

乐清湾秋季虾类群落结构及生态位分析

陈伟峰^{1,2}, 彭欣^{1,2}, 秦松^{1,2}, 陈骁³, 陈少波^{1,2,4}, 叶深^{1,2}

(1. 浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江 温州 325005; 2. 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室, 浙江温州 325005; 3. 华南农业大学 海洋学院, 广东 广州 510642; 4. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306)

摘要: 为探究乐清湾虾类群落结构的形成和影响因素, 作者于2020年9月在该海域开展海洋生态系统综合调查, 运用相对重要性指数、生态位宽度、生态位重叠等生态指标, 结合非度量多维标度法(MDS)和冗余分析(RDA)对群落结构、生态位的重叠和分化进行分析。结果表明: 秋季研究海域共有虾类16种, 隶属于6科、10属; 哈氏仿对虾(*Parapenaeopsis hardwickii*)和中华管鞭虾(*Solenocera crassicornis*)为优势种, 周氏新对虾(*Metapenaeus joyneri*)、脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)和刀额新对虾(*Metapenaeus ensis*)为常见种; 哈氏仿对虾、中华管鞭虾、周氏新对虾和脊尾白虾属于中等生态位种, 其余均为窄生态位种; 红条鞭腕虾(*Lyasmata vittata*)与太平洋长臂虾(*Palaemon pacificus*)的重叠值最高, 中国毛虾(*Acetes chinensis*)、葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)和细指长臂虾(*Palaemon tenuidactylus*)等与其他种类重叠值较低; 影响该海域秋季虾类分布的主要环境因子是盐度, 其次为叶绿素 a 和温度, 溶解氧和 COD 对虾类分布影响较小, 这些环境因素综合解释了此区域虾类群落结构 49.58% 的总变异。

关键词: 乐清湾; 虾类; 优势种; 生态位; 环境因子

中图分类号: P735

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2023)2-0047-08

DOI: 10.11759/hyxx20220309002

乐清湾三面环陆是浙江省最大的半封闭式海湾, 海域面积达 463.6 km²; 湾内有茅埭岛、西门岛等众多岛屿和大荆溪、清江等众多水系, 造就了乐清湾得天独厚的自然环境^[1]。但自瓯门湾围堵和灵昆大坝的建设之后, 使得乐清湾的自净能力大为降低, 其生态环境脆弱化^[2-4]。且随着环乐清湾地区经济的快速发展, 陆上及海上人为活动产生的大量污染物进入海洋环境, 造成近岸海域水质恶化、生态退化、生产力下降, 极大地破坏了海洋生态环境^[5], 这亦造成了乐清湾中的海洋生物种类减少、分布区域限缩等现象。

自然生态系统中一个族群在时间空间上的位置、相关种群之间的功能关系及利用资源的能力可由生态位进行表示^[6-7]。生态位这一概念则是由 GRINNELL^[8]于1917年首次提出并定义, 经过 ELTON^[9]、HUTCHINSON 等^[10]的研究和拓展, 其定义和理论得到不断深化和发展。现阶段, 应用生态位理论对种间关系、群落结构、物种多样性及种群进化的研究已被广泛应用于海洋生态系统^[11-12]。虾类在食物网中位置相对重要, 其既是海洋微小型有机物的捕食者亦是鱼类等其他重要经济种类的饵料, 其本身也是重要的

经济种类; 具有较高的生态价值和经济价值。但生态位理论在海洋虾类上的研究仍相对较少, 卢占晖等^[13]初步分析了浙江沿岸海域虾类优势种的生态位宽和生态位重叠指数; 徐开达等^[14]对韭山列岛保护区虾类优势种生态位进行了分析并探讨了生态位宽与相对重要性指数之间的关系。

本研究拟根据生态位理论, 利用2020年9月在乐清湾海域开展的游泳动物调查所获得的虾类调查资料, 分析乐清湾虾类的生态位宽度、生态位重叠, 来进一步认识乐清湾虾类的种间关系和群落结构; 在此基础上, 探讨乐清湾环境因子对虾类的影响和相关性。此项研究对认识乐清湾虾类的群落结构和评价乐清湾环境生态质量状况具备一定的意义; 为今后制定乐清湾环境保护政策和措施提供一定的参考。

收稿日期: 2022-03-09; 修回日期: 2022-07-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41666008); 温州市科技计划项目(N20190009)

[Foundation: The National Natural Science Foundation of China, No. 41666008; Science and Technology Program of Wenzhou, China, No. N20190009]

作者简介: 陈伟峰(1993—), 男, 浙江金华人, 硕士, 助理研究员, 主要从事渔业生态学研究, E-mail: WMUchenwf@yeah.net; 叶深(1988—), 通信作者, 浙江温州人, 工程师, 主要从事渔业资源生态学研究, E-mail: leafdeep@163.com

1 材料与方 法

1.1 数据来 源

本文中所用的数据来自于2020年9月在乐清湾海域开展的渔业资源调查项目。调查范围为121°00′~121°13′E, 28°00′~28°19′N, 共布设16个站位(图1)。调查船舶为“浙乐渔休00105”号, 主机功率为202 kW, 总吨位为128 t。船上配有位导、测深仪、冰箱、对讲机等设备。调查采用底拖的方式于白天开展, 每站拖曳时间约为0.75 h, 拖速控制在3~4 knots, 水下网口张开面积约为7.0 m(宽)×2.0 m(高); 调查网具规格为500目×60 mm为拖网, 囊网网目为25 mm。调查所获的渔业资源样品全取, 冷冻保存, 带回实验室进行鉴定、生物学测量等工作。渔业资源调查工作主要参考《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007)^[15]。

在进行渔业资源调查的同时, 利用调查船自带的测深仪获得水深数据, 利用Multi3630 WTW测得温度、盐度、pH和溶解氧数据; 叶绿素 a 和悬浮物指标则通过现场采集水样固定后, 运回实验室进行检测, 检测方法主要参考《海洋调查规范》(GB17378.4—2007)^[16]; 以上指标除水深外均为表层(水面下0.5 m处)水样的数据。

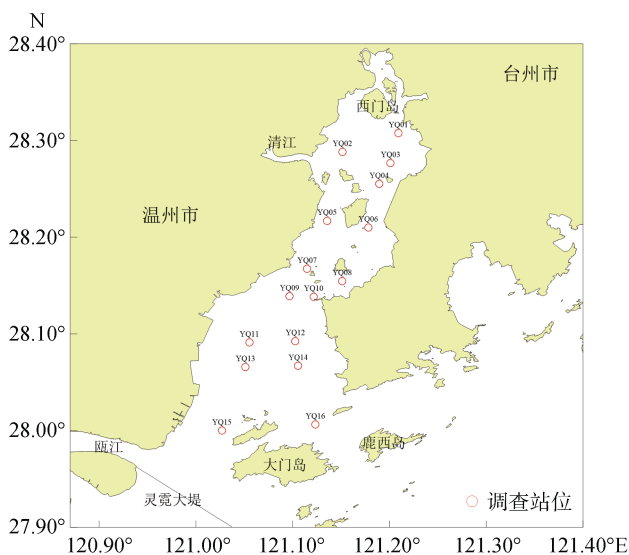


图1 调查站位

Fig. 1 The sampling stations

1.2 处理方 法

考虑到不同站位拖速、拖网时间之间的差异, 本文在处理虾类生物量数据时优先将其统一为单位捕捞努力量渔获量(Catch Per Unit Effort, CPUE)^[17], 其公式为:

$$CPUE = C / (v \times h \times L),$$

式中, C 为渔获质量或数量, v 为拖速, h 为拖网时间, L 为网口张开宽度。

利用相对重要性指数(index of relative importance, IRI)^[18]确定虾类在调查海域的重要程度, 其公式为:

$$IRI = (N + W) \times F \times 10000,$$

式中, N 为某个种类的尾数占总尾数的比例; W 为某个种类的质量占总质量的比例; F 为某个种类出现的频率。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, $IRI < 10$ 的种类定位为偶见种。

生态位宽度的计算公式^[19]:

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

生态位重叠指数采用Pianka公式进行计算^[20]:

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

式中, B_i 表示种 i 的空间生态位宽度, O_{ik} 代表种 i 与种 k 的生态位重叠值, P_{ij} 和 P_{kj} 分别代表第 j 个站位种 i 和种 k 个体数的比例, S 为调查站位总数。根据生态位宽度值(B_i)的变化范围, 可分为: 广生态位种($B_i > 4.00$)、中生态位种($2.00 < B_i \leq 4.00$)和窄生态位种($B_i \leq 2.00$)^[13]。根据生态位重叠指数(O_{ik}), 可分为高重叠度($O_{ik} > 0.6$)、中重叠度($0.3 < O_{ik} \leq 0.6$)和低重叠度($O_{ik} < 0.3$)^[21]。

典型关联分析可通过对多个环境因子综合分析, 直接地反映物种群落与各环境因子之间的相关性; 通过对虾类与环境因子之间的关系进行分析及排序图绘制, 可以确定影响该海域虾类群落空间分布重要的环境因子。在选用分析方法时, 应对物种数据进行除趋势对应分析(Detrended Correspondence Analysis, DCA), 根据每个轴梯度长度(Lengths of Gradient, LGA)选择最佳排序方法。当 $LGA < 3$ 时, 则进行冗余分析(Redundant Analysis, RDA); 当 $LGA > 4$ 时, 则进行典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA); 当 $3 < LGA < 4$ 时两者皆可^[22]。根据对本次调查虾类生物量数据进行 DCA 分析结果显示 $LGA < 3$, 故本研究选用了线性模型的 RDA 分析, 并采用蒙特卡洛置换检验分析环境因子对虾类分布影响的显著性。

站位图使用 Suffer11 软件制作, 冗余分析及排序图由 Canoco5 软件绘制。本文虾类种类鉴定及名录主要参照《中国海洋生物名录》^[23]和《浙江动物志 甲壳类》^[24]。

2 结果

2.1 种类组成

在乐清湾共发现虾类 15 种, 隶属于 6 科、10 属, 其中对虾科种类最多, 共 6 种(表 1)。按生态类群划分的话, 乐清湾虾类以广盐性种类为主(9 种), 低盐性种类次之(6 种), 未发现高盐性种类。

表 1 乐清湾虾类组成

Tab. 1 The component of shrimp in Yueqing bay

序号	虾类	生态类群
管鞭虾科(Solenoceridae)		
管鞭虾属(<i>Solenocera</i>)		
1	中华管鞭虾(<i>Solenocera crassicornis</i>)	广盐性
对虾科(Penaeidae)		
明对虾属(<i>Fenneropenaeus</i>)		
2	中国明对虾(<i>Fenneropenaeus chinensis</i>)	广盐性
滨对虾属(<i>Litopenaeus</i>)		
3	凡纳滨对虾(<i>Litopenaeus vannamei</i>)	广盐性
新对虾属(<i>Metapenaeus</i>)		
4	周氏新对虾(<i>Metapenaeus joyneri</i>)	广盐性
刀额新对虾属(<i>Metapenaeus ensis</i>)		
5	仿对虾属(<i>Parapenaeopsis</i>)	广盐性
6	细巧仿对虾(<i>Parapenaeopsis tenella</i>)	广盐性
哈氏仿对虾(<i>Parapenaeopsis hardwickii</i>)		
7	樱虾科(Sergestidae)	广盐性
毛虾属(<i>Acetes</i>)		
中国毛虾(<i>Acetes chinensis</i>)		
8	鼓虾科(Alpheidae)	广盐性
鼓虾属(<i>Alpheus</i>)		
9	日本鼓虾(<i>Alpheus japonicus</i>)	低盐性
刺螯鼓虾(<i>Alpheus hoplocheles</i>)		
10	藻虾科(Hippolytidae)	低盐性
鞭腕虾属(<i>Lysmata</i>)		
红条鞭腕虾(<i>Lysmata vittata</i>)		
11	长臂虾科(Palaemonidae)	低盐性
白虾属(<i>Exopalaemon</i>)		
12	脊尾白虾(<i>Exopalaemon carinicauda</i>)	低盐性
长臂虾属(<i>Palaemon</i>)		
13	葛氏长臂虾(<i>Palaemon gravieri</i>)	广盐性
14	细指长臂虾(<i>Palaemon tenuidactylus</i>)	低盐性
15	太平洋长臂虾(<i>Palaemon pacificus</i>)	低盐性

注: 以下分析中虾类种名均由序号表示(图 2)

2.2 生态位宽度和优势种

虾类生态位宽度范围为 0.05~3.50, *IRI* 指数范围

在 0.35~16 452.03(图 2)。其中生态位宽度值以哈氏仿对虾最高($B_i=3.50$), 中华管鞭虾($B_i=2.94$)和周氏新对虾($B_i=2.17$)次之, 均属于中生态位种; 在窄生态位种中仅脊尾白虾($B_i=1.40$)生态位宽度相对较高, 其余种类的生态位宽度值均小于 1.00。优势种和常见种的 *IRI* 指数排序与生态位宽排序相似, 依次为哈氏仿对虾($IRI=16 452.03$)、中华管鞭虾($IRI=997.12$)、周氏新对虾($IRI=349.68$)和脊尾白虾($IRI=299.37$); 但少见种和偶见种的 *IRI* 指数与生态位宽排序则无明显规律可循, 如少见种中的中国明对虾生态位宽大于刀额新对虾, *IRI* 指数则相反。

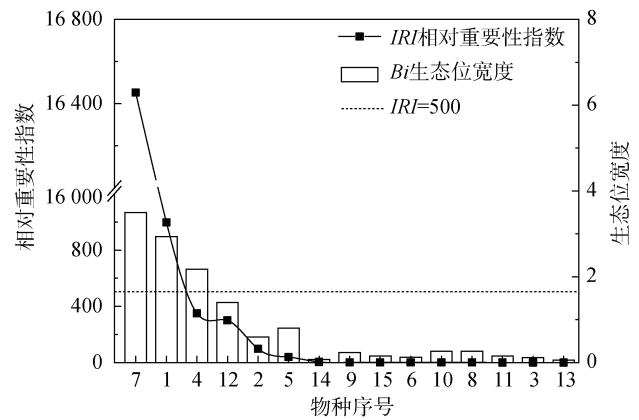


图 2 生态位宽度及相对重要性指数比较
Fig. 2 Comparison of niche breadth and *IRI*

2.3 生态位重叠指数

乐清湾虾类生态位重叠值介于 0.000~1.000(表 2), 其中生态位重叠指数较高的有日本鼓虾和细指长臂虾、红条鞭腕虾和太平洋长臂虾 O_{jk} 均为 1.000; 刀额新对虾和红条鞭腕虾、太平洋长臂虾的 O_{jk} 均为 0.872, 中华管鞭虾和脊尾白虾的 O_{jk} 为 0.660, 周氏新对虾和太平洋长臂虾的 O_{jk} 为 0.619; 其余组别的 O_{jk} 均小于 0.600, 且有 51.43% 的组别其 O_{jk} 为 0。

生态位重叠值较高的 6 个组别种, 偶见种×少见种(2 组)和偶见种×偶见种(2 组)的模式占绝大多数, 偶见种×常见种(1 组)和优势种×常见种(1 组)的模式亦有出现。整体上, 乐清湾虾类群落中生态位高度重叠的现象主要是由偶见种引起的, 而优势种和常见种则在生态位上出现了较大的分化。

2.4 生态位分化

RDA 分析结果显示, 调查海域水温、盐度、水深、溶氧、pH、叶绿素 *a* 和悬浮物等 7 项指标可解释该海

表 2 虾类生态位重叠值

Tab. 2 Spatial niche overlaps among species of shrimp

序号	O_{ik}														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1.000														
2	0.065	1.000													
3	0.166	0.000	1.000												
4	0.210	0.118	0.000	1.000											
5	0.275	0.002	0.331	0.551	1.000										
6	0.089	0.102	0.000	0.172	0.000	1.000									
7	0.468	0.209	0.292	0.422	0.337	0.255	1.000								
8	0.196	0.000	0.000	0.000	0.324	0.000	0.280	1.000							
9	0.212	0.241	0.000	0.408	0.000	0.000	0.043	0.000	1.000						
10	0.000	0.000	0.000	0.082	0.000	0.000	0.312	0.000	0.000	1.000					
11	0.117	0.000	0.000	0.619	0.872	0.000	0.108	0.000	0.000	0.000	1.000				
12	0.660	0.033	0.000	0.059	0.014	0.000	0.131	0.000	0.138	0.000	0.000	1.000			
13	0.084	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	0.317	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	1.000		
14	0.212	0.241	0.000	0.408	0.000	0.000	0.043	0.000	1.000	0.000	0.000	0.138	0.000	1.000	
15	0.117	0.000	0.000	0.619	0.872	0.000	0.108	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000

注: 加粗数字表示重叠值大于 0.60

域虾类 49.58%的变异情况(表 3), 轴 1 和轴 2 的特征值分别为 0.226 7 和 0.173 3, 分别解释了数据方差变化的 22.67%和 17.33%; 经蒙特卡洛检验, 第一排序轴($F=2.6, P=0.048$)和所有排序轴($F=1.5, P=0.028$)均显示差异显著($P<0.05$), 即表示环境数据与虾类种类的分

布存在线性关系。其中每个环境因子单独解释量最大是盐度, 解释了变异的 13.6%($P=0.014$), 叶绿素 a 次之为 10.7%($P=0.026$)。在冗余分析排序图中(图 3), 对轴 1 影响较大的是盐度($r^2=0.536 8$)和叶绿素 a ($r^2=0.536 4$), 对轴 2 影响较大的是 pH($r^2=0.653 4$)和溶解氧($r^2=0.628 3$)。

表 3 虾类冗余分析结果

Tab. 3 Redundant analysis of shrimps

轴	特征值	种类-环境相关系数	累积百分比	总特征值	总典范特征值	轴 1 的 P 值	所有轴 P 值	
		种类/%	种类-环境相关性/%					
1	0.226 7	0.890 8	22.67	41.71	1.000	0.5436	0.048	0.028
2	0.173 3	0.929 5	40.00	73.60				
3	0.057 6	0.671 5	45.77	84.20				
4	0.038 2	0.650 7	49.58	91.22				

优势种中的哈氏仿对虾(序号 7, 下同)的分布与 pH 和溶解氧呈较强的正相关, 与盐度也呈正相关性, 与其他环节因子相关性较弱; 中华管鞭虾(1)则与水深和温度呈强的正相关, 与叶绿素 a 和悬浮物呈强的负相关, 与其他环节因子相关性较弱。常见种中的周氏新对虾(4)与水深和温度呈现负相关性, 与其他环节因子均呈现正相关性; 脊尾白虾(12)与盐度、pH 和溶解氧呈现强的负相关性, 与其他环节因子的相关性较弱。生态位完全重叠的日本鼓虾(9)×细指长臂虾(14)和红条鞭腕虾(11)×太平洋长臂虾(15), 在排序图中也完全重合。

3 讨论

3.1 虾类群落结构

乐清湾地处亚热带季风气候区, 由于受海洋性气候影响, 温暖湿润, 雨量充沛; 据统计, 3~7 月和 9 月为乐清湾的雨季^[25]。乐清湾内部还拥有清江、大荆溪等 30 余条山溪性河流, 湾口西侧即为浙江第二大河瓯江的出海口, 使得乐清湾内的盐度波动相对较大。这使得乐清湾内的大部分种类为适应短期内盐度可能出现较大波动的环境(本次调查盐度范围在

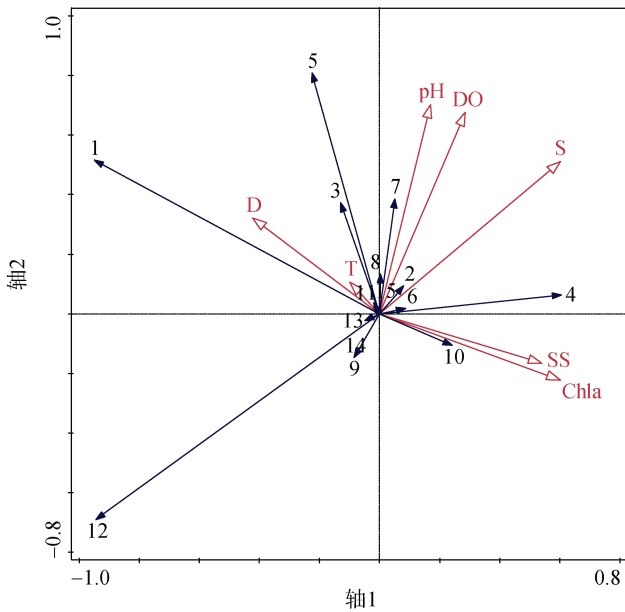


图 3 虾类冗余分析排序图

Fig. 3 Ordination diagrams based on RDA of shrimps

注: T.温度; S.盐度; Chl-*a*.叶绿素 *a*; DO.溶解氧; SS.悬浮物; D.水深

21.8~29.4), 在群落结构组成上以广盐性(占种类数 60%)生态类群为主相一致; 低盐性种类大量出现(占种类数 40%), 与 9 月乐清湾的秋雨季节降水量大相符; 而调查中发现的凡纳滨对虾, 其来源应是乐清湾内的养殖逃逸。

在乐清湾虾类种类上共发现虾类 15 种, 与张琳琳等^[26]在乐清湾周年调查发现发现的 19 种虾类相比略少, 但在其列举的 11 种虾类中仅 2 种未发现, 种类相似性较高; 与夏陆军等^[27]和徐兆礼等^[28]在乐清湾周边海域两个调查季节发现的虾类种类相比略少, 与其同期相比(秋季)则本调查发现的虾类种类则要略多, 且明显的与乐清湾口(6 种未发现, 12 种相同)种类组成相似性要高于紧邻的瓯江口(9 种未发现, 8 种相同)。

本研究认为, 乐清湾由于西侧漩门湾围填海和南侧灵霓大堤的建设已使得乐清湾的生态通道受到了较大的限制; 使得乐清湾的虾类以区域性、定栖性的种类为主, 与外部海域种类的交流大大减少。2020 年 12 月乐清湾南侧的灵霓大堤破堤后, 是否会增加乐清湾与外部海域虾类等生物交流进而改变乐清湾虾类群落结构则是后续研究的重点之一。

3.2 虾类生态位宽与优势度

生态位宽反映物种在栖息地中的分布状态, 数值越高标示该物种数量分布越均匀; 而相对重要性指数

则反映了物种在群落中的数量权重和对栖息地的占有范围^[14, 29]。两者在本研究中对优势种和常见种的解释具有一致性, 但在对少见种和偶见种的解释中出现了较大的差异。这与少见种和偶见种的数量稀少、出现频率过低、个体规格差异等因素扩大了生态位宽和相对重要性指数对其解释的方向有关。

生态位宽也体现了种类在生境中利用资源的能力^[6-7], 本次研究发现乐清湾的虾类中生态位种 3 种、窄生态位种 12 种。这表明乐清湾存在相对较高的空间异质性, 能为窄生态位种提供赖以生存的微生境。而通过对乐清湾内的虾类相对重要性指数的分析, 则显示哈氏仿对虾为区域内绝对优势种, 其 *IRI* 指数达到了 16 452.03 远远高于同为优势种的中华管鞭虾(*IRI*=997.12); 这显示出乐清湾虾类生物资源趋于单一化。

3.3 生态位重叠与分化

生态位重叠指数值越大表示两物种对环境资源的利用越相似^[30]。本研究中发现优势种和常见种之间的生态位重叠指数普遍较小, 而生态位重叠相对较高的以偶见种和少见种为主, 甚至有偶见种×偶见种组别的生态位重叠指数为 1。在资源丰富的情况下, 生态位重叠值较高的种类可通过对资源的选择性利用而减少竞争, 在资源缺乏的情况下其竞争较大^[31], 会导致生态位的分化(物种的迁徙、饵料选择的优先度变化等)。由于本研究中推测生态位重叠指数较高的组别均为偶见种, 推测为区域内资源仍相对丰富, 相较较少的个体数量而言其资源仍未对其造成较大的竞争导致的。

利用 RDA 对乐清湾虾类对优势种和常见种的排序图则显示出, 其生态位分化相对较大, 能较明显地区分出其对现有环境因子的偏好性和相关性, 如哈氏仿对虾对 pH、溶解氧和盐度有较强的正向偏好, 但对其他因素响应较弱; 中华管鞭虾则对水深、温度有较强的正向偏好, 对悬浮物和叶绿素 *a* 的则有较强的反向响应, 对其他因素响应较弱。但 RDA 排序图中仍有较多种类位于原点附近, 表明这些种类对已有环境因素响应均较低, 即现有的环境因素不能很好地解释其分布情况。这可能与 RDA 未能解释的其他生态因子有关, 如生活空间^[24]、底质类型^[32]、与岛礁的距离、捕食者、污染物等, 仍有待进一步的研究。

参考文献:

[1] 董丽晶, 张志丹. 浙江省乐清湾地区海涂演变动力机

- 制研究[J]. 国土与自然资源研究, 2004, 4: 72-74.
DONG Lijing, ZHANG Zhidan. Study on evolutive dynamic mechanism on coastal bottomland of Yueqing Bay Zhejiang Province[J]. Territory & Natural Resources Study, 2004, 4: 72-74.
- [2] ALBAYRAK S, BALKIS H, ZENETOS A, et al. Ecological quality status of coastal benthic ecosystems in the Sea of Marmara[J]. Marine Pollution Bulletin, 2006, 52(7): 790-799.
- [3] HALPERN B S, LONGO C, HARDY D, et al. An index to assess the health and benefits of the global ocean[J]. Nature, 2012, 488(7413): 615-620.
- [4] 吴涛, 赵冬至, 蒋国俊, 等. 流域河口湿地生态健康与湿地发育关系研究[J]. 生态环境学报, 2012, 21(6): 1057-1062.
WU Tao, ZHAO Dongzhi, JIANG Guojun, et al. The relationship between estuary wetland ecological health and river geographical development[J]. Ecology and Environment Sciences, 2012, 21(6): 1057-1062.
- [5] 解雪峰, 吴涛, 蒋俊国, 等. 乐清湾海洋生态系统服务价值评估[J]. 应用海洋学学报, 2015, 34(4): 496-500.
XIE Xuefeng, WU Tao, JIANG Junguo, et al. Value assessment of marine ecosystem services in Yueqing Bay[J]. Journal of Applied Oceanography, 2015, 34(4): 496-500.
- [6] LEIBOLD M A. The niche concept revisited: Mechanistic models and community context[J]. Ecology, 1995, 76(5): 1371-1382.
- [7] 覃林. 统计生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009.
QIN Lin. Statistical ecology[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2009.
- [8] GRINNEL L. The niche-relationships of the California thrasher[J]. The Auk, 1917, 34(4): 427-433.
- [9] ELTON C S. Animal ecology[M]. London: Sedgwick and Jackson, 1927.
- [10] HUTCHINSON G E. Population studies-animal ecology-demography Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology[M]. New York: The Biological Laboratory, 1957, 22: 415-427.
- [11] 徐晓群, 曾江宁, 陈全震, 等. 浙江三门湾浮游动物优势种空间生态位[J]. 应用生态学报, 2013, 24(3): 818-824.
XU Xiaoqun, ZENG Jiangning, CHEN Quanzhen, et al. Spatial niches of dominant zooplankton species in Sanmen Bay, Zhejiang Province of East China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(3): 818-824.
- [12] 彭松耀, 李新正, 王洪法, 等. 南黄海春季大型底栖动物优势种生态[J]. 生态学报, 2015, 35(6): 1917-1928.
PENG Songyao, LI Xinzheng, WANG Hongfa, et al. Niche analysis of dominant species of macrozoobenthic community in the southern Yellow Sea in spring[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(6): 1917-1928.
- [13] 卢占晖, 周永东, 朱文斌, 等. 浙江沿岸海域虾类优势种空间生态位分析[J]. 海洋学报, 2018, 40(2): 77-86.
LU Zhanhui, ZHOU Yongdong, ZHU Wenbin, et al. Spatial niches analysis of dominant shrimp species in the coastal area of Zhejiang Province[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2018, 40(2): 77-86.
- [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[J]. 生物多样性, 2018, 26(6): 601-610.
XU Kaida, LU Kaner, LU Zhanhui, et al. Ecological niche analysis of dominant shrimp species in the Jiushan Islands Marine Nature Reserve[J]. Biodiversity Science, 2018, 26(6): 601-610.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会 GB/T 12763.6—2007. 海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China GB/T 12763.6—2007, Standardization Administration of China. Specifications for oceanographic survey-Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会 GB17378.4—2007. 海洋监测规范第4部分: 海水分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China GB17378.4—2007. Standardization Administration of China. The specifications for marine monitoring-Part 4: Seawater analysis[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [17] 官文江, 田思泉, 王学昉, 等. CPUE 标准化方法与模型选择的回顾与展望[J]. 中国水产科学, 2014, 21(4): 852-862.
GUAN Wenjiang, TIAN Siqun, WANG Xuefang, et al. A review of methods and model selection for standardizing CPUE[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(4): 852-862.
- [18] PINKAS L, OLIPHANT M S, IVERSON I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. Fish Bull, 1971, 152: 1-105.
- [19] MAGURRAN A E. Ecological diversity and its measurement[M]. New Jersey: Princeton University Press, 1988.
- [20] PIANKA E R. The structure of lizard communities[J]. Annual Review of Ecology & Systematics, 1973, 4(41): 53-74.
- [21] WATHNE J A, HAUG T, LYDERSEN C. Prey preference and niche overlap of ringed seals *Phoca hispida* and harp seals *P. groenlandica* in the Barents Sea[J]. Marine Ecology Progress, 2000, 194: 233-239.

- [22] LEGENDRE P, LEGENDRE L. Numerical ecology[M]. Amsterdam: Elsevier, 1998.
- [23] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
LIU Ruiyu. Checklist of marine biota of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [24] 魏崇德. 浙江动物志 甲壳类[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1991.
WEI Chongde. Zhejiang fauna Crustaceans[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Publishing House, 1991.
- [25] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志: 第六分册[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
Compilation Committee of Chinese Gulf Records. Annals of the Gulf of China: Volume 6[M]. Beijing: China Ocean Press, 1993.
- [26] 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[J]. 应用生态学报, 2019, 30(11): 3911-3920.
ZHANG Linlin, JIANG Rijin, YIN Rui, et al. Spatial niche and differentiation of major nekton species in Yueqing Bay, Zhejiang, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(11): 3911-3920.
- [27] 夏陆军, 陈万东, 郑基, 等. 南麂列岛海洋自然保护区的虾类种类组成和数量分布[J]. 中国水产科学, 2016, 23(3): 648-660.
XIA Lujun, CHEN Wandong, ZHENG Ji, et al. Species composition and quantitative distribution of shrimp in the Nanji Islands marine conservation area[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(3): 648-660.
- [28] 徐兆礼, 沈盎绿, 李新正. 瓯江口海域夏、秋季口足目和十足目虾类分布特征[J]. 中国水产科学, 2009, 16(1): 104-112.
XU Zhaoli, SHEN Anglv, LI Xinzheng. Distribution of Hoplocarida and Decapoda shrimps in Oujiang estuary, East China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(1): 104-112.
- [29] 李显森, 于振海, 孙珊, 等. 长江口及其毗邻海域鱼类群落优势种生态位宽度与重叠[J]. 应用生态学报, 2013, 24(8): 2353-2359.
LI Xiansen, YU Zhenhai, SUN Shan, et al. Ecological niche breadth and niche overlap of dominant species of fish assemblage in Yangtze River estuary and its adjacent waters[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(8): 2353-2359.
- [30] 郭天宇, 许荣满. 北京东灵山地区鼠类体外寄生虫时间生态位的研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2003, 14(1): 30-32.
GUO Tianyu, XU Rongman. Study on time niche among the Ectoparasites of the rodent in Dongling Mountain in Beijing[J]. Chinese Journal of Vector Biology and Control, 2003, 14(1): 30-32.
- [31] 魏有文, 马英, 李海龙, 等. 青海省格尔木地区鼠类空间生态位的研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2013, 24(4): 292-294.
WEI Youwen, MA Ying, LI Hailong, et al. Study on spatial niches of rodents in Geermu area of Qinghai province, China[J]. Chinese Journal of Vector Biology and Control, 2013, 24(4): 292-294.
- [32] 宋海棠, 俞存根, 薛利建, 等. 东海经济虾类[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
SONG Haitang, YU Cungen, XUE Lijian, et al. economic shrimp in the East China Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006.

Community structure and ecological niche analysis of shrimp during autumn in Yueqing Bay

CHEN Wei-feng^{1, 2}, PENG Xin^{1, 2}, QIN Song^{1, 2}, CHEN Xiao³, CHEN Shao-bo^{1, 2, 4}, YE Shen^{1, 2}

(1. Zhejiang Mariculture Research Institute, Wenzhou 325005, China; 2. Zhejiang Key Laboratory of Exploitation and Preservation of Coastal Bioresource, Wenzhou 325005, China; 3. College of Marine Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 4. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Received: Mar. 9, 2022

Key words: Yueqing Bay; shrimp; dominant species; niche; environmental factors

Abstract: To explore the formation and influencing factors of the shrimp community structure in Yueqing Bay, a comprehensive survey of the marine ecosystem was conducted in September 2020. The overlap and differentiation of community structure and niche were analyzed using the relative importance index, niche breadth, niche overlap, and other ecological indicators in combination with nonmetric multidimensional scaling and redundant analysis. The results demonstrated that there were 16 shrimp species belonging to 6 families and 10 genera in the study area during autumn. *Parapenaeopsis hardwickii* and *Solenocera crassicornis* were determined as the dominant species, whereas *Metapenaeus joyneri*, *Exopalaemon carinida*, and *Metapenaeus ensis* were categorized as common species. *Parapenaeopsis hardwickii*, *Solenocera crassicornis*, *Metapenaeus joyneri*, and *Exopalaemon carinicauda* belonged to middle niche species; the rest were narrow niche species. The overlap value between *Lysmata vittata* and *Palaemon pacificus* was the highest; *Acetes chinensis*, *Palaemon graviera*, and *Palaemon tenuidactylus* had lower overlap values with other species. The principal environmental factor that affected the distribution of shrimp in the autumn was salinity, followed by chlorophyll a and temperature. Dissolved oxygen and COD demonstrated limited effect on shrimp distribution. These environmental factors comprehensively elucidated 49.58% of the total variation of shrimp community structure in Yueqing Bay.

(本文编辑: 谭雪静)