

217-224

9

第12卷第3期  
1993年9月

浙江水产学院学报  
JOURNAL OF ZHEJIANG COLLEGE OF FISHERIES

Vol12, No. 3  
Sep., 1993

综述

# 浮游植物水华和赤潮

斯埃治·布莱布, 斯埃

(法国国家科研中心, 罗斯考夫海洋生物实验室)

S963.213

宁修仁

(中国国家海洋局第二海洋研究所, 杭州)

**摘要** 近十年来在中国海特别是沿岸带, 有害浮游植物发生的赤潮已有报导。浮游植物水华对环境产生的不良影响, 对渔业和水产养殖业所造成的经济损失和破坏, 甚至对人类健康的危害, 在世界许多区域也已有报导。在中国, 由于海洋环境跨越三个气候带(温带、亚热带和热带), 几乎整个沿岸带都受着强烈的人类活动和开发的影响, 由此引起污染和富营养化日趋严重, 许多浮游植物种类成为赤潮发生的潜在种类。为了了解、预测、最终控制这些有害于渔业和水产养殖业发展和质量的有毒藻类的发生, 需要有关海洋环境特征和水华的信息资料。

**关键词** 浮游植物, 水华, 赤潮 红潮

在水层环境, 浮游植物水华是季节发生的自然过程, 它使海洋食物网得以发展和维持。但当浮游植物细胞密度增长到了改变局部海区的水色或当浮游植物种类对其周围的海洋生物, 甚至对食用水产品的人类引起危害、中毒或致死时, 那就是发生赤潮了。

藻类水华的发生及其归宿取决于海洋生态系初级营养阶层动力学中的一些复杂过程:

1. 光合作用和浮游植物的生长;
2. 化学营养盐之间的平衡;
3. 浮游植物的种间竞争;
4. 浮游动物和贝类的摄食;
5. 藻类的沉积;
6. 细菌的分解。

水动力学(水平环流, 水层的垂直稳定度, 优先沉降层的存在等)和来自自然和人为产生的营养盐的输入是控制这些生物学过程的主要因素。

本文的目的在于概述有关赤潮生物的主要种类, 赤潮发生的潜在起因, 研究策略, 赤潮对渔业造成的损失和破坏以及最终防止赤潮的一些观测和展望。

## 一、浮游植物种类和赤潮

目前, 赤潮生物种类主要隶属三个浮游植物纲,

本文于1993年5月收到。

1. 硅藻纲(*Bacillariophyceae*)
2. 定鞭金藻纲(*Prymnesiophyceae*)
3. 甲藻纲(*Dinophyceae*)

在这些纲中, 在世界许多区域已有报导的, 具毒性效应的最重要的属有:

1. 菱形藻属(*Nitzschia*), 角刺藻属(*Chaetoceros*)
2. 棕串藻属(*Phaeocystis*), 定鞭藻属(*Chrysochromulina*),
3. 角藻属(*Geratium*), 原甲藻属(*Proocentrum*), 鳍藻属(*Dinophysis*), 曲沟藻属(*Gyrodinium*)和 *Alexandrium* 属。

在中国海有四个主要赤潮种类: *Noctiluca Scientillans*, *Trichodesmium erythraeum*, *Skeletonema costatum* 和 *Gyrodinium sp.* (Hua, 1990)。

特定藻类具毒性的原因取决于种类及其生理状况。许多对环境有不良影响的浮游植物并非其毒性效应, 而是细菌分解藻类有机物而引起的缺氧(例如在欧洲水域常见的定鞭藻中的棕囊藻属)。但是更令人关注的是赤潮对海洋生物区系的破坏作用和使人类致病的有毒害作用的发生赤潮的藻类日趋严重。这些病害主要有腹泻型贝类中毒(DSP), 神经麻痹型贝类中毒(PSP)和健忘型贝类中毒(NSP)。在热带水域, *ciguatera* 毒害(它与同海藻共生的甲藻有关, 后者被鱼类所摄食), 对人类健康是一种潜在的威胁。

1. 隶属于甲藻类的鳍藻属(*Dinophysis*)或是营光合作用的或是非光合作用的生物, 由于在实验室对它们的培养至今尚不成功, 对它的生物学实际上还是很不了解的。它并不形成水华, 但是每升海水有几十个细胞就足以使食用贻贝和其他贝类的人发生腹泻型贝类中毒(DSP)。

2. 甲藻中的 *Gyrodinium cf. nagasakiense*, 特别是悉知的 *Gyrodinium aureolum*, 能够引起其周围动物区系和水产养殖的毁坏, 这种毁坏是通过具弱活性的未经鉴定的细胞毒素引起海水理化性质的改变或通过产生最近所鉴定的溶血型 allelopathic 细胞外毒素。

3. *Alexandrium minutum*, 一种剧毒甲藻, 属神经麻痹型贝类中毒(PSP)。在欧洲沿岸带出现。在中国海尚未见报导。

4. *Phaeocystis cf. pouchetii*, 这种藻类具有特殊的生活史, 即具有单个的, 短暂的和具鞭毛的细胞阶段同群生的, 不运动的和能产生粘液的小滴(其直径50—100 μm 至几毫米)阶段交替的生活史。它的危害在于在海底和海滩形成泡沫和积累, 引起海洋生物大量窒息(例如降低海水溶解氧浓度, 造成底栖生物和鱼类的大量死亡)。棕囊藻(*Phaeocystis*)的空间和年内分布由于东北欧河流排放营养盐而引起的富营养化程度的增加是密切相关的(Lancelot et al. 1991)。在中国海的沿岸带, *Trichodesmium*, *Noctiluca* 和 *Ceratium* 可产生同样作用。

5. 甲藻中的 *Proocentrum minimum*, *Gyrodinium spirale* 和硅鞭藻 *Dictyocha spp.* 最近在几个国家(包括中国)已有作为有毒藻类的报导。

这些赤潮藻类在世界上都是悉知的。在欧洲沿岸带它们的特征和基本的毒性效应列于表1。它们在全球范围的扩展可归因于商业船只压舱水运输中的传播。最近 Hua (1990)和 Holmes & Lam (1985)评述了中国沿岸带赤潮的发生和赤潮浮游植物种类的毒性效应(图1)。

表 1 欧洲沿岸带引起赤潮的主要浮游植物种类的特征和毒性效应

属	(照写)	(照写)	(照写)	(照抄)
纲	甲藻	甲藻	甲藻	定鞭金藻
发生区	沿岸带	沿岸带和近海	沿岸带	沿岸带和近海
峰季	夏	春末、秋初	春	春
毒性	DSP(腹泻型)	与溶血素相近的外毒素	PSP(神经麻痹型)	缺氧窒息型
对人类健康影响	有	无	有	无
对环境的影响	无	引起无脊椎动物和鱼类的大量死亡	无	产生泡沫, 引进无脊椎动物死亡并产生DMS

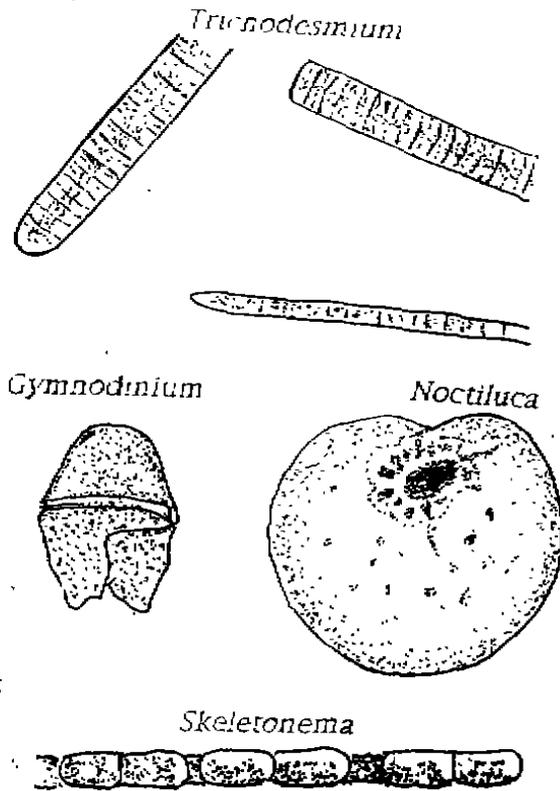


图 1 在中国海洋环境和沿岸带四种赤潮浮游植物代表种(Hua 1990; Sournia et al 1986, 1987)

二、决定藻类水华丰度和分布因素

以下几个因子通常被认为对于浮游植物水华的发展是重要的(Hallegraeff 1993; Sournia et al, 1991; ICES report No. 181. 1992)。

1. 种类的生长速率。由于浮游植物具有很高的分类学上的多样性, 需要有一批分类学专家和国家之间的合作。藻类物种的个体生态学行为和生理学的需求无疑在水华的形成中起着重要作用。在这方面, 甚至对一些很普通的浮游植物种类, 我们的认识仍不足。

2. 对光—温度的适应性。能够游动的藻类, 例如甲藻类, 可在密度跃层或密度跃层之下的富营养盐水体和表层之间垂直移动以找到适宜的光照和温度层。种间增长速率差异的发生, 光和温度起着重要作用, 特别是对于水华的形成。

3. 营养盐的需求(固氮作用, 氮, 磷比率, 有机氮和有机磷的利用)。高浓度营养盐对于水华形成的重要作用, 目前已被认可。营养盐浓度和不同种类的不同增长速率相结合影响着种间的竞争。但是在一些

水华发生时, 营养盐水平并不特别高, 再生营养盐的供应起着重要作用。对于许多水华而言, 可利用营养盐之间的平衡(例如氮, 磷比率的平衡)对于特定种类的繁衍似乎更加重要。

4. 微量元素(硅, 硒, 腐殖质)及其河流排放的变异。在欧洲水域所发生的几次鞭毛藻类的水华包括 *Chrysochromulina Polylepis Phaeocystis Spp.* 水华, 海水中硅浓度低就会使这些藻类的增长超过硅藻。在有关淡水藻类水华的论文中已广泛讨论的硅酸盐的限制作用, 在海洋水华的研究中也应给予重视。为使我们更加了解海洋中水华的演替, 一个重要的任务

是更多的收集海水以及河流排放的痕量元素浓度的数据。

5. 水文状况。水团锋系和具强密度跃层处通常与高丰度浮游植物的出现有关。在具不同水文结构的区域,某些种类更常见。如同卫星图象显示的那样,波罗的海表层水高浓度蓝绿藻的出现取决于水文状况,由于在欧洲的该海域仅在平静的天气蓝绿藻才聚集。

6. 具底栖阶段的种类,在该阶段成为“播种的浅滩”。已知有几种甲藻能在沉积物中产生胞囊,该沉积物对于产生新的水华起着播种温床的作用。这对浅海区、海湾和河口区尤其重要。这种胞囊萌发后很容易迁移到水层,当环境状况适宜时形成水华。

7. 摄食压,不可口性(unpalatability)。由于人类的活动,对罕见藻类水华的发生起着促进作用。海洋生态系,特别是沿岸带出现越来越多的生态不平衡迹象。加之摄食者(例如浮游动物)的存在期和不存在期的差异的影响。一定浮游植物种类对于摄食者的不可口性对于单种水华的形成或许也起着重要作用。摄食者的不存在减少了摄食压,对于水华中高的浮游植物细胞丰度的形成也起了重要作用。

8. 需要寻找具毒性效应的新种。研究工作中,也需要开阔思路来寻找一些可能性,例如毒素也可在一些通常被认为是无毒的藻类发现。*Chrysochromulina* 水华就是一个很好的例子,某毒素(Domoic 酸)也在加拿大水域中的硅藻*Nitzschia Pungens* 中发现(Douglas and Bates, 1991),或在一个新甲藻种中发现(Burkholder et al. 1992)

这些引起水华形成的相互作用因素示于图 2。

### 三、某些浮游植物毒素的性质

有毒浮游植物种类所产生的一些毒素的性质大多是已知的(Hallegraef 1993)。如DSP(腹泻型贝类中毒)化合物已从几种甲藻(*Dinophysis fortii* 和 *Prorocentrum Lima*)中分离出来。它们的结构接近于脂肪酸化合物,如Okadaic酸。藻类毒素的鉴定和定量已通过多种生物学和化学的方法而实现(见ICES报告No.181, 1992的述评)。例如, DSP测试通常用豚鼠来做,接种浮游植物毒素(鼠生物测试;即Yasumoto et al. 1985),而PSP(神经麻痹型贝类中毒)测试直接进行,使用HPLC(高效液相色谱法(Sullivan et al. 1985)。致死效应因毒藻的类型和毒素浓度不同而异。

对于人类,藻类毒素的致死效应通常是间接发生的,即在食用了被赤潮浮游植物污染的贝类之后。

虽然某些形成水华的藻类会产生无毒的粘液,但它可引起对环境和水产养殖的种种破坏(缺氧、泡沫和二甲硫醚—DMS)。DMS在大气中被氧化释出SO<sub>2</sub>,后者形成酸雨而降落到地面,从而引起森林的毁坏,河流和湖泊水质的酸化。

### 四、危害方式

赤潮生物的负作用在海洋中是直接可见的,使海水变色。同时它们对海洋生物和人类健康的影响也是可以检测的。但只有当它们对环境质量和海洋生物造成损失时才引起人们的重视。有害藻类具有直接的或间接的危害方式(如图3所示),这取决于它们初始的和最终的对象或受害者。

### 五、经济损失

赤潮造成的经济损失和公害的严重性,因浮游植物种类,赤潮发生的地点和季节而异。赤潮在中国造成的经济损失也有一些报导(Hua, 1990)。在其他国家,有许多事例表明伴随

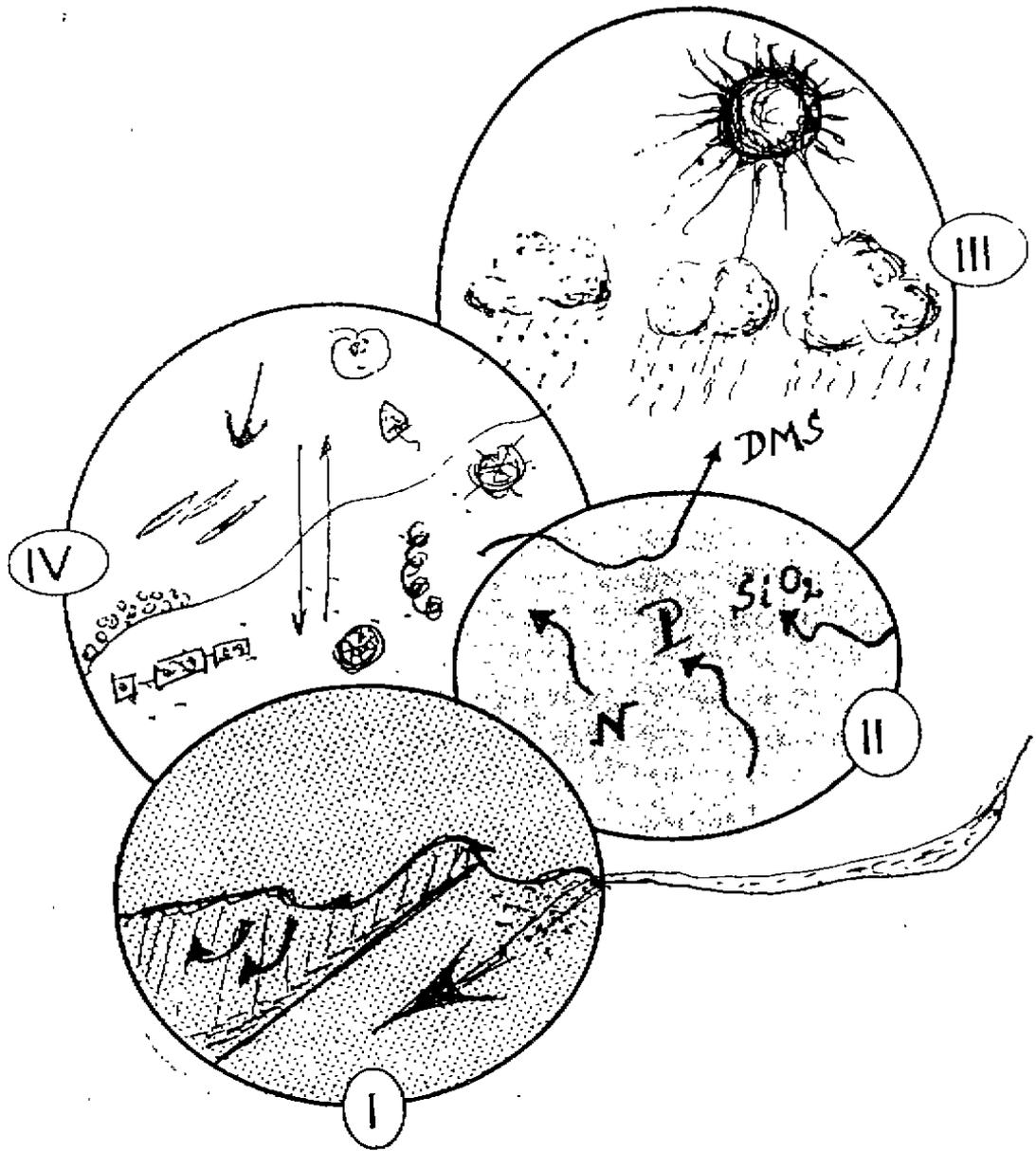


图 2 控制藻类水华形成和发展的几个相互作用因素的图示

I. 水动力、温度、盐度的层化，潮周期，混合和再悬浮；

II. 营养物质和微量元素输入和循环；III. 气象要素，如云覆盖率，

风速、风向和河流入海流；IV. 浮游植物种类的生物学特征(自 Lancelot et al, 1990)

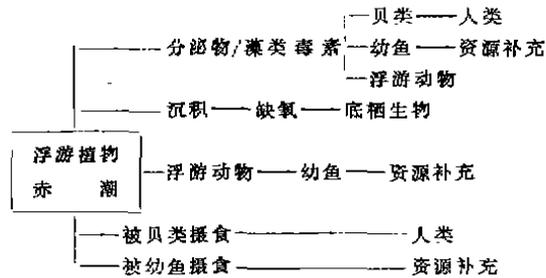


图3 有害藻类的各种活动方式和与人类有关的生物学网络

着赤潮的发生,就有因养殖生物死亡而造成经济损失(Smayda,1991)。例如在挪威1989年赤潮使养殖鲑鱼死亡造成的经济损失达500万美元,在智利,1986年损失2100万美元。日本1987年黄条鲷(Yellowtail)死亡损失达1500万美元。韩国1981年养殖牡蛎的损失超过6,000万美元。

在中国,赤潮造成严重的社会和经济后果是由于海产品有害人类健康,渔业和养殖业不得不暂时地或永久地停顿,引起众多工人的失业问题。

### 六、赤潮和富营养化

目前有两类浮游植物:1.出现在富营养的沿岸带水域,在那里氮和硅的浓度均高。这些种类形成细胞稠密的水华,它的出现与富营养化紧密相关。例如在欧洲,在英吉利海峡西部和北海沿岸带经常发生的*Phaeocystis*水华(Lancelot et al., 1991)。

2.发生于离岸的种类被沿岸流向岸携运。在这种情况下,环境因子(温度、水体层化、摄食压等)对其发展起着决定作用(Lancelot et al., 1990)。

越来越明显的一个问题是赤潮与浮游植物的多样性有关,该多样性是由沿岸带海洋生态系的暂时不平衡所引起的。这种生态系的不平衡通常是由于人类的活动造成污染和富营养化所产生的。例如在欧洲、日本和中国等,那里有世界上最密集的人口和工业的发展,而且大多分布于海岸线以内50公里区域。

通过河流和河口输入海洋生态系的无机氮( $\text{NO}_3$ 和 $\text{NH}_4$ )是一个问题。河流系统和河口区是具有最强烈的化学和生物过程的地带,强烈地影响着污染物和营养物从陆地向海洋的迁移。测定从各种大的水域输入海洋总氮量是很困难的。该通量与(1)生活废水的输入,(2)工业废水的输入,和(3)土壤沥滤的输入有关。营养物向海洋环境输送的源头和重要性必须了解并给予评价,以控制和管理沿岸海洋生态系。

### 七、赤潮的控制和防止:实践问题

目前,世界上没有任何一个国家能够控制赤潮。赤潮是偶然发生的和不可预测的。通常在春季和夏季发生,而且在沿岸带环境越来越频繁。人们已提出不同类型的解决方法:

1. 快速短期的解决方法。它们基于以下活动:
  - 鉴定有害浮游植物种类的技术员和专家的培训;
  - 在现有的海洋实验室,水产养殖场和研究所之间建立区域性的网络,以监测赤潮的发生、密度和变异;
  - 浮游植物调查和取样方法的规范化;
  - 在每一沿海省份建立一个中心来处理样品和分析数据,并建立数据库;
  - 建立一个中心,负责海产食品的质量控制。

通过上述工作能够作出赤潮发生的警报,并使赤潮的负效应得以防止。同时,在紧急情况下,可作出如下决策:

—临时关闭渔业和水产养殖场;

—限制和控制销售和购买水产食品;

—为保护水产养殖生物采取相应的措施(例如将水产养殖生物暂时转移到未污染的区域,通过原系统提取新鲜海水,海水经过滤等)。

2. 长期措施:制订长期措施来补充短期措施是十分必要的。未来海洋生态系良好的管理应当基于:

—控制和减小河口和沿岸带的污染和富营养化;

—加强基础研究,集中进行有毒浮游植物种类生物学,生态学,化学,生理学和遗传学的研究;

—加强基础研究,开展中国专家与国外专家的科技合作,以多学科的环境研究项目为基础,进行以赤潮的预测为目标的研究。

3. 其他措施。未来可应用高技术进行监测。

—在重点海区和经济上重要的水产养殖海区建立海水中毒素的直接和连续的监测,能够立即测知赤潮即将发生,并发出警报;

—对赤潮生物有特异性的选择性海洋除莠剂的开发和利用;

—开展可用于海产食品和能够抵御赤潮毒素的海洋生物的遗传和选择的研究;

—赤潮过程模式研究。

#### 八、需要进一步研究的方面

即使人们了解海洋生态系的复杂性和环境及生物学参数和过程的相关性,要预测赤潮的形成和发生仍然是很困难的。因此,许多研究者指出进一步更深入地研究的必要性(Lancelot et al. 1990; ICES report No 181, 1992)。

在非生物因子中,特别重要的,需进一步阐明的是水文—气象—水华之间的相互作用,特别是长期的分析研究。痕量元素、有机氮和磷及这些元素之间的平衡(比例)和有机化合物等对赤潮发生的作用是被忽视的研究领域,必须给予高度重视,以提高我们对水华发展的了解。生物学方面应加强研究的是,赤潮生物同其他营养阶层的相互作用,(摄食,同细菌的竞争和微型异养食物链),分类学和生活史(特别是定鞭藻类),并对水华种类底栖休眠阶段(胞囊)的研究给以重视。关于一些重要种类(危险种类)生长方式和生理需求的知识和培养技术和设备的改进也是必要的。今后在藻种、毒性和分类鉴定研究中,分子生物学方法的发展应当高度优先。长时间的趋势和从其他水域(包括淡水)获得的资料和历史资料(时间系列),应当尽可能多地吸收到研究项目中去。还应当进行危险情形的模式,并作为警报系统验证。

#### 参 考 文 献

- [1] Burkholder, J. M. et al. 1992. New "phantom" dinoflagellate is causative agent of major estuarine fish killings. *Nature*, 358:407—410.
- [2] Douglas D. J., and S. S. Bates. 1992. Production of domoic acid, a neurotoxic amino acid, by an axenic culture of the marine diatom *Nitzschia pungens* f. *multiseries* Hasle. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49:85—90.

- [3] Hallegraeff G. M. 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32:79—99.
- [4] Holmes P. R. and C. W. Y. Lam 1985. Red tides in Hong Kong Waters—response to a growing problem. *Asian Marine Biology* 2:1—10.
- [5] Hua, Z. 1990. Red tides in the sea areas of China and their countermeasures. *Collected Oceanic Works*. 13:72—81.
- [6] ICES report N° 181. —1992. Effects of harmful algal blooms on mariculture and marine fisheries. International Council for the Exploration of the Sea. pp. 38.
- [7] Lancelot, C. et al. 1990. Eutrophication and algal blooms in North Sea coastal zones, the Baltic and adjacent areas: prediction and assessment of preventive actions. *Water Pollution Research Report n° 12*. Edited by C. Lancelot et al., CEC, pp. 281.
- [8] Lancelot, C. et al. 1991. The dynamics of *Phaeocystis* blooms in nutrient enriched coastal zones. *Water pollution Research Report n° 23*. Edited by C. Lancelot et al., CEC. pp. 105.
- [9] Smayda, T. 1991. Global epidemic of noxious phytoplankton blooms and food chain consequences in large ecosystems. In: *Food chains, yields, models, and management of Large Marine Ecosystems*. Edited by K. Sherman, L. M. Alexander and B. D. Gold. pp. 215—307. Westview Press, USA.
- [10] Sournia, A. et al. 1986; 1987. *Atlas du phytoplancton marin*. Volumes N° 1, 2. Editions du CNRS. Paris, France.
- [11] Sournia, A. et al. 1991. *Le Phytoplancton nuisible des Côtes de France*. De la biologie à la prévention. IFREMER publication. pp. 154.
- [12] Sullivan, J. J. et al. 1985. The determination of PSP toxins by HPLC and autoanalyzer. In: *Toxic dinoflagellates*. pp. 275—280. Edited by D. M. Anderson, A. W. White, and D. G. Baden. Elsevier, New York, USA.
- [13] Yasumoto, C. M. et al. 1985. Diarrhetic shell-fish toxins. *Tetrahedron*, 41:1019—1025.

## “外海网板拖虾网渔具渔法开发研究”等四个项目 列入93年舟山市科研计划

为配合地方经济建设，加强海洋开发研究，我院海洋研究所余显炜的“外海网板拖虾网渔具渔法开发研究”，食品工程系夏达金的“低值水产品食品开发”，渔业生物研究所吴常文的“引诱梭子蟹配合饵料与装置研究”，水产养殖系王国良的“鲍鱼病、敌害的防治研究”列入舟山市一九九三年度科学技术研究项目计划(第一批)。

据讯，此项目计划是根据舟山市“八五”国民经济和社会发展规划，“八五”科学技术发展规划，在深入调查、专家把关的基础上制定而成，共立项目22项，其中工业7项、渔业7项、农业3项、医药卫生4项、其它1项，我院占总项目数的18.1%。

(王志铮)