

文章编号: 1000-0615(2019)11-2359-13

DOI: 10.11964/jfc.20181011507

以遥感夜间灯光数据为基础的西北太平洋秋刀鱼渔船识别

田浩¹, 刘阳^{1*}, 田永军¹, 刘世刚¹, 闫鲁鑫¹,
陈冠宇¹, 李建超¹, 李渊², 林龙山²

(1. 中国海洋大学水产学院, 渔业海洋学研究室, 山东青岛 266003;

2. 自然资源部第三海洋研究所, 福建厦门 361005)

摘要: 研究和开发利用大洋性生物资源是实现我国海洋渔业可持续发展的重大战略需求, 西北太平洋秋刀鱼是近年来我国重点开发的大洋性渔业资源之一, 因此利用卫星来监测渔船时空分布动态成为了解秋刀鱼渔业资源变动的重要数据源。本研究采用峰值检测和阈值分割等方法对西北太平洋夜间灯光数据进行识别, 利用地理信息系统技术对渔船位置信息和数量进行提取分析。通过西北太平洋秋刀鱼资源调查的渔捞日志和经过筛选的北太平洋渔业委员会(NPFC)渔船列表数据对识别结果进行验证。结果显示, 本研究所用的夜间灯光渔船识别方法可以精确识别西北太平洋密集作业及外围分散作业的秋刀鱼渔船。以此为基础可以有效地分析秋刀鱼渔场的时空变动。结合美国国家海洋和大气管理局(NOAA)提供的海表温度(SST)数据绘制等温线, 进一步分析作业渔场的时空变化, 发现夜间灯光渔船作业的温度范围随着秋刀鱼洄游而变化。2016年7—9月渔场的SST波动较大是因为这一时期秋刀鱼在黑潮—亲潮广泛的交汇区域洄游, 分布更为广泛, 9月之后作业渔场SST变动趋于稳定。该研究结果将来会对远洋渔场环境实时变化、鱼群分布预测、渔船动态及法律支撑等提供有效信息。

关键词: 秋刀鱼; 夜间灯光渔船识别; 遥感; 夜间灯光数据; 西北太平洋

中图分类号: S 931

文献标志码: A

西北太平洋是FAO划分的全球15个渔区中潜在渔获量最高的海区, 渔业资源丰富、开发潜力巨大^[1]。黑潮和亲潮两大流系在西北太平洋的交汇形成了锋面和涡流^[2], 为海洋生物提供了良好的生长环境, 从而形成了世界上高产量的海域^[3-4]。2016年西北太平洋渔获量为2 240万t, 占世界海洋捕捞总量的28.2%^[5]。

近年来西北太平洋周边国家陆续加大对西北太平洋公海区域的捕捞力度, 所捕获的经济鱼种主要为巴特柔鱼(*Ommastraphes bartrami*)、金枪鱼(*Thunnus* sp.)、秋刀鱼(*Cololabis saira*)、日本鲭(*Scomber japonicus*)及远东拟沙丁鱼(*Sardinops sagax*)等^[6], 作业方式主要为灯光诱捕, 如灯光

鱿钓、灯光舷提网、灯光围网、灯光罩网等^[7-8]。鉴于西北太平洋公海巨大的渔业开发潜力, 该海域已经发展成为我国远洋渔业投入渔船规模较大的海域之一^[9]。目前我国在该海域进行灯光鱿钓的渔船保持在185艘左右, 年产量稳定在5万t左右^[10]; 进行灯光围网捕捞日本鲭的渔船数量为80艘左右; 开始开发西北太平洋的秋刀鱼资源后, 我国秋刀鱼渔船从2012年的5艘增加到2016年的60艘^[11]。2015年7月10日北太平洋渔业委员会(NPFC)成立后^[12], 欲制定相关渔业资源的捕捞配额管理措施, 西北太平洋公海的渔船数量将会受到控制。因此开发一种夜间灯光渔船识别方法可以为我国西北太平洋远洋渔业资源的开

收稿日期: 2018-10-24 修回日期: 2019-02-10

资助项目: 中央高校基本科研业务费专项(201762015); 中国博士后科学基金(187202); 全球变化与海气相互作用专项(GASI-02-PAC-YDspr/sum/aut)

通信作者: 刘阳, E-mail: Yangliu315@ouc.edu.cn

发和管理提供科学支撑。在此背景下,利用夜间遥感图像来判断远洋渔船数量和位置,无论是对渔船作业信息的实时监控还是针对某一鱼种的渔汛预报都有十分重要的作用。

早在20世纪70年代就有学者发现,利用星载微光探测器可以监测灯光渔船^[13]。搭载了可见光红外辐射仪(visible infrared imaging radiometer suite, VIIRS)的美国国家极轨合作伙伴卫星(suomi national polar orbiting partnership, NPP)于2011年10月28日成功发射。VIIRS具有22个对地观测通道,其中白天/夜晚波段(day/night band, DNB)通道可以收集夜间灯光,因此能够探测渔船夜间在海上作业发出的灯光^[14]。

目前国内外对于利用卫星数据提取夜间灯光渔船的研究较少, Kiyofuji等^[15]利用夜间灯光影像研究了日本海区域太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)的迁移路线和渔场位置的变化; Waluda等^[16]利用卫星遥感数据对东太平洋夜间灯光鱿钓船进行了提取,并分析了渔船的位置和数量; Elvidge等^[17]设计了基于DNB数据的近海渔船自动识别算法,并以此方法提取了印度尼西亚海域的灯光渔船,探讨了爪哇海2014年8—10月的渔船动态; Liu等^[18]发现VIIRS DNB数据可以很好地识别日本周围捕捞秋刀鱼和鱿鱼的夜间灯光渔船; Yamaguchi等^[19]提出了利用DNB图像的辐射值和波长3.7 μm处的亮温值排除夜间灯光渔船提取中云层干扰的方法,以此为基础预测了南海渔船交通密度,之后又研究了南海渔业和岛屿活动的时间变化; Cozzolino等^[20]提出了一种基于灰度值转换的阿根廷鱿钓船的识别算法,并识别了阿根廷专属经济区其他国家的非法鱿钓船; Syah等^[21]利用最大熵模型和遥感数据预测了太平洋秋刀鱼的潜在渔场; Syarifudin等^[22]利用VIIRS-DNB夜间灯光数据研究了骨湾水域中远洋渔业捕捞船的分布模式、捕捞活动指数和规划手段; 张思宇^[23]基于VIIRS DNB卫星数据提取了南海夜间渔船作业点信息,采用重点渔场分析策略,分析了南海夜间灯光渔场的月季动态变化,从点、面、区域多个维度,动静结合地分析了渔场时空动态变化规律以及南海周边国家和地区夜间灯光捕捞的时空变化规律; 郭刚刚等^[24]在Elvidge的基础上提出了利用最大熵阈值分割方法来提取DNB夜间灯光图像中的夜间围网渔船,并分析了日本鲭渔船的作业

渔场; Oozeki等^[25]利用VIIRS DNB数据对日本专属经济区外的非法、不报告、未管制渔船进行了可靠预测。

综上所述,目前对于西北太平洋夜间灯光渔船的研究大部分局限于针对某一鱼种的捕捞渔船,且不同研究提取的渔船数量差别较大。在西北太平洋海区,日本鲭、柔鱼和秋刀鱼的捕捞时间、区域部分重合,夜间灯光渔船有时混杂在一起,因此不能将提取的渔船都认定为同种渔船^[10, 25-26]。以往的研究对于检测作业间距较大的渔船效果良好,但在实际的出海调查中发现,秋刀鱼夜间作业渔船灯光变换频繁而且有时聚集捕捞,作业间距为500 m左右甚至更小,因此局部峰值检测算法提取远洋灯光渔船会影响渔船识别的结果,在阿根廷鱿钓船的识别中同样存在这一问题^[20]。目前还没有结合实际调查站位的西北太平洋秋刀鱼渔船提取方法的研究,因此本研究拟通过夜间灯光渔船检测算法,识别在西北太平洋海域作业的秋刀鱼渔船并进行验证,为秋刀鱼及其他利用灯光进行捕捞作业的大洋性鱼种的渔场研究提供技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

卫星遥感数据 本研究采用的DNB传感器数据记录(sensor data record, SDRs)提供所有波段的辐射亮度信息,包括可见光和近红外波段的反射率信息以及长波红外(LWIR)、短波红外(SWIR)波段的亮度温度信息^[27]。DNB波段的光谱范围为400~900 nm,空间分辨率为742 m,原始辐射单位为W/(cm²×sr)^[28]。数据来源于美国国家海洋和大气管理局(NOAA),网址(<https://www.class.ncdc.noaa.gov>)。海表温度(SST)数据由美国NOAA地球系统研究实验室数学学部提供,分辨率为0.25°×0.25°,网址(<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/tables/sst.html>)。卫星遥感数据由ENVI 5.3和ArcGIS 10.2软件处理。

NPFC渔船列表 用于数量验证的渔船信息列表来源于NPFC,网址(<https://www.npfc.int/compliance/vessels>)。

渔业数据 秋刀鱼渔业信息数据由青岛中泰远洋渔业有限公司提供,信息船为舷提网灯光渔船,型号及设备均相同,船长78 m,总吨

位1 750 t, 所提供的渔业信息包括每天生产位置及产量。本研究根据提供的渔业数据, 计算了各渔船的单位捕捞努力量渔获量(CPUE), CPUE 的单位为t/d, 各渔船船名及作业时间如表1所示, 作业海域及站位见图1。

表 1 2016年秋刀鱼资源调查船信息
Tab. 1 Information of *C. saira* resource survey boats in 2016

船名 ship name	作业时间 operation period
鲁黄远渔105 LU HUANG YUAN YU 105	2016.07.10—2016.11.27
鲁黄远渔106 LU HUANG YUAN YU 106	2016.07.02—2016.11.27
鲁黄远渔107 LU HUANG YUAN YU 107	2016.07.22—2016.11.22
鲁黄远渔108 LU HUANG YUAN YU 108	2016.07.17—2016.11.23
鲁黄远渔115 LU HUANG YUAN YU 115	2016.07.23—2016.11.27
鲁黄远渔116 LU HUANG YUAN YU 116	2016.07.28—2016.11.20
鲁黄远渔117 LU HUANG YUAN YU 117	2016.07.24—2016.11.27
鲁黄远渔118 LU HUANG YUAN YU 118	2016.08.01—2016.11.20

注: 作业时间只是渔船到达渔场和离开渔场的日期, 此期间由于受天气影响并非每天都进行捕捞作业

Notes: the catch date is only the date when the fishing boats arrive at and leave the fishing ground, during this period, boats did not fish every day due to the weather

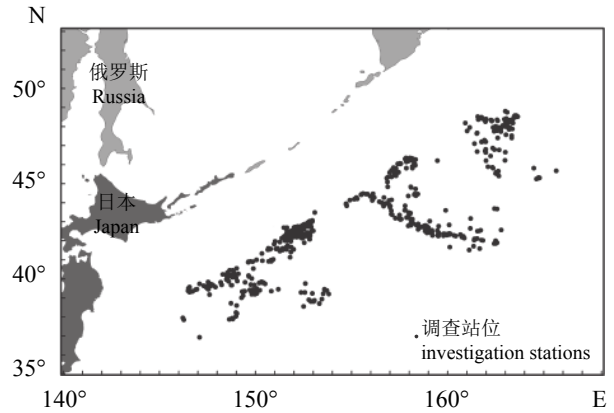


图 1 2016年秋刀鱼资源调查海区与站位分布

Fig. 1 Survey station distribution of *C. saira* resources in autumn 2016

1.2 研究方法

本研究将通过峰值检测和阈值分割对西北太平洋夜间灯光渔船进行识别, 之后利用 NPFC提供的渔船列表和中泰远洋渔业公司提供的秋刀鱼渔捞日志对识别结果进行验证, 最后结合 SST遥感数据研究2016年秋刀鱼作业渔场的温度变化(图2)。

数据预处理 数据预处理包括数据选择、几何校正、数据格式转换3个步骤。由于云层和

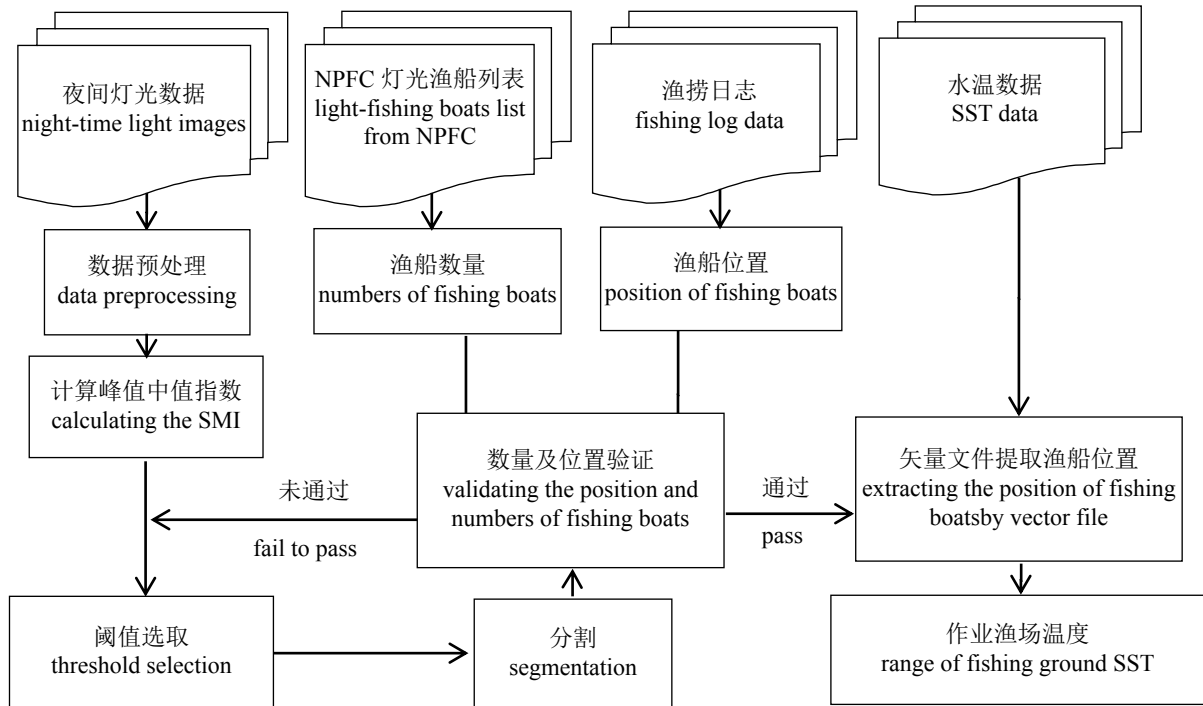


图 2 技术路线图

Fig. 2 Technology roadmap of this study

月光反射会对渔船识别造成很大干扰^[29]，所以本研究选取西北太平洋秋刀鱼作业区域的无云新月夜间数据进行研究。DNB原始数据不包含像元的经纬度信息，首先对DNB原始数据进行GLT几何校正，使每一像元与其经纬度坐标相对应。然后转换其数据格式，方便之后的数据处理。

峰值中值指数计算 云雾的散射会使光源周围的像元辐射值类似高斯分布，影响渔船识别，因此本研究采用Elvidge等^[17]提出的峰值中值指数(spike median index, SMI)来放大像元辐射值与背景像元值之间的差异，减少误差。VIIRS DNB图像的像元辐射值表示辐射亮度，单位为W/(cm²×sr)，夜间灯光渔船的像元辐射值通常介于10⁻¹¹~10⁻⁸。为了方便计算，将DNB图像的像元辐射值放大10⁹倍。然后采用3×3中值滤波器对放大后的图像进行中值滤波处理，达到将图像平滑处理的目的。最后用放大了10⁹倍的DNB图像减去中值滤波后的DNB图像得到SMI图像。

阈值分割 VIIRS DNB夜间图像背景像元与发光像元之间的辐射值差异较大，提取辐射值大于等于阈值的像元作为夜间灯光渔船。

NPFC渔船列表筛选 图3为渔船筛选流程图，由于本研究只提取2016年西北太平洋公海区域的夜间灯光渔船，因此排除2016年以后在西北太平洋注册的渔船和200 t以下不具备远洋捕捞能力的小型渔船。由于日本的渔船集中于日本专属经济区海域作业^[30]，加拿大渔船的作业区域

位于东太平洋，因此排除列表中日本和加拿大的渔船。最后排除工厂母船、运输船、渔业研究船等非渔业捕捞船只。

数量及位置验证 用筛选后的NPFC渔船列表和渔捞日志中的实际作业站位验证DNB图像中提取的夜间灯光渔船数量和位置。如果验证通过，则将DNB数据中的渔船信息提取为矢量文件，便于数据存储和进一步研究，如果验证不通过，则重新选取阈值。

作业渔场温度区间提取 在ArcGIS中提取每日SST遥感数据的等温线，温度区间为1℃。叠加DNB图像中的每日灯光渔船作业位置和SST等温线，获得每天的夜间灯光渔船作业的渔场温度区间。

2 结果

2.1 峰值中值指数(SMI)图像

图4为2016年8月26日23时45分06秒时西北太平洋的DNB灯光图像。可以清晰地看到此时灯光渔船大多在公海进行捕捞作业，绿色区域B渔船较多且密集作业，红色区域A渔船间距较大。因此选取此时的DNB图像计算峰值中值指数，证明SMI图像对于密集作业的灯光渔船同样有良好的识别效果。图4中，a~c表明SMI图像可以很好地去掉作业间距较大的渔船光晕，提高发光像元与海洋背景值的差异；d~f表明SMI图像对

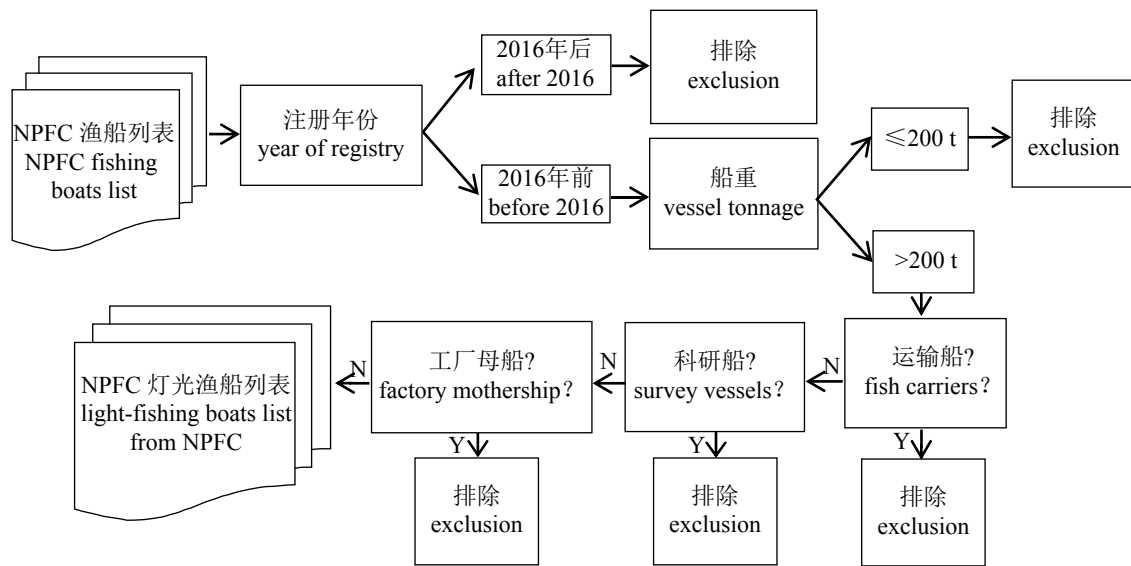


图3 渔船筛选流程图，图中N表示否，Y表示是

Fig. 3 Flow chart of fishing boat detection, N is no, Y is yes

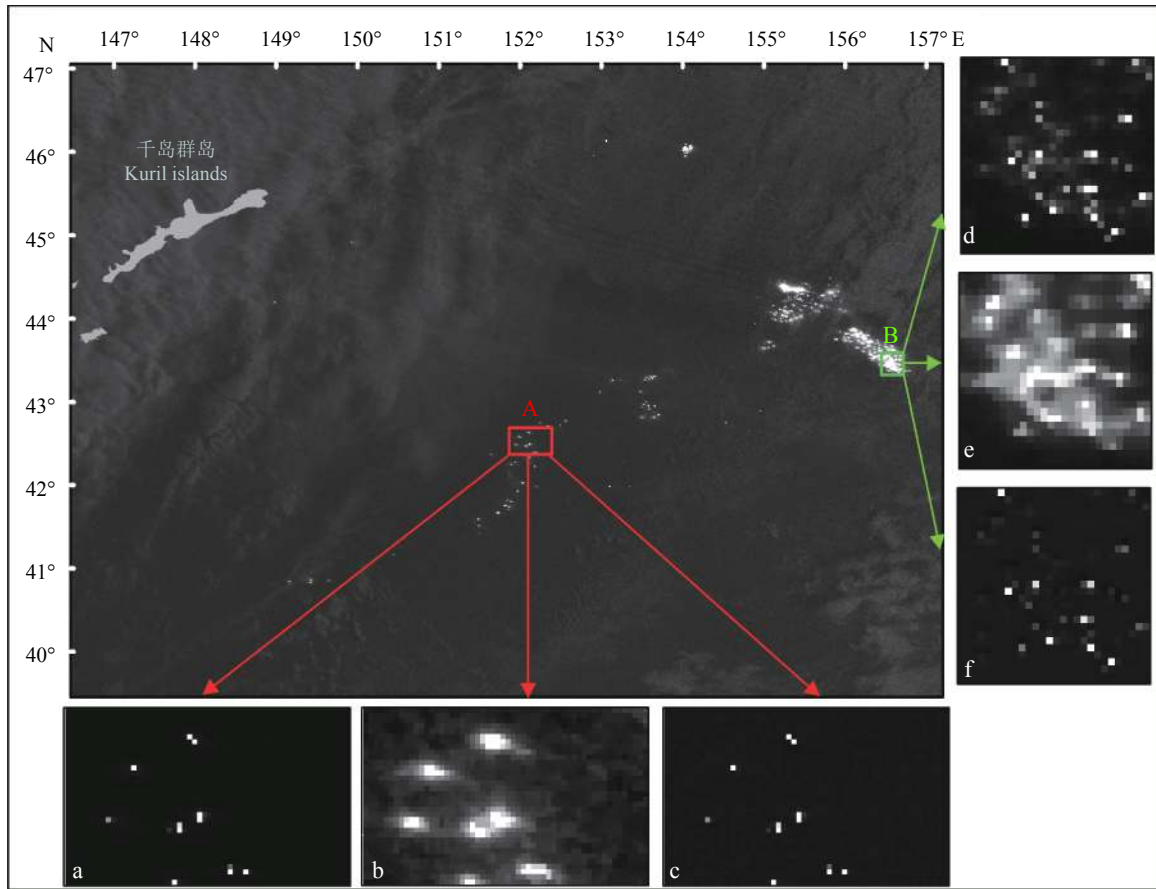


图 4 SMI效果图

a-c.大间距渔船的SMI效果图, d-f.密集作业渔船的SMI效果图; a和d为DNB原始图像, b和e为中值滤波图像, c和f为SMI图像

Fig. 4 Impression diagram of SMI

a-c are large spacing fishing boats, d-f are intensive fishing boats; a and d are original DNB images, b and e are median filter images, c and f are SMI images

于密集作业的渔船光晕也有很好的去除效果。因此可以用基于SMI的峰值检测方法对西北太平洋公海区域的夜间灯光渔船进行识别和提取。

2.2 NPFC渔船列表中夜间灯光渔船提取结果

NPFC渔船列表中, 西北太平洋公海夜间灯光渔船筛选结果如表2所示。共筛选出灯光渔船476艘, 其中中国大陆最多, 为305艘; 其次为中国台湾, 有97艘, 大多数从事秋刀鱼捕捞作业; 俄罗斯、韩国、瓦努阿图的渔船数量分别为44艘、26艘、4艘。中国、韩国、瓦努阿图的渔船平均吨位都在1 000 t以下; 俄罗斯渔船的平均吨位最大, 为1 318 t。总吨位上, 中国大陆渔船最大, 为270 649 t; 中国台湾和俄罗斯次之, 分别为95 456 t和57 985 t; 韩国和瓦努阿图渔船总吨位较小, 分别为20 094 t和3 993 t。整个西北太平洋公海区域渔船总吨位为448 177 t。

表 2 NPFC渔船列表中的西北太平洋夜间灯光渔船信息

Tab. 2 NPFC fishing boat list of Northwest Pacific night light fishing information

国家或地区 country or region	灯光渔船数量 number of fishing boats	渔船总吨位/t gross tonnage	平均吨位/t average tonnage
中国大陆 China	305	270 649	887
俄罗斯 Russia	44	57 985	1 318
韩国 Korea	26	20 094	773
中国台湾 Taiwan, China	97	95 456	984
瓦努阿图 Vanuatu	4	3 993	998
合计 total	476	448 177	

资料显示, 目前我国在西北太平洋从事夜间灯光捕捞的渔船为325艘左右, 这与渔船筛选结果相吻合^[10-11], 因此可以利用从NPFC渔船列表中筛选出的476艘夜间灯光渔船来验证DNB数据

中的灯光渔船数量。

2.3 基于DNB数据的渔船识别及验证结果

将本研究中的方法用于2016年8月26日,西北太平洋当地时间23时45分06秒的夜间灯光数据,提取出410艘夜间灯光渔船,由于在探寻鱼群过程中渔船的灯光并不全部打开,灯光亮度不足会影响灯光渔船识别的结果,而且在实际捕捞作业过程中,由于受到天气、海况、渔汛等因素的影响,并非所有船只都出海进行捕捞,往往实际作业渔船数要小于渔船列表中的数量。因此本方法检测到的渔船数量符合实际,位置验证结果如图5所示,本研究用同一时间的渔捞日志对识别结果进行位置验证,结果显示所检测的渔船位置与实际船位信息相重合,说明基于DNB数据的西北太平洋夜间灯光渔船的识别效果良好。

2.4 作业渔场温度变化

用经过验证的西北太平洋灯光渔船的位置信息叠加SST图层可以得到秋刀鱼渔船作业的温度范围(图5)。以此为基础分析每日渔场温度变化,结果如图6所示。7月2日—7月10日渔场温度

不断下降,渔船大多在12℃等温线附近海域作业,作业位置的SST区间为6~16℃;7月10日—7月24日渔船作业位置的SST区间为5~11℃,波动不大,渔船大多在8℃等温线附近作业;7月24日—9月8日秋刀鱼渔船不断向SST更高的区域移动,这一期间作业位置的SST区间为6~23℃;大部分渔船聚集在19℃等温线附近作业;9月8日—10月底,秋刀鱼渔船作业大多位于18℃等温线附近,作业区域的SST区间不断下降;11月秋刀鱼渔船作业位置的SST区间大致在10℃~19℃,相较于其他月份,11月秋刀鱼渔船作业的温度区间更加广泛,11月2日、11月3日、11月25日的作业温差都达到12℃。

全年来看, DNB数据识别的秋刀鱼渔船作业区域的SST跨度较大,7月21日有几条渔船作业的SST为5℃,而8月末九月初一些渔船作业位置的SST高达23℃。

3 讨论

3.1 对于密集作业的渔船的识别

在对西北太平洋秋刀鱼资源进行调查的过

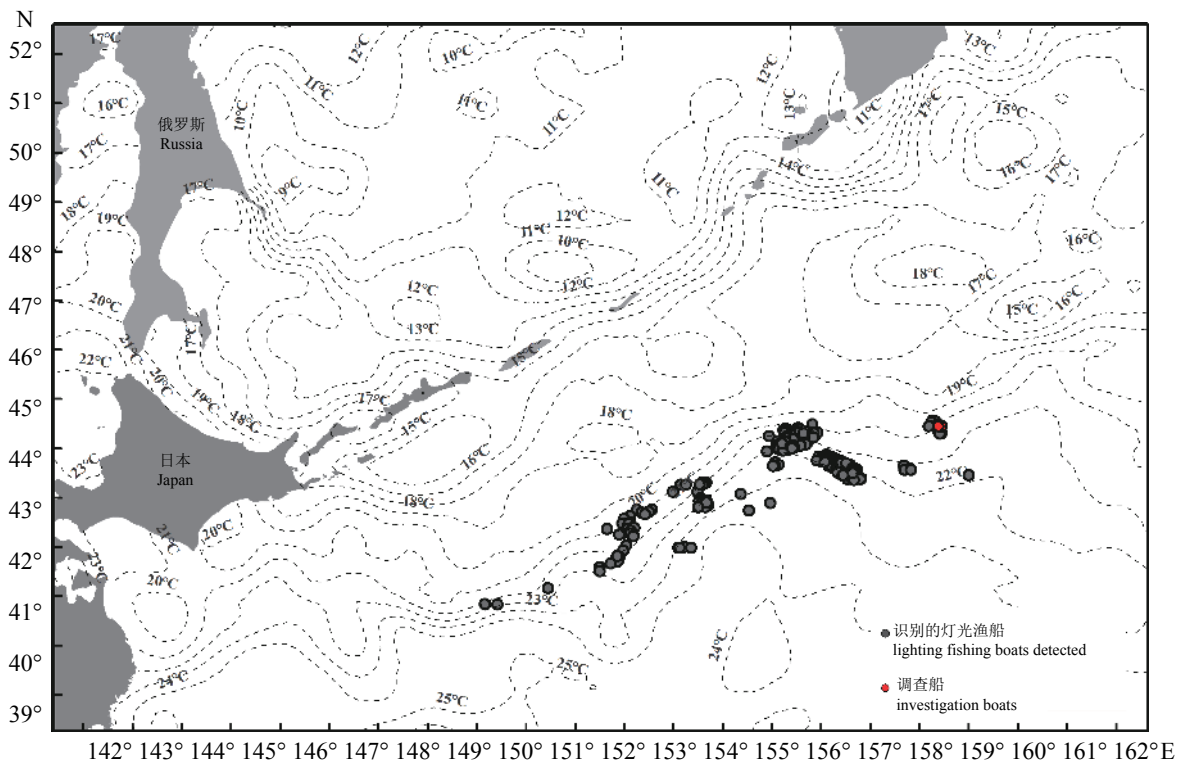


图5 2016年8月26日夜间灯光渔船识别与位置验证

Fig. 5 Identification and verification of night light fishing boats in local time: August 26th

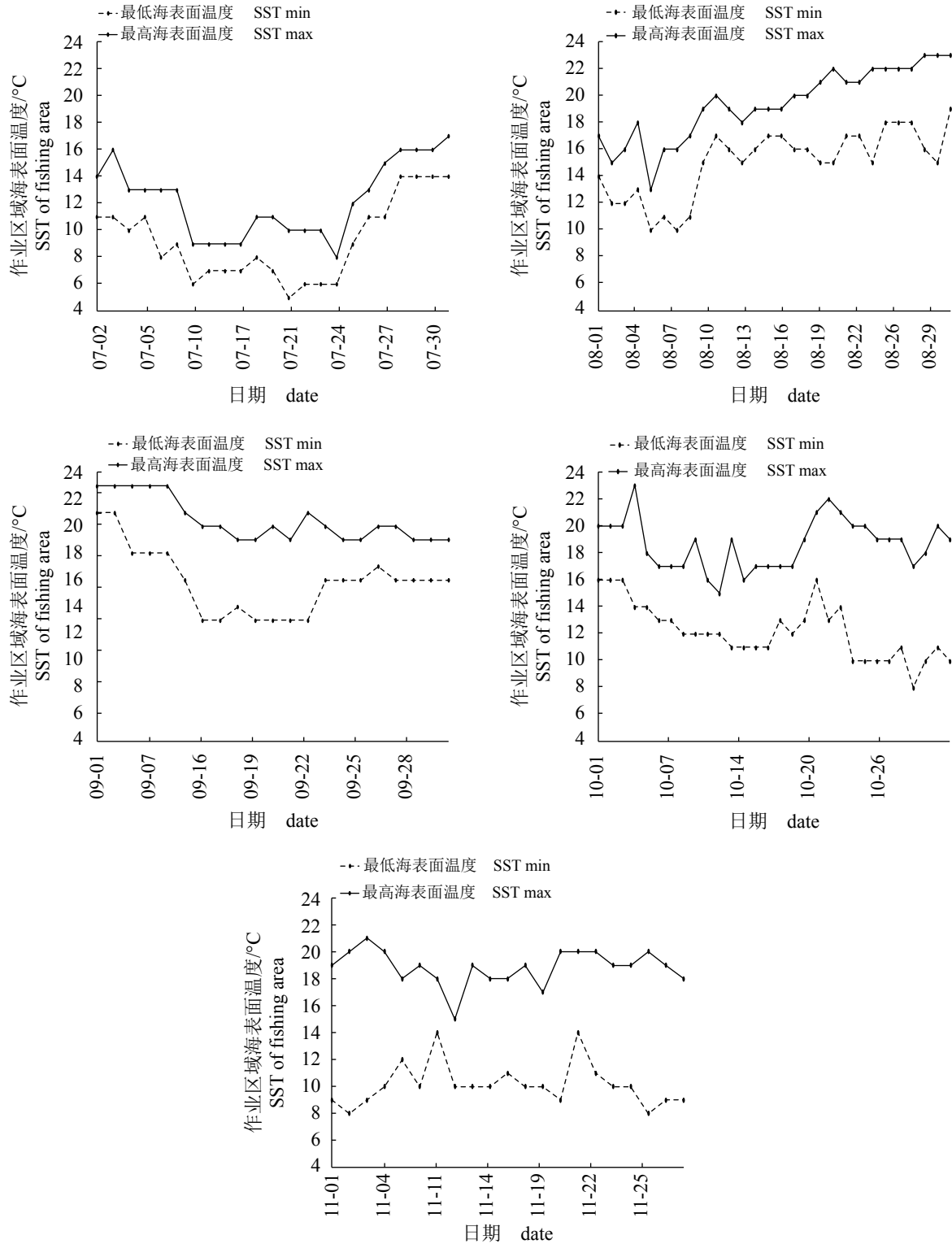


图 6 2016年7—11月秋刀鱼渔船作业SST区间

Fig. 6 SST range of *C. saira* fishing boats from July to November 2016

程中, 发现秋刀鱼渔船在夜间聚集捕捞作业, 间距往往在500 m左右甚至更小, 有时几海里的范围内会聚集上百艘渔船。由于密集捕捞,

VIIRS DNB图像中识别到的秋刀鱼渔船光源往往聚为一团而非点状(图4-b)。之前对于夜间灯光渔船识别的研究都未深入考虑这一问题, 大多数

学者认为由于渔船光源的散射,应该提取 3×3 像元范围内的局部最大辐射值作为灯光渔船。这一方法对于分散作业的灯光渔船效果良好,但对于密集作业的渔船会造成漏检。因此本研究并未采用局部最大辐射值提取,而是采用SMI图像来减小渔船光晕带来的误差,SMI图像对于西北太平洋分散作业和密集作业的灯光渔船的光晕去除都有良好的效果(图4)。

3.2 验证数据的搜集

在NPFC渔船信息尚未公开时,对于西北太平洋夜间灯光渔船识别的验证只能依靠船舶监测系统(vessel monitoring system, VMS)和船舶自动识别系统(automatic identification system, AIS)。但这两种系统缺点明显, AIS和VMS系统主要是针对航行船只而开发,由于密集作业时渔船之间的雷达信号会互相干扰,因此有的船只在作业时关闭监测系统^[19, 25]。西北太平洋公海区域有着多个国家的作业渔船,而各个国家之间的VMS数据并不共享^[24],这导致在使用验证数据时只能对本国渔船进行验证,造成提取的渔船数据信息不全,说服力不强。在NPFC的渔船信息公开后,本研究提出了从NPFC渔船列表

中筛选西北太平洋公海区域夜间灯光渔船的方法,结果证明本研究筛选的渔船数量准确。相比于VMS和AIS数据,本研究所用的西北太平洋秋刀鱼渔船的渔捞日志可靠性最强,说服力最高。不同于VMS和AIS数据,渔捞日志的渔船坐标都是实时记录,与夜间捕捞位置几乎同步,图5中渔捞日志的位置与提取的夜间灯光数据基本重合。证明了本研究提取的渔船准确性较高。

3.3 渔场及CPUE的时空变动

从DNB数据中提取每天的秋刀鱼渔船位置图并绘制月合成图像,探究2016年秋刀鱼渔场的时空变化。图7中各颜色点位分别表示2016年7—11月识别的秋刀鱼渔船。全年分析,2016年西北太平洋公海秋刀鱼渔船的主要作业位置集中在 $38^{\circ}\sim 49^{\circ}\text{N}$, $146^{\circ}\sim 164^{\circ}\text{E}$ 的俄罗斯和日本专属经济区之外,7—8月渔船分布广泛,9—11月渔船逐渐集中于俄罗斯和日本专属经济区之外并逐渐从东北向西南方向移动。2016年7月秋刀鱼渔场主要集中在 $41^{\circ}\sim 49^{\circ}\text{N}$, $162^{\circ}\sim 164^{\circ}\text{E}$ 和 41°N , $150^{\circ}\sim 155^{\circ}\text{E}$ 这2个区域附近。8月渔场分布更加广泛, $40^{\circ}\sim 49^{\circ}\text{N}$, $150^{\circ}\sim 166^{\circ}\text{E}$ 的公海区域都有分布。9月秋刀鱼渔船开始逐渐集中并向俄罗斯和

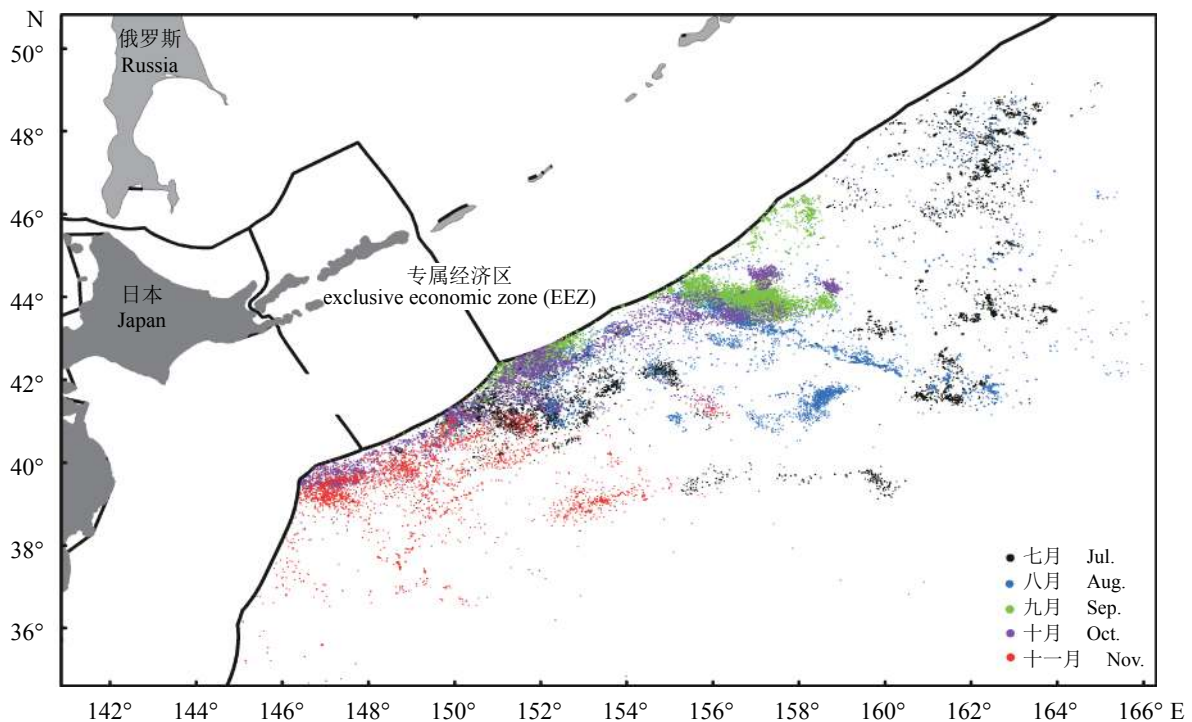


图7 渔场的时空变化

Fig. 7 Temporal and spatial variation of fishing grounds

日本专属经济区靠近, 渔场主要集中在 42°N , $150^{\circ}\sim 154^{\circ}\text{E}$ 和 44°N , $156^{\circ}\sim 159^{\circ}\text{E}$ 2个区域。10月渔船开始逐渐沿着专属经济区从东北向西南方向移动, 渔场主要集中在 $146^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E}$ 俄罗斯和日本专属经济区外侧。11月渔船继续南下, 渔场主要集中于 40°N , $146^{\circ}\sim 152^{\circ}\text{E}$ 附近, $152^{\circ}\sim 156^{\circ}\text{E}$ 也有零星秋刀鱼渔船分布。

2016年信息船作业位置及CPUE的时空变化如图8所示, 7月份信息船从 43°N 北上直到 48°N 附近进行捕捞作业; 8月中旬由于受台风影响, 秋刀鱼渔船又回到 43°N 附近作业; 9月开始秋刀鱼渔船逐渐向俄罗斯专属经济区附近靠拢并开始密集作业; 10月、11月秋刀鱼渔船作业位置基本都位于 42°N 附近的公海区域, 位置靠近专属经济区。从渔船平均CPUE的月变化分析, 7月和8月CPUE较低, 基本都在 10 t/d 以下。从9月中旬开始直到11月初, 随着渔船向专属经济区靠拢, CPUE大多在 10 t/d 以上, 9月下旬到11月初, 多次CPUE达到 30 t/d 以上。其中9月20日、9月26日、9月30日、10月12日、10月29日的CPUE都大于 50 t/d 。

秋刀鱼的捕捞可以分为2个阶段, 第一阶段

是七月初到八月末, 这期间秋刀鱼渔船的作业位置分布广泛, 产量普遍较低, CPUE大多小于 10 t/d ; 第二阶段是九月初到11月中旬, 这一阶段秋刀鱼渔场转移到 160°E 以西, 渔船沿着俄罗斯和日本的专属经济区从东北不断向西南移动(图7, 图8), 这一阶段秋刀鱼开始进入渔汛期, CPUE普遍较高, 甚至会出现单船日产量达到 50 t 以上的情况。

之前的研究已经证明秋刀鱼渔场位置以及CPUE的时空变动与其生活史密切相关^[4, 11, 31]。本研究中渔场位置以及CPUE的时空变动受秋刀鱼的洄游所影响。7月到8月秋刀鱼在黑潮与亲潮交汇区域北上索饵, 上一年的冬生群体尚未进入产卵期, 因此这一阶段秋刀鱼的渔场位置分布广泛且产量偏低。9月中下旬开始, 秋刀鱼南下到日本近海产卵。因此第二阶段渔场位置沿着俄罗斯和日本专属经济区从东北往西南不断向日本近岸靠近, 这一时期秋刀鱼聚集于索饵场到产卵场之间的洄游路径上, 因此出现渔汛, 产量较高。

3.4 西北太平洋夜间灯光渔船的渔场温度

夜间灯光渔船作业的温度范围随秋刀鱼洄游而变化。七月初到九月初这一阶段, 秋刀鱼渔船

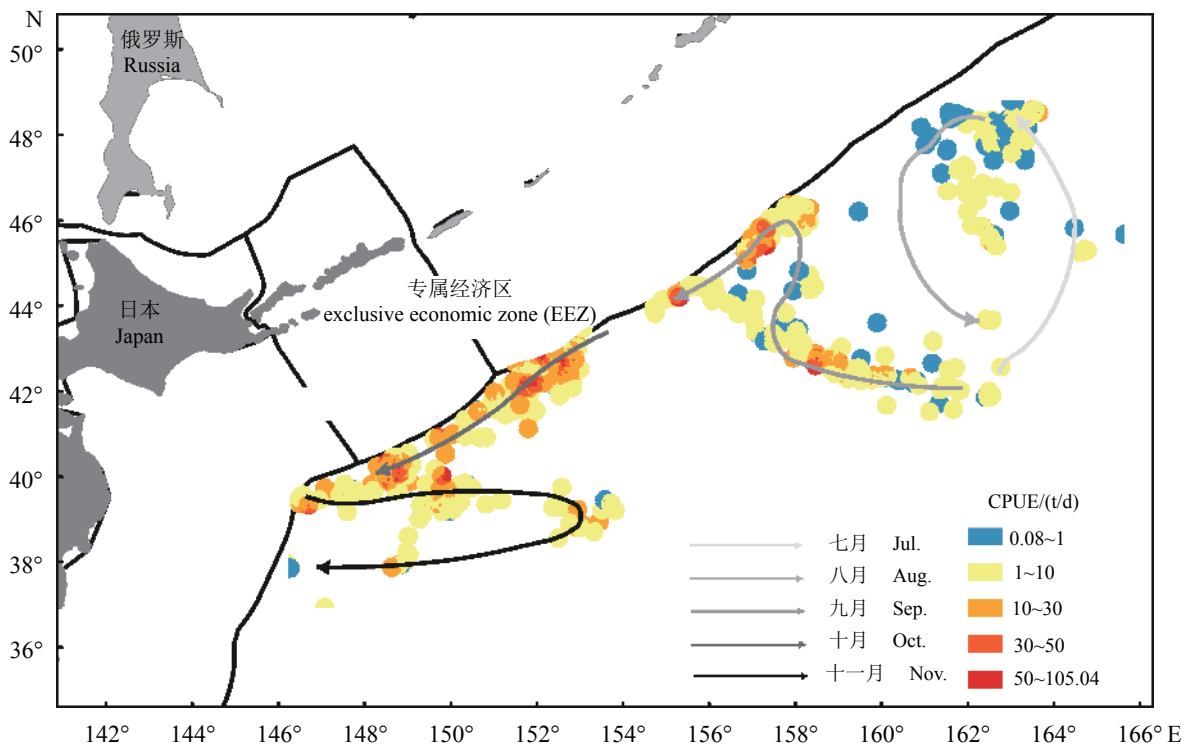


图 8 信息船捕捞位置及CPUE的时空变化

Fig. 8 Temporal and spatial variation of fishing location and CPUE of information boats

作业的SST区间为5~23℃,温差达到18℃,这是因为这一时期秋刀鱼在黑潮—亲潮广泛的交汇区域洄游,分布更为广泛^[32]。夜间灯光渔船7月开始随着秋刀鱼向北移动,8月后向南移动,很好的对应了图6中作业温度在第一阶段先下降后上升的现象。由于DNB图像中识别的秋刀鱼渔船为夜间作业渔船,识别的秋刀鱼渔船都为开灯进行捕捞的渔船,可以表明该位置有秋刀鱼。因此本研究利用灯光渔船判断SST区间,可以发现7月秋刀鱼北上索饵过程中SST由16℃下降到5℃,在48°N附近的索饵群体通常在12℃以下的水温中,说明秋刀鱼为冷温性鱼类。8月之后渔船作业位置SST逐渐升高,除了秋刀鱼洄游路线南下之外也可能受气候影响而导致SST升高。9月中下旬之后,虽然秋刀鱼产卵洄游不断南下,但由于气温逐渐降低,因此渔场温度逐渐降低,最后到11月稳定在10~18℃。

3.5 未来研究方向

云层和月光对夜间灯光渔船的识别影响较大,虽然云掩膜可以有效去除遥感数据中的云,但同时会将云层遮挡的渔船信息去掉,而满月时云层反射的月光也会对夜间渔船的识别带来干扰^[31]。Yamaguchi等^[19]发现通过对比DNB图像和波长为3.7 μm的短波红外图像的亮温信息可以减少部分云层干扰。

结合AIS数据、DNB渔船提取结果和从NPFC渔船列表中筛选的夜间灯光渔船,可以定位每艘夜间灯光渔船及其航行轨迹,此方法可以定位和寻找西北太平洋公海区域未注册的非法、不报告、未管制的渔船,为保护西北太平洋渔业资源和维护我国国家权益提供支持。

4 结论

西北太平洋秋刀鱼渔船作业间距较近,不适合采用Elvidge等^[17]提出的提取局部最大峰值算法,SMI图像对于西北太平洋密集作业和分散作业的夜间灯光渔船都具有良好的识别效果。在西北太平洋资源调查的渔捞日志和从NPFC渔船列表筛选出476艘灯光渔船良好的验证效果,说明本研究提出的方法可以实现对西北太平洋公海区域夜间灯光渔船的精准提取。对比图7和图8,发现本研究所提出的西北太平洋秋刀鱼渔船的识别方法可以极大的丰富渔船数据量,为研究

秋刀鱼渔场变迁提供数据支持。

2016年7—8月秋刀鱼渔场广泛分布于39°~49°N,150°~164°E的西北太平洋公海区域,这一阶段CPUE普遍较低;9—11月秋刀鱼渔场转移到俄罗斯和日本专属经济区附近并不断向西南方向移动;9月下旬秋刀鱼开始进入渔汛期,CPUE大多在10 t/d以上,出现日产量在50 t以上的高产情况。

秋刀鱼灯光渔业的渔场变换结果表明,夜间灯光渔船作业的温度范围随着秋刀鱼洄游而变化。2016年7—9月渔场的SST波动较大是因为这一时期秋刀鱼在黑潮—亲潮广泛的交汇区域洄游,分布更为广泛。9月之后作业渔场的SST稳定在10~18℃。因此在研究西北太平洋远洋渔业资源的渔场和资源量变动时,不同月份应当分别考虑。

感谢青岛中泰远洋渔业有限公司以及鲁黄远渔系列渔船各船船长及船员在取样调查过程中给予的大力支持,特此谢忱。

参考文献:

- [1] 王秉和. 世界公海渔业资源及开发利用现状[J]. 齐鲁渔业, 1998, 15(2): 29-31.
Wang B H. Situation of exploitation and utilization of fishery resources in high seas[J]. Shandong Fisheries, 1998, 15(2): 29-31(in Chinese).
- [2] 邵全琴, 马巍巍, 陈卓奇, 等. 西北太平洋黑潮路径变化与柔鱼CPUE的关系研究[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(2): 111-122.
Shao Q Q, Ma W W, Chen Z Q, et al. Relationship between Kuroshio meander pattern and *Ommastrephes bartrami* CPUE in Northwest Pacific Ocean[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2005, 36(2): 111-122(in Chinese).
- [3] 王文宇. GIS支持下的西北太平洋柔鱼资源与海洋环境关系研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2005.
Wang W Y. Study on the relationship between *Ommastrephes bartrami* resources and the marine environment in the Northwest Pacific based on GIS[D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2005(in Chinese).
- [4] 晏磊. 北太平洋公海秋刀鱼渔场分布特征及其环境关

- 系[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- Yan L. The relationship between the distribution of saury fishing ground and its environmental factors[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012(in Chinese).
- [5] FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018- Meeting the Sustainable Development Goals[M]. Roma: FAO, 2018.
- [6] 王良明. 西北太平洋游泳动物种类组成及主要优势种的生物学特征[D]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2017.
- Wang L M. The composition of nekton and biological characteristic of main dominant species in Northwestern Pacific Ocean[D]. Xiamen: Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 2017(in Chinese).
- [7] 孙明. 浅析中北太平洋公海渔业资源的开发利用[J]. 齐鲁渔业, 2007, 24(1): 45-46.
- Sun M. A brief analysis of the exploitation and utilization of high seas fishery resources in the Central and North Pacific Ocean[J]. Shandong Fisheries, 2007, 24(1): 45-46(in Chinese).
- [8] 祁斌. 世界远洋渔船发展现状[J]. 船舶与配套, 2013(5): 46-54.
- Qi B. Development status of world ocean fishing vessels[J]. Ship and Marine Equipment, 2013(5): 46-54(in Chinese).
- [9] 唐峰华, 岳冬冬, 熊敏思, 等. 《北太平洋公海渔业资源养护和管理公约》解读及中国远洋渔业应对策略[J]. 渔业信息与战略, 2016, 31(3): 210-217.
- Tang F H, Yue D D, Xiong M S, *et al.* Interpretation of convention on the conservation and management of high seas fisheries resources in the North Pacific Ocean and coping strategies from China oceanic fisheries[J]. Fishery Information & Strategy, 2016, 31(3): 210-217(in Chinese).
- [10] 樊伟. 卫星遥感渔场渔情分析应用研究--以西北太平洋柔鱼渔业为例[D]. 上海: 华东师范大学, 2004.
- Fan W. A study on application of satellite remote sensing in marine fishing-ground analysis and fishing condition forecasting-a case of *Ommastrephes bartrami* fisheries in Northwest Pacific Ocean[D]. Shanghai: East China Normal University, 2004(in Chinese).
- [11] 王周雷. 西北太平洋秋刀鱼捕捞技术初步研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2017.
- Wang Z L. Preliminary research of the Western Pacific saury fishing technique[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2017(in Chinese).
- [12] 周爱忠, 张勋, 张禹, 等. 我国开发西北太平洋公海秋刀鱼资源的SWOT分析与策略[J]. 现代渔业信息, 2010, 25(3): 8-11.
- Zhou A Z, Zhang X, Zhang Y, *et al.* SWOT analysis and strategy for exploiting saury resource in high sea of Northwest Pacific Ocean by China[J]. *Modern Fisheries Information*, 2010, 25(3): 8-11(in Chinese).
- [13] Croft, Thomas A. Nighttime images of the earth from space[J]. *Scientific American*, 1978, 239(1): 86-98.
- [14] Shi K F, Huang C, Yu B L, *et al.* Evaluation of NPP-VIIRS night-time light composite data for extracting built-up urban areas[J]. *Remote Sensing Letters*, 2014, 5(4): 358-366.
- [15] 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 Series*, 2004, 276: 173-186.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Liu Y, Saitoh S I, Hirawake T, *et al.* Detection of squid and pacific saury fishing vessels around Japan using VIIRS Day/Night band image[J]. Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network, 2015, 39: 28-39.
- [19] Yamaguchi T, Asanuma I, Park J G, *et al.* Estimation of vessel traffic density from Suomi NPP VIIRS day/night band[C]//OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey. Monterey, CA: IEEE, 2016.
- [20] Cozzolino E, Lasta C A. Use of VIIRS DNB satellite images to detect jigger ships involved in the *Illex argentinus* fishery[J]. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2016, 4: 167-178.
- [21] Syah A F, Saitoh S I, Alabia I D, *et al.* Detection of potential fishing zone for Pacific saury (*Cololabis saira*) using generalized additive model and remotely sensed data[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental*

- [Science](#), 2017, 54: 012074.
- [22] Syarifudin U, Salman D, Ali S A, *et al.* Application of Viirs-Dnb satellite data to detect ship distribution patterns, fishing activity index and planning instrument of pelagic capture fisheries in bone bay waters[J]. *International Journal of Science and Research*, 2017, 6(6): 693-702.
- [23] 张思宇. 基于夜间灯光数据的南海渔业捕捞动态变化研究[D]. 南京: 南京大学, 2017.
Zhang S Y. Research on fishing dynamic changes in the South China Sea using nighttime light data[D]. Nanjing: Nanjing University, 2017(in Chinese).
- [24] 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 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(in Chinese).
- [25] Oozeki Y, Inagake D, Saito T, *et al.* Reliable estimation of IUU fishing catch amounts in the Northwestern Pacific adjacent to the Japanese EEZ: Potential for usage of satellite remote sensing images[J]. *Marine Policy*, 2018, 88: 64-74.
- [26] 马超, 庄之栋, 刘勇, 等. 西北太平洋公海灯光敷网渔获组成及主要种类渔业生物学特性研究[J]. *渔业研究*, 2018, 40(2): 141-147.
Ma C, Zhuang Z D, Liu Y, *et al.* Preliminary study on catch composition and biological characteristics of main species of light-liftnet in the Northwest Pacific Ocean[J]. *Journal of Fisheries Research*, 2018, 40(2): 141-147(in Chinese).
- [27] 马芮, 孙林, 袁广辉, 等. 可见光红外成像辐射仪数据林火识别算法研究[J]. *遥感信息*, 2015, 30(4): 37-42, 48.
Ma R, Sun L, Yuan G H, *et al.* Technology and method of forest fire monitoring using NPP VIIRS data[J]. *Remote Sensing Information*, 2015, 30(4): 37-42, 48(in Chinese).
- [28] Cao C Y, Xiong J, Blonski S, *et al.* Suomi NPP VIIRS sensor data record verification, validation, and long-term performance monitoring[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2013, 118(20): 11664-11678.
- [29] Baugh K, Elvidge C D, Ghosh T, *et al.* Development of a 2009 stable lights product using DMSP-OLS data[J]. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network*, 2010, 30: 114-131.
- [30] 缪圣赐. 俄罗斯、韩国、中国台湾等的渔船关注着利用西北太平洋公海的秋刀鱼资源[J]. *现代渔业信息*, 2010, 25(1): 34-34.
Miao S C. Fishing vessels from Russia, South Korea, Chinese Taiwan are concerned about the exploitation of Pacific saury in the Northwest Pacific Ocean[J]. *Fishery Information and Strategy*, 2010, 25(1): 34-34(in Chinese).
- [31] Kopp T J, Thomas W, Heidinger A K, *et al.* The VIIRS cloud mask: progress in the first year of S - NPP toward a common cloud detection scheme[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2014, 119(5): 2441-2456.
- [32] Tian Y J, Ueno Y, Suda M, *et al.* Decadal variability in the abundance of Pacific saury and its response to climatic/oceanic regime shifts in the northwestern subtropical Pacific during the last half century[J]. *Journal of Marine Systems*, 2004, 52(1-4): 235-257.

Detection of Pacific saury(*Cololabis saira*) fishing boats in the Northwest Pacific using satellite nighttime imaging data

TIAN Hao¹, LIU Yang^{1*}, TIAN Yongjun¹, LIU Shigang¹, YAN Luxin¹,
CHEN Guanyu¹, LI Jianchao¹, LI Yuan², LIN Longshan²

(1. Laboratory Fisheries Oceanography, College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Third Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Xiamen 361005, China)

Abstract: Pacific saury (*Cololabis saira*) is one of the most important commercial pelagic fish species being harvested in the Northwestern Pacific Ocean region. Spatial and temporal dynamic monitoring of fishing boats has become an important data source for understanding the distributional dynamics of fisheries. Visible infrared imaging radiometer suite (VIIRS) Day/night band (DNB) night-time remote sensing images can be used to monitor night fishing boat lights. In this study, peak detection and threshold segmentation techniques were used to identify fishing boats employing DNB images in the Northwest Pacific. GIS tools were used to extract and analyze the fishing boat position and numbers. The fishing log of *C. saira* resources and the selected NPFC fishing boats list were used to validate the identified results. The results show that the method proposed in this study can effectively identify the location and operation status of *C. saira* fishing boats, and provide useful information for understanding the spatial distribution and dynamics of Pacific saury fishing zones in the northwest Pacific region. Sea surface temperature data provided by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) were used to analyse temperature changes in the fishing ground of *C. saira*. The results showed that the SST range of lighting fishing boats changes with the migration of saury. From July to September 2016, the range of fishing ground SST fluctuated greatly because Pacific saury are widely distributed, making extensive migrations from subtropical to subarctic regions throughout the Kuroshio-Oyashio Currents transition zone. After September, the SST of the fishing ground tended to be stable. In the future, this information will be useful to forecast the potential fishing zone and to assess the fishing resources.

Key words: *Cololabis saira*; fishing boat identification; remote sensing; VIIRS/DNB; Northwest Pacific

Corresponding author: LIU Yang. E-mail: Yangliu315@ouc.edu.cn

Funding projects: Fundamental Research Funds for the Central Universities (201762015); China Postdoctoral Science Foundation (187202); National Program on Global Change and Air-sea Interaction (GASI-02-PAC-YDspr/sum/aut)