



“十三五”国家重点出版物出版规划项目  
海洋生态文明建设丛书



暨卫东 贺青 ● 主编

# 港湾赤潮预警指标体系及 赤潮灾害应急处置技术研究

GANGWAN CHICHAO YUJING ZHIBIAO TIXI JI  
CHICHAO ZAIHAI YINGJI CHUZHJ JISHU YANJIU

海洋出版社



国家出版基金项目  
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十三五”国家重点出版物出版规划项目  
海洋生态文明建设丛书

# 港湾赤潮预警指标体系及 赤潮灾害应急处置技术研究

暨卫东 贺青 ● 主编

林彩 许焜灿 陈宝红 暨国彪 张元标 ● 副主编



海洋出版社

2017年·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

港湾赤潮预警指标体系及赤潮灾害应急处置技术研究/暨卫东, 贺青主编. —北京: 海洋出版社, 2017. 12

ISBN 978-7-5027-9538-2

I. ①港… II. ①暨… ②贺… III. ①港湾-赤潮-预警系统-研究②港湾-赤潮-自然灾害-灾害防治-研究 IV. ①X55

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 158896 号

策划编辑: 苏 勤

责任编辑: 苏 勤

责任印制: 赵麟苏

**海洋出版社 出版发行**

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷 新华书店发行所经销

2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 889 mm×1194 mm 1/16 印张: 15

字数: 350 千字 定价: 88.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

## 编 委 会

技术顾问：余兴光

主 编：暨卫东 贺 青

副 主 编：林 彩 许焜灿 陈宝红

暨国彪 张元标

成 员：林 辉 周仁杰 吴省三

邝伟明 蒋荣根 陈金民

黄海宁 郭辉革 陈泓哲

王伟力 韩爱琴 董 旭

孙秀武 霍云龙 陈文锋

王素敏 周开文

# 前 言

为了贯彻落实国务院对突发性事件处理的要求，建立赤潮灾害应急反应机制，最大限度地减轻赤潮灾害造成的经济损失和给人民身体健康、生命安全带来的威胁，按照国家海洋局《2011年海洋赤潮灾害应急预案》要求，根据我们长期对港湾富营养化监测评价与赤潮预警成果，编写了《港湾赤潮预警指标体系及赤潮灾害应急处置技术研究》，供海湾赤潮灾害应急监测与预警管理决策，赤潮灾害监测和预警，港湾水体富营养化程度的评估，赤潮种鉴定、赤潮毒素检定和毒素效应评估，水体富营养化与赤潮的防治以及海洋教育部门参考。

第1篇 国内外赤潮调查研究动态 第1章赤潮发生和分布状况，第2章国内外赤潮的研究历史，第3章国内外赤潮研究现状，编制人：林彩、暨卫东、贺青。

第2篇 海洋内湾原发型赤潮预警指标体系研究 第4章赤潮预警研究的必要性，第5章赤潮预警指标体系构建的科学基础，第6章赤潮预警指标体系框架的构建，第7章赤潮预警预测指标研究，编制人：许焜灿、吴省三、暨卫东、贺青。

第3篇 厦门海域赤潮发生原因与预警研究 第8章赤潮监测与预警方案设计，编制人：吴省三、暨卫东、贺青；第9章厦门海域赤潮监测与预警研究，编制人：林辉、蒋荣根、暨卫东、贺青、陈宝红；第10章厦门赤潮海域监测结果与环境因素分析，编制人：林辉、蒋荣根、暨卫东、贺青、陈宝红；第11章厦门海域水体富营养状况评价，编制人：蒋荣根、暨卫东、贺青；第12章厦门海域近年来赤潮发生原因及规律，编制人：暨卫东、蒋荣根、陈宝红；第13章赤潮毒素的累积、预警值研究与应用，编制人：暨国彪、暨卫东、郭辉革；第14章水质浮标监测监视赤潮演变预测，编制人：邝伟明、周仁杰、暨卫东。

第4篇 赤潮多发区有毒赤潮跟踪监测、预警与防治策略 第15章有毒赤潮应急监测与预警研究，编制人：暨卫东、贺青、陈宝红；第16章厦门海域赤潮应急跟踪监测与预警，编制人：贺青、暨卫东、陈宝红、暨国彪、郭辉革；第17章有害赤潮应急措施、监控预警与防治建议，编制人：暨卫东。

本书由厦门南方海洋研究中心公共服务平台项目（14PST63NF27）“厦门海域赤潮灾害应急监测与预警管理决策平台”和科技部发展计划司科研院所社会公益研究专项（2004DIB3J084）“内湾原发型赤潮预警理化指标体系研究”提供了宝贵的科研调查资料。本书的撰写得到了国家科学技术部、厦门市海洋与渔业局、厦门南方海洋研究中心以及各涉海单位和个人的热情支持和大力帮助，特此致以衷心感谢。对本著作中存在不足，恳请读者指正。

暨卫东

2017年4月

策划编辑：苏勤

责任编辑：苏勤

封面设计：何瑛

# 目 次

## 第 1 篇 国内外赤潮调查研究动态

第 1 章 赤潮发生和分布状况 .....	(3)
1.1 全世界赤潮的概况 .....	(3)
1.2 中国赤潮的概况 .....	(4)
第 2 章 国内外赤潮的研究历史 .....	(6)
2.1 国外研究历史 .....	(6)
2.2 国内研究历史 .....	(6)
第 3 章 国内外赤潮研究现状 .....	(8)
3.1 赤潮的成因 .....	(8)
3.2 赤潮的生态学作用 .....	(9)
3.3 赤潮生物的研究 .....	(10)
3.4 赤潮的预防预测机制 .....	(14)
3.5 赤潮的治理 .....	(22)
3.6 国内外赤潮研究现状与发展前景 .....	(27)
参考文献 .....	(28)

## 第 2 篇 海洋内湾原发型赤潮预警指标体系研究

第 4 章 赤潮预警研究的必要性 .....	(37)
4.1 赤潮定义 .....	(37)
4.2 海洋内湾原发型赤潮预警指标体系研究 .....	(38)
第 5 章 赤潮预警指标体系构建的科学基础 .....	(40)
5.1 赤潮过程 .....	(40)
5.2 影响赤潮形成的因素 .....	(41)
第 6 章 赤潮预警指标体系框架的构建 .....	(49)
6.1 赤潮预警含义 .....	(49)
6.2 构建赤潮预警指标体系框架 .....	(49)
第 7 章 赤潮预警预测指标研究 .....	(55)
7.1 赤潮预警预测的表观增氧量(AOI)指标研究 .....	(55)



7.2	赤潮预警指标研究的微型围隔生态实验	(59)
7.3	表观增氧量(AOI)赤潮评价预警指标的微型围隔生态实验检验	(64)
7.4	赤潮预警与评价的叶绿素 a 指标研究	(67)
7.5	赤潮预警与评价的 pH 指标研究	(70)
7.6	海洋浮游植物对 N、P 营养盐的摄取作用研究	(75)
7.7	赤潮发生的 N、P 限制研究	(79)
7.8	赤潮预警与评价的浮游植物多样性指标研究	(82)
7.9	总结	(87)
	参考文献	(89)

### 第3篇 厦门海域赤潮发生原因与预警研究

第8章	赤潮监测与预警方案设计	(93)
8.1	赤潮监测与预警的意义	(93)
8.2	赤潮监测方案设计	(97)
8.3	赤潮监测技术	(100)
8.4	赤潮生物	(103)
8.5	赤潮毒素	(106)
第9章	厦门海域赤潮监测与预警研究	(111)
9.1	赤潮监测与预警目标	(111)
9.2	赤潮区监测与预警研究设计	(111)
9.3	厦门赤潮监测	(113)
第10章	厦门赤潮海域监测结果与环境因素分析	(116)
10.1	海水水质	(116)
10.2	沉积物	(124)
10.3	浮游植物	(126)
第11章	厦门海域水体富营养状况评价	(135)
11.1	富营养化研究进展	(135)
11.2	厦门海域水体富营养评价结果	(138)
11.3	厦门海域水环境质量长期变化及其富营养化趋势	(141)
11.4	厦门海域近年来富营养化指数值变化趋势	(146)
11.5	小结	(147)
第12章	厦门海域近年来赤潮发生原因及规律	(148)
12.1	厦门海域近年来赤潮发生情况	(148)
12.2	厦门海域赤潮发生的影响因素	(151)
12.3	厦门海域富营养化原因调查及讨论	(151)
12.4	厦门海域主要赤潮生物及其生态特征	(153)



12.5 小结 .....	(154)
<b>第 13 章 赤潮毒素的累积、预警值研究与应用 .....</b>	<b>(155)</b>
13.1 麻痹性贝类毒素累积实验 .....	(155)
13.2 麻痹性贝类毒素预警值研究 .....	(158)
13.3 ELISA 法定量检测麻痹性贝类毒素 .....	(162)
13.4 建立麻痹性合成毒素 SXTA 基因的 PCR 检测方法 .....	(164)
13.5 小结 .....	(167)
<b>第 14 章 水质浮标监测监视赤潮演变预测 .....</b>	<b>(168)</b>
14.1 浮标多参数质量控制 .....	(168)
14.2 现场监测结果与同步采样分析结果相比对 .....	(170)
14.3 水质浮标多参数与赤潮预警研究 .....	(172)
14.4 自动监测系统的赤潮预警 .....	(177)
参考文献 .....	(181)

## 第 4 篇 赤潮多发区有毒赤潮跟踪监测、预警与防治策略

<b>第 15 章 有毒赤潮应急监测与预警研究 .....</b>	<b>(185)</b>
15.1 目的意义和必要性 .....	(185)
15.2 国内外赤潮应急与预警现状分析 .....	(185)
15.3 港湾赤潮多发区应急与预警内容 .....	(187)
<b>第 16 章 厦门海域赤潮应急跟踪监测与预警 .....</b>	<b>(189)</b>
16.1 厦门海域发生赤潮时间及区域 .....	(189)
16.2 赤潮应急监测 .....	(190)
16.3 监测结果分析 .....	(192)
16.4 小结 .....	(214)
<b>第 17 章 有害赤潮应急措施、监控预警与防治建议 .....</b>	<b>(216)</b>
17.1 赤潮灾害应急措施 .....	(216)
17.2 赤潮监控预警系统建立 .....	(220)
17.3 赤潮防治策略 .....	(222)
17.4 采取综合防治措施 .....	(225)
参考文献 .....	(227)



## 第 1 篇

# 国内外赤潮调查研究动态



# 第 1 章 赤潮发生和分布状况

赤潮 (red tide) 是指在一定的环境条件下, 海洋中的浮游微藻、原生动物或细菌等在短时间内突发性链式增殖和聚集, 导致海洋生态系统严重破坏或引起水色变化的灾害性海洋生态异常现象 (刘沛然等, 1999; 毕远溥等, 2001; 张正斌等, 2003; 柏仕杰等, 2012)。由于一般称藻类大量繁殖的现象为藻华 (algal bloom), 科学界也称赤潮为有害藻华 (harmful algal blooms), 简称为 HAB, 也有人称为有害赤潮 (harmful red tide) (黄韦良等 1998; 刘沛然等 1999; 苏纪兰, 2001; 周名江等, 2001; 张正斌等, 2003)。

## 1.1 全世界赤潮的概况

20 世纪 50 年代以前, 赤潮在全世界的发生频率很低, 记录也很少。50 年代以后, 随着世界范围内工农业的迅速发展, 沿海地区人口急剧增加, 大量工农业废水、生活污水和养殖废水任意排入海, 造成水体富营养化程度日益严重, 导致赤潮原因种变化 (有毒甲藻赤潮比重增大), 赤潮发生频率和规模、危害及造成的经济损失和人类中毒事件也不断增加。50—60 年代, 赤潮大多发生在工业发达国家和地区的沿岸水域, 如日本、美国和欧洲一些国家。到 70 年代, 赤潮不仅在工业发达国家的沿岸水域中频繁发生, 而且在一些发展中国家的沿岸水域也时有发生, 如在中国、东南亚和南美洲等国家和地区的沿岸水域。自 80 年代以来, 赤潮已经遍及世界沿海国家和地区的沿岸水域, 并且危害程度日益加剧。图 1.1 为世界各国赤潮暴发情况。

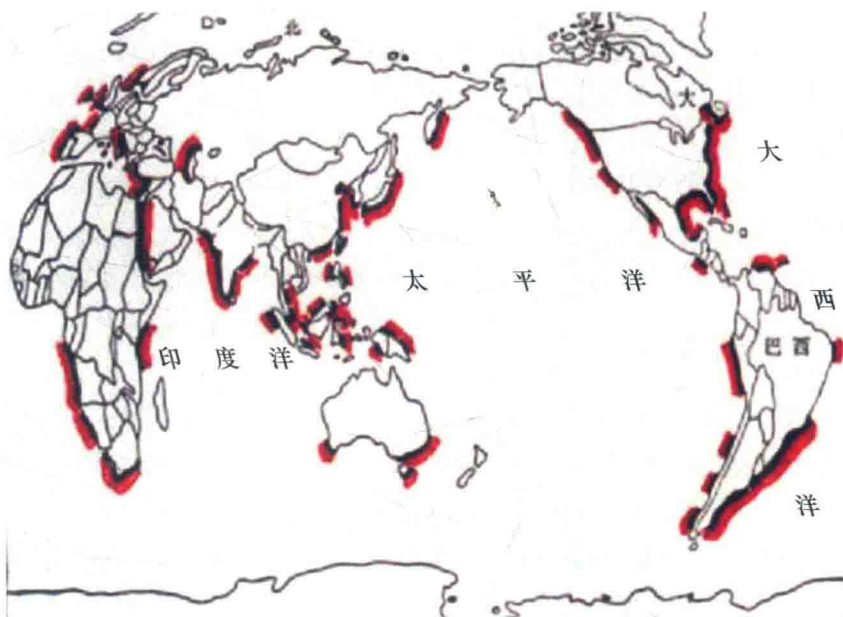


图 1.1 世界范围内赤潮发生的区域分布  
(资料来源: Manual on Harmful Marine Microalgae)

## 1.2 中国赤潮的概况

在我国的远古时候,就有关于赤潮的文字记载。但我国最早有记录的赤潮发生在 1933 年的浙江镇海-台州、石浦一带,关于这一事件未见正式的期刊报道。直到 1952 年,才有了第一次正式报道——关于黄河口夜光藻赤潮的报道。近年来,中国与世界其他沿海国家一样,一直遭受赤潮灾害的困扰,海洋生态系统和环境受到不同程度的破坏,经济损失也不断增加,赤潮已经成为中国沿海地区主要海洋生态灾害之一。与此同时,有毒、有害的赤潮原因种也在不断增加,甲藻等有害种类已成为我国赤潮的主要原因种,这些趋势充分表明了我国赤潮问题的严重性和复杂性(周名江,朱明远,2006)。

### 1.2.1 中国赤潮发生的特点

#### 1) 发生的区域广,规模大

在中国的海域中,发生赤潮比较集中的有几个海区:渤海(主要是渤海湾、黄河口和大连湾等地)、长江口(主要包括浙江舟山外海域和象山港等地)、福建沿海和珠江口海域(大亚湾、大鹏湾及香港部分海区等地)等。根据国家海洋局发布的海洋灾害公报,仅 2004—2006 年的 3 年里,面积超过 1 000 km<sup>2</sup> 的特大赤潮在我国就发生了 22 次,尤其是发生在东海的东海原甲藻和米氏凯伦藻赤潮甚至超过了 10 000 km<sup>2</sup>。

#### 2) 发生频率高,持续时间长

近年来,我国沿海有害赤潮的发生呈现出“大范围,高频率”的特点,并有逐年增加的趋势,对近岸水域生态系统、海洋环境和沿岸水产养殖业的可持续发展构成了极大的威胁(周名江等,2001)。根据我国沿海赤潮不完全统计结果显示,21 世纪以来,我国赤潮发生呈现连年增加的趋势,进入了第 2 个高峰期。截至 2012 年,我国赤潮记录为 1 311 次,20 世纪后 50 年赤潮发生次数为 350 次,其中 90 年代 234 次,而 21 世纪 2001—2006 年的 6 年中就有 546 次,占总记录的 42%,2007—2012 年的 6 年中有 415 次,占总记录的 32%。

赤潮在我国沿海一年四季都有发生。一般来说,南海以 3—5 月最为多见,东海主要发生在 5—7 月,黄渤海则大多出现在 7—9 月。但是近年来越来越多的记录表明:我国各海区赤潮发生的时间有明显提前的趋势,黄渤海在 5 月中下旬就开始出现赤潮,东海赤潮最早出现在 4 月下旬,而南海在 1 月就有赤潮出现。近年来发生在我国的赤潮另外一个明显的特点就是持续时间延长,如 2003 年 4 月中旬至 7 月初发生在长江口及浙江近岸海域的最长一次赤潮过程长达 335 天(国家海洋局,2003)。

### 1.2.2 近年我国赤潮发生情况

近年来,随着我国经济建设的迅速发展,一些工农业生产废水和富含营养物质的生活污水大量排放入海,使海洋尤其是人类活动集中的内湾和沿岸海域的负荷加重。随着大量污染物的排放入海,中国近岸海域环境质量逐渐退化,近海污染范围有所扩大,油污染重点向南部海区转移,营养盐和有机污染呈逐渐上升的趋势,突发性污损事件频率加大,海水不断富营养化为某些赤潮生物的大量繁殖乃至赤潮的暴发提供了可能。有害藻华的发生频率以令人难以置信的速度增高,规模和危害程度有愈演愈烈的趋势,而且是由南向北挺进(梁松等,2000)。进入 21 世纪以来,我国海域每年赤潮发生次数在 28~119 次之间,年平均 80 次;年累计面积为 1.0×10<sup>4</sup>~2.7×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,年均 1.6×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,赤潮发生次数和累计面积均为 20 世纪 90 年代的 3.4 倍。从多年变化趋势看,赤潮发生有

从局部海域向全部近岸海域扩展的趋势。

据不完全统计,我国20世纪70年代发生赤潮11起,80年代上升至75起,1990—2000年发生了280起,2001—2007年发生了628起。据《2008年中国海洋环境状况公报》数据(国家海洋局,2008),2008年我国海域共发生赤潮68次,其中,渤海1次,黄海12次,东海47次,南海8次,累计面积 $1.4\times 10^4\text{ km}^2$ ,与上年相比,赤潮发生次数减少14次,赤潮累计面积增加2 128  $\text{km}^2$ ;有毒、有害赤潮生物引发的赤潮11次,累计面积约610  $\text{km}^2$ ,分别占赤潮发生次数和累计面积的16%和4%,比2007年分别减少15%和12%。东海仍为我国赤潮的高发区,其赤潮发生次数和累计面积分别占全海域的69%和88%。引发赤潮的优势生物种类主要为无毒性的具齿原甲藻(东海原甲藻)、中肋骨条藻、夜光藻和对养殖生物有毒害作用的米氏凯伦藻、血红哈卡藻、卡盾藻等,一些赤潮由两种或两种以上生物共同引发。据《2009年中国海洋环境状况公报》(国家海洋局,2009)数据,2009年我国海域共发生赤潮68次,其中,渤海4次,黄海13次,东海43次,南海8次,累计面积 $1.4\times 10^4\text{ km}^2$ ,与上年相比基本持平,其中,500  $\text{km}^2$ 以上的大面积和较大面积赤潮6次,累计面积9 120  $\text{km}^2$ ,约占全年累计面积的65%。引发赤潮的优势生物种类主要为夜光藻、赤潮异弯藻、中肋骨条藻、米氏凯伦藻和具齿原甲藻等。据《2010年中国海洋环境状况公报》(国家海洋局,2010)数据,2010年我国海域共发现赤潮69次,其中,渤海7次,黄海9次,东海39次,南海14次,累计面积 $1.1\times 10^4\text{ km}^2$ 。引发赤潮的生物共19种,其中东海原甲藻引发的赤潮次数最多,为18次;其次为夜光藻共12次;中肋骨条藻和锥状施克里普藻各6次;红色中缢虫和米氏凯伦藻各4次;赤潮异弯藻、多纹膝沟藻、角毛藻各2次;海洋卡盾藻、红色赤潮藻、尖刺伪菱形藻、利马原甲藻、链状裸甲藻、螺旋环沟藻、裸甲藻、球形棕囊藻、旋链角毛藻、隐藻各1次。与近5年赤潮优势种类组成情况相比,毒害作用较大的甲藻类赤潮比例明显增加。据《2011年中国海洋环境状况公报》(国家海洋局,2011)资料,2011年我国海域共发生赤潮55次,其中,渤海13次,黄海8次,东海23次,南海11次,累积面积6 076  $\text{km}^2$ 。引发赤潮的优势藻类共21种,与上年相比增加2种。其中东海原甲藻引发的赤潮次数最多,为13次;夜光藻次之,为11次;中肋骨条藻7次;红色赤潮藻3次;双胞胎旋沟藻、球形棕囊藻、赤潮异弯藻和螺旋环沟藻各2次;微小型鞭毛藻、红色中缢虫、短凯伦藻、多环旋沟藻、尖刺拟菱形藻、柔弱根管藻、微小原甲藻、丹麦细柱藻、卡盾藻、短角弯角藻、古老卡盾藻、异弯藻和裸甲藻各1次。近5年来,有毒有害的甲藻和鞭毛藻类赤潮发生比例呈增加趋势。据《2012年中国海洋环境状况公报》(国家海洋局,2012)资料,2012年我国海域共发生赤潮73次,其中,渤海8次,黄海11次,东海38次,南海16次,累积面积7 971  $\text{km}^2$ 。引发赤潮的优势藻类共18种,其中米氏凯伦藻作为第一优势种引发的赤潮次数最多,为19次;中肋骨条藻和夜光藻次之,均为9次;东海原甲藻7次;锥状施克里普藻4次;红色赤潮藻3次;抑食金球藻、双胞胎旋沟藻、丹麦细柱藻各2次;脆根管藻、红色中缢虫、亚历山大藻、塔玛亚历山大藻、多纹膝沟藻、具刺膝沟藻、圆海链藻、旋沟藻和暹罗角毛藻各1次。据《2013年中国海洋环境状况公报》(国家海洋局,2013)资料,2013年我国海域共发生赤潮46次,其中,渤海13次,黄海2次,东海25次,南海6次,累积面积4 070  $\text{km}^2$ 。引发赤潮的优势藻类共13种,其中东海原甲藻作为第一优势种引发的赤潮次数最多,为16次;夜光藻次之,为13次;中肋骨条藻6次;米氏凯伦藻2次;赤潮异弯藻、短角弯角藻、丹麦细柱藻、大洋角管藻、红色中缢虫、双胞胎旋沟藻、球形棕囊藻、微小原甲藻和抑食金球藻各1次。2013年我国赤潮发现次数和累计面积为近5年最少,但有毒有害的甲藻和鞭毛藻等引发的赤潮比例略高于近5年平均值。2008年以来,有毒有害的甲藻和鞭毛藻赤潮发生比例呈增加趋势。

## 第2章 国内外赤潮的研究历史

### 2.1 国外研究历史

日本是赤潮多发国家,对赤潮防治研究工作起步较早,始于20世纪60年代。研究领域包括赤潮发生机理、生态特征、监测预报和防治对策等方面,特别注重有害赤潮的研究与监测,其赤潮研究与监测已形成了一个比较完整的体系,成效显著(特别是在濑户内海)。美国的赤潮研究工作始于40年代中期,研究领域遍及赤潮生物海洋学、赤潮生物分类学、赤潮毒物学等方面;80年代后期,美国注意开展赤潮问题的国际合作研究,1989年夏,组织了北大西洋实验计划,参与国家有加拿大、德国、法国、荷兰与英国等;1992年在佛罗里达新建一个国家有毒甲藻类研究中心,内容包括分类学、生理学、毒物学等(刘沛然等,1999);1993年确立了赤潮的国家计划;1995年又投巨资设立了赤潮生态学(ECOHAB)全国规划。加拿大、法国、挪威及瑞典在90年代都设立了全国性协调的国家赤潮研究规划。欧洲各国建立了欧洲赤潮研究规划“EUROHAB”。其他沿海国家也先后开展赤潮研究工作,并取得了初步成果。目前赤潮研究已成为世界沿海国家共同关注的重点课题(Hu et al., 2005; Wang et al., 2005)

1997年6月,在西班牙的维哥(Vigo)举行了第八届国际赤潮大会,内容涉及赤潮藻类分类学、生理学、生态学、赤潮动力学、毒理学等。2002年6月,在澳大利亚的霍巴特(Hobart)举行了第九届国际赤潮大会。

为推动对有害藻华的多学科交叉研究和国际合作,提高对有害藻华的评价、防范和预测能力,联合国教科文组织政府间海洋学委员会(IOC)及国际海洋研究科学委员会(SCOR)于1998年联合发起并推动实施了“全球有害藻华生态学与海洋学”(GEOHAB)国际研究计划,第一次开放科学大会于2005年在美国的巴尔的摩召开;第二次大会于2009年10月在中国北京召开,来自24个国家和地区的130余名科研人员参加了会议,收到论文报告摘要100余篇。该研究计划已结束,新设立的“全球变化与有害赤潮”(Global HAB)国际研究计划于2015年启动。

### 2.2 国内研究历史

我国在1933年就曾有过赤潮记录,尽管以后几十年陆续有过类似报道,但由于赤潮发生频率及危害程度不大,并未引起足够的重视。中国的赤潮研究可以分为三个阶段。①1952—1976年,开始对赤潮有了科学的报道,如费鸿年(1952)对黄河口夜光藻赤潮、周贞英(1962)对福建沿海束毛藻赤潮的报道等。②1977—1989年,随着中国沿海地区经济的发展,近海环境污染日益加剧,赤潮频繁暴发且发生区域及造成的损失不断扩大,甚至造成人类中毒死亡,引起国家有关部门的高度重视。1985年国家海洋局南海分局和暨南大学水生生物研究所等在广州联合组成“南海赤潮研究中心”,1986年国家自然科学基金委员会将“南海赤潮发生变化规律的研究”列为基金资助研究项目,1986年国家海洋局正式把沿岸赤潮监测列为国家海洋环境监测网的监测项目,1988年11月“南海赤潮研究中心”在广州组织召开了国内首届赤潮学术讨论会,会后出版了《赤潮研究专刊》。

③从1990年起,国家自然科学基金委等国家有关部门先后设立赤潮研究课题;1990年启动了“中国东南沿海赤潮发生机理研究”,以赤潮生物学为基础,以赤潮发生自然生态学为主线;1997年启动了“中国沿海典型增殖区有害赤潮发生动力学及防治对策研究”,以赤潮生理生态学为基础,针对当时我国典型增殖区赤潮研究存在的关键科学问题,从各个方面开展了对赤潮的研究。

进入21世纪,我国的赤潮研究日趋活跃。2000年5月,赤潮中国委员会与亚洲太平洋经济合作组织(APEC)及其他相关的国外专家在海南召开了中国赤潮研究的研讨会,2001年4月,与全球有害藻华生态学与海洋学(GEOHAB)的科学指导委员会在上海召开了中国赤潮研究国际联合研讨会。2001年“我国近海赤潮发生的生态学、海洋学机制及预测防治”获准立项,这是2001年度国家批准的“973”18个立项项目之一,也是唯一的一项涉及海洋科学的项目。2001年,国家“十五”攻关项目“海洋环境预测和减灾技术”中,“赤潮灾害预报技术研究”作为一个子课题对赤潮预报的统计模型和数值模型进行了深入研究。2002—2007年,国家科技部作为国家重点科技项目(973计划)资助了赤潮研究项目——“我国近海有害赤潮发生的生态学、海洋学机制及预测防治”。这些项目的成果分别以论文的形式发表,2005—2009年,在核心期刊上我国发表赤潮研究相关论文185篇,平均每年达37篇,其中由国家自然科学基金资助的论文达74篇,国家重点基础研究发展规划项目(973计划)资助的论文达65篇,国家高技术研究发展计划项目(863计划)资助的论文达20篇,研究内容主要涉及赤潮发生与灾害、赤潮生物生理生态、赤潮预测与预报、赤潮防治等。赤潮发生与灾害主要集中在赤潮暴发的理化、水文、气象等外界因子作用研究,海域赤潮形成、消退过程观测,赤潮生物种群动态演替,赤潮毒素对生物体生长的影响,赤潮暴发对水生生态系统破坏等方面;赤潮生理生态主要围绕赤潮藻类的营养吸收、光合呼吸特性,不同环境因素对赤潮藻生长繁殖、生化组分的影响,赤潮藻对胁迫因子的适应性反应,赤潮藻分子生物学研究等方面;赤潮检测与预报、赤潮防治技术方面则主要集中在高光谱数据的赤潮识别、检测方法研究,基于模糊神经网络德尔赤潮预报软件设计开发,激光雷达检测模型构建、赤潮藻智能图像自动识别研究,赤潮藻类生态幅定量表达模型研究,赤潮毒素分子生物学检测技术完善,物理、化学和生物治理赤潮方法推广等方面(蔡卓平,段舜山,2010)。2010—2014年,国家科技部作为国家重点科技项目(973计划)又资助了赤潮研究项目——“我国近海藻华灾害演变机制与生态安全”。这些项目的成果,表明我国赤潮研究工作比较全面、系统,涵盖的层次、领域比较广,从赤潮生物个体到种群群体,从微观的细胞分子学、生理生化学到宏观的群落生态学,从实验室研究到野外围隔乃至大面积海域研究,从预测预报模型的构建到各种赤潮防治方法、手段的应用等方面都有所涉及,比较全面地反映了基础研究和应用研究方面的进展,大大缩小了我国赤潮研究与国际研究水平的差距,也为进一步开展我国的赤潮研究奠定了坚实的科学基础。



## 第3章 国内外赤潮研究现状

在各国的赤潮研究中，以美国、加拿大、日本、西班牙等国家较为领先。美国在赤潮藻的分子水平上的研究有较突出的成果。加拿大在赤潮藻的毒素方面、日本在赤潮藻的分类方面、西班牙在赤潮发生机制方面的工作比较有成效（张晓辉等，2006）。我国的赤潮研究多局限于生物学及生物海洋学方面，有关海洋环境对赤潮发生的影响只有少量研究，在预测预报方面目前也只做了少量工作。新技术的应用和多学科交叉使赤潮研究向微观化、分子化纵深方面发展。

目前国内外赤潮研究主要集中在赤潮的成因、赤潮的生态学作用、赤潮生物、赤潮的预防预测机制、赤潮的治理等方面。

### 3.1 赤潮的成因

赤潮是一种原本就存在的自然现象，但人为污染造成赤潮灾害加剧。多数研究证明，以下几种因素对赤潮的发生有较大影响或者说有制约作用（刘沛然等，1999；吴玉霖等，2001；周名江等，2001）。

#### 3.1.1 海域中存在赤潮生物种源

海域中存在赤潮生物种源是赤潮发生的重要前提。一般来说，藻类孢囊在冬季进入休眠，翌年春季遇到合适的条件（温度、盐度）萌发，富营养化水体中由于含有大量有机质与营养盐因而使赤潮生物得以大量繁殖，引发赤潮（Lagus et al., 2004）。作为赤潮生物种源的孢囊，可以是内源性的，也可以是外源性的，即随海流等带入发生赤潮的海域（Lu et al., 2005）。

#### 3.1.2 污染引起海域水体富营养化

水体的富营养化是赤潮发生的物质基础。随着沿海地区工农业发展和城市化进程加快，大量富含有机质与各种营养盐的工农业废水和生活污水未经处理直接排放入海，造成近岸海域尤其是水体交换能力差的河口海湾地区的水体富营养化。近年来，我国有不少赤潮发生在养殖水域，水体自身污染是主要原因。

#### 3.1.3 适宜的环境条件

研究表明，赤潮发生与水体大气环境如水文、气象及生物环境等有密切关系。如水温、盐度等决定着发生赤潮的生物类型。赤潮生物的生长发育与水温和盐度密切相关，赤潮生物孢囊的萌发及大量繁殖要有适宜的水温与盐度。有研究指出厄尔尼诺、拉尼娜现象与赤潮发生也有一定的关系。

#### 3.1.4 合适的海流作用

有些专家和学者从地学角度得出了地幔流体上涌引起地球磁场异常进而导致赤潮灾害的推论，认为地磁与中国沿海发生的赤潮灾害存在着极为密切的关系。20世纪90年代，我国学者杜乐天