中国近海鱼类栖息地遥感研究进展

曹淑慧[1,2],肖飞[1*],班璇[1],罗佳欢[1,2],冯奇[1],周亚东[1]

(1. 环境与灾害监测评估湖北省重点实验室,中国科学院精密测量科学与技术创新研究院,湖北　武汉　430071;2. 中国科学院大学,北京　100049)

摘　要:总结了我国近海鱼类栖息地遥感监测的研究热点和发展趋势,归纳了近海鱼类栖息地的主要影响因子及其功能与遥感监测数据来源。概述了我国近海环境因子遥感监测方法,介绍了海表温度(SST)、海表盐度(SSS)、叶绿素 a(Chl-a)等典型环境因子,以及多参数综合的遥感监测应用实例。分析了未来近海鱼类栖息地遥感监测亟待解决的关键问题及发展方向,主要包括提升卫星遥感数据的质量与精度,实现多源数据的有效融合;突破现有反演方法的局限,推进多算法的协同耦合应用;应对海洋污染与水质恶化等对遥感监测的挑战;加强跨学科交叉融合,推动近海环境因子数据的开放共享。

关键词:鱼类栖息地;遥感监测;环境因子;多参数应用;多源数据融合;中国近海

中图分类号:X87;S951.4　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1006-2009(2025)06-0018-07

Research Progress on Remote Sensing for China's Inshore Fish Habitats

CAO Shuhui[1,2], XIAO Fei[1*], BAN Xuan[1], LUO Jiahuan[1,2], FENG Qi[1], ZHOU Yadong[1]

(1. *Hubei Key Laboratory for Environment and Disaster Monitoring and Evaluation*, *Innovation Academy for Precision Measurement Science and Technology*, *CAS*, *Wuhan*, *Hubei* 430071, *China*; 2. *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *China*)

Abstract: This study summarized the research hotspots and development trends of remote sensing monitoring for China's inshore fish habitats, concluded the main influencing factors and their functions to inshore fish habitats, and the sources of remote sensing monitoring data. It outlined the remote sensing methods for monitoring inshore environmental factors in China, described typical environmental factors such as sea surface temperature (SST), sea surface salinity (SSS), chlorophyll-a (Chl-a), as well as practical applications of comprehensive multi-parameter remote sensing monitoring. It analyzed pressing issues and future development directions in remote sensing monitoring of inshore fish habitats, mainly including improving the quality and accuracy of satellite remote sensing data, achieving effective fusion of multi-source data, breaking through the limitations of existing inversion methods, promoting the collaborative coupling application of multiple algorithms, strengthening interdisciplinary integration and promoting the open sharing of inshore environmental factor data to address the challenges of remote sensing monitoring posed by marine pollution and water quality degradation.

Key words: Fish habitats; Remote sensing monitoring; Environmental factors; Multi-parameter application; Multi-source data fusion; China's inshore

海洋生态系统是世界上最具有生产力的生态系统之一[1],近海生物栖息地作为海洋生态系统的重要组成部分,是海洋生物生存的空间及各种环境条件的总和。在鱼类栖息地研究中,近海通常指大陆边缘海域[2-3]。我国近海海域跨越热带、亚热

收稿日期:2024-07-02;**修订日期**:2025-09-01

基金项目:国家自然科学基金资助项目(62071457);湖北省重点研发计划基金资助项目(2023BCB104);三峡工程鱼类资源保护湖北省重点实验室开放基金资助项目(2022055-ZHX)

作者简介:曹淑慧(1999—),女,河南驻马店人,在读博士研究生,研究方向为海洋水环境遥感。

* **通信作者**:肖飞,研究员 E-mail: xiaof@whigg.ac.cn

带和温带等自然带,大陆海岸线长达 1.8 万 km 以上,岛屿海岸线长达 1.4 万 km 以上,海岸类型多样,海湾、河口众多[4],为近海海洋生物提供了重要的索饵场、产卵场、育幼场和洄游通道等[5]。近年来,遥感监测技术被广泛应用于近海鱼类栖息地研究,通过遥感反演可以获取多种海洋环境与气象参数信息,相关的海洋水色卫星遥感产品为全球及区域海洋环境动态监测提供了重要的数据支撑[6]。遥感技术为海洋栖息地保护、生境质量评估、渔业资源,以及生态系统格局分析提供了强有力的技术支持[7]。近海水域受潮汐作用、季节变化、风暴事件、河口冲淡水及人类活动的影响,水生态和水环境复杂且变化明显。由于近海高浑浊水体反射率高,大气吸收性气溶胶作用明显,遥感大气校正常存在潜在误差,因而近海鱼类栖息地遥感仍面临诸多难点[8]。鉴于近年来海洋鱼类栖息地遥感的快速发展态势,今回顾与展望我国近海鱼类栖息地遥感应用的研究热点和发展趋势,归纳影响近海鱼类栖息地变化的主要因子及相应的遥感监测方法,以期为近海鱼类及其栖息地保护、鱼类生境科学研究等提供参考。

1　我国近海鱼类栖息地遥感研究热点分析

在生态学中,生态系统是由物理栖息地、物种和生物地球化学过程组成[9],而鱼类栖息地则是指呈现特定功能、由小环境条件组成的单元,可以满足鱼类在不同生活史阶段的特定需求[10]。近海海洋生态系统类型丰富,包括河口湿地、红树林、海草床和珊瑚礁等[11],不同的生态系统和生态类型对应形成了多样化的鱼类栖息地[12],进而形成了差异显著的鱼类种类组成、优势种群和群落结构。

基于不同类型的鱼类栖息地,在 Web of Science 核心数据库中对“中国海洋鱼类栖息地遥感”相关主题的文献进行检索,截至 2023 年 12 月 31 日共检索 2 348 篇文献,经学科筛选和数据清洗,共得到有效文献 212 篇。对上述文献的关键词进行梳理与统计,获得出现频次排名前十的关键词,从高到低依次为 variability(变异性)、abundance(丰度)、satellite(卫星)、fishery(渔业)、remote-sensing data(遥感数据)、classification(分类)、climate-change(气候变化)、sea-surface temperature(海表温度)、chlorophyll-a(叶绿素 a)和 management(管理)。在综合关键词分布特征的基础上,进一步分析文献主题,发现 1995—2023 年,我国近海鱼类栖息地遥感的相关研究重点主要集中在栖息地利用、鱼类保护和渔业管理、生物量变化与资源评估、生物多样性监测,以及气候因子与鱼类的时空分布变化等方面[10,13-16]。同时,对“国内外海洋生物栖息地遥感”主题进行文献检索,截至 2023 年 12 月 31 日共检索文献 5 058 篇,经学科筛选和数据清洗,共得到有效文献 466 篇。关键词统计结果显示,频次排名前十的关键词从高到低依次包括 variability(变异性)、climate-change(气候变化)、ocean color(海洋颜色)、chlorophyll-a(叶绿素 a)、diversity(多样性)、model(模型)、classification(分类)、biology(生物学)、patterns(模式)和 assessment(评估)。自 1995 年以来,国内外在海洋生物栖息地遥感研究方面主要涵盖生境建模、遥感监测栖息地变化、预测和适宜性评估、水产养殖地点选择及海洋生物栖息地绘制等诸多领域[17-20]。我国近海鱼类栖息地遥感研究属于国际海洋生物栖息地遥感领域的核心议题,近年来已逐渐与国际研究的重点和趋势保持一致。为进一步分析我国海洋栖息地遥感领域的发展态势,对文献检索结果进行数量统计和年际分析。结果显示,近年来海洋鱼类栖息地的遥感研究发文数量显著增加,在 212 篇有效文献中,2018—2023 年发表的文献数量共 144 篇,占比为 68%。其中,2022 年发表的相关文献数量最多,达到 44 篇,而 2023 年发表的文献数量相较于 2022 年则大幅度下降,主要与期刊发文总量的下降有关。上述结果表明,自 1980 年以来,我国在海洋鱼类栖息地遥感研究方面发展迅速,并取得了显著进展。

2　近海鱼类栖息地的主要影响因子

近海鱼类栖息地特征和适宜性与生物、地理及海洋环境因子的变化直接相关。Pickens 等[21]将鱼类栖息地环境因子分为生理因子、物理海洋因子、地理因子、生物因子和底质因子 5 类。在诸多生理因子中,温度对鱼类生长发育、代谢活动、繁殖产卵及洄游迁徙等行为具有调控和指示作用,许多鱼类可以感知低至 0.1 ℃ 的水温变化[22];海洋盐度不仅会影响鱼体的渗透压调节,还可以激活或抑制机体消化酶的活性,进而影响鱼类的食物吸收、呼吸代谢、免疫防御、肌肉质量和存活率等[23];营

养盐通过影响浮游植物的生物量及分布改变滤食性和草食性鱼类的分布格局[24]；光照过强会对鱼类产生压力，影响鱼类的生长和摄食[15]。物理海洋因子通过影响海面高度异常、叶绿素 a（Chl-a）、上升流和洋流等提高生产力，对鱼类分布产生间接影响[25-27]。地理因子侧重于与周围生态系统位置的接近程度。生物因子中的捕食者往往会通过下行效应影响被捕食者的数量丰度和分布。底质因子中底质和底形的变化会改变鱼类饵料资源的空间分布格局，最终导致鱼群的结构和栖息地分布发生变化。近海鱼类栖息地的主要影响因子与遥感数据来源见表 1。

表 1　近海鱼类栖息地的主要影响因子与遥感数据来源[6,21-27]

Table 1　The main influencing factors to inshore fish habitat and the sources of remote sensing data [6,21-27]

类型	栖息地影响因子	因子功能及代表性鱼类	遥感数据来源
生理因子	海洋温度	控制着鱼类的生理行为、新陈代谢、数量和分布，如黄鳍金枪鱼（*Thunnus albacares*）、半滑舌鳎（*Cynoglossus semilaevis*）、大头鳕（*Gadus macrocephalus*）等	AATSR、MODIS、AVHRR 等
	海洋盐度	通过影响鱼体渗透压、生理行为和生长发育，进而改变鱼类的数量、分布，如凤鲚（*Coilia mystus*）、日本鳀（*Engraulis japonicus*）、赤眼鳟（*Squaliobarbus curriculus*）等	SMAP、SMOS、MODIS、Aquarius 等
	光照强度	影响趋光性和避光性鱼类的生理行为、数量、分布，如大菱鲆鱼（*Scophthalmus maximus*）、东星斑（*Plectropomus leopardus*）、蓝圆鲹（*Decapterus maruadsi*）等	MERIS、Landsat、MODIS、OrbView-2、ENVISAT 等
物理海洋因子	Chl-a	通过影响饵料丰度，以及水体的各项理化因子，进而影响鱼类的数量、分布，如日本鲭（*Scomber japonicus*）、小黄鱼（*Larimichthys polyactis*）、带鱼（*Trichiurus lepturus*）等	MERIS、Landsat、MODIS、ENVISAT 等
	水深	通过影响光强、溶解氧、海水温度等间接影响鱼类的数量和分布，如中国团扇鳐（*Platyrhina sinensis*）、七星底灯鱼（*Benthosema pterotum*）等	Landsat、Sentinel-2、GF-6、WorldView-2 等
	透明度	通过影响浮游植物的光合作用、水体溶解氧浓度及鱼类视线等间接影响鱼类的数量和分布，如沙丁鱼（*Sardina pilchardus*）、日本竹荚鱼（*Trachurus japonicus*）等	MODIS、VIIRS 等
	悬浮颗粒物/有色溶解有机物	通过影响水体透明度间接影响鱼类的数量、分布，如海鳗（*Muraenesox cinereus*）、黄鳍棘鲷（*Acanthopagrus latus*）等	Sentinel-3、MODIS、MERIS、GOCI、ENVISAT 等
	潮汐和海浪	影响迁徙性鱼类、浅水鱼类，以及浮游性鱼类的数量和分布，如凤鲚（*Coilia mystus*）、刀鲚（*Coilia nasus*）等	ERS-1/-2/AMI、Sentinel-3、QuikSCAT 等
	海面高度和风速	通过影响海流、水温、盐度，进而对鱼类的生理活动和行为形成干扰，如秋刀鱼（*Cololabis saira*）、日本鲭（*Scomber japonicus*）等	Topex、Poseidon、Jason、HY-2A 等
	洋流和海洋锋面	通过影响温度、盐度、溶解氧、透明度和营养物质间接改变鱼类的数量、分布，如中国花鲈（*Lateolabrax maculatus*）、沙丁鱼（*Sardina pilchardus*）等	Jason-2、HY-2、Metop、QuikSCAT 等
底质因子	底质/底形/沉积物	通过影响底栖生物，进而影响鱼类的数量和分布，如沙底和泥底鱼类角木叶鲽（*Pleuronichthys cornutus*）、短吻红舌鳎（*Cynoglossus joyneri*）等	WorldView-2、WorldView-3 等

3　我国近海鱼类栖息地环境因子遥感监测应用

3.1　我国近海环境因子遥感监测方法概述

目前，虽然大多数卫星平台均提供了不同精度和时空分辨率的海洋环境遥感产品，但这些产品有时难以完全满足特定研究的需求，因而有学者基于水体中可见光和近红外等波段的离水辐射信息，借助多种水体-生物光学模型及统计模型等方法，反演得到水体中的多种成分及含量[28-29]。自 20 世纪 70 年代以来，海洋水环境遥感监测领域相继发展出经验模型法、半分析模型法、理论模型法，以及基于机器学习的多种反演方法[5,28-30]，不同模型之间往往存在交叉融合。例如，基于辐射传输方程的算法通常被归类为分析或半分析模型算法，在半分析算法中往往会引入经验关系；基于统计学方法的算法一般被归类为经验或半分析模型算法，其中半分析模型算法也涉及对光谱特征的分析；理论模型算法往往与机器学习思想结合，常用的方法有矩阵反演法、多元回归、神经网络等[29-30]。

3.2　我国近海鱼类栖息地环境因子遥感监测应用

在研究不同鱼类栖息地分布变化时，需要对鱼类资源量和生物习性（如洄游）进行特定评估，选择适用的数据源、环境变量及研究方法[22,31]。相关研究表明，不同功能群鱼类栖息地分布的环境因子往往存在差异，且同一物种在不同的季节和生理

阶段也可能受到不同环境因子的影响[31]。同时,不同空间尺度的研究需要考虑的关键环境因子也有差异[32]。为全面了解近 20 年鱼类分布和栖息地格局研究所涉及的环境因子,在 Web of Science 中以“Fish”“Distribution or Habitat or Community Pattern”“Marine or Sea or Estuaries or Continental Shelves or Islands or Ocean”,以及各环境因子作为检索词进行文献检索,以 15 为阈值,得到关键词 113 个,经数据清洗后,筛选得到共现次数在 30 以上的环境因子,包括温度、溶解氧、营养盐、Chl-a 和盐度,表明这些环境因子为重点研究指标。因为溶解氧和营养盐的数据获取主要依赖站点、实地调查及海洋浮标等方式,并非广泛使用机载或星载遥感手段,所以不做重点阐述。有关海洋温度和海洋盐度的研究主要集中在表层,最终选取海表温度(SST)、海表盐度(SSS)、Chl-a 作为指示因子分析我国近海鱼类栖息地环境遥感监测的应用及进展。

3.2.1　遥感监测 SST 在鱼类栖息地的应用

在我国近海鱼类栖息地研究中,表层温度遥感数据主要被用于分析栖息地与 SST 的关联性、开展鱼类栖息地资源评估,以及探究和预测鱼类栖息地的时空分布格局[33-36]。其中,SST 数据主要来自美国航空航天局(NASA)、美国国家海洋和大气管理局(NOAA)和欧洲航天局(ESA)等机构发布的标准遥感产品[34-36]。研究人员利用 NOAA Ocean Watch SST 产品对日本鲭适宜栖息地、我国东海鲐鱼渔场的时空分布变化与 SST 的关系开展了详细研究[35-36]。然而,基于多源卫星传感器的 SST 产品及反演算法在大洋范围应用较广,在近岸海陆交汇区和众多岛屿附近数据缺失严重,拟合平滑处理会导致部分区域温度变化细节丢失[37]。同时,当前使用的遥感产品空间分辨率通常集中在 4 km~10 km 范围内[38-39],可能不适用于研究数量稀少且游速较慢的大型鱼类的轨迹和分布。在现有遥感产品无法满足研究需求的情况下,基于遥感辐射数据并利用辐射传输、支持向量机,以及神经网络等方法进行反演,获取较高精度的 SST 数据已成为研究重点,目前已有的相关数据集包括 MURSST、OSTIA、CMCSST、MGDSST、NESDIS/NOAA Blended SST 等。

3.2.2　遥感监测 SSS 在鱼类栖息地的应用

在我国鱼类栖息地研究中,对 SSS 遥感数据的利用主要集中在海洋生态系统监测和资源管理、鱼类资源变动与盐度的相关性,以及 SSS 对鱼类栖息地分布的影响等方面[16]。与 SST 数据不同,SSS 遥感数据在空间和时间上的连续性较差,获取更为困难,海洋盐度资料相对匮乏[40]。虽然 SMAP、SMOS 和 Aquarius/SACD 等卫星能够直接探测 SSS,但这些微波盐度卫星的空间分辨率较低(25 km~100 km),卫星重访周期 > 3 d,仅适用于大范围的海面盐度估算,由于射频干扰在近海区域适用性受限[41]。基于经验公式方法或利用卫星辐射、反射率数据与实测盐度数据进行关联,可反演得到较高时空分辨率的 SSS 数据[42]。例如,Zhao 等[43]利用哥白尼海洋环境监测中心(CMEMS)提供的 SSS 数据集及其他遥感数据,综合分析发现春秋季的 SSS 是影响蓝圆鲹分布的重要环境因子。目前已积累的 SSS 产品数据集涵盖哥伦比亚大学环境数据库和 CMEMS、SODA、Bio-ORACLE 海洋数据集,以及欧空局 Glob Colour 计划的多源卫星融合数据等[31]。

3.2.3　遥感监测 Chl-a 在鱼类栖息地的应用

我国近海利用 Chl-a 遥感数据在鱼类栖息地的研究主要集中在鱼类资源量、产卵场、育肥场的季节变动,以及适宜栖息地格局分析与预测等方面[44-46]。Chl-a 遥感数据主要来自 NOAA Ocean Watch、NASA Ocean Color 及 ESA 等提供的卫星遥感产品。如 Zhang 等[47]利用 2002—2022 年卫星遥感 MODIS/Aqua 反演的 Chl-a 浓度产品构建了我国海域 Chl-a 浓度长时序数据集,结果发现休渔期间 Chl-a 浓度下降限制了鱼类食物来源,并讨论了其浓度变化对海洋渔业造成的不利影响;Cai 等[14]利用 GF-6/PMS 的 Chl-a 浓度数据,揭示了舟山群岛海域中鱼卵、幼鱼数量的变化与 Chl-a 的空间分布、季节变化具有一致性,Chl-a 是鱼类产卵场的重要指标。此外,通过生物-光学方法、辐射传输模型、机器学习等方法对多光谱遥感数据进行反演,也可获得高精度叶绿素浓度数据[27,48-49]。在诸多反演方法中,基于多源遥感数据融合的机器学习方法反演精度较高,Chl-a 浓度反演结果与实测数据相关性达 0.93~0.99,为近海较大尺度范围的鱼类栖息地研究提供了数据支撑[49]。目前已有相关数据集包括 CMEMS、Bio-ORACLE、Global_Chla 等[46,49]。

3.2.4　多参数综合监测应用

实际上,在鱼类栖息地环境研究中,水温、水

深、盐度、底质类型、水质状况、饵料资源及水体流动状况等关键因子通常处于动态变化之中,且因子之间存在相互作用关系,还会受到栖息地周围海水环境的影响(如黄河泥沙入海等)[44-46]。因此,在大多数鱼类栖息地研究中,学者通常会将多种环境因子及时间要素纳入研究体系进行综合分析,以确定影响鱼类生存的关键环境因子、空间分布格局与预测的信息[26,50]。如 Wang 等[38]基于 SST、Chl-a、SSS 与渔业调查数据,揭示了珠江口幼鱼的分布与季风、流场等变化具有较高的一致性;Yin 等[15]基于 SST、Chl-a、SSS 数据和声学调查数据分析了阳江近海鱼类分布与环境的关系,结果表明鱼类密度的水平分布具有近岸高、远岸低的特点,而其垂直分布则因水深而异,鱼类在浅水区主要分布于表层至中层,在深水区主要分布于中层至底层;Chen 等[51]利用 SST、SSS、海面高度异常及渔获量数据,分析发现鲭鱼偏向于生活在 SST 为 28.0 ℃ ~ 29.4 ℃、SSS 为 33.6‰~34.2‰、Chl-a 质量浓度为 0.15 mg/m^3 ~ 0.50 mg/m^3 和海面高度为 -0.1 m ~ 1.1 m 的区域。此外,借助高时空分辨率影像数据,还可识别和监测捕捞特定物种的渔船,建立多物种渔船数据库,揭示鱼种、渔船活动和海洋环境之间的联系,进而预测渔场的变化,为渔业资源的评估和保护提供支持[39]。综上,多源遥感数据融合和多参数综合的遥感应用不仅可以更精准地定位鱼群,还可以有效监测和应对鱼类资源的自然波动和空间分布变化,对海洋生物栖息地和资源分布研究具有重要意义。

4　结语与展望

(1)提升卫星遥感数据的质量与精度,实现多源数据的有效融合。当前,虽然中低分辨率卫星遥感数据和实测数据在大尺度近海环境因子研究中具有优势,但在小尺度海域(如岛屿、海湾),其在刻画精细尺度海洋过程和揭示鱼类栖息地特征方面存在局限性[52]。一方面高时空分辨率数据获取成本较高,且利用卫星遥感数据反演近海水质参数仍存在一定误差[7];另一方面,卫星遥感、实测和渔获量数据等往往存在较大的时空尺度差异,如何融合不同来源、分辨率的数据存在较大困难[53]。因此,发展不同来源和特点的遥感数据融合方法及相互校验,是近海生境参数信息获取的重要发展方向。值得注意的是,尽管当前卫星遥感技术在表层环境要素的大范围连续监测方面具有显著优势,但是对于底层鱼类而言,其重要的生境适宜性要素分析可能转变为底层温度、底层盐度、底质类型等底层要素信息的研究,这些信息的获取主要依赖于海洋激光遥感、雷达、声学探测手段,或需要构建垂直剖面反演模型[54]。然而,现有手段在探测技术、分辨率及测量效率方面均存在局限性,不足以支撑大范围、连续性的观测研究,如何有效利用遥感技术获取底层环境要素也是亟待解决的问题之一。

(2)突破现有反演方法的局限,推进多算法的协同耦合应用。相关研究表明,基于遥感数据提取海洋和沿海水域光学活性参数的算法具有较强的特异性,不同算法在同一水域的反演结果往往存在一定差异[42,54]。为进一步提高算法性能和预测精度,可针对不同生境因子的特异性算法进行耦合,开发具有自适应、高效的反演算法。其中,生境因子的遥感多算法耦合包含两个方面,一是开发适用于近海的大气校正方案及预处理方法[55],该方法可提高浑浊的沿海区域和具有强吸收气溶胶区域的数据精度;二是开发适用于近海不同区域内复杂水体的反演算法。近海水体类型多样,包括纯水体、植被和泥沙等[56],反演方法强调对局部特征的关注,需要综合考虑岸线附近的底形、潮汐及河口效应等因素。此外,多源数据重构及融合往往比直接插值得到的数据更加精确[57],针对海量多源异构数据,融合多种遥感反演方法,发展数据智能分析和图谱关联等技术是亟须深化拓展和推广应用的方向。

(3)应对海洋污染物与水质恶化等对遥感监测的挑战。近年来,随着人类活动的加剧,海洋水体受污染程度增加,海洋生态系统受到破坏,局部河口、湾流和沿岸地区低氧现象不断加剧(溶解氧质量浓度 < 2 mg/L)[58]。海洋污染物会导致海洋水质变差、水色浑浊,进而对水体反射光谱产生明显干扰[59],部分新型污染物如微塑料的剧增还会对鱼类生理行为和空间分布产生较大影响,且不同类型微塑料在不同水体环境中的迁移时间均不相同,微塑料的遥感监测仍是难题[60]。此外,随着近岸区域的开发力度不断加强,海洋工程规模也在不断扩大[61],跨海桥梁、水下工程、海上基站、船舶、海港及岛礁等近岸工程设施可能会影响遥感对水色物质的监测和识别。

(4)加强跨学科交叉融合,推动近海环境因子

数据的开放共享。鱼类栖息地是生态系统的重要组成部分,研究生态系统修复成效显著区域内鱼类生物量与其偏好生境的关系,不仅能评估修复措施的效果,还能揭示鱼类栖息地的关键需求信息。海洋生态系统和鱼类栖息地系统监测往往需要依赖遥感数据和实测数据的结合,当前近海水域实测数据的获取受到多方面的限制。地面监测数据尚未完全覆盖我国近海全域,即使有效监测数据存在,合法获取也面临多种困难。因此,关于我国近海环境因子的数据共享问题亟待解决。

[参考文献]

[1] 张蓬,石㐨,丁丽,等. 海洋生态系统服务的内涵和损失评估的进展及争议[J]. 海洋科学,2022,46(1):172-180.

[2] 付元宾,王伟伟,张建民. 海洋管理中的海洋区域划分方案探讨[J]. 海洋开发与管理,2013,30(8):20-23.

[3] 冯士筰,李凤岐,李少菁. 海洋科学导论[M]. 北京:高等教育出版社,1999:181-183.

[4] 国务院. 国务院批准《全国海洋功能区划(2011—2020年)》[EB/OL]. (2012-03-03)[2024-06-28]. https://f.mnr.gov.cn/201806/t20180621_1830454.html.

[5] GRÜSS A,PIRTLE J L,THORSON J T,et al. Modeling near-shore fish habitats using Alaska as a regional case study[J]. Fisheries Research,2021,238:105905.

[6] 潘琦,刘丽东,马静武,等. 卫星遥感监测人类活动所致海洋环境污染研究进展[J]. 海洋通报,2022,41(6):722-736.

[7] 李继龙,杨文波,李小恕,等. 近海栖息地卫星遥感监测与生境变化对生态影响的研究进展[J]. 中国水产科学,2015,22(2):171-184.

[8] MOORE L J,RUGGIERO P,LIST J H. Comparing mean high water and high water line shorelines:Should proxy-datum offsets be incorporated into shoreline change analysis[J]. Journal of Coastal Research,2006,22(4):894-905.

[9] COSTELLO M J. Distinguishing marine habitat classification concepts for ecological data management[J]. Marine Ecology Progress Series,2009,397:253-268.

[10] 洪玉珍,孟顺龙,陈家长. 鱼类栖息地保护技术研究进展[J]. 农学学报,2023,13(3):82-87.

[11] 杜建国,叶观琼,周秋麟,等. 近海海洋生态连通性研究进展[J]. 生态学报,2015,35(21):6923-6933.

[12] 国家质量技术监督局. 海洋自然保护区类型与级别划分原则:GB/T 17504—1998[S]. 北京:中国标准出版社,1998.

[13] YU J,MAO J,WANG D. Remote sensing assessment of marine primary productivity and fishery resources in the Daya Bay, China[J]. Pakistan Journal of Zoology,2021,53(4):1481-1489.

[14] CAI L N,TANG R,YAN X J,et al. The spatial-temporal consistency of chlorophyll-a and fishery resources in the water of the Zhoushan archipelago revealed by high resolution remote sensing[J]. Frontiers in Marine Science,2022,9:1022375.

[15] YIN X Q,YANG D T,ZHAO L H,et al. Fishery resource evaluation with hydroacoustic and remote sensing in Yangjiang coastal waters in summer[J]. Remote Sensing,2023,15(3):543.

[16] LI G, CHEN X J, LEI L, et al. Distribution of hotspots of chub mackerel based on remote-sensing data in coastal waters of China[J]. International Journal of Remote Sensing,2014,35(11/12):4399-4421.

[17] SIHOMBING R I,RAY A,MONDAL S,et al. Habitat modelling of escolar fish (*Lepidocybium flavobrunneum*, Smith 1843) in the southwestern Indian Ocean using remote sensing data[J]. International Journal of Remote Sensing,2024,45(23):8722-8741.

[18] Al-KINDI K M, KWAN P, ANDREW N R, et al. Remote sensing and spatial statistical techniques for modelling *Ommatissus lybicus* (Hemiptera: Tropiduchidae) habitat and population densities[J]. PEERJ,2017,5:e3752.

[19] SNYDER J,BOSS E,WEATHERBEE R,et al. Oyster aquaculture site selection using landsat 8-derived sea surface temperature,turbidity,and chlorophyll a[J]. Frontiers in Marine Science,2017,4:00190.

[20] LI A S, CHIRAYATH V, SEGAL-ROZENHAIMER M, et al. NASA NeMO-Net's convolutional neural network: mapping marine habitats with spectrally heterogeneous remote sensing imagery[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing,2020,13:5115-5133.

[21] PICKENS B A,CARROLL R,SCHIRRIPA M J,et al. A systematic review of spatial habitat associations and modeling of marine fish distribution: A guide to predictors, methods, and knowledge gaps[J]. PLoS One,2021,16(5):e0251818.

[22] 李曰嵩,邢宇娜,潘灵芝,等. 鲐鱼生活史及模型应用研究进展[J]. 大连海洋大学学报,2021,36(4):694-705.

[23] 纪凯,黄天晴,谷伟,等. 温度和盐度对虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)"水科1号"生长、消化酶活性和相关基因表达的影响[J]. 海洋与湖沼,2023,54(5):1476-1487.

[24] 文刚,白愿楠,王茹,等. 淡水硅藻水华成因与控制技术研究进展[J]. 环境科学研究,2024,37(2):316-325.

[25] 李国聪,陈刚,黄建盛,等. 照度对龙虎斑幼鱼行为活动的影响[J]. 广东海洋大学学报,2015,35(1):43-50.

[26] 黎刚. 环境遥感监测技术进展[J]. 环境监测管理与技术,2007,19(1):8-11.

[27] REN J H,CUI J Y,DONG W,et al. Remote sensing inversion of typical offshore water quality parameter concentration based on improved SVR algorithm[J]. Remote Sensing,2023,15(8):2104.

[28] ZHANG B,LI J,SHEN Q,et al. A bio-optical model based method of estimating total suspended matter of Lake Taihu from near-infrared remote sensing reflectance[J]. Environmental Monitoring and Assessment,2008,145(1/2/3):339-347.

[29] LEE Z P,SHANG S L,HU C M,et al. Secchi disk depth: A new theory and mechanistic model for underwater visibility[J]. Re-

mote Sensing of Environment,2015,169:139-149.

[30] TAN Z Y,CAO Z G,SHEN M,et al. Remote estimation of water clarity and suspended particulate matter in Qinghai lake from 2001 to 2020 using MODIS images[J]. Remote Sensing,2022,14(13):3094.

[31] WANG J,TABETA S. MaxEnt modeling to show patterns of coastal habitats of reef-associated fish in the South and East China Seas[J]. Frontiers in Ecology and Evolution,2023,11:1027614.

[32] 汪振华,赵静,王凯,等. 马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局[J]. 生态学报,2013,33(19):6218-6226.

[33] 刘星雨. 气候变化对中国近海主要经济鱼类潜在适宜生境影响的研究[D]. 舟山:浙江海洋大学,2023.

[34] 鲁红月,汪金涛,张畅. 基于产卵场海表面温度的太平洋褶柔鱼冬生群资源评估[J]. 上海海洋大学学报,2022,31(3):650-657.

[35] 陈爽,郭爱,陈新军. 海表温度变化时近海日本鲭栖息地时空分布预测[J]. 水产学报,2019,43(3):593-604.

[36] 李宜锴,方星楠,余为,等 . 2005—2016 年中国东海鲐鱼渔场的时空分布及与海表面温度的关联[J]. 上海海洋大学学报,2022,31(3):710-720.

[37] HAO Y L, CUI T W, SINGH V P, et al. Validation of MODIS sea surface temperature product in the coastal waters of the Yellow Sea[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2017, 10(5): 1667-1680.

[38] WANG D L,YU J,LIN Z J,et al. Spatial-temporal distribution of fish larvae in the Pearl River Estuary based on habitat suitability index model[J]. Biology,2023,12(4):603.

[39] TIAN H,LIU Y,TIAN Y J,et al. A comprehensive monitoring and assessment system for multiple fisheries resources in the Northwest Pacific based on satellite remote sensing technology [J]. Frontiers in Marine Science,2022,9:808282.

[40] 李海洋,谢强,王东晓 . 1980—1999 年热带太平洋次表层盐度年际变化同化数据分析[J]. 海洋学报,2006,28(6):5-11.

[41] ZHOU B T,LIU X N,LIU M L,et al. The retrieval algorithm of the sea surface salinity based on the improved K-S model in Hong Kong waters[C]//IEEE. Proceedings of 2012 international conference on computer vision in remote sensing. Xiamen: IEEE, 2012:323-328.

[42] ZHAO J,TEMIMI M,GHEDIRA H. Remotely sensed sea surface salinity in the hyper-saline Arabian Gulf: Application to landsat 8 OLI data[J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2017,187:168-177.

[43] ZHAO H,FENG Y T,DONG C M,et al. Spatiotemporal distribution of *Decapterus maruadsi* in spring and autumn in response to environmental variation in the northern South China Sea[J]. Regional Studies in Marine Science,2021,45:101811.

[44] 姚焕玫,龚祝清,钟炜萍,等. 基于 VGPM 模型的广西北部湾近岸海洋初级生产力估算[J]. 海洋预报,2021,38(3):76-85.

[45] 朱文斌,朱海晨,张亚洲,等. 浙江沿岸日本鳀幼鱼数量分布及其与环境因子的关系[J]. 中国水产科学,2021,28(9):1175-1183.

[46] 余为,陈新军. 西北太平洋柔鱼栖息地环境因子分析及其对资源丰度的影响[J]. 生态学报,2015,35(15):5032-5039.

[47] ZHANG K L,ZHAO X B,XUE J,et al. The temporal and spatial variation of chlorophyll a concentration in the China Seas and its impact on marine fisheries[J]. Frontiers in Marine Science,2023,10:1212992.

[48] SHI C,NAKAJIMA T. Estimation of chlorophyll concentration in waters near Hokkaido using the linear combination method[J]. Optics Express,2017,25(20):963-979.

[49] 汤琼. 基于神经网络渤黄海叶绿素非云缺失区遥感反演研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2022.

[50] 严峻,徐志进,李铁军,等. 浙江舟山近海仔稚鱼时空动态变化及与环境因子的关系[J]. 海洋与湖沼,2023,54(3):799-810.

[51] CHEN X J,LI G,FENG B,et al. Habitat suitability index of Chub mackerel(*Scomber japonicus*) from July to September in the East China Sea[J]. Journal of Oceanography,2009,65:93-102.

[52] LAN K W,SHIMADA T,LEE M A,et al. Using remote-sensing environmental and fishery data to map potential yellowfin tuna habitats in the tropical Pacific Ocean[J]. Remote Sensing,2017,9(5):444.

[53] 王成友,杜浩,刘猛,等. 厦门海域放流中华鲟的迁移和分布[J]. 中国科学:生命科学,2016,46(3):294-303.

[54] 修树孟,张钦,逄爱梅. 卫星遥感 SST 反演海水温度垂直剖面的方法研究[J]. 遥感信息,2009,24(5):73-76.

[55] TRAN M D,VANTREPOTTE V,LOISEL H,et al. Band ratios combination for estimating chlorophyll-a from Sentinel-2 and Sentinel-3 in coastal waters[J]. Remote Sensing,2023,15(6):1653.

[56] 周岩,董金玮. 陆表水体遥感监测研究进展[J]. 地球信息科学学报,2019,21(11):1768-1778.

[57] 刘超洋,魏永亮,邹斌. DINEOF 重构遥感叶绿素 a 数据质量分析[J]. 遥感信息,2022,37(6):68-77.

[58] 王云秀,王鑫,李月英,等. 渤海湾海域春季水污染的遥感分析[J]. 气象,2010,36(1):111-114.

[59] 崔伟,马晓勇. 基于光谱分析的重金属污染废水遥感监测方法[J]. 环境监测管理与技术,2022,34(3):53-56.

[60] 邵媛媛,张帆,梁庆霞. 陆地-海洋生态系统微塑料污染现状研究[J]. 生态环境学报,2020,29(10):2118-2129.

[61] 石海岗,薛庆,章新益,等. 基于遥感的海域环境变化监测分析[J]. 环境监测管理与技术,2024,36(1):53-56.

本栏目编辑　姚朝英　刘罗