

学校编码：10384

分类号_____密级_____

学 号：200126002

UDC_____

厦 门 大 学
硕 士 学 位 论 文

东海赤潮高发区硅藻生物多样性、种群
分布与群落演替动态研究

**Diatom Biodiversity, Population Distribution and
Community Succession in Main HAB Area of East China Sea**

虞秋波

指导教师姓名：高亚辉 教授 博导

专业名称：植 物 学

论文提交日期：2004 年 8 月 8 日

论文答辩日期：2004 年 8 月 14 日

学位授予日期：2004 年 月

答辩委员会主席：郑天凌 教 授 博导

评 阅 人：蓝东兆 研究员 博导

郑天凌 教 授 博导

2004 年 8 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文而产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

目 录

中文摘要	1
英文摘要	3
第一章 前 言.....	6
1.1 赤潮危害及研究进展.....	6
1.2 硅藻研究及其意义.....	15
1.3 东海赤潮高发区海域的环境特征与浮游植物研究概况.....	20
1.4 本课题的研究目的、意义	23
第二章 材料与方法	24
2.1 采样和样品处理方法.....	24
2.2 主要仪器设备	25
第三章 结果与分析	26
3.1 东海赤潮高发区海域的硅藻种类组成和细胞丰度	26
3.1.1 硅藻种类数及名录.....	26
3.1.2 硅藻平均细胞丰度的季节变化.....	35
3.2 东海赤潮高发区海域硅藻的生态分布	37
3.2.1 硅藻的平面分布	37
3.2.2 硅藻的垂直分布	46
3.3 优势种类及其分布.....	51
3.3.1 优势种类组成和细胞丰度.....	51
3.3.2 优势种的形态描述和生态分布	52
3.4 一次甲藻赤潮发生期间硅藻群落演替动态.....	63
3.4.1 东海原甲藻和硅藻在不同水层的平均细胞丰度比较	63

3.4.2 甲藻赤潮发生时与未发生时硅藻的丰度和种类比较	63
3.4.3 优势种组成.....	64
3.4.4 动态变化.....	64
第四章 讨论.....	66
4.1 东海赤潮高发区海域硅藻的生态学地位.....	66
4.2 生态因子对硅藻种类组成、细胞丰度和生态分布等的影响.....	67
4.3 我国各海域硅藻研究的比较.....	69
4.4 甲藻与硅藻群落演替动态.....	71
第五章 参考文献.....	74
第六章 致谢.....	82

Content

Abstract in Chinese	1
Abstract in English	3
Chapter 1 Preface	6
1.1 Harmful effects of red tide and advance in red tide research	6
1.2 The significance of diatom research	15
1.3 Geographical significance of the main HAB area of East China Sea	20
1.4 The purpose and the contents of this study	23
Chapter 2 Material and Methods	24
2.1 Sampling and sample processing method	24
2.2 Instruments and equipments	25
Chapter 3 Results and Discussion	26
3.1 The composition and cell density of diatom in the main HAB area of East China Sea	26
3.1.1 Diatom numbers and species list.....	26
3.1.2 Seasonal variations of average diatom cell density	35
3.2 Diatom ecological distribution in the main HAB area of East China Sea	37
3.2.1 Horizontal distribution of diatom.....	37
3.2.2 Vertical distribution of diatom	46
3.3 Composition and distribution of dominant species	51
3.3.1 Composition and cell density of dominant species	51
3.3.2 Classification description and ecological distribution of dominant	

species	52
3.4 Diatom community succession during a dinoflagellate bloom.....	63
3.4.1 The comparison of The cell density between <i>Prorocentrum</i> <i>donghaiense</i> and diatom at different layers	63
3.4.2 Comparison of cell density and composition between before and after the occurrence of the dinoflagellate bloom	63
3.4.3 Composition of dominant species	64
3.4.4 Dynamic variation.....	64
Chapter 4 Discussion	66
4.1 Ecological position of diatom in the main HAB area of East China Sea	66
4.2 Ecological factors to the composition, cell density and ecological distribution of diatom.....	67
4.3 The comparison of diatom research at different sea in China	69
4.4 Discussion of the diatom community succession in a dinoflagellate bloom.....	71
Chapter 5 References.....	74
Chapter 6 Acknowledgement	82

摘 要

长江口附近海域是我国重要的渔业和养殖基地，同时也是赤潮高发区。硅藻是海洋浮游植物的重要组成类群，同时也是赤潮生物的重要类群。本论文通过对东海赤潮高发区硅藻的生物多样性、种群分布特征和群落演替动态等的研究，为分析东海赤潮成因和赤潮监测等提供基础数据和科学依据。

本文于2002年5月-2003年5月在东海赤潮高发区(范围在 122° - 123.5° E, 29° - 32° N)通过五个航次的调查(2002年5月、8月、11月和2003年2月、5月),研究了该海区硅藻的生物多样性、种群分布特征与群落演替动态。结果如下:

1. 在五个航次的样品中共鉴定出硅藻179个种和变种,隶属于53个属,其中赤潮硅藻有27种。8月和11月样品中硅藻的种类多样性较高,鉴定出的硅藻种类数(分别为107和108种)大于5月和2月样品中的硅藻种类数(分别为88和85种)。

2. 无论是表层、中层还是底层,2002年8月样品中硅藻的平均细胞丰度均最高(分别为 1.15×10^6 cells/L、 4.93×10^5 cells/L和 2.26×10^5 cells/L),其次是11月(分别为 1.58×10^4 cells/L、 1.15×10^4 cells/L、 1.64×10^4 cells/L)。5月和2月样品中硅藻的平均细胞丰度较接近,但均处于较低水平(5月份分别为 2.08×10^3 cells/L、 6.62×10^2 cells/L和 1.55×10^3 cells/L,2月份分别为 4.01×10^3 cells/L、 3.28×10^3 cells/L和 5.08×10^3 cells/L)。2003年5月表、中层样品中硅藻平均细胞丰度(分别为 2.08×10^3 cells/L和 6.62×10^2 cells/L)与2002年5月(4.45×10^3 cells/L, 5.11×10^3 cells/L)相比较变化不大。

3. 在五个航次中,不同水层的硅藻细胞丰度分布各不相同,高值区也不相同。2002年5月与2003年5月的表层硅藻最高细胞丰度差别不大,出现的位置也很接近,均在东经 123° ,北纬 31° 附近。2002年5月的最高细胞

丰度出现在 DD15 站位 (1.85×10^4 cells/L), 2003 年 5 月的最高细胞丰度出现在 HD17 站位 (1.62×10^4 cells/L)。2002 年 8 月不同水层最高细胞丰度值和最低值相差很大, 尤其是在表层, 相差达 10^4 cells/L。2002 年 11 月和 2003 年 2 月表层、中层和底层的细胞丰度高值区均出现在北纬 31° 断面。

4. 在东海赤潮高发区海域, 大部分站位的表层硅藻细胞丰度高于中层。

5. 2002 年 5 月的硅藻优势种是柔弱拟菱形藻 (*Pseudo-nitzschia delicatissima*)、具槽直链藻 (*Melosira sulcata*) 和尖刺拟菱形藻 (*Pseudo-nitzschia pungens*) 2002 年 8 月的优势种是中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*)、角毛藻 (*Chaetoceros* spp.) 和柔弱拟菱形藻; 2002 年 11 月的优势种是中肋骨条藻、角毛藻和菱形海线藻 (*Thalassionema nitzschioides*); 2003 年 2 月的优势种是中肋骨条藻和具槽直链藻 (*Melosira sulcata*); 2003 年 5 月的优势种是柔弱拟菱形藻和中肋骨条藻。

6. 在本调查中发现, 东海赤潮高发区海域中柔弱拟菱形藻 *P. delicatissima* 和尖刺拟菱形藻 *P. pungens* 的平均细胞丰度, 8 月最高, 2 月最低, 呈现 8 月 > 5 月 > 11 月 > 2 月的变化规律。

7. 甲藻赤潮发生时, 硅藻种类多样性和细胞丰度都下降, 未发生赤潮时硅藻的种类数和平均丰度分别为 88 种、 4.61×10^3 cells/L; 赤潮时硅藻的种类数和平均丰度分别为 33 种、 1.85×10^3 cells/L。通过鉴定分析, 发现占绝对优势的是柔弱拟菱形藻, 平均丰度为 7.8×10^2 cells/L, 占 42%; 其次是具槽直链藻, 平均丰度 2.4×10^2 cells/L, 占 13.2%; 尖刺拟菱形藻, 平均丰度 2×10^2 cells/L, 占 10.6%。阐明了丰度变化趋势一般是东海原甲藻丰度升高时, 硅藻丰度降低, 东海原甲藻丰度降低时, 硅藻丰度升高。

关键词：硅藻；赤潮；东海赤潮高发区；分类；生态

Diatom Biodiversity, Population Distribution and Community Succession in Main HAB Area of East China Sea

Abstract

The Changjiang Estuary area is the important area of fishery and breed aquacultures, while there have been high frequency of red tide in this area. Diatoms play an important role in the food chain, which are important component of phytoplankton, and some of them are red tide causative species. This paper focus on the study of diatom biodiversity, population distribution and community succession in the the main HAB area of East China Sea, which will provide basic data and science for red tide studies in the main HAB area of East China Sea.

Diatom biodiversity, population distribution and community succession were studied from May ,2002 to May, 2003 in main HAB area of East China Sea (122 ° -123.5 ° E , 29 ° -32 ° N) by five cruises (May, August, November, 2002 and February, May, 2003). The results were showed as follow:

1. Totally 179 diatom species and varieties belonging to 53 genera were identified in samples of five cruises. The numbers of diatom species in August and November, 2002 (107 and 108 species respectively) were more than which in May and February, 2002 (88 and 85 species respectively).

2. The average diatom cell density was highest in August, 2002 (surface layer: 1.15×10^6 cells/L, middle layer: 4.93×10^5 cells/L, bottom layer: 2.26×10^5 cells/L), then followed by November (surface layer: 1.58×10^4 cells/L, middle layer: 1.15×10^4 cells/L, bottom layer: 1.64×10^4 cells/L). It was lower in February, 2003 (surface layer: 4.01×10^3 cells/L, middle layer: 3.28×10^3 cells/L, bottom layer: 5.08×10^3 cells/L) and May, 2003 (surface layer: 2.08×10^3 cells/L, middle layer: 6.62

$\times 10^2$ cells/L, bottom layer: 1.55×10^3 cells/L). Comparing with May, 2002 (surface layer: 4.45×10^3 cells/L, middle layer: 5.11×10^3 cells/L), the average diatom cell density was a little lower in May, 2003 (surface layer: 2.08×10^3 cells/L, middle layer 6.62×10^2 cells/L, bottom layer: 1.55×10^3 cells/L), especially showed in middle layer.

3. The distribution of diatom was different at different layers and different months. The higher diatom cell density was occurred near 123° E, 31° N both in May, 2002 and 2003.

4. Generally, the diatom cell density was higher in surface layer than in middle layer.

5. The dominant species were *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Melosira sulcata* and *Pseudo-nitzschia pungens* in May, 2002; *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp., *Pseudo-nitzschia delicatissima* were dominant species in August, 2002; *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp., *Thalassionema nitzschioides* were dominant species in November, 2002; *Skeletonema costatum* and *Melosira sulcata* were dominant species in February, 2003; *Pseudo-nitzschia delicatissima* and *Skeletonema costatum* were dominant species in May, 2003.

6. The average diatom cell density of *Pseudo-nitzschia delicatissima* and *Pseudo-nitzschia pungens* was highest in August and lowest in February. In general, the average diatom cell density varied in the following tendency: August > May > November > February.

7. The species diversity and cell density of diatoms were decreased with the development of the dinoflagellate (*Prorocentrum donghaiense*) red tide. Before the occurrence of the red tide, the number of the species was 88, and the average cell density was 4.61×10^3 cells/L; when the red tide occurred, the number of the

species was 33, and the average cell density was 1.85×10^3 cells/L. The species composition, dominant species composition of diatoms were investigated and the results showed that the most dominant species during dinoflagellate red tide was *Pseudo-nitzschia delicatissima*, with the cell density of 7.8×10^2 cells/L, which accounted for 42%, followed by *Melosira sulcata* and *Pseudo-nitzschia pungens*, the average cell density and proportion of them were 2.4×10^2 cells/L, 13.2%, and 2×10^2 cells/L, 10.6%. The dynamic process of phytoplankton communities succession was studied. Generally, with the increase of the cell density of dinoflagellate, the cell density of diatom was decreased, while with the decrease of the cell density of dinoflagellate, the cell density of diatom was increased.

Key words: Diatom, Red tide, Main HAB Area of East China Sea, Taxonomy;
Ecology

第一章 前 言

在我国已发现的 4000 多种海洋浮游微藻中有 260 多种能产生赤潮，其中有 70 多种能产生毒素^[1]。浮游硅藻不仅是近海海洋浮游植物的重要组成类群，也是近海赤潮生物中的重要类群^[1, 2]。因此，在近海赤潮浮游生物调查研究中，硅藻是重要的研究对象。它们不仅可以直接引发赤潮，而且与其它赤潮生物之间的竞争和群落演替关系与赤潮发生关系密切，因此，对硅藻的研究在赤潮的成因、监测、防治等方面有重要的意义。

东海长江口、舟山附近海域是重要的渔业和养殖基地，同时也是赤潮高发区，由于其重要的地理位置和独特的环境特征，成为诸多研究的焦点。自 1958 年开始，国内外学者对长江口海区的浮游植物生态进行过多次调查研究^[3-8]。但范围一般比较小，而且获得的研究资料也比较零散。为了系统地研究东海赤潮的爆发机理，为赤潮防治提供科学依据，2002 年开始，“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”对长江口、舟山附近海域进行了物理、化学、生物等综合的调查研究。

本论文主要针对该海域硅藻生物多样性、种群分布和群落演替动态进行调查研究。

1.1 赤潮危害及研究进展

赤潮 (red tide) 泛指由于某些海洋浮游生物的过度繁殖造成海水变色 (一般为红色) 的现象，在香港则称之为“红潮”。由于引起海水变色的赤潮藻 (有时是原生动植物) 不同，所以有时所造成的海水颜色也不尽是红色，还有绿色，褐色等。近年来，国际科学界将那些造成直接危害的赤潮，称为有害藻水华 (harmful algal bloom, HAB)^[9]。

赤潮发生时，会造成海洋食物链局部中断，破坏海洋的正常生产过程。同时，赤潮生物的大量繁殖和死亡不仅威胁着海洋生物的生存，危害海洋生态环境，给海洋渔业、海水养殖业和滨海旅游业等造成一定的危害和经济损失，而且还会给人类健康和生命安全带来威胁。由于发生赤潮的种类、季节、海区及成因的不同，因而其危害方式及危害程度有着很大的差异。综合分析国内外有关研究成果，将赤潮危害方式归纳为：

1. 遮蔽海面，使其他生物生长因得不到充足阳光而受影响。赤潮生物一般密集于表层几十厘米以内，使阳光难于透过表层，水下其他生物因得不到充足的阳光而影响其生存和繁殖。在赤潮持续时间长，密度高时经常会使底层海洋生物死亡。

2. 导致水体缺氧，使海洋生物死亡。由于大量赤潮生物死亡后，在分解过程中不断消耗水体中的溶解氧，使水体溶解氧含量急剧下降，引起鱼、虾、贝类等因缺氧而大量死亡。在缺氧条件下分解过程还会产生大量硫化氢和甲烷等，这些物质也能置鱼、虾等海洋生物于死地。

3. 分泌或产生黏液黏附于鱼类等海洋生物的鳃上，妨碍其呼吸作用，导致其窒息死亡。如夜光藻、凸角角毛藻 (*Chaetoceros concavicornis*) 等能向体外分泌黏液或者在死亡分解后产生黏液。这种危害方式对养殖鱼类和固定附着生活的贝类危害较大。

4. 分泌有害物质（如氨、硫化氢）。如夜光藻大量繁殖时会造成水体氨浓度剧增，使周围其他生物中毒。且当它们死亡分解时会产生硫化氢使水体变质，危害水体生态环境。有些赤潮生物能渗透出高浓度的氨和磷，诱发有毒的微小原甲藻 (*Prorocentrum minimum*) 大量繁殖乃至发生赤潮，而微小原甲藻是一种能产生腹泻性贝毒的有毒藻类，一旦它发生赤潮，其危害性就更大。

5. 产生毒素。有些赤潮生物能引起摄食者中毒死亡。如麻痹性贝毒的链

状亚历山大藻 (*Alexandrium catenella*)、塔玛亚历山大藻 (*Alexandrium tamarense*)、多边膝沟藻 (*Gonyaulax polyedra*) 等;能产生神经性贝毒毒素的短裸甲藻 (*Gymnodinium breve*);能产生腹泻性贝毒的具尾鳍藻 (*Dinophysis caudate*)、微小原甲藻 (*Prorocentrum minimum*) 等^[9]。海洋卡盾藻 (*Chattonella marina*) 也属于有毒种类^[25]。最近国外有关专家报道尖刺拟菱形藻多纹变型 (*Pseudo-nitzschia pungens f. multiseries*) 可产生记忆缺失性贝毒 (ASP), 并可在贝类体内富集, 摄食入人体后会产生头晕、呕吐和健忘失忆等症状, 严重者可导致死亡。有些有毒赤潮生物平时不释放毒素, 但在繁殖代谢过程和死亡分解后, 其体内的毒素便释放到海水中, 如多边膝沟藻。有些赤潮生物虽然含有毒素, 但其毒素对贝类、鱼类无害或者不足以毒死鱼类和贝类, 而是积累在它们体内, 如果人食用了这些含毒的贝类或鱼类, 就会发生中毒, 甚至死亡。1986年11月, 福建省东山居民因食用含有赤潮毒素的菲律宾蛤 (*Ruditapes philippensis*) 造成136人中毒, 其中1人死亡^[26]。1991年3月, 大亚湾附近居民因食用含有赤潮毒素的翡翠贻贝 (*Mytilus viridis*), 造成4人中毒, 其中2人死亡^[27]。据统计, 浙江省1967-1979年发生因食用受赤潮毒素污染的织纹螺 (*Nassarius* sp.) 而导致的中毒事件就有40达多起, 中毒患者423人, 死亡23人^[28]。近年来, 人们因食用受赤潮毒素污染的海洋生物而发生中毒事件频繁出现在各媒体中。

6. 影响滨海旅游业。赤潮发生期间或赤潮发生后, 赤潮生物和死亡的鱼、贝类等分解会产生有毒的海洋气溶胶颗粒, 引起人体呼吸道中毒, 或者由于皮肤接触有赤潮生物毒素的海水而引起皮肤感染, 从而影响海水浴场和滨海旅游业。尤其是赤潮生物大量死亡或因赤潮导致鱼贝类大量死亡后, 常会散发出难闻的臭味, 使海滨暂时失去旅游价值。1980年9月在香港吐露港发生的一次大量鱼类和无脊椎动物致死的赤潮事件中, 腐烂产生的恶臭气体严重影响了该地区的旅游业^[29]。

赤潮现象自古有之，但古代赤潮发生的次数非常稀少。20 世纪以来，由于工农业迅速发展，沿海地区人口激增，大量的工业废水和城市生活污水未经处理直接排放到海洋中，造成内湾、河口和沿岸水域的严重有机污染和富营养化，赤潮的发生频率不断升高。并且，赤潮影响的水域面积越来越大，引发赤潮的藻种也越来越多^[10]。如引起麻痹性贝毒的赤潮 1970-1990 年间在全球扩展很快。20 世纪 70 年代亚历山大藻 (*A. catenella* 及 *A. tamarensis*) 仅知在欧洲及北美、日本的温带海域出现，但在 90 年代就扩展到了南半球。原本不知的链状裸甲藻 (*Gymnodinium catenatum*) 1985-1987 年在西班牙东北海域年年发生赤潮。这种有毒藻以前只在美国加利福尼亚州有记载，目前已扩展到中国、日本及塔斯马尼亚等地。新赤潮藻产生也越来越多，如 1985 年在纽约长岛发生的定鞭藻 (*Aureococcus anourexeffereus*) 褐藻是一种前所未有的赤潮藻^[9]。在我国以前从未发生过赤潮的异弯藻 (*Heterosigma akashiwo*)，1985-1987 年连续在大连湾发生赤潮^[18]。在大鹏湾首次出现的海洋褐胞藻 (*Chattonella marina*) 赤潮等都是新赤潮种发展的例证^[19]。

当前，每一个拥有海岸线的国家都受到赤潮的威胁。在日本，由于甲藻及针孢藻赤潮造成的渔业损失，每年都在 10 亿日元以上。在墨西哥，1996 年的环境问题 45% 是赤潮造成的，仅仅在贝类方面的损失就达几百万美元之巨。在南非西海岸，仅 1997 年一次叉角藻 (*Ceratium furca*) 赤潮就造成 2000 吨龙虾死亡，价值达 5000 万美元。在菲律宾，1983 年以来有毒藻类造成的中毒事件，使 PSP 中毒事件就逾 2000 例，造成 115 人死亡^[9]。因此，赤潮已经成为世界沿海国家所面临的主要海洋环境问题，引起了国际上的广泛关注。许多临海国家已投入大量的人力和物力进行赤潮研究。

世界各国对赤潮的研究主要包括：

1. 赤潮藻的分类问题。赤潮生物的分类学研究是赤潮研究最基本的课题之一，是研究赤潮发生机理、预测和防治的基础。由于种类繁多，个体微小，

过去赤潮生物的分类学研究进展比较缓慢。近年来,随着电子显微镜的应用,赤潮生物的分类及其亚显微的应用,赤潮生物的分类及其亚显微结构的研究得以迅速发展。Parke 和 Pi xson 整理发表了英国周围水域的微藻名录^[16]。1990 年,日本出版了《日本的赤潮生物》一书,全面系统地介绍了日本和东南亚近岸水域内的 200 种赤潮生物的形态特征、生活史、生活环境分类和分类史^[13]。Sournia(1995)^[20]做了一个统计,认为海洋中有 3365-4024 种浮游藻类,其中赤潮种约占 6%,为 184-267 种,有毒种约占 2%,为 60-78 种。然而目前,对一些赤潮生物的分类标准,在分类学家之间存在很大的分歧,对于一个种可能提出不同的种名,因而文献中时常出现赤潮生物名称混用的现象。有些赤潮生物具有遗传多型性,即一个种可以有多个遗传型,可能具有不同的形态特征,这是造成赤潮生物分类混乱的客观原因。同时由于赤潮生物多为单细胞藻类,它们对环境适应的遗传影响应非常迅速,在不同的水体常产生形态有一定差异的变种,这也为分类造成了较大的困难,这些都给赤潮生物的鉴定,分类工作带来了困难,使许多沿海国家在赤潮监测计划中或赤潮发生期间不能对赤潮生物进行快速、准确的识别^[13]。赤潮藻的分类在近 10 年来还是有了很大的发展,有些种类经过反复研究及使用先进的手段(如 PCR 法,荧光免疫法, RNA、DNA 序列分析等),使许多疑难问题得到澄清,因此在名称上有些改动^[21]。

2. 赤潮发生的动力学及机制问题。研究赤潮发生的动力学及机制问题是当今工作做得最多的一个方面。不同种赤潮发生的机制有所不同这已达共识。在许多赤潮发生过程中,那些在生活史中发生孢囊的种类,其孢囊的分类、萌发及发育往往是赤潮发生的基础,成为近年来研究的热门课题。目前,专家们对赤潮形成的机制从不同规模的尺度开展研究。大尺度全球规模的研究包括对在南非南 Bengul ea 赤潮发生中季风及气候的作用;对西班牙西北湾内及邻近海域的平流及扩散流的影响;芬兰湾的锋面流等的作用对赤潮发

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库