

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2012.01078

海洋遥感在渔场分析中的研究进展

胡奎伟¹, 许柳雄^{1,2,3,4}, 陈新军^{1,2,3,4}, 朱国平^{1,2,3}, 王学昉¹

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;
3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海海洋大学, 上海 201306
4. 农业部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海海洋大学, 上海 201306

摘要: 渔场的形成机制和分布规律受到鱼类自身生物特性和外界环境条件的影响, 海洋遥感能够获取的大范围同步的海洋热力、海洋水色和海洋动力地形等海洋环境要素, 为人类理解海洋鱼类种群动力机制提供了丰富的信息。运用渔场分析和预报模型, 结合地理信息系统技术对多元数据的集成为渔业的即时管理提供了发展方向。目前运用海洋遥感进行渔场研究存在的问题有: 1. 海洋遥感手段仅能获得渔场表层的信息, 必须结合浮标海洋剖面信息才能更好地解释鱼类栖息环境; 2. 运用海洋遥感技术获取渔场水色信息的精度不高, 给渔场资源的研究带来了困难; 3. 利用遥感技术进行渔场的实时预报容易受到天气条件的影响; 4. 如何建立科学的渔场预报模型的评价体系是渔场预报亟待解决的问题; 5. 渔场分析和预报走向智能化、自动化的关键技术还有待深入研究。遥感技术不断向高光谱和定量方向发展, 为渔场资源的定量评估提供重要条件。在高效开发和利用海洋生物资源的同时, 对海洋生物的资源存量进行定量的评估从而指导人类合理开发和可持续利用大洋渔业资源具有重要的意义。

关键词: 渔场分析; 海洋遥感; 地理信息系统; 预报模型

中图分类号: S931.1

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2012)05-1078-10

人们很早就认识到海洋渔场的分布与外界环境条件有着密切的关系, 并利用有限的海洋水文调查资料, 对渔场海洋学进行了研究探索^[1-2]。但由于凭借船只进行海上调查海洋环境资料存在时空不连续、同步性较差和低效率等缺陷, 远不能满足现代渔场研究和渔情分析的需要。20 世纪 60 年代出现了遥感(Remote Sensing, RS)技术, 该技术能够大面积同步的观测海洋环境, 并具有较强的时效性。近年来随着遥感技术不断向高光谱遥感和高空间分辨率遥感方向发展, 海洋遥感反演的数据精度有较大幅度的提高, 能够提供更加丰富的海洋环境信息, 如海洋表面温度(SST)、海洋水

色如叶绿素(Chl-a)浓度、海洋表面盐度(SSS)和海洋表面动力地形(如海洋表面高度, SSH)等, 为海洋渔场研究和渔情分析提供了广阔的应用空间^[3]。

20 世纪 70 年代, 日本、美国等渔业发达国家和地区已经开始利用遥感获取海洋信息进行渔场研究, 并在渔情预报方面逐步走入商业化运用。国运用遥感技术进行渔场分析始于 20 世纪 80 年代, 自国家 863 计划海洋监测技术主题“海洋渔业服务地理信息系统”和“海洋渔业遥感服务系统”设立以来, 中国利用遥感技术进行渔场研究进入活跃阶段, 并取得一定成果。随着遥感在渔场研究中的应用不断深入, 国内外学者开始尝试引入

收稿日期: 2012-02-23; 修订日期: 2012-04-12.

基金项目: 国家“863”计划项目(2012AA092302); 国家自然科学基金项目(41006106); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金新教师基金项目(20093104120005); 上海市青年科技启明星计划项目(11QA1403000); 上海市重点学科建设项目(S30702); 上海市教委创新项目(09YZ275).

作者简介: 胡奎伟(1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事渔业资源与渔场学研究. E-mail: hukuiweinuist@126.com

通信作者: 许柳雄, 教授. E-mail: lxxu@shou.edu.cn

数学模型,如结合海洋遥感数据信息建立的栖息地适应指数模型(HSI),用来评价鱼类对栖息地环境适应性,是当前渔场研究的热点^[4-11];结合遥感和地理信息系统(Geographical Information System, GIS)技术,运用广义线性模型(GLM)、广义可加模型(GAM)、人工神经网络(ANN)和决策树(DT)等模型进行渔场预测模拟是当前渔场研究的前沿^[12-18]。本文旨在归纳当前利用海洋遥感在渔场分析的应用中的研究进展,为国利用海洋遥感技术进行渔场分析研究提供理论参考。

1 遥感在渔场分析中的应用

现代渔场分析和预报需要一定的时效性,而传统的海上现场调查获取的海洋渔场环境数据较为有限,限制了渔场分析和预报的研究进展。运用海洋卫星遥感能够获取大范围、同步、实时和有效的高精度渔场环境信息,可极大地丰富渔场研究分析的手段。

用卫星观测海洋环境的发展大致可分为3个阶段:第一阶段为探索实验(1970-1978年),主要为载人行飞船试验和利用气象卫星(TIROS-N, DMSP系列卫星和GOES系列卫星等)、陆地卫星(Landsat系列等)探测海洋学信息。这一阶段海洋遥感学者开始运用气象卫星和陆地卫星获取的数据分析海洋环境信息,并运用到海洋渔场分析和预报的研究中。然而,气象卫星和陆地资源卫星有其自身的特点,不能完全代替海洋卫星。第二阶段为实验研究阶段(1978-1985年)。在该阶段美国发射了一颗海洋卫星(SeaSat-A)和一颗云雨气象卫星(NIMBUS-7),该卫星上载有海岸带水色扫描仪(CZCS),丰富了海洋环境信息,海洋学界学者们对利用海洋卫星遥感研究海洋学和海洋生物资源的兴趣进一步增强。1983年美国海洋咨询委员会(The Sea Grant Marine Advisory Service)和罗德岛大学的海洋研究所(The Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island, URI)运用AVHRR反演的SST数据对整个海区温度、感兴趣的海域的温度和全海区水平温度梯度进行研究分析,并制作产品图像分发给渔民,减少了渔

船寻鱼时间^[19]。第三阶段为研究应用阶段(1985至今),世界上已发射许多颗海洋卫星,如海洋地形卫星(Geosat, Geo-1, Topex/ Poseidon等),海洋动力环境卫星(ERS-1&ERS-2、Radarsat等),海洋水色卫星(SeaSat Rocsat、KOMPSAT等)。随着海洋遥感逐步向高精度、定量化方向发展,世界各国均认识到遥感在渔业领域的重要性,相继成立了专门的渔业遥感研究机构和部门,进一步深入研究遥感在海洋渔场学中的应用。

1.1 遥感在渔场与海洋环境关系分析中的应用

1.1.1 海洋水温 水温是影响鱼类活动最重要的环境因子之一,鱼类的分布、洄游迁移和集群等会直接或间接地受到环境温度的限制。海洋鱼类均有一定的适宜温度区间和最适宜温度,因此水温是分析海洋环境与鱼类生活习性、资源丰度等最重要、最常用环境要素。海洋表面温度(SST)对栖息在海洋混合层的中上层鱼类渔场分布的影响较大。目前利用海洋卫星遥感反演SST的技术比较成熟,其精度在 $0.5\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ ^[20]。根据SST数据可以获得丰富的物理海洋学信息,如表温空间分布、温度锋面、温度距平、表层水团和厄尔尼诺现象等,这些水温指标可以从不同角度表征渔场的分布^[21]。Herron等^[22]运用来自先进高分辨率辐射计(Advanced Very High Resolution Radiometer, NOAA/AVHRR)传感器的SST遥感影像对1985-1987年每年四月和五月墨西哥湾的海湾银鲳的中心渔场研究,发现其中心渔场和低叶绿素的离岸暖水与陆架波折区域的高叶绿素的冷水形成的锋面存在一定的空间关系,并指出相比较在远离陆架波折锋面逐渐减弱或者消散的区域,在锋面区域银鲳的捕捞量较高。Thayer等^[23]利用1985-2003年来自AVHRR传感器的SST数据,对在北太平洋海域作为角嘴海燕(*Cerorhinca monocerata*)摄食对象的新西兰鳀(*Engraulis* spp.)、太平洋玉筋鱼(*Ammodytes* spp.)、太平洋毛鳞鱼(*Mallotus* spp.)和美洲平鲉(*Sebastes* spp.)等鱼群随着当地海温年际变动的同步性进行分析,发现北太平洋东部的鱼群资源变动和SST的年际变动有较好的关联,西部则没有显著联系。此研究用角嘴海燕群

落来指示鱼群的分布状况有一定的生物学依据,但对角嘴海燕群落的变动与鱼群变动是否具同步性未作实验性研究。Andrade 等^[24]运用单位捕捞努力量(CPUE)作为鱼类资源丰度的指标,对 1982–1992 年巴西南部海域的鲳鱼(*Katsuwonus pelamis*)资源密度随 SST 的季节和年变化进行分析研究,发现研究区域鲳鱼的月平均 CPUE 和月平均 SST 存在显著的季节性变化规律,对 CPUE 和 SST 交叉相关分析表明 CPUE 距平的波动比 SST 距平的波动提前 1 个月。胡奎伟等^[25]对 1983–2007 年中西太平洋海域的围网鲳鱼丰度的年际变动和月际变动与 SST 的关系研究表明,鲳鱼的年平均 CPUE 和平均 SST 总体无显著关联,但存在明显的季节变化特征。Andrade^[26]对巴西南部海域鲳鱼资源的季节变化作进一步研究,认为巴西暖流的季节变动伴随温度锋面的变化,从而导致鲳鱼在陆架坡折附近海域的浅层温跃层集群的变动,进而影响作业渔场的鲳鱼资源变动。牛明香等^[27]基于 GIS 利用 1986–2010 年间的 SST 数据结合底拖网调查数据,对黄海中南部海域越冬鲳鱼年际空间分布变化规律进行分析研究,表明 1986–2010 年间鲳鱼渔场的年际空间分布变化较明显,并认为越冬鲳鱼渔场重心的经向变化受到 SST 影响, SST 主导其在空间分布上的年际变化。

在海洋表面温度场中,温度水平梯度最大值的狭窄地带通常是冷暖水团交汇的过渡区域,从而形成温度锋面(也称流隔)。由 SST 数据生成的温度等值线图可以直观得识别流隔,等值线较为密集的狭长带即为温度锋面。温度锋面附近通常会形成涌升流,其挟带的丰富的营养盐为浮游生物提供繁殖生长条件,从而形成高生产力区域^[28]。Yuichiro 等^[29]对 2001 年 9 月和 2005 年 4–5 月日本东部海域预报的 SST 温度场和船队捕捞日志记录的鲳鱼渔场分布对比分析,发现作业区域的温度水平梯度在 0.1°C ,并认为鲳鱼的偏好温度区间随着季节和海况的变化而有所差异。Liao 等^[30]对中国东南海域的鱿鱼渔场的海况分析表明,鱿鱼的 CPUE 和温度锋面相对沿岸的最小距离和涌流的尺度均呈正相关,作者认为鱿鱼渔场季节变

动不仅受到黑潮(the Kuroshio)的影响,还与中国东南海域的海洋环境状况(如台风等)有关。

海洋水温空间场大尺度的变化异常往往能够指示重要的海洋事件,如厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)和拉尼娜等现象^[31]。ENSO 现象发生时,东南信风的减弱导致赤道太平洋海域大量暖水流向赤道东太平洋,从而引起太平洋西部的水温下降,东部水温上升。ENSO 现象伴随的暖水层大范围的变动以及气候条件的变化会对渔场资源量和渔场分布产生重要的影响^[32–33]。Lehodey 等^[34]结合南方涛动指数(SOI)使用美国金枪鱼(tuna)围网(purse seine)船队的捕捞日志记录的数据,对 1988–1995 年的太平洋鲳鱼资源丰度的时空变动进行研究,并运用鲳鱼标志放流的数据对研究结果进行验证,发现鲳鱼 CPUE 的经度重心的变动和 29°C 东边界、SOI 月际变动存在显著的关联度,通过交叉相关分析表明 SOI 指数的变动领先月平均 CPUE 变动和 29°C 东边界变动 2 个月;研究表明当发生 ENSO 现象时,鲳鱼鱼群往东迁移约 4 000 km,拉尼娜现象发生时鱼群回到原处。李政纬等^[35]和郭爱等^[36]在此基础上,分别运用太平洋共同秘书处(SPC) $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 和 $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ 空间分辨率的金枪鱼围网数据对中西太平洋鲳鱼的资源分布进行研究;李政纬运用经验模态分解法(EMD)分析 1994–2004 年单位渔区的月平均 CPUE 经度重心的月际变化与 SOI 指数、 29°C 东界的相关性,发现中西太平洋 29°C 东边界领先于月平均鲳鱼 CPUE 经度重心 5 个月有一最大正相关,SOI 指数则领先 6~10 个月时与平均 CPUE 有一最大负相关。郭爱等^[36]利用 Nino3.4 区的海表温度异常值(SSTA)作为 ENSO 的指标,对 1990–2001 年间的年平均产量经度重心和 ENSO 指数年变动进行交叉相关分析表明,高产经度重心、平均经度滞后 ENSO 指标一年呈最大负相关。李政纬和郭爱等^[36]的研究结论从不同角度佐证了 Lehodey 等^[34]的研究结果,但二者存在一定的差异。研究方法的差异:1) 渔业数据空间分辨率不同;2) 计算经度重心的指标不同;3) 研究的时间序列和时间分辨率不同;4) 相关性分析的方法不同。研究结果的差异:SOI 指数

对经度重心的领先的时间不同。

1.1.2 海洋水色 利用遥感获取海洋水色信息是通过机载或星载的传感器探测与海洋水色有关的生物学和非生物学参数(如 Chl-a 浓度、悬浮物、可溶有机物、污染物等)的光谱辐射信息, 经过大气校正后运用生物学光学特性反演海水叶绿素浓度、可溶有机物等海洋环境信息。目前近海的水色信息可以从海岸带水色扫描仪(Coastal Zone Color Scanner, CZCS)传感器获得; 海洋广角观测水色仪(the Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor, SeaWiFS)和中分辨率成像光谱仪(the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)能够提供全球所有水域的水色信息, 是目前海洋水色遥感运用最为广泛的两个传感器; 2002 年中国发射了第一颗海洋试验性业务卫星 HY-1A, 在 5 年之后又发射 HY-1A 的后续星 HY-1B; HY-1 系列卫星均搭载了十波段海洋水色扫描仪(the Chinese Ocean Color and Temperature Scanner, COCTS), 主要为实时观测中国近海(渤海、黄海、东海、南海)和日本海及其海岸带区域的水色要素; 中国已于 2011 年 7 月发射一颗 HY-2A 卫星, 有效载荷为 3 个微波遥感器, 主要用来观测海面矢量风、海表温度和海面高度等信息。利用遥感反演的海洋水色浓度, 特别是 Chl-a 浓度能够反映海洋中浮游动植物的分布状况。研究表明, Chl-a 质量浓度在 0.2 mg/m^3 以上的海域具有丰富的浮游生物存量, 在这些区域可以形成捕捞作业渔场^[37]。运用 Chl-a 浓度的遥感影像通过人工目视解译可以提取海洋动力环境特征性信息, 如流场和流态等信息, 同样可以指示海洋渔场的分布^[38]。

Leming^[39]等指出: “搭载在 Nimbus 7 卫星平台的 CZCS 传感器观测到的海表面叶绿素和温度似乎与低氧状况存在一定的联系”, “利用遥感观测有助于海洋低氧条件的反演, 在为捕捞策略和渔业管理提供丰富的海洋信息方面有重要的应用价值”。Fiedler^[40]运用来自 AVHRR 的 SST 数据和 CZCS 的水色数据对 1983 年 8 月南加利福尼亚海湾的长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)和鲑鱼索饵场进行分析, 发现两种鱼群的摄食集群均与海洋锋

面有关; 长鳍金枪鱼会聚集在具有高生产力的涌升流中心区域, 其摄食状态会随着离锋面距离远近而有所差异; 鲑鱼往往会在较冷的高生产力水域摄食, 并指出在 El Niño 期间鲑鱼会由于暖水温的变化异常洄游到南加利福尼亚海湾。Mugo 等^[41]运用遥感技术对西北太平洋的鲑鱼栖息地特征进行了分析, 通过广义可加模型(GAM)对栖息地各环境因子海洋表面温度(SST), 海洋表面叶绿素(SSC), 海洋表面高度异常(SSHA)和涡动力能量(eddy kinetic energy, EKE)及各因子之间的交互效应进行评价, 认为 SST 是影响鲑鱼洄游最重要的指标, 其次是 SSC; 并指出黑潮锋面贫营养一侧和黑潮续流是西北太平洋鲑鱼栖息地重要的特征, 中尺度涡流也是形成鲑鱼栖息地的重要因素。沈新强等^[42]结合水温、盐度数据对北太平洋柔鱼渔场 Chl-a 浓度的分布特点进行分析, 认为 Chl-a 浓度可以作为柔鱼渔场重要的参考因子。杨晓明^[43]运用 Chl-a 浓度、SST 数据和来自微波散射计 QuickScat 的风场数据对 2009 年 9–11 月的西北印度洋鳶乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*)渔场形成机制进行探讨, 发现鱼群往往聚集在 SST 梯度和 Chl-a 梯度较大的狭窄区域, 并认为涌升流附近的低压扰动有利于中心渔场的形成。

海洋 Chl-a 浓度不仅能够指示浮游生物的存量和海洋动力环境特征, 而且可以结合光照条件等通过相关的遥感反演算法估算海洋初级生产力。海洋初级生产力的大小能反映海洋浮游植物光合作用速率, 因此从某种意义上讲, 海洋初级生产力的大小是决定海洋生物存量、分布和变化的根本原因^[44]。运用遥感估算海洋初级生产力时, 首先需要根据水体光学性质对水体进行分类。依据 Morel 等提出的双向分类法, 可将大洋水体分为 I 类水体和 II 类水体。作为 I 类水体的深海水体光学特性是由水体中的浮游植物及其分解时产生的碎屑物质决定, 因此运用 Chl-a 浓度反演 I 类水体初级生产力的精度较高; 目前结合 Chl-a 浓度运用 VGPM 模型计算 I 类水体的真光层以上区域的海洋初级生产力可以获得较高的精度^[45–46]。II 类水体的光学特性不仅与浮游植物及其分解时

产生的碎屑物质有关,还与无机悬浮物和黄色物质(溶解有机物)有关由于其光学特性的复杂性给海洋初级生产力的定量反演带来困难^[47]。

大洋初级生产力的评估有利于理解海洋生物尤其是海洋鱼类在海洋生态动力系统中所扮演的角色^[48-49]。Lehodey 等^[50]结合净初级生产力(new primary production)和海流等数据运用耦合动力生态地化学模型(coupled dynamical bio-geochemical model),对中西太平洋鲣鱼渔场的潜在饵料分布进行了预测,其模拟结果和实际观测的浮游生物分布及其时空序列的变化比较吻合;并指出结合温度、溶解氧等环境要素进行模拟潜在的金枪鱼渔场环境会更加接近真实的渔场栖息地环境,对建立大尺度的金枪鱼种群动力模型大有裨益。Loukos^[51]运用全球大气 CO₂ 含量、海洋初级生产力总量的变化以及全球大洋鲣鱼栖息地状况的变化等指标进行分析,并评估全球气候的变化对海洋初级生产力以及处于二级和三级营养级的海洋生物的潜在的影响;研究指出全球海洋生态动力系统研究计划(GLOBEC)中的海洋渔业和气候变化工程(OFCCP GLOBEC)整合了不同研究方向和要求,其主要内容包括:1) 监测远洋生态系统上层营养级生物;2) 远洋生态系统机构;3) 建模不同尺度的海洋盆地;4) 社会经济的影响;并认为这一改进的方法对于促进新的国际陆界生物圈计划(International Geosphere Biosphere Program, IGBP)和海洋研究科学委员会(Scientific Committee on Oceanic Research)关于海洋生物地球化学的生态系统的研究项目的发展有着重要的意义。

1.2 遥感在渔场评估和预报中的应用

1.2.1 鱼类栖息地评估 海洋生物种群会根据其自生的生物学特性在不同的生活阶段选择最适宜的栖息环境,在充分理解海洋生物生活习性的基础上,运用适合的生物-物理耦合模型来评价和预测海洋生物特别是海洋经济鱼类的栖息地质量对于海洋渔业的生产和管理显得尤为重要。

栖息地指数模型(HSI)是目前用来评价生物栖息地环境经典的量化指标,最早是由美国地理调查局国家湿地研究中心鱼类与野生生物署提出

并运用在野生动物的栖息地质量评价^[52]。此后,学者开始尝试运用实测水流、水深和底质等环境因子来评价和预测内陆湖泊鱼类的栖息地环境并取得较好的成果^[53-54]。而由于通过海上调查船只获取具有大尺度空间同步性、长周期时间连续性的海洋尤其是深海鱼类栖息的环境数据较为困难,所以运用 HSI 指数评价海洋鱼类栖息地的研究开展得相对较晚。海洋遥感技术能够提供深海鱼类(如金枪鱼鱼类)栖息生境的具有时空连续、同步性的绝大多数环境因子,利用地理信息系统(GIS)的空间分析和统计为生物栖息模拟和预测提供重要的条件^[55-58]。Bertignac 等^[59]基于 SST、饵料因子栖息地指数建立了空间多渔具、多种群动力学模型对太平洋热带金枪鱼渔场进行分析,并运用 1°×1°空间分辨率的围网和杆钓数据对中上层不同年龄段的鲣鱼渔场模拟,作者将鲣鱼产卵场的温度定义在 25℃ 以上,故结合海流数据模拟的鲣鱼补充量基本分布在西太平洋;结合标志放流数据预测的太平洋鲣鱼月平均 CPUE 分布与实测的平均 CPUE 分布较为接近。本研究未能对鲣鱼在不同年龄受到的栖息环境因子作出解释,不同年龄段鲣鱼的优先环境因子的评估和选择还有待进一步研究。郭爱等^[60]运用非线性的偏态模型、正态模型和外包络法分别建立 1990-2001 年的 SST 单因子 HSI 模型对中西太平洋鲣鱼栖息地质量进行评估,并使用 2003 年的 SST 数据预测当年的鲣鱼的栖息地状况,与实际生产产量数据对比分析表明运用外包络法建立的 HSI 模型模拟的最接近实际作业产量的分布。本研究仅使用 2003 年预测结果对模型进行评价,实际上对多年预测结果进行评价,从而验证 HSI 模型准确性更具参考意义;另外,结合多因子的 HSI 模型模拟鲣鱼的栖息地还有待进一步研究。胡振明等^[61]运用 SST、表温梯度、SSS、SSH、Chl-a 浓度建立综合栖息地指数模型对秘鲁外海茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)渔场进行分析,本研究运用主成分分析(PCA)的方法对 HSI 模型中各因子的权重进行评估,并将预测结果与几何平均法建立的栖息地指数模型预测结果比较发现,基于 PCA 建立的 HSI 模型预测精度较

高; 作者指出, 录入 HSI 模型的数据的时空分辨率会对模型的敏感性产生重要的影响, 并认为在评价鱼类栖息地环境时应当考虑鱼类在不同的生活周期内所依赖环境因子的不同。陈红波等^[62]基于分位数回归利用 SST 和 Chl-a 浓度建立栖息地模型评价黄海冬季小黄鱼索饵渔场的栖息地环境质量, 发现在仅考虑 SST 和 Chl-a 浓度的情况下, 3 种栖息地指数均与 CPUE 呈正相关, 研究指出将海洋遥感环境数据和渔业生产数据结合分析, 有助于掌握渔场资源分布的动态信息, 从而对资源探捕和调查具有重要的指导意义。

1.2.2 渔场预报模型 海洋鱼类的生态动力系统存在极大的模糊性和不确定性, 完全理解与海洋鱼类生活习性相关的所有机制困难较大^[63]。在获取有限的海洋鱼类种群动力系统相关的知识情况下, 运用经验或者半经验的模型(如 GLM、GAM、ANN 等)模拟和预测海洋鱼类的潜在资源量的影响因素对人类合理开发利用海洋生物资源具有重要意义^[64]。另外, 为了弥补经验和半经验模型的非普适性, 国内一些学者针对渔场环境的模糊性, 提出了一些非模型的研究方法, 如案例推理、人工智能网络、数据挖掘等前沿的研究^[65-67]。Agenbag 等^[64]基于 GLM 和 GAM 建立评价模型, 运用渔获量和遥感数据模拟了时间(年、月、天或者时)、空间(经度、纬度、水深)和环境的热力条件(海洋表面温度及其指示的温度锋面强度和随时间变化)对南非鳀(*Engraulis capensis*)、南美洲拟沙丁鱼(*Sardinops sagax*)和瓦氏脂眼鲱(*Etrumeus whiteheadi*)的渔获量的影响; 此研究中涉及的模型均为线性模型, 未能结合非线性模型进行比较分析。苏奋振等^[67]针对海洋环境的时空要素和渔场资源的互动性及非线性关系建立基于海洋环境要素时空配置的渔场形成机制发现模型, 并以大沙区中上层渔场为实例进行研究; 作者认为“运用 GIS 离散化的思想, 以邻域将空间结构离散化成决策表的条件属性, 同时将时间也作为条件属性, 继之利用规则提取算法, 从数据仓库中提取出地理状态变量的空间配置关系或时空关联规则。实践表明, 该方法能有效地提取渔场形成的要素

场空间配置关系, 这对促进海洋渔业生产现代化具有重要意义”。Dagorn^[68]运用人工生命方法建立鱼类行为学模型, 结合每日从 NOAA 系列卫星获得 SST 数据模拟包括鲱鱼、黄鳍金枪鱼及大眼金枪鱼热带金枪鱼的大尺度迁移, 该研究使用基于 ANN 建立的具有学习能力的金枪鱼迁移模型(APTHON), 预测 1993 年 3 月到 7 月金枪鱼从莫桑比克海峡到塞舌尔群岛海域的北迁行为, 并将预测结果和基于寻找热力梯度的人工金枪鱼渔场模型(GRATHON)预测结果进行比较, 发现 APTHON 模型的预测结果比较符合实际金枪鱼的迁移情况; 作者指出“大部分关于基于标志放流数据的鱼类迁移模拟的文献是使用定量化模型, 这类模型建立在重捕概率的基础上^[59-61]。我们的模型是和这类模型不同的并且是互补的, 尽管它也是量化的”;“APTHON 是一个初步探索研究, 还不能用于管理, 这需要更多的数据支持和改进”, “类似 APTHON 的模型就可以被改进和应用以便更接近实时的海洋状况。这类模型可以预测鱼类迁移和在空间异质环境中鱼类种群的空间分布, 从而增强我们理解和预测鱼类种群的动力机制的能力”。

2 问题与展望

随着应用遥感技术进行渔场分析的不断深入以及渔场预报模型逐步发展, 给我国海洋生物资源的开发和利用提供新的机遇的同时, 进行准确的渔场资源的评估是我国可持续利用渔业资源面临的新的挑战。尽管遥感在海洋渔场学研究领域已得到的广泛的应用, 但由于遥感技术自身的特点在渔场研究和渔情实时预报的应用中还存在一些问题。

2.1 海洋遥感环境信息量不足

由于目前的航空航天遥感平台上所搭载的传感器只能接受来自水体表层和次表层的光谱辐射能量, 所以由原始数据反演生成的 2 级和 3 级产品数据只能反映海洋水体表面的物理、生物信息, 结合浮标实测海洋剖面数据, 如“地转海洋学实时观测阵(Array for Real-time Geostrophic Ocea-

nography, Argo)”数据, 构建大洋的垂直环境信息能够更好的解释海洋鱼类的栖息环境。

2.2 海洋因子遥感反演精度现状

目前运用遥感技术获取 SST, 海洋动力地形等环境要素的技术较为成熟, 其数据精度能够满足渔场分析和渔情预报的要求; 而海洋水色信息如 Chl-a 浓度以及由其推算的海洋初级生产力等, 由于大气辐射的干扰、反演算法的不完善和传感器设计等原因导致演算精度较低, 给利用遥感获取 Chl-a 浓度对海洋渔场资源进行大范围的定量评估带来了困难。

2.3 遥感技术的多光谱特性

可见光和红外遥感获取海洋环境信息的技术较为成熟, 其空间分辨率较高, 但由于可见光和红外电磁波穿透云层的能力较差, 运用实时的红外遥感数据进行渔场的实时预报容易受到天气条件的影响; 微波遥感能够穿透云雾、雨雪具有全天候工作的能力, 但其空间分辨率较低^[72]; 因此多光谱遥感的结合以及高光谱遥感的不断发展将给海洋渔场的实时分析和预报提供了重要的发展方向。

2.4 渔场预报模型的模糊性

目前结合遥感数据建立的渔场评估和预报模型均是经验和半经验的模型, 寻求有效的方法和途径来评估模型的不确定性和模糊性, 是当前渔场预报模型亟待解决的问题。另外, 利用 RS 和 GIS 技术在海洋单鱼种资源评估方面的研究尚少, 工作开展的还不够, 理论和方法还需探讨。

2.5 3S 技术的集成与应用前景

结合 GIS 技术对 RS 数据、渔获量数据和其他实时监测数据(如 GPS 获得的船位数据等)进行有效得集成是目前渔场分析和预报逐步走向智能化、自动化和业务化的重要和关键技术。以 RS、GIS 集成的系统可实现对渔场空间环境信息的大面积、同步的观测; 在 GIS 支持下, 利用 RS 技术提供的海洋环境信息, 结合渔场预报模型和专家识别系统, 可推测海洋鱼群的回游路径和中心渔场的位置, 实现对海洋渔场的预报。GIS 和 GPS 的集成系统可以将船只及航线信息实时记录在 GIS

的地理数据库中, 发挥 GIS 对渔船作业的分析决策能力的支持^[73]。

3 结语

自国家“十二五”规划提出让蓝色海洋经济成为国民经济新的增长点以来, 我国海洋环境、海洋渔业等相关机构和部门进一步增强了海洋生物资源的研究和开发力量。随着海洋遥感在渔场分析中运用的研究不断深入, 提出并逐步建立优化的渔场渔情预报模型, 提高渔场渔情的预报精准度, 能够为渔业的高效生产和渔业部门即时有效的管理提供重要的技术决策支持。近年来遥感不断向高光谱遥感和定量遥感方向发展, 为渔场资源的定量评估提供重要条件。在高效开发和利用海洋生物资源的同时, 对海洋生物的资源存量进行定量的评估从而指导人类合理开发和可持续利用大洋渔业资源具有重要的意义。

参考文献:

- [1] Hewitt R P. Historical review of the oceanographic approach to research[J]. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep, 1988, 29: 27-41.
- [2] 石井清彦, 斎藤昭二. 西南太平洋における大型ビンナガの海洋環境について[J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1972, 38 (12): 1341-1349.
- [3] Miguel A, Santos P. Fisheries oceanography using satellite and airborne remote sensing methods: a review[J]. Fish Res, 2000, 49: 1-20.
- [4] Bertignac M, Lehodey P, Hampton J. A spatial population dynamics simulation model of tropical tunas using a habitat index based on environmental parameters[J]. Fish Oceanogr, 1998, 7(3): 326-334.
- [5] Bigekow K A, Hampton I J, Miyabe N. Application of a habitat-based model to estimate effective longline fishing effort and relative abundance of Pacific bigeye tuna (*Thunnus obesus*)[J]. Fish Oceanogr, 2002, 11(3): 143-155.
- [6] Catarina V, Vanessa F, Henrique C. Habitat suitability index models for the juvenile soles, *Solea solea* and *Solea senegalensis*, in the Tagus estuary: Defining variables for species management[J]. Fish Res, 2006, 82(1/3): 140-149.
- [7] Vincenzi S, Caramori G, Rossi R, et al. A comparative analysis of three habitat suitability models for commercial yield estimation of *Tapes philippinarum* in a North Adriatic

- coastal lagoon[J]. Mar Poll Bull, 2007, 55: 579–590.
- [8] 冯波, 陈新军, 许柳雄. 应用栖息地指数对印度洋大眼金枪鱼分布模式的研究[J]. 水产学报, 2007, 31(6): 805–812.
- [9] 孔博, 张树清, 张柏, 等. 遥感和 GIS 技术的水禽栖息地适宜性评价中的应用[J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 1001–1009.
- [10] Tian S Q, Chen X J, Chen Y, et al. Evaluating habitat suitability indices derived from CPUE and fishing effort data for *Ommastrephes bratramii* in the northwestern Pacific Ocean[J]. Fish Res, 2009, 95: 181–188.
- [11] 陈新军, 刘必林, 田思泉, 等. 利用基于表温因子的栖息地模型预测西北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)渔场[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(6): 707–713.
- [12] Stretta J M. Forecasting models for tuna fishery with aerospatial remote sensing [int. J]. Rem Sen, 1991, 12(4): 771–779.
- [13] Nishida, T, Chen D G. Incorporating spatial autocorrelation into the general linear model with an application to the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) longline CPUE data[J]. Fish Res, 2004, 70: 265–274.
- [14] Agenbag J J, Richardson A J, Demarcq P H, et al. Estimating environmental preferences of South African pelagic fish species using catch size- and remote sensing data[J]. Prog Oceanogr, 2003, 59: 275–300.
- [15] Bellido J M, Pierce G J, Wang J. Modelling intra-annual variation in abundance of squid *Loligo forbesi* in Scottish waters using generalised additive models[J]. Fish Res, 2001, 52: 23–39.
- [16] Dagorn L, Petit M, Stretta J M. Simulation of large-scale tropical tuna movements in relation with daily remote sensing data: the artificial life approach[J]. BioSystems, 1997, 44: 167–180.
- [17] Nunoa A I, Arcaya B, Cotosb J M, et al. Optimisation of fishing predictions by means of artificial neural networks, anfis, functional networks and remote sensing images[J]. Exp Syst Applic, 2005, 29: 356–363.
- [18] Leathwick J R, Rowe D, Richardson J, et al. Using multivariate adaptive regression splines to predict the distributions of New Zealand's freshwater diadromous fish[J]. Freshw Bio, 2005, 50: 2034–2052.
- [19] Cornillon P. Sea surface temperature charts for the southern New England fishing community[J]. Mar Technol Soc J, 1986, 20(2): 57–65.
- [20] Walton C C, Pichel W G, Sapper F J, et al. The development and operational application of nonlinear algorithms for the measurement of sea surface temperature with NOAA polar-orbiting environmental satellite[J]. J Geophys Res, 1998, 103: 27999–28012.
- [21] Armstrong E M, Holt C A, Mantua N, et al. A satellite-derived sea surface temperature for fisheries management[R]. Ocean Sciences Meeting: From the Watershed to the Global Ocean, Orlando, FL (USA), 2–7 Mar. 2008.
- [22] Herron R C, Leming, T D, Li Jilong. Satellite-detected fronts and butterfish aggregations in the northeastern Gulf of Mexi[J]. Contin Shelf Res, 1989, 9(6): 569–588.
- [23] Thayer J A, Bertram D F, Hatch S A. Forage fish of the Pacific Rim as revealed by diet of a piscivorous seabird: synchrony and relationships with sea surface temperature[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2008, 65: 1610–1622.
- [24] Andrade H A, Garcia C A E. Skipjack tuna fishery in relation to sea surface temperature in the southern Brazilian coast[J]. Fish Oceanogr, 1999, 8(4): 245–254.
- [25] 胡奎伟, 朱国平, 王学昉, 等. 中西太平洋鲣鱼资源丰度的时空变动及其与表温的关系[J]. 海洋渔业, 2011, 33(4): 417–422.
- [26] Andrade H A. The relationship between the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) fishery and seasonal temperature variability in the south-western Atlantic[J]. Fish Oceanogr, 2003, 12(1): 10–18.
- [27] 牛明香, 李显森, 赵庚星. 黄海中南部越冬鲣鱼空间分布及其与水温年际变化的关系[J]. 应用生态学报, 2012, 23(2): 552–558.
- [28] 陈长胜. 海洋生态系统动力学与模型[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 145–155.
- [29] Yuichiro H, Noboru K, Kedarnath M, et al. An attempt to forecast favorable temperature zone for fishing ground formation of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* using satellite data and fishing ground data. Journal of the School of Marine Science and Technology, Tokai University [J]. Sch Mar Sci Technol Tokai Univ, 2009, 7(1): 35–43.
- [30] Liao C H, Lee M A, Lan Y C, et al. The Temporal and Spatial Change in Position of Squid Fishing Ground in Relation to Oceanic Features in the Northeastern Waters of Taiwan. Journal of the Fisheries Society of Taiwan [J]. Fish Soc Taiwan, 2006, 33(2): 99–113.
- [31] Wang C Z, Weisberg R H, Virmani J I. Western Pacific interannual variability associated with the El Nino–Southern Oscillation[J]. J Geophys Res, 1996, 104(3): 5131–5149.
- [32] Picaut J, Ioualalen M, Menkes C, et al. Mechanism of the zonal displacement of the Pacific warm pool: implications for ENSO[J]. Science, 1996, 274: 1486–1489.

- [33] Lehodey P. The pelagic ecosystem of the tropical Pacific Ocean: dynamic spatial modelling and biological consequences of ENSO[J]. Prog Oceanogr, 2001, 49: 439–468.
- [34] Lehodey P M, Bertibanac J, Hampton A, et al. El Niño Southern Oscillation and tuna in the western Pacific [J]. Nature, 1997, 389: 715–718.
- [35] 李政纬. ENSO 现象对中西太平洋鲔围网渔况之影响[D]. 台北:国立台湾海洋大学, 2005: 16.
- [36] 郭爱, 陈新军, 范江涛. 中西太平洋鲔鱼时空分布及其与 ENSO 关系探讨[J]. 水产科学, 2010, 29(10): 591–596.
- [37] Butler M J A, Mouchot M C, Barale V, et al. The application of remote sensing technology to marine fisheries: an introductory manual[M]. Rome: FAO. 1988.
- [38] Young J W, Hobday A J, Campbell R A. The biological oceanography of the East Australian Current and surrounding waters in relation to tuna and billfish catches off eastern Australia[J]. Deep-Sea Res II, 2011, 58: 720–733.
- [39] Leming T D, Stuntz, W E. Zones of coastal hypoxia revealed by satellite scanning have implications for strategic fishing[J]. Nature, 310: 136–138.
- [40] Fiedler P C, Bernrd H J. Tuna aggregation and feeding near fronts observed in satellite imagery[J]. Contin Shelf Res, 1997, 7(X): X71–I.
- [41] Mugo R, Saiton S I, Nihira A. Habitat characteristics of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the western North Pacific: a remote sensing perspective[J]. Fish Oceanogr, 2010, 19(5): 382–396.
- [42] 沈新强, 王云龙, 袁骐, 等. 北太平洋鲑鱼渔场叶绿素 a 分布特点及其与渔场的关系[J]. 海洋学报, 2004, 26(6): 118–123.
- [43] 杨晓明, 陈新军, 周应祺, 等. 基于海洋遥感的西北印度洋鳶乌贼渔场形成机制的初步分析[J]. 水产学报, 2006, 30(5): 669–675.
- [44] 卒华梅. 海洋初级生产力、营养要素及海洋生物资源[J]. 海洋科学, 1986, 10(6): 62–65.
- [45] 丛丕福, 王臣立, 曲丽梅, 等. 海洋初级生产力的卫星遥感估算模型[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 1016–1019.
- [46] 李国胜, 梁强, 李柏良. 东海真光层深度的遥感反演与影响机理研究[J]. 自然科学进展, 2003, 13(1): 90–94.
- [47] 李国胜, 王芳, 梁强, 李继龙. 东海初级生产力遥感反演及其时空演化机制[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 483–493.
- [48] Chen X Q, Zhang M, Chen Q H. Primary productivity in the western tropical Pacific and equatorial warm waters[J]. Acta Oceanol Sci, 2001, 20(1): 117–129.
- [49] Pennington J T, Mahoney K L, Kuwahara V S. Primary production in the eastern tropical Pacific: A review[J]. Progr Oceanogr, 2006, 69: 285–317.
- [50] Lehodey P, Andre J M, Bertignac M. Predicting skipjack tuna forage distributions in the equatorial Pacific using a coupled dynamical bio-geochemical model[J]. Fish Oceanogr, 1998, 7(3/4), 317–325.
- [51] Loukos H, Monfray P, Bopp L, et al. Potential changes in skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) habitat from a global warming scenario: modelling approach and preliminary results[J]. Fish Oceanogr, 2003, 12(4/5): 474–482.
- [52] U.S. Fish and Wildlife Service. Standards for the development of habitat suitability index models[R]. US Fish Wildl Ser, 1981: 1–81.
- [53] U.S. Fish and Wildlife Service. Habitat suitability index models and instream flow suitability curves: inland stocks of Striped Bass[R]. Biolog Rep, 1984.
- [54] U.S. Fish and Wildlife Service. Habitat suitability index models and instream flow suitability curves: Brown Trout[R]. Biolog Rep, 1986.
- [55] Kliskeya A D, Lofrothb E C, Thompsonc W A. Simulating and evaluating alternative resource-use strategies using GIS-based habitat suitability indices[J]. Lands Urb Plan, 1999, 45: 163–175.
- [56] 苏振奋, 周成虎, 邵全琴, 等. 海洋渔业地理信息系统的发展应用与前景[J]. 水产学报, 2002, 26(2): 169–174.
- [57] Valavanis V D, Georgakarakos S, Kapantagakis A. A GIS environmental modelling approach to essential fish habitat designation[J]. Ecol Model, 2004, 178: 417–427.
- [58] Valavanis V D, Pierce G J, Zuur A F, et al. Modelling of essential fish habitat based on remote sensing, spatial analysis and GIS[J]. Hydrobiologia, 2008, 612: 5–20.
- [59] Bertignac M, Lehodey P, Hampton J. A spatial population dynamics simulation model of tropical tunas using a habitat index based on environmental parameters[J]. Fesh Oceanogr, 1998, 7(3/4): 326–334.
- [60] 郭爱, 陈新军. 基于表温的中西太平洋鲔栖息地适应指数的研究[J]. 大连水产学报, 2008, 23(6): 455–461.
- [61] 胡振明, 陈新军, 周应祺, 等. 利用栖息地适宜指数分析秘鲁外海茎柔鱼渔场分布[J]. 海洋学报, 2010, 32(5): 67–74.
- [62] 陈红波, 李继龙, 杨文波. 东黄海小黄鱼秋季索饵环境栖息指数的研究[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(4): 348–351.
- [63] 陈新军. 灰色系统理论在渔业科学中的应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 1–2.

- [64] Agenbag J J, Richardson A J, Demarcq H. Estimating environmental preferences of South African pelagic fish species using catch size and remote sensing data[J]. *Prog Oceanogr*, 2003, 59: 275–300.
- [65] 杜云艳, 周成虎, 邵全琴, 等. 案例推理的地学应用背景和方法[J]. *地球信息科学*, 2002, 3(1): 98–103.
- [66] 王海峰, 张健, 黄晓亚. 数据挖掘技术及其在渔情预报中的应用[J]. *计算机时代*, 2007, 11: 52–53.
- [67] 苏奋振, 周成虎, 刘宝银, 等. 基于海洋要素时空配置的渔场形成机制发现模型和应用[J]. *海洋学报*, 2002, 24(5): 46–56.
- [68] Dagorn L, Petit M, Stretta J M. Simulation of large-scale tropical tuna movements in relation with daily remote sensing data: the artificial life approach[J]. *BioSystems*, 1997, 44: 167–180.
- [69] Hilborn R. Determination of fish movement patterns from tag recoveries using maximum likelihood estimators[J]. *Can J. Fish. Aquat. Sci.*, 1990, 47: 635–643.
- [70] Deriso R B, Punsly R G, Bayliff W H. A markov movement model of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean and some analyses for international management[J]. *Fish Res*, 1991, 11: 375–395.
- [71] Kleiber P, Hampton J. Modeling effects of FADs and islands on movement of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*): estimating parameters from tagging data[J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1994, 51: 2642–2653.
- [72] 蒋兴伟, 宋清涛. 海洋卫星微波遥感技术发展现状与展望[J]. *科技导报*, 2010, 28(3): 105–111.
- [73] 梅安新, 彭望录, 秦其明, 等. 遥感导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 274–275.

Application of Ocean Remote Sensing On Fishing Ground Analysis: A Review

HU Kuiwei^{1,2,3}, XU Liuxiong^{1,2,3}, CHEN Xinjun^{1,2,3}, ZHU Guoping^{1,2,3}, WANG Xuefang¹

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

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

3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

4. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: The use of fishing ground analysis and forecasting model combined with geographic information system technology integrating multi-channel data feeds development of fishery real-time management. At present, there are several problems on application of ocean remote sensing on fishing ground analysis: firstly, ocean remote sensing which can only obtain surface information of fishing ground combined with oceanic vertical data from drogue can explain fish habitat conditions in detail; secondly, fishing ground color element from ocean remote sensing is not accurate enough to support fishing ground resources research; thirdly, fishing ground real-time forecast by remote sensing technology is easily influenced by weather conditions; fourthly, how to build scientific evaluation system of fishing ground model needs to be settled; finally, the key technology of intelligentized and automated fishing ground analysis and forecast needs further research. Remote sensing technology to the development of high spectral and quantitative direction, provide important conditions for the quantitative assessment of the fisheries resource. Quantitative assessment of the resource inventory of marine life in efficient development and use of marine biological resources, to guide mankind to rational development and sustainable use of ocean fishery resources is of great significance.

Key words: fishing ground; ocean remote sensing; geographic information system; forecasting model

Corresponding author: XU Liuxiong. E-mail: lxxu@shou.edu.cn