

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20240910002

http://www.yykxjz.cn/

袁亚辉, 汪诗雨, 高春霞, 赵静, 黄庆竹. 浙江南部近海主要石首鱼类的生态位及种间联结性. 渔业科学进展, 2025, 46(4): 33–44

YUAN Y H, WANG S Y, GAO C X, ZHAO J, HUANG Q Z. Niches and interspecific association of dominant Sciaenidae species in the offshore waters of southern Zhejiang Province. Progress in Fishery Sciences, 2025, 46(4): 33–44

浙江南部近海主要石首鱼类的 生态位及种间联结性*

袁亚辉¹ 汪诗雨¹ 高春霞^{1,2,3,4①} 赵 静^{1,4} 黄庆竹¹

(1. 上海海洋大学海洋生物资源与管理学院 上海 201306; 2. 上海海洋大学国家远洋渔业工程研究中心 上海 201306; 3. 上海海洋大学大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室 上海 201306; 4. 长江口水生生物资源监测与保护联合实验室 上海 202162)

摘要 为深入探究浙江南部近海石首鱼类的生态位特征及其种间相互作用关系,本研究根据 2020 年 5 月—2021 年 1 月该海域 4 个季度的渔业资源调查数据,运用生态位指标、聚类分析、卡方检验、种间联结性检验和冗余分析等方法,研究该海域石首鱼类的时空生态位特征及种间联结关系。结果显示,调查海域共有石首鱼类 9 种,时间生态位宽度范围为 0.17~1.08,其中,小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)时间生态位宽度最大,大头银姑鱼(*Pennahia macrocephalus*)最小;空间生态位宽度范围为 1.40~2.50,黑姑鱼(*Atrobucca nibe*)空间生态位宽度最大,棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)最小;时空生态位宽度范围为 0.32~2.42,小黄鱼时空生态位宽度最大,大头银姑鱼最小。大头银姑鱼和黑姑鱼、银姑鱼(*Pennahia argentata*)和鳞鳍叫姑鱼(*Johnius distinctus*)的时间生态位重叠值最高,鲢(*Miichthys miui*)和黑姑鱼的空间生态位重叠值最高,各物种在时空维度生态位重叠值都处于较低水平,物种通过生态分化策略保证种间共存。总体联结性呈显著正关联,大多数种对间的联结性不显著,呈现相互独立分布的特征。冗余分析表明,表层水温和盐度是影响该海域石首鱼类分布的主要环境因子。研究表明,该海域石首鱼类整体联结性较强,具有一定的相互依存关系,但种对间的关联性在逐渐下降,趋向独立分布格局。

关键词 浙江南部近海; 石首鱼类; 生态位; 种间联结性

中图分类号 S937.3 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2025)04-0033-12

浙江南部近海位于我国东海中南部海域,受台湾暖流、浙江沿岸流等多海流的复杂影响(高春霞等, 2019),海域内气候温和、营养盐丰富,是众多渔业经济种类的栖息水域,如小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)、银姑鱼(*Pennahia argentata*)等石首鱼类(Sciaenidae)在海域内广泛分布,且资源优势明显

(张洪亮等, 2013)。石首鱼类是我国重要经济鱼类,广泛分布在我国东海、黄海、渤海等海域,其营养物质丰富、经济价值极高,对我国沿海渔业具有重要意义(张洪亮等, 2013; 杜晓雪等, 2018),也是许多水域生态系统中的关键物种,在食物链及生态系统中占据重要位置。近年来,在过度捕捞、不良气候变化以及

*国家重点研发计划(2024YFD2400403)和国家自然科学基金(31902372)共同资助。袁亚辉, Email: 17320281466@163.com

① 通信作者: 高春霞, 高级工程师, Email: cxgao@shou.edu.cn

收稿日期: 2024-09-10, 收修改稿日期: 2024-10-20

海洋环境污染等综合影响下,大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)、棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)等石首鱼类资源衰退明显,渔获结构呈小型化趋势,大黄鱼多个重要产卵场现已难形成渔汛(林龙山, 2004; 凌建忠等, 2006; 李立华等, 2022)。时空生态位及种间关系的研究是了解鱼类种群动态的关键,能够揭示石首鱼类在不同时间和空间尺度上占据的生态学位置、对资源的利用情况以及彼此之间的相互作用关系,有助于开展相近多物种的资源评估工作,进而可以以此为依据制定相应的保护和管理措施。目前,浙江南部近海石首鱼类的研究报道较多,主要聚焦于单鱼种的生物学特征、年龄、生长和摄食等生活史信息研究上(黄慧娴等, 2022; 陈淦等, 2022; 裴如德等, 2021),而对石首鱼类种间关系的研究基本空白,这将制约对其资源、种群动态以及相互作用关系等各个方面的深入了解,不利于对这类经济鱼类的资源保护和管理。

生态位理论作为生态学领域的核心理念,对理解物种种间关系、维护生物多样性、解析群落结构以及促进种群进化等诸多方面具有极其重要的价值(冯晨, 2019)。生态位宽度和生态位重叠是量化生态位的关键指标,可反映物种对资源利用以及种间相互竞争的程度(左涛等, 2023),对于探索鱼类群落结构和种间相互作用至关重要。生态位宽度揭示了物种对资源利用的能力,而生态位重叠则衡量了不同物种在生态需求上的相似性(朱金兆等, 2003)。种间联结性可较准确地反映不同物种之间相互依存与竞争的关系(徐满厚等, 2016)。研究鱼类种群的生态位相关指标和种间联结性对于分析鱼类种群的种间关系和竞争机制以及渔业资源的保护和管理具有重要意义。本研究基于浙江南部近海海域 2020 年 5 月、8 月、11 月及 2021 年 1 月的渔业资源调查结果,筛选所有石首鱼类相关数据,并结合生态位相关指标测定、聚类分析、种间联结性检验以及冗余分析等方法,分析石首鱼类的种间相互作用关系,以期对浙江南部近海石首鱼类物种间在生态系统中相互作用及多物种资源评估的研究提供基础资料,为该海域渔业资源的养护和管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

数据来源于浙江南部近海(27.0°~29.0°N, 120.00°~123.0°E) 2020 年 5 月(春季)、8 月(夏季)、11 月(秋季)以及 2021 年 1 月(冬季)的渔业资源调查,调查船为吨位 305 t 的“浙洞渔 10109 号”,调查方式为底拖

网,网目规格为 2 000 mm×96 目,网囊网目直径为 25 mm。其功率为 396 kW,拖速为 2~4 kn,每站拖网时间控制在 1 h 左右。采样调查共设置 27 个站点(图 1)。表层水温(SST)、盐度(Sal)、pH、海水溶解氧(DO)和叶绿素(Chl)环境数据来源于欧盟哥白尼网站(<https://marine.copernicus.eu/>)。资源调查、样品保存规范及种类鉴定均依据《海洋调查规范》、《中国海洋鱼类》和《浙江鱼类志》进行。

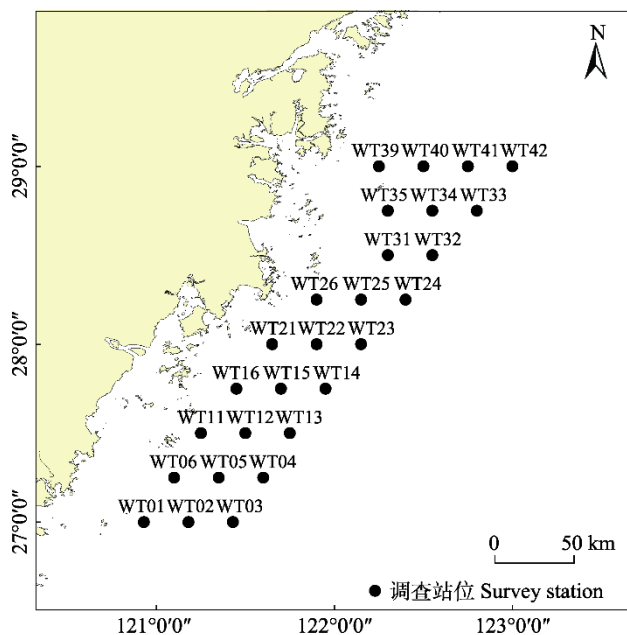


图 1 浙江南部近海调查站位

Fig.1 Survey stations in the offshore waters of southern Zhejiang

1.2 研究方法

1.2.1 生态位测定 为避免不同站点拖网时间和拖速差异对数据分析的影响,本文对渔获量数据统一进行了标准化处理(拖速 3 kn、拖网时间 1 h)。生态位宽度测定采用 Shannon-Wiener 公式(Shannon *et al*, 1950),生态位重叠测定采用 Pianka 公式(Pianka *et al*, 1973):

$$B_i = -\sum_{j=1}^R (P_{ij} \ln P_{ij}) \quad (1)$$

$$Q_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^R (P_{ij} P_{kj})}{\sqrt{\sum_{j=1}^R P_{ij}^2 \sum_{j=1}^R P_{kj}^2}} \quad (2)$$

式中, B_i 为 i 物种的生态位宽度; R 为站位数; Q_{ik} 为 i 物种与 k 物种的生态位重叠; P_{ij} 为 j 资源状态下 i 物种个体数在该种所有个体数中的占比; P_{kj} 为 j 资源状态下 k 物种个体数在该种总个体数中的占比。其中,

j 在空间生态位计算中代表某站位, 时间生态位计算中代表某调查航次。时空二维生态位指数测定均采用时间维度与空间维度指数的乘积(林开敏等, 2001)。

1.2.2 总体联结性测定 石首鱼类物种间的总体联结性采用方差比率(variance ratio, VR) (Schluter *et al.*, 1984)判断, 并用统计量 W 检验关联的显著水平。VR=1 时, 物种间没有关联性; VR>1, 物种间呈正相关; VR<1, 物种间呈负相关。所用公式如下:

$$\delta_T^2 = \sum_{i=1}^s P_i(1-P_i)^2 \quad (3)$$

$$S_T^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (T_j - t)^2 \quad (4)$$

$$VR = \frac{S_T^2}{\delta_T^2} \quad (5)$$

$$W = VR \times n \quad (6)$$

式中, S 为石首鱼类总数; n 为总站位数; P_i 为 i 物种出现的频率; δ_T^2 为总站位方差; T_j 为站位 j 内石首鱼类的种数, t 为站位中物种数的平均数, S_T^2 为总种数方差。若 W 值落入卡方分布 90% 的置信区间内, 则表明种间总体上无关联性。

1.2.3 种对间联结性测定 基于 2×2 列联表, 运用 Yates 连续校正法对石首鱼类种对间的联结性进行卡方检验(王伯荪等, 1985)。 $\chi^2 < 3.841$ 时, 种对间联结性不显著; $3.841 \leq \chi^2 < 6.635$, 种对间存在显著联结性; $\chi^2 \geq 6.635$ 时, 种对间存在极显著联结性。其中, 若 $(ad-bc)$ 值为正, 则种对间存在正联结; 为负值则存在负联结; 若为零则种对间无联结。

$$\chi^2 = \frac{n(ad-bc-0.5n)^2}{(a+b)(b+d)(a+c)(c+d)} \quad (7)$$

联结系数(association coefficient, AC) (彭明春等, 1998)进一步检验 χ^2 检验的结果, 共同出现百分率(percentage of co-occurrence, PC) (周先叶等, 2000)判断物种间正联结程度。

$$AC = \frac{2(ad-bc)}{(a+b)(b+d)(a+c)(c+d)} \quad (8)$$

$$PC = \frac{a}{a+b+c} \quad (9)$$

式中, a 代表 2 种物种同时出现的站点数量; b 和 c 分别表示仅出现 1 种物种的站点数量; d 为 2 种物种都未出现的站点数量。其中, AC 取值范围为 $[-1, 1]$, AC 值越接近 1, 种对间正联结程度越强, 越接近 -1, 种对间负联结程度越强, AC 为 0 时, 种对间相互独立。PC 取值范围为 $[0, 1]$, PC 值越接近 1, 种对间正

联结越紧密, PC 为 0 时种对间相互独立(叶深等, 2022)。

1.2.4 数据处理 本研究站位分布图以及种间联结性相关半矩阵图均使用 ArcMap 10.8 软件绘制; 生态位宽度及重叠的测定以及种间联结性检验等在 RStudio 软件“spaa”包中进行分析; 聚类分析基于三个维度的生态位宽度数据, 使用 Primer 6 软件构建样本的 Bray-Curtis 相似性系数矩阵; 生物与环境相互关系分析在 Canoco 5 软件中进行, 由于本文轴梯度长度 LGA<3, 因此选用冗余分析(RDA)开展分析。

2 结果与分析

2.1 物种组成

本调查共有石首鱼类 9 种(表 1), 分别是大黄鱼、大头银姑鱼(*Pennahia macrocephalus*)、棘头梅童鱼、鲢(*Milichthys miiuy*)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belangerii*)、小黄鱼、银姑鱼、黑姑鱼(*Atrubucca nibe*)和鳞鳍叫姑鱼(*Johnius distinctus*)。其中, 春季和冬季出现的石首鱼种类均为 7 种, 夏季 5 种, 秋季 9 种, 4 个季节内均出现的物种有大黄鱼、大头银姑鱼、小黄鱼、银姑鱼和鳞鳍叫姑鱼。

2.2 时空生态位宽度

浙江南部近海石首鱼类时间生态位宽度整体变化范围较小, 其中, 小黄鱼时间生态位宽度最大(1.08), 其次是棘头梅童鱼(1.02), 最小的是大头银姑鱼(0.17) (表 2)。结合相似性聚类分析结果, 9 种石首鱼类可分为 3 组: 第 1 组由小黄鱼、棘头梅童鱼、鳞鳍叫姑鱼等 7 种石首鱼类组成, 包括了大多数种类且其时间生态位宽度较宽; 第 2 组仅由黑姑鱼组成, 其时间生态位宽度相对较小; 第 3 组仅由大头银姑鱼组成, 其时间生态位宽度最小(图 2)。

空间维度的生态位宽度整体较宽(表 2), 其中, 黑姑鱼空间生态位宽度最大(2.50), 其次是小黄鱼(2.24), 最小的是棘头梅童鱼(1.40)。结合空间生态位宽度相似性聚类分析结果, 9 种石首鱼类可分为 3 组: 第 1 组由黑姑鱼、小黄鱼和银姑鱼组成, 其空间生态位最宽; 第 2 组由大头银姑鱼、鳞鳍叫姑鱼和皮氏叫姑鱼组成, 其空间生态位宽度适中; 第 3 组由大黄鱼、鲢和棘头梅童鱼 3 种石首鱼组成, 其空间生态位最窄(图 3)。

从时空维度来看, 浙江南部近海石首鱼类时空生态位宽度整体变化范围较大, 生态位宽度从 0.32 波动至 2.42 (表 2), 其中, 小黄鱼时空生态位宽度最大(2.42), 且远大于其他 8 种石首鱼类, 其次为银姑鱼

(1.65)，最小的是大头银姑鱼(0.32)，且远小于其他 8 种鱼类。结合时空生态位宽度相似性聚类分析结果，9 种石首鱼类分为 3 组：第 1 组仅由生态位宽度最大的小黄鱼组成；第 2 组由银姑鱼、鳞鳍叫姑鱼、棘头梅童鱼等 7 种石首鱼类组成，空间生态位宽度适中；第 3 组仅由时空生态位最窄的大头银姑鱼组成(图 4)。

表 1 浙江南部近海石首鱼类种类组成
Tab.1 Composition of Sciaenidae species in the offshore waters of southern Zhejiang

编号 Number	种类 Species	季节分布 Seasonal distribution			
		春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter
sp1	大黄鱼 <i>Pseudosciaena crocea</i>	√	√	√	√
sp2	大头银姑鱼 <i>Pennahia macrocephalus</i>	√	√	√	√
sp3	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	√		√	√
sp4	鲢 <i>Miichthys miuy</i>			√	√
sp5	皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangerii</i>	√		√	√
sp6	小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	√	√	√	√
sp7	银姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>	√	√	√	√
sp8	黑姑鱼 <i>Atrobucca nibe</i>	√	√	√	
sp9	鳞鳍叫姑鱼 <i>Johnius distinctus</i>	√	√	√	√

注：“√”表示此种类在该季节内出现。
Note: “√” indicates that the species appears in the season.

表 2 浙江南部近海石首鱼类时间、空间及时空生态位宽度值
Tab.2 Temporal, spatial and spatio-temporal niche width of Sciaenidae species in the offshore waters of southern Zhejiang

编号 Number	种类 Species	时间生态位宽度 Temporal niche width	空间生态位宽度 Spatial niche width	时空生态位宽度 Spatio-temporal niche width
sp1	大黄鱼 <i>Pseudosciaena crocea</i>	0.77	1.54	1.19
sp2	大头银姑鱼 <i>Pennahia macrocephalus</i>	0.17	1.87	0.32
sp3	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	1.02	1.40	1.43
sp4	鲢 <i>Miichthys miuy</i>	0.69	1.50	1.04
sp5	皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangerii</i>	0.83	1.66	1.37
sp6	小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	1.08	2.24	2.42
sp7	银姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>	0.77	2.14	1.65
sp8	黑姑鱼 <i>Atrobucca nibe</i>	0.42	2.50	1.05
sp9	鳞鳍叫姑鱼 <i>Johnius distinctus</i>	0.84	1.84	1.54

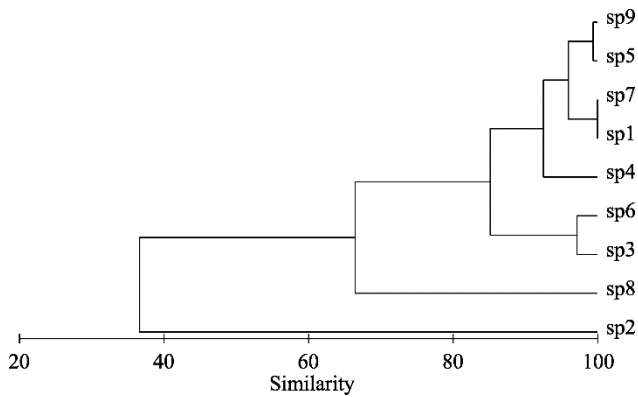


图 2 浙江南部近海石首鱼类时间生态位宽度聚类分析
Fig.2 Cluster analysis diagram of temporal niche width for Sciaenidae species in the offshore waters of southern Zhejiang

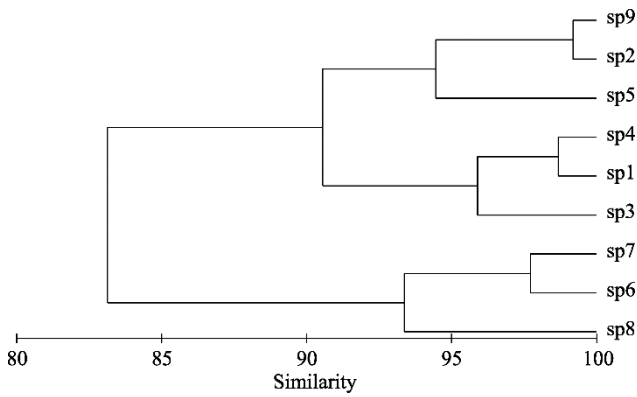


图 3 浙江南部近海石首鱼类空间生态位宽度聚类分析
Fig.3 Cluster analysis diagram of spatial niche width for Sciaenidae species in the offshore waters of southern Zhejiang

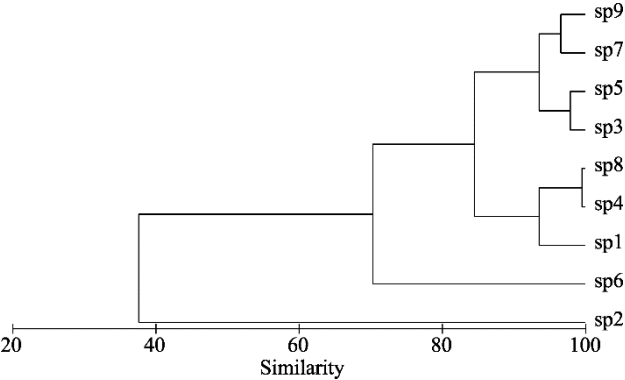


图 4 浙江南部近海石首鱼类时空生态位宽度聚类分析
Fig.4 Cluster analysis diagram of spatio-temporal niche width for Sciaenidae species in the offshore waters of southern Zhejiang

2.3 时空生态位重叠

石首鱼类时间生态位重叠值结果显示, 大头银姑鱼和黑姑鱼以及银姑鱼和鳞鳍叫姑鱼的重叠值最大, 均为 0.998; 大头银姑鱼和鲢的重叠值最小, 仅为 0.007。9 种石首鱼类所组成的 36 组种对中, 重叠值在 0.600

以上的有 11 对, 占总对数的 30.56%; 重叠值在 0.300~0.600 之间的有 9 对, 占总对数的 25.00%; 重叠值在 0.300 以下的有 16 对, 占总对数的 44.44%, 是占比最大的等级(表 3)。

石首鱼类空间生态位重叠值显示, 鲢和黑姑鱼的重叠值最高(0.659), 未出现重叠值在 0.990 以上的组对; 鲢和棘头梅童鱼的重叠值最低, 为 0.002。9 种石首鱼类所组成的 36 组种对中, 占比最大的是重叠值在 0.300 以下的组对有 26 对, 占总对数的 72.22%; 其次是重叠值在 0.300~0.600 之间的有 8 对, 占总对数的 22.22%; 重叠值在 0.600 以上的有 2 对, 占比 5.56% (表 4)。

石首鱼类时空二维生态位重叠值显示, 有 7 组对重叠值 ≤ 0.01; 重叠值最高的是大黄鱼和小黄鱼 (0.427)。9 种石首鱼类组成的 36 组种对中, 有 31 对是重叠值在 0.300 以下的组对, 占总对数的 86.11%; 其次是重叠值在 0.300~0.600 之间的组对, 有 5 组, 占总对数的 13.89%; 未出现重叠值在 0.600 以上的组对(表 5)。

表 3 浙江南部近海石首鱼类时间生态位重叠值
Tab.3 Temporal niche overlap of Sciaenidae species in the offshore waters of southern Zhejiang

种类 Species	sp1	sp2	sp3	sp4	sp5	sp6	sp7	sp8	sp9
sp1	\								
sp2	0.055	\							
sp3	0.714	0.021	\						
sp4	0.266	0.007	0.687	\					
sp5	0.986	0.025	0.803	0.305	\				
sp6	0.861	0.439	0.748	0.203	0.888	\			
sp7	0.476	0.127	0.363	0.721	0.394	0.234	\		
sp8	0.118	0.998	0.061	0.033	0.085	0.484	0.174	\	
sp9	0.533	0.113	0.413	0.724	0.455	0.287	0.998	0.163	\

表 4 浙江南部近海石首鱼类空间生态位重叠值
Tab.4 Spatial niche overlap of Sciaenidae species in the offshore waters of southern Zhejiang

种类 Species	sp1	sp2	sp3	sp4	sp5	sp6	sp7	sp8	sp9
sp1	\								
sp2	0.168	\							
sp3	0.031	0.259	\						
sp4	0.095	0.215	0.002	\					
sp5	0.12	0.047	0.421	0.169	\				
sp6	0.496	0.018	0.379	0.154	0.373	\			
sp7	0.167	0.616	0.098	0.165	0.06	0.065	\		
sp8	0.115	0.318	0.111	0.659	0.246	0.245	0.373	\	
sp9	0.106	0.311	0.067	0.161	0.13	0.133	0.308	0.204	\

表 5 浙江南部近海石首鱼类时空生态位重叠值
Tab.5 Spatio-temporal niche overlap of Sciaenidae species in the offshore waters of southern Zhejiang

种类 Species	sp1	sp2	sp3	sp4	sp5	sp6	sp7	sp8	sp9
sp1	\								
sp2	0.009	\							
sp3	0.022	0.005	\						
sp4	0.025	0.002	0.001	\					
sp5	0.118	0.001	0.338	0.052	\				
sp6	0.427	0.008	0.283	0.031	0.331	\			
sp7	0.079	0.078	0.036	0.119	0.024	0.015	\		
sp8	0.014	0.317	0.007	0.022	0.021	0.119	0.065	\	
sp9	0.056	0.035	0.028	0.117	0.059	0.038	0.307	0.033	\

2.4 种间联结性分析

2.4.1 总体联结性分析 方差比率对石首鱼类的总体联结性检验结果表明，方差比率 $VR=1.65>1$ ，石首鱼类总体上呈正相关。统计量 W 为 44.74，结果未落入卡方分布的置信区间内，石首鱼类种间总体上呈显著正关联(表 6)。

表 6 浙江南部近海石首鱼类种间总体联结性
Tab.6 Overall interspecific association of Sciaenidae species in the offshore waters of southern Zhejiang

S_T^2	δ_T^2	VR	W	$X^2[X^2_{0.95}(26), X^2_{0.05}(26)]$
1.52	2.52	1.65	44.74	(15.38, 38.89)

2.4.2 种间联结性分析 卡方检验结果表明，9 种石首鱼类构成的 36 组种对中，仅银姑鱼和黑姑鱼之间呈极显著正相关($X^2>6.635, ad>bc$)；其余 35 组种对间均为联结不显著($X^2<3.841$)(图 5)。

联结系数结果显示，呈正联结的种对仅有 19.44%，且仅有 11.11%的种对正联结程度较高($AC\geq 0.6$)；50%以上的种对是趋于独立的($-0.2\leq AC<0.2$)，占比为 55.56%；其余 25%的种对呈负联结，其中，16.67%的种对负联结程度一般($-0.6\leq AC<-0.2$)，8.33%种对负联结程度较高($AC<-0.6$)(图 6)。

共同出现百分率结果显示，无正联结性较强的组对($0.6<PC\leq 0.8$)；仅 3 组种对为最强正联结($0.8<PC\leq 1$)，占总数的 8.33%；其余 91.67%种对间正联结程度均处于一般以下水平，其中，有 8 组种对的正联结性一般($0.4\leq PC<0.6$)，占总数的 22.22%，16 组种对的正联结性较弱($0.2<PC\leq 0.4$)，占比最大(44.44%)，还有 9 组物种对的正联结性很弱($PC\leq 0.2$)，占总数的 25.00% (图 7)。

2.5 环境因素相关性分析

RDA 分析结果表明(图 8)，表层水温(SST)、盐度

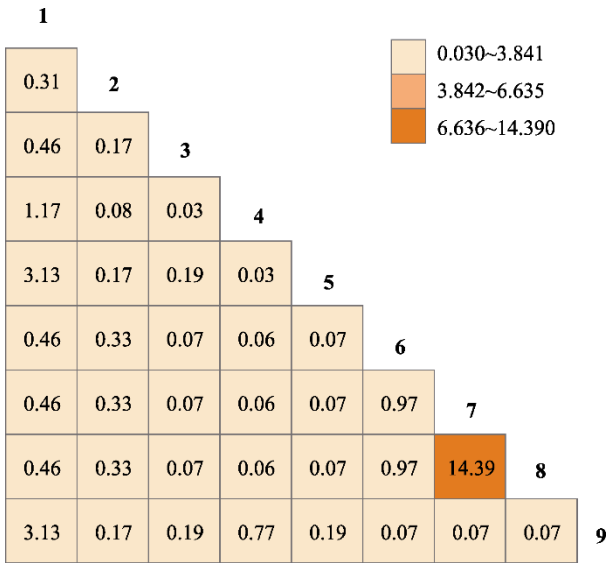


图 5 种间卡方检验半矩阵图
Fig.5 Semi-matrix diagram of interspecific chi-square tests

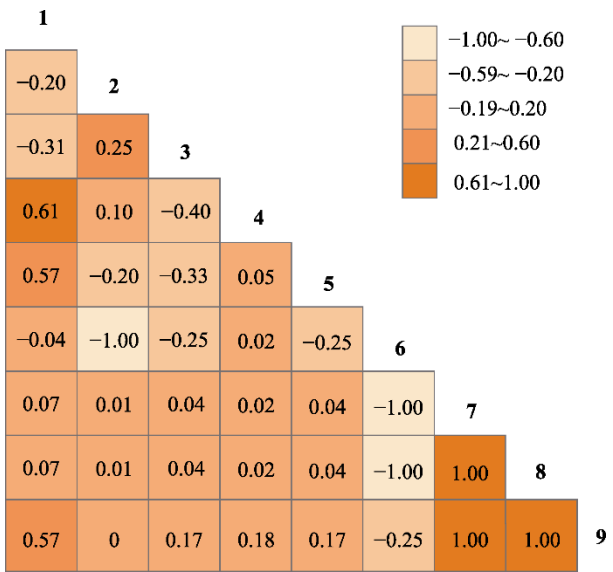


图 6 种间联结系数(AC)半矩阵图
Fig.6 Semi-matrix diagram of interspecific connectance coefficients (AC)

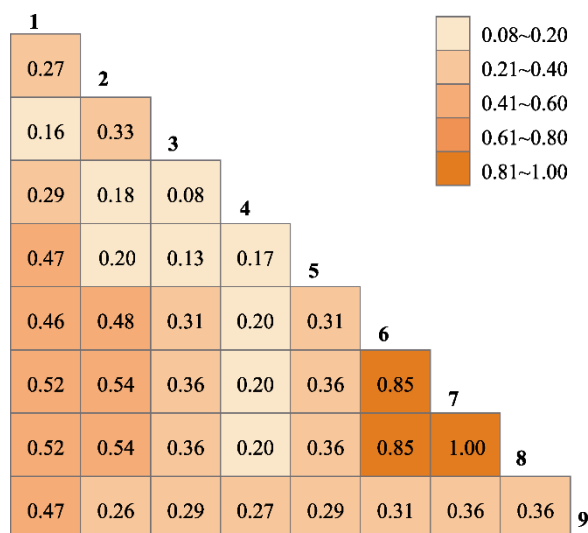


图7 共同出现百分率(PC)半矩阵图

Fig.7 Semi-matrix diagram of the percentage of co-occurrence (PC)

(Sal)、pH、海水溶解氧(DO)和叶绿素(Chl) 5 个环境因子共解释了该海域石首鱼类 38.58%的变异情况,轴 1 解释了方差变化的 20.35%,轴 2 解释了 11.02%。轴 1 ($P=0.03$)和所有轴($P=0.004$)均具有显著差异($P<0.05$),表明排序结果可信。5 个环境因子中表层水温($P=0.018$)和盐度($P=0.002$)是该海域石首鱼类分布的主要影响因子($P<0.05$),共解释了 23.1%的物种变化信息。

冗余分析排序图结果显示,就物种而言,大黄鱼和鲢与棘头梅童鱼和黑姑鱼呈负相关,类似情况也存在于皮氏叫姑鱼和小黄鱼与大头银姑鱼和银姑鱼之间。栖息环境和物种间也呈现了因种而异的关系特点,大黄鱼与盐度、叶绿素以及海表温度之间存在着较高的相关性,其中盐度对其影响最大且为正向相关;棘头梅童鱼主要受海表温度、盐度、叶绿素和溶氧的影响,其中,海表温度和盐度与其为负向相关,叶绿素和溶氧与其为正向相关(图 8)。

3 讨论

3.1 生态位宽度

生态位宽度反映物种对环境资源的利用广度以及在生态系统中的适应范围,时间生态位宽度则反映物种在时间维度上对资源的利用范围(李德志等, 2006)。本研究中,小黄鱼的时间生态位宽度最大,且在 4 个季节中均有出现,说明其总体出现的时间长,且在 4 个季节中分布较为均匀,这表明研究区域是小黄鱼重要的渔场水域(李玉尚, 2013);聚类分析中,大头银姑鱼单独为组,且时间生态位宽度值最小,原因是其时间上分布不均匀,表现为夏季数量很多,其

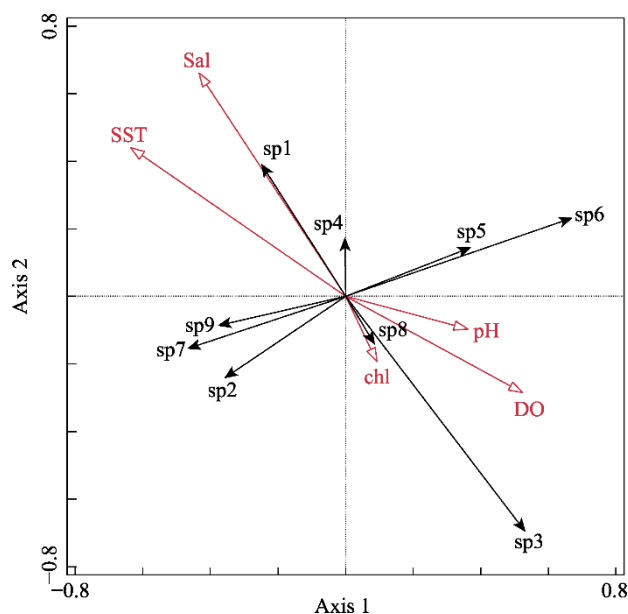


图8 浙江南部近海石首鱼类冗余分析(RDA)排序图

Fig.8 Redundancy analysis (RDA) ordination diagram of Sciaenidae species in the offshore waters of southern Zhejiang

他季节数量极少的特点,这可能与季节性洄游的习性有关(邹沁东等, 2024)。

空间生态位宽度反映的是物种在空间范围上利用资源的能力,本研究中空间聚类分析第 1 组由黑姑鱼、小黄鱼和银姑鱼组成,其空间生态位宽度值较大,说明其在空间上具有较大的生存空间和竞争优势,这在其资源量上也有所体现,该结果与杜晓雪等(2018)发现小黄鱼是浙江南部近海的优势鱼类、王士聪(2022)发现黑姑鱼和银姑鱼是浙江南部近海的关键种类的结果一致;第 3 组空间生态位最窄,其中,棘头梅童鱼的空间生态位宽度值最小,这可能是因为棘头梅童鱼是近海底栖性的小型鱼类,主要以底栖生物和小型鱼虾为主要捕食对象(吴常文等, 1991),因此在空间范围内的竞争能力较弱。

时空二维生态位宽度可以更全面地反映物种之间的竞争关系和共存机制(于振海等, 2010),本研究中,小黄鱼的时空生态位宽度值最大,且被单独聚类为一组,其时间生态位宽度和空间生态位宽度均处于较高水平,因为小黄鱼为底栖、浮游与游泳动物混合食性鱼类(王腾等, 2021),且对温度盐度的适应范围较广(朱海晨等, 2024),因此,该物种在时空维度对资源的利用能力都较强,竞争中处于优势;受时间生态位宽度的影响,时空聚类分析中大头银姑鱼仍单独为组,且时空生态位宽度最小,说明其对资源的利用在较大程度上受时间范围的制约,尽管空间上存在一定的分化,但在整体竞争中仍处于不利地位,在本研

究海域的资源量也较少,相关研究也表明大头银姑鱼资源处于过度开发阶段(王森梯等, 2021), 其资源管理和保护值得引起重视;黑姑鱼是空间生态位宽度最大的石首鱼类, 但其受时间生态位宽度的影响较大, 导致其在时空范围上资源利用程度较低, 这可能是由于黑姑鱼为暖水性鱼类, 在夏季处于繁殖期会大量聚集(陈淦, 2023), 而在其他季节数量较少, 导致其时间生态位宽度较小, 进而影响了其综合利用资源的能力。

3.2 生态位重叠

生态位重叠反映物种对环境利用的相似性, 表征种间共享或竞争资源的状况, 物种间重叠值越高, 表明其具有更为相似的资源利用状况(周先叶等, 2000)。本研究中, 浙江南部近海海域只有 30.56%的种对间时间生态位重叠值在 0.600 以上, 多数种对的时间生态位重叠值处于较低水平, 说明该海域大多数物种在时间资源上的分化较为明显, 物种通过时间分化策略来避免资源竞争, 保证了种间的共存。大头银姑鱼和黑姑鱼的重叠值最大(0.998), 可能是由二者的摄食习性、分布范围和产卵类型等生态习性相似所致(Huang *et al.*, 2022), 且二者都较大程度上受到时间生态位宽度的制约, 在竞争中处于不利地位, 二者之间也可能存在潜在的竞争关系。

空间生态位重叠反映不同物种在空间范围内利用资源的相似性(侯朝伟等, 2020), 本研究中, 浙江南部近海海域有 72.22%的种对空间生态位重叠值在 0.300 以下, 未出现重叠值在 0.990 以上的组对, 说明从整体上讲, 该海域石首鱼类在空间上利用资源的相似性很低, 其在空间范围上彼此之间的竞争也较小。不过, 鲚和黑姑鱼(0.659)以及大头银姑鱼和银姑鱼(0.616)的空间生态位重叠值仍处于较高水平。研究显示, 鲚生长快, 适温适盐范围广(陈少波等, 2007), 黑姑鱼利用饵料资源的能力较强, 范围较广(陈淦等, 2022), 一定程度上二者都属于广布物种, 结合冗余分析 RDA 排序图分析, 鲚和黑姑鱼均处于环境变量的原点附近, 受环境的影响较小, 在空间上均属于广布物种, 因此, 其空间上重叠的范围较大;大头银姑鱼和银姑鱼均处于与图 8 所示 5 个环境变量夹角较远的象限, 所受不同环境因子变化的影响相近, 且二者之间为正相关关系, 即当其中一个物种的生物量增加时, 另一个物种也增加, 因此, 其空间生态位重叠值较高。

时空维度上, 高达 86.11%的种对时空二维生态位重叠值均在 0.300 以下, 表明该海域的石首鱼类在时间和空间维度上对资源的利用存在很大程度的分化, 有效保证了种间的共存, 例如时空生态位重叠值

最高的大黄鱼和小黄鱼, 其重叠值也仅有 0.430, 尽管其时间生态位重叠值较大, 但由于其空间生态位重叠较小, 导致时空维度的重叠值较小, 因此, 可以通过空间上的分化实现共存。

3.3 种间联结性

种间联结性可以反映不同物种生态位的相关情况, 表征其在不同环境相互作用之下形成的各种关系(王乃江等, 2010; 蒋巧丽等, 2021; 刘惠等, 2019)。总体种间联结呈显著正相关, 说明物种之间具有相似的资源需求, 处于相互依存的关系; 总体种间联结性呈显著负相关, 表明其对环境需求的不相似性状态, 在资源竞争中相互排斥(徐满厚等, 2016)。本研究中, 浙江南部近海石首鱼类总体联结性呈显著正关联, 表明该海域石首鱼类的总体关联性较强, 所需环境资源条件相似, 物种间存在着一定程度的相互依存关系。

卡方检验分析简便、有明确的指标, 且能比较准确客观地反映种间联结性(朱金兆等, 2003), 因此, 本文选用卡方检验, 并用 Yates 连续校正系数来纠正偏差, 结果表明, 银姑鱼和黑姑鱼种对间呈极显著正相关水平, 这是由于二者亲缘关系相近, 且都属于近海暖温性近底层鱼类(陈淦, 2023), 对水域环境具有相似的适应能力, 两物种之间存在相互依存的关系。虽然该海域石首鱼类总体上呈现显著正相关, 但并非每对物种之间都表现出这种情况, 除银姑鱼和黑姑鱼外, 其他种对间的关联性均表现出不显著水平。表明该海域石首鱼类整体联结性较强, 具有一定相互依存的关系, 但种对间的关联性在逐渐下降, 趋向独立分布格局。这应是由不同石首鱼类占据的资源空间不同或其食性等差异造成的。蒋巧丽等(2021)在浙江披山海域对主要虾蟹类的种间联结性研究以及刘惠等(2019)在杭州湾灰鳖洋海域对主要游泳动物的种间联结性研究中均出现了类似的情况。联结系数和共同出现百分率结果表明, 55.56%种对间趋于独立, 91.67%种对间正联结程度均处于一般或较弱的水平, 表明该海域石首鱼类大多数种对间呈现相互独立分布的特征, 这也印证了卡方检验的结果。

3.4 与环境因子的关系

鱼类的生长发育需要适宜的温度、盐度、叶绿素等环境条件, 不同的鱼类其适温、适盐范围不同, 环境因子的变化对于鱼类的时空分布和种间关系存在着至关重要的影响(Yatsu *et al.*, 2005)。相关研究表明, 浙江南部近海海域鱼类空间分布主要受温度和盐度等环境因子影响较大(马稳等, 2022; 叶深等, 2023; 王寅等, 2022)。本研究中, 表层水温($P=0.018$)和盐度

($P=0.002$)是影响石首鱼类分布的主要环境因子,印证了同样的结论。大黄鱼为近海暖温性鱼类,具有洄游特性,资源密度季节变化明显(俞存根等, 2022)。在调查海域,大黄鱼与盐度、叶绿素、海表温度存在一定的相关性,其中主要受盐度的正向影响,结果与印瑞等(2022)的研究结果一致。棘头梅童鱼为暖温低盐性的近岸底栖鱼类(王建锋, 2015),其摄食强度具有明显的季节性差异,具体表现为夏季高于冬季(黄良敏等, 2010)。本研究中,棘头梅童鱼主要受盐度的负向影响,这符合其低盐的特性;还受到温度的负向影响,且冬季资源量最高,与其暖温特性不符。可能是由于春冬季节为其产卵高峰期,此时群体中存在大量的棘头梅童鱼幼体(熊朋莉等, 2022),资源量高可能是大量捕捞到其幼体所致,也可能与其受到的捕捞压力和优势饵料分布相关(王建锋等, 2016),具体原因后续还需结合其营养生态位等相关研究进一步分析。

参 考 文 献

- CHEN G, XU W, GAO C X, *et al.* Feeding habits and diet overlap of two Sciaenidae species in the southern coastal waters of Zhejiang. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(9): 1337–1348 [陈淦, 徐雯, 高春霞, 等. 浙江南部近海两种石首鱼科鱼类的摄食习性及其食性重叠. 中国水产科学, 2022, 29(9): 1337–1348]
- CHEN G. Research on feeding ecology of two Sciaenidae species in the southern coastal waters of Zhejiang. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2023 [陈淦. 浙江南部近海两种石首鱼类的摄食生态研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2023]
- CHEN S B, SHAN L Z, LIN Z H, *et al.* A preliminary study on the feeding of *Miichthys miuy* larva in different water temperature. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2007, 26(2): 276–280 [陈少波, 单乐州, 林志华, 等. 鲷鱼幼鱼在不同水温下摄食的初步研究. 台湾海峡, 2007, 26(2): 276–280]
- DU X X, TIAN S Q, WANG J Q, *et al.* Spatial and temporal variations in fish community off shore southern Zhejiang Province, East China Sea. *Journal of Dalian Ocean University*, 2018, 33(4): 522–531 [杜晓雪, 田思泉, 王家启, 等. 浙江南部近海鱼类群落结构的时空特征. 大连海洋大学学报, 2018, 33(4): 522–531]
- FENG C. Research of fish resources and fish functional diversity in Minjiang River estuary. Master's Thesis of Jimei University, 2019 [冯晨. 闽江口鱼类资源现状及功能多样性研究. 集美大学硕士研究生学位论文, 2019]
- GAO C X, MA Q Y, TIAN S Q, *et al.* Growth, mortality and yield per recruitment of small yellow croaker in offshore waters of southern Zhejiang. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(5): 925–937 [高春霞, 麻秋云, 田思泉, 等. 浙江南部近海小黄鱼生长、死亡和单位补充量渔获量. 中国水产科学, 2019, 26(5): 925–937]
- HOU C W, SUN X Y, LIU Y L, *et al.* Spatial niches of dominant zooplankton species in the Yantai offshore waters. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(16): 5822–5833 [侯朝伟, 孙西艳, 刘永亮, 等. 烟台近海浮游动物优势种空间生态位研究. 生态学报, 2020, 40(16): 5822–5833]
- HUANG H X, LI J H, MA Q Y, *et al.* Age and growth of *Pennahia argentata* in the offshore waters of southern Zhejiang. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2022, 31(3): 739–748 [黄慧娴, 李建华, 麻秋云, 等. 浙江南部近海银姑鱼的年龄与生长. 上海海洋大学学报, 2022, 31(3): 739–748]
- HUANG L M, XIE Y J, LI J, *et al.* Biological characteristics of *Collichthys lucidus* in Minjiang River Estuary and its adjacent waters. *Journal of Jimei University (Natural Science)*, 2010, 15(4): 8–13 [黄良敏, 谢仰杰, 李军, 等. 闽江口及附近海域棘头梅童鱼的生物学特征. 集美大学学报(自然科学版)(网络预览本), 2010, 15(4): 8–13]
- HUANG S C, CHANG S-K, LAI C-C, *et al.* Length-weight relationships, growth models of two croakers (*Pennahia macrocephalus* and *Atrubucca nibe*) off Taiwan and growth performance indices of related species. *Fishes*, 2022, 7(5): 281
- JIANG Q L, XU Y J, ZHENG J, *et al.* Niches and interspecific association of major shrimp and crab species in Pishan waters of Zhejiang Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(7): 2604–2614 [蒋巧丽, 许永久, 郑基, 等. 浙江披山海域主要虾蟹类时空生态位及种间联结性. 应用生态学报, 2021, 32(7): 2604–2614]
- LI D Z, SHI Q, ZANG R G, *et al.* Models for niche breadth and niche overlap of species or populations. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(7): 95–103 [李德志, 石强, 臧润国, 等. 物种或种群生态位宽度与生态位重叠的计测模型. 林业科学, 2006, 42(7): 95–103]
- LI L H, YAN X J, WANG J X, *et al.* Long-term change of yield and stock assessment of *Larimichthys crocea* and *Trichiurus lepturus* in Zhejiang coastal waters based on historical data. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2022, 41(1): 63–69 [李立华, 严小军, 王健鑫, 等. 浙江近海大黄鱼和带鱼产量的长期变化及资源评估: 基于历史统计数据分析. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2022, 41(1): 63–69]
- LI Y S. The exploitation, transport and marketing of little yellow croaker since the 18th century. *Agricultural History of China*, 2013, 32(5): 59–69 [李玉尚. 乾嘉以来小黄鱼渔业开发与市场体系. 中国农史, 2013, 32(5): 59–69]
- LIN K M, GUO Y S. The research advances on niche theory and its application. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2001, 21(3): 283–287 [林开敏, 郭玉硕. 生态位理论及其应用研究进展. 福建林学院学报, 2001, 21(3): 283–287]
- LIN L S. Analysis on extant abundance of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* in the East China Sea. *Marine Fisheries*, 2004, 26(1): 18–23 [林龙山. 东海区小黄鱼现存资源量分析. 海洋渔业, 2004, 26(1): 18–23]

- LING J Z, LI S F, YAN L P. Analysis on the utilization of main fishery resources in the East China Sea. *Marine Fisheries*, 2006, 28(2): 111–116 [凌建忠, 李圣法, 严利平. 东海区主要渔业资源利用状况的分析. *海洋渔业*, 2006, 28(2): 111–116]
- LIU H, YU C G, ZHENG J, *et al.* Niche and interspecific association of major nekton in the Hui-Bie-Yang sea area of Hangzhou Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(11): 3828–3836 [刘惠, 俞存根, 郑基, 等. 杭州湾灰鳖洋海域秋季主要游泳动物生态位与种间联结. *生态学报*, 2019, 39(11): 3828–3836]
- MA W, QIN S, ZHAO J. Distribution characteristics and influencing factors of fish resources in the offshore waters south of Zhejiang. *Progress in Fishery Sciences*, 2022, 43(3): 1–11 [马稳, 秦松, 赵静. 浙江南部近海鱼类资源季节分布特征及其影响因素. *渔业科学进展*, 2022, 43(3): 1–11]
- PEI R D, MA Q Y, TIAN S Q, *et al.* Growth, maturity and mortality of *Johnius distinctus* and *J. belangerii* in offshore waters of southern Zhejiang Province. *South China Fisheries Science*, 2021, 17(6): 39–47 [裴如德, 麻秋云, 田思泉, 等. 浙江南部近海鳞鳍叫姑鱼和皮氏叫姑鱼的生长、性成熟和死亡特征研究. *南方水产科学*, 2021, 17(6): 39–47]
- PENG M C, DANG C L. Studies on interspecific association of both *Castanopsis orthacantha* and *Castanopsis delavayi* communities at Jizu Mountain, Yunnan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(2): 48–56 [彭明春, 党承林. 云南鸡足山元江栲群落和高山栲群落的植物种间结合研究. *生态学报*, 1998, 18(2): 48–56]
- PIANKA E R. The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4: 53–74
- SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications. *Ecology*, 1984, 65(3): 998–1005
- SHANNON C E, WEAVER W, WIENER N. *The mathematical theory of communication*. *Physics Today*, 1950, 3(9): 31–32
- WANG B S, PENG S L. Studies on the measuring techniques of interspecific association of lower-subtropical evergreen-broadleaved forests i. The exploration and the revision on the measuring formulas of interspecific association. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1985, 9(4): 274–285 [王伯荪, 彭少麟. 南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术研究——I. 种间联结测式的探讨与修正. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1985, 9(4): 274–285]
- WANG J F, ZHAO F, SONG C, *et al.* Diet composition and seasonal variation in feeding habits of *Collichthy lucidus* in Yangtze Estuary, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(1): 291–298 [王建锋, 赵峰, 宋超, 等. 长江口棘头梅童鱼食物组成和摄食习性的季节变化. *应用生态学报*, 2016, 27(1): 291–298]
- WANG J F. A preliminary study on food composition and feeding habits of juvenile fish, *Lepidoptera spinosa*, in the Yangtze River estuary. Master's Thesis of Nanjing Agricultural University, 2015 [王建锋. 长江口棘头梅童鱼食物组成与摄食习性初步研究. 南京农业大学硕士研究生学位论文, 2015]
- WANG M D, WANG X H, SUN D R, *et al.* Assessment of *Pennahia macrocephalus* stock in Beibu Gulf by length Bayesian biomass estimation method. *South China Fisheries Science*, 2021, 17(2): 20–27 [王森娣, 王雪辉, 孙典荣, 等. 基于长度贝叶斯生物量估算法评估北部湾大头白姑鱼资源状况. *南方水产科学*, 2021, 17(2): 20–27]
- WANG N J, ZHANG W H, LU Y C, *et al.* Interspecific association among the plants communities in the forest at Ziwuling Area in Shaanxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(1): 67–78 [王乃江, 张文辉, 陆元昌, 等. 陕西子午岭森林植物群落种间联结性. *生态学报*, 2010, 30(1): 67–78]
- WANG S C. Analysis of fish community structure and keystone species in the offshore waters of southern Zhejiang. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2022 [王士聪. 浙江南部近海鱼类群落结构及其关键种分析. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2022]
- WANG T, GAO C X, WANG S Q, *et al.* Characteristics of fatty acid composition and dietary indication of small yellow croaker in the offshore waters of southern Zhejiang. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2021, 30(6): 992–1001 [王腾, 高春霞, 王少琴, 等. 浙江南部近海小黄鱼肌肉脂肪酸组成及食源指示分析. *上海海洋大学学报*, 2021, 30(6): 992–1001]
- WANG Y, ZHAO J, GAO C X, *et al.* Structure and interannual variation of fish communities in the offshore waters of southern Zhejiang Province in spring. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2022, 53(6): 1455–1466 [王寅, 赵静, 高春霞, 等. 浙江南部近海春季鱼类群落结构特征及其年际变化. *海洋与湖沼*, 2022, 53(6): 1455–1466]
- WU C W, WANG W H. The distribution, biology and fluctuation of stock of *Collicdthys lueidus* in the offshore waters of Zhejiang. *Marine Fisheries*, 1991, 13(1): 6–10 [吴常文, 王伟宏. 浙江近海棘头梅童鱼的分布生物学与资源变动. *海洋渔业*, 1991, 13(1): 6–10]
- XIONG P L, XU S N, CHEN Z Z, *et al.* Spatiotemporal distribution of *Collichthy lucidus* in the Pearl River Estuary and its relationship with environmental factors. *Marine Sciences*, 2022, 46(8): 79–87 [熊朋莉, 徐姗楠, 陈作志, 等. 珠江河口棘头梅童鱼时空分布以及影响因素的研究进展. *海洋科学*, 2022, 46(8): 79–87]
- XU M H, LIU M, ZHAI D T, *et al.* A review of contents and methods used to analyze various aspects of plant interspecific associations. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(24): 8224–8233 [徐满厚, 刘敏, 翟大彤, 等. 植物种间联结研究内容与方法评述. *生态学报*, 2016, 36(24): 8224–8233]
- YATSU A, WATANABE T, ISHIDA M, *et al.* Environmental effects on recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel *Scomber japonicus* with recommendations for management. *Fisheries Oceanography*, 2005, 14(4): 263–278
- YE S, MA W, CHEN W F, *et al.* Distribution and influencing

- factors of Pacific chub mackerel *Scomber japonicus* resources in southern offshore waters of Zhejiang Province in spring and summer. *Fisheries Science*, 2023, 42(3): 395–403 [叶深, 马稳, 陈伟峰, 等. 春、夏季浙江南部近海日本鲭资源分布特征及其环境影响因子. *水产科学*, 2023, 42(3): 395–403]
- YE S, YANG R, DING P P, *et al.* Spatio-temporal niches and interspecific association of dominant fish species in the offshore waters of southern Zhejiang. *Haiyang Xuebao*, 2022, 44(1): 48–62 [叶深, 杨蕊, 丁朋朋, 等. 浙江南部近海主要鱼类的时空生态位及种间联结性. *海洋学报*, 2022, 44(1): 48–62]
- YIN R, ZHOU Y D, LIANG J, *et al.* Relationship between spatial and temporal distribution of *Larimichthys crocea* and environmental factors in marine pasture of Zhongjieshan Islands. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2022, 41(6): 483–489 [印瑞, 周永东, 梁君, 等. 中街山列岛海洋牧场大黄鱼时空分布与环境因子的关系. *浙江海洋大学学报(自然科学版)*, 2022, 41(6): 483–489]
- YU C G, YAN X J, JIANG Q L, *et al.* Cause analysis of resources change and reconstruction strategy of *Larimichthys crocea* Daiqu group in the East China Sea. *Journal of Fisheries of China*, 2022, 46(4): 616–625 [俞存根, 严小军, 蒋巧丽, 等. 东海岱衢族大黄鱼资源变动的原因探析及重建策略. *水产学报*, 2022, 46(4): 616–625]
- YU Z H, JIN X S, LI X S. Analysis of ecological niche for major fish species in the central and southern Yellow Sea. *Progress in Fishery Sciences*, 2010, 31(6): 1–8 [于振海, 金显仕, 李显森. 黄海中南部主要鱼种的生态位分析. *渔业科学进展*, 2010, 31(6): 1–8]
- ZHANG H L, SONG Z Q, PAN G L, *et al.* Diversity analysis of fish in the coastal area of Zhejiang during spring. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(1): 126–134 [张洪亮, 宋之琦, 潘国良, 等. 浙江南部近海春季鱼类多样性分析. *海洋与湖沼*, 2013, 44(1): 126–134]
- ZHOU X Y, WANG B S, LI M G, *et al.* An analysis of interspecific associations in secondary succession forest communities in Heishiding natural reserve, Guangdong Province. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2000, 24(3): 332–339 [周先叶, 王伯荪, 李鸣光, 等. 广东黑石顶自然保护区森林次生演替过程中群落的种间联结性分析. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 332–339]
- ZHU H C, TANG J H, WU L, *et al.* Relationship between the resource density of *Larimichthys polyactis* and the habitat environment factors in summer in Jiangsu coastal waters, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2024, 35(10): 2881–2886 [朱海晨, 汤建华, 吴磊, 等. 江苏近海夏季小黄鱼资源密度与栖息环境关系探讨. *应用生态学报*, 2024, 35(10): 2881–2886]
- ZHU J Z, ZHU Q K. A review on niche theory and niche metrics. *Journal of Beijing Forestry University*, 2003, 25(1): 100–107 [朱金兆, 朱清科. 生态位理论及其测度研究进展. *北京林业大学学报*, 2003, 25(1): 100–107]
- ZOU Q D, WANG Z H, ZHANG S Y, *et al.* Characteristics of fish community structure in the sea area of Dachen Island. *Chinese Journal of Ecology*, 2024, 43(3): 795–803 [邹沁东, 汪振华, 章守宇, 等. 大陈岛礁海域鱼类群落结构特征. *生态学杂志*, 2024, 43(3): 795–803]
- ZUO T, HUANG J X, ZHANG C T, *et al.* Effects of Chinese shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*) stock enhancement on the fish niche in a mesocosm. *Progress in Fishery Sciences*, 2023, 44(6): 30–39 [左涛, 黄经猷, 张传涛, 等. 中国明对虾放流对鱼类生态位的影响. *渔业科学进展*, 2023, 44(6): 30–39]

(编辑 冯小花)

Niches and Interspecific Association of Dominant Sciaenidae Species in the Offshore Waters of Southern Zhejiang Province

YUAN Yahui¹, WANG Shiyu¹, GAO Chunxia^{1,2,3,4①}, ZHAO Jing^{1,4}, HUANG Qingzhu¹

(1. College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Joint Laboratory for Monitoring and Conservation of Aquatic Living Resources in the Yangtze Estuary, Shanghai 202162, China)

Abstract Sciaenidae species are economically important in China and contribute to the coastal fisheries industry. They are also key species in many aquatic ecosystems, occupying important food chain and ecosystem positions. However, resources of Sciaenidae species such as *Pseudosciaena crocea* and *Collichthys lucidus* have recently declined significantly owing to the combined effects of overfishing, adverse climate change, and marine environmental pollution. Studies on the ecological niche and

① Corresponding author: GAO Chunxia, Email: cxgao@shou.edu.cn

interspecific relationships of Sciaenidae species are key to understanding their species and population dynamics. Such studies can reveal the ecological positions occupied by Sciaenidae species, their resource utilization, and their interactions, which can serve as a basis for formulating corresponding conservation and management measures. Currently, studies on Sciaenidae species in the offshore waters of southern Zhejiang Province mainly focus on the biological characteristics, age, growth, and feeding of individual fish species; however, a fundamental gap exists in studies on the interspecific relationships of sciaenid fishes. This hinders the conservation and management of these economically important fishery resources. To comprehensively investigate the ecological niche characteristics and interspecific interactions of Sciaenidae species in the offshore waters of southern Zhejiang Province, this study used data from four quarterly fishery resource surveys conducted from May 2020 to January 2021. Ecological niche measurements, cluster analysis, chi-square test, association coefficient, and redundancy analysis were employed to examine the temporal and spatial ecological niche characteristics and interspecific associations of Sciaenidae species in the area. The survey identified nine species of Sciaenidae species, with temporal niche widths ranging from 0.17 to 1.08. *Pseudosciaena polyactis* had the widest temporal niche width (1.08), followed by *C. lucidus* at 1.02, whereas *Pennahia macrocephalus* had the narrowest at 0.17. Spatial niche widths ranged from 1.40 to 2.50, with *Atrubucca nibe* exhibiting the widest spatial niche width, followed by *P. polyactis* (2.24), and *C. lucidus* had the smallest. The spatiotemporal niche widths varied from 0.32 to 2.42, with the *P. polyactis* exhibiting the largest combined niche width (2.42), which was significantly greater than the other eight species, followed by the *Penahia argentata* at 1.65. *P. macrocephalus* had the smallest at 0.32, which was significantly less than the other eight species. These results indicated that *P. polyactis* had a larger niche width across all three dimensions and was competitively advantageous. In contrast, *P. macrocephalus* and *A. nibe* were more affected by the temporal dimension, particularly *P. macrocephalus*, which was at a competitive disadvantage. Cluster analysis categorized Sciaenidae species into narrow, medium, and wide niche groups based on temporal, spatial, and spatiotemporal. Overall, the niche overlap of this area was low. Regarding time, 30.56% of species pairs had temporal niche overlap above 0.600, 25.00% between 0.300 and 0.600, and 44.44% below 0.300. The highest overlap values were between *P. macrocephalus* and *A. nibe* and between *Pennahia argentata* and *Johnius distinctus*, both at 0.998, whereas the overlap between the *P. macrocephalus* and the *Miichthys miiuy* was the lowest, at only 0.007. In terms of space, most species pairs had low overlap values, with 72.22% below 0.300, 22.22% between 0.300 and 0.600, and only *M. miiuy* and *A. nibe* (0.659), as well as *P. macrocephalus* and *P. argentata* (0.616), had higher spatial niche overlap values above 0.600. Regarding spatiotemporal, all species pairs had low overlap values, with no pair exceeding 0.600, only 13.89% between 0.300 and 0.600, and the remaining 86.11% below 0.300, indicating that species can coexist through differentiation strategies. The overall association among Sciaenidae species in the area showed a significant positive correlation. The chi-square tests revealed an extremely significant positive correlation only between *P. argentata* and *A. nibe*, whereas other species pairs showed non-significant levels of association. Association coefficients indicated that more than half of the species pairs tended to be independent, with only 11.11% showing a high degree of positive association and another 25% exhibiting negative associations. The percentage of co-occurrence indicated that only 8.33% of species pairs had the strongest positive association, whereas the rest (91.67%) had moderate or lower levels of positive association, suggesting that most species pairs distribute independently of each other. This indicates that although a strong overall association exists among Sciaenidae species in the area, implying a certain level of interdependence, the association between species pairs gradually decreases, trending towards an independent distribution pattern. Redundancy analysis results suggest that surface water temperature and salinity are the main environmental factors that affect the distribution of sciaenid fishes in the area, with salinity having the greatest impact.

Key words Offshore waters of southern Zhejiang; Sciaenidae species; Niche; Interspecific association