化海洋生态系统的食物网及其营养动力学过程研究<sup>[31]</sup>。已有的功能群组成研究主要基于游泳动物摄食习性, 不同海域的游泳动物依据摄食习性可划分为不同的营养功能群, 如姜亚洲等<sup>[31]</sup>将象山港海域的优势功能群划分为底栖动物食性、底栖动物/游泳动物食性、腐屑食性和游泳动物食性功能群; 张波等<sup>[32]</sup>将渤海鱼类群落划分为虾/鱼食性功能群、浮游动物食性功能群和杂食性功能群等。在本研究中, 底栖动物食性和浮游动物食性类群构成了珠江口海域的优势类群, 分别占 34% 和 20%。

基于珠江口海域渔业资源的优势类群组成,其物质循环和能量流动途径主要有:①浮游植物和碎屑→底栖动物→底栖动物食性类群→游泳动物食性类群(或底栖动物/游泳动物食性类群);②浮游植物→浮游动物→浮游动物食性类群→游泳动物食性类群。陈作志等<sup>[33]</sup>应用 Ecopath 模型对南海北部生态系统总体特征研究表明该区域能量流动途径有两条,一条是牧食食物链,浮游植物→浮游动物→小型鱼类→渔业和食用鱼类;另一条是碎屑食物链,再循环有机物→碎屑→浮游动物→小型鱼虾类→渔业。这与本实验对相邻的珠江口海域的历史渔业资源数据分析结果是相似的,珠江口海域渔业资源类群中低营养级如浮游动物食性类群和底栖动物食性类群种类数较多,而高营养级如游泳动物食性类群所含的种类数较少。这种现象表明珠江口海域在不断增强的外界干扰下,其功能群稳定性存有进一步退化的风险。维持珠江口海域各功能群营养结构的健康稳定是海洋牧场建设过程中急需解决的问题。

本实验以海洋牧场渔业资源顶级经济物种为核心,构造了包含顶级经济物种及其食物链各营养级生物组成的海洋牧场渔业资源关键功能群,分别是银鲳功能群、云纹石斑鱼功能群、黄姑鱼功能群、鲈功能群、鲷功能群、斑节对虾功能群和锯缘青蟹功能群。以上7种海洋牧场渔业资源关键功能群可实现珠江口海洋牧场空间的分层多维高效利用、海洋牧场生态系统的健康稳定维持和海洋牧场渔业资源的高质量持续产出,为我国现代化海洋牧场建设的渔业资源功能群构造提供了理论方法与思路。

#### 参考文献 (References):

- [1] 中华人民共和国农业部. 农业部关于印发《国家级海洋牧场示范区建设规划(2017—2025)》的通知 [EB/OL]. (2017-11-20)[2017-11-20]. [http://www.moa.gov.cn/nybg/2017/201711/201802/t20180201\\_6136235.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/2017/201711/201802/t20180201_6136235.htm).  
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Notice of the Ministry of Agriculture on printing and distributing the national marine ranching demonstration zone construction plan (2017-2025)[EB/OL]. (2017-11-20)[2017-11-20]. [http://www.moa.gov.cn/nybg/2017/201711/201802/t20180201\\_6136235.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/2017/201711/201802/t20180201_6136235.htm) (in <https://www.china-fishery.cn>
- Chinese).
- [2] 王迪. 珠江口鱼类群落及物种多样性研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2006.  
Wang D. Research of the community and diversity of fishes in the Pearl River estuarine waters[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2006 (in Chinese).
- [3] 陈丕茂, 秦传新, 舒黎明. 珠江口人工鱼礁场生态效应 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2018: 1-331.  
Chen P M, Qin C X, Shu L M. Ecological effect of artificial reef field in pearl River Estuary[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2018: 1-331 (in Chinese).
- [4] 黄少彬, 李开明, 姜国强, 等. 珠江口盐度锋面对营养物质和生物的影响[J]. 水资源保护, 2011, 27(2): 18-25.  
Huang S B, Li K M, Jiang G Q, et al. Influence of salinity fronts on nutrition substance and biology in Pearl River Estuary[J]. *Water Resources Protection*, 2011, 27(2): 18-25(in Chinese).
- [5] 蔡树群, 郑舒, 韦愷. 珠江口水动力特征与缺氧现象的研究进展[J]. 热带海洋学报, 2013, 32(5): 1-8.  
Cai S Q, Zheng S, Wei X. Progress on the hydrodynamic characteristics and the hypoxia phenomenon in the Pearl River Estuary[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2013, 32(5): 1-8(in Chinese).
- [6] 刘华健, 黄良民, 谭焯辉, 等. 珠江口浮游植物叶绿素a和初级生产力的季节变化及其影响因素[J]. 热带海洋学报, 2017, 36(1): 81-91.  
Liu H J, Huang L M, Tan Y H, et al. Seasonal variations of chlorophyll a and primary production and their influencing factors in the Pearl River Estuary[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2017, 36(1): 81-91(in Chinese).
- [7] 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.  
Zhan H G. Study on fish community structure in the Zhujiang estuary and adjacent waters[J]. *Haiyang Xuebao*, 1998, 20(3): 91-97(in Chinese).
- [8] 叶源华. 珠江口渔业资源动态分析[J]. 水产科技, 1995(5): 4-7.  
Ye Y H. Dynamic analysis of fishery resources in Pearl River Estuary[J]. *Fisheries Science and Technology*, 1995(5): 4-7(in Chinese).
- [9] 卢伟华, 叶普仁. 广东底拖网渔获资源状况[J]. 中国水产, 2001, 302(1): 64, 59.  
Lu W H, Ye P R. The status of bottom trawl catch  
中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries



- resources in Guangdong Province[J]. *China Fisheries*, 2001, 302(1): 64, 59(in Chinese).
- [10] 杨吝, 张旭丰, 谭永光, 等. 珠江口浅水域小型虾拖网渔获组成分析[J]. *南方水产*, 2008, 4(6): 70-77.  
Yang L, Zhang X F, Tan Y G, *et al.* Analysis of the catch composition of small shrimp-beam-trawl net in shallow waters of Pearl River Estuary, China[J]. *South China Fisheries Science*, 2008, 4(6): 70-77(in Chinese).
- [11] 黄梓荣, 孙典荣, 陈作志, 等. 珠江口附近海区甲壳类动物的区系特征及其分布状况[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(10): 2535-2544.  
Huang Z R, Sun D R, Chen Z Z, *et al.* Faunal characteristics and distribution pattern of crustaceans in the vicinity of Pearl River Estuary[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(10): 2535-2544(in Chinese).
- [12] 李开枝, 尹健强, 黄良民, 等. 珠江口伶仃洋海域底层游泳动物的季节变化[J]. *生态科学*, 2012, 31(1): 1-7.  
Li K Z, Yin J Q, Huang L M, *et al.* Seasonal variations of bottom nekton in the Lingding Bay of Pearl River Estuary, China[J]. *Ecological Science*, 2012, 31(1): 1-7(in Chinese).
- [13] 晏磊, 谭永光, 杨吝, 等. 南海珠江口沿岸张网渔业资源群落结构分析[J]. *生物学杂志*, 2015, 32(5): 52-57.  
Yan L, Tan Y G, Yang L, *et al.* The resources community structure of stow-net fishery in the Pearl River Estuary coastal waters of the South China Sea[J]. *Journal of Biology*, 2015, 32(5): 52-57(in Chinese).
- [14] 晏磊, 谭永光, 杨吝, 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.  
Yan L, Tan Y G, Yang L, *et al.* Catch composition and diversity of gillnet fishery in the Pearl River Estuary coastal waters of the South China Sea in autumn[J]. *South China Fisheries Science*, 2016, 12(1): 111-119(in Chinese).
- [15] 袁梦, 汤勇, 徐姗楠, 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.  
Yuan M, Tang Y, Xu S N, *et al.* Community structure of fishery resources from the Nansha waters of Pearl River Estuary in autumn[J]. *South China Fisheries Science*, 2017, 13(2): 18-25(in Chinese).
- [16] 曾艳艺, 赖子尼, 杨婉玲, 等. 珠江河口渔业生物稳定同位素营养级分析[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(1): 194-202.  
Zeng Y Y, Lai Z N, Yang W L, *et al.* Trophic spectrum of fishery species from the Pearl River Estuary by stable isotope analysis[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(1): 194-202(in Chinese).
- [17] 蔡研聪, 徐姗楠, 陈作志, 等. 南海北部近海渔业资源群落结构及其多样性现状[J]. *南方水产科学*, 2018, 14(2): 10-18.  
Cai Y C, Xu S N, Chen Z Z, *et al.* Current status of community structure and diversity of fishery resources in offshore northern South China Sea[J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(2): 10-18(in Chinese).
- [18] 杨红生, 章守宇, 张秀梅, 等. 中国现代化海洋牧场建设的战略思考[J]. *水产学报*, 2019, 43(4): 1225-1262.  
Yang H S, Zhang S Y, Zhang X M, *et al.* Strategic thinking on the construction of modern marine ranching in China[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(4): 1225-1262(in Chinese).
- [19] Boettiger C, Lang D T, Wainwright P C. rfishbase: exploring, manipulating and visualizing FishBase data from R[J]. *Journal of Fish Biology*, 2012, 81(6): 2030-2039.
- [20] 张波, 唐启升, 金显仕. 东海高营养层次鱼类功能群及其主要种类[J]. *中国水产科学*, 2007, 14(6): 939-949.  
Zhang B, Tang Q S, Jin X S. Functional groups of fish assemblages and their major species at high trophic level in the East China Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, 14(6): 939-949(in Chinese).
- [21] 张波, 金显仕, 唐启升. 长江口及邻近海域高营养层次生物群落功能群及其变化[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(2): 344-351.  
Zhang B, Jin X S, Tang Q S. Functional groups of high trophic level communities in adjacent waters of Changjiang estuary[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(2): 344-351(in Chinese).
- [22] 吕振波, 李凡, 徐炳庆, 等. 黄海山东海域春、秋季鱼类群落多样性[J]. *生物多样性*, 2012, 20(2): 207-214.  
Lv Z B, Li F, Xu B Q, *et al.* Fish community diversity during spring and autumn in the Yellow Sea off the coast of Shandong[J]. *Biodiversity Science*, 2012, 20(2): 207-214(in Chinese).
- [23] 梁华芳, 邱国, 陈康惜. 利用老化虾塘进行斑节对虾与锯缘青蟹混养试验[J]. *海洋科学*, 2003, 27(7): 10-12,

42. Liang H F, Qiu G, Chen K X. Experiment on polyculture of grass shrimp with *Scylla serrata* in the aged ponds[J]. *Marine Sciences*, 2003, 27(7): 10-12, 42(in Chinese).
- [24] 王志成, 苏琼, 谢若痴, 等. 锯缘青蟹大眼幼体与斑节对虾的混养试验[J]. *广西科学*, 2004, 11(3): 278-280.
- Wang Z C, Su Q, Xie R C, *et al.* Experiment of farming mud crab megalops and grass prawn simultaneously in the same ponds[J]. *Guangxi Sciences*, 2004, 11(3): 278-280(in Chinese).
- [25] 张月平. 南海北部湾主要鱼类食物网[J]. *中国水产科学*, 2005, 12(5): 621-631.
- Zhang Y P. Foods web for main fishes in Beibu Gulf of the South China Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2005, 12(5): 621-631(in Chinese).
- [26] 陈丕茂, 舒黎明, 袁华荣, 等. 国内外海洋牧场发展历程与定义分类概述[J]. *水产学报*, 2019, 43(9): 1851-1869.
- Chen P M, Shu L M, Yuan H R, *et al.* Review on development, definition and classification of marine ranching in domestic and overseas[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(9): 1851-1869(in Chinese).
- [27] Kitada S. Economic, ecological and genetic impacts of marine stock enhancement and sea ranching: a systematic review[J]. *Fish and Fisheries*, 2018, 19(2): 511-532.
- [28] 林会洁, 秦传新, 黎小国, 等. 柘林湾海洋牧场不同功能区食物网结构[J]. *水产学报*, 2018, 42(7): 1026-1039.
- Lin H J, Qin C X, Li X G, *et al.* Food web analysis in Zhelin Bay marine ranching[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(7): 1026-1039(in Chinese).
- [29] 宋普庆, 林龙山, 李渊, 等. 福建三都澳游泳动物种类组成及群落结构稳定性[J]. *生物多样性*, 2015, 23(4): 519-526.
- Song P Q, Lin L S, Li Y, *et al.* Species composition and stability of nekton community structure in Sandu Bay, Fujian Province[J]. *Biodiversity Science*, 2015, 23(4): 519-526(in Chinese).
- [30] 李忠义, 袁伟, 王新良, 等. 基于渔业资源群落结构稳定性对崂山湾增殖放流种类甄选的设想[J]. *中国水产科学*, 2020, 27(7): 739-747.
- Li Z Y, Yuan W, Wang X L, *et al.* Assumption on the releasing species selection based on stability of fisheries resource community structure in Laoshan Bay[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, 27(7): 739-747(in Chinese).
- [31] 姜亚洲, 林楠, 袁兴伟, 等. 象山港游泳动物群落功能群组成与功能群多样性[J]. *海洋与湖沼*, 2014, 45(1): 108-114.
- Jiang Y Z, Lin N, Yuan X W, *et al.* Functional group composition and functional diversity of nekton community in the Xiangshan Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, 45(1): 108-114(in Chinese).
- [32] 张波, 李忠义, 金显仕. 渤海鱼类群落功能群及其主要种类[J]. *水产学报*, 2012, 36(1): 64-72.
- Zhang B, Li Z Y, Jin X S. Functional groups of fish assemblages and their major species in the Bohai Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(1): 64-72(in Chinese).
- [33] 陈作志, 邱永松. 南海北部生态系统食物网结构、能量流动及系统特征[J]. *生态学报*, 2010, 30(18): 4855-4865.
- Chen Z Z, Qiu Y S. Assessment of the food-web structure, energy flows, and system attribute of northern South China Sea ecosystem[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(18): 4855-4865(in Chinese).

## Key functional groups selection in marine ranching fishery resources from the Pearl River Estuary

ZHOU Weiguo<sup>1,2</sup>, DING Dewen<sup>1,2</sup>, SUO Anning<sup>1,2\*</sup>, HE Weihong<sup>1,2</sup>, TIAN Tao<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Tropical Marine Bio-resources and Ecology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;

2. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou 511458, China;

3. Center for Marine Ranching Engineering Science Research of Liaoning Province, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

**Abstract:** Functional groups are the foundation of the analysis of food web structure and energy flow in marine ranching ecosystems. Based on filed investigation in Wanshan Islands adjacent sea in 2016 and 2017, and historical data of fishery resources in the Pearl River Estuary, the predominance, biomass and catch rate of fishery resources were studied. The results showed that *Caranx kalla*, *Collichthys lucidus*, *Metapenaeus joyneri*, *Eucrate crenata*, *Coilia mystus*, *Oratosquilla oratoria*, *Eucrate solaris* and *Charybdis acuta* were the shared economical species from the top 30 economic species. In terms of feeding habit, seven groups were identified in Pearl River Estuary including zooplanktivores, zooplanktivores/benthivores, benthivores, benthivores/piscivores, piscivores, omnivores, and detritivores. And benthivores (34%) and zooplanktivores (20%) groups were dominant in the Pearl River Estuary. Furthermore, rare fishes, high-yield fishes and shrimp and crab were eventually selected as top economic species of key functional groups in marine ranching fishery resources including *Pampus argenteus*, *E. moara*, *L. japonicas*, *N. albiflora*, *Mugil cephalus*, *Penaeus monodon*, and *Scylla serrate*. The common features are: (i) native economic species; (ii) great body weight and high yield; (iii) delicious taste and high market value; (iv) capable of artificial reproduction and release; (v) different habitat water layers; (vi) mutualistic. According to trophic levels of these top economical species in food chain, we found that both *Epinehelus moara* and *Nibea albiflora* belong to the higher carnivorous species. *Epinehelus moara* are bottom fishes that mainly feed on small and medium-sized fish, crustaceans and cephalopods, while *Nibea albiflora* are middle and lower-layer fishes that mainly feed on small and medium-sized fishes (e.g., *Decapterus maruadsi*, *Sardinella aurita*) and shrimps (e.g., *O. oratoria*, *Alpheus japonicas*). In addition, *Pampus argenteus*, *Lateolabrax japonicas* and *S. serrate* belong to the intermediate carnivorous species. To be specific, *Pampus argenteus* are pelagic fish, mainly feeding on jellyfish, ripple worms, water fleas or other zooplankton. *L. japonicas* are bottom fishes that mainly feed on fishes (e.g., *C. mystus*, *Setipinna taty*) and crustaceans (e.g., *Oratosquilla oratoria*, *Scylla serrate*) are benthic crustacean and feed on mollusks and small crustaceans. Moreover, *M. cephalus* inhabits the middle and lower layers and belongs to lower carnivorous species, mainly feeding on debris or diatoms. And *Penaeus monodon* are bottom-layer omnivorous species that mainly feed on mollusks and zooplankton. In conclusion, we constructed seven key functional groups of marine ranching fishery resources composed of top economic species and organisms in their food chains, including *P. argenteus* functional groups, *Epinehelus moara* functional groups, *L. japonicas* functional groups, *N. albiflora* functional groups, *M. cephalus* functional groups, *P. monodon* functional groups and *S. serrate* functional groups. The above seven key functional groups can realize poly-dimension utilization of space-time resources in marine ranching, thus are of great importance for sustainable development of marine fisheries and healthy coastal ecosystems.

**Key words:** marine ranching; fishery resources; economic species; key functional groups; selection method

**Corresponding author:** SUO Anning. E-mail: san720@sina.com

**Funding projects:** Key Special Project for Introduced Talents Team of Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou) (GML2019ZD0402); Innovation Academy of South China Sea Ecology and Environmental Engineering, Chinese Academy of Sciences (ISEE2019ZR03)