

# 渤海典型生态灾害的发展变化特征及演变趋势\*

邢前国<sup>†</sup> 董志军 王玉珏 李学荣 安德玉

(中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室(烟台海岸带研究所), 山东 烟台 264003)

**摘要** 渤海是中国的内海,受海岸带地区人为活动的影响,海域生态环境退化严重,其主要表现为海洋生态灾害频发。本文对渤海近年典型生态灾害,如赤潮、大型藻类及水母发生的时空分布特征进行了总结,结合水环境变化,对其演变趋势进行了评估,并提出了相应的防控应对建议。

**关键词** 生态灾害;赤潮;水母;大型藻类;渤海

近年来,由于人类活动的影响增加,渤海沿海及近海的海洋生态系统发生了很大变化,如出现海水富营养化、海水 pH 下降、海域局部低氧/缺氧等现象,这些变化会对某些海洋生物的生长和繁殖产生重要的影响,甚至导致生态灾害不断发生。除较常见的赤潮等浮游植物爆发生态灾害外,浮游动物水母暴发与数量剧增,微微性褐藻,由大型藻类导致的绿潮等陆续出现等成为渤海典型的生态灾害。

海洋生态灾害是由于自然变异和人类因素引起的、损害近海生态系统的灾害,主要是由于人类活动带来的陆源污染物入海所引发的一系列海洋生态问题。近几十年来,渤海环境污染、人为破坏、资源的不合理开发等造成生态压力超出生态系统的承载能力,生态系统自然属性明显改变,生物多样性及生态系统结构都发生了较大程度的变化,生态系统主要服务功能严重退化或丧失,导致整个渤海呈亚健康状态。根据国家海洋局《2015年中国海洋环境质量公报》,渤海80%的河口生态系统海水呈富营养化状态,使得浮游植物密度分布不均匀,大型底栖生物密度和生物量偏低,双台子河口浮游动物密度偏低,滦河口-北戴河浮游动物生物量偏低,而黄河口大型底栖生物密度和生物量偏高,这些都是渤海生态环境承载力下降的后果。

## 1 渤海典型生态灾害的时空特征

由于岸上陆源环境污染、沿岸围海造地等人为破坏、对海洋资源的不合理开发等生态压力,导致了海洋生态灾害频繁发生,生态系统失衡不断加剧。具有生态灾害种类和类型多样、持续时间增加、频繁发生,覆盖面积和最大面积不断加大、空间分布离散化和集中并存、损失加剧等特点。在赤潮、绿潮、褐潮、水母灾害、溢油事故、生物入侵及污损生物等诸多危害中,比较典型的生态灾害以赤潮(含微微型褐潮)、绿潮、水母等为主。

### 1.1 赤潮灾害

从历史统计资料看,渤海区域赤潮灾害具体有规模大,发生空间集中,危害严重,持续时间长,发生频率高,类型多样等特点(图1)。据不完全统计,渤海从有赤潮记录以来至2015年底,共发生赤潮184次,累计面积约67408 km<sup>2</sup>,在1952—1989年的38年中,共记录赤潮3次,累计赤潮面积3320 km<sup>2</sup>。进入20世纪90年代,赤潮发生的频率和面积均有所增加,10年共记录赤潮发生27次。21世纪以来,赤潮发生的频率和面积进一步增加,15年共记录赤潮发生154次。其中,2012—2015年发生的面积累计12408 km<sup>2</sup>。

收稿日期:2017-06-05

\* 中国科学院海洋先导专项(XDA11020403)、青岛海洋科学与技术国家实验室(2016ASKJ02)及国家自然科学基金项目(41676171)资助

<sup>†</sup> 作者简介:邢前国(1975—),男,研究员,主要从事环境遥感与环境评估研究工作。E-mail: qgxing@yic.ac.cn

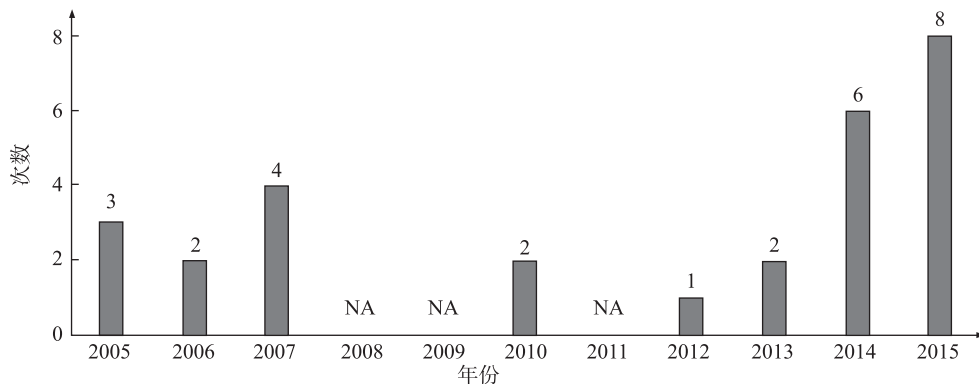


图1 渤海近10年造成较大影响有记录的赤潮次数<sup>[1]</sup>

Fig. 1 The large-scale red tides in the Bohai Sea during the period of 2005–2015

### 1) 引发赤潮藻类多样,且存在区域差异

由于生物、化学和物理因素不同,赤潮种类在空间分布上存在差异。辽东湾绥中一带海域以夜光藻为常见。在秦皇岛沿海引发赤潮的生物主要为夜光藻、抑食金球藻和中肋骨条藻、米氏凯伦藻和海洋卡盾藻等,2009年以前以夜光藻为主,2009年以后以抑食金球藻为主,该种藻种是产生褐潮的主要原因。天津2014沿海爆发的藻种为离心列海链藻、多环旋沟藻和叉状角藻,2015年以多环旋沟藻为主。而在莱州湾北侧的东营港附近,藻种则以棕囊藻为主。

### 2) 发生时间与空间集中

在发生时间上,赤潮多发期为5月至10月,时间分布不太规律,多以6月、8月和9月发生次数较多。从空间看,沿渤海周边,莱州湾、渤海湾天津临港经济区东部海域、天津港南侧海域,河北秦皇岛附近海域、辽东湾以西,历史上都多次暴发大规模赤潮。其中,以渤海湾北到辽东湾之间秦皇岛周围海域最为集中(图2,表1),问题最为严峻。

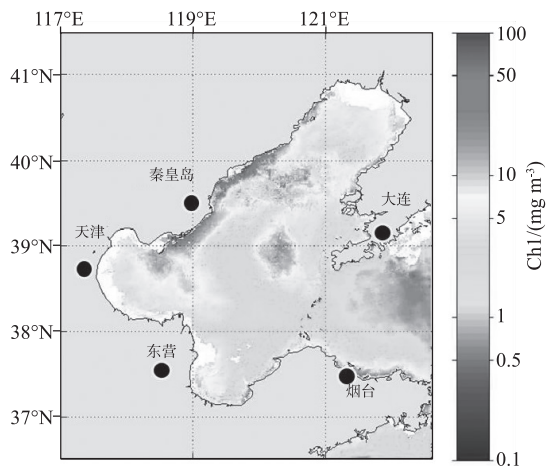


图2 渤海及其邻近海域夏季藻华分布——以2011年夏季为例

Fig. 2 The summer algal blooms in the Bohai Sea and its vicinity waters in 2011

### 3) 规模大和持续时间长

每年爆发面积累计多达成上千 km<sup>2</sup>,2012—2015年累计爆发面积分别为 3869 km<sup>2</sup>, 1880 km<sup>2</sup>, 3207 km<sup>2</sup>, 1570 km<sup>2</sup>。仅秦皇岛及毗邻海域 2012 年就发生 6 次,总面积 3452 km<sup>2</sup>,单次爆发最大面积达 3400 km<sup>2</sup>。2013 年 5 月 25 日至 8 月 31 日,河北秦皇岛至辽宁绥中附近海域爆发的抑食金球藻赤潮,持续时间长达 99 d,最大面积达 1450 km<sup>2</sup>,该海域已连续 5 年爆发此种赤潮。2014 年 5 月 15 日至 8 月 7 日,河北秦皇岛滦河口至辽宁绥中六股河口近岸海域爆发抑食金球藻赤潮,持续时间长达 85 d,最大面积达 2000 km<sup>2</sup>。

### 4) 养殖业致损严重

秦皇岛海域自 2009 年以来连年发生大面积的褐藻爆发<sup>[4]</sup>。2009 年 6 月,河北秦皇岛沿岸海域出现一类新的有害藻华,致使海水呈黄褐色,前后持续约 40 d。藻华区从山海关延伸至抚宁,扇贝、牡蛎和贻贝出现滞长现象,严重时有贝类死亡。类似地有害藻华在 2010—2012 年连续来袭。仅 2009 年,秦皇岛附近海域近 2/3 的海湾扇贝养殖区约 1733 hm<sup>2</sup> 受到影响,出现大量生长停滞和死亡,给当地养殖业带来了极大的经济损失。2010 年,河北沿海褐藻面积达到 3350 km<sup>2</sup>,直接经济损失达 2.05 亿元。渤海生态灾害爆发严重的重点区域为秦皇岛周边海域,1990 年以来,几乎每年都有赤潮发生,表 1 统计了秦皇岛海域的赤潮发生情况;叶绿素表征的藻华强度(图 3)也验证赤潮(含微微型褐潮)的增加趋势。

## 1.2 漂浮大型藻类

自 2007 年以来的夏季,我国黄海连年爆发绿潮灾害,给山东半岛南部沿海的经济社会发展带来严重影响。近十多年间,漂浮大型藻类灾害在渤海沿岸有增加的趋势,在局部地区已经成灾,通过挤占

物理空间、生态影响以及腐烂恶臭等环境影响,严重影响了对应的海水与海岸使用功能,如海水养殖、旅游、冷却水取水等。

以大型绿藻为主的绿潮,主要发生在渤海水体

相对透明度较高的海湾,主要在莱州湾、山东半岛北部沿岸,以及秦皇岛、葫芦岛邻近一线的渤海西北岸(图 4)。就整个渤海而言,大小规模不等的绿潮,有几十年的历史,其发生的时间主要为 5 月至 10 月间。

表 1 秦皇岛及邻近海域赤潮发生统计<sup>[2-3]</sup>

Table 1 The red tides occurred in the Qinhuangdao coastal waters

发生时间	位置	赤潮种类	面积(km <sup>2</sup> )
1990-07-22	秦皇岛至北戴河金山嘴	夜光藻	
1996 年 6 月	秦皇岛至北戴河金山嘴		
2002-06-03 到 2002-06-04	秦皇岛新开口	夜光藻	0.5
2002 年 7 月	秦皇岛港	海洋卡盾藻	8
2003-04-25 到 2003-04-26	秦皇岛港和山海关海域	夜光藻	70
2003-05-28 到 2003-06-04	秦皇岛港、滦河口	夜光藻	0.5
2003-06-12	秦皇岛港	夜光藻	0.2
2003-06-25 到 2003-06-27	秦皇岛港	夜光藻	1
2004-06-15	秦皇岛港西港区	夜光藻	
2004-06-19	秦皇岛港至北戴河金山嘴	夜光藻	240
2005 年	未发现		
2006-06-02 到 2006-06-04	北戴河、秦皇岛港附近海域	夜光藻、微小原甲藻、多甲藻	250
2007-07-13 到 2007-07-15	秦皇岛西浴场	赤潮异弯藻	3
2007-08-24 到 2007-09-06	秦皇岛西浴场至北戴河鸽子公园附近海域	米氏凯伦藻	3
2008 年	未发现		
2009-05-25 到 2009-05-31	秦皇岛昌黎新开口附近海域	夜光藻	460
2009 年 6 月下旬到 9 月初	秦皇岛海域	抑食金球藻	1000
2010-05-14	秦皇岛北戴河赤潮监控区	夜光藻	4.5
2010 年 5 月到 8 月	秦皇岛海域	抑食金球藻	3350
2010-07-24 到 2010-07-26	秦皇岛洋河口至戴河口近岸	红色中缢虫	
2011 年 5 月下旬到 7 月底	秦皇岛近海	抑食金球藻	180
2012-05-18 到 2012-05-28	秦皇岛汤河口附近海域	抑食金球藻	16
2012-06-08 到 2012-08-20	唐山市大清河口至辽宁省绥中六股河口沿岸	抑食金球藻	3400
2012-08-28 到 2012-08-29	秦皇岛东山浴场	夜光藻	1.3
2012-10-04 到 2012-10-10	秦皇岛东山浴场近岸海域	多纹膝沟藻	30
2013-06-20 至 2013-08-31	唐山市乐亭至辽宁绥中沿岸	抑食金球藻	1450
2013-05-25 到 2013-05-26	秦皇岛戴河口至金山嘴海域	夜光藻	2
2013-06-03 到 2013-06-04	秦皇岛戴河口至金山嘴海域	夜光藻	10
2013-06-09 到 2013-06-12	秦皇岛戴河口至西锚地海域	夜光藻	16
2013-06-18 到 2013-06-22	秦皇岛东山浴场至金山嘴海域	夜光藻、微小原甲藻	7.06
2013-06-23 到 2013-06-27	秦皇岛东锚地附近海域	夜光藻	4
2014-05-15 到 2014-08-07	秦皇岛近岸海域	抑食金球藻	2000
2014-05-31 到 2014-06-01	秦皇岛东山浴场海域	夜光藻	0.1
2014-06-11 到 2014-06-12	秦皇岛山海关卸粮口至秦皇岛港海域	夜光藻	75
2014-06-13 到 2014-06-15	秦皇岛北戴河海域	夜光藻、微小原甲藻	228
2014-09-01 到 2014-09-04	秦皇岛浅水湾浴场至西浴场海域	米氏凯伦藻	8
2014-09-15 到 2014-09-19	秦皇岛西浴场附近海域	锥状斯氏藻、叉状角藻	1.1
2015-06-03 到 2015-06-06	秦皇岛海港区近岸海域	中肋骨条藻、赤潮异弯藻	70
2015-06-14 到 2015-06-16	秦皇岛近岸海域	夜光藻	5
2015-06-23 到 2015-06-24	秦皇岛西锚地外海域	夜光藻	3
2015-08-06 到 2015-08-09	秦皇岛东山浴场附近海域	中肋骨条藻	60
2015-08-11 到 2015-08-19	秦皇岛西浴场至东山浴场附近海域	针胞藻、丹麦细柱藻	40

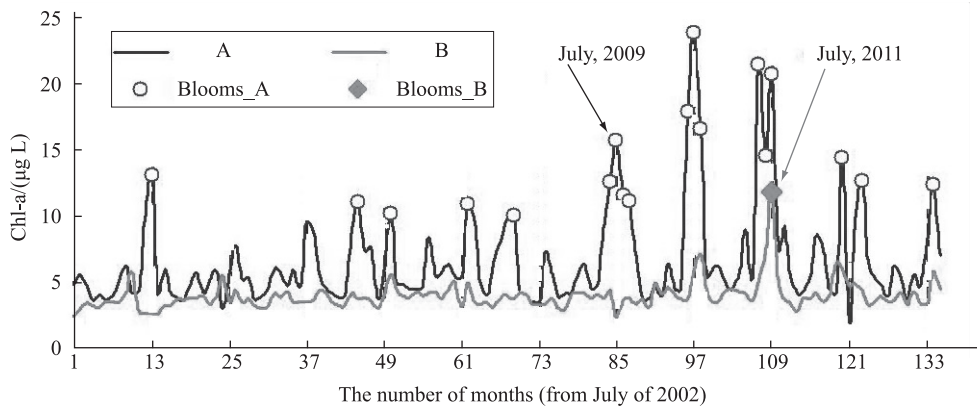


图3 2002年7月至2013年8月秦皇岛邻近海域(A)及渤海中部(B)藻华强度

Fig.3 The intensities of algal blooms indexed by monthly Chl-a during the period of July 2002 to August 2013

A: Qinghuangdao; B the middle of Bohai Sea

在莱州湾、山东半岛北部沿岸及渤海西北岸,在潮滩、水面及水下聚集成灾的绿潮主要物种为有孔石莼,它在形态与生理特征上不同于南黄海的绿潮致灾因子——浒苔。南黄海浒苔的藻体是由单层细胞构成的中空管状长纤维结构,在进行光合作用过程中,藻体释放氧气形成气泡,有助于浮在水面,同时大量繁殖、分生出新枝,且有较强的抗风浪作用,从而能在水面作长时间与长距离迁移。而藻体成片状的有孔石莼,一般聚集在相对清澈的近岸海底,通过光合作用能否产生附着气泡,在较平静水体中能上浮或悬浮于水中;在风浪、潮流作用下,较强的湍流扰动使得藻体再悬浮,并能在能量耗散时沉降,从而使得藻体在岸上、岸下聚集。

莱州湾的石莼类绿潮有30多年的历史,自2008年以来其规模明显增大并成灾,并对当时环境与人类活动带来影响;2014年10月,现较大规模绿潮<sup>[5]</sup>。2009年7月,烟台开发区金沙滩海水浴场近岸现长10 km、宽200 m范围内的海水中可见密度较大的绿潮,其主要藻种不同于石莼的斯氏刚毛藻。2015年6月底,在秦皇岛汤河口至鸽子窝沿岸的浴场发现零星绿潮,并在7月份有所增加,8月下旬逐渐减少至消失;2016年7月该区域也出现大量绿藻。2015年夏季,渤海海峡西北侧出现较小规模的疑似绿潮,其物种、来源与原因均不清楚;理论上,黄海的浒苔绿潮或马毛藻褐潮是有可能进入渤海的,因此,还需进一步观测。

总的说来,有关渤海漂浮大型藻类的观测与研究还十分有限,其成因与浪、流、温度、光照、富营养化等环境因素有关,但其具体形成过程机制还不清楚。考虑到外来物种,并结合黄海绿潮迁移的潜在

风险分析,宜针对渤海开展相关的研究工作。

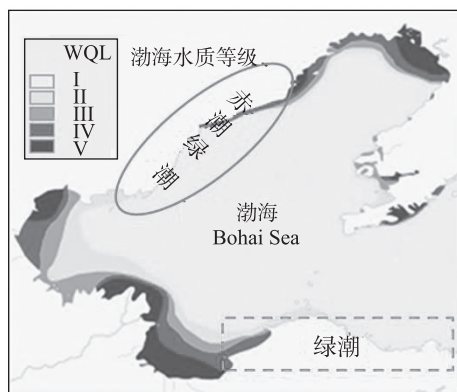


图4 渤海主要赤潮与绿潮分布区(背景图为2007年水质等级)

Fig.4 The distributions of red tides and green tides in the Bohai Sea (The background images show the water quality levels of 2007)

### 1.3 水母爆发

水母爆发已成为近几十年来中国和全球许多近岸海域面临的生态灾害问题<sup>[6-8]</sup>。水母爆发不仅对海洋渔业、滨海旅游业和沿岸工业造成影响,而且会对海洋生态系统结构与功能造成严重影响<sup>[9]</sup>。自2000年以来,水母灾害逐年发生,范围扩大,频率明显加快,空间分布比较集中,沿海旅游业和渔业受损比较严重。

在我国,在过去的10多年中,渤海海域出现了水母种群爆发的现象,主要是在近海特别是一些重要的渔场和高生产力区,爆发水母的主要种类有海月水母、白色霞水母和沙海蜇(表2)。目前渤海海域大型水母的调查较少。王彬等<sup>[10]</sup>2009—2011年对辽东湾大型水母进行调查,发现海蜇和沙海蜇为优势种,海月水母主要分布在辽东湾南部,白色霞水母分布在较高海域,调查表明白色霞水母主要分布



在辽东湾东北部和西北部的非河口高盐度海域<sup>[11]</sup>。郑向荣等2012年对河北沿海大型水母进行调查,发现4种大型水母种类,其中沙海蜇生物量最大,其次是海月水母,海蜇和霞水母生物量最低。河北省沿海水母生物量主要集中于秦皇岛沿海、渤海湾沧州沿海和滦河口,达到了 $15 \sim 75 \text{ t km}^{-2}$ ,渤海湾为 $7.6 \sim 15 \text{ t km}^{-2}$ ;最低为 $0.5 \sim 1.5 \text{ t km}^{-2}$ 。河北近岸海区营养盐含量较远海高,营养盐含量高的地区水母数量居多,说明水体富营养化在一定程度上导致水母数量增长<sup>[2,12]</sup>。

目前,关于水母爆发的原因尚未有结论,研究者普遍认为水母爆发是人类活动和气候变化下海洋环境变化的综合结果,包括全球变暖、过度捕捞、富营养化、外来种入侵和海岸带建设均被认为是水母种群爆发的可能因素<sup>[6-9]</sup>。

表2 渤海海域水母爆发事件统计<sup>[8]</sup>

Table 2 The typical jellyfish blooms in the Bohai Sea

爆发种类	时间	地点	危害
海月水母	2004, 2008	秦皇岛	堵塞发电厂进水口
白色霞水母	2004	辽东湾	导致海蜇资源锐减
沙海蜇	2005, 2007	葫芦岛	影响渔业生产

## 2 渤海典型生态灾害的演变趋势

以上资料与结果显示,过去渤海生态灾害呈现出发生频率和类型增加的变化特征;所述三种典型生态灾害主要发生在水体相对清洁、透明度较高的生态质量较高的近岸海域,主要在渤海西北部沿岸、山东半岛北部沿岸,在空间上呈增加的态势。而这些海区是本区域十分重要的海洋经济功能区,特别是旅游、海洋牧场等,生态灾害的发生可能使这些名方名片的功能减弱、甚至消失。研究灾害的发展趋势对这些区域及渤海的海洋经济的发展至关重要。

2003—2012年间,近岸水域的夏季透明度有所改善,尽管没有显著性改变(图5)。过去15年间,由水质等级(图6)及叶绿素浓度(图7)表征的整个渤海的水质与水体富营养化总体呈上升趋势,2011—2012年间,这种情况出现转折,水环境恶化的趋势初步显示得到控制,但整体依然处在水体环境差的高压之下<sup>[13]</sup>。

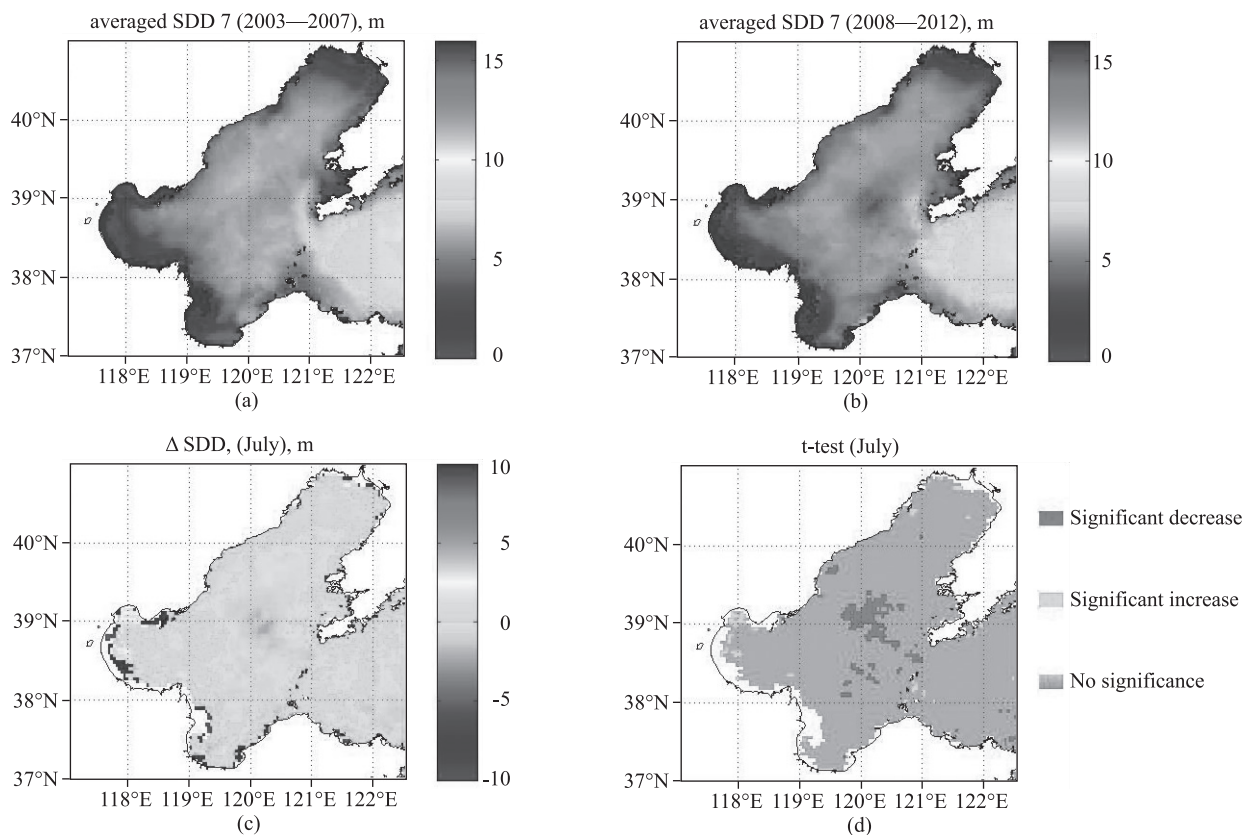


图5 渤海水体透明度的变化(2003—2012)

(a) 2003—2007 年均值, (b) 2008—2012 年间均值, (c) 二者间的差异, (d) 显著性(红色为显著下降,绿色为显著增加,浅蓝无显著性)

Fig. 5 The changes in the water clarity in the Bohai Sea (2003—2012).

(a) the averaged SDD from 2003 to 2007; (b) the averaged SDD from 2008 to 2012; (c) the difference; (d) the significance

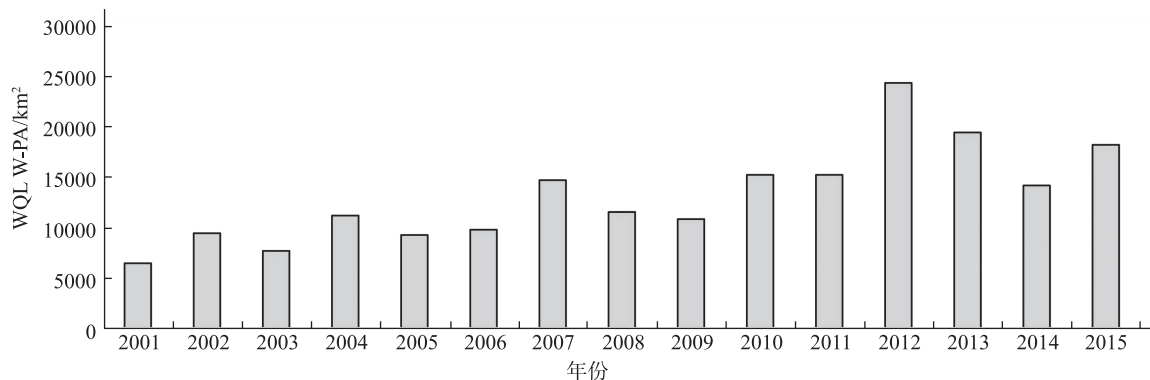


图6 渤海水质等级加权的污染海域面积(2001—2015)

Fig. 6 The WQL (water quality level)-weighted area polluted in the Bohai Sea(2001-2015)

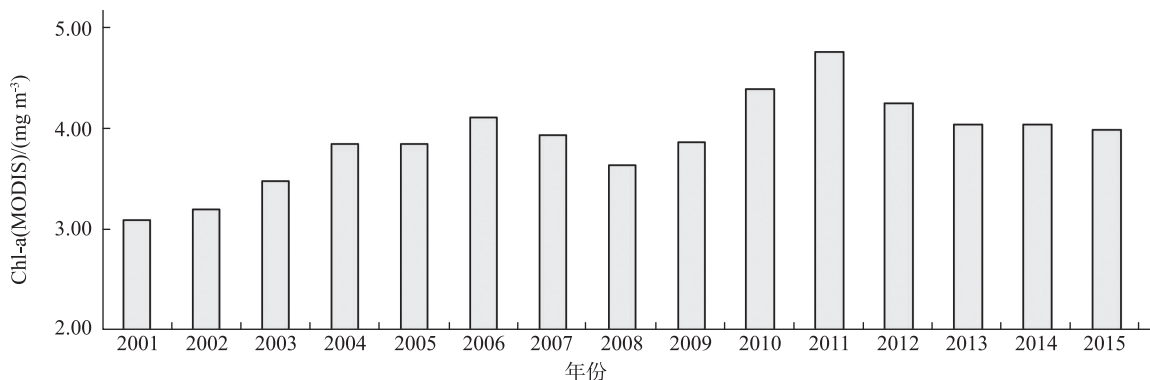


图7 叶绿素表征的渤海富营养化变化趋势(2001—2015)

Fig. 7 The eutrophication index by Chl-a (2001-2015) in the Bohai Sea

综合以上资料分析,未来渤海的主要海洋生态灾害将会继续发生。秦皇岛2009年以来褐藻的大规模爆发,且灾害持续发生,渤海的绿潮在近几年的发展较快,近年已经在渤海沿岸各地上岸。2015年秦皇岛小规模绿潮爆发初有端倪,说明新的生态灾害正在逐渐形成。未来几年,完全有可能绿潮爆发或者其他新有害藻种产生。

### 3 关于渤海典型生态灾害研究与防控的建议

相对而言,研究人员对赤潮有着大量的研究,包括赤潮生物特性(种群生态动力学等)、赤潮发生机理、成因、防治、监测预测技术、生态数值模拟及赤潮控制、治理、预防等。但近几年,随着沿渤海社会经济的发展,渤海生态灾害爆发的频率加大,呈现出面积日益扩大化、灾害种类多样化的趋势与特征,使得生态灾害减灾防灾工作面临着很多挑战,如海洋生态灾害管理制度不够健全,缺乏有效的灾害观测体系,对生态灾害爆发的机理和防治研究不够深入,监

测防治技术相对欠缺等。因此,鉴于上述灾害的严重性、多发性和大规模性,笔者建议从以下几个方面着手以提高防控应对水平。

#### 1) 海洋生态灾害管理制度建设

通过制订海洋生态灾害防灾减灾规划,进一步完善海洋防灾减灾体系建设,开展海洋灾害风险评估和区划工作,推动建立海洋灾害风险评估制度。建立海洋生态灾害分级评估制度,研究制订客观、科学的分级评估标准。对生态脆弱和敏感区域划定海洋红线,以保护和恢复近岸海洋生态系统及其功能。强化重点海域环境综合整治,在有条件的海域逐步开展生态环境的修复工作,改善其生态环境功能和作用。建立生态灾害应急处理体系,提高生物灾害的应急处理能力。

#### 2) 海洋生态灾害观测体系建设

进一步加强现有海洋监测体系建设,提高监测人员、仪器设备和实验室的综合能力,大力发展潜标、浮标、志愿船在线监测、航空监测和卫星遥感的立体观测技术与平台,在赤潮、绿潮等易发时期的海域加强监测工作,获取实时监测数据,在水质和水文

要素变化异常达到灾害可能爆发的临界条件时发布预警,以提升海洋环境监测的能力水平。

完善和健全海洋环境动态监测网络和赤潮灾害预警系统,建立基于网站和手机 APP 等现代信息技术的海洋环境监视和预警系统,提高跟踪及预报灾害信息的能力,及时准确分析灾害现状及变化趋势,为主管部门的监管和决策提供科学依据。

### 3) 渤海生态灾害与应对专项研究

启动科技专项和灾害防治专项研究,建立海洋生态灾害数据库,客观地评价海洋生态灾害。以生态系统基础理论研究为突破口,围绕赤潮、绿潮和水母等致灾机理、演化过程、预防控制,揭示灾害事故发生发展规律;重点开展重大灾害风险辨识与防治关键技术、事故发生机理、动力学演化过程研究。

深入研究新型生态灾害形成机理及不同灾害间相互作用关系,针对秦皇岛最近几年出现的褐藻和新见绿潮,研究褐藻的发生过程、特点和分布范围,寻找本地藻种与外来生物入侵的关联可能性。采用遥感手段结合富营养化指标反演渤海的整体水质状况及其演化趋势,探讨北黄海及渤海的相互影响特征及其赤潮、褐潮和水母之间的关系。

### 4) 典型生态灾害的综合风险管理

实现对典型生态灾害的综合风险管理,科学分析评估生态灾害对沿海环境的潜在重大影响,以预防、减轻生态灾害的不利影响为目标,建立基于现代化、信息化的风险管理信息系统。通过推进生态灾害的风险管理,动员相关利益方积极应对和控制日益增多的赤潮、绿潮风险,进一步制订灾害多发海域的防灾减灾规划,构建安全和防灾减灾标准体系等更为有效的风险管理计划和实施对策,增强对各种灾害事故风险的控制力,完善应对各种灾害问题的机制,减轻灾害造成的损失。开展以漂浮大型绿藻、水母为对象的水产品高值技术术研究,开拓将灾害物种进行资源化的途径。

## 参考文献

[1] 宋伦,毕相生. 渤海海洋生态灾害及应急处置. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2015. Song L, Bing X S. Marine Ecological Disasters and Emergency Disposal in Bohai Sea. Shenyang: Liaoning Science Technology Press, 2015

[2] 郑向荣,李燕,张海鹏,等. 河北沿海大型水母生物量调查.

河北渔业,2014(1):15-18. Zheng X R, Li Y, Zhang H P, et al. Investigation of macro-jellyfish biomass in the Hebei coast. Hebei Fishery, 2014(1):15-18

[3] 国家海洋局. 中国海洋环境质量公报. 北京. State Oceanic Administration. China Marine Environment Bulletin. Beijing

[4] 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. 中国科学院院刊,2016(10):1167-1174. Yu R C, Liu D Y. Harmful algal blooms in the coastal waters of China: current situation, long-term changes and prevention strategies. Journal of the Chinese Academy of Sciences, 2016(10):1167-1174

[5] Xing Q G, Braga F, Tosi L, et al. Detection of low salinity ground water seeping into the Eastern Laizhou Bay (China) with the aid of landsat thermal data. Journal of Coastal Research, 2016, 74: 147-154

[6] Purcell J E, Uye S, Lo W T. Anthropo-genic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. Marine Ecology Progress Series, 2007, 350: 153-174

[7] Richardson A J, Bakun A, Hays G C, et al. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. Trends in Ecology and Evolution, 2009, 24(6): 312-322

[8] Dong Z, Liu D, Keesing J K. Jellyfish blooms in China: dominant species, causes and consequences. Marine Pollution Bulletin, 2010, 60: 954-963

[9] 孙松. 水母暴发研究所面临的挑战. 地球科学进展, 2012(3): 257-261. Sun S. Challenges in the jellyfish bloom research. Advances in Earth Science, 2012, 27(3): 257-261

[10] 王彬,董婧,王文波,等. 辽东湾北部近海大型水母数量分布和温度盐度特征. 海洋与湖沼, 2012, 43(3): 568-578. Wang B, Dong J, Wang W B, et al. The quantity distribution of giant jellyfish and its relationship to seawater temperature and salinity inshore waters of the Northern Liaodong Bay Region. Oceanologia et Limnologia Singca, 2012, 43(3): 568-578

[11] 王彬,李玉龙,沈鸿,等. 2005~2013年辽东湾北部近海白色霞水母的数量分布. 海洋渔业, 2014, 36(2): 146-154. Wang B, Li Y L, Sheng H, et al. Quantity distribution of *Cyanea nokazii* in inshorewaters of northern Liaodong Bay, Bohai Sea in 2005-2013. Marine Fisheries, 2014, 36(2): 146-154

[12] 郑向荣,付仲,郝艳娟,等. 秦皇岛附近海域夜光藻种群密度变化与环境因子的灰关联分析. 渔业科学进展, 2014(2): 8-15. Zheng X R, Fu Z, Xi Y J, et al. Grey relationship analysis for the environmental factors affecting the Noctiluca scintillans density in Qinhuangdao coastal area. Progress in Fishery Sciences, 2014(2): 8-15

[13] Xing Q G, Luigi T, Federica B, et al. Interpreting the progressive eutrophication behind the world's largest macroalgal blooms with water quality and ocean color data. Natural Hazards, 2015, 78: 7-21

# THE EVOLUTIONS OF THE TYPICAL ECOLOGICAL HAZARDS IN THE BOHAI SEA

Xing Qianguo<sup>†</sup> Dong Zhijun Wang Yujue Li Xuerong An Deyu

( *Yantai Insitute of Coastal Zone Research, the Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Remedication,  
Chinese Academy of Sciences, Yantai, Shandong 264003, China* )

**Abstract** The Bohai Sea is an inner sea of China. Due to the impacts from the human activities in the coastal zone, the ecological environment of the Bohai Sea degraded seriously in the past years, which is characterized by the increased marine ecological hazards. In this paper, we reviewed the spatiotemporal distributions of three typical ecological hazards in the Bohai Sea, i. e. , the red tides caused by microphytoplankton blooms, the green tides caused by macroalgal blooms, and the white tides caused by the blooms of jelly fish. With the assessment on the changes of aquatic envrionmnet, we also evaluated the trends in these ecological hazards, and put forward the response suggestions.

**Key words** Ecological hazards; Red tide; Jelly fish blooms; Macroalgal blooms; The Bohai Sea