

广东饶平海山河口区红树林潮沟鱼类时空生态位*

吴映明¹, 唐以杰², 黄更生¹

1. 广东第二师范学院生物与食品工程学院, 广东 广州 510303
2. 广东第二师范学院物理与信息工程学院, 广东 广州 510303

摘要: 鱼类作为红树林湿地的一个重要组成部分, 有关其种间关系的研究报道极少。本研究以分布于广东饶平海山河口区红树林鱼类为例, 于2022—2023年对该红树林潮沟鱼类进行春、夏、秋、冬四季的采样调查, 计测鱼类物种的时空生态位宽度和种间重叠值, 阐明湿地鱼类分布和种间关系对环境因子作用的响应。结果显示: 渔获鱼类有14种, 隶属6目12科, 其中优势种($IRI \geq 500$)6种, 常见种($500 > IRI \geq 100$)3种, 少见种($100 > IRI \geq 10$)2种, 偶见种($IRI < 10$)3种。海山红树林潮沟渔获鱼类的时空生态位宽度变化范围为0.000~2.428, 变化幅度较大, 其中, 广生态位种($B_j \geq 2.0$)1种, 为尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*); 中生态位种($1.0 \leq B_j < 2.0$)2种, 为红狼牙鰕虎鱼(*Odontamblyopus rubicundus*)和中华乌塘鳢(*Bostrichthys sinensis*); 其余11种为窄生态位种($0 < B_j < 1.0$)。海山红树林潮沟鱼类物种之间的时空生态位重叠值为0.000~0.956, 变化幅度较大; 其中, 显著重叠的(重叠值 > 0.6)有43对, 占总对数的47%, 重叠有意义的($0.3 < \text{重叠值} < 0.6$)有21对, 占总对数的23%, 两者合计占总对数的70%。时空生态位重叠值最高的是黄斑篮子鱼(*Siganus oramin*)和弹涂鱼(*Periophthalmus cantnensis*), 高达0.956; 而完全不重叠包括尼罗罗非鱼和鲮(*Platycephalus indicus*)、中华乌塘鳢和鲮、须鲷(*Paraplagusia bilineata*)和鲮。BIOENV分析发现与研究区鱼类丰度最为匹配的环境因子组合是水体的水温、盐度、pH和叶绿素a含量的相关系数为0.475, RELATE检验结果显著($R = 0.461, P < 0.05$), 表明这4个环境因子是影响鱼类分布的重要因子。综合而言, 饶平海山红树林湿地鱼类时空生态位以窄生态位种为主, 不同鱼类之间的时空生态位重叠以显著重叠和重叠有意义的占多数, 水体的水温、盐度、pH和叶绿素a含量是影响林区湿地鱼类分布的重要环境因子。

关键词: 鱼类; 生态位宽度; 生态位重叠; 时空生态位; 红树林

中图分类号: S931.1 文献标志码: A 文章编号: 2097-0137(2024)03-0071-09

Spatial-temporal niche of mangrove tidal gully fish in the estuary area of Haishan Town, Raoping County, Guangdong Province

WU Yingming¹, TANG Yijie², HUANG Gengsheng¹

1. School of Biological and Food Engineering, Guangdong University of Education, Guangzhou 510303, China

2. School of Physics and Information Engineering, Guangdong University of Education, Guangzhou 510303, China

Abstract: Few studies have been done on the interspecific relationship between fishes species, an important part of mangrove wetlands. In 2022-2023, a sampling survey was conducted on the mangrove tidal gully fish in the estuary area of Haishan Town, Raoping County, Guangdong Province

* 收稿日期: 2023-09-28 录用日期: 2023-12-16 网络首发日期: 2024-01-08

基金项目: 广东省普通高校重点科研平台和项目(2020ZDZX1035, 2020ZDZX1053);
广东第二师范学院生态学科团队项目(广东二师[2020]58号)

作者简介: 吴映明(1963年生), 男; 研究方向: 生态学; E-mail: wuyingming@gdei.edu.cn

通信作者: 唐以杰(1972年生), 男; 研究方向: 生态学; E-mail: tyj@gdei.edu.cn

in spring, summer, autumn and winter, and the composition of fish species in the mangrove wetland was studied. The aim of this study was tried to elucidate the response relationship between the distribution and interspecific relationships of wetland fish and the effects of environmental factors by calculating the spatiotemporal niche width and interspecific overlap values. The results showed that a total of 14 species belonging to 12 families and 6 orders were identified, including 6 dominant species ($IRI \geq 500$), 3 common species ($500 > IRI \geq 100$), 2 rare species ($100 > IRI \geq 10$) and 3 occasional species ($IRI < 10$). The spatiotemporal niche width of the fish in mangrove tidal gullies ranged from 0.000 to 2.428, with a large variation range, including 1 species of wide niche species ($B_{ij} \geq 2.0$) (*Oreochromis niloticus*), 2 species of medium niche species ($1.0 \leq B_{ij} < 2.0$) (*Odontamblyopus rubicundus* and *Bostrichthys sinensis*), and the remaining 11 species narrow niche species ($0 < B_{ij} < 1.0$). The spatiotemporal niche overlap value between the fish species in the tidal gully of seamount mangrove forest was 0.000-0.956, again with a large variation range, among which 43 pairs (> 0.6) were highly significant overlapped (0.6), accounting for 47% of the total logs, and 21 pairs ($0.3 < \text{overlap value} < 0.6$) were significant overlapped, accounting for 23% of the total logs, and the two pairs accounted for 70% of the total logs. The highest spatiotemporal niche overlap values were found in *Siganus oramin* and *Periophthalmus cantnensis* (up to 0.956), while the lowest non-overlap values were included in *O. niloticus* and *Platycephalus indicus*, *B. sinensis* and *P. indicus*, and *Paraplagusia bilineata* and *P. indicus*, all with the value of 0. BIOENV analysis showed that the most suitable combinations of environmental factors for fish abundance in the study area were water temperature, salinity, pH and chlorophyll a content, which the correlation coefficient is 0.475, and the RELATE test results were significant ($R = 0.461, P < 0.05$), indicating that these four environmental factors were important in affecting fish distribution. In general, the spatiotemporal niche of fish in the mangrove wetland of Raoping Haishan town was dominated by narrow niche species, and the spatiotemporal niche overlap between different fish species was significant and meaningful. The water temperature, salinity, pH and chlorophyll a content of the water body were important environmental factors affecting the distribution of fish in the wetland in the forest area.

Key words: fish; niche width; ecological niche overlap; spatiotemporal niches; mangrove

红树林是一种具有独特生态功能的海洋生态系统,对维持生态平衡、保护海岸线、维护生物多样性等方面发挥重要作用。红树林生态系统中生长着大量的浮游生物、底栖动物和藻类植物(徐姗楠等,2010),它们是鱼类的天然食物。红树林地区水流较缓,海浪对海岸的冲击较小,也为鱼类提供了相对稳定的生活环境。此外,红树林中的植物为鱼类提供了丰富的遮蔽和庇护场所,有助于鱼类躲避天敌和繁殖。因此,这些因素的共同作用,使得红树林成为鱼类的理想栖息地,是鱼类天然的种质资源库(Naylor et al., 2000; Nagelkerken et al., 2007)。但目前关于广东红树林鱼类方面的研究甚少(叶宁等,2007;吴晓东,2008),涉及粤东红树林鱼类研究仅见吴映明等(2018)。而且,目前研究绝大多数是对鱼类资源

的调查,鲜有从生态位的角度对红树林鱼类进行深入研究(承亚男等,2023)。研究红树林鱼类的生态位宽度和重叠值能更好地了解不同鱼类之间的关系、鱼类与红树林环境的相互作用(承亚男等,2023)。广东饶平海山周边海域拥有丰富的渔业资源,是粤东重要的渔业基地,为当地经济和社会发展提供了支持。因此,本研究以广东饶平县海山河口区红树林为研究区域,运用相对重要性指数(IRI)、Shannon指数和Pianka指数分析该湿地鱼类的时空生态位宽度及其生态位重叠,并探讨该区域鱼类分布与环境因子的关系,以揭示饶平海山河口区红树林潮沟鱼类群落的种间关系、竞争机制与对资源的利用状况。以期科学开发利用红树林渔业资源,加强渔业资源保护和管理、促进渔业的可持续发展提供依据。

1 方法与数据

1.1 采样方法

饶平县海山红树林位于北纬 $23^{\circ}32'38.919''$ 至北纬 $23^{\circ}33'25.908''$, 东经 $116^{\circ}55'40.369''$ 至东经 $116^{\circ}55'57.186''$ 之间, 面积约 32 hm^2 , 主要为9龄无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)人工林(吴映明等, 2018)。于2022年在该红树林潮沟选取6个采样点(图1, 标记为C1~C6), 在春季(2022年4月), 夏季(2022年7月)、秋季(2022年10月)、冬季(2023年1月), 通过放置地笼(长10 m, 网目8 mm)和插网(长20 m, 高1 m, 网目3 mm)进行鱼类调查。每个季节分别选择大潮和小潮期间, 连续采样3 d。在涨潮前布网, 退潮后收集网袋中的鱼类。所有样品现场用 $\varphi=10\%$ 福尔马林溶液处理, 带回实验室鉴定。在鱼类的采样点采集表层混合水样。参照《GB17378.4—2007 海洋监测规范(第4部分: 海水分析)》测量水温、盐度、溶解氧、pH、叶绿素a、总有机碳、总氮和总磷(承亚男等, 2023)。

1.2 数据分析

1.2.1 物种相对重要性指数(IRI) 鱼类群落物种优势度使用Pinkas et al.(1971)的相对重要性指数

$$IRI = (N + W) \times F \times 10\,000,$$

式中 N 为某一物种尾数占总尾数的比例; W 为该物种质量占总质量的比例; F 为某一物种出现的站数占调查总站数的比例。本研究将 $IRI \geq 500$ 的种类定为优势种, $500 > IRI \geq 100$ 的种类定为常见种, $100 > IRI \geq 10$ 的种类定为少见种, $IRI < 10$ 的种类定为偶见种。

1.2.2 生态位宽度及重叠值 采用以Shannon-Wiener指数(Shannon, 1948)为基础的生态位宽度计算公式

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

式中 B_i 为第 i 种鱼类的生态位宽度, 取值要求在 $0 \sim R$ 范围内; B_i 越大, 该鱼类的生态位越大。 R 为环境资源数量, 即6个采样点(空间生态位宽度)或4个季节(时间生态位宽度)。 P_{ij} 代表鱼种 i 在第 j 个资源状态下个体数占该种所有个体数的比值。

生态位重叠指数采用Pianka指数(Pianka, 1973)

$$O_{ik} = \sum_{j=1}^R (P_{ij} P_{kj}) / \sqrt{\sum_{j=1}^R P_{ij}^2 \sum_{j=1}^R P_{kj}^2},$$

式中 P_{ij} 和 P_{kj} 分别为第 i 种和第 k 种在第 j 个资源下个体数占该种所有个体数的比值。 R 同样为采样点总数或按季节采样次数。

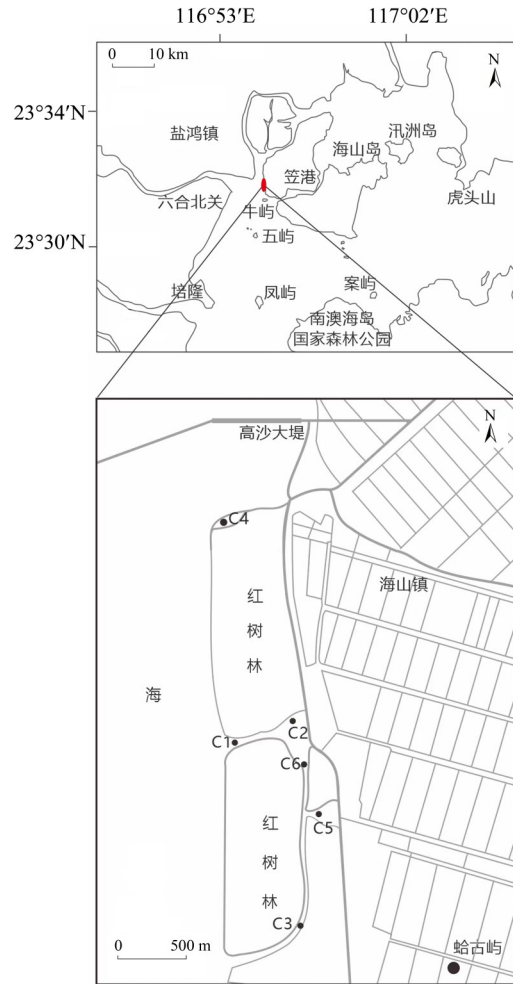


图1 广东饶平海山河口区红树林潮沟鱼类采样点分布图
Fig. 1 Distribution of mangrove tidal gully fish sampling points in the estuary area of Haishan in Raoping, Guangdong

根据Cody(1974)和May(1975)提出的2个原则估计在多维资源轴上的生态位特征值, 饶平海山红树林潮沟鱼类的时空二维生态位宽度和重叠值由鱼类时间和空间生态位特征值的乘积表示
时空生态位宽度=时间生态位宽度×空间生态位宽度,
时空生态位重叠=时间生态位重叠×空间生态位重叠。

B_i 值越大表示该鱼类生态位宽度越大, 可分为: 广生态位种($B_i \geq 2.0$)、中生态位种($1.0 \leq B_i < 2.0$)和窄生态位种($0 < B_i < 1.0$) (Wathne et al., 2000)。由于每种鱼计算结果有空间生态位宽度、时间生态位宽度和时空生态位宽度3种 B_i 值, 故可以从空间、时间和时空3个角度分别划分这种鱼类的生态位宽度类型。 O_{ik} 值越大表明鱼类之间生态位重叠程度越高, $O_{ik} > 0.3$ 视为重叠有意义, $O_{ik} > 0.6$ 视为显著重叠(Krebs, 1989; 承亚男等, 2023)。同样, 由于计算结果每两种鱼之间有空间生态位重

叠、时间生态位重叠和时空生态位重叠 3 种 O_{ijk} 值, 故可以从空间、时间和时空 3 个角度分别划分这两种鱼类之间的生态位重叠类型。

1.2.3 聚类分析 利用 PRIMER 软件包中的类平均法站点等级聚类 (CLUSTER), 依据鱼类不同的时空生态位宽度进行聚类分析 (周红等, 2003)。

1.2.4 鱼类分布与环境因子相关性分析 利用 PRIMER 软件包中的 BIOENV 分析各采样点中鱼类分布与对应环境因子的相关系数, 分析和选择能够解释鱼类分布的最佳环境因子组合。用 RELATE 检验揭示鱼类群落丰度和环境 (非) 相似性矩阵之间相关性 (周红等, 2003)。

2 结果

2.1 鱼类物种组成

本研究共渔获鱼类 4 009 尾, 隶属 6 目 12 科 14 种 (表 1), 渔获尾数排在前 3 位的鱼类为尼罗罗非

鱼 (*O. niloticus*)、红狼牙鰕虎鱼 (*O. rubicundus*) 和中华乌塘鳢 (*B. sinensis*)。而长棘银鲈 (*Gerres filamentosus*)、长蛇鲻 (*Saurida elongata*)、多齿蛇鲻 (*Saurida tumbil*)、斑条鲟 (*Sphyrna jello*)、鲮 (*P. indicus*) 和须鲷 (*P. bilineata*) 这 6 种鱼类渔获数量很少。四季捕获的鱼类鲜质量共为 176 156 g, 其中渔获鲜质量最大为尼罗罗非鱼, 最小为须鲷。依据渔获鱼类数量、鲜质量, 算出的相对重要性指数见表 1, 据此渔获鱼类可以划分为 4 种丰度: 尼罗罗非鱼、鲮鱼 (*Mugil cephalus*)、黄鳍鲷 (*Sparus latus*)、黄斑篮子鱼 (*S. oramin*)、红狼牙鰕虎鱼和中华乌塘鳢 6 种鱼类为优势种 ($IRI \geq 500$); 黄鲫 (*Setipinna taty*)、弹涂鱼 (*P. cantnensis*) 和长棘银鲈 3 种鱼类为常见种 ($500 > IRI \geq 100$); 长蛇鲻和多齿蛇鲻 2 种鱼类为少见种 ($100 > IRI \geq 10$); 斑条鲟、鲮和须鲷 3 种鱼类为偶见种 ($IRI < 10$) (表 1)。

表 1 海山河口区红树林潮沟渔获鱼类数量、鲜质量和相对重要指数 (IRI)
Table 1 Number of fish caught in the mangrove estuary area at Haishan town, fresh weight and relative importance index (IRI)

生态类群	物种代码	种名	数量/尾	鲜质量/g	相对重要性指数 (IRI)
优势种	S1	尼罗罗非鱼 <i>Oreochromis niloticus</i>	2 285	66 013.7	9 448.54
	S2	鲮鱼 <i>Mugil cephalus</i>	251	41 136.4	2 961.47
	S3	黄鳍鲷 <i>Sparus latus</i>	176	26 477.4	1 942.19
	S4	黄斑篮子鱼 <i>Siganus oramin</i>	284	24 659.7	2 108.46
	S5	红狼牙鰕虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	459	4 530.3	1 402.39
	S6	中华乌塘鳢 <i>Bostrichthys sinensis</i>	369	5 841.3	1 252.25
常见种	S7	黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	51	3 911.7	349.30
	S8	弹涂鱼 <i>Periophthalmus cantnensis</i>	50	678.5	163.27
	S9	长棘银鲈 <i>Gerres filamentosus</i>	25	1 627.0	154.74
少见种	S10	长蛇鲻 <i>Saurida elongata</i>	29	380.5	78.30
	S11	多齿蛇鲻 <i>S. tumbil</i>	19	234.5	50.60
偶见种	S12	斑条鲟 <i>Sphyrna jello</i>	5	295.8	9.76
	S13	鲮 <i>Platycephalus indicus</i>	3	256.7	3.68
	S14	须鲷 <i>Paraplagusia bilineata</i>	3	113.0	2.32

2.2 鱼类生态位宽度

从表 2 可见, 海山河口区红树林潮沟渔获鱼类的时间生态位宽度变化范围为 0.013~1.266, 除了尼罗罗非鱼为中生态位种外 ($1.0 \leq B_{ij} < 2.0$), 其余 13 种鱼类均为窄生态位种 ($0 < B_{ij} < 1.0$)。尤其是长蛇鲻、多齿蛇鲻、斑条鲟、鲮和须鲷均小于 0.1, 说明这 5 种鱼类仅在部分季节渔获到。渔获鱼类的

空间生态位宽度变化范围为 0.024~1.918, 其中, 尼罗罗非鱼、红狼牙鰕虎鱼、中华乌塘鳢、黄斑篮子鱼和鲮鱼为中生态位种 ($1.0 \leq B_{ij} < 2.0$), 其余鱼类为窄生态位种 ($0 < B_{ij} < 1.0$), 尤其是斑条鲟、鲮和须鲷均小于 0.1, 说明这 3 种鱼类在一些采样点中没有渔获到。海山河口区红树林潮沟渔获鱼类的时空生态位宽度变化范围为 0.000~2.428, 变

化幅度很大, 以尼罗罗非鱼最大, 为广生态位种 ($B_{ij} \geq 2.0$), 红狼牙鰕虎鱼和中华乌塘鳢为中生态位种 ($1.0 < B_{ij} < 2.0$), 其余均为窄生态位种 ($0 < B_{ij} < 1.0$)。尤其是鲮和须鲮, 时空生态位宽度为0(取小数点后3位数)。

表2 海山河口区红树林潮沟渔获鱼类生态位宽度
Table 2 Ecological niche width of fish caught in the mangrove estuary area at Haishan town

物种代码	时间生态位宽度	空间生态位宽度	时空生态位宽度
S1	1.266	1.918	2.428
S2	0.667	1.027	0.685
S3	0.546	0.818	0.447
S4	0.756	1.099	0.831
S5	0.992	1.483	1.471
S6	0.874	1.310	1.145
S7	0.218	0.337	0.073
S8	0.222	0.319	0.071
S9	0.117	0.188	0.022
S10	0.097	0.205	0.020
S11	0.076	0.145	0.011
S12	0.020	0.040	0.001
S13	0.017	0.026	0.000
S14	0.013	0.024	0.000

2.3 基于鱼类时空生态位宽度的聚类

依据海山河口区红树林潮沟渔获鱼类的时空生态位宽度数值, 对14种鱼类进行聚类分析, 结果如图2所示: 在65%相似性程度上, 可分为3组: 长蛇鲻、长棘银鲈和多齿蛇鲻、弹涂鱼和黄鲫分为1组; 中华乌塘鳢、红狼牙鰕虎鱼、尼罗罗非鱼、鲮鱼、黄斑篮子鱼和黄鳍鲷分为1组; 斑条鲮、鲮和须鲮分在1组。第2组均是优势种, 时空生态位宽度数值均较大。第3组均为偶见种, 时空生态位宽度极小。第1组为常见种和少见种, 时空生态位宽度介于第2与第3组之间。

2.4 鱼类生态位重叠

从表3中可以看出, 海山红树林潮沟鱼类的空间生态位重叠值变化范围在0.000~0.994。其中, 重叠值 >0.6 的有62对, 占总对数的68%, $0.3 < \text{重叠值} < 0.6$ 的有23对, 占总对数的25%, 将重叠值显著和有意义的两种情况的对数相加, 其合计对数占总对数的83%, 说明林中鱼类空间生态位重

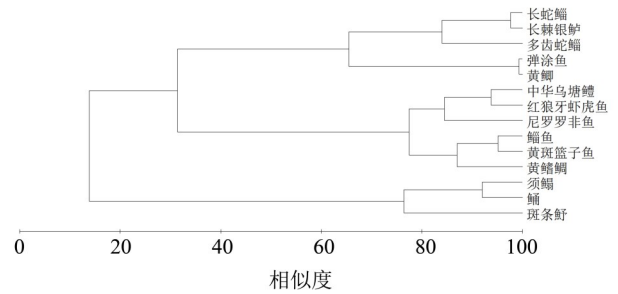


图2 海山河口区红树林潮沟鱼类基于时空生态位宽度的聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of tidal trough fish in the mangrove estuary area at Haishan town based on spatiotemporal niche width

叠值普遍较高。其中最高的是黄鳍鲷和黄鲫, 重叠值高达0.994, 而最低是尼罗罗非鱼和鲮、中华乌塘鳢和鲮, 以及须鲮和鲮, 均为0。

海山河口区红树林潮沟鱼类的时间生态位重叠值变化范围在0.000~1.000。其中, 重叠值 >0.6 的有59对, 占总对数的65%, $0.3 < \text{重叠值} < 0.6$ 的有29对, 占总对数的32%, 重叠值显著和有意义的合计占总对数的97%, 可见, 林中鱼类空间生态位重叠值也普遍较高。其中最高的是中华乌塘鳢和须鲮, 重叠值高达1.000, 而最低是中华乌塘鳢和鲮、须鲮和鲮, 均为0。

从表4可见, 海山河口区红树林潮沟鱼类的时空生态位重叠值为0.000~0.956; 其中, 重叠值 >0.6 的有43对, 占总对数的47%, $0.3 < \text{重叠值} < 0.6$ 的有21对, 占总对数的23%, 重叠值显著和有意义的合计占总对数的70%, 可见, 林中鱼类时空生态位重叠值也普遍较高。其中最高的是黄斑篮子鱼和弹涂鱼, 重叠值高达0.956, 而最低的是尼罗罗非鱼和鲮、中华乌塘鳢和鲮、须鲮和鲮, 均为0。总体来说, 中华乌塘鳢、须鲮和鲮这3种鱼均同其他鱼类时空生态位重叠值较低。

2.5 鱼类分布与环境因子相关性分析

依据6个采样点渔获鱼类数量与环境因子水平数据(表5), 利用BIOENV中的Each selection分析, 找出各采样点鱼类丰度最为匹配的环境因子, 结果发现与6个采样点鱼类丰度最为匹配的环境因子是水体的水温、盐度、pH值和叶绿素a这4个环境因子的组合(相关系数为0.475), 3种环境因子与鱼类丰度的相关系数r分别为: 水温(0.764), 水体盐度(0.557), 水体叶绿素a含量(0.286), 水体pH值(0.079)。RELATE

表3 海山河口区红树林潮沟渔获鱼类的时间生态位重叠值和空间生态位重叠值¹⁾

Table 3 Temporal niche overlap values and spatial niche overlap values of fish caught in the mangrove estuary area at Haishan town

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
S1		0.929	0.792	0.896	0.787	0.483	0.837	0.849	0.707	0.829	0.695	0.873	0.000	0.929
S2	0.761		0.912	0.929	0.935	0.615	0.937	0.855	0.856	0.781	0.836	0.944	0.255	0.419
S3	0.654	0.977		0.911	0.899	0.414	0.994	0.899	0.939	0.761	0.929	0.940	0.596	0.316
S4	0.574	0.932	0.986		0.924	0.570	0.932	0.964	0.928	0.915	0.864	0.970	0.342	0.378
S5	0.686	0.860	0.873	0.827		0.698	0.904	0.851	0.913	0.726	0.820	0.917	0.394	0.274
S6	0.962	0.691	0.545	0.447	0.513		0.471	0.493	0.559	0.532	0.457	0.624	0.000	0.592
S7	0.536	0.873	0.930	0.968	0.673	0.440		0.920	0.940	0.810	0.934	0.968	0.534	0.405
S8	0.636	0.969	0.997	0.992	0.833	0.534	0.956		0.894	0.919	0.826	0.951	0.387	0.439
S9	0.587	0.959	0.995	0.985	0.877	0.469	0.918	0.990		0.835	0.962	0.947	0.640	0.363
S10	0.923	0.758	0.721	0.667	0.839	0.782	0.602	0.695	0.676		0.815	0.907	0.259	0.601
S11	0.534	0.952	0.973	0.959	0.768	0.470	0.922	0.978	0.975	0.555		0.921	0.668	0.443
S12	0.618	0.973	0.994	0.971	0.890	0.511	0.894	0.984	0.997	0.689	0.975		0.419	0.536
S13	0.274	0.349	0.473	0.526	0.701	0.000	0.413	0.445	0.496	0.623	0.302	0.464		0.000
S14	0.962	0.691	0.545	0.447	0.513	1.000	0.440	0.534	0.469	0.782	0.470	0.511	0.000	

1) 主对角线以下为时间生态位重叠, 主对角线以上为空间生态位重叠。

表4 海山河口区红树林潮沟渔获鱼类的时空生态位重叠值

Table 4 Spatial-temporal niche overlap values of fish caught in the mangrove estuary area at Haishan town

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
S1														
S2	0.707													
S3	0.518	0.891												
S4	0.514	0.865	0.898											
S5	0.540	0.804	0.785	0.765										
S6	0.464	0.425	0.225	0.255	0.358									
S7	0.449	0.818	0.924	0.902	0.608	0.207								
S8	0.540	0.828	0.895	0.956	0.709	0.264	0.880							
S9	0.415	0.821	0.935	0.914	0.801	0.262	0.863	0.885						
S10	0.765	0.593	0.549	0.620	0.609	0.416	0.487	0.639	0.565					
S11	0.371	0.796	0.904	0.829	0.630	0.214	0.861	0.807	0.938	0.452				
S12	0.540	0.918	0.935	0.942	0.817	0.319	0.865	0.936	0.944	0.625	0.898			
S13	0.000	0.089	0.282	0.180	0.277	0.000	0.221	0.172	0.318	0.162	0.202	0.194		
S14	0.894	0.290	0.172	0.169	0.141	0.592	0.178	0.234	0.170	0.470	0.208	0.274	0.000	

检验结果显著($R=0.461$, $P<0.05$), 表明这4个环境因子是影响鱼类分布的重要因子。

3 讨论

3.1 鱼类生态位宽度

种群在时间维度上的分布反映种群随时间的

多维动态依赖性(周夏芝等,2003)。四季变化驱动海山河口区红树林潮沟鱼类的时间生态位宽度变化的主要原因如下:(1) 温度是影响红树林鱼类生态位变化的重要因素。四季变化导致温度的波动, 进而影响鱼类的生长、繁殖和活动范围。例如, 在冬季, 水温降低, 一些鱼类(如长蛇鲻、多

表5 6个采样点渔获鱼类数量与环境因子水平
Table 5 Number of fish caught and levels of environmental factors in the six sampling points

环境因子	采样点					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
鱼类数量/尾	155	184	206	150	167	142
水温/°C	21.9	22.8	23.4	21.5	22.3	21.1
盐度/‰	12.52	7.74	7.69	10.45	8.61	9.67
溶解氧/(mg·L ⁻¹)	7.25	7.55	7.65	7.15	7.35	7.08
pH	7.25	7.36	7.44	7.21	7.29	7.18
叶绿素 a/(mg·mL ⁻¹)	4.04	7.03	7.98	3.33	5.63	2.54
总有机碳/(mg·L ⁻¹)	2.34	2.65	2.98	2.21	2.47	2.19
总氮/(mg·L ⁻¹)	1.675	1.986	2.156	1.563	1.798	1.602
总磷/(mg·L ⁻¹)	0.37	0.52	0.56	0.34	0.41	0.31

齿蛇鲻、斑条鲟、鲷和须鲷)会向深水区迁移,以逃离岸边较低的水温;而在夏季,水温升高,大部分鱼类会向浅水区迁移,以获取更多的食物资源。(2)研究区大部分鱼类如尼罗罗非鱼、红狼牙鰕虎鱼、中华乌塘鳢、鲻鱼、黄斑篮子鱼和黄鳍鲷等均在春季繁殖,故春季渔获鱼类数量最多。(3)四季变化导致光照强度的变化,影响了红树林的初级生产力(如林区浮游生物和藻类的生长),进而影响鱼类的生态位。例如,在夏季,光照强度较高,红树林的初级生产力较强,可能支持更多的鱼类种群,故除了春季这个繁殖季节外,其余3个季节以夏季渔获鱼类数量最多,尤其是尼罗罗非鱼、红狼牙鰕虎鱼、中华乌塘鳢和黄斑篮子鱼等鱼类被渔获较多;而在冬季,光照强度较低,红树林的初级生产力较弱,鱼类数量明显减少,如尼罗罗非鱼、中华乌塘鳢、黄鳍鲷和黄鲫,数量明显减少。(4)四季变化导致降水的变化,影响了红树林的水文条件,进而影响鱼类的生态位。例如,春、夏季,研究区降水较多,红树林的水位上升,导致一些鱼类(如尼罗罗非鱼、红狼牙鰕虎鱼、中华乌塘鳢和黄斑篮子鱼)向高水位区域迁移;而在秋、冬季,研究区降水较少,红树林的水位下降,导致一些鱼类(如长蛇鲻、斑条鲟、多齿蛇鲻、鲷和须鲷等)向低水位区域迁移。鱼类时间生态位宽度反映了这些鱼类个体数量的出现随季节波动情况,也支持了河口鱼类群落的季节性格局是由优势物种的繁殖特征决定的结论(Tsai et al., 2015)。本研究中长蛇鲻、多齿蛇鲻、斑条鲟、鲷和须鲷等5种鱼类,只是在部分季节渔

获到,而且渔获的数量很少,说明它们的时间生态位宽度很小($B_{ij} < 0.1$)(表2),需要给予重点关注。

空间生态位宽度可以反映物种在空间维度上的分布范围和均匀程度,也可反映物种对空间资源的利用情况(李显森等, 2015)。BIOENV分析表明,各采样点水体的水温、盐度、pH和叶绿素a这4个环境因子是影响鱼类分布的重要因素。这是因为:水温是鱼类生长发育的重要影响因素,直接影响鱼类的代谢、生长和繁殖。不同的鱼类对水温的适应性不同,水温过高或过低都可能影响鱼类的生长和繁殖。比如研究区年平均水温较高的C3和C2采样点,渔获鱼类数量较多,尤其是尼罗罗非鱼,数量相对其他采样点要多。而年平均水温较低的C6和C4采样点,渔获鱼类数量较少,尤其是斑条鲟、鲷和须鲷,均未采集到。水体盐度对鱼类的生长和繁殖也有重要影响,不同的鱼类对盐度的适应性也不同,有些鱼类只能在特定的盐度范围内生长。比如盐度最高的C1采样点,尼罗罗非鱼和鲻鱼的渔获数量最少,而黄斑篮子鱼和弹涂鱼渔获数量最多。水体pH对水体的生态系统影响很大,pH过高或过低都可能影响鱼类的生长和繁殖。同时,水体pH可通过影响藻类和浮游生物的生长而间接影响鱼类。比如,水体pH最高的C3采样点,鱼类数量最多,而pH最低的C6采样点,鱼类数量最少。叶绿素a是水体中的一种重要藻类生物量指标,可以直接反映水体的初级生产力。叶绿素a的含量变化可以反映水体的营养状态,进而影响鱼类的生长和繁殖。比如,水体

叶绿素 a 含量较高的 C2 和 C3 采样点, 渔获鱼类数量较多, 而水体叶绿素 a 含量较低的 C6 和 C4 采样点, 渔获鱼类数量较少。可见, 这 4 个环境因子是影响鱼类分布的重要因素。建议相关部门做好研究区内这些环境因子的检测和监控, 为该红树林湿地鱼类管理提供科学依据。本研究显示海山河口红树林区的斑条鲈、鲮和须鳎这 3 种鱼的空间生态位宽度很小(表 2), 它们不仅渔获数量很少, 而且分布不均匀, 仅在少数采样点渔获到。说明这 3 种鱼有特定的环境要求, 需要加强保护(Tsai et al., 2015)。

时空二维生态位宽度能更准确地反映物种对时间和空间资源的利用程度(李显森等, 2015)。比如, 尼罗罗非鱼无论从季节还是采样点来看, 其渔获数量较多且分布较为均匀, 故为时空生态位的广生态位种($B_{ij} \geq 2.0$)。红狼牙鰕虎鱼和中华乌塘鳢虽然 4 个季节和 6 个采样点均有渔获, 而且时间生态位宽度与空间生态位宽度均大于 1, 故这 2 种鱼类时空生态位宽度为中生态位种($1.0 \leq B_{ij} < 2.0$)。其余的鱼类由于时间生态位宽度均小于 1, 尤其是鲮和须鳎, 时间生态位宽度与空间生态位宽度均很小, 故时空生态位宽度极小, 取小数点后 3 位数, 数值为 0(表 3), 而鲮和须鳎是粤东重要的经济鱼类, 需要给予重点保护。

从图 1 可见, 鱼类时空生态位的聚类分析将海山河口区红树林潮沟鱼类分成 3 组: 第 2 组为优势种的中华乌塘鳢、红狼牙鰕虎鱼、尼罗罗非鱼、鲮鱼、黄斑篮子鱼和黄鳍鲷, 这些鱼类一生主要定居于红树林中, 在红树林生境中出现的时间长而且广泛分布在每个采样点, 故它们的时空生态位均较高, 反映了这些鱼类有适应该红树林生境的生长策略; 第 3 组为偶见种的斑条鲈、鲮和须鳎, 它们时空生态位宽度极小, 说明这些鱼类时空分布不均匀, 而且偏好红树林中特殊的生境与特定季节; 第 1 组为常见种的长棘银鲈、弹涂鱼和黄鲫, 以及少见种的长蛇鲻和多齿蛇鲻, 这些鱼类受红树林生境或自身的繁殖习性的影响, 空间或季节分布均匀度较第 2 组低。它们的时空生态位宽度介于第 2 组和第 3 组之间。

3.2 鱼类生态位重叠

生态位重叠反映不同物种间对同一资源的利用相似程度(张琳琳等, 2020), 海山红树林潮沟鱼类的时间生态位重叠值 >0.3 的对数占总对数的

97%, 可见, 海山红树林潮沟大部分鱼类对资源利用在时间选择上较为相同, 其中, 优势种的中华乌塘鳢、红狼牙鰕虎鱼、尼罗罗非鱼、鲮鱼、黄斑篮子鱼和黄鳍鲷, 这些鱼类一生大部分时间都定居于红树林中, 受季节的影响会小些。

海山红树林潮沟鱼类的空间生态位重叠值 >0.3 的对数占总对数的 83%, 说明林中鱼类的空间生态位重叠普遍较高。生态位重叠高说明种间对生存空间资源利用的竞争性, 当生存空间资源充足时, 鱼类可以通过摄食对象的差异实现物种共存(承亚男等, 2023)。比如, 重叠值最高的黄鳍鲷和黄鲫, 黄鳍鲷主要在水体中层活动, 主要摄食较小个体的鱼、虾等; 而黄鲫主要栖息于红树林潮沟淤泥底质, 主要摄食浮游甲壳类, 还摄食箭虫、鱼卵、水母等。这两种鱼类通过生活空间和食物的差异化而实现共存。其实, 红树林是一种特殊的生态系统, 浮游动植物、藻类、多毛类、软体动物和甲壳类非常丰富, 给鱼类提供丰富的天然饵料, 当鱼类数量还远远没有达到环境容纳量时, 能满足食性或者生活习性相似鱼类的需求, 故即便黄鳍鲷和黄鲫存在潜在的竞争关系, 由于食物的充足, 也能生存在同一潮沟中的。

类似地, 海山红树林潮沟鱼类的时空生态位重叠值 >0.3 的对数占总对数的 70%, 说明研究区内鱼类对时间和空间资源利用存在一定的竞争。其中, 黄斑篮子鱼和弹涂鱼, 时空生态位重叠值高达 0.956, 是因为两种鱼类均是主要定居于红树林, 季节变化不大, 而且, 2 种鱼类通过食物的差异实现了在红树林潮沟的同一采样点中共存, 黄斑篮子鱼主要摄食红树林中的丝状绿藻、褐藻和硅藻等, 而弹涂鱼主食浮游动物、昆虫及其他无脊椎动物。另外, 尼罗罗非鱼和鲮、中华乌塘鳢和鲮、须鳎和鲮, 这 3 对鱼类的时空生态位重叠值均为 0, 说明每对鱼类种间对时间和生态空间的资源利用差异较大。至于须鳎和鲮, 由于这两种鱼的时空生态位宽度极小, 因此需要分别研究它们对资源的利用情况, 以采取措施保护林区的这两种经济鱼类。

综上所述, 饶平海山红树林鱼类时空生态位以窄生态位种为主, 尤其是长蛇鲻、多齿蛇鲻、斑条鲈、鲮和须鳎等 5 种经济鱼类, 时空生态位宽度很小(<0.015), 因此迫切需要加强对这些鱼类的研究并采取保护措施。同时, 研究区内的不同鱼

类之间,时空生态位重叠以显著重叠和重叠有意义的为主,这表明研究区内鱼类对时间和空间资源的利用存在一定程度的竞争。因此,持续监测鱼类种群动态变化显得尤为重要。研究发现,水

体的水温、盐度、pH值和叶绿素a含量是影响红树林湿地鱼类分布的关键环境因子。建议相关部门加强对研究区内这些环境因子的监测,以便为红树林湿地鱼类管理提供科学依据。

参考文献:

- 承亚男,黄欣,吴志强,等,2023.南流江河口红树林潮沟主要鱼类时空生态位[J].热带地理,43(1):59-70.
- 李显森,于振海,孙珊,等,2013.长江口及其毗邻海域鱼类群落优势种的生态位宽度与重叠[J].应用生态学报,24(8):2353-2359.
- 吴晓东,2008.廉江高桥红树林自然保护区鱼类调查[J].林业实用技术,(10):37-40.
- 吴映明,郑培珊,刘妮,等,2018.广东红树林区鱼类物种多样性[J].中山大学学报(自然科学版),57(5):104-114.
- 徐姗楠,陈作志,李适宇,2010.红树林水生动物栖息地功能及其渔业价值[J].生态学报,30(1):186-196.
- 叶宁,吴晓东,张苇,2007.湛江高桥红树林区鱼类调查[J].广东海洋大学学报,27(6):55-61.
- 张琳琳,周永东,蒋日进,等,2019.浙江中南部近岸海域春季主要鱼类空间生态位[J].应用生态学报,31(2):659-666.
- 周红,张志南,2003.大型多元统计软件PRIMER的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用[J].青岛海洋大学学报(自然科学版),33(1):58-64.
- 周夏芝,李磊,音正兵,等,2003.桃一点叶蝉及其天敌类群时空生态位分析[J].安徽农业大学学报,30(2):202-205.
- CODY M L, 1974. Competition and the structure of bird communities[J]. Mon Pop Bio, 7: 1-318.
- KREBS C, 1989. Ecological methodology [M]. New York: Harper Collins Publishers:27-29.
- MAY R M, 1975. Some notes on estimating the competition matrix[J]. A Ecol, 56(3): 737-741.
- NAGELKERKEN I, BLABER S J M, BOUILLON S, et al, 2007. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review [J]. Aquat Bot, 89 (2) : 155-185.
- NAYLOR R L, GOLDBURG R J, PRIMAVERA J H, et al, 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies [J]. Nature, 405(6790):1017-1024.
- PIANKA E R, 1973. The structure of lizard communities [J]. Annu Rev Ecol Evol S, 4(1): 53-74.
- PINKAS E R, 1971. Ecology of the agamid lizard *Amphibolurus isolepis* in Western Australia [J]. Copeia, 3: 527-536.
- SHANNON C E, 1948. A mathematical theory of communication [J]. Bell Sys Tech J, 27(3): 379-423.
- TSAI C H, WANG Y K, TSAI S T, et al, 2015. Seasonal and diel changes of the fish assemblage employing the fyke nets in a subtropical mangrove estuary of Puzih river, Taiwan [J]. J Mar Sci Tech-Japan, 23(1): 13.
- WATHNE J A, HAUG T, LYDERSEN C, 2000. Prey preference and niche overlap of ringed seals (*Phoca hispida*) and harp seals (*Phoca groenlandica*) in the Barents seas [J]. Mar Ecol Prog Ser, 194: 233-239.

(责任编辑 张冰)