

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2019.18343

台州益顽湾海域主要游泳动物生态位与种间相遇机率

梁海¹, 王咏雪², 求锦津¹, 张苗苗¹, 俞松立¹, 韩晓凤¹, 章翊涵¹, 来洪运¹,
蒋宇轩³, 水柏年¹

1. 浙江海洋大学水产学院, 浙江 舟山 316000;
2. 台州市海洋环境监测中心, 浙江 台州 318000;
3. 南海实验学校, 浙江 舟山 316000

摘要: 基于2016年10月和2017年4月在台州益顽湾海域(27.9°N~28.6°N和121.1°E~121.9°E)的渔获物调查数据, 采用功能群结合种间相遇机率(PIE)与生态位的方法, 对主要游泳动物群落特征进行研究。结果显示: 春季与秋季主要游泳动物分别有13种与11种, 多以短距离洄游种或定居种为主, 季节更替率较低; 底栖动物/游泳动物食性功能群(FG4)在两季主要游泳动物中占优势地位且营养级偏低; 春季与秋季主要游泳动物种间相遇机率总和分别为0.66与0.76, 秋季较春季的种间相遇机率高; 春秋两季的生态位宽度差异均较大, 春季广生态位种4种, 中生态位种7种, 秋季广生态位种5种, 中生态位种4种, 窄生态位种两季均为2种; 生态位宽度(B_i)与种间相遇机率(PIE)呈显著正相关; 三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)在两季相遇机率值最高且生态位宽度值最大, 其竞争能力和利用资源的能力最强; 春季与秋季种对间生态位重叠值分别为0.14~0.88与0.21~0.91, 表明两季种对间重叠程度不均匀。综上, 该海域主要游泳动物组成的季节性变化较小, 单一功能群占主导且多为中低营养级物种, 其生态位宽度值与种间相遇机率值却较大, 可能造成了群落数量波动、群落结构与功能稳定性下降。

关键词: 主要游泳动物; 生态位; 种间相遇机率; 台州益顽湾海域

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2019)02-0353-09

台州益顽湾海域海岸曲折, 东临披山渔场, 南接洞头渔场, 受浙闽沿岸流和台湾暖流影响, 渔业资源丰富。近些年, 随着台州益顽湾海域围填海等海洋工程、海岸工程开发、海洋污染及过度捕捞等因素导致海洋生态破坏问题凸显, 游泳动物“三场一通”深受严重干扰, 群落稳定性与健康度下降。至今, 关于台州益顽湾海域的游泳动物群落的研究及其报道罕见。鉴于海洋生物资源生态补偿及海洋生态修复, 以及游泳动物物种多样性保护与渔业资源可持续利用的迫切要求, 游泳动物群落的研究日益成为热点^[1]。冀萌萌等^[2]、任中华等^[3]、纪炜炜^[4]和姜亚洲等^[5]多以生物多样性指数或功能群结合营养级的方法分析游泳动物

群落, 揭示了群落的结构及物种间的营养关系。张国刚等^[6]、孙静等^[7]将种间相遇机率用于植物、鸟类等群落的研究, 李超男等^[8]探索性应用于游泳动物群落研究。胡成业等^[9]、邓小艳等^[10]、董静瑞等^[11]采用生态位结合种间关联性的方法研究游泳动物群落结构, 着重于物种在群落中的生态地位及相互关系。至今, 尚未见以生态位与种间相遇机率结合功能群的方法分析群落结构的研究及报道。

本文采用种间相遇机率、生态位、功能群等指标相融合的方法, 从物种在群落中地位、相互关系及相似营养类群关系角度, 研究台州益顽湾海域主要游泳动物群落特征, 为该海域的渔业资

收稿日期: 2018-10-10; 修订日期: 2018-11-15.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFA0604902); 浙江省一流学科(A类)“水产学科”项目; 浙江省软科学研究计划项目(2015C25018).

作者简介: 梁海(1995-), 男, 硕士, 从事海洋生物与资源. E-mail: 446390850@qq.com

通信作者: 水柏年, 教授, 从事海洋生物资源与生态研究. E-mail: shuibonian@163.com

源生态补偿、修复、保护与管理等应用研究提供基础资料与参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

分别于 2016 年 10 月和 2017 年 4 月在台州益顽湾海域(27.9°N~28.6°N 和 121.1°E~121.9°E)进行底拖网调查, 每季分别设置 16 个站位(图 1)。

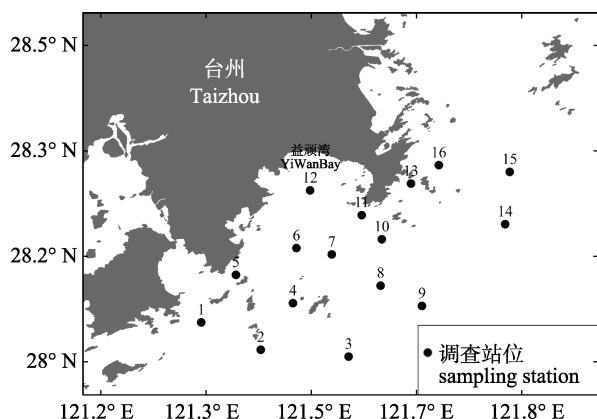


图 1 台州益顽湾海域渔业资源调查站位
Fig. 1 Sampling station of fishery resources in the Yiwan Bay of Taizhou

1.2 研究方法

1.2.1 采样方法 春、秋两季游泳动物调查采用有翼单囊底拖网渔船, 其网具规格为单船型底拖网, 囊网网目尺寸 20 mm, 网口宽度 12 m。根据《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)^[12]进行标准操作, 每一站位的拖曳持续时间约 1 h, 拖速约 3 kn/h。

1.2.2 实验方法 将渔获物低温储存带回实验室, 对其进行物种鉴定及生物学测定等。参考相关资料^[13-17]对游泳动物进行分类鉴定。采用精确度为 1 mm 的量鱼板对游泳动物的体长、全长进行测量, 精确度为 0.1 g 的电子天平测量游泳动物的重量。

1.3 数据处理

1.3.1 相对重要性指数 应用 Pinkas 等^[18]的相对重要性指数(IRI, index of relative importance)对台州益顽湾海域游泳动物优势种进行判定。计算公式如下:

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

式中, N 为某物种尾数占总尾数的百分比; W 为该

物种重量占总重量的百分比; F 为出现站位百分比。根据王雪辉等^[19]对游泳动物 IRI 的划分标准, $IRI \geq 1000$ 的物种为优势种, $100 \leq IRI < 1000$ 为重要种, $10 \leq IRI < 100$ 为常见种, $1 \leq IRI < 10$ 为一般种, $IRI < 1$ 为少有种。本文将 $IRI \geq 100$ 的物种划定为主要游泳动物。

1.3.2 主要游泳动物季节性种类更替率(R)^[20] 如下列公式所示:

$$R = (a + b - 2c) / (a + b - c) \times 100\%$$

式中, a 、 b 分别为两个季节的物种数; c 为两个季节共有的物种数。

1.3.3 功能群划分 功能群依据《浙江海洋鱼类志》^[13]、《浙江动物志》^[14]等研究资料, 同时结合相关文献资料^[4-5, 9, 21]对游泳动物摄食习性进行划分, 可以分成浮游动物食性功能群(FG1)、浮游动物/底栖动物食性功能群(FG2)、底栖动物食性功能群(FG3)、底栖动物/游泳动物食性功能群(FG4)和游泳动物食性功能(FG5)。

1.3.4 种间相遇机率 种间相遇机率原被称为物种多样性指数, 是一种数学统计方法, 常应用于森林群落数量特征分析^[22], 近年来也常被用于游泳动物群落结构分析并能得到满意的结果, 公式如下:

$$P = \sum_{i=1}^S [(N_i / N)(N - N_i) / (N - 1)]$$

式中, S 为游泳动物总种数; N 为所有游泳动物的尾数之和; N_i 为第 i 种的尾数。

1.3.5 生态位宽度与重叠 生态位宽度是指群落中的物种对生境的适应程度、利用资源能力强弱以及多样性程度高低的一项指标^[11, 23]。生态位宽度测定采用 Shannon 指数^[24]:

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

生态位重叠反映各生物类群在利用资源方面的交叉状况^[25]。生态位重叠测定采用 Pianka 指数^[26]:

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

式中, P_{ij} 与 P_{kj} 分别为 i 种和 k 种的个体数占 j 站位总个体数的比例; R 为总站位数; B_i 为生态位宽

度值, $0 \leq B_i \leq R$, B_i 值越大表明该物种生态位宽度越大; O_{ik} 为生态重叠值, $0 \leq O_{ik} \leq 1$, O_{ik} 越大表明两物种间生态位重叠值越大。

2 结果与分析

2.1 主要游泳动物组成

如表 1 所示, 春季优势种有三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 和口虾蛄 (*Oratosquilla oratoria*) 2 种, 重要种有刀鲚 (*Coilia ectenes*)、龙头鱼 (*Harpodon nehereus*) 等 11 种; 秋季优势种有三疣梭子蟹、口虾蛄、龙头鱼和棘头梅童鱼 (*Collichthys lucidus*) 4 种, 重要种有脊尾白虾 (*Exopalaemon carinicauda*)、日本蟳 (*Charybdis japonica*) 等 7 种。春季主要游泳动物中甲壳类 7 种占渔获物总重量的 60.2%, 占总尾数的 74.9%; 鱼类 6 种占渔获物总重量的 19.8%, 占总尾数的 17.0%。秋季主要游泳动物中甲壳类 7 种占渔获物总重量的 56.4%, 占总尾数的 64.7%; 鱼类 4 种占渔获物总重量的 28.9%, 占总尾数的 29.9%。春、秋两季主要游泳动物共出现 15 种, 两季主要游泳动物更替率为 40%。

表 1 主要游泳动物相对重要性指数
Tab. 1 Index of relative importance of major nekton

序号 code	物种名 species	相对重要性指数 index of relative importance	
		春季 spring	秋季 autumn
1	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	9452	5864
2	口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	1279	3757
3	脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	880	775
4	刀鲚 <i>Coilia ectenes</i>	789	
5	龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	750	4020
6	孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	580	
7	日本蟳 <i>Charybdis japonica</i>	562	900
8	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	444	1168
9	红狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	363	
10	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	311	187
11	细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	168	111
12	鲜明鼓虾 <i>Alpheus distinguendus</i>	127	
13	矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	126	326
14	大管鞭虾 <i>Solenocera melantho</i>		340
15	海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>		161

2.2 功能群划分

根据食性将春季主要游泳动物功能群划分为 5 个, 秋季 4 个(表 2)。FG1 仅春季刀鲚 1 种; FG2 春、秋季均为 2 种, 分别是口虾蛄和棘头梅童鱼; FG3 春季 6 种, 包括葛氏长臂虾、细巧仿对虾等, 秋季 4 种, 包括大管鞭虾、脊尾白虾等; FG4 春、秋季均为 3 种, 依次是三疣梭子蟹、日本蟳和矛尾虾虎鱼; FG5 春季仅龙头鱼 1 种, 秋季 2 种, 分别是龙头鱼和海鳗。其中, FG4 为绝对优势功能群, 其尾数和生物量在春季占比分别达到 51.8% 和 51.2%, 秋季占比分别达到 31.1% 和 39.2%。营养级数据参考胡成业等^[1]、纪炜炜^[4]、李超男^[27]文献, 主要游泳动物的营养级在 3.0~4.2 之间, 多以次级消费者(营养级在 3.0~3.5)和中级消费者(营养级在 3.5~4.0)为主, 营养级呈现出中低级现象。

表 2 主要游泳动物功能群划分及营养级
Tab. 2 Functional groups and trophic levels of major nekton

物种名 species	功能群 functional group	营养级 trophic level	春季 spring	秋季 autumn
刀鲚 <i>Coilia ectenes</i>	FG1	3.4	+	
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	FG2	3.0	+	+
棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	FG2	3.5	+	+
大管鞭虾 <i>Solenocera melantho</i>	FG3	—		+
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	FG3	—	+	+
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	FG3	3.1	+	+
红狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	FG3	3.9	+	
孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	FG3	3.6	+	
脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	FG3	—	+	+
鲜明鼓虾 <i>Alpheus distinguendus</i>	FG3	3.3	+	
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	FG4	3.2	+	+
日本蟳 <i>Charybdis japonica</i>	FG4	3.9	+	+
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	FG4	3.3	+	+
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	FG5	4.2	+	+
海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	FG5	4.2		+

注: FG1, 浮游动物食性功能群; FG2, 浮游动物/底栖动物食性功能群; FG3, 底栖动物食性功能群; FG4, 底栖动物/游泳动物食性功能群; FG5, 游泳动物食性功能群。“—”为未查到的营养级, “+”代表季节。
Note: FG1, Planktivores; FG2, Planktivores/Benthivores; FG3, Benthivores; FG4, Benthivores/Piscivores; FG5, Piscivores. “—” indicates the unchecked trophic level; “+” represents season.

2.3 种间相遇机率

春季主要游泳动物种间相遇机率总和为 0.66, 表明群落内物种之间关联度较高; 秋季主要游泳动物种间相遇机率总和为 0.76, 群落内物种之间的联系更紧密。如表 3 所示, 春季种间相遇机率最高的物种是三疣梭子蟹(0.249), 其尾数占总尾数的 48.7%, 出现的站位占总站位数的 100%, 每个站位三疣梭子蟹的尾数均占该站位总尾数的 19.4%以上; 种间相遇机率最低的物种是矛尾虾虎鱼(0.01), 其尾数占总尾数的 1.1%, 出现的站位占总站位数的 68.8%, 所在每个站位矛尾虾虎鱼的尾数均占该站位总尾数的 2.4%以下。秋季种间相遇机率最高的物种同样为三疣梭子蟹(0.193), 其尾数占总尾数的 26.0%, 出现的站位占总站位数的 100%, 每个站位三疣梭子蟹的尾数均占该站位总尾数的 10.0%以上; 最低的物种是海鳗(0.02), 其尾数占总尾数的 0.2%, 出现的站位占总站位数的 50%, 海鳗所在每个站位的尾数均占该站位总尾数的 1.1%以下。

2.4 生态位宽度

根据 B_i 值大小, 分为广生态位种($B_i \geq 2.0$)、中生态位种($2.0 > B_i \geq 1.0$)和窄生态位种($1.0 > B_i > 0$)。

春、秋季主要游泳动物生态位宽度值差异较大(表 3), 春季变化范围在 0.7~5.3 之间。春季广生态位种包括三疣梭子蟹(5.3)、口虾蛄(2.6)等 4 种, 中生态位种包括孔虾虎鱼(1.8)、红狼牙虾虎鱼(1.6)等 7 种, 窄生态位种为鲜明鼓虾(0.8)和矛尾虾虎鱼(0.7)。秋季变化范围在 0.2~5.1 之间, 秋季广生态位种包括三疣梭子蟹(5.1)、龙头鱼(4.7)等 5 种, 中生态位种包括日本鲟(1.6)、矛尾虾虎鱼(1.4)等 4 种, 窄生态位种为细巧仿对虾(0.7)和海鳗(0.2)。两个季节生态位宽度值与种间相遇机率值基本呈相同变化趋势, 即对两者进行回归分析, 线性方程拟合的效果最佳, 春季 R^2 为 0.9574, 秋季 R^2 为 0.9656 (图 2)。

2.5 生态位重叠

如表 4 所示, 春季主要游泳动物的生态位重叠值在 0.14~0.88, 鲜明鼓虾和日本鲟的重叠值最高(0.88), 其次是孔虾虎鱼和日本鲟(0.87)。如表 4 所示, 秋季主要游泳动物的生态位重叠值在 0.21~0.91, 脊尾白虾和葛氏长臂虾的重叠值最高(0.91), 其次是矛尾虾虎鱼和脊尾白虾(0.83)。总体而言, 春、秋季主要游泳动物种间生态位重叠程度不均匀, 秋季较春季重叠值总体偏高。

表 3 主要游泳动物种间相遇机率及生态位宽度
Tab. 3 Population encounter incidence and niche breadth of major nekton

物种名 species	种间相遇机率 population encounter incidence		生态位宽度 B_i niche breadth	
	春季 spring	秋季 autumn	春季 spring	秋季 autumn
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	0.249	0.193	5.3	5.1
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	0.089	0.177	2.6	4.7
脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	0.073	0.056	2.5	2.6
刀鲚 <i>Coilia ectenes</i>	0.045		1.5	
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	0.041	0.180	2.1	4.7
孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	0.036		1.8	
大管鞭虾 <i>Solenocera melantha</i>		0.028		1.4
日本鲟 <i>Charybdis japonica</i>	0.019	0.029	1.2	1.6
棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	0.018	0.041	1.2	2.0
红狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	0.027		1.6	
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	0.030	0.019	1.5	1.3
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	0.019	0.013	1.1	0.7
鲜明鼓虾 <i>Alpheus distinguendus</i>	0.012		0.8	
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	0.010	0.020	0.7	1.4
海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>		0.002		0.2
合计 total	0.66	0.76	23.9	25.7

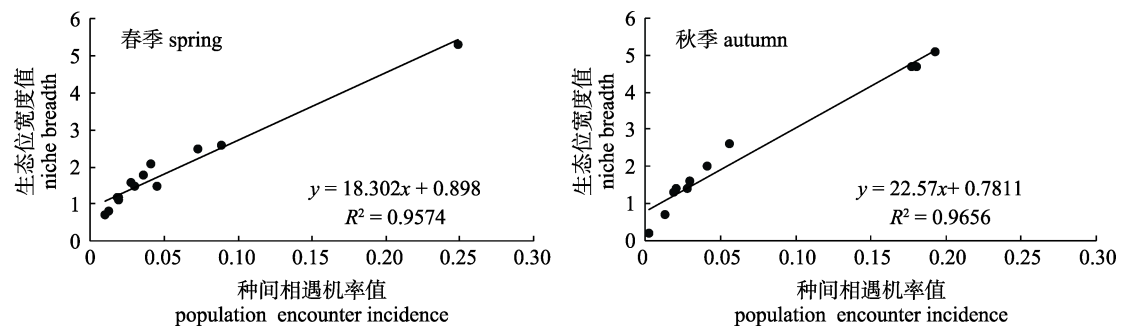


图 2 生态位宽度与种间相遇机率的线性关系
Fig. 2 The relationship between niche breadth and population encounter incidence

表 4 主要游泳动物生态位重叠
Tab. 4 Niche overlap of major nekton

序号 code	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	序号 code	1	2	3	5	7	8	10	11	13	14
2	0.56												2	0.67									
3	0.55	0.41											3	0.70	0.63								
4	0.46	0.24	0.45										5	0.68	0.66	0.50							
5	0.64	0.33	0.17	0.25									7	0.39	0.48	0.61	0.38						
6	0.57	0.30	0.67	0.57	0.15								8	0.68	0.70	0.58	0.74	0.59					
7	0.53	0.30	0.39	0.29	0.30	0.87							10	0.57	0.52	0.91	0.48	0.72	0.49				
8	0.61	0.59	0.64	0.28	0.49	0.48	0.44						11	0.64	0.43	0.45	0.47	0.37	0.53	0.45			
9	0.57	0.24	0.54	0.22	0.53	0.54	0.56	0.80					13	0.68	0.69	0.83	0.61	0.63	0.75	0.76	0.64		
10	0.50	0.36	0.67	0.58	0.28	0.72	0.63	0.53	0.46				14	0.70	0.81	0.46	0.71	0.37	0.64	0.44	0.44	0.51	
11	0.65	0.44	0.43	0.43	0.28	0.60	0.58	0.52	0.43	0.78			15	0.48	0.40	0.23	0.34	0.39	0.54	0.23	0.21	0.30	0.63
12	0.66	0.36	0.26	0.39	0.49	0.74	0.88	0.45	0.50	0.61	0.68												
13	0.64	0.29	0.70	0.38	0.14	0.85	0.74	0.64	0.65	0.72	0.65	0.63											

注: 种类序号所代表的种类见表 1; 左表为春季, 右表为秋季。
Note: The species referred by the code are shown in table 1; the left table represents spring; the right table represents autumn.

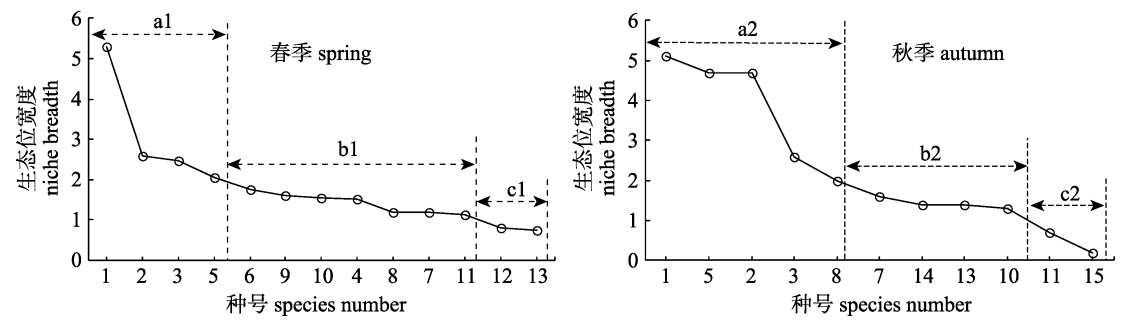


图 3 主要游泳动物生态位宽度分布
Fig. 3 Distribution of the niche breadth of major nekton

3 讨论

3.1 主要游泳动物种类组成特征

台州益顽湾海域主要游泳动物中甲壳类尾数、重量和种类的百分比均较高, 鱼类次之, 季节

更替率较低。这可能是春、秋两季长距离洄游种类少, 以定居性或短距离洄游性种类为主, 主要游泳动物组成季节性变化较小所致。龙头鱼春季为重要种, 秋季为优势种, 这可能与龙头鱼属短距离洄游种类, 春、秋季在调查海域广泛分布有

关, 龙头鱼春季在椒江河口及近岸产卵生育, 秋季随台湾暖流退缩逐渐游至益顽湾及外侧海域。这与齐海明等^[28]的研究结果相一致。另外, 调查海域夏季为休渔期^[29], 龙头鱼在伏季快速生长而成为补充群体, 因而春季生殖且生物量大、分布广的龙头鱼幼体到秋季即成为了优势种。在两个季度的调查中, 春季未捕获大管鞭虾, 而秋季为重要种, 这可能与大管鞭虾属高温高盐性虾类有关, 其春季随台湾暖流向北和西北方向移动, 密布在舟山外侧渔场和鱼山渔场^[16], 而秋季处于繁殖高峰期, 在高盐水区近低盐水一侧产卵生殖; 还可能与大管鞭虾秋季达到成熟期, 形成捕捞汛期, 数量较多有关。春季主要游泳动物种类多于秋季, 这可能与春季大部分游泳动物进入近岸浅水海域产卵生殖有关, 如孔虾虎鱼、刀鲚等。

3.2 功能群及营养级

功能群是简化海洋生态系统食物网, 探索其物质、能量传递途径的重要手段^[30-31]。主要游泳动物群落中, FG4 (底栖动物/游泳动物食性功能群) 在两个季节中占据优势地位。本研究结果与张波等^[32]研究关于春季东海近海功能群以 FG1 (浮游动物食性功能群) 为主的结果存在差异。这可能是由于底栖动物/游泳动物食性的三疣梭子蟹在群落中发挥重要作用, 削弱了滤食浮游动物物种间的竞争, 导致 FG1 (浮游动物食性功能群) 资源衰退, 也可能与该食性的主要游泳动物种类在台州益顽湾海域分布较少, 仅春季出现刀鲚一种有关。结合营养级分析可知: 春、秋季主要游泳动物中顶级消费者和 FG5 (游泳动物食性功能群) 数量稀少且种类单一, 在群落中不占优势, 对低营养级物种数量的有效控制能力较低, 这可能会使低营养级物种数量大增, 如三疣梭子蟹和口虾蛄成为功能群和消费者的核心, 导致春、秋季尾数百分比分别高达 58.7% 和 48.9%。此外, 低营养级物种易产生强烈的波动性, 如棘头梅童鱼等, 在适宜环境条件下数量增长快, 反之则慢。这与胡成业等^[9]、李凡等^[33]的研究结果一致。进一步证实低营养级种类占主导地位时, 可能会造成物种数量波动及群落稳定性下降。

3.3 种间相遇机率与相对重要性指数

种间相遇机率能够客观反映生态系统内群落结构的多样性、物种的组成及复杂程度, 也是衡量群落内部关系密切程度的指标^[8]。分析结果显示, 春、秋季优势种的种间相遇机率值明显高于重要种, 这可能是优势种尾数较多、分布站位较广且较均匀所致。

种间相遇机率和相对重要性指数并不一定存在正相关性, 即相对重要性指数较高的 PIE 值并不一定比相对重要性指数低的 PIE 值大, 如秋季棘头梅童鱼 IRI 值高达 1168, 种间相遇机率值仅为 0.041, 而脊尾白虾 IRI 值为 775, 种间相遇机率值达到 0.056。这可能是相对重要性指数与种间相遇机率对物种生态测定的指标、对群落特征指示的侧重点及其表征度不同所致, 即种间相遇机率注重物种尾数与其站位的分布及分布均匀度, 而相对重要性指数更注重物种尾数、生物量及出现站位的频率, 生物量对其的影响不容忽视。春季三疣梭子蟹的种间相遇机率远远高于其他物种, 这可能是三疣梭子蟹在该海域中天敌较少, 适应环境条件能力较强而产生的较强排他性, 从而得以大量繁殖所致。秋季种间相遇机率最低的是海鳗, 这可能与近些年海鳗的资源衰退有关。秋季的种间相遇机率明显高于春季, 这可能是春季的优势种三疣梭子蟹占绝对主导地位, 导致其他物种的相遇机率值偏低, 而秋季则不存在绝对优势种, 因而物种间相遇机率值差距总体较小, 另外也有可能是秋季每个站位渔获物个体数较春季多且分布均匀等多种因素所致。

3.4 生态位宽度与种间相遇机率相关性

关于生态位宽度进行划分至今尚未有统一标准, 本文基于物种的个体数、站位分布及分布均匀度特征进行划分。春、秋两季每种主要游泳动物出现的站位数占总站位数的百分比均高于 75%, 尾数占总尾数百分比 4.2% 以上且分布均匀的为广生态位种; 每一物种出现的站位数占总站位数的百分比均达 68.80%, 尾数占总尾数百分比 1.8% 以上的为中生态位种; 每一物种出现的站位数占总站位数的百分比总体达 50%, 尾数占总尾数百分比均低于 1.7%, 在每个站位出现的数量均

较少的为窄生态位种。基于主要游泳动物的尾数百分比、站位分布百分比及分布均匀程度,生态位宽度呈现较显著的分段现象,将春、秋季主要游泳动物的生态位各分为三段,即春季 a1、b1、c1 三段,秋季 a2、b2、c2 三段(图 4)。物种的生态位宽度值越大,其数量越多、分布范围越广且越均匀。这与胡知渊等^[34]的研究结论相一致。

回归分析得出:春、秋两季生态位宽度与种间相遇机率存在正相关关系,表明种间相遇机率值越高的物种,生态位宽度值越大,反之越小。这可能是二者都注重物种尾数与其出现站位的百分比及分布均匀度,对生态特征的表达拥有相近的角度。三疣梭子蟹不仅在春、秋两季是占据着主导功能群的优势种,且其种间相遇机率值和生态位宽度值都高于其他物种,说明其利用资源和竞争能力最强,这导致三疣梭子蟹数量大增。这可能是早些年重要经济鱼类尤其是三疣梭子蟹的天敌长期处于衰退状态,以及近些年浙江省花巨资开展的三疣梭子蟹大规模增殖放流措施所致。秋季物种间的种间相遇机率值和生态位宽度值差距总体较春季小,这可能是部分物种如龙头鱼、棘头梅童鱼等,在秋季生长成熟,形成渔期,与三疣梭子蟹形成一定的竞争所致。

3.5 生态位重叠与生态位宽度的关系

生态位重叠表示物种间对资源利用的相似性,另外也与物种间分布环境位点的重合情况有紧密关联^[34]。结合生态位宽度分析,认为生态位宽度窄的物种利用资源和竞争的能力弱,因此与其他游泳动物的生态位重叠值就较低,反之则较高。但本研究结果表明生态位宽度值与生态位重叠值不一定存在绝对的正相关,即生态重叠值最高的种对,并不一定是广生态位种。例如,春季日本鲷和鲜明鼓虾的生态位重叠值最高(0.88),但都为中生态位种,可能是二者具有捕食关系或站位重合度高所致;秋季脊尾白虾和葛氏长臂虾的重叠值最高(0.91),前者为广生态位种,但后者为中生态位种,这可能与二者都为底栖动物食性功能群(FG4),且都为中级消费者,资源利用的相似程度高有关。另外,秋季广生态位种三疣梭子蟹、脊尾白虾、龙头鱼、口虾蛄与窄生态位种矛尾虾虎

鱼相互之间的生态位重叠值较大,均大于 0.5,这可能是调查海域受浙闽沿岸流影响,温度、盐度等环境条件适于其栖息之故。

参考文献:

- [1] Hu C Y, Xu H, Shui B N, et al. Community structure and biodiversity of nekton near Oufei Beach of Wenzhou[J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(3): 7-15. [胡成业, 徐衡, 水柏年, 等. 温州瓯飞滩邻近海域春季游泳动物群落结构及多样性[J]. 南方水产科学, 2015, 11(3): 7-15.]
- [2] Ji M M, Tian K, Hu C Y, et al. Species composition and community diversity of nekton during spring and autumn in Sanmen Bay[J]. Journal of Hydroecology, 2016, 37(2): 42-48. [冀萌萌, 田阔, 胡成业, 等. 三门湾春、秋季游泳动物群落组成结构及物种多样性研究[J]. 水生态学杂志, 2016, 37(2): 42-48.]
- [3] Ren Z H, Li F, Wei J L, et al. Autumn species composition and community diversity of nekton in the eastern Bohai Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(17): 5537-5547. [任中华, 李凡, 魏佳丽, 等. 渤海东部海域秋季底层游泳动物种类组成及群落多样性[J]. 生态学报, 2016, 36(17): 5537-5547.]
- [4] Ji W W. Ecological studies on the food web structure and trophic relationship of Northern and Central East China Sea using stable carbon and nitrogen isotopes[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2011. [纪炜炜. 东海中北部主要游泳动物食物网结构和营养关系初步研究: 基于稳定同位素[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2011.]
- [5] Jiang Y Z, Lin N, Yuan X W, et al. Functional group composition and functional diversity of nekton community in the Xiangshan Bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2014, 45(1): 108-114. [姜亚洲, 林楠, 袁兴伟, 等. 象山港游泳动物群落功能群组成与功能群多样性[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(1): 108-114.]
- [6] Zhang G G, Liu D P, Jiang H X, et al. The current status of waterbirds after avian influenza outbreak at Qinghai Lake, China[J]. Chinese Journal of Zoology, 2008, 43(2): 51-56. [张国刚, 刘冬平, 江红星, 等. 禽流感发生后青海湖水鸟的种群现状[J]. 动物学杂志, 2008, 43(2): 51-56.]
- [7] Sun J, Wang J F, Gu L, et al. Determine and analysis of the meeting rate of different plant species (PIE) and relationship between species in the Chengdu plain[J]. Sichuan Caoyuan, 2006(2): 25-29. [孙静, 王晋峰, 顾磊, 等. 成都平原区植物群落种间相遇机率 PIE 与种间联结测定分析[J]. 四川草原, 2006(2): 25-29.]
- [8] Li C N, Shui B N, Shui Y Y, et al. Community structure of major nekton near Oufei Beach, Wenzhou[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(6): 1332-1341. [李超男,

- 水柏年, 水玉跃, 等. 温州瓯飞滩邻近海域主要游泳动物群落结构[J]. 中国水产科学, 2017, 24(6): 1332-1341.]
- [9] 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[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(10): 3195-3201. [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[J]. 应用生态学报, 2015, 26(10): 3195-3201.]
- [10] Deng X Y, Liu J G, Guo P J, et al. Niche and interspecific association of major nekton in Xiao Yangshan adjacent waters[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2018, 40(1): 96-105. [邓小艳, 刘建国, 郭朋军, 等. 小洋山邻近海域主要游泳动物生态位及种间联结性[J]. 海洋学报, 2018, 40(1): 96-105.]
- [11] 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[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(5): 1699-1706. [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[J]. 应用生态学报, 2017, 28(5): 1699-1706.]
- [12] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763.6-2007, Specifications for Oceanographic Survey. Part 6: Marine Biological Survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. [国家海洋局第三海洋研究所. 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.]
- [13] Zhao S L, Xu H X, Zhong J S, et al. Zhejiang Marine Ichthyology[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2016. [赵盛龙, 徐汉祥, 钟俊生, 等. 浙江海洋鱼类志[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2016.]
- [14] The Editor Committee of Zhejiang Zoography. Zhejiang Zoography[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1990. [浙江动物志编辑委员会. 浙江动物志[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990.]
- [15] Chen D G, Zhang M Z. Chinese Marine Fish[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2015. [陈大刚, 张美昭. 中国海洋鱼类[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2015.]
- [16] Song H T, Yu C G, Xue L J, et al. The East China Sea Economics Shrimps and Crabs[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006. [宋海棠, 俞存根, 薛利剑, 等. 东海经济虾蟹类[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.]
- [17] Zhu Y D, Zhang C L, Cheng Q T, et al. The East China Sea Ichthyology[M]. Beijing: Science Press, 1962. [朱元鼎, 张春霖, 成庆泰, 等. 东海鱼类志[M]. 北京: 科学出版社, 1962.]
- [18] Pinkas L, Olipant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefintuna, and bonito in California waters[J]. Fish Bulletin, 1971, 152: 5-10.
- [19] Wang X H, Du F Y, Que Y S, et al. Variations of fish species diversity, faunal assemblage, and abundances in Daya Bay in 1980-2007[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(9): 2403-2410. [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[J]. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2403-2410.]
- [20] Du F Y, Wang X H, Jia X P, et al. Seasonal succession of zooplankton species composition and dominant species in the Daya Bay, northern South China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(8): 1213-1219. [杜飞雁, 王雪辉, 贾晓平, 等. 大亚湾海域浮游动物种类组成和优势种的季节变化[J]. 水产学报, 2013, 37(8): 1213-1219.]
- [21] Li F, Xu B Q, Ma Y Q, et al. Seasonal changes of functional guilds of fish community in Laizhou Bay, East China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(7): 1736-1745. [李凡, 徐炳庆, 马元庆, 等. 莱州湾鱼类群落同功能种团的季节变化[J]. 生态学报, 2014, 34(7): 1736-1745.]
- [22] Wang B S. Phytocoenology[M]. Beijing: Higher Education Press, 1988: 41-43. [王伯荪. 植物群落学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1988: 41-43.]
- [23] Dolédec S, Chessel D, Gimaret-Carpentier C. Niche separation in community analysis: A new method[J]. Ecology, 2000, 81(10): 2914-2927.
- [24] Grinnell J. The niche-relationship of the California thrasher[J]. The Auk, 1917, 34(4): 427-433.
- [25] Liu X M, Chen H Y, Wu N, et al. Study on insect community niche under different desertification controlling approaches in Tengger desert ecosystem[J]. Journal of Desert Research, 2002, 22(6): 566-570. [刘新民, 陈海燕, 乌宁, 等. 腾格里沙漠生态系统不同固沙方式下昆虫群落的生态位分异研究[J]. 中国沙漠, 2002, 22(6): 566-570.]
- [26] Elton C S. Animal Ecology[M]. London: Sedgwick & Jackson, 1927.
- [27] Li C N. Community structure and biodiversity of nekton in Wenzhou Bay[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2017. [李超男. 温州湾游泳动物群落结构及多样性研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2017.]
- [28] Qi H M, Xu Z L, Chen J J. Analysis of temporal-spatial distribution of fish resources in the Taizhou Bay in spring and autumn[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(9): 1351-1359. [齐海明, 徐兆礼, 陈佳杰. 春秋季台州湾海域鱼类资源的时空分布特征研究[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1351-1359.]
- [29] Lin L S, Cheng J H. Effects of the prolonged summer closed fishing period on fisheries in East China Sea[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2009, 24(2): 12-16. [林龙山, 程家骅. 延长东海区伏季休渔期的渔业效果分析[J]. 大连水产学院学报, 2009, 24(2): 12-16.]

- [30] Zhang Y Z, Li F Z, Liu X Y, et al. Food web of fishes in Dongshan Bay, Fujian[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1994, 13(1): 52-61. [张雅芝, 李福振, 刘向阳, 等. 东山湾鱼类食物网研究[J]. 台湾海峡, 1994, 13(1): 52-61.]
- [31] Xu S S, Song J M, Duan L Q, et al. Structural changes of major fishery resources in the Bohai Sea[J]. Marine Sciences, 2010, 34(6): 59-65. [许思思, 宋金明, 段丽琴, 等. 渤海主要渔业资源结构的演变分析[J]. 海洋科学, 2010, 34(6): 59-65.]
- [32] Zhang B, Tang Q S, Jin X S. Functional groups of fish assemblage and their major species at high trophic level in the East China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(6): 939-949. [张波, 唐启升, 金显仕. 东海高营养层次鱼类功能群及其主要种类[J]. 中国水产科学, 2007, 14(6): 939-949.]
- [33] Li F, Zhang H J, Lü Z B, et al. Species composition and community diversity of nekton in Laizhou Bay, China[J]. Biodiversity Science, 2013, 21(5): 537-546. [李凡, 张焕君, 吕振波, 等. 莱州湾游泳动物群落种类组成及多样性[J]. 生物多样性, 2013, 21(5): 537-546.]
- [34] Hu Z Y, Bao Y X, Li H H, et al. Macrobenthic community and niche analysis of creeks during autumn in diked tidal flat[J]. Acta Zoologica Sinica, 2006, 52(4): 800-809. [胡知渊, 鲍毅新, 李欢欢, 等. 围垦滩涂潮沟秋季大型底栖动物群落和生态位分析[J]. 动物学报, 2006, 52(4): 800-809.]

Niche and PIE of major nekton in Yiwan Bay of Taizhou

LIANG Hai¹, WANG Yongxue², QIU Jinjin¹, ZHANG Miaomiao¹, YU Songli¹, HAN Xiaofeng¹, ZHANG Yihan¹, LAI Hongyun¹, JIANG Yuxuan³, SHUI Bonian¹

1. School of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China;

2. Taizhou Bureau of Oceanology and Fishery, Taizhou 318000, China;

3. Nanhai Experimental School, Zhoushan 316000, China

Abstract: This study aimed to investigate the community characteristics of major nekton based on the catch survey data from Yiwan Bay of Taizhou (27.9°N–28.6°N and 121.1°E–121.9°E) in October 2016 and April 2017, through analysis of functional groups along with the niche of and probability of interspecific encounter (PIE) between species. The results showed that there were 13 and 11 species of major nekton in spring and autumn, respectively, most of which were the short-distance migratory species or settler species, with low seasonal turnover rates. In addition, the benthivores/piscivores feeding functional group (FG4) was dominant among the major nekton in spring and autumn, with low trophic levels. Additionally, the total PIE between the major nekton in spring and autumn were 0.66 and 0.76, respectively, and that in autumn was higher than that in spring. There were significant differences in the niche breadth, both in spring and autumn. Specifically, there were four broad niche species, seven meso niche species, and two narrow niche species in spring; conversely, there were five broad niche species, four meso niche species, and two narrow niche species in autumn. In addition, the niche breadth (B_i) was positively correlated with PIE; the portunid (*Portunus trituberculatus*) was associated with the highest PIE and maximum niche breadth in both seasons, along with the strongest abilities of competition and resource utilization. Moreover, the interspecies niche overlap values in spring and autumn were 0.14–0.88 and 0.21–0.91, respectively, indicating uneven degrees of interspecies overlap in the two seasons. In summary, small seasonal variation was observed in the composition of major nekton in the studied sea area, and a single functional group had taken the dominant place, most of which belonged to the low and middle trophic species, with a large niche breadth and PIE. Thus, this might result in the fluctuations in community numbers, as well as a decline in the structure and functional stability of the communities.

Key words: major nekton; niche; probability of interspecific encounter; Yiwan Bay of Taizhou

Corresponding author: SHUI Bonian. E-mail: shuibonian@163.com