

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.17123

温州瓯飞滩邻近海域主要游泳动物群落结构

李超男¹, 水柏年¹, 水玉跃², 求锦津¹, 张苗苗¹, 田嘉琦¹, 聂振林¹, 田阔¹

1. 浙江海洋大学 水产学院, 浙江 舟山, 316000;

2. 舟山市海洋与渔业局, 浙江 舟山, 316000

摘要: 基于 2013 年春季(5 月)在温州瓯飞滩邻近海域进行的渔业资源调查数据, 通过种间相遇机率(PIE)、方差比率法(VR)、卡方检验(χ^2)、联结系数(AC)、共同出现百分率(PC)、点相关系数(Φ)、Ochiai 指数、功能群划分和营养级构成等方法, 对主要游泳动物群落物种间的相互关系进行综合分析。结果表明: 总体种间相遇机率为 0.65, 六丝钝尾虾虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)与其他种相遇机率最高(0.244), 而凤鲚(*Coilia mystus*)最低(0.001)。种对为六丝钝尾虾虎鱼和细螯虾(*Leptochela gracilis*)相遇机率最大(0.305), 凤鲚与中华小沙丁鱼(*Sardinella nymphaea*)相遇机率最小(0.003)。主要游泳动物物种间总体上呈显著正相关, 绝大多数种对表现为弱联结性或无联结性, 说明主要种群具有相对独立分布的特性。按食性类型可把主要游泳动物划分成 5 个功能群, 主导功能群为杂食者, 植食者功能群无物种分布。主要游泳动物占据第二、三、四级营养级。该海域生态系统结构比较成熟, 整体群落结构稳定, 但主要游泳动物数量及种类资源现状不乐观。

关键词: 游泳动物; 种间相遇机率; 种间联结; 功能群; 瓯飞滩

中图分类号: S93

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)06-1332-10

温州瓯飞滩邻近海域北起瓯江河口边界外沿线南至飞云江河口边界外沿线^[1]。因在浙江沿岸流的季节变化等作用下, 渔业资源丰富^[2]。瓯飞滩填海造地等一系列海洋工程建设, 必然会导致该海域游泳动物群落发生变化。以往游泳动物群落结构多样性常用 Shannon-Wiener 多样性指数^[3], Pielou 均匀度指数^[4], Margalef 种类丰富度指数^[5]进行表达。近年来, 功能群和营养级的划分被越来越多用于海洋动物群落研究, 如象山港游泳动物、西门岛大型底栖动物等群落研究^[6-7]。种间联结性指不同物种在数量及空间分布的相互关联程度, 以往被普遍应用于木本植物群落^[8-9]的研究, 近年开始被用于渔业资源的研究^[10]。基于 PIE 指数可揭示群落内不同物种相遇概率, 以指数来描述物种的分布差异, 在国内曾用于分析鸟类、植物、昆虫等种群的研究^[11-13]。

本研究采用种间相遇机率结合种间联结性、功能群和营养级的研究, 旨在揭示温州瓯飞滩邻近海域主要游泳动物不同种群间所占据位置及其功能关系, 并深入研究同一生境中主要游泳动物物种之间相互关系, 以期为渔业资源保护、增殖、开发及管理研究, 以及开展海域生态现状、变化趋势与生态修复等研究提供科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域与数据来源

数据源自 2013 年 5 月在温州瓯飞滩邻近海域(27.48°~28.02°N 和 120.64°~121.2°E)设立的 26 个底拖网调查站位(图 1)。网具规格为囊网网目 20~30 mm 单船型底托网, 每网拖拽时速度在 3.4 kn 左右, 持续时间约 0.5 h, 网口张开宽度根据水深和曳纲长度一般为 14 m。根据《海洋调查规范》

收稿日期: 2017-01-14; 修订日期: 2017-05-02。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41006075); 浙江省软科学研究重点项目(2015C25018); 浙江省重中之重学科“海洋科学学科”项目。

作者简介: 李超男(1991-), 女, 硕士研究生, 专业方向为渔业领域。E-mail: lichaonanzjhydx@163.com

通信作者: 田阔, 博士, 讲师。E-mail: tiankuo0405@hotmail.com

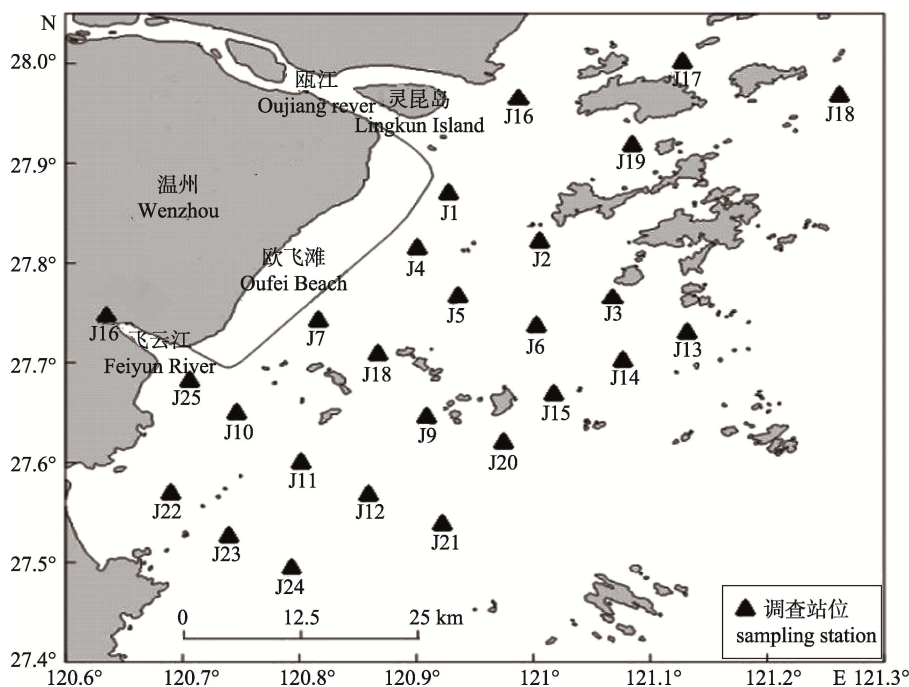


图 1 温州瓯飞滩邻近海域渔业资源调查站位

Fig. 1 Sampling stations of fishery resources near Oufei Beach of Wenzhou

(GB/T 12763.6-2007)^[14]于实验室内对渔获物进行分类鉴定、计数、统计。详细记录原始数据并进行标准化处理。

1.2 研究方法

1.2.1 种间相遇机率 使用 PIE 多样性指数^[15]其计算公式如下:

$$P = \sum_{i=1}^S \left[\left(\frac{N_i}{N} \right) \left(\frac{N - N_i}{N - 1} \right) \right] \quad (1)$$

式中, S 表示主要游泳动物总种数, N 为 S 个物种的全部尾数之和, N_i 为第 i 个种的尾数。

1.2.2 种间联结性测定

物种间总体关联性

Schluter^[16]的方差比率法(VR)对物种间总体关联程度进行检验, 其计算公式如下:

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

$$S_T^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2 \quad (3)$$

$$VR = S_T^2 / \delta_T^2 \quad (4)$$

$$W = VR \cdot N \quad (5)$$

式中, S 表示主要游泳动物总种数; $P_i = n_i / N$, N 表示总站位数, n_i 表示物种 i 出现的站位数。 T_j 表示站

位 j 内主要游泳动物出现的种数; t 表示站位中物种数的平均数($t = T_1 + T_2 + \dots + T_N / N$)。 δ_T^2 表示总站位方差, S_T^2 表示总种数方差。当 $VR = 1$ 时, 物种间独立无关联; 当 $VR > 1$ 时, 物种间存在正相关。当 $VR < 1$ 时, 物种间存在负相关。使用统计量 W 来检验 VR 值偏离自由度 1 的显著程度: 当物种间总体上无显著关联, 则 W 将落入由 χ^2 分布的 90% 置信区间 $\chi_{0.95}^2(N) \leq W \leq \chi_{0.05}^2(N)$ 内。

χ^2 检验

采用 Yates^[17]连续校正法, 进行 χ^2 卡方检验, 其计算公式如下:

$$\chi^2 = N \frac{[|ab - cd| - 1/2N]^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)} \quad (6)$$

式中, N 为总站位数; a 为两个种都出现的站位数; b 、 c 分别为仅其中一个种出现的站位数; d 为 2 个种都不出现的站位数。以 $ad - bc$ 值的正负性来确定物种间关联的正负性, 分为以下 3 种情况: 当 $(ad - bc) > 0$ 时, 则为正相关; 当 $(ad - bc) < 0$ 时, 则为负相关; 当 $(ad - bc) = 0$ 时, 则无关联。由 $\chi_{0.05}^2(1) = 3.841$, $\chi_{0.01}^2(1) = 6.635$ 可知, 若 $\chi^2 < 3.841$, 则种对间联结性不显著; 若 $3.841 \leq \chi^2 \leq 6.635$, 则种对间联结性显著; 若 $\chi^2 > 6.635$, 则种对间联结性极显著。

联结系数(AC)^[18]

其计算公式如下:

当 $ad \geq bc$ 时, 则

$$AC = (ad - bc) / [(a+b)(b+d)] \quad (7)$$

当 $bc > ad$ 且 $d \geq a$ 时, 则

$$AC = (ad - bc) / [(a+b)(a+c)] \quad (8)$$

当 $bc > ad$ 且 $a > d$ 时, 则

$$AC = (ad - bc) / [(b+d)(c+d)] \quad (9)$$

式中, 联结系数 AC 的取值在 $[-1, 1]$ 上。当 AC 值越接近于 1 时, 表示种对间两物种的正联结性程度越强; 当 AC 值越接近于 -1 时, 表示种对间两物种的负联结性程度越强; 当 AC 值为 0 时, 表示种对间两物种完全独立。

共同出现百分率(PC)^[19]

其计算公式如下:

$$PC = a / (a+b+c) \quad (10)$$

式中, PC 的取值范围为 $[0, 1]$ 。当值越接近 1, 说明种对间正联结紧密。

点相关系数 Φ ^[20]

其计算公式如下:

$$\Phi = (ad - bc) / \sqrt{(a+b)(a+c)(c+d)(b+d)} \quad (11)$$

式中, Φ 取值范围为 $[-1, 1]$ 。值为 1 时, 关联性最大。

Ochiai 指数^[21]

其计算公式如下:

$$Q_i = a / (\sqrt{a+b} \sqrt{a+c}) \quad (12)$$

式中, Q_i 取值范围为 $[0, 1]$ 。当 Q_i 值为 0, 表示无关联; 当 Q_i 值等于 1, 则为最大关联。

1.2.3 功能群划分及营养级构成 根据游泳动物食性间关系的研究^[22]划分营养级构成。根据研究主要游泳动物的食性类型, 划分为肉食者、杂食者、植食者、浮游生物食者和碎屑食者 5 个功能群。

2 结果与分析**2.1 优势种**

底拖网调查渔获物中游泳动物共计 87 种, 鱼、虾、蟹、头足类均有分布, 主要游泳动物为 20 种^[23], 其中六丝钝尾虾虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)、银鲳(*Pampus argenteus*)、龙头鱼

(*Harpodon nehereus*) 这 3 种为优势种, 其余 17 种为重要种。

2.2 种间相遇机率

主要游泳动物种间相遇机率总和为 0.65, 相对较高, 群落内物种联系紧密。其中, 六丝钝尾虾虎鱼与其他种相遇机率最高, 为 0.244 (表 1), 在 26 个站位有 23 个站位有分布, 总尾数 28095 尾; 凤鲚种间相遇机率最低, 为 0.001, 在 19 个站位有分布, 然而总尾数仅 69 尾。说明种间相遇机率与站位分布广泛程度与个体数有关。

表 1 主要游泳动物单个种间相遇机率
Tab. 1 Population encounter incidence of single species of major species of nekton

编号 code	种名 species	种间相遇机率 population encounter incidence
1	龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	0.017
2	银鲳 <i>Pampus argenteus</i>	0.029
3	凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	0.001
4	带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>	0.006
5	日本鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	0.035
6	矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	0.019
7	黑姑鱼 <i>Atrobucca nibe</i>	0.049
8	中华小沙丁鱼 <i>Sardinella nymphaea</i>	0.002
9	六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	0.244
10	哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i>	0.045
11	中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>	0.034
12	细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	0.028
13	日本螯 <i>Charybdis japonica</i>	0.005
14	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	0.004
15	狭颚绒螯蟹 <i>Neoeriocheir leptognathus</i>	0.013
16	细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	0.061
17	中国花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>	0.025
18	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	0.003
19	棕腹刺鲃 <i>Gastrophysus spadiceus</i>	0.023
20	拉氏狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus lacepedii</i>	0.009

种对间的相遇机率(表 2), 变化范围介于 0.03~0.31, 差异较大, 因种对间在同一群落相遇的频率不同。六丝钝尾虾虎鱼和细螯虾为相遇机

表 2 主要游泳动物种对间相遇机率
Tab. 2 Population encounter incidence of kind of pair major species of nekton

序号 code	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	0.05																		
3	0.02	0.03																	
4	0.02	0.03	0.01																
5	0.05	0.06	0.04	0.04															
6	0.04	0.05	0.02	0.02	0.05														
7	0.07	0.08	0.05	0.06	0.08	0.07													
8	0.02	0.03	0.00	0.01	0.04	0.02	0.05												
9	0.26	0.27	0.25	0.25	0.28	0.26	0.29	0.25											
10	0.06	0.07	0.05	0.05	0.08	0.06	0.09	0.05	0.29										
11	0.05	0.06	0.04	0.04	0.07	0.05	0.08	0.04	0.28	0.08									
12	0.04	0.06	0.03	0.03	0.06	0.05	0.08	0.03	0.27	0.07	0.06								
13	0.02	0.03	0.01	0.01	0.04	0.02	0.05	0.01	0.25	0.05	0.04	0.03							
14	0.02	0.03	0.01	0.01	0.04	0.02	0.05	0.01	0.25	0.05	0.04	0.03	0.01						
15	0.03	0.04	0.01	0.02	0.05	0.03	0.06	0.01	0.26	0.06	0.05	0.04	0.02	0.02					
16	0.08	0.09	0.06	0.07	0.10	0.08	0.11	0.06	0.31	0.11	0.09	0.09	0.07	0.07	0.07				
17	0.04	0.05	0.03	0.03	0.06	0.04	0.07	0.03	0.27	0.07	0.06	0.05	0.03	0.03	0.04	0.09			
18	0.02	0.03	0.00	0.01	0.04	0.02	0.05	0.00	0.25	0.05	0.04	0.03	0.01	0.01	0.02	0.06	0.03		
19	0.04	0.05	0.02	0.03	0.06	0.04	0.07	0.02	0.27	0.07	0.06	0.05	0.03	0.03	0.04	0.08	0.05	0.03	
20	0.03	0.04	0.01	0.01	0.04	0.03	0.06	0.01	0.25	0.05	0.04	0.04	0.01	0.01	0.02	0.07	0.03	0.01	0.03

注: 种类编号所代表的种类见表 1.
Note: The species referred by the codes are shown in table 1.

率最大值种对, 且二者与其他 18 种的 PIE 值普遍较高。最小值种对为凤鲚与中华小沙丁鱼, 二者与其他 18 种的 PIE 值普遍较低。优势种间的相遇机率普遍较高, 优势种与重要种之间相遇机率相对较低。

2.3 种间关联性

利用方差比率法求出 $VR=3.15$ (表 3), 其值大于 1, 表示主要游泳动物关联性总体上呈正相关。由统计量 W 来检验 VR 值的显著程度, $W=81.90$ 不在置信区间(14.61, 37.65)内, 表示物种间关联性总体上呈显著关联。

基于卡方检验(图 2), 分析得出: 20 种主要游泳动物形成的 190 个种对内关联显著的种对共 114 对; 联结性不显著的种对共 76 对。龙头鱼与其他 16 种游泳动物(除银鲳、狭颚绒螯蟹、棕腹刺鲀 3 种以外的)联结性极显著, 表示同一生境下龙头鱼与对资源的利用在空间上与其他游泳动物的一致程度较高。

由主要游泳动物种间联结系数结果(图 3)可

知, 正相关程度高的种对占 2.1%, 共 4 对; 正联结性程度一般的种对占 27.9%, 共 53 对。负相关程度高的种对占 10%, 共 19 对; 负联结性程度一般的种对占 8.9%, 共 17 对。相互间倾向独立的种对占 47.9%, 共 97 对。其中优势种与重要种之间联结性弱。

由主要游泳动物种间共同出现百分率结果(图 4)可知, 无联结性的种对为 6 对, 仅占 3.2%; 强正联结的种对 17 对; 次强正联结有 60 个种对; 次弱正联结有 72 个种对; 弱正联结 35 对。由此可见主要种之间整体趋于正相关。

由主要游泳动物种间点相关系数(图 5)可知,

表 3 主要游泳动物总体关联性
Tab. 3 General interspecific association test of major nekton species

S_r^2	δ_r^2	VR	W	$\chi^2[\chi^2_{0.95}(25), \chi^2_{0.05}(25)]$	检验结果 inspection result
11.46	3.64	3.15	81.90	(14.61, 37.65)	显著正关联 significantly positive correlations

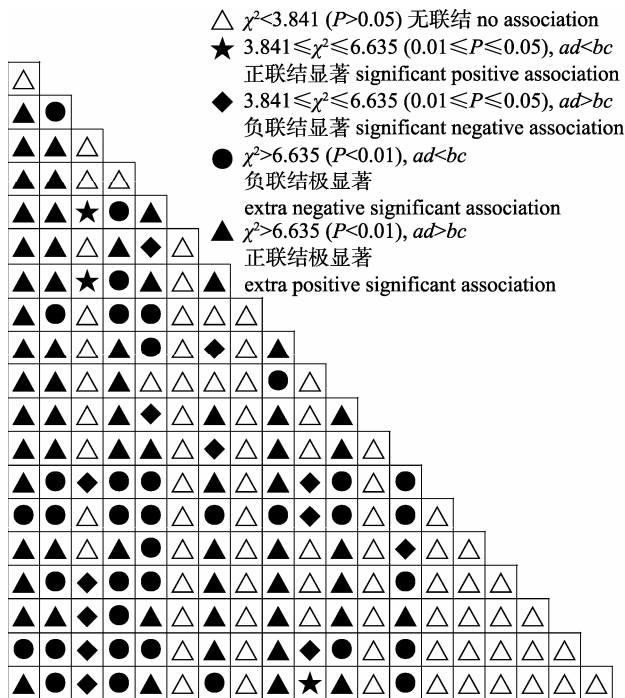


图 2 主要游泳动物种间卡方检验示意图

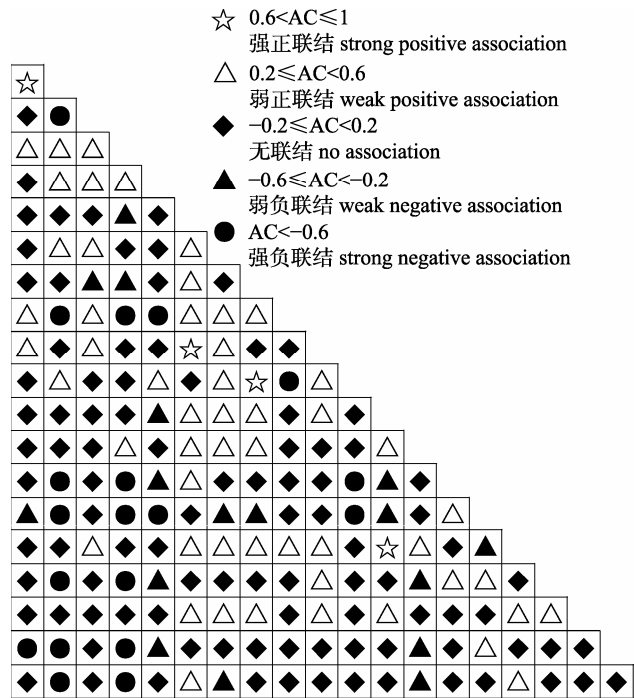
Fig. 2 Half matrix of the association coefficients χ^2 test among the major nekton species

图 3 主要游泳动物种间联结系数示意图

Fig. 3 Half matrix of interspecific association (AC) among the major nekton species

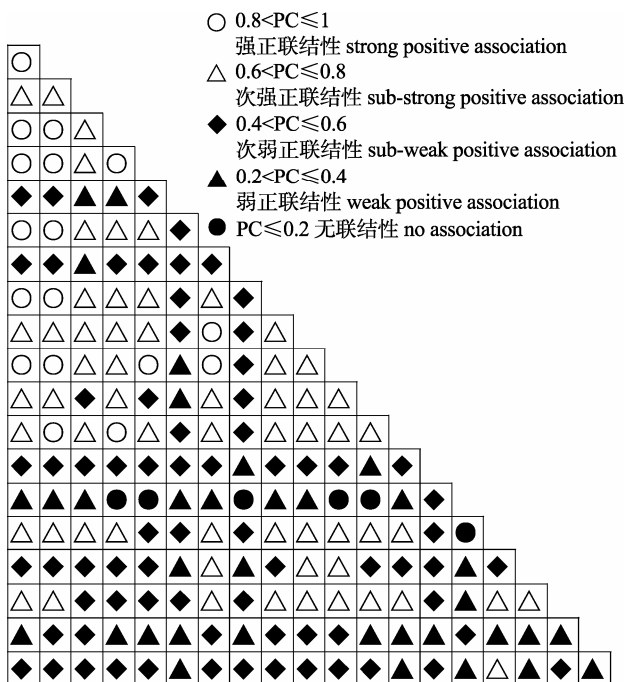


图 4 主要游泳动物种间共同出现百分率示意图

Fig. 4 Half matrix of the percentage co-occurrence (PC) among the major nekton species

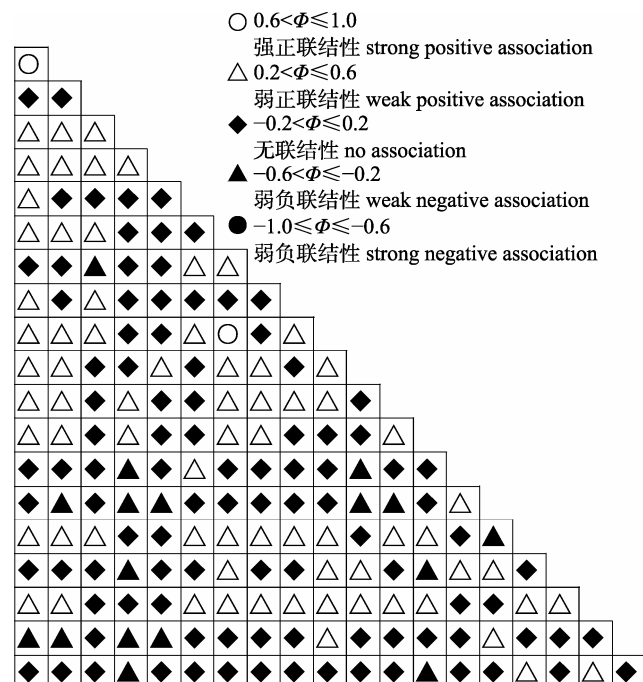


图 5 主要游泳动物种间点相关系数示意图

Fig. 5 Half matrix of the point correlation coefficients (Φ) among the major nekton species

无联结性的种对为 99 对, 占 52.1%; 强正联结的种对 2 对, 为龙头鱼与银鲳、黑姑鱼与哈氏仿对虾;

弱正联结有 72 个种对; 无强负联结种对; 弱负联结 17 对。由此可见主要种之间整体趋于独立。其

判定标准与联结系数一致, 二者结果显示种群间分布具有一定独立性。

由主要游泳动物种间 Ochai 指数(图 6)可知, 没有无关联的种对; 强关联性的有 62 种对; 次强联结有 84 个种对; 次弱关联有 37 个种对; 弱关联性 7 对。

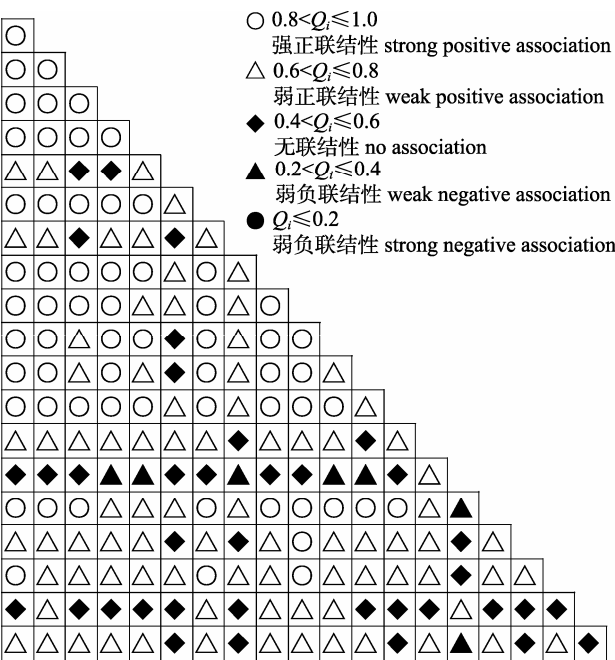


图 6 主要游泳动物种间 Ochai 指数示意图
Fig. 6 Half matrix of the Ochai index (Q_i) among the major nekton species

2.4 功能群划分与营养级

主要游泳动物中(表 4), 属于肉食者功能群的共 6 种, 为黑姑鱼、带鱼等; 杂食者共 8 种, 为六丝钝尾虾虎鱼、银鲳等; 植食者功能群无分布; 浮

游生物食者共 5 种, 为凤鲚、细巧仿对虾等; 碎屑食者仅 1 种, 为中国毛虾。功能群种类数百分比与种类尾数百分比从高到低, 均是 $O>C>PI>D>Ph$ 。主要游泳动物的营养级进行分类构成食物网(图 6), 除去第 1 级别作为饵料分析的植物、浮游生物和碎屑外, 主要游泳动物实际只占据第二、三、四营养级。处于三级的种类数和尾数是最高, 由于仅讨论主要游泳动物群落中的营养级别, 其物质能量流动简单, 因此与生态系统中营养等级的真实情况可能存在区别。

3 讨论

3.1 种间相遇机率与功能群

种间相遇机率可客观反映生态系统内物种组成、群落结构多样性及复杂程度^[24], 如六丝钝尾虾虎鱼 PIE 值虽在主要游泳动物中为最大值(0.244), 站位分布较广泛, 个体尾数最多, 但因其分布不均匀, 即在 23 个分布的站位中, 仅 5 个站位尾数占总尾数比例过半, 相遇机率仍然相对较低。

主要游泳动物种间相遇机率, 可以作为衡量种间关系紧密程度的指标^[25], 反映群落中的物种数量与分布格局^[26]。不同种在同一生态环境下的生活需求, 使种间有复杂的功能关系。凤鲚与中华小沙丁鱼, 种间 PIE 值为最小值 0.003; 从食性看, 前者为浮游生物食者, 后者为杂食者, 二者在群落中分属不同功能群及生态功能。从栖息生境看, 凤鲚为河口性洄游鱼类, 中华小沙丁鱼为近岸海鱼类, 二者对栖息地环境要求不同,

表 4 主要游泳动物功能群及营养级划分
Tab. 4 The major nekton species functional groups and trophic levels divided

功能群 functional groups	物种序号 species code	种类尾数百分比/% category mantissa percentage	种类数百分比/% category number percentage	营养级 trophic level
肉食者 carnivorous groups	4, 6, 7, 17, 19, 20	13.5	30	四级 IV
杂食者 omnivorous groups	1, 2, 8, 9, 13, 14, 15, 16	68.2	40	三级 III
植食者 phytophagous groups	0	0	0	二级 II
浮游生物食者 planktonpha groups groups	3, 5, 10, 12, 18	11.7	25	二级 II
碎屑食者 detritivorous groups	11	6.6	5	二级 II

注: 种类编号所代表的种类见表 1。
Note: The species referred by the codes are shown in table 1.

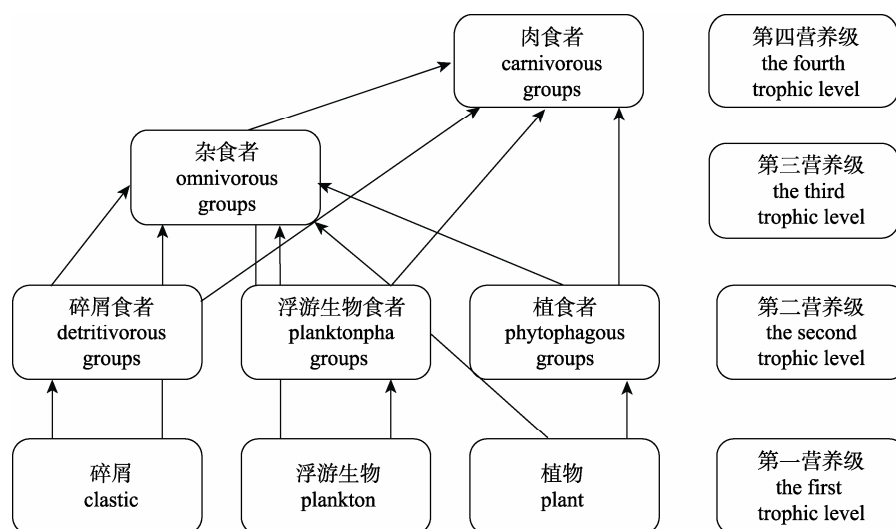


图 7 主要游泳动物营养等级与食物网

Fig. 7 The major nekton species trophic levels and food webs

造成种间竞争程度较弱,其相遇频率较低。六丝钝尾虾虎鱼和细螯虾,种间 PIE 值为最大值 0.305;从食性看,六丝钝尾虾虎鱼以糠虾为主要饵料,二者间可能存在捕食关系,种间相遇频率较高。从栖息生境看,前者为底栖性鱼类,后者为底栖游泳动物,栖息地环境要求相同。主要游泳动物食物、栖息环境等资源利用相近或互补,或者营养关系及生活型等存在差异,使得种对间相遇机率高低与竞争程度呈相同变化趋势。除了物种本身生物学特性外还可能受种对共处区域的资源分布情况与供应的影响^[27]。

主要游泳动物功能群以杂食者、肉食者为主导功能群,未见植食者,植食者比例减少使肉食者比例增加,第三、四营养级共占据的种类数百分比之和高达 84.7%,尾数百分比之和高达 80.9%。影响群落生产力和稳定性的原因之一是功能群的组成及其之间的相互关系^[28]。该海域主要游泳动物多处于高营养级,整体群落结构稳定。但渔获物绝大部分是六丝钝尾虾虎鱼这类小型经济鱼类,少见高营养级捕食者。可见生态系统生物多样性有逐步降低的可能,主要游泳动物物种虽多处于高营养级但种类相对单一,食物网趋于简化,直接影响物质循环,能量流动。造成此现象原因除自身生殖、索饵洄游和饵料需求等自身特性及季节变化影响外,可能是环境污染、捕捞等的人为

干扰所致。对于运动能力强的种类,面临环境干扰胁迫能趋利避害,条件改善后返回。对于运动能力弱的种类,存活率将降低,造成该海域群落结构改变。

3.2 种间联结性

方差比率与卡方检验显示物种间总体上呈显著正关联,表明瓯飞滩海域群落结构和物种组成稳定性较强,有正向演替的趋势,以资源利用和分配不同使竞争关系变化实现演替,生态系统结构稳固。然而种对间联结系数显示的超过半数种对无联结性,卡方检验 190 对中 76 个种对独立,可能与主要游泳动物种对间相遇机率普遍较低的结果有关,种对间关系相对独立。

六丝钝尾虾虎鱼与其他 19 种构成的种对间相遇机率值最高(0.244),由该种与其他游泳动物联结程度,卡方检验显示极显著正联结性较多;AC 值显示无联结性和弱联结性较多;PC 值显示次强、次弱联结性居多; Φ 指数为无联结性较多; Q_i 指数显示强与次强联结性较多;可见单独物种种间相遇机率的高低并不影响种对间联结性的趋向。六丝钝尾虾虎鱼和细螯虾的种对间相遇机率为最大值(0.305),卡方检验得出两者间极显著正相关,联结系数显示两者为弱正联结,PC 值表明两者为次强正联结, Φ 指数为弱正联结, Q_i 指数显示二者强关联性。综上,该种对呈正关联,归根于

二者所处环境相同且可能存在捕食关系。另外,也可得出种对间相遇机率与种间联结性有一定共同趋向。

AC、PC、 Φ 、 Q_i 4个指数均显示龙头鱼与银鲳,种对间呈强正关联,二者均为杂食性,同为中、下层鱼类,是捕食者与被捕食者关系。种间关联系数一定程度上可以反映出种对间对食物、栖息环境等资源的需求关系。由于计算方式的不同以及文章仅讨论了该海域主要游泳动物,使指数所得值之间存在一定差异。本文研究的种间关系是以建立在两两物种的关系上,但生态系统的复杂,群落中的种间关系错综复杂,是建立在全部物种之间的关系上。生态系统中生境上的细微差异,造成物种空间分布的差异。而且物种对环境也有反作用,当群落演替进行中,部分物种改变环境条件对其他种的生存产生正面或者负面的影响,都能造成群落结构的改变。本研究的种间关系仅建立在两两物种的关系上,但生态系统尤其是群落的所有物种间关系错综复杂,如能进一步全面地研究该群落所有物种的种间关系,以及结合与环境的相互影响机制,定将有利于更加深入开展渔业资源增殖、海洋生态修复及保护管理的研究与实施。

参考文献:

- [1] Du P J, Zhang B, Fei Y J. Discussion on characteristics of suspended sediment transport and source in sea area adjacent Wenzhou Oufei Shoal[J]. Journal of Sediment Research, 2012(6): 65–74. [堵盘军, 张蓓, 费岳军. 温州瓯飞浅滩海域悬沙输运特征及其来源探讨[J]. 泥沙研究, 2012(6): 65–74.]
- [2] Sun Y, Zuo J C, Zhang H. Characteristics of sediment concentration variation in the offshore area of Wenzhou Oufei[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2016(3): 28–38. [孙瑜, 左军成, 张慧. 温州瓯飞滩海域悬沙浓度变化特征分析[J]. 海洋湖沼通报, 2016(3): 28–38.]
- [3] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Chicago: University of Illinois Press, 1963.
- [4] Whittaker R H. Evolution and measurement of species diversity[J]. Taxon, 1972, 21(2): 213.
- [5] Wu Z X, Zhang L, Zhang X M, et al. Nekton community structure and its relationship with main environmental variables in lido artificial reef zones of Rongcheng[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(21): 6737–6746. [吴忠鑫, 张磊, 张秀梅, 等. 荣成俚岛人工鱼礁区游泳动物群落特征及其与主要环境因子的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(21): 6737–6746.]
- [6] 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.]
- [7] Liao Y B, Shou L, Zeng J N, et al. Functional groups of marine macrobenthos in relation to environmental factors around the Ximen Island National Marine Special Reserve, Zhejiang[J]. Biodiversity Science, 2013, 21(1): 3–10. [廖一波, 寿鹿, 曾江宁, 等. 浙江西门岛海洋特别保护区大型底栖动物功能群特征及其与环境的关系[J]. 生物多样性, 2013, 21(1): 3–10.]
- [8] Kang B, Liu S R, Cai D X, et al. Species composition and correlation of understorey woody plants in chinese fir plantation in the lower subtropical area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(9): 2173–2179. [康冰, 刘世荣, 蔡道雄, 等. 南亚热带人工杉木林灌木层物种组成及主要木本种间联结性[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2173–2179.]
- [9] Guo Z H, Zhuo Z D, Chen J, et al. Interspecific association of trees in mixed evergreen and deciduous broadleaved forest in Lushan Mountain[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 1997, 21(5): 424–432. [郭志华, 卓正大, 陈洁, 等. 庐山常绿阔叶、落叶阔叶混交林乔木种群种间联结性研究[J]. 植物生态学报, 1997, 21(5): 424–432.]
- [10] 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.]
- [11] 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. [张国钢, 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.]
- [12] Liu W W, Wang J, Wang Y, et al. The differences of plant community diversity among the different altitudes in the water-level-fluctuating zone of the Three Gorges Reservoir[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(17): 5454–5466.

- [刘维璋, 王杰, 王勇, 等. 三峡水库消落区不同海拔高度的植物群落多样性差异[J]. 生态学报, 2012, 32(17): 5454–5466.]
- [13] Liu G L, Pang H, Zhou C Q. A study of insect communities in the restoration of low subtropical degraded ecosystem[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2003, 42(5): 82–86. [刘桂林, 庞虹, 周昌清. 南亚热带退化生态系统恢复中昆虫群落的研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2003, 42(5): 82–86.]
- [14] 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: China Standards Press, 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.]
- [15] Wu H. Comparative study of species diversity indices of different type communities[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2015, 35(5): 84–89. [吴昊. 不同类型群落物种多样性指数的比较研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(5): 84–89.]
- [16] Schluter D. A variance test for detecting species associations, with some example applications[J]. *Ecology*, 1984, 65(3): 998–1005.
- [17] Yates F. Centingency table invoving small numbers and the χ^2 test[J]. *J Roy Statist Soc Suppl*, 1934(1): 217–235.
- [18] Li Y D, Xu H, Chen D X, et al. Discussing on the ecological species groups and functional groups division based on the interspecific association—a case study on the arbor layer data in tropical lowland rain forest of Jianfenling, Hainan Island, China[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(4): 9–16. [李意德, 许涵, 陈德祥, 等. 从植物种群间联结性探讨生态种组与功能群划分—以尖峰岭热带低地雨林乔木层数据为例[J]. 林业科学, 2007, 43(4): 9–16.]
- [19] 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[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 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[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 332–339.]
- [20] Yang L, Sun X G, Duan W J, et al. Interspecific association of birch forests in the subalpine of the northwest border of Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Ecology and Environment*, 2007, 16(4): 1211–1218. [杨龙, 孙学刚, 段文军, 等. 青藏高原东北边缘桦木林木本植物种间联结[J]. 生态环境, 2007, 16(4): 1211–1218.]
- [21] Gong R, Gao Q, Wang Y L. Effects of exclosure on community inter-specific relationships in a typical temperate grassland[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2016, 40(6): 554–563. [龚容, 高琼, 王亚林. 围封对温带半干旱典型草原群落种间关联的影响[J]. 植物生态学报, 2016, 40(6): 554–563.]
- [22] Zhang Q T, Hu G K, Ni R, et al. A preliminary study on the trophic structure of macrobenthos in the Tanggu Littoral Zone[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2005(3): 73–78. [张青田, 胡桂坤, 倪蕊, 等. 塘沽潮间带大型底栖动物营养结构的初步分析[J]. 海洋湖沼通报, 2005(3): 73–78.]
- [23] 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.]
- [24] Qiu X, Wang J F. The study on weeds population in desolation lawn encounter incidence and the relationship to density (D), coverage (C) and frequency (F)[J]. *Sichuan Grassland*, 2005, (12): 27–31, 44. [邱翔, 王晋峰. 荒芜草坪杂草种群种间相遇机率(PIE)及密度(D)盖度(C)频度(F)的相关性研究[J]. 四川草原, 2005, (12): 27–31, 44.]
- [25] Chen T G, Zhang J T. A comparison of fifteen species diversity indices[J]. *Henan Science*, 17(S1): 62–64, 78. [陈廷贵, 张金屯. 十五个物种多样性指数的比较研究[J]. 河南科学, 1999, 17(S1): 62–64, 78.]
- [26] Zhang J T. *Quantitative Vegetation Ecology Method*[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1995: 1–257. [张金屯. 植被数量生态学方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 1–257.]
- [27] Ding L L, Yang H, Dai X J, et al. Niche analysis of dominant species of fishery resources in Zhejiang Oufei reclamation area[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2016, 25(1): 116–123. [丁丽丽, 杨红, 戴小杰, 等. 浙江瓯飞围填海区渔业资源优势种生态位分析[J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(1): 116–123.]
- [28] Wang C T, Long R J, Ding L M. The effects of differences in functional group diversity and composition on plant community productivity in four types of alpine meadow communities[J]. *Biodiversity Science*, 2004, 12(4): 403–409. [王长庭, 龙瑞军, 丁路明. 高寒草甸不同草地类型功能群多样性及组成对植物群落生产力的影响[J]. 生物多样性, 2004, 12(4): 403–409.]

Community structure of major nekton near Oufei Beach, Wenzhou

LI Chaonan¹, SHUI Bonian¹, SHUI Yuyue², QIU Jinjin¹, ZHANG Miaomiao¹, TIAN Jiaqi¹, NIE Zhenlin¹, TIAN Kuo¹

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

2. Zhoushan Bureau of Oceanology and Fishery, Zhoushan 316000, China

Abstract: Oufei Beach is located in Wenzhou, with its northern border along the river mouth of the Oujiang River estuary and its southern border along the Feiyun River estuary. A beach reclamation project and a series of marine engineering construction efforts will inevitably lead to changes in the local nekton community. Therefore, we aimed to carry out a survey of the nekton resources along the Oufei shoal in the adjacent waters and to evaluate its community structure, to provide baseline data for observing trends of change. This information is of great significance for evaluating and restoring ecological health of the area. Data were obtained from a fisheries resources survey carried out near Oufei Beach in May 2013. A series of statistical methods including population encounter incidence (PIE), variance ratio (VR), χ^2 test, association coefficient (AC), percentage of co-occurrence (PC), point correlation coefficients (Φ), Ochiai index, functional group classification, and trophic level constituents combining the means of niches were used to analyze the relationships among the major marine nekton species. Our results showed a population encounter incidence of 0.65. The maximum population encounter incidence was observed in *Amblychaeturichthys hexanema*, at 0.244, and the minimum population encounter incidence was observed in *Coilia mystus* at 0.01. *Amblychaeturichthys hexanema* and *Leptochelia gracilis* formed a species pair with a maximum value of 0.305, while *C. mystus* and *Sardinella nymphaea* formed a species pair with a minimum value of 0.003. There were significant positive correlations between the major nekton community species. Most species pairs had weak positive association or were unrelated, indicating that species had independent distributions. According to feeding habit, the major nekton species can be divided into five functional groups; in this survey, the omnivorous group formed the most numerous of these, while the phytophagous group was not represented by any species. Based on the relationship among the functional groups, the trophic levels for major nekton species varied from the second to fourth trophic levels, with the third and fourth trophic levels as the key trophic levels in our study. A combination of the above methods yields a comprehensive analysis of the major nekton adjacent to Oufei Beach, showing functional relationships between different populations. An in-depth analysis and study of interspecies relationships in this habitat is valuable as a scientific basis for protecting fisheries resources, developing breeding programs, and building management strategies. Our study has demonstrated that the ecosystem structure in Oufei Beach is mature, and that the community has the capacity to tolerate some degree of environmental change. However, the number of major nekton and the type of resources in the area have been heavily affected by environmental degradation of the area. To realize sustainable development of fisheries resources in this area, greater emphasis should be placed on the regeneration and maintenance of these resources.

Key words: nekton; population encounter incidence; interspecific association; functional group; Oufei Beach

Corresponding author: TIAN Kuo. E-mail: tiankuo0405@hotmail.com