

基于表层框架拖网的广西涠洲岛海域鱼类群落结构特征及其影响因子

林 佳^{1,2}, 庞碧剑¹, 江林源³, 阎珂鸣¹, 刘勣伶¹,
林海英², 蓝文陆¹

(1.广西壮族自治区海洋环境监测中心站, 北部湾海洋生态环境广西野外科学观测研究站, 广西 北海 536000; 2.广西大学 资源环境与材料学院, 广西 南宁 530000; 3.广西水产科学研究院, 广西 南宁 530000)

摘 要: 本文根据表层框架拖网 2023 年冬季 (1 月)、春季 (4 月)、夏季 (8 月) 和秋季 (11 月) 调查数据, 研究了广西涠洲岛海域鱼类群落组成及其与环境影响因子的关系, 并探究了鱼类资源密度与布氏鲸 (*Balaenoptera edeni*) 种群之间的关系。结果表明, 本次调查共出现鱼类 11 目 27 科 51 属 72 种, 其中鲈形目 (Perciformes)、鲱形目 (Clupeiformes)、颌针鱼目 (Beloniformes) 为主要类群。尾数和生物量资源密度均为夏季 (226.91×10^3 ind/km², 1476.65 kg/km²) 最高、冬季 (55.18×10^3 ind/km², 544.21 kg/km²) 次之、春季 (10.95×10^3 ind/km², 387.77 kg/km²) 最低。冗余分析表明, 水温、营养盐和饵料食物浮游动物是广西涠洲岛海域鱼类资源季节变化的重要生态因子。杜氏棱鯷 (*Thryssa dussumieri*) 在 4 个季节中均为第一优势种, 其相对重要性指数春季 (13626.60) 最高、冬季 (12209.23) 次之。同时该鱼种是布氏鲸的主要摄食饵料鱼类。相关性分析显示, 布氏鲸种群数量受鱼类尤其是杜氏棱鯷资源密度变化的影响。本研究结果可为广西涠洲岛海域鱼类资源的保护与管理以及布氏鲸种群和栖息地生态系统的研究和保护提供支撑。

关键词: 涠洲岛; 鱼类; 群落结构; 时空变化; 影响因子

中图分类号: S931; X171 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-6336(2025)04-0489-09

Characterization of fish community structure and its influencing factors based on surface frame trawl in Weizhou island, Guangxi

LIN Jia^{1,2}, PANG Bijian¹, JIANG Linyuan³, YAN Keming¹, LIU Mengling¹,
LIN Haiying², LAN Wenlu¹

(1. Marine Environmental Monitoring Center of Guangxi, Beibu Gulf Marine Ecological Environment Observation and Research Station of Guangxi, Beihai 536000, China; 2. School of Resources, Environment and Materials, Guangxi University, Nanning 530000, China; 3. Guangxi Academy of Aquatic Sciences, Nanning 530000, China)

Abstract: This article is based on the survey data of surface frame trawl in winter (January), spring (April), summer (August) and autumn (November) of 2023, the composition of the fish community in Weizhou island,

收稿日期: 2024-07-24, 修订日期: 2024-10-29

基金项目: 北部湾海洋生态环境广西野外科学观测研究站科研能力建设项目 (桂科 23-026-271); 国家自然科学基金项目 (U23A2048); 科技基础资源调查专项 (2023FY100800); 广西科技基地和人才专项 (桂科 AD23026330); 广西自然科学基金项目 (2023GXNSFBA026253)

作者简介: 林 佳 (1998—), 女, 广西来宾人, 硕士, 研究方向为海洋生态学, E-mail: liya_jial@163.com

通信作者: 蓝文陆 (1980—), 男, 广西河池人, 正高级工程师, 博士, 主要研究方向为海洋生态学, E-mail: dr.lan@139.com

Guangxi, and its relationship with environmental impact factors were investigated. The relationship between the density of fish resources and the population of *Balaenoptera edeni* was also explored. The results showed that a total of 72 species of 51 genera and 27 families in 11 orders were identified in fishes community. The main orders were Perciformes, Clupeiformes, and Beloniformes. Both fish tail number and biomass resource density were highest in summer (226.91×10^3 ind/km², 1476.65 kg/km²), followed by winter (55.18×10^3 ind/km², 544.21 kg/km²), and lowest in spring (10.95×10^3 ind/km², 387.77 kg/km²). Redundancy analysis showed that water temperature, nutrients, and bait food zooplankton were the important ecological factors for the seasonal change of fish resources in Weizhou island, Guangxi. *Thryssa dussumieri* was the first dominant species in all four seasons, and its relative importance index was highest in spring (13626.60) and second highest in winter (12209.23). At the same time this species was the main feeding baitfish of *B. edeni*. Correlation analysis showed that the *B. edeni* population was significantly affected by the density of fish, especially *Thryssa dussumieri*, which is the main food for *B. edeni* in Weizhou island. The results of this study can provide support for the protection and management of fish resources in Weizhou island, Guangxi, as well as for the research and protection of the population and habitat ecosystem of *B. edeni*.

Key words: Weizhou island; fish; community structure; seasonal variation; impact factor

鱼类是海洋生态系统的主要组成部分,它们在低营养级浮游生物与高营养级捕食者之间存在着上行下效的作用^[1-2]。鱼类可能通过种内和种间的竞争以及捕食-被捕食者的相互作用等过程来决定海洋生态系统中的种群动态、群落结构和能量流^[3]。鱼类群体分布特征与生态环境密切相关^[4],即鱼类群落结构及其功能在一定程度上可以反映生态系统的健康状态,因此常被作为评价海洋生态系统健康程度的重要指标之一^[5-6]。

涠洲岛位于北部湾东北部,地处亚热带向热带过渡的海域,属南亚热带季风性气候,年温差较小。涠洲岛海域具备得天独厚的优良水质和生物优势,吸引着布氏鲸(*Balaenoptera edeni*)等珍稀海洋动物前来捕食。涠洲岛被确定为我国已知的唯一有大型须鲸常年稳定活动记录的近海海域,也是大型须鲸稳定的季节性栖息地^[7-8]。鳀鱼类(主要包括杜氏棱鳀 *Thryssa dussumieri*、尖吻半棱鳀 *Encrasicholina heteroloba* 等种类)和沙丁鱼类(包括缙鳞小沙丁鱼 *Sardinella fimbriata*、金带小沙丁鱼 *Sardinella gibbosa* 等种类)等表层鱼类具有集群行为^[9],是布氏鲸最主要的食物来源^[10]。掌握鱼类群落动态变化及生态影响因素对鱼类资源的管理保护以及布氏鲸种群和栖息地保护具有重要科学意义。关于北部湾近岸海域渔业资源现状的研究较多^[11-12],在涠洲岛珊瑚

礁生态区也有开展鱼类间营养关系以及鱼类物种组成的调查研究^[13-14],但是关于涠洲岛布氏鲸栖息海域鱼类资源现状的研究未见专门报道。本研究使用表层框架拖网对布氏鲸栖息地——涠洲岛海域进行鱼类资源调查,分析该海域鱼类群落种类组成、资源密度时空变化以及优势种季节变化等特征,研究其与生态因子的关系。研究结果可为该海域鱼类与布氏鲸的内在关系的深入研究以及布氏鲸及其栖息地生态保护提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究区域和采样方法

本研究海域为广西涠洲岛布氏鲸经常出没的栖息海域(108.94°E—109.37°E, 20.80°N—21.09°N),调查时间为2023年1月(冬季)、4月(春季)、8月(夏季)和11月(秋季)。按照均匀性与代表性原则并结合布氏鲸栖息情况,调查站位共设置8个,经纬度信息列于表1。鱼类资源调查使用表层框架拖网,其网具框架规格为5.0 m×10.0 m×2.5 m,网囊网目为20.0 mm。每个站位拖网作业时长为1 h,拖速为3 km/h。起网后所有渔获样品在现场打包装入泡沫箱内,并用冰块进行冷冻保存,带回实验室进行分类鉴定、计数和称量。鱼类分类鉴定参考《中国鱼类系统检索》^[15]、《中国海洋生物名录》^[16]等。利用便携

式多参数水质仪(WTW Multi 350i)现场测定水温、盐度、溶解氧,其他水质监测项目样品用8L采水器采集后带回实验室分析;利用浅水Ⅰ型浮游生物网(内径500 mm,孔径0.505 mm)、浅水Ⅲ型浮游生物网(内径370 mm,网口面积0.1 m²)垂直拖网分别采集浮游动物、浮游植物样品带回实验室分析。

表1 涠洲岛海域鱼类调查站位信息

Tab.1 Information of survey stations for fish in Weizhou island

站位	经度	纬度
B1	109.0560°E	21.0090°N
B2	109.2542°E	21.0251°N
B3	109.0754°E	20.9324°N
B4	109.2636°E	20.9495°N
B5	108.9351°E	20.8014°N
B6	109.0916°E	20.8375°N
B7	109.2605°E	20.8567°N
B8	109.3624°E	20.8884°N

1.2 数据分析处理

采用面积法估算各季节鱼类资源状况,包括尾数和生物量资源密度,采用相对重要性指数(IRI)衡量各季节鱼类群落的生态优势度,计算公式如下:

$$Y = \frac{d}{a \times q} \quad (1)$$

$$IRI = (W + N) \times F \quad (2)$$

式中:Y为鱼类尾数或生物量资源密度;d为鱼类渔获率;a为每小时拖网扫海面积;q为网具捕获率(本研究取值0.2);W和N分别为某一种鱼类重量占鱼类总渔获重量的百分比和数量百

分比;F为该鱼类出现站位数占总站位数的百分比。本研究IRI划分的标准如下:IRI≥500为优势种;100≤IRI<500为主要种;IRI<100为一般种。

本研究采用Ocean Data View绘制鱼类尾数和生物量资源密度分布图来分析鱼类资源的时空分布特征。应用单因子相似性分析(Anosim test)检验鱼类群落在不同季节和不同站位的差异显著性。为了确定4个季节鱼类总尾数和生物量资源密度以及主要优势种尾数资源密度与生态环境因子的关系,进一步探究鱼类尤其是作为涠洲岛布氏鲸主要食物的杜氏棱鯨资源密度与布氏鲸种群数量相关性,本研究首先对鱼类群落进行趋势对应分析(RDA),如果梯度长度(length of gradient)最大值大于4,使用CCA进行排序;如果梯度长度小于3,使用RDA进行排序;如果梯度长度为3~4,二者均可以使用。在进行统计分析之前,对不符合正态分布的因子进行log(x+1)转换和集中,使其满足正态分布。

2 结果与讨论

2.1 涠洲岛海域生态因子分布特征

涠洲岛海域生态因子呈现一定的季节性变化特征。在冬季,除水温外水质各理化指标均高于其他季节,呈现低温、高盐、高营养盐特征;夏季则相反,呈现高温、低盐、低营养盐特征(表2)。浮游植物细胞密度的最高值出现在春季,其他3个季节均偏低且季节间变化不大。浮游动物丰度和生物量的最高值同样出现在春季,其次为秋季,呈现春、秋季两个大小高峰交替出现的

表2 涠洲岛海域各季节生态环境参数

Tab.2 Seasonal ecological and environmental parameters in Weizhou island

项目		冬季	春季	夏季	秋季
水温(WT)/°C	范围	17.6 ~ 19.6	23.8 ~ 25.1	30.0 ~ 30.9	26.4 ~ 27.0
	平均值	18.37±0.56	24.38±0.38	30.59±0.27	26.79±0.24
盐度(S)	范围	30.9 ~ 31.6	31.1 ~ 31.8	29.4 ~ 32.0	30.1 ~ 30.9
	平均值	31.25±0.21	31.36±0.27	30.52±0.71	30.59±0.23
溶解氧(DO)/(mg·L ⁻¹)	范围	7.7 ~ 8.2	6.5 ~ 7.4	6.2 ~ 7.7	6.9 ~ 7.6
	平均值	8.00±0.15	6.81±0.29	7.05±0.34	7.27±0.20
叶绿素a(Chl a)/(μg·L ⁻¹)	范围	0.5 ~ 3.4	0.7 ~ 2.6	0.3 ~ 1.3	0.5 ~ 8.9
	平均值	1.78±0.85	1.40±0.58	0.58±0.35	2.36±2.20

续表

项目		冬季	春季	夏季	秋季
溶解无机氮(DIN)/mg·L ⁻¹	范围	0.021 ~ 0.081	0.037 ~ 0.087	0.004 ~ 0.024	0.006 ~ 0.109
	平均值	0.047±0.019	0.058±0.025	0.009±0.006	0.035±0.030
溶解无机磷(DIP)/mg·L ⁻¹	范围	0.003 ~ 0.011	0.001 ~ 0.008	0.001 ~ 0.003	0.001 ~ 0.005
	平均值	0.007±0.002	0.004±0.002	0.001±0.001	0.001±0.001
浮游植物细胞密度(PSD)/cells·L ⁻¹	范围	179.27 ~ 3548.52	256.79 ~ 28925.29	25.09 ~ 5011.11	115.97 ~ 3482.14
	平均值	1111.18±1234.88	5395.56±7012.21	1009.69±1201.37	1010.70±872.56
浮游动物丰度(ZA)/ind·m ⁻³	范围	28.18 ~ 137.44	132.82 ~ 2751.09	27.68 ~ 231.07	22.06 ~ 237.91
	平均值	62.09±29.61	712.80±630.28	107.99±62.61	103.11±84.53
浮游动物生物量(ZB)/mg·m ⁻³	范围	20.61 ~ 72.99	101.21 ~ 1175.27	12.12 ~ 94.44	19.35 ~ 199.19
	平均值	45.35±19.33	367.79±264.33	35.48±19.88	67.71±56.28

亚热带海洋气候水文特征,且季节之间均有显著差异($p<0.01$)。

2.2 鱼类物种组成

2.2.1 鱼类种类组成

渔获物样品中共鉴定出鱼类 72 种,隶属于 11 目 27 科 51 属(表 3)。各季节种类数从大到小依次是夏季(38)、春季(35)、秋季(34)和冬季(33),季节差异较小。其中,有 10 种鱼类在各季节均出现,12 种鱼类仅在夏季出现,6 种仅在秋季出现。鲈形目种类数最多,占比为 29.17%;鲱形目次之,占比为 26.39%;颌针鱼目居第三,占比为 22.22%。

表 3 涠洲岛海域鱼类种类组成
Tab.3 Species composition of fish in the Weizhou island

目	冬季	春季	夏季	秋季
鲈形目(Perciformes)	8	9	10	12
鲱形目(Clupeiformes)	10	9	12	11
颌针鱼目(Beloniformes)	7	8	11	6
鲉形目(Scorpaeniformes)	2	1	/	/
鳗鲡目(Anguilliformes)	/	3	/	2
鲻形目(Mugiliformes)	1	2	1	/
鲽形目(Pleuronectiformes)	2	/	1	1
银汉鱼目(Atheriniformes)	1	1	1	1
鲱形目(Siluriformes)	1	/	/	/
鲀形目(Tetraodontiformes)	1	1	1	1
仙女鱼目(Aulopiformes)	/	1	1	/
合计	33	35	38	34

已有研究表明,在北部湾防城港—钦州近岸

海域基于底拖网曾经调查到的鱼类有 15 目 55 科 96 属 152 种^[11];在北部湾北部调查到的鱼类为 14 目 57 科 89 属 140 种^[12]。本研究中仅调查到鱼类 72 种,少于以往研究。导致这一差别的原因主要有:(1)本调查区域范围偏小、调查站点较少;(2)鱼类的栖息分布与水深范围密切相关,本调查海域水深变化较小;(3)网囊网目规格影响,网囊网目尺寸的大小对捕捞的鱼类具有选择性,网型的差异有可能对种类数和丰度产生较大影响。本研究中,涠洲岛海域鱼类季节差异较小,冯佶等^[17]在南沙群岛西南部与栗丽等^[18]在南海中南部渔场捕获的鱼类在春、秋两个季节的种类数目均相差不大,这与本研究结果一致,说明在亚热带、热带海域当温、盐的季节差异较小时,鱼类群落结构保持相对稳定的状态。

2.2.2 鱼类优势种

相对重要性指数(*IRI*)分析结果表明(表 4),涠洲岛海域 4 个季节鱼类优势种共 10 种,冬季优势种数量最高(7 种),其次为夏、秋季(均为 5 种),春季最低(3 种)。4 个季节的共有优势种为杜氏棱鲉,且该鱼种为各个季节的第一优势种。3 个季节(冬季、春季和秋季)的共有优势种为乔氏吻鲈。2 个季节的共有优势种有 5 种,其中冬季和夏季共有的有 2 种,为岛鲈和尖吻半棱鲉;春季和秋季共有的有 1 种,是康氏侧带小公鱼,夏季和秋季共有的有 2 种,为缝鳞小沙丁鱼和长颌拟飞鱼。其余优势种则在单个季节出现,鱼类优势种有一定程度的季节更替。

鱼类优势种适温生态类型可分为暖水性和

表 4 涠洲岛海域各季节鱼类优势种
Tab.4 Seasonal dominance species of fish in Weizhou island

季节	种类	W/(%)	N/(%)	F/(%)	IRI
冬季	杜氏棱鳀 <i>Thryssa dussumieri</i>	51.62	70.48	100.00	12209.23
	岛鲷 <i>Hemiramphus archipelagicus</i>	7.73	7.32	100.00	1505.66
	乔氏吻鲷 <i>Rhynchorhamphus georgii</i>	7.45	3.32	100.00	1076.76
	长颌棱鳀 <i>Thryssa setirostris</i>	6.62	2.26	100.00	887.58
	棕斑兔头鲈 <i>Pampus punctatissimus</i>	5.49	1.70	100.00	719.28
	北鲷 <i>Lagocephalus spadiceus</i>	5.48	1.23	100.00	671.15
	尖吻半棱鳀 <i>Encrasicholina heteroloba</i>	1.82	4.08	100.00	589.69
春季	杜氏棱鳀 <i>Thryssa dussumieri</i>	62.90	73.36	100.00	13626.60
	乔氏吻鲷 <i>Rhynchorhamphus georgii</i>	11.53	5.31	75.00	1263.53
	康氏侧带小公鱼 <i>Stolephorus commersonnii</i>	2.89	7.78	87.50	933.82
夏季	杜氏棱鳀 <i>Thryssa dussumieri</i>	36.83	63.00	100.00	9983.03
	缙鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella fimbriata</i>	36.02	7.91	100.00	4392.74
	长颌拟飞鱼 <i>Parexocoetus mento</i>	9.91	8.53	100.00	1844.25
	尖吻半棱鳀 <i>Encrasicholina heteroloba</i>	1.93	8.34	100.00	1027.07
	岛鲷 <i>Hemiramphus archipelagicus</i>	5.56	4.50	100.00	1006.56
秋季	杜氏棱鳀 <i>Thryssa dussumieri</i>	28.65	52.95	100.00	8160.06
	缙鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella fimbriata</i>	27.22	48.28	100.00	7440.28
	康氏侧带小公鱼 <i>Stolephorus commersonnii</i>	2.82	8.53	100.00	1135.48
	长颌拟飞鱼 <i>Parexocoetus mento</i>	3.01	3.62	87.50	580.58
	乔氏吻鲷 <i>Rhynchorhamphus georgii</i>	2.95	2.18	100.00	512.41

暖温性两种, 主要与涠洲岛海域处于亚热带, 水温常年保持在 14 ℃ 以上有关^[19]。4 个航次鱼类优势种主要由鲱形目和颌针鱼目组成, 仅在冬季出现鲈形目和鲷形目, 可见鲱形目和颌针鱼目在涠洲岛海域鱼类群落中占据着至关重要的地位。鲱形目的鳀科在 4 个季节中均最具优势, 鳀科为集群性鱼类, 主要摄食浮游动物, 如桡足类、磷虾类及端足类等^[20], 其在涠洲岛海域的优势地位表明丰富的浮游动物驱动着鳀科鱼类成为该海域的重要生态鱼类。此外, 鳀科是渤海^[21-22]的重要鱼类优势种, 说明鳀科在我国其他海域也具有重要地位, 可为各种捕食海洋生物和渔业资源提供优质蛋白质来源。

2.3 鱼类资源密度的时空分布

4 个季节鱼类尾数和生物量资源密度范围分别为 23.48 ~ 608801.23 ind/km² 和 17.39 ~ 6830.86 kg/km², 年平均值分别为 (84.25±96.94) × 10³ ind/km² 和 (641.83±1025.59) kg/km²。鱼类资源

密度的季节分布具有显著差异, 其中夏季尾数和生物量资源密度均最高, 分别达 226.91×10³ ind/km² 和 1476.65 kg/km², 秋季和冬季鱼类资源密度有所下降, 春季最低, 尾数和生物量资源密度仅为 10.95×10³ ind/km² 和 158.68 kg/km²。本次调查结果与邹琦等^[14]在涠洲岛珊瑚礁海域发现春季鱼类尾数资源密度在春季最高的结论不一致, 这可能与不同区域的鱼类所处营养层级的高低有关。研究表明, 珊瑚礁鱼类营养级更高, 其摄食压力与本调查中的鱼类不同^[23], 因此鱼类资源调查结果存在差异。各季节的第一优势种杜氏棱鳀在冬、春、夏、秋季尾数资源密度分别为 38.70×10³ ind/km²、8.02×10³ ind/km²、138.39×10³ ind/km²、25.18×10³ ind/km², 其中冬、春季杜氏棱鳀个体密度可达总量的 70% 以上(表 4), 表明优势种杜氏棱鳀个体密度决定了鱼类个体密度的季节变化。

涠洲岛海域鱼类资源密度的空间变化也存

在显著差异(图1、图2)。冬季鱼类资源密度较高的站位主要集中在调查海域西部,春季鱼类资源密度高值区位于调查海域东北部,夏、秋季鱼类生物量资源密度整体呈现由南向北部海域逐渐升高的变化趋势,这可能与调查海域的季风、潮汐流及饵料生物等因素共同作用有关^[24-26]。

冬季,受较强的东风或东北风影响,海水从东往西流^[27],丰富的营养盐随着海水的流向输送至调查海域西部,给饵料生物的生长繁殖提供充足养分,进而影响冬季鱼类资源密度的空间分布;夏季盛行西南季风^[28],鱼类资源密度整体上也呈现出随季风移动的变化趋势。

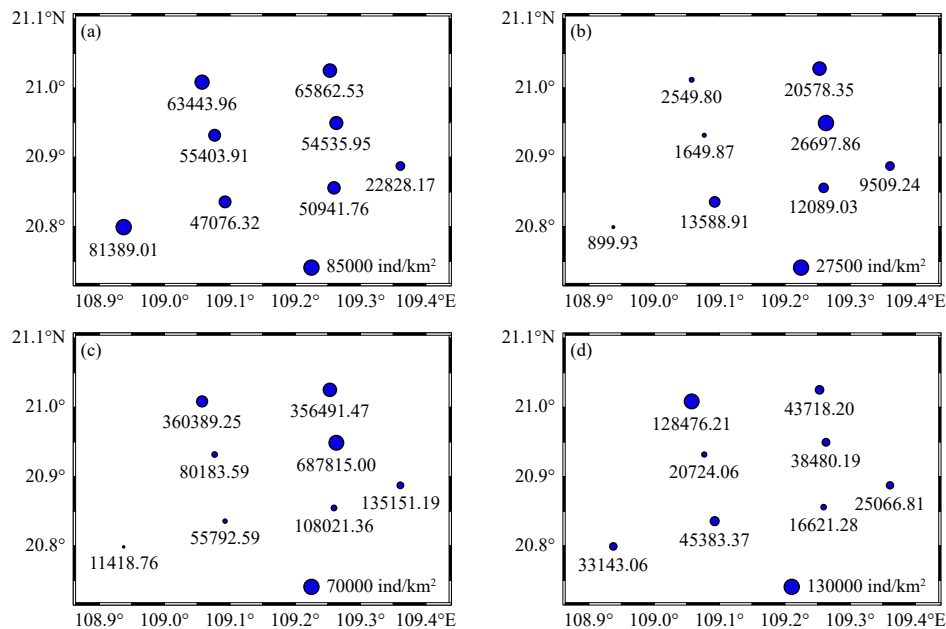


图1 涠洲岛海域鱼类尾数资源密度的平面分布

Fig. 1 Plane distribution of fish number resource density in Weizhou island

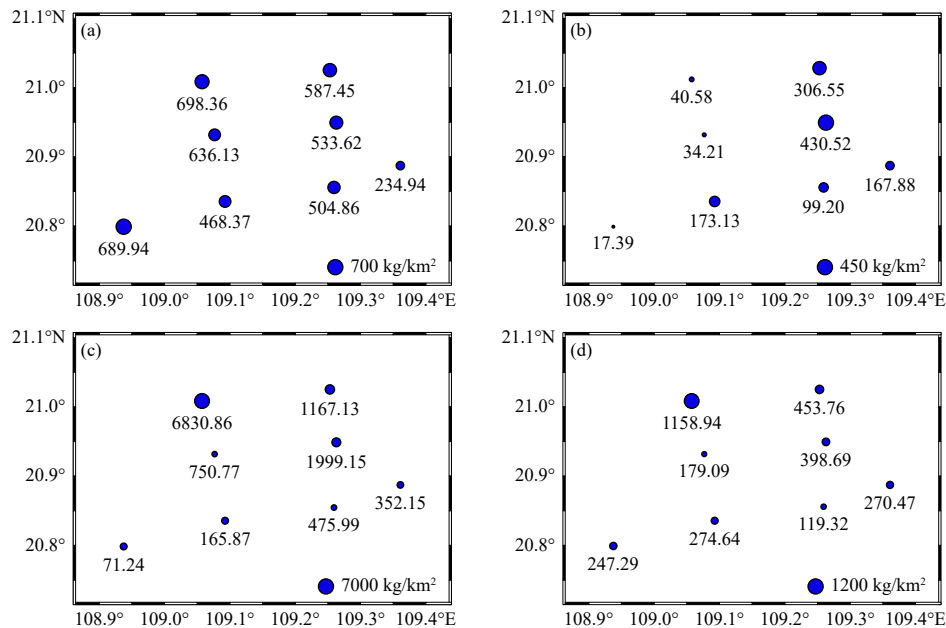


图2 涠洲岛海域鱼类生物量资源密度的平面分布

Fig. 2 Plane distribution of fish biomass resource density in Weizhou island

2.4 鱼类与生态环境因子的关系

RDA 结果(图 3)显示,水温、营养盐和浮游动物是涠洲岛海域鱼类群落结构季节变化的主要影响因素,其中,冬季涠洲岛海域鱼类群落结构受浮游动物生物量和丰度的影响显著($p=0.052$ 和 $p=0.066$),春季受溶解无机氮浓度的影响显著($p=0.038$),夏季受浮游动物丰度和水温的影响显著($p=0.032$ 和 $p=0.044$),秋季受溶解无机磷浓度的影响显著($p=0.08$)。有研究表明,环境条件和捕捞努力量影响鱼类的生长和迁徙^[29-30],环境条件的季节变动会引起鱼类群落组成呈现季节性差异。涠洲岛海域冬季水环境呈现低温、高盐、高营养特征,为饵料生物的生长繁殖提供了充足的养分,进而驱动鱼类生长并丰富了

鱼类的物种组成。第一优势种杜氏棱鲷的总尾数资源密度和生物量资源密度与浮游动物丰度、溶解无机氮浓度呈正相关关系。春季水温升高,营养盐保持较高值,作为鱼类饵料生物的浮游动物丰度较高,但受持续多月的渔业捕捞和更高营养级的捕食影响,鱼类的资源密度处于全年最低水平。夏季水环境呈高温、低盐特征,杜氏棱鲷及鱼类总个体密度与这种环境特征呈负相关关系,该时期涠洲岛海域处于禁渔期,鱼类的捕捞压力与春季相比显著减少,鱼类资源密度达到峰值。禁渔期结束后,较高的溶解氧含量和初级生产力对鱼类生长代谢活动有促进作用,但营养盐的含量处于低值,且随着捕捞努力量开始增加,秋季鱼类资源密度随之降低。

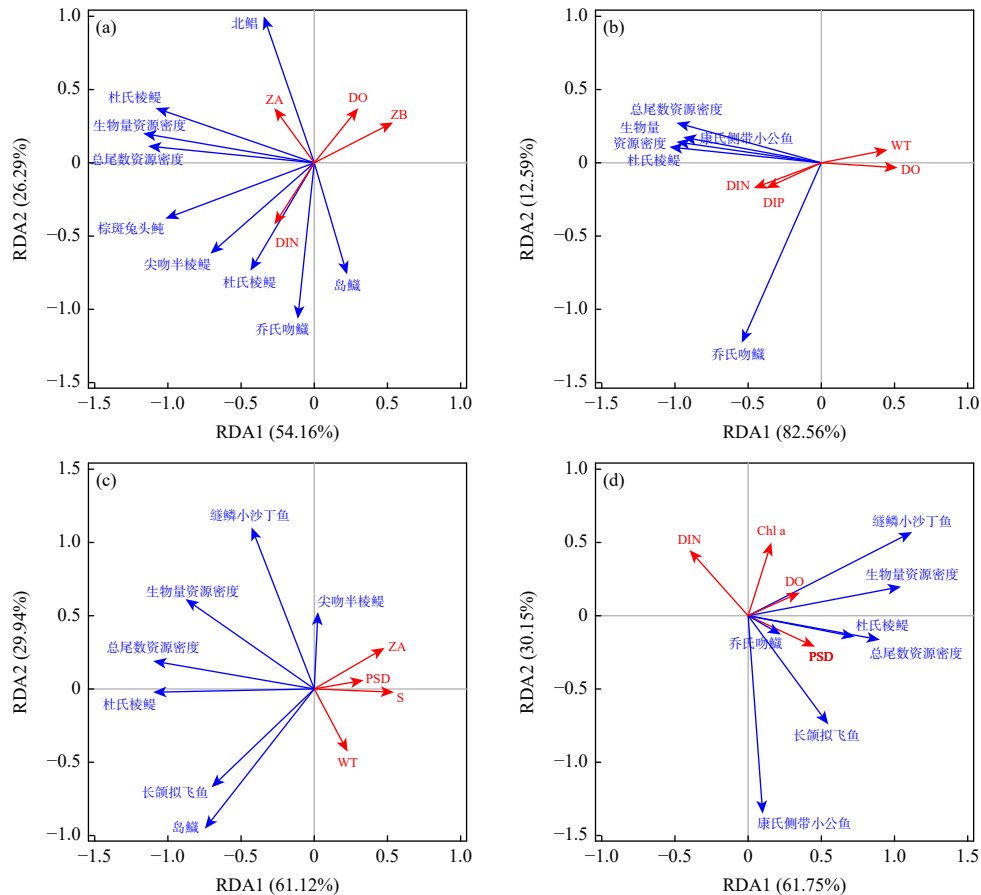


图 3 涠洲岛海域鱼类与生态环境因子的冗余分析

Fig. 3 Redundancy analysis of fish and ecological environmental factors in Weizhou island

2.5 鱼类资源密度与布氏鲸种群的关系

根据我们同期及以往的监测调查结果^[31-32],涠洲岛海域布氏鲸种群总体呈现夏末秋初迁徙

而来、冬季最为活跃、春末迁徙离开的变化特征,在夏季涠洲岛海域基本上观测不到布氏鲸。本次调查中,由于夏季处于禁渔期且鱼类的主要

捕食者布氏鲸已离开, 鱼类的捕捞压力和摄食压力显著低于其他季节, 冬、春和秋 3 个季节中, 鱼类尾数和生物量资源密度均是以冬季最高, 分别为 $57.18 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 和 544.21 kg/km^2 , 秋季也保持较高值, 而春季资源密度降为最低, 仅为冬、秋季的 20% ~ 25%, 其中主要优势种杜氏棱鯨的尾数和生物量资源密度也均是冬季最高, 分别为 $38.70 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 和 278.99 kg/km^2 , 秋季也保持较高的水平, 春季最低, 分别为 $8.02 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 和 99.80 kg/km^2 , 上述结果与布氏鲸在该海域活跃时间和季节性迁徙规律相吻合, 显示了涠洲岛海域鱼类尤其是第一优势种杜氏棱鯨与布氏鲸的数量季节变化之间的时间连通性和生态连贯性, 与 Zhang 等^[33] 研究结果一致。鱼类特别是布氏鲸的主要食物杜氏棱鯨资源密度与布氏鲸数量变化趋势高度一致(图 4), 表明了涠洲岛海域布氏鲸的迁徙规律与鱼类尤其是第一优势种杜氏棱鯨资源密度的季节变化密切相关, 杜氏棱鯨的资源变动是驱动布氏鲸在涠洲岛海域发生季节性迁移的主要因素之一。有研究表明, 布氏鲸的食性会随着迁徙的季节和纬度发生变化, 冬季在低纬度的海洋地区繁殖, 而在夏季迁徙到高纬度海洋地区, 且在夏季布氏鲸专门以磷虾为食^[34]。因此, 即使在鱼类资源密度很高的夏季, 由于布氏鲸季节性摄食食物的种类发生变化, 布氏鲸也会追随食物离开涠洲岛往高纬度海域迁

徙, 说明食物的时空可利用性在一定程度上决定了布氏鲸迁徙的时空变化。

3 结论

(1) 涠洲岛海域共鉴定出鱼类 11 目 27 科 51 属 72 种, 主要由鲈形目、鲱形目、颌针鱼目组成。4 个季节优势种主要为鲱形目和颌针鱼目, 数量变化范围为 3 ~ 7 种, 冬季最多, 春季最少, 且 4 个季节均以作为布氏鲸主要食物的杜氏棱鯨为第一优势种。

(2) 涠洲岛海域鱼类资源密度季节变化明显, 尾数和生物量资源密度均以夏季($226.91 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 、 1476.65 kg/km^2) 最高, 冬季($57.18 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 、 544.21 kg/km^2) 次之, 春季($10.95 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 、 387.77 kg/km^2) 最低; 鱼类资源的季节变动主要受水温、营养盐和饵料生物浮游动物等生态因子的影响。

(3) 涠洲岛海域鱼类尤其是作为布氏鲸主要食物的杜氏棱鯨资源密度的季节变化驱动着涠洲岛布氏鲸的迁徙变化。对涠洲岛海域布氏鲸种群以及与该物种息息相关的水文、水质、鱼类饵料生物浮游动物等生态要素开展长期连续调查, 可为全面了解涠洲岛布氏鲸栖息地海域生态环境状况以及栖息地的保护和管理提供科学依据。

参考文献:

- [1] YEBRA L, ESPEJO E, PUTZEYS S, et al. Zooplankton biomass depletion event reveals the importance of small pelagic fish top-down control in the western Mediterranean coastal waters[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 608690.
- [2] PETRIK C M, STOCK C A, ANDERSEN K H, et al. Bottom-up drivers of global patterns of demersal, forage, and pelagic fishes[J]. *Progress in Oceanography*, 2019, 176: 102124.
- [3] CORRALES X, PRECIADO I, GASCUEL D, et al. Structure and functioning of the Bay of Biscay ecosystem: a trophic modelling approach[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2022, 264: 107658.
- [4] COLL M, ALBO-PUIGSERVER M, NAVARRO J, et al. Who is to blame? Plausible pressures on small pelagic fish population changes in the northwestern Mediterranean Sea[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2019, 617-618: 277-294.
- [5] LIU H, GILMARTIN J, LI C X, et al. Detection of time-varying pulsed event effects on estuarine pelagic communities with

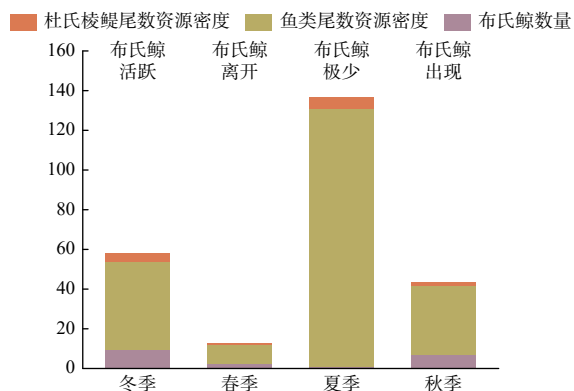


图 4 鱼类及布氏鲸主要食物杜氏棱鯨资源密度与布氏鲸数量的时间变化

Fig. 4 The temporal variation of the population for *B. edeni* and of the resource density for fish and main food *T. dussumieri*

- ecological indicators after catastrophic hurricanes[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 123: 107327.
- [6] MAUREAUD A, HODAPP D, VAN DENDEREN P D, et al. Biodiversity–ecosystem functioning relationships in fish communities: biomass is related to evenness and the environment, not to species richness[J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2019, 286(1906): 20191189.
- [7] CHEN B Y, ZHU L, JEFFERSON T A, et al. Coastal Bryde's whales' (*Balaenoptera edeni*) foraging area near Weizhou Island in the Beibu Gulf[J]. *Aquatic Mammals*, 2019, 45(3): 274-279.
- [8] CHEN M, HUANG S L, WU H P, et al. Occurrence of Bryde's whales, *Balaenoptera edeni*, in the northern Beibu Gulf, China[J]. *Marine Mammal Science*, 2019, 35(4): 1643-1652.
- [9] FURUICHI S, KAMIMURA Y, SUZUKI M, et al. Density-dependent attributes of schooling in small pelagic fishes[J]. *The Science of Nature*, 2022, 109(5): 49.
- [10] DONG L J, LIU M M, LIN W Z, et al. First suction cup tagging on a small and coastal form Bryde's Whale (*Balaenoptera edeni edeni*) in China to investigate its dive profiles and foraging behaviours[J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2022, 10(10): 1422.
- [11] 罗峥力, 杨长平, 王良明, 等. 北部湾北部沿岸海域鱼类资源时空分布特征及多样性变化[J]. *南方农业学报*, 2023, 54(6): 1847-1857.
- [12] 张公俊, 杨长平, 孙典荣, 等. 北部湾中北部海域鱼类群落的变化特征[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(10): 2861-2871.
- [13] 彭 谦, 王啟芳, 宋普庆, 等. 秋季涠洲岛珊瑚礁主要鱼类营养关系的初步研究[J]. *海洋学报*, 2023, 45(9): 91-104.
- [14] 邹 琦, 吴志强, 黄亮亮, 等. 广西涠洲岛珊瑚礁海域鱼类物种组成的调查分析[J]. *南方农业学报*, 2020, 51(1): 1-10.
- [15] 成庆泰, 郑葆珊. 中国鱼类系统检索[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [16] 刘瑞玉, 中国科学院海洋研究所. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [17] 冯 佺, 李 渊, 林龙山, 等. 基于南沙群岛西南部海域探捕调查的鱼类分类多样性初步研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2020, 50(5): 76-84.
- [18] 粟 丽, 陈作志, 张 鹏, 等. 2017年南海中南部渔场灯光罩网渔获物组成及渔获率时空分布[J]. *南方水产科学*, 2018, 14(5): 11-20.
- [19] 黄子眉, 李小维. 广西沿海海水表层温度分析[J]. *广西科学*, 2008, 15(4): 456-460.
- [20] AWAD J E I E, OKBA Z, TALLORJT E H A, et al. Feeding habit and prey selection of anchovy, *Engraulis encrasicolus* (Engraulidae), from the Moroccan Atlantic coast[J]. *Aquaculture Aquarium Conservation Legislation*, 2022, 15(2): 927-940.
- [21] 胥延钊, 单秀娟, 滕广亮. 渤海游泳动物群落结构季节变动[J]. *水产科学*, 2023, 42(2): 260-267.
- [22] 李忠义, 吴 强, 单秀娟, 等. 渤海鱼类群落结构关键种[J]. *中国水产科学*, 2018, 25(2): 229-236.
- [23] ZAPATA-HERNÁNDEZ G, SELLANES J, LETOURNEUR Y, et al. Tracing trophic pathways through the marine ecosystem of Rapa Nui (Easter Island)[J]. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2021, 31(2): 304-323.
- [24] 赵红军, 王俊达, 孔 俊, 等. 北部湾海浪季节变化和驱动因素的数值模拟研究[J]. *海洋学报*, 2022, 44(10): 10-19.
- [25] 李明明, 谭可易, 黄家辉, 等. 北部湾东北部水团和流场季节变化: 2018—2019年观测数据分析[J]. *海洋学研究*, 2022, 40(3): 73-85.
- [26] KARATI K K, ASHADEVI C R, RASHEED K, et al. Influence of the coastal circulation and water-mass characteristics in structuring the zooplankton community of the eastern Arabian Sea[J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2019, 31: 100761.
- [27] 陈宜展, 杨 威, 曹永港, 等. 北部湾北部环流的季节特征[J]. *广东海洋大学学报*, 2020, 40(4): 68-74.
- [28] DING Y, CHEN C S, BEARDSLEY R C, et al. Observational and model studies of the circulation in the Gulf of Tonkin, South China Sea[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2013, 118(12): 6495-6510.
- [29] DEMIREL N, AKOGLU E, YILDIZ T. Shifts in the pelagic fishery dynamics in response to regional sea warming and fishing in the Northeastern Mediterranean[J]. *Regional Environmental Change*, 2023, 23(4): 141.
- [30] THIAW M, AUGER P A, NGOM F, et al. Effect of environmental conditions on the seasonal and inter-annual variability of small pelagic fish abundance off North-West Africa: the case of both Senegalese sardinella[J]. *Fisheries Oceanography*, 2017, 26(5): 583-601.
- [31] 林 佳. 广西涠洲岛布氏鲸种群周年变化及其驱动因素研究[D]. 南宁: 广西大学, 2024.
- [32] 吴采雯. 广西布氏鲸的种群动态及捕食策略研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2021.
- [33] ZHANG Y Y, SUN X D, NONG Z W, et al. The first baleen whale marine protected area proposed for Bryde's whales in the Beibu Gulf, China[J]. *Marine Mammal Science*, 2024, 40(2): e13082.
- [34] YASUDA I. Hydrographic structure and variability in the Kuroshio-Oyashio Transition Area[J]. *Journal of Oceanography*, 2003, 59(4): 389-402.