

文章编号: 1674-5566(2024)02-0444-08

DOI: 10.12024/jsou.20230404163

基于北斗VMS数据和DBSCAN算法的夏季海州湾中国毛虾资源分布

李冬佳^{1,2}, 李国东^{1,2}, 熊瑛², 仲霞铭², 张琥顺¹, 宋大德³, 杨帆⁴,
康中杰^{1,2}, 吴晓睿^{1,2}, 王淑艳^{1,2}, 梁龙^{1,2}

(1. 上海海洋大学 海洋生物资源与管理学院, 上海 201306; 2. 江苏省海洋水产研究所, 江苏 南通 226007; 3. 华东师范大学 河口海岸国家重点实验室, 上海 200241; 4. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 2020年我国伏季休渔期间中国毛虾限额捕捞试点在黄海海州湾实施, 2021年该限额捕捞项目继续实施, 在此背景下探究夏季海州湾中国毛虾资源分布对其限额捕捞精细化管理至关重要。首先基于2021年海州湾中国毛虾限额捕捞期间北斗渔船监控系统(Vessel monitoring system, VMS)数据提取得到各毛虾张网渔船所有捕捞网位点及其捕捞努力量, 然后运用具有噪声的密度聚类(Density-based spatial clustering of application with noise, DBSCAN)算法进一步识别含有捕捞产量的网位点, 从而探究夏季海州湾中国毛虾资源分布格局。结果显示, 含有产量的网位点识别率为97.18%, 表明DBSCAN算法能精准识别含有产量的捕捞网位点。含有产量的网位点共有898个, 空间上呈聚集性分布。依据捕捞努力量情况探究得到中国毛虾资源主要分布在120°00'E~120°15'E, 34°43'N~34°48'N和119°47'E~119°53'E, 34°36'N~34°43'N。本研究思路可作为其他渔业捕捞活动中运用VMS数据提取含产量捕捞网位点的科学参考。

关键词: 中国毛虾; 渔船监控系统; 密度聚类; 限额捕捞; 海州湾
中图分类号: S 932.51 **文献标志码:** A

中国毛虾(*Acetes chinensis*, 以下简称“毛虾”), 俗称虾皮, 属樱虾科(Sergestidae)毛虾属(*Acetes*), 为小型浮游虾类, 广泛分布于西北太平洋近海海域。毛虾作为我国海洋捕捞虾类中产量最高的品种, 其在渤海、黄海和东海近海资源量最为丰富^[1]。自20世纪50年代以来, 我国毛虾捕捞产量稳步增长, 2006年时达到历史最高纪录为72.1万t, 随后大幅下降, 2020年时降至36.7万t^[2], 可见对中国毛虾资源实施限额捕捞管理任务迫在眉睫。2020年我国首个伏季休渔期间中国毛虾限额捕捞试点在黄海海州湾实施, 2021年中国毛虾限额捕捞继续推广至渤海, 捕捞时间为6月15日至7月15日。因此, 探究夏季毛虾资源分布情况对其限额捕捞精细化管理

至关重要。

渔船监控系统(Vessel monitoring system, VMS)是一种集全球定位导航、全球卫星通信、电子海图、计算机和数据库等技术为一体的综合应用系统^[3], 收集记录了大量的船位数据。作为管理和养护渔业资源的一种监管手段, 目前国内学者已将其有效应用于捕捞努力量计算^[4-6]及渔场分析^[7-11]等方面。然而, 基于VMS数据直接提取得到的毛虾捕捞网位可能存在无产量情况。因此, 提取含有产量的毛虾捕捞网位对探究毛虾资源分布情况具有重要意义。

具有噪声的密度聚类(Density-based spatial clustering of application with noise, DBSCAN)算法是一种基于密度的空间聚类算法^[12], 它具有无需

收稿日期: 2023-04-20 修回日期: 2023-08-15

基金项目: 江苏省省级农业生态保护与资源利用-渔业生态与资源监测项目(2021-SJ-110-02); 江苏省省级农业生态保护与资源利用-渔业生态与资源监测项目(2022-SJ-061-01); 2022年南通市社会民生重点专项-基于数据仓库技术的长江口及邻近海域捕捞渔情信息系统的研发与应用项目(MS12022008)

作者简介: 李冬佳(1998—), 女, 硕士研究生, 研究方向为3S应用与大数据挖掘。E-mail: dongjiali9807@163.com

通信作者: 熊瑛, E-mail: yxiongshfu@126.com

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

设定初始值便可高效找到任意形状聚类、自动判定聚类数、并有效剔除噪声点等优点。目前已有有效应用于渔船作业网次提取和渔业部门管理方面^[13-16]。本文将基于 2021 年海州湾中国毛虾限额捕捞期间北斗 VMS 数据提取得到的各渔船所有网位点,运用 DBSCAN 算法进一步对含有捕捞产量的网位点进行提取,探究夏季海州湾中国毛虾资源分布格局,旨在为毛虾资源保护和可持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 毛虾捕捞活动及网具介绍

毛虾张网渔船捕捞作业时主要包含抛锚布网、等待渔获以及起网收渔获 3 种作业状态^[16]。捕捞渔船全长不小于 24 m、主机功率不小于 110 kW;捕捞网具为多锚混合张网,其规格为每片网长 60 m、网高 18 m,单船最多携带 25 片网具(图 1)。

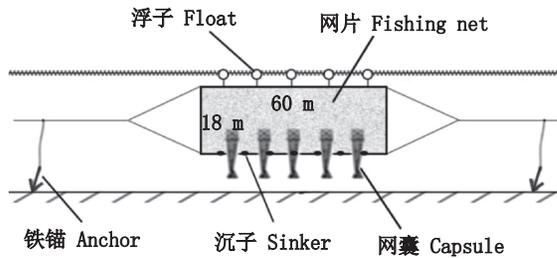


图 1 毛虾捕捞网具结构

Fig. 1 Schematic diagram of *Acetes chinensis* stow nets

1.2 数据来源及处理过程

北斗 VMS 数据来源于北斗民用分理服务商,主要包含渔船的定位时间、经纬度、航速及航向信息等^[17]。样本船捕捞日志是由观察员随渔船出海捕捞过程中记录完成,记录布网、起网时间和对应经纬度、水深以及捕捞产量等信息。本文 VMS 数据处理方法主要参考李国东等^[16]以及 LI 等^[18-19]的研究文章。

1.2.1 VMS 数据预处理

为了减少数据量并保持原始 VMS 数据特征,本研究对 32 艘毛虾张网渔船在限额捕捞期间的航速、航向及定位时间数据按时间顺序每 3 条数据进行平均值提取。同时剔除航速小于 0.1 m/s 的轨迹点数据,以确保渔船是处于抛锚布网、起网收渔获或快速航行状态,最终得到 28 956 条

VMS 轨迹点数据。

1.2.2 渔船状态提取

毛虾张网渔船处于不同作业阶段时,船位点的航速和状态持续时间存在明显差异,基于公式(1)运用数据库查询并设定相应状态阈值,对渔船捕捞阶段抛锚布网、起网收渔获状态的船位点进行提取。

$$P = F(v, t) (V_{\min} \leq v < V_{\max}, T_{\min} \leq t < T_{\max}) \quad (1)$$

式中: V_{\min} 和 V_{\max} 为渔船处于抛锚布网状态对应的最小速度和最大速度; T_{\min} 和 T_{\max} 为渔船处于该状态的持续时间最小阈值和最大阈值。结合渔船作业阶段划分、航速及持续时长情况^[16,19],航速阈值设置为 $2.3 \text{ m/s} \leq v < 3.9 \text{ m/s}$,时间阈值为 $30 \text{ min} \leq t < 60 \text{ min}$,提取抛锚布网状态点集;航速阈值设置为 $0.3 \text{ m/s} \leq v < 1.3 \text{ m/s}$,时间阈值为 $120 \text{ min} \leq t < 180 \text{ min}$,提取起网收渔获状态点集。

1.2.3 网次标记及网位提取

基于各船号信息以及一次完整毛虾捕捞作业时时长大于 3.5 h 的特征,对各渔船抛锚布网和起网收渔获点集进行网次标记。然后基于平均中心算法对各网次抛锚布网状态点集的经纬度进行计算,获得的中心坐标位置视为每艘渔船各网次的捕捞网位。此外,将每一网次起网收渔获点集的始末点连接成线,通过添加几何属性得到该网次布网的方位角和实际布网距离。为获得该网次的有效布网网长,要以布置所有网具所产生的布网距离及其对应的有效布网网长之间的相关关系进行转换^[16]。以上操作在 ArcGIS 10.8 中完成。

1.2.4 捕捞努力量计算

渔船各网次抛锚布网状态中处于中间发生的船位点作为捕捞起始点,并以该点的定位时间作为该网次的捕捞开始时间;以各网次起网收渔获状态中处于中间发生的船位点作为捕捞结束点,并以该点的定位时间作为该网次的捕捞结束时间。因此渔船各网次捕捞时长计算过程如公式(2):

$$T_k = E_k - B_k \quad (2)$$

式中: E_k 和 B_k 分别为渔船第 k 网次的捕捞结束时间和捕捞开始时间; T_k 为第 k 网次的捕捞时长, h。

捕捞努力量是探究渔业资源管理和评估领域重要参数之一,计算过程如公式(3)。由于捕

捞毛虾所用网具高度大于捕捞海域深度,所以在计算捕捞努力量时将 h 设为水深更合理^[19]。

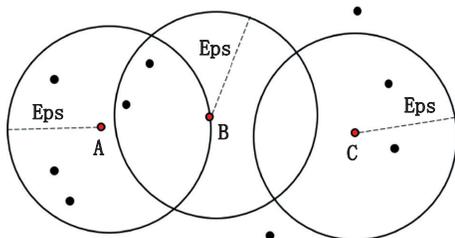
$$E = L \times h \times T \quad (3)$$

式中: E 为该渔获量所投入的捕捞努力量, $m^2 \cdot h$; L 为有效布网网长, m ; h 为水深, m ; T 为捕捞时长, h 。

1.3 含有产量的网位点识别

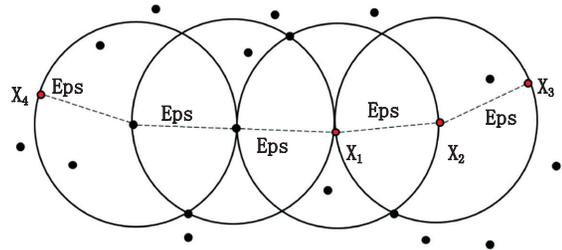
DBSCAN算法是一种基于样本密度划分类从而得到聚类结果的非监督分类方法^[13],聚类前先设置2个参数 Eps 邻域和邻域密度阈值 MinPts^[15]。其中,Eps 邻域表示样本集中与该点的距离不大于 Eps 的样本;MinPts 表示满足该条件的样本最小数量^[20]。假设 MinPts=5,由于点 A 其 Eps 邻域内含点的个数多于5(图2),可定义其为核心点,Eps 为虚线;由于点 B 和点 C 在其 Eps 邻域内含点的个数小于5,所以均不是核心点;点 B 落在点 A 的 Eps 邻域内,所以点 B 为边界点;由于点 C 不存在于核心点的邻域内,该点是噪声点。假设 MinPts=3, Eps 为虚线, X_1 为核心对象, X_2 由 X_1 密度直达, X_3 由 X_1 密度可达, X_3 与 X_4 密度相连,核心对象和邻域内及邻域边界上的点组成一个簇(图3);不满足 Eps 条件的点不属于任何簇,即为噪声点^[21]。

基于毛虾张网渔船捕捞行为特征,本文运用 DBSCAN 算法对含有毛虾产量的网位点进行提取,核心点和边界点为含有毛虾捕捞产量的网位点,而噪声点则表示该网位基本无毛虾产量。渔船一般每日进行3次毛虾捕捞活动,布网距离约为4 000 m^[18],结合海上渔船之间合作捕捞情况,设定 MinPts=33、Eps=4 000 m 和时间阈值 $T=24$ h 进行提取,并采用样本船捕捞日志对密度聚类提取的结果进行验证。



A 为核心点;B 为边界点;C 为噪声点;Eps 为邻域;黑点为参与聚类的样本点。
A is a core point; B is a border point; C is a noise point; Eps is the neighborhood of a given radius; The black points are the samples for clustering.

图2 DBSCAN 聚类算法核心点、边界点及噪声点示意图
Fig. 2 DBSCAN clustering algorithm core point, boundary point and noise point diagram



X_1 为核心对象; X_2 为 X_1 的密度直达点; X_3 为 X_1 的密度可达点; X_4 为 X_3 的密度相连点; Eps 为邻域; 黑点为参与聚类的样本点。
 X_1 is a core object; X_2 is directly density-reachable from X_1 ; X_3 is density reachable from X_1 ; X_4 is density-connected to X_3 ; Eps means the neighborhood of a given radius; The black points are the samples for clustering.

图3 DBSCAN 聚类算法密度直达、密度可达及密度相连示意图

Fig. 3 DBSCAN clustering algorithm density direct, density reachable and density connected diagram

2 结果

2.1 密度聚类验证情况

根据毛虾捕捞样本船不同网次捕捞网位点的产量数据进行验证,样本船的捕捞网位点总数为85个,其中,含有产量的捕捞网位点数为71个,无产量的捕捞网位点数为14个,利用 DBSCAN 算法对产量情况进行识别。其中,有产量的网位点识别率为97.18%,无产量的网位点识别率为54.14%,总识别率为90.59%(表1),表明 DBSCAN 算法能精准识别含有产量的捕捞网位。

2.2 抛锚布网及起网收渔获状态提取

依据毛虾捕捞渔船处于抛锚布网和起网收渔获状态下船位点的航速和持续时间的特征提取相应状态,可见处于毛虾捕捞作业状态的船位点呈现直线分布形态(图4)。由于抛锚布网状态下渔船航速比起网收渔获状态航速明显较高,使得在同一定位频率背景下相同网次的抛锚布网点集分布明显稀疏于起网收渔获点集。

2.3 捕捞网位聚类分析

本文采用以上经过验证的密度聚类及参数设置对2021年所有毛虾张网渔船的1 060个捕捞网位点进行聚类。结果显示:捕捞网位共聚为8类,噪声点即实际不存在毛虾捕捞产量网位点共162个,分布较为分散(图5);而实际存在毛虾产量的网位点共有898个,且分布呈聚集特性,且集中分布在 $120^{\circ}00'E \sim 120^{\circ}17'E$ 和 $34^{\circ}40'N \sim 34^{\circ}48'N$, $119^{\circ}46'E \sim 119^{\circ}56'E$ 和 $34^{\circ}34'N \sim 34^{\circ}44'N$,

119°57'E~120°10'E 和 34°26'N~34°33'N 这 3 个海域。

2.4 毛虾资源空间分布

2021 年海州湾限额捕捞期间毛虾张网渔船捕捞努力量呈现明显聚集分布(图 6)。捕捞努力量较高的区域即为毛虾资源主要分布区,在 120°00'E~120°15'E, 34°43'N~34°48'N 和 119°47'E~119°53'E, 34°36'N~34°43'N, 单个捕捞网位的捕捞努力量达到 60 000~100 000 m²·h。

3 讨论

2017 年,农业部以试点的形式将 2000 年列入《渔业法》的限额捕捞制度付诸实施,这是生态文明建设的实质性体现,成为我国海洋渔业发展史上的一个阶段性转折。总允许捕捞渔获量是限额捕捞制度执行的关键,其制定的主要依据是现有的资源量和渔业生产监控情况^[16]。因此,获取准确的毛虾资源分布情况是实施限额捕捞制

度的关键。在研究渔业资源空间分布时,多采用固定站位调查船,对捕捞产量进行记录及标准化,从而得到资源分布情况^[22-23]。毛虾作为短生命周期浮游虾类^[1],采用固定站位调查船研究其资源分布存在明显局限性,即毛虾资源丰度时空变化受海流影响较大,固定调查站位难以科学获取其资源动态情况。捕捞渔船不断追逐毛虾群体及其渔场,使得 VMS 数据在探究毛虾资源空间分布时具有巨大优势,然而现阶段我国的渔捞日志、捕捞努力量和渔获量的数据均采用人工记录的方式,使得监测数据的及时性、真实性、有效性无法保障,VMS 数据可弥补这些问题^[16,24],成为限额捕捞制度实施的重要支撑。北斗船位数据作为 VMS 数据的一种,具有时空分辨率高、实时性强、监测覆盖范围广和全天候并自动化获取等优势^[5],使得提取毛虾捕捞网位、捕捞努力量的精度更高,探究海州湾中国毛虾资源分布特征更加真实准确,从而有效服务于渔业精细化管理。

表 1 基于 DBSCAN 算法的毛虾捕捞网位产量情况识别
Tab. 1 Production of *Acetes chinensis* fishing net position based on DBSCAN algorithm

捕捞日志产量情况 Production of fishing log	样本总数 Sample number	DBSCAN 算法识别产量情况 DBSCAN algorithm to identify the production situation		识别率 Recognition rate/%
		有产量 With production	无产量 No production	
有产量 With production	71	69	2	97.18
无产量 No production	14	6	8	57.14
总计 Total	85	-	-	90.59

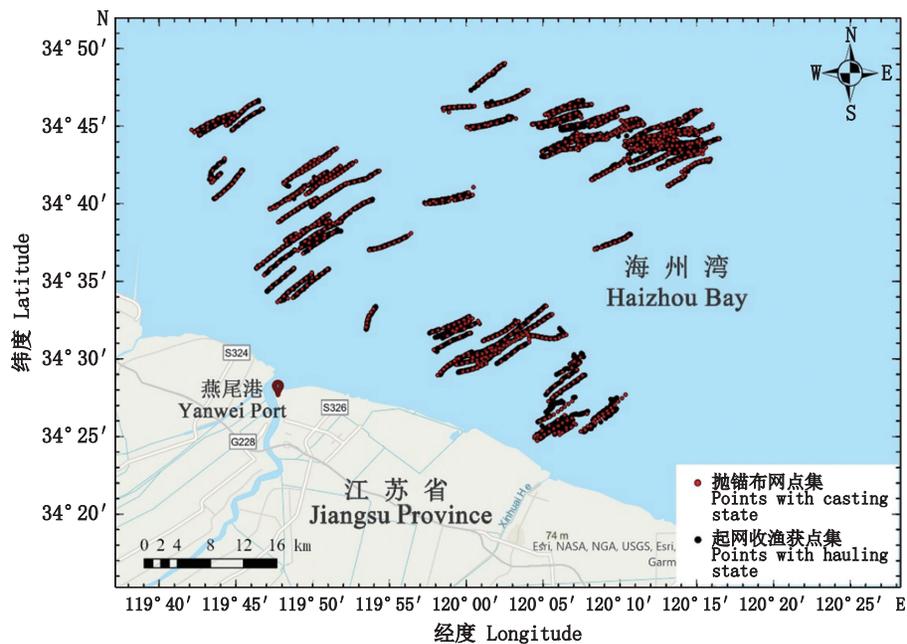


图 4 毛虾捕捞样本船抛锚布网及起网收渔获网位点分布情况
Fig. 4 Spatial distribution of points with casting and hauling states of sample vessels

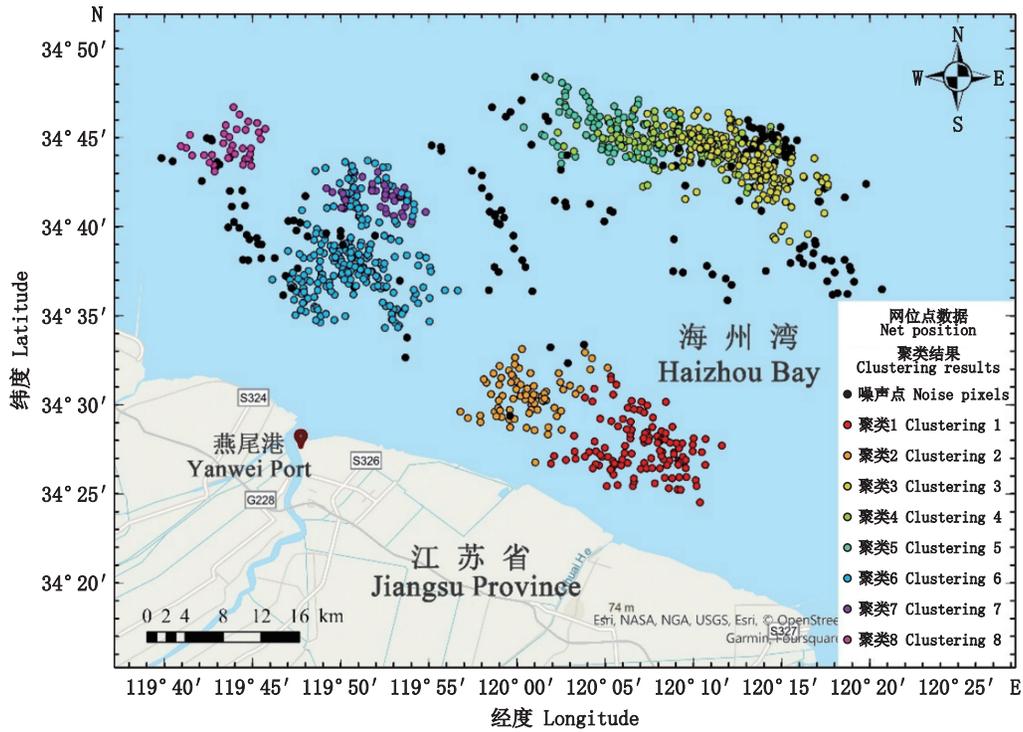


图5 毛虾捕捞网位聚类情况及噪声点分布
Fig. 5 Clustering and noise point distribution of fishing net position

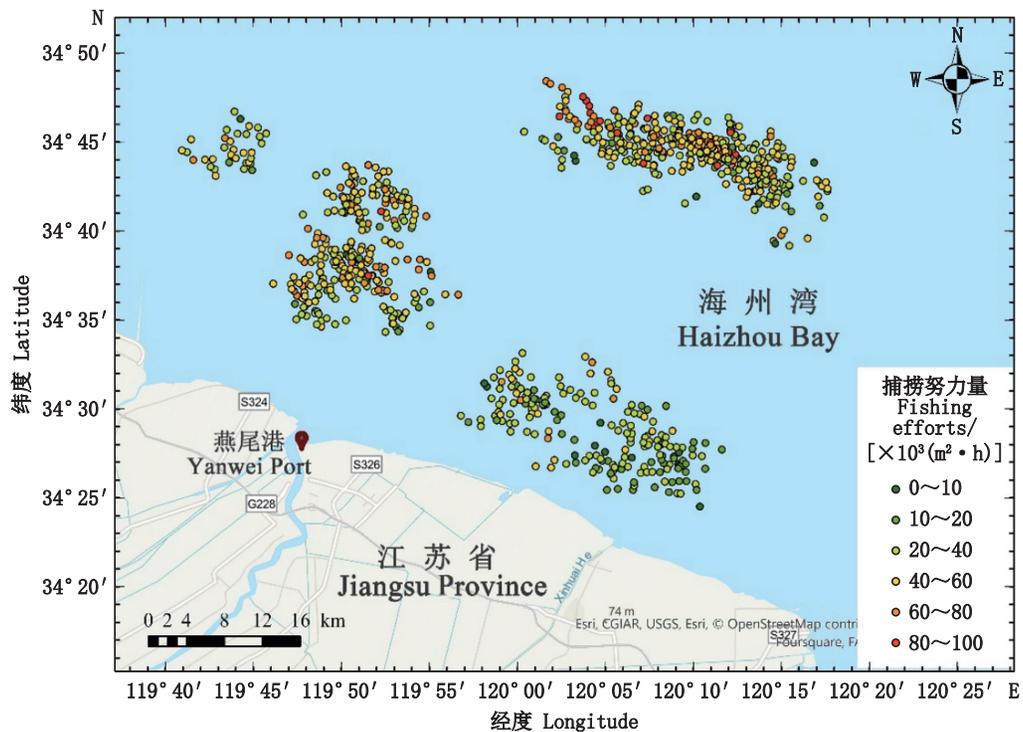


图6 毛虾资源捕捞努力量空间分布情况
Fig. 6 Spatial distribution of fishing effort for *Acetes chinensis* resources

由于基于VMS数据直接提取的捕捞网位难以确定是否含有产量,因此有必要进一步提取含有毛虾产量的捕捞网位,这对探究海州湾毛虾资源分布情况具有重要意义。基于密度的聚类算

法是数据挖掘技术中被广泛应用的一类方法,其中,具有代表性的密度聚类算法主要是用于识别聚类结构的排序点(Ordering points to identify the clustering structure, OPTICS)算法和DBSCAN算

法^[25]。OPTICS 算法是一种基于密度的非参数聚类算法,不直接产生聚类,无明确的终止条件。相比之下,DBSCAN 算法能够发现任意形状聚类簇,其适用于噪声环境,具有识别出噪声点并在聚类结果中剔除的优点^[26]。因此,DBSCAN 算法应用于渔船作业网次提取具有明显优势。裴凯洋等^[21]利用 2017 年浙江省所属帆张网渔船的 VMS 数据,基于 DBSCAN 算法对抛锚布网状态的船位点按 $\text{MinPts}=20$ 、 $E_{\text{ps}}=50$ m 进行聚类,剩余船位点作为布网状态和噪声点,按照 $\text{MinPts}=5$ 、 $E_{\text{ps}}=300$ m 进行二次密度聚类,可准确提取帆张网渔船不同网次的作业位置;原作辉等^[15]利用 2017 年两艘定置刺网渔船的 VMS 数据,基于 DBSCAN 算法将定置刺网周围的作业点按 $\text{MinPts}=3$ 、 $E_{\text{ps}}=360$ m 和时间阈值 $T=0.5$ h 的聚类参数进行聚类,得到聚类提取的各网次起网过程中起止时间准确率达 80% 以上,因此,采用 DBSCAN 算法对 VMS 数据进一步挖掘(如捕捞状态识别、网位和捕捞时间识别)的效果良好。本文基于 VMS 数据提取的毛虾捕捞网位点,通过设置 $\text{MinPts}=33$ 、 $E_{\text{ps}}=4\ 000$ m 和时间阈值 $T=24$ h 的聚类参数,运用 DBSCAN 算法识别出不同密度区域从而标记聚类结果,并以样本船不同网次的捕捞网位点所对应的产量数据作为验证。结果显示 DBSCAN 算法和聚类参数对含毛虾产量的捕捞网位识别率高达 97.18% (表 1),这是由于本研究中各渔民之间存在经济利益合作关系,渔船之间各网次毛虾渔获量信息反馈的及时性均极高,即毛虾渔场一般都会聚集较多渔船进行捕捞活动^[18]。可见,不同作业方式不同的聚类目标所设置的聚类参数不同,但均需要充分挖掘相应作业方式下渔民捕捞行为特征。本文思路可作为运用 VMS 数据提取其他渔业捕捞活动中含产量捕捞网位点的参考方法。

由于渔船捕捞产量高的水域一般会聚集较多的渔船进行协同捕捞,所以各渔船捕捞努力量聚集分布模式在一定程度上代表毛虾资源空间分布情况。研究结果显示海州湾毛虾限额捕捞期间各渔船捕捞努力量呈明显聚集分布。影响毛虾资源分布的原因较多,如生物学特性、海洋环境条件等^[27-30]。毛虾适宜于生活在沿岸或河口沙质浅水中^[1],其游泳能力弱,进行短距离的产卵和越冬洄游。春季,随着沿岸海区水温回升,毛虾进入沿海浅水区索饵、育肥,5—8 月性腺发育

成熟,在沿岸低盐度水域产卵繁育^[31],亲虾繁殖后自然死亡,新生幼虾分布在沿岸饵料丰富的海域索饵成长^[1,31]。基于此背景,我国在伏季休渔期间执行毛虾限额捕捞项目以科学保护与利用其资源。本研究基于 VMS 数据和 DBSCAN 算法,成功提取含有毛虾产量的捕捞网位,进而通过捕捞努力量分析夏季海州湾毛虾资源分布情况。结果显示毛虾资源捕捞努力量集中分布在 $120^{\circ}00'E\sim 120^{\circ}15'E$, $34^{\circ}43'N\sim 34^{\circ}48'N$ 和 $119^{\circ}47'E\sim 119^{\circ}53'E$, $34^{\circ}36'N\sim 34^{\circ}43'N$ 海域(图 6)。与 WANG 等^[32]基于水动力模型方法得到的毛虾资源分布结果一致,这进一步证实了基于北斗 VMS 和 DBSCAN 算法探究海州湾中国毛虾资源分布的科学性。后续研究可通过采集捕捞网位点的海洋环境数据,拟合毛虾资源丰度与各环境因子的关系,从而构建毛虾栖息地模型,为毛虾限额捕捞的精细化管理提供科学依据。

参考文献:

- [1] 陈立婧,杨帆,仲霞铭,等. 中国毛虾生活史研究进展[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(5): 1032-1040.
CHEN L J, YANG F, ZHONG X M, et al. Review of the life history of *Acetes chinensis* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(5): 1032-1040.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会. 1949—2020 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 1949—2020.
Fisheries Bureau of Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 1949-2020 China fishery statistical yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1949-2020.
- [3] 季民,靳奉祥,李云岭,等. 远洋渔船动态监控系统研究[J]. 测绘科学, 2005, 30(5): 92-94.
JI M, JIN F X, LI Y L, et al. The study of dynamic monitor system of deep sea fishing vessels [J]. Science of Surveying and Mapping, 2005, 30(5): 92-94.
- [4] HINZ H, PRIETO V, KAISER M J. Trawl disturbance on benthic communities: Chronic effects and experimental predictions [J]. Ecological Applications, 2009, 19(3): 761-773.
- [5] 张胜茂,唐峰华,靳少非,等. 基于北斗卫星数据的拖网渔船状态与网次提取[J]. 渔业信息与战略, 2015, 30(3): 205-211.
ZHANG S M, TANG F H, JIN S F, et al. Trawler state and net times extraction based on data from Beidou vessel monitoring system [J]. Fishery Information & Strategy,

- 2015, 30(3): 205-211.
- [6] ZHAO Z N, HONG F, HUANG H G, et al. Short-term prediction of fishing effort distributions by discovering fishing chronology among trawlers based on VMS dataset [J]. *Expert Systems with Applications*, 2021, 184: 115512.
- [7] ROYER F, FROMENTIN J M, GASPAR P. A state-space model to derive bluefin tuna movement and habitat from archival tags[J]. *Oikos*, 2005, 109(3): 473-484.
- [8] PATTERSON T A, THOMAS L, WILCOX C, et al. State-space models of individual animal movement [J] *Trends in Ecology & Evolution*, 2008, 23(2): 87-94.
- [9] BEZ N, WALKER E, GAERTNER D, et al. Fishing activity of tuna purse seiners estimated from vessel monitoring system (VMS) data [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2011, 68(11): 1998-2010.
- [10] JENNINGS S, LEE J. Defining fishing grounds with vessel monitoring system data [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2012, 69(1): 51-63.
- [11] DUCHARME-BARTH N D, AHRENS R N M. Classification and analysis of VMS data in vertical line fisheries: incorporating uncertainty into spatial distributions [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2017, 74(11): 1749-1764.
- [12] ESTER M, KRIEDEL H P, SANDER J, et al. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise [C]//*Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. Portland, Oregon: AAAI Press, 1996: 226-231.
- [13] 伍育红. 聚类算法综述 [J]. *计算机科学*, 2015, 42(s1): 491-499, 524.
WU Y H. General overview on clustering algorithms [J]. *Computer Science*, 2015, 42(s1): 491-499, 524.
- [14] SU Y Y, CHANG S J. Spatial cluster detection for the fishing vessel monitoring systems [C]//*Proceedings of OCEANS 2008-MTS/IEEE Kobe Techno-Ocean*. Kobe, Japan: IEEE, 2008: 879-882.
- [15] 原作辉, 张胜茂, 樊伟. 基于DBSCAN的VMS数据定置刺网渔船网次提取方法 [J]. *上海海洋大学学报*, 2020, 29(1): 121-127.
YUAN Z H, ZHANG S M, FAN W. Method of set gillnet hauls extraction based on DBSCAN and VMS data [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2020, 29(1): 121-127.
- [16] 李国东, 仲霞铭, 熊瑛, 等. 基于北斗船位数据的渔业信息解译与应用研究——以中国毛虾限额捕捞管理为例 [J]. *海洋与湖沼*, 2021, 52(3): 746-753.
LI G D, ZHONG X M, XIONG Y, et al. Interpretation and application of fishery information based on Beidou position data: a case study of TACs pilot project of *Acetes chinensis* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2021, 52(3): 746-753.
- [17] 张胜茂, 程田飞, 王晓璇, 等. 基于北斗卫星船位数据提取拖网航次方法研究 [J]. *上海海洋大学学报*, 2016, 25(1): 135-141.
ZHANG S M, CHENG T F, WANG X X, et al. Research on the method of voyage extraction based on Beidou vessel monitoring system data [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2016, 25(1): 135-141.
- [18] LI G D, XIONG Y, ZHONG X M, et al. Characterizing fishing behaviors and intensity of vessels based on BeiDou VMS data: a case study of TACs project for *Acetes chinensis* in the Yellow Sea [J]. *Sustainability*, 2022, 14(13): 7588.
- [19] LI G D, LI D J, XIONG Y, et al. Changes in the resource distribution of *Acetes chinensis* and patterns of species replacement in Haizhou Bay in summer based on BeiDou VMS data [J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2022, 56: 102655.
- [20] 罗丹, 毛先成, 邓浩. 一种基于密度峰值的半监督聚类算法 [J]. *地理与地理信息科学*, 2017, 33(2): 69-74.
LUO D, MAO X C, DENG H. A semi-supervised density peak clustering algorithm [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2017, 33(2): 69-74.
- [21] 裴凯洋, 张胜茂, 樊伟, 等. 浙江省帆张网捕捞强度分布的提取方法 [J]. *水产学报*, 2020, 44(11): 1913-1925.
PEI K Y, ZHANG S M, FAN W, et al. Extraction method of stow net fishing intensity distribution in Zhejiang Province [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(11): 1913-1925.
- [22] HALLETT C S, DALEY R K. Feeding ecology of the southern lanternshark (*Etmopterus baxteri*) and the brown lanternshark (*E. unicolor*) off southeastern Australia [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2011, 68(1): 157-165.
- [23] IVEŠA N, PIRIA M, GELLI M, et al. Feeding habits of predatory thermophilic fish species and species with subtropical affinity from recently extended distributional range in northeast Adriatic Sea, Croatia [J]. *Diversity*, 2021, 13(8): 357.
- [24] 唐议, 赵丽华. 我国海洋渔业捕捞限额制度实施试点评析与完善建议 [J]. *水产学报*, 2021, 45(4): 613-620.
TANG Y, ZHAO L H. Review of the pilot of marine fisheries TACs in China and suggestions for the further development [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(4): 613-620.
- [25] 谢斌, 陈莉明. 密度聚类方法在船舶航迹图谱挖掘中的应用研究 [J]. *舰船科学技术*, 2016, 38(14): 100-102.
XIE B, CHEN L M. Research on the density clustering method in ship track pattern mining [J]. *Ship Science and Technology*, 2016, 38(14): 100-102.
- [26] HE Y B, TAN H Y, LUO W M, et al. MR-DBSCAN: an efficient parallel density-based clustering algorithm using

- mapreduce[C]//Proceedings of the IEEE 17th International Conference on Parallel and Distributed Systems. Tainan, China:IEEE, 2011: 473-480.
- [27] 冯志青,孙介华,杨贵本,等. 渤海西部海区毛虾资源现状及合理利用的探讨[J]. 海洋湖沼通报, 1982(4): 62-68.
- FENG Z Q, SUN J H, YANG G B, et al. A discussion of *Acetes chinensis* resources in the western areas of Bohai Sea and their rational use[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1982(4): 62-68.
- [28] 江仁,郭宝天. 福建沿海毛虾产量变动与气象因子的关系[J]. 海洋通报, 1983, 2(1): 69-74.
- JIANG R, GUO B T. Meteorological factors affecting shrimp yield along the coast of Fujian Province[J]. Marine Science Bulletin, 1983, 2(1): 69-74.
- [29] OH C W, JEONG I J. Reproduction and population dynamics of *Acetes chinensis* (Decapoda: Sergestidae) on the western coast of Korea, Yellow Sea [J]. Journal of Crustacean Biology, 2003, 23(4): 827-835.
- [30] 曾现英,吴宁. 渤海湾、莱州湾毛虾季节分布与环境因子的关系[J]. 河北渔业, 2016(9): 15-16, 28.
- ZENG X Y, WU N. The relationship between seasonal distribution of *Acetes chinensis* and environmental factors in Bohai Bay and Laizhou Bay [J]. Hebei Fisheries, 2016 (9): 15-16, 28.
- [31] 宋海棠,俞存根,薛利建. 东海经济虾蟹类渔业生物学[M]. 北京:海洋出版社, 2012: 133-137.
- SONG H T, YU C G, XUE L J. Fishery biology of economical crab and shrimp in the East China Sea [M]. Beijing: China Ocean Press, 2012: 133-137.
- [32] WANG K X, ZHANG X Q, LOU Q, et al. Lagrangian coherent structure analysis on the transport of *Acetes chinensis* along the coast of Lianyungang, China [J]. Journal of Oceanology and Limnology.

Resource distribution of *Acetes chinensis* in Haizhou Bay in summer based on BeiDou VMS data and DBSCAN algorithm

LI Dongjia^{1,2}, LI Guodong^{1,2}, XIONG Ying², ZHONG Xiaming², ZHANG Hushun¹, SONG Dade³, YANG Fan⁴, KANG Zhongjie^{1,2}, WU Xiaorui^{1,2}, WANG Shuyan^{1,2}, LIANG Long^{1,2}

(1. College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Jiangsu Marine Fisheries Research Institute, Nantong 226007, Jiangsu, China; 3. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 4. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In 2020, China's first fisheries total allowable catch system (TACs) pilot project of *Acetes chinensis* during the summer moratorium of marine fishing was successfully launched in Haizhou Bay of the Yellow Sea. The project continued to be extended to the Bohai Sea in 2021. Therefore, it is crucial to explore the resource distribution of *A. chinensis* in Haizhou Bay in summer for the refined management of TACs project. In this study, the position and fishing effort of each netting based on the BeiDou vessel monitoring system (VMS) data during the TACs project of *A. chinensis* in Haizhou Bay in 2021 were firstly extracted. Then we used the Density-Based Spatial Clustering of Application with Noise (DBSCAN) algorithm to further identify the netting positions with production to investigate the resource distribution pattern of *A. chinensis*. The results showed that the DBSCAN algorithm could accurately identify the netting positions with production and its recognition rate was 97.18%. There were 898 netting positions with production during the TACs project, presenting an aggregated spatial distribution pattern. Moreover, it was found that the resource distribution of *A. chinensis* were mainly distributed in 120°00'E-120°15'E, 34°43'N-34°48'N and 119°47'E-119°53'E, 34°36'N-34°43'N based on the fishing effort of all the vessels. This study can be used as a scientific reference for using BeiDou VMS data to extract the netting positions with production in other fishing activities.

Key words: *Acetes chinensis*; vessel monitoring system; density clustering; total allowable catch system; Haizhou Bay