

赤潮灾害 预报机理与技术

*Chichao Zaihai Yubao
Jili Yu Jishu*

黄伟艮 丁德文 主编



海洋出版社

X55-53

1

2004

赤潮灾害预报机理与技术

黄韦艮 丁德文 主编

海洋出版社

2004年·北京

内 容 简 介

该文集收录了“十五”国家科技攻关计划重点项目“赤潮灾害预报技术研究”课题研究论文 21 篇,是反映近期赤潮灾害预报机理与技术研究成果的一本重要文献。内容涉及赤潮灾害的预报机理、预报模型、预报技术和预报方法等。

该文集适合科研单位、海洋环境监测部门、海洋环境预报部门、海域使用部门的科学技术研究人员和有关管理人员,以及有关大专院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

赤潮灾害预报机理与技术 / 黄韦良, 丁德文主编. —北京: 海洋出版社, 2004. 12
ISBN 7-5027-6283-3

I. 赤… II. ①黄… ②丁… III. 红潮-预报-文集 IV. P731.3-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 139616 号

责任编辑: 陈茂廷 高 英

责任印制: 刘志恒

海洋出版社 出版发行

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

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京季蜂印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2004 年 12 月第 1 版 2004 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 9 彩插 4

字数: 24.32 千字 印数: 1~1000 册

定价: 28.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

赤潮是海水中某些浮游生物在一定的环境条件下突发性地增殖或集聚引起的生态异常现象。它严重地破坏海洋渔业资源,恶化海洋环境,损害海滨旅游业,给海洋经济造成巨大损失。含有毒素的赤潮生物还能通过食物链的转移和积累使海洋经济动物和人类中毒甚至死亡。我国沿岸海域是赤潮多发区,赤潮已成为我国的一大海洋灾害。近年来,随着我国沿海工农业的发展和人口的增加,工农业废水和生活污水向沿岸海域的排放量剧增,近岸海洋环境发生急剧变化,富营养化程度日趋严重,导致赤潮频发,灾害损失越来越严重。赤潮灾害的监测和预报已引起人们的高度关注和重视。

为了预测赤潮灾害、减小赤潮灾害对我国沿海经济、环境和人民生命财产造成的损失,国家科技攻关计划的决策者们和“十五”国家科技攻关计划重点项目“海洋灾害预报及减灾技术”的专家们适时果断地设立了“赤潮灾害预报技术研究”(2001BA603B-06)课题。该课题通过海上现场观测、卫星遥感监测和围隔实验,获取赤潮及其环境信息。根据赤潮生消过程的生物、化学、水文和气象要素之间的关系,开发赤潮卫星遥感跟踪预报、统计预报、数值预报和有毒赤潮诊断技术。以渤海和东海赤潮多发区为试验海区,开展赤潮试预报。

在国家科学技术部农村与社会发展司和国家海洋局科学技术司的指导下,在“海洋灾害预报及减灾技术”项目办公室和项目组的组织下,来自国家海洋局第二海洋研究所、国家海洋局第一海洋研究所、国家海洋环境监测中心、国家海洋环境预报中心、浙江省海洋与渔业局、国家海洋局北海分局和辽宁省海洋水产研究所等7个单位60余名科研人员,经过3年时间(2001~2003年)的努力工作,完成了“赤潮灾害预报技术研究”课题的一期研究任务,取得了可喜的技术和试预报成果。《赤潮灾害预报机理与技术》文集是该课题的成果之一。本文集涉及赤潮灾害预报机理、预报模型、预报技术和预报方法等。文集未收录该课题在一期研究期间已发表的论文。

在课题的立项阶段和研究过程中,得到了国家科学技术部农村与社会发展

司、国家海洋局科学技术司、“海洋灾害预报及减灾技术”项目办公室和各课题承担单位的大力支持，谨此表示衷心的感谢。由于时间、条件和水平所限，文集中错误和不当之处在所难免，恳请领导和专家批评指正。

编 者

2004年8月

目 次

赤潮发生机制探讨 I	许卫忆,卜献卫,朱德弟,陈耕心(1)
赤潮发生机制探讨 II	许卫忆,朱德弟,朱根海,卜献卫,陈耕心(6)
2002~2003 年长江口及舟山群岛附近海域的锋面分布特征和变化	
.....	朱德弟,许卫忆,卜献卫,苏纪兰(13)
辽东湾北部海区夏季表层叶绿素 a 的分布与夜光藻赤潮的关系	
.....	周遵春,马志强,薛克,王年斌(23)
辽东湾北部海区浮游植物种群动态的初步研究	周遵春,马志强,薛克,王年斌(33)
大连湾丹麦细柱藻 <i>Leptocylindrus danicus</i> 赤潮的主成分分析	
.....	王年斌,周遵春,马志强,韩家波,薛克,宛立,邓欢(41)
2002 年浙江近海赤潮发生特点分析	陆斗定,王春生,朱根海(46)
赤潮的暴发与水文气象环境因子多元分析	
.....	曹丛华,李培顺,郭明克,黄娟,江崇波,黄蕊(54)
诱发赤潮的水文气象条件	翟自强,王咏亮,缪国芳(62)
赤潮生消过程中水体透明度的遥感定量研究	赵冬至,张丰收,赵玲,傅云娜(67)
基于主成分分析方法的 HY-1 CCD 数据赤潮水体信息提取	
.....	马超飞,王其茂,唐军武(74)
HY-1 卫星 CCD 数据在赤潮监测中的应用研究	王其茂,马超飞,金振刚,孙从容(80)
基于 AVHRR 的赤潮水色水温遥感方法	黄韦良,陈立娣,楼秀林,肖清梅,毛显谋(85)
赤潮卫星遥感跟踪预报方法研究	黄韦良,陈立娣,毛显谋,肖清梅,楼秀林(91)
赤潮的实时监测及统计预报研究进展	王年斌(97)
赤潮生物的传染模型	曾江宁,黄韦良,郑平,陈全震,高爱根(103)
赤潮海水温度预报方法研究	赵冬至,赵玲,张丰收(108)
中国北方海域赤潮的水文、气象环境分析和判别预报	
.....	李培顺,曹丛华,于建生,刘清容,张薇,陈胜舰(116)

浙江近海赤潮气象统计预报试验.....	邓素清,汤燕冰,邓霞君(125)
有害赤潮预测的综合集成思想浅析	杨建强,罗先香,丁德文,秦 洁(132)
基于神经网络的赤潮综合集成预测模式及其应用初步研究	
.....	杨建强,丁德文,高振会,秦 洁(139)

CONTECTS

Discussion about the mechanism of HAB occurrence I	
..... XU Wei-yi, BU Xian-wei, ZHU De-di, CHEN Geng-xin	(5)
Discussion about the mechanism of HAB occurrence II	
..... XU Wei-yi, ZHU De-di, ZHU Gen-hai, BU Xian-wei, CHEN Geng-xin	(12)
Distribution characteristics and variation of fronts in the Changjiang Estuary and adjacent area of Zhoushan Islands during 2002~2003	
..... ZHU De-di, XU Wei-yi, BU Xian-wei, SU Ji-lan	(22)
The relationship between the surface distribution of chlorophyll a in summer and <i>Noctiluca scintillans</i> red tide in the north waters of Liaodong Gulf	
..... ZHOU Zun-chun, MA Zhi-qiang, XUE Ke, WANG Nian-bin	(32)
Primary study on the population dynamics of phytoplankton in the north waters of Liaodong Gulf	
..... ZHOU Zun-chun, MA Zhi-qiang, XUE Ke, WANG Nian-bin	(40)
The principal components analysis for <i>Leptocylindrus danicus</i> blooming in Dalian Bay	
..... WANG Nian-bin, ZHOU Zun-chun, MA Zhi-qiang, HAN Jia-bo, XUE Ke, WAN Li, DENG Huan	(45)
Red tide events in Zhejiang coastal waters in 2002	
..... LU Dou-ding, WANG Chun-sheng, ZHU Gen-hai	(53)
Multivariate analysis of the breaking out of the red tide and the hydrologic and meteorologic environmental factors	
..... CAO Cong-hua, LI Pei-shun, GUO Ming-ke, HUANG Juan, JIANG Chong-bo, HUANG Rui	(61)
Hydrographical and meteorological conditions inducing harmful algal blooms	
..... ZHAI Zi-qiang, WANG Yong-liang, MIAO Guo-fang	(66)
Remote sensing of SDD during algal bloom	
..... ZHAO Dong-zhi, ZHANG Feng-shou, ZHAO Ling, FU Yun-na	(73)
Extracting the information of red tide using HY-1 CCD data	
..... MA Chao-fei, WANG Qi-mao, TANG Jun-wu	(79)
Study on applying HY-1 CCD data to monitoring red tides	
..... WANG Qi-mao, MA Chao-fei, JIN Zhen-gang, SUN Cong-rong	(84)
An algorithm for the detection of red tides using AVHRR data	
..... HUANG Wei-gen, CHEN Li-di, LOU Xiu-lin, XIAO Qing-mei, MAO Xian-mou	(90)
A method to predict red tides with satellite remote sensing technique	
..... HUANG Wei-gen, CHEN Li-di, MAO Xian-mou, XIAO Qing-mei, LOU Xiu-lin	(96)
Reviews of progress of the real time monitoring and studies on statistical prediction for red tide	
..... WANG Nian-bin	(102)

An epidemic model of harmful algae blooms	
<i>ZENG Jiang-ning, HUANG Wei-gen, ZHENG Ping, CHEN Quan-zhen, GAO Ai-gen</i>	(107)
Forecast of red tide based on sea temperature information	
..... <i>ZHAO Dong-zhi, ZHAO Ling, ZHANG Feng-shou</i>	(114)
Hydrology and meteorology environment analysis and judgment forecast of red tide in northern China sea area	<i>LI Pei-shun,</i>
<i>CAO Cong-hua, YU Jian-sheng, LIU Qing-rong, ZHANG Wei, CHEN Sheng-jian</i>	(124)
Experiment of forecasting red tide in Zhejiang sea area with meteorological elements	<i>DENG Su-qing, TANG Yan-bing, DENG Xia-jun</i> (131)
Primary research on meta-synthesis of meta-synthetic model for the prediction of harm- ful algal blooms	
..... <i>YANG Jian-qiang, LUO Xian-xiang, DING De-wen, QIN Jie</i>	(138)
The pattern of meta-synthetic model for the prediction of red tide based on artificial neural network theory and its application	
..... <i>YANG Jian-qiang, DING De-wen, GAO Zhen-hui, QIN Jie</i>	(144)

赤潮发生机制探讨 I

许卫忆¹, 卜献卫¹, 朱德弟¹, 陈耕心¹

(1. 国家海洋局 海洋动力过程和卫星海洋学重点实验室, 浙江 杭州 310012)

摘要: 赤潮研究已经进行了 30 多年, 研究手段和方法都有很大改进, 也取得许多成果, 但在世界范围内在赤潮发生机制方面没有取得重要突破。该文从数值模拟的结果证明赤潮的发生应该满足物质守恒原理。由此出发, 再根据目前所有实验室的实验结果, 认为赤潮的发生不是由于赤潮藻的异常增殖而成, 而是由于物理的集聚作用而形成的。由此可知赤潮的发生与海区的富营养化之间不存在直接的关系, 赤潮的发生过程不是生物化学和物理的耦合过程, 这种耦合过程仅发生在赤潮发生以后的发展和维持阶段。这种思路与经典的赤潮理论不同。

关键词: 赤潮发生; 异常增殖; 物理辐聚; 富营养化

1 赤潮研究现状

赤潮是近年来愈演愈烈的海洋生态灾害, 已为公众所关注, 应该说赤潮研究的必要性已是不容置疑的。目前的问题在于经过 30 多年的研究, 国内外都没有取得突破性的成果, 至今对赤潮的发生机制尚不清楚, 更缺乏行之有效的预报方法。赤潮因种类、地域特征、海况、气象气候及人为影响的不同而呈现的多样性和复杂性使赤潮研究变得非常困难。如 IOC/SCOR 于 1998 年制定 2000 年批准的赤潮国际计划 GEOHAB 就将赤潮的研究期限初步确定为 10 a。人们在呼唤新的思路、新的技术、新的手段等等, 认为没有新思路赤潮研究将走进死胡同。

赤潮研究的特点在于其复杂性, 它不是单纯的生物问题, 而是一个多学科的问题。在赤潮研究的开初阶段, 它是作为一个纯生物问题, 只进行生物习性、生活史等研究, 后来意识到它是一个生态问题, 研究赤潮藻是在什么环境条件下发生异常增殖。所谓异常增殖是指增殖速度远远大于正常值, 表现在海洋中(特别是开阔海域)就是赤潮的突发性, 即赤潮藻密度在 1 d 内从较低值甚至 0 达到某阈值(例如 10^6 个/ dm^3)。根据可控实验获得的赤潮发生的条件来监测检验实际海域赤潮发生情况又往往不适合。认为应该发生赤潮的情况实际并不发生, 而认为不会发生赤潮的却又发生了, 如通常认为赤潮是海洋的富营养化引起的, 但

基金项目: “十五”国家科技攻关计划重点项目(2001BA603B06-02-01); 国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409705)。

作者简介: 许卫忆(1945—), 男, 上海市人, 研究员, 从事赤潮发生的物理机制与数值模拟研究。E-mail: wyxu2001@21cn.com

却发现贫营养化海域也发生赤潮。使人困惑的难点在于实际海洋中赤潮藻的增殖速度在实验室里无法实现。

在1998年联合国政府间海洋委员会(IOC, Intergovernmental Oceanographic Commission)和海洋科学研究委员会(SCOR, Scientific Committee on Oceanic Research)上提出了赤潮是发生在海洋中的生态问题,它受到海洋环境的影响,因此必须进行生物生态学、化学和海洋学的综合研究,并提出了一个国际联合研究计划(GEOHAB, Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms)^[1]。该计划中提出了物理海洋学是赤潮发生的不可忽视的重要因素。这是赤潮研究的重要发展,具有里程碑的意义,但是至今的赤潮研究的出发点还是基于这样的认识:赤潮是赤潮藻的异常增殖造成的,需要研究促使异常增殖的环境条件,特别是生化环境;赤潮的消长过程是生物化学和物理的耦合过程;赤潮的发生与富营养化密切相关。

目前这三条认识在国内外是为公众所接受,也是指导各国(包括我国 GEOHAB, China Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms)进行赤潮研究的方向,但在实际进行的研究中存在一个问题:研究生物、化学和物理的关键过程必须掌握赤潮的全部消长过程?而在开阔海洋中很难跟踪到真正的全过程。根据目前获得的赤潮现场跟踪资料往往无法找到赤潮发生的根本启动因子是营养盐还是海流?是气象气候致使还是其他条件或是所有条件的综合还是赤潮藻内禀特征与外在某种条件的相结合发展过程?本文对此提出了新的思路:赤潮的发生过程主要不是赤潮藻的增殖而是赤潮藻在物理条件下的集聚致使密度增值造成的。生物化学和物理的耦合过程不是发生在赤潮的生成阶段而只存在于赤潮发生以后的发展和维持阶段。赤潮的发生与富营养化没有直接关系。因此与经典认识不同。

2 新思路的形成

本文主要通过研究赤潮消长过程的数值模拟来证实赤潮藻的分布应遵守物质守恒原理,即一定的时间和空间内,赤潮藻的自然增长率大于所在水体的扩散率,则该海区才可能发生赤潮^[2]。此关系可具体表达为:

$$(\text{赤潮藻的自然增长率} - \text{水体扩散率}) \times \text{时间} > \text{赤潮发生阈值}.$$

此关系式可被公众所认可,问题在于以往对赤潮的研究都集中于对前者的研究,关注在什么条件下前者达到异常值,使此不等式成立,而没有研究当第一项条件并未使此不等式成立时,第二项条件的负效应(水体的集聚率)是否也可以实现此不等式。其实在以前也有赤潮研究者认识到赤潮的发生与赤潮藻的集聚有关,认为赤潮是赤潮藻的增殖和集聚而使海水变色的现象^[3]。他们只是看到集聚有作用,但不了解这种作用可以是赤潮发生的主要控制因素,即对物理的集聚作用在赤潮发生的机制的重要性方面认识不足。

实际上在海洋中特别在开阔海区所发生的赤潮并非异常增殖,而是异常增值。因为赤潮藻的增殖即细胞分裂速率不可能使赤潮藻在较短时间内达到赤潮发生阈值。例如东海这几年发生大面积赤潮的主要种类是甲藻和原甲藻,这些藻种细胞分裂的最大速度是每天一次左右(即使硅藻细胞分裂的最大速度也只有每天3~5次^[4,5]),按这样的分裂速度计算,赤潮藻密度从 10^2 个/ dm^3 上升到 10^6 个/ dm^3 ,至少要3~4 d(硅藻),13 d甚至22 d(甲藻、原甲藻 10^0 个/ dm^3 上升至 10^6 个/ dm^3),而且在此时间内海上要保持良好的天气条件和海

况,且没有浮游动物高的摄食压力。这些条件在开阔海区是很难实现的。但在开阔海区实际发生的大面积赤潮却往往都是在很短时间出现的。由此我们认为,这样的赤潮发生过程主要是水流的集聚能力造成赤潮藻的集聚达到一定程度而发生赤潮,物理的集聚效应是大面积赤潮发生的主要机制。赤潮的发生过程与富营养化没有直接关系(尽管富营养化是赤潮藻生长的物质基础),因此在贫营养化海区也发生赤潮是完全可能的。

这里的集聚主要不是指现存于上层水体中赤潮藻的水平集聚,而是指原存在于海底的赤潮藻的休眠体萌发后被水流例如上升流带至上层集聚,还包括原来较均匀分布的赤潮藻营养细胞的垂直迁移而集聚。集聚需要有物质的来源,而相当一部分的物质来源是赤潮藻孢囊/休眠体(休眠体:由于一些赤潮藻的生活史不明确,它们以什么形态过冬不明确,既可能是孢囊也可能是其他形态,为便于表述,这里就称为休眠体与孢囊同一意义,尽管它们代表了不同生物特性)。据 Hyun-Jin Cho 等的报告,在黄海、东海的广阔海域海底确实存在大范围的赤潮藻(甲藻)孢囊^[6],这些孢囊萌发后在海流作用下上浮聚集在海面形成赤潮。如果仅仅是上浮但集聚不到一定程度也不一定形成赤潮,因此类似“通道”性质的运输途径也是促使赤潮发生的有利条件,即该“通道”既有利于赤潮藻集中上浮,也有利于赤潮藻的后续补充。“通道”的位置取决于地形。

上述认识表明在赤潮的发生过程中物理作用不仅是重要因素,而且是大面积赤潮发生的主要控制因素。该新思路不易为人们所接受的是:赤潮是海洋生态问题,但其发生机制却主要不是生物、化学问题,而是物理的问题。如果说 GEOHAB 计划将物理海洋学引入赤潮研究,而本文是将物理作用在赤潮发生过程中的作用提升到主要位置。

3 思路的说明

我们以长江口外及舟山群岛的情况来说明这条新思路。长江口外有两个赤潮多发区:花鸟山海域和中街山海域(也可说四个,但这里我们只讨论两个)。它们有独特的地形特点:地形变化剧烈(从海图上看等深线较密),坡度约为 6×10^{-3} ,有一舌状深槽由南伸向北。其东面有台湾暖流通过,西面、北面受长江冲淡水和黄海沿岸流影响。这些流动随季节变化而呈现不同的强弱程度和影响范围。从该海区多年平均的温度盐度分布图^[7]可以看到每年 4 月、10 月都有一条羽状锋面位于这两个海区(约 $122^{\circ}40'E$)^[8],而羽状锋的表层是辐聚带,锋面附近是物质集中处,也是高生产力区^[9]。下层的地形坡度又适合上升流的形成^[9,10]。在该海区每年 4、5 月台湾暖流开始发展,在该时间水温适合大量赤潮藻的孢囊(或休眠体)的萌发,它们萌发后的营养细胞离开海底沿坡上升顶托了表层的辐聚,形成了该区域上层赤潮藻密度的高值区,而至 10 月水温下降时赤潮藻形成孢囊或进入休眠状态下沉至深层,该季节黄海沿岸流相对加强控制本海区,它与台湾暖流流向相反,是从北向南,由浅水区向深水区沿坡下沉(与 4 月、5 月的情况正相反),孢囊或休眠体可随此流动被输运至深约 50~70 m 的海底,该海区的海底是泥质粉砂或粉砂质泥^[10],有利于它们着床,形成来年赤潮发生的源地。由此可以看到台湾暖流和黄海沿岸流的强弱决定了赤潮的发生,也决定了孢囊休眠体的分布,从而决定了来年赤潮发生的区域和强度。显然,如果黄海沿岸流强劲将使孢囊向更南输运或扩散为多区域分布,则来年的赤潮就将在更南海区及多个小范围发生。反之则在较北海域发生大面积赤潮。台湾暖流弱,则来年不会发生大面积赤潮。

4 疑难问题的解释

根据以上认识,我们可以解释有关赤潮发生的一些疑难问题。

(1)具备赤潮发生的条件,而实际上不发生赤潮。这种条件通常都是生物学条件,没有考虑水动力场,而实际上可能正是因为该实际海域的水流扩散能力大于赤潮藻的自然增长率,导致赤潮无法发生。

(2)虽不具备赤潮发生条件却发生了赤潮。这是由于水流的集聚能力较强使该海域的赤潮藻细胞密度得以在短时间内迅速提高,从而发生赤潮。

(3)赤潮藻新种类的增多。海洋中赤潮藻该种类本已存在,只是由于其总量少,不足以为人们所发现,但随着近岸水域富营养化程度增加,不同藻种发生赤潮的机会增多,让人们有机会发现它们,当然这也与检测手段的提高有关。另外,航运过程中的压舱水可以引入赤潮藻新种类。

(4)赤潮的生消全过程:在赤潮研究中需要掌握赤潮发生的全过程,以往理解的全过程实际上是生物和化学(营养盐)变化的全过程,将营养盐作为赤潮发生的必要条件,这是不恰当的,也无法解释为什么在贫营养化海区发生的赤潮。所谓赤潮发生的全过程还应包括物理的运输集聚过程和最后赤潮藻形成孢囊(生物的生态过程)及栖息于海底的动力过程。

(5)物理的集聚作用自古就存在,为什么近年才发生赤潮?赤潮藻集聚形成赤潮需要一定程度的总量,如果总量低于某一程度,水体的集聚作用尽管能使赤潮藻密度增加,但未达到赤潮发生的阈值仍然不发生赤潮。只有达到一定的总量后才能在水体的集聚作用下发生赤潮。海洋中赤潮藻总量的提高是由海洋的富营养化引起的。由此说明赤潮的发生与富营养化存在间接关系而非直接关系。

(6)长江口外大面积赤潮频发的可能性:该海区发生大面积的赤潮由几个因素决定,缺乏某一因素就不发生大面积赤潮,例如上升流的终点与锋面位置不相符就不会发生大面积赤潮。因为上层水体的扩散使赤潮藻密度减弱,而锋面位置与长江冲淡水的强弱相关。此外,海底赤潮藻孢囊或休眠体的分布也是决定赤潮是否发生的因素。由此也可以预计,该海域今后发生大面积赤潮不是仅仅在春末的4,5月,在10,11月即羽状锋再次位于 $122^{\circ}40'E$ 左右时也可能发生大面积赤潮,但持续时间短于初春期赤潮。原因是富营养化使海洋中的赤潮藻总量提高,羽状锋的集聚作用使用该海区赤潮藻密度再次超过阈值而发生赤潮。

(7)为什么长江口外同一藻种的大面积赤潮1 a内只是发生一次:尽管该海域的环境条件例如温度、营养盐条件并非仅仅在4,5月适合赤潮藻生长,但其他月份例如10,11月很少或没有发生大面积的甲藻、原甲藻赤潮。因为初春是已聚集的赤潮藻休眠细胞萌发后运输的聚集(注:赤潮藻休眠体的聚集是赤潮今后需要研究的内容),而10月将散布的赤潮藻细胞的集聚运输需要的条件更多,即需要该海域水体中赤潮藻细胞的总量达到一定程度它们才能通过“通道”向海底输运后,使上层水体赤潮藻能更进一步集聚才能发生赤潮。

以上思路是基于长江口外的动力地形特性、赤潮发生需满足的物质守恒原理以及赤潮藻的基本特性的推论。本文是该新思路的总的表述,可供赤潮研究专家及关心赤潮的人士参考。

参考文献:

- [1] SCOR and IOC of UNESCO. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms-Science Plan [M]. Geohab Sci-

- entific Steering Committee, 2001. 86.
- [2] 许卫忆,朱德弟,卜献卫,等. 赤潮发生和蔓延的动力机制数值模拟[J]. 海洋学报, 2002, 24(5):91—97.
- [3] 徐家声. 水动力与赤潮生物的聚集和扩散[J]. 海洋环境科学, 1994, 13(3): 19—22.
- [4] 邹景忠,周名江,俞志明,等. 养殖水体富营养化和有害赤潮[A]. 李永祺,邹景忠. 海水养殖生态环境的保护与改善(第四章)[M]. 北京:科学出版社, 1999. 74—131.
- [5] 黄晓航,史冬梅,张京浦,等. 赤潮发生机理研究——海洋原甲藻的氮营养生理特征[J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(1): 33—37.
- [6] CHO Hyun-Jin, MATSUOKA Kazumi. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from the Yellow Sea and East China Sea[J]. Marine Micropaleontology, 2001, 42: 103—123.
- [7] 陈达熙. 渤海, 黄海, 东海海洋图集[Z]. 北京:海洋出版社, 1993. 524.
- [8] 朱德弟,潘玉球,许卫忆. 东海赤潮频发区水文分布特征分析[J]. 应用生态学报, 2002, 14(7): 1 131—1 134.
- [9] 乐肯堂,于振娟,张法高. 长江口外海流结构及其季节变化[J]. 海洋科学集刊, 1992, 33: 51—67.
- [10] 顾新根,袁 骐,杨蕉文,等. 长江口羽状锋海区浮游植物的生态研究[J]. 华东师范大学学报, 1995, 9: 147—158.
- [11] 赵保仁. 长江口外的上升流现象[J]. 海洋学报, 1993, 15(2): 108—114.
- [12] 赵保仁,任广发,曹德明,等. 长江口上升流海区的生态环境特征[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(3): 327—333.
- [13] 金翔龙. 东海海洋地质[M]. 北京:海洋出版社, 1992. 524.

Discussion about the mechanism of HAB occurrence I

XU Wei-yi¹, BU Xian-wei¹, ZHU De-di¹, CHEN Geng-xin¹

(1. Key Laboratory of Ocean Dynamic Processes and Satellite Oceanography of State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China)

Abstract: HAB(red tide) has been researched for more than 30 years. There is much promotion in the method and technique of research and many achievements have been obtained. There is little important breakthrough in the mechanism of HAB occurrence in the world. It demonstrates that the occurrence of HAB should obey the conservation of mass by numerical simulation. From this result and other results from the experience, it is proposed that the occurrence of HAB is not due to the unusual proliferation of the algae but the physical convergence of algae. So there is no direct relation between the occurrence of HAB and the eutrophication in the sea. Occurrence of HAB is not the couple process among the biology chemistry and physics and this couple process exists only in the developing and maintaining phases not in the occurrence phase. This proposal is different from classical theory about HAB.

Key words: occurrence of HAB; unusual proliferation; physical convergence; eutrophication

赤潮发生机制探讨Ⅱ

象山港实例验证

许卫忆¹,朱德弟¹,朱根海¹,卜献卫¹,陈耕心¹

(1. 国家海洋局 海洋动力过程和卫星海洋学重点实验室,浙江 杭州 310012)

摘要:根据象山港的赤潮监测结果,证明赤潮的发生不是由于赤潮藻的异常增殖而成,而是由于原栖息于海底的赤潮藻休眠体在适当温度下萌发上升至上层水体集聚而形成的。赤潮的发生与海区的富营养化之间不存在直接的关系。赤潮的发生过程不是生物化学和物理的耦合过程,该耦合过程只是发生在赤潮整个生消过程中的发展和维持阶段。

关键词:象山港;赤潮;赤潮机制;耦合过程

1 赤潮发生过程概念解释

文献[1]提出的新思路:“赤潮的发生过程主要不是赤潮藻的增殖而是赤潮藻在物理条件下的集聚,致使密度异常增值造成的。”即赤潮的发生过程主要是物理过程而非生物过程。而近年来国内外对赤潮研究取得共识即赤潮的发生是生物化学和物理的耦合过程。该思路认为该耦合过程不是发生在赤潮的生成阶段,而只是存在于赤潮发生以后的发展和维持阶段。赤潮的发生与富营养化没有直接关系。根据此概念,“集聚”可以有几种情况,例如风力、潮汐作用都可以集聚赤潮藻引起赤潮,实际上确实有文献揭示了此现象^[2,3],但这些作用不是赤潮发生的充分条件,因为同样的条件可以在同一海区多次频繁存在,而赤潮并非如此频繁发生。例如中肋骨条藻,其细胞分裂速度是最高的,可达到 $5.9 \text{ 次/d}^{[4]}$,而且在浙江近海舟山群岛海域经常处于 10^4 个/dm^3 的密度,该海域营养盐丰富,光照在夏秋季也充分,按理由此密度增殖至赤潮阈值即发生赤潮应该是容易的,但实际上该海域发生该藻种赤潮也往往仅是春末夏初季节,对同一地点而言,每年仅出现一次,并没有多次频繁发生。因此,风力和潮汐作为赤潮发生的机制只具有局部地域性的意义。

本文所讨论的集聚不是指水平的现存赤潮藻的集聚,而是指原存在于海底的赤潮藻的休眠体在春末水温上升后萌发被水流例如上升流或通过其自身垂直迁移能力带至上层,而当上层水体存在集聚能力时就引起赤潮(包括湖泊内原来较均匀分布的赤潮藻营养细胞的

基金项目:“十五”国家科技攻关重点项目(2001BA603B06-02-01);国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409705)。

作者简介:许卫忆(1945—),男,上海市人,研究员,从事赤潮发生的物理机制与数值模拟研究。E-mail:wyxu2001@21cn.com

垂直迁移而集聚)。(休眠体:由于对一些赤潮藻的生活史不明确,它们是以孢囊或是以其他形态过冬还不明确,为便于表述,这里就统称为休眠体,与孢囊同一意义,尽管它们代表了不同生物特性)。据 Hyun-Jin Cho 等的报告,在黄海、东海的广阔海域海底确实存在大范围的赤潮藻(甲藻)孢囊^[5],在每克泥样中孢囊有 10^3 个量级。这些孢囊萌发后在海流作用下上浮聚集在海面形成赤潮。如果仅仅是上浮,集聚不到一定程度也不一定形成赤潮。

对以上的认识需要得到现场监测结果的证实,要在东海长江口外实现必要的长时间连续监测存在一定困难,我们选择浙江中部的象山港作为实验场,已进行了 3 a 的监测。下面是近几年发生的赤潮过程的情况。试图通过这些情况证明赤潮发生的机制。

2 赤潮发生过程的监测

浙江省中北部的象山港, ($29^{\circ}24' \sim 29^{\circ}48' \text{ N}$, $121^{\circ}26' \sim 122^{\circ}00' \text{ E}$),(图 1)是重要的水产养殖基地。至 2002 年底港内网箱数已超过 6 万只。由于水产养殖投放饵料的不科学,利用率往往仅有 30%,其余饵料或流失或沉于海底,致使该港内水质严重恶化,达到四类以下,往年时常发生原发性赤潮(即非湾外传入的赤潮),其中最主要的赤潮发生地有 3 处。我们选择了后两个为监测区,它们基本代表了一定范围内的情况。因为是在湾内进行监测,可以保证多年的监测点是重合的,资料有可比性。

监测范围: $29^{\circ}27' \sim 29^{\circ}31' \text{ N}$, $121^{\circ}29' \sim 121^{\circ}36' \text{ E}$ 和浙江省宁海县强蛟镇码头 ($29^{\circ}27.80' \text{ N}$, $121^{\circ}31.82' \text{ E}$)(图 1)。

监测时间:2002 年 5 月 2 日至 6 月 3 日;2003 年 5 月 9 日至 6 月 11 日。

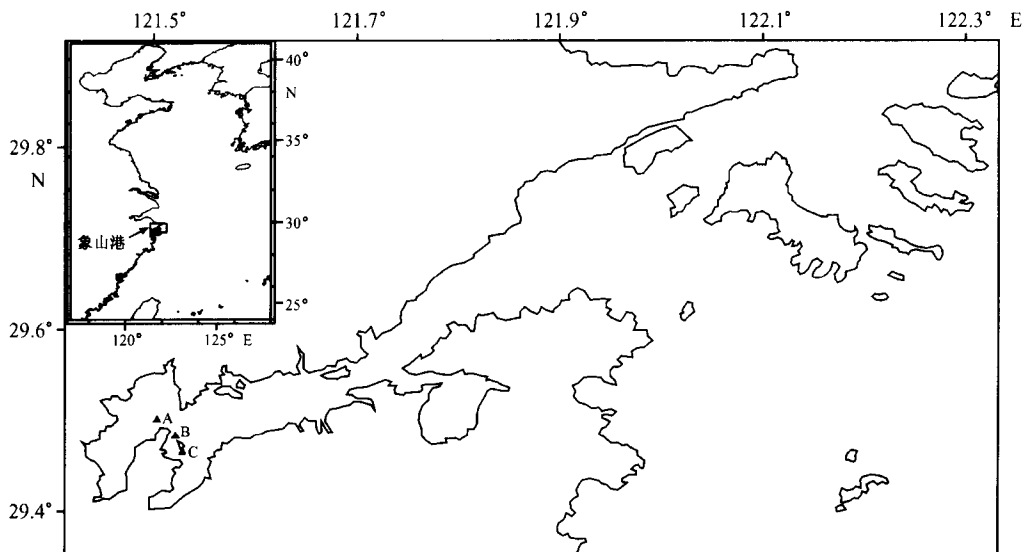


图 1 象山港位置及监测点位置(B点)(A, C 站为两侧参照点)

监测内容:化学方面:水样的 T , pH , DO , $\text{NO}_3^- \text{ N}$, $\text{NO}_2^- \text{ N}$, $\text{NH}_4^- \text{ N}$, $\text{PO}_4^- \text{ P}$ 等;生物方面:水样及拖网的“赤潮”生物的种类和密度。

在2002年5月2日至6月2日的31 d内,由该站采集的水样分析得到的资料表明浮游植物的密度都是 1.0×10^3 个/ dm^3 左右(仅在5月21日和6月1日分别有 3.8×10^4 个/ dm^3 和 1.95×10^4 个/ dm^3),6月2日为 5.5×10^3 个/ dm^3 ,但6月3日就达到 2.32×10^6 个/ dm^3 (图2)。赤潮优势种的变化见表1,即在5月23日前未发现丹麦细柱藻,后来几天它也不是主要成分,直到5月30日才成为惟一的优势种。此时可以把浮游植物的密度看作是它的密度。

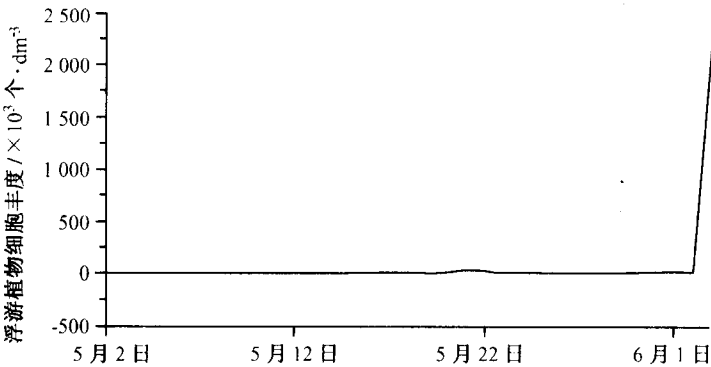


图2 监测的浮游植物细胞丰度(2002年5月2日至6月3日)

表1 赤潮优势种的变化

时 间	藻 种
5月2~12日	圆筛藻(<i>Coscinodiscus</i> sp.)
5月13~22日	中肋骨条藻(<i>Skeletonema costatum</i>)
5月23~25日	丹麦细柱藻(<i>Leptocylindrus danicus</i>)、裸甲藻(<i>Gymnodinium</i> sp.)、圆海链藻(<i>Thalassiosira rotula</i>)
5月26~29日	丹麦细柱藻(<i>Leptocylindrus danicus</i>)、裸甲藻(<i>Gymnodinium</i> sp.)、中肋骨条藻(<i>Skeletonema costatum</i>)
5月30日至6月3日	丹麦细柱藻(<i>Leptocylindrus danicus</i>)

在2003年5月9~24日没有发现赤潮藻(中肋骨条藻)密度明显的增加,它的密度均保持在 $10^3\sim 10^4$ 个/ dm^3 量级。5月25日开始上升至 10^5 个/ dm^3 ,尽管在此期间有波动,但一直保持在此量级,直至6月9日下降至 $10^4\sim 10^3$ 个/ dm^3 量级。在监测期间未发生赤潮。

期间化学要素的变化:该期间化学要素 pH、活性磷酸盐、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、无机氮也不存在明显的变化(表2,图3)。

表2 化学要素特征值

	pH	活性磷酸盐 / $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$	硝酸盐 / $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$	亚硝酸盐 / $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$	氨氮 / $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$	无机氮 / $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$
最小值	7.92	0.040	0.427	0.025	0.007	0.497
最大值	8.13	0.056	1.062	0.043	0.038	1.129
平均值	8.07	0.050	0.875	0.039	0.032	0.945