

DOI: 10.12264/JFSC2024-0091

杭州湾及其邻近海域口虾蛄资源密度分布及个体体重的季节性变化

徐国强^{1, 2, 3}, 张洪亮^{1, 2, 3}, 周永东^{1, 2, 3}

1. 浙江省海洋水产研究所, 浙江 舟山 316021;
2. 农业农村部重点渔场渔业资源观测实验站, 浙江 舟山 316021;
3. 浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 浙江 舟山 316021

摘要: 为研究杭州湾及其邻近海域口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)资源的时空分布特征, 根据 2014 年 3 月(冬季)、5 月(春季)、7 月(夏季)和 11 月(秋季)在该海域的单船底拖网与环境调查资料, 分析了口虾蛄资源密度分布与个体体重的季节性变动, 并运用 GAM 模型分析了口虾蛄资源密度分布与环境因子的关系。结果表明, 杭州湾及其邻近海域口虾蛄平均资源密度呈现秋季>冬季>春季>夏季的变动趋势, 以秋季平均资源密度(20.40 kg/km²)最高, 夏季平均资源密度(10.09 kg/km²)最低, 秋季是夏季的 2 倍以上。该口虾蛄群体主要分布在舟山岛–衢山岛–泗礁山–花鸟岛所形成岛链离岸海域一侧, 靠近杭州湾河口近岸海域一侧口虾蛄分布较少。其密度分布重心位于水深 30~40 m 的海域, 总体呈现自南向北, 自外向内的移动趋势。口虾蛄个体平均体重呈现夏季>冬季>春季>秋季的趋势, 各季节间口虾蛄个体体重均不存在显著性差异($P>0.05$)。GAM 模型分析表明, 季节、底层盐度和底层叶绿素 a 对口虾蛄资源密度呈现显著性影响。其中, 底层盐度是影响口虾蛄分布的最显著因子, 口虾蛄出现站位的底层盐度平均值呈现夏季>冬季>春季>秋季的趋势。研究结果是可为揭示杭州湾及其邻近海域口虾蛄时空分布与季节变化特征提供基础资料, 进而为合理利用该海域口虾蛄资源提供参考依据。

关键词: 杭州湾海域; 口虾蛄; 资源密度; 时空分布; 季节性变化

中图分类号: S932

文献标志码: A

文章编号: 1005–8737–(2024)11–1306–10

杭州湾位于浙江省东北部, 为喇叭形河口海湾, 其湾内及邻近海域同时受钱塘江径流、长江冲淡水及近岸上升流等众多因素共同影响, 营养物质丰富, 是多种鱼、虾和蟹类的产卵和索饵场^[1–5], 其湾口外侧更是形成了我国著名四大渔场之一的舟山渔场^[6]。

虾蛄隶属甲壳纲(Crustacea)、口足目(Stomatopoda)、虾蛄科(Squillaidae)^[7–8]。浙江沿海常见的虾蛄种类有 18 种, 其中口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)产量最高, 占虾蛄类总产量的 60%以上, 并以沿海定置张网的渔获量最大^[7–8]。口虾蛄属虾蛄科、口虾蛄属(*Oratosquilla*), 广泛分布于我国沿

海海域, 是一种喜栖于海底泥穴中的多年生甲壳类, 兼具经济与生态价值^[9–11]。近些年来, 随着海洋生态环境的不断变化, 关键环境因子对口虾蛄时空分布的影响已成为当今研究热点之一。因口虾蛄所处海域的海洋环境不同, 影响其时空分布的环境因子也存在差异。刘修泽等^[11]研究表明底温、底盐、水深及底质类型是影响辽东湾口虾蛄资源分布的重要环境因子。关丽莎等^[12]研究提出底层温度是春秋季渤海口虾蛄仔虾分布的显著影响因子; 吴强等^[13]研究表明与莱州湾口虾蛄尾数密度分布相关性最高的为海表面温度, 其次为盐度、水深等。在黄海水域, 对山东近海口虾蛄

收稿日期: 2024-03-31; **修订日期:** 2024-06-25.

基金项目: 国家自然科学基金项目(32303073); 舟山市基础研究项目(2024C31047); 浙江渔场渔业资源动态监测调查项目(HYS-CZ-202314).

作者简介: 徐国强(1990–), 男, 博士, 工程师, 从事近海渔业资源与管理研究. E-mail: xuguoqiang732@126.com

通信作者: 周永东, 教授级高工, 从事近海渔业资源与生态研究. E-mail: zyd511@126.com

资源分布影响显著的因素则为纬度、海水底层温度和底层盐度^[10], 另有研究认为水深也是影响口虾蛄资源密度的重要因子^[14]。针对于浙江南部近海, 潘国良等^[9]则认为口虾蛄分布重心与底层水温、底层盐度和水深最为相关。目前, 尚未有关于杭州湾及其邻近海域口虾蛄分布与环境因子关系的相关报道。关于杭州湾及其邻近海域口虾蛄资源, 仅俞存根等^[15]开展了虾蛄类的种类组成和数量分布研究, 针对口虾蛄时空分布及其季节变化还未见报道。

本研究根据 2014 年 3 月、5 月、7 月和 11 月在杭州湾及其邻近海域单船底拖网渔业资源调查资料, 分析了口虾蛄资源密度与其个体体重空间分布的季节性变动, 并构建 GAM 模型研究了影响口虾蛄资源季节性分布的驱动因子, 对影响口虾蛄时空分布的关键环境驱动因子进行了可视化。本研究旨在揭示杭州湾及其邻近海域口虾蛄资源时空变动规律及关键驱动因子, 以期为该海域渔业资源保护利用与管理提供科学支撑。

1 材料和方法

1.1 数据来源

研究使用的数据来源于 2014 年在杭州湾及

其邻近海域开展的 4 个季节(冬季: 3 月; 春季: 5 月; 夏季: 7 月; 秋季: 11 月)渔业资源与环境调查。因 2 月气候影响, 调查安排在 3 月初期, 因此以 3 月为冬季的代表月。为确切反映杭州湾及其邻近海域口虾蛄资源空间分布情况, 各航次设置调查站位 31 个, 其中 15 个位于杭州湾水域, 16 个位于邻近海域(图 1)。调查采用单船底拖网作业, 所用网具网口拉紧周长 50 m, 上纲长 30 m, 下纲长 38 m, 网囊网目 25 mm。每个季节各站位拖网 1 次, 拖曳时间 0.5~1 h, 航速 3~4 kn。拖网完成后利用多功能水质仪采集水深、温度、盐度、溶解氧和叶绿素等环境因子数据。渔业资源调查与生物学测定分析均按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007)等有关标准进行^[16], 测定并记录各站位不同种类渔获物(包括口虾蛄)的丰度(以数量计)、生物量等。调查结束后, 对各站位口虾蛄生物量以拖网时间、拖网速度等进行标准化, 以对比分析杭州湾及其邻近海域口虾蛄的资源密度大小与空间分布情况。

1.2 数据处理方法

1.2.1 口虾蛄资源密度 采用扫海面积法计算调查海域口虾蛄资源密度^[9], 公式如下:

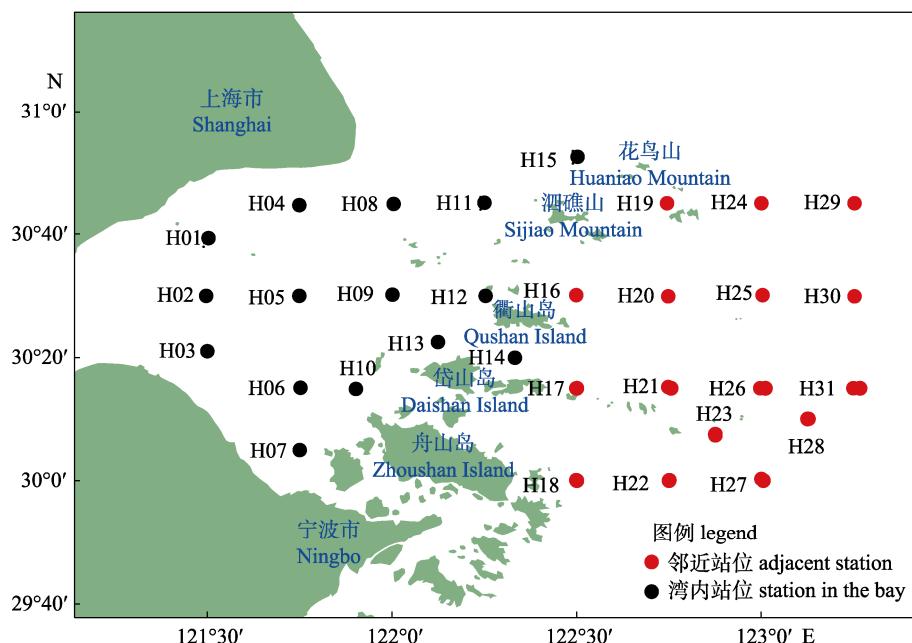


图 1 杭州湾及其邻近海域渔业资源与环境调查站位

Fig. 1 Stations of fishery resources and environment surveys in the Hangzhou Bay and its adjacent waters

$$D_i = \frac{Y_i}{1.852 \times V \times T_i \times L \times (1 - E)} \quad (1)$$

式中, D_i 表示第 i 个站点的资源密度(kg/km^2); Y_i 表示第 i 个站点捕捞的渔获生物量(kg); V 表示第 i 个站点底拖网拖速; T_i 表示第 i 个站点底拖网拖网时间; L 为底拖网网口扩张宽度($9.90 \times 10^{-3} \text{ km}$); E 表示逃逸率(取 0.5)。

1.2.2 口虾蛄分布重心 口虾蛄在调查海域资源密度空间分布重心计算公式如下^[9,17]:

$$\text{Lon}_j = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Lon}_{ij} \times D_{ij})}{\sum_{i=1}^n D_{ij}} \quad (2)$$

$$\text{Lat}_j = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Lat}_{ij} \times D_{ij})}{\sum_{i=1}^n D_{ij}} \quad (3)$$

式中, Lon_j 和 Lat_j 分别表示 j 季节资源密度重心的经度与纬度; Lon_{ij} 和 Lat_{ij} 分别表示 j 季节 i 站位资源密度的经度与纬度; D_{ij} 表示 j 季节 i 站位的资源密度; n 为调查的站位数。

1.2.3 口虾蛄密度分布及其影响因子 本研究使用广义可加模型(generalized additive models, GAM)分析杭州湾及其邻近海域口虾蛄资源密度分布与外界影响因素的线性或非线性关系。其中, 口虾蛄资源密度作为响应变量, 季节、经度和纬度作为时空解释变量, 水深、表层水温、底层水温、表层盐度、底层盐度、表层溶解氧、底层溶解氧、表层叶绿素 a 和底层叶绿素 a 作为环境解释变量。在构建 GAM 模型前, 为防止解释变量间因相关性产生的共线性问题, 采用方差膨胀因子(variance inflation factor, VIF)对解释变量进行多重共线性检验, 从而得到筛选后的解释变量^[14]。通常以 $\text{VIF}=10$ 作为是否存在共线性问题判断的界限, 当 $\text{VIF}<10$ 时, 表明不存在多重共线性; 当 $\text{VIF} \geq 10$, 表明存在多重共线性。VIF 由以下公式进行计算:

$$\text{VIF}_j = \frac{1}{1 - R_j^2} \quad (4)$$

式中, R_j^2 为第 j 个变量在所有其他变量上回归时

的确定系数。

以上述响应变量和筛选后的解释变量来构建 GAM 模型^[18]。其表达式如下:

$$\ln(\text{Density} + 1) = \sum s(x) + \varepsilon \quad (5)$$

式中, 为避免零值出现, 采用 $\text{Density}+1$ 再进行对数化处理; s 为自然样条平滑; ε 表示误差项。

在模型拟合优化过程中, 采用赤池信息量准则(Akaike information criterion, AIC)和累计偏差解释率来筛选最优模型因子, 当 AIC 值最低时, 所选构建模型为最优模型; 同时运用 F 检验评估模型因子是否存在显著性($P<0.05$)。其中, AIC 由以下公式进行计算:

$$\text{AIC} = 2k - 2\ln(L) \quad (6)$$

式中, k 表示参数的数量, L 表示似然函数。

本研究中数据分析及绘图采用 R 语言和 Arcgis 两种软件进行; 各季节间口虾蛄资源密度、个体体重和底层盐度显著性差异分析采用多个独立样本检验(Kruskal-Wallis 检验)进行($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 口虾蛄资源密度季节性变化特征

冬季口虾蛄资源密度范围为 $0 \sim 153.32 \text{ kg}/\text{km}^2$, 平均资源密度为 $13.79 \text{ kg}/\text{km}^2$; 春季口虾蛄资源密度范围为 $0 \sim 105.02 \text{ kg}/\text{km}^2$, 平均资源密度为 $10.77 \text{ kg}/\text{km}^2$; 夏季口虾蛄资源密度范围为 $0 \sim 79.89 \text{ kg}/\text{km}^2$, 平均资源密度为 $10.09 \text{ kg}/\text{km}^2$; 秋季口虾蛄资源密度范围为 $0 \sim 179.28 \text{ kg}/\text{km}^2$, 平均资源密度为 $20.40 \text{ kg}/\text{km}^2$ (图 2)。口虾蛄平均资源密度呈现秋季>冬季>春季>夏季的变动趋势。Kruskal-Wallis 检验表明, 各季节间口虾蛄资源密度不存在显著性差异($P<0.05$)。

2.2 口虾蛄资源密度时空分布

图 3 可知, 冬季, 口虾蛄站位出现率为 54.84%, 资源密度高值区主要分布于中街山列岛东南部海域, 最大值出现在 H27 站位。春季, 口虾蛄站位出现率为 54.84%, 资源密度高值区主要分布于嵎泗海域东侧, 最大值出现在 H29 站位。夏季, 口虾蛄站位出现率为 38.71%, 空间分布范围较春季缩小, 资源密度高值区主要分布于中街山列岛附

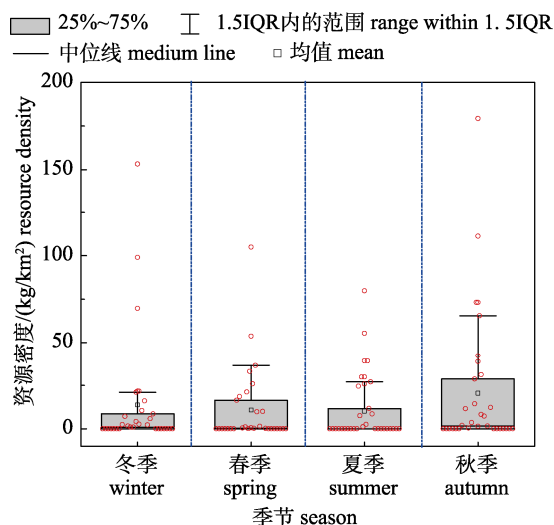


图 2 杭州湾及其邻近海域口虾蛄资源密度季节性变化

Fig. 2 Seasonal variation of resource density of *Oratosquilla oratoria* in the Hangzhou Bay and its adjacent waters

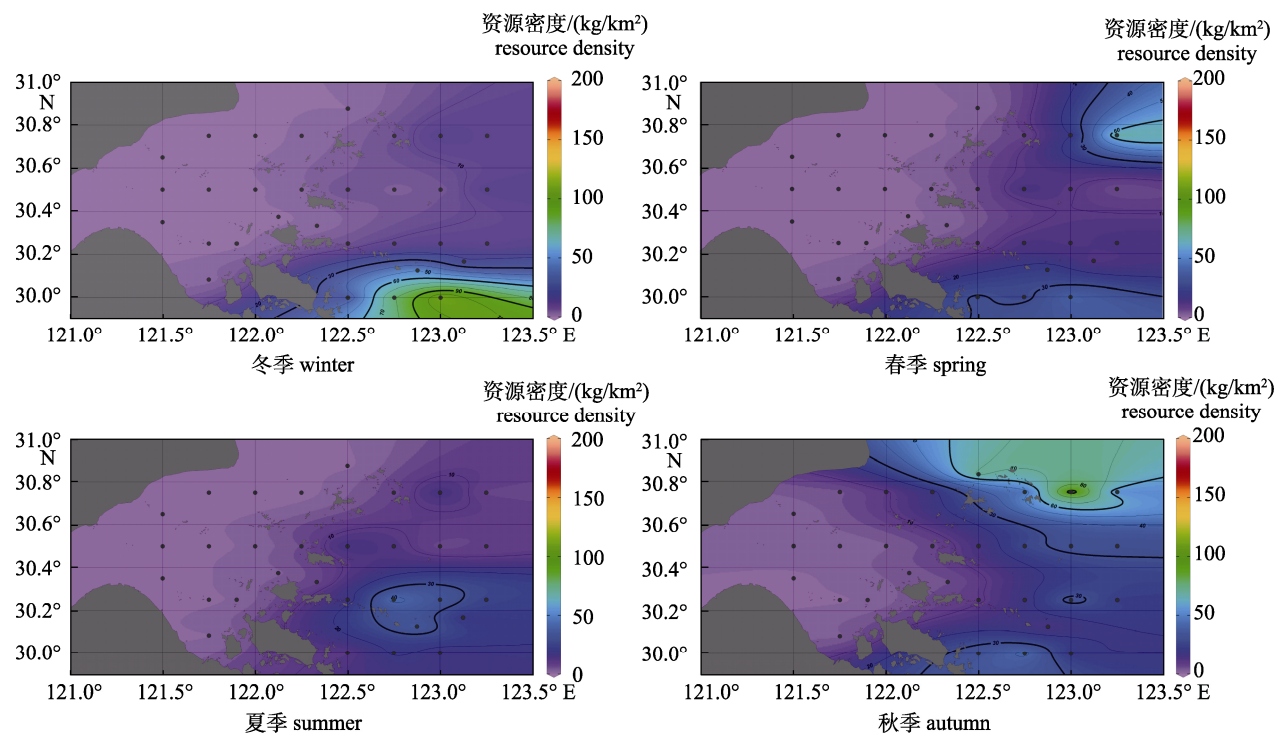


图 3 杭州湾及其邻近海域口虾蛄资源密度时空分布

Fig. 3 Spatial and temporal distribution of *Oratosquilla oratoria* resource density in the Hangzhou Bay and its adjacent waters

2.4 口虾蛄个体体重随季节的变动

冬季口虾蛄个体体重为 3.50~16.92 g, 平均体重为 8.43 g; 春季口虾蛄个体体重为 2.60~15.45 g, 平均体重为 7.72 g; 夏季口虾蛄个体体重为 1.88~14.60 g, 平均体重为 9.58 g; 秋季口虾蛄个体体重为 0.86~12.50 g, 平均体重为 4.57 g;

近海域, 最大值出现在 H21 站位。秋季, 口虾蛄站位出现率为 58.06%, 空间分布范围较夏季增加, 资源密度高值区主要分布于嵊泗海域北侧, 最大值出现在 H23 站位。从杭州湾口虾蛄四季资源密度空间分布来看, 口虾蛄主要分布舟山岛-衢山岛-泗礁山-花鸟岛所形成岛链的离岸海域一侧, 靠近杭州湾河口近岸海域一侧口虾蛄分布较少。

2.3 口虾蛄资源密度重心时空分布

图 4 可知, 冬季, 口虾蛄资源密度重心位于 30.51°N, 122.91°E; 春季, 资源密度重心向北向东移动至 30.34°N, 122.97°E; 夏季, 向西向南移动至 30.29°N, 122.86°E; 秋季则进一步向北移动至 30.52°N, 122.83°E。4 个季节中, 口虾蛄资源密度重心均位于水深 30~40 m 的海域, 重心变动总体呈现自南向北, 自外向内的移动趋势。

口虾蛄个体平均体重呈现夏季>冬季>春季>秋季。冬季在杭州湾海域东北和东南两侧存在大个体口虾蛄, 春季则仅在东南侧存在大个体口虾蛄, 而夏季大个体口虾蛄则在杭州湾海域东北部, 秋季则以小个体口虾蛄居多(图 5)。Kruskal-Wallis 检验表明, 各季节间口虾蛄个体体重均不存在显

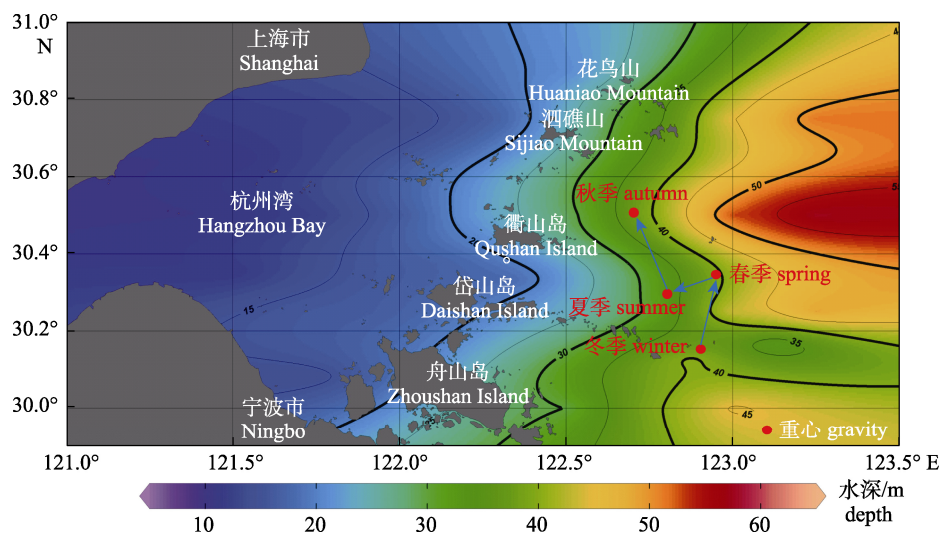


图 4 杭州湾及其邻近海域口虾蛄资源密度重心季节变化
Fig. 4 Seasonal changes in the center of gravity for the resource density distribution of *Oratosquilla oratoria* in the Hangzhou Bay and its adjacent waters

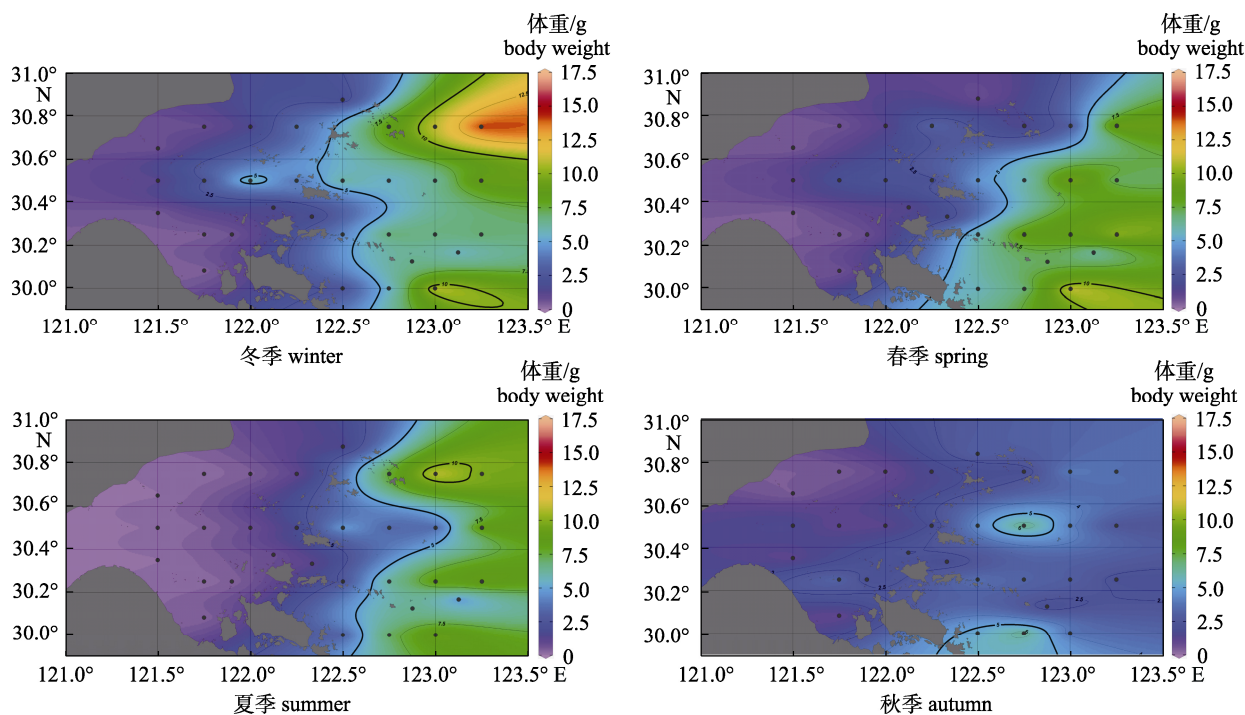


图 5 杭州湾及其邻近海域口虾蛄个体体重季节变化
Fig. 5 Seasonal variation in the individual body weight of *Oratosquilla oratoria* in the Hangzhou Bay and its adjacent waters

著性差异($P>0.05$)。

2.5 口虾蛄资源密度的主要影响因子

根据多重共线性检验的结果,时空解释变量中的经度(VIF=29.40),环境解释变量中的水深(VIF=30.82)、表层水温(VIF=28.85)、底层水温(VIF=17.18)和底层溶解氧(VIF=26.84)间存在多重共线性问题($VIF\geq 10$),因此将解释变量中 5 个

因子去除,以剩余解释变量构建 GAM 模型。同时结合 AIC 进行优化,得出最优模型表达式为 $\ln(\text{Density}+1)\sim s(\text{season})+s(\text{Bottom salinity})+s(\text{Bottom Chlorophyll a})+\varepsilon$ 。

最优 GAM 模型的累计偏差解释率为 55.7%,其中季节、底层盐度和底层叶绿素 a 对口虾蛄资源密度影响显著($P<0.05$),可视为主要影响因子。

口虾蛄资源密度与季节、底层盐度和底层叶绿素均呈现非线性关系。季节效应中, 口虾蛄资源密度随着季节更替从冬季至秋季呈现先降低后升高的趋势。底层盐度效应中, 口虾蛄资源密度具体表现为在底层盐度低于 25 时, 随着底层盐度的增加呈现缓慢增加趋势; 在底层盐度高于 25 时, 随着底层盐度的增加呈现快速增加的趋势。底层叶

绿素 a 效应中, 口虾蛄资源密度呈现随着底层叶绿素 a 的增加而降低的趋势(图 6)。

2.6 口虾蛄时空分布与底层盐度的关系

底层盐度是影响杭州湾及其邻近海域口虾蛄资源密度空间分布的最显著环境因子。据此绘制了口虾蛄空间分布与底层盐度的关系图(图 7)。冬季, 口虾蛄分布盐度范围 22.80~34.18, 平均盐度

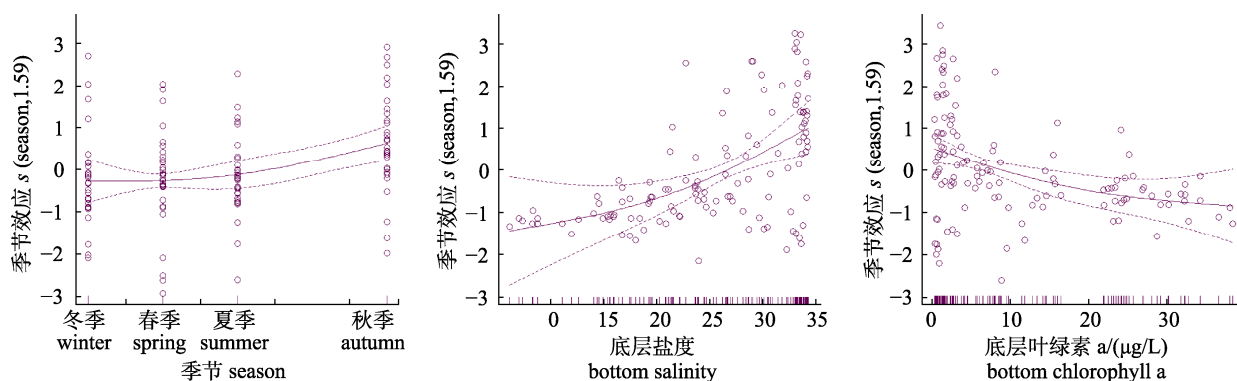


图 6 杭州湾及其邻近海域口虾蛄资源密度与环境因子的关系

Fig. 6 Relationships between resource density of *Oratosquilla oratoria* and environmental factors in the Hangzhou Bay and its adjacent waters

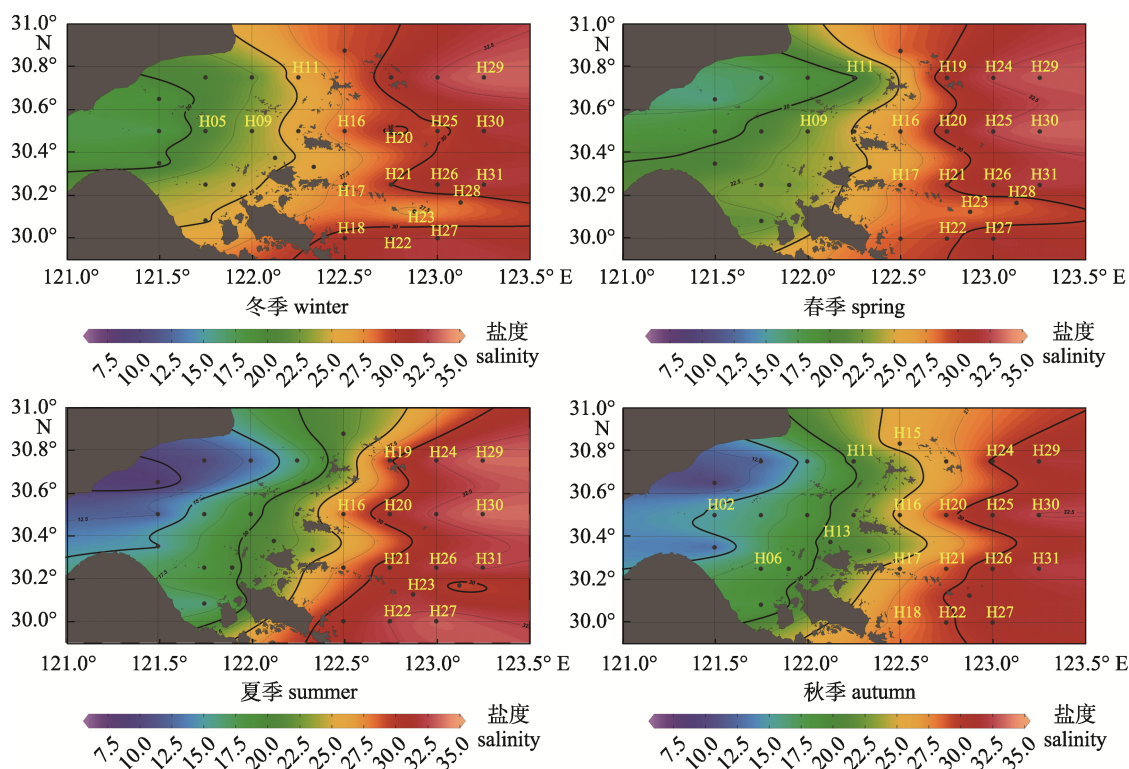


图 7 杭州湾及其邻近海域口虾蛄空间分布与底层盐度的关系

黄色标注站位为口虾蛄出现站位。

Fig. 7 Relationships between spatial distribution of *Oratosquilla oratoria* and bottom salinity in Hangzhou Bay and its adjacent waters

The yellow marked station is the appearance station of *Oratosquilla oratoria*.

值 30.50, 主要分布于盐度值高于 27.75 的海域; 春季, 口虾蛄分布盐度范围 16.52~34.30, 平均盐度为 29.05, 主要分布于盐度高于 27.75 的海域; 夏季, 口虾蛄分布盐度范围 31.91~34.36, 平均盐度值 33.73, 主要分布于盐度高于 32.00 的海域; 秋季, 口虾蛄分布盐度范围 17.52~33.77, 平均盐度值为 28.93, 主要分布于盐度高于 20.0 的海域。图 8 可知, 口虾蛄出现站位的底层盐度平均值呈现夏季>冬季>春季>秋季, 以夏季盐度分布范围最窄, 春季盐度分布范围最宽。Kruskal-Wallis 检验表明, 各季节间底层盐度存在显著性差异 ($P<0.05$)(图 8)。

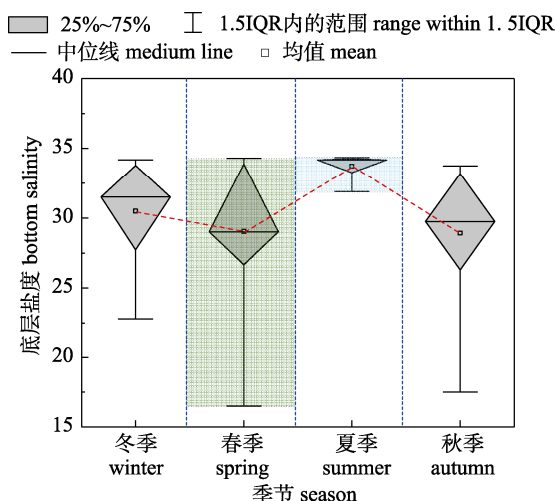


图 8 杭州湾及其邻近海域不同季节口虾蛄分布底层盐度范围比较

Fig. 8 Comparison of bottom salinity ranges of *Oratosquilla oratoria* in different seasons in Hangzhou Bay and its adjacent waters

3 讨论

3.1 口虾蛄资源密度分布特征

本研究表明, 杭州湾及其邻近海域口虾蛄资源密度呈现秋季最高、夏季最低的变动趋势, 且夏季出现率 38.71% 为四季中最低。这主要与口虾蛄的繁殖习性有关, 7 月为口虾蛄的产卵期, 产卵雌性通常处于洞穴中保护卵群不易被拖网捕捞, 这是致使夏季口虾蛄资源密度较低的主要原因^[19]。而秋季口虾蛄资源密度最高, 则因早春新生口虾蛄个体经过夏季快速生长资源密度增加有关^[19]。

从口虾蛄资源密度分布来看, 冬季和夏季高资源密度为调查海域的东南侧, 而春季和秋季高资源密度位于调查海域的东南和东北两侧, 且以东北侧为主要分布区域。冬季和夏季主要为口虾蛄的越冬和繁殖期, 其所需温度条件较为关键, 摄食强度较低; 而春季和秋季主要为口虾蛄的成熟和发育期, 摄食强度明显增大^[20]。调查海域东北侧位于长江口邻近海域, 浮游生物资源丰富, 为口虾蛄生长发育提供了较为有利的条件。本研究中, 相比于杭州湾河口外, 河口内分布较少, 靠近河口附近没有分布, 这与俞存根等^[15]研究是一致的, 与辽东湾^[11]和莱州湾^[13]口虾蛄分布模式则存在差异。这说明, 杭州湾河口内并不适宜口虾蛄的生长与繁殖, 这点在口虾蛄资源密度重心分布上也有所体现。口虾蛄资源密度重心代表了相对高生物量站位的分布^[9], 其季节性变动反映了调查海域口虾蛄的生活史特征。本研究发现, 调查海域口虾蛄资源密度重心位于水深 30~40 m 的范围, 相比于其它 3 个季节, 冬季重心则位于更低纬度, 这与李明坤等^[17]研究结果较为一致。综上可知, 杭州湾及其邻近海域口虾蛄在其资源分布上与该海域的地理条件密不可分。

3.2 口虾蛄体重季节变动趋势

本研究认为, 杭州湾及其邻近海域口虾蛄体重从冬季至秋季最小值呈现逐渐减小趋势, 而最大值则与之相反, 大小个体在各季节中均有存在。浙江沿海张网监测表明, 3—5 月为口虾蛄的成熟期; 6—8 月产卵期, 此时会有大量小虾蛄出现; 而 9—1 月为成体出现期, 口虾蛄肥满度逐渐增加^[7-8]。在口虾蛄开始繁殖后, 通常有两个世代出现在群体中。另外, 关丽莎等^[12]则认为口虾蛄群体还可能有多季节补充模式, 其产卵周期长达 5 个月, 这也是致使口虾蛄大小个体在各季节存在的重要成因。另外, 在温度较高时产卵口虾蛄还存在多次产卵的行为, 这也使得小个体口虾蛄在个季节中均有存在^[21-23]。本研究显示, 相比于其它 3 个季节, 秋季口虾蛄主要以小个体居多, 大个体较少, 这与刘修泽等^[11]研究结论较为一致。其认为口虾蛄在繁殖期产生的叠加效应是口虾蛄幼体在 11 月份聚集的重要原因^[11,23]。另外,

雌性口虾蛄在繁殖期结束后, 通常存在个体死亡的现象, 从而使得秋季大个体口虾蛄明显减少^[24-25]。从口虾蛄体重空间分布图来看, 其体重空间分布呈现从冬季至夏季逐渐离岸移动趋势, 而秋季则往近岸移动, 这主要与不同大小口虾蛄所需海洋生存环境有关。另外, 从大个体口虾蛄在调查海域分布来推测, 东北和东南海域可能是杭州湾及其邻近海域口虾蛄育肥和产卵场所, 这点在秋季资源密度空间分布中也有所体现。

3.3 口虾蛄空间分布的影响因素

口虾蛄的空间分布受多种因素的影响, 外界环境因素的扰动通常决定了口虾蛄在空间上的分布特征。本研究通过多重共线性检验去除共线性因子, 利用 GAM 模型筛选模型因子, 认为季节、底层盐度和底层叶绿素 a 对杭州湾及其邻近海域口虾蛄资源分布最为扰动, 以底层盐度扰动最为显著。口虾蛄为广盐性种类, 盐度对口虾蛄存活及生长具有较大影响。刘海映等^[26]研究认为, 大连沿海口虾蛄适盐范围在 24~36, 最适盐度在 32 左右。而梅文骧等^[27]认为浙江沿海口虾蛄的适盐范围在 12~35, 最适盐度在 23~27。相比于大连沿海, 浙江沿海口虾蛄具有更大范围的盐度适应度, 这说明不同海域口虾蛄对盐度的适应能力也有所不同。这也可能是不同海域盐度是否成为显著影响因素且变动趋势不同的主要原因^[13,24]。本研究中, 口虾蛄在各季节分布的底层盐度值存在显著差异, 且分布范围差异明显, 春季盐度差值在 17.78, 而夏季盐度差值在 2.45, 因此底层盐度成为扰动杭州湾及其邻近海域的最显著因素。相比于底层盐度, 叶绿素 a 浓度的高低虽然不直接影响海洋生物资源密度, 但其间接地反映了浮游植物的生长状况^[28]。叶绿素 a 浓度越高, 说明浮游植物生长越好, 侧面反映了捕食者较少。因此, 反映至本研究, 口虾蛄资源密度则是随着底层叶绿素 a 浓度逐渐减少的。本研究发现, 相比于其他研究^[10,13-14], 水深并未成为扰动杭州湾及邻近海域口虾蛄空间分布的影响因素, 这主要与杭州湾独特的地理环境有关。除此之外, 口虾蛄对底质条件要求较为严格^[25], 众多研究表明^[11,17,24], 底质类型也是影响口虾蛄分布的重要因素之一, 其喜居于

软硬适中的泥洞中^[7-8]。涉及本研究海域, 柴小平等^[29]研究表明, 整个杭州湾及舟山群岛周边海域底质类型主要以粉砂和砂纸粉砂为主, 底质类型并非是影响杭州湾及其邻近海域口虾蛄空间分布的环境因素, 因此本研究中并未考虑。今后, 将进一步结合口虾蛄生物学特征与扰动因素进行更为精细化的研究, 为掌握杭州湾及其邻近海域口虾蛄资源变动规律提供科学参考和可视化分析。

参考文献:

- [1] Zhu Y J, Zhang H B, Yao Z T, et al. Nutrients distribution and mixing behavior at Hangzhou Bay and its adjacent sea in autumn 2021[J]. Marine Environmental Science, 2024, 43(1): 85-92. [祝艳君, 张海波, 姚振童, 等. 2021 年杭州湾及其邻近海域秋季营养盐分布特征和混合行为[J]. 海洋环境科学, 2024, 43(1): 85-92.]
- [2] Guo Z B, Zhong J S, Hong B, et al. Diversity and cluster analysis of fish larvae and juvenile on the northern of Hangzhou Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(11): 1477-1488. [郭祉宾, 钟俊生, 洪波, 等. 杭州湾北岸水域仔稚鱼的多样性和聚类分析[J]. 中国水产科学, 2021, 28(11): 1477-1488.]
- [3] Wang M, Hong B, Zhang Y P, et al. Community structure of nektons in northern Hangzhou Bay in summer and winter[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2015, 35(3): 56-62. [王森, 洪波, 张玉平, 等. 夏、冬季杭州湾北部游泳动物群落结构[J]. 广东海洋大学学报, 2015, 35(3): 56-62.]
- [4] Xing Z Y, Zhu W X, Xu H Z, et al. Nutrients content and distribution characteristics of the Yangtze River Estuary in summer, 2020[J]. Environmental Chemistry, 2023, 42(4): 1349-1356. [邢志远, 祝文鑫, 徐焕志, 等. 2020 年夏季长江口邻近海域的营养盐含量及分布特征[J]. 环境化学, 2023, 42(4): 1349-1356.]
- [5] Hu M, Zhong J S, Tang Z H, et al. Monthly and annual comparison of fish larvae and juveniles composition in the north of Hangzhou Bay[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2017, 26(1): 103-112. [胡敏, 钟俊生, 唐子涵, 等. 杭州湾北部水域仔稚鱼组成的月度及年间比较[J]. 上海海洋大学学报, 2017, 26(1): 103-112.]
- [6] Cao X Z. On the relationship of the upwelling with fishery off Zhejiang[J]. Transaction of Oceanology and Limnology, 1985, 7(1): 25-28. [曹欣中. 浙江近海沿岸上升流与渔场的关系[J]. 海洋湖沼通报, 1985, 7(1): 25-28.]
- [7] Mei W X. The resources of *Squilla* in Zhejiang coast and its exploitation and use[J]. Journal of Fisheries of China, 1999, 23(2): 210-212. [梅文骧. 浙江沿海虾蛄资源及其合理开发利用[J]. 水产学报, 1999, 23(2): 210-212.]
- [8] Mei W X, Zhang Y H, Wang C L. An investigation of *Squilla* resources in middle and north Zhejiang coastal regions[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1996,

- 15(1): 56-59. [梅文骧, 张义浩, 王春琳. 浙江中北部沿海虾蛄资源调查[J]. 浙江水产学院学报, 1996, 15(1): 56-59.]
- [9] Pan G L, Zhang L, Zhu Z J, et al. Spatial-temporal distribution of the biomass of *Oratosquilla oratoria* in the coastal waters of south Zhejiang during spring[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(2): 366-370. [潘国良, 张龙, 朱增军, 等. 浙江南部近岸海域春季口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)生物量的时空分布[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(2): 366-370.]
- [10] Li P C, Zhang C L, Ren Y P, et al. Relationship between *Oratosquilla oratoria* spatial distribution and environmental factors in coastal Shandong[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(12): 1515-1523. [李鹏程, 张崇良, 任一平, 等. 山东近海口虾蛄空间分布特征及其与环境因子的关系[J]. 中国水产科学, 2020, 27(12): 1515-1523.]
- [11] Liu X Z, Guo D, Wang A Y, et al. The resource characteristics and their variation of *Oratosquilla oratoria* in Liaodong bay[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2014, 38(3): 602-608. [刘修泽, 郭栋, 王爱勇, 等. 辽东湾海域口虾蛄的资源特征及变化[J]. 水生生物学报, 2014, 38(3): 602-608.]
- [12] Guan L S, Shan X J, Yang T, et al. Early recruitment pattern of *Oratosquilla oratoria* in relation to the seasonal pattern of juvenile occurrence in the Bohai Sea, China[J]. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(6): 168-178. [关丽莎, 单秀娟, 杨涛, 等. 渤海口虾蛄仔虾季节性分布及其早期补充模式[J]. 渔业科学进展, 2022, 43(6): 168-178.]
- [13] Wu Q, Chen R S, Huang J X, et al. Fishery biology characteristics, temporal and spatial distribution of *Oratosquilla oratoria* in Laizhou Bay, Bohai Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(8): 1166-1177. [吴强, 陈瑞盛, 黄经献, 等. 莱州湾口虾蛄的生物学特征与时空分布[J]. 水产学报, 2015, 39(8): 1166-1177.]
- [14] Li P C, Zhang C L, Ren Y P, et al. Relationship between spatial distribution of *Oratosquilla oratoria* and environmental factors in Shandong offshore based on optimized BP neural network model analysis[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(11): 1843-1853. [李鹏程, 张崇良, 任一平, 等. 以优化的 BP 神经网络模型为基础研究山东近海口虾蛄空间分布与环境因子的关系[J]. 水产学报, 2021, 45(11): 1843-1853.]
- [15] Yu C G, Chen Q Z, Chen X Q, et al. Species composition and quantity profile of mantis shrimp around Zhoushan fishing ground[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2011, 26(2): 153-156. [俞存根, 陈全震, 陈小庆, 等. 舟山渔场及邻近海域虾蛄类的种类组成和数量分布[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(2): 153-156.]
- [16] The General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, the Standardization Administration of the People's Republic of China. Specifications for oceanographic survey-part 6: Marine biological survey GB/T 12763. 6-2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. [国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 海洋调查规范第 6 部分: 海洋生物调查 GB/T 12763. 6-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [17] Li M K, Xu B D, Xue Y, et al. Spatial distribution characteristics and seasonal variation of *Oratosquilla oratoria* in the southern coastal waters of Shandong Province[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(8): 1749-1758. [李明坤, 徐宾铎, 薛莹, 等. 山东南部近海口虾蛄空间分布特征及其季节变化[J]. 水产学报, 2019, 43(8): 1749-1758.]
- [18] Yang Y Y, Zhu M M, Xu B Q, et al. Community structure of ichthyoplankton and its relationship with environmental factors in coastal waters of southern Shandong Peninsula[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2021, 30(5): 995-1004. [杨艳艳, 朱明明, 徐炳庆, 等. 山东半岛南部近岸海域鱼卵、仔稚鱼群落结构与环境因子相关性[J]. 生态环境学报, 2021, 30(5): 995-1004.]
- [19] Wang C L, Xu S L, Mei W X, et al. Basic biological basic character of *Oratosquilla oratoria*[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1996, 15(1): 60-62. [王春琳, 徐善良, 梅文骧, 等. 口虾蛄的生物学基本特征[J]. 浙江水产学院学报, 1996, 15(1): 60-62.]
- [20] Xu S L, Wang C L, Mei W X, et al. Preliminary studies on propagation and feeding habits of *Oratosquilla oratoria* in northern Zhejiang sea areas[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1996, 15(1): 30-36. [徐善良, 王春琳, 梅文骧, 等. 浙江北部海区口虾蛄繁殖和摄食习性的初步研究[J]. 浙江水产学院学报, 1996, 15(1): 30-36.]
- [21] Gu D X, Liu M L. Analysis on the population structure and abundance of *Oratosquilla oratoria* in Tianjin sea area[J]. Hebei Fisheries, 2011(8): 24-26. [谷德贤, 刘茂利. 天津海域口虾蛄群体结构及资源量分析[J]. 河北渔业, 2011(8): 24-26.]
- [22] Liu H Y, Gu D X, Li J F, et al. Larval development of the mantis shrimp *Oratosquilla oratoria*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2009, 24(2): 100-103. [刘海映, 谷德贤, 李君丰, 等. 口虾蛄幼体的早期形态发育特征[J]. 大连水产学院学报, 2009, 24(2): 100-103.]
- [23] Hamano T, Matsuura S. Egg laying and egg mass nursing behaviour in the Japanese mantis shrimp [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1984, 50(12): 1969-1973.
- [24] Xu L L, Xue Y, Jiao Y, et al. Population structure and spatial distribution of *Oratosquilla oratoria* in Haizhou Bay and adjacent waters[J]. Periodical of Ocean University of China, 2017, 47(4): 28-36. [许莉莉, 薛莹, 焦燕, 等. 海州湾及邻近海域口虾蛄群体结构及资源分布特征[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2017, 47(4): 28-36.]
- [25] Wang C L, Ye X Y, Ding A X, et al. Studies on reproductive biology and breeding technology of *Squilla*[J]. Transaction of Oceanology and Limnology, 2002, 24(3): 58-64. [王春琳, 叶选怡, 丁爱侠, 等. 虾蛄繁殖生物学与繁育技术研究[J]. 海洋湖沼通报, 2002, 24(3): 58-64.]
- [26] Liu H Y, Xu H L, Lin Y J. The effect of salinity on survival and growth of mantis shrimp (*Oratosquilla oratoria*) in Dalian coast[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2006,

- 21(2): 180-183. [刘海映, 徐海龙, 林月娇. 盐度对口虾蛄存活和生长的影响[J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(2): 180-183.]
- [27] Mei W X, Wang C L, Zhang Y H, et al. On biology and exploitation of *Squilla* of Zhejiang coastal areas[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1996, 15(1): 1-8. [梅文骧, 王春琳, 张义浩, 等. 浙江沿海虾蛄生物学及其开发利用研究报告[J]. 浙江水产学院学报, 1996, 15(1): 1-8.]
- [28] Huang L M. Distribution of chlorophyll *a* concentration and its influencing factors in Daya Bay[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1989, 11(6): 769-779. [黄良民. 大亚湾叶绿素 *a* 的分布及其影响因素[J]. 海洋学报, 1989, 11(6): 769-779.]
- [29] Chai X P, Wei N, Ren S J, et al. Analysis of surface sediment environment division and heavy metal pollution character in Hangzhou Bay and its adjacent areas[J]. Marine Sciences, 2019, 43(8): 29-35. [柴小平, 魏娜, 任世军, 等. 杭州湾及其邻近海域表层沉积物的沉积环境分区及重金属污染特征分析[J]. 海洋科学, 2019, 43(8): 29-35.]

Seasonal variation of the resource density distribution and individual body weight of *Oratosquilla oratoria* in the Hangzhou Bay and its adjacent waters

XU Guoqiang^{1,2,3}, ZHANG Hongliang^{1,2,3}, ZHOU Yongdong^{1,2,3}

1. Zhejiang Marine Fisheries Research Institute, Zhoushan 316021, China;
2. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources for Key Fishing Grounds, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhoushan 316021, China;
3. Key Laboratory of Sustainable Utilization of Technology Research for Fishery Resource of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, China

Abstract: To study the spatio-temporal distribution and seasonal variation of resource density of *Oratosquilla oratoria* in Hangzhou Bay and its adjacent waters, single bottom trawl surveys and environmental data collection were conducted in March (winter), May (spring), July (summer), and November (autumn) in 2014. The spatial distribution characteristics of resource density, seasonal variation of barycenter, and body mass were analyzed, and the relationship between resource distribution and environmental factors was analyzed using GAM model. The results showed that the average resource density of *Oratosquilla oratoria* in Hangzhou Bay and its adjacent waters showed a changing trend of autumn>winter>spring>summer, with the average resource density of 20.40 kg/km² in autumn being the highest, and 10.09 kg/km² in summer being the lowest, which was more than twice that of summer. The *Oratosquilla oratoria* resources were mainly distributed on the offshore side of the island chain formed by Zhoushan island-Qushan island-Sijiaoshan-Huaniao Mountain, while the distribution of the *Oratosquilla oratoria* was relatively small on the coastal side near the mouth of Hangzhou Bay. The center of gravity of its resource density was located at a water depth of 30–40 m, and the overall trend was from south to north, from outside to inside. The average body mass of *Oratosquilla oratoria* individuals showed the order of summer>winter>spring>autumn, and no significant difference was observed in body mass between different seasons. GAM model analysis showed that season, bottom salinity, and bottom chlorophyll significantly affected the resource density of *Oratosquilla oratoria*. The bottom salinity was the most significant factor affecting the distribution of *Oratosquilla oratoria*, and the average bottom salinity of *Oratosquilla oratoria* occurrence showed the trend of summer>winter>spring>autumn. This study provides technical support for revealing the spatio-temporal distribution and seasonal variation of the resource density of *Oratosquilla oratoria* in Hangzhou Bay and its adjacent waters. It also provides guidance for effectively managing and rationally utilizing *Oratosquilla oratoria* resources in this area.

Key words: Hangzhou Bay; *Oratosquilla oratoria*; resource density; spatiotemporal distribution; seasonal variation

Corresponding author: ZHOU Yongdong. E-mail: zyd511@126.com