

林俊豪, 于杰, 陈国宝. 基于 NPP-VIIRS 的伏季休渔结束后南海北部灯光渔船聚集特征与制度响应分析[J]. 海洋学报, 2026, 48(x): 1-14, doi:

Lin Junhao, Yu Jie, Chen Guobao. Analysis of aggregation characteristics and institutional response of light fishing boats in northern South China Sea after Summer fishing moratorium based on NPP-VIIRS[J]. Haiyang Xuebao, 2026, 48(x): 1-14, doi:

基于 NPP-VIIRS 的伏季休渔结束后南海北部灯光渔船聚集特征与制度响应分析

林俊豪^{1,2}, 于杰^{2*}, 陈国宝²

(1. 上海海洋大学海洋生物资源与管理学院, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院南海水产研究所/农业农村部海洋牧场重点实验室/国家数字渔业(海洋牧场)创新分中心/农业农村部南海渔业资源环境科学观测实验站/广东省渔业生态环境重点实验室/广东省海洋休闲渔业工程技术研究中心, 广东 广州 510300)

摘要: 伏季休渔制度是我国海洋渔业资源养护的重要制度之一。基于 2012—2024 年的 NPP-VIIRS 灯光渔船数据, 分析休渔结束后三个月灯光渔船的聚集性分布特征、作业重心的变动以及灯光强度随时间的变化特征, 并评估休渔制度调整对灯光渔业的影响。研究结果: (1) 首月, 海南岛东部、粤西和珠江口近岸各有一处灯光渔船聚集区, 面积分别为 1 281.71 km²、5,178.53 km²、2,609.70 km²; 粤东近岸海域有两处, 面积分别为 687.79 km² 和 2,596.00 km²。(2) 首月, 灯光渔船出现频数高频区 (448~711) 的网格有 7 个, 中频区 (315~448) 有 10 个; 次月, 高频区消失, 中频区仅 1 个, 低频区 (181~315) 和极低频区 (61~181) 网格增至 13 和 36 个 (增幅 30%、24.14%); 第三个月, 频数在 61~181 的网格减至 9 个。(3) 休渔结束后, 海南岛东部、粤西、珠江口和粤东四个海域的灯光渔业渔场重心变化范围分别为 (110.51~110.81°E, 18.59~19.02°N)、(111.78~112.09°E, 20.94~21.23°N)、(113.94~114.07°E, 21.55~22.08°N) 和 (116.69~117.01°E, 22.58~22.78°N)。四个海域灯光辐射值分别在休渔结束后的第 19、2、14 和 35 天达到峰值, 高作业强度持续至 55 天、54 天、51 天和 47 天之后便逐渐降低。(4) BSTS 模型显示, 2017 年后推迟开捕时间对提升珠江口海域灯光渔业的捕捞努力量有显著效应 ($P < 0.01$), 对于海南岛东部、粤西和粤东海域影响不显著 ($P > 0.05$)。本研究可为我国完善伏季休渔制度和灯光渔业管理提供参考资料。

关键词: 伏季休渔; 灯光渔业; 夜光遥感; 南海北部

中图分类号: S932

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2026)x-0001-14

1 引言

南海作为中国最大的边缘海, 横跨热带和亚热带两大气候区域, 其广阔海域内分布着珠江口渔场、海南岛东部渔场、北部湾渔场以及中西沙和南沙渔场等诸多传统渔场^[1-2], 是全球渔业产量最高的五大海

区之一^[3]。灯光罩网渔业是南海重要的海洋渔业作业类型之一, 自 20 世纪 90 年代兴起以来, 其作业海域广泛分布于南海北部的陆架区、中部和南部的岛礁区以及深水区, 最远可延伸至西南陆架区^[4]。研究表明, 南海灯光渔业主要集中在水深小于 200 m 的近岸海域, 呈斑块状聚集性分布^[5], 深入探究其在休渔

收稿日期: 2025-11-07; 修订日期: 2026-04-13。

基金项目: 农业农村部渔业发展补助资金项目 (SCSFRI2024A012); 广东省重点领域研发计划项目 (2020B1111030002)。

作者简介: 林俊豪 (2002—), 男, 硕士研究生, 研究方向为海洋渔业资源与海洋遥感。E-mail: lin13528249982@163.com

* 通信作者: 于杰, 博士, 副研究员, 研究方向为海洋渔业资源和海洋遥感。E-mail: yujiescs@aliyun.com

结束后的时空分布特征对评估伏季休渔制度的效果、优化渔业管理具有重要意义。近几十年来,受气候变化^[6]以及海洋渔业资源高强度开发^[7]等因素的综合影响,到20世纪90年代,南海北部渔业资源已呈现出明显的衰退趋势,渔获物不仅个体小型化特征突出,而且经济价值也趋于低值化^[8]。为了有效养护南海的渔业资源,我国于1999年在南海正式实施伏季休渔制度,休渔范围为12°N以北的南海海域(含北部湾),休渔时间为每年6月1日—7月31日。随着时间的推移和渔业资源状况的变化,这一制度历经多次调整,较大调整发生在2009年,休渔范围确定为12°N以北至“闽粤海域交界线”之间的海域(含北部湾),休渔起始时间提前半个月,变更为5月16日—8月1日。到了2017年,为了给渔业资源提供更充分的恢复时间,南海的休渔时间整体延长一个月,确定为5月1日—8月16日。

实施伏季休渔制度能有效降低休渔期间的捕捞强度,为鱼类产卵、育幼和生长提供了空间,有利于渔业资源休养生息^[9]。已有研究对伏季休渔效果进行了评估,邹建伟等^[10]基于北部湾捕捞调查数据和捕捞航次的经济指标分析说明了休渔有助于恢复和养护虾类资源;李忠义等^[11]结合渤海拖网调查数据从个体、种群和群落的角度指出休渔期延长优化了渔业资源的群落结构;Wang等^[12]通过对黄海鲈鱼的生物学参数数据构建年龄结构模型,并与声学生物量估算数据和历年捕捞数据对比验证,结果表明延长休渔期有助于增加鲈鱼的生物量。但值得注意的是,现有研究多聚焦于休渔前后渔获物在种类组成、优势种变化以及单位捕捞努力量渔获量(Catch Per Unit Effort, CPUE)变化的对比分析^[13-14],对休渔结束后南海北部海域出现的渔船聚集和消散现象,尚缺乏系统研究。灯光渔业在夜间使用人工光源诱集趋光性中上层鱼类和头足类并进行捕捞^[15],而夜光遥感卫星所搭载的传感器具有微光识别的能力,海上作业的灯光渔船也因此成为主要的观测对象之一,夜光遥感技术为研究伏季休渔对灯光渔业的影响提供了宝贵数据。目前,美国国家极轨业务环境卫星(National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite, NPP)-可见光红外辐射成像仪(Visible Infrared Imaging Radiometer Suite, VIIRS)数据在渔场变动、渔场形成机制分析和渔船监管等方面已得到了一些应用^[16-20]。通过分析休渔结束后灯光渔船的时空分布特征,有助于深入了解南海北部灯光渔业的作业特点,掌握渔船动态,并为评估休渔政策的实施效果提供科学依据。本研究

将该数据聚焦于伏季休渔制度对灯光渔业影响,利用2012—2024年的NPP-VIIRS灯光渔船数据,分析休渔结束后南海北部灯光渔船的空间分布特征,探究休渔制度调整对灯光渔业产生的影响,为全面了解南海北部灯光渔业的状况提供更多参考。

2 材料与方法

2.1 数据来源

NPP-VIIRS灯光渔船检测数据(VIIRS Boat Detection, VBD)来自美国国家地球物理数据中心地球观测组织(Earth Observation Group)的网站(https://eogdata.mines.edu/wwwdata/viirs_products/vbd/)。VBD数据包括日期、经度、纬度、辐射值($\text{nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$)和检测质量标志(Quality flag Detect, QF_Detect)等信息,空间分辨率为742 m,由V23算法计算夜光遥感数据生成,该算法通过计算灯光辐射值的峰值中值指数(Spike Median Index, SMI)、峰值高度指数(Spike Height Index, SHI)和锐度指数(Sharpness Index, SI)这三个参数,将 $\text{SMI} > 0.035$ 、 $\text{SHI} > 0.75$ 和 $\text{SI} > 0.4$ 的灯光像元标记为 $\text{QF_Detect} = 1$,表示检测出渔船的可信度最高; $\text{SMI} > 0.035$ 、 $\text{SHI} < 0.75$ 和 $\text{SI} > 0.4$ 的灯光像元标记为 $\text{QF_Detect} = 2$,表示检测出渔船的可能性较弱; $\text{SMI} > 0.035$ 、 $\text{SI} < 0.4$ 的灯光像元标记为 $\text{QF_Detect} = 3$,表示检测为受云层散射干扰的模糊信号,无法确定是否为渔船^[21]。本研究选取了2012—2024年每年休渔结束后3个月内的日尺度数据用于分析。其中,2012—2016年数据采集时间范围为每年8月1日—10月31日;2017—2024年数据采集时间范围为每年的8月16日—11月15日。在数据处理过程中,为保证数据质量和研究的有效性,仅采用了QF_Detect值为1的数据,该数据表明灯光像元检测为灯光渔船的可信度最高。值得注意的是,数据空间分辨率范围(742米)比实际的灯光渔船相比会大得更多,即存在单个像元数据中包含有多艘渔船的情况,说明所有QF_Detect值为1的数据不能精确代表渔船数量^[22],因此一定程度上未能精确反映渔船数量和精度问题,但本研究主要关注于研究范围内的聚集效应,所以不会影响整体的结果质量。本研究以南海北部海域作为研究区域,根据《南海及毗邻海域渔区图》将其划分为四个子区域,分别为海南岛东部海域、粤西海域、珠江口海域和粤东海域,见图1所示。

2.2 核密度分析与频数统计

核密度分析是一种估计概率密度函数的非参数方法,用于计算空间数据的分布密度。核密度分析借

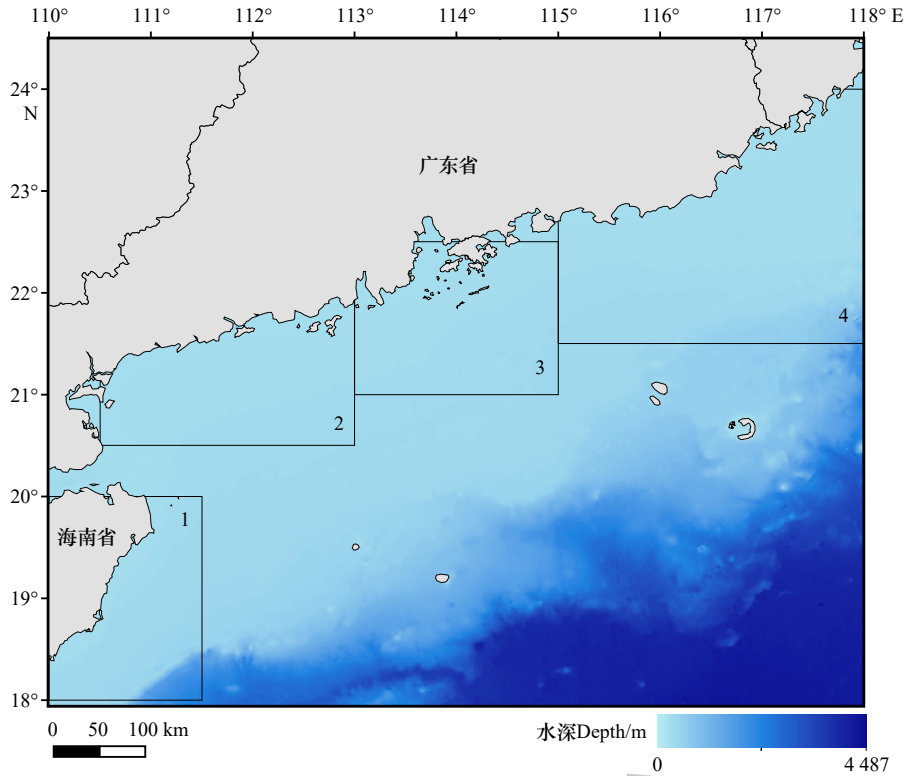


图 1 研究区域图

Fig. 1 The Research Area

注: 1: 海南岛东部海域; 2: 粤西海域; 3: 珠江口海域; 4: 粤东海域。

Note: 1, 2, 3, and 4 represent the sea areas of East Hainan Island, West Guangdong, the Pearl River Estuary, and East Guangdong, respectively.

助空间平滑技术, 将离散的点数据转换为连续的密度表面。其分析结果表现为对象间的距离越近, 它们之间的相关性就越强^[23]。在渔业研究中, 核密度分析能够揭示渔船活动的聚集程度^[24], 核密度值越大, 则表示渔船聚集程度越高。核密度计算公式为:

$$f(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{d_i}{h}\right) \quad (1)$$

$$K\left(\frac{d_i}{h}\right) = \frac{3}{\pi} \left(1 - \left(\frac{d_i}{h}\right)^2\right)^2 \quad (2)$$

式(1)中: $f(x)$ 为估计像素点 x 的核密度值, h 为带宽, d 为数据维度, n 为带宽范围内像素点的数量; $K\left(\frac{d_i}{h}\right)$ 为核函数; d_i 为估计像素点 x 到像素点 x_i 之间的距离。

同时, 按照 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 的经纬度间隔对南海北部海域进行网格划分, 选取2017—2024年的灯光渔船数据, 按照月的时间尺度量化渔船在特定网格的活动数量, 将出现灯光渔船的总数量定义为渔船在每一经纬度网格内的月出现频数, 进而描述当前伏季休渔制度下灯光渔船出现频数的时空分布特征。

参考刘进等^[25]的研究, 采用自然断点法对核密度分析结果和渔船频数进行分级, 共划分为5级。该

方法通过优化组内方差和组间方差的差异, 以实现组内差异最小化, 组间差异最大化的划分。最终, 通过色阶的渐变来呈现渔船密集程度和频数大小。

2.3 重心分析

重心是表征灯光渔船作业位置的重要参数, 可以用于研究鱼类的洄游路线、中心渔场以及分析渔场作业变化规律^[26-28]。重心分布计算公式为^[29]:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \times r_i)}{\sum_{i=1}^n r_i} \quad (3)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i \times r_i)}{\sum_{i=1}^n r_i} \quad (4)$$

式(3)和(4)中, X 和 Y 分别表示重心的经度和纬度, n 为灯光像元个数; x_i, y_i 分别为第 i 个灯光像元的经度和纬度; r_i 为灯光像元 i 的辐射值。重心分析以半个月为时间单元, 依次计算每年休渔结束后的每半个月的重心位置, 然后对2017—2024年的计算结果取平均值, 将该平均值确定为渔场重心, 用以反映这8年间南海北部主要渔场内的灯光渔船在休渔结束后的整体重心分布情况。

2.4 滑动平均差检验

为分析休渔结束后灯光渔业强度的时序变化, 选

取 2017—2024 年每年休渔结束后的逐日灯光辐射值,将 4 个海域的逐日灯光辐射值进行多年平均,得到逐日辐射值变化序列以反映在实施当前伏季休渔制度的情况下,休渔结束后灯光渔业作业强度的逐日变化规律。在此基础上,采用滑动平均法对逐日辐射值变化序列进行平滑处理以减小每日尺度的波动影响,滑动窗口为 5 天,揭示休渔结束后灯光渔业活动强度的总体演变趋势。同时,结合滑动平均差检验法^[30],寻找灯光渔业作业强度变化趋势的拐点时间,滑动平均差检验法的计算公式如下:

$$MU_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k X_{i+j-1}, i = 2, 3, 4, \dots, n, k = \min(p, i-1) \quad (5)$$

$$MD_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k X_{i+j-1}, i = 2, 3, 4, \dots, n, k = \min(p, i-1) \quad (6)$$

$$\Delta M = MD_i - MU_i \quad (7)$$

式(5)和(6)中,基于滑动平均差检验法判断拐点的滑动平均窗口 p 选择 7,构建正向和逆向的滑动平均序列结果 MU_i 和 MD_i ,其中, X_i 为每日的灯光辐射值年度平均序列。当 $\Delta M > 0$ 时,认为趋势为上升, $\Delta M < 0$ 时,趋势为下降, ΔM 值最小时所对应的日期判断为趋势拐点,拐点表示灯光辐射值在休渔结束后的一定时间段内,捕捞努力量随时间迅速减少的时间点,用于揭示灯光渔船在休渔结束后的作业强度随时间的变化趋势。

2.5 灯光辐射值时序分析

贝叶斯结构时间序列 (Bayesian Structural Time Series, BSTS) 模型主要应用于对干预策略实施前后的效果进行评价^[31]。该模型的原理在于,根据政策干预前的历史数据,构建时间序列预测模型,从而预测在无政策干预下时间序列数据的变化趋势。通过将预测值与实际值进行比较,实现对政策干预效应的定量评估。采用基于 BSTS 模型的因果推断工具,以 2012—2016 年休渔结束后的每日灯光辐射值作为基础数据构建政策实施前的灯光渔船分布模型。该模型能够捕捉灯光渔船分布的内在规律和动态变化特征,进而预测在无 2017 年休渔期延长政策干预的情况下,2017—2024 年休渔结束后的每日灯光辐射值所反映的灯光渔业发展轨迹。以休渔期结束日为基准后推相同的时间段来对比,将预测得到的发展轨迹与 2017—2024 年实际情况进行对比,进而推断休渔期延长政策所产生的因果效应。在统计检验中,当 $P < 0.05$ 认为该政策干预效果显著;反之,则认为干预效果不显著。

3 结果与分析

3.1 休渔结束后南海北部海域灯光渔船聚集区和出现频数的空间分布

图 2 为 2017—2024 年休渔结束后,8 月 16 日—9 月 15 日、9 月 16 日—10 月 15 日和 10 月 16 日—11 月 15 日的月度 VBD 数据的核密度分析和灯光渔船的出现频数结果。本研究以休渔结束后第一个月 (8 月 16 日—9 月 15 日) 为基准,对比分析后续两个月灯光渔船核密度的时空变化 (图 2, 表 1)。

休渔结束后第一个月,南海北部海域灯光渔船在空间分布上呈现显著的异质性,主要有五个高核密度区 (核密度 $> 2,200$), 具体位置如图 2a 中的 A、B、C、D 和 E 所标识。这一结果表明,休渔结束后灯光渔船在南海北部海域会形成五个核心聚集区,分别位于海南岛东部近岸海域、粤西阳江近岸海域、珠江口外担杆列岛附近近岸海域、粤东的神泉港近岸海域和南澎列岛海域,且这些区域的聚集程度呈现从核心区向外随距离增加而递减的趋势。五个核心聚集区的面积变化范围在 $687.79 \text{ km}^2 \sim 5,178.53 \text{ km}^2$, 以 B 区的面积最大, D 区最小。进一步分析发现,核密度值在 $1,500 \sim 2,200$ 的海域面积达 $20,852.59 \text{ km}^2$, 占研究区总面积的 5.39%; 核密度值在 $700 \sim 1,500$ 的海域面积为 $42,819.82 \text{ km}^2$, 占研究区总面积的 11.07%; 核密度值在 $200 \sim 700$ 的海域面积则有 $82,090.79 \text{ km}^2$, 占研究区总面积的 21.21% (表 1)。

与休渔结束后的第一个月相比,次月南海北部海域灯光渔船的聚集程度明显减弱 (图 2c)。高核密度区的核密度值均有所下降。具体而言, B、C 和 E 区的核密度最大值降至 $1,500 \sim 2,200$ 这一区间,在此核密度范围内的海域面积为比第一个月减少 4.62%; 而 A 区和 D 区的核密度最大值更是下降至 $700 \sim 1,500$ 范围,较第一个月减少了 2.15%; 核密度值在 $200 \sim 700$ 的海域面积相比第一个月增加了 9.64% (表 1)。

休渔结束后的第三个月 (图 2e), 灯光渔船的聚集特征已不显著。此时,核密度值处 $700 \sim 1,500$ 这一区间的海域,仅剩珠江口外担杆列岛附近,其面积比第一个月减少了 10.67%; 而核密度值在 $200 \sim 700$ 的海域面积为 $34,465.26 \text{ km}^2$, 占研究区总面积的 8.91%, 相较于第一个月减少了 12.30% (表 1)。

图 2b 为休渔结束后,8 月 16 日—9 月 15 日这一时间段,南海北部灯光渔船出现频数空间分布情况。出现频数高频区 (448~711) 的网格 7 个,分别分布在海南琼海市近岸海域,茂名到阳江的近岸海域,珠江

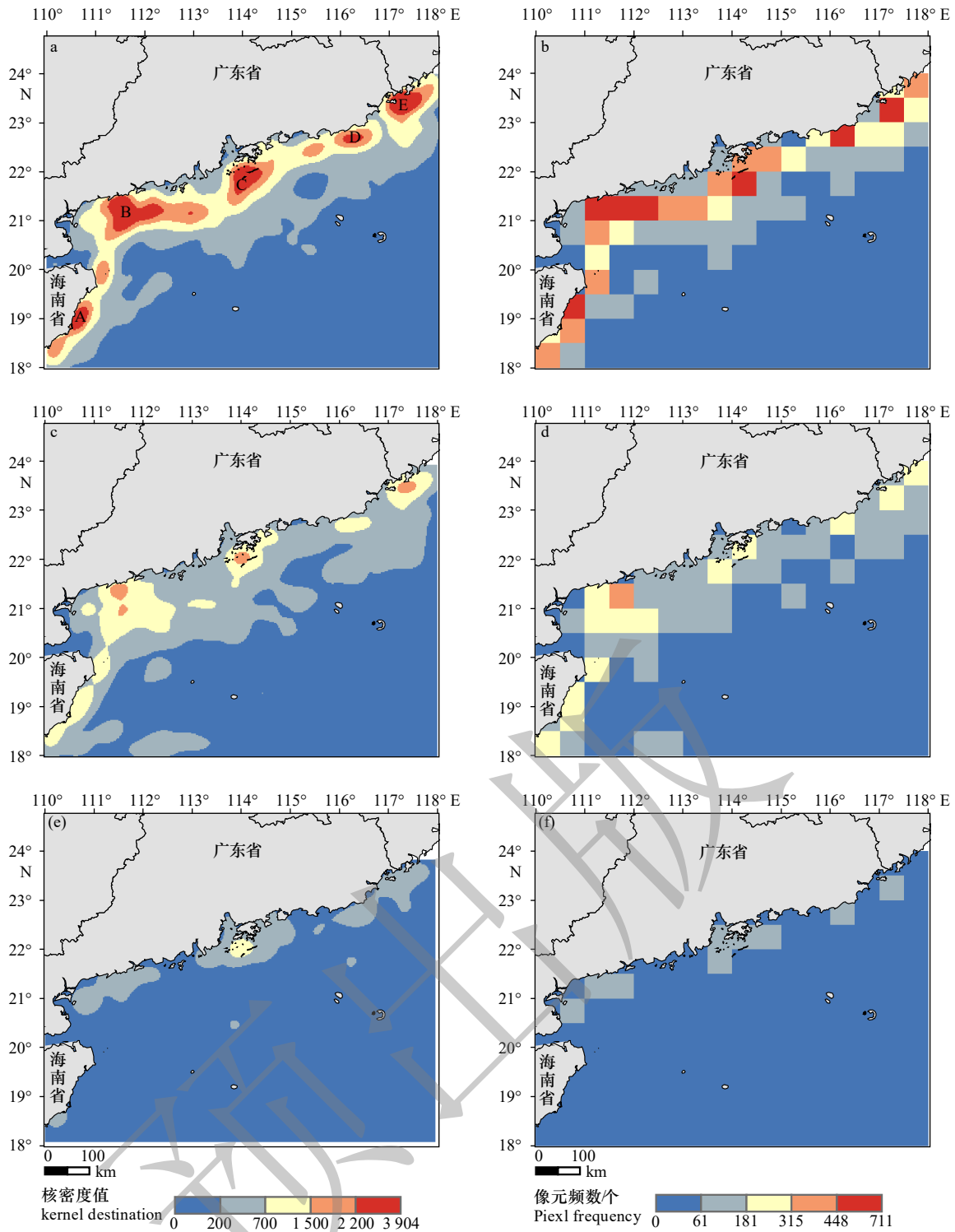


图 2 2017—2024 年南海北部海域灯光渔船核密度(左列)和灯光渔船出现频数空间分布(右列)(a)和(b)为 8 月 16 日—9 月 15 日,(c)和(d)为 9 月 16 日—10 月 15 日,(e)和(f)为 10 月 16 日—11 月 15 日

Fig. 2 Spatial distribution of kernel density (left column) and frequency (right column) of light fishing boats occurrence in northern South China Sea from 2017 to 2024 (a) and (b) are from 16 August to 15 September, (c) and (d) are from 16 September to 15 October, (e) and (f) are from 16 October to 15 November

注: 图 2(a) 的 A、B、C、D 和 E 为 5 个高核密度区。

Note: A, B, C, D and E are five regions of high kernel density in figure 2(a).

口担杆列岛附近海域, 惠来神泉港近岸海域和汕头南澳岛附近海域。其中, 以阳江近岸网格的灯光渔船出

现频数最高, 达到 711 个。所有高频数作业网格的总面积, 约占整个研究区总面积的 4.67%。此外, 中频

表 1 不同月份核密度等级区间的面积与比例
Table 1 Area and proportion of kernel density grade region in different months

时间段 Time	核密度值区间 Kernel Density	面积/km ² Area	面积占比 Area proportion
第一个月	>2 200	12,410.25	3.20%
	1 500~2 200	20,852.59	5.39%
	700~1 500	42,819.82	11.07%
	200~700	82,090.79	21.21%
第二个月	>2 200	0	0
	1 500~2 200	2,972.07	0.77%
	700~1 500	34,529.45	8.92%
	200~700	119,389.98	30.85%
第三个月	>2 200	0	0
	1 500~2 200	0	0
	700~1 500	1,555.24	0.40%
	200~700	34,465.26	8.91%

数(315~448)的网格共有 10 个,它们呈零星分布态势,既分布于惠州、阳江和茂名等地的沿岸海域,也在粤东、珠江口和海南岛东部等地有零星分布,这些网格约占研究区总面积的 6.67%。

9月16日—10月15日期间,南海北部灯光渔船出现频数空间分布情况如图 2d 所示。在休渔结束后第二个月,高频数网格全部消失。中频数网格仅剩 1 个,位于阳江近岸。所有中频数网格的总面积,约占整个研究区总面积的 0.67%。低频区(181~315)网格 13 个,较第一个月增加 30%,这些网格分散分布于粤东南澎列岛海域和神泉港近海海域、珠江口近海海域、粤西的阳江和湛江近海海域以及海南岛东部近岸海域。其中,粤西茂名近岸的网格的出现频数最高,为 316 个。极低频区(61~181)的网格数量显著增多,共计 36 个,较第一个月增加 24.14%。这些网格的总面积约占研究区总面积的 24%,其分布范围极为广泛,从近岸海域一直延伸至大陆架边缘地带。此外,外海也有几个网格,其灯光渔船出现频数同样超过 61。

在休渔结束后的第三个月,即 10 月 16 日—11 月 15 日期间,南海北部灯光渔船的出现频数空间分布情况如图 2f 所示。在这一时期,灯光渔船的出现频数均下降至 181 以下。具体而言,数量在 61~181 的网格共有 9 个,其面积占比约为 6%,这些网格分别位于:粤东惠来和汕头的近岸海域、珠江口的珠海和惠州海域以及粤西的湛江、茂名和阳江海域。

3.2 灯光渔船作业重心移动路径和灯光强度变化

休渔结束后的三个月内,海南岛东部海域的渔场重心分布在 110.51~110.81°E, 18.59~19.02°N 范围内,经向变化幅度为 0.30°,纬度变化幅度为 0.43°(图 3a)。休渔结束后渔场重心起始点位于 110.76°E, 19.00°N,而后向持续东南方向移动,然后再向西南方向持续迁移,至 11 月后向东北至 110.57°E, 18.81°N 附近海域。

粤西海域渔场重心主要分布于 111.78~112.09°E, 20.94~21.23°N 区域(图 3b)。休渔结束后初期,渔场重心位于近岸的 1 号点(112.09°E, 21.07°N),而后向离岸方向移动过至 3 号点(112.05°E, 20.94°N),然后沿着与沿岸近似平行的方向向西移动,至 10 月初向西北移动,至 11 月后向东北方向小幅迁移至 6 号点(111.87°E, 21.23°N)附近海域。

图 3c 为珠江口海域的重心移动轨迹。休渔结束后的 45 天内,珠江口海域重心主要出现在离海岸相对远的 113.94~114.11°E, 21.55~21.60°N 区域,在此期间,重心位置相对集中,灯光渔船的迁移距离较小。到 10 月份渔场重心持续向东北至 5 号点(114.07°E, 22.08°N),至 11 月份向西南回迁至为 6 号点(114.03°E, 22.00°N)。

休渔结束后的 8 月 16 日—8 月 31 日,粤东海域重心出现在离岸较近的 1 号位(116.69°E, 22.78°N),9 月 1 日后渔场重心向东南移动至 116.72~117.01°E, 22.58~22.75°N 区域,在该范围内,渔场重心自 2 号点(116.72°E, 22.68°N)形成以“东南—东北—西—西南”方向的逆时针半包围变化轨迹(图 3d)。

从图 4 的四个海域的灯光辐射值时间序列结果可以看到,海南岛东部、粤西、珠江口和粤东海域灯光强度峰值分别出现在 9 月 3 日、8 月 17 日、8 月 29 日和 9 月 20 日。海南岛东部、珠江口和粤东海域灯光强度均呈现出“先升后降”的变化态势,而粤西海域则为不同的变化趋势,在休渔结束后很快达到峰值,随后便持续下降。进一步结合滑动平均差检验可知,海南岛东部、粤西、珠江口和粤东海域的灯光辐射值变化趋势分别在到休渔结束后的 55 天(10 月 9 日)、54 天(10 月 8 日)、51 天(10 月 5 日)和 47 天(10 月 1 日)出现拐点,作业强度明显降低。

3.3 开捕时间推后对灯光渔业的影响

根据 BSTS 模型结果(表 2),2017 年休渔期延长政策导致开捕时间推后对珠江口海域的干预效果最为显著,实际灯光辐射值比无政策干预下的预测值提高了 83.74%($P<0.01$),干预效果的显著性明显。说明休渔期延长后的 8 年内,珠江口海域的灯光渔业作业

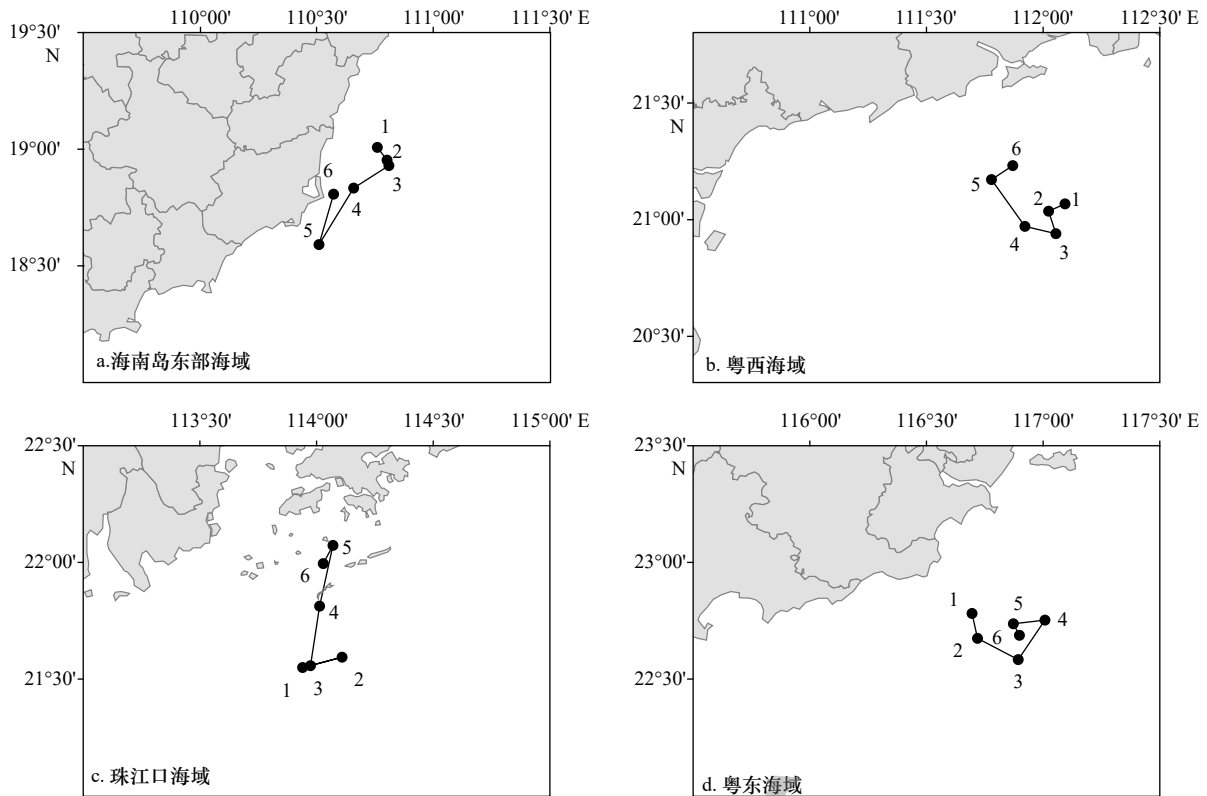


图3 2017—2024年南海北部4个海域的灯光渔船作业重心变化轨迹

Fig. 3 The path of the fishing gravity of four sea areas in northern South China Sea in 2017–2024

注: 1为8月16日—8月31日, 2为9月1日—9月15日, 3为9月16日—9月30日, 4为10月1日—10月15日, 5为10月16日—10月31日, 6为11月1日—11月15日。

Note: 1 is from August 16 to August 31, 2 is from September 1 to September 15, 3 is from September 16 to September 30, 4 is from October 1 to October 15, 5 is from October 16 to October 31, 6 is from November 1 to November 15.

强度呈现出显著的增长趋势,表明2017年休渔制度调整增强了珠江口海域的捕捞努力量。粤西海域同样也呈现出一定的正向变化趋势,其相对变化值提升了38.28%。这表明休渔期延长后的8年内,粤西海域的灯光渔业作业强度也有所增加,呈现出较为明显的积极变化倾向。然而,由于 P 值为0.07,尽管开捕时间推后对粤西海域灯光渔业的作业强度有一定的增强影响,但这种影响并不显著。同时,休渔期延长对粤东海域与海南岛东部海域的相对变化值较小,分别为17.91%和6.22%,所对应的 P 值分别为0.22和0.39,政策的干预效果同样不显著,表明开捕时间推后对增强海南岛东部海域和粤东海域灯光渔业作业强度的效果并不突出,未呈现出明显的变化。

4 讨论

4.1 南海北部灯光渔业作业渔场的时空变化特征

张鹏等^[32]通过分析2005—2010年灯光渔船生产数据,发现该渔船在粤西至珠江口外大陆架的112~115°E, 19.5~21.5°N海域有一高产区。钱静等^[12]

基于北斗船位数据得出2018年8—9月南海大型灯光罩网渔船集中在珠江口外的114~116°E, 21~22°N海域作业,在粤西111~114°E, 20~21.5°N海域也有少量渔船分布。李晓恩等^[33]结合自动识别系统(Automation Identification System, AIS)数据发现在休渔结束后,茂名电白近海约30km海域均呈现直径约为10km的“团块状”渔船聚集范围。从本研究结果看,休渔结束后8月16日—9月15日期间,在珠江口外113.8~114.8°E, 21.2~22°N海域和粤西的111~113.5°E, 20.5~21.5°N有明显的灯光渔船聚集区。可见,从渔业生产数据、北斗船位数据、AIS数据和灯光渔船遥感数据得出灯光渔业作业渔场位置存在部分重叠的现象,除此之外,从VBD数据还可以观测到在海南岛东部、粤东的神泉港和南澎列岛海域有灯光渔船进行聚集作业,而在其他的研究中仍较少关注到这一现象,这与其他研究中使用的数据源的空间覆盖率较低有一定联系。基于渔业生产数据的研究只采集有限区域和有限数量的渔船生产数据进行分析,数据量较小;AIS数据仅涵盖大型灯光渔船,且尽管《国内海洋渔

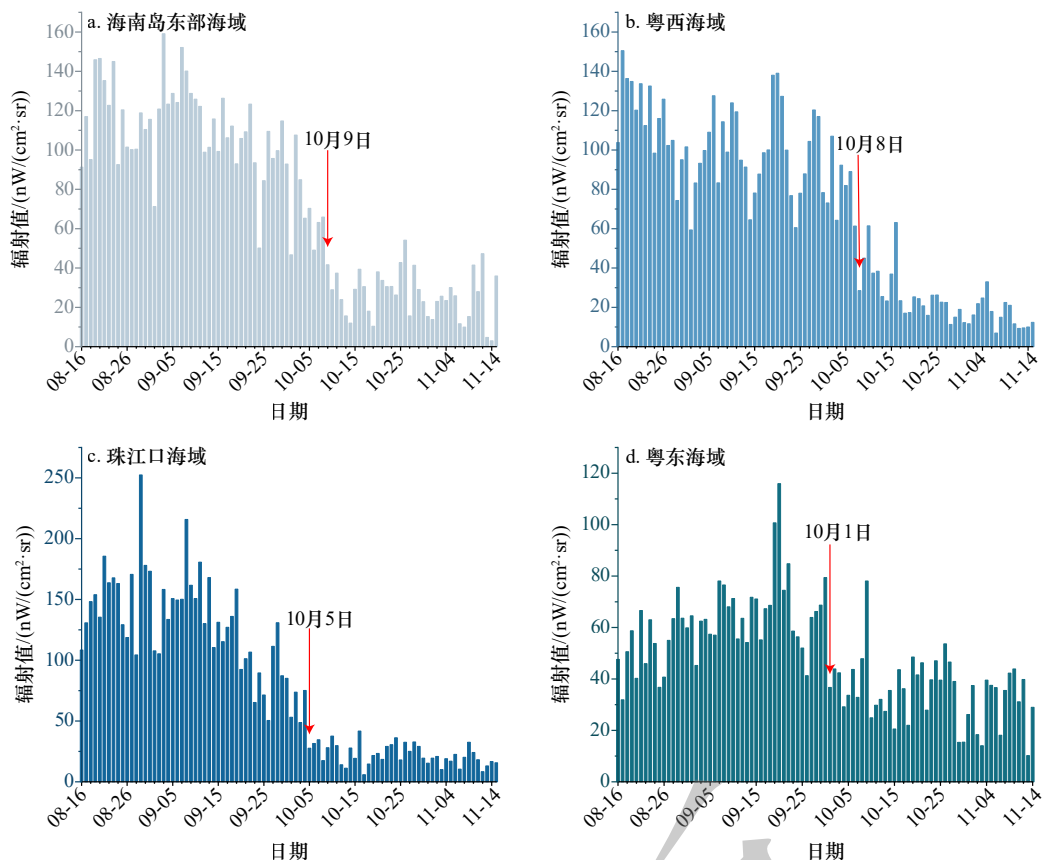


图 4 2017—2024 年南海北部 4 个海域每日的灯光辐射值变化

Fig. 4 Daily light radiance values of four sea areas in northern South China Sea from 2017 to 2024

表 2 BSTS 预测模型解释性结果

Table 2 Explanatory results of BSTS prediction model

海域 Sea area	相对变化/% Relative effect	P 值 P Value	显著性 Significance
海南岛东部海域	+6.22%±22.31%	0.39	不显著
粤西海域	+38.28%±25.38%	0.07	不显著
珠江口海域	+83.74%±32.73%	0.002	显著
粤东海域	+17.91%±25.43%	0.22	不显著

《船舶法定检验技术规则》规定船长 ≥ 12 m 的海洋渔船需要配备 AIS 和北斗终端,但 AIS 数据在实际应用中存在各地区的设备安装标准不统一、渔船主动关闭设备和船位数据传输不持续的问题^[34-35],而本研究采用的遥感数据则包括了所有在南海北部处于作业状态的灯光渔船,数据源更为全面准确,保证了研究数据对不同船只的全覆盖。

本研究发现,从休渔结束后第二个月开始,灯光渔船聚集区的面积和聚集程度相较于第一个月有所下降,表明南海北部海域灯光渔业作业强度在休渔结束后呈现逐月降低的趋势。钱静等^[12]的研究也证实 2018 年珠江口外和粤西的灯光渔船数量从 8 月至 11

月逐渐减少。这一现象与史赞荣等^[36]研究指出休渔结束后投入作业量过高,当年休渔结束后恢复的渔业资源只能维持短期高强度捕捞的结论基本一致。这是因为休渔结束后短期内高强度捕捞会导致可捕捞资源量急剧下降,同时灯光渔船需要维持动力和作业照明的燃料成本较高^[37],因此难以支撑长期高强度捕捞。其它在东海和渤海等海域的相关研究也指出,休渔结束后的大规模捕捞仅可以维持 2—3 个月左右^[38-40]。

从核密度分析和渔船出现频数结果的对比来看,休渔结束后第一个月,高核密度聚集区与渔船出现频数高频区在空间分布上高度吻合,表明高核密度聚集区对应网格的渔船出现频数也高。随着时间推移,至第二个月,渔船聚集程度减弱,聚集区面积缩小,其对应网格的渔船出现频数优势随之消失。这主要是由于聚集区仅占其网格总面积的一小部分,而网格内大部分海域并无渔船分布。另外,粤西阳江附近海域虽存在一个中频数网格,但其核密度值较低,反映出渔船分布较为分散。至第三个月,仅珠江口外有一处弱聚集区,其对应网格的渔船出现频数亦不显著。上述结果表明,休渔后第一个月渔船能够精准定位渔场并形成密集作业区;随着渔业资源被高强度捕捞,后续

渔船出航率下降, 作业模式趋于分散, 难以形成大规模的聚集性作业区, 导致核密度高值区与渔船出现频数高频区在空间上不再对应。

4.2 南海北部灯光渔船作业重心变化分析

休渔结束后从 8 月 16 日—11 月 15 日按 15 天为间隔的 6 个时间段内, 海南岛东部海域、粤西海域、珠江口海域和粤东海域的重心位置在经度和纬度方向上的变化幅度均小于 40 km, 说明休渔结束后南海北部灯光渔船作业范围变化不大, 渔场较为稳定, 这与南海北部陆架海区独特的地形特征和持续的多尺度海洋动力过程有关^[41], 因而形成稳定的海洋环境。另外, 也与南海灯光渔业的主要目标物种的洄游特性有关。南海灯光渔业的主要捕捞对象包括洄游不明显或非洄游性的暖水性中上层鱼类, 以及垂直迁徙的头足类。这些鱼类多为定居性或短距离洄游物种, 其活动范围相对固定, 一般认为南海中上层鱼类的空间分布主要与海洋环境变动和饵料生物分布有关^[42-44]。

夏季, 在季风和海底地形的影响下, 在海南岛东侧的 30m 等深线附近的浅海海域会形成强劲的近岸上升流, 低温范围主要位于 110°30'E, 18°30'~20°N 的海域, 温度区间为 20~24℃^[45]。琼东上升流主要发生于 6 月—10 月^[46-47], 琼东上升流盛行期间通过将深层海水丰富的营养盐补充至真光层, 丰富的磷酸盐极大的提高了上升流区的初级生产力^[48], 形成了浮游植物密集区^[49]。本研究中海南岛东部海域的作业重心也在这一上升流影响范围内, 休渔结束后灯光渔船集中在离岸较远的区域作业, 10 月份后上升流开始消失^[47], 灯光渔船的作业重心在渔场范围内逐渐向近岸迁移, 灯光强度在 10 月 9 日后也有所降低, 作业强度减小。

刘祝楠等^[50]的研究发现夏季粤西灯光罩网渔场中心较冬季向东移动, 经向移动范围约 1°。本研究在对夏秋季期间灯光渔船重心变化上则得出了向西移动的不同结论, 这一方向正好与珠江口冲淡水的方向一致^[51-52], 夏季的降雨量与径流量增加, 冲淡水携带陆源营养盐进入, 叠加温度升高促进浮游植物快速繁殖, 形成表层叶绿素高值范围^[53], 说明休渔结束后初期渔船会聚集于靠近珠江口外海的高初级生产力海域进行作业, 在渔业资源捕捞到一定程度后, 会逐渐向西迁移。蔡文贵等^[54]的研究表明受珠江口冲淡水的影响, 来自珠江流域的营养盐向西南方向扩散, 在川山群岛周围水域形成浮游植物的相对密集区, 本研究所发现的灯光渔场重心位置与该密集区吻合, 且移动幅度在 15' 左右, 休渔结束后 3 个月灯光渔场重心基本位于浮游植物密集区范围内。

休渔结束后的 3 个月, 珠江口海域的灯光渔场重心均位于担杆列岛以南至 21.5°N 以北海域, 渔场重心从初期近 21.5°N 纬度线位置, 向担杆列岛近岸方向移动。通常认为, 河口区盐度对鱼类的分布起到了主导影响^[55-57]。夏季由于珠江口冲淡水扩展与南海陆架水混合形成强大的盐度锋面, 中上层鱼类倾向于向盐度较高的外海聚集, 至 11 月份, 径流减弱导致冲淡水范围收缩, 盐度锋面北移, 中上层鱼类的活动范围随之北迁, 灯光渔船的作业重心亦随鱼类活动范围而逐渐北移。

上升流生态系统的生产力动态对渔业活动具有关键驱动作用。休渔结束后, 粤东海域灯光渔场重心位置与粤东沿岸上升流位置相符合。作业重心位置较为稳定, 主要在 117°E, 22.6°N 周围约 10 km 范围内, 这与粤东上升流范围的稳定性有关。粤东上升流的主要驱动因素是西南季风, 通常发生于每年的 7—10 月期间, 主要位于汕头沿岸 116.75°E, 22.83°N 附近以及澎湖列岛以西的 118°E, 23.67°N 附近^[46, 58-59], 上升流裹挟底层营养盐到表层, 为浮游植物的生长提供充足的营养来源, 进而改变初级生产力水平^[60], 粤东上升流强度与海洋捕捞产量密切相关^[61], 与本研究观测到休渔结束后灯光渔船集中在上升流影响的高生产力区域作业, 且重心位置围绕上升流进行小范围迁移的结果相吻合。

海南岛东部海域、粤西海域、珠江口海域和粤东海域的灯光强度分别在休渔结束后的第 19、2、14 和 35 天达到了峰值, 作业强度分别持续 55 天、54 天、51 天和 47 天之后便逐渐降低。灯光强度峰值出现时间和高作业强度持续时间与各个区域的可捕资源量存在一定关系, 从灯光辐射值变化趋势来看, 休渔结束后, 海南岛东部海域、粤西海域和珠江口海域的灯光辐射值较大, 且高强度的作业持续时间也是较长, 海南岛东部海域、粤西海域和珠江口海域的渔业资源量更为丰富。

4.3 开捕时间推后对灯光渔业的影响

我国伏季休渔制度调整主要涉及三个方面, 一是伏季休渔作业海域范围, 二是伏季休渔的时间跨度, 三是伏季休渔时所限制的渔具类型。已有学者分析了伏季休渔期延长对拖网渔业的影响, 李忠义等^[11]的研究表明, 在 2017 年休渔期延长之后, 渤海渔业资源的补充群体数量以及优势种类的数量增加, 中上层鱼类的年度资源密度增加幅度达 178.26%。严利平等^[40]的研究则指出, 2017 年休渔期延长之后, 东海主要经济种类的生物量以及补充群体数量, 均高于 2014—

2016年的水平。邹建伟^[62]的研究发现,2017—2019年南海北部拖网渔船的渔获率平均值相较于2015—2016年增长24.45%。与上述研究的角度有所不同的是,本研究聚焦于2017年休渔期延长而导致开捕时间推后对南海北部灯光渔业捕捞努力量的影响,结果显示,2017年该政策对灯光渔业所产生的影响存在区域差异:珠江口海域的灯光渔业捕捞努力量得到显著提升,灯光强度相对变化达到+83.74%;然而,海南岛东部、粤西和粤东海域的捕捞努力量并未出现显著提升。

灯光渔业对2017年休渔制度调整响应的显著性存在空间异质性,原因可能与不同海域的生态基础和人类活动强度的差异有关。一方面,珠江口作为多种经济鱼类的重要产卵场和育幼场^[63]。休渔期延长有效覆盖其关键发育季节,使幼鱼得到更充足的生长时间,从而显著提升了资源补充量。另一方面,珠江口得益于丰富的陆源营养盐输入,初级生产力水平高^[64],优越的饵料基础促进了鱼类的快速生长。因此,在基础生态条件优越的珠江口,开捕时间推后显著提升了捕捞努力量。相比之下,海南岛东部、粤西和粤东海域陆源营养盐输入有限,初级生产力较低,鱼类资源自然恢复速度较慢。此外,这些海域长期面临较高的捕捞压力,生态系统或因过度捕捞而发生结构性变化,

导致资源恢复能力较弱,使得休渔制度调整的效果未能显著显现。可见,在生态条件和资源基础优越的海域,休渔期延长能更有效地促进资源恢复;而其他海域可能需要结合栖息地修复、捕捞限额等综合措施,才能实现可持续渔业管理。

5 结论

本文利用NPP-VIIRS灯光渔船数据,对伏季休渔结束后南海北部海域灯光渔船的时空变动特征进行了分析。结果表明,休渔结束后初期,南海北部海域的灯光渔船分布呈斑块化分布,高度聚集;随着时间推进,灯光渔船的聚集性特征逐渐消失,作业强度显著减弱。海南岛东部海域、粤西海域、珠江口海域和粤东海域四个海域灯光渔船作业重心的空间变动幅度较小,主要受上升流以及珠江口冲淡水的影响。在休渔结束后,海南岛东部海域、珠江口海域和粤东海域灯光作业强度先升高后降低,而粤西海域呈现逐渐降低的趋势,四个海域的灯光渔业相对高强度作业时间均持续至10月上旬。2017年伏季休渔期延长后所导致的开捕时间推后显著提高了珠江口海域灯光渔业的捕捞努力量。随着灯光渔船遥感监测技术的发展,未来该数据在评价休渔效果、特殊经济品种捕捞专项、休渔期渔船监管等研究将得到更广泛应用。

参考文献:

- [1] 刘维达,林昭进,江艳娥,等.南海北部陆架区底层渔业资源的空间分布特征[J]. *热带海洋学报*, 2011, 30(5): 95–103.
Liu Weida, Lin Zhaojin, Jiang Yane, et al. Spatial distribution of demersal fishery resources in the continental shelf of the northern South China Sea[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2011, 30(5): 95–103.
- [2] 陈森,张鹏,晏磊,等.南海新建钢质罩网渔船渔获组成及渔场分析[J]. *南方水产科学*, 2015, 11(5): 125–131.
Chen Sen, Zhang Peng, Yan Lei, et al. Analysis on catch composition and fishing ground by new-built steel light falling-net fishing in the South China Sea[J]. *South China Fisheries Science*, 2015, 11(5): 125–131.
- [3] 赖梦盈,余为.南海渔业生态系统结构分析[J]. *中国水产科学*, 2024, 31(11): 1336–1350.
Lai Mengying, Yu Wei. Analysis of fishery ecosystem structure in the South China Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2024, 31(11): 1336–1350.
- [4] 钱静,李佳俊,陈作志,等.基于北斗船位数据的南海大型灯光罩网渔业研究[J]. *南方水产科学*, 2022, 18(6): 1–9.
Qian Jing, Li Jiajun, Chen Zuozhi, et al. An investigation of large-size light falling-net fishing vessels operating in South China Sea based on Beidou VMS data[J]. *South China Fisheries Science*, 2022, 18(6): 1–9.
- [5] Li Jiajun, Cai Yancong, Zhang Peng, et al. Satellite observation of a newly developed light-fishing “hotspot” in the open South China Sea[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2021, 256: 112312.
- [6] 田思泉,柳晓雪,花传祥,等.南海渔业资源状况及其管理挑战[J]. *上海海洋大学学报*, 2024, 33(3): 786–798.
Tian Siqian, Liu Xiaoxue, Hua Chuanxiang, et al. Fishery resources status and their management challenges in the South China Sea[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2024, 33(3): 786–798.
- [7] 褚晓琳.人类命运共同体视域下南海渔业资源养护管理合作研究[J]. *亚太安全与海洋研究*, 2020(1): 87–99.
Chu Xiaolin. The study on the cooperative conservation and management of fishery resources in the South China Sea from the perspective of the community of shared future for mankind[J]. *Asia-Pacific Security and Maritime Affairs*, 2020(1): 87–99.
- [8] 陈作志,邱永松.南海区海洋渔业资源现状和可持续利用对策[J]. *湖北农学院学报*, 2002, 22(6): 507–510.
Chen Zuozhi, Qiu Yongsong. Status and sustainable utilization of fishery resources of South China Sea[J]. *Journal of Hubei Agricultural College*, 2002, 22(6): 507–510.
- [9] 余景,胡启伟,袁华荣,等.基于遥感数据的大亚湾伏季休渔效果评价[J]. *南方水产科学*, 2018, 14(3): 1–9.

- Yu Jing, Hu Qiwei, Yuan Huarong, et al. Effect assessment of summer fishing moratorium in Daya Bay based on remote sensing data[J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(3): 1–9.
- [10] 邹建伟, 王强哲, 林丕文, 等. 伏季休渔对北部湾北部虾类捕捞的影响及评价[J]. *南方水产科学*, 2015, 11(6): 88–93.
Zou Jianwei, Wang Qiangzhe, Lin Piwen, et al. Assessment of impact of Summer Fishing Moratorium on shrimp fishing in northern Beibu Gulf[J]. *South China Fisheries Science*, 2015, 11(6): 88–93.
- [11] 李忠义, 戴芳群, 杨涛, 等. 延长伏季休渔期对渤海渔业资源的养护效果评价[J]. *中国水产科学*, 2022, 29(10): 1510–1518.
Li Zhongyi, Dai Fanqun, Yang Tao, et al. Effect of prolonged summer fishing moratorium on fisheries conservation in Bohai Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(10): 1510–1518.
- [12] Wang Luwei, Zhang Zhengyang. Application of an age-structured model to anchovy population in the Yellow Sea: effects of fishing moratorium and selective fishing[J]. *Ecological Modelling*, 2025, 506: 111138.
- [13] 邹建伟, 黄俊秀, 王强哲. 北部湾北部沿岸渔场 2015 年伏季休渔效果评价[J]. *渔业信息与战略*, 2016, 31(2): 132–138.
Zou Jianwei, Huang Junxiu, Wang Qiangzhe. Assessment on achievements of summer fishing moratorium in coastal fishing grounds in northern Beibu Gulf, 2015[J]. *Fishery Information & Strategy*, 2016, 31(2): 132–138.
- [14] 程家骅, 林龙山, 凌建忠, 等. 东海区小黄鱼伏季休渔效果及其资源合理利用探讨[J]. *中国水产科学*, 2004, 11(6): 554–560.
Cheng Jiahua, Lin Longshan, Lin Jianzhong, et al. Effects of summer close season and rational utilization on redlip croaker (*Larimichthys polyactis* Bleeker) resource in the East China Sea Region[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11(6): 554–560.
- [15] 黄微, 于杰, 李永振, 等. 夜光遥感技术在灯光渔业上的应用[J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(16): 20–23,40.
Huang Wei, Yu Jie, Li Yongzhen, et al. Application of luminous remote sensing technology in light falling-net fishery[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018, 46(16): 20–23,40.
- [16] Yamaguchi T, Asanuma I, Park J G, et al. Estimation of vessel traffic density from Suomi NPP VIIRS day/night band[C]//Proceedings of the OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey. Monterey: IEEE, 2016: 1–5.
- [17] Hsu F C, Elvidge C D, Baugh K, et al. Cross-matching VIIRS boat detections with vessel monitoring system tracks in indonesia[J]. *Remote Sensing*, 2019, 11(9): 995.
- [18] 黄微, 李永振, 于杰, 等. 基于遥感的吕宋岛西北部海域灯光渔船空间分布及其与海洋涡的关系[J]. *海洋学报*, 2018, 40(8): 10–19.
Huang Wei, Li Yongzhen, Yu Jie, et al. Spatial distribution of light falling-net fishery vessels and its relationship with the ocean vortex in the northwestern Luzon Island base on remote sensing[J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(8): 10–19.
- [19] 郭刚刚, 樊伟, 薛嘉伦, 等. 基于 NPP/VIIRS 夜光遥感影像的作业灯光围网渔船识别[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(10): 245–251.
Guo Ganggang, Fan Wei, Xue Jialun, et al. Identification for operating pelagic light-fishing vessels based on NPP/VIIRS low light imaging data[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(10): 245–251.
- [20] 吴佳文, 官文江. 基于 SNPP/VIIRS 夜光遥感数据的东、黄海渔船时空分布及其变化特点[J]. *中国水产科学*, 2019, 26(2): 221–231.
Wu Jiawen, Guan Wenjiang. Study on the distribution and variation of fishing vessels in East China Sea and Yellow Sea based on the nighttime light remote sensing data from SNPP/VIIRS[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(2): 221–231.
- [21] Elvidge C D, Zhizhin M, Baugh K, et al. Automatic boat identification system for VIIRS low light imaging data[J]. *Remote Sensing*, 2015, 7(3): 3020–3036.
- [22] Elvidge C D, Ghosh T, Baugh K, et al. Rating the effectiveness of fishery closures with visible infrared imaging radiometer suite boat detection data[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2018, 5: 132.
- [23] 禹文豪, 艾廷华. 核密度估计法支持下的网络空间 POI 点可视化与分析[J]. *测绘学报*, 2015, 44(1): 82–90.
Yu Wenhao, Ai Tinghua. The visualization and analysis of POI features under network space supported by kernel density estimation[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2015, 44(1): 82–90.
- [24] 陈仁丽, 吴晓青, 刘柏静, 等. 基于 AIS 的海上渔船捕捞活动聚集区提取方法研究[J]. *地球信息科学学报*, 2021, 23(12): 2163–2173.
Chen Renli, Wu Xiaoqing, Liu Baijing, et al. Mapping method of fishing grounds based on marine AIS data[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2021, 23(12): 2163–2173.
- [25] 刘进, 唐慧, 苏昌贵, 等. 长江中游城市群公共文化设施的空间分布特征及其影响因素[J]. *经济地理*, 2025, 45(5): 85–92.
Liu Jin, Tang Hui, Su Changgui, et al. Spatial distribution characteristics and influencing factors of public cultural facilities in the urban agglomeration of the middle reaches of the Yangtze River[J]. *Economic Geography*, 2025, 45(5): 85–92.
- [26] 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[J]. *海洋科学*, 2009, 33(11): 105–109.
Niu Mingxiang, Li Xiansen, Xu Yucheng. Preliminary study on spatio-temporal change of central fishing ground of chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) in the offshore waters of Chile[J]. *Marine Sciences*, 2009, 33(11): 105–109.
- [27] 徐兆礼, 陈佳杰. 东黄海大黄鱼洄游路线的研究[J]. *水产学报*, 2011, 35(3): 429–437.
Xu Zhaoli, Chen Jiajie. Analysis of migratory route of *Larimichthys crocea* in the East China Sea and Yellow Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(3): 429–437.
- [28] 李建雄, 戴乾, 陈峰, 等. 南太平洋长鳍金枪鱼渔场重心预测研究[J]. *海洋学报*, 2024, 46(7): 100–109.
Li Jianxiong, Dai Qian, Chen Feng, et al. Study on center of gravity prediction of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) fishing grounds in the south Pacific[J]. *Haiyang Xuebao*, 2024, 46(7): 100–109.
- [29] 汪金涛, 陈新军. 中西太平洋鲑鱼渔场的重心变化及其预测模型建立[J]. *中国海洋大学学报*, 2013, 43(8): 44–48.

- Wang Jintao, Chen Xinjun. Changes and prediction of the fishing ground gravity of skipjack (*Katsuwonus pelamis*) in western-central Pacific[J]. Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(8): 44–48.
- [30] 包为民, 沈丹丹, 倪鹏, 等. 滑动平均差检测法的提出及验证[J]. 地理学报, 2018, 73(11): 2075–2085.
Bao Weimin, Shen Dandan, Ni Peng, et al. Proposition and certification of moving mean difference method for detecting abrupt change points[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(11): 2075–2085.
- [31] Santos-Lozada A R, Cuxil E R. The effect of the COVID-19 pandemic on remittances in Guatemala: a causal impact analysis[J]. *Economics Letters*, 2025, 252: 112351.
- [32] 张鹏, 曾晓光, 杨齐, 等. 南海区大型灯光罩网渔场渔期和渔获组成分析[J]. 南方水产科学, 2013, 9(3): 74–79.
Zhang Peng, Zeng Xiaoguang, Yang Lin, et al. Analyses on fishing ground and catch composition of large-scale light falling-net fisheries in South China Sea[J]. *South China Fisheries Science*, 2013, 9(3): 74–79.
- [33] 李晓恩, 周亮, 肖杨, 等. 基于渔船 AIS 数据的南海北部海洋渔业捕捞强度空间特征挖掘[J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(5): 850–859.
Li Xiaoen, Zhou Liang, Xiao Yang, et al. Spatial characteristics mining of fishing intensity in the northern South China Sea based on fishing vessels AIS data[J]. Journal of Geo-information Science, 2021, 23(5): 850–859.
- [34] 于琳琳, 樊伟, 张衡, 等. 船舶自动识别系统 (AIS) 数据在海洋渔业中研究应用现状[J]. 中国农业科技导报, 2024, 26(5): 212–222.
Yu Linlin, Fan Wei, Zhang Heng, et al. Research and application of AIS data in marine fisheries[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2024, 26(5): 212–222.
- [35] 张胜茂, 樊伟, 张衡, 等. 基于北斗船位数据的海南省渔船航次动态监测与分析[J]. 南方水产科学, 2018, 14(5): 1–10.
Zhang Shengmao, Fan Wei, Zhang Heng, et al. Dynamic monitoring and analysis of number of fishing vessel voyages in Hainan Province based on Beidou position data[J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(5): 1–10.
- [36] 史赞荣, 李永振, 孙冬芳, 等. 从资源变化、生态保护、经济效益和社会影响分析南海伏季休渔十年效果[J]. 中国水产, 2008(9): 14–16.
Shi Yunrong, Li Yongzhen, Sun Dongfang, et al. The effects of the ten-year fishing moratorium in the South China Sea are analyzed from the perspective of resource change, ecological protection, economic benefits and social impacts[J]. China Fisheries, 2008(9): 14–16. (查阅网上资料, 未找到本条文献英文翻译, 请确认)
- [37] Nguyen K Q, Tran P D, Nguyen L T, et al. Use of light-emitting diode (LED) lamps in combination with metal halide (MH) lamps reduce fuel consumption in the Vietnamese purse seine fishery[J]. *Aquaculture and Fisheries*, 2021, 6(4): 432–440.
- [38] 徐飞扬, 李曰嵩. 基于 OSMOSE 模型模拟不同竞相捕捞对伏季休渔制度下东海渔业资源的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2024, 39(6): 1065–1074.
Xu Feiyang, Li Yuesong. Simulation of impact of different racing to fish on fishery resources in the East China Sea under the summer fishing moratorium system based on OSMOSE model[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2024, 39(6): 1065–1074.
- [39] Su Li, Zhang Kui, Xu Youwei, et al. Variations in the fish community of the Beibu Gulf (South China Sea) following fishery resources protection measures[J]. *Fisheries Research*, 2025, 283: 107293.
- [40] 严利平, 刘尊雷, 金艳, 等. 东海区延长伏季休渔期渔业资源增殖效果分析[J]. 海洋渔业, 2019, 41(5): 513–519.
Yan Lipin, Liu Zunlei, Jin Yan, et al. Effects of prolonging summer fishing moratorium in the East China Sea on the increment of fishery resources[J]. *Marine Fisheries*, 2019, 41(5): 513–519.
- [41] 陈海亮, 汪峰, 苗艳红, 等. 台风陆架波对南海北部夏季沿岸流的影响[J]. 海洋科学进展, 2023, 41(3): 435–443.
Chen Hailiang, Wang Feng, Miao Yanhong, et al. Impact of typhoon-induced shelf wave on coastal current in northern South China Sea in summer[J]. *Advances in Marine Science*, 2023, 41(3): 435–443.
- [42] Yang Zi, Chen Wenwei, Wang Xuefeng, et al. Suitable habitat of the scad fish (*Decanters* spp.) in Northern South China Sea predicted by MaxEnt model[J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2024, 69: 103315.
- [43] 晏然, 范江涛, 徐珊瑚, 等. 基于地统计学南海北部近海竹荚鱼空间分布特征[J]. 热带海洋学报, 2018, 37(6): 133–139.
Yan Ran, Fang Jiangtao, Xu Shannan, et al. Spatial distribution of jack mackerel (*Trachurus japonicus*) in the northern South China Sea based on geostatistics[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2018, 37(6): 133–139.
- [44] 李建柱, 陈丕茂, 贾晓平, 等. 中国南海北部剑尖枪乌贼资源现状及其合理利用对策[J]. 中国水产科学, 2010, 17(6): 1309–1318.
Li Jianzhu, Chen Pimao, Jia Xiaoping, et al. Resources status and conservation strategy of *Loligo edulis* Hoyle in the northern South China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(6): 1309–1318.
- [45] 韩舞鹰, 王明彪, 马克美. 我国夏季最低表层水温海区——琼东沿岸上升流区的研究[J]. 海洋与湖沼, 1990, 21(3): 267–275.
Han Wuying, Wang Mingbiao, Ma Kemei. On the lowest surface water temperature area of China sea in summer—the upwelling along the east coast of Hainan island[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1990, 21(3): 267–275.
- [46] 经志友, 齐义泉, 华祖林. 南海北部陆架区夏季上升流数值研究[J]. 热带海洋学报, 2008, 27(3): 1–8.
Jing Zhiyou, Qi Yiquan, Hua Zulin. Numerical study on summer upwelling over northern continental shelf of South China Sea[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2008, 27(3): 1–8.
- [47] Li Kaizhi, Yin Jianqiang, Huang Liangmin, et al. Distribution and abundance of thaliaceans in the northwest continental shelf of South China Sea, with response to environmental factors driven by monsoon[J]. *Continental Shelf Research*, 2011, 31(9): 979–989.

- [48] 谢玲玲, 张书文, 赵辉. 琼东上升流研究概述[J]. 热带海洋学报, 2012, 31(4): 35–41.
Xie Lingling, Zhang Shuwen, Zhao Hui. Overview of studies on Qiongdong upwelling[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2012, 31(4): 35–41.
- [49] 朱根海, 宁修仁, 蔡昱明, 等. 南海浮游植物种类组成和丰度分布的研究[J]. 海洋学报, 2003, 25(S2): 8–23.
Zhu Genhai, Ning Xiuren, Cai Yuming, et al. Studies on species composition and abundance distribution of phytoplankton in the South China Sea[J]. Haiyang Xuebao, 2003, 25(S2): 8–23.
- [50] 刘祝楠. 粤西海域灯光罩网渔场时空分布与海洋环境关系的遥感研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
Liu Zhunan. Remote sensing of relationship between the environment and spatiotemporal distribution of light falling-net fishing ground in the western Guangdong waters[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.
- [51] 骆明钧, 李骏安, 丁扬, 等. 基于 FVCOM 的夏季珠江冲淡水年际变化特征[J]. 海洋科学进展, 2024, 42(2): 221–237.
Luo Mingjun, Li Junmin, Ding Yang, et al. Inter-annual variation of the pearl river diluted water in summer based on FVCOM[J]. *Advances in Marine Science*, 2024, 42(2): 221–237.
- [52] 陈希荣, 朱佳, 孙振宇, 等. 2015 年 7—8 月珠江冲淡水扩展特征的观测与分析[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2018, 57(6): 841–848.
Chen Xirong, Zhu Jia, Sun Zhenyu, et al. Observation and analysis of the extension characteristics of the Pearl River Diluted water from July to August in 2015[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2018, 57(6): 841–848.
- [53] 刘家欣. 基于机器学习的珠江口悬浮物和叶绿素 a 浓度遥感研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2024.
Liu Jiabin. Remote sensing study of suspended solids and chlorophyll a concentration in the Pearl River Estuary based on machine learning[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2024. (查阅网上资料, 未找到本条文献英文翻译, 请确认)
- [54] 蔡文贵, 贾晓平, 李纯厚. 粤西海域浮游植物的时空分布及其漂移特点[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(3): 65–72.
Cai Wengui, Jia Xiaoping, Li Chunhou. Spatial-temporal distribution and excursion characteristic of phytoplankton in western Guangdong waters[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2005, 24(3): 65–72.
- [55] 肖瑜璋, 王蓉, 郑琰晶, 等. 珠江口鱼类浮游生物种类组成与数量分布[J]. 热带海洋学报, 2013, 32(6): 80–87.
Xiao Yuzhang, Wang Rong, Zheng Yanjing, et al. Species composition and abundance distribution of ichthyoplankton in the Pearl River Estuary[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2013, 32(6): 80–87.
- [56] 杨钧渊, 陈锦辉, 钟俊生, 等. 长江口崇明东滩水域仔稚鱼种类组成及多样性[J]. 上海海洋大学学报, 2023, 32(4): 829–840.
Yang Junyuan, Chen Jinhui, Zhong Junsheng, et al. Species composition and diversity of fish larvae and juveniles in the water area of Chongming Dongtan, Yangtze River Estuary[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2023, 32(4): 829–840.
- [57] 詹海刚. 珠江口及邻近水域鱼类群落结构研究[J]. 海洋学报, 1998, 20(3): 91–97.
Zhan Haigang. Study on fish community structure in the Zhujiang estuary and adjacent waters[J]. Haiyang Xuebao, 1998, 20(3): 91–97.
- [58] 江睿, 王友绍. 粤东沿岸生态系统对夏季沿岸上升流响应的生态模型初探[J]. 生态科学, 2017, 36(1): 25–34.
Jiang Rui, Wang Youshao. A preliminary ecological modeling study on response of the East Guangdong coastal ecosystem to summer coastal upwelling[J]. *Ecological Science*, 2017, 36(1): 25–34.
- [59] 王新星, 于杰, 李永振, 等. 南海主要上升流及其与渔场的关系[J]. 海洋科学, 2015, 39(9): 131–137.
Wang Xinxing, Yu Jie, Li Yongzhen, et al. The relationship between major upwelling and the upwelling fishing grounds in the South China Sea[J]. *Marine Sciences*, 2015, 39(9): 131–137.
- [60] 柳原, 柯志新, 李开枝, 等. 人类活动和沿岸流影响下的粤东近海浮游动物群落特征[J]. 热带海洋学报, 2024, 43(4): 98–111.
Liu Yuan, Ke Zhixin, Li Kaizhi, et al. Zooplankton community in the coastal waters of eastern Guangdong under the influence of human activities and ocean currents[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2024, 43(4): 98–111.
- [61] 温浩, 宏波. 粤东沿岸上升流年际变化及其与渔业相关性分析[J]. 人民珠江, 2020, 41(7): 1–11, 17.
Wen Hao, Hong Bo. Interannual variations of upwelling in the east coast of Guangdong and its correlation with fisheries[J]. *Pearl River*, 2020, 41(7): 1–11, 17.
- [62] 邹建伟. 南海北部陆架区渔业资源捕捞现状研究[J]. 中国渔业经济, 2021, 39(3): 66–73.
Zou Jianwei. Study on fishing status of fishery resources of continental shelf in the northern South China Sea[J]. *Chinese Fisheries Economics*, 2021, 39(3): 66–73.
- [63] Lai Han, Bi Sheng, Yi Huadong, et al. Seasonal variation in the functional structure of demersal fish communities and response to the environmental changes in the Pearl River Estuary, China[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 144: 109525.
- [64] 孔啸兰, 张帅, 陈作志, 等. 基于 DNA 条形码技术的珠江口春季鱼卵和仔稚鱼种类组成和分布特征的研究[J]. 海洋学报, 2023, 45(3): 52–65.
Kong Xiaolan, Zhang Shuai, Chen Zuozhi, et al. Species composition and distribution characteristic of fish eggs and larvae based on DNA barcoding technology of the Zhujiang River Estuary in spring[J]. Haiyang Xuebao, 2023, 45(3): 52–65.

Analysis of aggregation characteristics and institutional response of light fishing boats in northern South China Sea after Summer fishing moratorium based on NPP-VIIRS

Lin Junhao^{1,2}, Yu Jie², Chen Guobao²

(1. College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, 201306, China; 2. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, Guangdong China/Key Laboratory of Marine Ranching, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/National Digital Fisheries (Marine Ranching) Innovation Sub-Center/Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources and Environments, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment/Guangdong Engineering Technology Research Center of Marine Recreational Fishery, Guangzhou 510300, China)

Abstract: [Background] Summer fishing moratorium system is one of the important systems in the conservation of marine fishery resources in China. [Aim] To explore the spatial-temporal distribution characteristics of light fishing boats in the northern South China Sea after Summer fishing moratorium and assess the impact of Summer fishing moratorium adjustment on light fishery, [Method] based on NPP-VIIRS data from 2012 to 2024, we analyse of light fishing boats aggregation distribution characteristics, operation center of gravity changes and light radiation changes with time characteristics of three months after the end of Summer fishing moratorium. [Result] We found that (1) In the first month after Summer fishing moratorium, there are one aggregation area of light fishing boats in the East Hainan Island, 5,178.53 km² and 2,609.70 km² in the West Guangdong Province and the Pearl River estuary, respectively; there are two gathering areas in the coastal waters of East Guangdong Province, with an area of 687.79 km² and 2,596.00 km² respectively. (2) In the first month after Summer fishing moratorium, there were 7 grids in the high frequency region (448~711) and 10 grids in the middle frequency region (315~448); in the second month, the high frequency region disappeared, only 1 grid in the middle frequency region, and the grids in the low frequency region (181~315) and the extremely low frequency region (61~181) increased to 13 and 36 (an increase of 30% and 24.14%); in the third month, the grids in the frequency region (61~181) decreased to 9. (3) After Summer fishing moratorium, the change range of gravity center of the four main light fishing grounds in East Hainan Island, West Guangdong, Pearl River estuary and East Guangdong changed by (110.51~110.81°E, 18.59~19.02°N), (111.78~112.09°E, 20.94~21.23°N), (113.94~114.07°E, 21.55~22.08°N) and (116.69~117.01°E, 22.58~22.78°N). The light radiation values of the four fishing grounds reached the peak values on the 19th, 2nd, 14th and 35th days after Summer fishing moratorium, respectively, and the high values of the fishing intensity lasted to 55 days, 54 days, 51 days and 47 days respectively. (4) BSTS model shows that delaying fishing time after 2017 has significant effect on increasing fishing effort of light fishery in Pearl River Estuary fishing ground ($P < 0.01$), the fishing effect on fishing grounds of East Hainan Island, West Guangdong and East Guangdong was not significant. This research can provide reference materials for improving Summer fishing moratorium system and light fishery management in China.

Key words: Summer fishing moratorium; Light fishery; Nighttime light remote sensing; Northern South China Sea