

DOI: 10.5846/stxb201605301035

李超男, 水玉跃, 田阔, 杜肖, 孙鹏, 董静瑞, 水柏年. 温州湾春季主要游泳动物生态位与种间联结性. 生态学报, 2017, 37(16): 5522-5530.

Li C N, Shui Y Y, Tian K, Du X, Sun P, Dong J R, Shui B N. A study of niche and interspecific association and functional group of major nekton in the spring of Wenzhou Bay. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(16): 5522-5530.

## 温州湾春季主要游泳动物生态位与种间联结性

李超男<sup>1</sup>, 水玉跃<sup>2</sup>, 田阔<sup>1</sup>, 杜肖<sup>3</sup>, 孙鹏<sup>1</sup>, 董静瑞<sup>1</sup>, 水柏年<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 浙江海洋大学水产学院, 舟山 316000

<sup>2</sup> 舟山市海洋与渔业局, 舟山 316000

<sup>3</sup> 淡水生态与生物技术国家重点实验室宁波实验室, 宁波 315000

**摘要:** 根据 2013 年春季(5 月)与 2014 年春季(5 月)在温州湾海域两次渔业资源调查的数据, 运用生态位宽度、聚类分析、生态位重叠值、方差比率法、卡方检验、联结系数及功能群划分和营养级构成等方法相结合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: 主要游泳动物共 18 种, 优势种为六丝钝尾鰕虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)、龙头鱼(*Harpodon nehereus*)及银鲳(*Pampus argenteus*), 其他 15 种是重要种; 生态位重叠值最大值和最小值分别为 0.88 和 0.01, 总体差异性较大, 部分种对间对生态利用可能存在一定竞争性; 由 VR 值为 9.90 大于 1, W 值为 366.39 远超置信区间(8.67, 27.59), 得知游泳动物群落总体上呈显著正相关; 共同出现百分率显示强正联结的种对仅 3 对, 不存在无关联种对, 但联结系数值显示 110 种对趋向独立, 说明种对间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, 依次是肉食者(C)、杂食者(O)、植食者(Ph)、浮游生物食者(Pl)和碎屑食者(D), 各功能群所含物种种类数百分比由高到低依次是 C>O>Pl>D>Ph, 依据功能群间的关系得出主要游泳动物占据二、三、四级营养级, 集中分布于三、四营养级。

**关键词:** 生态位; 种间联结; 功能群

## A study of niche and interspecific association and functional group of major nekton in the spring of Wenzhou Bay

LI Chaonan<sup>1</sup>, SHUI Yuyue<sup>2</sup>, TIAN Kuo<sup>1</sup>, DU Xiao<sup>3</sup>, SUN Peng<sup>1</sup>, DONG Jingrui<sup>1</sup>, SHUI Bonian<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> College of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China

<sup>2</sup> Zhoushan Bureau of Oceanology and Fishery, Zhoushan 316000, China

<sup>3</sup> Ningbo Laboratory of State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Ningbo 315000, China

**Abstract:** According to the fishery resources survey data of Wenzhou Bay in Spring 2013 (May) and Spring 2014 (May), we used spatial niche breadth and overlap to determine the major niches of nekton. A series of methods, including the variance ratio (VR) method,  $\chi^2$  test, the association coefficient (AC), percentage of co-occurrence (PC), and functional group classification and trophic level constituents combined the means of niches were used to analyze the relationships among the major marine nekton species. The results showed that there were 18 major nekton species. The three dominant species were *Amblychaeturichthys hexanema*, *Harpodon nehereus*, and *Pampus argenteus*, which had large spatial niches. The other 15 species were main species. In general, there were large differences in the niche overlap values among the major nekton populations, with a maximum value of 0.88 and a minimum of 0.01, indicating a possible resource utilization competition among some nekton species. The VR value was greater than 1 at 9.90, and the W value was 366.39, which was considerably greater than the confidence interval (8.67, 27.59). There were significantly positive correlations between the

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

**收稿日期:** 2016-05-30; **网络出版日期:** 2017-03-27

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shuibonian@163.com

major nekton community species. The percentage co-occurrence of species showed that only three pairs had strong positive association, and no unrelated species pairs was revealed, have not unrelated species pairs. The coupling coefficient showed that 110 pairs of species tended to be independent, indicating that species were independent distributions. According to the type of feeding, the major nekton species could be divided into 5 functional groups: the planktophagous group (Pl), the phytophagous group (Ph), the carnivorous group (C), the omnivorous group (O), and the detritivorous group (D). In terms of percentages of the total nekton, these groups could be ordered as follows:  $C > O = Pl > D > Ph$ . Based on the relationship among the functional groups, the trophic levels for major nekton species varied from the second to fourth trophic levels, the third and fourth trophic levels were the major trophic levels in our study. A complex food web is formed between each trophic level.

**Key Words:** niche; interspecific association; functional group

温州湾位于温州市东部,北连乐清湾,南接鳌江口海域,海域水面开阔。因在瓯江等径流和潮流共同的自然水动力作用下而具有丰富营养物质,如丰富的浮游生物<sup>[1]</sup>。基础饵料充足,为游泳动物在此产卵、索饵、育肥提供了优良的环境条件。该海域鱼类群落具有我国亚热带鱼类群落的典型特征,小型鱼偏多<sup>[2]</sup>。游泳动物群落结构研究常见于丰富度、多样性指数等方法<sup>[3-5]</sup>。近年来生态位、功能群和营养级的划分被越来越多应用于水生生态系统的研究。在加州鰕的生态位研究中 Grinnell<sup>[6]</sup>初次定义了生态位。关于目前国内研究动态,已有对渤海南部、黄海西南部、东海西南部等<sup>[7-10]</sup>渔业资源的生态位分析,渤海鱼类群落、黄海和东海的高营养层次鱼类等<sup>[11-13]</sup>功能群的研究。而种间联结性以木本植物群落<sup>[14-16]</sup>的研究较多。

通过生态位宽度及重叠值、种间联结性、功能群和营养级相互结合从而全面研究温州湾海域主要游泳动物不同种群间的所占据位置及其功能关系。分析同一群落下物种之间相互作用的生态关系,对资源利用的共性,为进一步探讨群落结构特征,并维持生态系统稳定性,为温州湾渔业资源利用、种质资源保护和生态修复提供重要依据。

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 研究区域与数据来源

数据源自温州湾海域的底拖网调查,共 37 个站位(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》(GB/T12763.6—2007)<sup>[17]</sup>,于实验室内对渔获物进行分类鉴定、计数、统计,详细记录并标准化处理该原始数据。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 生物多样性指数

本文把优势种与重要种组成的群体定义为主要游泳动物。采用 Pinkas 相对重要性指数<sup>[18]</sup>判定优势种与重要种,计算公式如下:

$$IRI = (N + W) \times F \quad (1)$$

式中, $N$  为某物种个体数占渔获物全部个体的百分比; $W$  为某个物种质量占全部物种质量的百分比; $F$  是调查中某渔获种出现的站位数占全部站位数的百分比。当  $IRI \geq 1000$  时,该种为优势种; $1000 > IRI \geq 100$  则该种为重要种<sup>[19]</sup>。

#### 1.2.2 生态位测定

(1) 生态位宽度使用 Shannon 指数<sup>[20]</sup>:

$$B_i = - \sum_{j=1}^R (P_{ij} \ln P_{ij}) \quad (2)$$

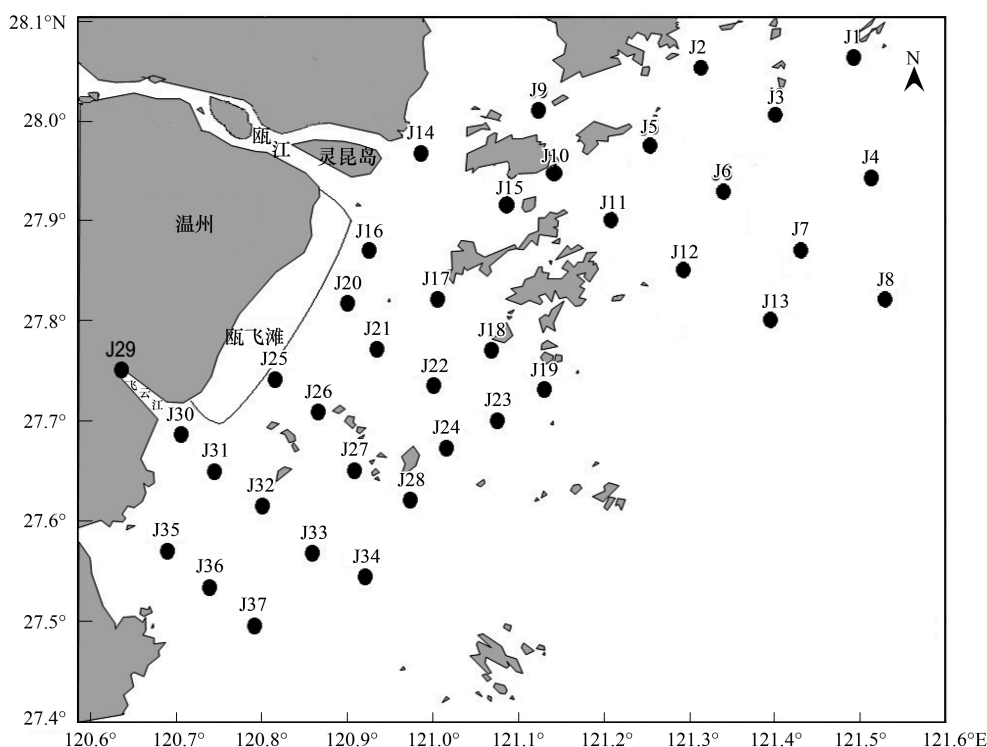


图1 温州湾渔业资源调查站位

Fig.1 Survey stations of fishery resources of Wenzhou Bay

式中,当  $B_i$  表示生态位宽度时,则  $P_{ij} = n_{ij}/N_{ij}$  表示物种  $i$  在第  $j$  个站位中尾数占物种  $i$  所有尾数比例,其中  $R$  代表总站位数,取值在  $[0, R]$  上。

(2) 生态位重叠值使用 Pianka 指数<sup>[21]</sup>:

$$Q_{ik} = \sum_{j=1}^R (P_{ij} \cdot P_{kj}) / \sqrt{\sum_{j=1}^R P_{ij}^2 \cdot \sum_{j=1}^R P_{kj}^2} \quad (3)$$

式中,当  $O_{ik}$  为重叠值,则  $P_{ij}$  和  $P_{kj}$  分别表示种  $i$  和种  $k$  在第  $j$  个站位中的个体数占该种所有个体数比例,取值在  $[0, 1]$  上。

### 1.2.3 种间联结性测定

Schluter<sup>[22]</sup> 提出的方差比率 (VR) 对物种间总体关联程度进行检验。并运用  $W$  值检验关联显著性。其计算公式如下:

$$\delta T^2 = \sum_{i=1}^S P_i (1 - P_i)^2 \quad (4)$$

$$ST^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2 \quad (5)$$

$$VR = ST^2 / \delta T^2 \quad (6)$$

$$W = VR \cdot N \quad (7)$$

式中,  $S$  表示主要游泳动物全部种数,  $N$  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,  $t$  表示站位中物种种数的平均数。  $\delta T^2$  表示总站位方差,  $S T^2$  表示总种数方差。  $VR = 1$  时,物种间独立无关联;  $VR > 1$ ,物种间存在正相关。  $VR < 1$ ,物种间存在负相关。使用  $W$  值来检验  $VR$  值偏离 1 的显著程度:当种间总体上无关联性,  $W$  值将落入卡方分布的 90% 置信区间  $\chi^2_{0.95}(N) \leq W \leq \chi^2_{0.05}(N)$  内。

$\chi^2$  检验<sup>[23]</sup> 基于  $2 \times 2$  列联表,用 Yates 连续校正法,进行  $\chi^2$  卡方检验:

$$\chi^2 = N \frac{\left[ |ab - cd| - \frac{1}{2}N \right]^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)} \quad (8)$$

式中,  $N$  为总站位数; 其中  $a$  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;  $d$  为两个种都不出现的站位数。以  $ad-bc$  值的正负性来确定种对间关联的正负性, 当  $\chi^2 < 3.841$ , 种对间具不显著联结性; 当  $3.841 \leq \chi^2 \leq 6.635$ , 种对间具显著联结性; 当  $\chi^2 > 6.635$ , 种对间具极显著联结性。

联结系数( $AC$ )<sup>[24]</sup>:

$$\text{当 } ad \geq bc \text{ 时, 则 } AC = (ad - bc) / (a + b)(b + d) \quad (9)$$

$$\text{当 } bc > ad \text{ 且 } d \geq a \text{ 时, 则 } AC = (ad - bc) / (a + b)(a + c) \quad (10)$$

$$\text{当 } bc > ad \text{ 且 } a > d \text{ 时, 则 } AC = (ad - bc) / (b + d)(c + d) \quad (11)$$

式中, 联结系数  $AC$  的取值在  $[-1, 1]$  上。种对间若  $AC$  值越接近 1, 正联结性程度越强; 若  $AC$  值越接近于 -1, 负联结性程度越强; 若  $AC$  值为 0 时, 种对间独立。

$$\text{共同出现百分率}(PC)^{[25]}: \quad PC = a / (a + b + c) \quad (12)$$

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。

#### 1.2.4 功能群划分及营养级构成

根据主要游泳动物的食性类型, 划分 5 个功能群, 依次是肉食者、杂食者、植食者、浮游生物食者和碎屑食者。根据游泳动物食性间关系及张青田<sup>[26]</sup>的研究, 划分营养级构成。

## 2 结果与分析

### 2.1 优势种

由两次拖网调查可得, 渔获物共计 104 种, 鱼类、虾类、蟹类和头足类分别为 67 种、20 种、13 种和 4 种, 主要游泳动物共 18 种, 由表 1 相对重要性指数值可知, 六丝钝尾鰕虎鱼 (*Amblychaeturichthys hexanema*)、龙头鱼 (*Harpodon nehereus*)、银鲳 (*Pampus argenteus*) 这 3 种为优势种, 其余 15 种为重要种。

### 2.2 生态位宽度

生态位宽度值变化范围在 0.65—5.84 之间 (表 1), 表明主要游泳动物整体覆盖率较高。鉴于暂无对生态位宽度值的明确划分标准, 本文为便于结果分析, 结合 (图 2) 生态位聚类分析图, 可将 18 种主要游泳动物分为 4 组。第 1 组由银鲳、龙头鱼、细巧仿对虾 (*Parapenaeopsis tenella*)、六丝钝尾鰕虎鱼 4 种构成, 第 2 组由中国毛虾 (*Acetes chinensis*)、日本鰩 (*Engraulis japonicus*) 等 5 种构成。第 3 组由细螯虾 (*Leptochela gracilis*)、口虾蛄 (*Oratosquilla oratoria*) 等 7 种构成, 第 4 组由凤鲚 (*Coilia mystus*)、红狼牙鰕虎鱼 (*Odontamblyopus rubicundus*) 构成。可见生态位宽度值高的物种空间竞争能力强, 相似性较接近。其中生态位宽度最大值种是六丝钝尾鰕虎鱼, 凤鲚是最小值种。

表 1 主要游泳动物生态位宽度及优势度

Table 1 Niche breadth and dominance of major species of nekton

| 种号<br>No. | 种名<br>Species                               | 生态位宽度<br>Niche breadth | 相对重要性指数<br>Index of relative important |
|-----------|---------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|
| 1         | 六丝钝尾鰕虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i> | 5.84                   | 4401                                   |
| 2         | 龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>                | 5.18                   | 1535                                   |
| 3         | 银鲳 <i>Pampus argenteus</i>                  | 5.08                   | 1151                                   |
| 4         | 日本鰩 <i>Charybdis japonica</i>               | 1.98                   | 855                                    |
| 5         | 黑姑鱼 <i>Atrubucca nibe</i>                   | 4.14                   | 775                                    |
| 6         | 棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>            | 3.10                   | 725                                    |
| 7         | 三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>       | 1.75                   | 713                                    |
| 8         | 细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>         | 4.87                   | 451                                    |

续表

| 种号<br>No. | 种名<br>Species                           | 生态位宽度<br>Niche breadth | 相对重要性指数<br>Index of relative important |
|-----------|-----------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|
| 9         | 日本鳀 <i>Engraulis japonicus</i>          | 2.89                   | 358                                    |
| 10        | 哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i>  | 3.03                   | 318                                    |
| 11        | 细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>          | 1.67                   | 307                                    |
| 12        | 中国花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>       | 1.42                   | 266                                    |
| 13        | 中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>            | 3.71                   | 219                                    |
| 14        | 红狼牙鰕虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i> | 1.03                   | 183                                    |
| 15        | 口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>        | 1.53                   | 152                                    |
| 16        | 刀鲚 <i>Coilia ectenes</i>                | 1.38                   | 141                                    |
| 17        | 带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>            | 2.05                   | 120                                    |
| 18        | 凤鲚 <i>Coilia mystus</i>                 | 0.65                   | 110                                    |

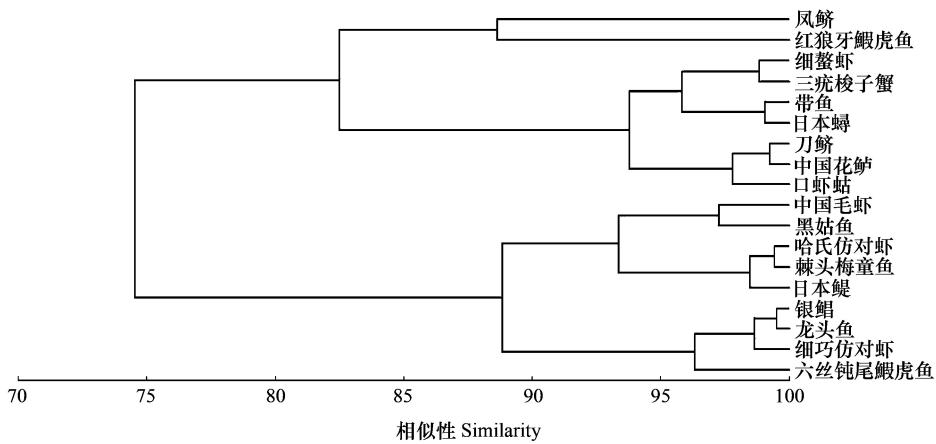


图2 主要游泳动物生态位宽度聚类分析

Fig.2 Clustering analysis of niche breadth of major species of nekton

2.3 生态位重叠值

温州湾海域主要游泳动物的生态位重叠值变化区间为[0.01,0.88](表2)。差异较大,说明种对间在同个空间分布的频率不同。种对1—6、6—11、9—11、8—12、9—14均为0.01,是最小值,表明这5对每个种对内的两个物种之间彼此相切;种对7—18的重叠值是0.88,为最大值,表明两者间大部分重叠。

2.4 种间关联性

利用方差比率法求出 $VR=9.90$ (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, $W=366.39$ 不在置信区间(8.67,27.59)内,表示物种间关联性总体上呈显著关联。

基于卡方检验(图3),分析得出:18种主要游泳动物形成的153个种对内,关联显著的种对共97对;联结性不显著的种对共56对。六丝钝尾鰕虎鱼、龙头鱼、银鲱与其它15种游泳动物极显著正联结性较高。

由图4可知联结系数结果,正相关程度高的仅1对,为中国花鲈和中国毛虾;没有负相关程度高的种对;正联结性程度一般的共40对;负联结性程度一般的共2对,为细螯虾和刀鲚、三疣梭子蟹和中国毛虾;相互间倾向独立的共110对。由 $AC$ 结果可知主要种对间相互关系趋于独立。

由图5可知,无联结性的种对为0对;强正联结的种对仅3对,它们是龙头鱼和银鲱、银鲱和日本鳀、龙头鱼和日本鳀;次强正联结有51个种对;次弱正联结有76个种对;弱正联结23对。由此可见主要种之间整体趋于正相关,计算方式的不同使 $PC$ 值与 $AC$ 值间存在较大差异。



表 2 主要游泳动物生态位重叠值

Table 2 Niche overlap of major species of nekton

| 种号 No. | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2      | 0.14 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3      | 0.16 | 0.60 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4      | 0.33 | 0.27 | 0.16 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 5      | 0.14 | 0.13 | 0.15 | 0.15 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 6      | 0.01 | 0.23 | 0.07 | 0.33 | 0.05 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 7      | 0.05 | 0.20 | 0.12 | 0.19 | 0.06 | 0.64 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 8      | 0.18 | 0.40 | 0.20 | 0.57 | 0.30 | 0.58 | 0.37 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 9      | 0.03 | 0.12 | 0.18 | 0.08 | 0.18 | 0.03 | 0.06 | 0.04 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 10     | 0.37 | 0.24 | 0.33 | 0.11 | 0.18 | 0.04 | 0.06 | 0.19 | 0.07 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 11     | 0.25 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.07 | 0.01 | 0.06 | 0.04 | 0.01 | 0.36 |      |      |      |      |      |      |      |
| 12     | 0.06 | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.02 | 0.09 | 0.01 | 0.13 | 0.26 | 0.11 |      |      |      |      |      |      |
| 13     | 0.27 | 0.38 | 0.26 | 0.12 | 0.23 | 0.08 | 0.16 | 0.14 | 0.23 | 0.33 | 0.12 | 0.49 |      |      |      |      |      |
| 14     | 0.12 | 0.18 | 0.08 | 0.16 | 0.04 | 0.52 | 0.12 | 0.21 | 0.01 | 0.17 | 0.56 | 0.09 | 0.06 |      |      |      |      |
| 15     | 0.19 | 0.45 | 0.23 | 0.38 | 0.31 | 0.27 | 0.15 | 0.58 | 0.06 | 0.16 | 0.04 | 0.04 | 0.24 | 0.20 |      |      |      |
| 16     | 0.05 | 0.38 | 0.47 | 0.16 | 0.11 | 0.29 | 0.26 | 0.27 | 0.10 | 0.25 | 0.03 | 0.04 | 0.12 | 0.09 | 0.20 |      |      |
| 17     | 0.14 | 0.26 | 0.38 | 0.20 | 0.05 | 0.02 | 0.13 | 0.05 | 0.26 | 0.11 | 0.03 | 0.07 | 0.15 | 0.03 | 0.09 | 0.06 |      |
| 18     | 0.07 | 0.12 | 0.05 | 0.09 | 0.05 | 0.39 | 0.88 | 0.24 | 0.07 | 0.11 | 0.02 | 0.06 | 0.13 | 0.02 | 0.07 | 0.04 | 0.06 |

该表种号同表 1

表 3 主要游泳动物总体关联性

Table 3 General interspecific association test of major nekton species

| $S_T^2$ | $\delta_T^2$ | VR   | W      | $\chi^2[\chi^2_{0.95}(17), \chi^2_{0.05}(17)]$ | 检验结果 Inspection result |
|---------|--------------|------|--------|------------------------------------------------|------------------------|
| 11.51   | 1.16         | 9.90 | 366.39 | (8.67, 27.59)                                  | 显著正关联                  |

$S_T^2$ : 总种数方差, Variance of total species number;  $\delta_T^2$ : 总站位方差, Station site variance; VR: 方差比率, Variance ratio; W: 统计量, Statistic

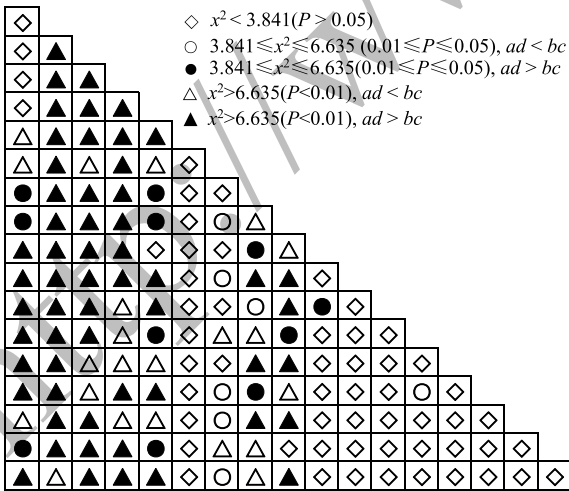


图 3 主要游泳动物种间  $\chi^2$  检验半矩阵

Fig.3 Half matrix of the association coefficients  $\chi^2$  test among the major nekton species

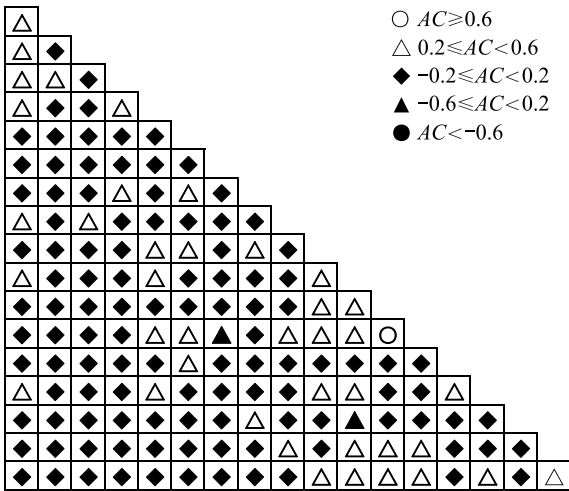


图 4 主要游泳动物种间联结系数 AC 半矩阵

Fig.4 Half matrix of interspecific association (AC) among the major nekton species

2.5 功能群划分及营养级成

主要游泳动物中(表4),属于肉食者功能群的共7种,代表性物种为龙头鱼、日本鳎;杂食者共5种,代表性物种是六丝钝尾鰕虎鱼、银鲳;植食者功能群无分布;浮游生物食者共5种,代表物种是棘头梅童鱼、细巧仿对虾;碎屑食者仅1种,为中国毛虾。春季主要游泳动物功能群种类数百分比从高到低,依次是C>O=Pl>D>Ph。种类尾数百分比从高到低,依次是O>C>Pl>D>Ph。基于功能群划分,对主要游泳动物的营养级进行分类构成食物网(图6),共4个营养级;主要游泳动物实际只占据二、三、四营养级。

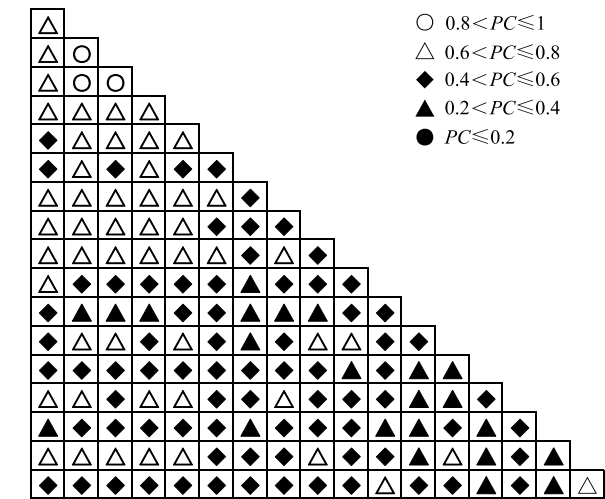


图5 主要游泳动物种间共同出现百分率 PC 半矩阵  
Fig.5 Half matrix of the percentage co-occurrence (PC) among the major nekton species

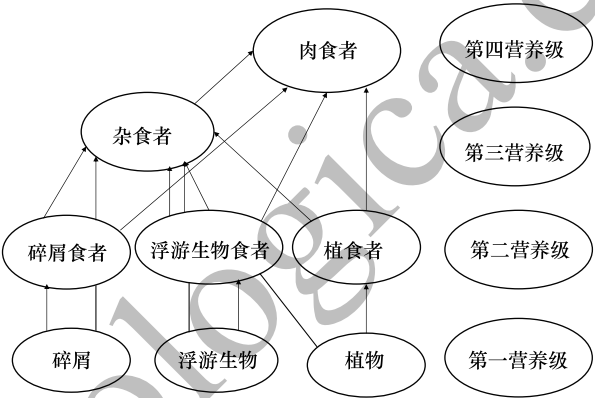


图6 主要游泳动物营养等级与食物网  
Fig.6 The major nekton species trophic levels and food webs

表 4 主要游泳动物功能群及营养级划分

Table 4 The major nekton species functional groups and trophic levels divided

| 功能群<br>Functional groups         | 物种序号<br>Species code | 种类尾数百分比%<br>Category mantissa<br>Percentage | 种类数百分比%<br>Category Number<br>Percentage | 营养级<br>Trophic level |
|----------------------------------|----------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------|
| 肉食者 Carnivorous groups           | 2,4,5,7,12,14,17     | 16.9                                        | 38.9                                     | 四级                   |
| 杂食者 Omnivorous groups            | 1,3,11,15,16         | 64.0                                        | 27.8                                     | 三级                   |
| 植食者 Phytophagous groups          | 0                    | 0                                           | 0                                        | 二级                   |
| 浮游生物食者 Planktonpha groups groups | 6,8,9,10,18          | 15.9                                        | 27.8                                     | 二级                   |
| 碎屑食者 Detritivorous groups        | 13                   | 3.2                                         | 5.5                                      | 二级                   |

3 讨论

3.1 生态位宽度、重叠值与功能群划分和营养级

生态位宽度可反映物种对饵料、栖息环境等的适应程度。生态位值大小不但取决于物种分布范围,且侧重分布的均匀度,生态位值高则物种分布广泛且均匀。如细巧仿对虾,生态位高达4.87,属浮游生物食性,春季营养盐累积,饵料生物丰富,使其大量繁殖数量增加,且浮游生物空间分布一致<sup>[1]</sup>,细巧仿对虾为索饵进行移动,可能造成其分布均匀。

聚类分析将主要游泳动物分为4组。第1组生态位宽度值普遍较高,且均为广泛分布种,空间竞争力最强;第2、3组物种生态位宽度值及分布范围相对较大,但带鱼、刀鲚等部分种类数量分布不均匀。第4组仅由凤鲚和红狼牙鰕虎鱼组成,二者生态位宽度值低,数量分布极不均匀。因此,生态位宽度值聚类分析可反映群

落中的物种数量与分布格局,这与李显森等<sup>[27]</sup>研究结果相一致。

生态位重叠可作为种间竞争必要条件<sup>[28]</sup>。三疣梭子蟹与凤鲚,重叠值为最大值 0.88,由于前者为肉食者,后者为浮游生物食者,属不同功能群,使其在群落中具有不同生态功能,且三疣梭子蟹属于近海游泳动物,凤鲚为河口性洄游鱼类,二者对栖息地环境要求不同,故虽生态位高度重叠但种间竞争并不激烈;六丝钝尾鰕虎鱼和棘头梅童鱼生态位重叠值仅为 0.01,接近于 0,为最小值,前者为底栖性鱼类,后者是中下层小型鱼,然而两者均以糠虾为主要饵料,使得种间竞争激烈。究其原因,对食物、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<sup>[29]</sup>,使得种对间重叠值高低与竞争程度不一定呈相同变化趋势。另外,除种对生物学特性外,物种间竞争性还可能受种对共处区域的资源分布情况与供应的影响<sup>[30]</sup>。

温州湾主要游泳动物功能群以肉食者、杂食者和浮游生物食者为主要组成。三、四营养级占据的种类数的百分比之和高达 66.7%,尾数百分比之和也高达 80.9%。可见温州湾海域主要游泳动物多处于高营养级,该海域主要游泳动物群落结构总体稳定。渔获物中龙头鱼、六丝钝尾鰕虎鱼等生长快、产量高的小型经济鱼类成为优势种,与姜亚洲等<sup>[31]</sup>研究结果相近,主要游泳动物群落结构变化表现为总体呈现小型化与低值化趋势。造成该现象原因,可能与鱼类洄游习性有关,也可能受过度捕捞、环境污染及海洋围垦等人为干扰影响。此外,饵料基础季节性、空间性变化,不同种类营养需求不同,均可能造成群落构成改变<sup>[12]</sup>。

### 3.2 种间联结性

方差比率、卡方检验得出物种间总体上呈显著正相关,表明群落结构和物种组成稳定性较强,有正向演替的趋势,生态系统结构相对成熟。然而随演替程度升高,种对间关联程度降低<sup>[24]</sup>,联结系数显示的 153 个种对中有高达 110 对趋向独立,可能是文中仅讨论了主要游泳动物的联结系数所致。也可能由于群落组成复杂,物种多样性高,导致种对间空间同域几率降低,种间关联性相对独立。

由 AC 值可知,正相关程度高的中国花鲈和中国毛虾,为捕食者与被捕食者关系。由 PC 值可知,强正联结的种对仅 3 对,如龙头鱼与银鲳,龙头鱼以银鲳为饵料;而银鲳和日本鳀同属肉食性功能群,可能存在种间竞争关系。综上所述,种间关联系数可以反映出种对间对食物、栖息环境等资源的需求关系。

六丝钝尾鰕虎鱼、龙头鱼、银鲳,三者生态位宽度值占据前三位,卡方检验得知与其它游泳动物极显著正联结程度均较高。但重叠值的高低并不影响种对间联结性的趋向。如三疣梭子蟹与凤鲚的生态位重叠值为最大值(0.88),卡方检验得出两者间显著负相关,联结系数显示两者趋于独立,PC 值表明两者为次弱正联结。因此,种对间生态位重叠值高,联结性未必呈正联结。这可能与种对分布的频率,所处栖息环境不同,饵料相似性有关。

### 参考文献 (References):

- [1] 陈雷,徐兆礼,姚炜民,张钊,陈胜,蔡圣伟,鲍旭平. 瓯江口春季营养盐、浮游植物和浮游动物的分布. 生态学报, 2009, 29(3): 1571-1577.
- [2] 徐兆礼,陈华,陈庆辉. 瓯江口渔场夏秋季浮性鱼卵和仔鱼的时空分布. 水产学报, 2008, 32(5): 733-739.
- [3] 姜亚洲,林楠,袁兴伟,焦海峰,凌建忠,李圣法. 象山港游泳动物群落结构及多样性. 生态学杂志, 2013, 32(4): 920-926.
- [4] 宋普庆,林龙山,李渊,钟指挥,张然. 福建三都澳游泳动物种类组成及群落结构稳定性. 生物多样性, 2015, 23(4): 519-526.
- [5] 宋普庆,张静,林龙山,许章程,朱小明. 台湾海峡游泳动物种类组成及其多样性. 生物多样性, 2012, 20(1): 32-40.
- [6] Grinnell J. The niche-relationships of the California thrasher. The Auk, 1917, 34(4): 427-433.
- [7] 韩东燕,薛莹,纪毓鹏,徐宾铎,刘贺,麻秋云. 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.
- [8] 于振海,金显仕,李显森. 黄海中南部主要鱼种的生态位分析. 渔业科学进展, 2010, 31(6): 1-8.
- [9] 胡成业,王玉跃,田阔,李良,覃胡林,张春草,冀萌萌,水柏年. 浙江七星列岛海洋特别保护区主要鱼类功能群划分及生态位分析. 生物多样性, 2016, 24(2): 175-184.
- [10] 徐晓群,曾江宁,陈全震,刘晶晶,杜萍,王桂忠. 浙江三门湾浮游动物优势种空间生态位. 应用生态学报, 2013, 24(3): 818-824.
- [11] 张波,李忠义,金显仕. 渤海鱼类群落功能群及其主要种类. 水产学报, 2012, 36(1): 64-72.
- [12] 张波,唐启升,金显仕. 黄海生态系统高营养层次生物群落功能群及其主要种类. 生态学报, 2009, 29(3): 1099-1111.



- [13] 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. 中国水产科学, 2007, 14(6): 939-949.
- [14] 康冰, 刘世荣, 蔡道雄, 温远光, 史作民, 郭文福, 朱宏光, 张广军, 刘磊. 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. 生态学报, 2005, 25(9): 2173-2179.
- [15] 郭志华, 卓正大, 陈洁, 吴梅凤. 庐山常绿阔叶、落叶阔叶混交林乔木种群种间联结性研究. 植物生态学报, 1997, 21(5): 424-432.
- [16] 许金石, 陈煜, 王国勋, 柴永福, 王茂, 刘晓, 岳明. 陕北桥山林区主要木本植物群落种间联结性. 西北植物学报, 2014, 34(7): 1467-1475.
- [17] 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. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [18] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters. Fish. Bulletin, 1971, 152: 1-105.
- [19] 程济生. 东、黄海冬季底层鱼类群落结构及其多样性. 海洋水产研究, 2000, 21(3): 1-8.
- [20] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Chicago: University of Illinois Press, 1963.
- [21] Pianka E R. The structure of lizard communities. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4: 53-74.
- [22] Schluter D. A variance test for detecting species associations, with some example applications. Ecology, 1984, 65(3): 998-1005.
- [23] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1995, 79-86.
- [24] 李意德, 许涵, 陈德祥, 骆士寿, 莫锦华, 罗文, 陈焕强, 蒋忠亮. 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. 林业科学, 2007, 43(4): 9-16.
- [25] 周先叶, 王伯荪, 李鸣光, 咎启杰. 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. 植物生态学报, 2000, 24(3): 332-339.
- [26] 张青田, 胡桂坤, 倪蕊, 胡洋, 郭宪. 塘沽潮间带大型底栖动物营养结构的初步分析. 海洋湖沼通报, 2005, 3: 73-78.
- [27] 李显森, 于振海, 孙珊, 金显仕. 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. 应用生态学报, 2013, 24(8): 2353-2359.
- [28] 胡成业, 水玉跃, 杜肖, 水柏年. 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.
- [29] 葛宝明, 鲍毅新, 郑祥, 程宏毅. 灵昆岛潮间带大型底栖动物群落结构与生态位分析. 生态学报, 2005, 25(11): 3037-3043.
- [30] 丁丽丽, 杨红, 戴小杰, 濮鸣峰, 阎莉. 浙江瓯飞围填海区渔业资源优势种生态位分析. 上海海洋大学学报, 2016, 25(1): 116-123.
- [31] 姜亚洲, 程家骅, 李圣法. 东海北部鱼类群落多样性及其结构特征的变化. 中国水产科学, 2008, 15(3): 453-459.