

文章编号: 1000-0615(2017)12-1888-08

DOI: 10.11964/jfc.20161210635

海州湾日本枪乌贼和短蛸空间结构的季节变化

都煜, 徐宾铎, 薛莹, 纪毓鹏, 任一平, 张崇良*

(中国海洋大学水产学院, 山东青岛 266003)

摘要: 日本枪乌贼和短蛸是头足类中重要的经济种类, 一般为一年生, 其空间分布受季节变化的影响较大。由于受调查时间的限制, 鲜有在该方面的研究报道。本研究根据2011年春季(5月)、秋季(9月)和冬季(12月)在海州湾及邻近海域进行的渔业资源底拖网调查数据, 运用全局空间自相关、热点分析以及变异函数等方法分析了日本枪乌贼和短蛸的空间结构的季节性变化。研究表明: ①日本枪乌贼和短蛸全局空间自相关性不强, 存在局部空间热点, 变异函数分析结果与全局空间自相关结果基本一致。②日本枪乌贼和短蛸空间自相关的尺度存在季节变化, 两个物种均表现为在春季的空间结构性较强, 而在秋、冬季的空间结构性较弱, 春季的空间自相关性程度高于秋、冬季。③在春季, 二者均在35.0°~35.5°N、120.0°~121.0°E海域存在一个空间热点, 在资源密度最高的季节时其空间分布呈现出随机性特征。物种的空间分布模式可能与环境的季节变化以及其洄游分布和摄食习性相关。本研究有利于深入了解日本枪乌贼和短蛸的生活史特性及其栖息地, 可为该资源的合理利用和保护以及后续研究提供理论参考。

关键词: 日本枪乌贼; 短蛸; 空间结构; 全局自相关性; 空间热点; 海州湾

中图分类号: S 932

文献标志码: A

近年来, 许多重要经济渔业资源处于衰退状态^[1]。头足类具有生命周期短、生长迅速的特点, 其渔业得到较快发展, 在海洋捕捞产量中占重要地位^[2]。日本枪乌贼(*Loligo japonica*)和短蛸(*Octopus ochellatus*)是主要的头足类经济种类, 广泛分布于我国黄、渤海, 具有重要的生态学和经济价值^[3]。目前, 相关研究主要涉及日本枪乌贼和短蛸的分子生物学、增养殖和产量等方面^[4-6], 对二者空间分布的研究相对较少。此外, 经典统计学常常假设空间数据相互独立, 忽略了其本身存在的一定程度的空间结构性和随机性, 因而导致结果产生偏差^[7]。地理信息系统(GIS)引入海洋渔业科学领域, 为定量解析渔业空间数据的空间自相关性和空间变异性提供了有效方法^[8-9]。空间结构研究对于深入了解渔业种群在自然海域的分布状况、生活史特征以及指导渔业生产等具有重要意义。

日本枪乌贼和短蛸一般为一年生^[10-11], 其空间分布受季节变化的影响较大。由于受限于特定的调查时间, 其空间分布研究往往忽略了空间结构的季节变化。因此, 本研究基于全局空间自相关、局部空间自相关和变异函数来研究日本枪乌贼和短蛸空间结构的季节变化, 以期为该资源的合理利用、资源养护和渔业管理策略提供理论指导。

1 材料与amp;方法

1.1 数据来源与amp;处理

本研究数据来自2011年春季(5月)、秋季(9月)和冬季(12月)在海州湾及其邻近海域进行的渔业资源与环境调查, 调查海域范围为119°20'~121°10'E、34°20'~35°40'N。本次调查采用分层随机取样^[12]方法设计调查站位, 首先按经纬度设

收稿日期: 2016-12-07 修回日期: 2017-04-11

资助项目: 海洋公益性行业科研专项(201305030); 青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科技创新计划(2015ASKJ02-05)

通信作者: 张崇良, E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn

置均匀分布的网格状采样小区, 以每10度经度、10度纬度为一个采样小区, 全海域共设置76个小区; 其次根据水深、纬度方向、海流等因素的差异, 将调查海域分为A、B、C、D、E共5个区域(图1), 每个航次在各个区域内均随机选取一定数量的站位进行调查, 其中A区3个、B区5个、C区3个、D区9个、E区4个, 共24个调查站位。渔业资源底拖网调查网具的扩张网口宽度约为25 m、高度约6 m, 囊网网目17 mm。拖速为2~3 kn, 平均每站位拖网60 min。渔获物的处理、分析按照《海洋调查规范》^[13], 各站位数据包括时间、经纬度、渔获数量、渔获质量等。数据分析前, 为了便于不同年月的比较, 将网获质量进行了拖网时间(1 h)及拖速(2 kn)单位网次渔获量的换算, 以作为日本枪乌贼和短蛸资源密度的指标。

1.2 空间分析方法

为了探讨日本枪乌贼和短蛸资源在全局空间上的分布模式, 采用全局空间自相关统计量Moran's *I*进行分析, 计算公式^[14]:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})]}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}\right) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (i \neq j)$$

式中, *n*为空间位置的个数, *x_i*、*x_j*分别为空间位

置*i*和*j*的观察值, \bar{x} 为全部观察值的平均值, *w_{ij}*为空间权重矩阵, 表示空间位置*i*和*j*的邻近关系, 当*i*和*j*空间位置相邻时, *w_{ij}*=1; 反之, *w_{ij}*=0。

全局空间自相关Moran's *I*的取值范围为[-1, 1], 该值大于0表示正相关, 小于0表示负相关, 等于0表示空间分布呈现随机分布。Moran's *I*绝对值越大表示空间分布的自相关程度越高, 表明空间分布呈聚集现象; 绝对值越小代表空间分布的自相关程度越低, 表明空间分布呈现分散格局^[15]。

利用Getis-Ord *G_i**方法分析资源分布的局部空间自相关性, 并通过克里金插值绘制日本枪乌贼和短蛸资源的热点、冷点分布图, 以直观反映其局部空间聚集或随机分布的状态。公式^[8]:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}x_j}{s \sqrt{\left[n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{ij} \right)^2 \right] / (n-1)}}$$

式中, *s*为资源密度的标准差, 其他变量意义与全局空间自相关计算公式相同。结果产生2个值: *Z*得分和显著性*P*值。当*Z*得分大于2.58或小于-2.58倍标准差, *P*<0.01, 分别表示空间热点、冷点区域; *Z*得分介于1.96~2.58或-2.58~-1.96倍标准差, *P*>0.05, 渔业资源可能存在一定的热点和冷点分布, 但不能否定随机

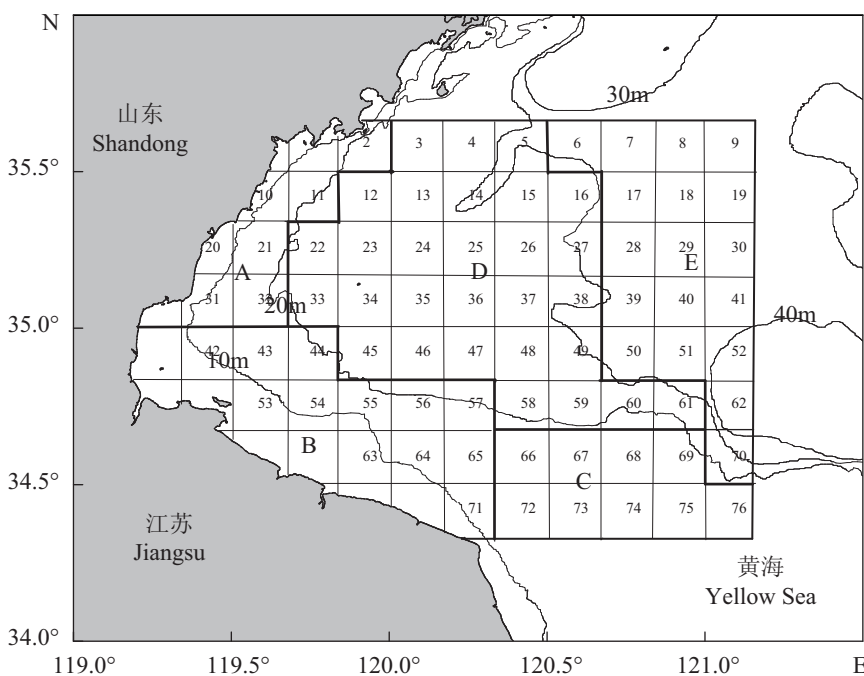


图1 海州湾及邻近海域渔业资源底拖网调查区域示意图

Fig. 1 Map of bottom trawl survey areas in Haizhou Bay and its adjacent waters

分布的可能; Z 得分介于1.65~1.96或-1.96~-1.65倍标准差, $P>0.1$, 渔业资源极大可能随机分布; Z 得分介于-1.65~1.65倍标准差时, 渔业资源在空间上随机分布^[14, 16]。

变异函数是一种有效描述空间数据的方法^[17], 本文利用变异函数研究资源密度的空间变异和空间相关特征, 对应于站位数据定义变异函数^[18]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [D(X_i) - D(X_i + h)]^2 / n$$

式中, $\gamma(h)$ 为变异函数, $D(X_i)$ 为在位置 X_i 处的资源密度, $D(X_i+h)$ 为与 X_i 相距为 h 处的资源密度, h 为站位点对间的距离, n 为所有距离为 h 的点对数。利用变异函数可以估计变程, 即资源密度具有空间自相关性的空间尺度; 空间异质比是反映空间异质性程度的重要指标^[19], 是指随机因素引起的空间异质性占系统总变异的比, 若小于25%, 则表明存在较强空间自相关; 为25%~75%, 存在中等空间自相关; 若大于75%, 则空间自相关很弱。变异函数揭示了区域化变量在整个尺度上的空间变异格局, h 的取值范围应大于最邻近的两样点间距离而不超过最大采样间隔长度的1/3~1/2^[20-22]。本研究中假定变异函数不存在各向异性, 拟合变异函数的理论模型有球面模型、指数模型、高斯模型和线性模型^[23]等。由于RSS(残差平方和)的敏感性和稳健性^[24], 因此用其来评价模型拟合程度的优劣, 一般其取值越小, 模型拟合程度越好。

空间分析方法使用ArcGIS 10.4进行。

2 结果

2.1 日本枪乌贼的空间结构

全局空间自相关 日本枪乌贼资源密度秋季最高, 为(2.71±0.81) kg/h; 冬季次之, 为(1.15±0.28) kg/h; 春季最低, 为(0.92±0.23) kg/h(图2)。秋季日本枪乌贼资源的分布呈现全局负相关(Moran's $I=-0.264$), 春、冬季为全局正相关。日本枪乌贼资源春、秋季的全局空间自相关性较弱($P>0.1$); 冬季全局空间自相关性较强($P<0.01$), 呈现空间聚集分布(Moran's $I=0.406$)(表1)。

热点分析 在研究区域内, 日本枪乌贼资源在春季存在一个热点区域, 面积较小, 分

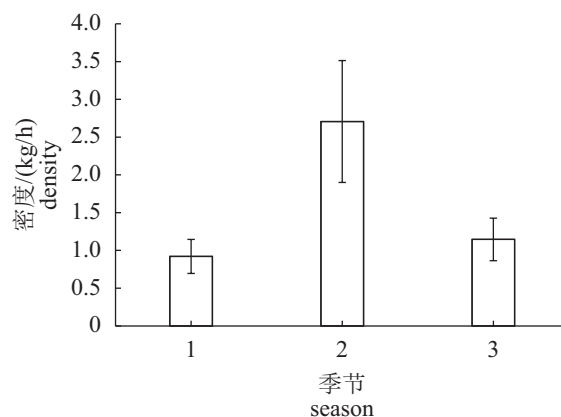


图2 日本枪乌贼资源密度的季节变化(mean±SE)

1. 春季, 2. 秋季, 3. 冬季, 下同

Fig. 2 Seasonal variations of resource density of *L. japonica*

1. spring, 2. autumn, 3. winter, the same below

表1 日本枪乌贼和短蛸空间分布的全局自相关分析
Tab. 1 Statistics about global spatial autocorrelation for resource of *L. japonica* and *O. ochellatus*

物种 species	季节 season	Global Moran's I	P
日本枪乌贼 <i>L. japonica</i>	春季 spring	0.190	0.171
	秋季 autumn	-0.264	0.118
	冬季 winter	0.406	0.004
短蛸 <i>O. ochellatus</i>	春季 spring	0.593	<0.01
	秋季 autumn	0.365	0.003
	冬季 winter	-0.096	0.690

布在35.0°~35.5°N、120.5°~121.0°E的海域; 秋季无空间热点, 表明日本枪乌贼呈随机分布状态; 冬季有2个热点区域, 其中较小的热点区域在35.0°N以南、119.5°E以西的近岸浅海海域, 较大的热点区域分布在34.9°~35.4°N、119.9°~120.2°E海域, 呈明显的南北方向分布态势。在调查海域均无冷点区域(图3)。

变异函数 日本枪乌贼各季节资源密度的变异函数曲线用球面模型和高斯模型进行拟合, 得到最优理论模型(表2)。

秋季日本枪乌贼资源变异函数理论模型的块金值最大, 表明由随机因素引起的空间变异较大。日本枪乌贼资源在春季表现出强烈的空间自相关性, 秋季的空间自相关性很弱, 冬季为中等空间自相关性。春季的变程为55 km左右, 秋、冬季的变程在100 km以上, 表明日本枪

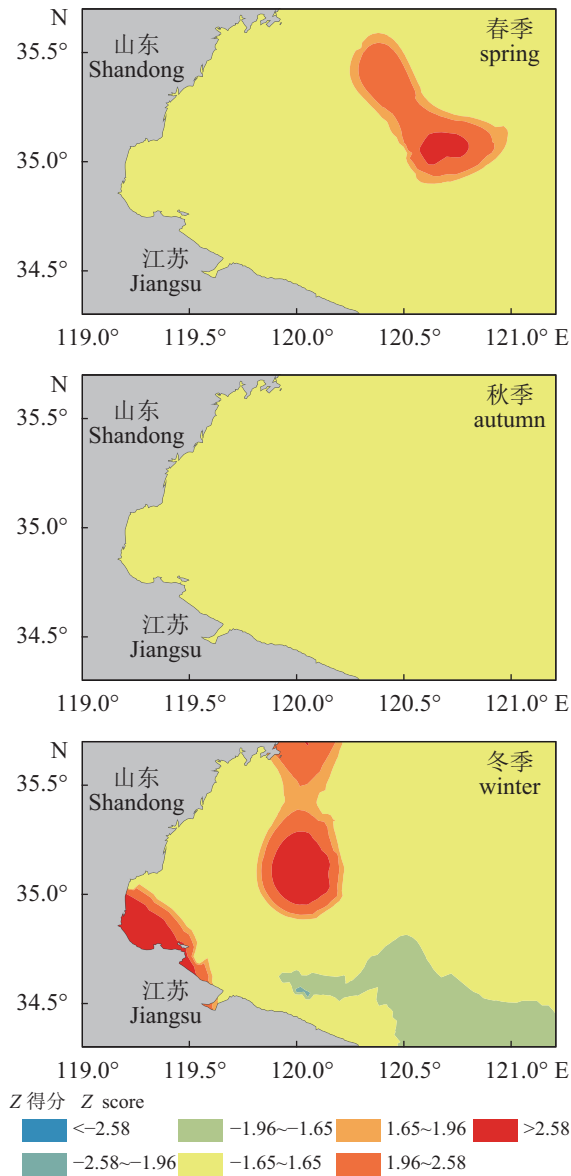


图3 日本枪乌贼资源热点分布的季节变化

Fig. 3 Seasonal variations of hot spots distribution for *L. japonica* resources

表2 日本枪乌贼和短蛸资源变异函数理论模型的有关参数

Tab. 2 Parameters of semivariogram theoretical model for *L. japonica* and *O. ochellatus*

物种 species	季节 season	理论模型 theoretical model	块金值 nugget	基台值 sill	空间异质比 nugget/sill	变程/km range	残差平方和 RSS
<i>L. japonica</i>	春季 spring	球面模型 spherical model	0.348	1.565	0.222	55.02	0.972
	秋季 autumn	高斯模型 Gaussian model	0.494	0.589	0.840	157.62	3.972
	冬季 winter	球面模型 spherical model	0.178	0.397	0.448	104.85	1.211
<i>O. ochellatus</i>	春季 spring	球面模型 spherical model	0.100	0.413	0.243	52.19	1.185
	秋季 autumn	高斯模型 Gaussian model	0.031	0.062	0.497	48.31	0.448
	冬季 winter	高斯模型 Gaussian model	0.523	0.605	0.864	121.99	3.668

乌贼资源空间自相关的尺度不稳定, 随季节变化较大。

2.2 短蛸的空间结构

全局空间自相关 短蛸资源冬季密度最高, 为(2.33±0.74) kg/h; 春季次之, 为(1.03±0.29) kg/h; 秋季最低, 为(0.36±0.11) kg/h (图4)。冬季短蛸资源的分布呈现全局负相关(Moran's $I = -0.096$); 春、秋季为全局正相关。春、秋季全局空间自相关性较强($P < 0.01$); 冬季全局空间自相关性较弱($P > 0.1$), 呈现空间分散格局(表1)。

热点分析 在研究海域内, 短蛸资源在春季有一个空间热点, 分布于35.0°~35.5°N、120.0°~120.5°E的海域, 呈现南北方向分布态势。秋季也存在一个较大的热点区域, 呈南北方向分布在35.0°N左右、119.5°E以西的近岸浅海海域。冬季无空间热点, 表现为随机分布的状态。在调查海域均无冷点区域(图5)。

变异函数 短蛸各季节资源密度的变异函数曲线用球面模型和高斯模型进行拟合, 得到最优理论模型(表2)。

在海州湾及邻近海域短蛸资源的分布空间自相关性逐渐减弱, 春季的空间自相关性较强, 秋季表现为中等空间自相关性, 冬季空间自相关性较弱。冬季的块金值较大, 由随机因素引起的空间变异增大, 导致了空间自相关程度减小。春、秋季的变程为50 km左右, 冬季的变程为121.99 km。

3 讨论

本研究采用全局空间自相关、热点分析和变异函数研究了日本枪乌贼和短蛸空间结构的

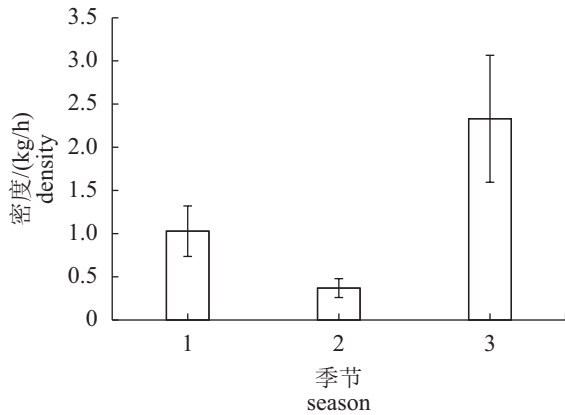


图4 短蛸资源密度的季节变化(mean±SE)

Fig. 4 Seasonal variations of resource density of *O. ochellatus*

季节变化。日本枪乌贼资源春、秋季的全局空间自相关性较弱，冬季全局自相关性较强；春、冬季存在局部热点聚集区域，秋季无空间热点存在。短蛸资源春、秋季全局空间自相关性较强，冬季空间自相关性减弱；春、秋季存在空间热点，冬季表现为随机分布模式。变异函数分析结果与全局自相关分析结果基本一致，春季的相关性程度高于秋、冬季，且空间自相关的尺度存在季节变化。总体而言，春季日本枪乌贼和短蛸资源空间结构性较强；而秋、冬季空间结构性较弱。

日本枪乌贼和短蛸空间分布特征的季节变化可能与其生活史阶段、洄游习性以及相应的环境条件有关。葛允聰等^[10]、魏臻邦^[11]研究指出日本枪乌贼和短蛸均在每年3月开始生殖洄游，亲体在近岸海域产卵后死亡，5月左右幼体在海州湾及邻近海域内生长，9—10月份以后群体进行越冬洄游。本研究表明，春季日本枪乌贼和短蛸均在35.0°~35.5°N、120.0°~121.0°E海域存在一个空间热点，这与其幼体在海州湾及邻近海域内生活习性相一致。秋、冬季，日本枪乌贼和短蛸分别出现热点和最大资源密度，这与其越冬洄游规律并不一致，可能原因：①空间热点海域的饵料生物、温度等理化环境适合其越冬所需的条件，使其在海州湾及邻近海域呈现聚集分布；②日本枪乌贼进入黄海中部34°~37°N、122°~124°E的深水海域越冬^[3]，短蛸在海州湾20~30 m水深处越冬^[25]，二者生活习性的不同使其出现热点和最大资源密度的季节不同；③二

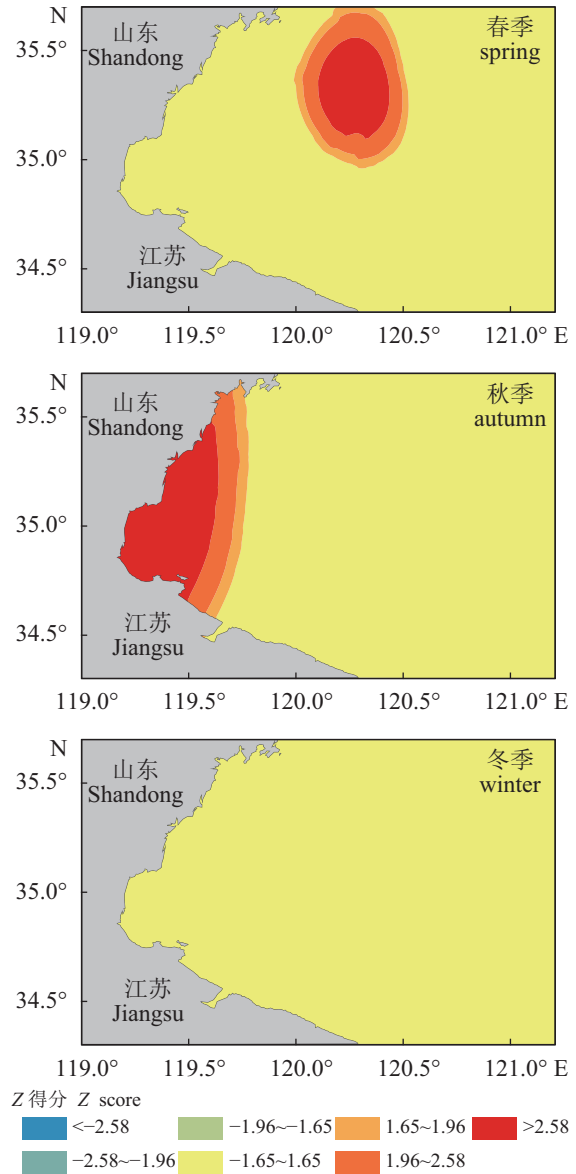


图5 短蛸资源热点分布的季节变化

Fig. 5 Seasonal variations of hot spots distribution for *O. ochellatus* resources

者的越冬洄游行动可能受到风和海流的影响^[26]，具体的原因需进一步验证与补充。

在资源密度最高的季节，日本枪乌贼和短蛸的空间分布均较为分散，空间自相关性减弱，表明该模式可能具有一定的普遍性。导致这种现象的可能原因：①日本枪乌贼和短蛸资源密度增大时，为了降低种内食物等资源的竞争，群体呈现空间分散模式；②在资源密度最高的季节，块金值增大，可能是人为捕捞活动以及环境变化等原因^[9]，破坏了其应有的空间自相关格局，从而导致空间自相关性减弱。

本研究利用多种空间分析方法定量分析了日本枪乌贼和短蛸的空间结构, 并以可视化的热点图直观有效地揭示了二者局部的空间分布模式, 为查明其空间分布规律提供了基础。同时应用多种分析方法能有效避免单一方法的局限性, 例如全局空间自相关性较弱时, 存在局部空间热点, 即全局空间自相关掩盖了局部的不稳定性^[15], 因此局部空间自相关避免了全局空间自相关的局限性。本研究中, 由于夏季调查数据有限, 未反映夏季日本枪乌贼和短蛸资源的分布状况。此外, 本次调查中两种类的数据量相对较少, 因此在用理论模型拟合变异函数时会存在一定的限制及误差。

空间热点代表资源分布密集的海域^[27], 在春季可在热点海域建立海洋保护区^[28], 保护幼体的生长, 以保证资源的补充量; 在越冬洄游时期可根据热点区域指导渔业捕捞。此外, 可结合空间热点海域的温度、盐度等环境数据查明其最适栖息地的环境条件, 并预测其栖息地在气候、饵料变化等影响下的迁移等^[29]。总而言之, 由于生物分布模式的季节变化, 加之海洋环境的变动, 短期的调查结果尚不能完全反映生物资源稳定的空间结构。因此, 需要长期的渔业生物资源监测, 以保证能有效地反映生物资源状况, 从而为制定科学合理的渔业管理策略提供依据。

参考文献:

- [1] 陈新军. 世界头足类资源及其开发利用[J]. 上海水产大学学报, 1996, 5(3): 193-200.
Chen X J. The exploitation and resources of cephalopods in the world[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 1996, 5(3): 193-200(in Chinese).
- [2] 覃涛, 俞存根, 陈全震, 等. 舟山渔场及邻近海域头足类(Cephalopod)种类组成和数量分布[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(1): 124-130.
Qin T, Yu C G, Chen Q Z, et al. Species composition and quantitative distribution study on Cephalopod in the Zhoushan fishing ground and adjacent waters[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(1): 124-130(in Chinese).
- [3] 董正之. 中国近海头足类的地理分布[J]. 海洋与湖沼, 1978, 9(1): 108-118.
Dong Z Z. On the geographical distribution of the cephalopods in the Chinese waters[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1978, 9(1): 108-118(in Chinese).
- [4] 马之明, 徐实怀, 贾晓平. 蛸类渔业概况及增养殖研究现状与展望[J]. 南方水产, 2008, 4(5): 69-73.
Ma Z M, Xu S H, Jia X P. Research status and exploitation prospect in production, basic biology and aquaculture of octopus[J]. South China Fisheries Science, 2008, 4(5): 69-73(in Chinese).
- [5] 吕国敏, 吴进锋, 陈利雄. 我国头足类增养殖研究现状及开发前景[J]. 南方水产, 2007, 3(3): 61-66.
Lü G M, Wu J F, Chen L X. Research achievements and exploitation prospect of Cephalopoda aquaculture in China[J]. South China Fisheries Science, 2007, 3(3): 61-66(in Chinese).
- [6] 严隽箕. 黄海北部日本枪乌贼的分布和渔获量[J]. 海洋湖沼通报, 1981(4): 53-56.
Yan J J. On the distribution and catches of the neritic squid *Loligo japonica* steenstrup in the northern Yellow Sea[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1981(4): 53-56(in Chinese).
- [7] Haining R. Spatial Data Analysis: Theory and Practice[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [8] 方学燕, 冯永玖, 陈新军, 等. 6-9月秘鲁外海茎柔鱼资源的空间异质性研究[J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(2): 271-281.
Fang X Y, Feng Y J, Chen X J, et al. Spatial heterogeneity of *Dosidicus gigas* in the high sea off Peru from June to September[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2016, 25(2): 271-281(in Chinese).
- [9] 苏奋振, 周成虎, 史文中, 等. 东海区底层及近底层鱼类资源的空间异质性[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 683-686.
Su F Z, Zhou C H, Shi W Z, et al. Spatial heterogeneity of demersal fish in East China Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(4): 683-686(in Chinese).
- [10] 葛允聪, 邱盛尧. 黄渤海区日本枪乌贼渔获量预报方法初探[J]. 海洋渔业, 1991, 13(2): 56-60.
Ge Y C, Qiu S Y. Preliminary consideration on the methods of forecasting the catch of Japanese squid, *Loligo japonica*, in the Yellow Sea and Bohai Sea[J]. Marine Fisheries, 1991, 13(2): 56-60(in Chinese).
- [11] 魏臻邦. 短蛸生活习性的初步观察[J]. 动物学杂志, 1966, 1(1): 26-28.

- Wei Z B. Preliminary observation of living habits of *Octopus ochellatus*[J]. Chinese Journal of Zoology, 1966, 1(1): 26-28(in Chinese).
- [12] Chen Y, Sherman S, Wilson C, *et al.* A comparison of two fishery-independent survey programs used to define the population structure of American lobster (*Homarus americanus*) in the Gulf of Maine[J]. Fishery Bulletin, 2006, 104(2): 247-255.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6-2007 海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763.6-2007 Specifications for oceanographic survey-part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: China Standards Press, 2008 (in Chinese).
- [14] 冯永玖, 杨铭霞, 陈新军. 基于Voronoi图与空间自相关的西北太平洋柔鱼资源空间聚集特征分析[J]. 海洋学报, 2014, 36(12): 74-84.
- Feng Y J, Yang M X, Chen X J. Analyzing spatial aggregation of *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific Ocean based on Voronoi diagram and spatial autocorrelation[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2014, 36(12): 74-84(in Chinese).
- [15] 张松林, 张昆. 全局空间自相关Moran指数和G系数对比研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2007, 46(4): 93-97.
- Zhang S L, Zhang K. Comparison between general moran's index and getis-ord general G of spatial autocorrelation[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2007, 46(4): 93-97(in Chinese).
- [16] Mitchell A. The ESRI Guide to GIS Analysis, Volume 2: Spatial Measurements & Statistics[M]. California: ESRI Press, 2005.
- [17] 李海滨, 王政权, 王庆成. 空间异质性定量研究理论与方法[J]. 应用生态学报, 1998, 9(6): 651-657.
- Li H B, Wang Z Q, Wang Q C. Theory and methodology of spatial heterogeneity quantification[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, 9(6): 651-657(in Chinese).
- [18] 苏奋振, 周成虎, 仇天宇, 等. 东海水域中上层鱼类资源的空间异质性[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1971-1975.
- Su F Z, Zhou C H, Zhang T Y, *et al.* Spatial heterogeneity of pelagic fishery resources in the East China Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(11): 1971-1975(in Chinese).
- [19] Zulu L C, Kalipeni E, Johannes E. Analyzing spatial clustering and the spatiotemporal nature and trends of HIV/AIDS prevalence using GIS: the case of Malawi, 1994-2010[J]. BMC Infectious Diseases, 2014, 14: 285.
- [20] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field[M]//Stewart B A. Advances in Soil Science. New York, NY: Springer, 1985: 1-70.
- [21] Rossi R E, Mulla D J, Journel A G, *et al.* Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence[J]. Ecological Monographs, 1992, 62(2): 277-314.
- [22] Matheron G. Principles of geostatistics[J]. Economic Geology, 1963, 58(8): 1246-1266.
- [23] 葛剑平, 郭海燕, 仲莉娜. 地统计学在生态学中的应用(I)——基本理论和方法[J]. 东北林业大学学报, 1995, 23(2): 88-94.
- Ge J P, Guo H Y, Zhong L M. Geostatistics in ecology (I)——basic theory and methods[J]. Journal of Northeast Forestry University, 1995, 23(2): 88-94(in Chinese).
- [24] 唐涛, 蔡庆华, 潘文斌. 地统计学在淡水生态学中的应用[J]. 湖泊科学, 2000, 12(3): 280-288.
- Tang T, Cai Q H, Pan W B. Application of geostatistics in freshwater ecology[J]. Journal of Lake Sciences, 2000, 12(3): 280-288(in Chinese).
- [25] 宋海棠, 丁天明, 徐开达. 东海经济头足类资源[M]. 北京: 海洋出版社, 2009.
- Song H T, Ding T M, Xu K D. The Resources of Economic Cephalopods in the East China Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2009 (in Chinese).
- [26] 陈新军, 刘必林, 王尧耕. 世界头足类[M]. 北京: 海洋出版社, 2009.
- Chen X J, Liu B L, Wang Y G. The Cephalopods in the World[M]. Beijing: China Ocean Press, 2009 (in Chinese).
- [27] 冯永玖, 陈新军, 杨铭霞, 等. 基于ESDA的西北太平洋柔鱼资源空间热点区域及其变动研究[J]. 生态学报, 2014, 34(7): 1841-1850.
- Feng Y J, Chen X J, Yang M X, *et al.* An exploratory spatial data analysis-based investigation of the hot spots and variability of *Ommastrephes bartramii* fishery resources in the northwestern Pacific Ocean[J]. Acta

- Ecologica Sinica, 2014, 34(7): 1841-1850(in Chinese).
- [28] Valavanis V D, Kapantagakis A, Katara I, *et al.* Critical regions: a GIS-based model of marine productivity hotspots[J]. Aquatic Sciences, 2004, 66(1): 139-148.
- [29] Palacios D M, Bograd S J, Foley D G, *et al.* Oceanographic characteristics of biological hot spots in the North Pacific: a remote sensing perspective[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2006, 53(3-4): 250-269.

Seasonal variations of spatial structure of Japanese squid (*Loligo japonica*) and octopus (*Octopus ochellatus*) in Haizhou Bay

DU Yu, XU Binduo, XUE Ying, JI Yupeng, REN Yiping, ZHANG Chongliang*

(College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: The cephalopod species, Japanese squid (*Loligo japonica*) and octopus (*Octopus ochellatus*) have important ecological and economic values in Haizhou Bay and adjacent waters. Japanese squid and octopus both spawn and nurse in the bay in early spring, and start overwintering migration from autumn. Their spatial structures vary substantially among seasons, driven by the seasonal variations of environmental changes and the monsoon climate. Studies of seasonal variations of their spatial structure contribute to understanding the distributional pattern and life-history of the two species. The spatial autocorrelation of sampling data has long been overlooked in the past. Besides, as most studies are limited by the scale of sampling time and spatial locations, the seasonal variations of spatial structure has been less studied. According to the survey data collected in spring (May), autumn (September) and winter (December) of 2011 using bottom trawls in Haizhou Bay and adjacent waters, we used multiple spatial analyses methods, including the global spatial autocorrelation, local spatial hot spots and semivariogram to examine the seasonal variations in the spatial structure of Japanese squid and octopus distribution. Our results show that the global spatial autocorrelation was weak for the two species, whereas there were strong local spatial aggregation distributions. The semivariogram analysis was consistent with global and local spatial autocorrelation, showing that the scale of spatial autocorrelation had seasonal changes of two species. The spatial structure of the two species was strong in spring and relatively weak in autumn and winter, and spatial autocorrelation in spring is more significant than that in autumn and winter. Both species showed a hot spot in the sea of 35.0°–35.5°N, 120.0°–121.0°E in spring, and there were non-cold spots area in the whole year. The spatial distribution showed non-aggregation or random pattern in the season when there was highest biomass density. The spatial distribution patterns of the two species may be related to seasonal environment changes as well as their feeding habits and the spawning and overwintering migration. This study contributes to a better understanding of the life-history traits and the distribution of suitable habitat for cephalopoda. The study provides research basis for scientific exploitation and management of the two species, which may benefit marine resources conservation and following studies.

Key words: *Loligo japonica*; *Octopus ochellatus*; spatial structure; global spatial autocorrelation; spatial hot spot; Haizhou Bay

Corresponding author: ZHANG Chongliang. E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn

Funding projects: The Public Science and Technology Research Funds Projects of Ocean (201305030); The Scientific and Technological Innovation Project Financially Supported by Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology (2015ASKJ02-05)