DOI:10.15928/j.1674-3075.2015.03.005

2000-2013年中国南部近海赤潮发生规律及影响因素研究

窦 勇,高金伟,时晓婷,陈瑞楠,周文礼

(天津农学院水产学院,天津市水产生态及养殖重点实验室,天津 300384)

摘要:利用历年中国海洋环境质量公报、灾害公报、南海海洋环境质量公报以及相关统计数据,以2000-2013年广东省、广西壮族自治区和海南省发生的赤潮事件为对象,研究了中国南部近海赤潮发生的时空动态、赤潮生物的生态演替以及与温度、营养盐、地理水文要素和厄尔尼诺-南方涛动事件(ENSO)的关联。结果表明:(1)时间分布上,赤潮高发期为2月和8月,9月和12月发生频次较低;(2)空间分布上,赤潮集中发生在珠江口以及大鹏湾、大亚湾、深圳湾3个海湾,汕头港、汕尾港、湛江港以及涠洲岛、硇洲岛附近也是赤潮频发海域;(3)引发赤潮的生物共检出31种,包括甲藻20种、硅藻5种、金藻2种、蓝藻2种、黄藻1种、原生动物1种,共检出149次,其中以金藻门的球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*)、甲藻门的锥状施克里普藻(*Scrippsiella trochoidea*)、夜光藻(*Noctiluca scintillans*)、红色赤潮藻(*Akashiwo sanguinea*)以及硅藻门的中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)出现次数较多;(4)赤潮生物存在着明显的季节演替现象,温度和营养盐结构对赤潮爆发及其优势种演替起关键作用,高通量的陆源污染物与弱化的水动力相互叠加为诱发赤潮提供了条件,而厄尔尼诺效应强度与赤潮发生面积呈显著正相关($P<0.05$)。

关键词:赤潮;时空分布;季节演替;影响因素

中图分类号:Q178.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2015)03-0031-07

赤潮是海洋中某些浮游植物、原生动物或微生物在一定条件下爆发性增殖并大量聚集而引起的一种使海水变色的生态异常现象,其发生对海洋生态环境、渔业生产以及人类生命健康有严重的负面影响。研究表明,约60%的赤潮会对渔业生产造成损失,其中近30%的赤潮将产生灾难性的影响(WANG & WU, 2009;刘录三等,2011;李雪丁,2012;吴在兴,2013;刘霜等,2014);随着社会经济的发展以及厄尔尼诺-南方涛动事件(ENSO)的影响,赤潮发生频率和造成的损失总体呈增加趋势;因此,1990年联合国就将赤潮列为世界近海三大污染问题之一。

中国南方沿海地区经济发达、人口稠密、陆源污染物排放通量很大,给近岸海域造成了巨大的资源环境压力,近年来赤潮灾害频发,对海洋环境和水产养殖业影响很大。目前,赤潮研究领域主要有3个方向:一是通过现有数据资料描述海区在一定时间序列内赤潮发生的时空分布特征(吴瑞贞和马毅,2008;王素芬和唐丹玲,2010);二是对赤潮生物进行分类,分析其优势种的生态演替(LIU et al,2009;潘玉龙等,2012);三是借助各种手段(遥感、GIS、现场调查),观测和记录赤潮事件中各个阶段的海洋理化因子、生物类群以及生物量等方面的变化(乐凤凤等,2008;Anderson,2009;刘诚刚,2012;赵晨辰等,2014;WANG & TANG, 2014);这3个方向虽然都已经取得了一定进展,但结果相对孤立,缺乏系统性。本文以2000-2013年中国南部近海赤潮事件为对象,研究其发生的时空动态、赤潮生物的生态演替与海洋环境因子、地理水文要素以及全球气候事件的关联,旨在探究近海赤潮发生的规律和影响因素,为预报与防治赤潮灾害提供理论依据。

1 基础数据

基础数据包括广东省、广西壮族自治区和海南省的赤潮发生资料,来源于历年中国海洋环境质量公报、灾害公报、南海海洋环境质量公报以及三省区的相关公报;数据集包括2000-2013年南部海区赤潮发生的起止时间、发生区域、最大发生面积、赤潮生物优势种类、造成经济损失与否及损失大小、主要河流携带入海污染物通量以及海区气象和水文资

收稿日期:2014-11-18

基金项目:天津市应用基础与前沿研究计划重点项目(13JCZDJC29300);天津农学院科学研究发展计划项目(2013NO.8)。

作者简介:窦勇,1985年生,男,博士,讲师,主要从事海洋生态学和生态毒理学研究。E-mail: douyonghero@163.com

通信作者:周文礼,1969年生,男,博士,研究员,主要从事海洋生态学和渔业资源研究。E-mail: saz0908@126.com

料。目前普遍使用南方涛动指数(Southern Oscillation Index, SOI)来判断厄尔尼诺现象的活跃程度,本研究使用的SOI数据来源于国家海洋局官方网站。

2 结果与分析

2.1 赤潮的时间变化特征

2000-2013年中国南部近海共发生赤潮169次,累计发生面积达7 264.3 km^2,14年间的赤潮发生次数和面积变化较大(图1)。2000年和2013年发生次数最少,均为6次,而2004年发生18次,为历年之最;赤潮发生面积最小的为2000年,仅为50 km^2;而2004年达到1 410 km^2,为历年最高。年度累计赤潮发生面积可见,1~100 km^2 的有2次,100~500 km^2 的5次,500~1 000 km^2 的4次,超过1 000 km^2 的2次。研究时段内,海区单次赤潮的爆发规模大多较小,发生面积在10 km^2 以下的赤潮有84次,占总数的49.7%;而高于100 km^2 的仅有17次,占总数的10.1%(表1)。

2000-2013年,中国南部近海赤潮在全年各月均有发生,这可能与海区常年水温较高、适合不同赤潮生物生长有密切关系,但以2、3、4、6、8、10月为赤潮高发期,占全年总发生次数的62.7%;其中尤以2月和8月发生次数较多,分别达到16次和17次,而9月和12月较少,仅为8次和6次。

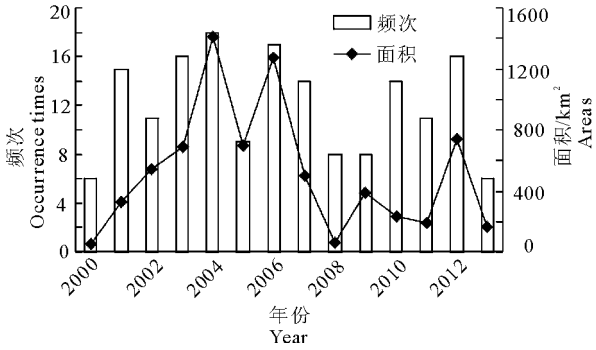

图1 2000-2013年中国南部近海赤潮发生频次与发生面积

Fig. 1 Occurrence frequency and areal extent of red tides in the South China Sea, 2000-2013

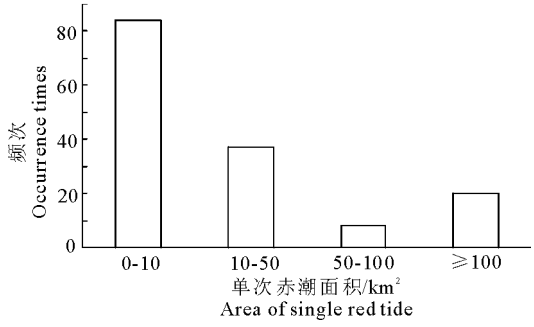

图2 单次赤潮事件发生面积统计

Fig. 2 Red tide occurrence frequency by areal extent

表1 2000-2013年中国南部近海发生面积大于100 km^2 的赤潮事件

Tab. 1 South China Sea red tide events with areas more than 100 km^2, 2000-2013

时间	发生海域	赤潮生物	面积/km^2
2001.7.10-13	大亚湾近岸	中肋骨条藻、菱形藻	242
2002.6.4-13	深圳西部赤湾港至桂山岛	中肋骨条藻、无纹环沟藻	300
2002.6.5-12	香港大屿山岛至珠海香洲湾	中肋骨条藻、无纹环沟藻	200
2002.12.2-28	汕头港外妈屿岛东南面	棕囊藻	100
2004.11月初	汕头港外至企望湾	棕囊藻	100
2004.11月中旬	汕头广澳岛	棕囊藻	600
2005.3.24-5.3	湛江港	球形棕囊藻	300
2005.11.28	徐闻角尾	球形棕囊藻	200
2005.12.4-13	汕头近岸	球形棕囊藻	100
2005.11.28-2006.4	徐闻龙塘镇至雷州乌石沿岸	球形棕囊藻	700
2006.2.9-23	珠江口澳门机场至淇澳岛北部沿岸及深圳后海湾	球形棕囊藻	300
2006.5.8-12	湛江港网箱养殖区	中肋骨条藻	300
2006.10.23-11.8	珠海内伶仃、香洲公务码头至香炉湾	多环旋沟藻、红色中缢虫	300
2009.10.27-11.9	珠海市淇澳岛至香炉湾	多环旋沟藻	280
2010.5.2	广西北部湾	球形棕囊藻	150
2012.3.23-4.1	汕尾市碣石湾	长角弯角藻、脆根管藻	535
2013.8.9-13	湛江港	中肋骨条藻	113

2.2 赤潮的空间分布特征

中国南部近海赤潮的空间分布较为集中,绝大部分发生在广东省的深圳市、汕头市、汕尾市、珠海市、湛江市、惠州市、徐闻县和广西壮族自治区北海市附近海域;另外,在海南省文昌市和海口湾近岸也有零星发生。在地域上,珠江口及邻近海域是赤潮

频发区域,尤其是珠江口内和口门附近的大鹏湾、大亚湾、深圳湾 3 个海湾,而广东省沿海的汕头港、汕尾港、湛江港也是赤潮高发海域;值得注意的是海域内一些近岸岛屿如广西北海涠洲岛、广东湛江硇洲岛附近赤潮发生频率也较高。

2.3　赤潮生物种类

由于在同一次赤潮事件中可能同时存在多种赤潮生物,因此本研究分开计算,以某种赤潮生物出现的次数来进行统计。2000 – 2013 年发生的赤潮共检出生物 31 种,包括甲藻 20 种、硅藻 5 种、金藻 2 种、蓝藻 2 种、黄藻 1 种,另外还有原生动物 1 种,累计出现 149 次(表 2);其中金藻门的球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*)出现次数最多,达 24 次;甲藻门出现较多的是锥状施克里普藻(*Scrippsiella trochoidea*)、夜光藻(*Noctiluca scintillans*)和红色赤潮藻(*Akashiwo sanguinea*),分别为 19、16 和 7 次;中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)作为硅藻门出现最多的赤潮生物,累计检出 21 次;这 5 种藻占累计出现次数的 57.1%。在 31 种赤潮生物中,有 10 种为产毒微藻,分别是球形棕囊藻、米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)、无纹环沟藻(*Gyrodinium instriatum*)、利马原甲藻(*Prorocentrum lima*)、红海束毛藻(*Trichodesmium erythraeum*)、丹麦细柱藻(*Leptocylindrus danicus*)、海洋卡盾藻(*Chattonella marina*)、强壮前沟藻(*Amphidinium carterae*)、链状裸甲藻(*Gymnodinium catenatum*)、具刺膝沟藻(*Gonyaulax polygramma*)。

中国南部近海赤潮生物存在着明显的季节演替现象,1993 – 1999 年赤潮微藻的优势种为蓝藻门的红海束毛藻、铁氏束毛藻(*Trichodesmium thiebautii*)和甲藻门的夜光藻,2000 – 2007 年逐渐演替为金藻门的球形棕囊藻、蓝藻门的微囊藻(*Microcystis* sp.)、甲藻门的异弯藻(*Heterosigma* sp.)以及硅藻门的中肋骨条藻(LIU et al,2009);而 2007 – 2013 年占绝对优势的是棕囊藻(*Phaeocystis* sp.)和夜光藻。

表 2　中国南部近海赤潮生物发生频次

Tab. 2　Occurrence frequency of red tide organisms in South China Sea, 2000 – 2013

赤潮生物	统计年份													
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
球形棕囊藻 *Phaeocystis globosa*			1	1		6	4	3	1	2	3	2		1
锥状施克里普藻 *Scrippsiella trochoidea*	3	1	1	2		1	1				5	1	4	
中肋骨条藻 *Skeletonema costatum*	1		3	3	1		5	2					4	2
夜光藻 *Noctiluca scintillans*	1	2	1	1					3	2	3		2	1
红色赤潮藻 *Akashiwo sanguinea*		2						1				3	1	
米氏凯伦藻 *Karenia mikimotoi*								1			2		1	1
双胞旋沟藻 *Cochlodinium geminatum*												2	2	1
多纹旋沟藻 *Gonyaulax polygramma*							2	1		1				
赤潮异弯藻 *Heterosigma akashiwo*		3							1					
红色中缢虫 *Mesodinium rubrum*	1	1	2				1							
红海束毛藻 *Trichodesmium erythraeum*			1	1	1	1								
海洋原甲藻 *Prorocentrum micans*					4									
丹麦细柱藻 *Leptocylindrus danicus*		1										1	1	
海洋卡盾藻 *Chattonella marina*				1		1						1		
无纹环沟藻 *Gyrodinium instriatum*			2		1			1		1				
脆根管藻 *Rhizosolenia fragillissima*		1											1	
汉氏束毛藻 *Trichodesmium hildebrandtii*			1					1						
五角多甲藻 *Protoperidinium quinquecorne*	2													
金囊藻 *Phaeocystis poucheti*		2												
长角弯角藻 *Eucampia cornuta*													1	
短角弯角藻 *Eucampia zoodiacus*												1		
微小原甲藻 *Prorocentrum minimum*												1		
利马原甲藻 *Prorocentrum lima*											1			
强壮前沟藻 *Amphidinium carterae*										1				
反曲原甲藻 *Prorocentruinsig – moides*									1					
链状裸甲藻 *Gymnodinium catenatum*								1						
柔弱菱形藻 *Nitzschia delicatissima*								1						
日本星杆藻 *Asterionella japonica*								1						
叉状角藻 *Ceratium furca*		1												
多纹膝沟藻 *Gonyaulax polygramma*		1												
具刺膝沟藻 *Gonyaulax spinifera*		1												

3 讨论

3.1 温度和营养盐对赤潮爆发及生物演替的影响

温度是海洋浮游植物现存量和群落结构最重要的影响因素,可以在不同时空间尺度上调控赤潮爆发与生物演替。王悠等(2009)发现南黄海初级生产力主要受温度控制;郝艳菊和唐丹玲(2010)认为温度是大亚湾海域1982-2004年浮游植物群落结构变化的主导因素;而杨清良和林更铭(2007)指出温度直接影响不同赤潮生物的聚群结构。本研究发现,2000-2013年中国南部近海各月均有赤潮爆发,这可能与该海域常年水温较高、适合不同赤潮生物生长有关;赤潮多发的8月正对应着水温最高的月份,而水温最低的12月其发生次数也最少,进一步的研究证实赤潮发生与温度呈现明显的正相关,年均水温相对较高的2003、2004、2006、2012年是赤潮发生次数和面积较大的年份;另外,赤潮优势种的出现频次也因其生态习性的差异直接受到温度制约,作为海区最主要的赤潮生物——球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*),由于其偏好在低温环境下生长,使得此类赤潮绝大多数发生于温度较低的2、3、11、12月,而夜光藻因其较强的适温性在多数月份均可爆发。

营养盐是海洋浮游植物的生源要素,也是植物性赤潮爆发必不可少的条件(穆迪,2011;FU et al,2012;郭术津等,2014)。有研究发现,在水温较高的季节,营养盐取代温度成为浮游植物生长的主控因子(刘诚刚,2012);而笔者早期研究发现,海水中氮(N)、磷(P)营养盐的含量与比例可以显著影响浮游植物群落结构和初级生产力的季度变化,也会调控浮游植物类群中硅藻与甲藻的细胞密度比(窦勇等,2011;窦勇,2012);另有证据表明,甲藻对N、P的储存能力明显高于硅藻,且高N/P或高N/Si条件下甲藻对硅藻具有明显的竞争优势(吕颂辉和李英,2006);而国外学者证实营养盐形态和比例会对赤潮微藻的产毒过程造成影响(Glibert et al,2013)。2000-2013年中国南部近海的营养盐结构变化明显,N/P已经逐渐由2000-2003年的21.69上升到2011-2013年的42.75(丘耀文等,2005;SONG et al,2011;ZHANG et al,2014);加之海域本就硅盐匮乏,使得赤潮生物逐渐由甲藻、硅藻、金藻并存演替为甲藻、金藻占优,优势种也由硅藻门的中肋骨条藻演变为金藻门的棕囊藻和甲藻门的夜光藻。

3.2 地理环境和水文条件对赤潮爆发的影响

珠江口及邻近海域是中国南部近海赤潮最频发的区域,尤其是河口内和口门附近的大鹏湾、大亚湾、深圳湾,这种现象与珠江口以及3个海湾的地理和水文环境密切相关。珠江口呈喇叭状,口门方向偏向东南,同时属于表层流速(≤2 m/s)和潮差较小(≤2 m)的弱潮河口,常年盛行流向为西北向,涨潮流明显强于落潮流(孙湘平,2006),口门朝向与盛行流向的不一致以及落潮流的弱势使得珠江口内的物质不容易向外输运;另外,珠江口以及大鹏湾、大亚湾、深圳湾岸线曲折,大小岛屿星罗棋布,这样的地理环境进一步削弱了本就不强的水动力条件,而珠江三角洲是我国经济最发达的区域之一,每年有大量的污染物随珠江径流入海(图3),给近岸环境造成严重污染,高通量的陆源污染物和弱化的水动力条件相互叠加,在其它环境条件适宜的时候很容易诱发赤潮灾害。汕头港、汕尾港、湛江港也存在类似情况,这些港口为了防风避浪修建了大量人工构筑物,削弱了水动力,降低了营养盐等污染物的净化能力,给赤潮生物繁殖爆发提供了生源要素。涠洲岛和硇洲岛附近海域也是赤潮发生较频繁的区域,这与两岛的地理、水文因素存在着密切关系,涠洲岛位于广西北部湾东北端,而硇洲岛位于广东省雷州半岛东缘,都是区域环流相对较弱的半封闭环境;另外,这些海岛离大陆较近,易受陆源污染物的影响,而且海水养殖业发达,养殖污染严重,同时岛屿位于印度洋西南季风进入我国的上风口,暖湿气流很容易造成短时、局部的高温低盐环境,因此多种因素相互作用给赤潮发生创造了有利条件。

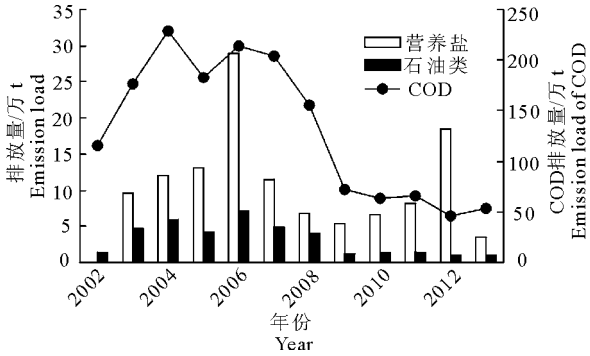

图3 2002-2013年珠江主要入海污染物通量

Fig.3 Flux of primary pollutants to the South China Sea from the Pearl River, 2002-2013

3.3 全球气候事件对赤潮爆发的影响

厄尔尼诺-南方涛动(合称ENSO)是全球尺度的气候事件,其中厄尔尼诺主要刻画赤道东太平洋

表层海水异常升温,而南方涛动主要描述热带东太平洋和热带印度洋地区气压场的反向变化,二者之间存在着紧密联系。ENSO 事件通过调制大尺度海 – 气相互作用对全球大气环流和海洋温盐循环施加影响,目前科学家普遍使用南方涛动指数(Southern Oscillation Index, SOI)来判断厄尔尼诺现象的活跃程度,具体是以东南太平洋塔希提岛和澳大利亚达尔文港的海平面气压差作为计算 SOI 的依据。一般来说。持续出现 SOI 低值对应着较强的厄尔尼诺现象,而较高的 SOI 则意味着反厄尔尼诺(即拉尼娜)现象的出现(冯士筰等,1999)。中国南部近海位于太平洋和印度洋的交汇地带,ENSO 事件通过扰动夏季西南季风和冬季东北季风的季节转换影响南部海域的海水表面温度、降水、环流,使区域气候和水文特征发生变化,进而改变赤潮的爆发条件。本文通过对 2000 年 4 月至 2010 年 11 月的逐月 SOI 与南部海区赤潮发生面积进行 Pearson 相关性分析,发现 SOI 和赤潮发生面积存在显著负相关($r = -0.207$, $P < 0.05$, $n = 117$),即 SOI 越低(厄尔尼诺效应越强)赤潮发生面积越大(图 4);与何春良和杨红(2009)得出的结论不一致。造成这种差异的原因可能是因为本文使用 SOI 的逐月数据,而其使用厄尔尼诺发生的年度数据,数据的时间尺度和跨度不同造成了结果差异。

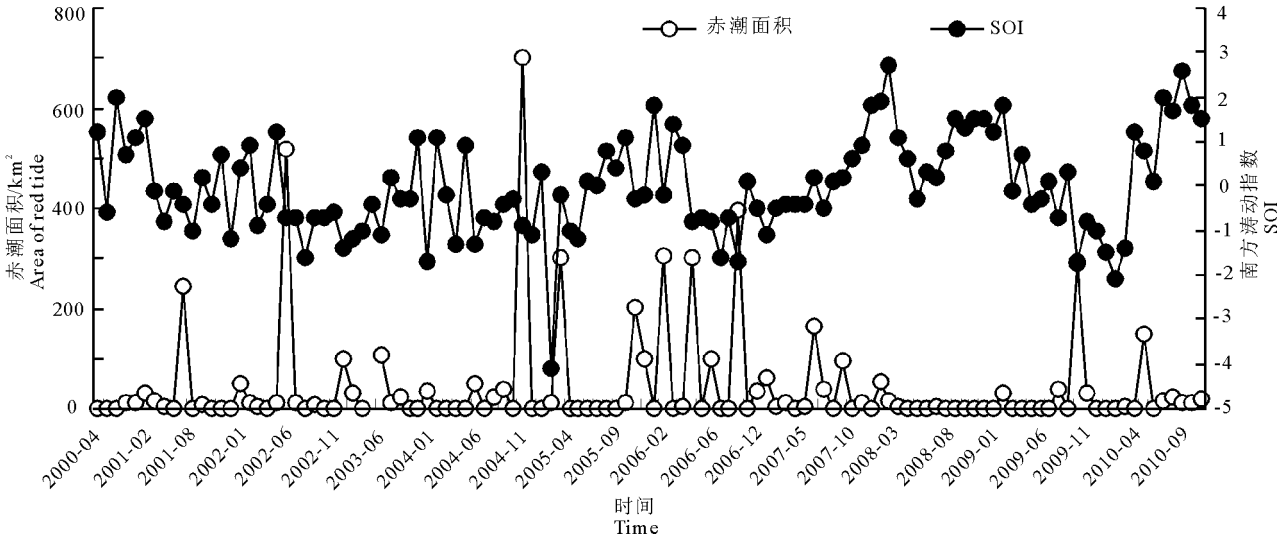

图 4　2000 – 2010 南方涛动指数和赤潮发生面积的逐月变化

Fig. 4　The Southern Oscillation Index (SOI) and areal extent of red tide by month, 2000 – 2010

目前,对于厄尔尼诺现象与海洋赤潮关系的研究才刚刚起步,而且绝大多数停留在统计分析水平上,关联背后耦合的物理机制一直没有揭示出来;因此今后的方向应该聚焦于研究厄尔尼诺对赤潮发生的影响机理。

参考文献

窦勇,唐学玺,杨震,等. 2011. 山东近海黄海段营养盐结构对初级生产力的影响研究[J]. 海洋环境科学,30(2):177 – 181.

窦勇. 2012. 基于 RS、GIS 的调查资料的青岛市海岸带生态系统健康综合评价[D]. 青岛:中国海洋大学.

冯士筰,李凤岐,李少菁. 1999. 海洋科学导论[M]. 北京:高等教育出版社.

郭术津,李彦翘,张翠霞,等. 2014. 渤海浮游植物群落结构及与环境因子的相关性分析[J]. 海洋通报,33(1):95 – 105.

郝彦菊,唐丹玲. 2010. 大亚湾浮游植物群落结构变化及其对水温上升的响应[J]. 生态环境学报,19(8):1794 – 1800.

何春良,杨红. 2009. 我国海域赤潮时空分布及其与厄尔尼诺的关系[J]. 上海海洋大学学报,18(2):206 – 211.

乐凤凤,宁修仁,刘诚刚,等. 2008. 2006 年冬季南海北部浮游植物生物量和初级生产力及其环境调控[J]. 生态学报,28(1):5775 – 5784.

李雪丁. 2012. 福建沿海近 10a 赤潮基本特征分析[J]. 环境科学,33(7):2210 – 2216.

刘诚刚. 2012. 中国近海浮游植物光合溶解有机碳生产研究[D]. 青岛:中国海洋大学.

刘录三,李子成,周娟,等. 2011. 长江口及其邻近海域赤潮时空分布研究[J]. 环境科学,32(9):2497 – 2504.

刘霜,张继民,张洪亮,等. 2014. 青岛近海赤潮灾害分级与时空分布及赤潮生物的变化[J]. 水生态学杂志,35(4):43 – 47.

吕颂辉,李英. 2006. 我国东海 4 种赤潮藻的细胞氮磷营养储存能力对比[J]. 过程工程学报,6(3):439 – 444.

穆迪. 2011. 渤海湾营养盐对浮游生态动力学特性影响研究[D]. 天津:天津大学.

潘玉龙,李瑞香,李艳,等. 2012. 中国近海裸甲藻中文名的研究[J]. 海洋通报,31(2):207-213.

丘耀文,王肇鼎,朱良生. 2005. 大亚湾海域营养盐与叶绿素含量的变化趋势及其对生态环境的影响[J]. 台湾海峡,24(2):131-139.

孙湘平. 2006. 中国近海区域海洋[M]. 北京:海洋出版社.

王素芬,唐丹玲. 2010. 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,29(5):577-583.

王悠,窦勇,唐学玺,等. 2009. 山东近岸黄海海域初级生产力的时空分布变化研究[J]. 中国海洋大学学报,39(4):633-640.

吴瑞贞,马毅. 2008. 近20a南海赤潮的时空分布特征及原因分析[J]. 海洋环境科学,27(1):30-32.

吴在兴. 2013. 我国典型海域富营养化特征、评价方法及其应用[D]. 青岛:中国科学院海洋研究所.

杨清良,林更铭. 2007. 厦门海域浮游植物夏季赤潮期间分布变异的多元分析[J]. 生态学报,27(2):465-476.

赵晨辰,张世彦,毛献忠. 2014. 深圳湾流域TN和TP入海年通量变化规律研究[J]. 环境科学,35(11):4111-4117.

Anderson D M. 2009. Approaches to monitoring, control and management of harmful algal blooms (HABs) [J]. Ocean & Coastal Management, 52 (7): 342-347.

FU Mingzhu, WANG Zongling, PU Xinming, et al. 2012. Changes of nutrient concentrations and N:P:Si ratios and their possible impacts on the Huanghai Sea ecosystem[J]. Acta Oceanol Sin, 31(4): 101-112.

Glibert P M, Kana T M, Brown K. 2013. From limitation to excess: the consequences of substrate excess and stoichiometry for phytoplankton physiology, trophodynamics and biogeochemistry, and the implications for modeling[J]. Journal of Marine Systems, 125 (9): 14-28.

LIU C L, TANG D L, WANG S F, et al. 2009. Variations in the dominant algal bloom-forming species in the western South China Sea from 1993 to 2007[J]. African Journal of Marine Science,31(3): 373-380.

SONG X Y, HUANG L M, ZHANG J L, et al. 2011. Chemometric study of spatial variations of environmental and ecological characteristics in the Zhujiang River (Pearl River) Estuary and adjacent waters[J]. Acta Oceanol Sin, 30 (4): 60-74.

WANG J H, WU J Y. 2009. Occurrence and potential risks of harmful algal blooms in the East China Sea[J]. Science of the Total Environment,407(13): 4012-4021.

WANG J J, TANG D L. 2014. Phytoplankton patchiness during spring intermonsoon in western coast of South China Sea [J]. Deep-Sea Research II, 101 (3):120-128.

ZHANG S W, XIE L L, HOU Y J, et al. 2014. Tropical storm-induced turbulent mixing and chlorophyll-a enhancement in the continental shelf southeast of Hainan Island[J]. Journal of Marine Systems, 129(1): 405-414.

(责任编辑 万月华)

Outbreak Frequency and Factors Influencing Red Tides in Nearshore Waters of the South China Sea from 2000 to 2013

DOU Yong, GAO Jin-wei, SHI Xiao-ting, CHEN Rui-nan, ZHOU Wen-li

(Tianjin Key Lab for Aquaculture Ecology and Cultivation, Fisheries College of Tianjin Agriculture University, Tianjin　300384, P. R. China)

Abstract: Red tide is among the first three pollutants listed for coastal waters worldwide by the United Nations in 1990. Red Tides have serious adverse effects on the marine environment, fish production and human health. In the coastal region of southern China, rapid economic growth and high population density has increased pollutant discharge to nearshore waters of the South China Sea and led to frequently occurring red tides in recent years. In this study, we analyzed the spatial-temporal dynamics and ecological succession of the species responsible for red tides in the South China Sea from 2000 to 2013 using historical statistics of the red tides that occurred in Guangdong Province, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Hainan Province. The analysis included the duration and areal extent of red tides, red tide intensity scale, dominant species, economic impact, emission flux of land-sourced pollutants, relevant meteorological and hydrological data and the southern oscillation index (SOI). The correlation of red tide occurence with temperature, nutrient levels, geographical and hydrological factors and the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) was also studied. Our results will help to better understand the occurrence regularity and influencing factors of red tides and provide information to help predict and control the blooms that produce red tide disasters. Results indicate: (1) Red tide frequency peaks in February and August and is lowest in September and December. (2) Spatially, red tides occur most frequently in the Pearl River Estuary and locations nearby Dapeng Bay, Daya Bay and Shenzhen Bay, in waters surrounding three harbors (Shantou, Shanwei, Zhanjiang) and two offshore islands (Weizhou and Naozhou). (3) 31 species were associated with 149 red tides occurring in the South China Sea, including 20 species of Dinoflagellate, 5 species of Diatom, 2 species of Chrysophyte, 2 species of Cyanophyta, and single species of Xanthophyte and Protozoa. Among them, *Phaeocystis globosa*, *Scrippsiella trochoidea*, *Noctiluca scintillans*, *Akashiwo sanguinea* and *Skeletonema costatum* occurred much more frequently and red tide organisms displayed obvious seasonal succession. (4) Temperature and nutrient levels were crucial to both red tide formation and seasonal succession of red tide species. High pollutant discharge during times of reduced hydrodynamic force provides favorable conditions for red tide outbreaks and the areal extent of red tides showed a significant positive correlation to El Niño intensity ($P < 0.05$).

Key words: red tide; spatial-temporal dynamics; seasonal succession; influencing factors