



南海北部海域大眼鲷空间自相关性

刘禹希^{1,2,3}, 王学锋^{2,3}, 吕少梁^{2,3}, 曾嘉维^{2,3}, 陈国宝^{1*}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东省渔业生态环境重点实验室,

中国水产科学研究院海洋牧场技术重点实验室,

农业农村部南海渔业资源环境科学观测实验站, 广东广州 510300;

2. 广东海洋大学水产学院, 广东湛江 524088;

3. 南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江), 广东湛江 524025)

摘要: 研究经济鱼类分布的空间自相关特征有助于探究种群空间分析的最适尺度, 是鱼类种群变动、资源量评估的基础内容。本研究根据 2009—2014 年渔船信息动态监测网络中的南海北部海域底拖网渔业生产数据, 利用全局空间自相关和局部空间自相关等方法, 研究了大眼鲷资源空间自相关性的动态变化, 同时采用补充增量空间自相关分析 (ISA) 提高研究结果的准确程度。结果显示: ①在整个研究海域内, 大眼鲷资源年际间分布呈低密度区域为主, 高密度区域较少的分布特征。②增量空间自相关分析表明, 大眼鲷资源在 76~87 km 的尺度范围内表现出强烈的空间自相关性, 聚集分布模式具统计学意义。③局部空间自相关分析表明, 年际间大眼鲷资源热冷点渔区分布有差异, 且资源变动较大; 热点渔区主要集中在研究海域中部 50~100 m 等深线附近, 冷点渔区则集中于 50 m 等深线附近海域。本研究引入增量空间自相关方法探究大眼鲷资源的空间自相关性, 为挖掘渔业资源时空分布特征提供了一种新思路。

关键词: 大眼鲷; 空间自相关; 增量空间自相关; 热点分析; 地理信息科学; 底拖网; 南海

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

由于长期高强度捕捞和其他人类活动的影响, 中国南海北部近海渔业资源严重衰退, 尤以 100 m 以浅海域为甚^[1]。大眼鲷 (*Priacanthus* spp.) 资源作为南海底拖网的重要捕捞对象之一, 其资源量亦承受巨大压力^[2], 故探究大眼鲷资源空间分布的格局特征, 有助于在时间和空间维度上更加有效地识别该种群管理单元, 为该种群的资源量评估、补充机制提供参考依据, 提升总体渔业管理水平^[3-5]。目前针对大眼鲷的研

究主要涉及种群的分布^[6-7]、种群判别^[8]、繁殖^[9]以及个体发育^[10]和资源评估^[11-12]等方面, 关于其空间自相关格局特征^[13]的研究较少。

掌握生物分布的空间格局是分析其生态学过程的重要步骤^[14-15]。据此, 部分学者提出, 鱼类是以个体、种群、群落的形式分布在特定空间内, 具有高度的空间自相关性^[4,16-17]; 将空间自相关分析应用于渔业生态学研究, 不仅摆脱了经典统计学因假设空间数据相互独立而产生

收稿日期: 2020-05-09 修回日期: 2020-07-29

资助项目: 南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江)资助项目(ZJW-2019-06); 农业农村部财政项目“南海海洋捕捞生产结构调查”(640)

第一作者: 刘禹希, 从事渔业资源生态学研究, E-mail: 916942526@qq.com

通信作者: 陈国宝(照片), E-mail: chengb98@163.com



的限制^[16,18-19], 还为定量解析渔业资源分布的空间自相关格局提供了新的研究思路^[18-20]。

空间自相关性与所研究区域空间范围大小密切相关的特征在实际的生态学研究尚尚未引起足够重视^[3,5,16-22]。不同的分析尺度下, 空间自相关性差异较大^[23], 而这种不同尺度下空间自相关性得出的可能自相矛盾的结果影响到渔业资源评估、种群动态学研究结果的适用范围和可信程度。空间分析过程中补充的增量空间自相关 (incremental spatial autocorrelation, ISA) 分析, 可基于空间数据值的大小及地理位置^[24-25], 探索研究对象集聚效果特征最强时的距离阈值^[23,26], 较大程度地保证了空间格局分析的精度^[27-28], 巩固了空间自相关分析结果的解释力^[29]。国外学者已分别基于 ISA 方法分析了南极磷虾 (*Euphausia superba*) 和阿拉斯加底拖网渔业资源的空间自相关格局^[30-31], 国内关于中国渔业资源的类似研究尚未见报道。

本研究采用 2009—2014 年中国南海北部海域大眼鲷资源的渔业生产数据, 以空间自相关方法分析其空间自相关性特征, 并探究基于 ISA 方法分析大眼鲷资源空间自相关格局的合理性和准确性, 以期作为重要经济鱼类的种群空间结构特征、资源量评估的科学开展提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

分别选取渔船信息动态监测网络中 2009—2014 年各年 1—5 月和 8—12 月 (南海休渔期除外) 的南海北部海域大眼鲷渔业生产数据, 作业海域范围为 111.00°~116.00° E, 18.00°~22.75° N (图 1, 图内数字含义与图 3 和图 4 中的相同, 均为渔区编号)。渔业资源底拖网作业渔船 54 艘 (囊网最小尺寸均为 2 cm), 渔船功率 127~1545 kW, 总作业网次 4370 网。因渔民在生产作业时未将大眼鲷类区分到种, 故本研究将大眼鲷视为一个渔获种类(对象)^[13], 以短尾大眼鲷 (*P. macracanthus*)、长尾大眼鲷 (*P. tayenus*) 为主^[32]。

1.2 数据分析

将经纬度 0.25°×0.25° 定义为一个渔区, 其中心点表示该渔区位置, 共 125 个渔区 (图 1)。统计各渔区大眼鲷生产数据, 按年计算其单位捕捞努力量渔获量 (catch per unit effort, CPUE)

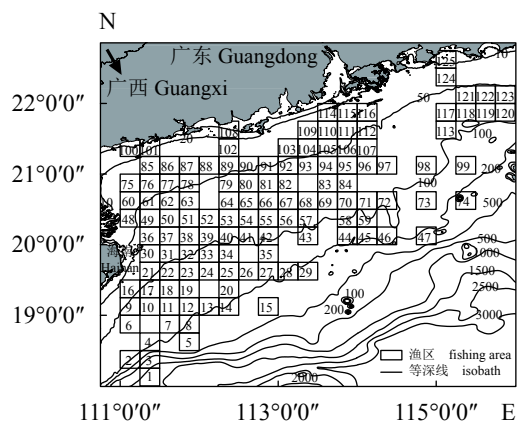


图 1 2009—2014 年南海北部海域大眼鲷拖网作业分布图

Fig. 1 Distribution of the trawling fishery on *Priacanthus* spp. in the northern South China Sea from 2009 to 2014

[g/(h·kW·nets)], 并表征大眼鲷资源密度^[33]。本研究假设 CPUE 与大眼鲷资源密度成正比。

$$CPUE = \frac{Y}{M} / f \quad (1)$$

式中, Y 为某渔区某年的单位小时渔获量 (g/h), M 为该年在此渔区作业的渔船功率数 (kW), f 为该渔区该年的作业网次数 (nets)。

进行空间自相关分析之前, 用 Kolmogorov-Smirnov 拟合优度检验分析数据的正态性; 若不符合则采用对数变换, 使其满足要求^[4,34]。

1.3 空间自相关

空间自相关分析可反映渔业资源在不同渔区之间的空间依赖性特征, 各渔区之间资源并非相互独立; 按研究范围, 将其分为全局空间自相关和局部空间自相关^[5]。

全局空间自相关 本研究采用自相关度量指标 Moran's I 指数分析大眼鲷资源年际间的全局空间分布模式。计算公式^[5]:

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

式中, I 为 Moran's I 指数; n 为某年作业渔区数; x_i 和 x_j 分别为渔区 i 和 j 的资源密度; w_{ij} 为渔区 i 和 j 的邻接关系, 当渔区 i 和 j 为邻近的空间位置时, $w_{ij}=1$, 反之, $w_{ij}=0$; \bar{x} 为该年全部渔区资源密度的平均值。

Moran's I 指数取值范围为 $[-1, 1]$, 以表明是否拒绝资源在研究区域内随机分布的零假设^[5,21]; $I > 0$, 表示正相关, $I < 0$, 表示负相关。其绝对值越大, 资源空间分布的自相关程度越高, 呈聚集分布格局; 绝对值越小, 空间分布自相关程度越低, 呈分散分布格局; $I = 0$ 时, 表示不存在空间自相关性, 资源在整个研究区域内呈随机分布格局^[35]。

本研究引入 ISA 方法揭示大眼鲷资源空间分析的最优距离阈值^[36], 在提高空间自相关分析结果准确性^[28]的同时, 量化资源分布格局的距离演化。基于不同的空间间隔计算 Moran's I 指数, 计算公式^[26,37]:

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

式中, d 为空间间隔。 $d=1$ 代表渔区是相邻的, $d=2$ 则表示与间隔 1 个的渔区相接邻, 而与原来的渔区不相邻。由此, 对设定的一系列逐渐增大的 d 值进行迭代计算^[35], 得到不同 d 值所对应的 Moran's I 指数。式 (3) 中其余变量与式 (2) 相同。

在 ArcGIS 10.2 软件环境下, Moran's I 指数还同时返回 Z 得分 (Z-score) 和 P 值^[3], 其中, Z-score 作为 I 值标准差的倍数, 反映资源在各空间距离的集聚效果^[38]。通常情况下, 若 Z-score 随空间距离增大而增大, 则表示资源集聚效果增强^[19]。Z-score 峰值表示在该距离资源空间集聚效果最强^[26]。若存在多个峰值, 本研究选择第一个显著性峰值所对应的距离作为局部空间自相关分析的距离参数^[37]。P 值被用来衡量不同空间距离下对应 Z-score 的统计显著性。

据空间异质性分析可知, 南海北部海域大眼鲷资源具有强烈空间自相关格局的尺度范围大致为 70~90 km^[13,39], 故本研究设置投影坐标系 (Beijing 1954 3 Degree GK CM 114E)、距离段数量 (30)、起点距离 (65 km) 和距离增量 (1 km) 等参数对各年大眼鲷资源密度数据进行 ISA 分析。

局部空间自相关 为弥补全局空间自相关的局限性^[3], 即研究对象整体呈聚集或随机分布情况下可能无法准确识别局部分布特征。本

研究利用局部空间自相关 (Getis-Ord G_i^*) 分析大眼鲷资源的局部分布模式, 并探测其空间热冷点格局的年际变化。公式^[3]:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \times \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{ij}\right)^2}{(n-1)}}} \quad (4)$$

式中, S 为当年所有渔区资源密度的标准差; w_{ij} 为权重, 当渔区 i 和 j 之间的距离大于设定的 d 时, $w_{ij}=0$, 否则 $w_{ij}=1$; 其余变量与式 (2) 相同^[22]。在 ArcGIS 10.2 软件环境下, G_i^* 统计结果返回 GiZ-Score 和 P 值, 其意义与全局空间自相关返回的 Z-score 和 P 值类似^[20]。根据 GiZScore 的正负, 可从当年研究海域提取大眼鲷资源高产值聚集区 (空间热点) 和低产值聚集区 (空间冷点)^[40]。当 GiZScore > 2.58 (或小于 -2.58) 倍的标准差, $P < 0.01$, 为空间热点 (或空间冷点); GiZScore 为 1.96~2.58 (或 -2.58~-1.96) 倍标准差时, $P > 0.05$, 资源可能存在一定的热点 (或冷点) 分布, 但不能排除随机分布的可能; GiZScore 为 1.65~1.96 (或 -1.96~-1.65) 倍标准差, $P > 0.1$, 资源极大可能为随机分布; GiZScore 为 -1.65~1.65 倍标准差, 资源在研究海域内呈随机分布^[18]。一般将热点区域 (GiZScore > 1.96) 视为大眼鲷资源底拖网渔船生产作业的中心渔场的预测位置^[3,22]。

1.4 中心渔场验证

通过中心渔场验证比较 ISA 方法与非 ISA 方法的优劣, 分析基于 ISA 方法探索大眼鲷资源空间自相关格局是否合理。按式 (1) 统计 2009—2014 年各年各渔区的大眼鲷 CPUE, 共 338 条记录, 计算它们的 CPUE 的四分位数 (Q1~Q3); 本研究假设 Q3 (3/4 分位数) 为大眼鲷中心渔场阈值, 将 CPUE 大于 Q3 的渔区定义为各年大眼鲷资源的中心渔场^[41]; 并依经纬度将其与局部空间自相关分析结果叠加, 计算中心渔场识别精度^[22,42], 即中心渔场及其预测位置重叠部分的渔区数量占中心渔场渔区数量的百分比。

2 结果

2.1 常规统计及全局空间自相关性

资源密度统计结果显示, 不同年份偏度均大于 0, 表明大眼鲷资源密度频数分布均为正偏;

以 2012 年偏度最高, 表明该年正偏分布较显著。年际间峰度均大于 3, 资源密度频数分布均呈尖峰分布, 表明年际间大眼鲷分布以低密度区域为主, 高密度区域较少; 其中 2012 年峰度最高, 呈高狭峰, 表明该年高密度区域最少。全局自相关统计量 Moran's I 指数显示, 除 2012 年外,

其余年份 Moran's I 指数均为正值, 表明年际间大眼鲷资源密度普遍存在空间自相关性, 且为正相关; 各年间资源分布聚集程度存在差异, 表现出先增强后减弱再增强的特征。大眼鲷资源中心渔场资源密度阈值为 15.73 g/(h·kW·nets) (表 1)。

表 1 2009—2014 年大眼鲷资源样本统计参数及全局空间自相关

Tab. 1 Statistics and global spatial autocorrelation for the resource of *Priacanthus* spp. in the northern South China Sea from 2009 to 2014

年份 year	样本量/尾 sample size	均值/[g/(h·kW·nets)] mean value	标准差 SD	偏度 skewness	峰度 kurtosis	3/4分位数/[g/(h·kW·nets)] quantile	Moran's I	Z	P
2009	62	20.80	4.51	3.75	16.04	15.73	0.06	1.93	>0.05
2010	43	20.83	3.50	2.42	7.99		0.55	3.62	<0.001
2011	54	14.48	2.31	2.73	9.35		0.14	1.57	>0.05
2012	50	26.69	7.34	5.68	35.94		0.00	2.95	<0.01
2013	72	8.01	0.93	2.64	7.84		0.30	4.08	<0.001
2014	57	8.38	0.94	1.86	4.59		0.29	3.87	<0.001

ISA 分析结果表明, 大眼鲷资源在 65~94 km 的自相关性年际差异很大。时间尺度上, 年际间大眼鲷资源空间分布表现出不同程度的全局正相关, 并呈一定的聚集特征; 以 2010 年聚集性最高, 2011 和 2012 年聚集性最低, 其余年份聚集性相似 (图 2)。空间尺度上, 当距离为 65~75 km 时, 各年空间自相关程度保持不变; 在 75~88 km, 年际间大眼鲷资源空间分布的整体自相关程度随阈值距离增加而降低, 之后趋于平稳。2012 年大眼鲷资源空间分布自相关程度较低, 且随阈值距离增加变化不大, 资源分布较趋于分散格局, 印证了该年以 CPUE 低值区为主, 高值区较少的峰度结果。

各年 Z-score 均为正值 (图 3), 且随着阈值距离的增加, 表现出与 Moran's I 指数相似的时空特征 (图 2)。除 2011 和 2012 年出现部分较低 Z 值, 其余年份 Z 值均大于 1.96 ($P < 0.05$), 表明在 95% 的置信度下, 大眼鲷资源空间分布存在空间自相关性, 并呈显著的聚集分布模式。

由 ISA 分析得出, 2009—2014 年分别在 76、83、77、87、78 和 82 km 时达到 Z 值峰值, 即大眼鲷资源在 76~87 km 的尺度范围内具有强烈的空间自相关性, 且呈显著 ($P < 0.05$) 聚集分布模式 (图 2, 图 3)。

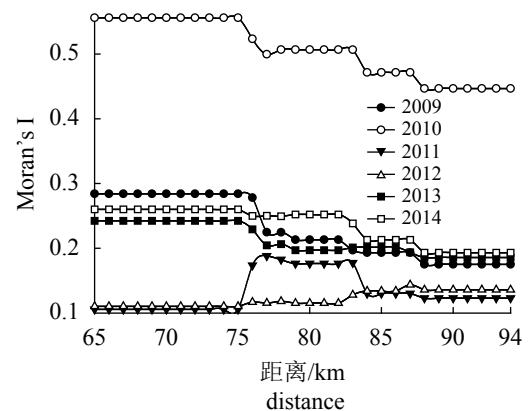


图 2 2009—2014 年南海北部海域大眼鲷 CPUE 增量空间自相关分析结果

Fig. 2 Result of incremental spatial autocorrelation analysis about CPUE of *Priacanthus* spp. in the northern South China Sea from 2009 to 2014

2.2 大眼鲷的局部空间自相关性

年际间大眼鲷资源热冷点格局具有一定的时空差异, 资源变动较大 (表 2, 图 4)。

时间上, 各年大眼鲷资源热冷点渔区数量变化较大; 热点渔区数量呈先降低后升高再降低的趋势, 冷点渔区数量则呈相反的趋势。2009—2014 年, 各 GiZScore 类别的面积大小与对应的 CPUE 百分比数值呈正相关关系, 但同一年份内

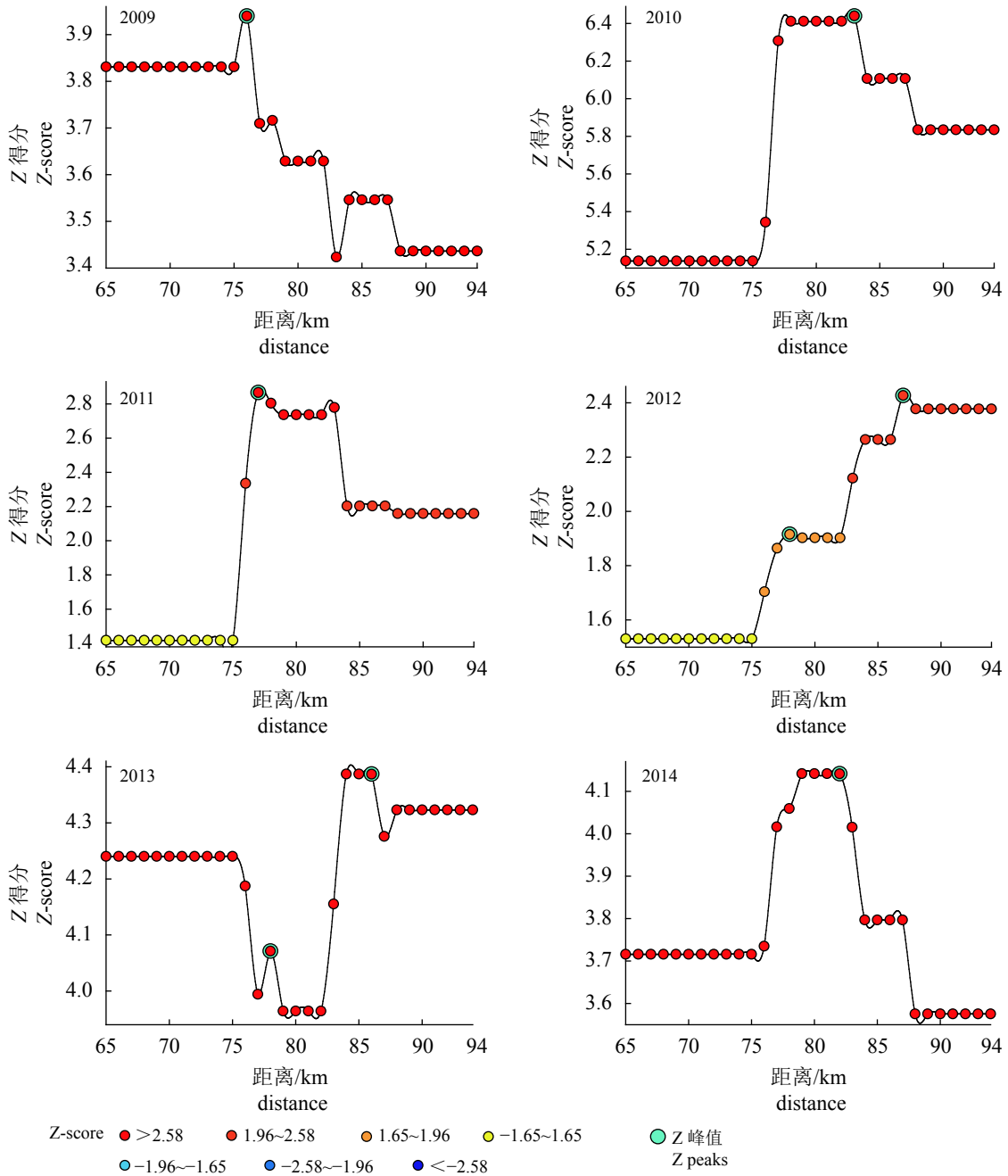


图3 2009—2014年南海北部海域大眼鲷 CPUE 增量空间自相关模型指数

Fig. 3 Incremental spatial autocorrelation model index about CPUE of *Priacanthus* spp. in the northern South China Sea from 2009 to 2014

GiZScore 值与 CPUE 百分比数值相关关系不显著。当 GiZScore 为-1.65~1.65 时, 其在各年中对应的面积及 CPUE 的百分比均最大。表明大眼鲷资源以低值区域为主, 高值区域较少, 与常规统计及全局自相关分析的结果相对应。

空间上, 年际间大眼鲷资源热冷点渔区分布特征存在差异。大眼鲷资源热点渔区主要分布在研究海域中部 50~100 m 等深线附近。2009

年热点渔区位于研究海域中部 50~100 m 等深线附近 (20.00°~20.5°N, 112.25°~113.50°E); 2010 年向东北方向移动至 100~200 m 等深线附近 (20.50°~21.25°N, 114.75°~115.50°E); 2012 年向西移至 50 m 等深线附近 (20.50°~21.25°N, 111°~112.25°E); 2013 年位置基本无变化; 2014 年则朝西南方向回归至 50~100 m 等深线附近 (20.25°~20.50°N, 112.25°~113.50°E), 与 2009 年热点渔区位置基本

表 2 2009—2014 年南海北部海域大眼鲷 CPUE 各 GiZScore 类别的面积及 CPUE 的百分比

Tab. 2 Percentages of the area and catch corresponding to each GiZScore category about CPUE of *Priacanthus* spp. in the northern South China Sea from 2009 to 2014 %

GiZScore类型 GiZScore types	2009		2010		2011		2012		2013		2014	
	面积 area	CPUE	面积 area	CPUE	面积 area	CPUE	面积 area	CPUE	面积 area	CPUE	面积 area	CPUE
<-2.58	0.00		18.60	2.76	0.00		0.00		0.00		15.79	8.27
-2.58~-1.96	4.84	1.24	2.33	0.31	0.00		2.00	0.97	5.56	1.69	3.51	2.06
-1.96~-1.65	4.84	0.84	2.33	1.16	9.26	3.61	2.00	0.09	13.89	6.98	3.51	1.84
-1.65~-1.65	69.35	37.41	62.79	68.45	75.93	56.66	64.00	40.66	59.72	56.29	61.40	56.39
1.65~-1.96	6.45	9.17	2.33	5.78	7.41	11.28	2.00	0.80	5.56	6.91	5.26	4.53
1.96~2.58	3.23	16.91	4.65	7.53	7.41	28.45	8.00	8.02	9.72	20.05	1.75	3.59
>2.58	11.29	34.44	6.98	14.00	0.00		22.00	49.46	5.56	8.08	8.77	23.32

一致。大眼鲷资源冷点渔区主要分布在 50 m 等深线附近海域。2010 年冷点渔区位于 20~50 m 等深线附近 (20.50°~21.50°N, 111.25°~112.00°E); 2014 年则向东移至 50 m 等深线附近 (21.00°~21.75°N, 113.25°~114.50°E)。

2.3 中心渔场验证

年际间大眼鲷资源中心渔场识别率结果显示。当置信水平分别为 95% 和 99% 时, 除个别年份外, 各年间引入 ISA 的中心渔场识别率结果均高于非 ISA 的结果; 且当置信度相同时, 基于 ISA 方法的年际间中心渔场识别率均值皆高于非 ISA 方法的均值结果 (图 4, 表 3)。

3 讨论

3.1 常规统计分析

2009—2014 年大眼鲷资源密度的常规统计参数未呈明显的年间变动趋势, 可能受多种因素的综合影响。捕捞、气候、地理和生物等主要因素的作用导致鱼类的数量和分布的成因复杂, 其中捕捞、气象和生物等因素可能存在无规律的年际变化^[4,43], 故年际间大眼鲷资源密度并无明显规律特征。

3.2 全局空间自相关的年际变动原因

大眼鲷资源的空间集聚程度可能与种内竞争、人类活动及环境变化有关。首先, 2012 年南海北部海域单位渔区大眼鲷资源密度最高^[13], 空间自相关性较其他年份却最弱, 且随阈值距

离增加变化不大, 空间分布较趋于分散格局, 该现象可能在一定程度上降低大眼鲷群体因资源密度增大而产生的种内资源竞争^[18,44]。都煜等^[18]和杜晓雪^[44]也分别在海州湾日本枪乌贼 (*Loligo japonica*)、短蛸 (*Octopus ochellatus*) 以及浙江南部近海龙头鱼 (*Harpadon nehereus*) 空间结构的季节变化中发现这一特征, 并认为该特征可能存在普遍性。其次, 空间异质性结果显示, 随机成分所导致的空间变异在 2012 年也达到最大值^[13], 表明该年大眼鲷资源空间自相关性发生明显波动, 验证了都煜等^[18]和苏奋振等^[45]关于人类活动和环境等因素可能破坏鱼类应有的分布特征, 改变其空间自相关格局的研究成果。最后, 本研究各年 Moran's I 指数均值表现出先上升后降低再上升的变化趋势, 海洋环境因素可能对大眼鲷资源的空间结构性具有一定影响。其他相关研究也表明, 盐度可影响鱼类的聚集分布特征^[19,46-47]。但针对大眼鲷资源分布与盐度间的关系还需深入研究。

3.3 局部空间自相关特征

大眼鲷资源热冷点渔区和重心分布的时空变化特征可相互印证和补充^[17]。热点分析结果表明, 2009—2014 年大眼鲷资源热点渔区主要分布在研究海域中部 50~100 m 等深线附近, 而冷点渔区则主要分布在沿大陆岸线的 50 m 等深线附近海域, 与各年间大眼鲷资源密度重心均分布在南海北部 50~100 m 等深线间, 且主要集中于研究海域中部^[13]的结果基本一致。表明年际间大眼鲷资源热冷点渔区分布特征与资源密度

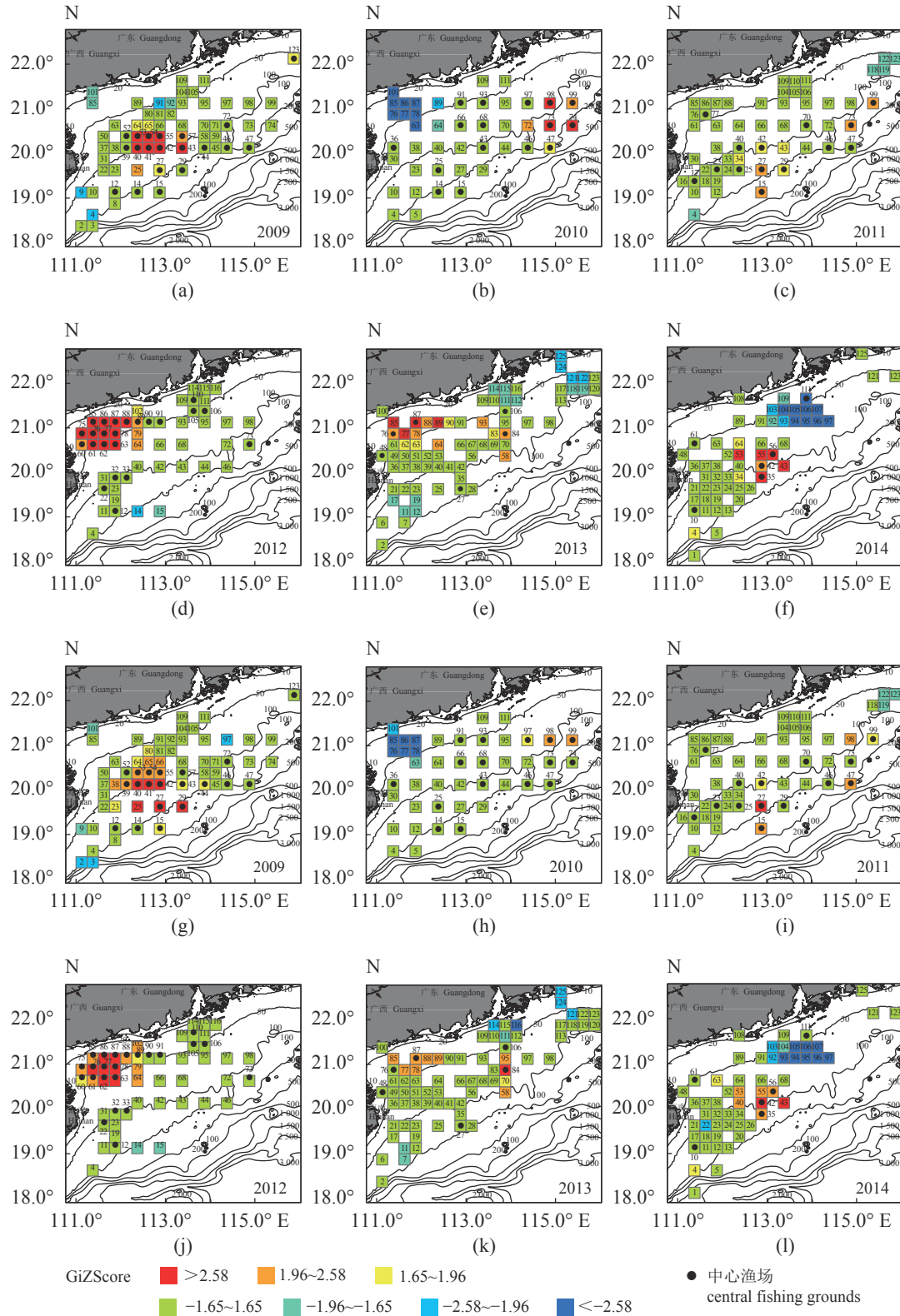


图 4 2009—2014 年南海北部海域大眼鲷 CPUE 空间热冷点分布探测

(a)~(f) 为 ISA 结果, (g)~(l) 为非 ISA 结果

Fig. 4 Detection of the patterns of hot/cold spots on CPUE of *Priacanthus* spp. in the northern South China Sea from 2009 to 2014

(a)~(f) are the results of ISA, (g)~(l) are the results of non-ISA

表 3 2009—2014 年南海北部海域大眼鲷 CPUE 中心渔场诊断准确性

Tab. 3 Accuracy of diagnosing central fishing grounds about CPUE of *Priacanthus* spp. in the northern South China Sea from 2009 to 2014

年份 year	$P < 0.05$			$P < 0.01$		
	ISA	非ISA non-ISA	差值 difference value	ISA	非ISA non-ISA	差值 difference value
2009	40.00	45.00	-5.00	35.00	25.00	10.00
2010	25.00	12.50	12.50	18.75	0.00	18.75
2011	28.57	21.43	7.14	0.00	7.14	-7.14
2012	56.52	47.83	8.70	47.83	30.43	17.39
2013	50.00	33.33	16.67	33.33	16.67	16.67
2014	50.00	50.00	0.00	33.33	16.67	16.67
均值 mean	41.68	35.01	6.67	28.04	15.99	12.06

重心的动态变化可能存在一定关联。与梁严威^[48]关于智利竹筴鱼 (*Trachurus murphyi*) 的热冷点渔区和重心位置相近的结果一致。

大眼鲷资源的局部空间自相关结果与变异函数的最优拟合模型相对应^[13,44]。2009、2012 和 2014 年热冷点渔区聚集现象最明显, 呈团块分布 (图 4), 符合球状模型聚集性较强、空间相关距离较小的特征^[49-50]。但全局空间自相关结果显示, 2012 年大眼鲷资源空间自相关程度较低, 且随阈值距离增加变化不大, 资源分布较趋于分散格局, 与指数模型表示的聚集程度较弱、空间相关距离大的特征^[48,50] 相符。同时 2011 年无热冷点渔区, 随机分布概率较大, GiZScore 为 1.96~2.58 的 4 个渔区相距较远, 且呈离散分布, 也符合指数模型的特点。2010 年虽然聚集性最高, 但热冷点聚集位置相距较远。而 2013 年虽有热冷点分布, 但聚集程度不高, 未形成明显的团块分布特征, 均与高斯模型具有中等程度聚集的特征^[48-49] 相符。方学燕等^[16] 在探究秘鲁外海茎柔鱼 (*Docidicus gigas*) 资源的空间分布格局时也阐述了热点分析结果与模型类型间的对应关系。

3.4 空间热冷点构成

ISA 方法在探索大眼鲷资源的空间自相关格局、中心渔场的探测方面均具有较好的功效性。先统计各年 7 种 GiZScore 类型渔区数量占总渔区数量的百分比^[3], 再求取各类型百分比的年平均均值 (图 5), 以比较 ISA 方法与非 ISA 方法对于空间热冷点识别的敏感程度。当置信度相同时, 引入 ISA 方法对于热冷点识别的敏感程度均

高于非 ISA 方法的结果。此外, 无论是否考虑最优阈值距离, 非热点和非冷点数量所占的比重均较大, 表明研究海域内大部分渔区资源密度不高, 与年际间大眼鲷 CPUE 分布以低值区域为主、高值区域较少的结果相对应。这也从侧面证明渔场的分布与形成过程研究对于资源量的评估及渔船捕捞作业的动态管理的重要性。首先, 渔场形成过程依赖于渔业生产调查 (fishery dependent) 和科学调查 (fishery independent) 数据的整合, 才能更全面地了解大眼鲷种群资源的分布, 而资源量的分布是后期结合研究海区环境特征分析的基础。其次, 渔业资源本身在海洋中的分布以低值区域为主, 存在高值区 (渔场), 这些高值区不仅是渔场研究的核心, 亦是种群

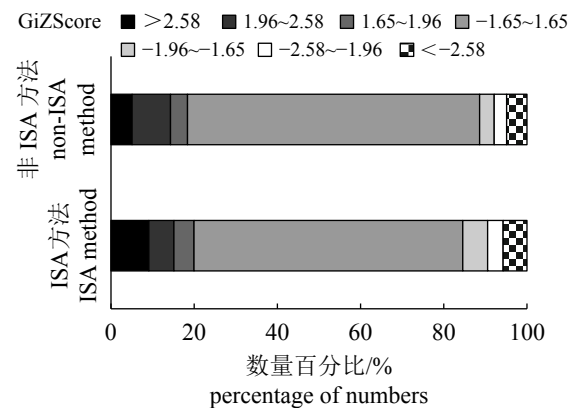


图 5 2009—2014 年南海北部海域大眼鲷 CPUE 热冷点构成

Fig. 5 Percentage of hot/cold spots about CPUE of *Priacanthus* spp. in the northern South China Sea from 2009 to 2014

变化和资源量评估的重点关注区域。引入 ISA 方法提高识别资源量空间热冷点的准确性, 为今后资源量空间分布特征、渔场形成过程与机制的研究提供了一种高效的研究方法^[20]。后续研究中应结合多种环境因子, 探究在不同的鱼种、统计模型和时空分辨率组合下, 空间自相关性对 CPUE 标准化的影响^[51-53], 为重要鱼类资源 CPUE 标准化引入空间变量, 以建立最适模型, 为该资源的评估及科学管理提供参考依据。

参考文献 (References):

- [1] 张俊, 邱永松, 陈作志, 等. 南海外海大洋性渔业资源调查评估进展[J]. *南方水产科学*, 2018, 14(6): 118-127.
Zhang J, Qiu Y S, Chen Z Z, *et al.* Advances in pelagic fishery resources survey and assessment in open South China Sea[J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(6): 118-127(in Chinese).
- [2] 贾晓平, 李永振, 李纯厚, 等. 南海专属经济区和大陆架渔业生态环境与渔业资源 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 358-472.
Jia X P, Li Y Z, Li C H, *et al.* Environment and fishery resources in the exclusive economic zone and the continental shelf of South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 2004: 358-472 (in Chinese).
- [3] 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).
- [4] 牛明香, 王俊. 黄海中南部越冬鳀空间格局的年度变化[J]. *海洋环境科学*, 2019, 38(2): 263-271.
Niu M X, Wang J. Inter-annual variations of spatial pattern of wintering anchovy, *Engraulis japonicus* in central and southern Yellow Sea[J]. *Marine Environmental Science*, 2019, 38(2): 263-271(in Chinese).
- [5] 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.
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(in Chinese).
- [6] 邱永松, 曾晓光, 陈涛, 等. 南海渔业资源与渔业管理 [M]. 北京: 海洋出版社, 2008: 115-179.
Qiu Y S, Zeng X G, Chen T, *et al.* Fishery resources and fisheries management of South China Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2008: 115-179 (in Chinese).
- [7] 范江涛, 黄梓荣, 许友伟, 等. 基于海表温和水深的南海北部短尾大眼鲷渔场分析[J]. *中国水产科学*, 2019, 26(1): 26-33.
Fan J T, Huang Z R, Xu Y W, *et al.* Analysis of *Priacanthus macracanthus* fishing grounds in the northern South China Sea based on sea surface temperature and depth[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(1): 26-33(in Chinese).
- [8] 熊丹, 李敏, 李永振, 等. 南海短尾大眼鲷线粒体Cyt b 基因序列及种群判别分析[J]. *中国水产科学*, 2016, 23(1): 188-197.
Xiong D, Li M, Li Y Z, *et al.* Sequence analysis of the mitochondrial cytochrome *b* gene and identification of the *Priacanthus macracanthus* population in the South China Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(1): 188-197(in Chinese).
- [9] Liu K M, Hung K Y, Joung S J. Estimate of reproductive value of the big eye *Priacanthus macracanthus* in the north-eastern waters off Taiwan[J]. *Fisheries Science*, 2002, 68(3): 523-528.
- [10] Lester R J G, Watson R A. Growth, mortality, parasitism, and potential yields of two *Priacanthus* species in the South China Sea[J]. *Journal of Fish Biology*, 1985, 27(3): 307-318.
- [11] 张魁, 陈作志, 王跃中, 等. 北部湾短尾大眼鲷群体结构及生长、死亡和性成熟参数估计[J]. *热带海洋学报*, 2016, 35(5): 20-28.
Zhang K, Chen Z Z, Wang Y Z, *et al.* Population structure of *Priacanthus macracanthus* in the Beibu Gulf, and parameters for its growth, mortality and maturity[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2016, 35(5): 20-28(in Chinese).
- [12] 孙典荣, 邱永松. 南海北部大陆架短尾大眼鲷生长和死亡参数估计[J]. *湛江海洋大学学报*, 2004, 24(1): 28-34.

- Sun D R, Qiu Y S. Estimation of growth and mortality parameters of *Priacanthus macracanthus* in the north continental shelf of South China Sea[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2004, 24(1): 28-34(in Chinese).
- [13] 刘禹希, 王学锋, 陈国宝, 等. 南海北部海域大眼鲷资源的时空异质性[J]. 水产学报, 2019, 43(12): 2523-2532.
- Liu Y X, Wang X F, Chen G B, *et al.* Spatiotemporal heterogeneity of *Priacanthus* spp. resources in the northern South China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(12): 2523-2532(in Chinese).
- [14] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 9-46.
- Wang Z Q. Geostatistics and its application in ecology[M]. Beijing: Science Press, 1999: 9-46 (in Chinese).
- [15] 张寒野, 胡芬. 冬季东海太平洋褶柔鱼的空间异质性特征[J]. 生态学报, 2005, 24(11): 1299-1302.
- Zhang H Y, Hu F. Spatial heterogeneity of *Todarodes pacificus* in East China Sea in winter[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(11): 1299-1302(in Chinese).
- [16] 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).
- [17] 杨晓明, 戴小杰, 田思泉, 等. 中西太平洋鲣鱼围网渔业资源的热点分析和空间异质性[J]. 生态学报, 2014, 34(13): 3771-3778.
- Yang X M, Dai X J, Tian S Q, *et al.* Hot spot analysis and spatial heterogeneity of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) purse seine resources in the western and central Pacific Ocean[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(13): 3771-3778(in Chinese).
- [18] 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).
- [19] 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): 3409-3416.
- 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): 3409-3416(in Chinese).
- [20] 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).
- [21] Feng Y J, Chen X J, Liu Y. Detection of spatial hot spots and variation for the neon flying squid *Ommastrephes Bartramii* resources in the northwest Pacific Ocean[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2017, 35(4): 921-935.
- [22] 原作辉, 杨东海, 樊伟, 等. 基于卫星AIS的中西太平洋金枪鱼延绳钓渔场分布研究[J]. 海洋渔业, 2018, 40(6): 649-659.
- Yuan Z H, Yang D H, Fan W, *et al.* On fishing grounds distribution of tuna longline based on satellite automatic identification system in the Western and Central Pacific[J]. Marine Fisheries, 2018, 40(6): 649-659(in Chinese).
- [23] 张雪涛. 基于公共地图访问日志数据的城市热点与商圈探索分析 [D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2017.
- Zhang X T. Analysis of urban hotspots and commercial area exploration based on user access logs from public map[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2017 (in Chinese).
- [24] Halls J N, Hill J M, Urbanek R E, *et al.* Distribution pattern of red fox (*Vulpes vulpes*) dens and spatial relationships with sea turtle nests, recreation, and environmental characteristics[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2018, 7(7): 247.
- [25] 杨永侠, 王旭, 孟丹, 等. 基于空间自相关的耕地等别

- 指数检验方法研究[J]. *农业机械学报*, 2016, 47(5): 328-335.
- Yang Y X, Wang X, Meng D, *et al.* Test method of cultivated land grading index based on spatial autocorrelation[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(5): 328-335(in Chinese).
- [26] 陈藜藜, 宋戈, 邹朝晖, 等. 基于改进局部空间自相关分析的萝北县耕地保护分区[J]. *资源科学*, 2016, 38(10): 1871-1882.
- Chen L L, Song G, Zou C H, *et al.* Zoning of protected cultivated land based on improved local indicators of spatial association[J]. *Resources Science*, 2016, 38(10): 1871-1882(in Chinese).
- [27] 王勇, 席冬冬, 欧丁丁, 等. 基于景观信息稳定视角的海南琼海生态脆弱性分析[J]. *热带林业*, 2017, 45(2): 33-38.
- Wang Y, Xi D D, Ou D D, *et al.* Analysis of ecological vulnerability of Qionghai City in Hainan Province based on landscape information stability[J]. *Tropical Forestry*, 2017, 45(2): 33-38(in Chinese).
- [28] Alho A R, de Abreu e Silva J. Analyzing the relation between land-use/urban freight operations and the need for dedicated infrastructure/enforcement—application to the city of Lisbon[J]. *Research in Transportation Business & Management*, 2014, 11: 85-97.
- [29] 陈彦光. 基于Moran统计量的空间自相关理论发展和方法改进[J]. *地理研究*, 2009, 28(6): 1449-1463.
- Chen Y G. Reconstructing the mathematical process of spatial autocorrelation based on Moran's statistics[J]. *Geographical Research*, 2009, 28(6): 1449-1463(in Chinese).
- [30] Santa Cruz F, Ernst B, Arata J A, *et al.* Spatial and temporal dynamics of the Antarctic krill fishery in fishing hotspots in the Bransfield Strait and South Shetland Islands[J]. *Fisheries Research*, 2018, 208: 157-166.
- [31] Steves C E. Trends in the Alaskan bottom-trawl fishery from 1993-2015: a GIS-based spatiotemporal analysis[D]. Los Angeles: University of Southern California, 2017.
- [32] 陈大刚, 张美昭. 中国海洋鱼类 [M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2015: 1004-1009.
- Chen D G, Zhang M Z. Marine fishes of China[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2015: 1004-1009 (in Chinese).
- [33] Bertrand A, Josse E, Bach P, *et al.* Hydrological and trophic characteristics of tuna habitat: consequences on tuna distribution and longline catchability[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2002, 59(6): 1002-1013.
- [34] 冯永玖, 方学燕, 陈新军, 等. 基于GIS的西北太平洋柔鱼资源空间插值及不确定性分析[J]. *资源科学*, 2015, 37(11): 2299-2308.
- Feng Y J, Fang X Y, Chen X J, *et al.* Spatial interpolation and uncertainty of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) resources in the Northwest Pacific Ocean[J]. *Resources Science*, 2015, 37(11): 2299-2308(in Chinese).
- [35] Zank B, Bagstad K J, Voigt B, *et al.* Modeling the effects of urban expansion on natural capital stocks and ecosystem service flows: a case study in the Puget Sound, Washington, USA[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 149: 31-42.
- [36] 王宝君, 杨永春, 史坤博, 等. 中国西部园区时空格局及其影响因素[J]. *地域研究与开发*, 2018, 37(5): 6-12.
- Wang B J, Yang Y C, Shi K B, *et al.* Spatial pattern evolution and its influencing mechanism of freshwater fisheries in China[J]. *Areal Research and Development*, 2018, 37(5): 6-12(in Chinese).
- [37] 季斌, 周涛发, 袁峰, 等. 地球化学的空间自相关异常信息提取方法[J]. *测绘科学*, 2017, 42(8): 24-27, 123.
- Ji B, Zhou T F, Yuan F, *et al.* A method for identifying geochemical anomalies based on spatial autocorrelation[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2017, 42(8): 24-27, 123(in Chinese).
- [38] 陈冬洋. 基于MCR和稳定性模型的东方市景观格局空间优化研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2016.
- Chen D Y. Spatial landscape pattern optimization based on the stability model and MCR model of Dongfang[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2016 (in Chinese).
- [39] 都煜, 徐宾铎, 薛莹, 等. 海州湾及邻近海域日本枪乌贼时空分布的异质性[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(3): 558-565.
- Du Y, Xu B D, Xue Y, *et al.* Analysis of temporal and spatial heterogeneity of Japanese squid (*Loliolus japonica*) in Haizhou Bay and adjacent waters[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(3): 558-565(in Chinese).

- Chinese).
- [40] Kethireddy S R, Adegoye G A, Tchounwou P B, *et al.* The status of geo-environmental health in Mississippi: application of spatiotemporal statistics to improve health and air quality[J]. *AIMS Environmental Science*, 2018, 5(4): 273-293.
- [41] 杨胜龙, 伍玉梅, 张怵怵, 等. 中西太平洋大眼金枪鱼中心渔场时空分布与温跃层的关系[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(1): 281-290.
- Yang S L, Wu Y M, Zhang B B, *et al.* Relationship between fishing grounds temporal-spatial distribution of *Thunnus obesus* and thermocline characteristics in the Western and Central Pacific Ocean[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(1): 281-290(in Chinese).
- [42] Fawcett T. An introduction to roc analysis[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2006, 27(8): 861-874.
- [43] 李小恕, 李继龙, 贾静. 基于GIS的东黄海渔场影响因子分析[J]. *湛江海洋大学学报*, 2005, 25(4): 44-48.
- Li X S, Li J L, Jia J. Analysis of the fishery factors based on GIS method in the east and Yellow sea of China[J]. *Journal of Zhanjiang Ocean University*, 2005, 25(4): 44-48(in Chinese).
- [44] 杜晓雪. 浙江南部近海龙头鱼的生物学特征及其空间分布格局 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- Du X X. Biological characteristics and spatial distribution patten of *Harpadon nehereus* in offshore water of southern Zhejiang[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018 (in Chinese).
- [45] 苏奋振, 周成虎, 史文中, 等. 东海区底层及近底层鱼类资源的时空异质性[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).
- [46] Barber W E, Smith R L, Vallarino M, *et al.* Demersal fish assemblages of the northeastern Chukchi Sea, Alaska[J]. *Fishery Bulletin*, 1997, 95(2): 195-209.
- [47] 朱德坤, 马永钧. 高盐水体消长与冬季带鱼汛期渔场形成的关系[J]. *东海海洋*, 1989, 7(3): 35-39.
- Zhu D K, Ma Y J. Relations between dynamics of high-salinity water masses and formation of fishing grounds of cutlass fish in winter fishing season[J]. *Donghai Marine Science*, 1989, 7(3): 35-39(in Chinese).
- [48] 梁严威. 基于地统计和ESDA的东南太平洋智利竹筴鱼时空动态的研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- Liang Y W. Temporal dynamics of *Trachurus murphyi* in the southeast pacific based on Geostatistical methods and ESDA[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015 (in Chinese).
- [49] 赵斌, 蔡庆华. 地统计学分析方法在水生态系统研究中的应用[J]. *水生生物学报*, 2000, 24(5): 514-520.
- Zhao B, Cai Q H. An application of geostatistical analysis in freshwater ecosystem[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, 24(5): 514-520(in Chinese).
- [50] 杨晓明, 戴小杰, 朱国平. 基于地统计分析西印度洋黄鳍金枪鱼围网渔获量的空间异质性[J]. *生态学报*, 2012, 32(15): 4682-4690.
- Yang X M, Dai X J, Zhu G P. Geostatistical analysis of spatial heterogeneity of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) purse seine catch in the western Indian Ocean[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(15): 4682-4690(in Chinese).
- [51] 李娜, 陈新军, 王冉. 基于空间自相关的阿根廷滑柔鱼CPUE标准化研究[J]. *海洋学报*, 2018, 40(2): 61-68.
- Li N, Chen X J, Wang R. Incorporating spatial autocorrelation into CPUE standardization with an application to the *Illex argentinus*[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2018, 40(2): 61-68(in Chinese).
- [52] Tian S Q, Han C, Chen Y, *et al.* Evaluating the impact of spatio-temporal scale on CPUE standardization[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2013, 31(5): 935-948.
- [53] 官文江, 田思泉, 王学昉, 等. CPUE标准化方法与模型选择的回顾与展望[J]. *中国水产科学*, 2014, 21(4): 852-862.
- Guan W J, Tian S Q, Wang X F, *et al.* A review of methods and model selection for standardizing CPUE[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(4): 852-862(in Chinese).

Spatial autocorrelation of *Priacanthus* spp. resources in the northern South China Sea

LIU Yuxi^{1,2,3}, WANG Xuefeng^{2,3}, LÜ Shaoliang^{2,3}, ZENG Jiawei^{2,3}, CHEN Guobao^{1*}

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences,
Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment,

Key Laboratory of Marine Ranching Technology, Chinese Academy of Fishery Sciences,
Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources and Environment,
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510300, China;

2. College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

3. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhanjiang), Zhanjiang 524025, China)

Abstract: Understanding the spatial autocorrelation characteristics of the distribution of economic fish is helpful to reveal the distribution pattern of its habitat and the formation mechanism of fishing grounds, which provides a basis for the evaluation and rational exploitation of the resources. Due to long-term overfishing, the fishery resources in the northern South China Sea have declined seriously, especially in the shallow area of 100-m isobath. As an important fishing target of bottom trawling in the South China Sea, the resources of *Priacanthus* spp. are under great pressure, so exploring the pattern characteristics of the spatial distribution of the resources can provide a certain reference basis for the sustainable utilization and scientific management of the resources. However, some studies denied that the spatial autocorrelation was affected by the spatial scope of the study area, and the spatial autocorrelation varied greatly under different analysis scales, thus weakening the actual effect of fishery resources assessment and scientific management. Therefore, based on the data of bottom trawl fishery in the northern South China Sea by a fishery information network from 2009 to 2014, this study used the methods of global spatial autocorrelation and local spatial autocorrelation to analyze the dynamic changes of spatial autocorrelation of *Priacanthus* spp. resources. And the incremental spatial autocorrelation analysis was added to improve the accuracy of the research results. The results were as follows: ① the results of global spatial autocorrelation analysis showed that in the whole study area, the interannual resources of *Priacanthus* spp. were mainly in low-density area and less in high-density area. ② according to the incremental spatial autocorrelation analysis, the resources of *Priacanthus* spp. showed a strong spatial autocorrelation within the scale of 76-87 km, and showed a significant aggregation distribution pattern. ③ the local spatial autocorrelation analysis showed that the distribution of hot and cold spots of *Priacanthus* spp. resources varied greatly from year to year, and the hot spot fishing areas were mainly concentrated between the 50-m and 100-m isobath in the middle part of the study area. The cold spot fishing areas were concentrated in the sea area near the 50-m isobath. In this paper, the incremental spatial autocorrelation method was introduced to explore the spatial autocorrelation of *Priacanthus* spp. resources, which provided a new idea for mining the temporal and spatial distribution characteristics of fishery resources.

Key words: *Priacanthus* spp.; spatial autocorrelation; incremental spatial autocorrelation; hot spot analysis; geographical information science; bottom trawl; South China Sea

Corresponding author: CHEN Guobao. E-mail: chengb98@163.com

Funding projects: Fund of Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory(Zhanjiang) (ZJW-2019-06); Ministry of Agriculture and Rural Affairs Financial Project "Survey on the Fishing Production Structure in the South China Sea (640)"