

银滩南海洋牧场对鱼类资源空间分布的影响

于 杰^{1,2}, 邹建伟³, 陈国宝^{1,2}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300; 2. 农业农村部海洋牧场重点实验室/国家数字渔业(海洋牧场)创新分中心/农业农村部南海渔业资源环境科学观测实验站/广东省渔业生态环境重点实验室/广东省海洋休闲渔业工程技术研究中心, 广东 广州 510300; 3. 北海市水产技术推广站, 广西 北海 536000)

摘 要: 为了解海洋牧场对鱼类资源的生态效应, 于 2022 年 4 月(春季)和 2023 年 1 月(冬季), 在广西壮族自治区北海市银滩南部海域国家级海洋牧场示范区, 通过底拖网调查评估了投礁区(鱼礁西侧毗邻海域)、辐射区和对照区的鱼类资源特征、生物多样性以及季节性差异。结果显示, 投礁区鱼类种类数(春季 35 种、冬季 39 种)高于辐射区(春季 1.06 倍、冬季 1.08 倍)和对照区(春季 1.52 倍、冬季 1.86 倍)。二长棘鲷和鹿斑仰口鲷为两个季节的共同优势种, 春季优势种还包括短吻鲷和竹筴鱼, 冬季优势种还有黑鲷、斑鲷和矛尾虾虎鱼。春季投礁区($H' = 1.91$)和冬季辐射区($H' = 2.97$)香农-维纳多样性指数达到峰值。资源密度呈现梯度递减趋势, 春季质量密度从 709.71 kg/km² 减小至 370.29 kg/km², 冬季从 832.96 kg/km² 减小至 305.57 kg/km²; 冬季投礁区数量密度(30.12×10^3 尾/km²)显著高于其他区域。研究表明, 人工鱼礁显著促进了鱼类聚集, 对资源恢复具有积极生态效应。

关键词: 海洋牧场; 鱼类资源; 物种多样性; 广西银滩

中图分类号: S931.4

文献标识码: A

文章编号: 1003-1111(2026)02-0305-09

海洋牧场是指基于海洋生态系统原理, 在特定海域, 通过人工鱼礁、增殖放流等措施, 构建或修复海洋生物繁殖、生长、索饵或避敌所需的场所, 增殖养护渔业资源, 改善海域生态环境, 实现渔业资源可持续利用的渔业模式^[1]。自 20 世纪以来, 我国以及世界上其他渔业国家如美国、日本和韩国等都先后开展了以增殖放流和人工鱼礁为主要建设内容的海洋牧场建设, 取得了显著的经济效益、生态效益和社会效益^[2]。海洋牧场中的礁体投放后, 改变了局部流场流态, 在鱼礁的迎流面形成了上升流, 在背流面形成了背涡流, 产生缓流区^[3]。上升流通过水体涌升将海底丰富的营养物质带到表层, 从而提高了上层水体的初级生产力, 为浮游生物的繁殖提供了充足的营养, 进而为鱼类等海洋生物提供了丰富的饵料, 成为鱼类的索饵场; 而背涡流形成的缓流区流速平缓, 是鱼类躲避恶劣海洋环境和捕食者的重要场所, 成为鱼类的庇护所^[4-5]。人工鱼礁投放后, 海藻附着在礁体上生长, 消耗了氮、磷等有机物, 从而净化了水质。同时, 海藻的光合作

用能够吸收二氧化碳, 移除水体中的碳, 进一步改善海洋环境^[6-7]。此外, 鱼礁的投放还有效阻止了底拖网作业, 避免了底质和海底植被被破坏, 保护了海洋生物资源。

我国海洋牧场建设至今已有 40 多年的历史^[2], 在海洋牧场选址的适宜性评价^[8]、环境影响^[9]以及鱼类诱集效果^[10]等方面, 已取得了一些研究成果。迄今为止, 针对海洋牧场生态效应的研究, 主要采取建设前后对照分析^[10]、鱼礁区与非鱼礁区对比分析^[11], 以及不同鱼礁区之间的对比研究^[12]等方法。目前, 在探究海洋牧场人工鱼礁生态效应的空间扩散特征, 以及鱼类资源沿空间梯度从鱼礁区向周边海域的变化规律方面尚缺乏研究。笔者于 2022 年 4 月(春季)和 2023 年 1 月(冬季)对广西壮族自治区北海市银滩南部海域国家级海洋牧场示范区(以下简称“银滩南海洋牧场”)进行了两个航次的渔业资源调查, 以调查结果为基础, 分析了两个季节鱼类资源的空间梯度分布特征和多样性变化情况, 旨在为海洋牧场鱼类资源养护效果评价提供参考资料。

收稿日期: 2025-04-03; 修回日期: 2025-07-17。

基金项目: 农业农村部渔业发展补助资金资助项目(SCSFRI2024A012); 广东省重点领域研发计划项目(2020B1111030002); 北海市政府采购项目(BHZC2022-C3-00009-XYZJ)。

作者简介: 于杰(1980—), 女, 副研究员; 研究方向: 海洋渔业资源和海洋遥感。E-mail: yujiescs@aliyun.com。通信作者: 陈国宝(1975—), 男, 研究员; 研究方向: 渔业资源。E-mail: chengb98@163.com。

1 材料与方法

1.1 调查方法

银滩南海洋牧场位于北海市银海区银滩旅游度假区南部海域,占地面积达 315.3 hm²(图 1)。该海洋牧场中部投礁区的投礁时间为 2010 年 8 月至 2016 年 1 月,投礁类型为钢筋混凝土箱形结构礁,共投放人工鱼礁 1276 座,礁体总体积 7.561 4 万空 m³。研究表明,在鱼礁区采用拖网作业方式时,所捕获物种的多样性指数相较于刺网与地笼作业方式呈现显著提升,能够更全面地反映渔业资源的状况^[13]。因此,本研究采用底拖网调查方式,对银滩

南海洋牧场的渔业资源状况进行调查。调查共设置 10 个调查站位。由于投礁区无法进行拖网作业,本研究参照徐胜南等^[13]的方法,在礁区毗邻水域开展拖网调查。具体站位布设如下:(1)海洋牧场鱼礁区西侧毗邻海域(以下简称“投礁区”)设置 5、6、7 共 3 个站位;(2)在礁区以东 4 km 处布设 8、9、10 号站作为对照区,依据相关研究,人工鱼礁的影响范围为 50~1250 m^[13-15],因此可以认为对照区不受鱼礁的影响;(3)在海洋牧场边界四角设置 1~4 号站,该区域位于投礁区与对照区之间的海域(距礁区约 500 m),属于人工鱼礁生态效应辐射海域,为了便于描述,以下简称“辐射区”。

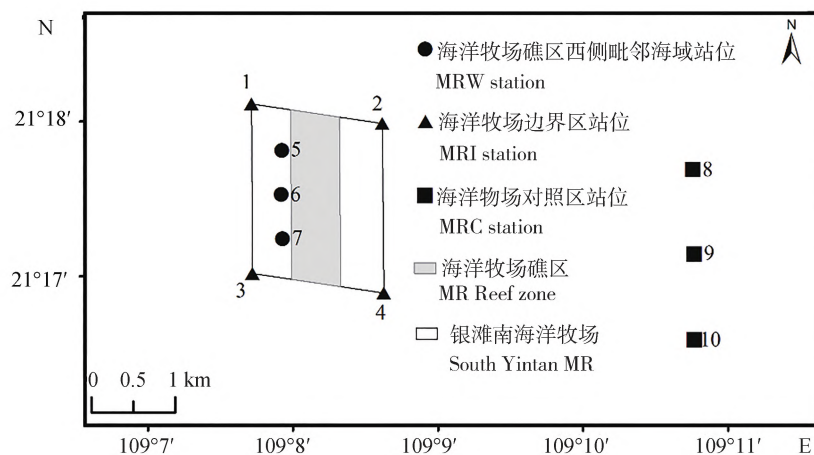


图 1 调查站位

Fig.1 Location of survey stations

MRW.投礁区;MRI.辐射区;MRC.对照区;MR.海洋牧场。

MRW,marine ranching reef western adjacent area; MRI,marine ranching influence area; MRC,marine ranching control area; MR,marine ranching.

拖网调查船主机功率 135 kW,船长 21 m,船宽 5.3 m,型深 2.78 m;网具上纲长 9 m,网衣长 30 m,网囊长 2 m,网衣网目 40 mm,网囊网目 25 mm。底拖网调查时平均船速约 3 kn,每个站位拖网总时长约为 0.5 h。鱼类资源样品现场进行分类学鉴定,并进行生物学测量,记录体长和体质量,统计每种鱼类的体质量和数量。

1.2 研究方法

1.2.1 鱼类资源密度

鱼类资源密度采用扫海面积法计算,公式如下:

$$P = C / (A \times Q) \quad (1)$$

$$Q = 1 - E \quad (2)$$

式中, P 为质量密度或数量密度, C 为每小时的质量和数量, A 为每小时扫海面积, Q 为捕获率, E 为逃逸率(参考拖网资源评估研究^[16],取 $E=0.5$)。

1.2.2 群落优势种和多样性

利用 Pinkas 相对重要性指数(I_{RI})分析优势

种^[17]。公式如下:

$$I_{RI} = (N/\% + M/\%) \times (F/\%) \quad (3)$$

式中, N 、 M 和 F 分别为某鱼种数量占总数量的比例、质量占总质量的比例和出现次数占总站位数的比例。以 $I_{RI} \geq 1000$ 的种类判定为优势种, $100 \leq I_{RI} < 1000$ 的种类判定为重要种, $10 \leq I_{RI} < 100$ 的种类判定为常见种, $I_{RI} < 10$ 的种类判定为少见种。

多样性采用香农-维纳多样性指数(H')^[18]、Margalef 丰富度指数(D)^[19]和 Pielou 均匀度指数(J')^[20]进行评价。公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (4)$$

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

$$J' = H' / \ln S \quad (6)$$

式中, S 为种类数, P_i 为第 i 种鱼数量占总数量的比例, N 为总数量。

1.2.3 差异性分析

计算春季和冬季 3 个区域(投礁区、辐射区和

对照区)的质量密度和数量密度的平均值,并对这些区域的质量密度和数量密度进行对比分析。采用曼惠特尼 U 检验方法对种类数、多样性和数量密度在季节间和区域间的差异显著性进行检验,当 $P < 0.01$ 时表示差异极显著, $P < 0.05$ 时表示差异显著,当 $P > 0.05$ 时差异不显著。

2 结 果

2.1 种类组成

调查海域春季和冬季鱼类种类数不存在季节性显著差异 ($P > 0.05$)。春季,投礁区鱼类种类数最多,共有 35 种,隶属于 9 目 25 科 30 属;相比之下,辐射区记录的鱼类种类数稍减,为 33 种,隶属于 7 目 22 科 28 属;而在对照区,鱼类的种类数最少,仅为 23 种,隶属 5 目 17 科 21 属(表 1)。春季,

投礁区和辐射区种类数差异不显著 ($P > 0.05$),但与对照区差异显著 ($P < 0.05$)。在这 3 个区域中,鲈形目鱼类均占据了主导地位,其数量占比分别高达 65.71%、66.67%和 65.22%(图 2)。冬季,鱼类种类数空间变化趋势与春季一致,投礁区的鱼类种类数量依然最多,达到了 39 种,隶属于 10 目 36 科 33 属;辐射区次之,共有 36 种鱼类,隶属于 9 目 26 科 34 属;而对照区的鱼类种类数则依然最少,为 21 种,隶属于 6 目 15 科 18 属(表 1)。冬季,投礁区和辐射区种类数差异不显著 ($P > 0.05$),但与对照区的差异显著 ($P < 0.05$)。在捕获的鱼类中,鲈形目依然占据了最大的比例,数量占比分别为 63.16%、52.78%和 57.14%(图 2)。投礁区春季和冬季种类数亦未呈现出显著的季节性变化 ($P > 0.05$)。

表 1 鱼类种类数
Tab.1 Number of fish species

区域 Zone	种类数 Number of species							
	目 Order		科 Family		属 Genus		种 Species	
	春季	冬季	春季	冬季	春季	冬季	春季	冬季
	Spring	Winter	Spring	Winter	Spring	Winter	Spring	Winter
投礁区 MRW	9	10	25	36	30	33	35	39
辐射区 MRI	7	9	22	26	28	34	33	36
对照区 MRC	5	6	17	15	21	18	23	21

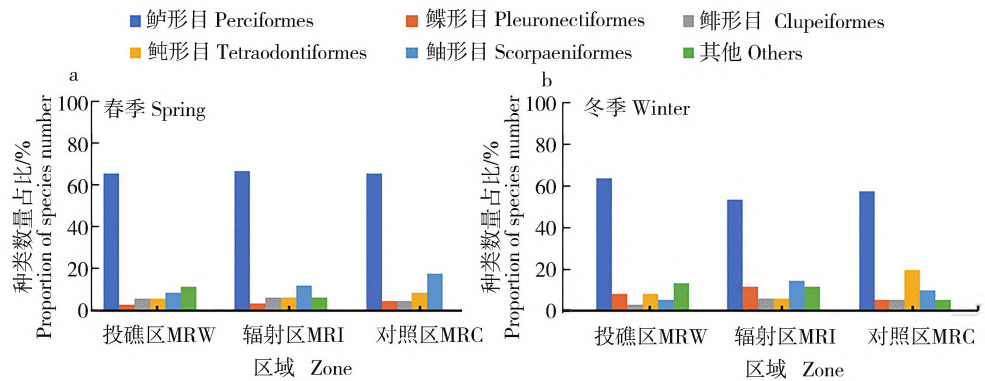


图 2 不同目鱼类数量占比
Fig.2 Proportion of fish species number in different orders

春季,3 个区域共有鱼类 12 种,投礁区特有种有 9 种(表 2)。共有种中二长棘鲷(*Parargyrops edita*)数量占比呈现从投礁区向辐射区和对照区递增的趋势,二长棘鲷在投礁区的数量占比相较于辐射区和对照区分别少了 13.71%和 23.35%,然而,鹿斑仰口鲷(*Leiognathus ruconius*)和竹筴鱼(*Trachurus*

japonicus)的数量占比变化趋势则与二长棘鲷相反,在投礁区,鹿斑仰口鲷的数量占比相较于辐射区和对照区分别高 10.11%和 11.73%,而竹筴鱼在投礁区的数量占比也高于辐射区和对照区,分别多出 5.33%和 6.62%。特有种数量占比均较小,其中点带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)数量占比最大,为 0.33%。

表 2 鱼类共有种和特有种
Tab.2 Common and exclusive species of fish

季节 Season	共有种 Common species	投礁区特有种 Exclusive species in MRW
春季 Spring	斑鲹 <i>Konosirus punctatus</i> (0.27%, 1.30%, 0.24%)	斑点鸡笼鲷 <i>Drepane punctata</i> (0.16%)
	斑条鲷 <i>Sphyaena jello</i> (0.11%, 0.06%, 0.08%)	点带石斑鱼 <i>E. coioides</i> (0.33%)
	侧带天竺鲷 <i>Apogon lateralis</i> (3.38%, 4.95%, 3.56%)	短棘银鲈 <i>Gerres lucidus</i> (0.22%)
	短吻鲷 <i>Leiognathus brevirostris</i> (6.38%, 6.31%, 1.58%)	康氏马鲛 <i>Scomberomorus commerson</i> (0.16%)
	二长棘鲷 <i>P. edita</i> (49.75%, 63.46%, 73.10%)	鳗鲡 <i>Plotosus anguillaris</i> (0.16%)
	蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i> (0.87%, 2.36%, 1.42%)	前鳞骨鲷 <i>Osteomugil ophuyseni</i> (0.11%)
	鹿斑仰口鲷 <i>L. ruconius</i> (15.53%, 5.42%, 3.80%)	细条天竺鲷 <i>Apogon lineatus</i> (0.05%)
	少鳞鲳 <i>Sillago japonica</i> (1.53, 1.41%, 1.74%)	纤羊舌鲆 <i>Arnoglossus tenuis</i> (0.16%)
	鲷 <i>Platycephalus indicus</i> (4.03%, 1.59%, 0.71%)	长棘鲷 <i>L. fasciatus</i> (0.11%)
	月尾兔头鲷 <i>Lagocephalus lunaris</i> (1.04%, 1.24%, 0.32%)	
	中线天竺鲷 <i>Apogon kallopterus</i> (1.31, 1.00%, 1.19%)	
	竹筴鱼 <i>T. japonicus</i> (7.57%, 2.24%, 0.95%)	
冬季 Winter	斑鲹 <i>K. punctatus</i> (7.11%, 1.82%, 2.54%)	岸上红娘鱼 <i>Lepidotrigla kishinouyei</i> (0.40%)
	二长棘鲷 <i>P. edita</i> (6.72%, 17.52%, 24.58%)	白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i> (0.79%)
	黑鲷 <i>Acanthopagrus schlegelii</i> (1.58%, 0.73%, 2.54%)	半滑舌鲷 <i>Cynoglossus semilaevis</i> (1.58%)
	静鲷 <i>Secutor insidiator</i> (0.40%, 3.65%, 2.54%)	大鳞舌鲷 <i>C. macrolepidotus</i> (0.79%)
	菊黄东方鲀 <i>Takifugu flavidus</i> (0.79%, 2.55%, 0.85%)	带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i> (0.79%)
	六带拟鲈 <i>Parapercis sexfasciata</i> (0.40%, 0.36%, 1.69%)	点带石斑鱼 <i>E. coioides</i> (0.59%)
	鹿斑仰口鲷 <i>L. ruconius</i> (26.28%, 5.47%, 4.24%)	短鳍红娘鱼 <i>L. microptera</i> (4.35)
	月尾兔头鲷 <i>L. lunaris</i> (2.37%, 24.45%, 33.05%)	多鳞鲳 <i>Sillago sihama</i> (0.59%)
	长棘鲷 <i>Leiognathus fasciatus</i> (0.79%, 5.11%, 11.86%)	海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i> (0.59%)
	长蛇鲻 <i>Saurida elongata</i> (0.99%, 3.65%, 5.08%)	黄鳍鲷 <i>Acanthopagrus latus</i> (0.79%)
		鲷 <i>Therapon theraps</i> (0.79%)
		李氏鲷 <i>Callionymus richardsoni</i> (1.38%)
		矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i> (13.04%)
		拟矛尾虾虎鱼 <i>Parachaeturichthys polynema</i> (0.79%)
		舌虾虎鱼 <i>Glossogobiuss giuris</i> (0.79%)
		细条天竺鲷 <i>A. lineatus</i> (10.28%)
		小鳍盲蛇鳗 <i>Caecula pterygera</i> (0.79%)
		中华单角鲀 <i>Monacanthus chinensis</i> (0.79%)

注:第二列括号内的数字表示鱼种在投礁区、辐射区和对照区渔获数量占该区域总渔获数量的比例;第三列括号内的数字表示鱼种在投礁区渔获数量占该区域总渔获数量的比例。

Note: The values in parentheses in the second column represent the proportion of catch numbers for the target fish species within each designated zone: marine ranching reef western adjacent area, marine ranching influence area, and marine ranching control area; the values in parentheses in the third column represent the proportion of catch numbers for the target fish species within marine ranching reef western adjacent area.

冬季,3个区域共有种减少至10种,投礁区特有种增至18种。共有种中二长棘鲷的数量占比空间变化趋势与春季保持一致,依然是从投礁区向辐射区和对照区递增。二长棘鲷在投礁区、辐射区和对照区数量占比分别为6.72%、17.52%和24.58%。此外,月尾兔头鲷数量占比也呈现从投礁区向对照区增加的趋势,即从投礁区的2.37%增加到辐射区的24.45%,再到对照区的33.05%。冬季投礁区的特有种中,虾虎鱼类的数量占比最大,矛尾虾虎鱼、拟矛尾虾虎鱼和舌虾虎鱼数量占比合计达到了14.62%。

2.2 优势种

春季,投礁区优势种有二长棘鲷、鹿斑仰口鲷、短吻鲷和竹筴鱼。相比之下,辐射区优势种则减少到了二长棘鲷和短吻鲷两种。而在对照区,二长棘鲷成为了唯一的优势种(表3)。冬季,投礁区优势种数量相较于春季有所增加。其中,鹿斑仰口鲷的优势度最大,其次是黑鲷,二长棘鲷优势度相较于春季有所下降,斑鲹和矛尾虾虎鱼的优势度则相对较小。在辐射区,冬季只有月尾兔头鲷1种优势种。而在对照区,月尾兔头鲷的优势度同样最大,其次是二长棘鲷和黑鲷(表3)。

表 3 优势种组成
Tab.3 Composition of dominant species

区域 Region	优势种 Dominate species (相对重要指数 Index of relative importance)	
	春季 Spring	冬季 Winter
投礁区 MRW	二长棘鲷 <i>P. edita</i> (9046)、鹿斑仰口鲷 <i>L. ruconius</i> (2089)、短吻鲷 <i>L. brevisrostris</i> (1353)、竹筴鱼 <i>T. japonicus</i> (1016)	鹿斑仰口鲷 <i>L. ruconius</i> (3042)、黑鲷 <i>A. schlegelii</i> (2021)、二长棘鲷 <i>P. edita</i> (1836)、斑鲷 <i>K. punctatus</i> (1466)、矛尾虾虎鱼 <i>C. stigmatias</i> (1028)
辐射区 MRI	二长棘鲷 <i>P. edita</i> (11 017)、短吻鲷 <i>L. brevisrostris</i> (1118)	月尾兔头鲷 <i>L. lunaris</i> (4632)
对照区 MRC	二长棘鲷 <i>P. edita</i> (14 038)	月尾兔头鲷 <i>L. lunaris</i> (6704)、二长棘鲷 <i>P. edita</i> (4770)、黑鲷 <i>A. schlegelii</i> (2197)

注:括号内的数字表示相对重要性指数。
Note: The values in parentheses indicate the index of relative importance.

2.3 物种多样性特征

从季节性差异分析来看,研究区春季和冬季多样性指数和均匀度指数差异极显著($P<0.01$),丰富度指数差异不显著($P>0.05$)。春季,随着从投礁区向辐射区再到对照区的空间变化,多样性指数、丰富度指数和均匀度指数均呈现出逐渐减小的趋势。在投礁区,这 3 个指数的数值分别为 1.91(多样性指数)、2.77(丰富度指数)和 0.54(均匀度指数)(图 3)。春季,投礁区多样性指数和均匀度指数与辐射区和对照区均无显著性差异($P>0.05$),而丰富度指数与辐射区差异不显著($P>0.05$),但与对照区差异显著($P<0.05$);冬季,3 个区域的多样性指数、丰富度指数和均匀度指数均相较于春季有

所提升。其中,多样性指数的最大值出现在辐射区,达到了 2.97,其次是投礁区(2.78),而对照区的多样性指数则相对较小,为 2.14。在丰富度指数方面,投礁区略大,其数值为 3.33,略高于辐射区的 3.32,而对照区的丰富度指数则最小。均匀度指数的变化趋势与多样性指数保持一致,辐射区的均匀度指数最大,达到了 0.83(图 3)。冬季,投礁区多样性指数和丰富度指数与辐射区差异不显著($P>0.05$),但均与对照区差异显著($P<0.05$),而均匀度指数与辐射区和对照区均无显著性差异($P>0.05$)。投礁区春季和冬季多样性指数和均匀度指数差异显著($P<0.05$),丰富度指数差异不显著($P>0.05$)。

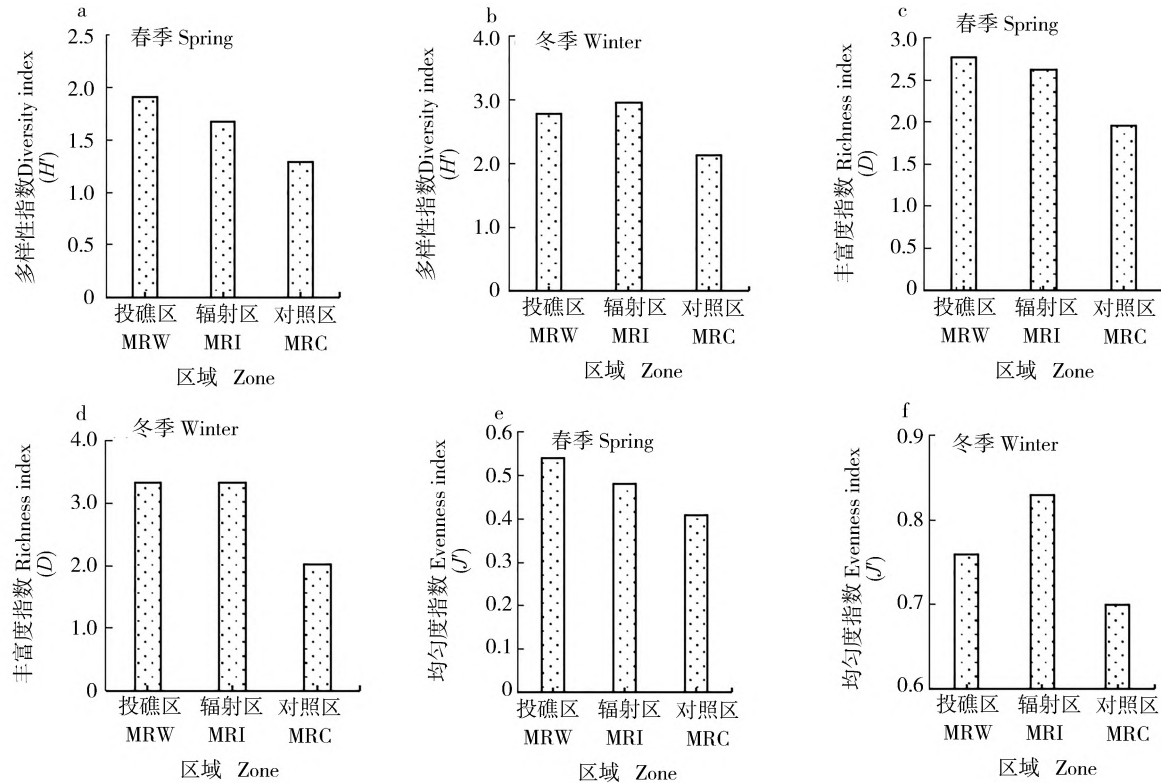


图 3 多样性指数、丰富度指数和均匀度指数
Fig.3 Diversity index, richness index, and evenness index

2.4 鱼类资源空间分布特征

春季与冬季, 鱼类质量密度的变化趋势一致: 投礁区最高, 辐射区次之, 而对照区则相对较低。春季投礁区的平均质量密度高达 709.71 kg/km^2 , 是辐射区的 1.36 倍, 是对照区的 1.92 倍。冬季投礁区的平均质量密度进一步升高至 832.96 kg/km^2 , 是辐射区的 1.66 倍, 以及对照区的 2.73 倍(图 4)。

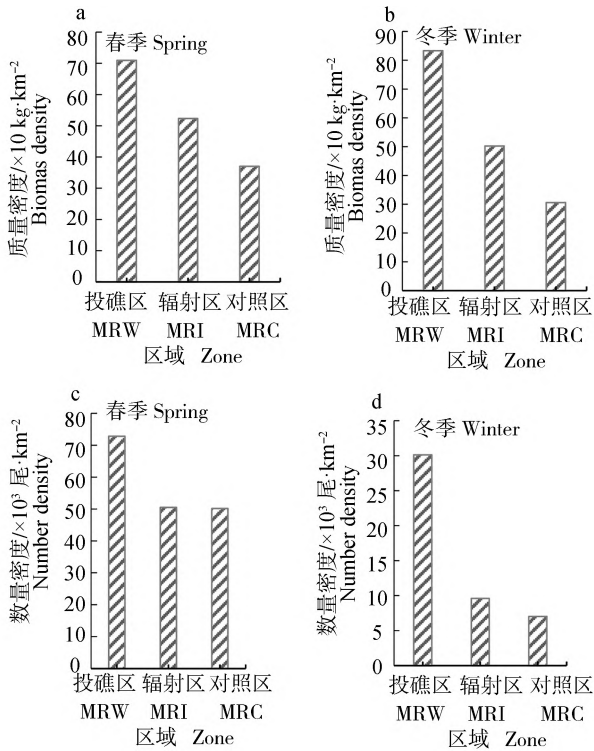


图 4 质量密度和数量密度变化
Fig.4 Changes in biomass density and number density

两个季节中, 数量密度的空间变化趋势与质量密度保持一致, 均呈现出投礁区最高、辐射区次之、

对照区最低的特点。春季, 投礁区的平均数量密度最大, 达到了 $72.82\times10^3\text{ 尾/km}^2$, 其次是辐射区, 其平均数量密度为 $50.51\times10^3\text{ 尾/km}^2$, 而对照区的平均数量密度则相对较小, 为 $50.16\times10^3\text{ 尾/km}^2$ 。冬季, 这一趋势依然明显, 投礁区的平均数量密度依旧最高, 为 $30.12\times10^3\text{ 尾/km}^2$, 辐射区次之, 平均数量密度为 $9.60\times10^3\text{ 尾/km}^2$, 而对照区的平均数量密度则最小, 仅为 $7.02\times10^3\text{ 尾/km}^2$ (图 4)。

差异显著性分析结果显示, 在春季, 投礁区的数量密度与辐射区及对照区之间的差异均未达到显著水平($P>0.05$)。然而, 在冬季, 投礁区与辐射区以及对照区之间的差异均达到了显著水平($P<0.05$)。调查海域春季和冬季的数量密度存在极显著的季节间差异($P<0.01$), 而投礁区的数量密度也呈现显著的季节性变化($P<0.05$)。

二长棘鲷、鹿斑仰口鲷、月尾兔头鲈和斑鲷是两个季节 3 个区域的共同种类(表 4)。春季, 二长棘鲷、鹿斑仰口鲷和月尾兔头鲈的平均体质量均呈现从投礁区到辐射区再到对照区依次递减。3 种鱼在投礁区的平均体质量分别为 8.36、3.77、70.22 g, 分别是辐射区的 1.07 倍、1.41 倍和 1.93 倍, 是对照区的 1.23 倍、1.29 倍和 1.98 倍。而冬季 3 种鱼最大平均体质量均出现在辐射区, 分别为 59.90、6.60、54.95 g, 二长棘鲷和鹿斑仰口鲷的次高值出现在投礁区, 分别为 48.03 g 和 4.30 g, 月尾兔头鲈次高值出现在对照区, 为 44.83 g。春季, 斑鲷的平均体质量以对照区最大, 为 49.00 g, 投礁区次之(43.00 g), 辐射区最小(42.08 g)。而冬季最大值出现在投礁区, 为 56.07 g, 其次是对照区(38.30 g), 辐射区最小(30.06 g)。

表 4 春季和冬季 3 个区域共同种的平均体质量
Tab.4 Mean body weight of co-species in three regions in spring and winter

季节 Season	种类 Species	体质量 Body weight		
		投礁区 MRW	辐射区 MRI	对照区 MRC
春季 Spring	二长棘鲷 <i>P. edita</i>	8.36	7.79	6.77
	鹿斑仰口鲷 <i>L. ruconius</i>	3.77	2.67	2.92
	月尾兔头鲈 <i>L. lunaris</i>	70.22	36.33	35.50
	斑鲷 <i>K. punctatus</i>	43.00	42.08	49.00
冬季 Winter	二长棘鲷 <i>P. edita</i>	48.03	59.90	38.13
	鹿斑仰口鲷 <i>L. ruconius</i>	4.30	6.60	3.60
	月尾兔头鲈 <i>L. lunaris</i>	40.73	54.95	44.83
	斑鲷 <i>K. punctatus</i>	56.70	30.60	38.30

3 讨论

3.1 鱼类资源种类的空间和季节变化

鱼礁区在鱼类种类数上的优势在很多研究中也得到证实,本研究中投礁区鱼类种类数是辐射区的1.06~1.08倍,对照区的1.52~1.86倍,与国内主要人工鱼礁区如澄海菜芜、大亚湾杨梅坑等鱼类种类数是其对照区的1.13~1.89倍的结果相差不大^[21],也进一步证实人工鱼礁对鱼类的诱集作用。另外,研究发现,随着距离鱼礁区越来越远,鱼类的种类数呈现递减趋势,与徐胜南等^[13]研究发现距离鱼礁区更近的站点种类数越丰富的结论一致。

春季和冬季,二长棘鲷与鹿斑仰口鲷在投礁区、辐射区和对照区均有出现,但它们在3个区域展现出了不同的空间分布动态。具体来说,二长棘鲷的占比随着与鱼礁区距离的增加而逐渐上升,相反,鹿斑仰口鲷的占比则逐渐下降,这一对比表明鹿斑仰口鲷相较于二长棘鲷更倾向于在鱼礁附近海域聚集。春季与冬季的投礁区特有种存在差异,仅有点带石斑鱼和细条天竺鲷是两个季节共有的特有种。此外,春季的共有鱼种数量超过了特有种数量,而冬季的情况则相反,特有种数量多于共有种,这一变化表明冬季鱼礁区与其周边海域之间的鱼类资源交流更为频繁和剧烈。

根据北部湾北部沿岸海域历次调查结果,春季鱼类种类数多于冬季^[22-25],一般认为春季大量鱼类从外海迁徙至湾内的近岸水域进行产卵,从而导致了该季节鱼类种类数的显著增加。相反,冬季鱼类则倾向于向南部较为温暖的海域迁移以越冬,因此冬季的鱼类种类数相较于春季会有所下降。本研究投礁区冬季鱼类种类数多于春季,但并不显著,可能与鱼类不同生长阶段对饵料生物的选择性差异有关。

3.2 不同区域生物多样性的比较

春季和冬季,银滩海洋牧场投礁区的优势种主要以中上层和近底层的种类为主,其中,二长棘鲷、鹿斑仰口鲷、短吻鲷、竹筴鱼和矛尾虾虎鱼是北部湾比较稳定的优势种^[21-23],可见,鱼礁投放后大多数种类能够维持其原有的优势地位,但斑鲷和黑鲷优势度显著提升,表明鱼礁投放对该区域内鱼类优势种群结构产生了影响。春季和冬季,3个区域的优势种组成变化明显,投礁区优势种的数量相较于辐射区和对照区均呈现出更高的态势,这一结果与大亚湾杨梅坑鱼礁区优势种数量高于其对照区的结论相吻合^[8]。春季,二长棘鲷在投礁区的优势

地位相较于辐射区有所减弱,而小型鱼类如鲷类在投礁区的优势度超越了辐射区。冬季,二长棘鲷的优势度进一步下降,鲷类的优势度持续攀升。冬季,辐射区鲷类和鲷类的优势不再,而具有较高营养级的月尾兔头鲈在辐射区和对照区聚集。总体来看,春季投礁区内小型鱼类的数量有所增加,而个体相对较大的鱼类数量则有所减少;冬季,投礁区个体相对较小的鱼类的优势度进一步增强。

本研究结果显示,春季投礁区的多样性指数相较于辐射区和对照区呈现出更高的水平,而冬季则表现为低于辐射区但高于对照区。这种多样性指数在空间上随季节变化的现象,在嵊泗^[26]、琵琶岛^[27]、西港^[28]、三横山^[29]和海州湾^[30]等人工鱼礁区同样存在。仅就投礁区和对照区多样性对比而言,本研究中春季和冬季投礁区多样性均大于对照区,这主要归因于投礁区的鱼类种类数和均匀度均高于对照区。春季,投礁区吸引大量鱼类聚集,从而形成了较高的生物多样性指数。随着与鱼礁距离的增加,鱼类的多样性指数逐渐降低。相比之下,冬季投礁区虽然聚集的鱼类种类数多于辐射区,但物种间的均匀度相对较小,导致该区域的多样性指数小于辐射区。然而,与春季相比,冬季投礁区种类数和物种均匀度均有所增加,这一变化使得冬季投礁区的多样性指数高于春季。

3.3 鱼类资源空间分布特征

从鱼类资源的空间分布格局来看,春季和冬季质量密度和数量密度均呈现出由投礁区向辐射区至对照区依次递减的趋势,揭示了鱼类资源随着与鱼礁距离的增加而呈现梯度式减少的趋势,符合离鱼礁越近,资源量越丰富的鱼礁诱集作用的辐射效应规律^[13]。银滩海洋牧场鱼礁建设后示范区相较于对照区水体含氧量更加充足,营养盐更加丰富,且水质较优^[31],为鱼类聚集提供了环境条件,本研究中投礁区鱼类的聚集现象在美国花园滩国家海洋保护区^[32]、獐子岛海洋牧场^[33]、海州湾人工鱼礁^[34]等研究中也发现。本研究结果表明,春季,投礁区的质量密度是辐射区的1.36倍,是对照区的1.92倍;冬季,投礁区的质量密度更是达到了辐射区的1.66倍,以及对照区的2.73倍,体现了鱼礁对鱼类的聚集效果显著。从差异显著性分析结果来看,冬季投礁区对鱼类分布的影响大于春季,可能与冬季鱼类个体较大,主动选择性更强有关。这种投礁区与对照区之间在鱼类资源上的差异,不仅与鱼礁投放引起的环境变化密切相关,同时也受不同海域鱼类资源本底状况的影响。从整体上看,鱼礁

的投放确实有效提升了鱼礁区的鱼类资源水平。

尽管春季和冬季期间,投礁区的鱼类资源密度相较于辐射区和对照区呈现出更高的态势,但在个别鱼类平均体质量的空间分布上,两个季节间存在差异。春季,投礁区二长棘鲷、鹿斑仰口鲷和月尾兔头鲈的平均体质量高于其他两个区域,表明越靠近鱼礁,鱼的个体越大,体现了鱼礁对相对大个体鱼类的聚集效应。这一研究结果与陈勇等^[33]和高文斌等^[11]所观察到的现象相吻合,这一发现说明鱼礁区饵料生物丰富,对二长棘鲷、鹿斑仰口鲷和月尾兔头鲈的幼鱼生长发育具有显著的促进作用,也表明鱼礁投放有利于亲鱼的保护。而冬季情况有所不同,二长棘鲷、鹿斑仰口鲷和月尾兔头鲈的大型个体主要聚集在辐射区,这可能与冬季3种鱼均已到成鱼阶段,食性较幼鱼期发生转变有关。

4 结 论

本研究结果显示,银滩南海洋牧场鱼类种类数与资源密度均呈现从鱼礁附近海域向周边海域梯度递减的趋势。二长棘鲷的优势度从鱼礁附近海域向周边海域逐渐减弱,而鲷类呈现出相反的变化趋势。生物多样性指数表明,春季多样性指数最大值出现在鱼礁附近海域,而冬季形成了一个围绕鱼礁海域的高多样性区域。可见,银滩南海洋牧场人工鱼礁投放对海域的鱼类资源产生了显著的影响,研究结果可为海洋牧场生态效应研究提供理论支持。

参考文献:

- [1] 农业部渔业渔政管理局,中国水产科学研究院.中国海洋牧场发展战略研究[M].北京:中国农业出版社,2017.
- [2] 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.
- [3] 林军,章守宇.人工鱼礁物理稳定性及其生态效应的研究进展[J].海洋渔业,2006,28(3):257-262.
- [4] 袁华荣,章守宇,林军,等.海洋牧场人工鱼礁生境营造的生态学理论框架探索[J].水产学报,2025,49(1):3-26.
- [5] 白一冰,张成刚,罗小峰.吕泗渔场人工鱼礁群流场效应及稳定性研究[J].人民长江,2018,49(8):25-30.
- [6] 李娇,关长涛,公丕海,等.人工鱼礁生态系统碳汇机理及潜能分析[J].渔业科学进展,2013,34(1):65-69.
- [7] 李美真,詹冬梅,丁刚,等.人工藻场的生态作用、研究现状及可行性分析[J].渔业现代化,2007,34(1):20-22.

- [8] 初建松,郑卫东,孙利元,等.基于生物资源的万山海洋牧场生境适宜性评估[J].海洋科学,2024,48(1):75-84.
- [9] 李大鹏,张硕,黄宏.海州湾海洋牧场的长期环境效应研究[J].中国环境科学,2018,38(1):303-310.
- [10] 陈丕茂,袁华荣,贾晓平,等.大亚湾杨梅坑人工鱼礁区渔业资源变动初步研究[J].南方水产科学,2013,9(5):100-108.
- [11] 高文斌,李怡群,张海鹏,等.山海关海洋牧场人工鱼礁区重要经济品种养护效果的初步研究[J].河北渔业,2017(1):15-18.
- [12] 唐衍力,程文志,孙鹏,等.山东近岸3处人工鱼礁区VPUE的分析研究[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2017,47(3):43-50.
- [13] 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.
- [14] 章守宇,张焕君,焦俊鹏,等.海州湾人工鱼礁海域生态环境的变化[J].水产学报,2006,30(4):475-480.
- [15] 陈勇,于长清,张国胜,等.人工鱼礁的环境功能与集鱼效果[J].大连水产学院学报,2002,17(1):64-69.
- [16] 牛麓连,陈国宝,邹建伟,等.广西银滩南部海域海洋牧场渔业资源评估[J].南方水产科学,2024,20(5):53-62.
- [17] PINKAS L, OLIPHANT M, IVERSON I. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. Fish Bulletin,1971,152: 1-105.
- [18] LUDWIG J A, REYOLDS J F. A Primer on Methods and Computing [M]. New York: Wiley,1988.
- [19] THRELKELD S. Perspectives in Ecological Theory[M]. New York: The University of Chicago Press,1968.
- [20] PIELOU E C. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession[J]. Journal of Theoretical Biology,1966,10(2):370-383.
- [21] 王宏,陈丕茂,李辉权,等.澄海莱芜人工鱼礁集鱼效果初步评价[J].南方水产,2008,4(6):63-69.
- [22] 张公俊,杨长平,刘岩,等.北部湾防城港—钦州近岸海域鱼类群落格局及其与环境因子的关系[J].南方水产科学,2022,18(4):20-33.
- [23] 傅昕龙.北部湾西北部近海鱼类资源分布和群落结构特征及其影响因素[D].上海:上海海洋大学,2018.
- [24] 何思璇,何斌源.防城河口湾鱼类群落结构及其与环境因子关系研究[J].热带海洋学报,2019,38(5):86-97.
- [25] 袁华荣,陈丕茂,贾晓平,等.北部湾东北部游泳生物资源现状[J].南方水产科学,2011,7(3):31-38.
- [26] 赵静,章守宇,汪振华,等.嵊泗人工鱼礁海域鱼类和大型无脊椎动物群落结构特征[J].中国水产科学,2010,17(5):1045-1056.
- [27] 何倩,刘淑德,唐衍力,等.山东琵琶岛海域人工鱼礁区鱼类群落物种及功能多样性[J].中国水产科学,2023,

- 30(12):1479-1495.
- [28] 于晴,唐衍力.威海西港人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物群聚特征[J].渔业现代化,2015,42(3):65-72.
- [29] 汪振华,章守宇,王凯,等.三横山人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物诱集效果初探[J].水产学报,2010,34(5):751-759.
- [30] 孙习武,张硕,赵裕青,等.海州湾人工鱼礁海域鱼类和大型无脊椎动物群落组成及结构特征[J].上海海洋大学学报,2010,19(4):505-513.
- [31] 于杰,邹建伟,陈国宝.广西银滩南部海域海洋牧场鱼类群落结构特征及其与环境因子的关系[J].南方水产科学,2024,20(5):81-90.
- [32] ROOKER J R, DOKKEN Q R, PATTENGILL C V, et al. Fish assemblages on artificial and natural reefs in the Flower Garden Banks National Marine Sanctuary, USA[J]. Coral Reefs,1997,16(2):83-92.
- [33] 陈勇,杨军,田涛,等.獐子岛海洋牧场人工鱼礁区鱼类资源养护效果的初步研究[J].大连海洋大学学报,2014,29(2):183-187.
- [34] 张虎,朱孔文,汤建华.海州湾人工鱼礁养护资源效果初探[J].海洋渔业,2005,27(1):38-43.

Impact of Marine Ranching on Spatial Distribution of Fish Resources in South Sea Area of Yintan in Beihai, Guangxi

YU Jie^{1,2}, ZOU Jianwei³, CHEN Guobao^{1,2}

(1.South China Sea Fisheries Research Institute,Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2.Key Laboratory of Marine Ranching,Ministry of Agriculture and Rural Affairs/National Digital Fisheries (Marine Ranching) Innovation Sub-Center/Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources and Environments,Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment/Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment/Guangdong Engineering Technology Research Center of Marine Recreational Fishery,Guangzhou 510300, China; 3.Beihai Fishery Technology Extension Station,Beihai 536000, China)

Abstract: To evaluate the ecological effects of marine ranching on fish resources, bottom trawl surveys were conducted in three habitats including reef zone (west artificial reefs adjacent to the sea), transition zone, and control zone in the National Marine Ranching Demonstration Area off Yintan, Beihai City, Guangxi in spring (April 2022) and winter (January 2023). Results showed that there was higher fish species richness (35 species in spring, and 39 in winter) in the artificial reef zones than those in the transition zone and control zone, as 1.06—1.08 times and 1.52—1.86 times as those in the transition zone and control zone, respectively. *Paerargyrops edita* and *Leiognathus ruconius* served as common dominant species across seasons, complemented by *L. brevirostris* and *Trachurus japonicus* in spring, and *Acanthopagrus schlegelii*, *Konosirus punctatus*, and *Chaeturichthys stigmatias* in winter. The Shannon-Wiener index peak was observed in the reef zone during spring ($H' = 1.91$) and the transition zone during winter ($H' = 2.97$), with biomass density gradient from the artificial reef zone to control zone: 709.71→370.29 kg/km² (spring) and 832.96→305.57 kg/km² (winter). Notably, winter number density in the reef zone (30.12×10^3 ind./km²) was shown to be significantly exceeded that in the adjacent zones. The finding confirms that artificial reefs significantly enhance fish aggregation, which contributes to resource restoration through targeted habitat modification.

Key words: marine ranching; fish resources; biodiversity; Yintan in Guangxi