

文章编号: 1000-0615(2019)08-1749-10

DOI: 10.11964/jfc.20181011488

山东南部近海口虾蛄空间分布特征及其季节变化

李明坤¹, 徐宾铎¹, 薛莹¹, 张崇良^{1*}, 任一平^{1,2}, 王晶¹

(1. 中国海洋大学水产学院, 山东青岛 266003;

2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东青岛 266237)

摘要: 为研究山东南部近海口虾蛄分布特征及其影响因素, 根据2016年10月, 2017年1月、5月、8月在该海域进行的底拖网调查, 利用Moran's I指数和分布重心法等分析方法, 比较分析了2016—2017年4个季节口虾蛄空间分布特征及空间自相关性。结果发现, 山东南部近海口虾蛄相对生物量各季节间差异明显, 由高至低依次为夏季>春季>秋季>冬季, 其中口虾蛄春季相对生物量为0.75 kg/h, 夏季相对生物量为3.02 kg/h, 秋季相对生物量为0.65 kg/h, 冬季相对生物量为0.22 kg/h。口虾蛄分布重心表现出明显的季节特征, 春、夏季分布重心位于水深20~30 m, 秋、冬季分布重心位于30~50 m。口虾蛄的分布在各季节均呈现显著空间正相关, Moran' I指数由高至低依次为秋季(0.34)>春季(0.30)>夏季(0.28)>冬季(0.16)。研究表明, 不同季节口虾蛄分布重心的变化可能与其繁殖习性等生活史特征有关, 而分布的空间聚集性可能与口虾蛄偏好淤泥质粉砂和砂-粉砂-黏土的底质环境相关。

关键词: 口虾蛄; 空间自相关; Moran's I指数; 山东近海

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

口虾蛄(*Oratosquilla oratoria* de Haan, 1844)隶属于软甲纲(Malacostraca)、十足目(Stomatopoda)、虾蛄科(Squillidae)、口虾蛄属(*Oratosquilla*), 是暖温性、大型经济甲壳类, 广泛分布于渤海、黄海、东海、南海和日本近海等海域^[1]。由于口虾蛄个体较大、经济价值较高, 20世纪80年代唐启升等^[2]提出应充分开发利用山东近海口虾蛄资源。21世纪初, 口虾蛄已成为山东近海渔业的高产渔获种类, 捕捞产量约8.24万t^[3]。近年来, 由于捕捞作业规模的不断扩大以及行之有效的管理和保护政策的缺失, 口虾蛄捕捞产量逐年下降, 2016年山东近海口虾蛄捕捞产量约为5.41万t, 较2011年捕捞产量6.17万t有显著下降^[4-5]。因此, 深入认识口虾蛄种群动态, 掌握其空间分布规律, 是科学管理和维持资源可持续利用的基础。

本实验聚焦于口虾蛄的空间分布特征分

析。在空间分布中, 位置越接近的点相应的变量也可能越相近, 这种现象称为空间自相关^[6], 空间自相关分析能更有效地利用距离和位置等空间结构特征分析和研究空间数据^[7-8], 在渔业资源评估与监测领域已得到越来越广泛的应用。对于口虾蛄, 以往空间分布研究多采用传统统计方法, 如潘国良等^[9]运用生物量重心法研究了浙江南部近海口虾蛄的时空分布, 刘修泽等^[10]和吴强等^[11]运用Pearson相关分析分别研究了辽东湾和莱州湾口虾蛄的空间资源分布状况, 关于口虾蛄空间自相关特征的研究较少。

口虾蛄是一种具有移动性、动态特征明显的海洋生物资源, 研究其空间自相关特征可以展示其空间集聚状态、集聚分布范围等生物种群结构上更深层的信息^[12]。因此, 本实验根据山东南部近海渔业资源调查数据, 采用分布重心法分析口虾蛄空间分布季节变动规律, 利用

收稿日期: 2018-10-13 修回日期: 2019-01-21

资助项目: 国家自然科学基金(31802301; 31772852)

通信作者: 张崇良, E-mail: Zcl.0903@163.com

Moran's I指数和Moran散点图研究山东南部近海口虾蛄空间自相关特征,揭示口虾蛄资源分布特征,以期为口虾蛄保护和管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

口虾蛄相对生物量数据来自于2016—2017年4个季节在山东南部海域进行的渔业资源及环境调查。调查区域为35°~37°N、124°E以西的海域,基本覆盖了口虾蛄主要栖息水深范围。调

查海域共设置63个采样站位(图1),使用功率为220 kW采样底拖网渔船,拖网网具网口高度约7.53 m,宽约15 m,囊网网目大小为17 mm。拖网调查均在白天进行,每站拖网时间为1 h,拖速为3.0 kn。同步使用CTD(型号为CTD75M/1167)测量各站位水温、水深等环境数据(表1)。本研究将调查海域底质类型分为淤泥质粉砂、砂-粉砂-黏土、粉砂质粘土等,相关数据均来自于文献[13]。网获生物量依据拖网时间1.0 h和拖速为2.0 kn进行标准化,得到口虾蛄相对生物量(单位kg/h)。调查及样品分析均依照《海洋渔业资源调查规范》(SC/T 9403-2012)等进行^[14]。

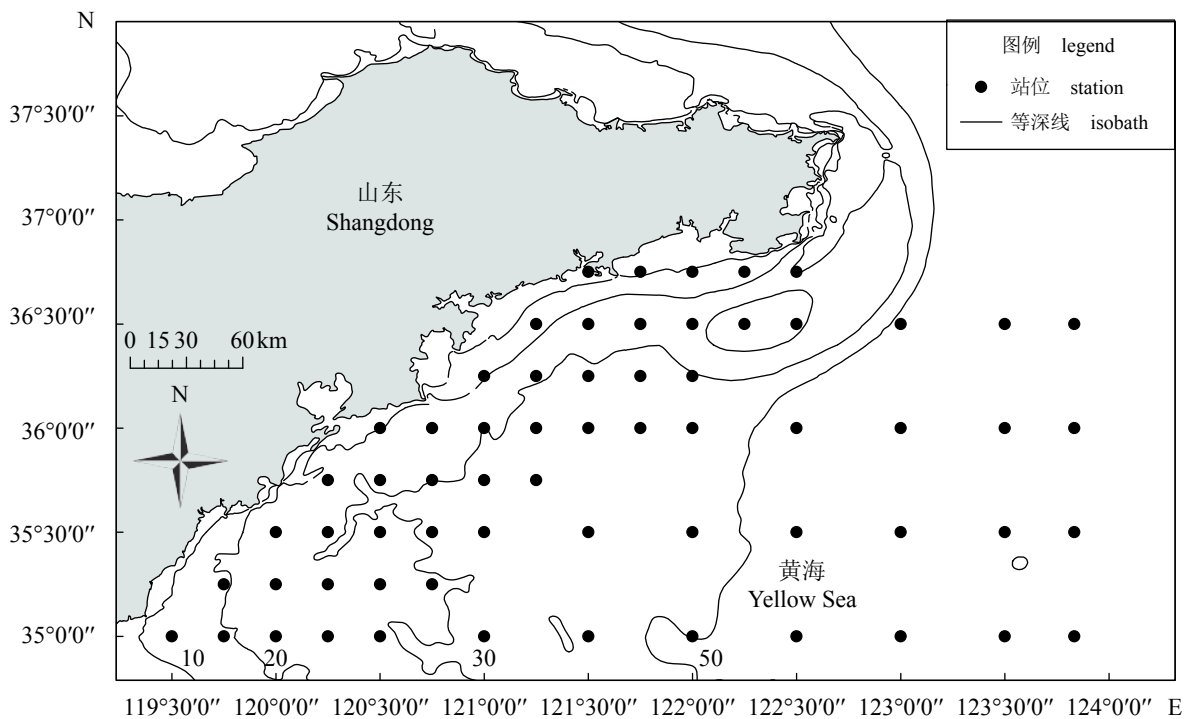


图1 山东南部海域渔业资源与环境调查站位

图中各点表示拖网取样站位,加粗数字表示等深线水深(m)

Fig. 1 Fishery resources and environmental survey stations in the southern coastal waters of Shandong

Each point in the figure indicates a trawl station and the bolded numbers represent depth (m) of the isobaths

1.2 分布重心计算方法

利用Garrison分布重心法计算口虾蛄空间分布重心的经纬度。计算公式如下^[15]:

$$\overline{lon} = \frac{\sum_{i=1}^n lon_i x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (1)$$

$$\overline{lat} = \frac{\sum_{i=1}^n lat_i x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (2)$$

(1)(2)式中, \overline{lon} 和 \overline{lat} 分别为分布重心的经度和纬

度, lon_i 和 lat_i 分别为第*i*个站位的经度和纬度, x_i 是口虾蛄在第*i*个站位的相对生物量, n 为站位数,依次计算4个季节口虾蛄的分布重心并绘制重心分布图。

1.3 空间自相关分析

Moran's I指数(全局自相关分析) 空间自相关分析最早起源于生物计量学研究^[16],反映了某些属性值在不同区域之间的空间依赖性,

表 1 山东南部近海调查站位经纬度及底质类型

Tab. 1 Longitude, latitude, sediment types of survey sites in southern coastal waters of Shandong Province

站位 sites	经度 longitude	纬度 latitude	底质类型 sediment types	站位 sites	经度 longitude	纬度 latitude	底质类型 sediment types
1	119.50	35.00	MFS	33	121.50	35.50	SS
2	119.75	35.25	MFS	34	121.50	35.00	MFS
3	119.75	35.00	SS	35	121.75	36.75	MS
4	120.00	35.50	SS	36	121.75	36.50	SC
5	120.00	35.25	SS	37	121.75	36.25	MS
6	120.00	35.00	SS	38	121.75	36.00	SC
7	120.25	35.75	SSC	39	122.00	36.75	MS
8	120.25	35.50	SS	40	122.00	36.50	MS
9	120.25	35.25	SS	41	122.00	36.25	MS
10	120.25	35.00	SS	42	122.00	36.00	SSC
11	120.50	36.00	SSC	43	122.00	35.50	SSC
12	120.50	35.75	SSC	44	122.00	35.00	SSC
13	120.50	35.50	SSC	45	122.25	36.75	MS
14	120.50	35.25	SSC	46	122.25	36.50	MS
15	120.50	35.00	SS	47	122.50	36.75	MS
16	120.75	36.00	MS	48	122.50	36.50	MS
17	120.75	35.75	SSC	49	122.50	36.00	SC
18	120.75	35.50	SSC	50	122.50	35.50	SC
19	120.75	35.25	SS	51	122.50	35.00	SC
20	121.00	36.25	MS	52	123.00	36.50	MS
21	121.00	36.00	MS	53	123.00	36.00	SC
22	121.00	35.75	SSC	54	123.00	35.50	SC
23	121.00	35.50	SS	55	123.00	35.00	SC
24	121.00	35.00	SS	56	123.50	36.50	SSC
25	121.25	36.50	MS	57	123.50	36.00	SC
26	121.25	36.25	MS	58	123.50	35.50	SC
27	121.25	36.00	MS	59	123.50	35.00	SC
28	121.25	35.75	SS	60	123.83	36.50	SSC
29	121.50	36.75	MS	61	123.83	36.00	SC
30	121.50	36.50	SC	62	123.83	35.50	SC
31	121.50	36.25	MS	63	123.83	35.00	SC
32	121.50	36.00	SSC				

注: MFS代表中细砂, SS代表粉砂质砂, SSC代表砂-粉砂-黏土, MS代表淤泥质粉砂, SC代表粉砂质黏土

Note: MFS indicates middle fine sand, SS indicates silty sand, SSC indicates sand-silt-clay, MS indicates muddy silt, and SC indicates silt clay

各区域之间属性值并不相互独立。本实验利用 Moran's I 指数表示空间自相关性, Moran's I 指数

即标准化空间自协方差(standardized spatial autocovariance), 该指数基于生物现象的地理分析,

将一维空间概念的相关系数推广到二维空间^[17]。其计算公式如下^[18]：

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (3)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (5)$$

式(3)中, I 为Moran's I 指数, n 为站位数, x_i 为第 i 个站位的观测值(本文中即口虾蛄相对生物量), \bar{x} 为观测值的平均值, S^2 为观测值的方差; W_{ij} 为空间权重变量, 为站位 i 与 j 之间的空间权重, 若站位 i 和 j 相邻, 则满足反权重函数 $W_{ij} = 1/d^2$ (d 为两站位之间的距离), 否则 $W_{ij} = 0$ 。

Moran's I 的取值范围是 $[-1, 1]$ 。当 $I > 0$ 时, 表示空间正相关, 即口虾蛄相对生物量在空间上呈现正相关关系, 趋于集聚; 当 $I < 0$ 时, 表示空间负相关, 即各个站位与邻近站位的口虾蛄相对生物量呈现负相关关系, 趋于离散; 仅当 $I = 0$, 表示空间不相关, 即各个站位口虾蛄相对生物量在空间上相互独立, 随机分布。

利用标准化计量 Z 检验全局Moran's I 的显著性^[19], 其计算方法如下:

$$Z = I - E[I] / \sqrt{VAR[I]} \quad (6)$$

式中, $E[I]$ 为空间自相关系数 I 的数学期望, $VAR[I]$ 为其方差, 计算公式如下:

$$E[I] = -1/(n-1) \quad (7)$$

$$VAR[I] = E[I^2] - E[I]^2 \quad (8)$$

根据计算出的 Z 统计量, 对本研究中零假设 H_0 (n 个区域单元的属性值之间不存在空间自相关)进行显著性检验, 检验所有63个站位口虾蛄相对生物量之间是否存在空间相关, 即全局自相关性。

Moran散点图(局部自相关分析) 以 (x, \mathbf{W}_x) 为坐标轴的Moran散点图, 是空间滞后变量 \mathbf{W}_x 和自变量 x 的可视化二维图示^[20] 常用来研究局部属性值的空间不稳定性和局域空间自相关性。其中, \mathbf{W} 是行标准化空间权重矩阵, 空间滞后变量 \mathbf{W}_x 是每一个区域单元相邻单元的观测值 x 的加

权平均。Moran's I 的值在形式上等于 \mathbf{W}_x 对 x 的线性回归斜率系数。本研究中, 各图横轴对应口虾蛄标准化相对生物量, 纵轴对应空间滞后变量 \mathbf{W}_x 。

Moran散点图的4个象限, 分别对应4种类型的局域空间联系形式: 第一象限HH表示高观测值区域被同为高值的区域包围; 类似的, 第二、第三、第四象限分别表示低值区域被低值区域包围、高值区域被低值区域包围、低值区域被高值区域包围的空间联系形式。其中, 第一象限高值聚集站位对渔业资源的利用有着重要意义。本实验利用DIFFI准则、库克距离、协方差比和帽子矩阵对角线距离判定空间分布的强影响点^[21], 即本实验中的高相对生物量站位。其原则为DFIT绝对值越大, 影响效应越强; 协方差比越远离1, 影响效应越强; 库克距离越大, 影响效应越强; 帽子矩阵对角线距离越大, 影响效应越强。

本实验运用协方差分析(analysis of covariance, ANCOVA)^[22], 利用站位间距和邻近关系计算空间权重矩阵, 结合口虾蛄相对生物量计算全局空间自相关指数并绘制Moran散点图, 以此判断口虾蛄空间聚集状态和相对生物量聚集区域。Moran's I 指数的计算及检验、Moran散点图的绘制在R软件(R3.5.1)中利用spdep程序包^[23]完成。山东南部近海口虾蛄分布图和调查站位分布图利用Surfer及ArcGIS软件完成绘制。

2 结果

2.1 口虾蛄资源的空间分布

山东南部近海口虾蛄相对生物量表现出明显的季节差异(图2)。4季平均相对生物量为1.16 kg/h, 其中口虾蛄春季相对生物量为0.75 kg/h, 夏季为3.02 kg/h, 秋季为0.65 kg/h, 冬季为0.22 kg/h, 由高至低依次为夏季>春季>秋季>冬季。口虾蛄4季空间分布模式相似, 均集中分布于西北部海域, 即122°E以西, 35.5°N以北30 m以浅海域, 在50 m以深海域中, 口虾蛄相对生物量均较低。

2.2 口虾蛄分布重心

口虾蛄分布重心在空间上呈现由春季至冬季, 整体向南偏移的趋势(图3)。从经度变化来看, 口虾蛄分布重心的经度由春季至冬季分别为121.79°N、121.46°N、121.68°N和121.56°N, 相邻季节经度偏差分别为0.33°、0.22°、0.12°, 偏

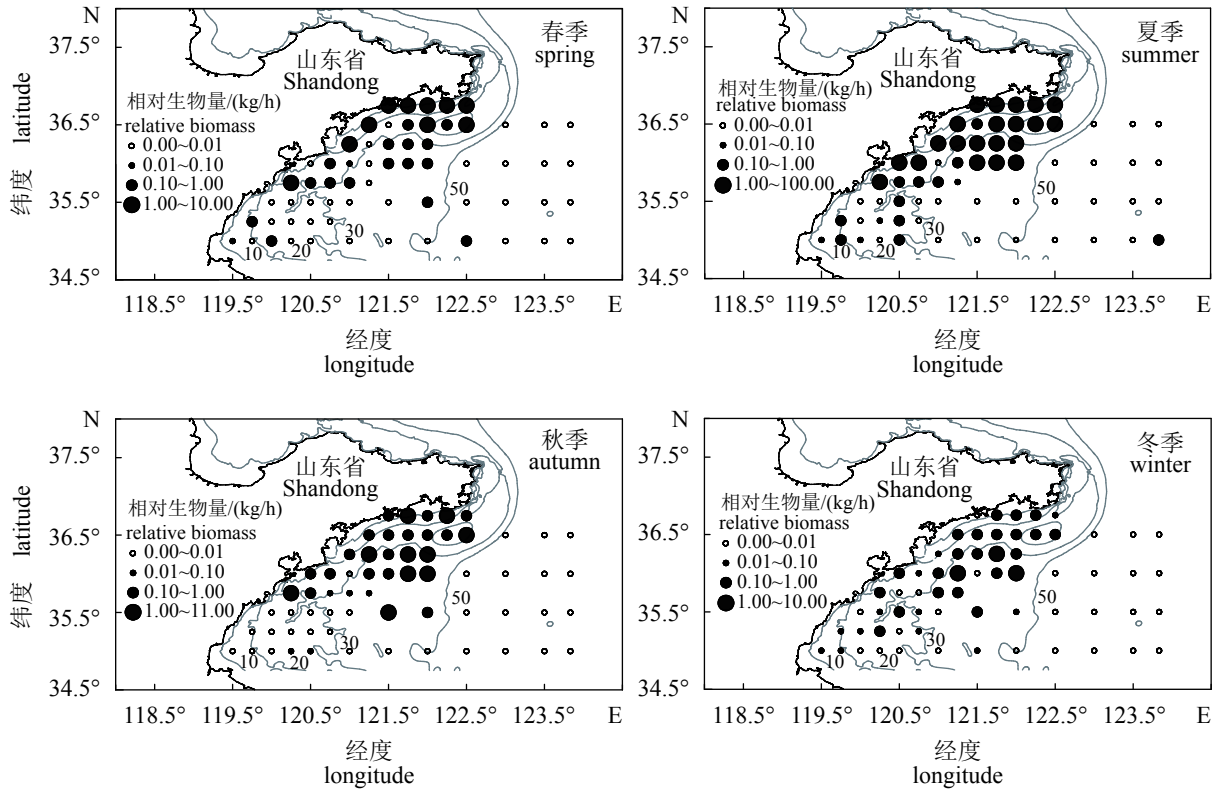


图2 山东南部海域口虾蛄各季节空间分布

Fig. 2 Seasonal spatial distribution of *O. oratoria* in southern coastal waters of Shandong

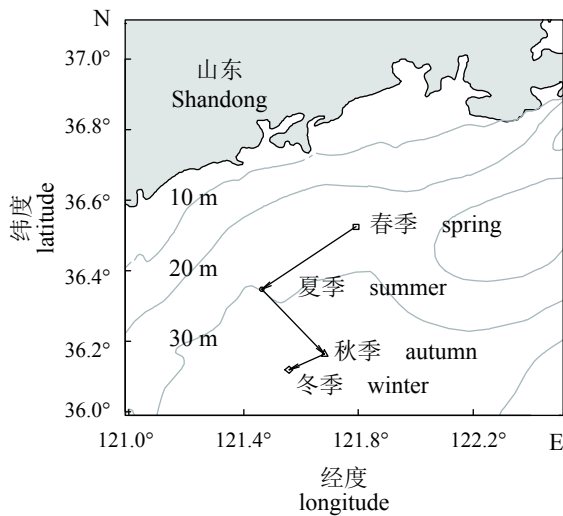


图3 山东南部海域口虾蛄各季节分布重心

Fig. 3 Seasonal center of gravity of *O. oratoria* in the southern coastal waters of Shandong

移范围较小。从纬度变化来看, 口虾蛄分布重心的纬度由春季至冬季分别为36.52°E、36.35°E、36.16°E和36.12°E, 相邻季节纬度偏差分别为0.17°、0.19°、0.04°, 分布重心纬度随时间推移不断降低, 至冬季最低。口虾蛄分布重心整体

上呈现出春夏季离岸较近、秋冬季离岸较远的分布模式。

2.3 全局Moran's I指数

根据2016—2017年4季口虾蛄相对生物量分布的全局空间自相关分析(表2), Moran's I指数在春季为0.30, 夏季为0.28, 秋季为0.34, 冬季为0.16, 均大于0; 4个季节Moran's I指数的P值均小于0.01, 即显著空间正相关。该结果表明口虾蛄在4个季节均趋于集聚分布, 空间集聚性由高至低依次为秋季>春季>夏季>冬季。

2.4 Moran散点图分析

根据4个季节的Moran散点图(图4), 本实验识别了口虾蛄空间分布的强影响点(表3)并分析了其与底质类型的关系: 其中春季高值聚集站位为29、35、39、45、47、48, 各站位相对生物量分别为1.14、9.92、3.50、7.04、7.03和1.46, 各站位底质类型均为淤泥质粉砂(表1); 夏季高值聚集站位为20、25、26, 各站位相对生物量分别为6.15、20.1和5.24 kg/h, 各站位底质类型均为淤泥质粉砂; 秋季高值聚集站位为37、38、41、42, 各站位相对生物量分别为6.84、10.37、1.53

表 2 山东南部近海各季节全局Moran's I指数

Tab. 2 Seasonal global Moran's I index in the southern coastal waters of Shandong Province

季节 seasons	莫兰指数 Moran's I index	方差 variance	标准偏差 standard deviate	P
春季 spring	0.30	5.13×10^{-3}	4.44	<0.01
夏季 summer	0.28	3.35×10^{-3}	5.22	<0.01
秋季 autumn	0.34	4.19×10^{-3}	5.46	<0.01
冬季 winter	0.16	5.02×10^{-3}	2.42	<0.01

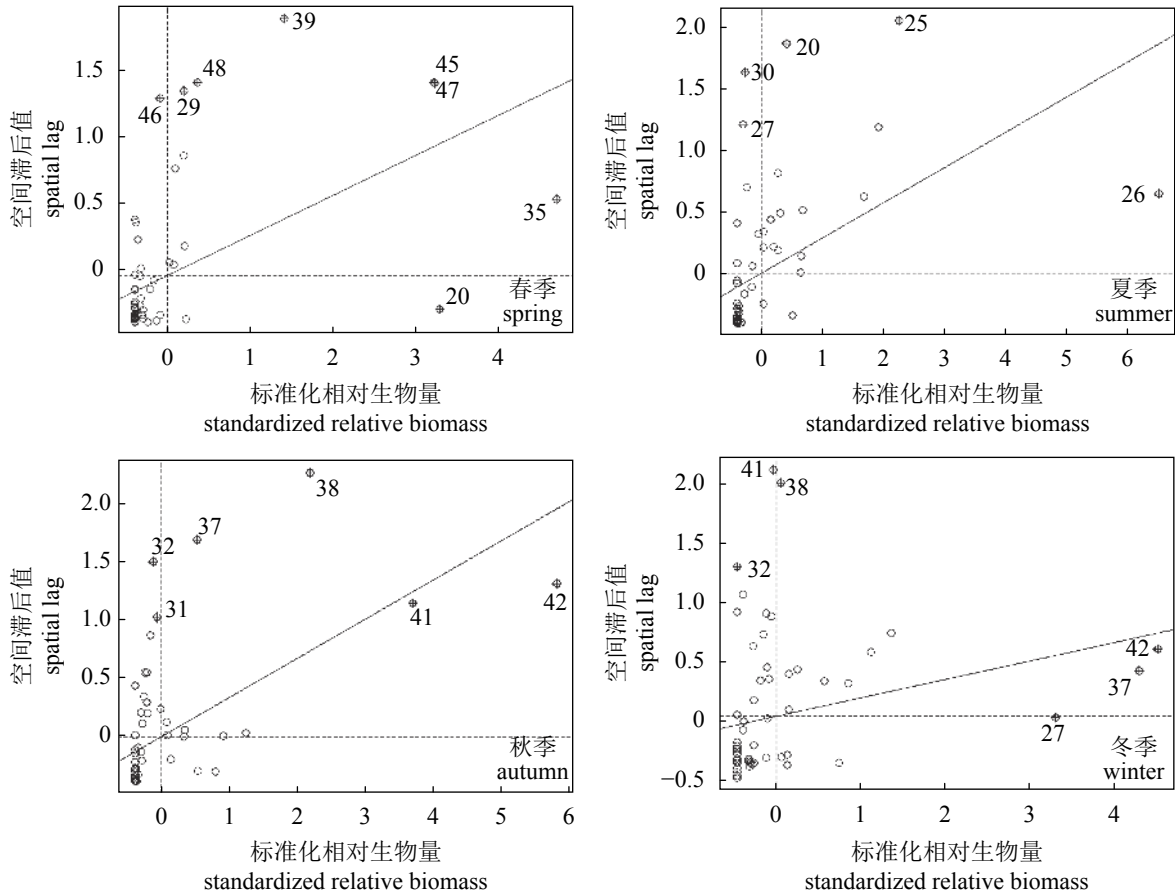


图 4 山东南部海域四季标准化相对生物量Moran散点图

Fig. 4 Seasonal Moran scatterplots for standardized relative biomass in the southern coastal waters of Shandong

和4.31 kg/h, 各站位底质类型分别为淤泥质粉砂、砂-粉砂-黏土、淤泥质粉砂、砂-粉砂-黏土; 冬季高值聚集站位为37、38、42, 各站位相对生物量分别为2.22、0.24、2.32 kg/h, 各站位底质类型分别为淤泥质粉砂、砂-粉砂-黏土和砂-粉砂-黏土。

3 讨论

3.1 口虾蛄相对生物量的季节差异

本研究表明, 山东南部近海口虾蛄主要分

布于50 m以浅海域, 相对生物量在夏季明显高于其他3个季节。该结果与以往研究较为一致, 如相关研究表明, 口虾蛄主要分布在5~60 m的浅海海域^[24], 谷德贤等^[25]发现2009年天津海域口虾蛄相对生物量为8月(夏季)>10月(秋季)>5月(春季)>12月(冬季), 吴强等^[11]发现2011年莱州湾相对生物量月间变化为8月>7月>9月>10月>5月>11月>6月>4月>3月, 刘修泽等^[10]发现2014年辽东湾口虾蛄相对生物量由高至低依次为8月>9月>11月>6月。以上研究表明, 黄渤海口虾蛄相对生

表 3 各季节高值聚集站位及其指标

Tab. 3 Seasonal high-value sites surrounded by high-value sties and indicators

季节 seasons	站位 sites	DFFIT准则 DFFIT measure	协方差比 covariance ratio	库克距离 Cook's distance	帽子矩阵对角线距离 diagonal of hat matrix
春季 spring	29	0.38	0.80*	0.06	0.02
	35	-1.75*	1.39*	1.43*	0.37*
	39	0.78*	0.75*	0.26	0.05
	45	0.51	1.22*	0.13	0.18*
夏季 summer	47	0.52	1.22*	0.13	0.18*
	48	0.42	0.80*	0.07	0.02
	20	0.51	0.70*	0.11	0.02
	25	0.99*	0.86*	0.44	0.10*
秋季 autumn	26	-7.47*	1.70*	20.50*	0.70*
	37	-0.13	1.35*	0.01	0.24*
	38	-2.38*	2.03*	2.67*	0.56*
	41	0.51	0.73*	0.11	0.02
冬季 winter	42	1.19*	0.75*	0.59	0.09
	37	0.47	1.49*	0.08	0.31
	38	0.51	0.69*	0.09	0.38
	42	-0.21	1.57*	0.02	0.34*

注: 标*号指标代表对应站位为空间分布模式的强影响点

Notes: Sites with indicators marked by asterisk designate strong influential observations of spatial distributional pattern

物量的季节变化基本符合夏季>秋季>春季>冬季这一规律, 该变化规律可能是由口虾蛄生活史特征和渔业活动等多种因素共同决定的。夏季相对生物量较高可能是由于口虾蛄上一年新生个体经过春季快速生长, 成为补充群体。此外, 口虾蛄是黄渤海小型底拖网、定置网和流刺网的主要捕捞对象, 由于伏季休渔的限制, 禁渔期捕捞强度下降, 口虾蛄相对生物量也可能有较大的上升。相应的, 春秋季分别处于禁渔期前后, 口虾蛄受较高捕捞强度影响, 相对生物量有所降低。冬季, 口虾蛄处于越冬期, 由于交配期后雌性个体大量死亡和口虾蛄的掘穴越冬习性^[26], 可能导致口虾蛄相对生物量较低。

3.2 口虾蛄的分布重心及空间集聚性

本研究中口虾蛄分布重心在调查海域内随季节更替逐渐移动, 由夏季至秋季有明显向深水移动的现象, 但全年分布重心经度和纬度偏移范围不超过1°, 表明黄渤海口虾蛄是地方性渔业资源, 季节间在深浅水区作短距离洄游。

春、夏季节间口虾蛄分布重心的经度变化约为0.33°, 离岸距离相近, 基本位于水深20~30 m范围内。这可能与口虾蛄春、夏季在近岸浅海觅食以补充越冬期损失的能量、产卵有关。在秋季, 口虾蛄分布重心向南移动, 与夏季相比分布水深移动至30 m以深, 可能是由于秋季处于口虾蛄交配期末期, 较早完成交配的口虾蛄集群向深水区索饵觅食。在冬季, 口虾蛄分布重心继续向南偏移, 趋向于在更低纬度的适温深水区越冬。

需要注意的是, 本研究中口虾蛄聚集区域虽然存在空间上的变化, 但集中分布于淤泥质粉砂底质, 仅秋、冬季少数高值聚集站位分布于砂-粉砂-黏土底质。这与一些研究结果并不一致, 如许莉莉等^[27]发现海州湾口虾蛄的空间分布与底质类型密切相关, 口虾蛄主要栖息在包括砂、砂-粉砂-黏土和黏土质砂等类型的底质中。该差异可能与调查海域不同有关, 海州湾的调查范围相比于山东南部近海较小, 底质类型在小尺度下更为复杂; 而山东南部近海则是以淤泥质滩涂为代表的海域, 底质类型异质性强,

对口虾空间分布的影响不明显。

3.3 各季节全局Moran'I指数

生物分布的不均匀性是渔业资源分布的一种普遍现象,不同海域之间由于自然条件、饵料资源、海流更迭等差异,导致了渔业资源分布的异质性。地理学第一定律(Tobler's first law of geography)指出:任何事物都相关,只是相近的事物关联更紧密,在一定程度上,几乎所有空间数据都具有空间自相关特征。本研究中口虾空间分布呈现明显的自相关特征,4个季节口虾分布均为显著空间正相关,但各季节间口虾集聚程度存在差异,这可能与口虾季节性生活史特征有关。春季全局Moran' I指数为0.30,口虾的空间集聚可能受繁殖习性影响,王波等^[28]认为口虾的繁殖期为4—9月,5—7月为其繁殖盛期,各地存在略微的差异。Kodama等^[29]认为日本口虾繁殖期为4—9月,并且存在两个产卵高峰期,其中大部分大个体口虾5月份左右产卵,小个体口虾8月份左右产卵。因此本研究春季调查大致对应口虾繁殖盛期,此时大批口虾在近岸浅海处聚集产卵,故集聚性较强。口虾夏季全局Moran's I指数为0.28,较春季略有下降。此时,口虾相对生物量达到4季中的峰值,但繁殖盛期5—7月已过,众多个体分散摄食,同时产卵后雌性个体大量死亡^[30],空间集聚性降低。口虾秋季全局Moran's I指数为0.34,空间集聚达到四季中最高值。这可能是由于口虾交配季节一般在9月底至10月,雌雄个体成群聚集交配。口虾冬季全局Moran's I指数为0.16,为全年最低值。此时,口虾处在越冬期,摄食不活跃,摄食强度较低,且由于其越冬期掘穴的生活特性,种群空间分布可能更为分散,虽然整体上表现出空间正相关,但空间集聚性下降。

3.4 结语

本研究利用Moran's I指数等分析方法,解析口虾资源空间分布特征,研究结果可将海域合理地划分成管理单元,为预测口虾空间分布模式,针对性的捕捞和资源保护提供依据。特别是近年来随着捕捞压力增大,许多主要经济鱼类资源均出现衰退,而口虾属于生命周期相对较短、繁殖力强、生长迅速、资源补充快、恢复力强的渔业资源,具有很大的资

源潜力,未来的捕捞应该重视对口虾的合理开发,避免重蹈覆辙,如中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)由于缺乏针对性的保护策略,产卵亲虾数量锐减乃至资源濒临枯竭。因此,结合山东近海口虾的栖息分布和生物学特征,划定季节性捕捞和保护区,对口虾资源的保护和长期利用具有十分重要的意义。今后研究需要根据不同物种的生物学习性和繁殖特性,结合环境数据和更为完善的空间分析方法,研究多种物种间的空间自相关模型并探讨其关键生物因子和环境因子,以期资源的可持续利用提供依据。

参考文献:

- [1] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 654-660.
Liu R Y. Checklist of marine biota of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008: 654-660 (in Chinese).
- [2] 唐启升, 叶懋中. 山东近海渔业资源开发与保护[M]. 北京: 农业出版社, 1990: 167-179.
Tang Q S, Ye M Z. Exploitation and protection of inshore fishery resources in Shandong province[M]. Beijing: Agriculture Press, 1990: 167-179 (in Chinese).
- [3] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴2006[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 9.
The People's Republic of China Ministry of Agriculture, Fisheries Bureau. China fishery statistical yearbook 2006[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 9 (in Chinese).
- [4] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴2012[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 39.
The People's Republic of China Ministry of Agriculture, Fisheries Bureau. China fishery statistical yearbook 2012[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2012: 39 (in Chinese).
- [5] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴2017[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017: 58.
The People's Republic of China Ministry of Agriculture, Fisheries Bureau. China fishery statistical yearbook 2017[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017: 58 (in Chinese).
- [6] Miller H J. Tobler's first law and spatial analysis[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2004, 94(2): 284-289.
- [7] 都煜, 徐宾铎, 薛莹, 等. 海州湾日本枪乌贼和短蛸空

- 间结构的季节变化[J]. 水产学报, 2017, 41(12): 1888-1895.
- Du Y, Xu B D, Xue Y, *et al.* Seasonal variations of spatial structure of Japanese squid (*Loligo japonica*) and octopus (*Octopus ochellatus*) in Haizhou Bay[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(12): 1888-1895(in Chinese).
- [8] Xu L L, Chen X J, Guan W J, *et al.* The impact of spatial autocorrelation on CPUE standardization between two different fisheries[J]. *Journal of Oceanology and Limnology*, 2018, 36(3): 973-980.
- [9] 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.
- 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(in Chinese).
- [10] 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.
- 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(in Chinese).
- [11] 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.
- 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(in Chinese).
- [12] 袁兴伟, 刘尊雷, 金艳, 等. 基于空间自相关的东海带鱼聚集特征年代际变化[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(10): 3409-3426.
- Yuan X W, Liu Z L, Jin Y, *et al.* Inter-decadal variation of spatial aggregation of *Trichiurus japonicus* in East China Sea based on spatial autocorrelation analysis[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(10): 3409-3426.
- [13] Li G X, Li P, Liu Y, *et al.* Sedimentary system response to the global sea level change in the East China Seas since the last glacial maximum[J]. *Earth-Science Reviews*, 2014, 139: 390-405.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 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, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Specifications for oceanographic survey-Part 6: Marine biological survey GB/T 2763.6-2007[S]. Beijing: China Standard Press, 2008 (in Chinese).
- [15] Garrison L P. Spatial patterns in species composition in the Northeast United States continental shelf fish community during 1966-1999[C]. Proceedings of Spatial Processes and Management of Marine Populations. Alaska: University of Alaska Sea Grant, 2001: 513-559.
- [16] Cliff A D, Ord K. Spatial autocorrelation: a review of existing and new measures with applications[J]. *Economic Geography*, 1970, 46(S1): 269-292.
- [17] Cliff A D, Ord K. Testing for spatial autocorrelation among regression residuals[J]. *Geographical Analysis*, 1972, 4(3): 267-284.
- [18] Dormann C F. Effects of incorporating spatial autocorrelation into the analysis of species distribution data[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2007, 16(2): 129-138.
- [19] Zhang T L, Lin G. Identification of local clusters for count data: a model-based Moran's *I* test[J]. *Journal of Applied Statistics*, 2008, 35(3): 293-306.
- [20] Anselin L. Local indicators of spatial association—LISA[J]. *Geographical Analysis*, 1995, 27(2): 93-115.
- [21] Laurent T, Villa-Vialaneix N. Using spatial indexes for labeled network analysis[J]. *Information Interaction Intelligence*, 2011, 11(1): 1-21.
- [22] Fisher R A. Statistical methods for research workers[M]. 12th ed. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1954.
- [23] Anselin L. Spatial processes, models and applications[J]. *Economic Geography*, 1983, 59(3): 322-325.
- [24] 金显仕, 程济生, 邱盛尧, 等. 黄渤海渔业资源综合研究与评价[M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 350-357.
- Jin X S, Cheng J S, Qiu S Y, *et al.* Integrated research and evaluation on fisheries resources in Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Beijing: Ocean Press, 2006: 350-357 (in Chinese).
- [25] 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.
- 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(in Chinese).

- [26] 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(3): 58-64.
Wang C L, Ye X Y, Ding A X, *et al.* Studies on reproductive biology and breeding technology of Squilla[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2002(3): 58-64(in Chinese).
- [27] 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*, 2017, 47(4): 28-36.
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(in Chinese).
- [28] 王波, 张锡烈, 孙丕喜. 口虾蛄的生物学特征及其人工苗种生产技术[J]. *黄渤海海洋*, 1998, 16(2): 64-73.
Wang B, Zhang X L, Sun P X. On biological characters and artificial seedling-rearing techniques of mantis shrimp (*Oratosquilla oratoria*)[J]. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 1998, 16(2): 64-73(in Chinese).
- [29] Kodama K, Shimizu T, Yamakawa T, *et al.* Changes in reproductive patterns in relation to decline in stock abundance of the Japanese mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* in Tokyo Bay[J]. *Fisheries Science*, 2006, 72(3): 568-577.
- [30] Kim S E, Kim H J, Bae H J, *et al.* Growth and reproduction of the Japanese mantis shrimp, *Oratosquilla oratoria* (De Haan 1844) in the coastal area of Tongyeong, Korea[J]. *Ocean Science Journal*, 2017, 52(2): 257-262.

Spatial distribution characteristics and seasonal variation of *Oratosquilla oratoria* in the southern coastal waters of Shandong Province

LI Mingkun¹, XU Binduo¹, XUE Ying¹, ZHANG Chongliang^{1*}, REN Yiping^{1,2}, WANG Jing¹

(1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology of Qingdao, Qingdao 266237, China)

Abstract: The present study analyzed the spatial distribution of *Oratosquilla oratoria* in the southern coastal waters of Shandong Peninsula based on bottom-trawl surveys in October 2016, January 2017, May 2017 and August 2017. We used center of gravity and Moran's I index to estimate the distribution center of this species, compared the seasonal differences of spatial autocorrelation, and explored the potential influential factors of the spatial patterns. This study found substantial seasonal variations in the relative biomass of *O. oratoria*, which showed the highest relative biomass of 3.02 kg/h in summer, followed by 0.75 kg/h in spring, 0.65 kg/h in autumn and 0.22 kg/h in winter. The center of gravity showed remarkable seasonal changes, with the corresponding water depth ranging from 20 m to 30 m in spring and summer and from 30 m to 50 m in autumn and winter. The distributional pattern of *O. oratoria* was relatively consistent, exhibiting significantly positive spatial autocorrelation in four seasons. Moran's I index was the highest in autumn (0.34), followed by spring (0.30) and summer (0.28), and was the lowest in winter (0.16). According to Moran's I scatterplots, we identified survey sites with strong influence on biomass concentration. The seasonal changes in spatial distribution of *O. oratoria* might attribute to its spawning activities, and the biomass concentration implied that muddy silt and sand-silt-clay were the preference of sediment types of *O. oratoria*. We discussed the implications of our results for the management of *O. oratoria* and put forward the priorities for future fisheries research on spatial analyses.

Key words: *Oratosquilla oratoria*; spatial autocorrelation; Moran's I index; coastal waters of Shandong Province

Corresponding author: ZHANG Chongliang. E-mail: Zcl.0903@163.com

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31802301; 31772852)