

文章编号: 1674-5566(2017)03-0440-10

DOI:10.12024/jsou.20160701826

## 卫星遥感在海洋渔业资源开发、管理与保护中的应用

官文江<sup>1,2</sup>, 高峰<sup>1,2</sup>, 陈新军<sup>1,2</sup>

(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:** 海洋渔业资源的开发、管理与保护需要大量的海洋环境数据。由于卫星遥感能大面积、长时间、近实时地获取海洋环境数据,其在海洋渔业资源开发、管理与保护中的作用越来越大。本文回顾了卫星遥感数据在海洋渔业资源评估、渔情预报、鱼类栖息地分类与保护、渔船监测、渔业安全、渔具渔法等方面的应用,探讨了在这些应用中可能存在的问题,并对其未来的发展进行了展望,为相关学者了解卫星遥感在海洋渔业资源的开发、管理与保护中的作用提供参考。

**关键词:** 卫星遥感; 海洋渔业资源; 开发; 管理; 保护

**中图分类号:** S 932      **文献标志码:** A

海洋作为鱼类赖以生存的基本空间,海洋环境影响着鱼类的繁殖、补充、生长、死亡及空间分布。由于海洋环境与海洋渔业资源的分布及数量的变动存在紧密关系,海洋渔业资源的开发、管理与保护需要大量的海洋环境数据。而卫星遥感能大面积、长时间、近实时地获取海洋环境数据,使其在海洋渔业资源开发、管理与保护中的作用越来越大。当前,卫星遥感数据已广泛应用于海洋渔业资源评估、渔情预报、鱼类栖息地分类与保护、渔船监测、渔业安全和渔具渔法等方面。为此,本文将回顾卫星遥感数据在上述几个方面的应用,以为相关学者了解卫星遥感技术在海洋渔业资源开发、管理与保护中的作用提供参考。

### 1 卫星遥感在海洋渔业资源评估中的应用

航空遥感可对部分海洋渔业资源进行直接观察、评估其资源量<sup>[1-2]</sup>,尽管卫星遥感也具有这方面的潜力<sup>[3]</sup>,但当前受空间分辨率等方面的影响,利用星载传感器直接评估渔业资源量的研究较少。利用卫星遥感数据对海洋渔业资源进行评估主要是间接的,其在海洋渔业资源评估中的

应用主要包括以下几个方面。

#### 1.1 在海洋渔业资源调查中的应用

海洋渔业资源调查是海洋渔业资源评估的重要数据来源。由于海洋渔业资源的时空分布与海洋环境紧密相关,利用卫星遥感数据能实时、有效地确定部分海洋鱼类的分布,从而能提高该鱼类资源调查的效率与质量。如蓝鳍金枪鱼(*Thunnus thynnus*) 仔幼鱼分布与环状流边界有密切关系,因此,在蓝鳍金枪鱼仔幼鱼丰度分布的调查中,利用实时的 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 卫星数据确定环状流的边界,进而确定蓝鳍金枪鱼仔幼鱼调查断面的位置,能有效提高蓝鳍金枪鱼仔幼鱼丰度分布调查的效率与质量<sup>[1,4-5]</sup>。

#### 1.2 在 CPUE 标准化中的应用

利用科学调查或渔业的渔获量与捕捞努力量数据,可计算单位捕捞努力量渔获量(CPUE)。在渔业资源评估中,常假设 CPUE 与渔业资源量成正比关系,即:

$$CPUE = qB \quad (1)$$

式中: $q$  为捕捞系数, $B$  为渔业资源量。若  $q$  为常数,则 CPUE 可作为渔业资源丰度指数,用于衡量

收稿日期: 2016-07-11      修回日期: 2017-02-18

基金项目: 国家自然科学基金联合基金重点项目(U1609202); 国家重点研发计划(2016YFC1400903)

作者简介: 官文江(1974—),男,副教授,研究方向为渔业资源评估。E-mail: wjguan@shou.edu.cn

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

渔业资源量大小、制定渔业管理措施的依据。但由于  $q$  受多种因素影响而不为常数<sup>[6]</sup>,如海洋锋面与非锋面对鱼群聚集作用不同,从而影响了捕捞效率,改变了  $q$ 。因此,当利用 CPUE 进行渔业资源评估时,必须使用海洋环境等数据对 CPUE 进行标准化,以去除环境因素对捕捞效率的影响,从而使  $q$  稳定,以重建 CPUE 与渔业资源量的正比关系。卫星遥感获取的海洋环境数据在捕捞效率的估计或 CPUE 标准化中常常不可或缺,如官文江等利用叶绿素浓度、海表水温等数据估计了海洋环境对东、黄海鲈鱼灯光围网捕捞效率的影响<sup>[7]</sup>,BIGELOW 等则利用海表温度、叶绿素浓度等数据对 CPUE 进行了标准化<sup>[8]</sup>。

### 1.3 在预测海洋渔业资源量或补充量中的应用

海洋环境变化是引起渔业资源量波动的重要因素,特别是在鱼类早期生活史阶段,洋流输送及饵料基础成为影响仔幼鱼存活率的关键因素<sup>[9-10]</sup>,而仔幼鱼存活率直接影响渔业资源的补充量,进而影响渔业资源量<sup>[11]</sup>。为此,HJORT 提出了关键期假设(Critical Period hypothesis)<sup>[9-10]</sup>。此后,CUSHING、LASKER、SINCLAIR 等在此假设的基础上提出了匹配-不匹配假设(match-mismatch hypothesis)<sup>[12]</sup>、稳定海洋假设(stable ocean hypothesis)<sup>[13]</sup>、成员-流浪者假设(member-vagrant hypothesis)<sup>[14]</sup>,以解释渔业资源量波动与海洋环境的关系。

受传统数据收集手段的影响,有关海洋环境与渔业资源量关系的假设长期得不到检验,但随着卫星遥感技术的出现,遥感数据为该假设的检验提供了条件<sup>[15]</sup>。如 PLATT 等利用叶绿素遥感资料估计了春季浮游植物大增殖时间,并分析了其与黑线鳕(*Melanogrammus aeglefinus*)存活率的关系,以检验 Hjort-Cushing 的匹配-不匹配假设,即鱼类的产卵时间与浮游植物大增殖时间的匹配程度是否影响仔幼鱼的存活率<sup>[16]</sup>。PLATT 等的结果表明:春季浮游植物大增殖期的提前有利于提高其与黑线鳕产卵时间的匹配程度,减少挨饿黑线鳕仔幼鱼的数量,从而提高了黑线鳕仔幼鱼的存活率,使黑线鳕的补充量与春季浮游植物大增殖的时间显著相关<sup>[15-16]</sup>。

浮游植物的种群与粒度结构能影响海洋渔业资源的种群结构与丰度,如 CURY 等认为在本格拉上升流系统中,当个体小的鞭毛藻占优势

时,有利于提高沙丁鱼(*Sardinops sagax*)的资源量,而当大个体的硅藻占优势时,则有利于提高鳀鱼(*Engraulis encrasicolus*)的资源丰度<sup>[17]</sup>。洋流输送则有可能改变海洋渔业资源补充量与空间分布格局<sup>[18]</sup>。

当前,利用卫星遥感技术可获取春季浮游植物大增殖的特征(开始时间、峰值强度、峰值时间、持续期)、浮游植物的种群结构与粒度结构<sup>[11]</sup>、上升流强度、洋流输送强度与方向<sup>[18]</sup>等数据,这些数据对海洋渔业资源量或补充量的变化具有指示作用,因而可以利用这些数据分析、预测海洋渔业资源量或补充量的时空变化<sup>[15,17,19-20]</sup>。

### 1.4 在估计海洋渔业资源潜在资源量中的应用

浮游植物通过光合作用将各种营养盐转变为有机物,将太阳能固定为化学能,这些有机物及能量通过食物链向不同营养级的生物进行输送,从而维持生态系统食物网各营养层的生产。如果已知海洋初级生产力及各营养级的生态转化效率,就可以依此评估海洋渔业资源的潜在资源量和潜在渔获量,确定可捕捞产量<sup>[21]</sup>。当前,利用水色、水温遥感数据可有效估算海洋初级生产力,并且相对于传统的现场观测,遥感获取的海洋初级生产力在空间分布范围、时效性等方面具有明显的优势<sup>[22]</sup>。利用海洋初级生产力估算渔业资源量已进行了较多尝试<sup>[23]</sup>,如梁强利用海洋初级生产力遥感资料估算了东海中上层鱼类的资源量,并取得了较好效果<sup>[24]</sup>。

利用海洋初级生产力估算海洋渔业资源的潜在资源量和产量,其假设是存在上行控制(Bottom-up Control)机制<sup>[23]</sup>。但受海洋生态系统状态等影响,海洋生态系统营养转换的控制机制与营养转化效率复杂多样<sup>[25-26]</sup>,海洋渔业资源量与海洋初级生产力之间可能存在非线性关系<sup>[23]</sup>。因此,在使用海洋初级生产力评估海洋渔业资源潜在资源量前,应对海洋生态系统的营养控制机制进行研究与确认<sup>[23]</sup>。

### 1.5 在研究气候变化对海洋渔业资源量影响中的应用

目前,已有长时间系列的遥感数据,如海表水温数据。这为研究海洋渔业资源量的年际、年代际变动及其与全球气候变化之间的关系提供了条件。如 COLE 采用海表温度距平遥感资料研

究了银大马哈鱼 (*Oncorhynchus kisutch*) 的存活率,其结果表明银大马哈鱼资源量减少同全球变暖趋势相关<sup>[27]</sup>;张学敏等利用海表温度距平资料研究了闽南-台湾浅滩渔场鲈鲷鱼类资源量的年代际变动,认为鲈鲷鱼类资源量自 1988 年以来呈增长趋势同该海区由冷到暖状态转换相关<sup>[28]</sup>。

### 1.6 卫星遥感数据与渔业资源评估模型的耦合

当前,将卫星遥感获取的环境参数与渔业资源评估模型进行耦合仍面临挑战<sup>[17]</sup>,其原因主要有:(1)当前主流的渔业资源评估模型仍是利用渔业与渔业资源调查数据进行渔业资源评估;(2)环境因子影响资源量变化的过程非常复杂,且缺乏了解和难以测量,因此环境参数被排除在传统的渔业资源评估模型之外<sup>[29]</sup>。但随着基于生态系统的渔业管理(Ecosystem-Based Fishery Management, EBFM)日益成为渔业管理的方向<sup>[30]</sup>,掌握种间关系,理解环境、气候变化及人类活动对鱼类生态系统的影响,以进一步耦合物理-生物-渔业过程,将是今后渔业资源评估模型研究的重要内容。而随着这类模型的出现与使用,如 SEAPODYM (Spatial Ecosystem and Population Dynamics Model)<sup>[31-32]</sup>,将会对海洋观测数据提出更高的要求,而卫星遥感数据对此类模型的应用必将会不可或缺。

## 2 卫星遥感在海洋渔情预报中的应用

海洋作为海洋鱼类赖以生存的基本空间,海洋鱼类的繁殖、索饵、洄游等与海洋环境密不可分。当掌握了鱼类生物学、鱼类行为特征与海洋环境之间的关系,就能利用收集的海洋环境等数据,对目标鱼种资源状况各要素如渔期、渔场、鱼群数量、质量以及可能达到的渔获量等做出预报<sup>[33]</sup>。因此,获取海洋环境信息,研究海洋环境特点及演化过程是海洋渔情预报的基础。由于卫星遥感能近实时、大面积地为渔情预报提供丰富的海洋环境数据,并且,这些数据不仅给出了海洋环境要素的值,同时也能表达要素的空间结构(如锋面、涡等)及其演变过程。卫星遥感数据的应用能有效提高渔情预报的准确率与精度,有助于渔民减少寻鱼时间、节省燃料,降低渔业生产成本。

当前,卫星遥感能提供多种海洋环境要素的信息产品,但从对渔情分析的重要性及应用的深

度和广度来看,应用于渔情预报的卫星遥感数据主要是海表水温、叶绿素浓度和海面高度数据<sup>[34]</sup>。

### 2.1 海表水温在渔情预报中的应用

鱼类是变温动物,通常鱼类体温随环境温度的不同而发生改变。鱼类在最适温度范围内活动正常,若超出最适温度范围,鱼类的活动就会受到抑制,甚至导致死亡。为适应水温的变化,鱼类常进行南、北,近海、深海洄游或昼夜垂直移动。因此,水温是控制鱼类空间分布的重要环境参数,而研究渔场温度特征值从而对渔场位置进行判断是渔情预报最常用的方法。如通过对性成熟、捕捞产量与实测水温的分析,YANG 等发现日本沙丁鱼 (*Sardinops melanostictus*) 在对马水域渔场的最适温度范围为 11 ~ 20 °C,当该海域水温升高则意味着渔期提前,而当水温超过 20 °C 时,则该渔场渔期结束。因此,利用遥感水温数据及渔场形成的温度特征值能准确预测该渔场的渔发时间及产量<sup>[35]</sup>。

遥感水温数据不仅给出了每个位置的温度,同时也提供了温度的空间配置信息。温度的空间配置能有效反映水团分布或海洋动力过程。根据温度的空间配置,可进一步提取温度锋面、涡旋、水团、流场等信息,这些信息可用于推测浮游动植物的分布、流场的强弱等,从而能有效确定渔场的位置<sup>[34]</sup>。如 SCHICK 等的研究结果表明缅甸湾蓝鳍金枪鱼 (*Thunnus thynnus*) 的空间分布同海表温度锋面关系密切<sup>[36]</sup>,而 SAITOH 等的研究结果显示太平洋秋刀鱼 (*Cololabis saira*) 的洄游路线受黑潮暖心环 (Kuroshio warm-core rings) 影响,通过对黑潮暖心环及周围冷水的监测,可为秋刀鱼渔场位置提供短期预报<sup>[37]</sup>。由于海表水温影像能有效表现洋流运动的方向、位置与强度,而洋流的空间分布与强度对渔场位置具有重要的影响,如官文江的研究结果表明黄海海域鲈鱼冬季渔场就分布在黄海暖流的流轴上,黄海暖流的强度、伸展的方向与位置决定着黄海海域鲈鱼渔场的位置与渔发时间<sup>[38]</sup>。利用遥感温度数据的时间系列,可获取温度距平、温度较差及温度动态演变信息,这些信息对渔情预报也有重要意义,如温度距平反映与常年温度相比,哪些海域的温度偏高或偏低。温度的偏高或偏低有可能改变鱼类洄游的时间与路线,影响鱼类的

时空分布,如官文江等分析东海南部鲈鱼渔场与温度距平关系时发现,当该海域水温比往年偏低时,渔场常不能形成,随水温距平的升高,捕捞产量会相应地升高,而当水温过高,则会使渔场位置北移至舟山外海附近,这种关系的形成是因为水温能影响鲈鱼的洄游时间及路线选择<sup>[7]</sup>。此外,利用连续的遥感水温图,能有效分析海洋环境的演化动态及鱼类的响应过程。如官文江的结果表明水温由北及南、由沿岸向外海随时间逐步降低时,鲈鱼也由北及南,由沿岸向外海洄游、聚集,形成渔场,渔场形成与水温的时空演化相对应<sup>[38]</sup>。因此,利用水温的连续变化图,能有效分析渔场的位置及其演化脉络。

## 2.2 叶绿素浓度在渔情预报中的应用

叶绿素浓度的大小能反映海洋浮游植物生物量的多少,而浮游植物、浮游动物、鱼类之间存在食物关系,因此,浮游植物资源丰富的海域,通常会聚集较高丰度的浮游动物,而浮游动植物会吸引以其为食的鱼类,从而使鱼类资源聚集。所以,可以通过观察叶绿素浓度的高低及其变化来进行渔场分析。但受溶解氧、透明度、目标鱼种营养级及摄食方式等影响,叶绿素浓度的高值区并非总与渔获物高产区相对应<sup>[39]</sup>,如北太巴特柔鱼(*Ommastrephes bartrami*)渔场,主要渔获产量对应的叶绿素浓度范围在 $0.1 \sim 0.6 \text{ mg/m}^3$ ,当叶绿素浓度含量为 $0.12 \sim 0.14 \text{ mg/m}^3$ 时,渔获出现的频次最高<sup>[40]</sup>。

同样,叶绿素浓度的空间分布形态与海洋水团及海洋动力过程紧密相关,如海洋锋面、涡旋的分布及演化均能在叶绿素浓度空间分布图中有所表现<sup>[34]</sup>,并对海洋渔业资源的空间分布具有指示作用。如 POLOVINA 等发现长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)、海龟(*Caretta caretta*)沿过渡区叶绿素锋面(Transition Zone Chlorophyll Front, TZCF)进行洄游<sup>[41]</sup>。TZCF 位于低叶绿素浓度的副热带环流(Subtropical gyres)和高叶绿素浓度的亚北极环流(Subarctic gyres)之间的辐合区,该叶绿素锋面能为顶级掠食者提供丰富的饵料<sup>[41]</sup>。

## 2.3 海面高度在渔情预报中的应用

海面高度与水团、流系、海流、潮流等紧密相关,是这些海洋动力要素综合作用的结果<sup>[40]</sup>。当把海面高度与温度场进行对比分析时,可发现海面高度距平与冷暖水团的配置具有很好的对应

关系,如在北半球,海面高度的正距平区域对应顺时针方向的暖中心,海面高度负距平海域对应逆时针方向的冷涡,而正负距平区域边缘的过渡区通常形成锋面<sup>[40]</sup>,某些鱼类易在此集群形成渔场,如鲈鱼渔场<sup>[7]</sup>、剑鱼渔场<sup>[40]</sup>等。

此外,透明度、海冰、盐度等遥感产品也是渔情预报的重要数据,同时遥感反演的多种海洋环境数据又能派生出一系列新的数据如海洋初级生产力、涡动能(Eddy Kinetic Energy, EKE)等,这些数据也在渔情预报中有着较为广泛的应用<sup>[7]</sup>。

在渔情预报时,若能有效利用多种环境要素数据与 GIS(Geographic Information System)软件,并结合渔业专家经验或渔情预报模型,往往能有效减少渔场预测的范围,从而能提高渔情预报的准确率和效率<sup>[33,42]</sup>。

## 3 卫星遥感在海洋鱼类栖息地分类与保护中的应用

卫星遥感为海洋鱼类栖息地分类与保护提供了数据,其在海洋鱼类栖息地分类与保护中的应用主要包括以下几个方面。

### 3.1 在海洋生态区分类中的应用

鱼类及其生物、非生物环境相互作用、相互影响,构成一个相互连接的生态网络。因此,基于生态系统的渔业管理日益成为渔业管理方向<sup>[30,43]</sup>,而理解鱼类栖息地生态系统的结构、功能及演化,是建立基于生态系统渔业管理的基础。对海洋生态区(Ecological province)进行分类是研究鱼类栖息地生态系统结构、功能、时空变动规律及比较不同生态系统特点的前提,卫星遥感数据则是海洋生态区分类的重要信息源。

LONGHURST 便利用了遥感获取的叶绿素浓度数据,对全球海洋生态区进行了分类<sup>[44]</sup>。但由于海洋生态区的时空分布具有显著的季节与年际变化特点,DEVRED 等<sup>[45]</sup>在 LONGHURST 分类<sup>[44]</sup>的基础上,提出了利用海洋水色、水温并结合其它数据,动态确定海洋生态区边界的新方法,使海洋生态区的确定更合理。

由于同一海洋生态区具有类似的物理与生物特征,海洋生物的时空分布和组成与 LONGHURST 划分的海洋生态区匹配较好<sup>[46]</sup>,如黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)主要分布于热带海洋西部区,

大眼金枪鱼 (*Thunnus obesus*) 则主要占据太平洋、大西洋热带浅温跃层区<sup>[43]</sup>。因此,在全球尺度下,定义、识别、监测海洋生态区是海洋生态系统管理、海洋生物多样性保护的前提与基础<sup>[43,47]</sup>,也是实行基于生态系统渔业管理的前提与基础。

### 3.2 在确定鱼类关键栖息地中的应用

确定鱼类关键栖息地(如索饵场、产卵场、洄游路线、育成场等)对海洋渔业资源的管理与保护至关重要。如根据不同鱼类的栖息地分布,可合理安排捕捞努力量,以减少兼捕<sup>[46,48]</sup>、使渔业资源保持合理的种群结构<sup>[49]</sup>;对濒危物种栖息地的确定有助于建立海洋保护区(Marine protected areas, MPAs),以保护濒危物种<sup>[49]</sup>。

利用标志放流、渔业及卫星遥感数据,可建立栖息地模型,进而利用栖息地模型及卫星遥感数据可有效确定鱼类的关键栖息地,如鱼类的产卵场、索饵场及洄游路线等。如 DRUON 利用海表温度、叶绿素浓度、叶绿素浓度峰与海表温度峰数据预测了蓝鳍金枪鱼 (*Thunnus thynnus*) 的索饵场、产卵场<sup>[49]</sup>; POLOVINA 等根据 TZCF 确定了海龟 (*Caretta caretta*) 的洄游路线<sup>[41]</sup>; CHEN 等利用海表温度、海面高度异常值及渔业数据,构建了栖息地指数模型,利用该模型可有效确定北太平洋中部柔鱼 (*Ommastrephes bartrami*) 的最佳栖息地<sup>[50]</sup>。

### 3.3 在鱼类栖息地监测与保护中的应用

卫星遥感为鱼类栖息地的监测与保护提供了重要的数据支持<sup>[51]</sup>。如可利用卫星遥感技术监测海洋鱼类栖息地的叶绿素浓度、海洋初级生产力、黄色物质浓度、悬浮颗粒物浓度、透明度、海表水温等海洋环境参数,以评估海洋鱼类栖息地的状态及气候变化引起的影响<sup>[43]</sup>。通过监测海岸带栖息地生态系统的悬浮颗粒物与黄色物质浓度的变化,以评估人类活动对海岸带栖息地生态系统的影响,并可为海岸带栖息地的科学管理与保护提供依据<sup>[52]</sup>。

利用卫星遥感数据可监测栖息地的灾害事件,这对制定应对措施、减少其对海洋渔业资源的影响至关重要。如溢油事件对鱼类栖息地生态系统带来非常严重的影响,会导致鱼卵、幼鱼的死亡,干扰成鱼的繁殖,污染其饵料等<sup>[53]</sup>。利用 SAR 或 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer) 等传感器获取的数据能对溢油进行有效的监测、追踪<sup>[43]</sup>,这对评估损失,制定修复措施非常有益。监

测珊瑚礁生态系统海域的海表水温变化可用于评估、预测发生珊瑚礁“漂白”事件的危险<sup>[54]</sup>,从而提高对该类事件的应对能力。

## 4 卫星遥感在渔船监测中的应用

尽管船舶监视系统 (Vessel Monitoring System, VMS) 能近实时地收集渔船位置信息,但并不是每条渔船均装有 VMS,同时 VMS 可能会出现故障、被渔民关闭、甚至被操纵而报告错误信息的情况<sup>[55-57]</sup>。因此,卫星遥感技术成为了另一种重要的渔船动态监测手段<sup>[58]</sup>。利用遥感卫星监测渔船动态通常采用高分辨率的光学卫星<sup>[59]</sup>或雷达卫星<sup>[57]</sup>。

光学卫星可利用其高空间分辨率的优势,在白天可直接对渔船进行监测、识别,并能获得相当多的有关船舶的信息<sup>[60]</sup>;而在晚上则主要通过探测渔船灯光(如集鱼灯灯光)以获得渔船分布信息<sup>[59]</sup>。

尽管光学卫星能提供高空间分辨率的渔船影像数据,但基于光学影像的渔船检测与分类算法落后于雷达影像<sup>[60]</sup>。同时受光照条件的影响,光学卫星的有效信息量较小。因此,雷达卫星在渔船动态监测应用上更具优势<sup>[61]</sup>。合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar, SAR) 卫星在渔船动态监测方面得到了广泛应用<sup>[55,57]</sup>。目前,加拿大、美国和欧盟等国家利用星载 SAR、VMS 系统以及海洋巡逻船构建了一套完整的对违规渔船实行监测的体系,并已有成熟的应用系统<sup>[55,57]</sup>。

通过对渔船实行动态监测,可获取渔船类型、渔船分布,可用于渔场捕捞努力量的估计,同时又可对非法、无管制和未报告渔船 (Illegal, Unregulated and Unreported, IUU) 实行有效的监管与执法<sup>[57]</sup>。

## 5 卫星遥感在渔业安全中的应用

通过卫星遥感技术可及时、快速获取云图、风速、有效波高、海冰等数据。这些数据能增加天气预报的准确率,有效提高海洋捕捞作业安全,避免损失<sup>[62]</sup>;通过对赤潮、海洋污染的有效监测,能为海洋渔业养殖业的安全提供保障<sup>[63-65]</sup>。

## 6 卫星遥感在渔具渔法上的应用

利用鱼类趋光行为,采用集鱼灯诱、集鱼类是

重要的捕捞作业方式之一,在鲈鳕鱼围网、鱿鱼敷网、鱿钓、秋刀鱼舷提网等渔业中广泛使用。要获得最佳适宜光诱区和集鱼区,取得最佳诱鱼、集鱼效果,必须根据捕捞对象及其栖息地水光学的特点,量化控制光能的使用,并合理安排集鱼灯与钓具。集鱼灯水下光场的科学计算是量化控制光能使用,合理安排集鱼灯(如灯高、灯间距、总功率、舷边距、灯船间距等)与钓具(钓具颜色等)的前提。集鱼灯水下光场的计算依赖于叶绿素浓度、黄色物质浓度、悬浮颗粒物浓度及风速等数据,而这些数据可通过卫星遥感获取<sup>[66]</sup>。

## 7 存在的问题与展望

### 7.1 存在的问题

当前,卫星遥感在海洋渔业中的应用依然存在如下问题<sup>[65]</sup>。

(1) 遥感数据的精度问题。如目前,卫星遥感反演的叶绿素浓度的精度大约只有 35% ~ 40%, 并且近岸精度更差,因此使用卫星遥感观测的叶绿素浓度特征值分析渔场还不能完全满足业务化应用需求<sup>[34]</sup>,叶绿素浓度等参数的反演精度有待进一步提高。

(2) 云的影响。云限制了可见光与红外遥感数据在渔业上的应用<sup>[67]</sup>,尽管微波遥感可以克服云的影响,但微波遥感无法获得水色资料和高空间分辨率的水温资料。

(3) 从遥感数据中提取相关信息的能力还比较弱,如遥感数据的空间结构(涡旋等)、时间结构(变化的前后联系性)隐含了丰富的、能反映海洋环境时空演化动态的信息,这些信息对渔情预报至关重要。但目前,该类信息的提取与表达仍存在问题,这也影响了遥感数据在海洋渔业上的有效利用。

(4) 卫星遥感数据仅提供当前或过去的海洋表层信息,而海洋渔业特别是渔情预报更需要海洋三维环境数据及预测数据。因此,必须利用其它模型对卫星遥感数据进行数据同化,以提供海洋环境三维及预测数据,但目前,这类模型仍有待提高精度与业务化能力。

(5) 不同传感器获得的同类数据可能存在差异,因此,在同时使用这些数据时(如长时间系列),应对不同来源的卫星数据进行标定<sup>[23]</sup>。但目前,不同网站提供的遥感数据可能缺少这种标定,

这可能会影响相关渔业模型结果的可靠性<sup>[68]</sup>。

### 7.2 展望

当前,中国、美国、欧空局、日本、印度等国家发射了多颗气象、水色、地形、动力环境卫星,这些卫星能获取叶绿素浓度、海洋初级生产力、海表温度、海面风、海表面盐度、海面高度、有效波高和海冰等数据,这些数据已广泛应用于海洋渔业资源评估、渔情预报、鱼类栖息地分类与保护和渔业安全等方面。未来,(1)随着卫星遥感技术的发展,卫星遥感获取的产品将会不断增加,产品的精度及空间分辨率也将会不断提高,如溶解氧与高光谱反射率数据具有较好的相关性<sup>[69]</sup>,这为溶解氧的遥感探测提供了可能性;随着大气校正技术、生物光学算法等理论的发展及海洋观测数据的增加,将有助于提高水色产品的反演精度<sup>[67]</sup>。(2)随着静止水色卫星在轨运行及多卫星数据融合技术的发展,将有助于提高遥感数据的覆盖率与准确度,提高遥感数据的时效性,减少云对可见光与红外遥感的影响<sup>[67]</sup>。(3)随着物理海洋模型与卫星遥感数据同化技术的发展,利用卫星遥感数据能有效提高三维环境要素场的计算与预测精度,这有助于提高卫星遥感数据在海洋渔业中的应用价值<sup>[32]</sup>。因此,卫星遥感技术已成为海洋渔业研究的重要手段,卫星遥感数据在海洋渔业资源开发、管理与保护中不可或缺<sup>[65]</sup>。

### 参考文献:

- [1] SANTOS A M P. Fisheries oceanography using satellite and airborne remote sensing methods: a review [J]. Fisheries Research, 2000, 49(1): 1-20.
- [2] ROITHMAY C M. Airborne low-light sensor detects luminescing fish schools at night [J]. Commercial Fisheries Review, 1970, 32(12): 42-51.
- [3] LAURS R M. Overview of satellite remote sensing applications in fisheries research [C]//BOEHLERT G W, SCHUMACHER J D. Changing Oceans and Changing Fisheries: Environmental Data for Fisheries Research and Management (NOAA-TM-NMFS-SWFSC-239). La Jolia, California, USA: Southwest Fisheries Science Center, 1997: 9-16.
- [4] RICHARDS W J, LEMING T, MCGOWAN M F, et al. Distribution of fish larvae in relation to hydrographic features of the Loop Current boundary in the Gulf of Mexico [J]. Early Life History of Fish, 1989, 191: 169-176.
- [5] RICHARDS W J, MCGOWAN M F, LEMING T, et al. Larval fish assemblages at the loop current boundary in the

- gulf of Mexico[J]. Bulletin of Marine Science, 1993, 53(2): 475-537.
- [6] 官文江, 高峰, 雷林, 等. 渔业资源评估中的回顾性问题[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(5): 841-847.  
GUAN W J, GAO F, LEI L, et al. Retrospective problem in fishery stock assessment[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(5): 841-847.
- [7] 官文江, 陈新军, 高峰, 等. 海洋环境对东、黄海鲈鱼灯光围网捕捞效率的影响[J]. 中国水产科学, 2009, 16(6): 949-958.  
GUAN W J, CHEN X J, GAO F, et al. Environmental effects on fishing efficiency of *Scomber japonicus* for Chinese large lighting purse seine fishery in the Yellow and East China Seas[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(6): 949-958.
- [8] BIGELOW K A, BOGGS C H, HE X. Environmental effects on swordfish and blue shark catch rates in the US North Pacific longline fishery[J]. Fisheries Oceanography, 1999, 8(3): 178-198.
- [9] HJORT J. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe, viewed in the light of biological research[J]. Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil Permanent International Pour L'Exploration de la Mer, 1914, 20: 1-228.
- [10] HJORT J. Fluctuations in the year classes of important food fishes[J]. ICES Journal of Marine Science, 1926, 1(1): 5-38.
- [11] STUART V, PLATT T, SATHYENDRANATH S. The future of fisheries science in management: a remote-sensing Perspective[J]. ICES Journal of Marine Science, 2011, 68(4): 644-650.
- [12] CUSHING D H. Marine Ecology and Fisheries [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1975.
- [13] LASKER K. Field criteria for the survival of anchovy larvae: The relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding[J]. Fishery Bulletin, 1975, 73: 453-462.
- [14] SINCLAIR M. Marine Populations: An Essay on Population Regulation and Speciation (Books in Recruitment Fishery Oceanography) [M]. Seattle: University of Washington Press, 1988.
- [15] PLATT T, SATHYENDRANATH S, FUENTES-YACO C. Biological oceanography and fisheries management: perspective after 10 years[J]. ICES Journal of Marine Science, 2007, 64(5): 863-869.
- [16] PLATT T, FUENTES-YACO C, FRANK K T. Marine ecology: Spring algal bloom and larval fish survival[J]. Nature, 2003, 423(6938): 398-399.
- [17] CURY P M, SHIN Y J, PLANQUE B, et al. Ecosystem oceanography for global change in fisheries[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2008, 23(6): 338-346.
- [18] POLOVINA J J, KLEIBER P, KOBAYASHI D R. Application of TOPEX-POSEIDON satellite altimetry to simulate transport dynamics of larvae of spiny lobster, *Panulirus marginatus*, in the Northwestern Hawaiian Islands, 1993-1996[J]. Fishery Bulletin, 1999, 97(1): 132-143.
- [19] CURY P, ROY C. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1989, 46(4): 670-680.
- [20] BAKUN A. Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage[J]. Scientia Marina, 2006, 70(s2): 105-122.
- [21] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.  
ZHAN B Y. Fishery Stock Assessment[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1995.
- [22] 官文江, 何贤强, 潘德炉, 等. 渤、黄、东海海洋初级生产力的遥感估算[J]. 水产学报, 2005, 29(3): 367-372.  
GUAN W J, HE X Q, PAN D L, et al. Estimation of ocean primary production by remote sensing in Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(3): 367-372.
- [23] 官文江, 陈新军, 高峰, 等. 东海南部海洋净初级生产力与鲈鱼资源量变动关系的研究[J]. 海洋学报, 2013, 35(5): 121-127.  
GUAN W J, CHEN X J, GAO F, et al. Study on the dynamics of biomass of chub mackerel based on ocean net primary production in southern East China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2013, 35(5): 121-127.
- [24] 梁强. 基于遥感的东海上层鱼类资源评估的研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2002.  
LIANG Q. Study on the assessment of the pelagic fishes in the East China Sea based on remote sensing [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2002.
- [25] CHASSOT E, M&Egrave;LIN F, LE PAPE O, et al. Bottom-up control regulates fisheries production at the scale of eco-regions in European seas [J]. Marine Ecology Progress Series, 2007, 343: 45-55.
- [26] HUNTER M D, PRICE P W. Playing chutes and ladders: heterogeneity and the relative roles of bottom-up and top down forces in natural communities[J]. Ecology, 1992, 73(2): 724-732.
- [27] COLE J. Coastal sea surface temperature and coho salmon production off the north-west United States [J]. Fisheries Oceanography, 2000, 9(1): 1-16.
- [28] 张学敏, 商少平, 张彩云, 等. 闽南-台湾浅滩渔场海表温度对鲈鲷鱼类群聚资源年际变动的影响初探[J]. 海洋通报, 2005, 24(4): 91-96.  
ZHANG X M, SHANG S P, ZHANG C Y, et al. Potential influence of sea surface temperature on the interannual fluctuation of the catch and the distribution of chub mackerel and round scad in the Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground,

- China[J]. Marine Science Bulletin, 2005, 24(4): 91-96.
- [29] KOELLER P, FRIEDLAND K, FUENTES-YACO C, et al. Remote sensing applications in stock assessments [C]//FORGET M H, STUART V, PLATT T. Remote Sensing in Fisheries and Aquaculture, IOCCG Report Number 8. and Monographs of the International Ocean-Colour Coordinating Group. Dartmouth, Nova Scotia, Canada: OCCG, 2009: 26-42.
- [30] PIKITCH E K, SANTORA C, BABCOCK E A, et al. Ecosystem-based fishery management [J]. Science, 2004, 305(5682): 346-347.
- [31] LEHODEY P, SENINA I, MURTUGUDDE R. A spatial ecosystem and populations dynamics model (SEAPODYM)-Modeling of tuna and tuna-like populations [J]. Progress in Oceanography, 2008, 78(4): 304-318.
- [32] DRAGON A C, SENINA I, TITAUD O, et al. An ecosystem-driven model for spatial dynamics and stock assessment of North Atlantic albacore [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2015, 72(6): 864-878.
- [33] 陈新军, 高峰, 官文江, 等. 渔情预报技术及模型研究进展 [J]. 水产学报, 2013, 37(8): 1270-1280.  
CHEN X J, GAO F, GUAN W J, et al. Review of fishery forecasting technology and its models [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(8): 1270-1280.
- [34] 樊伟, 周甦芳, 沈建华. 卫星遥感海洋环境要素的渔场渔情分析应用 [J]. 海洋科学, 2005, 29(11): 67-72.  
FAN W, ZHOU S F, SHEN J H. An application of satellite remote sensing-derived marine environment factors to marine fisheries: a review [J]. Marine Sciences, 2005, 29(11): 67-72.
- [35] YANG J M, GU C C, LI L Y, et al. Satellite remote sensing prediction of Japanese pilchard fishing ground in the Huanghai Sea and the East China Sea [J]. Science in China (Series B), 1995, 38(3): 336-344.
- [36] SCHICK R S, GOLDSTEIN J, LUTCAVAGE M E. Bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) distribution in relation to sea surface temperature fronts in the gulf of marine (1994-96) [J]. Fisheries Oceanography, 2004, 13(4): 225-238.
- [37] SAITOH S, KOSAKA S, HISAKA J. Satellite infrared observations of Kuroshio warm-core rings and their application to study of Pacific saury migration [J]. Deep-Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, 1986, 33(11/12): 1601-1615.
- [38] 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.  
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.
- [39] LAURS R M, FIEDLER P C, MONTGOMERY D R. Albacore tuna catch distributions relative to environmental features observed from satellites [J]. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, 1984, 31(9): 1085-1099.
- [40] 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.
- [41] POLOVINA J J, HOWELL E, KOBAYASHI D R, et al. The transition zone chlorophyll front, a dynamic global feature defining migration and forage habitat for marine resources [J]. Progress in Oceanography, 2001, 49(1/4): 469-483.
- [42] MUGO R, SAITOH S, NIHIRA A, et al. Application of multi-sensor satellite and fishery data, statistical models and marine-gis to detect habitat preferences of skipjack tuna [C]//MORALES J, STUART V, PLATT T, et al. Handbook of Satellite Remote Sensing Image Interpretation: Applications for Marine Living Resources Conservation and Management. Dartmouth, Canada, 2011: 169-185.
- [43] WILSON C, CHEN C S, CLARK C W, et al. Remote sensing applications to marine resources management [C]//FORGET M H, STUART V, PLATT T. Remote Sensing in Fisheries and Aquaculture, IOCCG Report Number 8. International Ocean-Colour Coordinating Group. Dartmouth, Nova Scotia, Canada, 2009: 43-56.
- [44] LONGHURST A R. Ecological Geography of the Sea [M]. 2nd ed. Burlington: Academic Press, 2007.
- [45] DEVRED E, SATHYENDRANATH S, PLATT T. Delineation of ecological provinces using ocean colour radiometry [J]. Marine Ecology Progress Series, 2007, 346: 1-13.
- [46] CHASSOT E, BONHOMMEAU S, REYGONDEAU S, et al. Satellite remote sensing for an ecosystem approach to fisheries management [J]. ICES Journal of Marine Science, 2011, 68(4): 651-666.
- [47] PAULY D, CHRISTENSEN V, FROESE R, et al. Mapping fisheries onto marine ecosystems: a proposal for a consensus approach for regional, oceanic and global integrations [R]. Fisheries Centre Research Reports, 2000: 13-22.
- [48] HOWELL E A, KOBAYASHI D R, PARKER D M, et al. TurtleWatch: a tool to aid in the bycatch reduction of loggerhead turtles *Caretta caretta* in the Hawaii-based pelagic longline fishery [J]. Endangered Species Research, 2008, 5: 267-278.
- [49] DRUON J N. Habitat mapping of the Atlantic bluefin tuna derived from satellite data: its potential as a tool for the sustainable management of pelagic fisheries [J]. Marine Policy, 2010, 34(2): 293-297.
- [50] CHEN X J, TIAN S Q, LIU B L, et al. Modeling a habitat suitability index for the eastern fall cohort of *Ommastrephes bartramii* in the central North Pacific Ocean [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2011, 29(3): 493-504.



- [51] KACHELRIESS D, WEGMANN M, GOLLOCK M, et al. The application of remote sensing for marine protected area management [J]. *Ecological Indicators*, 2014, 36: 169-177.
- [52] ONEY B, SHAPIRO A, WEGMANN M. Evolution of water quality around the Island of Borneo during the last 8-years [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, 7: 200-205.
- [53] 张九新. 海上溢油对海洋生物的损害评估研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2011.
- ZHANG J X. Study on marine species damage assessment in oil spills[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2011.
- [54] MAYNARD J A, TURNER P J, ANTHONY K R N, et al. ReefTemp: an interactive monitoring system for coral bleaching using high-resolution SST and improved stress predictors[J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(5): L05603.
- [55] 田巴睿, 王超, 张红. 星载 SAR 舰船检测技术及其在海洋渔业监测中的应用[J]. *遥感技术与应用*, 2007, 22(4): 503-512.
- TIAN S R, WANG C, ZHANG H. Ship detection with spaceborne SAR and its application in oceanic fishery monitoring[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2007, 22(4): 503-512.
- [56] DETSIS E, BRODSKY Y, KNUDTSON P, et al. Project Catch: A space based solution to combat illegal, unreported and unregulated fishing Part I: Vessel monitoring system [J]. *Acta Astronautica*, 2012, 80: 114-123.
- [57] PEREZ J C, ALVAREZ M A, HEIKKONEN J, et al. The efficiency of using remote sensing for fisheries enforcement Application to the Mediterranean bluefin tuna fishery [J]. *Fisheries Research*, 2013, 147: 24-31.
- [58] 陈雪忠, 樊伟. 空间信息技术与深远海渔业资源开发[J]. *生命科学*, 2012, 24(9): 980-985.
- CHEN X Z, FAN W. Spatial information technology and distant water fisheries development [J]. *Chinese Bulletin of Life Sciences*, 2012, 24(9): 980-985.
- [59] WALUDA C M, YAMASHIRO C, ELVIDGE C D. Quantifying light-fishing for *Dosidicus gigas* in the eastern Pacific using satellite remote sensing[J]. *Remote sensing of environment*, 2004, 91(2): 129-133.
- [60] GREIDANUS H, KOURTI N. Findings of the DECLIMS project-detection and classification of marine traffic from space [C]//LACOSTE H, OUWEHANG L. Proceeding of SEASAR 2006: Advances in SAR Oceanography from Envisat and ERS Missions(Frascati, Italy). Noordwijk, the Netherlands; ESA Publication Division, 2006.
- [61] KOURTI N, SHEPHERD I, GREIDANUS H, et al. Integrating remote sensing in fisheries control [J]. *Fisheries Management and Ecology*, 2005, 12:295-307.
- [62] MONTGOMERY D R. Commercial applications of satellite oceanography[J]. *Oceanus*, 1981, 24: 56-65.
- [63] KEMMERER A J, SAVASTANO K J, FALLER K H. Applications of space observations to the management and utilization of coastal fishery resources [C]//GODBY E A, OTTERMAN J. The Contribution of Space Observations to Global Food Information Systems. Oxford: Pergamon Press, 1978: 143-155.
- [64] 丛丕福, 赵冬至, 曲丽梅. 利用卫星遥感技术监测赤潮的研究[J]. *海洋技术*, 2001, 20(4): 69-72.
- CONG P F, ZHAO D Z, QU L M. Monitoring harmful algae bloom by satellite remote sensing [J]. *Ocean Technology*, 2001, 20(4): 69-72.
- [65] 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]. *大连水产学院学报*, 2007, 22(1): 62-66.
- GUAN W J, CHEN X J, PAN D L. A review: application and research of remote sensing in marine fisheries [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2007, 22(1): 62-66.
- [66] 官文江, 钱卫国, 陈新军. 应用 Monte Carlo 方法计算水上集鱼灯向下辐照度在一类海水中的分布[J]. *水产学报*, 2010, 34(10): 1595-1564.
- GUAN W J, QIAN W G, CHEN X J. Computing underwater downward irradiance of fish aggregation lamps in class I ocean water based on Monte Carlo method [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(10): 1595-1564.
- [67] 潘德炉, 龚芳. 我国卫星海洋遥感应用技术的最新进展[J]. *杭州师范大学学报(自然科学版)*, 2011, 10(1): 1-10.
- PAN D L, GONG F. Progress in application technology of satellite ocean remote sensing in China [J]. *Journal of Hangzhou normal University (Natural Science Edition)*, 2011, 10(1): 1-10.
- [68] 官文江, 高峰, 雷林, 等. 多种数据源下栖息地模型及预测结果的比较[J]. *中国水产科学*, 2015, 22(1): 149-157.
- GUAN W J, GAO F, LEI L, et al. Comparisons of the habitat suitability index models developed by multi-source data and forecasting [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(1): 149-157.
- [69] THEOLOGOU I, PATELAKI M, KARANTZALOS K. Can single empirical algorithms accurately predict inland shallow water quality status from high resolution, multi-sensor, multi-temporal satellite data [J]. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2015, XL-7/W3: 1511-1516.

## Review of the applications of satellite remote sensing in the exploitation, management and protection of marine fisheries resources

GUAN Wenjiang<sup>1,2</sup>, GAO Feng<sup>1,2</sup>, CHEN Xinjun<sup>1,2</sup>

(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*)

**Abstract:** Ocean environmental data are urgently needed in the exploitation, management and protection of marine fisheries resources. The large-area, long-time-period and near-real-time ocean environmental data can be collected by using satellite remote sensing and the technology of satellite remote sensing is playing an increasingly important role in the exploitation, management and protection of marine fisheries resources. In this paper, we reviewed the applications of satellite remote sensing data in fishery stock assessment, fishery forecasting, classification and conservation of marine fish habitat, vessel monitoring, fishery safety and fishing gear and methods. Meanwhile, we also discussed the problems of the applications in fisheries and presented prospects for the future development. The review is presented as a reference for scholars to understand the role of satellite remote sensing in the exploitation, management and protection of marine fishery resources.

**Key words:** satellite remote sensing; fisheries resources; exploitation; management; protection