

厦门西港甲藻孢囊种类和数量分布特征*

林元烧 曹文清 Sameer TERDALKAR¹⁾ 张 茜 齐雨藻[†]

(厦门大学海洋学系 亚热带海洋研究所 厦门 361005)

[†](暨南大学水生生态研究所 广州 510632)

提要 采用超声波分离、网筛(28 μ m 和 95 μ m)过滤、重液(CdI-KI)浮选等方法,对来自厦门西港的 7 份沉积物样品进行了分析鉴定。结果表明,厦门西港有甲藻孢囊 5 属 10 种,其中小型亚历山大藻(*Alexandrium minutum*)为中国沿海首次记录。沉积物中甲藻孢囊数量范围为 18.2—138 ind/g 沉积物(湿重),高数量密集区主要分布在内湾水域;表层至表层以下 2cm 沉积物中的孢囊数量明显多于 3—5cm 底层的。孢囊数量的分布格局与本港的地形、水交换条件密切相关,不同的养殖类型对孢囊的沉降和积累也有重要影响。

关键词 甲藻,孢囊,分布,厦门西港

中图分类号 Q948.8

甲藻孢囊是一种休眠孢子,也称非游动孢子,通常沉积在海底,以此耐受不良环境条件,如水温低、营养盐匮乏等。甲藻孢囊是甲藻生活史中重要的生活阶段,孢囊的形成对于种群的保存、延续以及种群的分布扩散等具有重要的生物学意义(Wall *et al.*, 1967; Dale, 1983; Pfister *et al.*, 1987; Qi *et al.*, 1996);更由于孢囊作为赤潮甲藻的“种子库”,对于赤潮的发生,延续和消亡过程有着重要的作用。鉴于孢囊研究在赤潮生消过程中的重要意义,迄今已对至少 81 种海洋甲藻孢囊的形态作过研究报道(Qi *et al.*, 1996)。

近几十年来,随着我国工农业生产的发展,沿海赤潮事件屡有发生,不仅给环境经济带来巨大损失,而且有愈演愈烈之势(黄长江等, 2000a, b; 2001)。我国赤潮事件报道诸多,但有关甲藻孢囊的研究仅见于大鹏湾报道了 4 种(郑磊等, 1995)、厦门港 1 种(林元烧, 1996)、东海沿岸 5 种(王纬斐等, 1994)。1996 年, Qi 等(1996)对北自长江口南至珠江口的东海和南海沿岸 14 个站位的沉积物中鉴定了甲藻孢囊 22 种和 2 个未鉴定种(其中,东海沿岸 18 种, 1 个未鉴定种;南海沿岸 23 种, 1 个未鉴定种),为我国沿岸的甲藻孢囊种类及其分布积累了重要资料(Qi *et al.*, 1996)。

厦门西港属于赤潮多发水域,有关赤潮动态过程研究以及赤潮生消过程与环境相互关系的跟踪研究已有许多报道(陈其焕等, 1993; 张水浸等, 1993; 杜琦, 1989; 陈慈美等, 1996),但有关甲藻孢囊的形态、数量分布等研究仍不多见。孢囊是许多甲藻生命周

* “九五”国家自然科学基金重大项目, 39790110 号;福建省自然科学基金“重中之重”项目资助。林元烧,男,出生于 1953 年 12 月,副教授, E-mail: yslin@xmu.edu.cn

1) 厦门大学海洋学系访问学者。通讯地址: Department of Zoology, Goa University, India

收稿日期: 2001-08-28, 收修改稿日期: 2002-02-01

2 结果

2.1 甲藻孢囊种类

采自厦门西港的 7 份沉积物样品经初步鉴定,本港有甲藻孢囊 5 个属 10 种,其中 4 种鉴定至种。表 1 列出了本次调查的甲藻孢囊种类和出现站位。这 4 种已鉴定的种类中,小型亚历山大藻(*Alexandrium minutum*)为我国沿海首次报道。

本海域发现的小型亚历山大藻孢囊表面光滑,顶面观圆形。孢囊直径为 26—30 μm 。孢囊中有一橙红色聚状颗粒物,直径为 5—7 μm 。孢囊内可见到大小不一的泡沫状颗粒物。侧面观,孢囊呈肾脏形,长径与顶面观直径同,短径为 17—20 μm 。图 1 系本港发现的小型亚历山大藻显微照片图(a 和 b 系不同的孢囊照片)。

Bolch 等(1991)曾在澳大利亚南部的 Port River 表层沉积物中发现 *Alexandrium minutum* 孢囊,并作了详尽描述,又与亚历山大藻属 8 种(*A. lusitanicum*、*A. hiranoi*、*A. tamarense*、*A. monilatum*、*A. catenella*、*A. cohorticula*、*A. affine*、*A. leei*)和 *Gyrodinium instriatum* 的孢囊外部形态做了鉴别比较。本港发现的这种甲藻孢囊形态与 Bolch 等(1991)描述的 *A. minutum* 孢囊形态相符。外部形状为圆盘状的甲藻孢囊,迄今共发现有 3 种,表 2 列出了 Bolch 等(1991)报道的 *A. minutum* 孢囊与本港发现的该种类的外部主要形态特征,并且对外形相似而且易于混淆的其他 2 种甲藻孢囊主要形态特征也一并列表比较,以供参考。

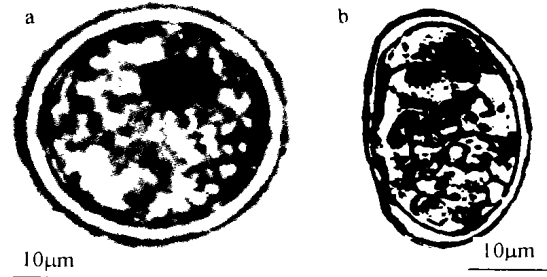


图 1 厦门西港小型亚历山大藻孢囊显微照片图
Fig.1 Photos of *Alexandrium minutum* from Xiamen Western Harbour
a. 顶面观(apical view); b. 侧面观(lateral view)

表 2 小型亚历山大藻孢囊主要形态特征及其与其他甲藻孢囊比较

Tab.2 Comparison of main morphological characters of *A. minutum* cyst with other dinoflagellate cysts

种类	顶面观		侧面观		文献
	形状	直径(μm)	形状	长短轴比例	
<i>A. minutum</i>	圆形	24—29	肾脏形	1.52—1.59	Bolch <i>et al.</i> , 1991
小型亚历山大藻	圆形	26—30	肾脏形	1.5—1.53	本文
<i>A. lusitanicum</i>	圆形	30—35	肾脏形	2.15—2.3	Blanco <i>et al.</i> , 1985
<i>A. hiranoi</i>	多角形	40—50	肾脏形	1.67—2	Kita <i>et al.</i> , 1989

本次调查中,小型亚历山大藻孢囊仅发现于厦门西港中部的 4 号站位,数量仅为 9.8ind/g,占本站孢囊总量的 7.1%。

本次调查已鉴定的甲藻孢囊中,*Gymnodinium catenatum* 是出现频率最高的种类之一,除湾内 1 号站和湾口的 7 号站外,其他各站均可见到该种类。据报道(Qi *et al.*, 1996),该

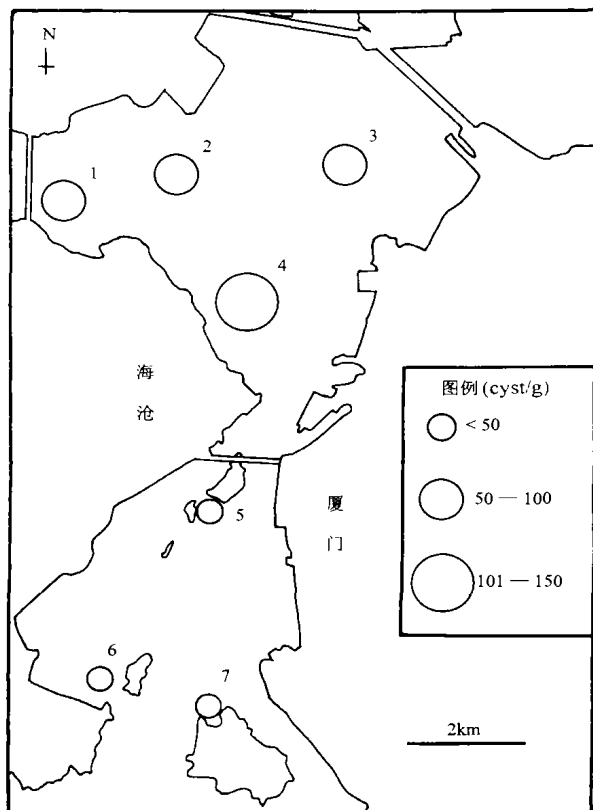


图2 厦门西港表层沉积物甲藻孢囊数量分布图
(2000年3月6日)

Fig.2 Horizontal distribution of dinoflagellate cysts in sediments collected from Xiamen Western Harbour (March 6, 2000)

调查所选站位分布在0m等深线上淤泥区有关。

表3 厦门西港各调查站位主要环境参数

Tab.3 Main environmental parameters of each sampling site in Xiamen Western Harbor

站位	水深 (m)	表层水 温(°C)	盐度	沉积物中硫化 物(mg/kg)	沉积物粒径百分比(%) [*]					站位周围海洋产业类型
					1	2	3	4	5	
1	10	16.5	24	300	51	40	9	0	0	鱼类网箱养殖,牡蛎筏式养殖
2	7	15	29	99	62	30	8	0	0	鱼类网箱养殖,牡蛎筏式养殖
3	9	14.8	29	42	31	34	18	11	6	菲律宾蛤仔,滩涂养殖
4	10	14.5	29	67	57	35	6	2	0	牡蛎筏式养殖
5	14	15	27	78	59	39	2	0	0	鱼类网箱养殖
6	8.5	15	29	74	60	38	2	0	0	虾、蟹、鱼混合围网养殖
7	2	15	29	71	43	17	10	2	8	鼓浪屿岛北部,污水排放

^{*} 沉积物粒径: 1为0—0.063mm; 2为0.063—0.25mm; 3为0.25—1mm; 4为1—2mm; 5为>2mm

各站位沉积物硫化物分析结果如表3所示。除了1号站位外,其余各站沉积物中硫

种类在中国沿海仅出现于广东大鹏湾水域,其他水域则未见报道。由于孢囊萌发实验失败,作者未能对该种类做进一步的确定。

本次调查所获的沉积物中尚有一些未能鉴定的甲藻孢囊种类。随着将来进一步调查以及资料的完整,将会发现更多种类。

2.2 孢囊数量平面分布

根据定量样品分析结果,厦门西港各站位的甲藻孢囊数量范围为18.2—138 cell/g沉积物(湿重,以下单位同),平均73.3个孢囊。厦门西港,俯瞰似一哑铃形,港湾中部狭窄。若以海沧大桥(位于厦门西港中部,连接大陆与厦门岛)为界,以北水域称为内湾,以南为外湾,则内、外湾的孢囊数量平均分别为100.5和37个。显而易见,内湾的孢囊数量明显高于外湾的(图1)。表3为本次调查各站位主要环境参数。

各站位沉积物粒径组成分析结果如表3所示。比较各站位甲藻孢囊总量分布(图1)与沉积物颗粒大小组成(表3),孢囊数量与细泥(<0.25mm)百分比之间并没有直接关系。这与本次

化物的含量均在 100mgS/kg 沉积物(干重)以下。经分析比较,沉积物中硫化物含量与孢囊数量之间也没有发现有直接相关关系。

2.3 孢囊数量垂直分布

每隔 1cm 分层的孢囊数量分布如表 4 所示。从表 4 中可以看出,本海区各站位的孢囊数量的垂直分布不尽相同,但它们的垂直分布趋势基本相同,即表层的孢囊数量多于底层的。位于内湾的 4 号站位,孢囊主要分布在 0—4cm 沉积物之间,而且各层数量相对较为均匀;1 号和 2 号站位的孢囊垂直分布状况较为相似,孢囊主要分布于 0—3cm 层。值得注意的是 3 号站位,采集的沉积物中发现泥沙分层现象,这在其他站位并未发现过。经调查,内湾 3 号站及其附近海域主要是菲律宾蛤仔养殖区,由于淤泥淤积,蛤农每年都要向蛤仔养殖场地投撒 2—5cm 不等厚度的沙子,用以改善蛤仔养殖的底质条件。因此,3 号站位沉积物柱状样中出现泥沙分层现象是易于理解的。

表 4 厦门西港沉积物甲藻孢囊数量(ind/g)垂直分布

Tab.4 Vertical distribution of dinoflagellate cyst abundance (ind/g) in the sediments collected from Xiamen Western Harbor

沉积物分层	站位							平均数量
	1	2	3	4	5	6	7	
0—1cm	118(13.2)*	95(5.3)	112(9.8)	176(25)	59(14.9)	32(10.7)	58(12.5)	92.8
1—2cm	95(8.5)	64(11.5)	93(17.6)	170(29.1)	36(10.5)	46(6.7)	33(9.7)	76.7
2—3cm	75(12.2)	56(13.6)	87(6.1)	169(32)	28(4.5)	19(2.5)	0	62
3—4cm	0	6(3.6)	80(2.5)	152(13.6)	0	7(5.8)	0	35
4—5cm	0	0	0	23(17)	0	1(6.95)	0	5.6
平均数量	57.6	44.2	74.4	138	24.6	24	18.2	

* 括号内数字为标准差(95%可置信区间), $n = 3-5$

3 讨论

Dale(1983)认为,甲藻孢囊的沉积行为很象细泥颗粒,其丰度随沉积物中细泥百分比的增加而增加。Anderson 等(1985a, b)发现甲藻孢囊主要沉积在海底的低凹处,与细泥颗粒的沉积过程和积聚情况基本一致。厦门西港是一个半封闭港湾,北部以集美-高崎海堤为界,东岸是厦门岛,西岸连接大陆,南部湾口与九龙江河口一起汇入金门湾海域。港湾内的水交换主要依靠南部湾口潮流作用进行。该海域东侧是航道和港口,水深流急,这一水域孢囊不易沉积。该港湾的西侧海域,水流缓慢,水层中各种微小颗粒易于沉积海底,这在内湾的西侧和北部海域更为明显,大部分海域已经淤积高出 0m 等深线,被开辟成为各种海水养殖区域,主要为滩涂贝类和浅海筏式牡蛎养殖以及鱼类网箱养殖。分析本次调查甲藻孢囊数量与沉积物颗粒大小组成,两者之间并未有直接关系。这不仅与本港特殊的地理形状有关,而且与本次调查所取站位基本都分布在淤泥沉积区有关。作者曾在厦门西港航道上采集沉积物,发现航道上的海底沉积物主要为沙石以及硬质泥土,采泥器难于有效地采集到沉积物。

Anderson 等(1985a, b)在美国东北马萨诸塞州(Massachusetts)沿岸报道了沉积物中 *Gonyaulax tamarensis* 孢囊数量范围为 50—1000 cell/cm³; Davey 曾于 1993 年发现南非南

方水域以及日本赤潮频发水域沉积物中各种浮游生物孢囊密度为 10^4 ind/g 沉积物(干重)(王纬斐等, 1994)。本次调查厦门西港的甲藻数量范围为 18.2—138 cell/g 沉积物(湿重), 远低于上述报道。但是, Ho Kin-Chung 等在 1993 年曾报道过香港水域 *Alexandrium cattenella* 孢囊数量范围为 10—50 cell/g 沉积物(湿重)(王纬斐等, 1994); 此外, 根据王纬斐等(1994) 研究报道, 我国东海区沿岸水域沉积物中甲藻数量变化范围在 1.6—47.1 cell/g 沉积物(湿重)。上述几处报道很难作一直观的比较, 这与各自所调查的生物种类不同以及调查季节和调查地点不同有关。本次调查发现的厦门西港内湾水域甲藻孢囊高值区, 在一定程度上为探索甲藻孢囊种子场提供了重要信息。厦门西港的海水运动主要是潮流, 内湾海域水流缓慢, 位于内湾海域的 4 号站及其附近海面, 牡蛎筏式养殖更进一步阻碍了海水的流动, 这将有利于孢囊的沉积和积聚。本次调查结果也表明, 内湾水域孢囊数量平均 100.5 cell/g, 尤其是 4 号站位, 不仅孢囊数量高达 138 cell/g, 而且也是孢囊种类最为丰富的区域之一(表 1, 图 2)。从孢囊的分布特征推断, 内湾水域, 尤其是 4 号站位及其附近水域, 是本港甲藻孢囊的富聚区, 应是本港赤潮监控的重要区域。

甲藻孢囊能够抵抗不良环境, 可以在沉积物中存活多年(Anderson *et al.*, 1985a, b; Bravo *et al.*, 1994)。但孢囊的萌发需要一定的条件, 如光照、适宜温度、富氧环境等(Anderson *et al.*, 1987)。Anderson 等(1985a, b) 调查美国新英格兰和缅因湾海域的沉积物中有毒甲藻 *Gonyaulax tamarens*(应为 *Alexandrium tamarens*) 孢囊数量垂直分布时, 发现“掩埋”在表层以下的大部份甲藻孢囊未能萌发, 沉积物底层缺氧的环境是孢囊不能萌发的重要因素。尽管沉积物中的孢囊数量很高, 但只有表层的孢囊能够萌发, 为赤潮的发生提供种子源。从本次孢囊垂直分布调查结果看出, 本港的孢囊主要分布在 0—4cm 沉积物中, 但内外湾之间的孢囊垂直分布格局不同(表 4), 这主要是由于内外湾的水流动态差别所致。沉积物中硫化物含量反映了沉积物中的含氧水平。各站位的沉积物硫化物含量分析结果(表 3)表明, 位于内湾邻近马銮湾的 1 号站位, 沉积物硫化物含量达 300mg/kg, 其次为 2 号站。这应为马銮湾内养殖废水排放和邻近码头, 各种污物积累所致。缺氧的环境将抑制甲藻孢囊的萌发(Anderson *et al.*, 1985a, b)。3 号和 4 号站孢囊垂直分布格局相似, 0—4cm 层中都有为数不少的孢囊, 但 3 号站附近水域为滩涂菲律宾蛤仔养殖区, 为改善养殖条件, 蛤农每年投撒的沙子, 在一定程度上“掩埋”了孢囊, 使其难以萌发。西港北部的集美-高崎海堤涵洞是沟通同安湾和厦门西港内湾的一条水道, 其水交换作用微弱, 对内湾沉积物中甲藻孢囊的分布不会造成重要影响。而在 4 号站位, 0—4cm 层中, 不仅颗粒大小组成基本一致, 而且孢囊数量多, 种类丰富。由于潮汐的扰动作用, 有些孢囊从底层翻动上升至表层, 增加了孢囊萌发的机会。

厦门西港是一个综合性利用程度很高的港湾, 并存多种海洋产业活动, 港湾承担着航运、港口、海水养殖、纳污、污水净化等功能。海水中富营养程度处于中等水平, 营养状况基本具备赤潮发生的物质基础(暨卫东等, 1996; 陈慈美等, 1996)。处于适宜环境中的甲藻孢囊在数小时至数天内便可萌发形成游动细胞(Anderson *et al.*, 1985), 进入水体, 经不断补充积累以及游动细胞的无性繁殖, 达到形成赤潮的密度。加强厦门西港甲藻孢囊的研究和监测, 了解海域水层和沉积物中孢囊组成和数量动态, 对于进一步探索该港赤潮发生和消亡过程至关重要, 也是今后应该深入研究的内容之一。

参 考 文 献

- 王纬斐, 洪君超, 1994. 东海沿岸水域夏季沉积物中甲藻孢囊数量分布初探. 海洋通报, 13(6): 53—59
- 中华人民共和国国家标准, 1999. 海洋监测规范. 第5部分: 沉积物分析(GB17378.5-1998). 北京: 中国标准出版社, 65—73
- 杜琦, 1989. 厦门西海域赤潮的研究. 暨南大学学报(自然科学版), 赤潮专刊: 57—67
- 张水浸, 许昆灿, 陈其焕等, 1993. 厦门西港区一次赤潮的观测. 见: 国家海洋局第三海洋研究所编. 厦门港赤潮调查论文集. 北京: 海洋出版社, 140—146
- 陈其焕, 曾昭文, 张水浸等, 1993. 厦门港 1987 年赤潮调查报告. 见: 国家海洋局第三海洋研究所编. 厦门港赤潮调查论文集. 北京: 海洋出版社, 1—18
- 陈慈美, 张采云, 吴瑜端, 1996. 养殖污水对厦门西港富营养化/赤潮效应 II: 生命要素内循环动力学过程研究. 见: 中国赤潮研究. SCOR-IOC 赤潮工作会议论文集. 青岛: 青岛出版社, 108—115
- 林元烧, 1996. 有毒甲藻——塔马亚历山大藻在厦门地区虾塘引起赤潮. 台湾海峡, 15(1): 15—20
- 郑磊, 齐雨藻, 1995. 赤潮甲藻孢囊研究综述. 暨南大学学报(自然科学版), 16(1): 121—126
- 黄长江, 董巧香, 2000a. 1998 年春季珠江口海域大规模赤潮原因生物的形态分类和生物学特征 I. 海洋与湖沼, 31: 197—204
- 黄长江, 董巧香, 2000b. 1998 年春季珠江口海域大规模赤潮原因生物的形态分类和生物学特征 II. 海洋与湖沼, 31: 233—238
- 黄长江, 董巧香, 2001. 1998 年春季珠江口海域大规模赤潮原因生物的形态分类和生物学特征 III. 海洋与湖沼, 32: 1—6
- 暨卫东, 黄自强, 黄尚高等, 1996. 厦门西海域水体富营养化与赤潮关系的研究. 海洋学报, 18(1): 51—60
- Anderson D M, Aubrey D G, Tyler M A *et al*, 1985a. Vertical and horizontal distributions of dinoflagellate cysts in sediments. *Limnol Oceanogr*, 27(4): 757—765
- Anderson D M, Keafer B A, 1985b. Dinoflagellate cyst dynamics in coastal and estuarine waters. In: Anderson D M, White A W, Baden D G ed. *Toxic Dinoflagellates*. New York: Elsevier Science Publishing Co., 76—81
- Anderson D M, Taylor C D, Armbrust E, 1987. The effects of darkness and anaerobiosis on dinoflagellate cyst germination. *Limnol Oceanogr*, 32(2): 340—351
- Anderson D M, Fukuyo Y, Matsuoka K, 1996. Cyst Methodologies. In: Hallegraeff G M, Anderson D M, Cembella A D ed. *Manual on Harmful Marine Microalgae*. IOC Manuals and Guides, 33: 229—250, UNESCO
- Blanco J, Marino J, Campos M J, 1985. The first toxic bloom of *Gonyaulax tamarensis* detected in Spain. In: Anderson D M, White A W, Baden D G ed. *Toxic Dinoflagellates*. New York: Elsevier Science Publishing Co., 79—84
- Bolch C J, Blackburn S I, Cannon J A *et al*, 1991. The resting cyst of the red tide dinoflagellate *Alexandrium minutum* (Dinophyceae). *Phycologia*, 30: 215—219
- Bravo I, Anderson D M, 1994. The effects of temperature, growth medium and darkness on excystment and growth of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* from northwest Spain. *J Plank Res*, 16(5): 513—525
- Dale B, 1983. Dinoflagellate resting cysts: "benthic plankton". In: Fryxell G A ed. *Survival Strategies of the Algae*. London: Cambridge University Press, 69—136
- Kita T, Fukuyo Y, 1989. Description of the gonyaulacoid dinoflagellate *Alexandrium hiranoi* sp. nov. inhabiting tidepools on Japanese Pacific coast. *Bull Plankton Society of Japan*, 35: 1—7
- Matsuoka K, Fukuyo Y, 1995a. Taxonomy of Cysts. In: Hallegraeff G M, Anderson D M, Cembella A D ed. *Manual on Harmful Marine Microalgae*. IOC Manuals and Guides, 33: 381—401, UNESCO
- Matsuoka K, Fukuyo Y, 1995b. Manual for modern dinoflagellate cyst study (2nd ed.). Presented at the Training workshop on Monitoring of PSP Plankton and shellfish toxicity by WESTPAC-IOC (UNESCO) at Kitasato University on July 17—22
- Pfiester L A, Anderson D M, 1987. Dinoflagellate life cycles and their environmental control. In: Taylor F J R ed. *The Biological of Dinoflagellates*. London: Blackwell Scientific Pub. Ltd, 611—648

- Qi Y-Z, Hong Y, Zheng L *et al.*, 1996. Dinoflagellate cysts from recent marine sediments of the South and East China Seas. *Asian Mar Biol.* 13: 87—103
- Wall D, Dale B. 1967. The resting cysts of modern marine dinoflagellates and their paleontological significance. *Review of Paleobotany and Palynology.* 2: 249—254

STUDIES ON DINOFLAGELLATE CYSTS AND THEIR DISTRIBUTION IN XIAMEN WESTERN HARBOUR

LIN Yuan-Shao, CAO Wen-Qing, Sameer TERDALKAR, ZHANG Qian, QI Yu-Zao[†]

(*Department of Oceanography, Xiamen University, Xiamen, 361005*)

[†](*Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou, 510632*)

Abstract Sediment samples collected from seven stations in Xiamen Western Harbour were processed qualitatively and quantitatively. Based on morphological characters of the cyst and motile cells germinated from some specimens, 10 species of cysts that belong to 5 genera were identified, of which *Alexandrium minutum* was firstly recorded in China seas. The number of dinoflagellate cysts ranged from 18.2—138 cells per gram of wet sediment. There was a higher concentration of cysts in the inner harbour. The cysts in the 0—2cm section of sediment below the bed were much more abundant than that in the 3—5cm section within the core. The pattern of cyst distribution is much concerned with the topography and water exchange conditions in the harbour, and also with a variety of marine culture activities that may have an important impact on the cyst depository and accumulative process.

Key words Dinoflagellate, Cyst, Distribution, Xiamen Western Harbour