

浙江近岸海域赤潮事件时空分布特征研究

李阳东^{1,2,3,4}, 谢洋洋¹, 李仁虎¹, 常亮¹

(1.上海海洋大学海洋科学学院,上海 201306; 2.农业农村部大洋渔业开发重点实验室,上海 201306; 3.大洋渔业资源可持续发展教育部重点实验室,上海 201306; 4.上海市河口海洋测绘工程技术研究中心,上海 201306)

摘要: 利用浙江省海洋灾害公报中2006—2017年的赤潮灾害数据,分析了浙江近海赤潮的年、月和季节尺度的变化规律,同时分析了浙江近海赤潮的空间分布规律。将自适应带宽核密度分析方法应用于赤潮灾害研究,分析了浙江近海不同海域受赤潮影响的程度。研究结果表明:浙江海域赤潮高发于春末和夏季,5月是发生峰值期;从年际情况看,近年来赤潮发生的累计次数和面积呈上升趋势;浙江省赤潮主要发生在5个海域,按受赤潮影响的程度由高到低依次为舟山本岛、嵎泗列岛、温州、宁波和台州。

关键词: 浙江;赤潮;时空分布特征;自适应带宽核密度分析

中图分类号: X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2021)01-0054-07

1 引言

浙江作为我国的海洋大省,拥有丰富的海洋资源,但同时也受到各种海洋灾害影响,赤潮灾害是其中之一。近海赤潮的发生与气象、水文、化学和生物条件密切相关^[1]。根据赤潮发生的空间位置、营养源和水动力环境,可将我国的赤潮分为河口型、海湾型、养殖型、上升流型、沿岸流型和外海型6类,其中河口型、养殖型和上升流型赤潮严重危害了浙江沿海的海洋经济和生态环境^[2]。早在1992年就有学者呼吁应重视浙江沿海的赤潮灾害^[3],包括浙江沿海在内的长江口及其临近海域是我国近海赤潮灾害高发海域^[4],连年的赤潮灾害严重威胁着海水养殖、人类健康和生态安全。因此,有必要对浙江沿海赤潮时空分布规律展开研究,为预防和治理该海域赤潮的发生提供科学依据和决策支持。

为探究赤潮发生的机理、规律及与海洋环境的关系,国内外学者进行了大量研究。为研究赤潮发

生规律,Uhlig等^[5]分析了1968—1988年德国海湾的夜光藻赤潮事件,其研究成果奠定了赤潮研究的理论基础;Ignatiades等^[6]分析了2002—2003年爱琴海5个不同海湾亚历山大藻赤潮与环境因子之间的关系;Gobler等^[7]则从氮对纽约不同海湾区域多环旋沟藻赤潮的影响方面展开了研究。近年来,国内学者对我国近海赤潮的时空分布特征也进行了一些研究,这些研究对我国近海总体的赤潮时空特征进行了分析总结,并提出了一些应对措施。例如:洛昊等^[8]研究我国赤潮时空特征的同时提出了一些减灾对策;郭皓等^[9]通过分析1995—2014年20 a的赤潮资料,发现我国赤潮发生具有全年、全海域、多种类、高危害、发生时间和发生区域显著等特点;于仁成等^[10]分析了我国近海有害藻华灾害的现状和演变趋势。同时也有很多学者对不同海域的赤潮时空特征进行了研究。例如:林凤翱等^[11]研究了我国渤海海域赤潮的时空分布、赤潮优势种和变化趋势;王素芬等^[12]综合分析了我南海赤潮的时空分布与环境之间的关系;刘录三等^[13]系统分析了长江口及

收稿日期: 2020-03-11; 修回日期: 2020-05-24。

基金项目: 国家自然科学基金(41506211);国家重点研发计划(2019YFD0901404)。

作者简介: 李阳东(1977-),男,副教授,博士,主要从事卫星海洋学、海洋地理信息系统和海岸带环境水动力学模拟等方面的研究。

E-mail: ydli@shou.edu.cn

其临近海域的赤潮时空分布规律,并绘制了赤潮分布图;一些学者还研究了水动力环境、营养盐和光照等环境因子对长江口及其邻近海域赤潮时空分布与种群结构的影响^[14-16];翟伟康等^[17]基于1989—2014年河北省的赤潮数据,分析了河北省赤潮的特征;利用江苏省1997—2014年的赤潮数据,高清清等^[18]研究了江苏省赤潮分布特征、赤潮的种类和特征;易斌等^[19]通过分析2009—2016年华南近海的赤潮资料,对该海域的赤潮时空分布规律进行研究,并且初步探讨了赤潮种类的分布特点。虽然通过这些研究对赤潮发生的机理和规律特征等有了更深入的认识,但对于中国近海各海域赤潮空间分布特征的研究往往只是对赤潮的分布位置进行定性描述,或者绘制赤潮分布图^[8-13,17-19],而没有对赤潮影响程度进行分析。同时,由于赤潮发生机制复杂,对于浙江海域赤潮的时空分布及其影响因素的研究仍需进一步深入。

本文通过对2006—2017年浙江省的赤潮统计数据进行分析,总结浙江沿海赤潮发生的时间规律,并且使用自适应带宽核密度分析的方法,从赤潮影响范围的角度来研究分析浙江不同海域受赤潮影响的程度和空间分布特征。

2 数据与方法

本文使用的赤潮数据来自于2011—2017年《浙江海洋灾害公报》(网址: <http://www.zjhy.net.cn/hygb/index.jhtml>,以下简称“公报”)。公报中的赤潮数据包含了2011—2017年浙江海域历次赤潮事件的起止时间、影响区域、最大影响面积、赤潮优势和赤潮毒性等信息。公报中记录赤潮的持续时间最短为1 d,长则1 M,而赤潮影响面积小的不足1 km²,大的可达到几百平方千米。同时,还可以从这些公报中获得往年(2006年起)浙江海域赤潮累计发生次数和面积信息。本文在进行赤潮年变化特征分析时主要使用的是2006—2017年浙江海域赤潮数据。赤潮月和季节变化特征分析主要基于2011—2017年浙江海域的赤潮数据。赤潮空间分布特征的研究主要是基于赤潮发生区域和发生面积信息。赤潮数据基本处理主要包括3个方面:(1)将公报中的赤潮信息进行收集整理,统计赤潮起止

时间、赤潮发生区域和赤潮发生最大面积等主要信息;(2)对上述信息进行进一步处理,以便得到各月和各季节的多年累计面积和累计次数;(3)公报中的赤潮面积信息是准确明了的数值,但位置信息只是区域范围的大致描述。对于这种情况,本文采用“中心法”的思想^[20],根据公报中的位置描述结合地图找出赤潮事件发生区域大致中心位置的经纬度,以此表示对应赤潮事件发生区域的位置,将公报中的赤潮数据转化为各个“点数据”。

本文在分析浙江赤潮的空间特征时,使用了自适应带宽核密度分析的方法,从赤潮影响范围的角度探究赤潮对浙江省不同海域的影响程度。核密度分析是一种常用的空间分析方法,可用于分析离散的空间点数据在连续的空间平面区域的分布情况^[21-22]。常用的固定带宽核密度分析方法在每一个点的带宽都是相同的,同时带宽的选择具有很强的主观性,带宽过小只能反映局部特征而忽略总体特征,带宽过大则相反^[23]。自适应带宽核密度方法属于核密度分析的一种,是有效估计数据分布特征的方法。与固定带宽核密度分析方法相比,自适应带宽核密度方法的特点是能够根据数据本身的特点计算出每一个样本点的带宽值,以较为客观的方式选择带宽。该方法在空间数据分析挖掘方面有着重要的应用^[24-27]。本研究对历史赤潮数据应用“中心法”处理后,共得到了109个赤潮的“点数据”。数据量满足自适应带宽核密度分析方法的应用条件,可以用于浙江不同海域受赤潮影响程度的分析。

自适应带宽核密度分析方法一般分为3步^[23]:

第一步是导频估计(Pilot Estimation)。导频估计的构建可以使用核密度或者最临近估计方法:

$$\omega_i = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}, i = 1:n \quad (1)$$

$$K_i^1 = \frac{1}{2\pi H_1 H_2} \exp\left(-\frac{(x-x_i)^2}{2H_1^2} - \frac{(y-y_i)^2}{2H_2^2}\right) \quad (2)$$

$$H_1 = 1.06n^{-\frac{1}{5}} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\omega_i \cdot x_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\omega_j \cdot x_j))} \quad (3)$$

$$H_2 = 1.06n^{-\frac{1}{5}} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\omega_i \cdot y_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\omega_j \cdot y_j))} \quad (4)$$

$$\tilde{f} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\omega_i \cdot K_i^1) \quad (5)$$

式中: n 是统计赤潮的总次数; ω_i 是权重系数,即归一化赤潮面积; A_i 为第 i 次赤潮的面积; x_i 和 y_i 分别为第 i 次赤潮发生的经度和纬度, x 和 y 为估计点的经、纬度; K_i^1 是固定带宽的正态核密度方程,带宽为 H_1 和 H_2 ; \tilde{f} 为估计点的导频估计。

第二步是局部带宽确定:

$$h_i = (g^{-1} \cdot \tilde{f}_i)^{-\alpha} \quad (6)$$

式中: \tilde{f}_i 是第 i 次赤潮发生位置的导频估计, g 是 \tilde{f}_i 的几何均值:

$$g = \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n \tilde{f}_i} \quad (7)$$

式中: h_i 为第 i 次赤潮发生位置处的带宽; α 是灵敏度参数,取值范围为 $[0, 1]$,一般大小取为0.5,本文取值亦为0.5。

第三步是自适应该密度估计:

$$f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\omega_i \cdot K_i^2) \quad (8)$$

$$K_i^2 = \frac{1}{2\pi H_1 H_2 h_i^2} \exp\left(-\frac{(x - x_i)^2}{2H_1^2 h_i^2} - \frac{(y - y_i)^2}{2H_2^2 h_i^2}\right) \quad (9)$$

式中: f 即为自适应核密度估计值; K_i^2 为自适应带宽正态核密度方程。

3 结果分析

本文分别对浙江海域赤潮的时间和空间特征进行分析。时间特征方面,分别分析了浙江海域赤潮的年、月和季节尺度的时间变化。其中年变化分析基于2006—2017年浙江海域的赤潮统计信息,而月和季节变化分析则基于2011—2017年浙江海域的赤潮统计信息。年变化分析和月、季节变化分析统计的赤潮信息时间范围不同的原因主要有两个:(1)2006—2012年,浙江省赤潮发生的累计次数与累计面积呈下降趋势,而2012年之后又呈上升趋势;(2)在进行浙江赤潮历史数据收集的过程中发现,2011年之前的赤潮发生面积资料存在着不同程度的数据缺失和描述模糊的情况。所以本文在分

析赤潮的年变化特征时基于2006—2017年公报中有关赤潮灾害的数据,而分析月和季节变化特征时主要基于数据质量较好的2011—2017年的赤潮统计数据,以分析在赤潮影响呈上升趋势情况下的浙江赤潮时空分布特征。

3.1 时间分布特征

浙江近海是赤潮高发海域,本文根据收集到的公报的赤潮数据按年、月和季节分别统计了浙江省年赤潮发生的次数和累计面积。图1是2006—2017年浙江省赤潮累计面积和累计次数的年变化统计图,图2和图3分别是2011—2017年浙江省赤潮的月变化和季节变化统计图。

由图1可以看出,浙江省赤潮累计发生次数与累计面积在2006—2012年间基本呈下降趋势,虽然在2015年有所波动,但2012—2017年赤潮累计次数与累计面积整体呈上升趋势。图2结果显示,浙江海域的赤潮最早出现在2月,但累计仅发生1次,面积为30 km²;5月、6月、7月这3个月是赤潮发生的高峰期,其中峰值出现在5月,累计次数为49次,累计面积为5 209.9 km²;该海域赤潮最晚出现在9月,累计次数和面积分别为两次和202 km²。由图3可以看出,浙江海域赤潮的季节变化特征也相当明显。该海域赤潮最早出现于春季,其累计次数和累计面积最高,分别为57次和5 524.9 km²。结合图2中数据可知,赤潮季节变化的峰值出现在春季主要由于5月是浙江省赤潮发生的峰值期;同时,夏季也是浙江海域赤潮的高发期,赤潮累计次数为50次,累计面积为5 082.8 km²;秋季明显减弱,累计次数与

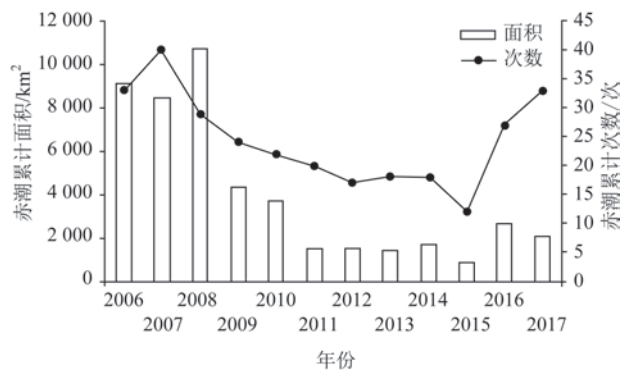


图1 2006—2017年浙江省赤潮累计发生次数与累计面积

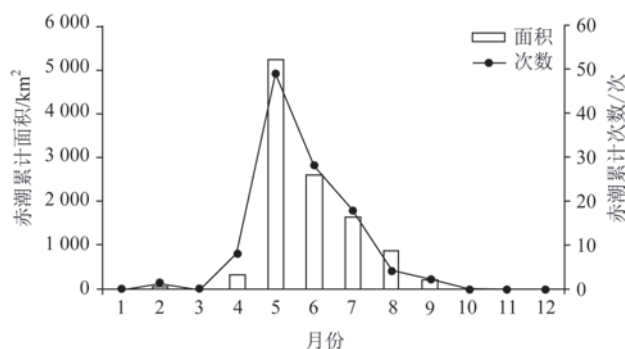


图2 2011—2017年浙江省各月赤潮多年累计发生次数与多年累计面积

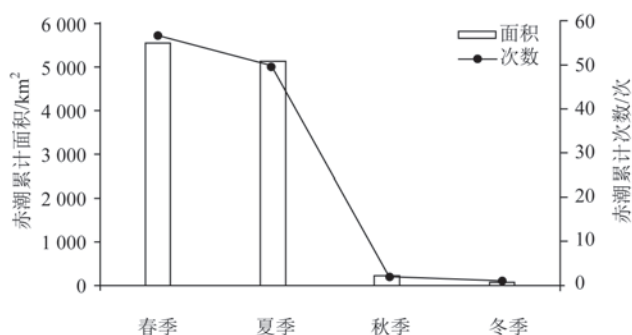


图3 2011—2017年浙江省各季节赤潮多年累计发生次数与多年累计面积

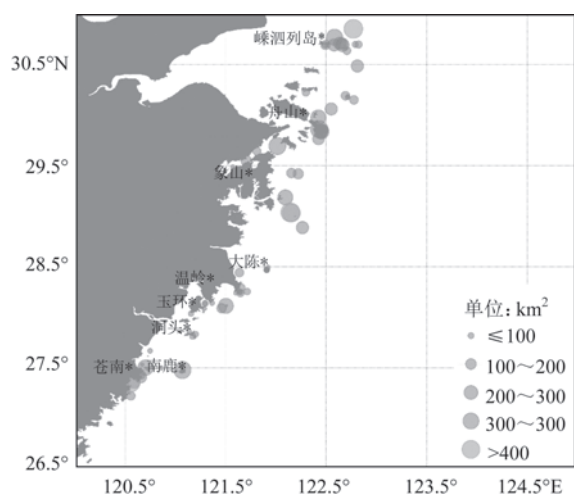


图4 2011—2017年浙江省赤潮分布

累计面积降为两次和202 km²;7 a间冬季暴发赤潮的情况极少,仅出现1次。

3.2 空间分布特征

本文根据2011—2017年浙江省赤潮数据,首先绘制了浙江省赤潮分布散点图(见图4)。根据赤潮发生面积的不同,将赤潮分成5个等级,对应的面积分别为:小于100 km²、100~200 km²、200~300 km²、300~400 km²和大于400 km²。接着以归一化赤潮面积为权重,使用自适应核密度分析方法绘制了浙江省赤潮概率密度分布图(见图5)。该图可以反映赤潮发生范围对浙江不同海域的影响。

由图4可以看出,浙江赤潮主要发生在嵊泗列岛、舟山本岛、宁波(象山)、台州(大陈、温岭和玉环)、温州(洞头、南麂和苍南)这5个海域。从赤潮

分布情况来看,嵊泗列岛、舟山本岛和温州这3个海域的赤潮分布较为集中,而宁波和台州海域的赤潮分布较为分散。从赤潮发生面积来看,嵊泗列岛、舟山本岛和宁波这3个海域的赤潮发生区域面积较大;温州海域的赤潮发生区域面积变化较大,该海域赤潮发生区域面积较小和较大的情况都存在;台州海域的赤潮发生区域面积相对较小。

图5由蓝到红代表海域受赤潮影响程度由低到高,不同颜色对应了赤潮概率密度值即式(8)中的 f 。由图5可以看出,舟山本岛海域赤潮概率密度对应的颜色主要为深红色,表示该海域受赤潮影响程度高;嵊泗列岛海域赤潮概率密度对应的颜色主要为橙红色,表明该海域受赤潮影响的程度为中高水平;温州苍南和南麂海域赤潮概率密度对应的颜色以青黄色为主,说明该海域受赤潮影响的程度为中等,而温州洞头海域表现为淡蓝色,说明该海域受赤潮影响程度较低;宁波象山海域赤潮概率密度对应为青色,表明其受赤潮影响程度为中低;台州的大陈、温岭和玉环海域则为淡蓝色,表示这些海域受赤潮影响程度较低。总体来看,自适应带宽核密度分析的结果显示浙江不同海域受赤潮影响程度由高到低分别为舟山本岛、嵊泗列岛、温州(苍南、南麂)、宁波(象山)、台州(大陈、温岭、玉环)和洞头。

浙江海域赤潮的空间分布很可能与浙江海域的水动力环境有关。长江冲淡水 and 浙江沿岸上升流是浙江海域两种主要的性质不同的水团^[28]。长江冲淡水提供的较高的营养盐(如:氮、磷、硅)和其他生命所需的元素有利于河口附近海域初级生产力

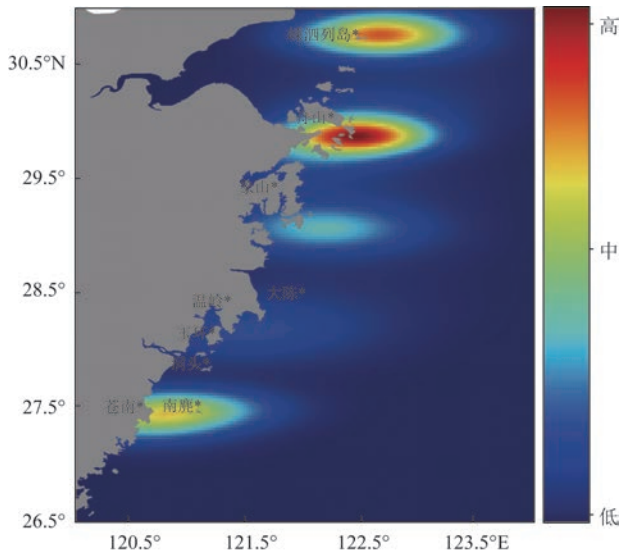


图5 浙江省赤潮影响分布

的增长和赤潮暴发^[29-30],同时浙江沿岸上升流核心区与赤潮多发区存在一致性,舟山和宁波渔山列岛海域位于浙江沿岸上升流的北部和北部中心^[31]。受长江冲淡水的影响,浙江近岸海域受赤潮影响程度随着远离长江口而降低,但由于舟山海域位于上升流的北部中心,所以受赤潮影响程度高于嵊泗列岛。宁波海域虽然也位于上升流的核心区,但由于距离长江口较远,受长江冲淡水影响较弱,因而受赤潮影响弱于嵊泗海域。温州海域受长江冲淡水和上升流影响都较弱,但受赤潮影响程度较高,这可能与温州近岸海水富营养化程度高有关。水体富营养化是引发赤潮的主要因素,温州瓯江口,飞云江口和鳌江口都是重度富营养化海域^[32]。

4 总结与讨论

本文通过对2006—2017年浙江省赤潮数据进行统计,进一步分析了浙江省赤潮事件发生的时间和空间分布特征。在分析浙江省赤潮的空间分布特征时使用自适应核密度方法分析不同海域受赤潮影响的程度。主要结论如下:

(1)2006—2012年浙江省赤潮的累计次数和累计面积呈下降趋势,而2012—2017年赤潮累计次数与累计面积呈上升趋势。

(2)浙江省赤潮最早出现在2月,多发于5月、6

月和7月,峰值出现在5月,之后呈下降趋势,最后结束于9月;浙江省赤潮最早发生于春季,春末和夏季是赤潮的高发期,秋季时赤潮发生减少,冬季一般不发生赤潮。

(3)浙江省赤潮主要发生在嵊泗列岛、舟山本岛、宁波(象山)、台州(大陈、温岭、玉环)和温州(苍南、南麂、洞头)这5个海域,这些海域受赤潮影响的程度由高到低依次为舟山本岛、嵊泗列岛、温州(苍南、南麂)、宁波(象山)、台州(大陈、温岭、玉环)和洞头。

本文对浙江省赤潮事件时空分布特征的分析对于该海域赤潮防灾减灾有一定参考意义,如可加强赤潮在高发时期多发海域的监测和灾况分析评估。但本研究也存在一些不足,其中最主要的就是公报中赤潮发生区域只是粗略地描述为某一海域,而本文为了便于统计分析,在根据公报信息确定赤潮发生位置时是以点代面,即以公报中赤潮发生海域的中心位置代表赤潮发生的位置。其次,本文仅从赤潮发生范围角度分析不同海域受赤潮的影响程度,而没有考虑赤潮优势种的类型、毒性和分布等因素,后续将会在这些方面展开研究,以便使赤潮事件对海域的影响分析更为全面客观。另外,对影响浙江海域赤潮时空分布的内在机制也需进行深入研究。

参考文献:

- [1] 黄小平, 黄良民, 谭烨辉, 等. 近海赤潮发生与环境条件之间的关系[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(4): 63-69.
- [2] 赵冬至, 赵玲, 张丰收. 我国海域赤潮灾害的类型、分布与变化趋势[J]. 海洋环境科学, 2003, 22(3): 7-11.
- [3] 许建平. 浙江沿岸的赤潮灾害及防治对策[J]. 东海海洋, 1992(3): 30-37.
- [4] 于仁成, 张清春, 孔凡洲, 等. 长江口及其邻近海域有害藻华的发生情况、危害效应与演变趋势[J]. 海洋与湖沼, 2017, 48(6): 1178-1186.
- [5] Uhlig G, Sahling G. Long-term studies on *Noctiluca scintillans* in the German Bight population dynamics and red tide phenomena 1968-1988[J]. Netherlands Journal of Sea Research, 1990, 25(1-2): 101-112.
- [6] Ignatiades L, Gotsis-Skretas O, Metaxatos A. Field and culture studies on the ecophysiology of the toxic dinoflagellate *Alexandrium minutum* (Halim) present in Greek coastal waters[J]. Harmful Algae, 2007, 6(2): 153-165.
- [7] Gobler C J, Burson A, Koch F, et al. The role of nitrogenous

- nutrients in the occurrence of harmful algal blooms caused by *Cochlodinium polykrikoides* in New York estuaries (USA) [J]. *Harmful Algae*, 2012, 17: 64-74.
- [8] 洛昊, 马明辉, 梁斌, 等. 中国近海赤潮基本特征与减灾对策[J]. *海洋通报*, 2013, 32(5): 595-600.
- [9] 郭皓, 丁德文, 林凤翱, 等. 近 20a 我国近海赤潮特点与发生规律[J]. *海洋科学进展*, 2015, 33(4): 547-558.
- [10] 于仁成, 刘东艳. 我国近海藻华灾害现状、演变趋势与应对策略[J]. *中国科学院院刊*, 2016, 31(10): 1167-1174.
- [11] 林凤翱, 卢兴旺, 洛昊, 等. 渤海赤潮的历史、现状及其特点[J]. *海洋环境科学*, 2008, 27(S2): 1-5.
- [12] 王素芬, 唐丹玲. 南海赤潮的时空分布特征及其与南海环境关系的综合分析[J]. *海洋通报*, 2010, 29(5): 577-583.
- [13] 刘录三, 李子成, 周娟, 等. 长江口及其邻近海域赤潮时空分布研究[J]. *环境科学*, 2011, 32(9): 2497-2504.
- [14] Zhu Z Y, Ng W M, Liu S M, et al. Estuarine phytoplankton dynamics and shift of limiting factors: a study in the Changjiang (Yangtze River) Estuary and adjacent area[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009, 84(3): 393-401.
- [15] Jiang Z B, Chen J F, Zhou F, et al. Controlling factors of summer phytoplankton community in the Changjiang (Yangtze River) Estuary and adjacent East China Sea shelf[J]. *Continental Shelf Research*, 2015, 101: 71-84.
- [16] Wang Y H, Wu H, Gao L, et al. Spatial distribution and physical controls of the spring algal blooming off the Changjiang river estuary[J]. *Estuaries and Coasts*, 2019, 42(4): 1066-1083.
- [17] 翟伟康, 许自舟, 张健. 河北省近岸海域赤潮灾害特征分析[J]. *海洋环境科学*, 2016, 35(2): 243-246, 251.
- [18] 高清清, 曹兵, 杨波, 等. 江苏海域赤潮分布特征研究[J]. *海洋通报*, 2017, 36(2): 217-221, 229.
- [19] 易斌, 陈凯彪, 周俊杰, 等. 2009 年至 2016 年华南近海赤潮分布特征[J]. *海洋湖沼通报*, 2018(2): 23-31.
- [20] De Smith M J, Goodchild M F, Longley P A. 地理空间分析: 原理、技术与软件工具[M]. 杜培军, 译. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [21] Silverman B W. Density estimation for statistics and data analysis [M]. London: Chapman and Hall, 1986.
- [22] Carlos H A, Shi X, Sargent J, et al. Density estimation and adaptive bandwidths: a primer for public health practitioners[J]. *International Journal of Health Geographics*, 2010, 9(1): 39.
- [23] Prasannakumar V, Vijith H, Charutha R, et al. Spatio-temporal clustering of road accidents: GIS based analysis and assessment [J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2011, 21: 317-325.
- [24] Zhang J D, Chow C Y. GeoSoCa: exploiting geographical, social and categorical correlations for point-of-interest recommendations [C]//*Proceedings of the 38th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*. Santiago, Chile: ACM, 2015: 443-452.
- [25] 雷英哲, 田晶, 林镠鹏, 等. 道路网与兴趣点相结合的城市中心提取方法[J]. *测绘学报*, 2015, 44(S1): 42-48.
- [26] 祝曦. 海量空间相互作用数据挖掘及可视化[D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
- [27] 杨喜平, 方志祥, 赵志远, 等. 顾及手机基站分布的核密度估计城市人群时空停留分布[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2017, 42(1): 49-55.
- [28] 苏纪兰, 袁业立. 中国近海水文[M]. 北京: 海洋出版社, 2005.
- [29] Gong G C, Lee Chen Y L, Liu K K. Chemical hydrography and chlorophyll a distribution in the East China Sea in summer: implications in nutrient dynamics[J]. *Continental Shelf Research*, 1996, 16(12): 1561-1590.
- [30] Ning X, Liu Z, Cai Y, et al. Physicobiological oceanographic remote sensing of the East China Sea: Satellite and in situ observations[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1998, 103(C10): 21623-21635.
- [31] 楼琬林. 浙江沿岸上升流遥感观测及其与赤潮灾害关系研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [32] 周燕. 浙江海域赤潮灾害及防治[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2017.

Research on the temporal and spatial distribution characteristics of red tide in Zhejiang coastal area

LI Yang-dong^{1,2,3,4}, XIE Yang-yang¹, LI Ren-hu¹, CHANG Liang¹

(1. College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306 China; 2. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306 China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306 China; 4. Shanghai Engineering Research Center of Estuarine and Oceanographic Mapping, Shanghai 201306 China)

Abstract: Based on the red tide disaster data between 2006 and 2017 obtained from Zhejiang Province marine

disaster bulletin, this paper analyzes the characteristics of the interannual, monthly and seasonal variations and spatial distribution of red tide in the Zhejiang coastal area. The adaptive bandwidth kernel density analysis method is used to analyze the impact level of red tide in different parts of the Zhejiang coastal area. The results show that red tide occurs most frequently in late spring and summer with the maximum in May. At an interannual scale, the accumulative frequency and area of red tide show an increasing trend in recent years. In the Zhejiang coastal area, red tide mainly occurs in five regions, which are Zhoushan, Shengsi, Wenzhou, Ningbo and Taizhou according to the degree of red tide influence in descending order.

Key words: Zhejiang; red tide; temporal and spatial distribution characteristics; adaptive bandwidth kernel density analysis