

卫星遥感海洋环境要素的渔场渔情分析应用

An application of satellite remote sensing-derived marine environment factors to marine fisheries: a review

樊伟¹, 厍甦芳², 沈建华²

(1. 东海水产研究所 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090; 2. 中国水产科学研究院 渔业资源遥感信息技术重点开放实验室, 上海 200090)

中图分类号: S931.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2005)11-0067-06

20世纪70年代初 Laurs, Kemmerer, Stevenson 等^[1~3]的试验性研究使得卫星遥感海水表层温度(SST)和海洋水色信息在渔场渔情分析中得到初步应用。由于卫星遥感所获取的各类海洋环境要素信息能够帮助渔民减少寻鱼时间, 节约燃料, 提高渔捞效率, 因此, 随着卫星遥感技术的快速发展和所获取海洋环境要素的增加, 海水叶绿素、海面高度及海流信息等也迅速运用到商业捕捞中^[4~6]。与此同时, 卫星遥感反演精度的提高也使得其在渔场渔情分析中的应用从试验研究阶段走向业务化应用。作者在近年国家 863 项目研究和文献整理的基础上, 对卫星遥感 SST、海洋水色、海面高度和海流等信息的渔场渔情分析方法给予概括总结。

1 卫星遥感 SST

卫星遥感 SST 信息可通过热红外遥感和被动微波遥感方式获取。热红外遥感起步于 20 世纪 60 年代, 发展成熟于 80 年代, 80 年代后期逐渐投入业务化应用, 但由于受云、雾遮挡的影响而通常采用云检测及云替补的方法经过多轨道影像的数据融合而制作生成周期 3~10 d 左右的 SST 产品或衍生的温度梯度、温度距平图。被动微波辐射计遥感 SST 虽然可以不受云雾遮挡的影响, 但由于空间分辨率和反演精度较低, 目前还难以满足业务化应用。热红外遥感 SST 又可分为极轨卫星和地球静止卫星两种方式, 极轨卫星遥感 SST 空间分辨率和反演精度高, 地球静止卫星时间分辨率高, 但空间分辨率较低, 通常作为极轨卫星的数据补充。

遥感获取的海洋表层热力学图像及所提取的 SST 数据包含有丰富的物理海洋学信息, 由于 SST 是卫星遥感技术最容易获取的海洋环境要素, 因而在渔场渔情分析预报中最早得到应用, 且最为广泛, 占有最重要的地位。

1.1 特征温度值

鱼类对温度非常敏感, 通常海洋经济鱼类都有一定的适温范围和最适温度, 也即其特征温度值。根据其适温范围的大小, 可划分为广温性鱼类和狭温性鱼类。如太平洋鲑鱼适温范围小, 只有几度的温差, 属狭温性鱼类。而其它一些鱼类, 如沙丁鱼、鱿鱼等暖水性鱼类适温范围有十几度甚至二十度的耐受性, 属于广温性鱼类。因此, 依据各种鱼类所具有的适温范围和最适温度可以直接从等温线图上判断分析渔场可能所在的空间位置。如大黄鱼越冬场水温为 9~11 °C, 产卵水温为 16~24 °C 即为其特征温度^[7]。此外, 在温度图上, 人们也常常把 15、20 °C 等特征等温线突出标绘(图 1), 从而方便渔场的判读与分析。

由此可见, 特征温度值往往是一个温度区间, 温度区间越小, 依据特征温度值推测渔场位置的准确性就可能越高。因此该方法对于狭温性鱼类效果较好, 广温性鱼类可能存在较大偏差。卫星遥感反演的 SST 为表层温度场, 对位于混合层范围内的上层鱼类渔场

收稿日期: 2003-12-21; 修回日期: 2005-03-31

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2003AA637030)

作者简介: 樊伟(1971-), 男, 河南遂平人, 副研究员, 研究方向为海洋遥感渔业应用, 电话: 021-65680117, E-mail: dhyqzh@public4.sta.net.cn

分析比较准确,而对中、底层的鱼类可造成大的误差。另外,鱼类的不同生活阶段,其适温范围或最适温度有所不同,进行渔场分析时应注意到其各个生活史阶段的差异。

1.2 温度锋面

温度锋面也即所谓的流隔。海洋学上对海洋锋的定义纷杂不一,因此温度锋面也无统一的定义,通常指水平温度梯度最大值的海域或冷暖水团之间的狭窄过渡地带。温度锋面长度约在 $10^2 \sim 10^3$ km,宽度仅数十至百公里,深度有时可达到 1000 m 以上。其时间尺度通常从 10 d 左右到数月不等。从等温线图(图 1)上可以直观地看出,温度锋面总处于等温线最密集的海域。温度锋面及其两侧附近,不同海流相互交汇携带营养盐类,浮游植物大量繁殖,形成生产力高的“海洋中的绿洲”^[8]。常常聚集众多具有不同生态习性的浮游动物和海洋鱼类来此索饵、产卵或洄游,形成密集的渔场分布,且不同生态习性的鱼类位于锋面不同的位置。因此,在对鱼类生活习性掌握的基础上,根据温度锋面的消长、时空尺度的变化可推知中心渔场的空间位置及移动,渔期的长短或渔获量的高低。

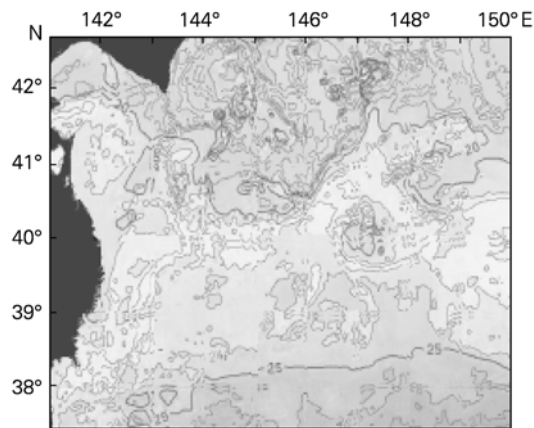


图 1 2003-09-11 周平均温度分布

1.3 表层水团分析

海洋水团指“源地和形成机制相近,具有相对均一的物理、化学和生物特性及大体一致的变化趋势,而与周围海水存在明显差异的宏大水体”^[9]。水团是最常见的海洋现象之一,与海洋环流相辅相成从不同方面反映了海洋水体的特征及运动。海洋水团与海洋渔场有密切关系,如海洋渔场通常位于水团的边界与

混合区等,因此水团分析是了解海洋渔场变化,进行渔情分析的重要内容之一。依据遥感 SST 可进行表层水团分析,其内容有:表层水团的核心及强度分析;水团的边界与混合区的确定;水团的形成、变性及其消长变化的动态演变过程描述;水团的主要特征指标,如均值指标、均方差指标、区间指标、极值指标等。

1.4 温度场空间配置

对于温度场比较复杂的海域,也可依据其温度场的空间配置类型综合分析中心渔场所在的位置。温度场的配置有不同的形式,依据水团的配置可划分为:单一冷水团或暖水团型、双水团(冷暖水团)组合型、多水团组合型等。从锋面的结构形式可归纳为:平直型锋面、褶皱型锋面、切变型锋面、冷水舌型锋面、暖水舌型锋面等。可见依据温度场的空间配置形式可充分应用 SST 所揭示出的信息综合进行渔情分析。事实上,涡流和涌升流的结构特征明显,其温度场空间配置形式通常可以在卫星遥感 SST 影像上有清晰的表现,如图 1 中 40°N 、 147°E 附近可见一冷涡存在。涡流和涌升流都能够把底层富有营养物质的海水带到表层而增加海洋表层的初级生产力,因而涡流与涌升流渔场资源密度通常较高。

1.5 温度距平

温度距平指某一时间的温度值与整个时间序列周期内平均温度的差值。渔场分析中常用的温度距平有周、月温度距平和年温度距平。温度距平虽然无法直接用来分析确定渔场的位置,但在依靠特征温度、温度锋面等分析判断中心渔场时,计算研究海域的温度距平场仍是非常重要的辅助信息,如年(月、旬、周)温度距平场能够很容易地判断出海况相比于多年(月、旬、周)平均温度场的变化情况,如与常年相比,温度在哪些海域偏高,偏高多少,温度在哪些海域偏低,偏低的强度如何等,据此可推测冷暖水团的强度如何。如日本渔情信息服务中心(JAFIC)发布的北太平洋旬海况速报给出了同期的旬温度距平图。但是应用温度距平场分析要求积累有比较长时间序列的历史资料计算出可靠的相应周期的温度平均值。

1.6 温度较差

温度较差指两个不同时间温度相比较计算所得的差值,如温度周较差、温度月较差、温度年较差等。温度较差主要用来比较前后不同时段温度变化情况,如周温度较差用来比较分析本周与上周的温度变

化幅度大小,年较差可比较今年与去年的差异。渔业上实际应用较多的是时间周期较短的温度周、旬较差等。如东海水产研究所发布的东黄海水域渔况速报图中就包含了与“上期(周)比较”或“与去年同期比较”等温度较差分析的内容。

1.7 动力环境信息分析

海洋动力环境信息包括海洋锋区、涡流位置及尺度大小、流轴流向等。这些信息传统的获取方法是依靠熟练的专业人员对单幅等温线图或温度场影像进行目视解译判读出温度锋面、主流轴位置及流向、涡旋的位置与直径等。遥感反演海面热力学影像和 SST 精度的提高以及计算技术的进步使得人们有可能实现 SST 的海洋动力环境信息自动提取^[10]。如可依据温度梯度最大值的计算获取温度锋面。由单幅红外遥感影像自动标定海面热力结构可抽取有向纹理结构,获得各个点的流向分布,从而确定流轴、锋面等的位置和尺度。当存在一系列多时相的遥感红外影像时,还可获取海流结构信息,目前主要有 2 种方法:一是最大互相关技术,即通过序列影像间的形式比较得到表面流速,如观测 SST 特征随时间的移动;另一种方法是利用热量和质量守恒方程,由逆问题求解,反演出海面流速、流向。但是,由于云、雾覆盖的影响,常常无法得到特定时间连续的卫星遥感信息。因此,实际应用中更多采用近年来趋于成熟的卫星高度计数据计算获取海流流速、流向等信息。

2 遥感海洋水色

遥感海洋水色的渔业应用主要指海水叶绿素 a 信息的渔情分析和资源评估。其应用是基于海洋食物链原理的,即浮游植物的丰富使以其为食的浮游动物资源丰富,进而促使以浮游动物为饵料的海洋鱼类资源丰富^[11]。据此,人们就可以通过观测海水浮游植物含量的高低及其变化来进行渔场分析和渔业资源或海洋生物量的评估。目前海洋水色遥感应用最广泛的卫星资料主要来自 SeaWiFS 和 MODIS 传感器的数据。

2.1 叶绿素特征值

人们在依据 SST 特征值分析渔场的同时,还可通过对海水叶绿素特征值的观测分析来判读渔场的有无。通过叶绿素特征值分析渔场有两种方式,一是较大的叶绿素特征值指示出浮游植物含量高的海

域范围,据此可确定位于海洋生态系食物网中底层直接以浮游植物为饵料的上层鱼类的可能分布区域;二是叶绿素某一特征值能够反映出海洋锋面或水团扩展的边界与范围,据此可确定海洋水色锋面或渔场所在区域。如 Jeffrey^[4]等研究认为 0.2 mg/m³ 叶绿素等值线代表了北太平洋叶绿素锋(TZCF)向北推移扩展的边界,并发现北太平洋长鳍金枪鱼围网渔场位于 0.2 mg/m³ 叶绿素等值线附近。但遗憾的是,目前卫星遥感提取叶绿素的精度大约只有 35%~40%,显然依据卫星遥感观测叶绿素特征值分析渔场还不能完全满足业务化应用,而通过叶绿素含量浓度的高低所指示出的海流、涡旋等海洋现象指导渔业生产则更具有实际应用价值。

2.2 海洋水色锋面及梯度

如前面温度锋面或海洋锋的定义一样,海洋水色锋面通常由水色要素如叶绿素浓度变化急剧的狭窄地带或叶绿素浓度梯度最大的地方来定义表示。海洋水色锋面形成的原因很多,大洋水色锋面主要为由海水涌升流、海水辐散形成的冷涡或寒流入侵的冷锋等所形成的叶绿素锋面,近岸与河口海区时常有悬浮泥沙形成的水色浊度锋面。大洋叶绿素锋面时常与温度锋面相伴出现,位置接近,因此通常把叶绿素锋面与温度锋面结合起来进行综合分析。叶绿素锋面区域常由锋面形成的动力作用输送来丰富的营养盐,从而形成饵料中心,为产卵、索饵鱼群提供物质基础,如 Inagake^[12]利用 OCTS 影像研究了日本太平洋沿岸浮游植物叶绿素的变化。此外,人们在应用温度梯度分析渔场时,很少提到水色梯度,Ladner 等^[13]研究指出海洋水色梯度和鱼类生物量之间有正相关关系,可见水色梯度计算也可作为渔情分析或资源评估的一个辅助方法。

2.3 水色指示的海洋动力环境信息

海水叶绿素浓度含量大小的空间分布及随时间的动态变化能够指示出丰富的锋面、海流及涡旋信息,可据此分析渔场位置。相比于依据卫星遥感 SST 提取海洋动力环境信息,依靠遥感海洋水色所指示出的海洋环境动力信息更为方便直接,可以直接从遥感反演的海洋水色影像上采用遥感图像处理的方法和理论进行纹理特征、几何特征或光谱特征的提取。但

是相比于陆地遥感信息特征提取,海洋遥感数字影像的自动识别及提取技术存在两大难点,一是海洋动力环境特征都具有模糊边界,且多时相的影像间总是处于动态演变之中,其结构形态时时刻刻都在变化;二是所要提取特征的“运动”,不同的运动具有不同的时空尺度,难以用一个简单的数据集表达位移、旋转等问题。所以,目前为止仍缺少较为成熟的海洋水色信息自动提取海洋动力环境特征信息的算法和方法,更多的是仍依靠人工目视解译综合进行特征识别。如图2为OCTS影像所反演的叶绿素水色分布及其附近形成鲑鳕鱼渔场^[14],上图清晰可见逆时针旋转的涡旋分布和涡旋的空间尺度大小,下图可见捕捞渔场位于叶绿素锋面附近。

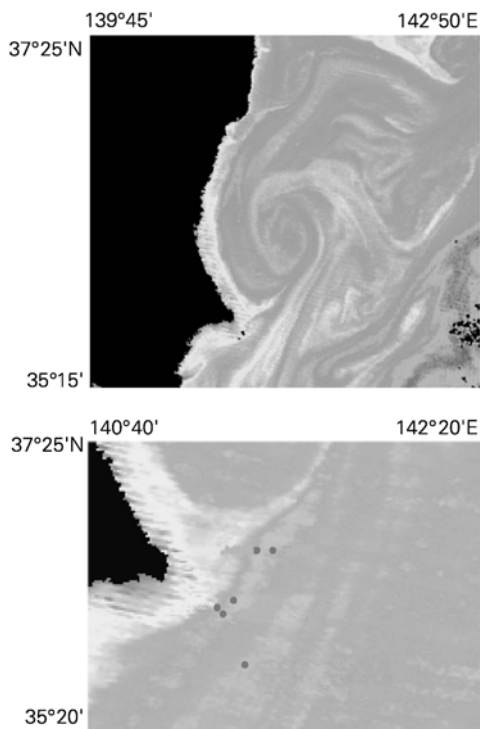


图2 日本东部近海叶绿素锋面及渔场分布^[14]

2.4 海洋初级生产力及渔业资源评估

海洋初级生产力通常定义为海洋浮游植物光合作用的速率。光合作用大小与光和色素浓度密切相关,海水叶绿素浓度与初级生产力之间存在相关关系,浮游植物是海洋中的生产者,是海洋食物链的源

头,可见遥感海洋初级生产力对理解海洋生态系统、海洋鱼类基本生境、估计渔业资源潜在产量等方面具有重要意义。对海洋初级生产力评估的传统方法是以多年来收集到非定点和非周期性的船舶观测资料为基础的,如杨纪明认为大洋浮游植物的初级生产力折合有机碳产量应在 $(50\sim 100)\times 10^9$ t/a 范围内,海洋鱼类的年生产力估计为 6×10^8 t(鲜质量)^[15]。但这些估算无法刻画海洋的时空动态变化。与传统依靠船舶观测的海洋学相比,卫星水色遥感能够快速、大范围的获取多周期动态的海洋生态环境信息(叶绿素、温度、光合作用有效辐射等)。大洋一类海水区域的海洋水色主要反映了海水叶绿素含量信息,代表了海域浮游植物含量浓度的高低。自 Lorenzen^[16]首先利用表层叶绿素与初级生产力相关性试图应用于海洋初级生产力遥感研究以来,许多学者相继提出了利用叶绿素浓度反演海洋初级生产力的各种遥感算法^[17-19]。

但是,海洋初级生产力的大小与多种海洋生态环境因素有关,最基本的因子除了反映海洋浮游藻类生物量的海洋叶绿素外,光照、营养盐、水温、海流、透明度等都直接与海洋初级生产过程有关,这些因子所起的作用和影响随不同的生态环境以及浮游植物自身生物学性质等而有所不同。因此,目前对海洋初级生产力的模式化和遥感观测,仍存在许多障碍,如叶绿素遥测的反演本身依靠经验公式推算,与实际值之间存在较大差异(精度只有40%),在此基础上进一步推算初级生产力,误差的传递可想而知。此外,叶绿素垂直分布的多样性、光合作用函数的参数选择等都限制着生产力模式的进一步发展。尽管如此,仍不可否认卫星遥感海洋水色在反演海洋初级生产力、渔业资源评估、全球环境变化研究等方面所具有的潜力。

2.5 遥感监测海洋赤潮

近年来海洋赤潮危害日益严重,因而遥感监测海洋赤潮灾害备受关注^[20-23]。研究表明^[21]海洋赤潮主要发生在沿海及河口区的高营养海域,并要求一定的温度条件,海洋赤潮的最大危害便是对渔业产生不利影响,主要表现为有害赤潮藻及其毒素对鱼类产生影响(包括急性毒性和对酶活性、细胞、组织及行为等亚急性毒性的影响)^[22],从而对沿海的鱼类产卵场、

育肥场或渔业养殖区等造成危害，而对外海渔场影响甚微。海洋赤潮遥感监测的技术手段主要是可见光遥感，而近年飞速发展的高光谱遥感更具应用潜力。遥感赤潮监测提取的信息主要包括有赤潮发生面积、时间、移动趋向乃至赤潮藻种类型等，可见赤潮的遥感监测对减少渔业危害具有预警作用。

3 遥感动力环境信息

海洋动力环境遥感主要指以主动式微波传感器(卫星高度计、散射计、合成孔径雷达等)应用为主的海面风场、有效波高、流场、海面地形、海冰等海洋要素的测量，这些海洋动力环境同渔业生产关系密切，但目前渔场渔情分析中主要应用的是来自TOPEX/POSEIDON和ERS-1/2系列卫星的测高数据，因此这里仅对此进行分析。测高数据反映的是海水温度、盐度、海流等多种水文环境因子综合作用的结果，但也存在低纬度的空间分辨率不够高(约250~300 km)，在特殊海区和近岸海域由于受地形和潮汐作用的影响，测高精度没有保证等缺点。

3.1 海面动力高度及海流

海面动力高度与水团、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。海洋渔场的资源丰度及其时空变化与此也密切相关，但不论是海洋温度及盐度(对应海水密度)的变化，还是水团变化、上升流等都时时刻刻在塑造着海面动力地形。只是由于海面高度计卫星测高的时空分辨率所限，目前所能观测到的仅仅是大中尺度的海洋现象的变化。卫星高度计测高信息的渔场分析目前主要是通过获取海面动力高度信息和海流的计算来进行的。图3为T/P高度计获取的海面高度及海流信息与箭鱼渔场的关系，由图3可见，渔场位于海面高度约170 cm处海域^[24]。此外，日本学者石日出生分析了东黄海春季鲑鱼渔场与海面高度之间匹配关系十分密切。当把海面高度信息与温度场结合对比分析时，能够发现海面高度异常区域与温度场冷暖水团的配置有很好的对应关系，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，海面高度的负距平海域对应逆时针方向的冷涡，而冷暖中心边缘的过渡区域通常形成锋面，海流流速较大，某些鱼类集群易形成渔场。

3.2 测高数据及海洋锋面

海洋锋面附近常表现出较为复杂的海洋动力特征，如海流流速较大，水团配置比较复杂等。因此，结合这些海洋特征，从海面高度异常的空间配置和海流流速流向的分布可以推知海洋锋面，图3中可见海面高度距平的高值和低值中心之间形成的锋面，这种锋面可能是温度锋面，也可能是水色叶绿素锋面或盐度锋面，需要结合其他相关信息进行具体分析，如果与冷暖水团温度场配置一致，可认为是温度锋面。

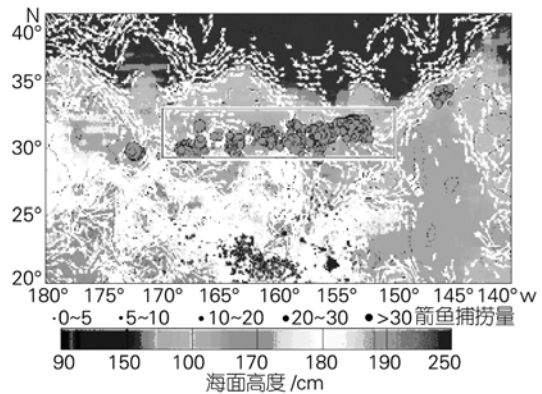


图3 海面高度及箭鱼渔场分布^[24]

4 结语

海洋渔场及渔业资源的变动除了种群自身的变化规律及生物学特性外，还受到各种海洋环境要素的驱动。海洋渔场的渔情分析与预报主要是根据实际的捕捞生产情况结合所获取的各类渔场环境要素信息来进行的，因此，所获取的海洋环境要素越多，精度越高，渔情分析就可能越准确，可见，依靠卫星遥感获取海洋环境要素信息是“多多益善”。卫星遥感技术发展至今，已经能够获取多种海洋环境要素，在海洋(渔业)领域的应用取得很大的成功。除了能够直接用于渔情分析的SST、海水叶绿素及测高信息外，还有卫星遥感获取的海面风场、海面波浪、海洋气象、海底地形等都可以用于助渔分析或为渔业生产提供安全保障等。但从对渔情分析的重要性程度和所应用的广度及深度来看，主要还是SST、叶绿素及海面高度信息。

参考文献：

- [1] Laurs R M. Fishery-advisory information available to tropical Pacific tuna fleet via radio facsimile broadcast[J]. **Marine Fisheries Review**, 1971,33(4): 40-42.
- [2] Kemmerer A J, Benigno J A, Reese G B, *et al.* Summary of selected early results from the ERST-1 menhaden experiment [J]. **Fisheries Bulletin**, 1974,72(2): 375-389.
- [3] Stevenson W R, Pastula E J. Observations on remote sensing in fisheries[J]. **Marine Fisheries Review**, 1971,33(9): 9-21.
- [4] Jeffrey J P, Evan H, Donald R K, *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(3): 469-483.
- [5] Montgomery, D R, Wittenburg R E, Austin R W. The application of satellite derived color products to commercial fishing operations[J]. **Marine Technology Society Journal**, 1986, 20(2): 72-86.
- [6] 仇天宇, 邵荃琴, 周成虎. 卫星测高数据在渔情分析中的应用探索[J]. **水产科学**, 2001,20(6): 4-8.
- [7] 中国海洋渔业资源编写组. 中国海洋渔业资源[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990. 41-44.
- [8] 李凤岐, 苏育嵩. 海洋水团分析[M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 2000.24-36.
- [9] 中国大百科全书总编辑委员会. 中国大百科全书. 大气科学·海洋科学·水文科学卷[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1987.1-923.
- [10] 毛志华, 潘德炉, 潘玉球. 利用卫星遥感 SST 估算海表流场[J]. **海洋通报** 1996, 15(1): 84-90.
- [11] Srokosz M A. Biological oceanography by remote Sensing[A]. Meyers RA. Encyclopedia of Analytical Chemistry [C]. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1998. 8506-8533.
- [12] Inagakei D, Saitoh S I. Description of the oceanographic condition off Sanriku Northwestern Pacific, and its relation to spring bloom detected by the ocean color and temperature scanner (OCTS) images [J]. **Journal of Oceanography**, 1998,54(4): 479-494.
- [13] Ladner S D, Arnone R A, Crout R L. Linear correlations between *in situ* fish spotter data and remote sensing products off the west coast of the United States[R]. NRL/MR/7240-95-7710, AD-A309375, 1996.
- [14] NASDA. Coastal eddies and fishing ground formation in spring 1997 as revealed by OCTS images[R]. **ADEOS Earth View EORC-037**. 1998.10.
- [15] 杨纪明. 海洋渔业资源开发潜力估计[J], **海洋开发**, 1985, 4: 40-46.
- [16] Lorenzen C J. Surface chlorophyll as an index of the depth, chlorophyll content and primary production of the euphotic layer[J]. **Limnology & Oceanography**, 1970,15: 470-480.
- [17] Smith R C, Eppley R W, Baker K S. Correlation of primary production as measured aboard ship in southern California coaster water and estuarine from satellite chlorophyll mass[J]. **Marine Biology**, 1982, 66: 281-288.
- [18] Platt T. Ocean primary production: estimation by remote sensing at local and region scales [J]. **Science**, 1988, 241: 1613-1620.
- [19] Muller J L. Bio-optical provinces of the Northeast Pacific ocean: A provisional analysis[J]. **Limnology & Oceanography**, 1988,34(8): 1572-1586.
- [20] 黄韦良, 肖清梅, 楼琇林. 国内外赤潮卫星遥感技术及应用进展[J]. **遥感技术与应用**, 2002, 17(1): 32-36.
- [21] 颜天, 周名江. 加强赤潮毒性评价和灾害评估势在必行[J]. **海洋科学**, 2001,25(4):55-56.
- [22] 谭志军, 颜天, 周名江. 有害赤潮藻对鱼类影响的研究进展[J]. **水产学报**, 2002, 26(6): 561-568.
- [23] 楼琇林, 黄韦良. 基于人工神经网络的赤潮卫星遥感方法研究[J]. **遥感学报**, 2003, 7(3): 125-130.
- [24] Michael P S, Jeffrey J P, Donald R K, *et al.* An oceanographic characterization of swordfish (*Xiphias gladius*) longline fishing grounds in the springtime subtropical North Pacific[J]. **Fisheries Oceanography**, 2002,11(5):251-266.

(本文编辑:张培新)