

# 2006—2007 年冬季长江口海域甲藻 孢囊的分布及其与环境的关系

黄海燕\*, 陆斗定, 夏平, 王红霞

(国家海洋局第二海洋研究所, 国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室, 杭州 310012)

**摘要:** 分析了 2006—2007 年冬季长江口海域( $121^{\circ}\text{--}127^{\circ}\text{E}$ ,  $30^{\circ}\text{--}32.5^{\circ}\text{N}$ )19 个站位 0—10cm 沉积物中的甲藻孢囊, 共检出 27 种甲藻孢囊类型, 其中自养型 10 种, 异养型 17 种, 异养型孢囊数量比为 0.70。各站位孢囊种数在 1—15 种之间, 孢囊平均密度在干重  $0.7\text{--}89.0\text{ 个/g}$  之间。表层( $0\text{--}3\text{cm}$ )、中层( $3\text{--}5\text{cm}$ )和底层( $5\text{--}10\text{cm}$ )之间孢囊组成差异不大, 大多以原多甲藻类孢囊为主要优势种, 孢囊密度表层大于中层, 中层大于底层的分布趋势; 在经度方向上, 孢囊平均密度在近岸逐渐增高, 到站位 M4-13 突然降到最低, 然后再逐渐增高。与其它海湾相比, 长江口属于孢囊密度较低的海域。亚历山大藻分布广泛但数量较低, 最高密度为干重  $40.8\text{ 个/g}$ , 其他种类如 *Polykrikos kofoidii*、*Gonyaulax spinifera* complex (*Spiniferites mirabilis*) 和 *G. spinifera* complex (*S. cf. ramosus*) 都在长江口海域有分布。沉积物类型是影响孢囊数量分布的重要因素, 水深、温度、盐度与孢囊分布呈正相关性, 溶解氧与孢囊分布呈负相关性。孢囊的分布格局对河口的富营养化与低氧区具有良好的指示意义。

**关键词:** 甲藻孢囊; 亚历山大藻; 指示; 长江口

## Distribution of dinoflagellate cysts in Changjiang Estuary during the winter of 2006—2007 and their relationship with the environment

HUANG Haiyan\*, LU Douding, XIA Ping, WANG Hongxia

(Second Institute of Oceanography, SOA, Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, SOA, Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** The Changjiang Estuary is the biggest estuary in China and is strongly affected by the huge runoff of the Changjiang River as well as other hydrodynamic factors such as upwelling and currents. These comprehensive factors bring large amounts of nutrients which are supplied for high primary production. On the hand, multi-source of nutrient loading also result in frequent HAB events in this area. Cyst-formation is an important stage in the life cycle of some marine dinoflagellates, especially when environmental conditions are adverse. Cysts can germinate as soon as environmental condition become favorable. Therefore, cysts play an important ecological role as the source of causative species for recurrent blooms. In order to understand the population dynamics of algal blooms, the surface sediments (10 cm in length) at 19 sites ( $E121^{\circ}\text{--}127^{\circ}$ ,  $N30^{\circ}\text{--}32.5^{\circ}$ ) were collected from Changjiang Estuary during December, 2006 to February, 2007 to investigate the horizontal and vertical distribution of dinoflagellate cysts. Samples were sonicated and then sieved through  $125\mu\text{m}$  and  $20\mu\text{m}$  metallic screens, and the objective materials were captured for observation. Twenty seven different cyst morpho-types were identified, including 10 autotrophic and 17 heterotrophic species that belong to 6 groups. The ratio of species number for the autotrophic and heterotrophic cysts was 0.70. Species richness in each sample varied from 1 to 15. There were no obvious difference in cyst composition among surface layer, middle layer and bottom layer. The *Protoperidinium* group was the most dominant group in each layer with an average proportion of 55.2%. The Gonyaulacoid group was the second abundant group, with a mean proportion of 36.1%. Compared to other sea areas, the cysts

基金项目: 国家 863 项目(2007AA09Z110); 国家 908 专项资助(908-ZC-I-02); 国家 973 项目(2010CB428702); 浙江省生态建设基金(07/08); 国家海洋局第二海洋研究所专项(JG200818)支持

收稿日期: 2009-09-16; 修订日期: 2010-01-15

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huanghaiyan1000@126.com

concentration in the Changjiang Estuary was relatively low. The average density of cysts varied from 0.7 to 89.0 cysts per gram dry weight at each sampling site. The cysts concentrations in Changjiang Estuary, North of Jiangsu, Hangzhou Bay, Zhoushan and the open water was 29.14 per gram dry weight, 19 per gram dry weight, 10.42 per gram dry weight, 30.67 per gram dry weight and 51.08 per gram dry weight respectively. In the vertical direction, the concentration of dinoflagellate cysts was most abundant in the surface layer, and least in the bottom layer. In the surface layer, cyst density varied markedly among stations, ranging from 2 cysts per gram dry weight in sample of M4-13 to 120 cysts per gram dry weight in the sample of M4-11. In longitudinal direction, the cyst concentration increased from station M4-1 to M4-13, decreased at station M4-13, then increased gradually again from C16-3 to C16-9. *Alexandrium* cysts occurred at the most sampling sites but in low numbers. The maximum concentration of *Alexandrium* cysts was 40.8 per gram dry weight. They were mainly found in off shore areas, less in numbers in Hangzhou Bay. Other species such as *Polykrikos kofoidii*, *Gonyaulax spinifera* complex (*Spiniferites mirabilis*) and *G. spinifera* complex (*S. cf. ramosus*) were also observed. The sediment type is considered as the most important factor of the distribution pattern of dinoflagellate cysts. Water depth, temperature, salinity have a positive correlation with the distribution of cysts while dissolved oxygen has a negative correlation with the distribution of cyst. The distribution of cysts can be used as a good indicator for eutrophication and hypoxia in the Changjiang Estuary.

**Key Words:** Dinoflagellate cyst ; *Alexandrium* cysts; indicator ; Changjiang Estuary

孢囊是不良环境条件下使个体度过逆境的阶段<sup>[1]</sup>,它对种群的保存和延续有重要的意义。孢囊被普遍认为是赤潮发生的“种源”以及外来种类的主要来源之一<sup>[2]</sup>,它对赤潮的发生、延续和消亡过程起着重要的作用。目前已经证实有80多种现代海洋甲藻和十几种淡水甲藻能够形成孢囊,其中不少是赤潮原因种和有毒有害种<sup>[3]</sup>。长江口是我国最大的河口,长江口海域有着长江的巨大径流和泥沙入海,加上其本身复杂的流系结构及特殊的地形,形成一个结构复杂、形态多变、功能独特的河口生态系统。由于长江径流所带来的大量的营养盐,使得该地区水体富营养化较为严重,长江口海域是我国的赤潮高发区<sup>[4]</sup>。先后有多位学者对长江口海域甲藻孢囊进行过研究<sup>[5-9]</sup>,并对50余种孢囊进行形态学描述<sup>[10-11]</sup>。先前的调查研究主要集中在春、夏季表层沉积物(0—3cm),缺乏对甲藻孢囊的冬季及其垂直分布情况的研究,本文分析了2006—2007年冬季甲藻孢囊在长江口及邻近海域表层沉积物中的水平和垂直分布情况以及与低氧等环境因子的关系,探讨海洋甲藻孢囊对环境变化的响应与指示作用,为进一步阐释该海域海洋甲藻的种群动力学及其有害赤潮发生机制提供基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

于2006年12月23日至2007年2月3日在长江口海域(E121°—127°, N30°—32.5°),包括长江口(M)、苏北(L)、杭州湾(N)、舟山海域(O)、外海(C)等5个部分的水体共19个站点(图1),用多管采泥器采集0—10cm的底泥样品,把样品分层(0—3cm, 3—5cm, 5—10cm)并装入塑料瓶中,加5%福尔马林固定保存。

### 1.2 样品处理与观察

样品处理前先静置24h,然后过滤上层福尔马林溶液,取10g样品均匀混合后分成2份,一份在70℃烘箱中24h烘干,以测定沉积物的含水率,另一份约4—6g样品置于烧杯中,加入适量过滤海水,超声波处理,然后过125μm和20μm网筛,收集两者之间部分并转移至一表面皿中,旋转表面皿使液体涡旋,然后用吸管吸取上层浮液于10mL有盖塑料管中,为了达到更好的效果,可以反复这样几次操作,最后定容至10mL保存。观察时先摇匀,然后吸取1mL已处理样品于SEGEWICK-Rafter CELL S50(MICROLITRE)细胞计数框中,在普通光学显微镜下观察计数。孢囊密度以每克干重沉积物的孢囊数量表示。

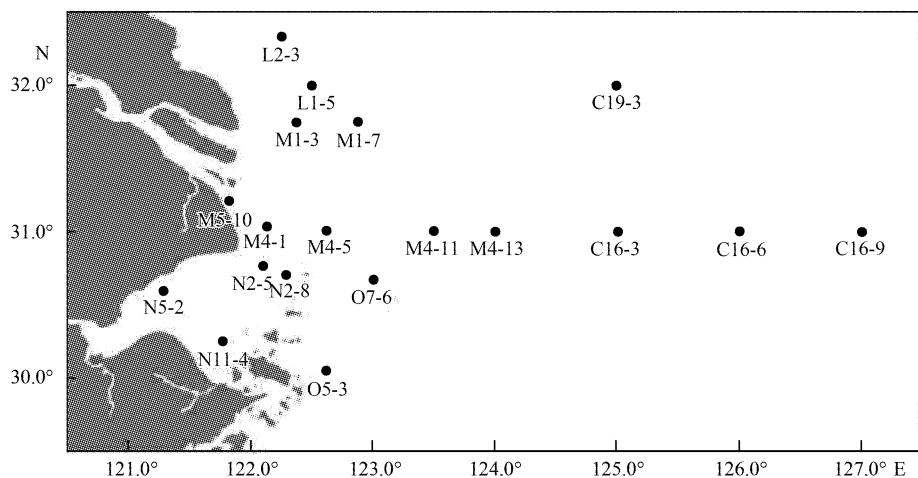


图1 2006—2007年冬季长江口采样站位图

Fig. 1 Sampling stations in Changjiang River Estuary during the winter of 2006—2007

## 2 结果与分析

### 2.1 种类组成

本次调查分析共鉴定出分属五大类的27种甲藻孢囊类型,其中自养型10种,异养型17种;包括膝沟藻类孢囊(*Gonyaulacoid* group)4种,钙质类孢囊(*Calcodinellid* group)5种,裸甲藻类孢囊(*Gymnodinium* group)2种,原多甲藻类孢囊(*Protoperidinium* group)15种,翼甲藻类孢囊(*Diplopsalid* group)1种。原多甲藻类孢囊是主要的优势种,其平均百分比可达55.2%,其次是膝沟藻类孢囊,其平均百分比为36.1%,钙质类孢囊、裸甲藻类孢囊和翼甲藻类孢囊平均百分比含量很低(表1)。表层(0—3cm)、中层(3—5cm)和底层(5—10cm)之间孢囊组成差异不大,都以原多甲藻类孢囊和膝沟藻类孢囊为优势种,且原多甲藻类孢囊百分比含量都大于膝沟藻类孢囊。原多甲藻类孢囊平均百分比含量表层小于中层,中层小于底层,而膝沟藻类孢囊平均百分比含量表层大于中层,中层大于底层。

表1 各孢囊类别的平均百分比

Table 1 Average proportions of cysts in each genera

属 Genera	表层/% Surface layer	中层/% Middle layer	底层/% Bottom layer	平均百分比/% Average proportions
膝沟藻类 <i>Gonyaulacoid</i> group	42.9	38.4	26.9	36.1
钙质类 <i>Calcodinellid</i> group	4.9	2.4	2.5	3.3
裸甲藻类 <i>Gymnodinioid</i> group	1.4	0.8	2.9	0.7
原多甲藻类 <i>Protoperidinioid</i> group	48.0	56.5	61.4	55.2
翼甲藻类 <i>Diplopsalid</i> group	0.7	3.4	0.7	1.6
未鉴定 Unidentified	4.5	0.0	0.0	1.5

各站位孢囊物种数在1—15种之间,基本上以异养型甲藻孢囊为主,且没有明显的空间分规律,最低值出现在M4-13和N11-4,最高值出现在O7-6。原多甲藻孢囊种类最多,分布也广泛,其中*Protoperidinium* sp. (*Brigantedinium* sp.)在各个站位都有分布。本次研究的19个站位中,异养型孢囊平均密度大于等于自养型孢囊平均密度的站位有12个(图2),异养型孢囊数量比为0.70。因此无论在种类上还是数量分布上,长江口海域大部分站位都以异养型孢囊为主。在长江口(M)、苏北(L)、杭州湾(N)、舟山海域(O)、外海(C)海域所鉴定出的孢囊物种丰富度相差不大,分别为15、15、12、15、13种。

### 2.2 数量分布

图3给出了2006年冬季长江口海域各站位各层次甲藻孢囊密度分布情况。长江口海域甲藻孢囊密度较

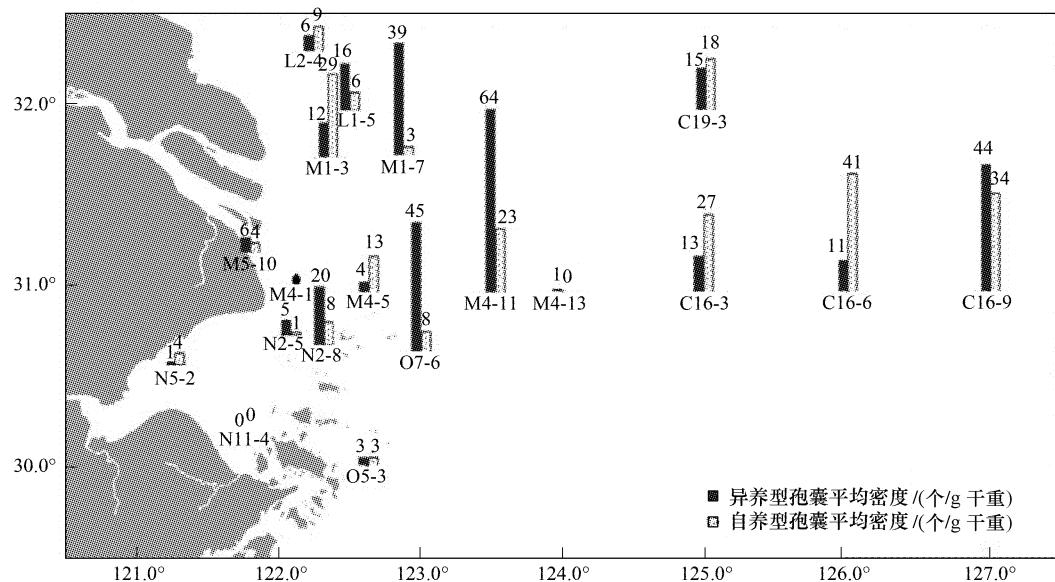


图2 各站位自养型、异养型甲藻孢囊平均密度

Fig. 2 Average abundance of autotrophic and heterotrophic dinoflagellate cyst in each sampling site

低,平均密度在干重0.7—89.0个/g之间,最高值出现在M4-11,最低值出现在M4-13。孢囊平均密度表层(干重41.7个/g)大于中层(干重27.8个/g),中层大于底层(干重18.2个/g),除站位N2-5和M5-10外,其它站位各层次孢囊密度成表层大于中层、中层大于底层的分布趋势。在表层沉积物中,M4-11的孢囊密度最高,为干重120个/g,M4-13的孢囊密度最低,为干重2个/g。孢囊密度在干重0—10个/g有6个站位,干重10—50个/g的有5个站位,干重50—100个/g的有6个站位,大于干重100个/g的有2个站位。中层和底层沉积物中,M4-13和N11-4未观察到孢囊,N2-5底层观察到的孢囊比中层高。长江口(M)、苏北(L)、杭州湾(N)、舟山海域(O)、外海(C)海域各站位孢囊平均密度的平均值分别为干重29.14个/g、干重19个/g、干重10.42个/g、干重30.67个/g和干重51.08个/g。

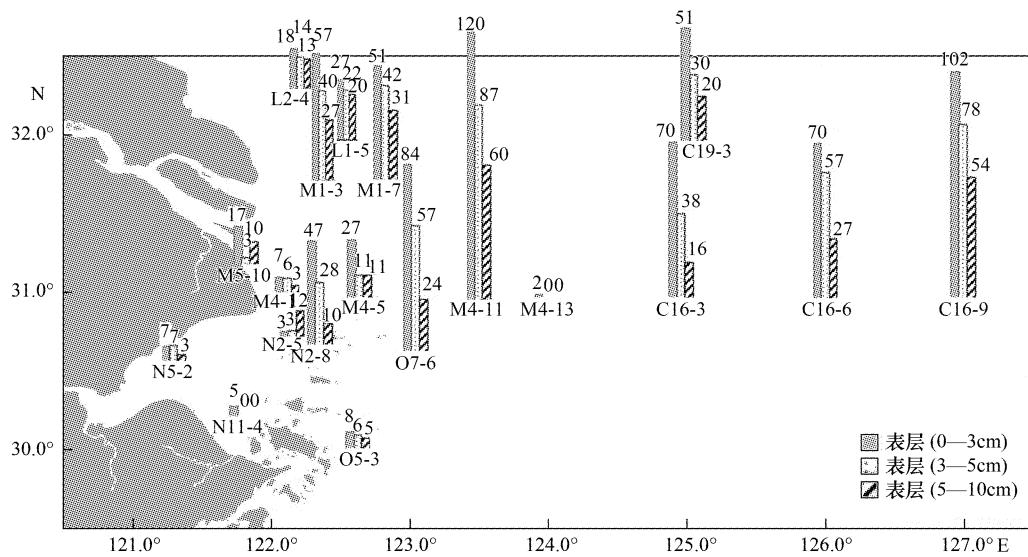


图3 甲藻孢囊的密度/(个/g干重)

Fig. 3 Abundance of dinoflagellate cysts

如图4所示,长江口和外海海域同纬度站位M4-1(122.1°)、M4-5(122.6°)、M4-11(123.5°)、M4-13

( $124.0^{\circ}$ )、C16-3( $125.0^{\circ}$ )、C16-6( $126.0^{\circ}$ )、C16-9( $127.0^{\circ}$ )孢囊平均密度随经度的变大呈现出先增高,突然降低,再增高的变化趋势。在长江口海域 $122^{\circ}$ — $123.5^{\circ}$ E 地区,孢囊密度随经度的变大而逐渐变大,直至达到本次调查密度最高的站位,说明长江口地区,离河口越远,孢囊密度有增加的趋势。 $124^{\circ}$ — $127^{\circ}$ E 地区,孢囊密度随经度的增大亦呈现出逐渐变大的趋势。相连站位 M4-11( $123.5^{\circ}$ )、M4-13( $124.0^{\circ}$ )也是本次调查中孢囊平均密度最高和最低的站位,造成孢囊密度突然变小的原因也有待于进一步讨论。

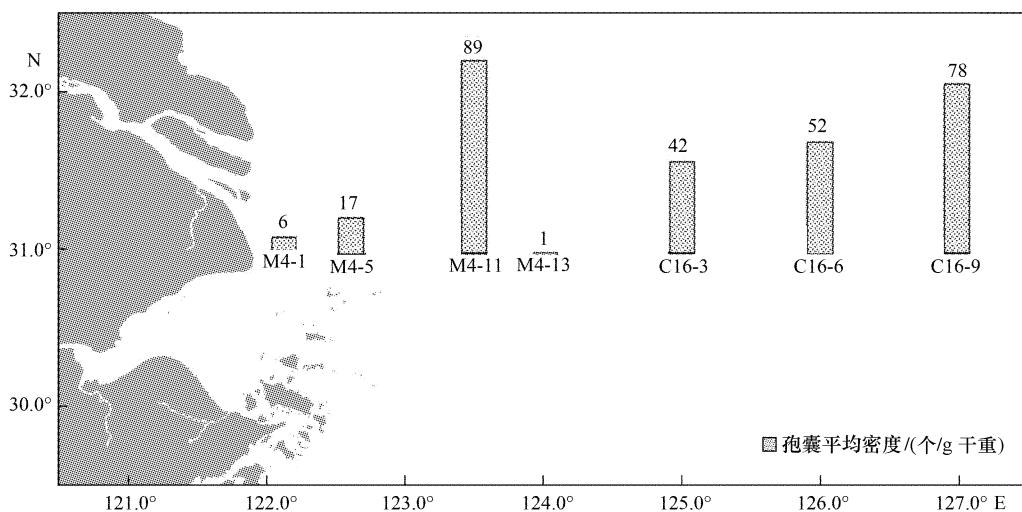


图4 孢囊平均密度随经度的变化/(个/g 干重)

Fig. 4 Variation of average abundance along longitude

### 2.3 有害甲藻的孢囊分布

本次调查发现了 *Alexandrium tamarense/A. catenella* complex、*A. minutum/A. affine* complex 2 种有毒种, *Polykrikos kofoidii*、*Gonyaulax spinifera* complex (*Spiniferites mirabilis*) 和 *G. spinifera* complex (*S. cf. ramosus*) 3 种有害种。*A. minutum/affine* complex 分布十分广泛,除 N11-4 和 M4-13 两个站位外,其它站位都有分布,*A. catenella/tamarense* complex 在长江口(M)、苏北(L)、舟山海域(O)、外海(C)有分布,*P. kofoidii* 在舟山海域和杭州湾(N)有分布,*G. spinifera* complex (*S. mirabilis*) 和 *G. spinifera* complex (*S. cf. ramosus*) 只有在站位 L2-4 观察到。如图 5,亚历山大藻孢囊的平均密度范围为干重 0—40.8 个/g,干重 0—10 个/g 有 12 个站位,干重 10—20 个/g 有 3 个站位,干重 20—30 个/g 有 2 个站位,大于干重 30 个/g 有 1 个站位。表层沉积物中亚历山大藻孢囊密度较中层和底层的高,在干重 0—59.3 个/g 之间,而大多数站位亚历山大藻孢囊密度处于干重 0—10 个/g 之间。亚历山大藻属孢囊在外海海域分布水平最高,杭州湾最低。

### 2.4 影响因素

海洋地层环境、水化环境以及孢囊的大小、产量和沉积率等对甲藻孢囊的分布都有影响,甲藻孢囊的分布是多种因素共同调控的结果,沉积物类型是影响孢囊数量分布的最重要原因<sup>[3-4,12]</sup>。由于长江口海域地处河口地带,沉积物多为较粗的粉砂类,不利于孢囊的沉积,从而使孢囊密度总体水平较低。对沉积物类型进行定性研究,M4-13 样品沉积物类型为粗砂,N11-4 为粘土质淤泥,而这两种底质类型极不利于孢囊沉积,因此孢囊在这两个站位分布最低接近于 0。用 spss 软件对本次调查的水深、温度、盐度、溶解氧以及孢囊平均密度进行多元线性回归分析(表 2),水深、温度、盐度和溶解氧数据为采样时现场监测所得,结果表明水深、温度、盐度和溶解氧与孢囊密度都相关(Sig. (1-tailed) 中  $P < 0.05$ )。其中水深、温度与孢囊密度的相关性较好,相关系数分别为 0.791 和 0.777,说明随着水深和温度的增加,孢囊平均密度有增大的趋势。大部分站位海水盐度在 30—35 之间,变化不大,与孢囊密度呈正相关,但没有水深、温度与孢囊平均密度的相关性好。溶解氧与孢囊平均密度呈负相关,相关系数为 -0.535,说明溶解氧低的地方孢囊平均密度相对较高,可以推测,孢囊丰富度主要来自异养型孢囊的贡献。

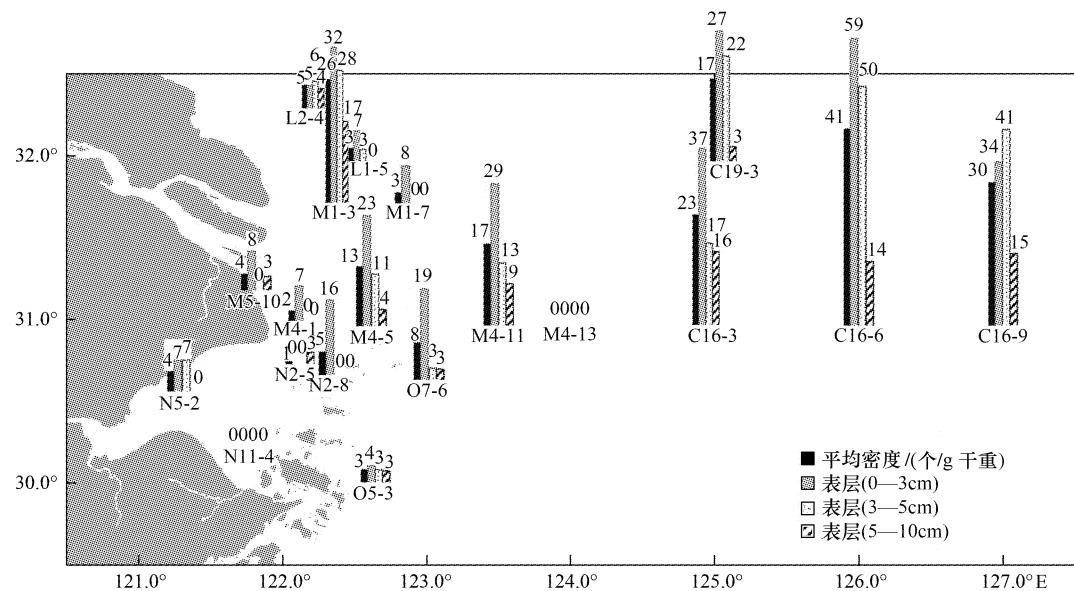


图5 亚历山大藻孢囊密度

Fig. 5 Abundance of *Alexandrium* cysts

表2 水深、温度、盐度和溶解氧与孢囊平均密度的多元线性回归结果

Table 2 Multiple linear regression results between water depth, temperature, Do and average abundance of cysts

项目 Item		孢囊密度 Cysts abundance	水深 Depth	温度 Temperature	盐度 Salinity	溶解氧 Dissolved oxygen
相关系数 Pearson correlation	孢囊密度 Cysts abundance	1.000	0.791	0.777	0.509	-0.535
	水深 Depth	0.791	1.000	0.918	0.606	-0.753
	温度 Temperature	0.777	0.918	1.000	0.644	-0.760
	盐度 Salinity	0.509	0.606	0.644	1.000	-0.565
	溶解氧 Dissolved oxygen	-0.535	-0.753	-0.760	-0.565	1.000
显著性检验 Sig. (1-tailed)	孢囊密度 Cysts abundance		0.000	0.000	0.013	0.009
	水深 Depth	0.000		0.000	0.003	0.000
	温度 Temperature	0.000	0.000		0.001	0.000
	盐度 Salinity	0.013	0.003	0.001		0.006
	溶解氧 Dissolved oxygen	0.009	0.000	0.000	0.006	
样本数量 N	孢囊密度 Cysts abundance	19	19	19	19	19
	水深 Depth	19	19	19	19	19
	温度 Temperature	19	19	19	19	19
	盐度 Salinity	19	19	19	19	19
	溶解氧 Dissolved oxygen	19	19	19	19	19

### 3 讨论

本研究分析了长江口19个站位3个层次的表层沉积物样品,鉴定出分属五大类的27种甲藻孢囊类型,孢囊种类丰富度与Matsuoka等<sup>[6]</sup>、王朝晖等<sup>[8]</sup>、王艳等<sup>[9]</sup>和顾海峰等<sup>[10]</sup>在同一海区研究结果相近,高于齐雨藻等<sup>[13]</sup>在附近海域调查的结果。表层、中层和底层之间孢囊组成差异不大,都以原多甲藻类孢囊和膝沟藻类孢囊为优势种,且原多甲藻类孢囊百分比含量都大于膝沟藻类孢囊。王朝晖等<sup>[14]</sup>于2002—2003年冬季对长江口海域表层沉积物(0—2cm)调查显示,原多甲藻类(38.8%)、钙质类(24.0%)和膝沟藻类孢囊(17.9%)为优势种,与此相比,2006—2007年冬季表层(0—3cm)沉积物中原多甲藻类(48.0%)和膝沟藻类孢囊

(42.9%)百分比含量都增大,而钙质类孢囊含量降低(4.9%)。

本调查显示长江口海域表层沉积物中甲藻孢囊平均密度范围为干重0.7—89.0个/g,王朝晖等<sup>[8]</sup>调查显示甲藻孢囊平均密度为干重11.7—587个/g,王艳等<sup>[9]</sup>调查显示甲藻孢囊平均密度为干重189—846个/g,可见本次调查结果偏小。这与采样站位点的数量和分布密切相关。在王朝晖等和王艳等人的研究中孢囊平均密度分布不均,除去少数几个孢囊密度很大的站位,其它站位孢囊密度水平与本研究相当,且本次研究还包括他们未涉及的外海海域孢囊的研究。长江口海域与厦门西港<sup>[15]</sup>相比,孢囊密度相当且都很低,而我国南海沿岸甲藻孢囊密度非常高,如大亚湾表层沉积物中孢囊平均密度在干重10000个/g以上,最高达干重 $1.12 \times 10^5$ 个/g<sup>[13]</sup>;深圳湾表层底泥中甲藻孢囊的密度为干重1550—4360个/g<sup>[16]</sup>。长江口海域孢囊的低产量与沉积物类型密切相关,长江口海域由于地处河口地带,沉积物为较粗的砂质型,不利于孢囊的沉降积累。

长江口(M)、苏北(L)、杭州湾(N)、舟山水域(O)、外海(C)海域各站位相比较,外海各站位孢囊平均密度的平均值最高(干重51.08个/g),杭州湾最低(干重10.42个/g)。长江口(M)各站位孢囊密度分布差异较大,M5-10和M4-1位于长江入海口,海水深度很浅,海水扰动也比较大,再加上地表带来的大量悬浮物质,使沉积物很快就沉降到底部,沉积物中所积累的孢囊也很少。所观察的M4-13样品沉积物类型为粗砂,因而即便与M4-11站位相比水深、温度、盐度、溶解氧都相近,但其孢囊密度相差很大。而到了外海海域,海水深度增加,扰动减小,沉积物中的砂的比例下降,粘土的含量相对较高,有助于孢囊的沉降,因而孢囊密度相对较大。杭州湾海域是世界著名的强潮区,海水深度很浅,具有低盐度、低透明度特征,使该区域不利于藻类的生长,所以孢囊密度水平较小。在垂直方向上,甲藻孢囊有随深度减小的趋势,原因之一可能是随着深度的增加沉积物中含沙量的减少,也可能是当孢囊下沉后还有继续受水流作用悬浮或者迁移,从而使到达更深处的孢囊比刚沉降时的孢囊少。

用Spss软件对本次调查的水深、温度、盐度、溶解氧以及孢囊平均密度进行多元线性回归分析可得,水深、温度、盐度与孢囊分布呈正相关性,溶解氧与孢囊分布呈负相关性。虽然由于统计分析的数据量较少,使得水深、温度、盐度和溶解氧与孢囊密度的相关性分析说服力有所降低,但总体趋势是可信的。长江口海域沉积物的孢囊集群中,无论是种类还是数量上,主要以异养型孢囊为主,而溶解氧与孢囊平均密度又呈负相关性,即溶解氧相对较低的地方孢囊密度反而相对较大,从而说明孢囊的分布对河口的富营养化与低氧区具有良好的指示意义。

在本研究中,亚历山大藻属孢囊分布十分广泛,但密度很低,大部分站位密度在干重10个/g以下,这与王朝晖等<sup>[8]</sup>人的研究结果相近。随着离长江出海口越远,该孢囊密度逐渐上升,最大出现在C16-6,为干重40.8个/g。长江口海域为赤潮高发区,引发赤潮的生物种类主要米氏凯伦藻、东海原甲藻、夜光藻、亚历山大藻等,一些赤潮是由两种或两种以上赤潮生物共同形成<sup>[17]</sup>。亚历山大藻的广泛分布以及在表层沉积物中具有相对较高的浓度,给赤潮的发生提供了丰富的种源,使该海域存在发生亚历山大藻赤潮的潜在危险。

#### 4 结论

(1)本次研究共发现了分属五大类的27种甲藻孢囊类型,包括自养型10种和异养型17种,异养型孢囊数量比为0.70。表层、中层和底层之间孢囊组成差异不大,都以原多甲藻类和膝沟藻类孢囊为优势种,且原多甲藻类孢囊百分比含量都大于膝沟藻类孢囊。

(2)外海各站位孢囊平均密度的平均值最高,杭州湾最低,长江口各站位孢囊密度分布差异较大;在垂直方向上,甲藻孢囊的密度有表层大于中层,中层大于底层的分布趋势;在经度方向上,孢囊平均密度具有先增高,突然降低,再逐渐增高的变化趋势。

(3)沉积物类型是影响孢囊数量分布的最重要原因,水深、温度、盐度与孢囊分布呈正相关,溶解氧与孢囊平均密度呈负相关,再加上该海域无论是种类上还是数量上都以异养型孢囊为主,所以孢囊的分布对河口的富营养化与低氧区具有良好的指示意义。

(4)大部分站位亚历山大藻属孢囊密度很低,在干重10个/g以下,外海海域分布水平最高,杭州湾最低。

亚历山大藻属孢囊在表层沉积物中的分布显著大于中层和底层,再加上其分布十分广泛,使该海域存在发生亚历山大藻赤潮的潜在危险。

**致谢:**孢囊样品的鉴定得到日本长崎大学 Kazumi Matsuoka 教授的悉心指导,样品处理得到暨南大学王朝晖教授的指导,特此致谢。

#### Reference:

- [1] Zheng L, Qi Y Z. Review of dinoflagellate cysts in red tide. *Journal of Jinan University( Natural Science)*, 1995, 16(1) : 137-149.
- [2] Dale B. Dinoflagellate resting cysts:benthic plankton//Fryxell G A. *Survival strategies of the algae*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983 : 69-144.
- [3] Matsuoka K, Fukuyo Y. *Technical Guide for Modern Dinoflagellate Cyst Study*. Tokyo: WESTPAC-HAB/WESTPAC/IOC. Japan Society of the Promotion Science, 2000: 1-30.
- [4] Wang Z H. Study of dinoflagellate cysts and red tide in coastal areas of China Sea. Beijing: Ocean Press, 2007: 67-89.
- [5] Qi Y Z, Hong Y, Zheng L, Kulis D M, Anderson D M. Dinoflagellate cysts from recent marine sediments of the South and East China Seas. *Asian Marine Biology*, 1996, 13: 87-103.
- [6] Matsuoka K, Saito Y, Katayama H. Marine palynomorphs found in surface sediments and a core sample collected from Changjiang River, western part of East China Sea // Matsuno T, Matsuoka K, Ishizaka J Eds, *The East China Sea. 2, Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Workshop on Oceanography and Fisheries in the East China Sea*, Nagasaki University, Japan, 1999: 195-207.
- [7] Cho H J, Matsuoka K. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from the Yellow Sea and East China Sea. *Marine Micropaleontology*, 2001, 42: 103-123.
- [8] Wang Z H, Qi Y Z. Distribution of dinoflagellate resting cysts in surface sediments from the Changjiang River Estuary. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(7) : 1039-1043.
- [9] Wang Y, Teng L. Distribution of dinoflagellate cysts from Changjiang River Estuary in the spring of 2004. *Ecologic Science*, 2006, 25(2) : 131-134.
- [10] Gu H F, Fang Q, Li R X, Lang D Z, Zhu M Y. Preliminary study on dinoflagellate cysts in Changjiang River Estuary. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2004, 35(5) : 413-423.
- [11] Huang H Y, Lu D D, Xia P, Wang H X. Taxonomic study of dinoflagellate cysts in Changjiang Estuary in the winter of 2006. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(11) : 5902-5910.
- [12] Huang H Y, Lu D D. Recent progress in the study of dinoflagellate cyst. *Journal of Marine Sciences*, 2009, 27(3) : 85-92.
- [13] Wang Z H, Matsuoka K, Qi Y Z, Gu X L. Vertical distribution of dinoflagellate resting cysts in surface sediments from the Aotou area of Daya Bay. *Marine Environmental Science*, 2003, 22(4) : 5-8.
- [14] Wang Z H, Qi Y Z, Lu S H, Wang Y, Matsuoka K. Seasonal distribution of dinoflagellate resting cysts in surface sediments from Changjiang River Estuary. *Phycological Research*, 2004, 52: 387-395.
- [15] Lin Y S, Cao W Q, Terdalkar S, Zhang X, Qi Y Z. Studies on dinoflagellate cysts and their distribution in Xiamen western harbor. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(4) : 407-414.
- [16] Wang Z H, Matsuoka K, Qi Y Z, Gu X L. Vertical distribution of dinoflagellate resting cysts in surface sediments from Shenzhen Bay of the South China Sea. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10) : 2075-2081.
- [17] East China Sea Branch, SOA. Bulletin of marine environmental quality in China from 2001 to 2007. [2008-11-20]. <http://www.eastsea.gov.cn/Module/show.aspx?id=5829>.

#### 参考文献:

- [1] 郑磊, 齐雨藻. 赤潮甲藻孢囊研究综述. 暨南大学学报: 自然科学版, 1995, 16(1) : 137-149.
- [4] 王朝晖. 中国沿海甲藻孢囊与赤潮研究. 北京: 海洋出版社, 2007: 67-89.
- [8] 王朝晖, 齐雨藻. 甲藻孢囊在长江口海域表层沉积物中的分布. *应用生态学报*, 2003, 14(7) : 1039-1043.
- [9] 王艳, 腾琳. 2004年春季长江口海域甲藻孢囊的分布研究. *生态科学*, 2006, 25(2) : 131-134.
- [10] 顾海峰, 方琦, 李瑞香, 蓝东兆, 朱明远. 长江口甲藻孢囊的初步研究. *海洋与湖沼*, 2004, 35(5) : 413-423.
- [11] 黄海燕, 陆斗定, 夏平, 王红霞. 2006年冬季长江口海域表层沉积物中甲藻孢囊的分类学研究. *生态学报*, 2009, 29(11) : 5902-5910.
- [12] 黄海燕, 陆斗定. 甲藻孢囊研究进展. *海洋学研究*, 2009, 27(3) : 85-92.
- [13] 王朝晖, Matsuoka K, 齐雨藻, 辜小莲. 大亚湾澳头海域表层沉积物中甲藻孢囊的垂直分布研究. *海洋环境科学*, 2003, 22(4) : 5-8.
- [15] 林元烧, 曹文清, Terdalkar S, 张茜, 齐雨藻. 厦门西港甲藻孢囊种类和数量分布特征. *海洋与湖沼*, 2002, 33(4) : 407-414.
- [16] 王朝晖, Matsuoka K, 齐雨藻, 辜小莲. 深圳湾表层沉积物中甲藻孢囊的垂直分布. *生态学报*, 2003, 23(10) : 2075-2081.
- [17] 国家海洋局东海分局. 中国海洋环境质量公报 [2008-11-20]. <http://www.eastsea.gov.cn/Module/show.aspx?id=5829>.