

文章编号: 1001-8166(2006)07-0673-07

“我国近海有害赤潮发生的生态学、海洋学机制及预测防治”研究进展

周名江¹ 朱明远²

(1·中国科学院海洋研究所 海洋生态与环境科学重点实验室 山东 青岛 266071 ;

2·国家海洋局第一海洋研究所 海洋生态环境科学与工程重点实验室 山东 青岛 266061)

摘要: 介绍国家重点基础研究发展计划项目(“973”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”的研究背景和主要研究内容,即以我国赤潮高发区东海作为主要研究海域,重点开展重要有害赤潮种的生物学特征及生态适应策略研究,近海赤潮高发区有害赤潮与富营养化的关系研究,近海赤潮高发区有害赤潮生消关键物理过程、数值模拟与预测研究,有害赤潮的危害机理及防治机理研究等。简要报道了项目通过现场综合航次获得的东海大规模赤潮发生前后水文、化学和生物学等诸多要素的变化特征,以及结合实验室模拟研究,在探索重要赤潮生物种群变化的动力学过程及其调控机理等方面取得的进展。另外,对项目的研究前景进行了展望。

关键词: 有害赤潮 东海 生态学 海洋学

中图分类号: X55 **文献标识码:** A

有害赤潮肆虐于我国和世界各国沿海,是国际社会共同关注的重大海洋环境问题和生态灾害^[1,2]。自 20 世纪 70 年代起,我国有记录的赤潮有 300 多次,发生次数以每 10 年增加 3 倍的速度上升,2000 年以来赤潮事件每年都达到了几十次,赤潮发生规模也呈急剧扩大的趋势,1998 年至今,每年都发生了面积超过 1 000 km² 的特大赤潮,其中有几年赤潮面积甚至达到上万平方公里,前后持续时间将近一个月,世界罕见,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^[3]。

赤潮频发给我国沿海造成了严重的生态、资源、环境问题和重大的经济损失,据不完全统计,我国因赤潮而造成的经济损失有的年份可达 10 亿元以上,一次大规模的赤潮就可能带来几亿元的直接经济损失,如 1998 年发生在广东南部和香港沿海的米氏凯

伦藻/裸甲藻赤潮给粤港两地的海水养鱼业造成了毁灭性的打击,经济损失 5 亿多元(未包括间接损失如海产品的滞销、应急措施等)^[4]。有些有害赤潮生物能产生毒素,经贝类或鱼类累积后危害食用者的健康和生命,调查表明麻痹性贝毒和腹泻性贝毒这两类主要的藻毒素污染普遍存在于我国沿海,近年有记录的贝毒事件中,有几百人中毒,数十人死亡。欧盟出于食品卫生考虑曾于 1997 年中止过从中国进口贝类。然而,以上这些损失和影响可能只是我国沿海赤潮危害的冰山一角,因为赤潮频发其实是大自然的一个危险信号,它预示着赤潮高发区的海洋生态环境已经受到了严重的干扰,生态系统的正常结构和功能可能已经或正在被改变,生态环境一旦失衡恶化将很难在短期内恢复。近年在渤海、东海某些海域都发现了水母较往年旺发、而鱼虾资源减少的现象,这很可能与基础饵料改变、甲藻类赤潮生物的正常增殖而使食物链演变有关。生态系

* 收稿日期: 2006-02-17, 修回日期: 2006-04-20。

* 基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目“我国近海有害赤潮发生的生态学、海洋学机制及预测防治”(编号: 2001CB409700)资助。
作者简介: 周名江(1944-), 男, 浙江鄞县人, 研究员, 主要从事有害赤潮研究。E-mail: m.jzhou@ms.qdio.ac.cn

统的这种异常改变将是非常危险的,正如“沙尘暴”的真正威胁是我国北方某些地区的生态环境是否在向不利于人类居住的方向演变一样,赤潮频发的危险信号是这些海域的生态系统和自然环境是否在向不利于人类持续利用的方向发展。

全面认识、开发利用和保护海洋是我国 21 世纪的重要战略,过去我国在开发利用海洋、发展海洋经济方面已经取得举世瞩目的成就,从海洋中取得的食物已经为我国提供了超过 1/5 的动物蛋白,并呈不断增加的趋势。海洋水产已发展成了年产值达数百亿元、从业人员逾几百万的庞大产业,为沿海经济和整个国民经济的发展作出了重要贡献。海洋渔业、海水养殖业、观光旅游业已成为我国沿海国民经济发展的重要增长点。然而,赤潮频发正在成为我国沿海经济可持续发展的一个制约因素。因此,引起了我国政府和公众的高度关注,国务院有关领导连续两次批示“要重视赤潮问题,要科研先行”,我国国民经济“十五”发展纲要中专门提到要“预防、控制和治理赤潮”。为此,摸清我国海域赤潮形成机理,提出预测和防治方法以减轻赤潮灾害,进而实现海洋生物资源可持续利用和海洋环境健康发展已成为我国海洋科技工作者一项亟待解决的重要科学问题。

海洋有害赤潮的生态学和海洋学是全球变化研究的重要内容,当今海洋科学跨学科研究的国际前沿领域。由于赤潮的多样性、复杂性及水动力和海域环境的多变性,至今,我们对赤潮的认识还远远不够,对它的形成机理、危害机理知之甚少,缺乏行之有效的预测和防治方法,而要控制、减轻赤潮灾害,关键在于了解赤潮发生的机制,即赤潮生物如何在海洋生态群落中发展成优势种,外界环境中温度、盐度和营养物质以及海流等因子如何诱发/触发赤潮等生态学和海洋学机制。这不仅需要依靠大尺度区域间的比较研究,还需要依靠实验室和现场围隔实验研究,从整体、动态方面去阐明海洋赤潮高发区环境系统内赤潮生物生态过程、营养物质生物地球化学过程、赤潮生消的关键物理过程之间的定量关系,揭示有害赤潮爆发的机制。因此,联合国政府间海委会 (IOC, Intergovernmental Oceanographic Commission) 和国际海洋研究科学委员会 (SCOR, Scientific Committee on Oceanic Research) 于 1998 年 10 月共同发起组织“全球有害赤潮的生态学和海洋学 (GEOHAB, Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms)”研究计划^[5],以期通过对赤潮发生的生态学、海洋学机制的研究来提高对赤潮的预

测、防治能力,减轻赤潮带来的危害,该计划标志着赤潮研究已成为全球海洋研究的一个新的热点。

为此,国家科技部于 2001 年批准 973 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”(编号:2001CB409700)^[6],执行期为 2002.04 ~2007.04。该项目侧重赤潮发生的生物学、化学和物理海洋学关键过程的定量研究以及相互作用机制的解释,特别注意从赤潮生物内因和环境条件外因两方面对赤潮形成的机制作出解释,并对赤潮的危害和防治机理进行探讨,例如赤潮生物种群的关键特征和竞争机制是什么? 典型赤潮高发区的关键化学环境和物理环境特征与赤潮多发的关系是什么? 赤潮形成的触发因子 (trigger) 是什么? 人类活动引起的环境变异 (如富营养化) 的影响是什么? 有害赤潮是如何影响海洋生物及海洋生态系统的? 有害赤潮的爆发能否预测? 能否防止有害赤潮的发生? 发生后能否控制其范围及程度等。

1 国内外研究现状及发展趋势

赤潮作为一门新兴学科诞生于 1974 年在波士顿召开的第一届有毒甲藻藻华国际研讨会^[7],随后得到了迅速发展。早期关于赤潮的研究主要致力于赤潮生物生态生理学方面的工作,随着研究的深入,特别是 20 世纪 90 年代以后,人们发现,赤潮的形成不仅受与赤潮生物有关的生态学过程的控制,而且还强烈地受到物理环境、水动力过程、人类活动和全球变化等的影响。科学家们认识到赤潮研究涉及到复杂的生物学、化学和物理海洋学问题,具有明显的学科交叉性。1998 年 SCOR 和 IOC 发起的 GEO-HAB 的科学目标就集中于通过赤潮形成过程中生物、化学和物理海洋学的综合研究,阐明影响有害藻类种群动态的生态学和海洋学机制,提高赤潮的预测预报能力。

赤潮在全球的扩散和危害程度的日益加剧也已引起一些相关国际组织的关注。除 IOC 和 SCOR 于 1992 年成立了赤潮专家委员会及赤潮生理生态工作组,开展了一系列赤潮研究的国际协调工作外,亚太经济合作组织 (APEC) 于 1992 年发起了赤潮管理计划,北太平洋海洋科学组织 (PICES) 于 1999 年组成有害赤潮研究工作小组以协调各成员国的研究活动,联合国环境署西北太平洋行动计划 (NOW-PAP/UNEP) 从 2003 年起也在其沿海环境评价地区中心 (CEARAC) 下设立赤潮工作组以加强各成员国间有关赤潮方面的交流与合作等。

我国的赤潮研究开始于20世纪70年代末,在此后的10余年间相继启动了一些研究项目。进入90年代后,赤潮问题开始在中国引起更广泛的重视,对我国近海赤潮生物的分类、藻种培养、赤潮生物生态生理特征、赤潮与富营养化之间的关系、赤潮藻毒素的生态毒理学以及赤潮的防治对策开始进行比较系统的研究,取得了一批重要成果^[6-9]。但这些项目研究区域相对集中在局部海湾和养殖区,而且其中关于赤潮形成机理的研究侧重于有关的生物学和生态学过程,关于化学和物理海洋学过程对赤潮形成影响的研究较少涉及,还没有成功的赤潮爆发过程的生态动力学模型。

通过多学科交叉研究,从生态学、海洋学机制上阐明赤潮成因,并由此发展出预测和防治的方法已成为国内外赤潮研究界的共识。

2 主要研究内容

2.1 我国重要有害赤潮种的生物学特征及生态适应策略

有害赤潮生物的存在、其生理生态特点及物种和遗传多样性变化,是引发有害赤潮的内因,研究赤潮生物多样性、地理分布和生理特征,探明重要有害赤潮种群动态变化、生态适应和竞争策略在爆发赤潮过程中的地位和作用,有助于了解和解释赤潮形成的生态学机制。需要研究的内容包括:我国重要赤潮生物的分布特征与遗传特征,典型赤潮高发区微藻群落结构特点、关键种群动态变化及其控制因素、环境变化对其多样性的影响,重要赤潮生物的生活史过程以及繁殖方式、营养需求、增殖速率、垂直迁移、孢囊形成与萌发等对环境变化的响应机制,种间相互作用及其对赤潮形成过程的影响等。

2.2 我国近海赤潮高发区有害赤潮与富营养化的关系

沿海经济的快速发展极大地改变了海岸带的生态环境甚至生态系统,导致近海海域严重富营养化。在受人类活动强烈干扰的地区,赤潮发生的频率、强度和赤潮生物的种类都在快速增加。赤潮和富营养化的关系研究可以帮助我们了解人类活动引起的富营养化在赤潮形成中的作用。需要研究的内容有:我国赤潮高发区重要营养物质的组成、形态、来源、通量及其时空动态,与赤潮相关的生物地球化学循环过程,重要赤潮生物在不同生长阶段对营养物质的需求,营养物质变化对赤潮生物的影响及其之间的定量关系,营养盐的变化对产毒赤潮生物的种群

变化以及毒素的组成和产毒量的影响,重要有机物、微量金属等营养物质在富营养化和赤潮形成中的作用和地位等。

2.3 我国近海赤潮高发区有害赤潮生消关键物理过程、数值模拟与预测

研究赤潮需要描述、刻画并预测赤潮生物的种群动态及其与环境之间的相互作用关系。模型是研究生态系统中物理、化学和生物学之间相互作用关系的有效工具,模型研究不仅有益于探讨赤潮形成机理的研究,而且是把研究结果应用于预测预报的桥梁。需要研究的内容有:赤潮高发区河口锋、海洋锋、上升流等基本物理学特征及赤潮发生时流场等要素的时空变化过程,赤潮高发区营养盐分布与锋面结构特征的关系,主要赤潮藻种类的分布与锋面结构特征的关系,赤潮高发区主要赤潮藻种类的分布特征及与流场的关系,赤潮生物—光学遥感原理、赤潮生消动力学过程的数值模拟等。

2.4 我国近海有害赤潮的危害机理及防治机理

赤潮可以从多种途径产生危害,不仅危害单个的生物,而且危害生态系统。有毒赤潮和有害无毒赤潮形成危害的方式各不相同。根据赤潮形成的机制和产生危害的机理采取有效的防治对策是赤潮研究的最终目的。需要研究的内容有:我国有害赤潮对典型海洋生物的危害机理和对海洋生态系统的影响,赤潮藻毒素的产生及沿食物链的传递和归宿,赤潮毒素快速和灵敏检测手段及赤潮危害评价方法,防止赤潮生物快速增殖、预防和控制有害赤潮发生的途径和有效方法,提出生态调控原理,建立为政府决策服务的有害赤潮综合管理和预防模型等。

3 关键科学问题

3.1 赤潮生物种群关键特征与生态策略

不同赤潮原因种的种群分布形式、丰度、遗传特征及其对外部环境的适应能力都有差别,在藻菌群落中各处于一定的生态位,研究赤潮原因种生活史、生物学特征及其与外环境影响因素相互作用的生态过程,探明赤潮原因种在生态竞争中适应能力及优势种更替规律,是阐明和解答赤潮生物在特定环境条件下如何发展成优势种形成赤潮的生态学机制的基本科学问题。

3.2 关键物理海洋学过程的赤潮生态作用

海洋物理环境变异是控制微藻群落组成、时空分布和季节交替的重要因素。基本环流及其关键物理过程(锋面、跃层、湍流、垂直和水平传输过程)对

赤潮种群动力学影响是通过直接移动和聚集赤潮生物,间接影响化学和生物环境两种方式起作用的。研究关键物理过程及其变异动力学,揭示其在赤潮生消过程中的生态作用及其作用机理,是阐明赤潮发生的物理海洋学机制的核心科学问题。

3.3 富营养化过程的赤潮诱发、调控作用

营养物质是赤潮藻生长、繁殖及结构演变的重要控制因素。研究其输运动态、循环,人为富营养化过程及其与赤潮发生的内在联系,了解富营养化对赤潮发生范围、规模和强度的影响,有助于回答人类活动的增加引起富营养化在多大程度上可以导致赤潮发生频率的增加,是阐明赤潮发生的化学海洋学机制的重要科学问题。

3.4 有害赤潮的生态效应与生态调控

有害无毒赤潮和有害有毒赤潮具有不同的海洋生态效应。研究它们对关键生物种、重要资源种及浮游生态系统结构与功能的影响,有助于了解赤潮对生态系统、资源和环境的危害机理。科学地评估赤潮的危害。研究人类活动和关键生态环境因子的调控对减少和降低赤潮发生强度和频率的生态调控原理,并据此建立有效的防治方法,是减轻赤潮灾害的关键科学问题。

4 项目部分进展

4.1 基本掌握了东海大规模原甲藻赤潮形成前后的变化规律和分布特征

2002年春季起,连续4年在东海赤潮高发区进行了11个航次的多学科综合调查。站位设置见图1(图版)。对该赤潮高发区的生物、化学和物理海洋学特征进行了比较详细的现场研究,并对连续多年引发东海大规模赤潮的东海原甲藻赤潮进行了跟踪观测。发现该东海原甲藻赤潮分布有明显的规律,即基本分布在 $27^{\circ}\sim 31^{\circ}\text{N}$ 沿水深 $30\sim 50\text{m}$ 等深线的海底地形陡变区海域(图2A,图版),分布区的环境条件适合东海原甲藻生长(图3,图版),并观测到赤潮爆发前原甲藻细胞在水体次表层生长、扩展的“孕育”阶段(图2B,图版)。

4.2 首次在我国东海发现大规模亚历山大藻、米氏凯伦藻有毒赤潮

2002年起,连续在东海赤潮高发区发现相当大规模的有毒亚历山大藻赤潮,该赤潮与东海原甲藻赤潮共生,呈斑块状分布,单个斑块的最大面积可达 400km^2 。原因种为一种能产毒并能对生活史某阶段形成孢囊的链状亚历山大藻(*Alexandrium catenella* 1a)

1a) 赤潮区细胞密度可达 $10^4\sim 10^5/\text{L}$,现场测定的赤潮水体的毒性约为 $4.3\text{MU}/\text{L}$ 。实验室分析该藻细胞的毒素含量为 $4\text{fmol}/\text{cell}$,以低毒性的C毒素为主。另外,对东海赤潮高发区赤潮藻种床所作系统调查分析表明,该海域亚历山大藻孢囊数量从东北向西南方向递增,并在 22.5°N 左右锋面内外,即赤潮分布带内外有明显差异,说明本海域已存在有毒亚历山大藻种床,该藻有可能在条件不合适时形成孢囊暂时休眠,条件合适时再次萌发、增殖而形成新的赤潮。另外,2005年春季在该海域爆发了上万平方公里的特大规模的米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)赤潮,细胞密度可达 $10^6\sim 10^7/\text{L}$,该藻具有鱼毒性,造成了海水养殖区养殖鱼类大量死亡。这些都应该是—个危险的信号,说明我国东海已开始出现大规模有毒赤潮,对其可能给海洋水产业和人类健康带来的重大影响应予以足够的重视。

4.3 探讨了营养盐与东海大规模赤潮发生的关系

现场调查表明,东海大规模赤潮区除赤潮爆发期外终年都处于富营养化状况, DIN 平均浓度大于 $15\mu\text{mol}/\text{L}$, PO_4 平均浓度大于 $0.5\mu\text{mol}/\text{L}$, SiO_3 平均浓度大于 $10\mu\text{mol}/\text{L}$; DIN 和 SiO_3 主要来源于长江中淡水等陆源输入, PO_4 主要来源于长江中淡水等陆源输入和台湾暖流。丰富的营养盐输入为本海区赤潮的大规模爆发提供了最基本的物质基础,而不同营养盐的季节变化、年际变动和赤潮发生中其浓度的动态变化则与大规模赤潮爆发的时机、规模以及优势种的演替有密切的关系。现场数据分析和现场围隔实验结果都说明氮营养盐高值区的范围以及其浓度的高低似乎与赤潮的规模大小以及赤潮消散时间有一定的关系,当其浓度低到某阈值如 DIN $1.0\mu\text{mol}/\text{L}$ 时大规模赤潮进入消散阶段,高 N/Si 比情况下甲藻的生长明显优于硅藻,而可能爆发大规模的甲藻赤潮,相反则可能爆发硅藻赤潮。2005年早春赤潮区硅营养盐的大量增加有可能是这一年的春季先爆发硅藻赤潮的重要原因之一。

4.4 证实了关键物理海洋过程在东海赤潮形成中的重要作用

2002年以来的现场调查发现东海的大规模甲藻赤潮基本都是在 $27^{\circ}\sim 31^{\circ}\text{N}$ 沿水深 $30\sim 50\text{m}$ 等深线的海底地形陡变区分布(见图2A),赤潮爆发前赤潮藻细胞在水体次表层/中层经过了近一个月的“孕育”。这与该海域的关键物理海洋过程可能有密切的关系,这些过程直接或间接地决定了该海域的“水团结构”、“温度、盐度分布”、“营养盐分布”

等制约或促进赤潮藻生长的条件,从而影响赤潮藻的生长、迁移、聚集、休眠以及赤潮的爆发。

调查发现,大规模赤潮区与文献所述该海域的上升流区的位置基本一致^[10-13],后者大致位于 28°~31°N, 124°E 以西海域,水深为 20~70 m 的范围^[13]。上升流可能给赤潮区赤潮藻细胞由下而上和由外而内的运输提供了动力并对它的生长带来磷酸盐的重要补充,上升流还可能对 4 月上中旬赤潮藻在水体次表层的“孕育”提供了合适的温度、盐度等条件(见下有关“暖水团”的叙述),另外,上升流锋面形成的“辐聚”作用则可能对赤潮藻在该区域的聚集起到了一定的作用。

春季的赤潮现场调查中,发现在调查海域的东南方外侧有明显的“暖水团”入侵的现象,这从一个方面证明了台湾暖流的确影响到了东海赤潮发生海区(赤潮高发区暖水团的分布见图 4,图版)。由于 4 月上中旬该海域海水表层的温度还较低,不适合赤潮甲藻的生长,但暖水的入侵使得水体中层的水温变得有利于赤潮甲藻细胞生长,赤潮藻在此逐渐“孕育”,细胞数量不断增加,为随后在表层爆发赤潮作好了必要而充分的准备。

现场观测发现,“暖水团”所在海区的海水有层化现象,并观测到有叶绿素的峰值出现在温度、盐度层化水层上侧的现象,表明该层化水层可能为赤潮细胞生长或聚集提供了良好的条件(图 5,图版)。

4.5 发现环境条件对大规模赤潮优势种的演替有重要作用

2005 年春季东海大规模甲藻赤潮的爆发时间由前几年的 5 月初推迟到了 5 月下旬,在此之前先发生了较大规模的硅藻赤潮。这一现象可能与 2005 年春现场环境条件的变化有密切的关系。

2002—2004 年现场调查说明,春季 4 月上中旬甲藻赤潮原因种在水体次表层的“孕育”是其在 5 月初爆发赤潮的必要准备阶段。但 2005 年 4 月上中旬比 2004 年同期水温约低 2~3 (见表 1) 明显

表 1 2005 年 4 月上旬水温与 2004 年同期比较(ZC 断面)
Table 1 Comparison of the water temperature between April, 2005 and April, 2004 (ZC section)

时间	最高水温 ()	最低水温 ()	平均水温 ()
2004 年 4 月 5 日	16.57	12.68	14.53
2005 年 4 月 4 日	14.30	9.81	11.90
2005 年比 2004 年低	2.27	2.87	2.63

限制了甲藻的生长,而促进了适应较低温度的硅藻的竞争生长。同时,2004 年 11 月~2005 年 3 月间,长江下泄流量明显偏多(主要在 2005 年 2 月),使得营养盐尤其是硅和氮的输入也显著增加,这进一步促进了硅藻的生长,而先爆发硅藻赤潮。之后,随着营养盐的不断消耗,水温迅速上升,甲藻逐渐占据了竞争优势,而爆发甲藻赤潮。这些,都说明了环境条件在赤潮爆发优势种的筛选和演替中的重要作用。

4.6 提出了东海春季大规模甲藻赤潮生消过程的一个初步假设

根据现场和实验室的研究结果,对东海春季大规模甲藻赤潮的生消过程提出其经过“起始(Initiating)”、“增殖(Developing)”、“爆发(Proliferating)”和“消散(Dispersing)”4 个阶段的一个初步假设(见表 2)。“起始”阶段时,随着台湾暖流和上升流的加强,赤潮藻细胞开始由位置偏外、水深偏深而水温相对较高处向赤潮区运输,但此时赤潮区的环境条件尚不适合赤潮藻的生长,藻细胞密度约在 10^{11} cell/L 以下。“增殖”阶段,即赤潮藻在水体次表层发展的“孕育”阶段至关重要,此时水体表层水温还过低,不适合赤潮藻生长,但水体次表层的条件可能已适合赤潮藻的生长,赤潮藻就会在此不断增殖、发展,由其条件合适时比生长率可达到 1.88 计算,每 5 天赤潮藻的数量可以增加约 10^3 倍(一般认为赤潮爆发时的藻细胞密度大约在 $10^6 \sim 10^7$ cell/L,条件合适时 30 天左右的时间足以使得整个赤潮区内的藻细胞密度达到赤潮密度值),虽然此时从海水表面看不到赤潮,但这一阶段往往决定了随后发生的赤潮爆发的时间和规模。“爆发”阶段时,赤潮区的表层条件也已适合赤潮藻的生长,赤潮藻“上浮”到表层并在此迅速增殖,赤潮“爆发”。“消散”阶段是随着营养盐的大量消耗、光照和水温的过强过高,以及可能的高摄食压力而出现的,此时,赤潮藻细胞密度不断降低,直至赤潮区水体中只留下“可观测到”的少量细胞,部分藻细胞则可能迁移到赤潮区外侧水深处以待下一个春季。

这个假设部分已得到证实,部分如赤潮藻细胞的迁移等还需要进一步的验证。

5 项目的前景

项目希望通过 5 年的生物学、化学和物理海洋学多学科交叉综合研究,掌握我国近海赤潮生物种群动态变化规律,了解其危害机理,阐明赤潮高发区

表 2 东海大规模赤潮形成机制初步假设

Table 2 A preliminary hypothesis on the mechanism of large scale dinoflagellate blooms in East China Sea

赤潮过程	赤潮藻位置	赤潮藻状态	赤潮区环境条件	
起始阶段	底 中层 外 内	生长率低	尚不适合	上升流加强、藻细胞运输启动, 温度、营养盐偏低
增殖阶段	中层	生长率增加	中层环境逐渐 适合	光、温度、营养盐开始增加, 上升流、辐聚作用增强 其他藻竞争、浮游动物摄食较低
爆发阶段	表层	生长率高	表层环境开始 适合	光、温度、营养盐合适, 其他藻竞争、浮游动物摄食较低
消散阶段	表 中 底层 内 外	生长率低 “休眠”	表层、中层环境 均变为不适合	光过强, 温度过高, 冲淡水增强, 营养盐降低, 其他藻 竞争加强、浮游动物摄食增强

赤潮形成的生态学、海洋学机制, 为建立“预防、控制和治理赤潮”的有效方法提供科学依据, 同时也为发展全球赤潮生态学和海洋学现代理论体系作出贡献。具体包括:

查明我国沿海赤潮高发区最重要的几种赤潮生物, 如东海原甲藻 (*Prorocentrum donghaiense*)、链状亚历山大藻 (*Alexandrium catenella*)、米氏凯伦藻 (*Karenia mikimotoi*) 等的生物学、生态学、遗传学特征, 及其生物地理分布、生态适应和竞争策略等, 从而掌握我国最重要赤潮原因种的基本特征。

阐明冲淡水、锋面和富营养化等理化环境特征在东海赤潮高发区赤潮发生中的作用。通过各因子间的综合分析, 尤其是赤潮爆发触发因子的筛选, 使我们对我国大规模赤潮的爆发机制有一个基本的了解。

提出适合于我国近海浑浊水体 (二类水体) 的大范围、长时间序列的生物—光学遥感监测赤潮方法原理和可以模拟赤潮高发区赤潮生消过程的生物—化学—物理耦合模式, 为赤潮的预测提供技术支撑。

揭示赤潮, 特别是东海原甲藻、链状亚历山大藻、米氏凯伦藻等对海洋生物、生态系统和环境的危害机理, 提出 1~2 种有效预防、控制和治理赤潮的方法, 建立有害赤潮的综合管理和预防方案, 为赤潮管理和减灾提供科学依据等。

我国是一个海洋大国, 也是一个遭受赤潮严重危害的国家。随着我国经济的迅速发展和对海洋开发与利用强度的增加, 赤潮爆发的频度和强度都有可能进一步增加, 其对海洋生态系统和公众健康产生的危害也可能会变得更加严重。赤潮不会因为我们开展了对它的研究就会消失, 就如同沙尘暴、火灾、地震等不会因为我们对其研究而消失一样, 但

我们会不断加深对其形成机制的认识, 从而找到预测、预报它的科学原理与方法, 以及减轻其危害的有效措施。

致谢 感谢本研究项目各位同事提供部分资料, 王云峰博士绘制了本文的大部分图件, 特此致谢。

参考文献 (References):

- [1] Hallegraeff G M. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase [J]. *Phycologia*, 1993, 32: 79-99.
- [2] Anderson D M, Garrison D J. Ecology and oceanography of harmful algal blooms [J]. *Limnology and Oceanography*, 1997, 42(5 pt. 2): 1009-1305.
- [3] Zhou Mingjiang, Zhu Mingyuan, Zhang Jing. Status of harmful algal blooms and related research activities in China [J]. *Chinese Bulletin of Life Science*, 2001, 13(2): 54-59. [周名江, 朱明远, 张经. 中国赤潮的发生趋势和研究进展 [J]. *生命科学*, 2001, 13(2): 54-59.]
- [4] Anderson D M, Andersen P, Brice J V M, et al. Red Tide-HAB Monitoring and Management in Hong Kong, Final Report [Z]. Hong Kong: Prepared for the Agriculture and Fisheries Department, 1999.
- [5] Gilbert P, Pitcher G. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Science Plan [M]. Baltimore and Paris: SCOR and IOC, 2001.
- [6] 国家 973 计划资源环境领域立项项目 [EB/OL]. <http://www.973.gov.cn/AreaItem.aspx?fid=04>, 2001.
- [7] Lo Cicero V R. Proceedings of the First International Conference on Toxic Dinoflagellate Blooms [Z]. Boston, Massachusetts: Massachusetts Science and Technology Foundation, 1975.
- [8] Zou Jingzhong. Marine Environmental Science [M]. Jinan: Shandong Education Press, 2004. [邹景忠. 海洋环境科学 [M]. 济南: 山东教育出版社, 2004.]
- [9] Qi Yuzao, Zou Jingzhong, Liang Song. Red Tides along Chinese Coast [M]. Beijing: Science Press, 2003. [齐雨藻, 邹景忠, 梁松. 中国沿海赤潮 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.]
- [10] Zhou Mingjiang, Yan Tian, Zou Jingzhong. Preliminary analysis

- of the characteristics of red tide areas in Changjiang river estuary and its adjacent sea [J]. Chinese Journal of Applied Ecology , 2003 , 14 (7) : 031-038 . [周名江 , 颜天 , 邹景忠 . 长江口邻近海域赤潮发生区基本特征初探 [J] . 应用生态学报 , 2003 , 14 (7) : 031-038 .]
- [11] Zhao Baoren . Upwelling outside of Changjiang estuary [J] . Acta Oceanologica Sinica , 1993 , 15 (2) : 108-114 . [赵保仁 . 长江口外的上升流现象 [J] . 海洋学报 , 1993 , 15 (2) : 108-114 .]
- [12] Cao Xinhong . Preliminary study on the seasonal process of the coastal upwelling of Zhejiang in the East China Sea [J] . Journal of Fisheries of China , 1986 , 10 (1) : 51-69 . [曹欣中 . 浙江近海上升流过程的初步研究 [J] . 水产学报 , 1986 , 10 (1) : 51-69 .]
- [13] Xu Jianping . Upwelling around Zhejiang coast [C] . Su Jilan , Yuan Yeli . Hydrology in Coast Seas of China . Beijing : Ocean Press , 2005 : 246-249 . [许建平 . 浙江沿岸上升流 [C] . 苏纪兰 , 袁业立 . 中国近海水文 . 北京 : 海洋出版社 , 2005 : 246-249 .]

Progress of the Project “ Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms in China ”

ZHOU Ming-jiang¹ , ZHU Ming-yuan²

(1 . The Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Science , Institute of Oceanology , Chinese Academy of Sciences , Qingdao 266071 , China 2 . The Key Laboratory of Marine Ecological and Environmental Science and Engineering , First Institute , State Ocean Administration , Qingdao 266061 , China)

Abstract : The background and contents of the national project in Basic Research Priorities Program , “ Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms in China ” (2001CB4097 , 2002.04-2007.04) were introduced in this paper . The project focused on the East China Sea area , which is the major area of large scale algal blooms along Chinese coast , and studied : (1) the biological characteristics and ecological adaptive strategies of the representative HAB species ; (2) the relationship between eutrophication and harmful algal blooms ; (3) the key physical processes related to the dynamics of the blooms and the techniques on bloom simulation and prediction ; and (4) the impacts of harmful algal blooms and the principles on bloom control and mitigation . The progresses of the project on bloom dynamics of the representative HAB species and the mechanism of bloom regulation made through the analysis of the hydrological , chemical and biological data acquired during the field investigations on the large scale red tides in East China sea area from the 2002 to 2005 , combined with the simulation studies in the laboratories , were reported . The prospects of the studies in this project were also discussed .

Key words : Harmful algal blooms ; Red tides ; East China sea ; Ecology ; Oceanography ; Mechanism .