

2013 年我国近海赤潮引发种类和分布研究

黄海燕, 康林冲, 杨 翼, 杨 璐, 刘书明, 王秋璐, 李 潇

(国家海洋信息中心, 天津 300171)

摘要: 对 2013 年全国海洋环境监测 1626 个站位生物数据进行分析, 以近 2001 年-2013 年在我国近海海域明确发生赤潮的生物作为赤潮引发种, 开展其种类组成和数量分布研究。结果显示: (1) 我国近海赤潮引发种隶属于 8 门 60 种, 其中产毒种 12 种, 甲藻 27 种, 硅藻 20 种。 (2) 2013 年共监测到上述赤潮引发种 50 种, 各监测站位种类数在 0~25 种之间, 平均密度在 $84\sim 1.16\times 10^{11}$ 个/ m^3 之间, 赤潮引发种种类数、密度分布大致都呈现近岸至远海递减的趋势, 但在长江口及其邻近海域, 呈现先增大后减小趋势。 (3) 2013 年各海区赤潮引发种种类数在 36~42 之间, 平均密度渤海>东海>南海>黄海, 多样性指数渤海>黄海>南海>东海, 都以中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)为优势种。 (4) 作为高频赤潮引发种, 2013 年中肋骨条藻(*S. costatum*)主要分布在我国近岸及近海海域; 夜光藻(*Noctiluca scintillans*)在我国近岸、近远海海域都有分布; 东海原甲藻(*Prorocentrum donghaiense*)主要分布在黄海和东海的近岸和近海海域; 米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)分布较为广泛, 但出现的站位较少; 红色中缢虫(*Mesodinium rubrum*)、赤潮异弯藻(*Heterosigma akashiwo*)、红色赤潮藻(*Akashiwo sanguinea*)只在很少区域有分布。该研究结果有助于摸清我国近海海域赤潮生物种类和分布状况, 可为赤潮的预警及其防灾减灾提供基础科学依据。

关键词: 近海海域; 赤潮引发种; 种类组成; 空间分布

中图分类号: P71

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2016)11-0017-11

doi: 10.11759/hyxx20160227001

赤潮也称“有害藻华”, 是指海水中某些浮游藻类、原生动物或细菌在一定的环境条件下爆发性增殖或聚集而引起海水变色的一种生态异常现象。虽然我国对赤潮现象早在 2000 多年前就有记载, 但由于时间关系和资料欠缺故无法考究。一般认为我国最早的赤潮研究是 1933 年原浙江水产实验场有关镇海至台州、石浦一带发生夜光藻赤潮的描述和初步分析, 至 1977 年, 我国有关赤潮的报告及研究性论文只有 10 篇左右, 1978 年开始, 我国的赤潮研究工作得到政府和海洋工作者的重视, 进入 20 世纪 90 年代, 我国的赤潮研究进入了一个新的阶段^[1]。

一般而言, 能够大量繁殖并引发赤潮的生物称之为赤潮生物。目前, 对于赤潮生物缺乏统一的认定标准, 某些种类目前虽尚未引发赤潮, 但却有形成赤潮成为赤潮生物的可能, 即便是同一物种, 在某一海域是赤潮生物, 但在另一海域则不是。据华泽爱^[2]统计, 中国沿海的赤潮生物约有 20 多个属、70 余种; 张水浸等^[3]统计有 127 种, 其中形成过赤潮的有 30 多种; 郭皓等^[4]统计约 140 余种, 除属于原生动物的红色中缢虫外均为浮游植物, 隶属 9 个门类。赤潮生

物认定的标准不一, 为常规监测中开展针对赤潮生物的研究造成了一定困难。对于赤潮生物的种类与分布方面的研究已有很多报道^[5-15], 由于受到调查样品和获取到的样本数据的限制, 这些研究往往是指针对某一区域, 如浙江海域、长江口、珠江口、胶州湾等, 缺乏对我国沿海大范围的赤潮生物分布状况研究。本文以 2001 年—2013 年在我国近海海域发生赤潮的生物为研究对象, 建立赤潮引发种名录, 基于 2013 年全国海洋环境监测数据, 开展我国海域赤潮引发种的种类组成和分布研究, 有助于建立我国近岸海域赤潮引发种的本底场, 为研究赤潮发生的

收稿日期: 2016-02-27; 修回日期: 2016-05-25

基金项目: 国家重点研发计划“海洋环境安全保障”重点专项“海洋大数据分析预报技术研发项目(2016YFC1401906); 中国海洋发展研究中心重大项目“渤海海洋资源开发和环境问题研究”(AOCZDA201205-1) [Foundation: Major project of state key research program “marine environmental security”: “research of marine big data analysis and forecast technology”, No.2016YFC1401906; Major projects of China Marine Development Research Center: “The development of marine resources and environmental problems in Bohai”, No. AOCZDA201205-1]

作者简介: 黄海燕(1986-), 女, 浙江苍南人, 硕士, 助理研究员, 从事海洋生态环境保护研究, E-mail: huanghaiyan1000@126.com

机理提供可靠的数据基础, 对开展赤潮预警、防灾减灾以及研发有针对性的防治技术具有指导意义。

1 材料与方法

1.1 材料

2001 年—2009 年《中国海洋环境质量公报》^[16-24] (以下简称公报)、2010 年—2013 年《中国海洋环境状况公报》^[25-29] (以下简称公报) 中海洋赤潮资料, 以及 2013 年全国海洋环境监测浮游植物、赤潮生物监测数据。

1.2 方法

整理公报中各年度发生赤潮的生物种信息, 查询海洋生物名录及相关研究成果^[30-34], 对赤潮生物名称进行归类整理和标准化处理, 包括中文名称标准化、添加物种生物学名、合并同种异名生物等, 最终形成近 13 年我国近海海域引发赤潮的赤潮生物 (以下简称赤潮引发种) 名录, 分析赤潮引发种的种类组成。

从 2013 年海洋环境监测浮游植物、赤潮生物数据中, 挖掘上述赤潮引发种数据, 分析其种类组成和分布状况。步骤如下: (1) 将上述形成的近 13 年我国近海海域引发赤潮的赤潮生物名录进行标准化处理, 形成赤潮生物配置表, 表中包含赤潮生物中文名、赤潮生物学名、赤潮生物类群 3 列, 表中所采用的赤潮生物名与监测数据处理时采用的标准生物名必须一致。(2) 采用海洋生物调查数据快速检核方法^[35]开展 2013 年浮游植物、赤潮生物数据整合、处理与质控, 形成标准数据集; (3) 采用基于质控数据库的海洋环境监测生物名质控方法^[36], 开展 2013 年整合

标准数据集的二次处理, 将标准数据集中的物种名称与赤潮生物配置表匹配, 运行结果将在原始数据中新增“赤潮生物类群”列, 如果匹配, 则在“赤潮生物类群”列中输出对应的赤潮生物类群数据, 如果不匹配, 该列输出结果为空。(4) 筛选出“赤潮生物类群”列不为空的数据, 并对筛选结果进行排重, 最终形成 2013 年赤潮引发种标准数据集。(5) 开展赤潮引发种种类组成、数量分布的统计分析和制图。

2 结果

2.1 我国近海赤潮引发种种类

将我国近海海域在 2001 年—2013 年间明确发生大规模赤潮的生物作为赤潮引发种, 共有 60 种, 包括定种 46 种、不定种 14 种, 其中产毒种 12 种。各门类赤潮生物中甲藻门最多, 为 27 种, 硅藻门次之, 为 20 种, 金藻门 4 种、蓝藻门 3 种、黄藻门 2 种、定鞭藻门 2 种、隐藻门 1 种, 原生动物 1 种 (表 1)。2013 年中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*)、圆海链藻 (*Thalassiosira rotula*)、大洋角管藻 (*Cerataulina pelagica*)、丹麦细柱藻 (*Leptocylindrus danicus*)、短角弯角藻 (*Eucampia zoodiacus*)、赤潮异弯藻 (*Heterosigma akashiwo*)、球形棕囊藻 (*Phaeocystis globosa*)、东海原甲藻 (*Prorocentrum donghaiense*)、微小原甲藻 (*Prorocentrum minimum*)、双胞旋沟藻 (*Cochlodinium geminatum*)、米氏凯伦藻 (*Karenia mikimotoi*)、夜光藻 (*Noctiluca scintillans*)、红色中缢虫 (*Mesodinium rubrum*) 共 13 种赤潮生物在我国近海海域发生赤潮, 其中甲藻门和硅藻门都为 5 种, 黄藻门、定鞭藻门、原生动物各 1 种。

表 1 2001 年—2013 年我国近海赤潮引发种
Tab. 1 2001–2013 red tide causative organisms in the coastal waters of China

序号	赤潮生物名称	发生赤潮年份
蓝藻门		
1	红海束毛藻 <i>Trichodesmium erythraeum</i>	2003, 2004, 2005
2	汉氏束毛藻 <i>Trichodesmium hildebrandtii</i>	2002
3	束毛藻 <i>Trichodesmium</i> sp.	2005
硅藻门		
4	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013
5	中肋海链藻[菱软海链藻] <i>Thalassiosira mala</i>	2004
6	诺登海链藻[诺氏海链藻] <i>Thalassiosira nordenskioldii</i>	2008
7	圆海链藻 <i>Thalassiosira rotula</i>	2008, 2012, 2013

续表

序号	赤潮生物名称	发生赤潮年份
硅藻门		
8	海链藻 <i>Thalassiosira</i> sp.	2005, 2009
9	丹麦细柱藻 <i>Leptocylindrus danicus</i>	2001, 2011, 2012, 2013
10	大洋角管藻[海洋角管藻] <i>Cerataulina pelagica</i>	2013
11	短角弯角藻[浮动弯角藻] <i>Eucampia zoodiacus</i>	2001, 2006, 2011, 2013
12	扁面角毛藻 <i>Chaetoceros compressus</i>	2007
13	旋链角毛藻 <i>Chaetoceros curvisetus</i>	2006, 2007, 2010,
14	暹罗角毛藻 <i>Chaetoceros siamense</i>	2012
15	聚生角毛藻 <i>Chaetoceros socialis</i>	2001
16	角毛藻 <i>Chaetoceros</i> sp.	2008, 2010,
17	柔弱根管藻 <i>Rhizosolenia delicatula</i>	2011
18	脆根管藻 <i>Rhizosolenia fragilissima</i>	2012
19	日本星杆藻 <i>Asterionella japonica</i>	2008
20	新月菱形藻 <i>Nitzschia closterium</i>	2009
21	菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp.	2001
22	柔弱伪菱形藻[柔弱菱形藻] <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	2007, 2009
23	尖刺伪菱形藻[尖刺拟菱形藻, 尖刺菱形藻] <i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	2008, 2010, 2011
金藻门		
24	抑食金球藻 <i>Aureococcus anophagefferens</i>	2012
25	海洋卡盾藻 <i>Chattonella marina</i> *	2002, 2003, 2009, 2010
26	古老卡盾藻 <i>Chattonella antique</i> *	2011
27	卡盾藻 <i>Chattonella</i> sp.	2008, 2011
黄藻门		
28	赤潮异弯藻 <i>Heterosigma akashiwo</i> *	2003, 2008, 2009, 2010, 2011, 2013
29	异弯藻 <i>Heterosigma</i> sp.	2011
定鞭藻门		
30	球形棕囊藻 <i>Phaeocystis globosa</i>	2002, 2003, 2004, 2006, 2010, 2011, 2013
31	棕囊藻 <i>Phaeocystis</i> sp.	2002, 2004, 2005, 2007, 2008, 2009
甲藻门		
32	东海原甲藻[具齿原甲藻] <i>Prorocentrum donghaiense</i>	2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013
33	利马原甲藻[利玛原甲藻] <i>Prorocentrum lima</i> *	2010
34	微小原甲藻[微型原甲藻, 小原甲藻] <i>Prorocentrum minimum</i> *	2002, 2011, 2013
35	反曲原甲藻 <i>Prorocentrum sigmoides</i>	2008
36	尖叶原甲藻 <i>Prorocentrum triestinum</i>	2001
37	原甲藻 <i>Prorocentrum</i> sp.	2001
38	链状裸甲藻 <i>Gymnodinium catenatum</i> *	2005, 2006, 2007, 2010
39	裸甲藻 <i>Gymnodinium</i> sp.	2001, 2002, 2005, 2009, 2010, 2011
40	红色赤潮藻[红色裸甲藻, 血红哈卡藻] <i>Akashiwo sanguinea</i> *	2005, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012

续表

序号	赤潮生物名称	发生赤潮年份
甲藻门		
41	强壮前沟藻 <i>Amphidinium carterae</i> *	2009
42	多环旋沟藻[多纹旋沟藻] <i>Cochlodinium polykrikoides</i> *	2006, 2011
43	双胞旋沟藻 <i>Cochlodinium geminatum</i>	2011, 2012, 2013
44	旋沟藻 <i>Cochlodinium</i> sp.	2009, 2012
45	米氏凯伦藻 <i>Karenia mikimotoi</i> *	2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013
46	短凯伦藻 <i>Karenia brevis</i> *	2011
47	螺旋环沟藻 <i>Gyrodinium spirade</i>	2010, 2011
48	条纹环沟藻[无纹环沟藻, 环节环沟藻, 多纹环沟藻] <i>Gyrodinium instriatum</i>	2002, 2009
49	环沟藻 <i>Gyrodinium</i> sp.	2008
50	夜光藻 <i>Noctiluca scintillans</i>	2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013
51	叉角藻 <i>Ceratium furca</i>	2008
52	纺锤角藻[梭角藻] <i>Ceratium fusus</i>	2007, 2009
53	多纹膝沟藻 <i>Gonyaulax polygramma</i>	2004, 2010, 2012
54	具刺膝沟藻[底刺膝沟藻] <i>Gonyaulax spinifera</i>	2007, 2009, 2012
55	异甲藻 <i>Heterodinium</i> sp.	2008
56	锥状施克里普藻 <i>Scrippsiella trochoidea</i>	2007, 2010, 2012
57	塔马亚历山大藻 <i>Alexandrium tamarense</i> *	2012
58	亚历山大藻 <i>Alexandrium</i> sp.	2002, 2007, 2012
隐藻门		
59	隐藻 <i>Cryptomonas</i> sp.	2010
原生动物门		
60	红色中缢虫 <i>Mesodinium rubrum</i>	2001, 2002, 2003, 2004, 2006, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013

注: *为产毒种, 根据文献[4]

2001 年—2013 各年度赤潮引发种物种数在 11~20 之间(图 1), 2003 年最少为 8 种, 2011 年最多, 为 20 种。2001 年—2007 年发生赤潮种类 8~12 之间, 2008 年忽然增大, 至 2012 年发生赤潮种类在 8~20 之间, 2013 年忽然降低, 为 13 种。每年都有硅藻和甲藻生物发生赤潮, 且发生赤潮的甲藻种类较硅藻种类多。2003 年和 2010 年发生赤潮的生物门类最多, 隶属于 7 个门, 2001 年和 2007 年最少, 隶属于 3 个门。

2.2 2013 年赤潮引发种种类分布研究

对 2013 年海洋环境监测浮游植物和赤潮生物 1626 个站点的的数据进行分析, 共发现上述赤潮引发种 50 种, 未发现中肋海链藻、抑食金球藻、古老卡盾藻、异弯藻、棕囊藻、强壮前沟藻、多环旋沟藻、

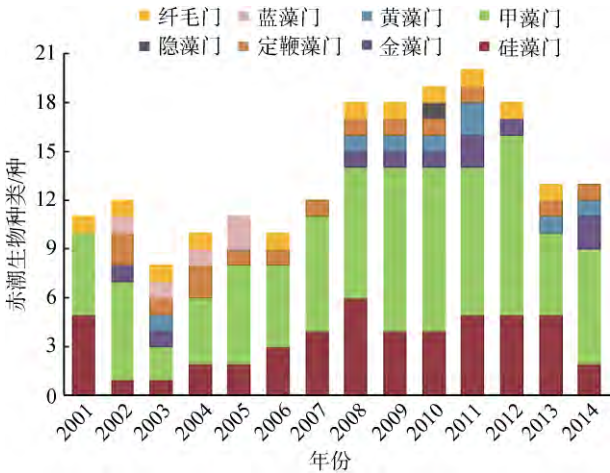


图 1 2001 年—2013 年发生赤潮生物种数
Fig. 1 2001–2013 species number of red tide causative organisms

双胞旋沟藻、旋沟藻、异甲藻。各监测站位赤潮引发种种类数在 0~25 种之间, 赤潮引发种种类数分布大致呈现近岸大于远海, 高纬度大于低纬度的趋势(图 2), 但在长江口、杭州湾近远海区域, 随着经度的增加, 呈现先增加, 再减少的趋势。其中赤潮引发种种类数分布水平在 1~5 种的站位最多, 占 52.9%, 6~10 种的次之, 占 28.3%, 11~15 种的占 12.6%, 16~25 种的占 2.2%, 没有赤潮生物种类分布的站位占 4%。各海区赤潮引发种种类数差异不大, 黄海(42 种)、东海(40 种)略大于渤海(36 种)和南海(36 种)。11 个沿海省市(区)近岸海域中, 赤潮引发种种类数范围为 17~38 种, 江苏最高, 广西最低。

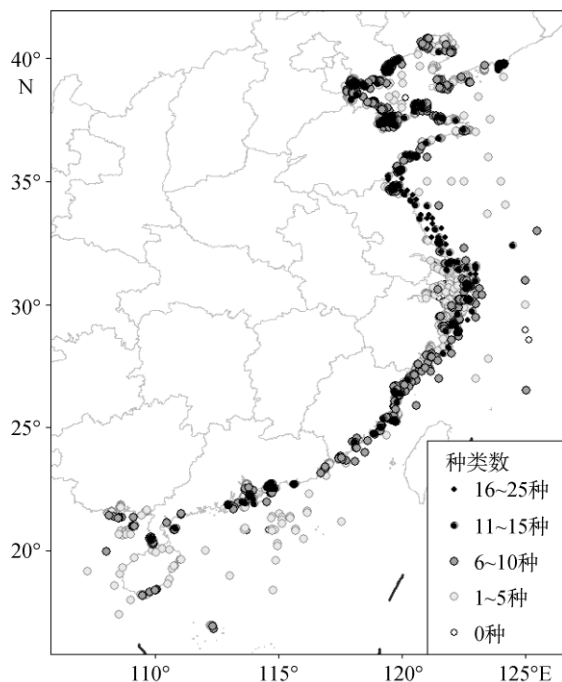


图 2 2013 年赤潮生物种类数分布图

Fig. 2 Species number distribution of red tide causative organisms in 2013

2.3 2013 年赤潮引发种密度分布研究

2013 年各站位赤潮引发种平均密度在 $84 \sim 1.16 \times 10^{11}$ 个/ m^3 之间, 赤潮引发种密度分布近岸大于远海, 随着经度的增加逐渐变小, 在纬度方向上, 渤海、东海要大于黄海、南海。(图 3)。各海区赤潮引发种平均密度渤海区最大, 为 3.9×10^8 个/ m^3 , 东海区次之, 为 1.1×10^8 个/ m^3 , 南海区为 1.3×10^7 个/ m^3 , 黄海区最小, 为 1.1×10^7 个/ m^3 。赤潮引发种多样性指数渤海>黄海>南海>东海, 分别为 1.33、1.14、0.93 和 0.87, 都以中肋骨条藻为优势种。各海区各站位之间赤潮引

发种平均密度差异很大, 渤海区各站位平均密度在 $105 \sim 1.16 \times 10^{11}$ 个/ m^3 之间, 黄海区在 $84 \sim 3.1 \times 10^8$ 个/ m^3 之间, 东海区在 $133 \sim 2.7 \times 10^9$ 个/ m^3 之间, 南海区在 $87 \sim 8.0 \times 10^8$ 个/ m^3 之间。11 个沿海省市(区)近岸海域中, 赤潮引发种平均密度范围为 $1.2 \times 10^5 \sim 6.4 \times 10^8$ 个/ m^3 , 山东最高, 海南最低, 多样性指数范围 0.45~1.56, 河北最高, 上海最低, 优势种包括中肋骨条藻、旋链角毛藻、纺锤角藻等。

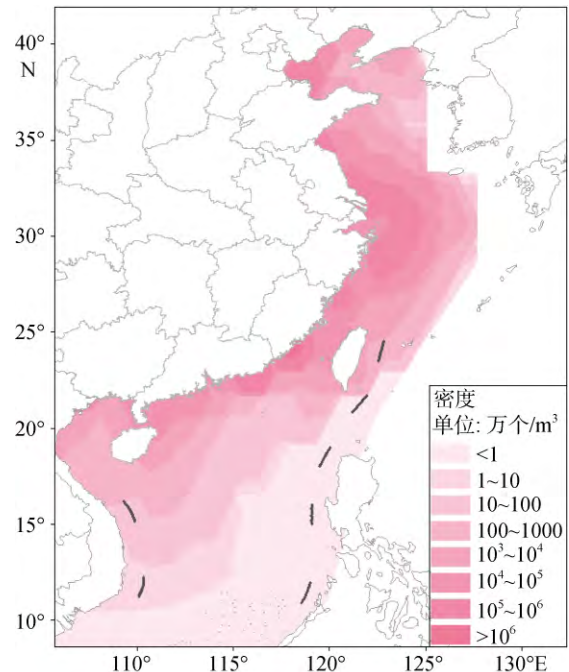


图 3 2013 年赤潮引发种密度平面分布图

Fig. 3 Abundance distribution of red tide causative organisms in 2013

2.4 2013 年高频赤潮引发种分布状况研究

2013 年东海原甲藻作为第一优势种引发赤潮的次数最多为 16 次, 夜光藻次之为 13 次, 中肋骨条藻 5 次, 米氏凯伦藻 2 次, 微小原甲藻、双胞旋沟藻、红色中缢虫、赤潮异弯藻、球形棕囊藻、圆海链藻、短角弯角藻、丹麦细柱藻和大洋角管藻各 1 次^[29]。其中中肋骨条藻、东海原甲藻、夜光藻、红色中缢虫在 2001 年—2013 年间几乎每年都发生赤潮, 赤潮异弯藻、米氏凯伦藻引发赤潮频率非常高, 红色赤潮藻作为产毒种虽在 2013 年未发生赤潮, 但 2008 年—2012 年每年都发生赤潮。这些高频赤潮引发种的分布有各自的特点(图 4)。

2013 年中肋骨条藻主要分布在近岸及近海海域, 为广布种, 各海区都有分布, 各站位平均密度差异

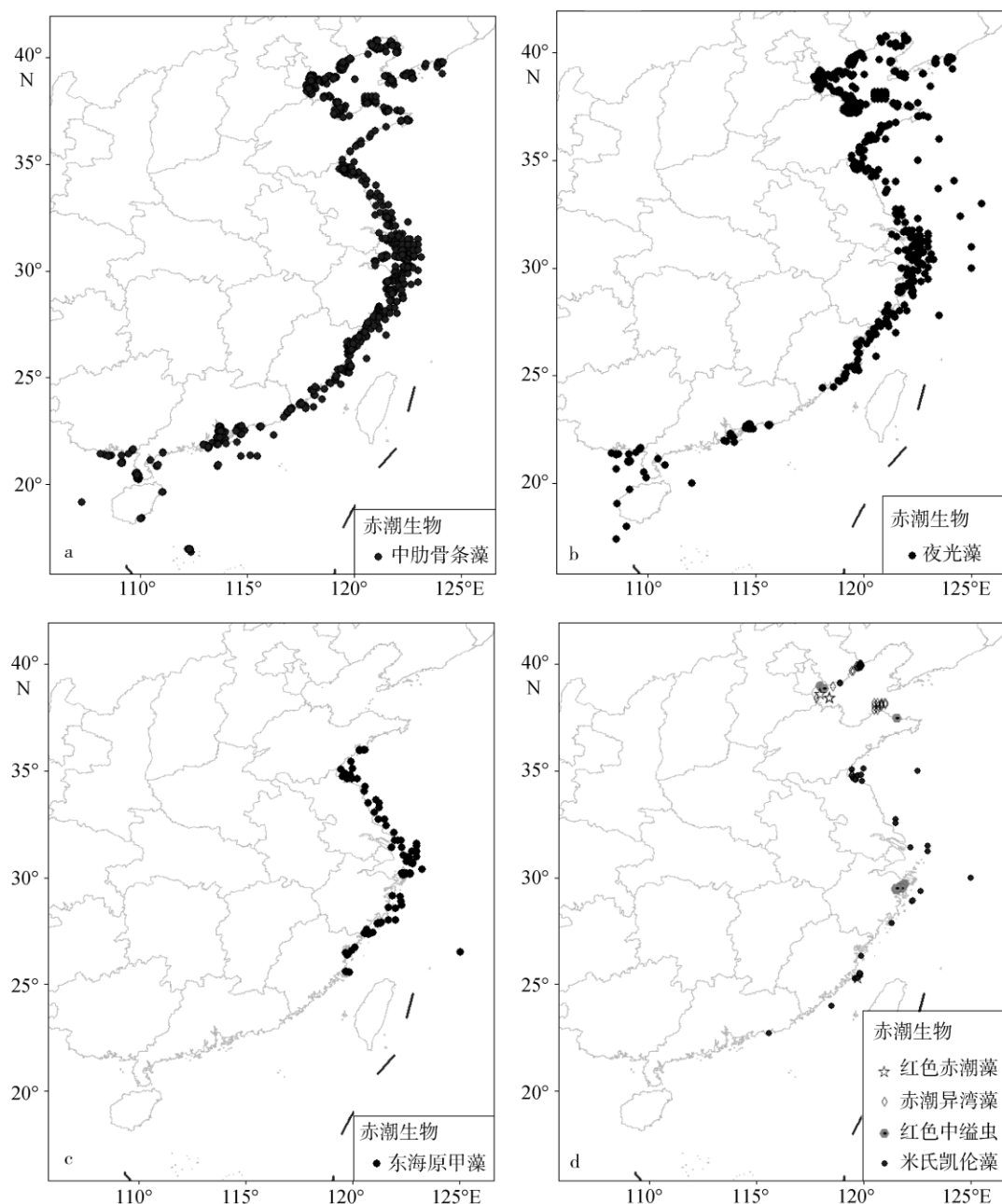


图4 2013年高频赤潮引发种站位分布图

Fig. 4 Distribution of high-frequency red tide occurrence species in 2013

及大, 密度范围在 $6 \sim 5.1 \times 10^{10}$ 个/ m^3 之间(图4-a); 夜光藻也为广布种, 在各海区都有分布, 渤海、黄海、东海的检出频率较大, 在远海海域也有分布, 各站位平均密度差异也非常大, 密度范围在 $2 \sim 9.4 \times 10^8$ 个/ m^3 之间(见图4-b); 东海原甲藻主要分布在黄海和东海的近岸及近海海域, 渤海和南海未检测到东海原甲藻, 各站位平均密度 $244 \sim 6.8 \times 10^9$ 个/ m^3 之间(图4-c); 红色中缢虫、赤潮异湾藻、红色赤潮藻、米氏凯伦藻在2013年常规监测中检出频率较低(图4-d), 赤潮异湾藻在河北、山

东、江苏近岸站位有检出, 平均密度在 $10^3 \sim 10^8$ 个/ m^3 之间, 红色中缢虫在天津、山东、浙江近岸站位有检出, 平均密度在 $19 \sim 1.5 \times 10^6$ 个/ m^3 之间; 红色赤潮藻在渤海近海和福建近岸站位有检出, 平均密度在 $1.3 \times 10^3 \sim 2.1 \times 10^5$ 个/ m^3 之间; 米氏凯伦藻在各海区都有分布, 各站位平均密度范围为 $462 \sim 1.3 \times 10^6$ 个/ m^3 。

3 讨论

对于一些物种的分类地位及学名和中文名的使用

存在争议,如东海原甲藻和具齿原甲藻(*Prorocentrum dentatum*)^[37-38];红色赤潮藻在国内的中文名各种各样,包括血红裸甲藻^[4]、红色裸甲藻^[39]、辛裸甲藻^[40]、血红哈卡藻^[33]、红色赤潮藻^[32],2005年公报中为红色裸甲藻,2008、2009年公报中为血红哈卡藻,2010年、2011年、2012年公报中为红色赤潮藻。根据对这些物种名称研究成果^[31-32, 34]及公报最新使用的名称,此处统一为东海原甲藻和红色赤潮藻。虽然研究显示我国沿海的中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)实际上包含了多个隐形种^[41-42],鉴于使用的数据及公报中的论述,文中不做进一步区分。

如何界定赤潮生物种类,目前缺乏统一的标准,郭皓等^[4]把有过赤潮发生确切记录和报道的种类、实验室或现场证实可以大量增殖并达到赤潮浓度的种类、国内外资料记载可以引发赤潮并且在中国确有发现的种类、产生赤潮毒素的种类列为我国近海的赤潮生物,共140余种。随着赤潮研究的深入,新记录种类不断发现,但可能也与国际海运业的船舶压舱水传播有关。只要条件合适,所有浮游植物都有可能形成赤潮而成有赤潮生物的可能,而有些赤潮生物,虽在国内外资料记载可以引发赤潮,但未必会在我国近海形成赤潮。随着沿海经济的发展,海洋开发活动的频繁,我国海域环境特别是近岸海域环境发生极大的变化。因此,本文将2000年后近13年在我国海域引发赤潮的生物作为研究对象,使得针对赤潮的研究更符合我国海域环境现状。

2001年—2013年,我国海域引发赤潮的生物有60种,其中只在某1年有赤潮发生记录的种类占45%,某2年或3年有赤潮发生记录的种类占32%,某4年有赤潮发生记录的种类占6%,17%的种类赤潮发生频率较高(至少6年有发生赤潮的记录)。中肋骨条藻、东海原甲藻、夜光藻、红色中缢虫、赤潮异弯藻、红色赤潮藻、米氏凯伦藻近年来几乎每年都发生赤潮,其中赤潮异弯藻、红色赤潮藻、米氏凯伦藻为产毒种。因此,在研究赤潮发生的机理、研发赤潮防治技术时,应更进一步关注以上这些引发赤潮频率高的生物种类、以及能够产生赤潮毒素的种类。

赤潮生物的分布与赤潮的发生具有重要的关系,能引发赤潮生物种类多、密度大的区域,也具有较大的潜在发生赤潮的风险。2013年,赤潮引发种生物的密度分布呈现明显的近岸至远海递减的趋势,这与我国的赤潮多发区集中在近岸^[43]一致;但在长江口及其邻近海域,密度高区并不在近岸区域,该密

度高值区与刘录三等^[44]绘制的该海域赤潮的分布的区域一致,这与长江冲淡水、长江口低氧区的分布有关。通过对比2013年公报可知,2013年在天津、河北近岸海域、山东南部与苏北相邻近海域发生多频次、大面积赤潮与本文所示赤潮引发种密度分布高值区相吻合;浙江近海、福建、广东部分海域发生赤潮的区域,与赤潮引发种密度分布的吻合性并不高,可能是由于东海、南海海域较渤海海域为开放性海域,具有更好的水体流通和交换条件。

某一海域赤潮生物的种类特征,与该区域发生的赤潮类型具有一定的关系。近岸海区浮游生物群落常包含多个潜在赤潮种,部分区域甚至存在赤潮种交替爆发的现象,而爆发赤潮的种类不一定是一直占优势的物种,各赤潮生物都有引发赤潮的可能。通过2013年高频赤潮引发种的分布与我国近海赤潮发生情况^[41]比较可知,2013年夜光藻在我国海域分布广泛,我国四大海域也都有发生夜光藻赤潮的记录;中肋骨条藻虽然分布广,但引发赤潮主要分布在长江口、黄河口等海域;米氏凯伦藻虽在四大海域都有检测到,但检测到频率较低,而米氏凯伦藻引发赤潮分布在长江口和浙江沿岸海域;东海原甲藻分布在黄海、东海海域,其引发的赤潮主要分布在长江口及浙江沿岸海域。2013年红色中缢虫、赤潮异弯藻、红色赤潮藻这三种高频引发赤潮的生物种却只在很少的几个站位检测到,原因可能在于本次分析数据为浮游植物和赤潮生物数据,红色中缢虫为浮游动物,因此样本数据中该数据少,而赤潮异弯藻、红色赤潮藻检出率低可能与2013年数据中部分海域缺少水采样品数据的数据有关。

4 结语

随着全国海洋环境监测的业务化运行,每年都能获得庞大的浮游植物数据。本文以2001年—2013年在我国近海海域发生赤潮的生物为研究对象,对2013年全国海洋环境监测生物数据进行挖掘,开展我国海域赤潮引发种的种类组成和数量分布研究。海洋环境监测生物分类鉴定数据中存在格式不统一,如生物学名中大小写、缩写、是否添加命名人 and 年份等,书写不规范,如中文名中异体字、生僻字、音近形近字等、同种异名、生物学名缺失、拼写错误等情况,对大量的物种名称进行统一和修正,并从中挖掘出近13年赤潮引发种数据是开展本文研究的数据基础。2001年—2013年我国海域引发赤潮的生

物隶属于 8 门 60 种, 其中产毒种 12 种, 在 2013 年海洋环境监测中共监测到上述赤潮引发种 50 种, 说明绝大部分引发赤潮的生物在业务化监测中都能被发现。赤潮引发种种类和密度分布大致都呈现近岸大于远海的趋势。下一步可结合监测所获得的海水水质各参数、水文气象、水动力等数据开展基于大数据的赤潮成因及机理研究, 同时结合多年的监测生物数据, 建立中肋骨条藻、东海原甲藻、夜光藻、赤潮异弯藻、红色赤潮藻等赤潮引发种在我国的海域的分布场, 为开展有针对性的赤潮预警预报以及研发防治技术提供重要的数据支持。

参考文献:

- [1] 梁松, 钱宏林, 齐雨藻. 中国沿海的赤潮问题[J]. 生态科学 2000, 19(4): 44-50.
Liang Song, Qian Honglin, Qi Yuzao. Problem on the red tide in coastal China Sea[J]. Ecologic Science, 2000, 19(4): 44-50.
- [2] 华泽爱. 赤潮灾害[M]. 北京: 海洋出版社, 1994.
Hua Zeai. Red tide[M]. Beijing: China Ocean Press, 1994.
- [3] 张水浸, 杨良清, 邱辉煌, 等. 赤潮及其防治对策[M]. 北京: 海洋出版社, 1994.
Zhang Shuijin, Yang Liangqing, Qiu Huihuang, et al. Red tide and its prevention [M]. Beijing: China Ocean Press, 1994.
- [4] 郭皓. 中国近海赤潮生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
Guo Hao. Illustrations of planktons responsible for the blooms in Chinese coastal waters[M]. Beijing: China Ocean Press, 2004.
- [5] 许翠亚, 黄美珍, 杜琦. 福建沿岸海域主要赤潮生物的生态学特征[J]. 台湾海峡, 2010, (3): 434-441.
Xu Cuiya, Huang Meizhen, Du Qi. Ecological characteristics of important red tide species in Fujian coastal waters[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2010, (3): 434-441.
- [6] 朱虹, 黄秀清, 秦玉涛. 2006 年夏季浙江海域赤潮生物群落分布[J]. 海洋环境科学, 2009, (6): 702-705.
Zhu Hong, Huang Xiuqing, Qin Yutao. Distribution of red tide plankton community in Zhejiang coastalwater in summer, 2006[J]. Marine Environmental Science, 2009, (6): 702-705.
- [7] 刘国强, 史海燕, 魏春雷, 等. 广西涠洲岛海域浮游植物和赤潮生物种类组成的初步研究[J]. 海洋通报, 2008, (3): 43-48.
Liu Guoqiang, Shi Haiyan, Wei Chunlei, et al. Preliminary studies on phytoplankton and red tide organism composition in the coastal water of the Weizhou Island, Guangxi[J]. Marine Science Bulletin, 2008, (3): 43-48.
- [8] 尹翠玲, 张秋丰, 胡延忠, 等. 2006 年夏季渤海湾赤潮重点监控区的赤潮生物[J]. 海洋湖沼通报, 2008, (1): 114-119.
Yin Cuiling, Zhang Qiufeng, Hu Yanzhong, et al. The HAB Algae in the Dominant area of red tide monitoring in Bohai Bay in summer, 2006[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2008, (1): 114-119.
- [9] 姚炜民, 李超, 郜钧璋, 等. 浙南海域的赤潮生物[J]. 海洋通报, 2006, (3): 87-91.
Yao Weimin, Li Chao, Gao Junzhang, et al. Red tide plankton along the south coastal area in Zhejiang Province[J]. Marine Science Bulletin, 2006, (3): 87-91.
- [10] 韩笑天, 邹景忠, 张永山, 等. 胶州湾赤潮生物种类及其生态分布研究[J]. 海洋科学, 2004, (2): 49-54.
Han Xiaotian, Zou Jingzhong, Zhang Yongshan, et al. Harmful algae bloom species in Jiaozhou Bai and the features of distribution[J]. Marine Science, 2004, (2): 49-54.
- [11] 张才学. 湛江港附近海域赤潮生物的种类调查[J]. 湛江海洋大学学报, 2004, (6): 28-31.
Zhang Caixue. Survey on the species of the red tide organisms in Zhanjiang Harbor ares[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2004, (6): 28-31.
- [12] 冷科明, 陈波, 廖敏, 等. 深圳海域引发赤潮生物种类的演变及其原因浅析[J]. 海洋环境科学, 2004, (3): 55-57.
Leng Keming, Chen Bo, Liao Min, et al. Succession trend of red tide causative organisms in Shenzhen Coastal waters[J]. Marine Environmental Science, 2004, (3): 55-57.
- [13] 王金辉. 长江口邻近水域的赤潮生物[J]. 海洋环境科学, 2002, (2): 37-41.
Wang Jinhui. HAB alga nearby Changjiang Estuary[J]. Marine Environmental Science, 2002, (2): 37-41.
- [14] 黄长江, 董巧香. 1998 年春季珠江口海域大规模赤潮原因生物的形态分类和生物学特征 [J]. 海洋与湖沼, 2001, (1): 1-6.
Huang Changjiang, Dong Qiaoxiang. Taxonomic and biological studies on causative organisms from a large scale red tide occurring in pearl river estuary in the spring, 1998 . [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2001, (1): 1-6.
- [15] 王朝辉, 吕颂辉. 广东沿海几种赤潮生物的分类学研究[J]. 武汉植物学研究, 1998, (4): 310-314.
Wang Zhaohui, Lü Songhui. Taxonomic studies on red tide causative algae on the GuangDong coast, South China Sea[J]. Journal of Wuhan Botanical research, 1998, (4): 310-314.
- [16] 国家海洋局. 2000 年中国海洋环境质量公报[Z]. 北

- 京: 国家海洋局, 2001.
State Oceanic Administration People's Republic of China. China Marine Environmental Quality Bulletin, 2000[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2001.
- [17] 国家海洋局. 2001 年中国海洋环境质量公报[Z]. 北京: 国家海洋局, 2002.
State Oceanic Administration People's Republic of China. China Marine Environmental Quality Bulletin, 2001[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2002.
- [18] 国家海洋局. 2002 年中国海洋环境质量公报[Z]. 北京: 国家海洋局, 2003.
State Oceanic Administration People's Republic of China. China Marine Environmental Quality Bulletin, 2002[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2004.
- [19] 国家海洋局. 2003 年中国海洋环境质量公报[Z]. 北京: 国家海洋局, 2004.
State Oceanic Administration People's Republic of China. China Marine Environmental Quality Bulletin, 2003[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2004.
- [20] 国家海洋局. 2004 年中国海洋环境质量公报[Z]. 北京: 国家海洋局, 2005.
State Oceanic Administration People's Republic of China. China Marine Environmental Quality Bulletin, 2004[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2005.
- [21] 国家海洋局. 2005 年中国海洋环境质量公报[Z]. 北京: 国家海洋局, 2006.
State Oceanic Administration People's Republic of China. China Marine Environmental Quality Bulletin, 2005[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2006.
- [22] 国家海洋局. 2006 年中国海洋环境质量公报[Z]. 北京: 国家海洋局, 2007.
State Oceanic Administration People's Republic of China. China Marine Environmental Quality Bulletin, 2006[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2007.
- [23] 国家海洋局. 2007 年中国海洋环境质量公报[Z]. 北京: 国家海洋局, 2008.
State Oceanic Administration People's Republic of China. China Marine Environmental Quality Bulletin, 2007[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2008.
- [24] 国家海洋局. 2008 年中国海洋环境质量公报[Z]. 北京: 国家海洋局, 2009.
State Oceanic Administration People's Republic of China. China Marine Environmental Quality Bulletin, 2008[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2009.
- [25] 国家海洋局. 2009 年中国海洋环境质量公报[Z]. 北京: 国家海洋局, 2010.
State Oceanic Administration People's Republic of China. China Marine Environmental Quality Bulletin, 2009[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2010.
- [26] 国家海洋局. 2010 年中国海洋环境状况公报[Z]. 北京: 国家海洋局, 2011.
State Oceanic Administration People's Republic of China. Bulletin of China's marine environment, 2010[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2011.
- [27] 国家海洋局. 2011 年中国海洋环境状况公报[Z]. 北京: 国家海洋局, 2012.
State Oceanic Administration People's Republic of China. Bulletin of China's marine environment, 2011[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2012.
- [28] 国家海洋局. 2012 年中国海洋环境状况公报[Z]. 北京: 国家海洋局, 2013.
State Oceanic Administration People's Republic of China. Bulletin of China's marine environment, 2012[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2013.
- [29] 国家海洋局. 2013 年中国海洋环境状况公报[Z]. 北京: 国家海洋局, 2014.
State Oceanic Administration People's Republic of China. Bulletin of China's marine environment, 2013[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2014.
- [30] 郭丰义, 马志华, 王立明, 等. GB/T 17826-1999. 海洋生物分类代码[S]. 北京: 中国标准出版社. 2000.
Guo Fengyi, Ma Zhihua, Wang Liming, et al. GB/T 17826-1999. Marine bio-taxonomic codes[S]. Beijing: Standards Press of China.2000.
- [31] 黄宗国, 林茂. 中国海洋物种多样性(上册)[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.
Huang Zongguo, Linmao. The living species in China's seas (I) [M]. Beijing: China Ocean Press, 2012.
- [32] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
Liu Ruiyu. Checklist of Marine Biota of China Seas. [M]. Beijing: Science Press.2008.
- [33] 孙军, 刘东艳. 中国海区常见浮游植物种名更改初步意见[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(3): 271-286 .
Sun Jun, Liu Dongyan. The preliminary notion on nomenclature of common phytoplankton in china seas waters[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2002, 33(3): 271-286 .
- [34] 潘玉龙, 李瑞香, 李艳, 等. 中国近海裸甲藻中文名研究[J]. 海洋通报, 2012, 31(2): 207-213.
Pan Yulong, Li Ruixiang, Li Yan, et al. Study on the Chinese name of gymnoids in the coastal area of China[J]. Marine Science Bulletin, 2012, 31(2): 207-213.
- [35] 黄海燕, 路文海, 杨翼, 等. 海洋生物调查数据快速检核方法研究[J]. 海洋通报, 2015, 34(2): 202-208.
Huang Haiyan, Lu Wenhai, Yang Yi, et al. Research on quickly checking method of marine biological data[J]. Marine Science Bulletin, 2012, 31(2): 207-213.
- [36] 黄海燕, 路文海, 付瑞全, 等. 基于质控数据库的海洋环境监测生物名质量质控方法[J]. 应用海洋学报, 2014, 33(3): 435-440.
Huang Haiyan, Lu Wenhai, Fu Ruiquan, et al. Research

- on quality control method of marine environmental monitoring taxonomic data based on quality control database[J]. Journal of Applied Oceanography, 2014, 33(3): 435-440.
- [37] 吕颂辉, 张玉宇, 陈菊芳. 东海具齿原甲藻的扫描电子显微结构[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1070-1072.
- Lü Songhui, Zhang Yuyu, Chen Jufang. Scanning electron-microscopic study on *Prorocentrum dentatum* from the East China Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(7): 1070-1072.
- [38] 陆斗定, 齐雨藻, Jeanette G, 等. 东海原甲藻修订及与相关原甲藻的分类学比较[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1060-1064.
- Lu Douding, Qi Yuzao, Jeanette G, et al. Redescription of *Prorocentrum donghaiense* Lu and comparison with relevant *Prorocentrum* species[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(7): 1060-1064.
- [39] 黄长江, 董巧香. 1998年春季珠江口海域大规模赤潮原因生物的形态分类和生物学特征 I[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(2): 197-204.
- Huang Changjiang, Dong Qiaoxiang. Taxonomic and biological studies on causative organisms from a large scale red tide occurrence in Zhujiang River estuary in the spring, 1998 I[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2000, 31(2): 197-204.
- [40] 黄宗国. 中国海洋生物种类与分布[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- Huang Zongguo. Marine species and their distribution in China[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [41] 陈国福, 王广策, 张宝瑜 et al. Morphological and phylogenetic analysis of *Skeletonema costatum* -like diatoms (Bacillariophyta) from the China Sea[J]. European Journal of Phycology, 2007, 42(2): 163-175.
- [42] 程金凤, 高亚辉, 梁君荣, 等. 骨条藻的种类与基因多样性研究进展[J]. 自然科学进展, 2007, 17(5): 586-593.
- Cheng Jinfeng, Gao Yahui, Liang Junrong, et al. Research progress of species and genetic diversity of *Skeletonema*[J]. Natural Science Progress, 2007, 17(5): 586-593.
- [43] 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.
- Luo Hao, Ma Minghui, Liang Bin, et al. Basic characteristics and mitigation countermeasures of red tides in China seas[J]. Marine Science Bulletin, 2013, 32(5): 595-600.
- [44] 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.
- Liu Lusan, Li Zicheng, Zhou Juan, et al. Temporal and Spatial Distribution of red tide in Yangtze River Estuary and adjacent waters[J]. Environmental Science, 2011, 32(9): 2497-2504.

Species composition and distribution of red tide causative organisms in the coastal waters of China in 2013

HUANG Hai-yan, KANG Lin-chong, YANG Yi, YANG Lu, LIU Shu-ming, WANG Qiu-lu, LI Xiao

(National Marine Data and Information Service, Tianjin 300171, China)

Received: Feb. 27, 2016

Key words: Coastal waters of China; Red tide causative species; Species composition; Distribution

Abstract: In this study, we analyze the species and distribution of red tide causative organisms in the coastal waters of China on the basis of statistics for the species that caused red tide events during the years 2001 to 2013 in China's coastal waters and biological data from 1626 stations by National Marine Environmental Monitoring in 2013. Our results indicate (1) There were 60 species in a total of eight phylum organisms, including 12 toxic species that caused red tides in China's coastal waters from 2001 to 2013. Of these, 27 species were Dinophyta and 20 were Bacillariophyta. (2) A total of 50 species of the above-mentioned red tide causative organisms were detected in 2013, and the number identified by each monitoring station ranged from 0 to 25, with the average abundance recorded by

each monitoring station being between 84 cells/m³ and 1.16×10^{11} cells/m³. We found that the species number and cell abundance of the red tide causative organisms decreased from offshore to the open sea; however, both first increased and then decreased in the Changjiang estuary and its adjacent sea area. (3) In 2013, the species numbers in the Bohai Sea, Yellow Sea, East China Sea, and South China Sea ranged from 36 to 42, and the dominant species was *Skeletonema costatum*. The average abundance of the red tide causative organisms follows the order of Bohai Sea > East China Sea > South China Sea > Yellow Sea. The biodiversity index follows the order of Bohai Sea > Yellow Sea > South China Sea > East China Sea. (4) In 2013, *Skeletonema costatum* were distributed mainly in inshore and offshore areas; *Noctiluca scintillans* were distributed in coastal areas and even in open sea areas; *Proocentrum donghaiense* were mainly distributed in the inshore and offshore areas of the East China Sea and South China Sea; and *Karenia mikimotoi* were distributed widely but only detected by a few stations. *Mesodinium rubrum*, *Heterosigma akashiwo*, and *Akashiwo sanguinea* had only a few distribution areas. These species induced red tide with high frequency during the last thirteen years. This study gave a clear picture of the species composition and distribution of red tide causative organisms in the coastal water of China, which has profound significance for the prevention, reduction, and forecast of red tides.

(本文编辑: 康亦兼)