

赤潮研究的现状与展望

张建辉¹, 夏新², 刘雪芹², 王明翠¹

(1. 中国环境监测总站, 北京 100029; 2. 北京科技大学化学系, 北京 100083)

摘要: 赤潮已成为一种严重的海洋灾害,引起沿海国家和地区的重视,并成为研究的热点。文章从赤潮发生的机理、赤潮管理与减灾等方面论述了赤潮研究的现状,并提出今后研究的重点。

关键词: 赤潮; 机理; 管理; 减灾

中图分类号:X55 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-6002(2002)02-0020-06

Progress and prospect on red tide research

ZHANG Jian-hui¹, XIA Xin², LIU Xue-qin², WANG Ming-cui¹ (1 China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100029, China; 2 Chemistry Department of University of Science and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: At present, red tides have become serious calamities. Many coastal countries and districts think much of it and do many researches on it. This article discusses red tide mechanism, management and mitigation, putting forward the prospect on the red tide researches.

Key words: red tide; mechanism; management; mitigation

海域环境条件的改变促使海洋浮游生物中某些单细胞微小生物(浮游藻类、原生动物或细菌)爆发性繁殖,并高度密集在一起,从而可能引起海水变色,并造成灾害,这种现象称赤潮。

赤潮是一种早就存在的自然生态现象。早在1831~1836年,达尔文在“贝格尔”航海记录中记载了在巴西和智利近海海面发生的由束毛藻引发的赤潮事件。随着工农业生产的发展,人口增多,人们对海洋的依赖越来越大,致使海洋污染加重,赤潮发生的频率大大增加,给生态环境和人类健康造成的危害日益严重,已成为全球性的海洋公害,严重干扰着30多个沿海国家的经济发展。

我国自1933年首次报道发生于浙江镇海、台州、石浦沿岸水域的赤潮以来,在四大海域均陆续有过赤潮发生的报道。近年来赤潮的发生出现了新的特点:发生的频率逐年增加、发生的面积和范围扩大、延续的时间长、有害种的发生次数增多。

1 赤潮研究的现状

1.1 赤潮发生机理研究

赤潮发生机理的研究,是赤潮管理和减灾的理论基础和依据,人们对其进行了许多研究,但赤

潮的发生是各种物理、化学、生物因素综合作用的结果^[1],而且赤潮生物种类繁多,不同海域发生赤潮的主要影响因子又不尽相同,造成赤潮机理的复杂性,因此是研究的重点,也是研究的难点。

1.1.1 赤潮发生的条件

(1) 营养盐的含量^[11,12,17,20,23,32]

国内外的赤潮研究均把营养盐的变化对赤潮生物生长影响规律作为基本研究内容^[10]。Rosa L-ba Alonso-Rodriguez^[2]认为营养盐的比值能显著影响浮游植物群落,尤其是存在种间选择的时候。河北省黄骅市沿海1989~1992年赤潮监测分析结果表明,营养盐的富集会导致赤潮藻类的快速增殖,微量元素Fe和Mn的过量又是赤潮形成的诱发因子^[3];沈^[4]等研究发现,每年5月到8月为长江丰水期,迳流携带氮、磷等营养盐及铁、锰等微量元素入海量也比较大,这可能是造成长江口外赤潮多发的原因之一^[4]。韦蔓新等^[27]提出N/P值是衡量氮磷两元素对水体富营养化重要性指标,一般近岸水体中其正常比为15:1,但当海域中的营养盐体系发生变动,对藻类的生长繁殖起着至关重要的作用,过高或过低都可能引起浮游植物的生长受到某一相对低含量元素的限制。因

收稿日期:2001-08-20; 修订日期:2002-03-25

作者简介:张建辉(1964-),男,天津人,硕士,高级工程师。

此营养盐含量过高引起水体富营养化与赤潮的发生密切相关。

人们普遍认为富营养化对赤潮发生有重要作用,但目前对营养盐和富营养化的关系,富营养化与赤潮间的关系并没有彻底研究清楚,氮磷比、氮硅比、无机物与有机物比在不同地区对不同藻类的作用仍需进一步探讨。

(2) 气象条件^[15,18~20]

降水、气温、光照、风向及风力等气象条件与赤潮的形成、发展和消失密切相关。

对渤海海域的研究发现几次赤潮的天气条件有其共性^[24,36]:赤潮发生前有大量的陆面降水,赤潮开始前日气温剧升,赤潮期间风速较小,气温较高,光照充足,赤潮生物迅速繁殖形成赤潮。一旦温度下降,赤潮生物繁殖受阻,并随着一场降雨将赤潮区冲淡,赤潮减弱并消失。田从华等^[32]提出夏季水温较高时,赤潮生物种类多,赤潮易发率高于冬季;王旭等^[41]认为赤潮与温室效应密切相关,由于厄尔尼诺现象导致全球变暖,这种雨水少、气温高、光照足的天气易形成赤潮。

(3) 水动力条件

赤潮生物是一种单细胞生物,其移动范围是有限的,赤潮生物的分布、聚集和分散直接受到水动力条件的影响^[41]。Masato Yamada 研究日本海域发现,潮流的聚集作用比藻类自身的生长对赤潮的贡献更大。沿岸上升流在赤潮形成中起重要作用^[19],它可以将底层的营养物质带到表层,为赤潮生物的生长繁殖提供必要的物质条件,同时也将孢囊带到水表层,促进萌发。因此赤潮多发生在沿岸密封性、半密封性或具有强上升流的水域。

1.1.2 赤潮发生的一般过程

(1) 赤潮变化过程的划分及其判断

赤潮发生期间,赤潮藻类的生长不符合一般的种群繁殖特点,没有一个预增殖过程,而是呈指数级的增长。许多研究结果表明,潮流的聚集作用比藻类自身的生长对赤潮生物量的影响更大,所以赤潮藻类发生的时间短,呈现明显的骤增骤减的特点,阶段的划分比较困难。根据赤潮期间藻类变化的特点,一般可以将其分为四个阶段:起始阶段、发展阶段、维持阶段和消亡阶段^[4,30]。长江口外 1990 年 6 月发生了一次中肋骨条藻赤潮,整个赤潮期间,不同阶段骨条藻的细胞密度差别明显,可划分为如下四个阶段^[41](如图 1)。

起始阶段:1990 年 6 月 11 日 14:00~6 月 11 日 18:00。

发展阶段:1990 年 6 月 11 日 18:00~6 月 14 日 12:00。

维持阶段:1990 年 6 月 14 日 12:00~6 月 15 日 02:00。

消亡阶段:1990 年 6 月 15 日 02:00~6 月 15 日 10:00。

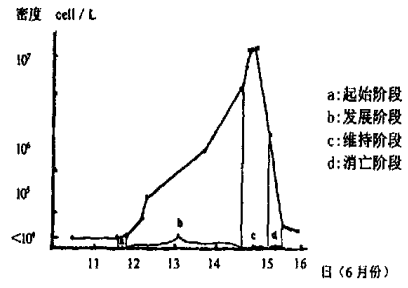


图 1 不同时间赤潮藻类的密度

整个赤潮期间,不同阶段藻类的细胞密度具有比较明显的变化规律。因此,根据藻类密度和海水颜色的变化情况,可以初步判断赤潮所处的阶段。

(2) 藻类的演替现象

非赤潮期间与赤潮发生时浮游植物的种类不同,发生赤潮时,并不完全是由浮游植物群落中平时的优势种群增殖而成为赤潮生物,而是赤潮生物的聚集或增殖^[5,21]。表 1 列出的是 1990 年 4 月及 5 月期间大鹏湾赤潮发生前后浮游植物群落结构比较^[5](见表 1)。

表 1 数据表明,赤潮发生期间和非赤潮期间浮游植物种类具有较大的差异,而且两次赤潮发生期间的优势种也不一定相同。例如 1990 年 4 月 20 日发生的是反曲原甲藻赤潮,赤潮结束后,六角硅鞭藻、裸甲藻、原始多甲藻、尖刺菱形藻等成为优势种,几天以后,骨条藻突然增多,占据绝对优势,导致 5 月 20 日的骨条藻赤潮。赤潮期间,生物量增大,但群落结构变得简单,物种数减少。

不仅赤潮发生前后存在藻种的演变,一次赤潮期间也经常存在这种变化,关于这种演变目前主要有两种观点:

一种观点认为是海体中营养盐含量的变化引起藻种的变化^[2,13,16,49]:珠江口海域,夜光藻是主要的赤潮生物,夜光藻在死亡分解过程中能渗透出高浓度的氨和磷,可诱发微型原甲藻大量繁殖;磷可能是厦门西海域浮游植物生长的限制因子,

表 1 赤潮发生时与发生后浮游植物群落结构比较

站位	时间	赤潮发生时		赤潮发生后	
		浮游植物种类	生物量(cell/L)	浮游植物种类	生物量(cell/L)
站 位 1	1990 年 4 月 20~23 日			六角硅鞭藻	15600
				裸甲藻	15600
		反曲原甲藻	74200(72.5%)★	原始多甲藻	14600
		圆海链藻	17000	尖刺菱形藻	10600
		微小多甲藻	3800	反曲原甲藻	9200
		裸甲藻	3600	丹麦细柱藻	3400
		尖刺菱形藻	2600	细齿角刺藻	2400
		叉状角藻	1200	简单裸甲藻	1800
	1990 年 5 月 20~23 日			夜光藻	1400
		骨条藻	4480000(99.8%)★	细长翼根管藻	3100
		原始多甲藻	4600	变异幅杆藻	2100
		海洋原甲藻	4200	洛氏角毛藻	1900
	1990 年 4 月 20~23 日			裸甲藻	12200
		反曲原甲藻	329800(89.9%)★	原始多甲藻	11400
		圆海链藻	15200	尖刺菱形藻	11200
		裸甲藻	10400	六角硅鞭藻	4800
		叉状角藻	10200	丹麦细柱藻	2400
		尖刺菱形藻	1400	反曲原甲藻	1200
				简单裸甲藻	1000
	1990 年 5 月 20~23 日	骨条藻	829000(98.2%)★	细长翼根管藻	4600
		多甲藻	8400	窄隙角毛藻	3200
		海洋原甲藻	6800		

注:★代表优势种所占的百分数

溶解态无机磷(DIP) 的降低会引起种间改变;长江口及其邻近海域的围隔实验观察到了典型的海洋原甲藻和中肋骨条藻交替的赤潮过程,水体中正常氮磷比为 16 : 1,但随着浮游植物的骤长,氮磷比升高,后期在群落中最佳氮磷比高的种类可能增长起来;高素兰^[3]通过研究沧浪渠赤潮与营养盐的关系发现,营养盐含量的改变可导致藻种的演替。

另一种观点认为藻类之间的相互作用可引起藻种的更替。如日本西海域米氏裸甲藻是代表性的赤潮藻类,赤潮异湾藻有时出现在米氏裸甲藻之后,当赤潮异湾藻和米氏裸甲藻共同培养时,米氏裸甲藻对赤潮异湾藻的生长有抑制作用,这种抑制作用并不是由营养盐的减少而引起的,因为即使将水体再次富营养化,赤潮异湾藻并不能恢复生长,因此可推测是米氏裸甲藻释放的一种特殊物质阻碍了赤潮异湾藻的生长^[6]。Pratt (1966) ^[22]发现中肋骨条藻增殖的滤液能促进黄藻类的滑盘藻生长,而在滑盘藻增殖滤液中,中肋骨条藻明显受到抑致。

赤潮期间及其前后浮游植物的种间关系是很复杂的,值得进一步深入研究。

1.2 赤潮管理

出台相应法规政策、减少入海污染源的排放、普及赤潮知识、培训更多志愿者,建立一套从渔民到政府、从研究到应用的管理体系是减少赤潮发生频率,有效控制赤潮发生、扩大及其危害的重要手段,这方面的工作美国、日本等发达国家做的比较好。

1.2.1 赤潮监测

赤潮监测是赤潮管理的重要环节,通过监测,不仅可以掌握赤潮发生的规律、了解赤潮形成的条件及赤潮藻类的毒素情况,提供必要的海洋环境及人类生活数据,而且是赤潮预测、预报及减灾的依据。

日本水产厅下属的 9 个研究所中有 6 个是区域性水产研究所,其中的 48 个水产试验场隶属于各县地方政府,33 万渔民隶属于 2152 个渔业合作协会,形成了水产厅-水产研究所-县水产试验场-渔业合作协会-渔民的管理体系^[7]。每年水产

厅拨款约 2000 万日元用于赤潮监测研究,每个县的水产试验场已经做了 16 年以上的赤潮观测研究,组织渔业合作协会的渔民进行赤潮和贝类毒性调查研究。

美国海洋资源部(DMR)从 1996 年开始组织受过培训的志愿者收集浮游植物样品,向监测部门提供水温、盐度、浮游植物种类等数据,每周至少有 80 位这样的志愿者参加此项工作^[29],大大提高监测部门的工作效率,及早发现赤潮信息。

目前我国尚无统一的赤潮监测规范,还没有将赤潮监测业务化,尤其缺乏对有害藻类赤潮发生时的应急监测。2001 年国家海洋局决定突破海洋环境监测传感器、仪器平台、系统集成等方面的关键技术,建设 2~3 个国家重点实验室和工程中心,初步形成中国近海的海洋环境立体监测业务系统,与国际 GOOS 系统接轨,提高国产监测设备的市场竞争能力,使我国的海洋环境立体监测技术总体水平达到国际 90 年代的先进水平。

1.2.2 赤潮预测^[7,37,41,42,45]

如能成功预报赤潮,及时对养殖区的鱼、贝类采取措施,将避免重大经济损失,保护海洋生态系统,保证沿海地区经济和社会的稳定发展。但由于赤潮的发生不是单纯的生态学问题,而是在海洋动力环境条件控制下的生态学问题,因而赤潮发生的机理十分复杂,较难得出一个普遍适用的规律性结论。在机理不清楚的条件下,预报工作进展更加艰难。目前人们从理论上提出了一些预报方法及模式:1) 环境因子经验预测法如王正方等^[43]提出的溶解氧预测法、矫晓阳提出的透明度预测法^[44];2) 统计预测^[47];3) 人工神经网络预报^[46];4) 遥感预测^[33~37];5) 建立赤潮生态模型^[28,30,31,48]等多种方法。

21 世纪初中国海洋科技发展目标之一是以渤海和东海赤潮多发区为试验海区,发展赤潮卫星遥感跟踪预报、统计预报及数值预报技术,开创赤潮试预报。

1.2.3 赤潮灾害评估

赤潮之所以成为严重的海洋灾害,很重要的原因在于海水养殖业受到严重经济损失,人类健康受到威胁,因此评估赤潮灾害,及时发出灾情预报,是一件很重要的工作。

赤潮发生后,进行灾情调查的内容一般包括^[21]:灾源、赤潮水团传灾范围、养殖生物死亡种类和范围、受污水产品传灾范围等,估算资源恢复

费用。评估方法是赤潮灾害损失分成直接损失、间接损失、养殖资源的恢复费用三种类型,选择计算公式和计算量纲,确定赤潮引起的实物型损失量,最后将实物型损失量转化为货币量。

1.2.4 开展船舶压舱水的研究

为了避免有害藻种的传播,对压舱水进行研究和管理的必要^[14]。由于船结构不同,压载舱的形状不同,没有取样口,因此取样是最大的技术问题,另外涉及到经费和国际、国内各方面的合作等多方面的问题,使该领域的研究不易进行。

1.3 赤潮减灾

赤潮危害已引起沿海国家和地区的广泛重视^[41~43,45],开展赤潮减灾工作已是当务之急。我国海洋渔业产值占海洋总产值的 54.7%,由赤潮带来的经济损失从 90 年代初的 1 亿元上升到 90 年代末的 10 亿元;我国自 60 年代至今,有近 600 人因误食有毒贝类而中毒,29 人死亡。

1.3.1 毒素种类及检测

赤潮藻类毒素包括:麻痹性贝毒(PSP)、腹泻性贝毒(DSP)、神经性贝毒(NSP)、失忆性贝毒(ASP)和西加鱼毒(CFP)。

有些有毒赤潮藻类在低密度时就能发生作用,如亚历山大藻在较低密度下(100cell/L)就能蓄积较高的麻痹性贝毒。有些毒素可致鱼、贝类死亡,有些毒素虽不能使鱼、贝类死亡,但其毒素在它们体内积累,人食后可致人死亡。例如 1986 年 12 月,福建省东山县发生了一起因采食菲律宾蛤仔而引起集体中毒事件,中毒人数达 136 人,死亡 1 人。

因此有害赤潮已引起人们的重视,世界沿海国家和地区在贝毒的分布、毒素结构、危害机制及检测等方面都有所研究。mouse bioassay 法目前是检测贝毒的主要手段,同时人们也在探索多种先进方法来检测各种毒素,如 HPLC、LC-MS、ELISA 和 PP2A 等。新西兰食品质量监督机构和农业部决定在 2001 年推广 LC-MS 法的应用。APEC 从 1992 年开始这方面的工作,世界卫生组织 WHO 计划建立一个全球性的网络数据库以加强和方便对世界范围内的贝毒管理,保证海产品的安全。

1.3.2 赤潮的治理与防治

为了减少赤潮发生的频率,减小赤潮发生时的损失,人们在探索多种方法来预防和控制赤潮。在赤潮发生区喷洒絮凝剂如粘土^[7,38],使赤潮生

物粘在一起,沉降到海底;或喷洒化学药品(如过氧化氢、臭氧、 CuSO_4 等)可直接杀死赤潮生物^[8,38,41];Satoshi Takeda^[39]等以贻贝作为赤潮生物的克星生物而建立一种新的赤潮控制系统;日本石尾教授^[45]发现“孤菌性藻浸染物”能直接杀死赤潮生物。此外还有把含有赤潮的海水吸到船上过滤,用围栏把赤潮发生区围隔起来^[41]等多种方法。

在各种治理方法中,喷洒粘土法是一种比较成熟的方法,在实验室和现场取得了很好的结果,此法已被中国、日本、韩国、美国等国家采用,并且不断被改进。但该法不适用大规模、高密度的赤潮,另外对粘土类型、喷洒方法、费用等方面也需要考虑。向海水中添加化学物质来控制赤潮,仍处于实验阶段且需要慎重,因为这要考虑化学品的残留及其对环境的影响。生物治理法——如人工栽培的大型海藻具有极高的生物生产力,在快速生长的同时他们能够从周围环境中大量吸收氮、磷和二氧化碳,同时大量释放氧气,这样他们在降低局部海域的富营养化方面起到极好的作用^[9]。如果此项技术得到应用,将是一种比物理治理法和化学治理法更优越的方法。

在各种预防措施中,重要的是控源预防。在赤潮多发区,建立以海洋环境容量为基础的污染物入海总量控制标准,合理分配与赤潮爆发相关的污染因子的排放总量。制定相关的政策和措施,控制沿海地区和流域的氮、磷施用量和排放,一些沿海地区如深圳、厦门、辽宁、秦皇岛等地相继出台了禁用含磷洗涤剂的相关政策,这对于防止海水富营养化,减少赤潮的发生是一项重要措施。

2 今后研究方向

1999年的第54届联合国大会呼吁各国政府广泛开展“从防灾到早期预警、响应、减灾、重建和恢复,包括各级整体减灾能力建设以及推进和增强全球和区域的减灾工作”。日本自70年代便开始了庞大的赤潮研究与监测工作,并取得了一定的效果(特别是在濑户内海的赤潮方面)。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。美国1993年确立了赤潮的国家计划,此后于1995年又投巨资成立了赤潮生态学(ECOHAB)全国规划。欧洲各国建立了欧洲赤潮研究规划称为EUROHAB。江泽民总书记指出:“我国不能不更加重视减灾工作。我们将继续

坚持经济建设同减灾一起抓的指导思想,把减灾纳入国民经济和社会发展的总体规划中去”。

“十五”国家科技攻关计划重点组织实施的项目中“海洋环境预报及减灾技术”榜上有名。2001年国家海洋局青年海洋科学基金项目评审中有三项是关于赤潮研究的。“我国近海赤潮发生的生态学、海洋学机制及预测防治”获2001年度《国家重点基础研究发展规划》批准立项,是这次2001年度国家批准的“973”18个项目立项之一,也是这次批准的唯一一项涉及海洋科学的项目。浙江海区在历史上是赤潮的重灾区,在赤潮研究上取得多项成果的国家海洋局第二海洋研究所,日前向浙江省有关部门提出《浙江海区赤潮灾害监测系统建设与业务化预报》的建议。岱山县政府与国家海洋局宁波海洋预报台在岱山携手共建全国首家县级海洋环境监测站。该站安装使用先进的海洋自动监测系统,设计建立无人值守的自动工作模式,使各类水文气象观测要素做到连续、准确、可靠,并纳入中国海洋环境监测系统。这一系列举措有力说明我国从中央到地方政府,从国家重大科技项目到许多研究单位,都很重视赤潮的研究,以推动海洋经济的可持续发展。今后研究的重点主要体现在以下几个方面:

1) 压舱水对赤潮生物传播的影响以及其它的扩散途径;2) 营养盐和毒素水平的相关性;3) 赤潮信息管理系统及数据挖掘技术在赤潮预报中的应用研究;4) 麻痹性贝毒受体结合检测法的建立与应用;5) 有害赤潮藻的快速鉴别和计数技术研究;6) 主要赤潮频发区富营养化和有害赤潮研究;7) 有害藻的致毒机制及毒素分类;8) 赤潮灾害卫星遥感业务化监测;9) 赤潮藻的培养生物学和分类学研究;10) 赤潮藻类的营养动力学及生理生态学特性研究;11) 赤潮防治的研究;12) 赤潮藻类的生活史的研究;13) 赤潮藻类毒素的研究;14) 赤潮生消过程和统计模型研究。

参考文献:

- [1] 华泽爱. 赤潮灾害[M]. 北京:海洋出版社,1994.
- [2] Rosalba Alonso-Rodriguez, Federicopaez-Osuna, Roberto Cortes-Altamirano etc Trophic Conditions and Stoichiometric Nutrient Balance in Subtropical Waters Influenced by Municipal Sewage Effluents in Mazatlan Bay (SE Gulf of California) [J] Marine Pollution Bulletin, 2000, 40(4): 331-339.
- [3] 高素兰. 营养盐和微量元素与黄骅赤潮的相关性[J] 黄渤海海洋, 1997, 15(2): 59-63.

- [4] 沈耀,洪君超,张开富等.中肋骨条藻赤潮发生过程中微量元素作用的研究[J].暨南大学学报(自然科学版),1995,16(1):131-149.
- [5] 夏北成,吴仁海.大鹏湾赤潮发生与浮游植物群落变动特征分析[J].中山大学学报(自然科学版)1996,35(增刊),260-264.
- [6] Takuji Uchida, Satoru Toda, Yukihiko Matsuyama, Mineo Yamaguchi, Yuichi Kotani, Tsuneo Honjo Interactions between the red tide dinoflagellates *Heterocapsa circularisquama* and *Gymnodinium mikimotoi* in laboratory. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 241(1999):285-299.
- [7] 陆斗定.日本沿岸水域的赤潮监测研究及其防治对策[J].东海海洋,1997,15(1):45-51.
- [8] K C Ho and Y K Wong A Study on The Cost-Effectiveness of Using Ozone in Mitigating Dinoflagellate Blooms.第二届赤潮管理与减灾国际会议论文摘要[M].2001,11.
- [9] Fei X G Large Scale Seaweed Cultivation for Nutrient Removal-A Possible Solution to the Problem of Coastal Eutrophication.第二届赤潮管理与减灾国际会议论文摘要[M].2001,11.
- [10] 秦晓明等. N, P, Fe-EDTA, Mn 对赤潮生物锥状斯氏藻增殖的初步研究[J].海洋与湖沼,1997,28(6):594-598.
- [11] 林昱.甲藻赤潮与水体中营养盐的关系初探[J].台湾海峡,2001,20(1):77-79.
- [12] 王正方,张庆,卢勇等.氮、磷、维生素和微量金属对赤潮生物海洋原甲藻的增殖效应[J].东海海洋科学,1996,6:33-38.
- [13] 林昱,庄栋法,陈孝麟等.初析赤潮成因研究的围隔实验结果 II 浮游植物群落演替与甲藻赤潮[J].应用生态学报,1994,5(3):314-318.
- [14] Li Weicai The Response to Ballast Water in China.第二届国际赤潮管理与减灾会议[M].2001.
- [15] Paerl H W Nuisance Phytoplankton Blooms in Coastal, Estuarine, and Inland Waters[J]. *Limnol Oceanogr*, 1998,33(4).
- [16] 王金辉等.排列法检测围隔生态实验中加磷对浮游植物结构的影响[J].海洋环境科学,2001,20(1):32-54.
- [17] 暨卫东等.厦门西海域水体富营养化与赤潮关系的研究[J].海洋学报,1996,18(1):51-60.
- [18] 王正方等.温度、盐度、光照强度和 pH 对海洋原甲藻增长的效应[J].海洋与湖沼,2001,32(1):15-18.
- [19] 齐雨藻,黄长江.南海大鹏湾海洋卡盾藻赤潮发生的环境背景[J].海洋与湖沼,1997,28(4):337-342.
- [20] 钱宏林,梁松,齐雨藻.广东沿海赤潮和特点及成因研究[J].生态科学,2000,19(3):8-16.
- [21] Zhang Hongliang Study on the Method of Red Tide Calamity Loss Evaluation.第二届国际赤潮管理与减灾会议[M].2001.
- [22] Pratt C M Competition Between *Skeletonema Costatum* and *Olisthodiscus Luteus* in Narragansett Bay and in Culture[M]. *Limnol Oceanogr*, 1966,11.
- [23] 郝建华,霍文毅,俞志明.胶州湾增殖海域营养状况与赤潮形成的初步研究[J].海洋科学,2000,24(4):37-41.
- [24] 龚强,张淑杰,韩玺山等.1998 年渤海赤潮发生与气象条件关系初探[J].辽宁气象,1999(2):18-21.
- [25] Fung Y C Trott B The Occurrence of a *Noctiluca Scintillans* (M. acartney) Induced Red Tide in Hong Kong *Limnology and Oceanography* [J]. 1973, 18(3).
- [26] James E C Tidal Stirring and Phytoplankton Bloom Dynamics in an Estuary *Journal of Marine Research* [J]. 1991,49.
- [27] 韦蔓新等,廉州湾富营养化与赤潮形成的研究[J].热带海洋,17(4),1998:65-72.
- [28] 万振文等.海洋赤潮生态模型参数优化研究[J].2000,31(2):205-209.
- [29] Paul S Anderson The Use of Citizen-Based Environmental Monitoring Programs for Making Real-Time Observations About Potentially Toxicogenic Phytoplankton.第二届国际赤潮管理与减灾会议[M].2001.
- [30] 王寿松等.封闭环境中赤潮发生过程的数学模拟[J].海洋与湖沼,1998,29(2):163-168.
- [31] 王寿松,冯国灿,段美元等.大鹏湾夜光藻赤潮的动力学模型[J].热带海洋,1997,16(1):1-6.
- [32] M L Souto, J J Fernandez, M Norte, M L Fernandez, A Martinez Influence of amino acids on okadaic acid production. *Toxicon* [J]. 39(2001):659-664.
- [33] 赵冬至.海洋环境污染与灾害卫星遥感业务化监测系统研究[J].:22-25.
- [34] 焦守莉.遥感技术用于监测海水水质[J].北京测绘,1999,4:44-46.
- [35] 孙强,杨燕明,顾德宇等. Sea Wifs 探测 1997 年闽南赤潮模型研究[J].2000,19(1):70-73.
- [36] 龚强等.气象卫星遥感在监测辽宁近海赤潮中的应用[J].辽宁气象,2000(3):25-26.