

南海主要上升流及其与渔场的关系

The relationship between major upwelling and the upwelling fishing grounds in the South China Sea

王新星^{1,2}, 于杰², 李永振³, 陈国宝², 黄妙芬¹

(1. 大连海洋大学 海洋科技与环境学院, 辽宁 大连 116023; 2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部南海渔业资源环境科学观测实验站, 广东 广州 510300; 3. 农业部南海区渔政局, 广东 广州 510080)

中图分类号: S934 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)09-0131-07
doi: 10.11759/hyxx20130627001

南海是我国的重要渔业产区, 目前我国每年在这一海区的捕捞产量大约 3×10^6 t。无论在南海北部还是在南海中部和南部海域都分布有优良渔场, 这些渔场往往与上升流存在着密切关系。上升流是一种海水垂直向上的运动现象, 通常因表层水体辐散所致, 是海洋环流中的重要组成部分。上升流涌升速度与水平流速相比甚小, 一般只有 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ cm/s^[1]。上升流可以把底层营养盐带到表层, 为浮游植物的生长提供物质基础, 进而为浮游动物、鱼类、虾类等生物提供生存条件, 其对海洋资源开发和利用, 特别是对渔业生产具有重要意义^[2-3]。

早在 20 世纪 60 年代初, 国外便有对南海近岸夏季上升流的报道, 涉及的海域包括南海中西部地区、海南岛东部、汕头沿岸地区^[4-5]。我国学者也早在 1964 年发现了广东外海的夏季上升流, 确定了琼东上升流和粤西上升流的位置^[6]。到 20 世纪 80 年代, 我国学者又陆续发现了粤东上升流和台湾浅滩上升流。吕宋岛西北外海的冬季上升流最早是在 1996 年由 Shaw 等^[7]发现。

目前, 有关南海上升流研究主要集中在理化特性、动力学特性和时空分布特征方面, 而在营养盐分布特征、上升流与渔业生产的关系方向研究相对较少。本文概述了南海主要上升流及其特性, 分析了南海上升流成因类型和上升流区叶绿素变化特征, 并探讨了上升流渔场的形成机制。全面系统地了解南海主要上升流的空间分布特征及环境特性, 对南海近海渔业生产及外海渔业开发具有重要指导意义, 本研究可为南海外海渔场渔情预报技术提供参考。

1 南海主要上升流及其特征

1.1 台湾浅滩上升流

台湾浅滩上升流位于台湾海峡西南部(图 1, A, 温度数据为热红外与微波合成数据, 下载地址: <http://www.remss.com/>)^[8-9]。由于地形原因, 台湾浅滩周围常年存在上升流, 夏季西南季风期间, 呈现 6 月份较弱, 7 月份增强, 8 月下旬又逐渐变弱的变动规律^[10-11]。根据 Shang 等^[12-13]的统计, 1998 年此上升流面积平均值达到 2 796 km², 表层水温比周围非上升流区海水温度低 2~4 °C^[14-15]。

1.2 粤东沿岸上升流

粤东沿岸上升流分布在汕头至东山沿岸海域, 经纬度范围为 116°40'~117°30'E, 28°~31°N(图 1, B)。此上升流中心位置紧靠岸边, 一般位于 20 m 以浅水域, 但其时空变异较大, 中心位置会发生变动, 并形成若干个中心区^[16-17]。水体理化特征表明, 与多数上升流区类似, 该上升流区具有低温、高盐、低氧、高磷等基本特征。粤东上升流一般出现在 4 月底, 10 月消失。

收稿日期: 2013-06-27; 修回日期: 2013-11-05

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2013TS06); 农业部财政专项(NFZX2013); 国家农业财政项目(2009-2013); 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室开放基金(LSF2012-02); 广东省科技计划(2010B030800008)

作者简介: 王新星(1988-), 男, 满族, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 从事海洋渔业遥感研究, 电话: 18620500397, E-mail: wangxx2013@yeah.net; 李永振(1966-), 通信作者, 男, 研究员, 主要从事渔业资源与生态研究, E-mail: y.z.li@qq.com

1.3 粤西沿岸上升流

粤西沿岸上升流位于七洲列岛以北、琼州海峡以东直至珠江口外海一带海域(图 1, C)。李立^[16]研究指出夏季粤西沿岸存在海水温度降低的情况, 温度可降低到冬季海温的水平, 盐度值较高, 可达 34.5, 底层盐度呈上升趋势, 说明底层有外海高盐度水的注入, 溶解氧含量显著下降, 各个因素印证了此处为上升流区。粤西沿岸上升流通常发生在 4~9 月, 其中 6~8 月最强^[3]。

1.4 琼东上升流

琼东上升流中心位置紧靠岸边(图 1, D), 通常在 30 m 以浅, 在同纬度方向水平方向上, 该上升流表层水温比周围低 2~5 °C (<24.5 °C), 盐度比周围高 0.5(>34.3), 磷酸盐比非上升流区高近 2 倍; 在垂直方向上, 氧饱和度较其他季节低 12%, pH 值低 0.02, 是低温、高盐、低氧、低 pH 和高磷区^[17]。从图 1 中看出, 琼东沿岸上升流和粤西沿岸上升流在分布形态上表现为一个整体, 但琼东沿岸上升流强度稍大^[18]。

1.5 南海中西部上升流

除南海北部陆架区以外, 南海中西部沿岸也存在一处明显上升流(图 1, E)。1961 年 Wyrski^[4]首次发现此季节性上升流, 并指出夏季期间此区域 SST(Sea

Surface Temperature)与周围温差达 1 °C。Xie 等^[19]分析指出, 由于西南季风受到安南山脉的阻挡, 使得胡志明市东部出现强风, 较强风偏转, 由此形成的强风对沿岸上升流的形成具有重要作用。此外 6~7 月反气旋海洋涡流出现, 使沿岸上升流形成的冷水向东南方向移动, 形成离岸冷水流, 通过观测同期叶绿素浓度图像证实了离岸冷水流的存在及变动过程, 从图 1 中可以观察到由离岸冷水流运输形成的低温现象。Kuo 等^[20]利用 1996~1997 年夏季 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)热红外图像同样观察到该上升流沿着 11°~12°N 方向向东延伸。南海中西部上升流发生在 6~9 月, 8 月最强。上升流期间叶绿素质量浓度平均值为 0.9 mg/m³, 其他月份叶绿素质量浓度平均值为 0.1~0.4 mg/m³^[21]。

1.6 吕宋岛西北部上升流

吕宋岛西北部约 100 km 存在着一处离岸上升流(图 1, F), 具体位置在 118°~121°E 与 16°~19°N 之间, 为冬季上升流, 从每年的 10 月开始, 到翌年的 1 月结束。根据 1990 年 12 月 16~30 日航次得出的温盐及溶氧数据显示, 在 50 m 层的水温为 20 °C, 盐度为 34.52, 随着深度的增加, 在水温为 16 °C 时, 盐度达到最大值 34.6, 在水温为 9 °C 时盐度达到最小值 34.4。与同纬度同深度的附近太平洋水相比, 盐度

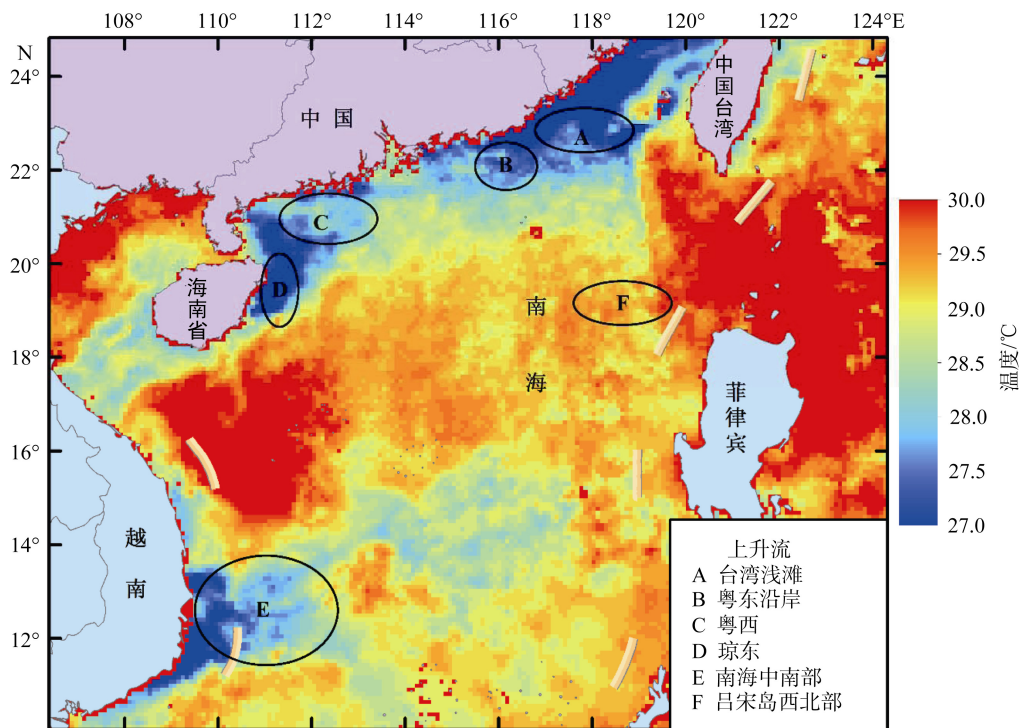


图 1 2011 年 7 月 22 日 MW+IR 南海海表温度分布图

较高, 温度偏低。在溶解氧方面, 上升流区与非上升流区差别明显, 非上升流区温度为 15~20℃, 溶氧浓度为 200 μmol, 当温度低于 15℃ 时, 溶氧浓度迅速下降到小于 100 μmol, 在上升流区海水, 温度为 20℃ 时, 从表层迅速减小到 130 μmol, 在 13~20℃ 时保持恒定的低溶氧值^[7]。此上升流区在冬季存在一个次表层高叶绿素浓度区, 较其他三个季节的质量浓度升高至少 0.3 mg/m³^[22]。

2 南海主要上升流的成因类型

南海上升流主要成因是风驱动形成的。根据上升流离岸距离的远近可分为沿岸风生上升流和离岸地形上升流, 此外, 夏季南海受到热带气旋的影响, 也会产生一些短期上升流, 这种上升流形成与热带气旋途经路径的地形有关。

2.1 沿岸风生上升流

当盛行风与海岸线平行, 侧向的 Ekman 输送导致表层水体离岸运动, 推动近岸表层水离岸外流, 因此产生中、深层水向上的补偿运动, 这时下层水体上升补偿上层海水的辐散, 从而在近岸海域形成上升流。夏季西南季风对整个南海的海洋生态系统有重要的影响^[23-24], 粤东沿岸上升流、琼东沿岸上升流、南海中西部上升流均为风生上升流^[6]。

另一类风生上升流推动机制为气旋式风应力涡(北半球), 其作用机制是通过诱生气旋式涡旋, 海水在涡旋中心流向四周, 从而在中心附近产生中、深层水向上的补偿运动。雷州半岛东部上升流即粤西沿岸上升流可能是由气旋式风应力涡形成^[25]。

吕宋岛西北部上升流的驱动机制包括风力驱动和巨大的海盆流域支流驱动^[7], 即通过表层离岸 Ekman 输运以及从底层向北方的暗流来维持状态。但也有学者持不同观点, 认为风应力旋度是产生吕宋岛上升流的主要推动力^[26]。因此, 其具体的形成机制还需进一步研究。

2.2 离岸地形上升流

离岸地形上升流出现位置相对固定, 主要成因为地形和海流共同作用, 它的推动因素相对稳定, 因此该类上升流每年出现的位置也较风生类固定。对于流况稳定的海流而言, 海底坡度的大小决定了该类上升流强弱和出现范围。坡度大(小), 则上升流强(弱), 但出现范围小(大)。上升流流速最大位置出现在海底坡度最大处。盛行风对此类上升流的形成

也有影响, 有利风向可以加强海水涌升, 不利风向产生近岸水体堆积则阻碍了涌升水向上运动。

台湾浅滩上升流由底层海流沿着陡坡朝台湾浅滩爬升和风的作用, 以及海流(包括潮流)绕台湾浅滩流动而诱发形成。据资料反映, 台湾浅滩以南海域底层终年有一支流况稳定, 由西南向东北方向流动的海流, 该海流与海底等深线之间存在着一定交角, 这有利于深层海水沿陆架陡坡爬升, 同时台湾浅滩外海底层水向海岸流动, 海底深度迅速变浅, 海水爬坡涌升的作用, 也增加了台湾浅滩上升流的强度。

2.3 台风驱动上升流

台风是一个逆时针旋转的巨大风场, 在大风夹卷作用下, 混合层深度加深, 在 Ekman 作用下, 海水从下层辐聚上升, 在上层辐散流出, 中间有一个无辐散的过渡深度, 台风诱导的上升流强迫表层海水重新分布, 使得海表温度下降^[27]。在台风路径附近, 通常可以观测到台风驱动的短期上升流现象^[28-29]。

3 南海上升流区叶绿素 a 变化特征

叶绿素 a 是海洋浮游植物的主要色素, 其浓度反映了海域初级生产者的现存生物量。海洋中营养盐的补充途径有陆地径流、上升流、大气沉降和海流。上升流能将富含营养盐的深层水带到表层, 使上升流区成为海洋中生产力最高的区域之一^[30]。不同区域的上升流在形成时, 叶绿素 a 质量浓度增加的幅度有所不同, 如台湾浅滩上升流, 在非上升流期间, 叶绿素 a 质量浓度变化在 0~1.0 mg/m³, 而在上升流期间, 浓度增加了 100%, 琼东上升流增加幅度为 150%, 吕宋岛上升流区增加幅度为 200%, 南海中西部上升流区最大增幅可达 400%, 上升流前后期间均有变化(见表 1)。此外, 如果风力比较弱, 上升流的营养物质只能到达次表层, 形成次表层高叶绿素 a 区^[31]。

不同类型的上升流区, 叶绿素 a 的空间分布特征有所不同。通过现场调查海坛岛(119°50'~120°20'E、25°20'~25°40'N)夏季上升流的理化特性时发现, 在垂直方向上, 叶绿素 a 分布分为弱变型、弱双峰型和单峰型, 其中单峰型的峰值出现在 20~30 m 水层, 弱双峰型两个峰值分别出现在 10 m 和 30 m 水层。总体呈现出近岸高、外海低, 表层高、底层低的特征。沿岸上升流呈现近岸高、外海低的特征^[32], 这是由于近岸受人为活动影响较大, 工业排放富营养物质是浮

表 1 上升流前后叶绿素 a 浓度对比

上升流	叶绿素 a 质量浓度(mg/m ³)		叶绿素 a 质量浓度增加幅度(%)	参考来源
	上升流之前(或非上升流期间)	上升流期间		
台湾浅滩上升流	0~1.0	1.0~2.0	100	[13]
南海中西部上升流	0~0.2	0.8~1.0	400	[33]
吕宋岛上升流	0~0.1	0.2~0.3	200	[22]
琼东上升流	0~0.4	0.8~1.0	150	[34]

游植物生长的极好原料，其次从河流带来的营养盐物质也将促进浮游植物的生长，同时上升流将底层营养盐带到上层，也为浮游植物的生长提供保障。离岸地形上升流以台湾浅滩上升流为例，叶绿素 a 浓度分布呈现以上升流中心向边缘减少^[13]。上升流通常将底层营养盐带到次表层及表层，所以上升流强度是影响叶绿素 a 分布范围的因素。

浊度是上升流初期限制浮游植物生长的主要因子^[32]，不同温度、营养盐浓度、光照条件也会对上升流初期浮游植物的生长产生影响。浮游植物生长过程中，水体混合程度、浮游动物摄食和浮游植物死亡沉降也会对叶绿素浓度产生影响。

4 南海上升流与渔场的关系

上升流是世界海洋最肥沃的海域之一，虽然其面积仅占海洋总面积的 1%，但渔获量却约占世界海洋总渔获量 50%^[35]。近岸上升流区营养盐注入主要为 Ekman 抽吸，此外还可能包括陆地径流、大气沉降和海流携带，在光合作用下，浮游植物大量生长，浮游动物量也会增加，鱼类饵料生物丰富，为鱼类聚集栖息提供保障，形成渔场。在离岸上升流区，底层冷水上升，水温下降，表层盐度增加，营养盐不断补充，促进了浮游植物的繁殖，因此，含有营养盐丰富的底层水上升多的地方，就是生产力高的场所，进而形成良好渔场^[36](上升流渔场形成机制见图 2)。

历史上，南海北部曾有万山、甲子、汕尾、清澜、昌化和北部湾等传统渔汛，其中清澜渔汛就是由于琼东上升流形成的良好渔场。根据南海水产公司和湛江渔业公司等单位 1978 年底拖网的渔获量资料，琼东上升流期间，上升流区及其附近水域的渔获量也较高，夏季渔获量高达 700 g/网，秋季 500 g/网(图 3 所示^[2])。此外，台湾浅滩渔场也是一个典型的上升流渔场^[37]。上升流区的竹筴鱼、鲐鱼、带鱼、蓝圆鲹、深水金线鱼、鱿鱼等鱼类的渔获量较高^[2]。

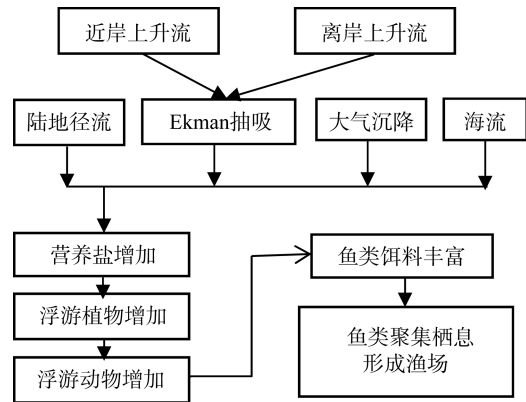


图 2 上升流渔场形成机制图

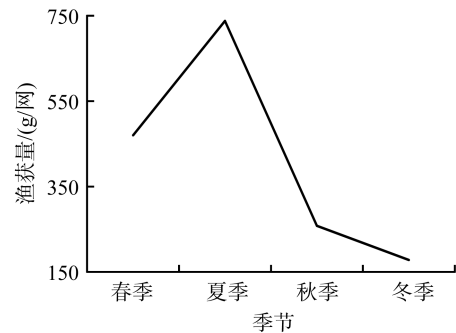


图 3 琼海沿岸 492 渔区逐季度渔获量变化

5 研究展望

5.1 上升流渔场营养盐补充机制数值模拟研究

上升流渔场营养盐输入包括陆地径流、底层卷吸、大气沉降和海流夹带。目前对于上升流营养盐的输入机制研究主要集中在定性方面，定量研究很少。上升流期间，营养盐的输入量、传输路径、消耗过程等是上升流渔场评估的重要参考因素，需要借助数值模拟方法开展相关定量研究。

5.2 台风上升流对渔业资源分布的影响研究

南海受台风的影响较为频繁，已有研究证实台风引发的上升流将底层营养物质带到表层^[38, 40]，在

台风路径附近形成具有明显高叶绿素 a 特征的区域, 台风过后浮游植物短暂暴发, 初级生产力增强^[41-42], 但台风过后渔业资源的分布情况研究较少。国外研究发现, 在一些小的河流支流中, 台风过后鱼类种群组成会发生变化, 这是由于台风引起的环境扰动一方面导致鱼类的逃逸或死亡, 另一方面, 随着环境恢复, 叶绿素的增高也会吸引部分鱼类前来觅食^[43-44]。同样, 台风对珊瑚礁区的鱼类群落的组成结构也有影响, 一方面破碎的珊瑚礁覆盖了一些常住性鱼种, 另一方面, 一些少见鱼种也会暴露出来^[45-47]。我们前期的相关工作也证实, 台风对河口区鱼类种群组成结构也存在影响^[45]。可见, 目前台风与渔业资源的相关研究还处于对一些个别案例的分析, 缺乏系统的研究工作, 台风风速、移动速度、登陆情况、降雨情况等差异会对海洋产生不同程度的扰动, 鱼类对此的响应机制也是不同的, 台风过后, 渔业资源的响应和变动机制需要开展更为深入的研究工作。

5.3 上升流渔场渔情预报技术研究

目前, 国内对上升流的研究主要集中在理化特性方面, 与渔业资源的关联研究较少。夏季, 南海北部近岸及南海外海的上升流对南海营养盐输入起关键作用, 但南海外海上升流渔场的位置、形成及消亡时间还缺乏相关的理论支撑。早在 20 世纪 60~80 年代, 海洋渔场渔情预报受到重视, 国内一些学者进行了初步研究, 分析海洋环境要素之一的海水温度与渔场的关系、水团与渔场的关系, 并对一些种群的短期渔情进行分析^[46-48]。崔雪森等^[49]利用海表温度和金枪鱼历史捕捞产量资料, 成功开发了大洋金枪鱼渔场的分析预报系统, 其中金枪鱼渔场综合预报性达到 70%以上。张衡等^[50]根据捕捞数据和卫星遥感反演的海表温度数据建立智利竹筴鱼预报系统, 此系统预报渔场的准确率达到 72.6%。杨胜龙等^[51]根据大眼金枪鱼延绳钓的数据并结合海表温度、叶绿素 a 等历史环境数据, 构建了西北印度洋大眼金枪鱼渔场预报模型, 实现了模块预报西北印度洋大眼金枪鱼渔场, 其模型预报精度为 60.5%。此外, 上海海洋大学高峰等^[52]根据在西南大西洋的鱿钓统计数据, 结合海洋环境因子, 构建了鱿鱼中心渔场预报模型, 通过验证比较, 其模型预报准确率达到 68.29%。陈锋等^[53]根据 2007~2009 年 7~9 月渔汛期间鲐鱼灯光围网的生产数据, 结合水质参数建立鱼情预报模型, 其模型能够很好地对东海鲐鱼进行预

测。范江涛等^[54]根据生产数据和不同水层的水温, 结合叶绿素 a 浓度等海洋环境数据, 建立太平洋长鳍金枪鱼渔场预报模型, 预报准确度高达 70%以上。于杰等^[55]对国内外对渔业遥感技术、渔场鱼情分析现状进行分析总结, 对发展渔业遥感提出了可行性建议。南海渔场鱼情预报相对研究较少, 预报技术还不成熟; 由于南海北部陆架区渔业资源过度开发, 近海渔业资源衰退, 开发南海外海渔业成为南海渔业可持续发展的重要途径, 开展上升流渔场渔情预报技术研究对开发外海渔业至关重要。

参考文献:

- [1] 吴日升, 李立. 南海上升流研究概述[J]. 台湾海峡, 2003, 22(2): 269-277.
- [2] 邓松, 钟欢良, 王名文, 等. 琼海沿岸上升流及其与渔场的关系[J]. 台湾海峡, 1995, 14(1): 51-56.
- [3] 孙鲁峰, 徐兆礼, 邢小丽, 等. 鱼山渔场近海海域浮游植物数量与上升流的关系[J]. 海洋环境科学, 2012, 31(6): 881-888.
- [4] Wyrski K. Scientific results of marine investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959-1961: Physical oceanography of the Southeast Asia waters (NAGA Report2) [R]. La Jolla, Calif: Scripps Institute of Oceanology, 1961.
- [5] Niño H, Emery O. Sediment of shallow portions of East China Sea and South China Sea [J]. Geological Society of American Bulletin, 1961, 72: 731-761.
- [6] 管秉贤, 陈上及. 中国近海的海流系统[R]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 1964.
- [7] Shaw P D, Chao S Y, Liu K, et al. Winter upwelling off Luzon in the northern South China Sea [J]. Progress in Geophysics, 1996, 101(C7): 16435-16448.
- [8] 陈金泉, 付子琅, 李法西. 关于闽南—台湾浅滩渔场上升流的研究[J]. 台湾海峡, 1982, 1(2): 5-13.
- [9] 国家海洋局第三海洋研究所—台湾海峡西部海域综合调查报告(水文部分)[R]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 1987.
- [10] 吴兴林, 洪瑛. 粤东陆架边缘水域夏季上升流初析[J]. 热带海洋, 1990, 9(4): 15-23.
- [11] Tang D L, Ni I H, Müller-Karger F E, et al. Analysis of annual and spatial patterns of CZCS-derived pigment concentration on the continental shelf of China[J].

- Continental Shelf Research, 1998, 18(12): 1493-1515.
- [12] Shang S L, Zhang C Y, Hong H S. Short term variability of chlorophyll associated with upwelling events in the Taiwan Strait during the southwest monsoon of 1998[J]. Deep Sea Research Part II, 2004, 51(10-11): 1113-1127.
- [13] Tang D L, Kestrel, D R, Ni I H, et al. Upwelling in the Taiwan Strait during the summer monsoon detected by satellite and shipboard measurements[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83: 457-471.
- [14] 李立, 李达. 台湾浅滩西侧水道夏季的水文特征与上升流[J]. 台湾海峡, 1989, 8(4): 353-359.
- [15] 洪华生, 丘书院, 阮五崎, 等. 闽南—台湾浅滩上升流区生态系研究概述[C]//洪华生, 丘书院, 阮五崎, 等. 闽南—台湾浅滩渔场上升流区生态系研究. 北京: 科学出版社, 1991: 1-17.
- [16] 李立. 珠江口以西陆架区夏季上升流的研究[J]. 台湾海峡, 1990, 9(4): 338-346.
- [17] 韩舞鹰, 王明彪, 马克美. 我国夏季最低表层水温海区—琼东沿岸上升流区的研究[J]. 海洋与湖沼, 1990, 21(3): 167-275.
- [18] 经志友, 齐义泉, 华祖. 南海北部陆架区夏季上升流数值研究[J]. 热带海洋学报, 2008, 27(3): 1-8.
- [19] Xie S P, Xie Q, Wang D, et al. Summer upwelling in the South China Sea and its role in regional climate variations[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans (1978–2012), 2003, 108(C8): 343-367.
- [20] Kuo N J, Zheng Q, Ho C R. Satellite observation of upwelling along the western coast of the South China Sea[J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 74(3): 463-470.
- [21] Liu K, Chao S Y, Shaw P T, Gong G C, et al. Monsoon forced chlorophyll distribution and primary production in the South China Sea: observations and a numerical study[J]. Deep-Sea Research I, 2002, 49(8): 1387-1412.
- [22] Wang J, Tang D L, Yi S. Winter phytoplankton bloom induced by subsurface upwelling and mixed layer entrainment southwest of Luzon Strait [J]. Journal of Marine Systems, 2010, 83: 141-149.
- [23] Hu J Y, Kawamura H S, Hong H S, et al. A review on the currents in the South China Sea: Seasonal circulation, South China Sea Warm Current and Kuroshio Intrusion [J]. Journal of Oceanography, 2002, 56: 607-624.
- [24] Tang D L, Kawamura H, Shi P, et al. Seasonal phytoplankton blooms associated with monsoonal influences and coastal environments in the sea areas either side of the Indochina Peninsula[J]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2006, 111(G1): 355-363.
- [25] 颜廷壮. 中国沿岸上升流成因类型的初步划分[J]. 海洋通报, 1991, 10(6): 1-6.
- [26] Qu T D. Upper-Layer Circulation in the South China Sea [J]. Physical Oceanography, 2000, 30: 450-460.
- [27] 雷发美, 江毓武. 2008 年台风森拉克引起上层海水降温的机制 [J]. 厦门大学自然学报, 2012, 51(5): 903-910.
- [28] Price J F. Upper ocean response to a hurricane [J]. Physical Oceanography, 1981, 11: 153-175.
- [29] Lin I, Liu WT, Wu C, Wong G T F. New evidence for enhanced ocean primary production triggered by tropical cyclone[J]. Geophysical Research Letters, 2003, 30: 1718.
- [30] Pennington J T, Chavez F P. Seasonal fluctuations of temperature, salinity, nitrate, chlorophyll and primary production at station 3/M1 over 1989–1996 in Monterey Bay [J]. Deep Sea Research Part II, 2000, 47: 947-973.
- [31] Pham V T, Nguyen T A, Hoang T D. Some remarks on the distribution of nutrients along the transect Nha Trang–Luzon (Vietnamese–Philippines cooperative investigation, JOMSRE II, May 2000) [J]. Collection of Marine Research Works, 2002, 12: 91-102.
- [32] 胡毅, 陈坚. 夏季海坛岛附近海域上升流分布特征与叶绿素 a、浊度关系[J]. 海洋科学, 2010, 34(4): 58-63.
- [33] Tang D L, Kawamura H, Tran V D, et al. Offshore phytoplankton biomass increase and its oceanographic causes in the South China Sea[J]. Marine Ecology Progress Series, 2004, 268: 31-41.
- [34] Jing Z Y. Upwelling in the continental shelf of northern South China Sea associated with 1997–1998 El Niño [J]. Journal of Geophysical Research, (116): DOI: 10.1029/2010JC006598.

- [35] Ryther J H. Photosynthesis and fish production in the sea[J]. Science, 1969, 166(3901): 72-76.
- [36] 陈新军, 俞存根, 卢伙胜, 等. 渔业资源与渔场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 153-156.
- [37] 何发祥. 闽南—台湾浅滩渔场的上升流演变及其与渔业的关系研究[J]. 海洋学报, 1988, 10(3): 346-354.
- [38] Walker N D, Lebed R. Hurricane-forced upwelling and chlorophyll a enhancement within cold-core cyclones in the Gulf of Mexico[J]. Geophysical Research Letters, 2005, 32 (18): 1-5.
- [39] Sun L, Yang Y J, Xia T, et al. Strong enhancement of chlorophyll a concentration by a weak typhoon[J]. Physics, 2010, 404: 39-50.
- [40] Zhao H, Tang D L, Wang D X. Phytoplankton blooms near the Pearl River Estuary induced by Typhoon Nuri [J]. Journal of Geophysical Research, 2009, 114: 1-9.
- [41] Chen Y Q, Tang D L. Eddy-feature phytoplankton bloom induced by tropical cyclone in the South China Sea [J]. Remote Sens, 2012, 33 (23): 7444-7457.
- [42] Zheng G M, Tang D L. Offshore and near shore chlorophyll increases induced by typhoon winds and subsequent terrestrial rainwater runoff [J]. Marine Ecology-Progress Series, 2007, 33: 61-72.
- [43] Greenwood F D, Stevens P W, Matheson R E. Effects of the 2004 hurricanes on the fish assemblages in two proximate Southwest Florida estuaries: change in the context of inter annual variability[J]. Estuaries Coasts, 2006, 29 (6A): 985-996.
- [44] Switzer T S, Winner B L, Dunham N M, et al. Influence of sequential hurricanes on nekton communities in a southeast Florida estuary: short-term effects in the context of historical variations in freshwater inflow[J]. Estuaries Coasts, 2006, 29 (6A): 1011-1018.
- [45] Yu J, Tang D L, Li Y, et al. Increase in fish abundance during two typhoons in the South China Sea[J]. Advances in Space Research, 2013, 51(9): 1734-1749.
- [46] 李雪渡. 海水温度与渔场之间的关系[J]. 海洋学报, 1982, 4(1): 103-112.
- [47] 刘树勋, 韩士鑫, 魏永康. 东海西北部水团分析及与渔场的关系[J]. 水产学报, 1984, 8(2): 125-133.
- [48] 韦晨, 周彬彬. 黄渤海蓝点马鲛短期渔情预报的研究[J]. 海洋学报, 1988, 10(2): 216-221.
- [49] 崔雪森, 陈雪东, 樊伟. 金枪鱼渔场分析预报模型及系统的开发[J]. 高技术通讯, 2007, 1: 100-103.
- [50] 张衡, 崔雪森, 樊伟. 基于遥感数据的智力竹筴鱼渔场预报系统[J]. 农业工程学, 2012, 28(15): 140-144.
- [51] 杨胜龙, 周为峰, 伍玉梅, 等. 西北印度洋大眼金枪鱼渔场预报模型建立与模块开发[J]. 水产科学, 2011, 30(1): 667-673.
- [52] 高峰, 陈新军, 范江涛, 等. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼中心渔场预报的实现及验证[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(5): 754-758.
- [53] 陈峰, 雷林, 毛志华, 等. 基于遥感水质的夏季东海鲐鱼渔情预报研究[J]. 广东海洋大学学报, 2011, 3: 56-62.
- [54] 范江涛, 陈新军, 钱卫国, 等. 南太平洋长鳍金枪鱼渔场预报模型研究[J]. 广东海洋大学学报, 2011, 31(6): 61-67.
- [55] 于杰, 李永振. 海洋渔业遥感技术及其渔场渔情应用进展[J]. 南方水产, 2007, 1: 62-67.

(本文编辑: 刘珊珊)