

蔡建堤, 刘勇, 徐春燕, 等. 基于多度格局模型的游泳动物群落结构研究——以闽南海域为例[J]. 海洋学报, 2022, 44(1): 63–78, doi:10.12284/hyxb2022020

Cai Jiandi, Liu Yong, Xu Chunyan, et al. The study on community structure of nekton based on abundance patterns model: A case study on the Minnan sea area[J]. Haiyang Xuebao, 2022, 44(1): 63–78, doi:10.12284/hyxb2022020

# 基于多度格局模型的游泳动物群落结构研究

## ——以闽南海域为例

蔡建堤<sup>1</sup>, 刘勇<sup>1</sup>, 徐春燕<sup>1</sup>, 马超<sup>1</sup>, 庄之栋<sup>1</sup>

(1. 福建省水产研究所, 福建 厦门 361013)

**摘要:** 为进一步了解游泳动物群落结构, 探究群落结构变动的生态过程, 本研究利用生态位优先模型(NPM)、分割线段模型(BSM)、生态位重叠模型(ONM)、优势优先模型(DPM)和随机分配模型(RAM)共5种多度格局模型分析闽南海域游泳动物的群落结构特征。结果显示: 闽南海域游泳动物共192种, 其中鱼类132种, 蟹类31种, 虾类13种, 头足类10种, 口足类6种; NPM拟合游泳动物多度分布的效果较好, ONM的拟合效果较差, 闽南海域游泳动物群落结构具有优势种占较大优势、物种生态位之间不重叠的特点; 由外海到近岸的渔区, 游泳动物多度分布格局由DPM向NPM转变, NPM的拟合效果渐差, BSM的拟合效果越来越好, 群落结构呈现优势种的地位下降、物种数增多、个体数目分配趋均匀的趋势; 从低纬度到高纬度, 在水深较深的渔区, DPM拟合游泳动物多度分布的效果渐好, 优势种的优势地位逐渐升高, 种类数变少, 物种多度分布越来越不均匀。而在水深较浅的渔区, DPM的拟合效果渐差, 优势种的优势地位逐渐下降, 种类数变多, 物种多度分布越来越均匀。因此, 生态位优先模型比较适合闽南海域游泳动物多度分布格局的研究。

**关键词:** 多度格局模型; 群落结构; 游泳动物; 闽南海域

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2022)01-0063-16

## 1 引言

游泳动物是海洋生态系统中重要的生态类群之一, 具有较强的运动器官, 在海水中能自由选择其行动路径, 移动距离较长<sup>[1-2]</sup>, 其群落结构可用于评价海洋生态系统健康状况<sup>[3-4]</sup>。群落组成、分布、结构、稳定性、变化以及与不同环境因子相关关系是游泳动物群落结构研究的主要内容<sup>[5-12]</sup>。其中, 物种个体数量是群落结构组成研究中最基础的内容之一, 是群落结构的重要反映<sup>[10-12]</sup>。一个群落中每个种的多度(个体数量)从大到小排序, 形成一个多度格局。多度格

局反映了物种间多度关系, 是群落结构的重要特点, 对理解群落结构具有重要意义<sup>[13-14]</sup>。因此, 多度格局引起了国内外学者的广泛关注。用数学方法结合生态学意义建立种-多度分布模型模拟多度格局的时空变化, 是研究多度格局的重要手段<sup>[13-20]</sup>。目前, 针对群落多度格局建立了许多适用于不同类型群落或集合的模型<sup>[13-20]</sup>, 并在很多方面开展了应用研究, 如森林群落<sup>[21-28]</sup>、草地群落<sup>[29-31]</sup>、昆虫群落<sup>[32-34]</sup>等。海洋生态系统是多度格局研究的薄弱环节, 应用多度模型研究海洋游泳动物群落多度格局, 将弥补多度格局应用研究的不足, 为揭示游泳动物群落结构的类型、性质

收稿日期: 2021-06-11; 修订日期: 2021-09-09。

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1406302); 福建省海洋与渔业结构调整专项(ASHY005201909); 福建省科技厅省属公益类科研院所基本科研专项(2022R1013003)。

作者简介: 蔡建堤(1972—), 男, 福建省厦门市人, 副研究员, 主要从事渔业生态、渔业资源研究。E-mail: caijdi@sina.com

和群落演替等提供帮助。

闽南海域是鱼类、虾类、蟹类和头足类等游泳动物产卵、索饵与越冬的重要场所<sup>[35]</sup>。自 20 世纪 70 年代以来,随着捕捞能力和海洋开发力度不断加大,闽南海域渔业资源的衰退程度不断加剧,许多重要经济种类资源及群体结构发生了明显变化,呈现小型化、低龄化和低值化的特点<sup>[36-39]</sup>。为进一步理解闽南海域游泳动物群落结构,本研究根据 2019 年秋季闽南海域渔业资源调查数据,应用多度格局模型分析了群落类型在组成上的特点及变化,探究了群落结构变化的生态学过程及影响因素,挖掘群落结构潜在的、有意义的特征,为从生态水平上合理管理渔业资源提供有价值的资料<sup>[40]</sup>。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料

2019 年 9 月,开展闽南海域渔业资源的专项调查,共设 10 个调查渔区(图 1)。调查船为“闽东渔 61792”底拖网船(渔船吨位为 51 t,主机功率为 183 kW,网口宽度为 10.0 m,网口高度为 5.5 m,囊网网目孔径为 1.8 cm)。渔业资源调查按《海洋渔业资源调查规范》(SC/T 9403-2012)进行。环境因子(水深、温度、盐度、pH 和溶解氧浓度)调查按《海洋监测规范》(GB 17378.1-2007)进行。本次调查取全部渔获物,带回福建省水产研究所生态实验室进行种类鉴定和生物学测定,对每个种类分别进行称重和计数。物种鉴定主要参考《福建鱼类志(上卷、下卷)》《中国动物志(头足纲)》《中国海洋动物图集(第六册)》《南海对虾类》等。

### 2.2 模型与优势度

多度格局模型可划分为生态位模型和统计类模型,其中生态位模型为多度格局的主要模型,它是具

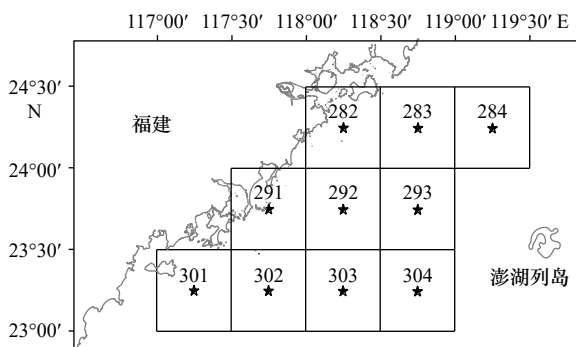


图 1 调查站位

Fig. 1 Survey stations

图中数字为渔区的编号;★为调查站点

The number in the figure is the number of the fishing area;

★ is the survey stations

有明确生态意义的模型。多度分布模型达 10 多种<sup>[13-34]</sup>,本实验选取了普遍认可和应用较广泛的 5 种生态位模型:生态位优先模型(Niche Preemption Model, NPM)、分割线段模型(Broken Stick Model, BSM)、重叠生态位模型(Overlapping Niche Model, ONM)、优势优先模型(Dominance Preemption Model, DPM)、随机分配模型(Random Assortment Model, RAM)<sup>[22-24,30]</sup>。

#### 2.2.1 生态位优先模型

生态位优先模型要求优势种具有较强优势,认为最优势种不占绝对优势,其生态位小于总生态位的一半<sup>[3,16]</sup>。生态位优先模型假设一个群落中有  $S$  个种,有限资源为 1,最优势种占有总资源的  $k$  份,剩下  $(1-k)$ ,第二优势种占有剩余资源的  $k$  份,即  $k(1-k)$ ,而剩余  $(1-k)^2$ 。依此类推,第  $(S-1)$  个种占有  $k(1-k)^{S-2}$ ,剩下的  $k(1-k)^{S-1}$  为最后一个物种占用,这样就形成了一个从大到小的几何序列,则第  $i$  个物种的理论多度所对应的多度比例  $y_i$  为

$$y_i = \frac{k(1-k)^{i-1}}{1-(1-k)^S}, \quad (1)$$

式中,  $S$  为物种数;  $i$  表示第  $i$  个物种;  $k$  为最优势种的实际多度比例。

#### 2.2.2 分割线段模型

分割线段模型描述的是群落中缺乏相对重要性极强的物种,适合分类上比较接近的种形成的群落,个体数分配比较均匀。分割线段模型假定一个群落中的有限资源生态位(资源总量)是单位长度为 1 的一根棍,在其上随机设置  $S-1$  个点,把棍分成  $S$  个部分,每一部分长度表示一个种的多度,把  $S$  部分进行从大到小排序,即将物种从最普通到最罕见排列,则第  $i$  个物种的理论多度比例  $y_i$  为

$$y_i = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S \frac{1}{i}. \quad (2)$$

#### 2.2.3 重叠生态位模型

重叠生态位模型允许种类在资源利用上重叠。假定群落资源总量视为一根棍,每个种的生态位等于棍上随机的两点间的距离,各个种是彼此独立的。重叠生态位模型不是把棍分配给各个种,而是每个种取其所需资源比例,这样群落的总生态位或资源总量不再是 1,同一段棍可分成多个种占用的重叠生境,则第  $i$  个物种的理论多度所对应的多度比例  $y_i$  为

$$y_i = 1 - \frac{2i}{2i+1}(1-y_{i+1}). \quad (3)$$

#### 2.2.4 优势优先模型

优势优先模型显示,在群落中最优势种优先占用总生态位的一半以上,次优势种再占用剩余的一半以

上,以此类推。此模型保证优势种优先利用资源,所有种在生态位占有上明显形成一个等级。Tokeshi<sup>[4]</sup>认为,此模型的 $k$ 为0.75,第 $i$ 个物种的理论多度所对应的多度比例 $y_i$ 为

$$y_i = \frac{3 \times 0.25^i}{1 - 0.25^5} \quad (4)$$

### 2.2.5 随机分配模型

随机分配模型假定一个群落中各个种的多度之间没有联系,种间竞争不存在,多数情况下物种不能全部占用其生态位。此模型认为,物种对生态位是随机的选取,将 $S$ 个物种占用生态位的大小从大到小排序,则第 $i$ 个物种的理论多度所对应的多度比例 $y_i$ 为

$$y_i = \frac{0.5^i}{1 - 0.5^5} \quad (5)$$

### 2.2.6 优势度

McNaughton 种类优势度指数<sup>[41]</sup>为

$$D_2 = (N_1 + N_2)/N, \quad (6)$$

式中, $D_2$ 为McNaughton种类优势度指数; $N$ 为样品中的总个体数; $N_1$ 、 $N_2$ 分别表示样品中居第一位、第二位种类的个体数。

## 2.3 数据处理

群落中游泳动物个体数为多度指标,游泳动物个体数与该群落总个体数的比值为多度比例,每个物种的多度指标从大到小排序,形成物种的多度排列。多度模型计算得到的所有物种的多度比例乘以所有物种的多度和,即可算出各种物种的理论多度。5个模型的生态学意义不同,其对同一群落的理论多度各不相同,将理论多度与多度排列进行线性回归分析,判定模型的理论多度分布与实际多度分布的拟合效果,

结合模型的生态学意义,解释、分析游泳动物真实多度分布特征。数据整理采用Excel 2016软件,理论多度计算采用Matlab 2017b软件,数据分析、模型拟合、统计检验采用SPSS 19软件。

## 3 结果与分析

### 3.1 种类组成与数量分布

经鉴定,闽南海域游泳动物共有192种,隶属19目84科134属,其中鱼类132种,蟹类31种,虾类13种,头足类10种,口足类6种(附表A1)。

10个渔区游泳动物以鱼类的种类数最多,其次为蟹类。鱼类、蟹类和头足类在10个渔区均有分布。284渔区、293渔区有3类游泳动物(鱼类、蟹类和头足类),类群数最少,种类数较少。鱼类种类数以292渔区、282渔区和304渔区较多,蟹类种类数以292渔区和282渔区较多,虾类种类数以282渔区最多,头足类种类数以302渔区较多,口足类以283渔区和292渔区较多,游泳动物种类数以292渔区最多,284渔区最少(图2)。

闽南海域中南部近岸海域(291渔区、292渔区、293渔区、301渔区、302渔区)游泳动物个体数量较少,其尾数占闽南海域总尾数的6.00%、7.15%、5.69%、5.01%、6.26%。5种优势种的多度比例最小的渔区为292渔区,其值为36.28%,其余渔区多度比例均大于50%,其中284渔区、293渔区大于90%。5种优势种多度分布不均匀,284渔区第一优势种杜氏枪乌贼(*Loligo duvaucelii*)个体数占总个体数的91.05%,多度下降最快,优势种多度分布均匀性最差;293渔

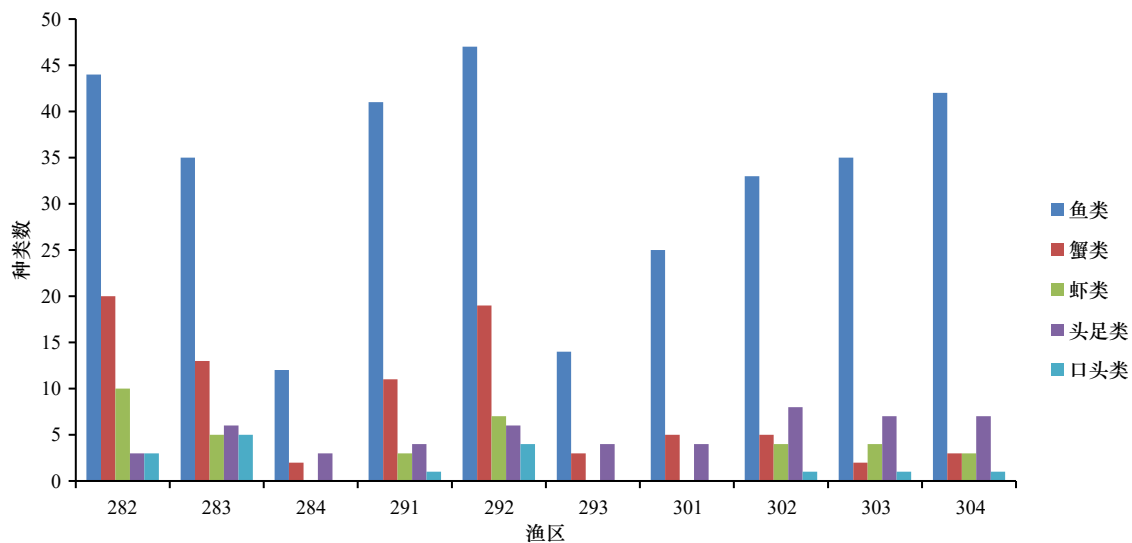


图2 不同渔区类群组成

Fig. 2 Composition of groups in different fishing zones

区第一优势种杜氏枪乌贼个体数占总个体数的 69.20%，多度变化较大，优势种多度分布较不均匀，303 渔区第一优势种绿布氏筋鱼 (*Bleekeria anguilliviridis*) 个体数占总个体数的 46.50%，多度变化大，优势种多度分布不均匀；292 渔区第一优势种细颌鳗 (*Oxyconger leptognathus*) 个体数占总个体数的 10.41%，多度下降缓慢，优势种多度分布最均匀 (表 1)。

### 3.2 多度格局模型的拟合效果

闽南海域游泳动物群落的优势度指数为 28.0%，

NPM、BSM、ONM、DPM、RAM 的理论多度与游泳动物真实多度的决定系数  $R^2$  分别为 0.953、0.516、0.286、0.618、0.797，且均小于 0.001。NPM 拟合游泳动物多度分布的效果最优，ONM 的拟合效果不佳。同样，NPM 对各渔区游泳动物多度分布格局效果较好，ONM 的拟合效果较差 (表 2)。表明闽南海域游泳动物群落结构具有优势种占有较大优势和生态位之间不重叠的特点。不同多度格局模型拟合不同渔区群落多度分布的效果并不一致。DPM 对 284 渔区和

表 1 不同渔区 5 种优势种的多度分布

Table 1 Abundance distribution of five dominant species in different fishing zones

渔区	多度排名1		多度排名2		多度排名3		多度排名4		多度排名5		合计	其他种多度比例	总尾数
	种类	比例	种类	比例	种类	比例	种类	比例	种类	比例			
282	麦氏犀鳕	18.93%	矛形梭子蟹	10.51%	鹰爪虾	8.95%	双斑鳗	7.41%	二长棘犁齿鲷	5.79%	51.59%	48.41%	3 264
283	静蝠	24.02%	杜氏枪乌贼	14.41%	二长棘犁齿鲷	10.76%	多齿蛇鲻	10.71%	拥剑梭子蟹	5.52%	65.42%	34.58%	2 082
284	杜氏枪乌贼	91.05%	条尾绯鲤	5.53%	大头狗母鱼	1.68%	二长棘犁齿鲷	0.63%	花斑蛇鲻	0.29%	99.18%	0.82%	2 079
291	黄斑蝠	33.76%	鹿斑蝠	17.15%	二长棘犁齿鲷	10.22%	带鱼	5.20%	杜氏枪乌贼	3.92%	70.25%	29.75%	1 096
292	细颌鳗	10.41%	二长棘犁齿鲷	7.50%	须赤虾	7.12%	纤手梭子蟹	6.81%	鹰爪虾	4.44%	36.28%	63.72%	1 306
293	杜氏枪乌贼	69.20%	大头狗母鱼	17.32%	条尾绯鲤	5.97%	四线天竺鲷	1.15%	拥剑梭子蟹	1.15%	94.79%	5.21%	1 039
301	二长棘犁齿鲷	35.67%	条尾绯鲤	12.04%	短尾大眼鲷	12.04%	花斑蛇鲻	6.56%	大头狗母鱼	4.81%	71.12%	28.88%	914
302	绿布氏筋鱼	32.16%	大头狗母鱼	14.46%	二长棘犁齿鲷	8.33%	须赤虾	8.33%	杜氏枪乌贼	3.94%	67.22%	32.78%	1 141
303	绿布氏筋鱼	46.50%	大头狗母鱼	13.65%	条尾绯鲤	11.98%	拥剑梭子蟹	3.89%	花斑蛇鲻	3.82%	79.84%	20.16%	2 645
304	条尾绯鲤	32.87%	大头狗母鱼	21.17%	绿布氏筋鱼	9.53%	杜氏枪乌贼	5.57%	花斑蛇鲻	5.29%	74.43%	25.57%	2 693

表 2 5 种模型对不同渔区游泳动物-多度数据拟合结果比较

Table 2 Comparison of five models fitness to the species abundance data from nekton in different fishing zones

渔区	生态位优先模型NPM		分割线段模型BSM		重叠生态位模型ONM		优势优先模型DPM		随机分配模型RAM	
	$R^2$	$p$	$R^2$	$p$	$R^2$	$p$	$R^2$	$p$	$R^2$	$p$
282	0.948*	<0.001	0.813	<0.001	0.540	<0.001	0.615	<0.001	0.767	<0.001
283	0.963*	<0.001	0.760	<0.001	0.482	<0.001	0.689	<0.001	0.866	<0.001
284	0.992*	<0.001	0.716	0.001	0.302	0.22	0.994*	<0.001	0.803	<0.001
291	0.958*	<0.001	0.625	<0.001	0.343	<0.001	0.884	<0.001	0.984*	<0.001
292	0.975*	<0.001	0.927*	<0.001	0.713	<0.001	0.404	<0.001	0.572	<0.001
293	0.996*	<0.001	0.596	<0.001	0.357	0.003	0.969*	<0.001	0.924*	<0.001
301	0.923*	<0.001	0.724	<0.001	0.476	<0.001	0.899	<0.001	0.952*	<0.001
302	0.939*	<0.001	0.689	<0.001	0.473	<0.001	0.879	<0.001	0.962*	<0.001
303	0.948*	<0.001	0.553	<0.001	0.301	<0.001	0.857	<0.001	0.965*	<0.001
304	0.958*	<0.001	0.599	<0.001	0.397	<0.001	0.860	<0.001	0.951*	<0.001
合计	0.953*	<0.001	0.516	<0.001	0.286	<0.001	0.618	<0.001	0.797	<0.001

注: \*代表经比较后拟合效果较好的模型。

293 渔区游泳动物多度分布的拟合效果理想, RAM 拟合 291 渔区群落多度分布的效果较好, BSM 拟合群落多度格局效果最好的渔区为 292 渔区, NPM 对 282 渔区、283 渔区群落多度分布的拟合效果优于其他多度格局模型(表 2)。

### 3.3 群落结构的时空变化

闽南海域的北部(282 渔区、283 渔区、284 渔区)、中部(291 渔区、292 渔区、293 渔区)、南部(301 渔区、302 渔区、303 渔区、304 渔区)的游泳动物真实多度与 NPM 的理论多度的决定系数  $R^2$  分别为 (0.948、0.963、0.992)、(0.958、0.975、0.996)、(0.923、0.939、0.948、0.958),  $p$  值均小于 0.001(表 2)。游泳动物真实多度与 NPM 的理论多度属于极显著相关。由外海到近岸的渔区, NPM 的拟合效果渐差, 优势种的地位逐渐降低。BSM 对近岸渔区的游泳动物多度分布的拟合效果优于离岸渔区(表 2), 由外海到近岸的渔区, 相对重要性极强的游泳动物逐渐缺失, 个体数目分配越来越均匀, 种类数逐渐增多。

水较深的渔区为 284 渔区、293 渔区和 303 渔区, 平均水深为 52.1 m, 游泳动物真实多度与 DPM 的理论多度决定系数  $R^2$  分别为 0.994、0.969、0.857,  $p$  值均小于 0.001, 种类数分别为 17 种、21 种、50 种, 优势度指数分别为 96.5%、86.5%、60.1%, 而水较浅的渔区为 282 渔区、291 渔区和 301 渔区, 平均水深为 28.2 m, 游泳动物真实多度与 DPM 的理论多度决定系数  $R^2$  分别为 0.615、0.884、0.899,  $p$  值均小于 0.001, 种类数分别为 80 种、60 种、35 种, 第一优势种个体数占

总个体的比例分别为 18.93%、33.76%、35.67%(表 2, 图 3)。DPM 在水深的渔区游泳动物多度分布拟合效果较好, 沿纬度梯度从低纬度到高纬度, 游泳动物多度分布的拟合效果渐好, 优势种的优势地位逐渐升高, 种类数变少, 而 DPM 在水浅的渔区游泳动物多度分布的拟合效果较差, 优势种的优势地位逐渐下降, 种类数变多。

## 4 讨论

### 4.1 基于 NPM、ONM 的群落结构特征

在使用不同的生态学模型拟合物种多度分布后, 能更好的反映出群落结构特征及其生态学意义。不同的多度格局模型均有各自的生态学过程含义, 不同模型适合于不同情况。NPM 要求优势种具有较大优势, 仅适合于研究物种贫乏的环境或者群落演替的早期阶段<sup>[42-43]</sup>, 而 ONM 认为生态位之间有重叠, 适用于资源丰富的群落类型<sup>[23]</sup>。NPM 对闽南海域游泳动物多度分布的拟合效果均较好, 而 ONM 的拟合效果并不理想。根据 NPM 和 ONM 的生态意义, 要求群落结构需具备优势种有较大优势、物种数与个体数量贫乏、生态位之间不重叠和物种资源并不丰富的特征。过度捕捞导致闽南海域渔业资源衰退, 种类数及群体数量严重下降<sup>[36-39]</sup>, 游泳动物资源贫乏, 而部分游泳动物获得更多的空间和资源, 种群数量增多, 使其得以发展成为优势种, 物种多度分布符合 NPM 的生态学意义。生态位重叠在海洋游泳动物群落中非常普遍<sup>[19]</sup>, 由于游泳动物资源并不丰富, 物种有较大生存空间, 种间的相互作用可能未达到生态位重叠的

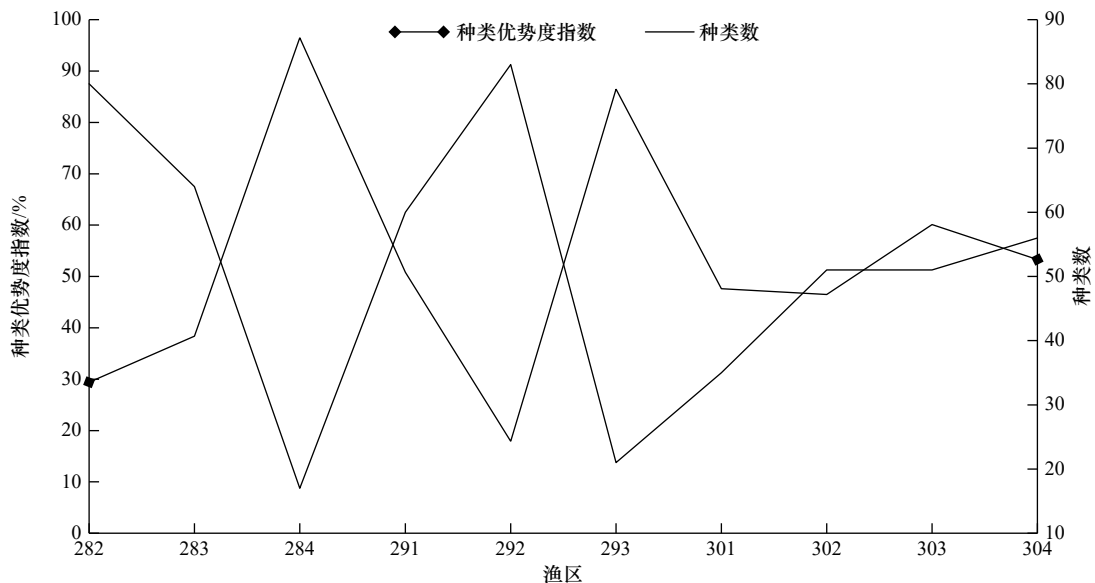


图 3 不同渔区种类优势度指数和种类数

Fig. 3 Species dominance index and number of species in different fishing zones

程度,表现为 ONM 的拟合效果不理想。

#### 4.2 基于复合模型的群落结构特征

自然群落是复杂的,复合模型反映出,一个群落物种多度分布不只是遵循一种规律,生态现象及其内在机制不能依靠单个的生态模型来解释<sup>[44]</sup>。DPM 要求优势种有绝对优势<sup>[22]</sup>,可能仅适合于简单群落的研究<sup>[13]</sup>。DPM 和 NPM 拟合 284 渔区群落游泳动物多度分布效果好,杜氏枪乌贼多度比例为 91.1%,处于绝对优势地位,游泳动物种类数最少,为 17 种(图 3),游泳动物种类最贫乏,类群数最少(仅 3 类)(图 2),群落结构简单。RAM 假设种的多度大小与生态位分配无关,种间竞争不存在,多数情况下物种不能全部占用其生态位,这样的群落体系的一个最大的特点是没有足够的时间提供给基于资源竞争的内部关系去发展进化<sup>[30]</sup>。RAM 拟合种群数量较少的渔区(291 渔区、292 渔区、301 渔区、302 渔区)物种多度分布拟合效果较好。形成此现象的原因可能是这些渔区种群数量少,导致多数物种不能全部占用其生态位,而不是基于资源竞争。RAM、NPM 和 DPM 模拟 293 渔区群落游泳动物多度效果好,杜氏枪乌贼的多度比例为 69.2%,占有绝对优势,物种数较少,为 21 种,总个体数较少,为 1 309 尾,游泳动物资源处于贫乏状态,游泳动物有较大的生存空间,种间关联小,类群数最少(仅 3 类)(图 2),群落结构相对简单。RAM、NPM 模拟 291 渔区、301 渔区、302 渔区、303 渔区和 304 渔区群落游泳动物多度效果好。闽南渔场 8 月 16 日伏季休渔结束后,大量的捕捞活动对这些渔区个体较大的经济鱼种的损害高于个体小的非经济鱼种,会有一些个体大的经济种类,如带鱼(*Trichiurus lepturus*)、蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi*)等种群数量大幅减少,在持续高强度捕捞压力下,没有足够的时间去发展壮大,无法占用全部生态位,表现出物种多度大小与生态位分配无关,由于种间竞争弱,个体小的非经济鱼种,如黄斑鲷(*Leiognathus bindus*)种群数量增多,进而发展成优势种,其数量占全部个体的大多数,符合 NPM 的生态学意义。分割线段模型是描述群落中缺乏相对重要性极强的物种,在生态位上的分布相对均匀,此分布符合随机生态位假说<sup>[44-45]</sup>。NPM 和 BSM 适合拟合 292 渔区群落游泳动物多度分布,说明群落结构中个体数量上的优势没有得到足够的发展,不同种类的数量虽然有差别<sup>[44]</sup>,但是不显著,该群落细颌鳗多度比例最大,为 10.41%,其次为二长棘犁齿鲷(*Eynnys cardinali*)、须赤虾(*Metapenaeopsis barbata*)和纤手梭子蟹(*Portunus gracilimanus*),多度比例

分别为 7.50%、7.12%、6.81%。NPM 拟合效果要稍好于 BSM,可能是群落处于早期阶段而导致群落的物种多度近于相等<sup>[23,45]</sup>。

#### 4.3 群落结构变动的响应机制

游泳动物群落结构的影响因素复杂多样<sup>[46]</sup>,如种类、个体发育阶段、生理性状况、各种生活机能、栖息的环境条件等。鱼类群聚分布与水深有关<sup>[47]</sup>。在同一纬度,随着水深的增加,群落多度分布格局 NPM 的拟合效果逐渐增强,BSM 的决定系数  $R^2$  逐渐变小,DPM 对水深的海域的拟合效果最好,说明随着水深的增加,优势种的地位从非绝对优势到绝对优势、生态位分配从不合理到比较合理、群落结构从复杂到简单。捕捞对游泳动物群落结构有重要的影响<sup>[48]</sup>,近岸渔区捕捞压力较大,在捕捞干扰下,近岸海域大个体生物群体的优势种大量损失,优势种优势地位下降,群落缺乏相对重要性极强的游泳动物,小个体生物群体得以发展,个体数目分配均匀度逐渐增大,物种数量逐渐增大,DPM 拟合物种多度分布效果较差,而外海渔区受人类干扰相对较少,优势种有较大生存空间,优势地位进一步升高,DPM 拟合物种多度分布效果较好。温度也是影响物种多度分布的重要因素<sup>[47]</sup>。随着水温的升高,水深的渔区(303 渔区、293 渔区和 284 渔区)优势种的优势地位逐渐升高,DPM 的拟合效果越好。优势种在数量上的优势程度对游泳动物群落结构产生影响,决定物种多度分布格局。在生态学上,优势种对整个群落具有控制性影响<sup>[31]</sup>,优势种所占资源比例的大小势必影响其他物种的多度分布,改变物种多度分布格局。从数学理论上来说,生态位优先模型的  $k$  小于 0.5, RAM 等同于  $k$  等于 0.5 的生态位优先模型,而 DPM 等同于  $k$  等于 0.75 的生态位优先模型。在实践上, RAM 拟合优势度指数 50% 左右的群落多度分布拟合效果较好, NPM 对优势度指数明显小于 50% 的群落多度分布拟合效果优于其他多度格局模型, DPM 对优势度指数大于 75% 的群落多度分布拟合效果优于其他多度格局模型, BSM 对优势度指数小于 20% 物种多度分布有较好的拟合效果(表 2)。

#### 4.4 群落结构维持与演替机制

群落结构维持机制一直是群落生态学研究的核心问题,其中的关键是物种的共存机制<sup>[49-50]</sup>。生态位理论认为,群落内的不同物种如果要共存则必须有生态位的分化,且生态位分化等确定性因素占主导地位,而群落中性理论认为,在满足个体水平的生态等价性和群落饱和性两个基本假设下物种可以共存,扩

散和随机作用是主要决定因子<sup>[51-54]</sup>。从本文的研究结果来看, 基于生态位的多度格局模型研究闽南海域游泳动物多度分布是成功的, 生态位理论可以解释物种共存的现象<sup>[55]</sup>。闽南海域游泳动物优势种聚集和种间分离是群落主要空间构型, 物种间的空间分离减弱种间竞争, 阻止或减缓竞争优势物种对竞争劣势物种的竞争排除作用, 进而维持物种共存, 有利于群落结构的维持。闽南海域渔业资源衰退, 游泳动物种类数及群体数量严重下降<sup>[37-40]</sup>, 因而生态位在中性理论中没有充分发挥作用。如果渔业资源恢复到群落处于饱和的状态, 中性理论也许在解释闽南海域的群落结构特征方面存在潜力。如今许多生态学家认为, 生态位理论和中性理论应是相容互补的而不是矛盾的<sup>[54-57]</sup>。Tilman<sup>[58]</sup>认为, 中性作用存在于生态位群落构建中, 提出了随机生态位理论。NPM 拟合 292 渔区物种多度分布的拟合效果好, 生态位理论可以解释物种共存现象<sup>[55]</sup>, 而 BSM 拟合 292 渔区物种多度分布拟合效果, 揭示了随机过程对群落结构的影响<sup>[34]</sup>, 随机生态位理论能够很好地解释 292 渔区群落结构维持、物种多度分布和物种共存等现象, 说明经典生态位理论和中性理论并非绝对对立。

群落演替也是游泳动物群落结构研究的重点和难点。生态位理论认为, 群落构建是确定性过程, 群

落之间有着可分辨的边界, 群落在受干扰后能够逐渐演变到原来的状态, 在群落物种的相互作用下, 演替是从一个方向有规律地向另一个方向变化, 演替的最后阶段是稳定的单元顶极或多元顶极<sup>[52]</sup>。当生态学过程发生变化时, 物种多度格局会从一种模型转变为另一种模型, 所以多度格局可以指示群落演替的生态过程变化<sup>[17,19,22]</sup>。从本文的研究结果来看, 近岸海域受人类干扰活动程度大于外海海域, 近岸海域物种多度拟合效果较好的模型主要为 NPM, 而外海海域主要为 DPM, 如果减少人类活动的干扰, 近岸海域游泳动物多度分布格局由 DPM 向 NPM 转变, 群落结构将可能从复杂到简单、优势种将向绝对优势的方向演替。可见, 运用多度格局模型进行多度格局拟合是深入认识海洋游泳动物群落演替生态过程的有效手段。然而, 由于海洋生态系统本身极度的复杂性, 生态位模型还不能够完全真实地反映海洋游泳动物群落演替的全部过程, 相关群落演替研究的理论、方法和技术手段都远未成熟, 但模型对于海洋游泳动物群落演替部分过程的真实反映依然能够为渔业管理提供依据。

**致谢:** 感谢叶孙忠、谢少卿为本文提供数据, 谨致谢忱!

#### 参考文献:

- [1] 求锦津. 三门近岸海域游泳动物群落结构特征研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019: 8-48.  
Qiu Jinjin. The study on community structure characteristics of nekton in the sanmen coastal waters[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2019: 8-48.
- [2] 李冠国, 范振刚. 海洋生态学[M]. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2011: 83.  
Li Guanguo, Fan Zhengang. Marine Ecology[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2011: 83.
- [3] 李勇, 李辉权, 黎小国, 等. 惠来近岸海域游泳动物群落结构特征[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(25): 112-116.  
Li Yong, Li Huiquan, Li Xiaoguo, et al. Community structure characteristics of nekton in the offshore waters of Huilai[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(25): 112-116.
- [4] Knap A, Dewailly E, Furgal C, et al. Indicators of ocean health and human health: developing a research and monitoring framework[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2002, 110(9): 839-845.
- [5] 夏陆军, 俞存根, 蔡厚才, 等. 南麂列岛海洋自然保护区虾类群落结构及其多样性[J]. 海洋学报, 2016, 38(2): 73-83.  
Xia Lujun, Yu Cungen, Cai Houcai, et al. Community structure and diversity of shrimp in Nanji Islands marine conservation area[J]. *Haiyang Xuebao*, 2016, 38(2): 73-83.
- [6] 沈红保, 李瑞娇, 吕彬彬, 等. 渭河陕西段鱼类群落结构组成及变化研究[J]. 水生生物学报, 2019, 43(6): 1311-1320.  
Shen Hongbao, Li Ruijiao, Lü Binbin, et al. Characteristics of fish community structure in the Weihe River of Shaanxi Section[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, 43(6): 1311-1320.
- [7] 郑文明, 杨刚, 张涛, 等. 长江口横沙浅滩及邻近水域夏季游泳动物群落结构分析[J]. 中国水产科学, 2020, 27(12): 1477-1484.  
Zheng Wenming, Yang Gang, Zhang Tao, et al. Community structure analysis of swimming species in the Yangtze River estuary Hengsha Shoal and adjacent waters in summer[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, 27(12): 1477-1484.
- [8] 蒋忠冠, 曹亮, 张鸷. 洞庭湖鱼类的群落结构及其时空动态[J]. 水生生物学报, 2019, 43(S1): 42-48.  
Jiang Zhongguan, Cao Liang, Zhang E. Spatio-temporal variations of fish assemblages in the Dongting Lake[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, 43(S1): 42-48.
- [9] Bilkovic D M, Roggero M M. Effects of coastal development on nearshore estuarine nekton communities[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2008, 358: 27-39.

- [10] 孙鹏飞, 单秀娟, 吴强, 等. 莱州湾及黄河口水域鱼类群落结构的季节变化[J]. 生态学报, 2014, 34(2): 367–376.  
Sun Pengfei, Shan Xiujian, Wu Qiang, et al. Seasonal variations in fish community structure in the Laizhou Bay and the Yellow River Estuary[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(2): 367–376.
- [11] 俞存根, 陈全震, 陈小庆, 等. 舟山渔场及邻近海域鱼类种类组成和数量分布[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(3): 410–417.  
Yun Cungen, Chen Quanzhen, Chen Xiaoqing, et al. Species composition and quantitative distribution of fish in the Zhoushan fishing ground and its adjacent waters[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2010, 41(3): 410–417.
- [12] 李建生, 李圣法, 任一平, 等. 长江口渔场渔业生物群落结构的季节变化[J]. 中国水产科学, 2004, 11(5): 432–439.  
Li Jiansheng, Li Shengfa, Ren Yiping, et al. Seasonal variety of fishery biology community structure in fishing ground of the Yangtze estuary[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11(5): 432–439.
- [13] 彭少麟, 殷祚云, 任海, 等. 多物种集合的种-多度关系模型研究进展[J]. 生态学报, 2003, 23(8): 1590–1604.  
Peng Shaolin, Yin Zuoyun, Ren Hai, et al. Advances in research on the species-abundance relationship models in multi-species collection[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8): 1590–1604.
- [14] Tokeshi M. Species abundance patterns and community structure[J]. *Advances in Ecological Research*, 1993, 24: 111–186.
- [15] 方晓峰, 杨庆松, 刘何铭, 等. 天童常绿阔叶林中常绿与落叶物种的物种多度分布格局[J]. 生物多样性, 2016, 24(6): 629–538.  
Fang Xiaofeng, Yang Qingsong, Liu Heming, et al. Distribution of species abundance of evergreen and deciduous woody plants in the evergreen broad-leaved forests at Tiantong, Zhejiang[J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(6): 629–538.
- [16] 张敏, 潘艳霞, 杨洪晓. 山东半岛潮上带沙草地的物种多度格局及其对人为干扰的响应[J]. 植物生态学报, 2013, 37(6): 542–550.  
Zhang Min, Pan Yanxia, Yang Hongxiao. Species abundance patterns of supratidal sandy grassland along China's Shandong Peninsula and their responses to human disturbances[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2013, 37(6): 542–550.
- [17] 张金屯. 群落中物种多度格局的研究综述[J]. 农村生态环境, 1997, 13(4): 48–54.  
Zhang Jintun. Review on species abundance patterns in communities[J]. *Rural Eco-Environment*, 1997, 13(4): 48–54.
- [18] Motomura I. On the statistical treatment of communities[J]. *Zoological Magazine*, 1932, 44: 379–383.
- [19] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 58–76.  
Zhang Jintun. *Quantitative Ecology*[M]. Beijing: Science Press, 2011: 58–76.
- [20] 马克明. 物种多度格局研究进展[J]. 植物生态学报, 2003, 27(3): 412–426.  
Ma Keming. Advances of the study on species abundance pattern[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(3): 412–426.
- [21] 张忠华, 胡刚, 祝介东, 等. 喀斯特常绿落叶阔叶混交林物种多度与丰富度空间分布的尺度效应[J]. 生态学报, 2012, 32(18): 5663–5672.  
Zhang Zhonghua, Hu Gang, Zhu Jiedong, et al. Scale-dependent spatial variation of species abundance and richness in two mixed evergreen-deciduous broad-leaved karst forests, Southwest China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(18): 5663–5672.
- [22] 施建敏, 范承芳, 刘扬, 等. 石灰岩山地淡竹林演替序列的群落物种多度分布格局[J]. 应用生态学报, 2015, 26(12): 3595–3601.  
Shi Jianmin, Fan Chengfang, Liu Yang, et al. Species-abundance distribution patterns along succession series of *Phyllostachys glauca* forest in a limestone mountain[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(12): 3595–3601.
- [23] 冯云, 马克明, 张育新, 等. 坡位对北京东灵山辽东栎林物种多度分布的影响[J]. 生态学杂志, 2011, 30(10): 2137–2144.  
Feng Yun, Ma Keming, Zhang Yuxin, et al. Effects of slope position on species abundance distribution of *Quercus wutaishanica* community in Dongling Mountain of Beijing[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(10): 2137–2144.
- [24] 冯云, 马克明, 张育新, 等. 北京东灵山辽东栎(*Quercus liaotungensis*)林沿海拔梯度的物种多度分布[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4743–4750.  
Feng Yun, Ma Keming, Zhang Yuxin, et al. Species abundance distribution of *Quercus liaotungensis* forest along altitudinal gradient in Dongling Mountain, Beijing[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4743–4750.
- [25] 张金屯. 美国纽约州阔叶林物种多度格局的研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(6): 481–489.  
Zhang Jintun. Species abundance patterns in some broad leaved deciduous forests in New York, USA[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(6): 481–489.
- [26] 高利霞, 毕润成, 闫明. 山西霍山油松林的物种多度分布格局[J]. 植物生态学报, 2011, 35(12): 1256–1270.  
Gao Lixia, Bi Runcheng, Yan Ming. Species abundance distribution patterns of *Pinus tabulaeformis* forest in Huoshan Mountain of Shanxi Province, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(12): 1256–1270.
- [27] 袁秀, 马克明, 王德. 黄河三角洲植物生态位和生态幅对物种分布-多度关系的解释[J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1955–1961.  
Yuan Xiu, Ma Keming, Wang De. Explaining the abundance-distribution relationship of plant species with niche breadth and position in the Yellow River Delta[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(7): 1955–1961.
- [28] 张姗, 蔺菲, 原作强, 等. 长白山阔叶红松林草本层物种多度分布格局及其季节动态[J]. 生物多样性, 2015, 23(5): 641–648.  
Zhang Shan, Lin Fei, Yuan Zuoqiang, et al. Herb layer species abundance distribution patterns in different seasons in an old-growth temperate forest in Changbai Mountain, China[J]. *Biodiversity Science*, 2015, 23(5): 641–648.
- [29] 熊小刚, 韩兴国, 陈全胜, 等. 木本植物多度在草原和稀树干草原中增加的研究进展[J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2436–2443.  
Xiong Xiaogang, Han Xingguo, Chen Quansheng, et al. Increased abundance of woody plants in grasslands and savannas[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2436–2443.



- [30] 赵天启, 古琛, 王亚婷, 等. 不同利用方式下典型草原植物群落物种多度分布格局[J]. 生态学报, 2017, 37(23): 7894–7902.  
Zhao Tianqi, Gu Chen, Wang Yating, et al. Species-abundance distribution of typical steppe grassland plant communities under different use patterns[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(23): 7894–7902.
- [31] 杜宇凡, 古琛, 乌力吉, 等. 不同载畜率下短花针茅荒漠草原物种多度格局[J]. 生态学杂志, 2016, 35(3): 675–683.  
Du Yufan, Gu Chen, Wu Liji, et al. Species abundance pattern in *Stipa breviflora* desert steppe under different stocking rates[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(3): 675–683.
- [32] 张锋, 洪波, 李英梅, 等. 陕西纸房沟流域植被恢复区节肢动物群落种-面积、多度关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(2): 511–516.  
Zhang Feng, Hong Bo, Li Yingmei, et al. Species-area and species-abundance relationships of arthropod community in various vegetation restoration areas in Zhifanggou watershed, Shaanxi Province of Northwest China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(2): 511–516.
- [33] 廖成章, 徐永兴, 柳江, 等. 福建将石自然保护区鸟类物种相对多度模型的拟合研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 36–39.  
Liao Chengzhang, Xu Yongxing, Liu Jiang, et al. Application of various patterns to the study on relative abundance of bird species in the Jiangshi Natural Reserve Zone of Fujian Province[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(2): 36–39.
- [34] 陈卓琳, 贾丽丽, 关文彬. 北京西山静福寺地区鸟类多度分布格局[J]. 生态学报, 2017, 37(6): 1805–1815.  
Chen Zhuolin, Jia Lili, Guan Wenbin. Bird abundance distribution patterns of Jing Fu Temple in Beijing Xishan[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(6): 1805–1815.
- [35] 洪华生, 丘书院, 阮五崎, 等. 闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系研究[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 609–617.  
Hong Huasheng, Qiu Shuyuan, Ruan Wuqi, et al. Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground Upwelling Ecosystem Study[M]. Beijing: Science Press, 1991: 609–617.
- [36] 林裕江, 陈文勇. 闽南渔场渔业资源利用现状和管理对策[J]. 现代渔业信息, 2000, 15(2): 6–7, 27.  
Lin Yujiang, Chen Wenyong. The status and management countermeasure for utilization of fisheries resources in Minnan Fishing Ground[J]. *Modern Fisheries Information*, 2000, 15(2): 6–7, 27.
- [37] 王语同, 刘勇. 闽南渔场桁杆虾拖网作业渔获种类组成[J]. 福建水产, 2011, 33(4): 42–46.  
Wang Yutong, Liu Yong. Species composition of catch by shrimp beam trawl in Minnan fishing ground[J]. *Journal of Fujian Fisheries*, 2011, 33(4): 42–46.
- [38] 叶孙忠. 闽南、台湾浅滩渔场蟹类种类组成及分布特征[J]. 海洋渔业, 2004, 26(4): 249–254.  
Ye Sunzhong. Species composition and distribution characteristics of crab on Minnan-Taiwan bank fishing grounds[J]. *Marine Fisheries*, 2004, 26(4): 249–254.
- [39] 沈长春. 闽南-台湾浅滩渔场单船拖网作业调查与分析[J]. 福建水产, 2012, 34(4): 302–308.  
Shen Changchun. Investigation and analysis of the otter board trawl fishery in Minnan-Taiwan shallow fishing ground[J]. *Journal of Fujian Fisheries*, 2012, 34(4): 302–308.
- [40] 张崇良, 陈勇, 韩东燕, 等. 生态模型在渔业管理中的应用[J]. 海洋学报, 2017, 39(10): 1–18.  
Zhang Chongliang, Chen Yong, Han Dongyan, et al. The application of ecological models in fisheries management[J]. *Haiyang Xuebao*, 2017, 39(10): 1–18.
- [41] 刘绍平, 段辛斌, 陈大庆, 等. 长江中游渔业资源现状研究[J]. 水生生物学报, 2005, 29(6): 708–711.  
Liu Shaoping, Duan Xinbin, Chen Daqing, et al. Studies on status of fishery resources in the middle reach of the Yangtze river[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, 29(6): 708–711.
- [42] Hubbell S P. The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography[M]. Princeton: Princeton University Press, 2001: 30–47.
- [43] May R M. Patterns of Species Abundance and Diversity[M]//Cody M L, Diamond J M. Ecology and Evolution of Communities. Cambridge: Harvard University Press, 1975: 81–120.
- [44] 吴承祯, 洪伟, 郑群瑞. 福建万木林保护区观光木群落物种相对多度模型的拟合研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2001, 9(3): 235–242.  
Wu Chengzhen, Hong Wei, Zheng Qunrui. Application of various patterns to the study on species relative abundance in *tsoongi dendron odorum* community[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2001, 9(3): 235–242.
- [45] MacArthur R H. On the relative abundance of bird species[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1957, 43(3): 293–295.
- [46] 于南京, 俞存根, 许永久, 等. 舟山群岛外海域虾类群落结构及其与环境因子的关系[J]. 中国水产科学, 2021, 28(3): 288–298.  
Yu Nanjing, Yu Cungen, Xu Yongjiu, et al. Shrimp community structure and its relationship with environmental factors in the offshore waters of Zhoushan Islands[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(3): 288–298.
- [47] 方水美, 杨圣云, 张澄茂, 等. 闽南-台湾浅滩渔场地形及水深与中上层鱼类群聚分布的关系[J]. 应用生态学报, 2002, 13(11): 1463–1467.  
Fang Shuimei, Yang Shengyun, Zhang Chengmao, et al. Effects of submarine topography and water depth on distribution of pelagic fish community in Minnan-Taiwan bank fishing ground[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(11): 1463–1467.
- [48] 程家骅, 姜亚洲. 捕捞对海洋鱼类群落影响的研究进展[J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 359–366.  
Cheng Jiahua, Jiang Yazhou. Methods for evaluating fishing effects on fish community[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(2): 359–366.

- [49] 张大勇, Hanski I, 雷光春. 理论生态学研究[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 151–191.  
Zhang Dayong, Hanski I, Lei Guangchun. Researches on Theoretical Ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 151–191.
- [50] 周淑荣, 张大勇. 群落生态学的中性理论[J]. 植物生态学报, 2006, 30(5): 868–877.  
Zhou Shurong, Zhang Dayong. Neutral theory in community ecology[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(5): 868–877.
- [51] 赵志模, 郭依泉. 群落生态学原理与方法[M]. 重庆: 科学技术文献出版社, 1989: 147–172.  
Zhao Zhimo, Guo Yiquan. Principle and Method of Community Ecology[M]. Chongqing: Science & Technology Literature Press, 1989: 147–172.
- [52] 牛克昌, 刘泽宁, 沈泽昊, 等. 群落构建的中性理论和生态位理论[J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 579–593.  
Niu Kechang, Liu Yining, Shen Zehao, et al. Community assembly: the relative importance of neutral theory and niche theory[J]. *Biodiversity Science*, 2009, 17(6): 579–593.
- [53] Harpole W S, Tilman D. Non-neutral patterns of species abundance in grassland communities[J]. *Ecology Letters*, 2006, 9(1): 15–23.
- [54] Hubbell S P. The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography[M]. Princeton: Princeton University Press, 2001: 48–76.
- [55] Silvertown J. Plant coexistence and the niche[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2004, 19(11): 605–611.
- [56] Chave J. Neutral theory and community ecology[J]. *Ecology Letters*, 2004, 7: 241–253.
- [57] Holt R D. Emergent neutrality[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2006, 21(10): 531–533.
- [58] Tilman D. Niche tradeoffs, neutrality, and community structure: a stochastic theory of resource competition, invasion, and community assembly[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(30): 10854–10861.

## 附录

表 A1 游泳动物名录  
Table A1 The list of nekton

物种	282渔区	283渔区	284渔区	291渔区	292渔区	293渔区	301渔区	301渔区	303渔区	304渔区
条纹斑竹鲨 <i>Chiloscyllium plagiosum</i>										+
尖头斜齿鲨 <i>Scoliodon sorrakowah</i>	+									
许氏犁头鳐 <i>Rhinobatos schlegelii</i>	+									
中国团扇鳐 <i>Platyrrhina sinensis</i>									+	
何氏鳐 <i>Raja hollandi</i>	+			+	+					
尖嘴魮 <i>Dasyatis zugei</i>	+									
古氏魮 <i>Dasyatis kuhlii</i>										+
双斑燕魮 <i>Gymnura bimaculata</i>	+									
金色小沙丁鱼 <i>Sardinella aurita</i>	+	+		+						
鱈鱼 <i>Ilisha elongata</i>						+				
康氏小公鱼 <i>Stolephorus commersnii</i>		+		+	+	+				+
杜氏棱鳀 <i>Thrissa dussumieri</i>	+									
叉斑狗母鱼 <i>Synodus macrops</i>						+		+		+
肩斑狗母鱼 <i>Synodus hoshinonis</i>							+	+		+
大头狗母鱼 <i>Trachinocephalus myops</i>		+	+		+	+	+	+	+	+
花斑蛇鲻 <i>Saurida undosquamis</i>			+	+	+	+	+	+	+	+
多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i>	+	+			+					
长蛇鲻 <i>Saurida elongata</i>	+								+	
龙头鱼 <i>Harpodon neherus</i>	+									
尖尾鳎 <i>Uroconger lepturus</i>	+			+						
尼氏吻鳎 <i>Rhynchocymba nystromi</i>		+			+					
黑尾吻鳎 <i>Rhynchocymba ectenurus</i>			+		+			+	+	+

续表 A1

物种	282渔区	283渔区	284渔区	291渔区	292渔区	293渔区	301渔区	301渔区	303渔区	304渔区
细尾吻鳎 <i>Rhynchocymba ectenurus</i>		+								
海鳎 <i>Muraenesox cinereus</i>	+			+						
细颌鳎 <i>Oxyconger leptognathus</i>					+			+	+	
丝尾草鳎 <i>Chlopsis fierasfer</i>		+							+	
食蟹豆齿鳎 <i>Pisodonophis cancrivorus</i>	+	+		+	+			+		
网纹裸胸鳎 <i>Gymnothorax reticularis</i>	+	+		+	+		+	+		
中华海鲈 <i>Arius sinensis</i>				+						
麦氏犀鲛 <i>Bregmaceros maecelellandii</i>	+							+	+	
鳞烟管鱼 <i>Fistularia petimba</i>							+		+	
粗吻海龙鱼 <i>Trachyrhamphus serratus</i>				+				+		
斑海马鱼 <i>Hippocampus trimaculatus</i>		+			+					
油鲉 <i>Sphyaena pinguis</i>	+			+	+		+			
六指马鲛 <i>Polydactylus sextarius</i>	+			+	+					
青石斑鱼 <i>Epinephelus awoara</i>	+			+	+		+	+		+
短尾大眼鲷 <i>Priacanthus macracanthus</i>		+			+	+	+	+	+	
细条天竺鱼 <i>Apogonichthys lineatus</i>	+									
黑边天竺鱼 <i>Apogonichthys ellioti</i>		+			+	+	+	+	+	
黑天竺鱼 <i>Apogonichthys niger</i>				+						+
半线天竺鲷 <i>Apogon semilineatus</i>	+								+	+
四线天竺鲷 <i>Apogon quadrifasciatus</i>	+		+		+	+		+		+
宽条天竺鱼 <i>Apogonichthys striatus</i>							+			
双带天竺鲷 <i>Apogon taeniatus</i>				+						
多鳞鲳 <i>Sillago sihama</i>	+			+	+					+
少鳞鲳 <i>Sillago japonica</i>		+						+	+	
沟鲈 <i>Atropus atropus</i>					+					
六带鲈 <i>Caranx sexfasciatus</i>	+									
金带细鲈 <i>Selaroides leptolepis</i>	+							+	+	+
蓝圆鲈 <i>Decapterus maruadsi</i>		+		+	+	+		+	+	+
竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	+	+	+	+	+		+			
高体鲷 <i>Seriola dumerili</i>										+
黑纹条鲷 <i>Zonichthys nigrofasciata</i>		+								
眼镜鱼 <i>Mene maculata</i>	+									
叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	+			+						
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	+	+		+	+					
截尾白姑鱼 <i>Pennahia anea</i>					+					
静鲷 <i>Leiognathus insidiator</i>		+	+			+				+
鹿斑鲷 <i>Leiognathus ruconius</i>		+		+						

续表 A1

物种	282渔区	283渔区	284渔区	291渔区	292渔区	293渔区	301渔区	301渔区	303渔区	304渔区
短吻鲷 <i>Leiognathus brevis</i>	+									
黄斑鲷 <i>Leiognathus bindus</i>				+						
长吻鲷 <i>Leiognathus elongatus</i>			+							
小牙鲷 <i>Gazza minuta</i>				+						
长棘银鲈 <i>Gerres filamentosus</i>									+	
短棘银鲈 <i>Gerres lucidus</i>										+
真鲷 <i>Pagrosomus major</i>				+			+			
二长棘犁齿鲷 <i>Evynnis cardinali</i>	+	+	+	+	+		+	+	+	+
平鲷 <i>Rhabdosargus sarba</i>	+			+						
黄鳍鲷 <i>Sparus latus</i>							+			
金线鱼 <i>Nemipterus virgatus</i>		+		+	+					
伏氏眶棘鲈 <i>Scolopsis vosmeri</i>									+	+
横带髭鲷 <i>Hapalogenys mucronatus</i>		+					+			
鲷鱼 <i>Therapon theraps</i>				+						
列牙鲷 <i>Pelates quadrilineatus</i>	+				+					+
条尾绯鲤 <i>Upeneu bensasi</i>		+	+		+	+	+	+	+	+
黄带绯鲤 <i>Upeneus sulphureus</i>							+			+
荷包鱼 <i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>									+	+
印度棘赤刀鱼 <i>Acanthocephala indica</i>					+					
乔氏台雅鱼 <i>Daya jordani</i>					+			+	+	+
蓝猪齿鱼 <i>Choerodon azurio</i>										+
六带拟鲈 <i>Parapercis sexfasciata</i>					+					
美拟鲈 <i>Parapercis pulchella</i>									+	+
日本鲷 <i>Uranoscopus japonicus</i>					+			+		
双斑鲷 <i>Uranoscopus bicinctus</i>										+
披肩鲷 <i>Ichthyoscopus lebeck</i>									+	
鳄齿鲷 <i>Champsodon capensis</i>		+						+		+
绵鲷 <i>Zoarces viviparus</i>					+					
绿布氏筋鱼 <i>Bleekeria anguilliviridis</i>					+	+		+	+	+
丝鳍鲷 <i>Callionymus virgis</i>								+		+
丝棘鲷 <i>Callionymus flagris</i>				+						
绯鲷 <i>Callionymus beniteguri</i>	+	+			+					
无斑凡塘鳢 <i>Valenciennea immaculatus</i>										+
孔鰕虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>	+									
黄斑篮子鱼 <i>Siganus oramin</i>	+	+		+	+	+		+		
带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	+	+		+	+				+	



续表 A1

物种	282渔区	283渔区	284渔区	291渔区	292渔区	293渔区	301渔区	301渔区	303渔区	304渔区
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	+	+								
断脊口虾蛄 <i>Oratosquillina interrupta</i>	+	+		+	+					
尖刺口虾蛄 <i>Oratosquilla mikado</i>		+			+					
伍氏平虾蛄 <i>Oratosquilla woodmasoni</i>		+			+					
脊条褶虾蛄 <i>Lophosquilla costata</i>	+	+			+					
多脊虾蛄 <i>Carinosquilla multicastrata</i>								+	+	+
长毛明对虾 <i>Fenneropenaeus penicillatus</i>	+									
日本囊对虾 <i>Marsupenaeus japonicus</i>				+	+					
短沟对虾 <i>Penaeus semisulcatus</i>					+					
须赤虾 <i>Metapenaeopsis barbata</i>	+	+		+	+			+	+	
高脊赤虾 <i>Metapenaeopsis lamellate</i>					+			+	+	
刀额新对虾 <i>Metapenaeus ensis</i>	+				+					
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	+	+								+
哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i>	+									
刀额仿对虾 <i>Parapenaeopsis cultrirostris</i>	+									
角突仿对虾 <i>Parapenaeopsis cornuta</i>	+	+			+			+	+	+
鹰爪虾 <i>Trachypenaeus curvirostris</i>	+	+		+	+			+	+	
中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i>	+	+								+
滑脊等腕虾 <i>Heterocarpoides laevis</i>	+									
干练平壳蟹 <i>Conchoecetes artificiosus</i>					+					
绵蟹 <i>Dromia dehaani</i> Rathbun	+	+			+			+		
端正关公蟹 <i>Dorippe polita</i>	+									
颗粒关公蟹 <i>Dorippe granulata</i>	+				+					
七刺栗壳蟹 <i>Arcania heptacantha</i>	+									
鸭额玉蟹 <i>Leucosia anatum</i>		+								
逍遥馒头蟹 <i>Calappa philargius</i>	+	+	+	+	+	+	+	+		+
锐刺长蹄蟹 <i>Phalangipus hystrix</i>					+					
缺刻矶蟹 <i>Pugettia incise</i>				+	+		+	+		
羊毛绒球蟹 <i>Doclea ovis</i>		+			+					
细肢绒球蟹 <i>Doclea gracilipes</i>				+						
显著琼娜蟹 <i>Jonas distincta</i>		+		+	+					
强壮菱蟹 <i>Parthenope validus</i>	+	+		+	+					
环状隐足蟹 <i>Cryptopodia fronicata</i>					+					
红星梭子蟹 <i>Portunus sanguinolentus</i>	+	+			+		+			
远海梭子蟹 <i>Portunus pelagicus</i>	+									
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>				+						

续表 A1

物种	282渔区	283渔区	284渔区	291渔区	292渔区	293渔区	301渔区	301渔区	303渔区	304渔区
矛形梭子蟹 <i>Portunus hastatoides</i>	+	+		+	+					
拥剑梭子蟹 <i>Portunus haanii</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
纤手梭子蟹 <i>Portunus gracilimanus</i>	+	+		+	+					
日本蝟 <i>Charybdis japonica</i>	+									
锈斑蝟 <i>Charybdis feriatius</i>	+	+		+	+	+				
双斑蝟 <i>Charybdis bimaculata</i>	+				+					
变态蝟 <i>Charybdis variegata</i>	+			+	+					
直额蝟 <i>Charybdis truncata</i>	+									
钝齿蝟 <i>Charybdis hellerii</i>	+									
善泳蝟 <i>Charybdis natator</i>		+			+		+	+	+	+
普通暴蟹 <i>Halimede tyche</i>					+					
双刺静蟹 <i>Galene bispinosa</i>	+									
菜花银杏蟹 <i>Actaea savignyi</i>	+	+								
隆线强蟹 <i>Euctrae crenata</i>	+									
火枪乌贼 <i>Loligo beka</i>		+		+	+			+	+	
中国枪乌贼 <i>Loligo chinensis</i>					+	+	+	+	+	+
杜氏枪乌贼 <i>Loligo duvaucelii</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
莱氏拟乌贼 <i>Sepioteuthis lessoniana</i>							+	+	+	+
罗氏乌贼 <i>Sepia robsoni</i>		+	+		+	+	+		+	+
柏氏四盘耳乌贼 <i>Euprymna berryi</i>	+	+		+	+			+		
短蛸 <i>Octopus ocellatus</i>		+			+				+	
长蛸 <i>Octopus variabilis</i>								+		+
真蛸 <i>Octopus vulgaris</i>	+	+		+		+		+	+	+
条纹蛸 <i>Octopus striolatus</i>			+					+		+

注: +表示物种在渔区有分布。

## The study on community structure of nekton based on abundance patterns model: A case study on the Minnan sea area

Cai Jiandi<sup>1</sup>, Liu Yong<sup>1</sup>, Xu Chunyan<sup>1</sup>, Ma Chao<sup>1</sup>, Zhuang Zhidong<sup>1</sup>

(1. Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013, China)

**Abstract:** In order to further interpret the community structure of nekton and explore the ecological process of community structure changes, community structure of nekton in the Minnan sea area are analyzed based on the niche preemption model (NPM), broken stick model (BSM), overlapping niche model (ONM), dominance pre-emption

model (DPM) and random assignment model (RAM) a total of 5 species abundance pattern models. The results show that there are 192 species of nekton in the Minnan sea area, including 132 species of fish, 31 species of crab, 13 species of shrimp, 10 species of cephalopod, 6 species of stomatopod. The fitting effect of NPM in the abundance distribution of nekton is better than that of ONM, the dominant species have dominant position and species niche do not overlap in Minnan sea area. From the open sea to the coastal area, the distribution pattern of nekton abundance changes from DPM to NPM, the simulation result of NPM is worse, and the simulation result of BSM is better, the status of dominant species decreased, the number of species increased, and species abundance distribution tends to uniform. The fitting effect of DPM on the abundance distribution of nekton is better than that in the deep fishing area. With the increase of latitude, the fitting effect of the abundance distribution of nekton is better gradually, the dominant position of dominant species gradually increased, the number of species become less, and species abundance distribution tends to unevenness, however, the fitting effect of DPM on the species abundance distribution of nekton in shallow fishing areas is poor, and the dominant position of dominant species gradually declines, the number of species becomes more, and species abundance distribution tends to uniform. Therefore, niche preemption model is suitable to study the abundance distribution patterns of nekton in the Minnan sea area.

**Key words:** abundance patterns model; community structure; nekton; Minnan sea area