

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2021.20221

舟山群岛外海域虾类群落结构及其与环境因子的关系

于南京, 俞存根, 许永久, 郑基, 江新琴, 戴东旭, 孙蓓蓓, 刘坤, 张佩怡

浙江海洋大学水产学院, 浙江 舟山 316022

摘要: 为了了解舟山群岛外海域虾类资源状况, 于 2018 年 4 月(春季)和 10 月(秋季)在舟山群岛外海域进行渔业资源调查, 分析了虾类种类组成、优势种、生物多样性、群落结构特征与环境因子的关系等。研究表明: (1)舟山群岛外海域虾类有 32 种, 隶属于 10 科 21 属, 春季为 22 种, 秋季为 29 种; 与历史调查结果相比该海域虾类种类数减少且趋势放缓。(2)优势种更替显著, 春季优势种为戴氏赤虾(*Metapenaeopsis dalei*)和须赤虾(*Metapenaeopsis barbata*), 主要栖息于调查海域东南部海域, 秋季优势种为哈氏仿对虾(*Parapenaeopsis hardwickii*), 主要栖息于调查海域北部海域, 以及中华管鞭虾(*Solenocera crassicornis*), 主要栖息于调查海域西南部海域。(3)虾类丰富度指数(D)、多样性指数(H')值春季均低于秋季, 均匀度指数(J)值春季大于秋季, 60~70 m 水深带的虾类最丰富, 均匀度指数(J')值均以 70~90 m 水深带最高。(4)聚类分析与非度量多维标度排序分析可得, 春季分为 4 个群落, 秋季分为 3 个群落, SIMPER 分析可得, 春、秋季组内相似性贡献率最高的虾类和各优势种的种类一致, ANOSIM 检验可知, 两个季节虾类群落结构呈显著差异。(5)CCA 分析表明, 温度是影响该海域虾类分布主要的环境因子之一, 盐度仅在秋季对虾类群落结构影响显著。

关键词: 种类组成; 相对重要性指数; 群落结构; 生物多样性; CCA 分析; 舟山群岛

中图分类号: S932

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)03-0288-11

虾类作为海洋生态系统中重要的组成部分, 在鱼类资源被过度利用而逐渐衰退的背景下, 虾类对海洋捕捞产量以及渔业经济的增长有重要影响, 对舟山群岛外海域虾类资源的基础调查评估, 研究并掌握其资源的种群、多样性变化动态, 对舟山渔场虾类资源的持续利用有促进作用, 并具有一定的生态学意义和实用价值。东海是我国虾类资源的重要产区, 以往, 针对东海区虾类资源的调查研究有很多, 从 20 世纪 60 年代刘瑞玉等^[1-2], 至近年来俞存根等^[3]、陈小庆等^[4]、陈伟峰等^[5]、卢占辉等^[6-7], 对东海虾类的种类组成、平面分布、群落结构和生物多样性等特征进行了多方面的研究报道。舟山渔场是我国重要的渔场之一, 因为受台湾暖流、江浙沿岸流及黄海冷水团的影响,

加上特殊的地理位置, 形成了独特的环境类型, 是多种经济渔业生物产卵场和索饵场^[8]。针对舟山渔场近岸海域的虾类资源, 也有许多学者^[9-12]进行了多方面的研究。但是针对舟山群岛外海域这一特定的海域关于虾类资源的调查研究, 尚未见报道。本文主要根据 2018 年 4 月(春季)和 10 月(秋季)在舟山群岛外海域进行的拖网调查得到的虾类数据以及水文环境数据, 分析了该海域虾类种类组成、优势种、生物多样性、群落结构及其与环境因子的关系等, 并且收集该海域以往调查资料, 与本次调查分析结果进行对比, 目的是了解舟山群岛外海域虾类资源状况、种群变动以及受环境因子影响情况等, 同时, 为该海域虾类资源相关政策的制定以及可持续利用提供科学依据。

收稿日期: 2020-07-21; 修订日期: 2020-08-29.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31270527).

作者简介: 于南京(1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源及种群变动. E-mail: 1350035628@qq.com

通信作者: 俞存根, 教授, 研究方向为渔业资源与渔业生态学. E-mail: cgyu@zjou.edu.cn

1 材料与方法

1.1 采样方法

2018年4月(春季)和10月(秋季)浙江海洋大学的“浙渔科2”科考船在舟山29.17°N~30.8°N、122.78°E~124.81°E范围内进行渔业资源定点底拖网调查,共设置16个站位,水深为28~87 m(图1)。底拖网网具规格为1020目×80 mm。每个站位拖曳时间标准化为1 h,平均拖速为3 kn。利用温盐深仪(CTD)与拖网同步进行,测定水温、盐度、水深数据。渔业资源的调查方法按照《海洋渔业资源调查规范》(SC/T 9403-2012)^[13]进行。每站渔获物全部取样装入样品袋,并进行编号、记录后保存,带回实验室进行分析处理,并对主要渔获种类进行生物学测定。

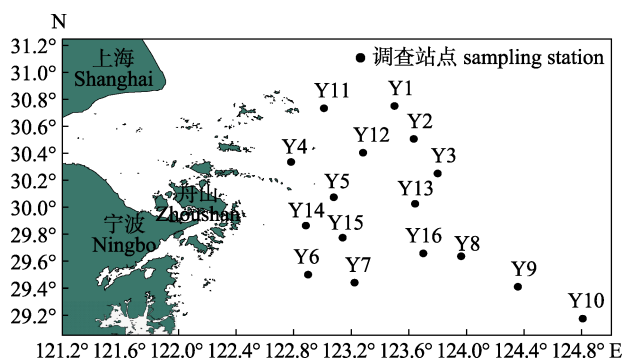


图1 舟山群岛外海域渔业资源调查站位示意图

Fig. 1 The survey stations of fishery resources

1.2 数据处理方法

1.2.1 相对重要性指数(IRI) 本研究中虾类种类优势度相对重要性指数依下列公式计算:

$$IRI = [(N+W) \times F] \times 10^5$$

式中, N 为某种虾类个体数占虾类总尾数的比例; W 为某种虾类质量占虾类总质量的比例; F 为某虾类种在调查中出现的站位数占总站位数的百分比, 将计算所得的结果值大于1000的种类视为优势种, 结果值在100~1000之间的种类视为常见种^[14]。

1.2.2 生物多样性指数 生物多样性主要采用 Shannon-Weaver 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J')、Margalef 种类丰富度指数(D)等计算^[15-17], 其计算公式如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

$$J' = H' / \log_2 S$$

$$D = (S-1) / \log_2 N$$

式中, S 为虾类动物的总种数; P_i 为第 i 种虾类生物的个体数或生物量占虾类动物总个体数或总生物量的比例; N 为虾类动物的总尾数^[18]。

1.2.3 群落结构相似性分析 利用聚类分析的方法来考察调查海域不同站位两个季度群落结构的相似度。本文采用 PRIMER 7 软件计算每个样本的 Bray-Curtis 相似性系数, 构建相似性矩阵, 为平衡稀有种和优势种对群落的影响, 本文将舟山群岛外海域虾类生物量(kg/h)数据进行4次方转换, 然后利用组内平均联接法进行聚类分析(CLUSTER)和非参数多维标度排序分析(non-metric multidimensional scaling, nMDS)来研究虾类生物群落结构的季节变化。用胁迫系数(stress)衡量 nMDS 二维点阵分布图效果, 通常认为 stress<0.05 时, 具有很好的代表性; 0.05≤stress<0.1 时, 结果基本可信; 0.1≤stress<0.2 时, 具有一定解释意义^[19]。利用单因子相似性(AONSIM)分析对虾类群落结构春、秋季间差异进行检验, 利用相似性百分比(SIMPER)分析造成春、秋季间群落结构差异的分歧种^[20-21]。

1.2.4 CCA 分析 生物量和环境之间的关系采用典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)方法^[22], CCA 是一种非线性多元直接梯度分析方法, 将对应分析与多元分析结合起来, 每一步计算结果都与环境因子进行回归, 以确定虾类群落与环境因子的对应关系。在 CCA 排序图中, 环境因子用带有箭头的线段表示, 连线的长短表示站位(或虾类种类)分布与该环境因子关系的相关性大小。箭头连线与排序轴的夹角表示该环境因子与排序轴相关性大小, 夹角越小, 相关性越高, 反之越低, 箭头所指方向表示该环境因子的变化趋势。箭头连线与某一站位(或种类)的垂线距离表示其相关性大小, 垂线距离越小, 正相关性越高, 反之越低, 处于另一端的则表示与该类环境因子具有负相关

性。本研究中使用的环境因子包括水深(DP)、表层温度(ST)、表层盐度(SS)、底层温度(BT)、底层盐度(BS)。

1.3 统计分析

调查站位图和虾类优势种数量分布图利用 Surfer 11 软件绘制, 物种多样性、群落结构分析结果均用 PRIMER 7 导出, CCA 分析用软件 CANOCO 5.0 进行运算, 排序结果用物种—环境因子关系的双序图表示。

2 结果与分析

2.1 种类与组成

春、秋 2 个季度共捕获、鉴定出虾类 32 种, 隶属于 10 科 21 属, 其中春季鉴定出 22 种, 隶属于 9 科 16 属, 秋季鉴定出 29 种, 隶属于 9 科 20 属。通过观察科级分类阶元, 对虾科种类最多, 共 8 属 14 种, 占虾类总种数的 43.75%, 其次是藻虾科, 共 2 属 3 种, 占虾类总种数的 9.38%。具体种类组成见表 1。

表 1 舟山群岛外海域春、秋季虾类组成及优势种
Tab. 1 The composition and dominant species of shrimp in spring and autumn in the offshore waters of Zhoushan Islands

种类 species	春季 spring				秋季 autumn			
	N%	W%	F%	IRI	N%	W%	F%	IRI
扁足异对虾 <i>Atypopenaeus stenodactylus</i>	0.08	0.18	18.80	3.00	0.02	0.02	6.30	0.20
中国明对虾 <i>Fenneropenaeus chinensis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	6.30	0.20
日本囊对虾 <i>Marsupenaeus japonicus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.34	18.80	4.20
须赤虾 <i>Metapenaeopsis barbata</i>	38.75	53.71	37.50	2167.10	3.98	11.45	50.00	482.40
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>	36.48	18.00	93.80	3192.40	3.43	0.86	75.00	201.20
高脊赤虾 <i>Metapenaeopsis lamellate</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.30	0.00
长角赤虾 <i>Metapenaeopsis provocatoria</i>	0.05	0.10	18.80	1.80	0.01	0.04	6.30	0.20
周氏新对虾 <i>Metapenaeus joyneri</i>	0.04	0.15	12.50	1.50	0.17	0.64	18.80	9.50
哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i>	0.41	1.36	31.30	34.40	42.27	40.74	100.00	5187.90
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	0.37	0.31	12.50	5.40	8.86	2.96	100.00	738.90
刀额仿对虾 <i>Parapenaeopsis cultrirostris</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	4.08	7.14	87.50	613.90
假长缝拟对虾 <i>Parapenaeus fissuroides</i>	2.62	4.83	31.30	145.50	0.00	0.00	0.00	0.00
矛形拟对虾 <i>Parapenaeus lanceolatus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	1.48	0.94	18.80	28.40
鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i>	0.51	2.73	50.00	101.20	2.81	8.00	68.80	464.60
中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i>	4.10	5.08	75.00	430.50	11.16	16.18	93.80	1607.50
大管鞭虾 <i>Solenocera melantho</i>	0.21	1.44	31.30	32.30	0.00	0.00	0.00	0.00
高脊管鞭虾 <i>Solenocera alticarinata</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.32	12.50	2.70
中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	18.80	0.20
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	0.80	0.31	62.50	43.30	7.03	2.29	81.30	473.20
鲜明鼓虾 <i>Alpheus distinguendus</i>	0.77	0.73	81.30	76.10	3.32	1.96	81.30	268.10
红条鞭腕虾 <i>Lysmata vittata</i>	0.03	0.01	6.30	0.20	0.01	0.00	6.30	0.10
长额拟鞭腕虾 <i>Exhippolysmata ensirostris</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	6.30	0.20
钩腹船形虾 <i>Tozeuma armatum</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.01	31.30	2.30
安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	0.02	0.00	6.30	0.10	1.23	0.66	43.80	51.80
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	7.07	8.02	93.80	884.10	3.71	2.34	50.00	189.00
东海红虾 <i>Plesionika izumiae</i>	6.56	2.38	25.00	139.80	5.11	2.46	50.00	236.50
敖氏红虾 <i>Plesionika ortmanni</i>	0.01	0.01	12.50	0.10	0.16	0.15	31.30	6.00
滑脊等腕虾 <i>Procletes levicarina</i>	0.26	0.26	25.00	8.10	0.10	0.05	37.50	3.70
细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	0.15	0.01	12.50	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00
拉式爱情虾 <i>Aegaeon rathbuni</i>	0.63	0.21	18.80	9.80	0.00	0.00	6.30	0.00
泥污疣褐虾 <i>Pontocaris pennate</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	6.30	0.20
日本异指虾 <i>Processa japonica</i>	0.06	0.17	12.50	1.80	0.70	0.36	37.50	24.80

注: W%为生物量所占比例, N%为尾数所占比例, F%为出现率。
Note: W% is the proportion of biomass; N% is the proportion of the mover; F% is the rate of occurrence.

2.2 优势种及其空间分布

根据调查结果计算各虾类优势度, 结果见表1。春季, 优势种按优势度从高到低依次为戴氏赤虾(*Metapenaeopsis dalei*)、须赤虾(*Metapenaeopsis barbata*), 分别占虾类渔获物总量的 18.00%、53.71%, 总尾数的 36.48%、38.75%。戴氏赤虾的数量密度以调查海域的南部和东南部海域较高, 西部和东北部海域较低; 须赤虾仅在调查海域南部海域出现, 其他海域未捕获到, 以东南部海域

较高。秋季, 优势种按优势度从高到低依次为哈氏仿对虾(*Parapenaeopsis hardwickii*)、中华管鞭虾(*Solenocera crassicornis*), 分别占虾类渔获物总量的 40.74%、16.18%, 总尾数的 42.27%、11.26%。哈氏仿对虾的数量密度以调查海域的北部和西南部海域较高, 以东南部海域较低; 中华管鞭虾的数量密度以调查海域的西部和东南部海域较高, 以东北部海域较低(图2)。春、秋优势种共有种类数为0, 说明这两个季节虾类优势种更替显著。

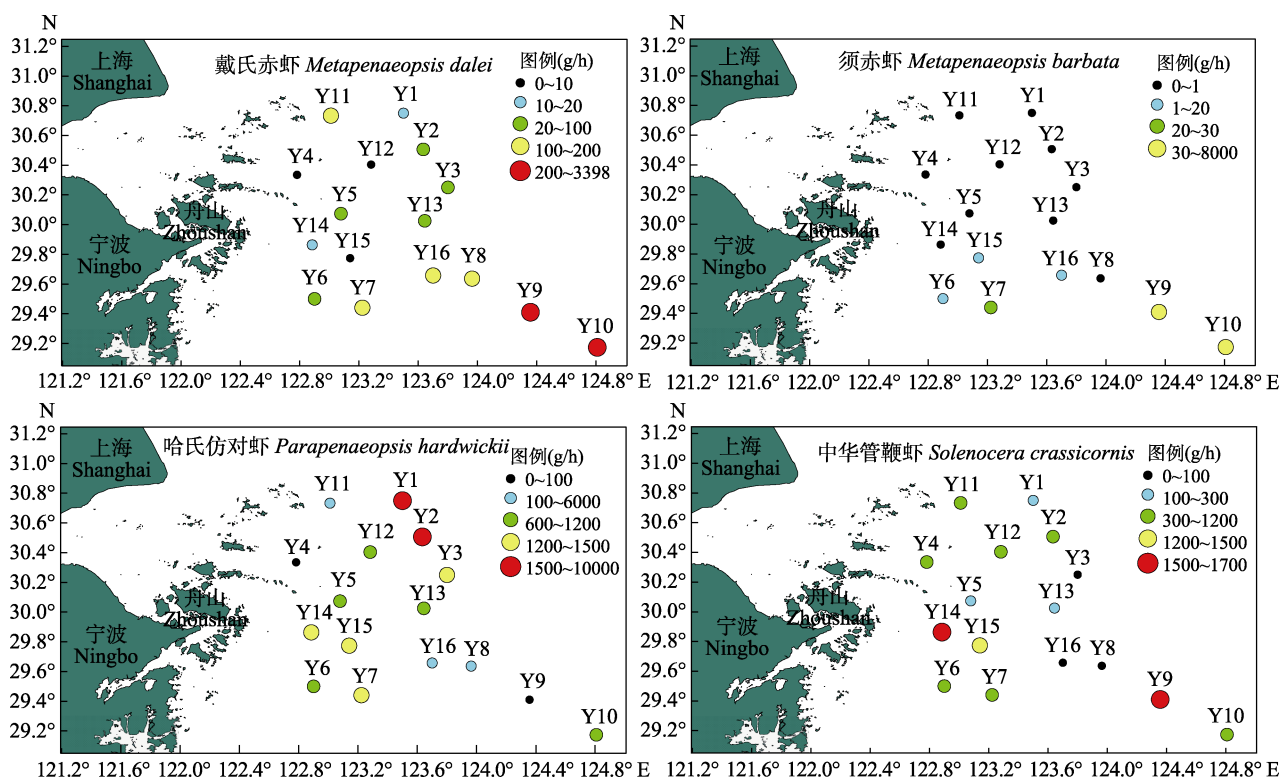


图2 舟山群岛外海域虾类优势种数量密度分布

Fig. 2 Distribution of shrimp by individual density in the offshore waters of Zhoushan Islands

2.3 虾类生物多样性及其与水深的关系

春季舟山群岛外海域虾类群落丰富度指数(D)的平均值为 1.11, 最高值为 1.89, 位于 Y6 站位, 最低值为 0.54, 位于 Y9 号站位; 均匀度指数(J')的平均值为 0.64, 最高值为 0.89, 位于 Y2 站位, 最低值为 0.31, 位于 Y11 号站位; 多样性指数(H')的平均值为 1.82, 最高值为 2.59, 位于 Y6 站位, 最低值为 0.99, 位于 Y9 号站位。秋季虾类群落丰富度指数(D)的平均值为 1.30, 最高值为 1.85, 位于 Y9 站位, 最低值为 0.75, 位于 Y8 号站位; 匀

度指数(J')的平均值为 0.57, 最高值为 0.80, 位于 Y15 站位, 最低值为 0.28, 位于 Y2 号站位; 多样性指数(H')的平均值为 1.99, 最高值为 0.80, 位于 Y15 站位, 最低值为 0.28, 位于 Y2 号站位。总的来看, 秋季均匀度指数(J')值小于春季, 而丰富度指数(D)、多样性指数(H')值均是秋季大于春季; 春、秋季均匀度指数(J')相对于丰富度指数(D)、多样性指数(H')均较小; 春、秋两季之间均匀度指数(J')、丰富度指数(D)、均匀度指数(J')差异均较小(表2)。

表 2 舟山群岛外海域虾类多样性指数的季节变化
Tab. 2 Seasonal variations of shrimp diversity index in the offshore waters of Zhoushan Islands

季节 season	丰富度指数(D)		均匀度指数(J')		多样性指数(H')	
	$\bar{x} \pm SD$	范围 range	$\bar{x} \pm SD$	范围 range	$\bar{x} \pm SD$	范围 range
春季 spring	1.11±0.39	1.89-0.54	0.64±0.16	0.89-0.31	1.82±0.51	2.59-0.99
秋季 autumn	1.30±0.32	1.85-0.75	0.57±0.16	0.80-0.28	1.99±0.58	2.71-0.85

不同水深区间虾类多样性指数值变化明显,春季的丰富度指数(D)、多样性指数(H')值均小于秋季,均匀度指数(J')值在小于 50 m 水深区间春季小于秋季,在其他水深区间均大于秋季。春季丰富度指数(D)、多样性指数(H')均以 60~70 m 水深范围最高,均匀度指数(J')基本随着水深的增加而升高;秋季丰富度指数(D)、多样性指数(H')值均以小于 50 m 水深区间最高,均匀度指数(J')在 70~90 m 水深范围内最高,丰富度指数(D)则以 60~70 m 处水深范围最高(表 3)。

2.4 群落结构特征分析

通过对舟山群岛外海域春、秋季虾类生物量进行聚类分析和 nMDS 排序分析可得(图 3),群落结构相似度随着相聚的距离降低而升高,聚类分析结果可与 nMDS 排序分析结果互为参照,使得出的结论更具生态学价值^[16]。nMDS 排序分析得到春、秋季虾类群落的胁迫系数分别为 0.1、0.2,

表 3 舟山群岛外海域不同水深虾类多样性指数的变化
Tab. 3 Change of shrimp diversity index in different water depths

季节 season	水深/m water depth							
	春季 spring				秋季 autumn			
	<50	50-60	60-70	70-90	<50	50-60	60-70	70-90
丰富度指数(D)	1.16	1.02	1.26	1.03	1.35	1.33	1.41	1.05
均匀度指数(J')	0.51	0.66	0.65	0.75	0.62	0.49	0.58	0.69
多样性指数(H')	1.51	1.78	2.01	1.95	2.18	1.71	2.14	2.17

均在 0.1~0.2 之间,说明该结果具有一定的解释意义,如图 3 所示。春季,该海域虾类在 45% 的相似水平上可分为 4 个站位群,分别为 I 组群(Y9、Y10 号站位),II 组群(Y1 号站位),III 组群(Y13 号站位)和 IV 组群(Y2、Y3、Y4、Y5、Y6、Y7、Y8、Y12、Y14、Y15、Y16)。秋季,该海域虾类在 60% 的相似水平上可分为 3 个站位群,分别为 I 组群(Y8 号站位),II 组群(Y4、Y6、Y11、Y15、Y16 号站位)和 III 组群(Y13、Y3、Y2、Y10、Y9、Y12、Y7、Y5、Y14、Y1 号站位)。

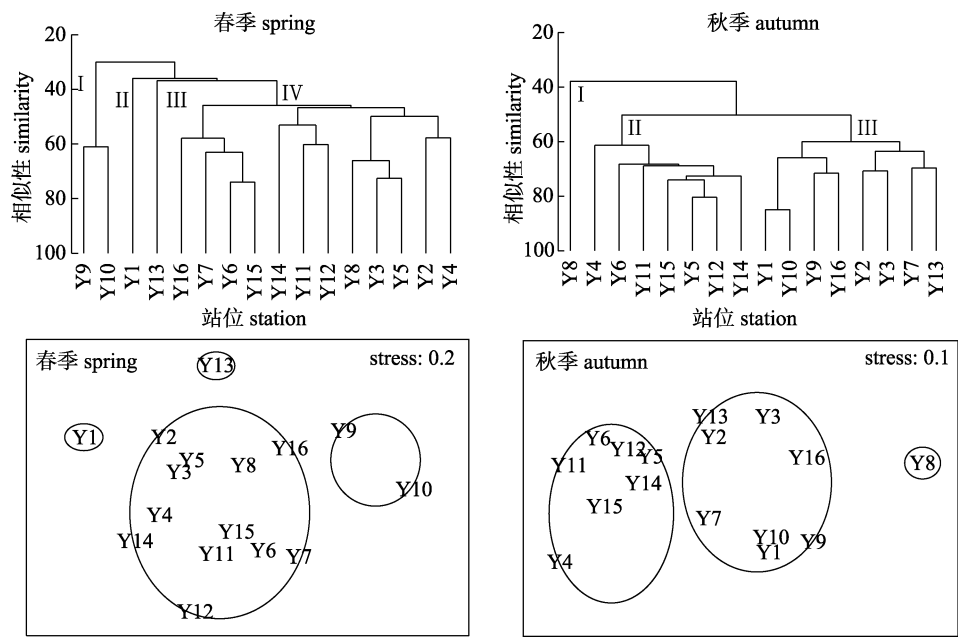


图 3 舟山群岛外海域春秋季节不同站位虾类群落的 Bray-Curtis 聚类图和非参数多变量标序分析
Fig. 3 The seasonal variation of Bray-Curtis cluster and nMDS analysis of shrimp species

的相似水平上, 划分为 3 个站位群, 分别为 I 组群(Y8 号站位)、II 组群(Y4、Y5、Y6、Y11、Y12、Y14、Y15 号站位)和 III 组群(Y1、Y2、Y3、Y7、Y9、Y10、Y13、Y16 号站位); 聚类分析和 nMDS 排序分析都显示了舟山群岛外海域虾类群落结构的区系平面分布差异和春、秋季变化趋势。

单因子相似性分析(ANOSIM)表明, 春、秋季虾类群落呈极显著差异($R=0.367$, $P<0.001$)。相似性百分比分析(SIMPER)可得, 舟山群岛外海域虾类组内平均相似性贡献率累计超过 90%的特征种和组间相异性贡献率累计超过 90%的分歧种如(表 4)所示; 春季, 组内平均相似性为 18.16%, 贡献率累计超过 90%的种类有戴氏赤虾、葛氏长臂

虾(*Palaemon gravieri*)、鹰爪虾(*Trachysalambria curvirostris*)、中华管鞭虾、鲜明鼓虾(*Alpheus distinguendus*)、哈氏仿对虾共 6 种, 为 91.61%, 秋季, 组内平均相似性为 33.50%, 累计贡献率超过 90%的种类有鹰爪虾、中华管鞭虾、哈氏仿对虾、刀额仿对虾(*Parapenaeopsis cultrirostris*)、须赤虾、细巧仿对虾(*Parapenaeopsis tenella*)共 6 种, 为 93.27%。春季和秋季的组间相异性为 82.36%, 分歧种有戴氏赤虾、葛氏长臂虾、鹰爪虾、中华管鞭虾、鲜明鼓虾、哈氏仿对虾、刀额仿对虾、须赤虾、细巧仿对虾、大管鞭虾(*Solenocera melantho*)、日本鼓虾、周氏新对虾(*Metapenaeus joyneri*)共 12 种, 相异性累计贡献率为 91.67%, 以哈氏仿对虾贡献率最高, 为 18.03%。

表 4 舟山群岛外海域春秋季虾类组内相似性及组间相异性贡献率
Tab. 4 The similarity and dissimilarity between shrimp groups of fishing ground in spring and autumn

种类 species	春季 spring		秋季 autumn		春季+秋季 spring & autumn
	Av.Sim%=18.16		Av.Sim%=33.50		Av.Diss%=82.36
	Av.Sim%	Con%	Av.Sim%	Con%	Con%
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>	6.47	35.64	—	—	12.74
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	4.59	25.29	—	—	12.09
鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i>	2.30	12.65	1.11	3.31	9.15
中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i>	1.63	8.97	9.09	27.15	11.36
鲜明鼓虾 <i>Alpheus distinguendus</i>	0.87	4.77	—	—	2.79
哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i>	0.78	4.29	14.84	44.29	18.03
刀额仿对虾 <i>Parapenaeopsis cultrirostris</i>	—	—	2.75	8.20	4.68
须赤虾 <i>Metapenaeopsis barbata</i>	—	—	1.75	5.21	11.36
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	—	—	1.71	5.11	2.35
大管鞭虾 <i>Solenocera melantho</i>	—	—	—	—	2.70
日本鼓虾 <i>Alpheus distinguendus</i>	—	—	—	—	2.27
周氏新对虾 <i>Metapenaeus joyneri</i>	—	—	—	—	2.18

2.5 虾类群落与环境的关系

调查海域虾类群落与表层温度(ST)、底层温度(BT)、表层盐度(SS)、底层盐度(BS)、和水深(DP)等 5 个水文环境因子用 CANOCO5.0 软件进行运算。CCA 分析表明, 春、秋季前四轴与环境因子之间均呈显著相关性($P<0.01$), CCA 排序结果如(图 4)所示。春季, 调查海域虾类群落结构受表层温度(ST)、底层温度(BT)影响较大, 表层温度(ST)

与第一、第二排序轴的相关性分别为-0.0532、-0.8055, 其中以 Y12 号站位的葛氏长臂虾和 Y16 号站位的戴氏赤虾、大管鞭虾受其影响较大; 底层温度(BT)与第一、第二排序轴的相关性分别为-0.0424、-0.9847, Y7 号站位的中华管鞭虾受其影响较大。秋季, 调查海域虾类群落结构受表层温度(ST)、表层盐度(SS)、底层盐度(BS)影响显著, 表层温度(ST)与第一、第二排序轴的相关性分别

为 -0.0350 、 0.8569 ，其中以 Y9 号站位的须赤虾和 Y6 号站位的哈氏仿对虾、中华管鞭虾受其影响较大；表层盐度(SS)与第一、第二排序轴的相关性分别为 0.0199 、 0.8439 ，Y6 号站位的哈氏仿对虾和

中华管鞭虾受其影响较大；底层盐度(BS)与第一、第二排序轴的相关性分别为 0.0773 、 0.9086 ，Y6 号的哈氏仿对虾、中华管鞭和 Y8 号站位的须赤虾受其影响较大。

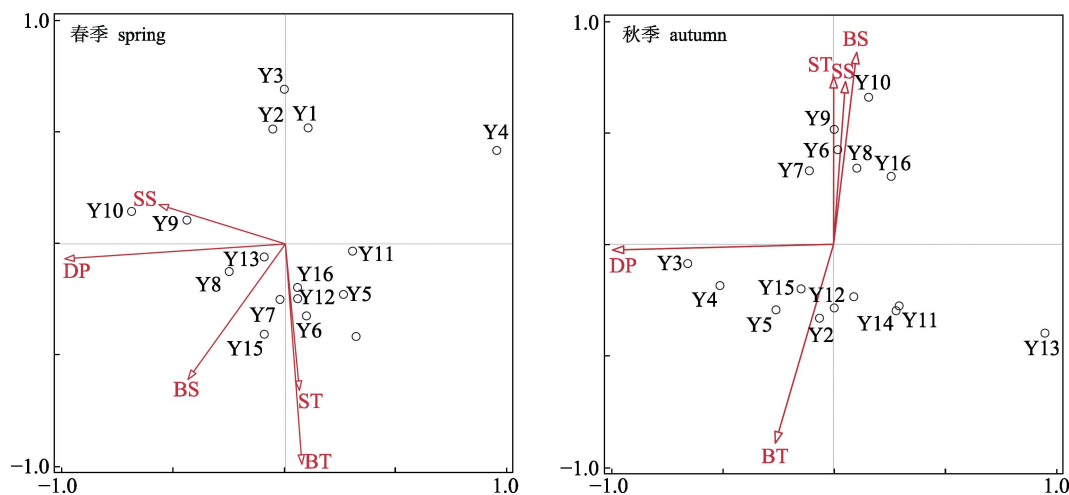


图 4 舟山群岛外海域春、秋虾类站位环境因子的 CCA 排序

Fig. 4 The seasonal distribution CCA sort of shrimp stance and environmental factors in the offshore waters of Zhoushan Islands

3 讨论

3.1 虾类种类组成分析

虾类生态群落结构受海洋环境影响显著，不同季节间，舟山群岛外海域虾类种类数分别为：春季 22 种，秋季 29 种。其中春季特有种共 3 种，占虾类总种数的 9.38%，秋季特有种共 8 种，占虾类总种数的 25.00%，春、秋季共有种共 19 种，占虾类总种数的 59.38%，说明该海域季节性种类较少，季节间无明显区分。从生态类型来看，该海域的 32 种虾类以广温广盐性种类为主，可能是因为该海域受浙江沿岸流和台湾暖流等水流的交错共同影响^[23]，使舟山群岛外海域形成了复杂的水文环境，进而形成类此类虾类区系。

与丁跃平等^[24]、俞存根^[25]等对该海域研究报道相比，本次调查虾类种类数分别占其 50.00%、91.43%，可以看出该海域虾类种类数逐渐减少的趋势放缓，这可能是伏季休渔政策的实施使该海域虾类生长繁衍的环境受到一定的保护，也可能是因为前者使用的是桁杆拖虾船，而本次调查是底拖网船，网具的不同会使主要捕捞对象有所变化。与 2017 年张平等^[10]在该海域的调查结果相

比，种类数增加了 11 种，这可能是因为站点布设以及调查范围不同造成的，本次调查大部分站位距离近岸岛屿较远，而 2017 年张平等^[10]的调查站位主要集中在近岸海域，这也说明了舟山近岸海域虾类种类数相对于外海域较少。

3.2 虾类优势种及分布分析

春、秋季优势种共 4 种，占虾类总种数的 12.50%，优势种更替率显著。春季，优势种为戴氏赤虾和须赤虾，与俞存根^[25]调查相比，该海域春季优势种减少了假长缝拟对虾、葛氏长臂虾、中华管鞭虾等 8 种；戴氏赤虾生殖季节主要分布在舟山渔场台湾暖流峰舌区，以 40~65 m 水深区域、盐度 33~34 的海域较为密集，因此春季捕获量较高，主要分布在水深区间和盐度较为适宜的调查海域东南部海域。须赤虾喜高温高盐，成虾主要栖息于盐度 34 度以上高盐水海域，幼虾适盐性较低，主要分布在盐度 31~34 的海域^[26]，春季属于须赤虾幼虾生长期，因此须赤虾在调查海域西侧近岸海域未捕获到，主要栖息于盐度较高、距离岛屿较远的开阔海域。秋季，优势种为哈氏仿对虾和中华管鞭虾，与俞存根^[25]调查结果相比，

该海域秋季优势种减少了细巧仿对虾和鹰爪虾 2 种; 哈氏仿对虾属于广温广盐性虾类, 春季主要在小于 30 m 以内水深区间索饵、繁殖, 秋季随着个体的长大逐渐向外海域移动, 主要分布在 30~50 m 水深区间, 捕捞汛期在秋冬季, 因此在秋季优势度较高, 主要分布在水深环境适宜的调查海域北部海域。中华管鞭虾属于广温广盐性虾类, 捕捞汛期主要在秋季, 主要分布在沿岸盐度较低水域和外海盐度较高水域的混合水域^[27], 因此中华管鞭虾在秋季捕获量较高, 主要分布在调查海域西南部和东南部海域。

3.3 虾类生物多样性特征分析

物种多样性指数的大小是反映群落结构特征的重要指标。比较舟山群岛外海域的生物多样性指数可知, 虾类丰富度指数(D)、多样性指数(H')值在春季均低于秋季, 均匀度指数(J')值在春季大于秋季, 这可能是因为春季是大多数虾类的繁殖季节, 并且虾类主要产卵场和栖息地在近岸海域^[28], 此时外海域丰富度和物种多样性较低, 而到了秋季, 随着台湾暖流势力的减弱^[29], 导致水温降低, 一些虾类向外海域深水区洄游, 因此秋季外海域丰富度和物种多样性较高。春季该海域幼虾较多, 均匀性较高, 而该海域秋季虾类多为成体, 水文环境对其影响较小, 因此均匀度较低。

水深对虾类多样性影响显著(表 2~表 4), 由于该海域海洋环境复杂, 受上升流影响较大, 使含营养物质较高的底层水连续不断向上传输, 营养物质和饵料丰富^[30], 吸引较多的虾类到该海域栖息、繁育, 使 60~70 m 水深区间内的虾类最丰富, 该水深区间内各个站位虾类多样性值均较高, 从而使该水深区间内的多样性平均值较高。对不同水深虾类物种多样性指数比较可知, 春、秋季均匀度指数(J')值均以 70~90 m 水深区间最高, 春季丰富度指数(D)、多样性指数(H')值均以 60~70 m 水深区间最高, 秋季丰富度指数(D)、多样性指数(H')值均以小于 50 m 水深区间最高。

3.4 虾类的群落结构特征分析

该海域群落间相似程度比相异程度低, 并且秋季虾类群落的相似性高于春季, 说明舟山群岛

外海域秋季虾类物种相似度比春季高、春季在生物量和种类水平上均比秋季低。春季组内平均相似性低于秋季, 春、秋季组内相似性贡献率最高的特征种分别为戴氏赤虾、哈氏仿对虾, 两个季节的组间相异性高达 82.36%, 这可能是因为春、秋季虾类渔获物中, 个别种类分别在各自季节出现量较大或渔获量占显著优势。通过对等级聚类 and nMDS 排序分析结果对照分析, 可以使结论更具生态学意义^[31]。春季, 在 45% 的相似水平上可分为 3 个站位群, 秋季, 该海域虾类在 60% 的相似水平上, 划分为 3 个站位群, 根据 ANOSIM 检验结果可知, 两个季节虾类群落结构呈显著差异, 这可能与该海域海洋环境有关, 并且有台湾暖流和浙江沿岸流的共同影响, 致使舟山群岛外海域虾类群落结构变得复杂。SIMPER 分析可得, 春、秋季组内相似性贡献率最高的虾类和各优势种的种类一致, 这可能是因为两季优势种出现率高, 并且分布范围广。

3.5 群落结构与环境因子的关系

根据同步调查的环境因子可知, 春季平均 ST 为 16.59 °C(14.96~18.04 °C)、BT 为 16.87 °C(14.00~18.44 °C)、SS 为 31.5 (30.16~32.71)、BS 为 33.75 (33.47~34.17), 秋季平均 ST 为 22.89 °C(21.89~24.18 °C)、BT 为 22.34 °C (21.42~23.56 °C)、SS 为 33.44 (32.89~33.95)、BS 为 33.81 (33.15~34.36)。通过 CCA 分析, 可能是因为调查海域距离岛屿较远, 水深相对较深, 受黑潮暖流影响等原因^[32], 春、秋两个季节表层温度变化分别为 3.08 °C、2.29 °C, 底层温度变化分别为 4.44 °C、2.14 °C, 均为显著变化, 因此温度是影响舟山群岛外海域虾类分布主要的环境因子之一。秋季, 受台湾暖流影响较大的高温高盐水系成为调查海域的主要水团因子^[33], 盐度通过影响虾类的生理活动, 如虾类的新陈代谢和渗透压调节^[34], 从而对虾类群落结构产生影响。由于舟山群岛外海域地形复杂, 受多种海流的共同影响, 加上人类活动因素等, 因此环境因子对虾类群落结构的影响, 有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] Liu R Y, Xu F S. Preliminary studies on the benthic fauna

- of the Yellow Sea and the East China Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1963, 5(4): 306-321. [刘瑞玉, 徐凤山. 黄、东海底栖动物区系的特点[J]. *海洋与湖沼*, 1963, 5(4): 306-321.]
- [2] Liu R Y. Notes on the economic macrurous crustacean fauna of the Yellow Sea and the East China Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1959, 2(1): 35-42. [刘瑞玉. 黄海及东海经济虾类区系的特点[J]. *海洋与湖沼*, 1959, 2(1): 35-42.]
- [3] Yu C G, Chen X Q, Song H T, et al. Analysis on community structure and diversity of shrimps in the East China Sea in spring[J]. *Journal of Ecology*, 2009, 29(7): 3593-3604. [俞存根, 陈小庆, 宋海棠, 等. 春季东海海域虾类群落结构及其多样性[J]. *生态学报*, 2009, 29(7): 3593-3604.]
- [4] Chen X Q, Yu C G, Song H T, et al. Structural characteristics and spatial distribution of the shrimp population in the mid-north East China Sea[J]. *Journal of Marine Sciences*, 2010, 28(4): 50-58. [陈小庆, 俞存根, 宋海棠, 等. 东海中北部海域虾类群落结构特征及空间分布[J]. *海洋学研究*, 2010, 28(4): 50-58.]
- [5] Chen W F, Peng X, Ye S, et al. Community structure and diversity of shrimp species in the coastal area of south Zhejiang[J]. *Marine Science*, 2018, 42(3): 37-45. [陈伟峰, 彭欣, 叶深, 等. 浙南近海虾类群落结构及其多样性分析[J]. *海洋科学*, 2018, 42(3): 37-45.]
- [6] Lu Z H, Zhou Y D, Zhu W B, et al. Spatial niches analysis of dominant shrimp species in the coastal area of Zhejiang Province[J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(2): 77-86. [卢占晖, 周永东, 朱文斌, 等. 浙江沿海岸域虾类优势种空间生态位分析[J]. *海洋学报*, 2018, 40(2): 77-86.]
- [7] Lu Z H, Xu H X, Xue L J, et al. A study on seasonal changes of the shrimp communities in the middle East China Sea[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 2015, 34(6): 497-504. [卢占晖, 徐汉祥, 薛利建, 等. 东海中部虾类群落季节变化研究[J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2015, 34(6): 497-504.]
- [8] Liu H, Guo P J, Yu C G, et al. Community structure of crustaceans in the Zhoushan coastal fishery[J]. *Marine Science*, 2020, 44(2): 90-98. [刘惠, 郭朋军, 俞存根, 等. 舟山沿岸渔场甲壳类群落结构特征研究[J]. *海洋科学*, 2020, 44(2): 90-98.]
- [9] Xie X, Yu C G, Zheng J, et al. Community structure and relationship with environment in shrimp in Pishan waters at Yushan fishing ground[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2017, 32(6): 713-723. [谢旭, 俞存根, 郑基, 等. 鱼山渔场披山海域虾类群落结构及其与环境因子的关系[J]. *大连海洋大学学报*, 2017, 32(6): 713-723.]
- [10] Zhang P, Yu C G, Shui Y Y, et al. Species composition and quantitative distribution of shrimp and its changing tendency in Zhoushan coastal waters[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(4): 580-587. [张平, 俞存根, 水玉跃, 等. 舟山近岸海域虾类种类组成与数量分布及其变动趋势[J]. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(4): 580-587.]
- [11] Deng X Y, Liu J G, Guo P J, et al. Niche and interspecific association of major nekton in Xiao Yangshan adjacent waters[J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(1): 96-105. [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.]
- [12] Zhu J, Zhang Y R, Yan Z Y, et al. Status of Fishery Resources Near Daishan Island in Zhejiang Province[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2016(14): 252-254. [朱剑, 张玉荣, 严忠雍, 等. 浙江岱山岛附近海域春秋季节渔业资源调查研究[J]. *现代农业科技*, 2016(14): 252-254.]
- [13] Subcommittee on Fisheries Resource of National Technical Committee of Aquaculture of Standardization Administration of China. Technical Specification for Marine Fishery Resources Survey(SC/T 9403-2012)[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2013. [全国水产标准化技术委员会渔业资源分技术委员会. 海洋渔业资源调查规范(SC/T 9403-2012)[S]. 北京: 中国农业出版社, 2013.]
- [14] Yu C G, Song H T, Yao G Z, et al. Crab community structure in the East China Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2005, 36(3): 213-220. [俞存根, 宋海棠, 姚光展, 等. 东海蟹类群落结构特征的研究[J]. *海洋与湖沼*, 2005, 36(3): 213-220.]
- [15] Pielou E C. *Ecological diversity*[M]. New York: Wiley, 1975.
- [16] Margalef R. *Information theory in ecology*[J]. *General Systematics*, 1958, 3: 36-71.
- [17] Ludwig J A, Reynolds J F. *Statistical Ecology*[M]. New York: John Wiley & Sons, 1988.
- [18] Yu C G, Chen Q Z, Chen X Q, 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. [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.]
- [19] Khalaf M A, Kochzius M. Change in trophic community structure of shore fishes at an industrial site in the Gulf of Aqaba, Red Sea[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 239(1): 287-299.
- [20] Braak C J F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis[J]. *Ecology*, 1986, 67(5): 1167-1179.
- [21] Braak C J F, Prentice I C. A theory of gradient analysis[J]. *Advances in Ecological Research*, 1988, 18(2004): 271-317.

- [22] Xu Y J, Yu C G, Zhang P, et al. Spring nekton community structure and its relationship with environmental variables in Hangzhou Bay-Zhoushan inshore waters[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(3): 605-617. [许永久, 俞存根, 张平, 等. 杭州湾—舟山近海春季游泳动物群落结构及与环境因子的关系[J]. 水产学报, 2019, 43(3): 605-617.]
- [23] Xia L J, Chen W D, Zheng J, et al. Species composition and quantitative distribution of shrimp in the Nanji Islands marine conservation area[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(3): 648-660. [夏陆军, 陈万东, 郑基, 等. 南麂列岛海洋自然保护区的虾类种类组成和数量分布[J]. 中国水产科学, 2016, 23(3): 648-660.]
- [24] Ding Y P, Song H T, Yu C G, et al. A study on shrimp species and its regional composition and regional character off Zhejiang[J]. Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science, 2003, 22(2): 132-136. [丁跃平, 宋海棠, 俞存根, 等. 浙江近海游泳虾类的种类与区系组成及区系性质的研究[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2003, 22(2): 132-136.]
- [25] Yu C G. Zhoushan Fishing Ground Fishery Ecology[M]. Beijing: Science Press, 2011: 137-148. [俞存根. 舟山渔场渔业生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 137-148.]
- [26] Song H T. East China Sea Economic Shrimp Crabs[M]. Beijing: Ocean Press, 2006: 47-48. [宋海棠. 东海经济虾蟹类[M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 47-48.]
- [27] Song H T, Yao G Z, Yu C G, et al. Study on the biomass of distribution&biological characteristics of *Solenocera crassicornis* in East China Sea[J]. Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science, 2003, 22(4): 305-308. [宋海棠, 姚光展, 俞存根. 东海中华管鞭虾的数量分布和生物学特性[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2003, 22(4): 305-308.]
- [28] Liu X Z, Li Y L, Wang W B, et al. The fish community structure and diversity in the north of Liaodong Bay[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(8): 1155-1165. [刘修泽, 李玉龙, 王文波, 等. 辽东湾北部海域鱼类群落结构及多样性[J]. 水产学报, 2015, 39(8): 1155-1165.]
- [29] Deng X Y, Yu C G, Shui Y Y, et al. Spatial and temporal variation in fish species composition and abundance in Zhoushan coastal waters during spring and autumn[J]. Ecological Science, 2018, 37(1): 10-19. [邓小艳, 俞存根, 水玉跃, 等. 舟山近岸海域春秋季节鱼类种类组成及其数量时空分布[J]. 生态科学, 2018, 37(1): 10-19.]
- [30] Bian J Y, Yu J T, Xie T, et al. Distribution characteristics and community structure of zooplankton in seawater around Zhoushan in spring and summer and their associations with environmental factors[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2020(2): 122-130. [边佳胤, 余健涛, 谢挺, 等. 春、夏季舟山海域浮游动物分布特征、群落结构及其与环境因子的关系[J]. 海洋湖沼通报, 2020(2): 122-130.]
- [31] Li H M, Li S Y, Cai L Z. Relationship between benthic community and environmental factors in Shenzhen Bay[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2003, 42(5): 93-96. [厉红梅, 李适宇, 蔡立哲. 深圳湾潮间带底栖动物群落与环境因子的关系[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2003, 42(5): 93-96.]
- [32] Yu C G, Song H T, Yao G Z. Study on distribution of *Ovalipes punctatus* (crab) in the East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(2): 198-204. [俞存根, 宋海棠, 姚光展. 东海细点圆趾蟹数量分布的研究[J]. 水产学报, 2005, 29(2): 198-204.]
- [33] Chen Q, Huang D J, Zhang B Z, et al. The research of the tidal features in the coastal zone of Zhejiang Province[J]. Donghai Marine Science, 2003, 21(2): 1-12. [陈倩, 黄大吉, 章本照, 等. 浙江近海潮汐的特征[J]. 东海海洋, 2003, 21(2): 1-12.]
- [34] Tong Y, Chen L Q, Zhuang P, et al. Cortisol, metabolism response and osmoregulation of juvenile *Acipenser schrenckii* to ambient salinity stress[J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(S1): 38-44. [童燕, 陈立侨, 庄平, 等. 急性盐度胁迫对施氏鲟的皮质醇、代谢反应及渗透调节的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(S1): 38-44.]

Shrimp community structure and its relationship with environmental factors in the offshore waters of Zhoushan Islands

YU Nanjing, YU Cungen, XU Yongjiu, ZHENG Ji, JIANG Xinqin, DAI Dongxu, SUN Beibei, LIU Kun, ZHANG Peiyi

School of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China

Abstract: In order to learn about the condition of shrimp resources in the waters outside Zhoushan Islands, the relationship between shrimp species composition, dominant species, biodiversity, community structure characteristics and environmental factors was analyzed in April (spring) and October (autumn), 2018. The research indicates that: firstly, there are 32 varieties of shrimp in outer waters of Zhoushan Islands, belonging to 10 subjects, 21 genera, 22 species in spring and 29 kinds in autumn. Compared with historical survey results, the number of shrimp species in this sea area has decreased and the trend has slowed down. Secondly, the dominant species changes significantly, with the spring dominant species being *Metapenaeopsis dalei* and *Metapenaeopsis barbata*, which are mainly inhabited in the southeastern sea of the survey area, and the autumn dominant species is *Parapenaeopsis hardwickii* and *Solenocera crassicornis*, which are mainly found in the north and southwest of the survey area. Thirdly, both Shrimp Richness Index (D) and diversity index (H') in spring are lower than those in autumn, while uniformity index (J') value in spring is greater than that in autumn. Shrimp is the most abundant in the water depth of 60-70 meters and the uniformity index (J') value is the highest in the water depth zone from seventy to ninety meters. That's because spring is the breeding season for most shrimps, shrimp mainly spawning grounds and habitats in the near shore waters, when the richness and species diversity of the outer waters are low, and in autumn, with the weakening of Taiwan's warm currents resulting in a decrease in warm waters, some shrimp species are in the deep waters of the sea that contribute to the richness of species in autumn. In spring, there is more shrimp in this field with better uniformity, and the autumn shrimp in the sea is mostly adults. The hydrologic environment has less influence on it, so the uniformity is lower than that in the bottom. Fourthly, according to cluster analysis and non-measured multi-dimensional scale sequencing analysis, spring at 45 percent of the similar level is divided into 4 communities, while autumn at 60 percent of the similar level is divided into 3 communities. The similarity between the sea communities is lower than the degree of similarity, and the similarity of autumn shrimp communities is higher than that in spring, indicating that the similarity of autumn shrimp species in the waters outside the Zhoushan Islands is higher than that in spring. Spring in the biological volume and species level are lower than those in autumn. The average similarity in the spring group is lower than that in autumn, and the characteristics with the highest similarity contribution rate in the spring and autumn groups are Dai's prawns and Haas imitation prawns, and the inter-group sex of the two seasons is as high as 82.36%, which may be because in the spring and autumn shrimp catches, individual species has a larger amount of each season or a significant advantage in their respective seasons. SIMPER analysis shows that the shrimp with the highest similarity contribution rate in the spring and autumn groups is consistent with the species of each dominant species. The ANOSIM test demonstrates the shrimp community structure is significantly different in the two seasons. fifthly, CCA analysis makes it clear that temperature is one of the main environmental factors affecting the distribution of shrimp in this area. In autumn, the high temperature high saline system impacted by Taiwan's warm currents becomes the main water group factor in the survey area, and the salinity is regulated by the physiological activities of shrimp, such as shrimp metabolism and osmosis pressure regulation, thus influencing the structure of the shrimp community. Salinity only has a significant effect on the structure of shrimp communities in autumn.

Key words: type composition; relative importance index; community structure; biodiversity; CCA analysis; Zhoushan Islands

Corresponding author: YU Cungen. E-mail: cgyu@zjou.edu.cn