

## 东海黑潮表层盐度分布特征及其影响因素\*

任惠茹, 康建成, 李卫江, 安琰, 张建平, 王甜甜

上海师范大学城市生态与环境研究中心, 上海 200234

**摘要:** 利用美国国家海洋大气管理局 2007 年发布的全球海域温、盐数据库资料, 美国地球物理数据中心 2006 年发布的海底地形数据库资料以及日本海洋科学与技术机构 2003 年发布的 1997—2002 年东海地区月平均降水量资料, 研究东海黑潮表层盐度的月季分布特征, 并分析其影响因素。结果表明, 东海黑潮表层盐度存在明显的月季变化特征。总体而言, 12 月至次年 3 月表层盐度高, 6—9 月表层盐度低, 4、5 月和 10、11 月为过渡阶段; 表层盐度高值分布在东海黑潮主段靠近东边界一侧; 6—9 月入口段的表层盐度高于出口段的表层盐度, 其他月份入口段的表层盐度低于出口段的表层盐度。东海黑潮表层盐度主要受表层温度、降水、径流的影响。冬、春、秋季的表层盐度分布在黑潮主段靠近陆架一侧区域受表层温度影响大; 降水对东海黑潮表层盐度产生局部小范围的影响, 时间主要集中在 1 月和 6—8 月份, 区域分布在低纬 25°N 以南和 30°N 附近。长江冲淡水夏季对东海黑潮表层盐度的影响大于其他季节对东海黑潮表层盐度的影响, 7 月长江径流量达到最大值时, 对应的黑潮扇形区的盐度最低。

**关键词:** 东海黑潮; 盐度; 温度; 降水; 长江冲淡水

中图分类号: P731.1 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2011)05-0055-07

## Surface salinity distribution of the Kuroshio in the East China Sea and its influencing factors

REN Hui-ru, KANG Jian-cheng, LI Wei-jiang, AN Yan, ZHANG Jian-ping, WANG Tian-tian

Urban Ecology and Environment Research Center, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China

**Abstract:** Using the World Ocean Atlas 2005 by the National Oceanic and Atmospheric (NOAA) published in 2007, topography database in 2006 by the National Geophysical Data Center (NGDC), and the grid precipitation data of the Asian region by the Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) published in 2003, the authors explore three-dimensional techniques for oceanic data analysis and figures manifestation with Matlab computer programs. They find that the surface salinity distribution of the Kuroshio in the East China Sea (ECS) varies monthly. First, the salinity at surface is higher in December through March, and is lower in June to September; the salinity in the rest of year is in between. Second, the salinity is the highest near the east side of the Kuroshio in the East China Sea where is closer to Ryukyu Island. The salinity at surface is affected by surface temperature, rain, and Changjiang diluted water. The salinity at surface of the Kuroshio in the East China Sea is mainly influenced by surface temperature near the shelf of contentious in November to February. Surface salinity is impacted by precipitation at small-scale in January and summer, which is in areas south of 25°N and also near 30°N where the ECS-Kuroshio flows into the Tokara Strait. Summer runoff of Changjiang diluted water affects most to the surface salinity of the Kuroshio in a fan-shaped zone, resulting the maximum runoff in July and the corresponding minimum salinity on surface of the Kuroshio in the fan-shaped zone in the East China Sea.

**Key words:** Kuroshio in the East China Sea; salinity; temperature; precipitation; Changjiang diluted water

收稿日期: 2009-12-23; 修订日期: 2010-08-12。孙淑杰编辑

基金项目: 上海市科委攻关项目(062412049); 上海市教委重点项目(08ZZ69); 上海市教委重点学科建设项目(J50402)

作者简介: 任惠茹(1983—), 女, 河北省石家庄市, 硕士研究生, 主要从事海洋水文气候环境研究。E-mail: rhr830412@yahoo.com.cn

通信作者: 康建成。E-mail: kangjc@sh163.net

\* 芮建勋副教授给予指导, 王国栋、闫国东、谢小进、朱文武参与讨论, 在此一并表示感谢。

黑潮是太平洋一支强的西边界流,具有高温、高盐的特征<sup>[1-3]</sup>。黑潮携带大量能量跨过宜兰海脊流经台湾以东海域向北流动进入东海,与东海陆架水相互作用,进行物质、能量、动量的交换,对流经地区的气候产生重要影响;它会引起近海环流系统变异,对我国甚至全球的气候产生重大影响<sup>[3-5]</sup>。温度、盐度是海水最基本的两个特征参数,而海洋中温、盐的时空分布和变化是海洋学研究最基本的内容之一,它们几乎与海洋中所有现象都有密切的联系<sup>[6]</sup>。已有的盐度研究主要集中在对东海地区观测断面以及表层分布特征的分析,如浦永修<sup>[7]</sup>、刘兴泉等<sup>[8-10]</sup>、顾玉荷等<sup>[11-12]</sup>分别对 30°N、137°E、PN(PN 断面位置为 27°30'N, 128°15'E—30°30'N, 124°30'E)等断面的盐度进行了分析,绘制了等盐线分布状况图,并指出表层、底层盐度低,次表层盐度高,外海盐度高,靠近陆架一侧盐度低。吕庆华<sup>[13]</sup>、李徽翡等<sup>[14]</sup>、林葵等<sup>[15]</sup>利用不同方法对东海表层盐度进行了探讨,分析了冬、夏季表层盐度的分布特征,发现盐度由西北向东南增大,东海黑潮盐度高,且有季节变化。前人对黑潮盐度的研究较温度的研究少,主要是由于盐度资料难获取<sup>[16]</sup>。东海黑潮区域内盐度的月季变化研究较少,表层盐度的年循环过程尚不清楚,因此本文利用国际数据库中的东海地区多年月平均盐度资料,探讨东海黑潮区表层盐度的月季分布特征,并分析影响这些分布特征的因素。

## 1 资料来源及分析方法

资料的来源主要有: 1)美国国家海洋大气管理局(NOAA)2007年发布的全球海域温、盐数据库(World Ocean Atlas 2005),时间跨度1895—2005年,数据库的网格精度为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ <sup>[17]</sup>; 2)美国国家地球物理数据中心(NGDC)2006年发布的全球海底地形数据库资料,数据库网格精度为 $2' \times 2'$ <sup>[18]</sup>; 3)日本海洋科学与技术机构(JAMSTEC)2003年发布的1997—2002年东海地区月平均降水量资料,该资料结合雷达、雨量观测以及收集陆地水文站的降水量,是东海地区较全面的降水资料,数据库的网格精度为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ <sup>[19]</sup>; 4)中国水利部长江水利委员会公布的2003—2007年《长江泥沙公报》<sup>[20]</sup>中长江月平均径流量。

研究区域见图1,根据前人对东海地形的分析以及东海区域浮标的流路<sup>[21-22]</sup>,在120°—130°E、20°—35°N东海范围内分别选取500和160m<sup>[23]</sup>(见图1中160m、冲绳海槽东侧500m等深线)等深线来

划定东海黑潮的东西边界,确定黑潮的范围。在此范围内提取盐度数据库中的表层数据,利用Matlab计算机平台和相关编程技术对盐度数据进行处理,展示成图,并讨论分析不同月份东海黑潮表层盐度的分布特征。利用统计学中的线性回归方法计算不同月份海水的表层盐度与表层温度、降水、径流(长江冲淡水)的相关系数,分析东海黑潮不同区域表层盐度受海水表层温度、降水、径流等因素影响的程度。

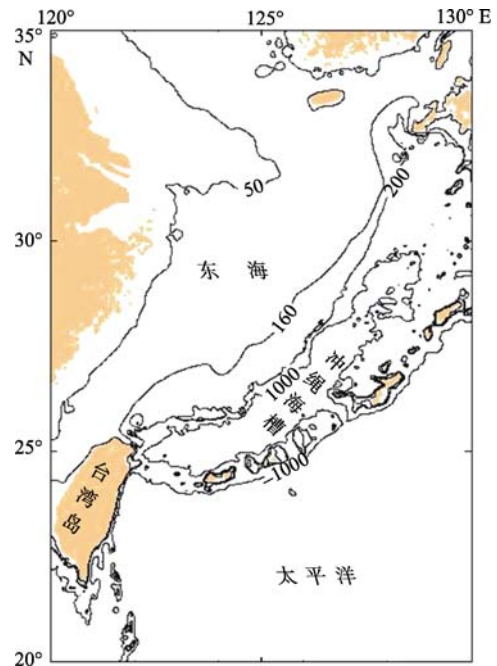


图1 东海海底地形图

Fig. 1 Topography in the East China Sea

## 2 结果与讨论

### 2.1 东海黑潮表层盐度分布特征

利用Matlab计算机平台编程分析国际数据库中的东海黑潮表层盐度月平均资料,绘制东海黑潮区12个月的表层盐度分布图(图2),发现东海黑潮表层盐度分布存在明显的区域变化和月季变化。结合前人对黑潮表层流路的研究<sup>[24-25]</sup>,分析表层盐度在不同区域的月季变化。将黑潮分为3段,25°N以南为东海黑潮的入口段,25°—30°N为东海黑潮的主段,30°—34°N为黑潮的出口段,对比各段表层盐度分布,可以得到以下结果。

1)在25°N以南东海黑潮的入口段,表层盐度值在33.5‰—34.5‰之间;全年盐度值变化不大,1—3月表层盐度值高,6—10月表层盐度值低。2)在25°—30°N东海黑潮主段,表层盐度存在明显的季节变

化, 12 月至次年 3 月的表层盐度分布相似, 高于其他月份的盐度, 2 月的表层盐度高(34.8‰以上); 6—9 月的表层盐度低(34.4‰以下), 其中 8 月的表层盐度最低; 4、5 月和 10、11 月为过渡时段, 4、5 月为降盐阶段, 10、11 月份为增盐阶段。表层盐度值在靠近黑潮的东边界一侧高, 靠近陆架一侧低, 高盐区

出现在东海黑潮主段琉球群岛、奄美群岛以西的区域。3)在 30°—34°N 东海黑潮的出口段, 盐度高值出现在 1—3 月(34.5‰以上); 6—10 月的盐度低(33.6‰—34‰之间)。4)表层盐度最高段在黑潮主段, 6—9 月东海黑潮入口段的表层盐度高于出口段的表层盐度(约高 0.4‰), 而其他月份的情况相反。

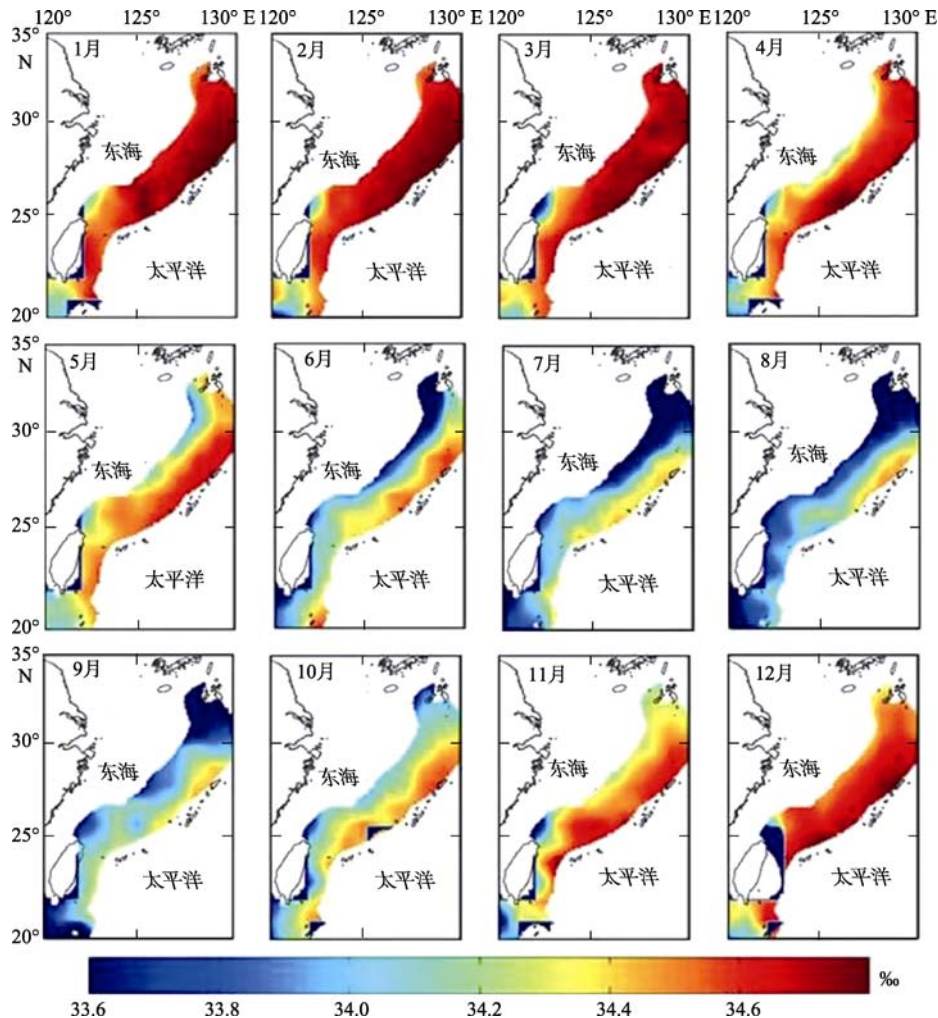


图 2 东海黑潮表层 12 个月盐度的分布

Fig. 2 Surface salinity of the Kuroshio in the East China Sea in different months

## 2.2 影响东海黑潮表层盐度分布的因素

影响东海黑潮表层盐度分布的主要因素有温度、降水和陆地径流<sup>[26]</sup>等, 为了定量探讨它们之间的相关程度, 利用统计学中的线性回归来计算东海黑潮区的表层盐度与表层温度、降水之间的相关系数。提取 120°—130°E、20°—35°N 东海范围内温度、盐度(或降水)数据库中的表层资料, 精度由 1°×1°内插为 0.1°×0.1°; 取  $r$  为相关系数,  $r$  等于  $x$ 、 $y$  的协方差除以  $x$ 、 $y$  的标准差, 其中  $cov(x, y)$  为  $x$ 、 $y$  的协方差,  $X$ 、 $Y$  分别代表  $x$ 、 $y$  的标准差,  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$  代表数据库中表层盐度和表层温度(或降水),  $\bar{X}$ 、 $\bar{Y}$  代表标准差

的平均值,  $n$  为数据库中数据数量; 分别沿纬度方向和经度方向, 应用公式(1)—(4)以每 5 个单位的温度值与其对应的盐度值计算其相关系数, 依次滑动计算得出经纬方向 2 个相关系数矩阵。将这两个矩阵进行平均, 形成新的相关系数矩阵, 网格精度为 0.1°×0.1°, 数据在 -1  $r$  1 范围之间。| $r$ | 值越大说明  $x$ 、 $y$  的关系越密切。用  $t$  检验判断其相关的可信度, 用 0.05 显著水平检验, 达到 95% 的信度水平。将这个相关系数矩阵与地形数据库叠加, 在划定黑潮的范围内讨论表层温盐(降水)关系。下面分别探讨表层温度、降水对东海黑潮表层盐度分布的影响。

为讨论方便, 将  $r$  的分布区间划分为 7 段(表 1)。

$$r = \frac{\text{cov}(x, y)}{X \times Y} \quad (1)$$

$$\text{cov}(x, y) = \frac{1}{n} \sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y}) \quad (2)$$

$$X = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n^2}} \quad (3)$$

$$Y = \sqrt{\frac{n \sum y^2 - (\sum y)^2}{n^2}} \quad (4)$$

表 1 相关系数分类表

Tab. 1 Correlation coefficient classification list

$-1 \leq r < -0.8$	$-0.8 \leq r < -0.5$	$-0.5 \leq r < -0.3$	$-0.3 \leq r \leq 0.3$	$0.3 < r \leq 0.5$	$0.5 < r \leq 0.8$	$0.8 < r \leq 1$
高度负相关	显著负相关	低度负相关	不存在相关关系	低度正相关	显著正相关	高度正相关

2.2.1 东海黑潮表层盐度与表层温度的相互关系

从物理机制方面看, 海表温度高, 蒸发量大, 表层盐度高, 表层盐度与表层温度有正相关的关系。由于海表气温的资料不多, 海水蒸发的多寡并不完全单一地取决于海表水温的高低, 海表气温与水温也存在一定的关系, 所以尝试利用多年海表水温资料谈论温度与表层盐度的潜在关系。

由于温度对表层盐度的影响为正相关, 所以重

点关注  $0.8 < r \leq 1$  的高度正相关区域和  $0.5 < r \leq 0.8$  的显著正相关区域(图 3)。总体来说, 东海黑潮主段靠近陆架一侧, 虽然全年 12 个月的范围不同, 但都出现高度正相关的区域, 且冬、春、秋季范围较大。靠近陆架一侧的表层温度与东海黑潮的表层盐度呈现正相关, 在此区域内温度为影响表层盐度的主要因素。11 月一次年 2 月表层温盐的高度正相关区域大, 分布特征相近, 11 月表层温盐高度正相关区域

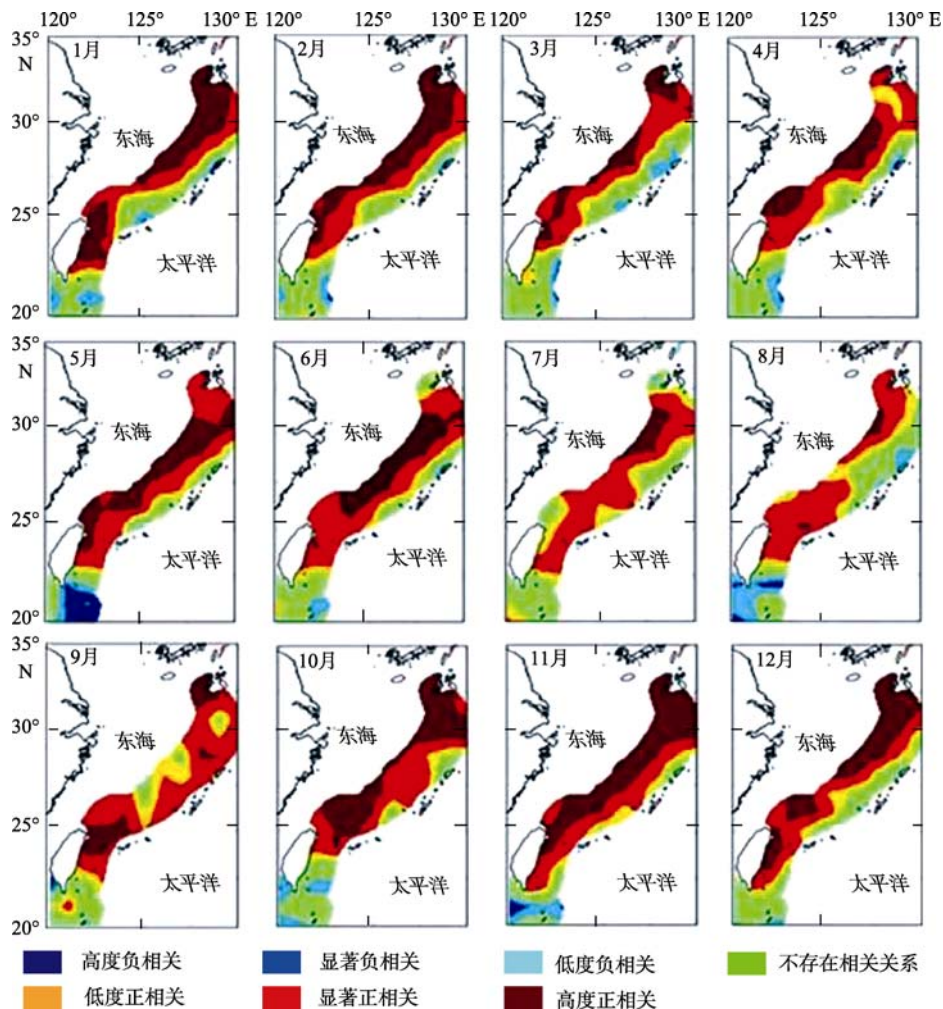


图 3 东海黑潮表层盐度与表层温度相关系数数分布图

Fig. 3 Distribution of monthly correlation coefficient between salinity and temperature at surface of the Kuroshio in the East China Sea

最大, 在 23°—32°N 靠近东海黑潮的西边界区域, 范围约占东海黑潮流幅的 50%, 随着纬度的升高, 该区域受温度的影响变得显著。5、6、10 月表层盐度高度正相关区域有所减少, 约占此段流幅的 30%; 5、6 月份高度正相关区域缩退至 30°N, 较冬季纬度位置有所降低。7—9 月表层盐度中高度正相关的范围很小, 7 月和 8 月只在 29°—31°N 范围内出现, 9 月在 25°N 和 32°N 附近存在。表层盐度显著正相关区域在 6—9 月范围较大, 在 23°—32°30'N 范围内均有分布。9 月表层盐度显著正相关的范围最大, 且集中在靠近外海一侧, 占东海黑潮区域的 60%, 其他月份表层盐度显著正相关的区域都靠近高度正相关区域, 呈条带状分布。

### 2.2.2 东海黑潮表层盐度与降水的相互关系

由于难以获取海洋上的降水资料, 因此对 JAMSTEC 2003 发布的东海地区较全面的月降水资料进行平均, 采取网格化内插和质量控制方法对东

海黑潮区域的降水资料进行填补。东海黑潮表层盐度与降水相关系数的计算方法与温盐相关系数的计算方法相同。

由于区域降水量大、盐度低, 故主要分析呈负相关的区域。如图 4 所示, 降水对表层盐度的影响范围不像对温度的影响范围那么大, 降水对东海黑潮表层盐度产生局部影响, 且主要集中在 1 月和 6—8 月。1 月表层盐度与降水的负相关区域分布在黑潮入东海前的 22°30'N 以南区域、25°—27°N 以及 30°N 附近的小范围内, 负相关区域范围小且较分散。冬季天气干燥, 风力强, 蒸发大, 表层盐度值高, 出现负相关区域说明局部降水量大是影响这些区域表层盐度变化的主要原因。6、7 月份在 30°—32°30'N 出现显著负相关的区域, 6、7 月的夏季盛行偏南风且风速小、蒸发弱, 此时降水量大于蒸发量, 表层盐度值低。7 月除在高纬地区的负相关区域外, 在 22°30'—25°N 以南也有一部分负相关区域。8 月

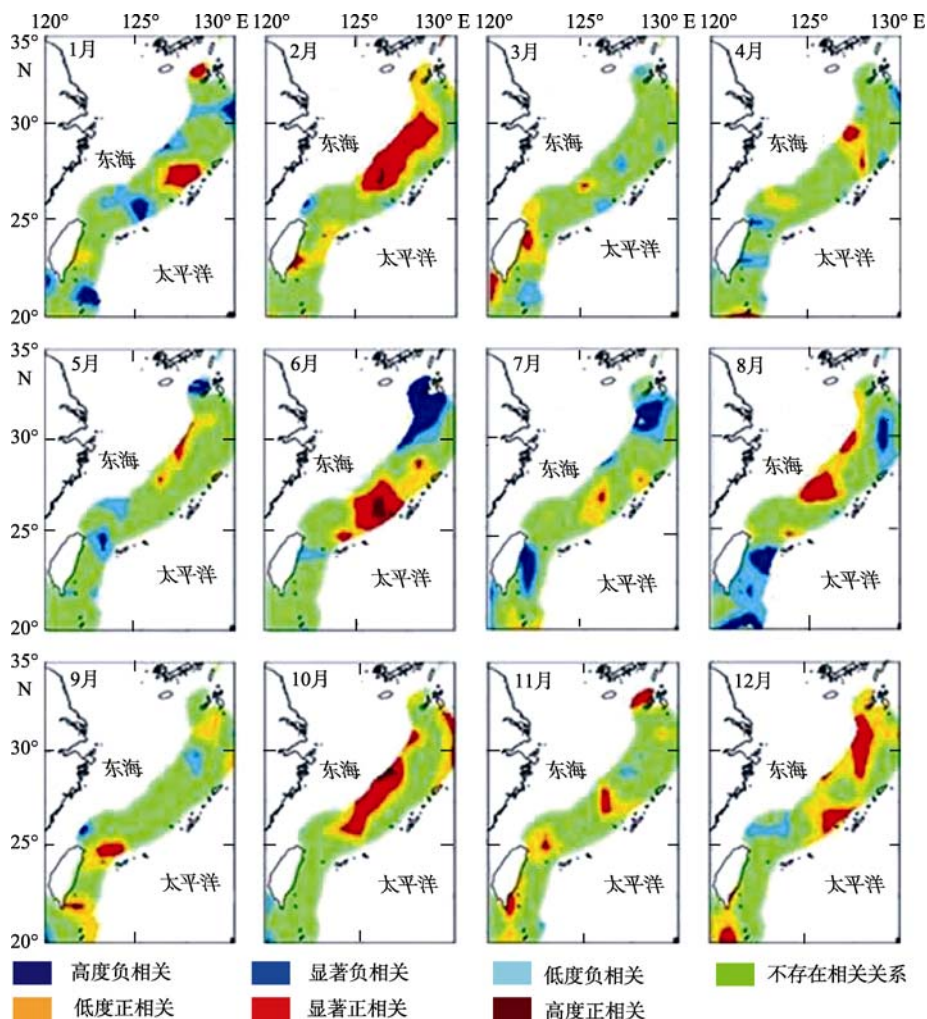


图 4 东海黑潮表层盐度与降水相关系数分布图

Fig. 4 Distribution of monthly correlation coefficient between rainfall and surface salinity of the Kuroshio in the East China Sea

25°N 的低纬地区和吐噶喇海峡 29°N 附近, 降水量与表层盐度均存在显著负相关区域, 且相关区域较大, 相关系数在-0.8—-0.5 之间。其他月份表层盐度与降水量呈现负相关的范围很小, 分布较分散, 主要为低度负相关, 相关系数在-0.5—-0.3 之间, 大部分地区降水量对表层盐度的影响较小。由于海水一直处于流动之中, 而且还与其周围的海水混合, 因此盐度的变化可能与降水不一致, 进而引起两者的关系较弱。

### 2.2.3 东海黑潮表层盐度与长江冲淡水的关系

影响海水盐度的主要因子除了蒸发与降水、环流强弱、水团的消长外, 江河入海径流量的多少也起着重要的作用<sup>[24]</sup>。黑潮在流经东海过程中与周围海水混合, 其中长江冲淡水作为重要因素影响黑潮的表层盐度。长江是我国第一大河, 径流量大, 入东海后形成冲淡水, 因其密度比海水密度小而漂浮在海水之上<sup>[27]</sup>。东海北部表层盐度的分布与变化, 很大程度上视长江入海径流的多少而定<sup>[23]</sup>。夏季长江入海径流量为一年四季中最大, 冲淡水区推向外海范围广<sup>[28]</sup>, 表层冲淡水向东北扩展至 32°30'N, 向东南扩展到 124°30'E<sup>[29]</sup>(32‰等盐线)。故以夏季长江冲淡水扩散范围的延长线来划定长江冲淡水影响东海黑潮表层盐度的区域(图 5 中的区域 A)。计算区域 A 中表层盐度的各月平均值, 提取 2003—2007 年《长江泥沙公报》中大通站长江各年各月径流量进行平均, 讨论划定区域内东海黑潮表层盐度与长江冲

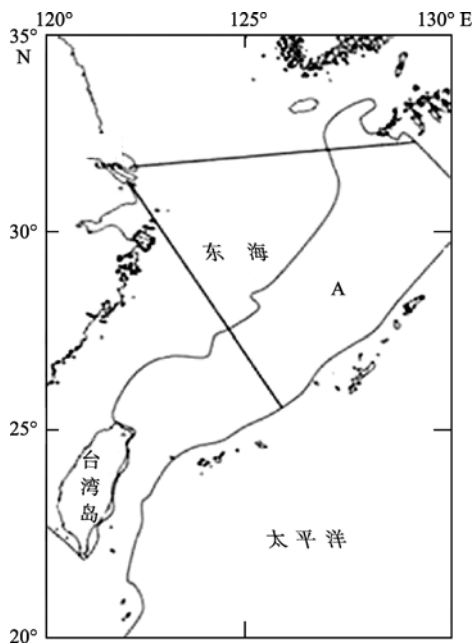


图 5 长江冲淡水对东海黑潮潜在影响的扇形区域  
Fig. 5 The fan-shaped area in which Changjiang diluted water affects the Kuroshio in the East China Sea

淡水的相关性(图 6)。长江月径流量分布显示, 6—9 月径流量为一年中的高值, 其中 7 月达到最大, 约为  $1.2 \times 10^{11} \text{m}^3$ , 而此时对应区域内表层黑潮的盐度平均值为一年中最低, 平均盐度为 33.4‰。冬季 12、1、2 月冲淡水的径流量较小, 对应区域的平均盐度有所增加, 最高值出现在 1 月, 平均盐度为 34.7‰。可见长江冲淡水的径流量与划定黑潮区域的表层盐度呈现高度负相关。长江冲淡水对黑潮表层盐度的影响主要在夏季, 影响最大的月份为 7 月。

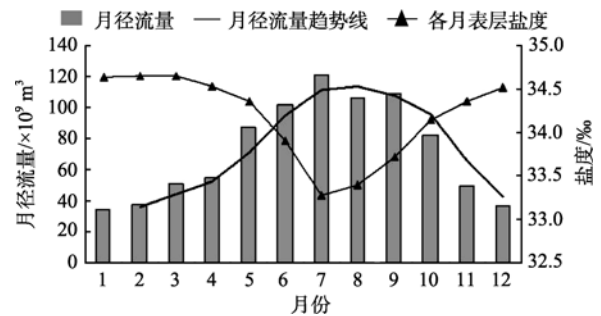


图 6 长江冲淡水月径流量与受淡水影响的黑潮区域各月表层平均盐度变化关系图

Fig. 6 Relationship between Changjiang diluted water and average surface salinity of the Kuroshio in the East China Sea in different months

## 3 结论

分析最新发布海洋数据库中东海地区的月平均盐度资料, 分析东海黑潮表层盐度的月季变化, 探讨表层盐度的变化特征以及影响表层盐度分布的因素, 得到以下结论。

1) 东海黑潮表层盐度存在明显的月季变化。12 月—次年 3 月的黑潮主段表层盐度高于其他月份, 6—9 月的表层盐度最低, 4、5 月和 10、11 月为过渡时段。表层盐度最高值分布在东海黑潮主段靠近东边界一侧, 即琉球群岛、奄美群岛以西的区域。东海黑潮入口段的表层盐度较低, 6—9 月入口段的表层盐度高于出口段的表层盐度, 其他月份的情况相反。

2) 东海黑潮表层盐度受表层温度的影响在不同月份间存在差异, 冬、春、秋季靠近陆架一侧的区域受表层温度影响大, 其中 11 月—次年 2 月受影响的区域大于春、秋两季, 11 月受温度影响区域最大。

3) 降水对东海黑潮表层盐度产生局部小范围的影响, 主要集中在 1 月和夏季的 6—8 月, 集中在低纬 25°N 以南和 30°N 附近, 其他月份表层盐度与降

水量呈现负相关的范围很小。

4) 长江冲淡水夏季对东海黑潮表层盐度的影响大于其他季节对东海黑潮表层盐度的影响, 其中 7

月达到最值, 影响区域内表层盐度平均值最低, 而此时长江月径流量也出现最大值, 冲淡水与表层盐度呈现较好的负相关。

## 参考文献

- [1] 袁耀初, 苏纪兰. 1995 年以来我国对黑潮及琉球海流的研究[J]. 科学通报, 2000, 45(22): 2353-2356.
- [2] 李忠贤, 孙照渤. 秋季黑潮海温与东亚冬季风的相关联系[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(2): 145-152.
- [3] 苏纪兰. 中国近海的环流动力机制研究[J]. 海洋学报, 2001, 23(4): 1-16.
- [4] 郑小童, 刘秦玉, 胡海波, 等. 琉球群岛以西的西边界流与东海黑潮流量时空特征的研究[J]. 海洋学报, 2008, 30(1): 1-9.
- [5] YOU Y. Rain-formed barrier layer of the western equatorial Pacific warm pool: A case study [J]. J Geophys Res, 1998, 103: 5361-5378.
- [6] 冯士筴, 李凤岐, 李少菁. 海洋科学导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 435-482.
- [7] 浦永修. 夏季东海 30°N 断面的盐度分布特征[J]. 东海海洋, 2002, 20(1): 1-13.
- [8] 刘兴泉. 东海 PN 断面夏季温盐及化学要素的分布特征[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(2): 204-212.
- [9] 刘兴泉, 尹宝树, 侯一筠. 长江口及其邻近海区环流和温、盐结构动力学研究: 环流的基本特征[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(4): 312-320.
- [10] 刘兴泉, 尹宝树, 侯一筠. 长江口及其邻近海区环流和温、盐结构动力学研究: 定解条件与研究方案[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(1): 82-89.
- [11] 顾玉荷, 孙湘平, 胡敦欣. 137°E 经向断面温、盐度的年际变异[J]. 海洋学报, 1999, 21(6): 9-16.
- [12] 顾玉荷, 孙湘平, 许兰英. 137°E 经向断面上的副热带逆流[J]. 海洋学报, 1999, 21(5): 22-30.
- [13] 吕华庆. 东海 1999 年夏、冬上层水团的温、盐分布及其与历史平均状况的比较[J]. 海洋学研究, 2006, 24(1): 28-36.
- [14] 李徽翡, 赵保仁. 夏季东中国海环流三维数值实验[J]. 海洋科学集刊, 2003, 45: 48-60.
- [15] 林葵, 汤毓祥, 郭炳火. 黄海、东海表、上层实测流分析[J]. 海洋学报, 2002, 24(2): 9-19.
- [16] FONT J, LAGERLOEF G S E, LE VINE D M. The determination of surface salinity with the European SM OS space mission [J]. IEEE Trans Geosci and Remote Sensing, 2004, 42(10): 2196-2204.
- [17] National Oceanographic Data Center. NOAA satellite and information service [EB/OL]. (2007-03-15) [2007-05-15]. <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA05/woa05data.html>.
- [18] National Geophysical Data Center. Marine geophysics [EB/OL]. (2007-07-25) [2007-12-06]. [http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gdas/gd\\_designagrid.html](http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gdas/gd_designagrid.html).
- [19] JAMSTEC. Earth observation data and analysis product [EB/OL]. (2008-12-01) [2008-12-30]. <http://www.AsianGriddedPrecipitation-EarthObservationDataandAnalysisProduct.html>.
- [20] 中华人民共和国水利部. 中国河流泥沙公报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 5-30.
- [21] 中国水利. 中国水利数据中心网站 [EB/OL]. (2007-07-05) [2007-10-30]. <http://www.chinawater.net.cn/cwsnet/gazette/nisha/2005/index.html>.
- [22] 刘忠臣, 陈义兰, 丁继胜, 等. 东海海底地形分区特征和成因研究[J]. 海洋科学进展, 2003, 21(2): 160-173.
- [23] 山峰, 林霄沛, 吴德星. 东海黑潮混沌特征的数值分析[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2003, 33(1): 15-21.
- [24] 任惠茹, 康建成, 王甜甜, 等. 东海黑潮热核的时空分布[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(5): 77-84.
- [25] 孙湘平. 中国近海区域海洋[M]. 北京: 海洋出版社, 2008: 237-325.
- [26] 鲍献文, 林霄沛, 吴德星, 等. 东海陆架环流季节变化的模拟与分析[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2005, 35(3): 349-356.
- [27] 毛汉礼, 任允武, 万国铭. 应用 T-S 关系定量地分析浅海水团的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1964, 6(1): 1-20.
- [28] 朱建荣, 丁平兴, 胡敦欣. 2000 年 8 月长江口外海区冲淡水和羽状锋的观测[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(3): 249-255.
- [29] 潘玉球, 黄树生. 长江冲淡水输运和扩散途径的分析[J]. 东海海洋, 1997, 15(2): 25-34.
- [30] 朱建荣, 李永平, 沈焕庭. 夏季风场对长江冲淡水扩展影响的数值模拟[J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(1): 72-79.