

中街山列岛海洋保护区虾类优势种时空生态位

刘明华^{1,2} 梁 君^{2,3} 徐汉祥^{1,3*}

(¹浙江海洋大学, 浙江舟山 316022; ²浙江省海洋水产研究所, 浙江舟山 316021; ³农业农村部重点渔场渔业资源科学观测实验站/浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 浙江舟山 316021)

摘 要 为了解中街山列岛海洋保护区内虾类种群特征和生存状况, 根据 2018 年 1、4、7 和 10 月该海域拖网调查数据, 基于相对重要性指数、Shannon 指数、Pianka 公式以及 Pearson 相关系数, 对该海域虾类优势种的时空生态位进行分析。结果表明: 该海域共采集鉴定虾类 16 种, 隶属于 10 科 13 属, 其中葛氏长臂虾、中华管鞭虾、鲜明鼓虾、哈氏仿对虾、日本鼓虾为优势种, 隶属于 4 科 4 属。优势种时间生态位宽度变化幅度较大, 而空间生态位宽度变化幅度较小, 时间生态位宽度与适温性呈显著相关。小型虾类日本鼓虾的时空生态位宽度值最高。哈氏仿对虾和中华管鞭虾的时间生态位重叠值最大, 二者时间同步性高, 季节性竞争剧烈。所有优势种均存在显著的空间生态位重叠, 说明优势种虾类空间同域性高, 区域性竞争整体较强。哈氏仿对虾与葛氏长臂虾的时空生态位重叠值最大, 表明二者在该海域对水环境和生物环境的选择以及产卵和洄游习性等相似度高, 可能存在激烈的种间竞争。本研究旨在为海洋生物时空生态位的应用研究提供参考。

关键词 中街山列岛; 生态位宽度; 生态位重叠

Spatio-temporal niche of dominant shrimp species in the Zhongjieshan Islands Marine Protected Area, China. LIU Ming-hua^{1,2}, LIANG Jun^{2,3}, XU Han-xiang^{1,3*} (¹Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, Zhejiang, China; ²Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, Zhejiang, China; ³Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources for Fishing Grounds, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Key Laboratory of Sustainable Utilization of Technology Research for Fishery Resource of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, Zhejiang, China).

Abstract: To understand the characteristics and living conditions of shrimp population in the Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA), according to the trawl survey data of the area in January, April, July and October 2018, we analyzed the spatio-temporal niche of dominant shrimp species based on the indices of relative importance, Shannon index, Pianka formula and Pearson correlation coefficient. The results showed that 16 shrimp species from 10 families and 13 genera were collected and identified. *Palaemon gravier*, *Solenocera crassicorni*, *Alpheus distinguendus*, *Parapenaeopsis hardwickii* and *Alpheus japonicus* were dominant species, belonging to four families and four genera. The temporal niche breadth of the dominant species varied greatly, while their spatial niche breadth was stable. The temporal niche breadth was significantly correlated with temperature suitability. The spatio-temporal niche breadth value of *A. japonicus*, the small shrimps, was highest. The temporal niche overlap value between *P. hardwickii* and *S. crassicornis* was the largest, indicating that the time synchronization was high and the seasonal competition was severe. There was a significant spatial niche overlap in all dominant species, indicating that the dominant species of shrimp had the same spatial homology, with strong regional competition. The spatio-temporal niche overlap value between *P. hardwickii* and *P. gravieri* was the largest, indicating that they had high similarities in physical and biological environment selecting, spawning and migratory habits, and

本文由国家自然科学基金项目(31702346)、浙江省自然科学基金项目(LY17C190006)和浙江省重点研发计划项目(2019C02056)资助 This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (31702346), the Zhejiang Natural Science Fund (LY17C190006), and the Key Research and Development Program of Zhejiang Province (2019C02056).

2019-10-26 Received, 2020-03-03 Accepted.

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hxxu@vip.sina.com

fierce inter-specific competition. Our results could provide reference for the application of spatio-temporal niche of marine organisms.

Key words: Zhongjieshan Islands; niche breadth; niche overlap.

关于生态位,已有多位学者提出了不同的概念^[1-4]和多种计测方式^[5-7],在动、植物的生态研究、人类生态学、城市生态学等多方面取得了较为广泛的应用^[8-11]。目前,国内海洋生物群落中的生态位研究以空间生态位^[12-13]居多,而海洋生物分布多受空间和时间两个维度的影响,其中以洄游性种类和周期性产卵种类最为明显,如虾类的竞争与共存就同时受时间、空间两个维度的影响^[14]。因此,较单一维度的时间或空间生态位而言,时空生态位更能准确地揭示其竞争共存机制^[15]。国内时空生态位研究自于振海等^[16]开始,近年来逐步应用于游泳动物^[17-18]的相关研究。

中街山列岛位于舟山群岛东部,地处舟山渔场中部,该水域流系复杂,受黑潮暖流、黄海冷水团、长江冲淡水的影响,水体交换频繁,营养盐充足,形成了丰富的饵料资源和渔业资源,生物多样性高,具有重要的保护价值和意义。近年来,在此设立国家级特别海洋保护区、国家级海洋牧场示范区、碳汇渔业实验区等,已成为渔业管理部门和相关科研人员关注的焦点。中街山列岛海域渔业生态学的研究范围较广^[19-21],但虾类仅开展了资源状况^[22]相关的研究,生态位研究尚未见报道。

本研究基于时空二维的生态位测度方法对中街山列岛海洋保护区的虾类优势种展开分析,以期了解该海域虾类种群特征和生存状况,为该海域的虾类资源保护与利用提供基础资料,并为海洋生物的时空生态位相关研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究中,采取目标区域随机布位和捕捞干扰最小化原则,沿潮流主轴(东南-西北)共设置了6个站位,站位分布见图1。数据来源于2018年1月(冬)、4月(春)、7月(夏)和10月(秋)4个航次的中街山列岛海洋保护区拖网样品,生物与环境样品的调查采集均参考卢占晖等^[23]的方法。

1.2 数据分析

1.2.1 相对重要性指数 虾类优势种参照相对重要性指数(index of relative importance, IRI)^[24]进行选择:

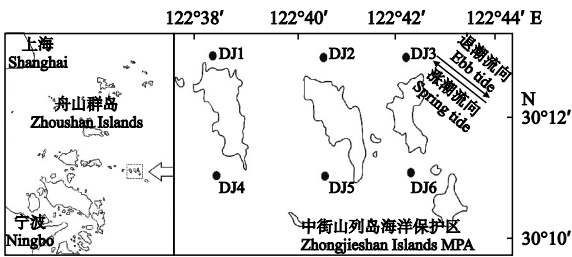


图1 中街山列岛海洋保护区(MPA)调查站位
Fig.1 Location of survey stations in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA).

$$IRI = (N + W) \times F \times 10^4$$

式中: N 为某个种类的个体数在渔获总个体数中所占的百分比(%); W 为某个种类的质量在渔获总质量中所占的百分比(%); F 为某个种类出现的站位数与调查站位总数的百分比(%).

优势种的判定参照王雪辉等^[25]的划分标准:将 $IRI > 1000$ 的种类定为优势种, $1000 > IRI > 100$ 为重要种, $100 > IRI > 10$ 为常见种, $10 > IRI > 1$ 为一般种, $IRI < 1$ 为稀有种。

1.2.2 生态位宽度 依据生态位定义,以物种个体数为单位,构建以调查季节或站位为资源状态的资源矩阵,分别计算对应的时间生态位宽度和空间生态位宽度。生态位宽度计测均采用 Shannon^[26]指数:

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

式中: B_i 为物种*i*的时间或空间生态位宽度值,其取值范围为 $[0, R]$; R 为所有资源状态的数量; P_{ij} 为物种*i*利用资源状态*j*(季节或站位)的个体数占该种个体总数的比例。

1.2.3 生态位重叠 资源矩阵构建同上,分别计算时间、空间生态位重叠,其计测方法采用 Pianka^[27]公式:

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

式中: O_{ik} 为物种*i*与物种*k*的生态位重叠指数,其值越大表示生态位重叠程度最高,其取值范围为 $[0, 1]$; P_{ij} 为物种*i*利用资源状态*j*(季节或站位)的个体数占该种个体总数的比例; P_{kj} 为物种*k*利用资源状态*j*(季节或站位)的个体数占该种个体总数的比例; R 为所有资源状态的数量。参照 Wallace^[28]

的标准,认为 $O_{ik}>0.6$ 时,种对之间有显著的生态位重叠。

1.2.4 时空生态位 时空生态位的计测方法使用 May^[29] 的方法:

时空生态位宽度值 = 时间生态位宽度 × 空间生态位宽度

时空生态位重叠值 = 时间生态位重叠 × 空间生态位重叠

由于暂时无时空生态位重叠的评价标准,对二维计测结果开方后参照 Wallace^[28] 的标准判定。

1.3 数据处理

使用 Pearson 相关系数对生态位宽度进行相关分析($\alpha=0.05$),采用 SPSS 21.0 软件完成。相对重要性指数的计算采用 Excel 2016 软件进行,生态位宽度和重叠的计算使用 R 3.5.2 软件的“spaa”包完成,站位图使用 ArcGIS 10.2 和 CorelDRAW x8 软件制作。

2 结果与分析

2.1 物种组成及分布

调查显示,该海域共有虾类 16 种,隶属于 10 科 13 属(表 1)。优势种共 5 种,分别是葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)、中华管鞭虾(*Solenocera crassicornis*)、鲜明鼓虾(*Alpheus distinguendus*)、哈氏仿对虾(*Parapenaeopsis hardwickii*) 和日本鼓虾(*Alpheus japonicus*),分布于所有站位和大部分季节(仅中华

管鞭虾在春季未见);重要种共 5 种,分别为细螯虾(*Leptochela gracilis*)、中国毛虾(*Acetes chinensis*)、细巧仿对虾(*Parapenaeopsis tenella*)、安氏白虾(*Exopalaemon annandalei*) 和疣背宽额虾(*Latreutes planirostris*),分布于大部分站位和少数月份;常见种共 3 种,分别为脊腹褐虾(*Crangon affinis*)、鞭腕虾(*Lysmata vittata*)、周氏新对虾(*Metapenaeus joyneri*),分布站位和分布月份总体较重要种少;一般种共 3 种,分别为戴氏赤虾(*Metapenaeopsis dalei*)、须赤虾(*Metapenaeopsis barbata*)、滑脊等腕虾(*Heterocarpoides laeivicarina*),仅分布于个别站位和个别月份。

2.2 生态位宽度

时间、空间、时空生态位宽度值见表 2。优势种的时间生态位宽度的变化幅度较大,变化范围为 [0.68, 1.31],平均值为 0.998,最大值为葛氏长臂虾,其次为日本鼓虾,最小值为中华管鞭虾,其中暖温性种类的时间生态位宽度值均大于 1,暖水性种类的时间生态位宽度值均小于 1,时间生态位宽度与适温性呈显著正相关。优势种的空间生态位宽度的变化幅度很小,变化范围为 [1.52, 1.72],平均值为 1.632,最大值为鲜明鼓虾,其次为日本鼓虾,最小值为中华管鞭虾。空间生态位宽度与适温性的相关性不显著。时空生态位宽度中,所有物种的宽度值均大于 1,变化范围为 [1.03, 2.14],平均值为 1.64,最大值为日本鼓虾,其次为葛氏长臂虾,最小值为中华管鞭虾。时空生态位宽度与适温性呈显著正相关。

表 1 中街山列岛海洋保护区虾类物种组成及分布状况
Table 1 Composition and distribution of shrimp species in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA)

科 Family	属 Genus	种 Species	出现季节 Seasons of occurrence	出现站位数 Stations number of occurrence	相对重要性 指数 IRI
对虾科 Penaeidae	新对虾属 <i>Metapenaeus</i>	周氏新对虾 <i>M. joyneri</i>	□	2	13.6
	赤虾属 <i>Metapenaeopsis</i>	戴氏赤虾 <i>M. dalei</i>	● ■	2	5.6
		须赤虾 <i>M. barbata</i>	○	1	1.3
		哈氏仿对虾 <i>P. hardwickii</i>	○ ● □ ■	6	2307.8
	仿对虾属 <i>Parapenaeopsis</i>	细巧仿对虾 <i>P. tenella</i>	○ ●	4	347.8
长臂虾科 Palaemonidae	长臂虾属 <i>Palaemon</i>	葛氏长臂虾 <i>P. gravieri</i>	○ ● □ ■	6	6359.1
	白虾属 <i>Exopalaemon</i>	安氏白虾 <i>E. annandalei</i>	■	5	238.8
鼓虾科 Alpheidae	鼓虾属 <i>Alpheus</i>	鲜明鼓虾 <i>A. distinguendus</i>	○ ● □ ■	6	2702.5
		日本鼓虾 <i>A. japonicus</i>	○ ● □ ■	6	2031.2
管鞭虾科 Solenoceridae	管鞭虾属 <i>Solenocera</i>	中华管鞭虾 <i>S. crassicornis</i>	● □ ■	6	3078.4
玻璃虾科 Pasiphaeidae	细螯虾属 <i>Leptochela</i>	细螯虾 <i>L. gracilis</i>	○ ●	5	931.6
樱虾科 Sergestidae	毛虾属 <i>Acetes</i>	中国毛虾 <i>A. chinensis</i>	○ ● ■	3	596.9
藻虾科 Hippolytidae	宽额虾属 <i>Latreutes</i>	疣背宽额虾 <i>L. planirostris</i>	○	3	107.4
褐虾科 Crangonidae	褐虾属 <i>Crangon</i>	脊腹褐虾 <i>C. affinis</i>	○ ■	4	35.9
藻虾科 Hippolytidae	鞭腕虾属 <i>Lysmata</i>	鞭腕虾 <i>L. vittata</i>	○ □ ■	3	29.7
长额虾科 Pandalidae	等腕虾属 <i>Heterocarpoides</i>	滑脊等腕虾 <i>H. laeivicarina</i>	○	1	1.2

○: 春季 Spring; ●: 夏季 Summer; □: 秋季 Autumn; ■: 冬季 Winter.

表 2 中街山列岛海洋保护区虾类优势种的时间、空间以及时空生态位宽度
Table 2 Temporal, spatial and spatio-temporal niche breadths of dominant shrimp species in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA)

物种 Species	时间生态位 Temporal niche breadth	空间生态位 Spatial niche breadth	时空生态位 Spatio-temporal niche breadth	适温性 Optimum temperature	生态习性 Ecological habit
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	1.31	1.62	2.13	WT	EE
中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i>	0.68	1.52	1.03	WW	EE
鲜明鼓虾 <i>Alpheus distinguendus</i>	0.92	1.72	1.58	WW	EH
哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i>	0.83	1.59	1.32	WW	EE
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	1.25	1.71	2.14	WT	EE

WW: 暖水性 Warm water; WT: 暖温性 Warm temperature; EH: 广温低盐 Eurythermic hyposaline group; EE: 广温广盐 Eurythermic euryhaline group.

2.3 生态位重叠

从图 2 可以看出,在时间维度上,优势种的生态位重叠值变化范围为[0.113, 0.999],变化较大,哈氏仿对虾和中华管鞭虾重叠值最高,中华管鞭虾和鲜明鼓虾重叠值最低,共有 6 对物种之间具有显著的生态位重叠,占 60%;在空间维度上,优势种的生态位重叠值变化范围为[0.638, 0.962],重叠值均较高,哈氏仿对虾和葛氏长臂虾重叠值最高,葛氏长臂虾和中华管鞭虾重叠值最低,共有 10 对物种之间具有显著的生态位重叠,占 100%;时空生态位重叠值变化范围为[0.053, 0.808],哈氏仿对虾和葛氏长臂虾的时空生态位重叠值最高,中华管鞭虾和鲜明鼓虾的时空生态位重叠值最低,共有 8 对物种之间具有显著重叠,占 80%。

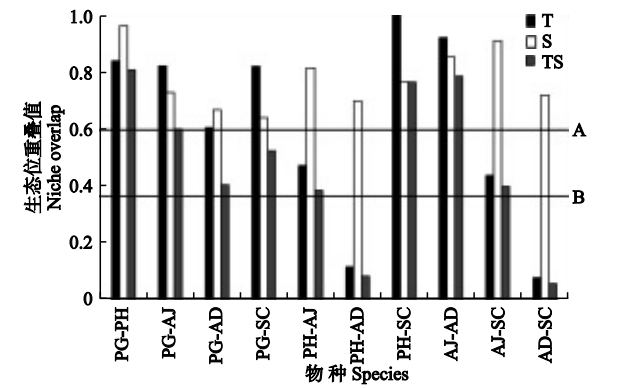


图 2 中街山列岛海洋保护区虾类优势种时间、空间以及时空生态位重叠
Fig.2 Dominant shrimp species among temporal, spatial and spatio-temporal niche overlaps in Zhongjieshan Islands MPA.
PG: 葛氏长臂虾 *Palaemon gravieri*; PH: 哈氏仿对虾 *Parapenaeopsis hardwickii*; AJ: 日本鼓虾 *Alpheus japonicus*; AD: 鲜明鼓虾 *Alpheus distinguendus*; SC: 中华管鞭虾 *Solenocera crassicornis*. T: 时间生态位 Temporal niche; S: 空间生态位 Spatial niche; TS: 时空生态位 Spatio-temporal niche. A: 时间和空间生态位重叠的显著水平 Significant level of T and S; B: 时空生态位重叠的显著水平 Significant level of TS.

3 讨 论

3.1 相对重要性指数

将本研究的相对重要性指数结果与谢汉阳

等^[30] 2010—2011 年中街山海域的历史资料进行对比,将其季节优势种转换成全年优势种,得到全年优势种依次为葛氏长臂虾、细巧仿对虾、日本鼓虾、中华管鞭虾,鲜明鼓虾为重要种,哈氏仿对虾为常见种。对比发现,细巧仿对虾下降为重要种,鲜明鼓虾和哈氏仿对虾上升为优势种,尤其是哈氏仿对虾有较大的变动。谢汉阳等^[31] 研究结果中底温与虾类生物量相关性极显著,而本次调查的结果较前者平均底温升高 1.25 ℃,升高幅度 7.6%,因此推断暖水种的哈氏仿对虾在冬季有所捕获,可能是采样月份的整体差异和水温升高的原因。

从公式来看,相对重要性指数虽然考虑了分布频率(F),但由于不同物种的数量与重量之间的比例关系差距很大,即大型动物以少的数量比例(N)可占据大的重量比例(W),易使结果产生偏向重量的误差,而使分布频率对最终结果的影响减小,如董静瑞等^[31] 研究中的海鳗 (*Muraenesox cinereus*),以少量个体得到了较大的 IRI 值。本文仅讨论虾类物种,其重量影响稍小,但仍存在对小型虾类偏低的估计和对大型虾类偏高的估计。例如,日本鼓虾的空间(1.71)和时空生态位宽度(2.14)均高于葛氏长臂虾(1.62 和 2.13),其时间生态位宽度(1.25)略低于葛氏长臂虾(1.31),但其相对重要性指数(2031.2)却远低于葛氏长臂虾(6359.1)。此外,生态位宽度结果与相对重要性指数结果显示出极大差异,验证了优势种的生态位宽度值与相对重要性指数并无直接关系^[23]。

3.2 时空生态位宽度和重叠

日本鼓虾的时空生态位宽度值(2.14)最大,葛氏长臂虾(2.13)次之,二者均为广温广盐种,是舟山海域的常见物种^[32-33]。本研究中 5 种优势种个体数与底盐相关性均不显著,也证明了盐度不是制约虾类分布的因素,与徐捷等^[34] 盐度与虾类重量和个体数密度关系不显著的结果一致,其中鲜明鼓虾与

温度、活性磷酸盐、溶解氧、化学需氧量、叶绿素 a 存在显著相关关系,其对环境变化最为敏感,说明鲜明鼓虾对环境的要求最高。综合时间与空间生态位的分布,中华管鞭虾和哈氏仿对虾的生态位宽度整体偏低,说明二者在该海域的生存状况较差。

80.0%的种对间均具有显著时空生态位重叠,这表明大部分种对之间的空间同域性与时间同步性较高^[16],对环境的适应性和对资源的利用性趋于一致,当资源不足时存在竞争。葛氏长臂虾、哈氏仿对虾、中华管鞭虾在洄游时间与繁殖季节上具有相近的生态习性^[35],其生态位重叠值均显著。而日本鼓虾与鲜明鼓虾同为鼓虾属,其线粒体基因组相同且基因排列完全一致^[36],故而在栖息、繁殖、摄食方面有较多的相似之处,时空生态位重叠值较高。此外,日本鼓虾与哈氏仿对虾、中华管鞭虾的时间生态位重叠不显著,但由于空间维度上与其余两者显著重叠且重叠值较高,因此时空生态位也显著重叠,说明日本鼓虾与中华管鞭虾和哈氏仿对虾的时间、空间分布综合特征相似性相对较高,当资源不足时存在竞争关系。

3.3 时间、空间生态位与时空生态位的关系

时间生态位宽度值的大小反映了物种出现时间的长短,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^[17],分别进行时间和空间的生态位宽度研究可以更清晰地了解物种对时间和空间的利用情况,而物种的存在离不开时间和空间,二者缺一不可^[16],故使用时空生态位宽度更为准确。生态位重叠反映了物种间对资源利用的相似程度,同时也反映了物种间潜在的竞争关系^[37]。空间生态位重叠反映的是不同物种在空间分布上的相似程度^[38],相应的时间生态位重叠反映的是不同物种在时间分布上的相似程度,时空生态位重叠则是二者的综合反映。

以鲜明鼓虾为例,鲜明鼓虾虽然在空间维度上取得了最高的生态位宽度(1.72),但在时间维度上的生态位宽度低(0.92),导致其时空生态位宽度低于在时间(1.31)和空间(1.62)维度上均取得较高的生态位宽度的葛氏长臂虾,反映了鲜明鼓虾在各站位分布最为均匀但各季节波动很大的现象,说明鲜明鼓虾的整体分布情况较葛氏长臂虾差,体现了时空生态位的二维综合性。而鲜明鼓虾与哈氏仿对虾、中华管鞭虾的空间生态位重叠显著且较高,但与两者的时间生态位重叠均不显著且较低,因此生态位重叠的结果在一定程度上反映了生态位宽度的结

果。鲜明鼓虾与中华管鞭虾、鲜明鼓虾与哈氏仿对虾的时空生态位重叠不显著,说明鲜明鼓虾与中华管鞭虾和哈氏仿对虾的时间、空间分布综合特征相似性低,这是因为鲜明鼓虾虽然在空间维度上与其余两者显著重叠,但在时间维度上重叠不显著且极低,表明三者的栖息地点具有相似性,而在时间分布上如繁殖、洄游等行为差异很大。

4 结 论

本文分别从时间维度、空间维度和时空二维研究了该海域虾类优势种的生态位宽度和重叠,一定程度上反映了优势种虾类的种间关系和生存状况,该海域虾类分布与适温性有较为明显的相关性。但若更为准确地计测物种的生态位,则有必要在时间和空间维度上增加调查频率和次数。由于 Shannon 指数方法的特点,当物种利用每个资源状态的个体数相等时有生态位宽度最大值,可能因此导致一些潜在的误差,可以考虑将营养生态位与时空生态位结合进行综合计测,但该方法的实用性如何还有待进一步研究。

参考文献

- [1] Grinnell J. Geography and evolution. *Ecology*, 1924, **5**: 225–229
- [2] Elton CS. *Animal Ecology*. London: Sidgwick and Jackson, 1927: 209
- [3] Hutchinson GE. Concluding remarks. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, New York, 1957: 415–427
- [4] 王刚, 赵松岭, 张鹏云, 等. 关于生态位定义的探讨及生态位重叠计测公式改进的研究. *生态学报*, 1984, **4**(2): 119–127 [Wang G, Zhao S-L, Zhang P-Y, *et al.* On the definition of niche and the improved formula for measuring niche overlap. *Acta Ecologica Sinica*, 1984, **4**(2): 119–127]
- [5] 余世孝, Orlioci L. 物种多维生态位宽度测度. *生态学报*, 1991, **14**(1): 32–39 [Yu S-X, Orlioci L. Multivariate measure of niche breadth. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, **14**(1): 32–39]
- [6] Smith EP. Niche breadth, resource availability, and inference. *Ecology*, 1982, **63**: 1675–1681
- [7] Hurlbert SH. The measurement of niche overlap and some relatives. *Ecology*, 1978, **59**: 67–77
- [8] 张琳琳, 蒋日进, 印瑞, 等. 乐清湾主要游泳动物空间生态位及其分化. *应用生态学报*, 2019, **30**(11): 3911–3920 [Zhang L-L, Jiang R-J, Yin R, *et al.* Spatial niche and differentiation of major nekton species in Yueqing Bay, Zhejiang, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, **30**(11): 3911–3920]
- [9] 白晓航, 张金屯. 小五台山森林群落优势种的生态位

- 分析. 应用生态学报, 2017, **28**(12): 3815–3826 [Bai X-H, Zhang J-T. Niche analysis of dominant species of forest community in Xiaowutai Mountain, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, **28**(12): 3815–3826]
- [10] Hardesty DL. The Niche Concept: Suggestions for Its Use in Human Ecology. *Human Ecology*, 1975, **3**: 71–85
- [11] 丁圣彦, 李志恒. 开封市的城市生态位变化分析. 地理学报, 2006, **61**(7): 752–762 [Ding S-Y, Li Z-H. Niche pattern dynamics of different functional modules in Kaifeng City. *Acta Geographica Sinica*, 2006, **61**(7): 752–762]
- [12] 胡成业, 水玉跃, 杜肖, 等. 浙江苍南南部沿岸海域主要游泳动物生态位及种间联结性. 应用生态学报, 2015, **26**(10): 3195–3201 [Hu C-Y, Shui Y-Y, Du X, *et al.* Niche and interspecific association of nekton in the south coastal waters of Cangnan, Zhejiang, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, **26**(10): 3195–3201]
- [13] 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 [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]
- [14] 徐开达, 卢衍尔, 卢占晖, 等. 韭山列岛自然保护区虾类优势种生态位. 生物多样性, 2018, **26**(6): 601–610 [Xu K-D, Lu K-E, Lu Z-H, *et al.* Ecological niche analysis of dominant shrimp species in the Jiushan Islands Marine Nature Reserve. *Biodiversity Science*, 2018, **26**(6): 601–610]
- [15] 李锐, 李生才, 田瑞钧, 等. 菜田蜘蛛群落组成及生态位分析. 蛛形学报, 2007, **16**(2): 116–120 [Li R, Li S-C, Tian R-J, *et al.* Structure and niche of spider community in vegetable field. *Acta Arachnologica Sinica*, 2007, **16**(2): 116–120]
- [16] 于振海, 金显仕, 李显森. 黄海中南部分主要鱼种的生态位分析. 渔业科学进展, 2010, **31**(6): 1–8 [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]
- [17] 何雄波, 李军, 沈忱, 等. 闽江口主要渔获鱼类的生态位宽度与重叠. 应用生态学报, 2018, **29**(9): 291–298 [He X-B, Li J, Shen C, *et al.* The breadth and overlap of ecological niche of major fish species in the Minjiang River Estuary, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, **29**(9): 291–298]
- [18] 陈伟峰, 叶深, 余玥, 等. 浙南近海虾类优势种及其生态位. 生态学报, 2019, **38**(7): 2126–2132 [Chen W-F, Ye S, Yu Y, *et al.* The dominant shrimp species and its niche in the coastal area of southern Zhejiang. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, **38**(7): 2126–2132]
- [19] 梁君, 徐汉祥, 王伟定. 中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性. 生态学报, 2013, **33**(18): 5905–5916 [Liang J, Xu H-X, Wang W-D. Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA). *Acta Ecologica Sinica*, 2013, **33**(18): 5905–5916]
- [20] 徐开达, 卢占晖, 薛利建, 等. 中街山列岛保护区蟹类群落结构特征的研究. 上海海洋大学学报, 2012, **21**(6): 1032–1037 [Xu K-D, Lu Z-H, Xue L-J, *et al.* Crab community structure in the protected Zhongjieshan Islands area. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012, **21**(6): 1032–1037]
- [21] 张亚洲. 中街山列岛海洋特别保护区海域浮游动物群落特征及其与环境因子的关系. 硕士论文. 舟山: 浙江海洋学院, 2014 [Zhang Y-Z. Zooplankton Community Characters and Relationship with Environmental Factors in the Special Marine Reserve of Zhongjieshan Archipelago. Master Thesis. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2014]
- [22] 徐开达, 宋海棠, 张龙, 等. 中街山列岛保护区虾类资源状况及其与环境因子的关系. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2012, **31**(5): 420–425 [Xu K-D, Song H-T, Zhang L, *et al.* Resource status and its relationship with environmental factors of shrimps in the protected Zhongjieshan Islands area. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 2012, **31**(5): 420–425]
- [23] 卢占晖, 周永东, 朱文斌, 等. 浙江沿海岸域虾类优势种空间生态位分析. 海洋学报, 2018, **40**(2): 77–86 [Lu Z-H, Zhou Y-D, Zhu W-B, *et al.* Spatial niches analysis of dominant shrimp species in the coastal area of Zhejiang Province. *Acta Oceanologica Sinica*, 2018, **40**(2): 77–86]
- [24] Pinkas L, Oliphant MS, Iverson ILK. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters. *Fishery Bulletin*, 1971, **152**: 1–105]
- [25] 王雪辉, 杜飞雁, 邱永松, 等. 1980—2007 年大亚湾鱼类物种多样性、区系特征和数量变化. 应用生态学报, 2010, **21**(9): 2403–2410 [Wang X-H, Du F-Y, Qiu Y-S, *et al.* Spatial niches analysis of dominant shrimp species in the coastal area of Zhejiang Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, **21**(9): 2403–2410]
- [26] Shannon CE, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Chicago: University of Illinois Press, 1963
- [27] Pianka RE. The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, **4**: 53–74
- [28] Wallace RK. An assessment of diet-overlap indexes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1981, **110**: 72–76
- [29] May RM. Some notes on estimating the competition matrix α . *Ecology*, 1975, **56**: 737–741
- [30] 谢汉阳, 朱文斌, 徐开达, 等. 中街山水域虾类组成及其群落多样性. 广东海洋大学学报, 2012, **32**(4): 1–7 [Xie H-Y, Zhu W-B, Xu K-D, *et al.* Composition and community diversity of shrimps in the protected Zhongjieshan waters. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2012, **32**(4): 1–7]
- [31] 董静瑞, 水柏年, 胡成业, 等. 温州南部沿岸海域主要鱼类的生态位及种间联结性. 应用生态学报,

2017, **28**(5): 1699–1706 [Dong J-R, Shui B-N, Hu C-Y, *et al.* Niche and interspecific association of the dominant fish in the south coastal waters of Wenzhou, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, **28**(5): 1699–1706]

[32] 瞿潇南, 舒振宇, 谢旭, 等. 舟山黄大洋海域春秋季节虾类种类组成和数量分布. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2013, **32**(4): 285–291 [Qu X-N, Shu Z-Y, Xie X, *et al.* The species composition and distribution characteristics of shrimps in Huangdayang of Zhoushan. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 2013, **32**(4): 285–291]

[33] 王甲刚. 舟山沿岸张网作业区虾蟹类群落结构和多样性的研究. 硕士论文. 舟山: 浙江海洋学院, 2012 [Wang J-G. The Community Structure and Species Diversity of Shrimp and Crab in the Set-Net Fishing Area off the Coast of Zhoushan. Master Thesis. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2012]

[34] 徐捷, 陈佳杰, 徐兆礼. 吕泗渔场沿岸海域的虾类数量分布及其与环境的关系. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2016, **46**(3): 41–49 [Xu J, Chen J-J, Xu Z-L. Relationship of shrimp distribution with environment in the coastal water of Lvsì fishing ground in spring and summer. *Periodical of Ocean University of China*, 2016, **46**(3): 41–49]

[35] 宋海棠, 俞存根, 薛利建. 东海经济虾蟹类渔业生物学. 北京: 海洋出版社, 2006 [Song H-T, Yu C-G, Xue L-J, *et al.* The East China Sea Economics Shrimps and Crabs. Beijing: Ocean Press, 2006]

[36] 申欣, 李晓, 徐启华. 日本鼓虾与鲜明鼓虾线粒体基因组全序列的分析比较. 海洋学报, 2012, **34**(5): 147–153 [Shen X, Li X, Xu Q-H. Comparison and analysis of *Alpheus japonicus* and *A. distinguendus* complete mitochondrial genome sequences. *Acta Oceanologica Sinica*, 2012, **34**(5): 147–153]

[37] 王桂明, 周庆强, 钟文勤. 内蒙古典型草原 4 种常见小型哺乳动物的营养生态位及相互关系. 生态学报, 1996, **16**(1): 71–76 [Wang G-M, Zhou Q-Q, Zhong W-Q. Trophic niches of four species of common small mammals in Inner Mongolia grassland and their relationships. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, **16**(1): 71–76]

[38] 韩东燕, 薛莹, 纪毓鹏, 等. 胶州湾 5 种虾虎鱼类的营养和空间生态位. 中国水产科学, 2013, **20**(1): 148–156 [Han D-Y, Xue Y, Ji Y-P, *et al.* Trophic and spatial niche of five gobiid fishes in Jiaozhou Bay. *Journal of Fishery Science of China*, 2013, **20**(1): 148–156]

作者简介 刘明华, 男, 1994 年生, 硕士研究生。主要从事海洋生态研究。E-mail: 445881030@qq.com

责任编辑 肖 红

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

