

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2019.18272

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

吴佳文¹, 官文江^{1,2}

1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;
2. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306

摘要: 基于 SNPP (Suomi national polar-orbiting partnership) 卫星的 VIIRS (visible infrared imaging radiometer suite) 传感器获取的 2013 年 1 月至 2017 年 12 月夜光遥感渔船数据, 对东、黄海渔船时空分布及其变化特点进行了研究。结果表明: (1) 遥感获取的渔船数据基本能够反映中国东、黄海捕捞活动和渔业资源时空分布变化的特点, 如 2 月受天气和中国春节的影响, 南、北渔场渔船分布范围大幅减少, 8 月南渔场和 10 月北渔场受当年生渔业资源补充及近海索饵群体集聚的影响, 渔船分布范围及数量均达到最大值; 同时, 渔船时空分布及重心变化也反映了黄海暖流、台湾暖流、沿岸流及长江冲淡水等对渔业资源时空分布的影响。(2) 渔业政策实施的效果在夜光遥感渔船数据中有很好的体现, 在禁渔期间, 船次数有明显减少, 但捕捞活动并没有完全消失, 仍可能存在违法捕捞行为。(3) 南渔场年船次总数呈下降趋势, 南、北渔场渔船空间分布重心均呈西移趋势, 可能与渔业资源量及空间分布变动等因素有关。受天气等因素影响, 遥感数据可能存在一定问题, 但研究结果表明, SNPP/VIIRS 夜光遥感数据仍可为中国近海灯光诱捕作业的监测提供有效的数据支持。

关键词: SNPP/VIIRS; 夜光遥感; 渔船; 时空分布; 东海; 黄海

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2019)02-0221-11

灯光诱捕是一种利用诱鱼灯来诱集中上层鱼类的捕鱼方式, 依靠诱鱼灯的主要渔业包括围网渔业、敷网渔业、鱿钓渔业和舷提网(棒受网)渔业等^[1], 采用这种方式来捕捞海洋鱼类的渔船称为灯光渔船^[2]。灯光诱捕是中国东、黄海重要的捕捞作业方式之一, 研究灯光诱捕渔船(以下简称渔船)的时空分布及其变化特点对东、黄海渔业管理与渔业资源可持续利用具有重要意义。目前, 中国没有采用船舶监视系统(vessel monitoring system, VMS)对近海渔船进行监测, 而且渔捞日志记录的信息存在不全、不准确等问题, 因此, 我国仍缺少可靠、可持续的对灯光渔船活动进行监测的手段。

美国国防气象卫星计划(Defense Meteorological Satellite Program, DMSP)的线性扫描业务系统(operational linescan system, OLS)最早应用于夜间观测, 其数据能用于获取渔船的定性信息^[3], 此后将该数据应用在渔业中的研究相继出现^[4]。Waluda 等^[5]对比分析了分别由 DMSP/OLS 数据和定位系统获取的秘鲁海岸鱿鱼渔船信息, 发现两者一致; Kiyofuji 等^[6]基于 DMSP/OLS 数据分析了日本海太平洋褶柔鱼渔场的时空变化。2011 年 10 月, 第二代夜光遥感数据产品 SNPP/VIIRS (Suomi national polar-orbiting partnership/visible infrared imaging radiometer suite)开始使用, 其中 DNB(day/night band)用来收集灯光信息^[7], VIIRS/

收稿日期: 2018-08-10; 修订日期: 2018-10-15.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC1400903); NSFC-浙江两化融合联合基金资助项目(U1609202).

作者简介: 吴佳文(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业遥感. E-mail: 824883270@qq.com

通信作者: 官文江, 副教授, 从事海洋渔业遥感研究. E-mail: wjguan@shou.edu.cn

DNB 采用了和 VIIRS 传感器其他波段相一致的辐射校正, 因此其数据可用于渔船的定量监测^[8]。Elvidge 等^[3]基于 SNPP/VIIRS 数据提出一种自动船识别方法, 郭刚刚^[9]优化了该方法, 并对西北太平洋公海日本鲭(*Scomber japonicus*)灯光围网渔船主鱼汛期内渔船信息进行检测。

夜光遥感为监测渔船的时空分布提供了有效手段, 但还未有研究基于夜光遥感数据对中国东、黄海渔船分布进行分析, 因此本研究采用 VIIRS/DNB 数据提取的渔船数据, 研究 2013 年至 2017 年中国东、黄海夜间渔船的时空分布及其变化特点, 以为中国近海捕捞努力量的监测与渔业管理提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 数据来源及预处理

夜间渔船数据(VIIRS boat detection, VBD)来自于美国国家海洋大气局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)网站(https://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_boat.html), 时间分辨率为天, 空间分辨率为 750 m, 时间跨度为 2013 年 1 月至 2017 年 12 月, VBD 数据包括探测日期、经度、纬度、数据质量标志(quality flag, QF)等信息。其中, Elvidge 等^[3]提出利用峰值中值指数(spike median index, SMI)放大渔船灯光点和背景像元的差异, 保留局部最大值, 然后利用锐度指数(sharpness index, SI)进行分割, 其大于 0.4 的像元点经峰值高度指数(spike height index, SHI)检测, 阈值设置为 0.75, 大于 0.75 的像元点赋予 QF 为 1 的标识, 代表检测为渔船的质量最高, 小于 0.75 的像元点 QF 被标记为 2, 代表其检测为渔船的可能性较低, 而 SI 小于 0.4 的像元点 QF 被标记为 3, 其代表由云散射造成的模糊检测, 但仍有可能为渔船, 其余像元点则被标记为 QF 大于 3, 通常表示非渔船信息。本文将所有 QF 为 1 的数据筛选出来, 并按 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 的空间分辨率对每月的 VBD 数据进行统计, 以获得每月各网格单元的作业渔船船次数。

海表温度(sea surface temperature, SST)与叶

绿素 a 浓度(chlorophyll a concentration, Chl a)数据均来自美国国家海洋大气局网站(<http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/files/>), 时间分辨率为月, 空间分辨率为 4 km。

本研究区域包括中日、中韩暂定措施水域, 维持现有活动水域^[10-11]及以西中国沿海海域。本文将研究区域按纬度划分为南、北两个渔场, 即纬度 $25^{\circ}\text{N} \sim 32^{\circ}\text{N}$ 范围定义为南渔场, 将纬度 $32^{\circ}\text{N} \sim 38^{\circ}\text{N}$ 范围定义为北渔场^[12]。

1.2 方法

1.2.1 各月渔船空间分布统计 为减少云等因素的影响, 在研究各月渔船空间分布特点时, 采用了 2013 年至 2016 年相同月、相同网格位置船次数的中值作为该网格的船次数, 由于 2017 年渔业管理政策变化较大, 因此 2017 年的数据没有参与计算。本文同时利用 2013 年至 2016 年各月的 SST 和 Chl a 数据, 计算各月各像素的 SST 和 Chl a 中值, 并将 SST 和 Chl a 数据与各月船次数据进行叠加绘图, 以定性分析环境变化与渔船空间分布的关系。

由于研究区域内, 各网格均有小量渔船分布, 为便于显示与分析, 本文参考杨胜龙等^[13]的方法, 以船次数 85 为阈值, 即本文仅对船次数大于 85 的网格进行显示、分析。并以 85 为起点, 将各网格点船次数分为 6 类, 即 85~200、200~400、400~600、600~800、800~1000 及 1000 以上, 并分别在地图上显示。

1.2.2 船次数月变化统计 将 2013 年至 2016 年各月各网格船次数中值, 按南、北两渔场分别进行累加, 以计算各月船次总数, 分析船次数随月的变化趋势。同时为更好地分析比较中国渔船船次数的变化, 另外将月船次数统计区域缩小, 即去除中日、中韩暂定措施水域及维持现有活动水域等外国渔船可进入的海域, 并计算各月船次总数。

1.2.3 船次数年变化统计 将 2013 年至 2017 年的船次数数据按年及按南、北两个渔场汇总, 以分析近几年船次数的年际变化趋势。此外, 将船次数年变化统计区域缩小, 去除中日、中韩暂定措施水域及维持现有活动水域等外国渔船可进入的海域, 并计算各年船次总数。

1.2.4 南、北渔场渔船空间分布重心的月变化及变化趋势分析

1) 渔船空间分布重心计算如下,

$$X_i = \frac{\sum_{j=1}^k (N_{i,j} \times X_{i,j})}{\sum_{j=1}^k N_{i,j}} \quad (1)$$

$$Y_i = \frac{\sum_{j=1}^k (N_{i,j} \times Y_{i,j})}{\sum_{j=1}^k N_{i,j}} \quad (2)$$

式中, i 为月, X_i 与 Y_i 分别为 i 月重心点的经度和纬度, $X_{i,j}$ 与 $Y_{i,j}$ 分别为 i 月第 j 个网格点的经度和纬度, $N_{i,j}$ 为 i 月第 j 个网格点的船次数, k 为各月网格总数。

2) 渔船空间分布重心随月的变化

利用 2013 年至 2016 年南、北渔场渔船空间分布重心数据, 计算相同月渔船空间分布重心平均值, 以分析渔船空间分布重心随月的变化趋势。

3) 渔船空间分布重心变化趋势分析

利用 2013 年至 2017 年各月南、北渔场渔船空间分布重心数据, 分析渔船空间分布重心的时间变化趋势, 趋势分析时, 显著性水平设为 0.05。

2 结果与分析

2.1 东、黄海渔船的空间分布特征及其与环境的关系

由图 1 可知, 在南渔场, 1 月渔船主要分布于长江口、舟山、鱼山渔场; 2 月渔船分布范围明显缩小, 仅在长江口和舟外渔场有少许分布; 3—5 月渔船分布范围则显著扩大, 但仍主要集中在长江口、舟山和温台渔场; 6 月渔船分布大幅减少, 特别是在南渔场; 7 月, 渔船密度在外海显著增加, 主要分布于温台、闽东和鱼外渔场, 而在近海渔船分布较少; 8 月渔船分布范围明显向近海扩展, 于舟山、舟外、鱼山、温台、闽东和闽外渔场出现捕捞作业活动集中区; 9 月、10 月渔船分布范围变化不大, 但渔船密度有所减小; 11 月、12 月渔船分布范围和密度均减少, 主要分布在温台、温外渔场以北海域。

在北渔场, 1 月渔船主要分布于海州湾和石东渔场; 2 月渔船分布范围同样缩小, 仅在海州湾渔场有所分布; 3—5 月渔船分布范围明显增加, 并

集中于石东和连东渔场, 但密度较小; 6 月渔船分布范围大幅缩小, 仅在石东和连东渔场有少量分布; 7 月仍在连东和石东渔场有分布, 但渔船密度有所提高; 8 月, 连东和石东渔场的渔船密度进一步得到提高, 在吕四和海州湾渔场也有少量分布; 9 月、10 月渔船分布范围明显扩大, 增加了大沙和连青石渔场, 渔船密度也明显提高; 11 月、12 月, 渔船的空间分布范围明显收缩, 仅在石岛和石东渔场有少许分布(图 1)。

海表水温是影响渔业资源空间分布的重要因素, 从而间接影响了渔船的分布。由图 1 可知, 在南渔场, 高水温的台湾暖流及低水温的苏北沿岸流、浙闽沿岸流及长江冲淡水是影响渔船空间分布的重要因素, 1—5 月渔船主要分布于低水温的沿岸流外缘以东或以南及高水温的台湾暖流控制的海域; 7—10 月海表水温分布相对均匀, 对渔船空间分布的影响不明显; 11—12 月, 在沿岸流引起的低水温区域, 船次数明显减少, 渔船又重新分布于沿岸流外缘以东及黑潮以西的台湾暖流控制的海域。

在北渔场, 1—4 月温度较低, 渔船大多分布于黄海暖流轴温度较高的东端; 5 月温度升高后, 渔船在沿岸海域有较多分布; 9—12 月, 随着水温由近岸向外海、由北向南逐步降低, 渔船的空间分布也有类似的变化, 并重新分布于黄海暖流控制的温度较高的海域。

叶绿素浓度一方面能反映出海域饵料的多寡, 从而影响渔业资源的空间分布, 另一方面与海表温度类似, 也能反映沿岸流、暖流等对渔业资源空间分布的影响。如图 2 所示, 南渔场的 1—5 月, 在苏北沿岸流及长江冲淡水等共同作用下形成的长江口外海“舌状”高 Chl a 浓度、低温区域(图 1), 对渔业资源的空间分布起到了抑制作用, 该区域无渔船分布; 7 月, 渔船主要分布于低叶绿素浓度的外海; 8—10 月渔船密度在近海高叶绿素浓度区得到大幅提高; 11—12 月南渔场, 高叶绿素浓度近海区域仍保持较高渔船密度, 但北渔场渔船向低叶绿素浓度海域偏移。

2.2 东、黄海船次数的月变化

如图 3a 所示, 南渔场(包括沿海及外围渔船

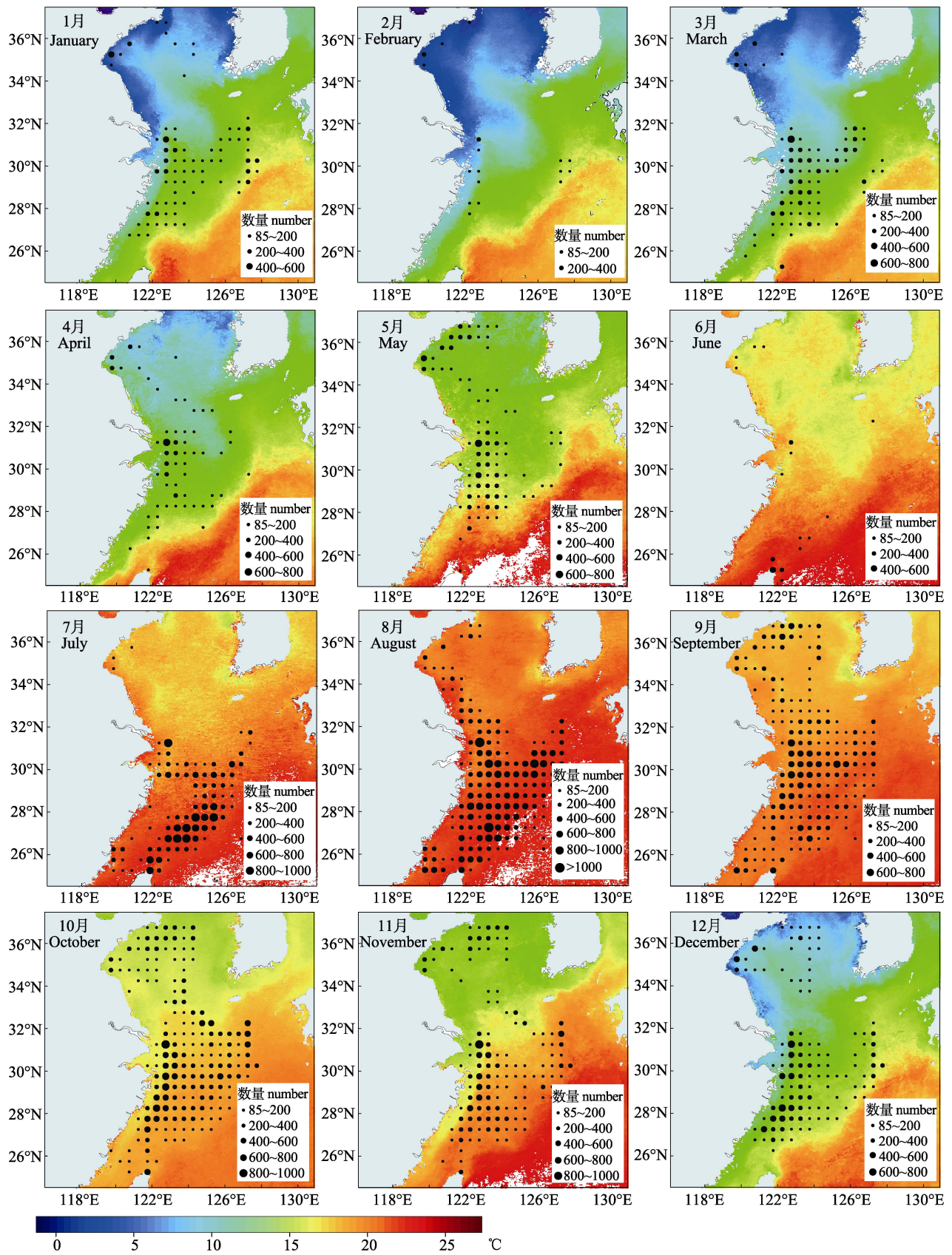


图 1 渔船与海表水温的空间分布关系

Fig. 1 Spatial distribution of fishing vessels and sea surface temperature

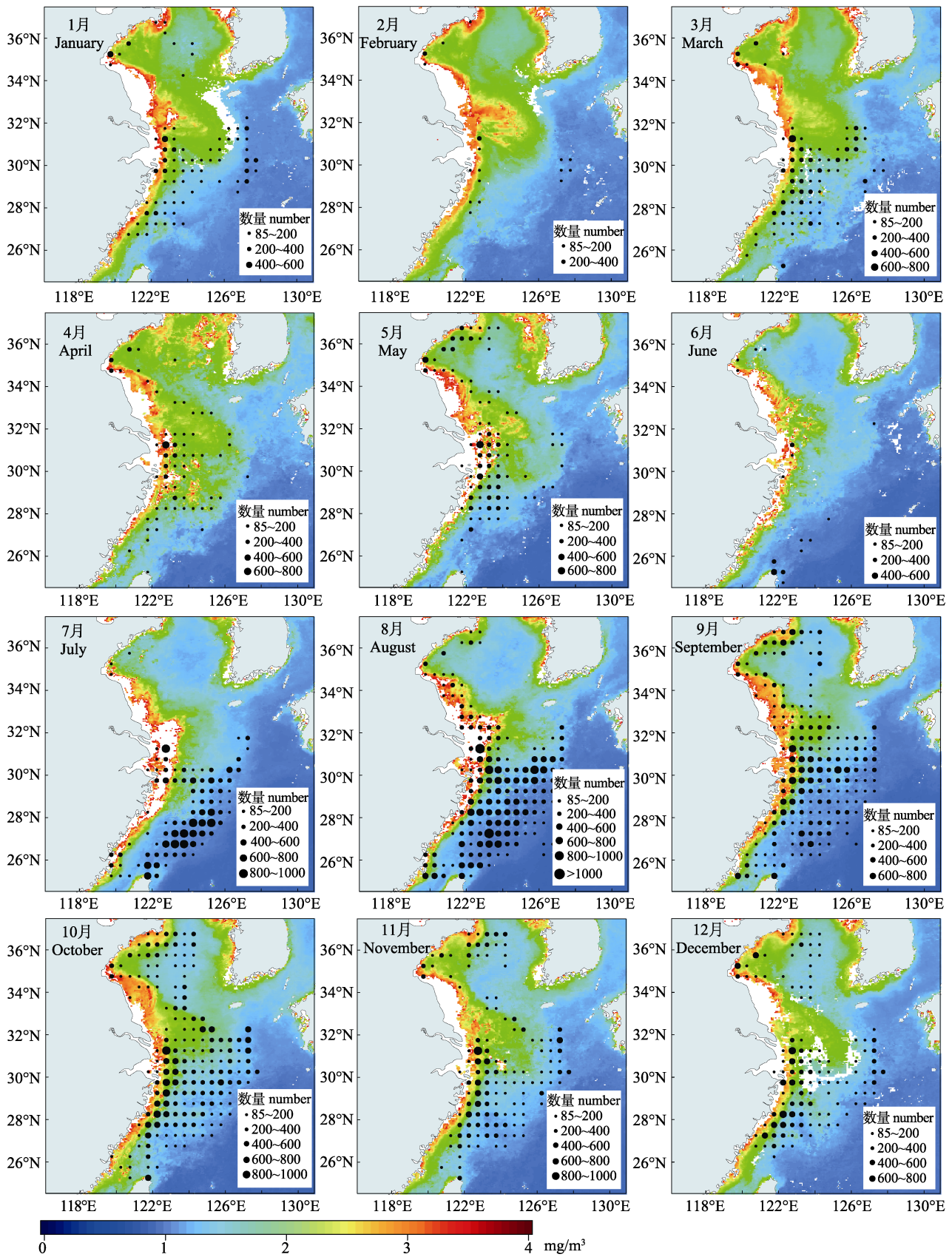


图 2 渔船与叶绿素浓度的空间分布关系

Fig. 2 Spatial distribution of fishing vessels and chlorophyll a concentration

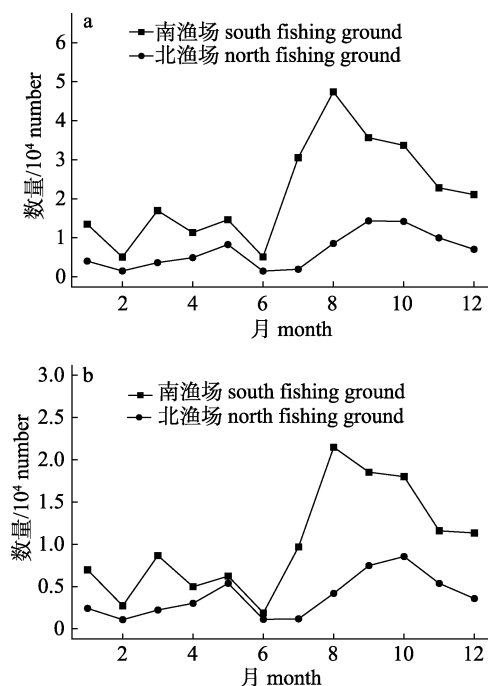


图 3 南、北渔场中船次数的月变化
a. 外国渔船可进入海域与中国沿海; b. 中国沿海海域。
Fig. 3 Monthly variation of sailings in south and north fishing ground
a. including foreign fishing vessels; b. none foreign fishing vessels.

可进入海域)上半年船次数波动较小,但分别在 2 月与 6 月存在两个低谷,7 月、8 月船次数大幅上升,并在 8 月达到最大值,9—12 月则呈持续下降趋势;对于北渔场(包括沿海及外围渔船可进入海域),上半年船次数变化与南渔场相似,分别在 2 月、6 月存在两个低谷,7—10 月船次数持续增加,并在 10 月达到最大值,而 11 月、12 月则开始下降。如图 3b 所示,南、北渔场(仅包括沿海)船次数的月变化趋势与图 3a 相似。

2.3 东、黄海船次数的年变化

如图 4 所示,对于统计区域是否包含外国渔船可进入海域东、黄海船次数的年变化趋势相似。2013—2017 年,南渔场渔船作业年船次总数总体呈下降趋势,如 2013—2015 年船次数一直处于下降趋势,尽管 2016 年稍有恢复,但 2017 年又大幅减少(图 4),而对于北渔场,船次数的变化稍复杂,尽管 2014 年的船次数较 2013 年有所下降,但 2015—2016 年依然呈上升趋势,只是在 2017 年船次数出现大幅下降(图 4)。2013 年,南渔场船次

数明显高于北渔场,但至 2017 年,南渔场船次数分别共减少约 13.8 万与 6.8 万船次(相对于 2013 年,下同),而北渔场船次数分别减少约 2.2 万与 1.1 万船次,南、北渔场船次数趋于相近水平(图 4)。

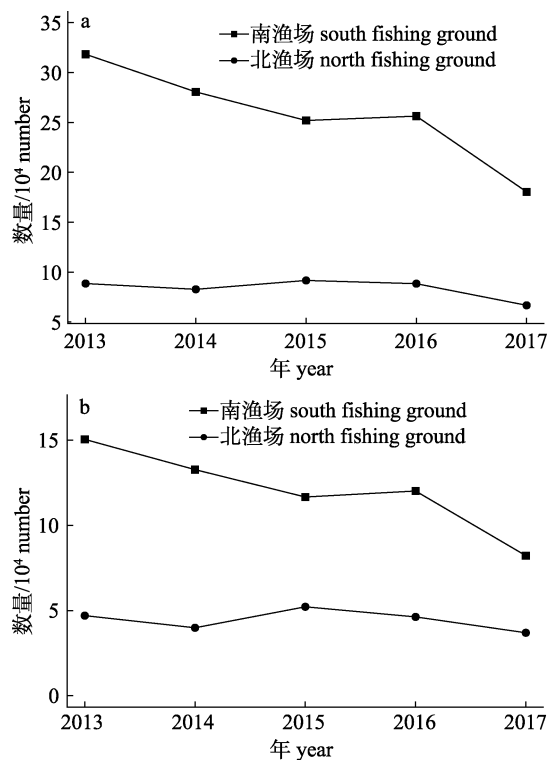


图 4 南、北渔场船次数的年际变化
a. 外国渔船可进入海域与中国沿海; b. 中国沿海海域。
Fig. 4 Yearly variation of sailings in south and north fishing ground
a. including foreign fishing vessels; b. none foreign fishing vessels.

2.4 东、黄海渔船空间分布重心位置的月变动及趋势分析

渔船空间分布重心存在明显的月变动(图 5),在南渔场,1—5 月,主要表现为由东向西的移动,纬向变化较小;6 月渔船空间分布重心向南有较大偏移,随后,渔船空间分布重心逐步向北移动,至 11 月到达最北位置,期间经向变化较小,12 月渔船空间分布重心略偏南、偏西。在北渔场,1—5 月,在经向上存在向东移动的趋势,而纬向上则出现南北摆动的现象;6 月,渔船空间分布重心大幅向西北方向移动;而 7 月,则出现渔船空间分

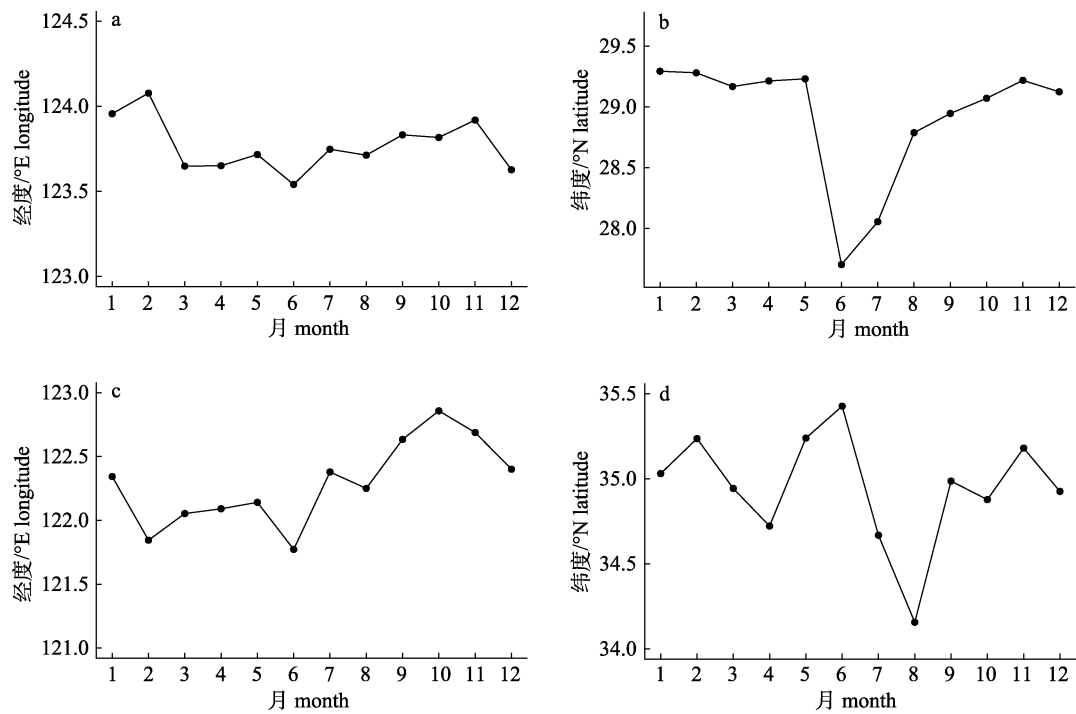


图 5 渔船空间分布重心平均经、纬度的变化
a 与 b 是南渔场渔船空间分布重心平均经度和纬度的月变化; c 与 d 是北渔场渔船空间分布重心平均经度和纬度的月变化。
Fig. 5 Monthly variation of the average longitude and latitude of the barycenter of fishing vessels
a and b are monthly variation of the average longitude and latitude of the barycenter of fishing vessels
in south fishing ground; c and d are monthly variation in north fishing ground.

布重心大幅向南移动的现象, 随后渔船空间分布重心逐步向西南方向移动, 9 月或 10 月之后渔船空间分布重心开始南移, 经向逐步向东偏移。

对 2013—2017 年渔船空间分布重心进行趋势分析可知, 重心经度随时间有较明显的变化趋势(图 6), 南渔场, 渔船空间分布重心呈现明显的由东向西偏移趋势($P<0.05$), 相对 2013 年, 2017 年渔船空间分布重心西移约 0.6° ; 北渔场, 渔船空间分布重心由东向西偏移趋势也非常明显($P<0.05$), 相对于 2013 年, 2017 年渔船空间分布重心西移约 0.7° 。但南、北渔场的渔船空间分布重心纬向变化趋势均不显著($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 数据筛选问题

在原始数据中, 由于 QF 为 1 的点是渔船的可能性非常高, 而 QF 为 2 或 3 时存在较大误判的可能性^[3], 所以本文没有将 QF 为 2 或 3 的点统计为渔船。因此, 本文有可能低估了船次的数量, 但若

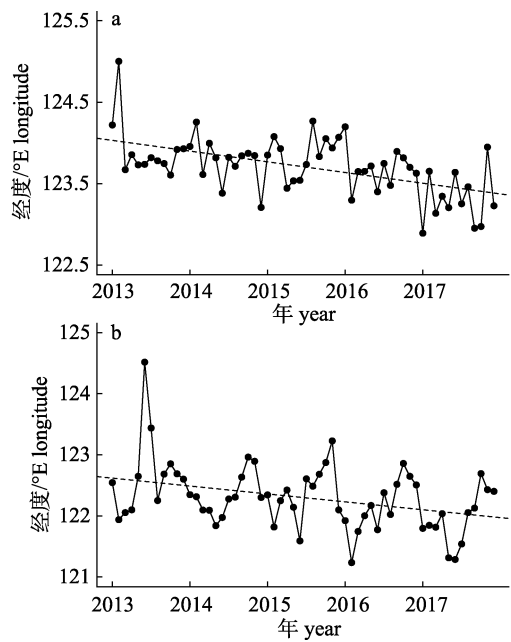


图 6 渔船空间分布重心经向变化趋势分析
a. 南渔场; b. 北渔场。虚线是趋势线。
Fig. 6 Trend analysis of the meridional variation of the barycenter of the fishing vessels
a. south fishing ground; b. north fishing ground.
The dashed line is the trend line.

将 QF 为 2 或 3 的点包含进来, 除船次数有所增加外, 上述结论基本不变。

3.2 渔船的时空分布及其变化与渔业资源分布及环境的关系分析

在中国东、黄海的主要灯诱作业方式为灯光围网渔业和灯诱敷网渔业^[14], 灯光鱿钓渔业和舷提网渔业相对较少, 围网渔业包括机轮围网和群众机帆船灯光围网, 适宜于外海作业的主要是机轮围网, 而群众机帆船灯光围网主要在近海进行生产作业。灯光围网主要捕捞对象为蓝圆鲹、鲈、竹荚鱼、金色小沙丁鱼等^[15], 根据已有研究, 其中蓝圆鲹和鲈占渔获物比例较高。

渔船空间分布及重心的变化与渔业资源的洄游分布密切相关^[16]。在南渔场, 1—5 月, 随着水温的升高, 外海渔业资源随台湾暖流向近海、舟山群岛产卵洄游, 形成渔场, 这与渔船空间分布及其重心变化总体趋势一致, 其中 2 月渔船空间分布重心大幅偏东可能与近海渔船数量较少(中国春节期间), 而外海他国渔船较多有关; 5 月之后, 近海渔业资源基本结束产卵, 开始分散索饵^[17], 因此, 渔船向东南外海移动, 主要捕捞外海资源; 8 月之后, 随着当年生渔业资源补充量的增加及中国沿岸流开始形成与发展, 使近海渔业资源逐渐在沿岸流外缘、台湾暖流控制区域聚集^[18], 形成渔场, 造成渔船的空间分布及重心位置呈现由外海不断向近海移动、由南向北移动的特点。

在北渔场, 1—6 月, 渔船空间分布重心逐渐偏北, 这与北渔场水温回升、渔业资源逐步向北洄游形成渔场有关; 7 月船次数逐步增加, 渔船空间分布重心则回调至南部, 可能与该月开始逐步出现南渔场渔船向北渔场转场有关^[19]; 7—9 月渔船空间分布重心大幅北移反映了渔船的转场及北渔场北部随水温降低最早出现渔业资源聚集的特点; 10 月之后, 随着水温由近海向外海、由北向南逐渐降低, 渔船相应的由近海向外海、由北向南集中, 最后分布于黄海暖流控制的水温较高的区域^[20], 黄海暖流的强弱影响着渔船空间分布重心的南北或东西向的摆动。

2013 年至 2017 年, 南、北渔场渔船空间分布

重心均存在明显西移趋势, 产生西移趋势的原因或许与周边国家渔业管理政策、渔业资源量及空间分布变动有关, 但具体原因仍有待进一步研究。

3.3 渔船的时空分布变化与渔业管理的关系

2013 年至 2017 年, 每年 6 月渔船分布范围及船次数量大幅减少, 除可能受梅雨天气影响外, 极有可能与中国近海实行伏季休渔的政策有关。针对近海渔业资源的严重衰退, 自 1995 年起我国就开始在东、黄海首先实行伏季休渔制度, 2009 年起农业部调整伏季休渔制度^[21], 灯光围(敷)网休渔时间为 5 月 1 日至 7 月 1 日, 其他作业方式自 6 月 1 日起实施休渔, 该规定持续至 2016 年。2017 年, 休渔制度再次调整, 即灯光围(敷)网休渔时间延长至 8 月 1 日, 而其他作业方式提前至 5 月 1 日开始休渔, 因此 2017 年渔船总数与前四年相比有大幅减少(图 4b), 这可能与该休渔制度的调整有关。

尽管我国实行了伏季休渔制度, 但 5 月、6 月的船次数仍接近 2.3 万与 0.7 万船次(图 3b), 可见在休渔期间, 灯光诱捕活动仍然存在, 除可能存在一定的违法捕捞外, 还可能因为夜光遥感数据也包括了除灯光围(敷)网外的其他渔业信息, 如拖网、张网等, 但现有资料还无法识别渔船的作业类型。

此外, 2013 年至 2016 年, 南渔场船次数量总体呈下降趋势, 这可能与东海渔业资源量下降有关, 但北渔场船次总数并没有类似的规律。

3.4 夜光遥感数据的问题

SNPP/VIIRS 夜光遥感数据易受天气影响, 如云的遮蔽等, 此外, 月光的亮度也会影响检测算法的精度^[22], 因此基于夜光遥感的渔船监测数据可能存在一定的问题。

同时, 夜光遥感数据仅仅能够反映出当前时间、当前位置的渔船灯光的信息, 但不能提取出详细的渔船信息, 如渔船的性质等, 因此目前还无法与渔船作业数据进行对比验证。在未来的研究中, 将考虑使用高分辨率的遥感卫星数据(如高分卫星、合成孔径雷达)提取详细的渔业信息与夜光遥感渔船数据进行对比分析, 以更好地将夜光

遥感渔船数据应用于渔业研究。

4 结论

本文基于 SNPP/VIIRS 夜光遥感渔船数据, 对中国东、黄海渔船时空分布及其变化特点做了简要分析, 结果表明, 遥感获取的渔船数据基本能够反映中国东、黄海捕捞活动和渔业资源时空分布变化的特点。渔业政策实施的效果在遥感渔船数据中也有很好的体现, 如在禁渔期间, 船次数有明显减少。但在此期间, 捕捞活动并没有完全消失, 仍可能存在违法捕捞行为, 因此监测与执法力度仍有待加强。尽管如此, 如上文所述, SNPP/VIIRS 夜光遥感仍可为中国近海灯光诱捕作业的监测提供有效的数据支持。

参考文献:

- [1] Shi J, Qian W G, Yang L M. The theoretical study on suitable spacing between of light purse seine vessels for chub mackerel (*Scomber japonicus*)[J]. South China Fisheries Science, 2013, 9(4): 82-86. [侍炯, 钱卫国, 杨声明. 鲈鱼灯光围网渔船合适作业间距的理论研究[J]. 南方水产科学, 2013, 9(4): 82-86.]
- [2] Yang L. Principle and application of fish lamp[J]. Jiangxi Fishery Sciences and Technology, 1995(3): 41. [杨吝. 诱鱼灯的原理及实际应用[J]. 江西水产科技, 1995(3): 41.]
- [3] 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.
- [4] Li D R, Li X. An overview on data mining of nighttime light remote sensing[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2015, 44(6): 591-601. [李德仁, 李熙. 论夜光遥感数据挖掘[J]. 测绘学报, 2015, 44(6): 591-601.]
- [5] Waluda C M, Yamashiro C, Elvidge C D, et al. Quantifying light-fishing for *Dosidicus gigas*, in the eastern Pacific using satellite remote sensing[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 91(2): 129-133.
- [6] Kiyofuji H, Saitoh S I. Use of nighttime visible images to detect Japanese common squid *Todarodes pacificus* fishing areas and potential migration routes in the Sea of Japan[J]. Marine Ecology Progress, 2004, 276(1): 173-186.
- [7] Guo G G, Fan W, Xue J L, 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. [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.]
- [8] Fang X. VIIRS day/night band data application[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2015(12): 42-43. [方荀. VIIRS 白天/夜晚波段数据应用概况[J]. 科技创新导报, 2015(12): 42-43.]
- [9] Guo G G. Detection algorithm for operating pelagic light-fishing boats in the Northwestern Pacific and its fishing ground analysis based on NPP/VIIRS low light imaging data[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017. [郭刚刚. 基于 NPP/VIIRS 夜光遥感数据的西北太平洋公海灯光围网渔船检测及其作业渔场分析[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.]
- [10] Fisheries Bureau, Ministry of Agriculture, the People's Republic of China. Fisheries Laws and Regulations of the People's Republic of China[M]. Beijing: Law Press·China, 2005: 218-219. [中华人民共和国农业部渔业局. 中华人民共和国渔业法律法规规章全书[M]. 北京: 法律出版社, 2005: 218-219.]
- [11] baike.com. Fisheries agreement between the government of the People's Republic of China and the government of the Republic of Korea[EB/OL]. (2001-6-30) [2018-10-6]. <http://www.baike.com/wiki/%E3%80%8A%E4%B8%AD%E9%9F%A9%E6%B8%94%E4%B8%9A%E5%8D%8F%E5%AE%9A%E3%80%8B>. [互动百科. 中华人民共和国政府和和大韩民国政府渔业协定[EB/OL]. (2001-6-30) [2018-10-6]. <http://www.baike.com/wiki/%E3%80%8A%E4%B8%AD%E9%9F%A9%E6%B8%94%E4%B8%9A%E5%8D%8F%E5%AE%9A%E3%80%8B>.]
- [12] Zheng B, Chen X J, Li G. Relationship between the resource and fishing ground of mackerel and environmental factors based on GAM and GLM models in the East China Sea and Yellow Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(3): 379-386. [郑波, 陈新军, 李纲. GLM 和 GAM 模型研究东黄海鲈资源渔场与环境因子的关系[J]. 水产学报, 2008, 32(3): 379-386.]
- [13] Yang S L, Zhang B B, Jin S F, et al. Relationship between the temporal-spatial distribution of longline fishing grounds of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the thermocline characteristics in the Western Central Pacific Ocean[J]. Acta

- Oceanologica Sinica, 2015, 37(6): 78-87. [杨胜龙, 张怵怵, 靳少非, 等. 中西太平洋延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层关系[J]. 海洋学报, 2015, 37(6): 78-87.]
- [14] Li J S, Yan L P, Qian H S, et al. Dynamic analysis on monitoring of purse seine fishery in the regions of East China Sea and Yellow Sea in 2007[J]. Modern Fisheries Information, 2008, 23(6): 9-11. [李建生, 严利平, 钱洪生, 等. 2007 年东黄海机轮围网渔业监测动态分析[J]. 渔业信息与战略, 2008, 23(6): 9-11.]
- [15] Cheng J H, Zhang Q H, Li S F, et al. Utilization of Fishery Resources in the East China Sea and Yellow Sea[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2006: 155-171. [程家骅, 张秋华, 李圣法, 等. 东黄海渔业资源利用[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 155-171.]
- [16] Yuan X N, Chen X J, Li G. Annual change of fishing ground gravity for *Scomber japonicas* by large light seine fishery and their relationship with environmental factors in the East China Sea and Yellow Sea[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2016, 36(3): 110-114. [袁小楠, 陈新军, 李纲. 东黄海日本鲈灯光围网渔场重心年际变化及其与环境因子关系[J]. 广东海洋大学学报, 2016, 36(3): 110-114.]
- [17] Sun M C. Marine Fishery Technology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 31-62. [孙满昌. 海洋渔业技术学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 31-62.]
- [18] Yu L F. Investigation and study on mackerel scad fishery in the central and southern part of East China Sea[J]. Marine Fisheries, 1998(2): 72-75. [俞连福. 东海中南部鲐鲷渔场的调查与研究[J]. 海洋渔业, 1998(2): 72-75.]
- [19] Li G. Stock assessment and risk analysis of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and the Yellow Sea[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2008. [李纲. 东、黄海鲈鱼资源评估及其管理策略风险分析[D]. 上海: 上海海洋大学, 2008.]
- [20] Guan W J. Remote-sensing-based assessment of chub mackerel (*Scomber japonicus*) fishing ground and stock dynamics in the East China Sea and Yellow Sea[D]. Shanghai: East China Normal University, 2008. [官文江. 基于海洋遥感的东、黄海鲈鱼渔场与资源研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2008.]
- [21] Dong H. Circular on adjustment of marine closed season from Ministry of Agriculture[J]. Fishery Information and Strategy, 2009(4): 29. [董海. 农业部关于调整海洋伏季休渔制度的通告[J]. 渔业信息与战略, 2009(4): 29.]
- [22] Guan W J, Chen X J, Pan D L. A review: application and research of remote sensing in marine fisheries[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2007, 22(1): 62-66. [官文江, 陈新军, 潘德炉. 遥感在海洋渔业中的应用与研究进展[J]. 大连海洋大学学报, 2007, 22(1): 62-66.]

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

WU Jiawen¹, GUAN Wenjiang^{1,2}

1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China

Abstract: Based on the fishing vessel data obtained from VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) payloaded on SNPP (Suomi National Polar-orbiting Partnership satellite), this paper studies the temporal and spatial distribution of fishing vessels and its variation in East China Sea and Yellow Sea. The results show that: (1) Fishing vessel data can reflect the temporal and spatial distribution of fishing activities and fishery resources in East China Sea and Yellow Sea, for example, the distribution of fishing vessels in the north fishing region has been greatly reduced because of weather and the Spring Festival in February and the distribution range and number of fishing vessels which are affected by the supplement of fishery resources in current year and the concentration of coastal feeding groups reach the peaks in the south fishing region in August and in the north fishing region in October, respectively. Moreover, the temporal and spatial distribution of fishing vessels and the change of their barycenter also indicate the influence of Yellow Sea Warm Current, Taiwan Warm Current, Coastal Current, and Changjiang Diluted Water on the distribution of fishery resources. (2) The effects of fishery policy are well reflected in the fishing vessel data. During the closed fishing season, the sailings have obviously decreased, but fishing activities have not completely disappeared, and illegal fishing may still exist. (3) The annual sailings in the south fishing ground decrease and the barycenter in the north or south fishing grounds generally move westward, which might be related to the alternations of fishery resources. The quality of remote sensing data will be impacted by cloud cover and other factors, but SNPP/VIIRS night light remote sensing data can still provide support for the monitoring of the light-fishing industry in the coastal regions of China.

Key words: SNPP/VIIRS; nighttime light remote sensing; fishing vessels; spatial distribution; East China Sea; Yellow Sea

Corresponding author: GUAN Wenjiang. E-mail: wjguan@shou.edu.cn