

郭清扬, 左娅, 林吴颖, 等. 北部湾中华鲎 (*Tachypleus tridentatus*) 幼鲎生态位及种间竞争分析[J]. 海洋学报, 2022, 44(10): 109–118, doi:10.12284/hyxb2022176

Guo Qingyang, Zuo Ya, Lin Wuying, et al. Niche and interspecific association of juvenile *Tachypleus tridentatus* in the Beibu Gulf[J]. Haiyang Xuebao, 2022, 44(10): 109–118, doi:10.12284/hyxb2022176

# 北部湾中华鲎 (*Tachypleus tridentatus*) 幼鲎生态位及种间竞争分析

郭清扬<sup>1,2,3</sup>, 左娅<sup>4</sup>, 林吴颖<sup>5</sup>, 肖晓波<sup>6</sup>, 赵心忆<sup>5</sup>, 李银康<sup>1</sup>,  
应紫薇<sup>1</sup>, 周传江<sup>2</sup>, 颀晓勇<sup>1,2\*</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所 广东省渔业生态环境重点实验室, 广东 广州 510300; 2. 河南师范大学 水产学院, 河南 新乡 453007; 3. 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州), 广东 广州 511458; 4. 惠东县水生动物防疫站, 广东 惠州 516300; 5. 深圳爱栖自然生态科技有限公司, 广东 深圳 518112; 6. 广西生物多样性研究和保护协会, 广西 南宁 530012)

**摘要:** 中华鲎 (*Tachypleus tridentatus*) 属于国家二级重点保护野生动物, 近年来数量锐减已成为濒危物种。该研究基于北部湾沿岸滨海湿地中华鲎种群调查, 利用中华鲎幼鲎栖息地主要大型底栖动物资源数据, 采用生态位宽度和生态位重叠指数分析探讨中华鲎幼鲎对资源利用情况及其与各物种之间竞争强弱, 进一步采用种间联结性探究中华鲎幼鲎与各物种竞争情况。结果表明: (1) 中华鲎幼鲎在底栖群落中属于广生态位物种, 其生态位宽度最大 (4.252 2); (2) 中华鲎幼鲎与各底栖生物均有一定程度生态位重叠, 其中与短指和尚蟹 (*Mictyris brevidactylus*) 生态位重叠高达 0.837 5; (3) 中华鲎幼鲎与短指和尚蟹种群动态模拟结果显示, 二者种群规模在西背岭和三娘湾地区呈此消彼长状态, 自然补充量减少是限制种群增长的重要因素。生态位分析表明, 中华鲎幼鲎可作为滨海湿地生态系统健康程度指示物种, 建议以中华鲎为旗舰物种开展滨海湿地生物多样性保护和管理宣传。

**关键词:** 中华鲎; 生态位; 种间联结; 滨海湿地; 生境保护

中图分类号: S917.4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2022)10-0109-10

## 1 引言

鲎隶属于肢口纲(Merostomata)剑尾目(Xiphosura), 是一种浅海底栖节肢动物<sup>[1]</sup>, 因其具有广食性, 在近岸海洋生态系统中参与能量转移、物质循环及信息交流<sup>[2]</sup>。近年来中华鲎(*Tachypleus tridentatus*)数量锐减<sup>[3]</sup>, 2019年中华鲎在世界自然保护联盟濒危物种红色名录中被正式更新为濒危(EN)<sup>[4]</sup>, 2021年2月被列入国

家二级重点保护野生动物名录。

生态位是一个种群在生态系统中, 在时间和空间上所占据的位置及其与相关种群之间的功能关系与作用的总和, 物种生态位宽度及生态位重叠指数体现各物种资源利用情况及种间竞争关系强弱<sup>[5-6]</sup>。种间联结体现群落内部竞争物种的替代关系<sup>[7]</sup>, 种间联结测度分析表达群落各物种间相互作用程度及群落动态<sup>[8]</sup>。生态位和种间联结被用于探索多种生物关系, 如中国

收稿日期: 2022-02-03; 修订日期: 2022-06-20。

基金项目: 海南省自然科学基金(322MS154); 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项(GML2019ZD0605); 广东省科技计划(2019B121201001)。

作者简介: 郭清扬(1995—), 男, 天津市滨海新区人, 主要从事鲎生物学研究。E-mail: guoqingyang2018@163.com

\* 通信作者: 颀晓勇, 副研究员, 主要从事水产养殖和种质资源保护研究。E-mail: xyxie@scsfri.ac.cn

花鲈(*Lateolabrax maculatus*)种群特征<sup>[9]</sup>、龙头鱼(*Harporodon nehereus*)等游泳动物间生态关系<sup>[10]</sup>、湿地浮游植物优势种生态位研究等<sup>[11]</sup>。中华鲎所处底栖生境内生物多样性,食物网关系较为复杂<sup>[2]</sup>,明确该物种生存竞争将进一步深化鲎栖息地保护工作所需的科学理论认识。

北部湾海域位于广东省雷州半岛、海南省和广西壮族自治区及越南之间,是当前现存最适中华鲎栖息的区域之一<sup>[12]</sup>。作为存续 4.75 亿年的海洋“活化石”,中华鲎在一定程度上能够反映水域生态系统的健康程度<sup>[13-14]</sup>,截至目前,尚无中华鲎幼鲎在底栖动物群落内竞争强度和种间竞争情况的相关研究。本文以北部湾滨海湿地中华鲎幼鲎生境调查资料为基础,探索中华鲎幼鲎与栖息地主要生物种类间的生态位关系,计算群落总体关联性并检验种间联结性显著程度,进行种间竞争动态模拟,以期填补中华鲎幼鲎与环境底栖动物中部分优势种种间竞争关系理论空白,为中华鲎幼鲎栖息地保护提供生态学基础理论依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 数据组成及其来源

在前期北部湾沿岸幼鲎种群分布调查基础上<sup>[4]</sup>,本研究于 2018 年 7 月选择中华鲎幼鲎典型分布区域开展幼鲎调查及潮间带大型底栖动物调查,调查地点分别为西背岭、竹林盐场、三娘湾、坡尾底、沙田及榕根山(图 1)。在各调查地点依地形特点分设 2~6 个 500 m×500 m 的样方,其中西背岭地区、沙田地区和榕根山地区分别设 2 个样方,竹林盐场地区设 6 个样方,三娘湾地区设 4 个样方,坡尾底地区设 3 个样方,采用样线调查法调查样方内出现中华鲎幼鲎的密度和频度。

大型底栖动物定量采样按照《海洋监测规范》

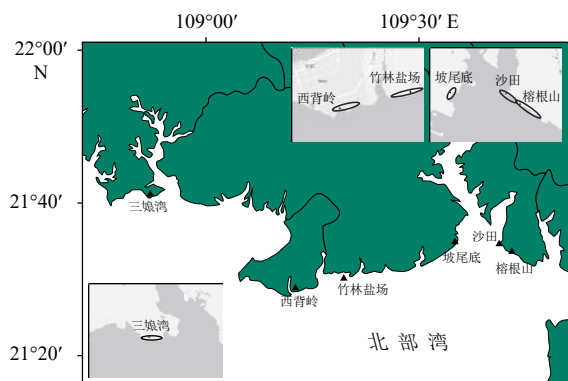


图 1 采样站位

Fig. 1 The location of sampling stations

(GB 17378.1-2007)和《海洋调查规范》(GB/T 12763.1-2007)进行,各调查地点设 1 条采样断面,每个断面按照高、中、低潮区设站点进行随机取样。本研究取样站布设时在高潮区布设 2 站、中潮区布设 3 站、低潮区布设 2 站,因滩面沉积物类型较为一致,生物分布较为均匀,故每站取 4 个样方,样方大小为 25 cm×25 cm,采样深度为 30 cm,岩石岸区域每站取 2 个样方,若生物栖息密度很高且分布较均匀则采用 10 cm×10 cm 定量框取样。取样时选用 40 目筛网,孔径为 1 mm,过滤收集底栖生物。将同一潮区的平行样混合装瓶,得到高、中、低潮区共计 3 份样品,用酒精进行固定保存。

各调查断面采集 1 份定性样品,尽可能将该地附近出现的生物种类收集齐全,以记录该地区蕴藏的底栖生物种类。所得样品用 75% 酒精固定 5 d 后进行种类鉴定,并使用精度为 0.01 g 的电子天平称重。依据取样面积,将个体数和湿重换算成栖息密度(单位: ind./m<sup>2</sup>)和生物量(单位: g/m<sup>2</sup>)。

### 2.2 数理统计方法

优势度指数计算公式为

$$Y = \frac{n_i}{N} f_i, \quad (1)$$

式中,  $Y$  为优势度指数;  $N$  为样品中个体总数;  $n_i$  为第  $i$  种个体数;  $f_i$  为第  $i$  种在调查站点中出现频率。

Levins 生态位宽度计算公式为

$$B_i = \frac{1}{r \sum_{j=1}^r P_{ij}^2}, \quad (2)$$

式中,  $B_i$  为第  $i$  种生态位宽度;  $j$  表示样方;  $r$  表示样方数量;  $P_{ij}$  表示第  $i$  种生物占  $j$  样方总个体数的比例。

Pianka 重叠指数计算公式为

$$Q_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^r P_{ij} \times P_{kj}}{\sqrt{\sum_{j=1}^r P_{ij}^2 \times \sum_{j=1}^r P_{kj}^2}}, \quad (3)$$

式中,  $Q_{ik}$  为种  $i$  和种  $k$  的生态位重叠度;  $P_{ij}$  和  $P_{kj}$  分别为种  $i$  和种  $k$  占  $j$  样方总个体数的比例。

利用方差比率(VR)法测定中华鲎幼鲎与其生境内主要优势种的总体关联性,其能够体现中华鲎幼鲎所处群落结构的稳定程度及演替趋势,并通过 Ochi-ai 指数(OI)、Dice 指数(DI)、Pearson 相关系数( $r_{ik1}$ )和 Spearman 秩相关系数( $r_{ik2}$ )体现两个物种间相关性的紧密程度<sup>[15]</sup>。

物种间总体关联性计算公式如下:

$$\text{物种相对多度方差: } \sigma_T^2 = \sum_{i=1}^s p_i(1-p_i)^2, \quad (4)$$

$$\text{物种数方差: } S_T^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_j - t)^2, \quad (5)$$

$$\text{方差比率: } VR = S_T^2 / \sigma_T^2, \quad (6)$$

式中,  $p_i$  为相对多度;  $n$  为样方总数;  $S$  为总物种数;  $t$  为平均物种数;  $T_j$  为  $j$  调查点物种数。当  $VR < 1$  时, 各物种整体呈负联结性; 当  $VR > 1$  时, 各物种整体呈正联结性; 当  $VR = 1$  时, 各物种间无关联性。

联结系数(AC)计算公式为

$$\text{若 } ad \geq bc, \quad AC = (ad - bc) / [(a + b)(b + d)], \quad (7)$$

$$\text{若 } bc > ad \text{ 且 } d \geq a, \quad AC = (ad - bc) / [(a + b)(a + c)], \quad (8)$$

$$\text{若 } bc > ad \text{ 且 } d < a, \quad AC = (ad - bc) / [(d + b)(d + c)], \quad (9)$$

式中,  $a$  为物种 A 和物种 B 共同占据的样方数;  $b$  为仅物种 A 出现的样方数;  $c$  为仅物种 B 出现的样方数;  $d$  为均不曾有物种 A 和物种 B 出现的样方数。AC 值域为  $[-1, 1]$ , 越接近  $-1$ , 即负联结程度越高,  $AC = 0$  即为两物种间互相独立<sup>[16]</sup>。

Ochiai 指数计算公式<sup>[7]</sup>为

$$OI = \frac{a}{\sqrt{(a+b)(a+c)}}. \quad (10)$$

Dice 指数计算公式<sup>[7]</sup>为

$$DI = \frac{2a}{2a + b + c}. \quad (11)$$

OI 与 DI 值域为  $[0, 1]$ , 越接近 0, 即负联结程度越高。

Pearson 相关系数计算公式<sup>[7]</sup>为

$$r_{ik1} = \frac{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \sum_{j=1}^N (x_{kj} - \bar{x}_k)^2}}. \quad (12)$$

Spearman 秩相关系数计算公式<sup>[7]</sup>为

$$r_{ik2} = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^N (x_{ij} - x_{kj})_j^2}{N^3 - N}. \quad (13)$$

假设中华鲎与竞争物种存在相互作用, 且假设中华鲎独自在当前栖息地生存时, 种群规模发展均遵循 Logistic 规律。得到种间竞争模型计算公式为

$$\frac{dx}{dt} = r_1 x \left( 1 - \frac{x}{n_1} - s_1 \frac{y}{n_2} \right), \quad (14)$$

$$\frac{dy}{dt} = r_2 y \left( 1 - \frac{y}{n_2} - s_2 \frac{x}{n_1} \right), \quad (15)$$

式中,  $x$ 、 $y$  分别为中华鲎幼鲎与所竞争物种种群数量;  $r_1$ 、 $r_2$  分别为固有增长率;  $n_1$ 、 $n_2$  为最大容量;  $s_1$ 、 $s_2$  为竞争系数。数据源自本研究团队 2014–2018 年间中华鲎幼鲎与短指和尚蟹(*Mictyris brevidactylus*)野外

调查, 以各地相邻年份物种数量差值计算初始固有增长率, 以实地调查期间的最大样本容量值模拟最大容量, 以相互竞争的两物种重叠系数及其倒数分别作为二者竞争系数。

以优势度大于 0.02 的物种为优势种<sup>[17]</sup>, 由于各样地优势种不同, 本研究选择所调查中华鲎幼鲎全部样本中出现频率大于 0.10 的物种作为研究对象, 所有数据分析和制图均通过 R3.5.1 软件的 spaa 包实现, 采样站位图由 Arcgis 软件制取, 种间竞争模型制图由 Matlab 软件实现。

### 3 结果

#### 3.1 中华鲎幼鲎生态位宽度及生态位重叠指数

调查期间共采集底栖生物样本 12 门类 135 科 280 种。其中中华鲎幼鲎生态位宽度居最宽位(4.252 2), 小翼拟蟹守螺(*Pirenella microptera*)居最窄位(1.000 0)。依据各物种个体数计算物种优势度、出现频率和中华鲎幼鲎与其生境内主要优势种生态位宽度(表 1)和生态位重叠指数(表 2)。主要优势种中短指和尚蟹分布于高、中、低 3 个潮区, 小翼拟蟹守螺主要分布于高潮区和中潮区, 中阿曼吉虫(*Armandia intermedia*)、南海毛满月蛤(*Pillucina vietnamica*)、丝异须虫(*Heteromastus filiformis*)及丽文蛤(*Meretrix lusoria*)主要分布于中潮区及低潮区, 熊本牡蛎(*Crassostrea sikamea*)、黑荞麦蛤(*Xenostrobus atratus*)、纹藤壶(*Amphibalanus amphitrite*)及韦氏毛带蟹(*Dotilla wichmanni*)仅分布于高潮区, 突崎心蛤(*Cryptonema producta*)仅分布于中潮区, 欧努菲虫(*Onuphis eremita*)和蝾螺(*Umbonium vestiarium*)仅分布于低潮区。

#### 3.2 中华鲎幼鲎与各样本种间关联

本研究利用方差比率法对中华鲎幼鲎与其生境内主要优势种开展总体联结性检验, 计算得方差比率 VR 值为 0.978 022, 由  $VR < 1$  可知, 中华鲎幼鲎与幼鲎生境内主要优势种整体表现出净负联结性<sup>[7]</sup>。联结系数(AC)显示, 中华鲎幼鲎与其他各优势物种均有一定程度正向关联性( $0 \leq AC < 0.33$ )(图 2), 全部种对间有 26 个表现负联结性, 65 个种对间存在正联结性或独立状态, 说明在当前演替阶段多数样本对资源利用情况相似, 同时存在对食源及栖息地等资源竞争情况。OI 系数值趋近于 1 时联结性增强, 结果显示中华鲎幼鲎与南海毛满月蛤、欧努菲虫、丝异须虫、丽文蛤、短指和尚蟹具有紧密关联性( $OI \geq 0.67$ ), 其中与南海毛满月蛤、丽文蛤及短指和尚蟹具有更紧密关联( $OI \geq 0.83$ ), 相伴出现几率大(图 3)。DI 指数显

表 1 中华鲎幼鲎生境主要优势种生态位宽度、出现频率及优势度

Table 1 Niche width, occurrence frequency and dominance of dominant species in juvenile *Tachypleus tridentatus* nursery habitat

编号	种名	生态位宽度	出现频率	优势度
1	中阿曼吉虫 <i>Armandia intermedia</i>	1.022 8	0.212 1	0.068 6
2	南海毛满月蛤 <i>Pillucina vietnamica</i>	2.289 0	0.363 6	0.013 9
3	熊本牡蛎 <i>Crassostrea sikamea</i>	1.135 0	0.121 2	0.008 5
4	欧努菲虫 <i>Onuphis eremita</i>	2.710 8	0.333 3	0.007 8
5	丝异须虫 <i>Heteromastus filiformis</i>	3.252 3	0.333 3	0.005 7
6	丽文蛤 <i>Meretrix lusoria</i>	4.213 9	0.424 2	0.006 6
7	短指和尚蟹 <i>Mictyris brevidactylus</i>	3.892 6	0.333 3	0.005 8
8	黑荞麦蛤 <i>Xenostrobus atratus</i>	1.150 9	0.100 0	0.005 0
9	纹藤壶 <i>Amphibalanus amphitrite</i>	2.000 0	0.121 2	0.004 0
10	小翼拟蟹守螺 <i>Pirenella microptera</i>	1.000 0	0.151 5	0.003 6
11	蜆螺 <i>Umbonium vestiarium</i>	1.684 2	0.100 0	0.000 1
12	突畸心蛤 <i>Cryptonema producta</i>	2.133 3	0.121 2	0.000 4
13	韦氏毛带蟹 <i>Dotilla wichmanni</i>	1.820 2	0.212 1	0.001 2
14	中华鲎幼鲎 juvenile <i>Tachypleus tridentatus</i>	4.252 2	0.084 9	0.149 5

表 2 中华鲎幼鲎生境主要优势种生态位重叠指数

Table 2 Niche overlap index of dominant species in juvenile *Tachypleus tridentatus* nursery habitat

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	0.311 1												
3	0	0.002 7											
4	0.000 4	0.476 9	0.212 6										
5	0.001 0	0.516 5	0.335 7	0.837 0									
6	0.302 4	0.396 9	0.278 2	0.287 8	0.475 5								
7	0.003 6	0.131 1	0.265 6	0.315 2	0.453 8	0.715 0							
8	0	0.003	0.993	0.503 9	0.954 6	>0.999	0.911 6						
9	0	0.021 5	0.567 5	0.271 1	0.513 5	0.624 3	0.950 5	0.575 4					
10	0.010 2	0.143 1	0	0	0.171 2	>0.999	>0.999	0	0				
11	0.127 7	0.137 7	0.054	0	0.021 4	0.409 7	0.916 6	0.060 9	0.75	0.125			
12	0.129	0.150 2	0.045	0	0.042 8	0.526 7	0.961 8	0.050 7	0.625	0.25	0.868 4		
13	0.001 1	0.024 6	0.775 7	0.461 8	0.808 3	0.936 4	0.940 5	0.781 6	0.833 3	0.111 1	0.163 7	0.207 4	
14	0.089 4	0.262 6	0.051 2	0.331 3	0.352 3	0.585 6	0.837 5	0.054 2	0.337 2	0.298 4	0.472 5	0.595 3	0.176 8

注: 该表物种编号同表1。

示, 中华鲎幼鲎与小翼拟蟹守螺相关性较弱 ( $0.17 \leq DI < 0.33$ ), 与其余样本相关性则较强 ( $DI \geq 0.50$ ) (图 4)。Pearson 相关系数测定结果显示, 中华鲎幼鲎仅与短指和尚蟹 ( $0.09 \leq r_{ik1} < 0.39$ ) 及小翼拟蟹守螺 ( $0.39 \leq$

$r_{ik1} < 0.70$ ) 呈正相关 (图 5), 与其他样本生物均呈负相关。Spearman 秩相关系数具有更高检测灵敏度, 其计算结果显示, 中华鲎幼鲎与短指和尚蟹关联性有所增强 ( $0.37 \leq r_{ik2} < 0.69$ ) (图 6)。

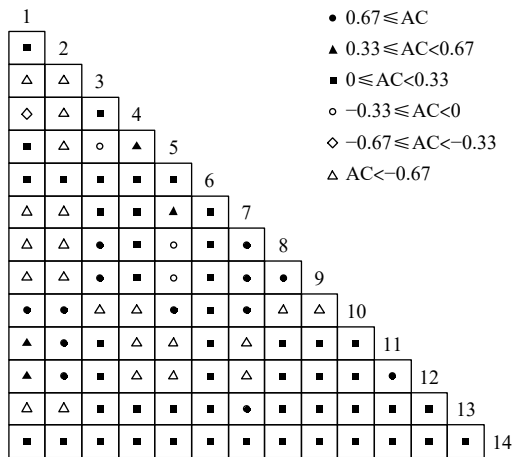


图2 中华鲎幼鲎生境主要优势种种间联结系数(AC)半矩阵图

Fig. 2 Semi-matrix diagram of association coefficient (AC) of dominant species in juvenile *Tachypleus tridentatus* nursery habitat

1. 中阿曼吉虫; 2. 南海毛满月蛤; 3. 熊本牡蛎; 4. 欧努菲虫; 5. 丝异须虫; 6. 丽文蛤; 7. 短指和尚蟹; 8. 黑莽麦蛤; 9. 纹藤壶; 10. 小翼拟蟹守螺; 11. 蛞蝓; 12. 突畸心蛤; 13. 韦氏毛带蟹; 14. 中华鲎幼鲎
1. *Armandia intermedia*; 2. *Pillucina vietnamica*; 3. *Crassostrea sikamea*;
4. *Onuphis eremita*; 5. *Heteromastus filiformis*; 6. *Meretrix lusoria*;
7. *Mictyris brevidactylus*; 8. *Xenostrobus atratus*; 9. *Amphibalanus amphitrite*; 10. *Pirenella microptera*; 11. *Umbonium vestiarium*;
12. *Cryptonema producta*; 13. *Dotilla wichmanni*; 14. juvenile *Tachypleus tridentatus*

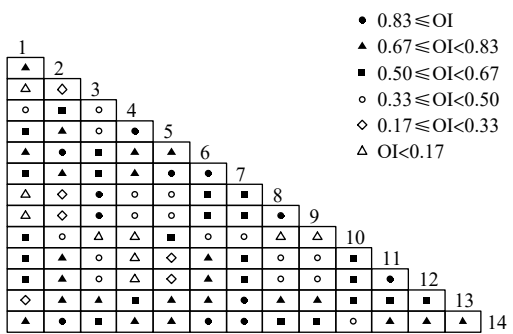


图3 中华鲎幼鲎生境主要优势种 Ochiai 指数(OI)半矩阵图

Fig. 3 Semi-matrix diagram of Ochiai index (OI) of dominant species in juvenile *Tachypleus tridentatus* nursery habitat

1. 中阿曼吉虫; 2. 南海毛满月蛤; 3. 熊本牡蛎; 4. 欧努菲虫; 5. 丝异须虫; 6. 丽文蛤; 7. 短指和尚蟹; 8. 黑莽麦蛤; 9. 纹藤壶; 10. 小翼拟蟹守螺; 11. 蛞蝓; 12. 突畸心蛤; 13. 韦氏毛带蟹; 14. 中华鲎幼鲎
1. *Armandia intermedia*; 2. *Pillucina vietnamica*; 3. *Crassostrea sikamea*;
4. *Onuphis eremita*; 5. *Heteromastus filiformis*; 6. *Meretrix lusoria*;
7. *Mictyris brevidactylus*; 8. *Xenostrobus atratus*; 9. *Amphibalanus amphitrite*; 10. *Pirenella microptera*; 11. *Umbonium vestiarium*;
12. *Cryptonema producta*; 13. *Dotilla wichmanni*; 14. juvenile *Tachypleus tridentatus*

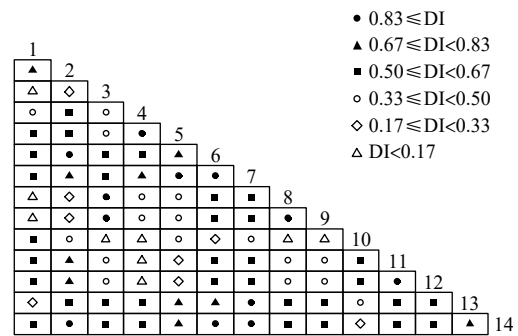


图4 中华鲎幼鲎生境主要优势种 Dice 指数(DI)半矩阵图

Fig. 4 Semi-matrix diagram of Dice index (DI) of dominant species in juvenile *Tachypleus tridentatus* nursery habitat

1. 中阿曼吉虫; 2. 南海毛满月蛤; 3. 熊本牡蛎; 4. 欧努菲虫; 5. 丝异须虫; 6. 丽文蛤; 7. 短指和尚蟹; 8. 黑莽麦蛤; 9. 纹藤壶; 10. 小翼拟蟹守螺; 11. 蛞蝓; 12. 突畸心蛤; 13. 韦氏毛带蟹; 14. 中华鲎幼鲎
1. *Armandia intermedia*; 2. *Pillucina vietnamica*; 3. *Crassostrea sikamea*;
4. *Onuphis eremita*; 5. *Heteromastus filiformis*; 6. *Meretrix lusoria*;
7. *Mictyris brevidactylus*; 8. *Xenostrobus atratus*; 9. *Amphibalanus amphitrite*; 10. *Pirenella microptera*; 11. *Umbonium vestiarium*;
12. *Cryptonema producta*; 13. *Dotilla wichmanni*; 14. juvenile *Tachypleus tridentatus*

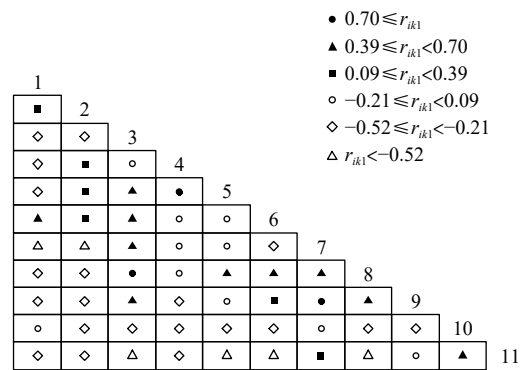


图5 中华鲎幼鲎生境主要优势种 Pearson 相关系数( $r_{ik1}$ )半矩阵图

Fig. 5 Semi-matrix diagram of Pearson correlation coefficient ( $r_{ik1}$ ) of dominant species in juvenile *Tachypleus tridentatus* nursery habitat

1. 中阿曼吉虫; 2. 南海毛满月蛤; 3. 熊本牡蛎; 4. 欧努菲虫; 5. 丝异须虫; 6. 丽文蛤; 7. 短指和尚蟹; 8. 黑莽麦蛤; 9. 纹藤壶; 10. 小翼拟蟹守螺; 11. 中华鲎幼鲎
1. *Armandia intermedia*; 2. *Pillucina vietnamica*; 3. *Crassostrea sikamea*;
4. *Onuphis eremita*; 5. *Heteromastus filiformis*; 6. *Meretrix lusoria*;
7. *Mictyris brevidactylus*; 8. *Xenostrobus atratus*; 9. *Amphibalanus amphitrite*; 10. *Pirenella microptera*; 11. juvenile *Tachypleus tridentatus*

### 3.3 种间竞争动态模拟

在中华鲎幼鲎种群重要栖息地种间竞争关系分析基础上, 选择短指和尚蟹作为中华鲎幼鲎关键竞争物种, 利用二者固有增长率及竞争系数, 以调查期间

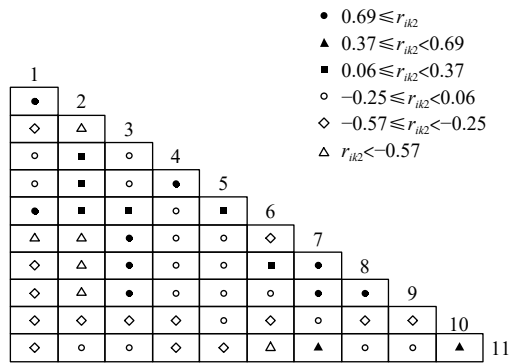


图 6 中华鲎幼鲎生境主要优势种 Spearman 秩相关系数 ( $r_{ik2}$ ) 半矩阵图

Fig. 6 Semi-matrix diagram of Spearman rank correlation coefficient ( $r_{ik2}$ ) of dominant species in juvenile *Tachypleus tridentatus* nursery habitat

1. 中阿曼吉虫; 2. 南海毛满月蛤; 3. 熊本牡蛎; 4. 欧努菲虫; 5. 丝异须虫; 6. 丽文蛤; 7. 短指和尚蟹; 8. 黑芥麦蛤; 9. 纹藤壶; 10. 小翼拟蟹守螺; 11. 中华鲎幼鲎

1. *Armandia intermedia*; 2. *Pillucina vietnamica*; 3. *Crassostrea sikamea*; 4. *Onuphis eremita*; 5. *Heteromastus filiformis*; 6. *Meretrix lusoria*; 7. *Mictyris brevidactylus*; 8. *Xenostrobus atratus*; 9. *Amphibalanus amphitrite*; 10. *Pirenella microptera*; 11. juvenile *Tachypleus tridentatus*

样本数最大值为种间竞争模型最大容量(表 3), 种间竞争模型计算结果显示, 二者在西背岭和三娘湾地区

呈现竞争状态, 短指和尚蟹在中华鲎幼鲎种群规模减小时能够快速丰富其种群容量, 竹林盐场地区则显示幼鲎与短指和尚蟹数量均呈现剧烈下滑状态(图 7)。

## 4 讨论

### 4.1 中华鲎幼鲎生态位分析

中华鲎性成熟需 9~12 年, 人类行为干预和生境破坏使得中华鲎数量锐减<sup>[4]</sup>, 生态位研究有助于建立其底栖生境保护和修复所需理论基础。生态位宽度可以反映物种利用不同资源的能力差异, 其值越大, 生物活动范围越广, 对环境适应能力越强<sup>[18-19]</sup>。根据大型底栖动物生态位宽度值划分,  $B_i \leq 1.0$  即窄生态位种,  $1.0 < B_i \leq 2.0$  即中生态位种,  $2.0 < B_i$  即广生态位种<sup>[20]</sup>。探究底栖群落中物种生态位对保护濒危物种、修复生态结构及研究某一特定物种对群落的影响尤为重要<sup>[21]</sup>。

生境内主要优势种存在形式能够反映底栖生物对栖息地适应与否, 优势种数目增加使群落结构愈发稳定<sup>[22-23]</sup>。本研究结果显示, 中华鲎幼鲎为广生态位物种, 其生态位宽度在所有样本中居最宽位, 野外调查发现, 包含砂质、泥质、礁石及红树林中一种或多

表 3 各取样地中华鲎幼鲎与短指和尚蟹种间竞争模型参数

Table 3 Parameters of interspecific competition model between juvenile *Tachypleus tridentatus* and *Mictyris brevidactylus* in various sampling location

	西背岭		竹林盐场		三娘湾	
	中华鲎幼鲎	短指和尚蟹	中华鲎幼鲎	短指和尚蟹	中华鲎幼鲎	短指和尚蟹
起始容量	19	6	23	6	34	1
固有增长率	-0.894 7	2.333 3	-0.739 1	-0.833 3	0.411 8	72
最大容量	102	38	80	17	57	72
竞争系数	0.117 4	8.520 1	0.339 8	2.942 6	0.339 8	2.942 6

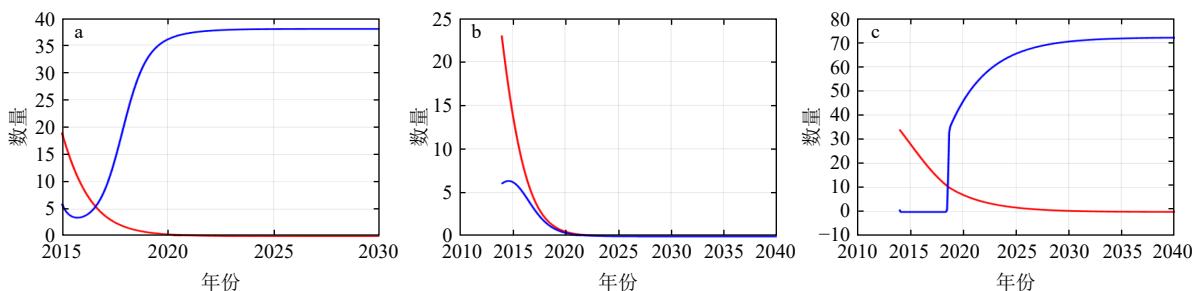


图 7 不同采样地点中华鲎幼鲎与短指和尚蟹种间关系

Fig. 7 Interspecific relationship between juvenile *Tachypleus tridentatus* and *Mictyris brevidactylus* in various sampling location

红色线条和蓝色曲线分别为中华鲎幼鲎与短指和尚蟹种群数量变化; a. 西背岭地区; b. 竹林盐场地区; c. 三娘湾地区

The red line and blue curves show the population changes of juvenile *Tachypleus tridentatus* and *Mictyris brevidactylus*, respectively; a. Xibeiling area; b. Zhulinyanchang area; c. Sanniangwan area

种组合的滩涂均有中华鲎幼鲎出现,理论计算结果与中华鲎幼鲎自然分布相一致,均显示中华鲎幼鲎对各类生境有较强适应能力。较宽生态位物种种群数量愈少反映该区域生物群落受影响程度愈深,因此中华鲎幼鲎适合作为滨海湿地生态系统健康程度指示物种。

生态位重叠指数( $Q_{ik}$ )表达各物种利用资源的相似程度,体现物种间潜在竞争程度<sup>[24]</sup>。 $Q_{ik}$ 值分3个层级, $Q_{ik} \geq 0.6$ 表示生态位重叠程度高, $0.6 > Q_{ik} \geq 0.3$ 表示重叠程度适中, $0.3 > Q_{ik}$ 表示重叠程度较低<sup>[25]</sup>。与生态位宽度较窄物种相比,较宽物种生态位重叠指数通常较高<sup>[26]</sup>。本研究显示,短指和尚蟹为与中华鲎幼鲎生态位重叠程度较高物种,其生态位宽度高达3.8926。但生态位重叠程度并非完全和生态位宽度保持正相关关系<sup>[27]</sup>,如南海毛满月蛤生态位宽度为2.2890,其与中华鲎幼鲎生态位重叠指数仅为0.2626,该结果与调查期间南海毛满月蛤集中分布于榕根山地区有关,二者生活空间重叠较低,但均在各自生境内具较强适应能力。作为中华鲎潜在饵料,南海毛满月蛤宽生态位和低重叠指数可使其自然种群规模较少受到中华鲎影响。

同区域栖息物种具有相似生态特性或对生境因子有互补性要求,其在形态学、生理学及生活史特征方面存有差异,并以此降低种间竞争<sup>[28-29]</sup>。中华鲎幼鲎与短指和尚蟹生态位宽度较为接近,二者生态位重叠指数高达0.8375,推测中华鲎幼鲎迁移运动特征可能与短指和尚蟹重叠处较多,二者在饵料选择及栖息地选择中亦具有相似性。中华鲎幼鲎常以软体生物为食<sup>[30]</sup>,食源不易获取情况下幼鲎会主动摄食有机质和藻类<sup>[2]</sup>,其分布受潮间带坡度和地形指数等环境因子影响<sup>[31]</sup>。夏季水温较高时短指和尚蟹栖息于北部湾沿岸成为夏季光滩优势种,滤食泥沙中藻类<sup>[32]</sup>。各物种间生态位重叠指数在一定程度上反映生态系统复杂性,而生态系统复杂性有利于维护系统稳定性。本研究结果显示,与中华鲎幼鲎生态位重叠指数低于0.6的实验样本高达92.31%,体现多数样本在生活型、摄食选择及底栖群落中生态角色存有差异,各取样地生态系统具有一定程度稳定性。

#### 4.2 中华鲎幼鲎种间联结分析

研究结果显示,中华鲎幼鲎所处群落种群总体关联性呈负联结性,且各物种间存在相互排斥和生态位分离现象。种间联结计算时,当取样地面积较小而物种种类较多时,会增加数量较少物种在计算结果中的比重,从而使AC值偏高<sup>[7]</sup>。调查期间各取样地物种

组成差异较大,故本研究计算得到的AC值可能偏低,据此引入匹配系数以判别中华鲎幼鲎与其所处生境内主要优势种关联强弱。本研究OI和DI均显示中华鲎幼鲎与丽文蛤、南海毛满月蛤及短指和尚蟹关联性较显著( $OI \geq 0.83$ ,  $DI \geq 0.83$ )(图3,图4),表明此三者与中华鲎幼鲎具有相似资源利用形式,对栖息地生境改变具有相似适应性。Pearson相关系数测定中华鲎幼鲎与短指和尚蟹及小翼拟蟹守螺呈正联结性,表明三者具有相似适生区。Spearman秩相关系数不拘泥研究样本的空间分布形式<sup>[33]</sup>,有更高检测灵敏度,结果显示中华鲎幼鲎同短指和尚蟹关联性更强。原因是中华鲎和蟹类的潜在食源均包括虾类<sup>[2,34]</sup>,提升了二者共同出现几率。自然生境内种间竞争可影响群落结构组成、物种丰富度、生物多样性及群落动态<sup>[7]</sup>,下一步可通过扩展时空范围探索中华鲎幼鲎与滨海湿地生物群落演替规律,进一步分析中华鲎幼鲎种群与其他生物群落间相互作用机制,深入理解其濒危机制。

#### 4.3 中华鲎幼鲎栖息地种间竞争动态模拟分析

中华鲎生活史各时期均对水温、水质、底质类型等栖息地特征有所要求<sup>[35]</sup>。北部湾海域是中华鲎最理想的栖息地<sup>[36]</sup>,2009年西背岭地区调查共发现幼鲎1357只<sup>[37]</sup>,本研究同地区调查发现幼鲎19只且最大容量仅102只,显示中华鲎幼鲎种群随时间推移出现变化。为直观体现模型模拟结构变化动态,作图时调整各取样地模拟动态时长(图7),显示中华鲎幼鲎与短指和尚蟹在西背岭和三娘湾地区呈此消彼长状态,与短指和尚蟹常成群行动有关。中华鲎幼鲎种群规模减小时能够释放大量共享资源,短指和尚蟹则集群活动迅速占领栖息空间,次年短指和尚蟹在中华鲎成鲎上岸产卵前率先进入繁殖期,进一步提升其在二者间的种间竞争能力,据此推测数年后二者种间竞争对中华鲎种群规模影响较显著。竹林盐场地区显示中华鲎幼鲎与短指和尚蟹数量均骤降至极低水平,与该地区受生境破坏和过度捕捞导致滩涂底栖生物资源逐年下降有关。

种间竞争模型模拟种群动态变化显示模拟结果受到最大容量、固有增长率及竞争系数影响。固有增长率能够影响种群规模发展方向,图7显示西背岭、竹林盐场、三娘湾地区中华鲎幼鲎数量均减少,故通过提升中华鲎幼鲎固有增长率至0以上将可能使其摆脱短指和尚蟹种间竞争影响,使种群规模走势快速趋于最大容量。模拟结果显示,中华鲎幼鲎与短指和尚蟹在三娘湾地区可能在较短时期内通过种群

内部剧烈竞争达到新的平衡状态, 后续可针对中华鲎幼鲎与短指和尚蟹种间竞争在时间相采用常微分方程探讨二者竞争的拓扑结构, 并拓展应用于中华鲎与其他大型底栖生物种间关系研究。

物种灭绝是生物多样性损失最敏感的指标之一,

由不同地理种群逐个消失造成。本研究理论分析表明, 中华鲎幼鲎对栖息环境适应性较强, 与现实中华鲎濒危现状相悖, 主要原因在于栖息地生境恶化以及捕捞采血或食用等人类干扰<sup>[38]</sup>, 因此建议将中华鲎作为未来滨海湿地生物多样性保护和管理的旗舰物种。

## 参考文献:

- [1] Luo Zhen, Miao Fengze, Hu Menghong, et al. Research development on horseshoe crab: a 30-year bibliometric analysis[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 40.
- [2] 郭清扬, 谷阳光, 鲍虞园, 等. 中华鲎的食物组成及营养位置分析[J]. *南方水产科学*, 2021, 17(4): 35–40.
- [3] Guo Qingyang, Gu Yangguang, Bao Yuyuan, et al. Dietary composition and trophic position of *Tachypleus tridentatus*[J]. *South China Fisheries Science*, 2021, 17(4): 35–40.
- [4] Liao Yongyan, Hsieh H L, Xu Shuqing, et al. Wisdom of crowds reveals decline of Asian horseshoe crabs in Beibu Gulf, China[J]. *Oryx*, 2019, 53(2): 222–229.
- [5] Xie Xiaoyong, Wu Zhou, Wang C C, et al. Nursery habitat for Asian horseshoe crabs along the northern Beibu Gulf, China: implications for conservation management under baseline gaps[J]. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*, 2020, 30(2): 260–272.
- [6] MacArthur R. Species packing and competitive equilibrium for many species[J]. *Theoretical Population Biology*, 1970, 1(1): 1–11.
- [7] Li Wenjing, Zhai Dongdong, Wang Chunling, et al. Relationships among trophic niche width, morphological variation, and genetic diversity of *Hemiculter leucisculus* in China[J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2021, 9: 691218.
- [8] 徐满厚, 刘敏, 翟大彤, 等. 植物种间联结研究内容与方法评述[J]. *生态学报*, 2016, 36(24): 8224–8233.
- [9] Xu Manhou, Liu Min, Zhai Datong, 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.
- [10] 刘惠, 郭朋军, 陈洲杰, 等. 舟山近岸海域主要甲壳类的生态位及其与种间联结性[J]. *海洋学报*, 2019, 41(4): 83–93.
- [11] Liu Hui, Guo Pengjun, Chen Zhoujie, et al. Niche and interspecific association of main crustaceans in the nearshore waters of Zhoushan[J]. *Haiyang Xuebao*, 2019, 41(4): 83–93.
- [12] 彭彪彪, 赵峰, 王思凯, 等. 中国花鲈在长江口不同亚生境中的栖息特征[J]. *南方水产科学*, 2021, 17(4): 1–8.
- [13] Peng Biaobiao, Zhao Feng, Wang Sikai, et al. Habitat traits of *Lateolabrax japonicus* in different subhabitats of Yangtze River Estuary[J]. *South China Fisheries Science*, 2021, 17(4): 1–8.
- [14] 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.
- [15] Deng Xiaoyan, Liu Jianguo, Guo Pengjun, et al. Niche and interspecific association of major nekton in Xiao Yangshan adjacent waters[J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(1): 96–105.
- [16] 潘成梅, 刘洋, 安瑞志, 等. 西藏麦地卡湿地的浮游植物——1. 优势种的时空生态位[J]. *湖泊科学*, 2021, 33(6): 1805–1819.
- [17] Pan Chengmei, Liu Yang, An Ruizhi, et al. Phytoplankton in the Mitika Wetland, Tibet, China: 1. Spatio-temporal niche of dominant species[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2021, 33(6): 1805–1819.
- [18] 翁朝红, 谢仰杰, 肖志群, 等. 福建及中国其他沿岸海域中国鲎资源分布现状调查[J]. *动物学杂志*, 2012, 47(3): 40–48.
- [19] Weng Zhao hong, Xie Yangjie, Xiao Zhiqun, et al. Distribution and resource of Chinese horseshoe crab (*Tachypleus tridentatus*) in Fujian and other coast water of China[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2012, 47(3): 40–48.
- [20] 朱俊华, 吴宙, 冯炳斌, 等. 全球中华鲎资源保护现状及对策建议[J]. *生物多样性*, 2020, 28(5): 621–629.
- [21] Zhu Junhua, Wu Zhou, Feng Bingbin, et al. Global conservation of *Tachypleus tridentatus*: present status and recommendations[J]. *Biodiversity Science*, 2020, 28(5): 621–629.
- [22] Kwan B K Y, Un V K Y, Cheung S G, et al. Horseshoe crabs as potential sentinel species for coastal health: juvenile haemolymph quality and relationship to habitat conditions[J]. *Marine and Freshwater Research*, 2018, 69(6): 894–905.
- [23] 谢健. 赤皮青冈天然林优势种群间关系及生态种组划分[J]. *四川农业大学学报*, 2020, 38(2): 127–134.
- [24] Xie Jian. Interspecific relationships and ecological species division of dominant populations of natural forest in *Cyclobalanopsis gilva*[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2020, 38(2): 127–134.
- [25] 江焕, 张辉, 龙文兴, 等. 金钟藤入侵群落的种间联结及生态位特征[J]. *生物多样性*, 2019, 27(4): 388–399.
- [26] Jiang Huan, Zhang Hui, Long Wenxing, et al. Interspecific associations and niche characteristics of communities invaded by *Decalobanthus boissianus*[J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27(4): 388–399.
- [27] 蔡立哲, 马丽, 高阳, 等. 海洋底栖动物多样性指数污染程度评价标准的分析[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2002, 41(5): 641–646.
- [28] Cai Lizhe, Ma Li, Gao Yang, et al. Analysis on assessing criterion for polluted situation using species diversity index of marine macrofauna[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2002, 41(5): 641–646.
- [29] 刘坤, 俞存根, 郑基, 等. 舟山群岛近岸海域春秋主要鱼类功能群特征及其生态位分析[J]. *浙江大学学报(理学版)*, 2021, 48(5): 592–605.
- [30] Liu Kun, Yu Cungen, Zheng Ji, et al. Analysis of functional groups characteristics and niche of major fish species in the coastal waters of Zhoushan Islands in spring and autumn[J]. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 2021, 48(5): 592–605.



- [19] 刘润红, 陈乐, 涂洪润, 等. 桂林岩溶石山青冈群落灌木层主要物种生态位与种间联结[J]. 生态学报, 2020, 40(6): 2057–2071.  
Liu Runhong, Chen Le, Tu Hongrun, et al. Niche and interspecific association of main species in shrub layer of *Cyclobalanopsis glauca* community in karst hills of Guilin, Southwest China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(6): 2057–2071.
- [20] Pianka E R. The structure of lizard communities[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4: 53–74.
- [21] Burger J, Tshipoura N, Niles L, et al. Heavy metals in biota in Delaware Bay, NJ: developing a food web approach to contaminants[J]. *Toxics*, 2019, 7(2): 34.
- [22] 卢占晖, 周永东, 朱文斌, 等. 浙江沿岸海域虾类优势种空间生态位分析[J]. 海洋学报, 2018, 40(2): 77–86.  
Lu Zhanhui, Zhou Yongdong, Zhu Wenbin, et al. Spatial niches analysis of dominant shrimp species in the coastal area of Zhejiang Province[J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(2): 77–86.
- [23] 戚诗婷, 唐以杰, 郑梓琼, 等. 广州南沙湿地大型底栖动物优势种生态位分析[J]. 湿地科学与管理, 2021, 17(3): 13–17.  
Qi Shiting, Tang Yijie, Zheng Ziqiong, et al. A niche analysis of dominant macro-benthic species in Nansha wetland in Guangzhou[J]. *Wetland Science & Management*, 2021, 17(3): 13–17.
- [24] 刘贵河, 王国杰, 汪诗平, 等. 内蒙古典型草原主要草食动物食性及其营养生态位研究——以大针茅群落为例[J]. 草地学报, 2013, 21(3): 439–445.  
Liu Guihe, Wang Guojie, Wang Shiping, et al. Diet composition and trophic niche of main herbivores in the typical steppe of inner Mongolia[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2013, 21(3): 439–445.
- [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] 铁军, 李燕芬, 王霞, 等. 山西历山国家级自然保护区猕猴栖息地森林群落物种多样性[J]. 生态学杂志, 2015, 34(11): 3009–3015.  
Tie Jun, Li Yanfen, Wang Xia, et al. Species diversity of forest community in *Macaca mulatta* habitat in Lishan National Nature Reserve, Shanxi[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(11): 3009–3015.
- [27] 刘惠, 俞存根, 郑基, 等. 杭州湾灰鳖洋海域秋季主要游泳动物生态位与种间联结[J]. 生态学报, 2019, 39(11): 3828–3836.  
Liu Hui, Yu Cungen, Zheng Ji, et al. Niche and interspecific association of major nekton in the Hui-bie-yang sea area of Hangzhou Bay[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(11): 3828–3836.
- [28] 胡成业, 水玉跃, 田阔, 等. 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[J]. 生物多样性, 2016, 24(2): 175–184.  
Hu Chengye, Shui Yuyue, Tian Kuo, et al. Functional group classification and niche identification of major fish species in the Qixing Islands marine reserve, Zhejiang Province[J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(2): 175–184.
- [29] 袁建国, 吴谷汉, 陈锦宇, 等. 石垌林场省级森林公园常绿阔叶林种群生态位特征[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2006, 32(5): 576–584.  
Ai Jianguo, Wu Guhan, Chen Jinyu, et al. Niche characteristics of plant populations in evergreen broad-leaved forest in Shiyang Forestry Centre[J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences)*, 2006, 32(5): 576–584.
- [30] Cai Lizhe, Zhao Xiaoyu, Peng Wenqing, et al. Comparison of the macrozoobenthic community and sedimentary environment with and without horseshoe crab presence in the crocodile island intertidal zone, Xiamen, China[J]. *Journal of Ocean University of China*, 2022, 21(3): 573–582.
- [31] 蔡立哲, 陈昕韡, 傅素晶, 等. 厦门鳄鱼屿潮间带中国鲎的种群动态与底栖环境[J]. 湿地科学与管理, 2021, 17(1): 14–18.  
Cai Lizhe, Chen Xinwei, Fu Sujing, et al. Population dynamics and benthic environment of *Tachypleus tridentatus* in the intertidal zone of Eyu Islet in Xiamen[J]. *Wetland Science & Management*, 2021, 17(1): 14–18.
- [32] 赵彩云, 白加德, 柳晓燕, 等. 互花米草入侵对广西北海光滩大型底栖动物群落的影响[J]. 环境科学研究, 2015, 28(3): 377–383.  
Zhao Caiyun, Bai Jiade, Liu Xiaoyan, et al. Impact of *Spartina alterniflora* on benthic macro-invertebrate communities in Beihai's coastal flat, Guangxi Zhuang autonomous region[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2015, 28(3): 377–383.
- [33] Bishara A J, Hittner J B. Testing the significance of a correlation with nonnormal data: comparison of Pearson, Spearman, transformation, and resampling approaches[J]. *Psychological Methods*, 2012, 17(3): 399–417.
- [34] 蒋巧丽, 许永久, 郑基, 等. 浙江披山海域主要蟹类时空生态位及种间联结性[J]. 应用生态学报, 2021, 32(7): 2604–2614.  
Jiang Qiaoli, Xu Yongjiu, Zheng Ji, et al. Niches and interspecific association of major shrimp and crab species in Pishan waters of Zhejiang Province, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(7): 2604–2614.
- [35] 程鹏, 周爱娜, 霍淑芳, 等. 中国鲎人工培育的幼体对不同环境适应性的研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2006(3): 404–408.  
Cheng Peng, Zhou Aina, Huo Shufang, et al. Study on adaptability to different environment for juvenile of horseshoe crab, *Tachypleus tridentatus* with artificial incubation[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2006(3): 404–408.
- [36] 洪水根. 中国鲎生物学研究[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2011.  
Hong Shuigen. *Biology of Horseshoe Crabs, Tachypleus tridentatus*[M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2011.
- [37] 李琼珍, 胡梦红. 广西北海中国鲎资源现状以及保育工作进展[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(1): 131–134.  
Li Qiongzhen, Hu Menghong. Status of Chinese horseshoe crab population and conservation advance in Beihai, Guangxi[J]. *Marine Environmental Science*, 2011, 30(1): 131–134.
- [38] 李裕红, 颜晓勇, 关杰耀. 活化石中国鲎濒危现状及抢救性保护宣言[J]. 湿地科学, 2018, 16(5): 690–692.  
Li Yuhong, Xie Xiaoyong, Guan Jieyao. Endangered status and declaration on conservation of the “Living Fossil” *Tachypleus tridentatus*[J]. *Wetland Science*, 2018, 16(5): 690–692.

## Niche and interspecific association of juvenile *Tachypleus tridentatus* in the Beibu Gulf

Guo Qingyang<sup>1,2,3</sup>, Zuo Ya<sup>4</sup>, Lin Wuying<sup>5</sup>, Xiao Xiaobo<sup>6</sup>, Zhao Xinyi<sup>5</sup>, Li Yinkang<sup>1</sup>,  
Ying Ziwei<sup>1</sup>, Zhou Chuanjiang<sup>2</sup>, Xie Xiaoyong<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Fishery Ecological Environment of Guangdong Province, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2. College of Fisheries, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China; 3. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou 511458, China; 4. Huidong Aquatic Animal Epidemic Prevention Station, Huizhou 516300, China; 5. Shenzhen Aiqi Nature Ecological Technology Co., Ltd., Shenzhen 518112, China; 6. Guangxi Biodiversity Research and Conservation Association, Nanning 530012, China)

**Abstract:** *Tachypleus tridentatus* has been upgraded to the State Key Protection Wildlife Grade II in China in 2021. The population of *T. tridentatus* decreased sharply in recent years. *T. tridentatus* has become an endangered species. Based on the investigation of coastal wetlands along the Beibu Gulf coast, the resource data of major benthic species of each habitat is added, and niche width and niche overlap index analysis are used to explore the resource utilization of juvenile *T. tridentatus* and inter-species competition in this study, so as to further explore the competition between juvenile *T. tridentatus* and various species by using interspecific connectivity. The results show that: (1) juvenile *T. tridentatus* belongs to a wide niche species in the benthic community, and its niche width is the largest (4.252 2); (2) the niches of juvenile *T. tridentatus* and various benthos are ecologically partitioned with partial overlap, among which the niche overlap with *Mictyris brevidactylus* is as high as 0.837 5; (3) the population dynamics simulation result of juvenile *T. tridentatus* and *Mictyris brevidactylus* shows that the population size displays an opposite trend between the two species in Xibeiling area and Sanniangwan area, and the reduction of natural supplement is an important factor that limits the population growth. The research shows that the juvenile *T. tridentatus* can be used as the indicator species to characterize the health of coastal wetland ecosystem. It is suggested to take juvenile *T. tridentatus* as the flagship species to carry out biodiversity conservation, management and publicity in coastal wetland.

**Key words:** *Tachypleus tridentatus*; niche; interspecific association; coastal wetland; habitat protection