



## 台州南部近岸海域春秋季主要鱼类生态位及其种间联结性

韩晓凤<sup>1</sup>, 王咏雪<sup>2</sup>, 求锦津<sup>1</sup>, 张苗苗<sup>1</sup>, 俞松立<sup>1</sup>, 梁海<sup>3</sup>,  
章翊涵<sup>1</sup>, 来洪运<sup>1</sup>, 蒋宇轩<sup>4</sup>, 水柏年<sup>1\*</sup>

- (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. 台州市环境科学设计研究院, 浙江 台州 318000;  
4. 南海实验学校, 浙江 舟山 316000)

**摘要:** 根据2016年秋季(10月)和2017年春季(4月)台州南部近岸海域的渔业资源调查资料, 将2次调查中分别出现的优势种及重要种定义为重要鱼类, 并采用相对重要性指数、生态位测定、方差比率、卡方检验、Pearson相关检验和Spearman秩相关检验等方法分析主要鱼类间的生态位和种间关系。结果显示, 秋季主要鱼类8种, 春季11种, 2季共有主要鱼类5种。秋季主要鱼类的生态位宽度值与生态位重叠值总体上略高于春季, 秋季广生态位种( $B_i \geq 2.40$ )、中生态位种( $1.60 \leq B_i < 2.40$ )和窄生态位种( $B_i < 1.60$ )依次有4种、3种和1种, 春季则依次有4种、5种和2种; 秋季生态位重叠显著( $O_{ik} \geq 0.6$ )的种对数占总种对数的32.14%, 春季则仅占12.73%。秋季, 总体联结性分析结果显示主要鱼类间总体上呈显著负关联, 卡方检验、Pearson相关检验和Spearman秩相关检验显示群落中正负关联比依次为1.50、1.33和2.11, 其检验显著率依次约为0%、17.86%和10.71%。春季, 总体联结性分析结果显示主要鱼类间总体上呈不显著负关联, 卡方检验、Pearson相关检验和Spearman秩相关检验显示群落中正负关联比依次为0.93、0.96和1.00, 其检验显著率依次约为9.09%、18.18%和21.82%。

**关键词:** 主要鱼类; 生态位; 种间联结; 台州南部近岸海域

**中图分类号:** S 931

**文献标志码:** A

研究海域地处浙江省东南部海域, 长江冲淡水系、台湾暖流及浙江沿岸流三大水系交汇于此, 生物多样性条件优越, 物种资源丰富。近几年来, 该海域海洋工程与海岸工程建设较多, 伴随产生的生物群落结构不稳定、物种多样性下降及环境变化等问题突出, 生态补偿与生态修复研究成为迫切要求, 而鱼类等游泳动物的生态位及种间关系研究为其十分重要的内容。生态位和种间联结是现代生态学的重要研究方向, 生态位是指一个种群在群落或生态系

统中的地位、功能与作用, 生态位宽度反映种群在群落中适应环境及利用资源的能力, 生态位重叠反映种群在资源利用及生境选择上的相似性<sup>[1-3]</sup>。种间联结是指物种间在空间分布上的相互关联性, 即物种间相互吸引或排斥的特性, 反映不同物种共同出现的可能性程度<sup>[4-5]</sup>。将生态位与种间联结相结合进行研究对测度物种分布水平、物种多样性、种间关系、群落结构及其稳定性、群落演替都有重要意义<sup>[3, 6]</sup>。至今, 将生态位与种间联结结合的研究主要集中

收稿日期: 2019-04-03 修回日期: 2019-09-18

资助项目: 国家重点研发计划(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)

通信作者: 水柏年, E-mail: shuibonian@163.com

于植物群落<sup>[7-9]</sup>，近年来才出现以鱼类<sup>[10]</sup>、游泳动物<sup>[11-12]</sup>等海洋动物为研究对象的生态位及种间联结性研究。

本实验对台州南部近岸海域主要鱼类的生态位及种间联结性进行研究，以期揭示该海域内主要鱼类的群落结构与种间关系，为合理开发、科学修复与保护管理鱼类资源的应用研究提供基础资料与参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

依据《海洋调查规范》<sup>[13]</sup>(GB/T 12763.6—2007)，于2016年10月(秋季)和2017年4月(春季)对台州南部近岸海域进行底拖网渔业资源调查，两季分别调查了20个站位(图1)。所采集的渔获物经低温保存后运回实验室，并根据文献<sup>[14-17]</sup>对其进行鉴定分类及生物学测定。

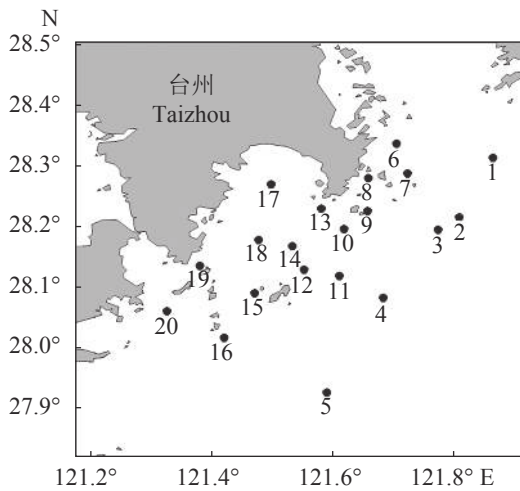


图1 台州南部近岸海域渔业资源调查站位

Fig. 1 Survey stations of fisheries resources in the southern coastal waters of Taizhou

### 1.2 数据处理方法

**主要鱼类组成** 利用Pinkas相对重要性指数(IRI)<sup>[18]</sup>判断优势种与重要种：

$$IRI = (N + W) \times F \times 10\ 000$$

式中：*N*为某鱼类的尾数占渔获鱼类总尾数的百分比；*W*为某鱼类的质量占渔获鱼类总质量的百分比；*F*为某鱼类出现的站位数占调查总站位数的百分比。若 $IRI \geq 1\ 000$ ，将该鱼类定义为优势种； $1\ 000 > IRI \geq 100$ ，将该鱼类定义为重要种<sup>[19]</sup>。因春、秋2次调查中优势种及重要种的生物量、

尾数占比均较大，故本文分别将春、秋2季调查中出现的优势种及重要种定为主要鱼类。

**生态位测度** 利用Shannon指数<sup>[20]</sup>测定生态位宽度：

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

利用Pianka指数<sup>[21]</sup>测定生态位重叠：

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

本实验中的生态位仅指空间维度上的生态位。上述二式中：*B<sub>i</sub>*为某鱼类的空间生态位宽度；*O<sub>ik</sub>*为某鱼类的空间生态位重叠；*P<sub>ij</sub>*和*P<sub>kj</sub>*分别为种*i*和种*k*在*j*站位的尾数占该物种所有尾数的比例；*R*为总站位数。 $B_i \in [0, R]$ ， $O_{ik} \in [0, 1]$ 。

**总体联结性分析** 总体联结性分析反映群落的稳定性，是对多物种间静态关系的描述。根据方差比率(*VR*)<sup>[22]</sup>测定主要鱼类的总体联结性，并用统计量*W*检验多物种间的关联程度。计算公式：

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

$$S_T^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_j - t)^2$$

$$VR = S_T^2 / \delta_T^2$$

$$P_i = n_i / n$$

式中，*S*为渔获鱼类总种数；*n<sub>i</sub>*为种*i*出现的站位数；*n*为调查总站位数；*P<sub>i</sub>*为种*i*的出现频率；*T<sub>j</sub>*为站位*j*内出现的主要鱼类种数；*t*为各调查站位出现的主要鱼类种数的平均值。若 $VR > 1$ ，则多物种间总体上呈正关联；若 $VR = 1$ ，则种间总体上呈无关联；若 $VR < 1$ ，则种间总体上呈负关联。用*W*值( $W = VR \times n$ )检验*VR*偏离1是否显著，若 $\chi_{0.95}^2(n) < W < \chi_{0.05}^2(n)$ ，则种间总体关联不显著( $P > 0.05$ )；反之，则种间总体关联显著。

**种对间联结性分析** 种对间联结性是2个物种间空间分布上的联结性<sup>[5]</sup>，种对间联结性分析采用 $\chi^2$ 检验、Pearson相关系数和Spearman秩相关系数。

卡方统计量<sup>[23]</sup>：

$$\chi^2 = \frac{n[|ad - bc| - 0.5n]^2}{(a + b)(c + d)(a + c)(b + d)}$$

式中，*n*为调查总站位数；*a*为一对种共同出现的

站位数;  $d$ 为一对种均未出现的站位数;  $b$ 、 $c$ 分别为种对中2个种单独出现的站位数。若 $ad-bc>0$ ,则物种间呈正联结;若 $ad-bc<0$ ,则呈负联结。若 $\chi^2<3.841$ ,则种对间联结性不显著;若 $3.841\leq\chi^2\leq 6.635$ ,则种对间呈显著联结;若 $\chi^2>6.635$ ,则种对间呈极显著联结<sup>[24]</sup>。

$\chi^2$ 检验将主要鱼类数据(尾数)二元化,仅可作定性检验,难以反映种间相关的多度信息。Pearson相关检验和Spearman秩相关检验是定量判断,不仅能测定种间联结的显著水平,而且可以测定种间联结强度的大小。因此,运用Pearson相关检验和Spearman秩相关检验分析种对间的联结性,以期对 $\chi^2$ 检验进行有效地补充和完善<sup>[5]</sup>。

Pearson相关系数<sup>[23]</sup>:

$$r_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \sum_{j=1}^N (x_{kj} - \bar{x}_k)^2}}$$

式中,  $N$ 为调查总站位数;  $x_{ij}$ 和 $x_{kj}$ 分别是种 $i$ 和种 $k$ 在站位 $j$ 中的尾数;  $\bar{x}_i$ 和 $\bar{x}_k$ 分别是种 $i$ 和种 $k$ 在所有调查站位中尾数的平均值。 $r_{ik} \in [-1, 1]$ ,正值表示2个种呈正相关,负值表示2个种呈负相关。

Spearman秩相关系数<sup>[24]</sup>:

$$r(i, k) = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^N d_j^2}{N^3 - N}$$

式中,  $N$ 为调查总站位数;  $d_j=(x_{ij}-x_{kj})$ ,  $x_{ij}$ 和 $x_{kj}$ 分别是物种 $i$ 和物种 $k$ 在站位 $j$ 中的秩。 $r(i, k) \in [-1, 1]$ 。

## 2 结果

### 2.1 主要鱼类组成

秋季调查共捕获鱼类41种,其中主要鱼类8种。优势种为龙头鱼(*Harpodon nehereus*)和棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*),重要种为海鳗(*Muraenesox cinereus*)、拉氏狼牙虾虎鱼(*Odontamblyopus lacepedii*)、黄鳍东方鲀(*Takifugu xanthopterus*)、尖头黄鳍牙鲷(*Chrysochir aureus*)、矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)和鳊(*Miichthys niyu*)。春季调查共捕获鱼类30种,其中主要鱼类11种。优势种为刀鲚(*Coilia nasus*)、拉氏狼牙虾虎鱼、棘头梅童鱼、孔虾虎鱼(*Trypauchen vagina*)和龙头鱼,重要种为凤鲚(*Coilia mystus*)、海鳗、花鲈(*Lateolabrax maculatus*)、六丝钝尾虾

虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)、矛尾虾虎鱼和短吻三线舌鳎(*Cynoglossus abbreviatus*)。2季共有主要鱼类5种,依次为海鳗、拉氏狼牙虾虎鱼、棘头梅童鱼、龙头鱼和矛尾虾虎鱼(表1)。

### 2.2 生态位宽度

生态位宽度反映种群在群落或生态系统中适应环境及利用资源的能力。秋季,矛尾虾虎鱼的生态位宽度值最高(2.77),其次为龙头鱼(2.75),鳊的生态位宽度值最低(1.04)。春季,龙头鱼的生态位宽度值最高(2.60),其次是孔虾虎鱼(2.52),花鲈的生态位宽度值最低(0.50)。

根据生态位宽度值结果,将春、秋2季主要鱼类各划分为3类。秋季广生态位种( $B_i \geq 2.40$ )有矛尾虾虎鱼、龙头鱼、棘头梅童鱼及尖头黄鳍牙鲷,春季有龙头鱼、孔虾虎鱼、棘头梅童鱼及拉氏狼牙虾虎鱼;秋季中生态位种( $1.60 \leq B_i < 2.40$ )有海鳗、拉氏狼牙虾虎鱼及黄鳍东方鲀,春季有矛尾虾虎鱼、凤鲚、六丝钝尾虾虎鱼、刀鲚及短吻三线舌鳎;秋季窄生态位种( $B_i < 1.60$ )仅有鳊,春季有海鳗和花鲈。总的来说,秋季主要鱼类的生态位宽度值总体上略高于春季。

### 2.3 生态位重叠

秋季,黄鳍东方鲀与棘头梅童鱼种对和尖头黄鳍牙鲷与矛尾虾虎鱼种对的 $O_{ik}$ 值同为最高值(0.78),海鳗与拉氏狼牙虾虎鱼种对的 $O_{ik}$ 值最低(0.20)(表2);春季,凤鲚与棘头梅童鱼种对的 $O_{ik}$ 值最高(0.80),凤鲚与花鲈种对、凤鲚与短吻三线舌鳎种对及花鲈与龙头鱼种对的 $O_{ik}$ 值最低(0)(表3)。根据Wathne等<sup>[25]</sup>的研究显示,当 $O_{ik} \geq 0.6$ 时,生态位重叠显著。秋季,生态位重叠显著的种对有9个,占总种对数的32.14%;春季,生态位重叠显著的种对有7个,占总种对数的12.73%。总的来说,秋季主要鱼类的生态位重叠程度总体上略高于春季。

### 2.4 种间联结性分析

总体联结性分析 利用方差比率法对主要鱼类的总体联结性进行检验,秋季 $VR=0.47 < 1$ ,  $W=9.33$ 不在置信区间(10.85,31.41)内,表明秋季8个主要鱼类间总体上呈显著负关联。春季 $VR=0.80 < 1$ ,  $W=15.91$ 在置信区间(10.85,31.41)内,表明春季11个主要鱼类间总体上呈不显著负关联(表4)。

表1 台州南部近岸海域主要鱼类的相对重要性指数与生态位宽度值

Tab. 1 The IRI and niche breadth of dominant fishes in the southern coastal waters of Taizhou

种号 no.	主要鱼类 dominant fish	秋季 autumn		春季 spring	
		IRI	$B_i$	IRI	$B_i$
A1/S3	海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	634.12	2.25	136.45	1.33
A2/S4	拉氏狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus lacepedii</i>	122.71	1.87	1 559.43	2.44
A3	黄鳍东方鲀 <i>Takifugu xanthopterus</i>	164.57	1.64		
A4/S6	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	2 996.36	2.68	2 220.78	2.46
A5	尖头黄鳍牙鲷 <i>Chrysochir aureus</i>	204.03	2.59		
A6/S9	龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	10 908.44	2.75	3 030.24	2.6
A7/S10	矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	730.76	2.77	275.09	2.21
A8	鲩 <i>Miichthys niuy</i>	195.77	1.04		
S1	刀鲚 <i>Coilia nasus</i>			2 397.96	1.89
S2	凤鲚 <i>Coilia mystus</i>			159.96	2.17
S5	花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>			111.19	0.5
S7	孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>			2 255.25	2.52
S8	六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>			198.58	2.04
S11	短吻三线舌鲷 <i>Cynoglossus abbreviatus</i>			152.79	1.86

注：秋季8种主要鱼类种号依次为A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7和A8；春季11种主要鱼类种号依次为S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9、S10和S11

Notes: In autumn, the species numbers of 8 dominant fish species are A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 and A8; in spring, the species numbers of 11 dominant fish species are S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10 and S11

表2 台州南部近岸海域秋季主要鱼类的生态位重叠值

Tab. 2 Niche overlap of dominant fishes in the southern coastal waters of Taizhou in autumn

种号 no.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
A2	0.20						
A3	0.21	0.74					
A4	0.47	0.68	0.78				
A5	0.27	0.44	0.28	0.57			
A6	0.47	0.55	0.43	0.76	0.64		
A7	0.33	0.37	0.35	0.69	0.78	0.60	
A8	0.28	0.32	0.66	0.59	0.38	0.32	0.25

注：表2主要鱼类种号同表1，下同

Notes: The species number referred to Tab.1, the same below

种间联结性分析 由表5及图2得出，秋季， $\chi^2$ 检验、Pearson相关检验和Spearman秩相关检验的结果均显示正联结种对数远大于负联结种对数与无联结种对数，其正负关联比(正联结的种对数/负联结的种对数)依次约为1.50、1.33和2.11。

$\chi^2$ 检验中，除龙头鱼因在每个站位中都有分

布而无法分析它与其余7个种之间的联结性(即为偏离种)外，共有21个种对，其中并无显著联结的种对；Pearson相关检验及Spearman秩相关检验中，8种主要鱼类共组成28个种对，其中显著相关(包含极显著相关)的种对分别有5个和3个，且其均为正相关种对。3种检验方法的检验显著率(显著及极显著相关的种对数占总种对数的比

表 3 台州南部近岸海域春季主要鱼类的生态位重叠值

Tab. 3 Niche overlap of dominant fishes in the southern coastal waters of Taizhou in spring

种号 no.	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
S2	0.10									
S3	0.18	0.12								
S4	0.22	0.59	0.16							
S5	0.04	0.00	0.46	0.09						
S6	0.21	0.80	0.29	0.68	0.01					
S7	0.73	0.51	0.35	0.52	0.25	0.59				
S8	0.10	0.35	0.03	0.47	0.08	0.40	0.18			
S9	0.38	0.38	0.19	0.38	0.00	0.47	0.36	0.61		
S10	0.43	0.34	0.34	0.69	0.41	0.43	0.71	0.22	0.23	
S11	0.33	0.00	0.42	0.26	0.57	0.28	0.59	0.04	0.18	0.65

表 4 台州南部近岸海域主要鱼类的总体联结性

Tab. 4 Overall correlations of dominant fishes in the southern coastal waters of Taizhou

季节 season	$S_r$	$\delta_r$	$VR$	$W$	$\chi^2[\chi_{0.95}^2(20), \chi_{0.05}^2(20)]$	检验结果 inspection result
秋季 autumn	1.61	3.45	0.47	9.33	(10.85,31.41)	显著负关联
春季 spring	1.63	2.05	0.80	15.91	(10.85,31.41)	不显著负关联

表 5 台州南部近岸海域秋季 $\chi^2$ 检验、Pearson相关检验和Spearman秩相关检验的结果比较

Tab. 5 Comparison of results of Chi-square test, Pearson correlation test and Spearman rank correlation test in the southern coastal waters of Taizhou in autumn

方法 method	正联结的种对数及其百分比 number of pairs of positive association and its percentage			负联结的种对数及其百分比 number of pairs of negative association and its percentage			无联结的种对数 及其百分比 number of pairs of no association and its percentage	正负关联比 correlation ratio
	极显著 extremely significant	显著 significant	不显著 not significant	极显著 extremely significant	显著 significant	不显著 not significant		
$\chi^2$ 检验 Chi-square test	0(0.00%)	0(0.00%)	12(57.14%)	0(0.00%)	0(0.00%)	8(38.10%)	1(4.76%)	1.50
Pearson相关检验 Pearson correlation test	3(10.71%)	2(7.14%)	11(39.29%)	0(0.00%)	0(0.00%)	12(42.86%)	0(0.00%)	1.33
Spearman秩相关检验 Spearman rank correlation test	1(3.57%)	2(7.14%)	16(57.14%)	0(0.00%)	0(0.00%)	9(32.14%)	0(0.00%)	2.11

例)依次约为0%、17.86%和10.71%。

Pearson相关检验中, 极显著正相关的种对有拉氏狼牙虾虎鱼与黄鳍东方鲀种对、黄鳍东方鲀与鲩种对和黄鳍东方鲀与棘头梅童鱼种对, 这3个种对约占总种对数的10.71%; 显著正相关的种对有棘头梅童鱼与拉氏狼牙虾虎鱼种对和棘头梅童鱼与鲩种对, 这2个种对约占总种对数的7.14%。Spearman秩相关检验中, 极显著正相关的种对仅有棘头梅童鱼与黄鳍东方鲀种对, 约占总种对数的3.57%; 显著正相关的种对有黄鳍东方鲀与拉氏狼牙虾虎鱼种对和龙头鱼与拉

氏狼牙虾虎鱼种对, 这2个种对约占总种对数的7.14%。

总之, 秋季 $\chi^2$ 检验、Pearson相关检验和Spearman秩相关检验的结果虽存在一定的差异, 但总体上仍然呈现一致性, 均表明主要鱼类群落正联结程度远高于负联结程度, 这与总体联结性分析(显著负相关)的结果不一致。

由表6及图3得出, 春季, 11种主要鱼类共组成55个种对,  $\chi^2$ 检验、Pearson相关检验和Spearman秩相关检验的结果均显示负联结种对数略大于或等于正联结种对数, 无联结种对不存

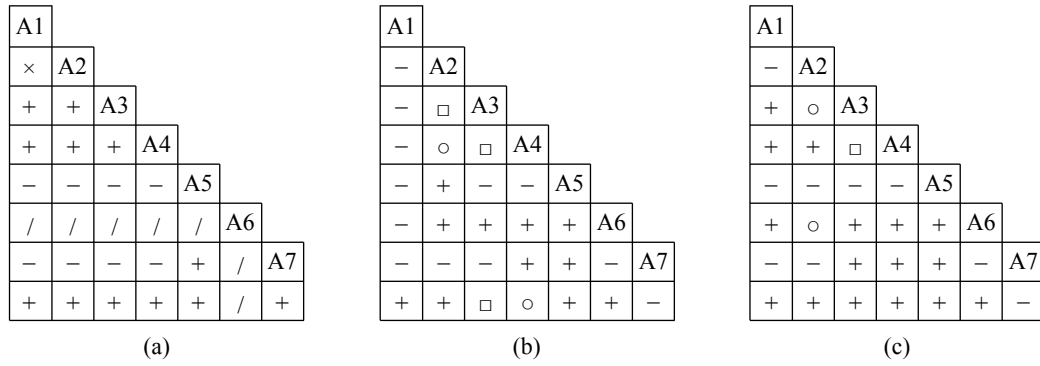


图2 台州南部近岸海域秋季 $\chi^2$ 检验(a)、Pearson相关检验(b)和Spearman秩相关检验(c)的半矩阵图

□代表极显著正联结; ■代表极显著负联结; ○代表显著正联结; ●代表显著负联结; +代表不显著正联结; -代表不显著负联结; ×代表无联结; /代表无法分析。下同

Fig. 2 Semi-matrix diagram of  $\chi^2$ -test(a), Pearson correlation test(b) and Spearman rank correlation test(c) in the southern coastal waters of Taizhou in autumn

□ means extremely significant positive association; ■ means extremely significant negative association; ○ means significant positive association; ● means significant negative association; + means not significantly positive association; - means not significantly negative association; × means no association; / means unable to analyze. The same below

表6 台州南部近岸海域春季 $\chi^2$ 检验、Pearson相关检验和Spearman秩相关检验的结果比较

Tab. 6 Comparison of results of  $\chi^2$ -test, Pearson correlation test and Spearman rank correlation test in the southern coastal waters of Taizhou in spring

方法 method	正联结的种对数及其百分比 number of pairs of positive association and its percentage			负联结的种对数及其百分比 number of pairs of negative association and its percentage			无联结的种对数及 其百分比 number of pairs of no positive-negative association and its percentage	正负关联比 correlation ratio
	极显著 extremely significant	显著 significant	不显著 not significant	极显著 extremely significant	显著 significant	不显著 not significant		
$\chi^2$ 检验 Chi-square test	0(0.00%)	1(1.82%)	25(45.45%)	1(1.82%)	3(5.45%)	24(43.64%)	1(1.82%)	0.93
Pearson相关检验 Pearson correlation test	2(3.64%)	5(9.09%)	20(36.36%)	0(0.00%)	3(5.45%)	25(45.45%)	0(0.00%)	0.96
Spearman秩相关检验 Spearman rank correlation test	1(1.82%)	5(9.09%)	21(38.18%)	2(3.64%)	4(7.27%)	21(38.18%)	1(1.82%)	1

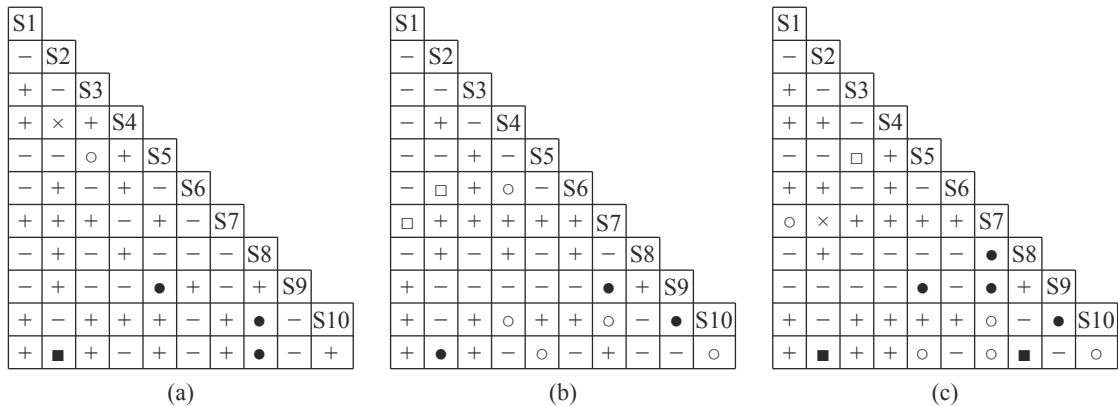


图3 台州南部近岸海域春季 $\chi^2$ 检验(a)、Pearson相关检验(b)和Spearman秩相关检验(c)的半矩阵图

Fig. 3 Semi-matrix diagram of Chi-square test (a), Pearson correlation test(b) and Spearman rank correlation test(c) in the southern coastal waters of Taizhou in spring

在或仅存在1个, 其正负关联比依次约为0.93、0.96和1.00。3种检验方法中显著联结(包含极显

著联结)的种对依次有5个、10个和12个, 其检验显著率依次约为9.09%、18.18%和21.82%。

$\chi^2$ 检验中, 不存在极显著正联结的种对; 显著正联结的种对仅有海鳗与花鲈种对, 约占总种对数的1.82%; 极显著负联结的种对仅有凤鲚与短吻三线舌鳎种对, 约占总种对数的1.82%; 显著负联结的种对有花鲈与龙头鱼种对、六丝钝尾虾虎鱼与矛尾虾虎鱼种对和六丝钝尾虾虎鱼与短吻三线舌鳎种对, 这3个种对约占总种对数的5.45%。

Pearson相关检验中, 极显著正相关的种对有刀鲚与孔虾虎鱼种对和凤鲚与棘头梅童鱼种对, 这2个种对约占总种对数的3.64%; 显著正相关的种对有拉氏狼牙虾虎鱼与棘头梅童鱼种对、拉氏狼牙虾虎鱼与矛尾虾虎鱼种对等5个种对, 约占总种对数的9.09%; 不存在极显著负相关的种对; 显著负相关的种对有凤鲚与短吻三线舌鳎种对、孔虾虎鱼与龙头鱼种对和龙头鱼与矛尾虾虎鱼种对, 这3个种对约占总种对数的5.45%。

Spearman秩相关检验中, 极显著正相关的仅有海鳗与花鲈种对, 约占总种对数的1.82%; 显著正相关的种对有刀鲚与孔虾虎鱼种对、花鲈与短吻三线舌鳎种对、孔虾虎鱼与矛尾虾虎鱼种对等5个种对, 约占总种对数的9.09%; 极显著负相关的种对有凤鲚与短吻三线舌鳎种对和六丝钝尾虾虎鱼与短吻三线舌鳎种对, 这2个种对约占总种对数的3.64%; 显著负相关的种对有花鲈与龙头鱼种对、孔虾虎鱼与龙头鱼种对等4个种对, 约占总种对数的7.27%。

总之, 春季 $\chi^2$ 检验、Pearson相关检验和Spearman秩相关检验的结果基本上保持一致, 均表明主要鱼类群落负联结程度略高于正联结程

度, 这与总体联结性分析结果(不显著负联结)相一致。

### 3 讨论

#### 3.1 生态位宽度划分

本实验将春、秋2季主要鱼类按照空间生态位宽度值划分为广生态位种( $B_i \geq 2.40$ )、中生态位种( $1.60 \leq B_i < 2.40$ )和窄生态位种( $B_i < 1.60$ )(图4)。春、秋2季主要鱼类生态位宽度值均具有较明显的分段现象: a段鱼类生态位宽度值低, 每种出现频率均低于20%且渔获数量较少; b段鱼类生态位宽度值较高, 每种出现频率均处于35%~65%之间且渔获数量较多; c段鱼类生态位宽度值高, 每种出现频率均高于75%, 在各站位分布较为均匀且渔获数量多。由此可见, 生态位宽度值不仅反映各种的渔获数量, 更反映其分布范围及分布均匀度, 本实验按照a、b、c 3个生态位宽度值范围把主要鱼类划分为窄生态位种、中生态位种及广生态位种3个等级的方法是可靠可信的。这种划分方法与胡成业等<sup>[1]</sup>的研究结果相类似。

#### 3.2 生态位宽度与生态位重叠的关系

物种的生态位宽度值与物种间生态位重叠值不存在正相关关系。广生态位种间的生态位重叠值未必高, 但广生态位种间的生态位重叠几率较高。秋季4个广生态位种组成的6个种对的 $O_{ik}$ 值均较高(0.57~0.78), 春季4个广生态位种组成的6个种对中 $O_{ik}$ 值高于0.50的也有3个, 这表明广生态位种间生态位重叠值较高的可能性较

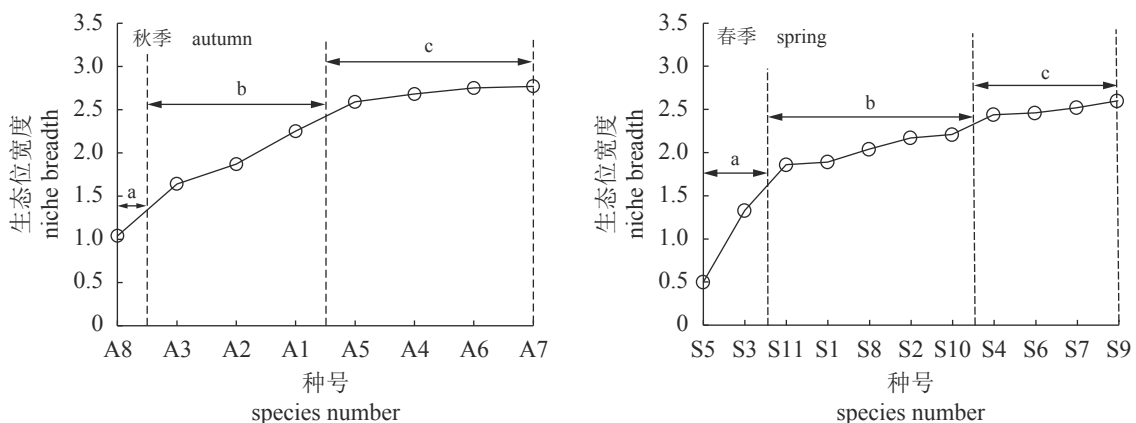


图4 台州南部近岸海域主要鱼类的生态位宽度值变化( $B_i$ )

Fig. 4 Variation of niche breadth of dominant fishes in the southern coastal waters of Taizhou

大,这可能是因为广生态位种的资源竞争能力较强,分布范围较广,彼此之间在争夺栖息地与饵料时相遇的几率也较高。这与刘巍等<sup>[26]</sup>的研究相一致。

窄生态位种间的生态位重叠值不一定低。如春季仅有的2个窄生态位种花鲈与海鳗间的 $O_{ik}$ 值为0.46,其值高于春季主要鱼类群落中71%的种对。这可能是由于窄生态位种对资源的利用具有特定性与局限性,具体表现在其占据较少的环境位点及利用较少的资源,若两物种在资源的利用上又存在一定相似性,这两物种间的 $O_{ik}$ 值就相对较高。春季花鲈与海鳗分布的站点均少且重合率较高,两物种食性又相似,这可能导致了两物种间的 $O_{ik}$ 值相对较高。

另外,通过对广生态位种与中生态位种、广生态位种与窄生态位种、中生态位种与中生态位种及中生态位种与窄生态位种4种组合的种对分析可知,秋季 $O_{ik}$ 取值范围依次为0.27~0.78、0.25~0.59、0.20~0.74和0.28~0.66,春季依次为0.18~0.80、0~0.35、0.04~0.65和0~0.57。由此可见,这4种组合的种对的生态位重叠值不存在规律性,这可能是由于其种对中两物种在资源及生活环境利用上的重合程度存在不确定性,导致了其生态位重叠值的不确定性。

### 3.3 总体联结性及种对间联结性

种间总体联结性反映了群落的稳定性。秋季主要鱼类间总体联结性呈显著负关联,春季主要鱼类间总体联结性呈不显著负关联,表明春、秋2季主要鱼类群落总体上均处于较不稳定的状态,外界干扰对群落的影响较大。这与周先叶等<sup>[27]</sup>的研究结果相一致。

春、秋2季3种种对间联结性分析方法的检验显著率均较低,大多数种对的关联性均未达到显著水平,表明春、秋2季主要鱼类群落种对间联结性不强,种间关系较为松散,群落的稳定性较差。根据卢振彬等<sup>[28]</sup>及汪振华等<sup>[29]</sup>的划分标准,春、秋2季主要鱼类群落中均存在底层种、近底层种及中上层种,主要鱼类的生活水层存在较大差异,且其在空间上相互分离,这可能导致了主要鱼类群落种间关系较为松散。

秋季 $\chi^2$ 检验、Pearson相关检验与Spearman秩相关检验的结果均显示主要鱼类正负关联比远大于1,这与秋季总体联结性分析结果不一致。这可能是由于秋季主要鱼类中含有海鳗与鲩,这

2种主要鱼类的个体远大于群落中的其余6种主要鱼类,并对群落中的其余6种主要鱼类产生空间排斥,使其余主要鱼类之间多呈正联结。这与Greig-smith<sup>[30]</sup>及张苗苗等<sup>[12]</sup>的研究结果相一致。

种对间联结是两个物种在空间分布上的联结性<sup>[5]</sup>,种对的联结程度与一个种对中2物种对生境需求的相似度或种间的利弊关系存在较大的关系。有些种对的显著正联结是由两物种对生境的相似需求引起。如秋季的黄鳍东方鲀与拉氏狼牙虾虎鱼种对,种对中两物种均为近岸海域底栖鱼类,其对生活环境的选择较为一致,两物种共同出现并和睦共处、共享资源。有些种对的显著正联结是由于一个种的存在对另一个种有利而产生吸引作用。如春季的刀鲚与孔虾虎鱼种对,刀鲚以孔虾虎鱼为食,即孔虾虎鱼的出现对刀鲚有利,这使两者共同出现的可能性较大。有些种对的显著负联结是由两物种的生境需求差异引起。如春季的凤鲚与短吻三线舌鳎种对,凤鲚为近岸海域中上层鱼类,而短吻三线舌鳎为底栖鱼类,两物种的生活水层差异较大,共同出现的可能性较小。有些种对的显著负联结是由于一个种的存在对另一个种不利而产生排斥作用。如春季的短吻三线舌鳎与六丝钝尾虾虎鱼种对,两物种均为底栖鱼类且均主要以无脊椎动物为食,生境及食性两方面的相似使其在外界资源不充分的条件下产生了激烈的种间竞争并相互排斥,从而形成了种对的显著负联结。

### 参考文献:

- [1] 张光明,谢寿昌.生态位概念演变与展望[J].生态学报,1997,16(6):46-51.  
Zhang G M, Xie S C. Development of niche concept and its perspectives: A review[J]. Chinese Journal of Ecology, 1997, 16(6): 46-51(in Chinese).
- [2] 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[J].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[J]. Acta Ecologica Sinica, 1984, 4(2): 119-127(in Chinese).
- [3] 林开敏,郭玉硕.生态位理论及其应用研究进展[J].福建林学院学报,2001,21(3):283-287.  
Lin K M, Guo Y S. The research advances on niche



- theory and its application[J]. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2001, 21(3): 283-287(in Chinese).
- [4] 李建民, 谢芳, 陈存及, 等. 光皮桦天然林群落优势种群的种间联结性研究[J]. *应用生态学报*, 2001, 12(2): 168-170.
- Li J M, Xie F, Chen C J, *et al.* Interspecific association of dominant species in *Betula luminifera* natural forest communities of Shaowu, Fujian Province[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(2): 168-170(in Chinese).
- [5] 徐满厚, 刘敏, 翟大彤, 等. 植物种间联结研究内容与评述[J]. *生态学报*, 2016, 36(24): 8224-8233.
- Xu M H, Liu M, Zhai D T, *et al.* A review of contents and methods used to analyze various aspects of plant interspecific associations[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(24): 8224-8233(in Chinese).
- [6] 刘润红, 姜勇, 常斌, 等. 漓江河岸带枫杨群落主要木本植物种间联结与相关分析[J]. *生态学报*, 2018, 38(19): 6881-6893.
- Liu R H, Jiang Y, Chang B, *et al.* Interspecific associations and correlations among the main woody plants in a *Pterocarya stenoptera* community in a riparian zone of Lijiang River, Guilin, Southwest China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(19): 6881-6893(in Chinese).
- [7] 李帅锋, 刘万德, 苏建荣, 等. 滇西北云南红豆杉群落物种生态位与种间联结[J]. *植物科学学报*, 2012, 30(6): 568-576.
- Li S F, Liu W D, Su J R, *et al.* Niche and interspecific association of species of *Taxus yunnanensis* communities in northwest Yunnan Province[J]. *Plant Science Journal*, 2012, 30(6): 568-576(in Chinese).
- [8] 刘淑燕, 余新晓, 陈丽华. 北京山区天然林乔木树种种间联结与生态位研究[J]. *西北林学院学报*, 2009, 24(5): 26-30, 81.
- Liu S Y, Yu X X, Chen L H. Interspecific association and niche research of natural forest in Beijing mountainous area[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2009, 24(5): 26-30, 81(in Chinese).
- [9] 王树森, 余新晓, 刘凤芹, 等. 华北土石山区天然森林植被种间联结和生态位的研究[J]. *水土保持研究*, 2006, 13(4): 170-172, 175.
- Wang S S, Yu X X, Liu F Q, *et al.* Interspecific association and niche research of forest vegetation in rocky mountain area of north of China[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(4): 170-172, 175(in Chinese).
- [10] 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.
- 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(in Chinese).
- [11] 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.
- 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(in Chinese).
- [12] 张苗苗, 王咏雪, 田阔, 等. 台州玉环北部沿岸海域主要游泳动物生态位和种间联结性[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(11): 3867-3875.
- Zhang M M, Wang Y X, Tian K, *et al.* Niche and interspecific associations of major nekton in northern coastal waters in Yuhuan, Taizhou, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(11): 3867-3875(in Chinese).
- [13] 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, 2008.
- 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 Standard Press, 2008(in Chinese).
- [14] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- Liu R Y. Checklist of Marine Biota of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008(in Chinese).
- [15] 朱元鼎, 张春霖, 成庆泰. 东海鱼类志[M]. 北京: 科学出版社, 1963.
- Zhu Y D, Zhang C L, Cheng Q T. Fishes of the Donghai Sea[M]. Beijing: Science Press, 1963(in Chinese).
- [16] 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.
- Zhao S L, Xu H X, Zhong J S, *et al.* Marine Fishes of Zhejiang Province[M]. Hangzhou: Zhejiang Science &

- Technology Publishers, 2016(in Chinese).
- [17] 庄平, 王幼槐, 李圣法, 等. 长江口鱼类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.  
Zhuang P, Wang Y H, Li S F, *et al.* Fishes of the Yangtze Estuary[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2006(in Chinese).
- [18] Pianka E R. Ecology of the agamid lizard *Amphibolurus isolepis* in western Australia[J]. *Copeia*, 1971, 1971(3): 527-536.
- [19] 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.  
Wang X H, Du F Y, Qiu 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(in Chinese).
- [20] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Chicago: University of Illinois Press, 1949.
- [21] Pianka E R. The structure of lizard communities[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4: 53-74.
- [22] Schluter D. A variance test for detecting species associations, with some example applications[J]. *Ecology*, 1984, 65(3): 998-1005.
- [23] Dice L R. Measures of the amount of ecologic association between species[J]. *Ecology*, 1945, 26(3): 297-302.
- [24] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.  
Zhang J T. Quantitative Ecology[M]. Beijing: Science Press, 2004(in Chinese).
- [25] 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 Series*, 2000, 194: 233-239.
- [26] 刘巍, 曹伟. 长白山云冷杉群落主要种群生态位特征[J]. 生态学杂志, 2011, 30(8): 1766-1774.  
Liu W, Cao W. Niche characteristics of main plant species in spruce-fir forests in Changbai Mountains[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(8): 1766-1774(in Chinese).
- [27] 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.  
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]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2000, 24(3): 332-339(in Chinese).
- [28] 卢振彬, 戴泉水, 肖方森, 等. 闽南-台湾浅滩渔场鱼类及其不同生态类群的资源生产量[J]. 水产学报, 2006, 30(3): 359-366.  
Lu Z B, Dai Q S, Xiao F S, *et al.* The resources production of fish and its different ecological type in Minnan-Taiwan Bank fishing grounds[J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(3): 359-366(in Chinese).
- [29] 汪振华, 王凯, 赵静, 等. 枸杞岛潮下带沙地生境鱼类群落结构和季节变化[J]. 应用生态学报, 2011, 22(5): 1332-1342.  
Wang Z H, Wang K, Zhao J, *et al.* Fish community structure and its seasonal change in subtidal sandy beach habitat off southern Gouqi Island[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(5): 1332-1342(in Chinese).
- [30] Greig-Smith P. Quantitative Plant Ecology[M]. 3rd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1983.

## Niche and interspecific associations of dominant fishes in southern coastal waters in Taizhou, China

HAN Xiaofeng<sup>1</sup>, WANG Yongxue<sup>2</sup>, QIU Jinjin<sup>1</sup>, ZHANG Miaomiao<sup>1</sup>, YU Songli<sup>1</sup>, LIANG Hai<sup>3</sup>,  
ZHANG Yihan<sup>1</sup>, LAI Hongyun<sup>1</sup>, JIANG Yuxuan<sup>4</sup>, SHUI Bonian<sup>1\*</sup>

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

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

3. Environmental Science Research & Design Institute of Taizhou City, Taizhou 318000, China;

4. Nanhai Experimental School, Zhoushan 316000, China)

**Abstract:** Based on the data from fishery resources survey carried out in southern coastal waters in Taizhou in October 2016 (autumn) and April 2017 (spring), this study defined the dominant species and main species that appeared in the two surveys as the dominant fish, and analyzed the niche and interspecific associations of dominant fish by the methods of index of relative importance, niche breadth, niche overlap, the variance ratio, Chi-square test, Pearson correlation test and Spearman rank correlation test. The results showed that there were 8 and 11 dominant fish species in autumn and spring respectively, and 5 common dominant fish species were in these two seasons. The index of niche breadth and overlap of dominant fish in autumn were slightly higher than those in spring. There were 4 wild niche species, 3 middle niche species and 1 narrow niche species in autumn, while 4 wild niche species, 5 middle niche species and 2 narrow niche species were in spring. The number of pairs with significant niche overlap in autumn accounted for 32.14% of the total pairs, while only 12.73% in spring. In autumn, overall interspecific associations indicated that significantly negative association existed among dominant fish species. Chi-square test, Pearson correlation test and Spearman rank correlation test showed that the positive and negative correlation ratios in the community were 1.50, 1.33 and 2.11 respectively, and the test significant rates were about 0%, 17.86% and 10.71% respectively. In spring, overall interspecific associations indicated that insignificantly negative association existed among dominant fish species. Chi-square test, Pearson correlation test and Spearman rank correlation test showed that the positive and negative correlation ratios in the community were 0.93, 0.90 and 1 respectively, and the test significance rates were about 9.1%, 18.18% and 21.82% respectively.

**Key words:** dominant fish; niche; interspecific associations; southern coastal waters in Taizhou

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

**Funding projects:** National Key Research and Development Program Project(2017YFA0604902); First-class Discipline (Category A) "Fisheries Discipline" Project of Zhejiang Province; Project of Soft Science Research Program of Zhejiang Province (2015C25018)