



•研究报告•

闽东近海春秋季节游泳动物多样性、密度及群落特征

刘彩莲¹, 许庆¹, 王林龙², 邢衍阔², 宋稼豪¹, 林柏岸¹, 康斌², 刘敏^{1*}

1. 厦门大学海洋与地球学院, 福建厦门 361102; 2. 中国海洋大学水产学院, 山东青岛 266003

摘要: 近海游泳动物的调查可以丰富生物多样性数据库, 摸清渔业资源现状及变化趋势, 并为当地渔业的有效管理提供基础数据支撑。为了解闽东近海游泳动物种类组成、密度及群落结构等特征, 本研究于2021年春季(4月)和秋季(10月)在该海域布设8个站位进行游泳动物底拖网调查, 应用相对重要性指数(index of relative importance, *IRI*)、多样性指数、数量生物量比较曲线(abundance biomass comparison curve, 简称ABC曲线)、非度量多维标度(non-metric multidimensional scaling, NMDS)、相似性百分比分析(similarity percentage analysis, SIMPER)及生物-环境变量相关性(biota-environment matching, BIOENV)等方法, 分析了游泳动物的物种多样性及群落特征。结果显示两个季度共捕获游泳动物147种, 春季优势种表现出小型低值的特点, 而秋季优势种则以经济价值较高的种类为主, 其中龙头鱼(*Harpadon nehereus*)是唯一一种在春秋两季均占优势的种类(*IRI* > 4,000)。春季的游泳动物物种数显著低于秋季($P < 0.05$)。基于质量计算的Shannon-Wiener多样性指数(H'_{BW})在春季显著低于秋季($P < 0.05$), 且春季游泳动物种间亲缘关系较近, 平均分类差异指数较低。游泳动物密度中, 春季平均尾数密度和平均质量密度分别为 $16.9 \times 10^3 \pm 14.5 \times 10^3$ ind./km²和 474.0 ± 362.0 kg/km², 极显著低于秋季的 $240.8 \times 10^3 \pm 178.6 \times 10^3$ ind./km²和 $2,587.5 \pm 1,495.5$ kg/km² ($P < 0.01$)。春季鱼类幼体尾数比例极显著低于秋季($P < 0.01$)。ABC曲线表明, 游泳动物群落受到中等甚至严重干扰, 且秋季尤为严重。游泳动物群落结构表现出极显著的春秋季节差异($P < 0.01$), 与群落结构相关性最高的环境因子组合为温度和溶解氧($r = 0.548$, $P < 0.01$)。本研究揭示了闽东近海游泳动物平均质量密度在经历2017年低值后目前恢复到2007年的水平。春秋季节调查分别在伏季休渔期前后开展, 如果能做到长期和持续的跟踪调查, 可以为今后休渔期成效的评估提供依据。

关键词: 福建海域; 游泳动物; 群落结构; 多样性; 密度; 伏季休渔

刘彩莲, 许庆, 王林龙, 邢衍阔, 宋稼豪, 林柏岸, 康斌, 刘敏 (2023) 闽东近海春秋季节游泳动物多样性、密度及群落特征. 生物多样性, 31, 22635. doi: 10.17520/biods.2022635.

Liu CL, Xu Q, Wang LL, Xing YK, Song JH, Lin BA, Kang B, Liu M (2023) Nekton diversity, density, and community structure of spring and autumn in coastal waters of eastern Fujian Province. Biodiversity Science, 31, 22635. doi: 10.17520/biods.2022635.

Nekton diversity, density, and community structure of spring and autumn in coastal waters of eastern Fujian Province

Cailian Liu¹, Qing Xu¹, Linlong Wang², Yankuo Xing², Jiahao Song¹, Baian Lin¹, Bin Kang², Min Liu^{1*}

1 College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361102

2 Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266003

ABSTRACT

Aim: Nekton surveys in coastal waters can enrich our understanding of species diversity, assess the status of local fishery resources and variations in their trends, and provide the fundamental data that needed for effective management. The aim of this study was to understand nekton species composition, density, and community structure in coastal waters of eastern Fujian Province.

Methods: Bottom trawl surveys were conducted at eight stations in coastal waters of eastern Fujian Province to collect nekton samples in spring (April) and autumn (October) of 2021. Fishes, crustaceans and cephalopods were identified to species level if possible. The index of relative importance (*IRI*), Shannon-Wiener diversity index based on number (H'_N)

收稿日期: 2022-11-10; 接受日期: 2022-12-24

基金项目: 国家自然科学基金(41976091)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: minliuxm@xmu.edu.cn

and weight (H'_{BW}), taxonomic diversity indices (taxonomic diversity, Δ ; taxonomic distinctness, Δ^* ; average taxonomic distinctness, Δ^+ ; variation in taxonomic distinctness, Δ^+) and densities (i.e. abundance and biomass) were calculated. The proportions of the number of juvenile fishes were estimated based on length measurements and the lengths at fish sexual maturation were obtained from Fishbase (www.fishbase.org). Abundance biomass comparison curve (ABC curve) of nekton and different taxonomic groups (fishes, crustaceans and cephalopods) were also evaluated. Non-metric multidimensional scaling (NMDS), similarity percentage analysis (SIMPER), and biota-environment matching (BIOENV) were used to describe the characteristics of the nekton community structure and the relationships with five environmental factors (temperature, dissolved oxygen, salinity, pH and water depth). The differences in the nekton community between spring and autumn were also tested statistically.

Results: A total of 147 nekton species, including 82 fishes, 57 crustaceans, and 8 cephalopods, were collected. Eleven dominant species ($IRI \geq 500$) were identified, including *Harpadon nehereus*, which had the highest IRI values ($IRI > 4,000$) in both spring and autumn, and was the only species that dominated in both seasons. The dominant species were generally small-sized and low-valued in spring, and large-sized and high-valued in autumn. The Shannon-Wiener diversity index based on weight (H'_{BW}) in spring was significantly lower than that of autumn ($P < 0.05$). The low average taxonomic distinctness (Δ^+) in spring indicated that the taxonomic relationship of nekton species was closely associated. The average densities of nekton were $16.9 \times 10^3 \pm 14.5 \times 10^3$ ind./km² and 474.0 ± 362.0 kg/km² in spring, which were significantly lower than those in autumn ($240.8 \times 10^3 \pm 178.6 \times 10^3$ ind./km² and $2,587.5 \pm 1,495.5$ kg/km²) ($P < 0.01$). The number of nekton species, the H'_{BW} and the proportions of the number of juvenile fishes in spring were significantly lower than those in autumn ($P < 0.05$). ABC curves suggested that the nekton communities in coastal waters of eastern Fujian Province were under a disturbed–even stressed–condition, especially in autumn. The nekton community structure was significantly distinct between spring and autumn ($P < 0.01$). The community structure was closely related to the combination of temperature and dissolved oxygen factors according to the BIOENV results ($r = 0.548$, $P < 0.01$).

Conclusion: This study revealed that the number of nekton species in coastal waters of eastern Fujian Province was relatively high, irrespective of only two seasonal surveys, compared to other coastal areas in Fujian. Based on comparisons of the average density and the average body weight of nekton in 2007–2021 in the same area or other waters of Fujian, the fishery resources in coastal waters of eastern Fujian Province showed a positive trend. As these surveys were conducted before and after the national summer fishing moratorium, long-term monitoring can be applied to evaluate the effectiveness of the fishing moratorium regulation in the future.

Key words: Fujian waters; nekton; community structure; diversity; density; summer fishing moratorium

游泳动物(nekton)是指具有自主游泳能力的一类水生生物, 主要包括水生脊椎动物中的鲸豚类、爬行类和鱼类, 以及水生无脊椎动物中的甲壳动物和一些软体动物(Aleyev, 1977)。作为海洋中的高级消费者, 游泳动物是对能量需求最大的类群, 在维持近海生态系统稳定方面起着重要作用。因此, 游泳动物多样性及其群落特征和时空变化是了解海洋物种多样性, 评价海洋生态系统健康的重要指标(Knap et al, 2002; Raposa et al, 2003)。此外, 许多海洋游泳动物, 如鱼类、甲壳类(虾类、蟹类)、头足类等, 是海洋渔业资源的重要组成部分, 其资源状况调查是评估渔业管理政策有效性的重要手段, 也可以为渔业资源的可持续利用提供科学依据。

目前, 国内外普遍采用拖网的方式进行游泳动物的调查和研究(Piatkowski et al, 1994; 朱鑫华等, 1994; Hall & Greenstreet, 1998; Mak et al, 2021)。涉及的研究方向包括游泳动物物种数和捕捞量等基

础数据的收集, 并以此进一步分析物种组成特征、多样性指数、单位捕捞努力量(catch per unit effort, CPUE)、密度等(Hall & Greenstreet, 1998; Emmett & Brodeur, 2000; Brodeur et al, 2003)。近年来, 相关研究还利用多元统计方法, 分析游泳动物群落结构的时空特征, 以及不同环境因子对群落的影响(Pillans et al, 2007; Costa-Dias et al, 2010; Martins & Haimovici, 2017)。除了中小尺度的游泳动物调查研究外, 还有北太平洋海域大范围底拖网调查数据库的建设, 用以支持大尺度的渔业研究工作(Volvenko, 2014)。

我国游泳动物调查研究在近岸各海域均有开展, 包括山东半岛近岸海域(金显仕, 2003)、长江口及其邻近海域(金显仕等, 2009; Ren et al, 2019)、浙江和福建沿岸海域(宋普庆等, 2015; 蒋日进等, 2019)、台湾海峡(宋普庆等, 2012)、广东沿岸海域(沈春燕等, 2016)及北部湾(王雪辉等, 2010; 李渊等,

2016; 蔡研聪等, 2018)等。这些研究揭示了我国沿海游泳动物的物种多样性、密度及群落结构特点, 反映了我国近海生态系统的健康状况。我国作为全球海洋渔业捕捞第一大国, 自20世纪七八十年代以来, 随着捕捞工具的改进和捕捞强度的增加, 近海渔业资源结构发生了明显变化, 表现出传统经济种类产量减少、优势种类改变、个体小型化等问题(金显仕, 2003; 徐炳庆等, 2011; 刘金虎等, 2020)。

福建省(简称“闽”)位于台湾海峡西面, 受浙闽沿岸流、台湾暖流以及多条江河入海的共同影响(黄良敏, 2011)。福建近岸海域划分为闽南、闽中、闽东3个渔场, 是鱼类、虾类、蟹类、头足类重要的产卵、育幼和觅食场所(徐兆礼, 2011; 王家樵等, 2017)。自20世纪90年代以来, 福建沿海开展了多次游泳动物群落结构的研究, 海域包括东山湾(卢振彬, 1996; 张静等, 2013a)、九龙江口(黄良敏, 2011; 刘勇等, 2015)、厦门湾(黄良敏等, 2007)、兴化湾(王飞跃, 2017)、闽江口(黄良敏等, 2010; 黄良敏, 2011)、三都澳(宋普庆等, 2015)等。由此可见, 福建海域游泳动物调查多为小范围, 且集中在河口和海湾, 对近海的调查则鲜有开展。

为了解闽东近海游泳动物多样性、密度及群落结构的季节特征, 探究影响游泳动物群落变化的可能因素, 本研究基于2021年春季和秋季闽东近海底拖网调查结果, 分析了游泳动物种类组成、多样性指数、密度及其群落结构的季节差异, 探讨了影响该海域群落结构的环境因素, 并与邻近海域的游泳动物特征进行对比分析, 以期为闽东海域渔业资源的保护管理和可持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查方法

根据《海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查指南》(GB/T 12763.6-2007)所规定的采样方法, 分别于2021年春季(4月)和秋季(10月)在闽东近海(26.00°–26.75° N, 119.83°–120.75° E)进行8个站位的游泳动物底拖网调查(图1)。调查租用底拖网渔船进行采样, 渔船吨位为78 t。底拖网网口宽度为7.5 m, 网衣长度80 m, 囊网网目为1 cm。各站位拖网时长在1 h左右, 拖网速度在3–4 kn, 8个站位2天完成。在每个站位同时使用便携式水质测定仪(HACH

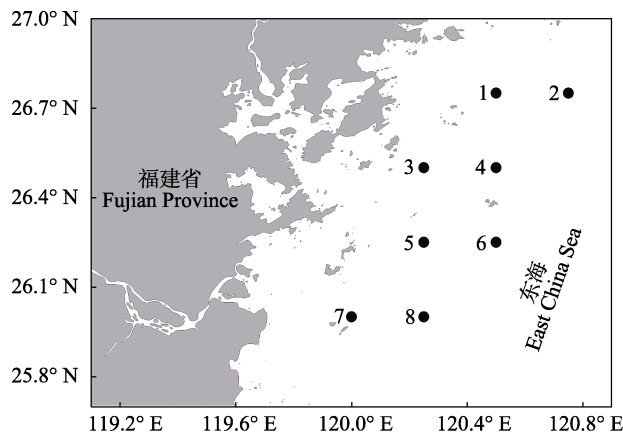


图1 2021年春秋季节闽东近海游泳动物底拖网调查8个站位分布

Fig. 1 Eight surveyed stations in coastal waters of eastern Fujian Province in spring and autumn of 2021

HQ40d)现场测定水温(°C)、溶解氧含量(mg/L)、盐度及pH值, 水深(m)数据由渔船配备的测深仪获得。

1.2 样品处理

对于每个调查站位所捕获的游泳动物, 若总质量小于20 kg, 则全部留样, 带回实验室分析; 若总质量为20 kg以上, 则先将大型和稀有物种挑出留样, 再随机取样20 kg左右, 带回实验室分析。所有捕获物在甲板上分类群(如鱼类、虾类、蟹类、头足类)装袋标记, 冰鲜保存。在实验室对游泳动物种类鉴定到种(或属、科)。鱼类分类参照*Fishes of the World* (Nelson, 2006)及《中国福建南部海洋鱼类图鉴》(第一卷、第二卷)(刘敏等, 2013, 2014)。甲壳类和头足类分类参照《海南虾类》(王鹏, 2017)、《中国海洋生物图集》(第六册)(黄宗国和林茂, 2012)及《世界乌贼和鱿鱼图鉴》(新编)(奥谷乔司, 2015)。甲壳类和头足类种名有效性及分类地位查阅World Register of Marine Species (www.marinespecies.org)。记录各站位各物种总尾数(ind.)和总质量(g), 通过合计获得每个站位的游泳动物总尾数和总质量。对于每个站位的每种鱼类, 少于50尾的全部测量, 多于50尾的则随机测量50尾, 记录个体全长(cm)、体长(cm)和质量(g)。

1.3 数据计算

1.3.1 密度

根据《海洋渔业资源调查规范》(SC/T 9403-2012)的规定, 本研究将底拖网游泳动物的捕获率统一设定为0.5。根据每个站位游泳动物总质量、总

尾数及实际拖网时间和速度, 计算尾数密度(ind./km²)和质量密度(kg/km²):

$$\text{尾数密度 Abundance} = N / (v \times t \times d \times q) \quad (1)$$

$$\text{质量密度 Biomass} = BW / (v \times t \times d \times q) \quad (2)$$

式中, N 为各站位游泳动物总尾数(ind.), BW 为各站位游泳动物总质量(kg), v 为拖网速度(km/h), t 为拖网时间(h), d 为扫海宽度(km), q 为网具捕获率(取值0.5)。扫海宽度即为底拖网网口宽度。

1.3.2 相对重要性指数

根据所捕获每种游泳动物的总尾数、总质量和出现频率, 计算相对重要性指数(index of relative importance, IRI) (Pinkas et al, 1971):

$$IRI = (N\% + BW\%) \times F\% \quad (3)$$

式中, $N\%$ 为各物种尾数占总尾数的比例, $BW\%$ 为该物种质量占总质量的比例, $F\%$ 为出现频率, 即该物种出现站位数占总站位数的比例。定义 $IRI \geq 500$ 的为优势种, $100 \leq IRI < 500$ 的为重要种(刘金虎等, 2020; 张琥顺等, 2021; 马路阔等, 2022)。

1.3.3 多样性指数

根据每个站位所捕获各游泳动物尾数及质量, 计算各站位的Shannon-Wiener多样性指数(H') (Shannon, 1948):

$$H'_N \text{或} H'_{BW} = -\sum P_i \ln P_i \quad (4)$$

式中, H'_N 和 H'_{BW} 分别为基于总尾数及总质量的指数。 P_i 为各站位第 i 种游泳动物尾数(或质量)占总尾数(或总质量)的比例。

根据游泳动物的物种分类地位以及各物种的尾数, 计算各站位的分类学多样性指数, 包括分类多样性指数(taxonomic diversity, Δ)、分类差异指数(taxonomic distinctness, Δ^*)、平均分类差异指数(average taxonomic distinctness, Δ^+)和分类差异变异指数(variation in taxonomic distinctness, Δ^+) (Warwick & Clarke, 1995; Clarke & Warwick, 1998; 朱晓芬等, 2018):

$$\Delta = [\sum \sum_{i < j} \omega_{ij} N_i N_j] / [(\sum N_i (\sum N_i - 1)) / 2] \quad (5)$$

$$\Delta^* = [\sum \sum_{i < j} \omega_{ij} N_i N_j] / [\sum \sum_{i < j} N_i N_j] \quad (6)$$

$$\Delta^+ = [\sum \sum_{i < j} \omega_{ij}] / [S(S-1) / 2] \quad (7)$$

$$\Delta^+ = [\sum \sum_{i < j} (\omega_{ij} - \Delta^+)^2] / [S(S-1) / 2] \quad (8)$$

式中, S 为各站位游泳动物总物种数, N_i 为各站位第 i 种游泳动物尾数(ind.), N_j 为各站位第 j 种游泳动物尾数(ind.), ω_{ij} 为第 i 种和第 j 种游泳动物在分类树中的

路径长度。

1.3.4 鱼类幼体比例

根据所测量的鱼类全长数据以及已知的各种鱼类性成熟全长数据, 计算鱼类幼体尾数比例。各种鱼类的性成熟全长数据从世界鱼类数据库(www.fishbase.org)获得。少数鱼类在世界鱼类数据库仅有性成熟体长数据, 则根据体长-全长关系公式计算得到性成熟全长。

1.3.5 ABC曲线

根据游泳动物及各类群的尾数和质量, 做数量生物量比较曲线(abundance biomass comparison curve, 简称ABC曲线) (Warwick, 1986), 以分析春秋季节游泳动物及各类群受干扰程度, 并通过 W 统计量来表示ABC曲线中数量和生物量的相对关系:

$$W = -\sum_{i=1}^S (B_i - A_i) / 50(S-1) \quad (9)$$

式中, B_i 与 A_i 分别为ABC曲线中种类排序第 i 种游泳动物的质量和尾数占比。当生物量曲线位于数量曲线之上时, 表明群落结构稳定, 未受干扰; 当两条曲线相交时, 表明群落受中等程度干扰; 当数量曲线位于生物量曲线之上时, 表明群落受到严重干扰 (Blanchard et al, 2004; 张琥顺等, 2021)。

1.4 统计分析

在进行群落结构分析前, 对游泳动物尾数密度进行4次方根转换, 以减少极端值的影响(Clarke, 1993)。计算春秋两季各站位间的Bray-Curtis相似性系数, 得到相似性系数矩阵, 据此进行非度量多维标度(non-metric multidimensional scaling, NMDS)分析(Clarke, 1993)。采用相似性百分比分析(similarity percentage analysis, SIMPER)确定春秋季节游泳动物群落的特征种和分歧种, 并确定对季节内相似性和季节间差异性贡献率前十的物种(Clarke et al, 2014)。通过生物-环境变量相关性分析(biota-environment matching, BIOENV)确定温度、溶解氧、盐度、pH值及水深这5个因子中与群落结构相关性最高的因子组合。

对春秋季节所捕获的游泳动物物种数、密度、多样性指数、鱼类幼体尾数比例及环境因子进行正态和方差齐性检验, 并对满足条件的数据进行 t 检验, 对不满足条件的数据进行Mann-Whitney U 检验。利用单因子相似性分析(one-way analysis of similarity, ANOSIM)检验春秋季节游泳动物群落结构差异是否

显著。显著性水平设定为 $P \leq 0.05$ 。

以上数据分析主要使用Excel 2016、R 3.6.3、PRIMER 6.0等完成。

2 结果

2.1 游泳动物多样性

2021年春秋季节共捕获游泳动物147种, 隶属3门4纲23目60科109属(附录1), 其中: 鱼类1门2纲16目39科64属82种, 甲壳类1门1纲2目16科40属57种, 头足类1门1纲5目5科5属8种。春秋季节均出现的物种共60种, 包括鱼类26种、甲壳类33种、头足类1种; 仅在春季出现的物种有37种, 包括鱼类23种、甲壳类11种、头足类3种; 仅在秋季出现的物种有50种, 包括鱼类33种、甲壳类13种、头足类4种。春季各站位游泳动物总物种数和鱼类物种数均显著低于秋季(总数: $t = -2.5, P < 0.05$; 鱼类: $t = -3.1, P < 0.01$), 而甲壳类和头足类物种数无显著差异(甲壳类: $P = 0.57$; 头足类: $P = 0.37$) (表1)。从空间分布来看, 站位4、站位5和站位6的春秋季节游泳动物总物种数差异最显著, 秋季比春季分别增加64%、150%和163%, 这一变化主要由鱼类和甲壳类引起。而站位1、站位2、站位3和站位7的春秋季节物种数差异相对较小, 变化不超过20%。

游泳动物共有11种优势种, 春季5种, 秋季7种, 其中鱼类4种, 甲壳类7种, 多为经济种类(图2)。龙

表1 2021年春秋季节闽东近海游泳动物物种数

Table 1 Number of nekton species in coastal waters of eastern Fujian Province in spring and autumn of 2021

季节 Season	站位 Station	鱼类* Fishes*	甲壳类 Crustaceans	头足类 Cephalopods	总计* Total*
春季 Spring	1	10	23	1	34
	2	19	21	3	43
	3	12	31	1	44
	4	13	12	3	28
	5	18	0	2	20
	6	7	12	0	19
	7	25	18	1	44
	8	14	19	1	34
平均 Average		15	12	2	33
秋季 Autumn	1	17	18	1	36
	2	26	19	3	48
	3	23	16	0	39
	4	26	18	2	46
	5	23	24	3	50
	6	28	20	2	50
	7	15	19	3	37
	8	23	18	2	43
平均 Average		23	19	2	44

* 春秋季节有显著差异 The significant difference between spring and autumn ($P < 0.05$).

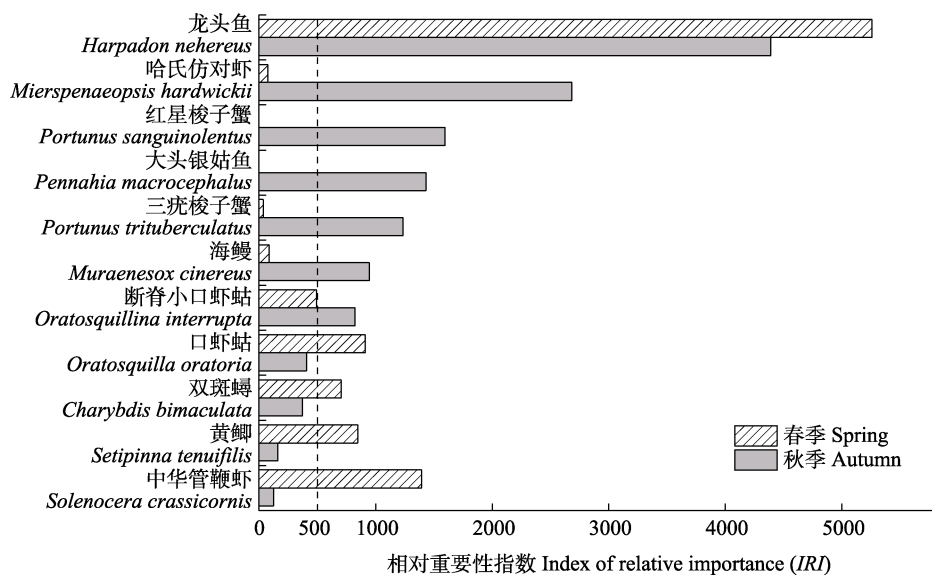


图2 2021年春秋季节闽东近海游泳动物优势种及其相对重要性指数

Fig. 2 Index of relative importance of dominant species in coastal waters of eastern Fujian Province in spring and autumn of 2021

头鱼(*Harpadon nehereus*)是唯一一种在春秋季都占绝对优势的种类($IRI > 4,000$)。春季优势种以小型低经济价值的鱼类和甲壳类为主,如黄鲫(*Setipinna tenuifilis*)、中华管鞭虾(*Solenocera crassicornis*)、双斑螯(*Charybdis bimaculata*)等,而秋季优势种则以食用价值较高的鱼类和甲壳类为主,如海鳗(*Muraenesox cinereus*)、三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)和红星梭子蟹(*P. sanguinolentus*)。重要种也呈现相同规律,春季的重要种以六丝矛尾虾虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)、二长棘犁齿鲷(*Evynnis cardinalis*)等小型鱼类为主,而秋季重要种以大黄鱼(*Larimichthys crocea*)、鮟(*Miichthys miiuy*)等经济价值较高的石首鱼类为主。

春秋季 H'_N 无显著差异($P = 0.76$), H'_{BW} 则在春季显著低于秋季($P < 0.05$) (图3)。春季 H'_N 为1.74 (站位5)–3.17 (站位7),平均值为2.41;春季 H'_{BW} 为1.83 (站位4)–3.20 (站位7),平均值为2.18。秋季 H'_N 为2.07 (站位8)–2.62 (站位4),平均值为2.35;秋季 H'_{BW} 为2.25 (站位1)–2.93 (站位7),平均值为2.63。

春季分类多样性指数(Δ)为40.40 (站位5)–76.37 (站位7),平均值为64.58;春季分类差异

指数(Δ^*)为60.89 (站位5)–83.94 (站位4),平均值为78.16。秋季分类多样性指数为57.94 (站位4)–70.35 (站位7),平均值为67.27;秋季分类差异指数为71.92 (站位7)–84.87 (站位8),平均值为80.57。春季平均分类差异指数(Δ^+)平均值为80.33,略低于秋季(80.47),而春季分类差异变异指数(Λ^+)为528.66,略高于秋季(526.85) (图4)。春季站位1、站位3和站位5的平均分类差异指数均显著低于95%置信区间的下边界,表明种间亲缘关系较近,而站位3的分类差异变异指数高于95%置信区间的上边界,表明物种分类差异变异程度较高,物种间亲缘关系的均匀程度较差;在秋季,除站位7的分类差异变异指数落在95%置信区间的上边界外,其余站位均在95%置信区间内,且与春季相比,秋季的各站位平均分类差异指数和分类差异变异指数更集中于理论平均值附近(图4)。

2.2 游泳动物密度

春季游泳动物尾数密度和质量密度均显著低于秋季(尾数密度: $t = -3.5, P < 0.01$; 质量密度: $t = -3.4, P < 0.01$) (图5)。春季游泳动物平均尾数密度为 $16.9 \times 10^3 \pm 14.5 \times 10^3 \text{ ind./km}^2$, 平均质量密度为

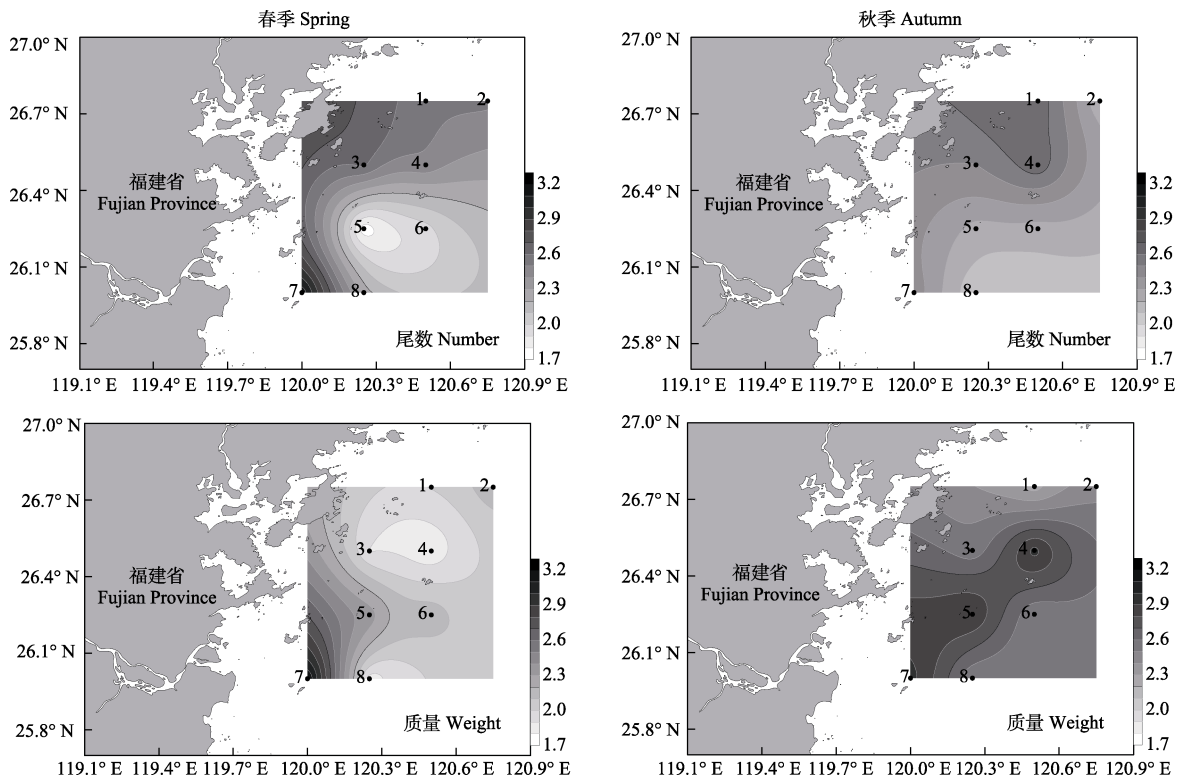


图3 2021年春秋季闽东近海游泳动物Shannon-Wiener多样性指数(H')

Fig. 3 Shannon-Wiener diversity index (H') of nekton in coastal waters of eastern Fujian Province in spring and autumn of 2021

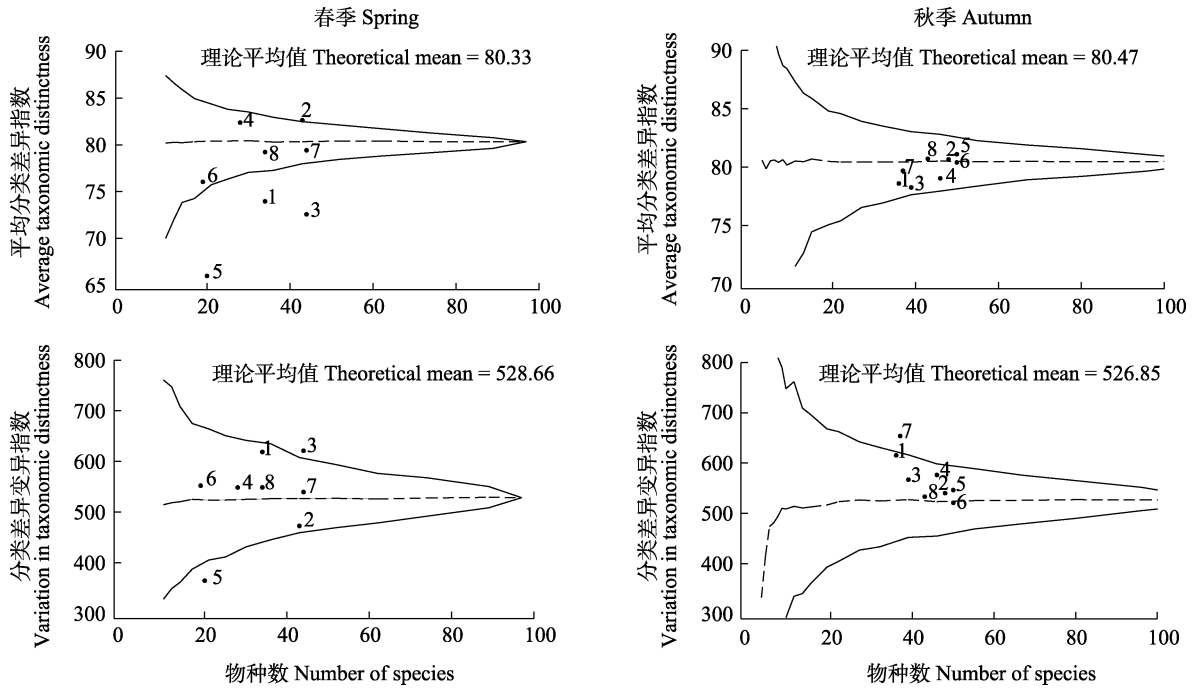


图4 2021年春秋季节闽东近海游泳动物平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Δ^+)的95%置信区间漏斗图
 Fig. 4 95% probability funnels of average taxonomic distinctness (Δ^+) and variation in taxonomic distinctness (Δ^+) of nekton in coastal waters of eastern Fujian Province in spring and autumn of 2021

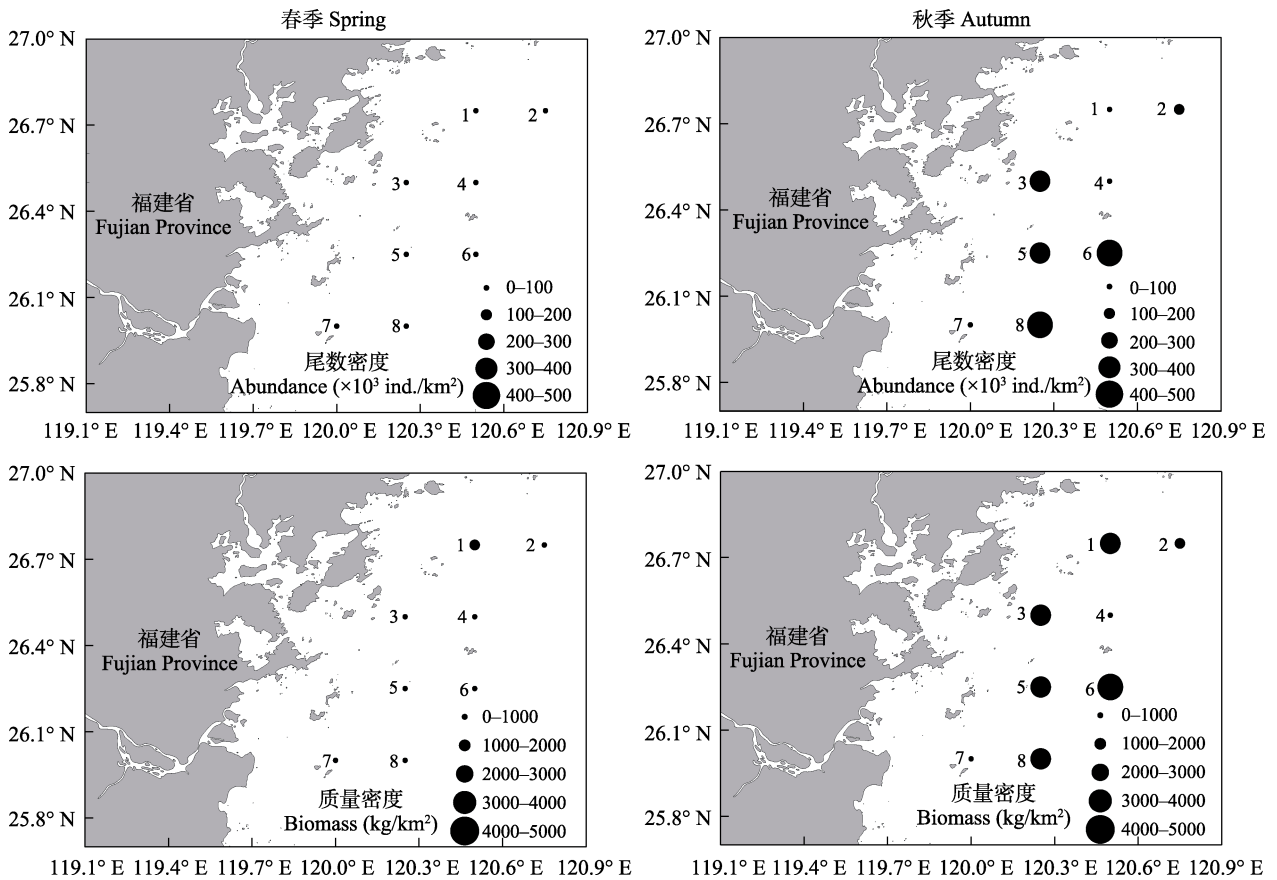


图5 2021年春秋季节闽东近海游泳动物尾数密度($\times 10^3 \text{ ind./km}^2$)和质量密度(kg/km^2)分布
 Fig. 5 Nekton abundance ($\times 10^3 \text{ ind./km}^2$) and biomass (kg/km^2) in coastal waters of eastern Fujian Province in spring and autumn of 2021

474.0 ± 362.0 kg/km², 其中鱼类平均密度为8.0 × 10³ ± 6.2 × 10³ ind./km²和364.8 ± 294.2 kg/km², 甲壳类平均密度为8.8 × 10³ ± 8.6 × 10³ ind./km²和96.6 ± 95.1 kg/km², 头足类平均密度为148.4 ± 107.7 ind./km²和12.6 ± 16.8 kg/km²。秋季游泳动物平均密度为240.8 × 10³ ± 178.6 × 10³ ind./km²和2,587.5 ± 1,495.5 kg/km², 分别比春季增长13.2倍和4.5倍, 其中鱼类平均密度为116.2 × 10³ ± 97.5 × 10³ ind./km²和1,642.9 ± 1,063.5 kg/km², 甲壳类平均密度为121.5 × 10³ ± 92.0 × 10³ ind./km²和871.2 ± 660.3 kg/km², 头足类平均密度为3.2 × 10³ ± 3.0 × 10³ ind./km²和73.4 ± 77.6 kg/km²。从空间分布上看, 游泳动物密度在站位4和站位7明显偏低, 在站位6较高(图5)。

2.3 鱼类幼体尾数比例

春季各站位平均鱼类幼体尾数比例为49.03%, 而秋季则达到75.72%, 显著高于春季($t = 3.0, P < 0.01$) (图6)。4种鱼类优势种(图2)的幼体比例均在秋季较高, 其中龙头鱼的幼体比例由春季的0.31%上升至秋季的45.50%; 大头银姑鱼(*Pennahia macrocephalus*)在春季没有捕获, 而在秋季所捕获个体均为幼体, 幼体比例达100.00%; 海鳗在春季仅捕获成鱼1尾, 幼体比例为0.00%, 而秋季幼体比例高达63.16%; 黄鲫的幼体比例在春秋两季均比较高, 分别为69.31%和80.95%, 也表现出秋季高于春季的特点(附录2)。

2.4 ABC曲线特征

游泳动物春秋两季的ABC曲线表现出不同特点: 春季的数量曲线与生物量曲线发生交叉, 秋季的数

量曲线则始终位于生物量曲线之上(图7)。春季 $W > 0$, 而秋季 $W < 0$, 这反映出闽东近海游泳动物群落在春季受到中等程度干扰, 而在秋季受到严重干扰。春季游泳动物数量曲线前三位的物种分别是龙头鱼(23.08%)、中华管鞭虾(12.77%)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*, 6.69%), 而生物量曲线前三位的物种分别是龙头鱼(37.03%)、海鳗(6.96%)、双棘原黄姑鱼(*Protonibea diacanthus*, 5.15%); 秋季游泳动物数量曲线前三位的物种分别是龙头鱼(23.38%)、哈氏仿对虾(22.31%)、大头银姑鱼(11.47%), 而生物量曲线前三位的物种分别是龙头鱼(20.53%)、海鳗(10.60%)、三疣梭子蟹(9.39%)。可以看出闽东近海游泳动物中以鱼类和甲壳类为主, 龙头鱼在其中占据重要地位。鱼类ABC曲线中, 数量曲线在春秋两季均位于生物量曲线之上, 且 $W < 0$, 这表明鱼类群落受干扰程度大, 稳定性较差, 鱼类种类以体型较小、生活史较短的物种为主(附录3)。甲壳类和头足类的ABC曲线表现出不同的特征, 甲壳类群落春季的稳定性比秋季高, 而头足类群落春季的稳定性则要低于秋季(附录3)。

2.5 游泳动物群落结构

聚类分析结果显示, 闽东近海游泳动物春秋两季群落结构明显不同(图8)。NMDS排序分析的stress值为0.09, 表明排序结果较好。ANOSIM结果表明, 游泳动物群落结构季节差异极显著($R = 0.759, P < 0.01$)。SIMPER结果显示, 引起春秋两季游泳动物群落结构之间差异的物种与对秋季群落内部相似性贡献度高的物种有很大重叠(表2)。有3种游泳动物对春秋两季群落结构内部相似性贡献度较高, 其中

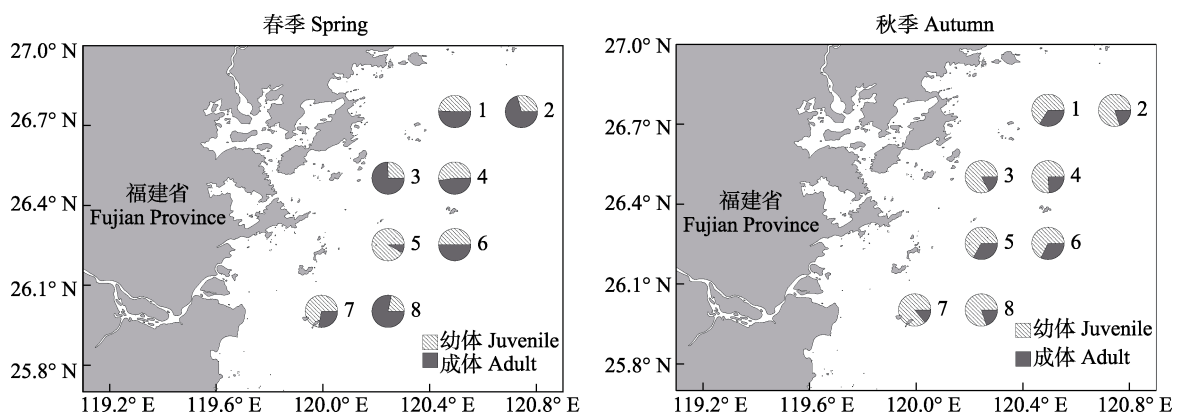


图6 2021年春季秋季闽东近海鱼类幼体尾数比例分布

Fig. 6 Proportions of the number of all fish juveniles in coastal waters of eastern Fujian Province in spring and autumn of 2021

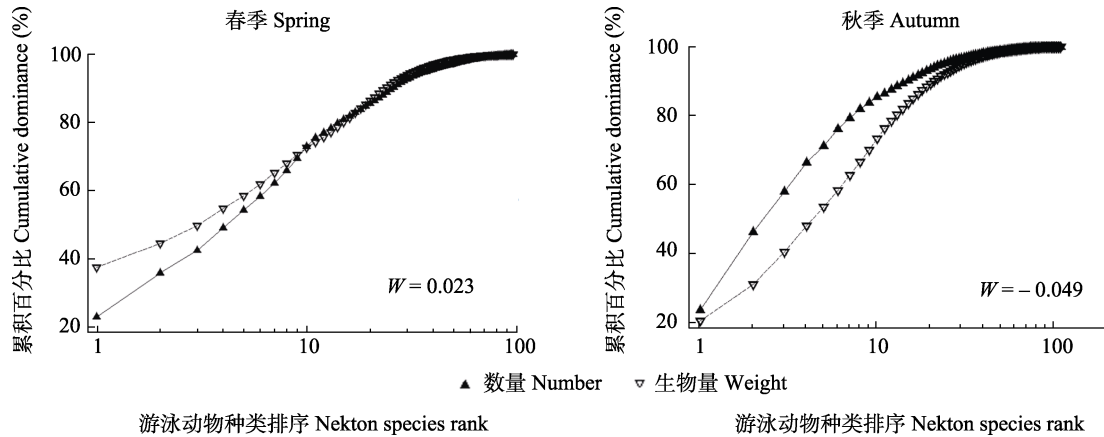


图7 2021年春秋季闽东近海游泳动物数量生物量比较曲线(ABC曲线)

Fig. 7 Abundance biomass comparison curve (ABC curve) of nektons in coastal waters of eastern Fujian Province in spring and autumn of 2021

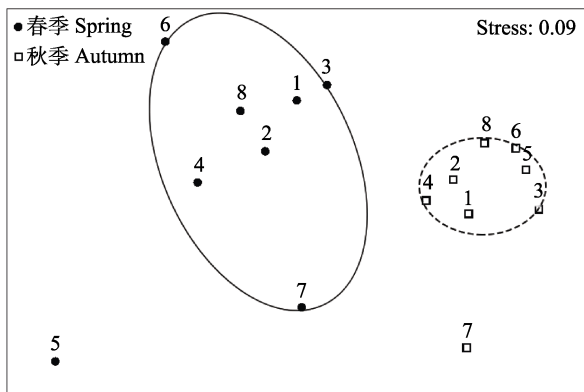


图8 2021年春秋季闽东近海游泳动物群落非度量多维标度二维点图及95%置信椭圆

Fig. 8 Non-metric multidimensional scaling (NMDS) plot with 95% confidence ellipse of the nekton communities in coastal waters of eastern Fujian Province in spring and autumn of 2021

龙头鱼的贡献度在春秋两季都较高, 而且对春秋两季群落结构之间差异性的贡献度也较高; 中华管鞭虾和断脊小口虾蛄的贡献度均较高, 而对于春秋两季差异性的贡献度较低。而其余贡献度高的7个物种在春秋两季均不同, 表明两季节之间游泳动物群落组成差异大(表2)。

5个环境因子中, 温度、溶解氧、pH值在春秋两季有极显著差别($P < 0.01$), 春季的溶解氧显著高于秋季, 而温度和pH值则显著低于秋季(附录4)。BIOENV的结果表明, 闽东近海游泳动物群落结构与温度和溶解氧两种环境因子组合的相关性最好($r = 0.548, P < 0.01$), 而两个季度内的游泳动物群落结构与环境因子之间无显著相关性(春季: $P =$

0.60; 秋季: $P = 0.10$)。这说明调查海域内游泳动物群落的季节性差异与温度及溶解氧的组合所反映的环境变化相关性大, 而不同的环境因子在同季度游泳动物群落的空间结构上则无显著影响。

3 讨论

3.1 游泳动物多样性特征

2021年春秋季闽东近海共捕获游泳动物147种, 高于2017年在闽东近海(刘金虎等, 2020)大范围的调查结果, 也高于九龙江口(刘勇等, 2015)和兴化湾(王飞跃, 2017)的同季度调查结果。闽东近海鱼类物种数在秋季比春季明显增多, 造成了春秋两季游泳动物物种数的显著差异, 这一点与兴化湾的调查结果相同(王飞跃, 2017)。引起这种现象的原因可能与鱼类的季节性洄游有关。与甲壳类相比, 鱼类活动能力更强, 受到水温、溶解氧等因素的季节性变化而产生的洄游活动更明显, 因而导致同一海域春秋两季鱼类物种数发生明显变化。

在游泳动物的多样性特征研究中, 最常用的是传统多样性指数 H' , 且多数以质量数据来计算(H'_{BW}), 少数增加了尾数(H'_N)的结果(高雪等, 2019; 张琥顺等, 2021)。结合历史调查数据来看, 福建海域春秋两季的 H'_{BW} 介于0.33–3.20之间, 其中闽东海域、台湾海峡要高于东山湾、兴化湾、闽江口及九龙江口等小范围海域, 并且不同海域多表现出秋季高于春季的特点(表3)。

除传统多样性指数外, 分类学多样性指数结合了物种分类地位和亲缘关系来反映群落多样性, 并

表2 2021年春秋季节闽东近海游泳动物群落中前10位特征种(相似性)与分歧种(差异性)

Table 2 Top ten typical and discriminating species of nekton communities in coastal waters of eastern Fujian Province in spring and autumn of 2021

物种 Species	贡献度 Contribution (%)		
	春秋季节差异性 Dissimilarity between spring and autumn	春季相似性 Similarity in spring	秋季相似性 Similarity in autumn
黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i>		7.50	
龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	3.11	7.46	8.08
中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i>		6.69	4.35
沙带鱼 <i>Lepturacanthus savala</i>		6.59	
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>		6.13	
断脊小口虾蛄 <i>Oratosquillina interrupta</i>		5.83	4.42
刺鲳 <i>Psenopsis anomala</i>		4.98	
双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i>		4.63	
杜氏枪乌贼 <i>Uroteuthis duvaucelii</i>		4.44	
六丝矛尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>		3.57	
哈氏仿对虾 <i>Mierspenaeopsis hardwickii</i>	4.34		8.12
大头银姑鱼 <i>Pennahia macrocephalus</i>	4.09		5.98
红星梭子蟹 <i>Portunus sanguinolentus</i>	3.37		5.37
刀额仿对虾 <i>Mierspenaeopsis cultrirostris</i>	2.61		4.81
鳞鳍叫姑鱼 <i>Johnius distinctus</i>	2.33		3.73
六指多指马鲛 <i>Polydactylus sextarius</i>	2.15		3.59
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	2.56		3.56
大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i>	1.76		
曼氏无针乌贼 <i>Sepiella inermis</i>	1.75		

表3 福建沿岸水域春秋季节基于游泳动物质量和尾数的Shannon-Wiener多样性指数(H')比较

Table 3 Comparisons of Shannon-Wiener diversity index (H') based on nekton body weight and the number of individuals in different coastal waters of Fujian Province

调查水域 Survey waters	调查时间 Survey time	H'平均值(范围) H' average (Range)		文献来源 Data source
		质量 Weight	数量 Number	
台湾海峡 Taiwan Strait	2007.04	2.34 (1.61–2.79)	–	宋普庆等, 2012
	2007.10–11	2.64 (2.19–3.11)	–	
东山湾 Dongshan Bay	2009.05	1.33 (0.58–2.03)	–	张静等, 2013b
	2008.11	1.90 (1.17–2.67)	–	
东山湾 Dongshan Bay	2010.02	2.01 (0.89–2.72)	–	林龙山等, 2012
	2010.08	1.94 (1.24–2.27)	–	
兴化湾 Xinghua Bay	2012.04	1.83 (1.30–2.33)	–	王飞跃, 2017
	2012.10	2.19 (1.32–2.64)	–	
九龙江口 Jiulong River Estuary	2013.04	1.93 (1.34–2.57)	–	刘勇等, 2015
	2013.11	1.81 (1.00–2.18)	–	
闽江口 Min River Estuary	2017.04	1.51 (0.66–2.78)	1.62 (0.48–2.76)	张蓝蓝, 2020 ^①
	2017.08	2.11 (0.33–2.98)	1.61 (1.14–2.46)	
	2018.04	1.55 (0.40–2.40)	2.26 (0.16–3.27)	
	2018.08	2.34 (1.00–3.12)	2.42 (1.58–2.97)	
闽东近海(大范围) Coastal waters of eastern Fujian Province (large scale)	2017.05	2.76 (1.80–2.93)	2.33 (1.37–2.88)	刘金虎等, 2020
	2017.10	2.96 (2.04–3.02)	2.75 (1.58–2.83)	
闽东近海 Coastal waters of eastern Fujian Province	2021.04	2.18 (1.83–3.20)	2.41 (1.74–3.17)	本调查 This study
	2021.10	2.63 (2.25–2.93)	2.35 (2.07–2.62)	

① 张蓝蓝 (2020) 福建省闽江口及附近海域游泳动物密度和群落多样性研究. 硕士学位论文, 厦门大学, 福建厦门.

且不受样本大小、采样方式的影响,对环境变化更敏感,因此能够作为传统多样性指数的有效补充(Cl Clarke & Warwick, 1998; Warwick & Clarke, 1998)。一般而言,群落中分类地位接近的物种其生态位也接近,对于来自环境和人为扰动的响应也相近,因此如果一个群落由分类地位接近的物种组成,那么较小的环境扰动就会对群落产生巨大影响,导致群落稳定性较差,抵抗外界干扰的能力较弱(陈杰等, 2016)。所以,同时结合分类多样性指数和传统多样性指数的结果,有助于全面反映游泳动物的多样性以及群落稳定性的变化。目前,国内对游泳动物分类多样性指数的研究仍然较为缺乏,仅见于底栖动物和鱼类(陈杰等, 2016; 朱晓芬等, 2018; 王业辉等, 2021)。本研究首次尝试对闽东近海春秋季节游泳动物的分类多样性指数进行分析,结果显示平均分类差异指数的理论平均值均达80以上,表明其分类多样性尚可。但春季站位1、站位3、站位5显著偏离95%置信区间,表明此

时游泳动物群落受到较大的环境扰动(图4),这很可能与伏季休渔后从8月中旬至翌年4月连续的高捕捞压力积累有关。

3.2 福建近岸海域游泳动物密度对比

闽东近海受到浙闽沿岸流、粤东沿岸流、台湾暖流及多条入海河流等的影响,呈现出特殊的生态特点,为游泳动物提供了良好的栖息地、产卵场和索饵场,支撑了当地的渔业资源(蔡建堤等, 2021)。与东山湾、九龙江口相比,闽东近海游泳动物密度相对较高(表4)。本研究结果与2007年闽江口大范围海域的调查结果(黄良敏等, 2010)一致,均表现出秋季质量密度高于春季的特点。在2012年兴化湾、2017–2018年闽江口调查和2017年闽东近海大范围调查中,春季游泳动物质量密度均高于本研究的春季调查,而秋季质量密度则低于本研究的秋季调查(王飞跃, 2017; 刘金虎等, 2020; 张蓝蓝, 2020^①)。此外,通过每尾平均质量的比较可以看出,在过去10年福建海域捕获的游泳动物个体小型化已经十分

表4 福建沿岸水域春秋季节游泳动物密度比较

Table 4 Comparisons of biomass and abundance of nekton in different coastal waters of Fujian Province

调查水域 Survey waters	调查时间 Survey time	尾数密度 Abundance ($\times 10^3$ ind./km ²)	质量密度 Biomass (kg/km ²)	平均质量 Average body weight (g/ind.)	文献来源 Data source
闽江口(大范围) Min River Estuary (large scale)	2007.04	–	558.4	–	黄良敏等, 2010
	2007.10	–	2,514.1	–	
东山湾 Dongshan Bay	2009.05	15.0	375.7	25.05	张静等, 2013b
	2008.11	8.1	168.7	20.83	
东山湾 Dongshan Bay	2010.05	9.0	366.7	40.74	林龙山等, 2012
	2010.11	11.0	390.3	35.48	
兴化湾 Xinghua Bay	2012.04	72.1	829.3	11.50	王飞跃, 2017
	2012.10	82.2	764.2	9.30	
九龙江口 Jiulong River Estuary	2013.04	10.5	252.3	24.03	刘勇等, 2015
	2013.11	19.0	402.5	21.18	
闽江口 Min River Estuary	2017.04	106.8	721.0	6.75	张蓝蓝, 2020 ^①
	2017.11	51.2	482.9	9.43	
	2018.04	537.2	2,396.3	4.46	
	2018.11	17.9	282.0	15.75	
闽东近海(大范围) Coastal waters of eastern Fujian Province (large scale)	2017.05	102.0	1,013.7	9.94	刘金虎等, 2020
	2017.10	66.0	899.0	13.62	
闽东近海 Coastal waters of eastern Fujian Province	2021.04	16.9	474.0	28.05	本调查 This study
	2021.10	24.8	2,587.0	104.31	

① 张蓝蓝 (2020) 福建省闽江口及附近海域游泳动物密度和群落多样性研究. 硕士学位论文, 厦门大学, 福建厦门.

严重, 目前捕捞个体有所增大(表4)。2021年闽东近海游泳动物平均质量密度为 $1,530.7 \text{ kg/km}^2$, 明显高于2017年大范围闽东近海平均质量密度(956.4 kg/km^2), 也显著高于2008–2010年东山湾、2012年兴化湾和2013年九龙江口的平均质量密度, 与2007年大范围闽江口海域平均质量密度($1,536.2 \text{ kg/km}^2$)相近(表4)。这些数据的比较显示闽东近海的渔业资源略有回升, 但仍需要持续的监测。

3.3 ABC曲线在游泳动物研究中的应用

ABC曲线是用于评估海洋大型底栖动物群落受污染情况的一种方法(Warwick, 1986)。该方法提出后, 也逐渐被应用于评估海洋中其他生物类群群落受外界干扰的程度。Blanchard等(2004)对比了开发程度不同的海域中鱼类和无脊椎动物(包括甲壳类、软体动物等)群落的ABC曲线, 发现开发程度高的海域其ABC曲线表现出显著的中等或严重受干扰状态, 即数量曲线与生物量曲线相交或数量曲线位于生物量曲线之上。Yemane等(2005)指出, 底层鱼类和头足类群落的ABC曲线可以作为评估渔业捕捞压力影响的重要方法。

近年来, 国内也逐渐开始利用ABC曲线来判断游泳动物整体群落或单独的鱼类群落(李圣法, 2008; Jiang et al, 2009; 张琥顺等, 2021)的受干扰程度, 但没有单独对甲壳类或头足类群落进行过分析。考虑到甲壳类和头足类在游泳动物群落中的重要性, 且本研究中影响游泳动物整体群落ABC曲线的重要种类均属于鱼类和甲壳类, 因此本研究首次对3种不同类群(鱼类、甲壳类、头足类)分别利用ABC曲线进行分析, 可以为后续的研究提供可对比数据。

3.4 游泳动物群落变化

闽东近海游泳动物群落组成表现出差异显著的春秋季节变化, 引起这一变化的原因可能是多方面的。本研究中春秋季节游泳动物群落优势种类存在明显的季节性变化, 这一点在其他研究中有同样结果(黄良敏, 2011; 刘金虎等, 2020)。一方面, 自然环境条件的季节变化直接影响游泳动物的摄食、生长、产卵等基本生命活动。多项研究发现, 温度、盐度、水深、溶解氧及淡水径流输入常常是影响近海游泳动物群落的主要环境因素(Tsou & Matheson, 2002; Ren et al, 2019; 蒋日进等, 2019)。本研究发现闽东近海游泳动物群落结构的季节变化与温度和

溶解氧的组合相关性最佳。春秋季节的温度改变既能够直接影响游泳动物的繁殖、迁移等生命活动, 也能够通过影响水体中的饵料生物量和组成进一步影响游泳动物密度的变化(Collie et al, 2008; 冯晨等, 2019)。而溶解氧则反映了浮游植物光合作用和海洋生物呼吸作用及有机质分解这两类过程的相对强弱, 能够通过生理耐受限度影响游泳动物的活动空间和栖息地的变化(卢勇等, 2011; 蒋日进等, 2019)。在本研究中, 春季优势种的中华管鞭虾、双斑螳和口虾蛄均为小型底栖甲壳类, 它们主要栖息于近岸海域, 以有机碎屑、小型无脊椎动物等为食。春季温度升高, 近岸饵料资源丰富, 为小型底栖甲壳类提供了良好的生存环境(刘金虎等, 2020)。

另一方面, 游泳动物群落也会受到诸如渔业捕捞等人类活动的影响而发生变化(Yemane et al, 2005; 许思思等, 2011)。高强度的捕捞压力会使游泳动物大型种类减少, 资源量下降, 而全国海域5–8月的伏季休渔政策, 甚至是全年禁止底拖网法令(如香港海域), 则可以为大型的、高营养级的游泳动物资源密度的恢复创造条件(Mak et al, 2021)。这一点在本研究的优势种种类变化中也有所体现。经过长达8–9个月的连续捕捞后, 闽东近海春季(4月)的优势种均为小型低值的种类, 而在经过休渔后的秋季(10月)则是海鳗、三疣梭子蟹等大型的经济物种跃居为优势种。同时, 值得强调的是, 闽东近海秋季鱼类幼体尾数比例的显著增加, 也体现了休渔期使许多鱼类的繁衍和早期生长得到保护。而长期的高强度捕捞也会引起游泳动物群落物种组成的改变, 导致群落优势种朝着小型化的方向演替(高雪等, 2019)。本研究结果发现, 龙头鱼是闽东近海的绝对优势种, 这种次级经济鱼类的适应性较强, 已经取代以前的经济石首鱼科鱼类, 成为连接闽江口海域食物网中高级消费者的重要纽带(Liu & Sadovy de Mitcheson, 2008; 林显鹏等, 2010; 郭峻宏等, 2019)。

3.5 伏季休渔制度的重要性

为保护近海海洋渔业资源, 我国自1995年开始正式实施海洋伏季休渔制度, 并在休渔水域面积、休渔时间、渔船作业类型限制等方面不断进行完善(卢昌彩和赵景辉, 2015)。自1995年至今, 我国东海伏季休渔制度已实施了26年, 成为持续时间最长、

监管最严的维持渔业资源可持续发展的管理措施。禁渔期设定在5月至8月中旬或9月中旬,这一时期是许多游泳动物的繁殖期,对渔业资源的繁衍起到重要作用。休渔期制度已使东海、黄海的主要经济鱼类带鱼 (*Trichiurus lepturus*) 与小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 的资源增殖效果明显加强(严利平等, 2019b)。本研究发现,鱼类幼体尾数比例在秋季(禁渔期后)显著高于春季(禁渔期前)。一方面,这有力地证明了伏季休渔制度对于我国海域鱼类繁殖群体保护的成效;另一方面,秋季的高捕捞强度对幼鱼群体的破坏是普遍存在的,这应该引起管理部门的高度重视,如不能对幼鱼群体给予足够的保护,休渔期的成果也将无法延续。

从体现游泳动物群落稳定性的ABC曲线分析来看,闽东近海游泳动物群落处于严重受干扰状态,且秋季更为严重(图7)。这可能与伏季休渔结束后,所有渔船倾巢而出,捕捞强度瞬时增大有关。有研究表明,伏季休渔的成果是短期的,往往在休渔期结束后2-3个月内就消耗殆尽,导致休渔期后的增产效果局限于当年(Shen & Heino, 2014; 卢昌彩和赵景辉, 2015)。东海的研究表明,禁渔期的设立对于鱼类资源量有显著的提升作用,但对于鱼类群落功能稳定性的恢复作用不大(Jiang et al, 2009);同时,现有休渔制度对渔业资源仅起到短暂的养护作用,其效果仅限于当年(严利平等, 2019a)。香港海域自2013年实施全面禁止拖网以来,鱼类群落已经有了初步的恢复,但鱼类群落恢复程度还受到诸如海洋工程建设、填海造陆、违法捕捞等人类活动的影响,使得拖网禁令的效果在一定程度上受到削弱(Mak et al, 2021)。

总体来说,伏季休渔制度有助于游泳动物多样性恢复,减缓生物资源退化,但是其对于游泳动物群落恢复的效果还需要长周期性的监测调查。目前,基于渔业资源调查结果的休渔期时间调整的讨论在广泛进行中。有建议将休渔期提早一个月,可以在不影响渔民经济收入的情况下,更好地保护经济物种的产卵亲体和幼体,大幅度增加游泳动物资源补充量(严寅央和卢昌彩, 2020)。本研究发现秋季鱼类幼体尾数比例显著增加,因此若能够将休渔期适当延长,则可以有效地保护幼鱼生长,促进渔业产量增加。此外,包括伏季休渔在内的渔业管理制度

是否严格落实也是一项重要的影响因素。除伏季休渔以外的其他制度,如开捕大小、最小网目尺寸等,需要严格落实执行,避免成为一纸空文(Shen & Heino, 2014)。因此,要实现闽东海域的游泳动物资源可持续利用,维持游泳动物群落结构稳定,必须严格执行伏季休渔制度,并开展长期连续的游泳动物调查,以确保资源养护效果真正得到巩固。

致谢: 感谢厦门大学姜晨锐、姜艳、任庆强、杨国晗、颜丽婷等在样品测量时提供的帮助。

ORCID

刘彩莲  <https://orcid.org/0009-0006-9725-8471>
许庆  <https://orcid.org/0000-0003-3768-674X>
王林龙  <https://orcid.org/0000-0002-1745-3028>
宋稼豪  <https://orcid.org/0000-0003-3372-2213>
林柏岸  <https://orcid.org/0000-0002-5966-9062>
刘敏  <https://orcid.org/0000-0002-6768-6794>

参考文献

- Aleyev YG (1977) Nekton. Springer, Dordrecht.
- Blanchard F, LeLoc'h F, Hily C, Boucher J (2004) Fishing effects on diversity, size and community structure of the benthic invertebrate and fish megafauna on the Bay of Biscay coast of France. *Marine Ecology Progress Series*, 280, 249-260.
- Brodeur RD, Percy WG, Ralston S (2003) Abundance and distribution patterns of nekton and micronekton in the Northern California Current Transition Zone. *Journal of Oceanography*, 59, 515-535.
- Cai JD, Xu CY, Ma C, Ye SZ, Zhuang ZD, Liu Y, Xie SQ, Shen CC (2021) Population aggregation characteristics of the main dominant species of nekton in Minnan Fishing Ground. *Acta Ecologica Sinica*, 41, 4818-4826. (in Chinese with English abstract) [蔡建堤, 徐春燕, 马超, 叶孙忠, 庄之栋, 刘勇, 谢少卿, 沈长春 (2021) 闽南渔场游泳动物优势种群聚集特性. *生态学报*, 41, 4818-4826.]
- Cai YC, Xu SN, Chen ZZ, Xu YW, Jiang YE, Yang CP (2018) Current status of community structure and diversity of fishery resources in offshore northern South China Sea. *South China Fisheries Science*, 14(2), 10-18. (in Chinese with English abstract) [蔡研聪, 徐姗姗, 陈作志, 许友伟, 江艳娥, 杨长平 (2018) 南海北部近海渔业资源群落结构及其多样性现状. *南方水产科学*, 14(2), 10-18.]
- Chen J, Yang L, Yang SY, Ju PL, Zhong HQ, Yang SL, Xiao JM, Chen MR (2016) Taxonomic diversity of fish community in the waters surrounding the Taishan Islands of Fujian Province. *South China Fisheries Science*, 12(1), 94-101. (in Chinese with English abstract) [陈杰, 杨璐, 杨

- 圣云, 鞠培龙, 钟慧琪, 杨顺良, 肖佳媚, 陈明茹 (2016) 福建台山列岛周边海域鱼类群落分类多样性研究. 南方水产科学, 12(1), 94–101.]
- Clarke KR (1993) Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18, 117–143.
- Clarke KR, Gorley RN, Somerfield PJ, Warwick RM (2014) *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*, 3rd edn. PRIMER-E, Plymouth.
- Clarke KR, Warwick RM (1998) A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology*, 35, 523–531.
- Collie JS, Wood AD, Jeffries HP (2008) Long-term shifts in the species composition of a coastal fish community. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65, 1352–1365.
- Costa-Dias S, Freitas V, Sousa R, Antunes C (2010) Factors influencing epibenthic assemblages in the Minho Estuary (NW Iberian Peninsula). *Marine Pollution Bulletin*, 61, 240–246.
- Emmett RL, Brodeur RD (2000) Recent changes in the pelagic nekton community off Oregon and Washington in relation to some physical oceanographic conditions. *North Pacific Anadromous Fish Commission Bulletin*, 2, 11–20.
- Feng C, He XB, Zhao CX, Li J, Kang B (2019) Functional diversity of fishes in the Minjiang Estuary, Southeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 30, 3589–3595. (in Chinese with English abstract) [冯晨, 何雄波, 招春旭, 李军, 康斌 (2019) 闽江口鱼类功能多样性. 应用生态学报, 30, 3589–3595.]
- Gao X, Li F, Lv ZB, Xu BQ, Zhang LC (2019) Study of nekton community structure in the offshore of Yantai and Weihai. *Marine Fisheries*, 41, 179–187. (in Chinese with English abstract) [高雪, 李凡, 吕振波, 徐炳庆, 张良成 (2019) 烟威海域游泳动物群落结构研究. 海洋渔业, 41, 179–187.]
- Guo JH, Li J, Shen C, Shi Y, Feng C, He XB, Kang B (2019) Estimation of biological parameters and stock of *Harpadon nehereus* in the Min River Estuary, East China Sea. *Journal of Guangdong Ocean University*, 39(5), 56–64. (in Chinese with English abstract) [郭峻宏, 李军, 沈忱, 石焱, 冯晨, 何雄波, 康斌 (2019) 闽江口龙头鱼(*Harpadon nehereus*)的生物学参数及资源评估. 广东海洋大学学报, 39(5), 56–64.]
- Hall SJ, Greenstreet SP (1998) Taxonomic distinctness and diversity measures: Responses in marine fish communities. *Marine Ecology Progress Series*, 166, 227–229.
- Huang LM (2011) Study on Fishery Resources and Fish Diversity in Minjiang River Estuary and Jiulong River Estuary and Their Adjacent Waters. PhD dissertation, Ocean University of China, Qingdao. (in Chinese with English abstract) [黄良敏 (2011) 闽江口和九龙江口及其邻近海域渔业资源现状与鱼类多样性. 博士学位论文, 中国海洋大学, 青岛.]
- Huang LM, Li J, Zhang YZ, Xie YJ, Liu QD, Jin XS (2010) Current fishery resource assessment in the Minjiang River Estuary and its neighboring waters. *Journal of Tropical Oceanography*, 29, 142–148. (in Chinese with English abstract) [黄良敏, 李军, 张雅芝, 谢仰杰, 刘秋狄, 金显仕 (2010) 闽江口及附近海域渔业资源现存量评析. 热带海洋学报, 29, 142–148.]
- Huang LM, Zhang YZ, Du CX, Wei YL (2007) Study on fish species composition and diversities captured by drift net from Xiamen eastern sea. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 26, 261–269. (in Chinese with English abstract) [黄良敏, 张雅芝, 杜楚炫, 魏燕玲 (2007) 厦门东海域流刺网渔获鱼类种类组成及其多样性分析. 台湾海峡, 26, 261–269.]
- Huang ZG, Lin M (2012) *An Illustrated Guide to Species in China's Seas*, Vol. 6. China Ocean Press, Beijing. (in Chinese) [黄宗国, 林茂 (2012) 中国海洋生物图集(第六册). 海洋出版社, 北京.]
- Jiang RJ, Zhang LL, Xu KD, Li PF, Xiao Y, Fan ZW (2019) Characteristics and diversity of nekton functional groups in the coastal waters of south-central Zhejiang Province. *Biodiversity Science*, 27, 1330–1338. (in Chinese with English abstract) [蒋日进, 张琳琳, 徐开达, 李鹏飞, 肖祎, 樊紫薇 (2019) 浙江中南部近岸海域游泳动物功能群特征与多样性. 生物多样性, 27, 1330–1338.]
- Jiang YZ, Cheng JH, Li SF (2009) Temporal changes in the fish community resulting from a summer fishing moratorium in the northern East China Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 387, 265–273.
- Jin XS (2003) The change of community structure of nekton in the waters off southern Shandong Peninsula in spring. *Journal of Fisheries of China*, 27, 19–24. (in Chinese with English abstract) [金显仕 (2003) 山东半岛南部水域春季游泳动物群落结构的变化. 水产学报, 27, 19–24.]
- Jin XS, Shan XJ, Guo XW, Li XS (2009) Community structure of fishery biology in the Yangtze River Estuary and its adjacent waters. *Acta Ecologica Sinica*, 29, 4761–4772. (in Chinese with English abstract) [金显仕, 单秀娟, 郭学武, 李显森 (2009) 长江口及其邻近海域渔业生物的群落结构特征. 生态学报, 29, 4761–4772.]
- Knap A, Dewailly É, Furgal C, Galvin J, Baden D, Bowen RE, Depledge M, Duguay L, Fleming LE, Ford T, Moser F, Owen R, Suk WA, Unluata U (2002) Indicators of ocean health and human health: Developing a research and monitoring framework. *Environmental Health Perspectives*, 110, 839–845.
- Li SF (2008) Status of fish community in East China Sea using the method of abundance-biomass comparison (ABC) curve. *Journal of Fishery Sciences of China*, 15, 136–144. (in Chinese with English abstract) [李圣法 (2008) 以数量生物量比较曲线评价东海鱼类群落的状况. 中国水产科学, 15, 136–144.]

- Li Y, Zhang J, Zhang R, Song PQ, Zhong ZH, Wang YP, Lin LS, Dou SZ (2016) Diversity of demersal nekton in the southwestern sea of the Nansha Islands and the mouth of Beibu Bay. *Journal of Fishery Sciences of China*, 23, 177–187. (in Chinese with English abstract) [李渊, 张静, 张然, 宋普庆, 钟指挥, 王燕平, 林龙山, 窦硕增 (2016) 南沙群岛西南部海域和北部湾口海域底层游泳动物多样性. *中国水产科学*, 23, 177–187.]
- Lin LS, Zhao GG, Li Y, Gao TX, Zhang J (2012) Diversity of nekton in Dongshan Bay and adjacent areas. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 36, 1119–1127. (in Chinese with English abstract) [林龙山, 赵贵根, 李渊, 高天翔, 张静 (2012) 东山湾及其邻近海域游泳动物多样性的分析. *水生生物学报*, 36, 1119–1127.]
- Lin XP, Zhu ZJ, Li PF (2010) Feeding habits of *Harpadon nehereus* in the East China Sea region. *Marine Fisheries*, 32, 290–296. (in Chinese with English abstract) [林显鹏, 朱增军, 李鹏飞 (2010) 东海区龙头鱼摄食习性的研究. *海洋渔业*, 32, 290–296.]
- Liu JH, Li Y, Cao L, Xu LL, Dou SZ (2020) The tempo-spatial changes in community structure, biomass, and biodiversity of nekton in the eastern coastal waters of Fujian Province. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 51, 931–942. (in Chinese with English abstract) [刘金虎, 李毅, 曹亮, 许莉莉, 窦硕增 (2020) 闽东近海游泳动物群落组成、资源量与生物多样性的时空格局研究. *海洋与湖沼*, 51, 931–942.]
- Liu M, Chen X, Yang SY (2013) *Marine Fishes of Southern Fujian, China*, Vol. 1. China Ocean Press, Beijing. (in Chinese) [刘敏, 陈骁, 杨圣云 (2013) 中国福建南部海洋鱼类图鉴(第一卷). 海洋出版社, 北京.]
- Liu M, Chen X, Yang SY (2014) *Marine Fishes of Southern Fujian, China*, Vol. 2. China Ocean Press, Beijing. (in Chinese) [刘敏, 陈骁, 杨圣云 (2014) 中国福建南部海洋鱼类图鉴(第二卷). 海洋出版社, 北京.]
- Liu M, Sadovy de Mitcheson Y (2008) Profile of a fishery collapse: Why mariculture failed to save the large yellow croaker. *Fish and Fisheries*, 9, 219–242.
- Liu Y, Xu CY, Shen CC, Ma C (2015) Characteristic of nekton community structure in spring and autumn in Jiulongjiang Estuary. *Journal of Fujian Fisheries*, 37, 194–201. (in Chinese with English abstract) [刘勇, 徐春燕, 沈长春, 马超 (2015) 九龙江口春、秋季游泳动物的群落结构特征. *福建水产*, 37, 194–201.]
- Lu CC, Zhao JH (2015) The review and prospect on fish moratorium policy in the East China Sea. *Fishery Information and Strategy*, 30, 168–174. (in Chinese with English abstract) [卢昌彩, 赵景辉 (2015) 东海伏季休渔制度回顾与展望. *渔业信息与战略*, 30, 168–174.]
- Lu Y, Li HL, Chen JF, Jin HY, Chen FJ, Gao SQ, Wang K, Wang WL, Bai YC (2011) Seasonal variations of the surface dissolved oxygen saturation in Changjiang River Estuary and its adjacent waters. *Journal of Marine Sciences*, 29, 71–77. (in Chinese with English abstract) [卢勇, 李宏亮, 陈建芳, 金海燕, 陈法锦, 高生泉, 王奎, 王文亮, 白有成 (2011) 长江口及邻近海域表层水体溶解氧饱和度的季节变化和特征. *海洋学研究*, 29, 71–77.]
- Lu ZB (1996) Analysis on the ecology and resources of swimming organisms in Dongshan Island of Fujian Province. *Acta Oceanologica Sinica*, 18(5), 103–109. (in Chinese) [卢振彬 (1996) 福建东山岛海域游泳生物生态和资源评析. *海洋学报*, 18(5), 103–109.]
- Ma LK, Chen QZ, Cheng FP, Peng X, Chen WF, Zeng JN, Shi XZ, Huang W (2022) Analysis of community structure and biodiversity of nekton in the Sanmen Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 53, 384–393. (in Chinese with English abstract) [马路阔, 陈全震, 程方平, 彭欣, 陈伟峰, 曾江宁, 史西志, 黄伟 (2022) 三门湾游泳动物群落结构与生物多样性研究. *海洋与湖沼*, 53, 384–393.]
- Mak YKY, Tao LSR, Ho VCM, Dudgeon D, Cheung WWL, Leung KMY (2021) Initial recovery of demersal fish communities in coastal waters of Hong Kong, South China, following a trawl ban. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 31, 989–1007.
- Martins AS, Haimovici M (2017) Seasonal mesoscale shifts of demersal nekton assemblages in the subtropical South-western Atlantic. *Marine Biology Research*, 13, 88–97.
- Nelson JS (2006) *Fishes of the World*, 4th edn. John Wiley & Sons Inc., New Jersey.
- Okutani T (2015) *Cuttlefishes and Squids of the World*, New Edition. Tokai University Press, Yokohama. (in Japanese and in English) [奥谷乔司 (2015) 世界乌贼和鱿鱼图鉴(新编). 东海大学出版部, 横滨.]
- Piatkowski U, Rodhouse PG, White MG, Bone DG, Symon C (1994) Nekton community of the Scotia Sea as sampled by the RMT 25 during austral summer. *Marine Ecology Progress Series*, 112, 13–28.
- Pillans S, Ortiz JC, Pillans RD, Possingham HP (2007) The impact of marine reserves on nekton diversity and community composition in subtropical eastern Australia. *Biological Conservation*, 136, 455–469.
- Pinkas L, Oliphant MS, Iverson ILK (1971) *Food Habits of Albacore, Bluefin Tuna and Bonito in California Waters*. The Resources Agency, Department of Fish and Game, California, USA.
- Raposa KB, Roman CT, Heltshe JF (2003) *Monitoring Nekton as a Bioindicator in Shallow Estuarine Habitats*. Springer, Dordrecht.
- Ren QQ, Xian WW, Liu CL, Li WL (2019) Spring-time nektonic invertebrate assemblages of and adjacent to the Yangtze Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 227, 106338.
- Shannon CE (1948) A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379–423.
- Shen CY, Ye N, Shen YC, Cao FJ, Xu M (2016) Population structure and biodiversity of nekton in Liusha Bay of Guangdong, China. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 47,

- 227–233. (in Chinese with English abstract) [沈春燕, 叶宁, 申玉春, 曹伏君, 徐明 (2016) 广东流沙湾游泳动物种群结构和生物多样性. 海洋与湖沼, 47, 227–233.]
- Shen GM, Heino M (2014) An overview of marine fisheries management in China. *Marine Policy*, 44, 265–272.
- Song PQ, Lin LS, Li Y, Zhong ZH, Zhang R (2015) Species composition and stability of nekton community structure in Sandu Bay, Fujian Province. *Biodiversity Science*, 23, 519–526. (in Chinese with English abstract) [宋普庆, 林龙山, 李渊, 钟指挥, 张然 (2015) 福建三都澳游泳动物种类组成及群落结构稳定性. 生物多样性, 23, 519–526.]
- Song PQ, Zhang J, Lin LS, Xu ZC, Zhu XM (2012) Nekton species composition and biodiversity in Taiwan Strait. *Biodiversity Science*, 20, 32–40. (in Chinese with English abstract) [宋普庆, 张静, 林龙山, 许章程, 朱小明 (2012) 台湾海峡游泳动物种类组成及其多样性. 生物多样性, 20, 32–40.]
- Tsou TS, Matheson RE (2002) Seasonal changes in the nekton community of the Suwannee River Estuary and the potential impacts of freshwater withdrawal. *Estuaries*, 25, 1372–1381.
- Volvenko IV (2014) The new large database of the Russian bottom trawl surveys in the Far Eastern Seas and the North Pacific Ocean in 1977–2010. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 2, 302–312.
- Wang FY (2017) The species composition and community diversity of nekton in spring and autumn in Xinghua Harbor. *Journal of Fisheries Research*, 39, 349–356. (in Chinese with English abstract) [王飞跃 (2017) 兴化湾春、秋季游泳动物种类组成及其多样性. 渔业研究, 39, 349–356.]
- Wang JQ, Huang LM, Li J, Chen XJ (2017) Evaluation on protection priority of main fish species caught by trawler in the Minjiang River Estuary and adjacent waters. *Marine Fisheries*, 39, 481–489. (in Chinese with English abstract) [王家樵, 黄良敏, 李军, 陈新军 (2017) 闽江口及附近海域主要拖网鱼类的保护等级评价. 海洋渔业, 39, 481–489.]
- Wang P (2017) Shrimps in Hainan. China Ocean Press, Beijing. (in Chinese) [王鹏 (2017) 海南虾类. 海洋出版社, 北京.]
- Wang XH, Qiu YS, Du FY, Lin ZJ, Sun DR, Huang SL (2010) Fish community pattern and its relation to environmental factors in the Beibu Gulf. *Journal of Fisheries of China*, 34, 1579–1586. (in Chinese with English abstract) [王雪辉, 邱永松, 杜飞雁, 林昭进, 孙典荣, 黄硕琳 (2010) 北部湾鱼类群落格局及其与环境因子的关系. 水产学报, 34, 1579–1586.]
- Wang YH, Hu CY, Song N, Wang XY, Gao TX (2021) Taxonomic diversity of common fish species in Zhoushan coastal waters. *Journal of Dalian Ocean University*, 36, 488–494. (in Chinese with English abstract) [王业辉, 胡成业, 宋娜, 王晓艳, 高天翔 (2021) 舟山近海常见鱼类分类多样性研究. 大连海洋大学学报, 36, 488–494.]
- Warwick RM (1986) A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology*, 92, 557–562.
- Warwick RM, Clarke KR (1995) New ‘biodiversity’ measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Marine Ecology Progress Series*, 129, 301–305.
- Warwick RM, Clarke KR (1998) Taxonomic distinctness and environmental assessment. *Journal of Applied Ecology*, 35, 532–543.
- Xu BQ, Lü ZB, Li F, Bao JG, Xu WZ (2011) On nekton composition in southern coastal waters off Shandong Peninsula in summer. *Marine Fisheries*, 33, 59–65. (in Chinese with English abstract) [徐炳庆, 吕振波, 李凡, 包家国, 徐维柱 (2011) 山东半岛南部近岸海域夏季游泳动物的组成特征. 海洋渔业, 33, 59–65.]
- Xu SS, Song JM, Li XG, Yuan HM, Li N, Zhang Y (2011) Modeling of fishing effects on fishery resources and ecosystems of the Bohai Sea. *Resources Science*, 33, 1153–1162. (in Chinese with English abstract) [许思思, 宋金明, 李学刚, 袁华茂, 李宁, 张英 (2011) 渔业捕捞对渤海渔业资源及生态系统影响的模型研究. 资源科学, 33, 1153–1162.]
- Xu ZL (2011) Comparison of fish fauna of two different waters (Minjiang Estuary and Xinghua Bay) of the East China Sea during spring and summer. *Biodiversity Science*, 19, 79–84. (in Chinese with English abstract) [徐兆礼 (2011) 兴化湾和闽江口海域春夏季鱼类区系特征. 生物多样性, 19, 79–84.]
- Yan LP, Liu ZL, Jin Y, Cheng JH (2019a) Effects of prolonging summer fishing moratorium in the East China Sea on the increment of fishery resources. *Marine Fisheries*, 41, 513–519. (in Chinese with English abstract) [严利平, 刘尊雷, 金艳, 程家骅 (2019a) 东海区延长伏季休渔期渔业资源增殖效果分析. 海洋渔业, 41, 513–519.]
- Yan LP, Liu ZL, Jin Y, Cheng JH (2019b) Effects of prolonging the trawl net summer fishing moratorium period in the East China Sea on the conservation of fishery resources. *Journal of Fishery Sciences of China*, 26, 118–123. (in Chinese with English abstract) [严利平, 刘尊雷, 金艳, 程家骅 (2019b) 延长拖网伏季休渔期的渔业资源养护效应. 中国水产科学, 26, 118–123.]
- Yan YY, Lu CC (2020) Suggestions on adjusting the summer fishing moratorium. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 39, 163–166, 179. (in Chinese with English abstract) [严寅央, 卢昌彩 (2020) 关于调整海洋伏季休渔制度的建议. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 39, 163–166, 179.]
- Yemane D, Field JG, Leslie RW (2005) Exploring the effects of fishing on fish assemblages using abundance biomass comparison (ABC) curves. *ICES Journal of Marine Science*, 62, 374–379.
- Zhang HS, Song PQ, Li Y, Liu SG, Wang XH, Zheng JS, Lin LS (2021) Diversity and community structure of nekton in the central and southern East China Sea in autumn. *Journal*

刘彩莲等: 闽东近海春秋季节游泳动物多样性、密度及群落特征

- of Applied Oceanography, 40, 575–586. (in Chinese with English abstract) [张琥顺, 宋普庆, 李渊, 刘世刚, 王雪华, 郑进顺, 林龙山 (2021) 东海中南部秋季游泳动物多样性及群落结构. 应用海洋学学报, 40, 575–586.]
- Zhang J, Chen YJ, Zhang R, Song PQ, Lin LS (2013a) Nekton species composition and biodiversity in Dongshan Bay during 2008 summer. Journal of Applied Oceanography, 32, 222–230. (in Chinese with English abstract) [张静, 陈永俊, 张然, 宋普庆, 林龙山 (2013a) 2008年夏季东山湾游泳动物种类的组成和多样性. 应用海洋学学报, 32, 222–230.]
- Zhang J, Chen YJ, Song PQ, Zhong ZH, Lin LS (2013b) Nekton composition and diversity of Dongshan Bay, Fujian. Marine Fisheries, 35, 15–23. (in Chinese with English abstract) [张静, 陈永俊, 宋普庆, 钟指挥, 林龙山 (2013b) 福建东山湾游泳动物群落物种组成及其多样性. 海洋渔业, 35, 15–23.]
- Zhu XF, Chen B, Yu WW, Lin JH, Huang YQ, Liao JJ (2018) Discussion on taxonomic diversity indices and taxonomic sufficiency for macrobenthos in Xiamen Bay. Acta Ecologica Sinica, 38, 5554–5565. (in Chinese with English abstract) [朱晓芬, 陈彬, 俞炜炜, 林俊辉, 黄雅琴, 廖建基 (2018) 厦门湾大型底栖动物分类学多样性指数及分类充分性. 生态学报, 38, 5554–5565.]
- Zhu XH, Wu HZ, Xu FS, Ye MZ, Zhao ZJ (1994) Nekton community diversity and the related factors along the coast of Yellow Sea and Bohai Sea. Acta Oceanologica Sinica, 16, 102–112. (in Chinese with English abstract) [朱鑫华, 吴鹤洲, 徐凤山, 叶懋中, 赵紫晶 (1994) 黄渤海沿岸水域游泳动物群落多样性及其相关因素的研究. 海洋学报, 16, 102–112.]

(责任编辑: 李新正 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 2021年春秋季节闽东近海游泳动物名录

Appendix 1 Species list of nekton in coastal waters of eastern Fujian Province in spring and autumn of 2021

<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2022635-1.pdf>

附录2 2021年春秋季节闽东近海4种鱼类优势种幼体尾数比例

Appendix 2 Proportions of the number of juveniles for four dominant fishes in coastal waters of eastern Fujian Province in spring and autumn of 2021

<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2022635-2.pdf>

附录3 2021年春秋季节闽东近海游泳动物各类群(鱼类、甲壳类、头足类)数量生物量比较曲线(ABC曲线)

Appendix 3 Abundance biomass comparison curves (ABC curves) of different taxonomic groups (fishes, crustaceans and cephalopods) in coastal waters of eastern Fujian Province in spring and autumn of 2021

<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2022635-3.pdf>

附录4 2021年春秋季节闽东近海5个环境因子数值(平均值 ± 标准差)

Appendix 4 Value (mean ± SD) of five environmental factors in coastal waters of eastern Fujian Province in spring and autumn of 2021

<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2022635-4.pdf>