

DOI: 10.5846/stxb201403280581

蔡建堤, 陈方平, 吴建绍, 刘勇, 沈长春, 马超, 吴立峰. 渔场重心信度测算及渔场重心修正理论构建——以闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷为例. 生态学报, 2015, 35(6): 1929-1937.

Cai J D, Chen F P, Wu J S, Liu Y, Shen C C, Ma C, Wu L F. The theoretical construction of measuring fishing ground gravity reliability and correcting fishing ground gravity: a case study on *Paerargyrops edita* Tanaka in Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(6): 1929-1937.

渔场重心信度测算及渔场重心修正理论构建 ——以闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷为例

蔡建堤^{1,*}, 陈方平², 吴建绍¹, 刘勇¹, 沈长春¹, 马超¹, 吴立峰¹

¹ 福建省水产研究所, 厦门 361013

² 厦门海洋职业技术学院, 厦门 361102

摘要: 渔场重心是表征渔场位置的重要参数, 准确掌握渔场重心, 对判断鱼类洄游路线、确定中心渔场、表征鱼群分布特征和变化规律具有重要意义。渔场重心计算采用的是固定物体重心计算方法, 然而运动的鱼类和固定物体有着本质的区别。因此, 由固定物体重心计算的渔场重心能否体现鱼群分布特征, 值得深入研究。渔场重心信度是用于度量由固定物体重心计算的渔场重心表征鱼群分布特征的能力, 体现渔场重心的可信程度, 而渔场重心修正则是为了提升渔场重心表征鱼群分布特征的能力, 提高渔场重心信度, 以准确掌握渔场重心。以闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷 (*Paerargyrops edita* Tanaka) 为例, 采用渔场重心、几何中心和单位捕捞努力量渔获量 (Catch Per Unit Effort, CPUE) 为参数, 首次建立了渔场重心信度测算及渔场重心修正理论和方法, 分析了渔场重心信度, 研究了渔场重心修正方法和渔场重心的分布特征, 旨在从更精细地水平上掌握二长棘鲷渔场重心, 为生态智慧在渔业资源开发和管理的应用提供可靠的数据支持。结果表明: (1) 二长棘鲷渔场重心信度各月变化在 0.12—1.00, 平均值 0.67, 均方差 0.31, 各月渔场重心可信度波动较大, 12 月份和 2 月份渔场重心信度最大为 1.00, 鱼群对称和均匀分布于渔场重心, 渔场重心可信度最高, 3—8 月份渔场重心信度低于 0.70, 鱼群在渔场重心周围的对称性和均匀度差, 渔场重心可信度差, 其中 3 月份渔场重心信度最小为 0.12; (2) 渔场重心信度不仅反映了渔场重心可信程度, 还体现了鱼群在渔场重心周围的分布特征, 可作为研究鱼群分布特征的重要参数, 渔场重心信度低于 0.70, 渔场重心需要修正; (3) 渔区修正系数用于判别鱼群所在渔区是否排除, 通过去除渔区修正系数小于 0.5 的鱼群, 能保留 85% 以上的鱼群数量, 提高渔场重心信度 0.70 以上; (4) 修改后的渔场重心变化规律较显著, 4—5 月份, 幼鱼群体重心向西迁移, 6—7 月份, 索饵群体重心向东北方向移动, 8 月份, 索饵群体重心开始往南迁移, 9—11 月份, 越冬群体重心逐渐向南移动, 12 月份, 生殖群体重心继续往南迁移, 1—3 月份生殖群体主要集中在 305 渔区 (119°15'E, 23°15'N) 附近进行生殖活动, 鱼群少有迁移。

关键词: 渔场重心信度; 渔场重心修正; 渔场重心; 渔场几何中心; 二长棘鲷; 闽南-台湾浅滩渔场

The theoretical construction of measuring fishing ground gravity reliability and correcting fishing ground gravity: a case study on *Paerargyrops edita* Tanaka in Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground

CAI Jiandi^{1,*}, CHEN Fangping², WU Jianshao¹, LIU Yong¹, SHEN Changchun¹, MA Chao¹, WU Lifeng¹

¹ Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013, China

² Xiamen Ocean Vocational College, Xiamen 361102, China

Abstract: The fishing ground gravity is one of the important parameters to indicate the position of fisheries. Accurate grasp

基金项目: 福建省科技厅省属公益类科研院所基本科研专项 (2012R1101-1); 福建省科技厅省属公益类科研院所基本科研专项“种群分布格局在渔业资源的开发与应用研究”

收稿日期: 2013-03-28; 网络出版日期: 2014-08-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: caijdi@sina.com

is significant to judge fish migration route, determine the center of fishing ground, and indicate the fish distribution characteristics and variation rule. Fishing ground gravity calculated by the fixed object gravity cannot accurately reflect the fish distribution due to essential difference between the movement of the fish and fixed object the distinction, which deserves further investigation. Fisheries center reliability is used to measure the capacity of fishery gravity in fish distribution. Calculating the symmetry and uniformity of fish in fishing ground gravity reflects the reliability degree of fishing ground gravity. The fishing ground gravity correction is used to enhance the capacity of fishery gravity in accurately characterizing the fish distribution. This study analyzed *Paerargyrops edita* Tanaka in Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground based on the parameters of the fishing ground gravity, geometry center and catch per unit effort (CPUE). The method of fisheries center reliability calculation and correction theory were established to analyze the distribution pattern of the fishing ground gravity of *Paerargyrops edita* Tanaka, which provides reliable data for ecological wisdom's application in fishery resources development and management. We observed that the average fishing ground gravity reliability of *Paerargyrops edita* Tanaka was 0.67 with the range from 0.12 to 1.00, and the mean square error was 0.31, suggesting that the fishing ground gravity reliability is good, but volatile in months. The fishing ground gravity reliability was 1.00 in February and December. The fishing ground gravity reliability with symmetrical and uniform fish distribution had the highest credibility and vice versa. The fishing ground gravity reliability was below 0.70 from March to August, and it was 0.12 in March. The fishing ground gravity reliability is an important parameter of fish distribution that not only reflects the credible degree of fishing ground gravity but also reflects fish distribution characteristics around the center fishing ground gravity. The fixed threshold of fishing ground gravity reliability is 0.70. The fishing area correction coefficient is used to assess whether the fishing area is exclusive. We retained more than 85% of fish quantity and improved the fisheries center of gravity of confidence degree to above 0.70 by removed the fish which correction coefficient is less than 0.5. The distribution characterization of the fishing ground gravity was greatly improved after modification: the fishing ground gravity of larval population were migrated to westward during April and May; the fishing ground gravity of forage population were moved to the northeast direction during June and July; forage group turned were migrated to southward in August; the fishing ground gravity were gradually moved to the south during September and November; the fishing ground gravity of reproductive population were migrated toward the south in December; reproductive group were mainly concentrated in the fishing area near 305 fishing area (23°15'N, 119°15'E) and the fish were less mobile during January and March.

Key Words: fishing ground gravity reliability; correction of fishing ground gravity; fishing ground gravity; fishing ground geometric center; *Parargyrops edita* Tanaka; Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground

渔场重心是表征渔场位置的重要参数^[1],常用于描述渔场空间位置的变动,是渔业资源学和鱼类生态学研究的基础,如可用以判断鱼类洄游路线^[2-3]、确定中心渔场^[4-5]以及表征鱼群在渔场分布特征和变化规律^[6-14]等。一直以来,渔场重心计算采用的是固定物体重心计算的方法^[1,5,12-17]。然而鱼类具有洄游特征,不同于固定物体,运动的鱼类和固定物体有着本质的区别,而且渔场重心与环境要素、生物特征等有关,具有生态学意义。因此,由固定物体重心计算的渔场重心是否合理,值得深入研究。固定物体重心计算方法包括了渔场中所有的鱼群,根据渔场重心的计算公式^[1,5,12-17],当在周围鱼群质量相同时,鱼群同时靠近和远离重心,渔场重心保持不变,显然渔场重心表现鱼群分布特征的能力是不同的。并非鱼群均匀分布在渔场重心周围,鱼群可能靠近或远离渔场重心,渔场重心周围并不一定鱼类资源丰富,渔场重心有时不能反映整个渔场分布情况^[12-14]。通过渔场重心来研究鱼群的分布特征和变化规律,有可能导致错误的结论。渔场重心能否反映鱼群分布特征是研究渔场重心不可忽视的问题。渔场重心信度是用于度量由固定物体重心计算的渔场重心表征鱼群分布特征的能力,通过计算鱼群在渔场重心的对称性和均匀度,描述鱼群在渔场重心周围的分布特征,据此体现渔场重心表征鱼群分布特征的能力,反映渔场重心的可信程度,而渔场重心修正是为了提升渔场

重心表征鱼群分布特征的能力,提高渔场重心信度,以准确掌握渔场重心。目前,尚未见有关渔场重心信度和渔场重心修正研究的报道。为此,本文以渔场重心、几何中心和 CPUE 为参数,构建了渔场重心信度测算及渔场重心修正理论和方法,对二长棘鲷(*Parargrops edita* Tanaka)渔场重心信度进行分析,探讨了提高渔场重心信度的修正方法,研究了修正后的渔场重心的信度及其迁移规律,旨在从更精细地水平上掌握闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷渔场重心,从而为研究渔场重心分布特征、变化规律以及渔业生产提供可靠的依据,并为生态智慧在渔业资源开发和管理的应用提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究对象

本研究选用闽南-台湾浅滩二长棘鲷为研究对象。二长棘鲷属于近海暖水性近底层鱼类,是闽南-台湾浅滩渔场重要经济鱼类资源,4—5 月份群体以幼鱼群体为主,6—8 月份是二长棘鲷索饵期,12 月到翌年 3 月是二长棘鲷生长期^[16-20]。

1.2 数据来源及处理

1998 年 7 月到 2000 年 6 月期间,在闽南-台湾浅滩渔场(22°30'—24°30'N,117°30'—120°00'E)逐月开展二长棘鲷资源的专项调查研究,共设 16 个调查渔区(图 1)、24 航次(每月 1 航次,共 24 个月)。以闽东渔 2330 和闽东渔 1615 单拖船作为生产性探捕船(载重量 46 t,主机功率 198.45 kW,网具规格 70.4 m×41.9 m(25.5 m),囊网网目大小为 35 mm,平均拖速为 5.37 km/h,平均网口高 5.30 m,平均袖口端距 10.70 m),每航次在每个调查渔区拖曳 1 次,拖曳时间均为 2.5 h。其调查按《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—1991)方法进行。以各月各渔区二长棘鲷渔获量除以网次,获得各月各渔区鱼群的 CPUE 数据(表 1)^[16-20]。

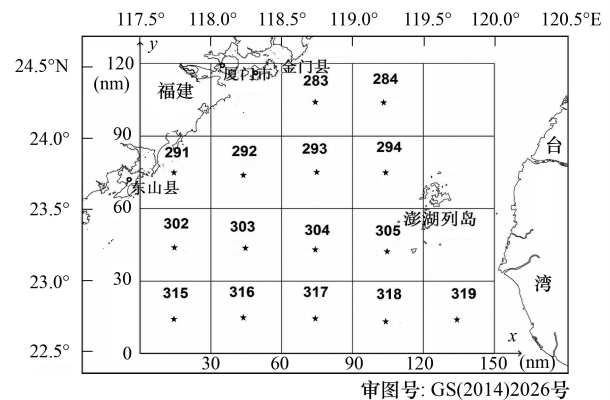


图 1 调查站位图
Fig.1 Map of investigation station

表 1 二长棘鲷各渔区月生产量(kg/网)

Table 1 Monthly production of *P. edita* each fishing zone(kg/net)

渔区 Fishing zone	月份 Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
282												
283							12.19					
291						71.55	127.83	72.36	13.15	7.50		
292	12.73					56.38	138.13	36.18	7.38	13.33		
293							4.18					
294								11.61	0.61			
302					51.05	14.25		20.61		9.79	9.56	
303	0.55			48.57	9.72	10.56		13.59	0.44	2.30	3.45	
304						7.90	0.71	21.25	38.90			
305		22	11.87			7.56		0.33				
314												
315										2.38	8.64	
316			0.37		0.67	0.40	1.76					1.00
317								20.36				
318				5.34				1.22				
319	10.00											

1.3 渔场重心和几何中心

物体重心位置的数学确定方法^[1,5,12-17]:在某物体(总质量为 M) 所处空间任取确定的空间直角坐标系 $O-XY$, 则该物体可微元出 n 个质点, 每个质点对应各自坐标 (x_n, y_n) 及质量 m_n , 已知 $M = m_1 + m_2 + \dots + m_n$, 设该物体重心为 $G = (X, Y)$, 则:

$$X = (x_1 \times m_1 + x_2 \times m_2 + \dots + x_n \times m_n) / M \quad (1)$$

$$Y = (y_1 \times m_1 + y_2 \times m_2 + \dots + y_n \times m_n) / M \quad (2)$$

设渔场的几何中心为 $LG = (LX, LY)$, 则:

$$LX = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n \quad (3)$$

$$LY = (y_1 + y_2 + \dots + y_n) / n \quad (4)$$

1.4 渔场重心信度

几何中心是渔场各个渔区具有一致的密度或者具有某种对称性的点, 而渔场重心是各个渔区受重力的合力的作用点, 由(1)、(2)、(3)和(4)式可知: 渔场重心的位置比较靠近资源密度大的鱼群, 当鱼群数量小且远离渔场重心时, 会引起几何中心位置的较大变化, 而渔场重心位置变化较小, 使得渔场重心和几何中心有较大的偏离, 由于渔场重心难以表征数量小且远离渔场重心的鱼群, 故导致渔场重心表征鱼群分布特征的能力低, 鱼群重心的可信度低; 当鱼群比较均质且靠近重心时, 渔场重心和几何中心偏差小, 渔场重心表征鱼群分布特征的能力较强, 渔场重心可信度较高; 而当鱼群在渔场重心周围具有同样的质量, 渔场重心和几何中心重合, 鱼群均匀和对称围绕渔场重心, 鱼群重心表征鱼群分布特征的能力最强, 渔场重心可信度最高。可见, 可以通过渔场重心和几何中心相对偏差来计算渔场重心的可信度, 据此反映鱼群在渔场重心的对称性和均匀度, 体现渔场重心表征鱼群分布特征的能力。如果渔场重心的修正, 去除了渔场中大部份的鱼群, 则修正后的渔场重心不能表征大部分鱼群的分布特征, 显然修正后的渔场重心毫无意义, 因此渔场重心信度与保留鱼群数量多寡正相关。

渔场重心信度, 可由下式计算:

$$HB = \frac{E_1}{E_2} \times LF \quad (5)$$

式中, HB 为渔场重心信度, E_1 为单位时间内各鱼群重心到渔场重心动能总和; E_2 为单位时间内各鱼群重心到渔场几何中心动能总和, LF 为重心修正后保留鱼群数量的比例, 未修正时 $LF=1$ 。 E_1 和 E_2 可用下式计算:

$$E_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i \times ((x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2) \quad (6)$$

$$E_2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i \times ((x_i - LX)^2 + (y_i - LY)^2) \quad (7)$$

式中, x_i, y_i 为第 i 渔区的中心坐标, X, Y 为渔场重心的坐标, LX, LY 为渔场几何中心的坐标, n 为渔区的目数, m_i 为第 i 渔区鱼群质量。 $m_i = \rho_i v$, ρ_i 为第 i 渔区的 CPUE, v 为渔区的体积。

1.5 渔场重心修正

根据渔场重心测算公式(5)式可知, 当 CPUE 较小 (ρ_i 值小) 的鱼群, 且离渔场重心距离远 (L_i 值大) 时, ρ_i/L_i 值小, 其对渔场重心的影响程度小, 该鱼群对渔场重心的重要性较低, 却对渔场几何中心的影响程度较大, 导致渔场重心信度低, 而当 CPUE 较大 (ρ_i 值大) 的鱼群时, 其离渔场重心距离也较近 (L_i 值小), ρ_i/L_i 值大, 其对渔场重心的影响程度大, 该鱼群对渔场重心的重要性较高, 增强了渔场重心的可信度。因此, ρ_i/L_i 值可以作为判定鱼群是否保留的指标。渔场重心修正原则: 通过排除 ρ_i/L_i 值小的鱼群, 并最大限度地保留渔场中鱼群的主要数量, 以增强渔场重心的可信程度。为了易于确定鱼群所在渔区修正的阈值, 需对 ρ_i/L_i 值进行无量纲化。鱼群所在渔区是否需要修正, 可用下式计算判断:

$$HB_i = \frac{\rho_i}{\bar{\rho}} \times \frac{\bar{L}}{L_i} \quad (8)$$

式中, HB_i 为第 i 渔区的修正系数, L_i 为第 i 渔区到重心的距离, $\bar{L}$ 为各个渔区到重心的平均距离, $\bar{\rho}$ 为各个渔区平均 CPUE, ρ_i 为第 i 渔区的 CPUE。 HB_i 值可用于判别鱼群所在渔区是否排除,通过去除修正系数小的渔区,能尽量保留渔场中鱼群数量,从而提升渔场重心表征鱼群分布特征的能力,提高渔场重心的可信程度(5式)。

2 结果

2.1 渔场重心信度的月变化

二长棘鲷渔场重心信度各月变化在 0.12—1.00, 平均值 0.67, 均方差 0.31, 各月渔场重心波动较大(图 2)。12 月和 2 月份渔场重心信度最大为 1.00, 其次是 9 月份为 0.95, 其余渔场重心信度由高到低的依次为 11 月、1 月、10 月、8 月、6 月、7 月、4 月、5 月、3 月。

1 月份, 鱼群主要分布在 292 和 319 渔区, 占鱼群数量的 98%, 分别为 12.72 kg/网和 10.00 kg/网, 虽然两渔区中心相距远为 108 海里, 但由于两渔区 CPUE 差别较小, 故渔场重心需考虑这两渔区, 渔场重心位置(118.0415°E, 24.1410°N)在两渔区之间, 鱼群对称分布于渔场重心两侧, 渔场重心可信度高, 其渔场重心信度为 0.87。2 月份, 鱼群只分布在 305 渔区, 鱼群对称

和均匀分布于渔场重心, 渔场重心表征鱼群分布特征最强, 渔场重心信度最高为 1.00。3 月份, 鱼群分布在 305 和 316 渔区, 两渔区中心相距较远为 51.96 海里, 且 CPUE 差异较大分别为 11.87 kg/网和 0.37 kg/网, 相差 32 倍, 由(1)、(2)式计算出的渔场重心位置为(119.2198°E, 23.2349°N), 渔场重心位置附近的渔区有 304、305、317 和 318 渔区, 仅 305 渔区有鱼群分布, 鱼群在渔场重心分布不对称, 渔场重心表征鱼群分布特征能力最弱, 其渔场重心信度最差为 0.12。4 月份, 318 和 303 渔区 CPUE 分别为 5.34 kg/网和 48.57 kg/网, 相差 9 倍, 且两渔区中心相距较远为 51.96 海里, 渔场重心位置为(118.3489°E, 23.2005°N), 鱼群在渔场重心分布不对称, 渔场重心的可信度较差为 0.35, 表征鱼群分布特征能力较弱。5 月份, 鱼群主要分布在 302 渔区, 其 CPUE 为 51.05 kg/网, 而 316 渔区的鱼群 CPUE 为 0.67 kg/网, 两渔区相互差 76 倍, 其距 302 渔区较远为 42.42 海里, 鱼群在渔场重心周围的对称性和均匀度差, 渔场重心表征鱼群分布特征差, 由(1)、(2)式计算出的渔场重心为(117.8345°E, 23.2446°N), 渔场重心信度较低为 0.30。6 月份, 鱼群主要集中分布在 291 和 292 渔区, 其 CPUE 分别为 71.55 kg/网和 56.38 kg/网, 占鱼群数量 76%, 而 302、303、304、305 和 316 渔区的鱼群, 占鱼群数量 24%, 渔场重心位置为(118.0638°E, 23.6282°N), 鱼群大致均匀和对称分布于重心两侧, 渔场重心表征鱼群分布特征的能力有限, 渔场重心信度为 0.55。7 月份, 鱼群主要集中分布在 291 和 292 渔区, 其 CPUE 分别为 127.83 kg/网和 138.13 kg/网, 占整个鱼群 93%, 渔场重心应在 291 和 292 渔区中间(118.0097°E, 23.7500°N), 这样 291 和 292 渔区能均匀和对称分布于渔场重心, 但受 283、293、304 和 316 渔区鱼群的影响, 渔场重心位置为(118.0556°E, 23.7640°N), 由于 291 和 292 渔区 CPUE 为全年最高, 重心位置需要精确, 其稍微偏离, 导致渔场重心信度低, 渔场重心表征鱼群分布特征的能力差, 故渔场重心的可信度为 0.40。8 月份, 鱼群分布渔区数为 9 个, 鱼群分布范围广, 291 和 292 渔区资源的密度较大, 分别为 72.36 kg/网和 36.18 kg/网, 占整个鱼群 54%, 其它 7 个渔区的鱼群占 46%, 渔场重心位置为(118.1866°E, 23.4993°N), 重心附近除了 291 和 292 渔区外, 还有 302、303、和 304 渔区, 其 CPUE 也较大分别为 20.61 kg/网、13.59 kg/网、21.25 kg/网, 鱼群在渔场重心周围的对称性和均匀度尚可, 但渔场重心表征鱼群分布特征的能力有限, 渔场重心信度为 0.64。9 月份, 渔场重心位置为(118.4729°E, 23.4247°N), 重心附近的渔区 291、292、

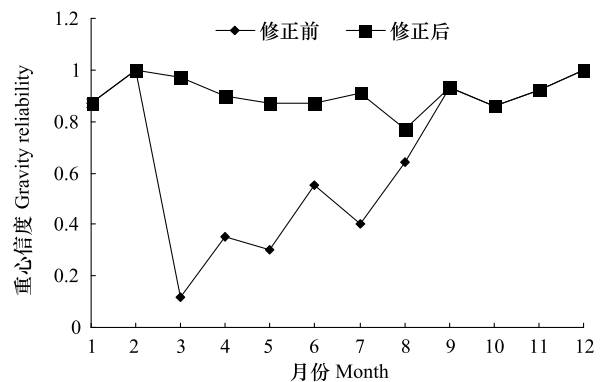


图 2 各月修正前后二长棘鲷渔场重心信度
Fig.2 Monthly before and after the amendment of the fishing ground gravity reliability of *P. edulis*

302、304 和 305 均有鱼群分布,鱼群较均匀和对称的分布于在渔场重心周围,渔场重心表征鱼群分布特征很强,渔场重心信度高为 0.93。10 月份,渔场重心位置为(117.9713°E,23.5113°N),鱼群重心周围分布的渔区有:291、292、302、303 和 315,鱼群较均匀和对称的分布于在渔场重心周围,渔场重心表征鱼群分布特征强,渔场重心信度高为 0.86。11 月份,鱼群分布的 302、303 和 316 渔区 CPUE 分别为 9.56 kg/网、3.45 kg/网和 8.64 kg/网,差别不大,且渔区相互临近,渔场重心位置为(117.8297°E,23.0505°N),鱼群较均匀和对称的分布于在渔场重心周围,渔场重心表征鱼群分布特征很强,渔场重心可信度高为 0.92。12 月份,鱼群只分布在 316 渔区,鱼群对称和均匀分布于渔场重心,渔场重心表征鱼群分布特征最强,渔场重心信度最高为 1.00(表 1,图 2)。可见,渔场重心信度可表征渔场重心的可信程度,不仅反映了鱼群在渔场重心的对称性和均匀度,而且体现了鱼群在渔场重心周围的分布特征,可作为研究鱼群分布特征的重要参数,渔场重心信度低于 0.70,渔场重心不可信,渔场重心信度的值越大则渔场重心的可靠性越高。

2.2 渔场重心修正

3—8 月份,渔场重心信度小于 0.70,渔场重心需进行修正。3 月份,鱼群分布在 305 和 316 渔区的修正系数分别为 32.0815 和 0.0312,去除 316 渔区,其占鱼群数量的 3%, $LF=0.97$,渔场重心信度提高为 0.97。4 月份,303 和 318 渔区的修正系数分别为 9.1075 和 0.1098,通过去除 318 渔区,其占鱼群数量的 10%, $LF=0.90$,渔场重心信度提高为 0.90。5 月份,鱼群分布在 302、303 和 316 渔区的修正系数分别为 11.2943、0.4362 和 0.0192,去除 303 和 316 渔区,其占鱼群数量的 13%, $LF=0.87$,渔场重心信度提高为 0.87。6 月份,鱼群主要集中在 291 和 292 渔区,渔区的修正系数分别为

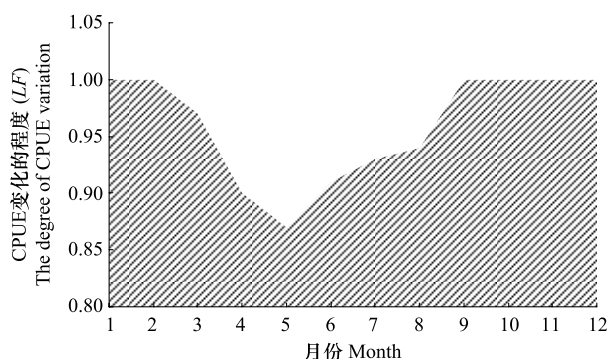


图 3 各月修正前后二长棘鲷 CPUE 变化

Fig.3 Monthly before and after the amendment of CPUE of *P. edita*

5.5449、6.6109,302 和 303 渔区的修正系数分别为 0.7546 和 0.6335,而 304、305 和 316 渔区修正系数低于 0.5,去除 304、305 和 316 渔区,其占鱼群数量的 9%, $LF=0.91$,渔场重心信度提高为 0.71。7 月份,鱼群主要集中在 291 和 292 渔区,其 CPUE 分别为 127.83 kg/网和 138.13 kg/网,占整个鱼群 93%,渔区的修正系数分布为 5.7803 和 9.8012,而 283、293、304 和 316 渔区的修正系数均低于 0.5,去除 283、293、304 和 316 渔区,其占鱼群数量的 7%, $LF=0.93$,渔场重心信度提高为 0.91。8 月份,鱼群分布渔区数为 9 个,291、292、302、303、304、317 渔区的修正系数均大于 0.5,而 294、305 和 318 渔区的修正系数小于 0.5,去除 294、305 和 318 渔区,其占鱼群数量的 6%, $LF=0.94$,渔场重心信度提高为 0.77(表 1,表 2,图 2,图 3)。可见,渔区的修正系数的阈值为 0.5,通过去除修正系数小于 0.5 的鱼群,能保留 85% 以上的鱼群数量,提高渔场重心的可信程度 0.70 以上。

2.3 修正后的渔场重心变化

1 月份,渔场重心位置(118.0415°E,24.1410°N)。2 月份,生殖群体重心往东偏南方向移动,移动的距离较大,渔场中心在 305 渔区,渔场重心位置(119.2500°E,23.2500°N)。3 月份,渔场重心位置(119.2500°E,23.2500°N),生殖群体仍然在 305 渔区。4 月份,幼鱼群体重心迅速向西方向迁移到 303 渔区,渔场重心位置(118.2500°E,23.2500°N)。5 月份,幼鱼群体重心继续向西迁移到 302 渔区,渔场重心位置(117.7500°E,23.2500°N)。6 月份,索饵群体重心向东北方向移动,主要分布 291、292 渔区,重心位置为(117.9691°E,23.6688°N)。7 月份,索饵群体重心进行向东北方向移动,重心位置为(118.0097°E,23.7500°N)。8 月份,索饵群体重心开始往南迁移,重心位置为(118.1106°E,23.4889°N)。9 月份,渔场重心由东偏南移动,渔场重心位置为(118.4729°E,23.4247°N)。10 月份,鱼群重心向西移动,渔场重心位置为(117.9713°E,23.5113°N)。11 月份,鱼群重心向西南方向移动,渔场重心位置为(117.8297°E,23.0505°N)。12 月份,鱼群只分布在 316

渔区,渔场重心向东南方向移动,渔场重心位置为(118.7500°E,22.7500°N)(表1,图4)。由此表明,修改后的不同群体渔场重心变化规律较显著,4—5月份,幼鱼群体重心向西迁移,6—7月份,索饵群体重心向东北方向移动,8月份,索饵群体重心开始往南迁移,9—11月份,越冬群体重心逐渐向南移动,12月份,生殖群体重心继续往南迁移,1—3月份生殖群体主要集中在305渔区(119°15'E,23°15'N)附近进行生殖活动,鱼群少有迁移。

表2 3—8月二长棘鲷各渔区修正系数

Table 2 Monthly the fishing area correction coefficient of *P. edita* in each fishing area from March to August

渔区 Fishing zone	月份 Month					
	3	4	5	6	7	8
282						
283					0.1990	
291				5.5449	5.7803	4.7776
292				6.6109	9.8012	4.6297
293					0.0832	
294						0.3532
302			11.2493	0.7564		1.3625
303		9.1075	0.4362	0.6535		1.7569
304				0.2630	0.0114	1.1467
305	32.0815			0.1584		0.0101
314						
315						
316	0.0312		0.0192	0.0116	0.0236	
317						0.7226
318		0.1098				0.0312
319						

3 讨论

3.1 渔场重心信度测算

当鱼群数量小且远离渔场重心,会引起几何中心位置的较大变化,而渔场重心位置变化较小,从而导致渔场重心和几何中心有较大的偏离,由于渔场重心难以表征数量小且远离渔场重心的鱼群,由(5)式可得其渔场重心信度低,如3月份,305和316渔区CPUE相差较大为32倍,且316渔区的鱼群远离重心为41.79海里,重心信度最低为0.12;当鱼群比较均质且靠近重心时,渔场重心和几何中心偏差小,渔场重心信度高,由(5)式可得渔场重心信度高,如11月份,鱼群分布的302、303和316渔区,CPUE分别差别不大,且渔区相互临近,渔场重心可信度高为0.92;当鱼群在重心周围具有同样的质量,渔场重心和几何中心重合,鱼群均匀和对称围绕渔场重心,信度系数最大为1.00,如2月份和12月份。由此表明:渔场重心信度可表征渔场重心的可信程度,值越大表示鱼群越均匀地靠近渔场重心,渔场重心的可信度越高,应用(5)式判断和分析渔场重心的可信程度是科学、可靠的。

3.2 渔场重心修正

通过去除修正系数小的鱼群,能尽量保留鱼群数量(LF值大),并可使渔场重心和几何中心距离靠近,可以提高渔场重心的可信程度(5式),如7月份,283、293、304和316渔区的修正系数分别为0.1990、0.0832、0.0114、0.0236,均低于0.5,其仅仅占鱼群数量的7%,去除283、293、304和316渔区的鱼群后,保留了93%的鱼群,渔场重心信度由0.40提高为0.91。说明应用(8)式可准确计算出各鱼群对渔场重心的影响程度,通过排除对渔场重心影响力小的鱼群,保留了渔场中主要的鱼群,使得修正后的渔场重心能表征渔场中主要鱼群,并可提高渔场重心信度。可见,应用(8)式可判断和分析鱼群对渔场重心的影响程度,据此修正渔场重心是

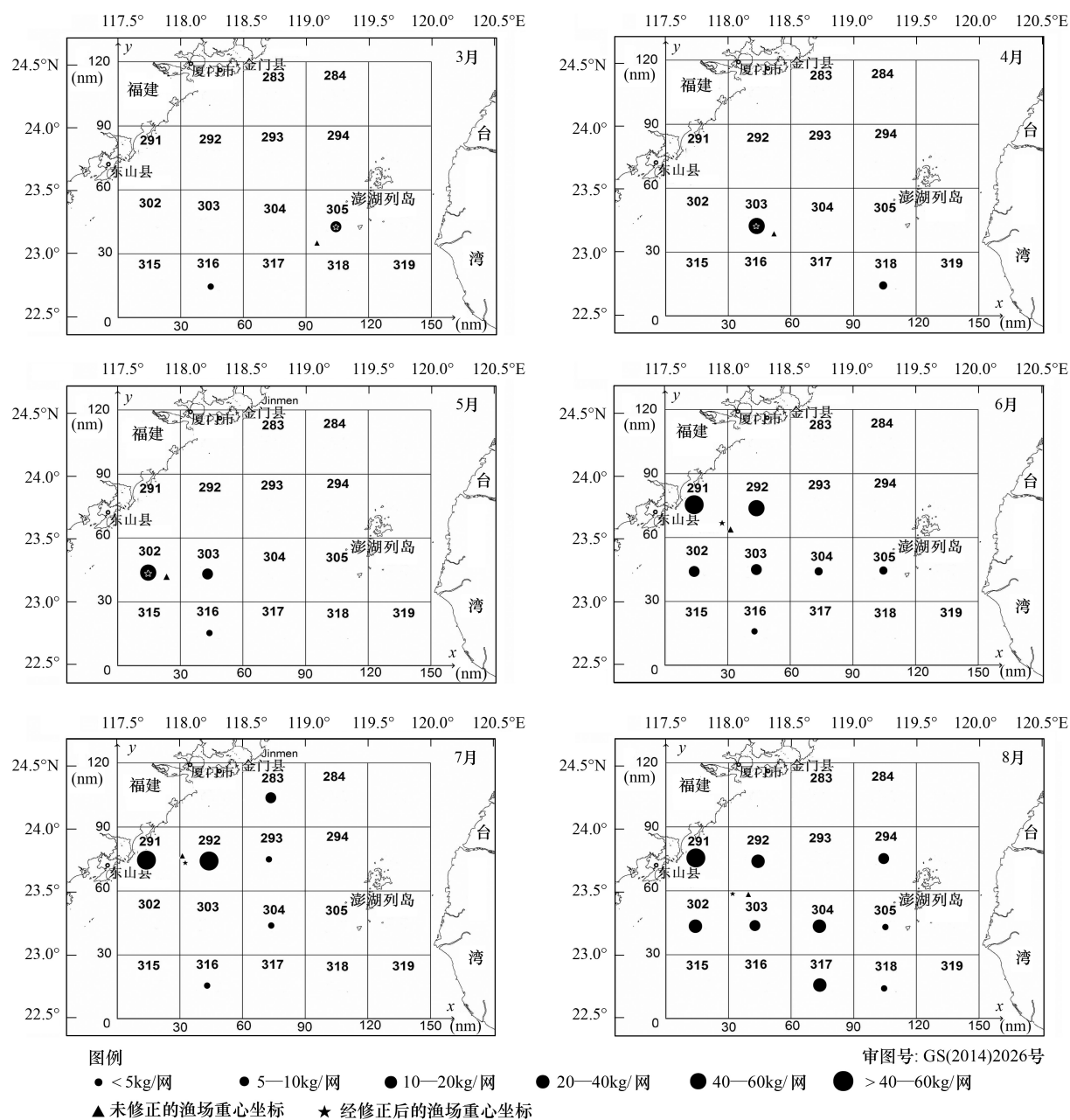


图4 3—8月份二长棘鲷 CPUE 和渔场重心的时空分布

Fig.4 The CPUE and fishing ground gravity reliability of *P. edulis* in space-time distribution during March and August

可信的。

3.3 二长棘鲷渔场重心迁移特性的洄游解释

渔场重心分布的研究是渔业资源学研究的重要内容,是渔业资源利用和管理的基础,其研究结果对渔业资源开发和渔业管理具有较直接的指导意义。二长棘鲷群体寻找索饵和生殖场所时,渔场重心迁移距离最大,12月份的鱼群迅速奔向产卵场,重心迁移距离大为58海里;4月份,鱼群生殖结束后,鱼类生殖活动大量消耗体力和能量,鱼的体质比较瘦弱,群体快速向西直接游向饵料丰富的海区,以补充体力的消耗,重心迁移距离大为60海里,受水温下降的影响,8月份索饵群体重心开始往南迁移,9—11月份,水温逐渐下降^[21],索饵场的水文条件不再适合鱼类对环境的要求,渔场重心明显呈现出向南逐渐移动的趋势,鱼类从索饵场向越冬场移动,12月份,水温继续下降^[21],生殖群体重心往南迁移,从8月到12月,历经5个月渔场重心从

23. 7500°N 到 22.7500°N, 向南移动了 60 海里, 平均每个月重心迁移 12 海里, 月均重心移动的距离小于生殖和索饵洄游。渔场重心的变化在一定程度上反映了二长棘鲷群体的洄游规律, 二长棘鲷具有明显的生殖和索饵洄游, 也有越冬洄游的行为。二长棘鲷属于近海暖水性近底层鱼类, 对水温有较高的敏感性, 水温是逐渐下降的, 越冬洄游也是渐进的, 洄游时期相对较漫长为 5 个月, 越冬洄游不如生殖和索饵洄游明显, 容易被研究者所忽视。

根据渔场重心的迁移分析鱼类洄游路线和鱼类种群分布格局等的方法有定性分析^[2-4, 6-11, 19]和定量^[1, 5, 12-15]分析两种, 定性分析考虑渔场中主要鱼群的迁移规律, 徐兆礼^[3]等依据大规模捕捞统计资料分析东黄渤海的白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)的洄游路线, 陈佳杰^[4]等认为产量高的水域必定为小黄鱼(*small yellow croaker*)渔场所在, 叶孙忠^[19]根据主要渔区的 CPUE 研究闽南-台湾浅滩二长棘鲷群体数量的时空分布, 而定量分析考虑的渔场所有鱼群的重心迁移规律, 如李刚等^[1]通过计算渔场重心定量分析东海鲈鱼(*Scomber Japonicus*)季节性洄游的规律, 牛明香等^[5]应用渔场重心分析智利外海竹筴鱼(*Trachurus murphyi*)中心渔场时空分布, 曹晓怡等^[14]定量分析了印度洋大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)、黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)延绳钓渔场重心变化规律。定性分析可能使渔场重心的位置产生偏倚, 而定量分析包括了渔场所有鱼群, 渔场重心也可能会偏离渔场中主要鱼群, 从而导致错误的结论。本研究采用渔场重心信度测算及其修正方法可定量分析渔场中主要鱼群重心的分布特征和变化规律, 克服了传统定量方法可能使渔场重心偏离渔场中主要鱼群的缺点, 而比定性描述渔场重心更为深入和详细, 并减少了定性分析对渔场重心主观臆断可能导致不同的结论。

本文分析了二长棘鲷渔场重心信度及渔场重心修正, 对闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷群体重心分布、变化规律和鱼类洄游性质有了更深入和精确的了解, 并对渔场重心修正前后渔场重心信度变化特征和产生的原因做了初步的阐述。渔场重心是鱼类种群分布特征的基本组成要素之一, 与渔业景观格局、渔场中心、鱼类洄游、渔业生态学和渔业资源学等有关, 因此, 渔场重心信度及渔场重心修正的方法在海洋与渔业领域有着广泛、潜在的应用价值。

参考文献 (References):

- [1] 李纲, 陈新军, 官文江, 陈勇. 东黄海鲈鱼资源评估与管理决策研究. 北京: 科学出版社, 2011: 54-69.
- [2] 徐兆礼, 陈佳杰. 东黄海大黄鱼洄游路线的研究. 水产学报, 2011, 35(3): 429-437.
- [3] 徐兆礼, 陈佳杰. 依据大规模捕捞统计资料分析东黄渤海白姑鱼种群划分和洄游路线. 生态学报, 2010, 30(23): 6442-6450.
- [4] 陈佳杰, 徐兆礼, 陈雪忠. 我国沿海小黄鱼渔场的空间格局. 水产学报, 2010, 34(2): 236-244.
- [5] 牛明香, 李显森, 徐玉成. 智利外海竹筴鱼中心渔场时空变动的初步研究. 海洋科学, 2009, 33(11): 105-109.
- [6] 化成君, 张衡, 樊伟. 东南太平洋智利竹筴鱼资源和渔场的时空变化. 生态学报, 2011, 31(19): 5676-5681.
- [7] 杨胜龙, 马军杰, 张禹, 化成君, 戴阳. 大西洋中部延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系. 生态学报, 2013, 33(19): 6345-6353.
- [8] 汪振华, 赵静, 王凯, 章守宇. 马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局. 生态学报, 2013, 33(19): 6218-6226.
- [9] 孙鹏飞, 单秀娟, 吴强, 陈云龙, 金显仕. 莱州湾及黄河水域鱼类群落结构的季节变化. 生态学报, 2014, 34(2): 367-376.
- [10] 李建生, 严利平, 胡芬. 夏秋季东海中部和南部海域澳洲鲈渔汛和渔场的年际变化. 中国水产科学, 2011, 18(1): 178-184.
- [11] 仲霞铭, 张虎, 汤建华, 钟非, 钟俊生, 熊瑛, 高银生, 葛珂珂, 于雯雯. 江苏近岸海域小黄鱼时空分布特征. 水产学报, 2011, 35(2): 238-246.
- [12] 陈新军, 钱卫国, 许柳雄, 田思泉. 北太平洋 150°E-165°E 海域柔鱼重心渔场的年间变动. 湛江海洋大学学报, 2003, (3): 26-32.
- [13] 汪金涛, 陈新军. 中西太平洋鳀鱼渔场的重心变化及其预测模型建立. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2013, 43(8): 44-48.
- [14] 曹晓怡, 周为峰, 樊伟, 李圣法. 印度洋大眼金枪鱼、黄鳍金枪鱼延绳钓渔场重心变化分析. 上海海洋大学学报, 2009, 18(4): 466-471.
- [15] Lehodey P, Bertignac M, Hampton J, Lewis A, Picaut J. El Niño Southern Oscillation and tuna in the western Pacific. Nature, 1997, 389(6652): 715-718.
- [16] 蔡建堤, 马超, 姜双城, 吴建绍, 蔡玉婷, 刘勇. 闽南-台湾浅滩二长棘鲷集群行为的宏观量化与分析. 水生生物学报, 2013, 37(2): 185-190.
- [17] 蔡建堤, 苏国强, 马超, 席英玉, 罗娟, 刘勇, 叶孙忠. 闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷群体景观多样性. 生态学报, 2014, 34(9): 2347-2355.
- [18] 叶孙忠, 肖方森, 陈文勇. 闽南、台湾浅滩二长棘鲷群体结构特征. 福建水产, 2004, (1): 23-30.
- [19] 叶孙忠. 闽南、台湾浅滩二长棘鲷群体数量的时空分布. 福建水产, 2004, (4): 36-39.
- [20] 叶孙忠. 闽南、台湾浅滩二长棘鲷的生长特性. 水产学报, 2004, 28(6): 663-668.
- [21] 黄韦良, 林传兰, 楼琇林, 肖清梅, 史爱琴, 金为民. 台湾海峡及其邻近海域海面温度锋的卫星遥感观测. 海洋学报, 2006, 28(4): 49-56.