

学校编码: 10384
学号: 200227023

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦 门 大 学
硕 士 学 位 论 文

厦门近岸海域外来甲藻的入侵研究

The Study of Exotic Dinoflagellate in Sea Area
around Xiamen Island

孙美琴

指导教师姓名: 徐茂泉 副教授

李超 副教授

专业名称: 海洋地质

论文提交日期: 2005年7月

论文答辩时间: 2005年7月

学位授予日期: 2005年

答辩委员会主席: 蓝东兆 研究员

评 阅 人: 蓝东兆 黄凌风

2005年7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）：

2005年 07月 日

目 录

中文摘要	1
英文摘要	3
第一章 绪论	5
1 研究概述	5
1.1 世界生物入侵的概况	5
1.2 海洋生物入侵概况	7
1.3 有毒甲藻的危害及研究进展	9
1.4 厦门海域甲藻及孢囊的研究概况	11
2 本研究的目的是和意义	12
第二章 厦门近岸海域甲藻细胞的研究	15
1 材料与方法	15
1.1 样品采集	15
1.2 样品分析	16
1.3 主要仪器设备	17
2 结果与分析	17
2.1 甲藻细胞各属种特征	17
2.2 2003 年 4 月水体中甲藻的平面分布特征	26
2.3 2003 年 4 月水体中甲藻的垂直分布特征	28
2.4 2004 年 7 月水体中甲藻的平面分布特征	28
2.5 2004 年 7 月水体中甲藻的垂直分布特征	30
2.6 水体中甲藻的季节变化	31
2.7 厦门近岸海域甲藻的主要优势种类组成	31

第三章 厦门近岸海域甲藻孢囊的研究	33
1 材料与方法	34
1.1 样品采集.....	34
1.2 样品分析.....	35
1.2.1 甲藻孢囊的处理.....	35
1.2.2 沉积速率测定.....	35
2 结果与分析	36
2.1 甲藻休眠孢囊的分类及属种特征.....	36
2.2 2003年4月表层沉积物中甲藻孢囊的平面分布特征.....	43
2.3 2005年1月表层沉积物中甲藻孢囊的平面分布特征.....	44
2.4 XD-2岩芯沉积物中甲藻休眠孢囊的垂直分布特征.....	45
2.5 XD-2岩芯沉积物中有毒有害甲藻休眠孢囊的分布特征.....	46
2.6 XD-2岩芯的沉积速率.....	47
第四章 厦门近岸海域传入的外来甲藻种类	49
1 厦门海域历史记录的甲藻及孢囊	49
2 本研究发现的甲藻及孢囊种类	55
3 厦门海域传入的甲藻种类	55
3.1 本研究新增记录的甲藻及孢囊.....	55
3.2 厦门海域新记录的甲藻细胞分布特征.....	56
3.3 厦门海域外来甲藻的传入年代.....	58
第五章 厦门海域船舶压舱水对甲藻传入的作用	61
1 材料与方法	62

1.1	样品采集	62
1.2	样品分析	63
2	结果和讨论	64
2.1	压舱水中发现的甲藻及孢囊	64
2.1.1	本次调查发现的甲藻及孢囊	64
2.1.2	国外压舱水中调查发现的甲藻及孢囊	65
2.2	压舱水的水质状况分析	68
2.2.1	水温	70
2.2.2	pH 值	70
2.2.3	盐度	70
2.2.4	DO 值	71
2.2.5	营养盐	72
2.3	压舱水引发外来甲藻新入侵的可能性	73
第六章	结语	75
1	主要研究结果	75
2	本研究的创新点	76
3	本研究的不足之处	77
	附表	78
	图版	92
	参考文献	105
	发表的论文	112
	致谢	114

摘 要

本文对厦门近岸海域水体中的甲藻，表层及柱状沉积物中的甲藻孢囊进行了研究；结合历史研究资料初步查明了厦门近岸海域外来甲藻的种类、丰度、分布规律，并根据对柱状沉积物的²¹⁰Pb测年，对外来甲藻的传入年代进行了标定。并对进入厦门港的国内外多艘船舶的压舱水和水舱中沉泥进行了样品采集，测定了压舱水的主要生态因子，对采集样品中的甲藻及孢囊进行鉴定和统计，来分析船舶压舱水在外来甲藻入侵途径中的作用以及造成外来甲藻新入侵的可能性。

1、分别于2003年春季（4月）和2004年秋季（7月）在厦门近岸海域进行了甲藻样品的采集、鉴定和计数，共发现15属45种甲藻，包括8种有毒种类和3种有害种类。

2、水体中甲藻的分布于厦门西海域和九龙江口的丰度较高，浔江区丰度最低。甲藻在垂直方向上的分布主要表现为表层丰度高，下部层位丰度较低的特征。

3、通过二个月份不同航次对研究海域共21个站位进行了海底表层和柱状沉积物样品的采集、分析鉴定与统计，共发现了甲藻休眠孢囊12属33种，另外4种不定种；其中有有毒种类5种，有害种类3种。

4、本次调查共鉴定出甲藻及其孢囊共计18属59种及4个不定种，其中有10种为有毒种类，3种为有害种类。通过与历史资料对比分析以及沉积物中的甲藻孢囊记录，鉴别出15种为新记录种类（不包括不定种），其中可以确定出为外来入侵的甲藻5种：*Gonyaulax verior*，*Protoperidinium compressum*，*Protoperidinium conicoides*，*Protoperidinium subinerme*，*Zygabikodinium lenticulatum*，根据这5种甲藻的孢囊在沉积物中的分布特征、最早出现的层位以及²¹⁰Pb测年数据，

对它们传入厦门海域年代进行了确定。

5、通过对进入厦门港的国内外多艘船舶的压舱水和水舱中沉泥样品的采集、主要水质因子的测定与甲藻及其孢囊的鉴定统计，来分析船舶压舱水在外来甲藻入侵途径中的作用。本次于多艘船舶压舱水及沉积物中发现 12 种甲藻及孢囊，并发现其中有 3 种为有毒种类，1 种为有害种类。压舱水的生态因子测定的结果表明，不同航线的国内外船舶、以及同条船的不同压载舱之间存在一定差异，并与厦门海域海水存在一定差异。分析了压舱水中有毒甲藻的生存条件，探讨了压舱水在甲藻入侵中的作用以及引发外来甲藻新入侵的可能性。

关键词:甲藻及孢囊；外来入侵；压舱水

ABSTRACT

The dinoflagellate cells in water column and the dinoflagellate cysts in marine sediment and XD-2 Core are studied in sea area around Xiamen island. According to the formerly datas in Xiamen Bay and the distribution of ^{210}Pb in sediment core, we find out the species composition, the density, the distribution characteristic and the invasion age of exotic dinoflagellate in sea area around Xiamen island. The ballast water and sediment in the overseas ships anchored in Xiamen harbour are also collected, the water quality are analyzed, and the dinoflagellate cells in water column and the dinoflagellate cysts in sediment are identified. We analyse the the possibility of survival for dinoflagellate cells and cysts into Xiamen harbour, and discuss the function of the ballast water as the invasion medium of exotic dinoflagellate cells and cysts.

1. The water sample was collected from each sampling station in Xiamen Bay in Spring,2003(Apr.)and Autumn,2004(Jul.). The dinoflagellate cells were studied by biology microscope (NikonE400). 45 species dinoflagellate cells belonging to 15 genera and were found in water samples of Xiamen Bay. In total 45 species dinoflagellate, 8 species are toxic, 3 species are harmful.

2. The highest cell density of dinoflagellate occured in Xiamen west harbour and Jiulong River estuary, the lowest cell density of dinoflagellate occured in sea area of Xunjiang. The average cell numbers distributing at surface layer was higher than that at bottom.

3. The sediment sample was collected from 21 sampling stations in Xiamen Bay in Spring,2003(Apr.)and Spring,2005(Jan.). 33 species belonging to 12 genera and 4 unidentified species dinoflagellate cysts were found in water samples of Xiamen Bay. In total 33 dinoflagellate, 5 species

are toxic, 3 species are harmful.

4. 59 species belonging to 18 genera and 4 unidentified species dinoflagellate cells and cysts were found in sea area around Xiamen island, in total 59 species dinoflagellate cells and cysts, 10 species are toxic, 3 species are harmful. There are 19 species belonging to 8 genera in dinoflagellate cells and cysts. we statistic 15 new record species dinoflagellate compared with the formerly datas in Xiamen Bay, and define 5 species exotic dinoflagellate into Xiamen Bay, they are *Gonyaulax verior*, *Protoperidinium compressum*, *Protoperidinium conicoides*, *Protoperidinium subinerme*, *Zygabikodinium lenticulatum*. According to the distribution of ^{210}Pb in sediment core and the depth of the 5 species dinoflagellate cysts being occurred in sediment, we discuss the invasion age of this 5 species exotic dinoflagellate into sea area around Xiamen island.

5. 12 species dinoflagellate cells and cysts were found in the ballast water and sediment in the overseas ships anchored in Xiamen harbor, in total 12 species dinoflagellate cells and cysts, 3 species are toxic, 1 species are harmful. According to analysis of the water quality, DO of ballast water have obvious difference with that of the water in Xiamen Bay. Finally, we analyse the possibility of survival for dinoflagellate cells and cysts into Xiamen harbour, and discuss the function of the ballast water as the invasion medium of exotic dinoflagellate cells and cysts.

Keyword: dinoflagellate cells and cysts; exotic invasion ; ballast water

第一章 绪论

生物入侵是一种生物从它的原产地，通过非自然途径迁移到新的生态环境下生存繁殖的过程。随着全球经济一体化步伐的加快，国内外贸易往来日益频繁，生物入侵的机率也大大增加，生物入侵已成为一个世界性的生态和经济问题，它甚至被认为是 21 世纪 4 个最棘手的环境问题之一（其他 3 个问题为“全球变化”、“海洋资源过度开发”和“生境丧失”）。生物在自然演化过程中，由于高山、大海和沙漠等这些天然屏障的阻隔，不同的生物往往仅局限于一定的区域内生息演化。然而，随着国际贸易的发展和人类交往的增加以及全球环境的变化，越来越多的生物可以借助于人类的活动而跨越原来的天然屏障造成生物入侵，这种情况已经越来越严重、越来越突出而日益受到高度重视^[1]。我们知道，对环境造成危害的诸多污染是惰性的、不会再生繁殖与扩张的，并且会随时间的推移而逐渐消失。但是，外来生物一旦入侵成功，要想彻底从本地生态系统中根除极为困难甚至是不可能的，并且外来生物将会长期对入侵地的本地物种、生态环境、社会经济产生严重的危害。

1 研究概述

1.1 世界生物入侵概况

世界上许多国家都发生过严重的生物入侵事件。诸如澳大利亚于 1859 年人为原因造成外来野兔的泛滥成灾，给畜牧业带来惨重损失的兔子入侵事件^[2]；1921 年欧洲玉米螟入侵到美国，30 年后每年仅由该

虫造成的经济损失以及防治费用就高达 3.5 亿美元^[3]；1996 年东亚光肩星天牛入侵到美国并迅速扩散，据估算该种天牛给美国造成的经济损失可高达 1380 亿美元，美国目前每年要因“生物入侵”而损失 1370 亿美元；印度、南非向联合国提交的研究报告称，每年因生物入侵造成的经济损失分别为 1300 亿美元和 800 亿美元^[4]。艾滋病毒的出现并在全球范围的扩散、非典型肺炎、禽流感的爆发与蔓延，对许多国家来说是一种可怕的病毒入侵，它们已给整个人类社会带来了极大危害，也造成了难以估算的经济损失！

在我国，外来物种的入侵已十分严重。森林入侵害虫，如美国白蛾、斑潜蝇、松材线虫、松突圆蚧、日本松干蚧、湿地松粉蚧等每年危害的森林面积约在 150 万公顷左右；稻水象甲虫、马铃薯甲虫、非洲大蜗牛等入侵的害虫危害的面积达到 140~160 万公顷；紫茎泽兰、薇甘菊、喜旱莲子草、豚草、毒麦、飞机草、凤眼莲、大米草等肆意蔓延，已经到了难以控制的局面。据统计，仅几种主要外来入侵物种给我国造成的经济损失平均每年达 574 亿元，入侵种造成的总体损失估计为每年数千亿元人民币之多^[1, 4, 5]！

由于外来入侵生物可以给入侵地带来极为严重的危害，国外许多国家与地区都开展了生物入侵的相关研究工作，如美国国家入侵物种委员会^[6]、美国佛罗里达加勒比海地质调查科学中心^[7]、澳大利亚^[8]、新西兰^[9]、香港^[10]等。其中，美国前任总统克林顿于 1999 年 2 月 8 日签署了一份针对外来生物入侵的总统令^[11]；许多机构、学者针对入侵生物种类^[7]、入侵途径^[12]、生态危害^[13]、防治^[14]等各方面进行了较为深入的研究，并取得了丰硕的研究成果。在我国，外来生物入侵严重，造成的损失也十分巨大，因此不少学者也开展了生物入侵理论^[1, 4]、生态保护^[15]、入侵机制探讨^[16]、管理对策^[16, 17]、治理方法^[5]的研究工作。

国家环保总局已于 2003 年 1 月 13 日正式发布针对外来入侵物种管理的法规：“关于加强外来入侵物种防治工作的通知”，并发布中国第一批 16 种外来入侵物种的名单；国务院办公厅于 2003 年 4 月 13 日发布了“关于加强防范外来有害生物传入工作的意见”，这两条法规的出台必将有助于我国今后对外来入侵物种的管理及研究工作^[18]。

1.2 海洋生物入侵概况

生物入侵除了在陆地、内陆淡水水域环境内广泛发生外，在海域水体中也存在着严重的生物入侵。我国福建省于 1983 年从美国引入的大米草，如今已“霸占”全省约 2/3 的海滩，致使大片红树林消亡，同时大米草影响海水交换能力，导致水质下降并引发赤潮，使得大量的沿海生物死亡，破坏了潮间带的海洋生态系统，已经给福建省的海洋生态、社会经济带来不可估量的损失^[19-21]。另外，厦门和东山海域遭到原产于中美洲的沙筛贝的入侵，已成为上述海域的优势种，给海洋生态系统带来了严重影响^[22]。澳大利亚、新西兰海域被有毒甲藻的入侵^[23]，北美五大湖被外来水体生物大规模的入侵^[24]；地中海水域内被多种水生动植物的入侵^[25]，这些水体中生物入侵事件都给当地水域内的生态、生物多样性、水产养殖业带来了灾难性的影响。

目前，船舶压舱水导致的海洋生物入侵已成为世界海洋四大威胁因素之一^[26]（船舶压舱水导致的海洋生物入侵、陆源海洋污染、海洋生物资源的过度开发、海洋生态环境的改变与破坏）。19 世纪末期，人们开始使用钢质船体，从此海水被开始用来作为压舱物。压舱水已成为现代航运中船只装卸货物与航行过程中稳定与平衡的基本安全保证，虽然压舱水本身是无害的，但当船舶将成千吨海水泵入压载舱时，当地水中生物也不自觉地混入其中并随船只越过大洋迁移并被排放到可能没有其天敌的新海域而造成生物入侵。1903 年，东南亚海域分

布的中华盒形藻被引进到北海并疯狂繁殖使科学家首次认识到压舱水在生物入侵中的作用问题^[27]，但直到上世纪 70 年代，科学家才开始细致地研究这一问题。

因国外船只压舱水引发的生物入侵并造成严重损失的事件频繁发生，如 1985 年欧洲里海的多形饰贝（又称斑马贝）（*Dreissena polymorpha*）通过压舱水入侵到北美五大湖，并迅速入侵了 40% 的水域，仅在 1989 年至 2000 年美国控制其进一步扩散就需 7500 万至 10 亿美元之多，直接造成的损失总计已达 50 亿美元^[28]；美国梳状水母（*Mnemiopsis leidyi*）被压舱水带到黑海迅速繁殖，某些水域其密度已达 $1\text{kg}/\text{m}^2$ ，导致了当地鱼类几近灭绝和当地水产养殖业的萧条^[24]；1991 年美洲暴发的霍乱，使 100 多万人受到感染，约 1 万人死亡，南美国家为处理饮用水和修理下水道就耗费了 2000 多亿美元，据研究表明这次暴发的霍乱很可能是由于外来船只将受到污染的压舱水倾倒在秘鲁海港而引起的^[29]。由此可见，船只压舱水是海洋生物入侵的一个极其重要的途径。

由压舱水引发外来生物入侵所带来的灾难性后果引起了全世界的极大关注。国际上许多国家相继开展了或正在进行船只压舱水导致的外来生物入侵及其相关研究工作^[30]。巴西、印度、伊朗、乌克兰、南非、美国、加拿大、新西兰、澳大利亚等国都制定了针对船只压舱水管理的相关法律法规，如美国的《外来水生有害物种防治与控制法（1990）》、《国家入侵物种法（1996）》；加拿大的《加拿大环境保护法（1999）》；澳大利亚的《检疫法规（2000）》^[31]等法规中都明确地提出了对压舱水的管治措施。我国已经加入“全球压舱水管理计划”，亚洲及太平洋区域的压舱水研究中心设立在我国辽宁省大连市，开始开展对船舶压舱水的管理和研究，但我国迄今还没有一部针对压舱水管理的正式法

规出台。

我国拥有 18000 km 长的海岸线，并有 126 个国际性贸易港口，大部分较大的港口都是海港，其中一些是于河流入海口处修建的，每年大约有 100 个国家与地区的 36000 艘船只进出我国海域，加之近年来我国有害赤潮持续发生，国家已高度重视对海洋环境的保护，并制订了一系列的法律法规，如《中华人民共和国海洋环境保护法》等，但针对防止压舱水中有害有机体传播的详细法律、法规、处理标准还未制订。目前国内已有不少专家学者对压舱水在导致外来生物入侵这一问题的严重性有了清醒的认识^[32-34]，并对船舶压舱水转移外来物种的机制^[16]、压舱水污染调查^[32]、防治办法^[5]、立法管理^[33]等方面进行了研究探讨。

1.3 有毒甲藻的危害及研究进展

根据研究表明，在 300 多种能形成有害赤潮的海洋藻类中，甲藻是仅次于硅藻而居第二位可引发赤潮的微体藻类。在 60 多种能产生毒素的海洋藻类中甲藻就达 44 种，并可产生 PSP（麻痹性贝毒）、ASP（失忆性贝毒）、CFP（雪茄毒）和 NSP（神经性毒素）等不同类型的毒素^[35]。有毒甲藻不仅可以引发赤潮，能造成鱼、贝类等海洋动物大量死亡，危害海洋环境、水产养殖，而且还能产生毒素并通过食物链传递给人体，从而造成人类中毒和死亡事故，如日本 Lake Hamana 地区于 1942 年 3 月发生的大规模中毒事件，有 324 人因食用了牡蛎与蛤而引起中毒，其中 114 人死亡，这起中毒事件是由有毒甲藻 *Prorocentrum minimum* 引起的^[36]；南朝鲜的釜山 1985 年有毒甲藻赤潮使 15 人中毒，2 人死亡；香港 1987 年 6 月的有毒甲藻突发赤潮，发生 65 例麻痹性贝毒中毒事故，造成 3 人死亡^[37]。自 1967 年以来，我国共发生有记载麻痹性贝毒（PSP）中毒事件就近 50 起，中毒人数超过 650 人，死亡

人数超过 30 多。中毒事件主要发生在我国的浙江、福建、广东与台湾省沿海，浙江省中毒事件达 40 余起^[38]。1991 年 3 月 28 日广东省大亚湾附近居民因食用翡翠贻贝造成 4 人中毒，其中 2 人死亡的中毒事件^[39]；福建省曾发生过多起中毒事件，1987 年东山湾发生毒裸甲藻赤潮，致使东山县杏陈乡磁窑村发生了一起因食用含有裸甲藻麻痹性贝毒（PSP）的菲律宾蛤仔，造成全村 25 户人家 136 人中毒，重症患者住院 59 人，1 人因呼吸神经麻痹休克而死亡的事件^[40]；1994 年福建龙海浮宫和厦门新安发生有毒甲藻—亚历山大藻赤潮，造成虾池大量对虾死亡^[41]；2002 年 4 月底至 5 月中旬福建宁德、厦门、莆田、罗源发生了因食用含有 PSP 毒素的织纹螺而引起的中毒事件，共有 50 余人中毒，死亡 3 人^[42]，据有关专家推测，这起中毒死亡事件就是由有毒甲藻所引发的。可见，有毒甲藻不仅可以引发赤潮，造成海洋环境危害，而且还可以导致人员中毒事件的发生。因此，有毒甲藻已经倍受世界沿海国家的高度重视，对有毒甲藻的研究已经成为国际上的热点。

另外，有些有毒甲藻能产生休眠孢囊来躲闭不利的海洋环境，目前已知可产生孢囊的有毒甲藻有 14 种，当海洋环境变得不利于这些甲藻的生长时，它们可通过有性生殖的方式产生休眠孢囊或暂时性孢囊沉降到沉积物表层，当外界环境适宜时，休眠孢囊再次萌发进入水体，它们的这种特性更便于通过船只压舱水在不同国家海域中传播^[43, 44]，并造成入侵危害。1993 年，澳大利亚向联合国环境委员会提交的由 13 个国家共同调查的关于压舱水报告中指出，澳大利亚海域因有毒甲藻的入侵，给当地鲍鱼养殖业带来了灾难性的影响；也是因有毒藻类的入侵，新西兰整个贝类养殖业被迫对国内和国际市场关闭^[23]。目前，不少国家已针对外来入侵的甲藻开展了相应的研究工作^[9, 10, 28]。

近年来我国沿海有害赤潮频繁发生，仅 2004 年我国海域共发现赤

潮 96 次，其中渤海 12 次，黄海 13 次，东海 53 次，南海 18 次，累计面积约 26,630 平方公里，较 2003 年增加约 12,080 平方公里。有毒赤潮生物引发的赤潮 20 余次，面积约 7000 平方公里。赤潮对我国沿海的养殖业，渔业资源，渔产品质量，生态环境以及人类健康构成了重大的危害和威胁，也严重影响了沿海海洋经济的持续发展和社会的安定。

随着我国有害赤潮研究的深入，不断有新记录甲藻种类被发现报道^[45~50]。据统计，1991 年有害赤潮藻种中甲藻有 24 种，其中 11 种能产生毒素，而到了 1997 年新发现 34 种赤潮种，新增加 17 种甲藻种，有毒种类也增加了 10 种，达 21 种之多，如 *Gonyaulax polyedra*, *Alexandrium tamarense*, *Peridinium quinquecorne*, *Gymnodinium catenatum*, *Pheopolykrikos hartmannii* 等^②，特别是在大鹏湾发现了仅在东南亚菲律宾及文莱至达鲁萨兰等地分布的 *Pyrodinium bahamense*（巴哈马梨甲藻）孢囊，该种孢囊是如何入侵到中国南海海域的已经引起国际学术界的疑问和关注，对这个问题尚没有一个明确的答案，但据推测极有可能是通过船只压舱水携带而来的^[38, 46]。

1.4 厦门海域甲藻及孢囊的研究概况

对厦门海域的甲藻系统的研究记录最早见于林金美（1990）^[51]记载，共鉴定浮游甲藻类 49 种，分隶于 11 科 13 属；后来有关厦门甲藻的研究陆续增加了一些^[52~54]。1995 年 6 月至 1996 年 5 月，郭丰等（2002）^[53]对厦门市潘涂对虾养殖垦区的浮游植物进行了调查研究，鉴定虾池甲藻 30 种；许翠娅（2003）^[54]根据 2002 年 5 月对同安湾 6 个采样点所采集样品的分析，共鉴定甲藻门 7 种。在这些研究中陆续记录了一些新的甲藻种类。

我国有关甲藻孢囊的研究起步较迟，在 20 世纪八十年代中期以前

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.

厦门大学博硕士论文摘要库