

南麂列岛海域沉积物中甲藻孢囊的 多样性和分布*

尤胜炮¹ 高寒² 雷向东¹ 萧云朴^{1,3} 顾海峰⁴ 佟蒙蒙²

(1. 国家海洋局南麂海洋环境监测站 平阳 325400; 2. 浙江大学海洋学院 舟山 316000; 3. 浙江省平阳县海洋与渔业局 平阳 325400; 4. 国家海洋局第三海洋研究所 厦门 361005)

摘要 南麂列岛地处亚热带海域,是台湾暖流和江浙沿岸流的交汇处,因而呈现出很好的生物多样性。据调查,南麂列岛附近海域已鉴定的浮游植物甲藻有 53 种,而到目前为止,对南麂列岛海域甲藻的休眠孢囊种类和分布的调查仍为空白。本文通过对 2014 年南麂列岛附近海域沉积物中甲藻孢囊的调查研究,在该海域共发现甲藻孢囊 10 属 26 种,其中,种类最多的是原多甲藻属(*Protoperidinium*),有 10 种;其次是斯氏藻属(*Scrippsiella*)和亚历山大藻属(*Alexandrium*),分别有 4 种,膝沟藻属(*Gonyaulax*)2 种,舌甲藻属(*Lingulodinium*)、易碎藻属(*Fragilidium*)、扁甲藻属(*Pyrophacus*)、翼藻属(*Diplopsalis*)、裸甲藻属(*Gymnodinium*)和多沟藻属(*Polykrikos*)各 1 种。这些甲藻孢囊中,异养型和自养型甲藻孢囊各 13 种,自养型甲藻孢囊在数量上所占比例较大(79%)。2014 年南麂列岛海域甲藻孢囊丰度较低,每毫升沉积物能检测出 2—33 个;夏、秋季的孢囊丰富度较高;岙口等相对开放海域的孢囊丰度明显高于岙内各站点。值得注意的是,三种有毒甲藻孢囊,塔玛/相似亚历山大藻(*Alexandrium tamarense/affine*),具刺膝沟藻(*Gonyaulax spinifera*)和多边舌甲藻(*Lingulodinium polyedra*)的孢囊也在样品中检出,并且分别占春季、夏季和秋季孢囊总丰度的 37%、23%和 27%。本研究为完善南麂列岛甲藻的物种多样性提供了依据。

关键词 南麂列岛; 甲藻; 孢囊; 物种多样性; 沉积物

中图分类号 Q948.8 doi: 10.11693/hyhz20151200297

休眠孢囊是甲藻生活史中的一个重要阶段,它的形成大多是甲藻在不利环境条件下的一种适应过程。世界上已知约 200 种甲藻孢囊中,大多数孢囊是以休眠孢囊的形式存留在海底沉积物中,这些孢囊的水平和垂直分布,在一定程度上反应了上层水体的理化特征以及浮游植物种群动态特征(Ismael *et al.*, 2014)。对甲藻孢囊的研究,特别是孢囊的形态分类(Gu *et al.*, 2015)、空间分布(Al-Hashmi *et al.*, 2014)、原位动力学(Ishikawa *et al.*, 2014)以及孢囊与海洋环境关系方面(D'Silva *et al.*, 2013; Aydin *et al.*, 2015)的研究等,是海洋生态学、海洋地质学、海洋环境学的研究

热点。

中国沿海甲藻孢囊的研究始于 20 世纪 90 年代初,主要涉及孢囊的时空分布和孢囊原位动力学等。郑磊等(1997)研究孢囊在我国东南沿海的分布。王朝晖等(2003a)研究了大亚湾澳头海域表层沉积物中甲藻孢囊的垂直分布并探讨了孢囊作为富营养化指标的可行性等。黄琳(2012)研究了 2010—2011 年黄、东海海域甲藻孢囊的垂直和水平分布情况,并通过孢囊分布情况反映近三十年(1980—2010 年)来该海域日趋严重的工业污染和富营养化水平。

孢囊的生态动力学研究也有一些进展。辜小莲

* 2013 年浙江省公益技术研究社会发展项目, 2013C33081 号, 2013C32040 号; 国家自然科学基金项目, 41306095 号; 国家教育部博士点基金, J20130101 号。尤胜炮, 工程师, E-mail: 985271172@qq.com

通讯作者: 佟蒙蒙, 副教授, 硕士生导师, E-mail: mengmengtong@zju.edu.cn

收稿日期: 2015-12-07, 收修改稿日期: 2016-01-23

(2002)对大亚湾海域甲藻孢囊进行了生态动力学研究。王朝晖等(2003b, 2014)对有毒亚历山大藻(*Alexandrium* spp.)和链状裸甲藻(*G. catenatum*)孢囊在中国沿海的分布进行研究,并进一步对孢囊进行了萌发实验,在柘林湾海域的孢囊中萌发出大量有毒藻类营养细胞,预测了当地海域有害有毒赤潮发生的风险。Liu 等(2012)对黄海北部四十里湾(Sishili Bay)孢囊分布和水体营养盐状况进行研究,发现甲藻孢囊数量随着营养盐浓度上升而增加,但重金属和其它污染物会影响孢囊的分布。陈田田(2014)研究了红色赤潮藻(*Akashiwo sanguinea*)种群增长与孢囊形成机制,发现血红哈卡藻孢囊形成同环境中氮胁迫相关。

浙江省东南部的南麂列岛附近海域(以下简称南麂海域),属于亚热带地区,全年水温变化和缓,年均 18.7°C 。南麂海区上升流终年存在,夏季在西南季风影响下还有所加强,为这片海域带来丰富的营养物质,因而呈现出很好的生物多样性和稀缺性。据调查,南麂海域已鉴定的浮游植物甲藻有 53 种,然而,到目前为止,对浙江南麂海域沉积物中甲藻孢囊的研究却尚未开展,该海域孢囊的形态特征和分布规律还处于空白状态。因此,本研究以南麂海域为出发点,对沉积物中的甲藻孢囊进行多样性分析,并调查研究这些甲藻孢囊的分布特征。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

在南麂列岛附近海域(121.05°E — 27.44°N),绕南麂列岛外围共布设调查站点 8 个(见图 1),N1—N4 和 N5—N8 分别位于马祖岙、国姓岙口、后隆岙及大

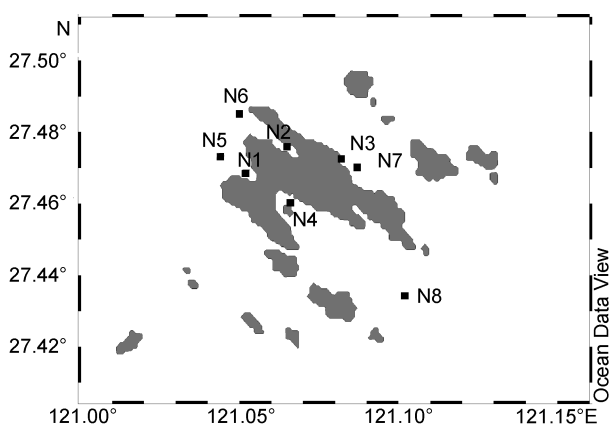


图 1 南麂岛采样点分布图

Fig.1 Map of sampling site in Nanji Island, East China Sea

沙岙的岙内与岙口,是代表沿南麂岛四个方向流影响下的点位。

1.2 调查方法

1.2.1 调查时间 分别在2014年春(3月)、夏(6月)和秋(10月)季采集沉积物样品。

1.2.2 表层沉物采集与分析

(1) 样品采集与保存: 采用柱状重力沉积物采泥器对表层至 2cm 深处的样品进行采集,采集的样品用塑料袋分别密封后,做好标记,放入 4°C 保温箱中带回实验室进行分析。

(2) 样品处理: 方法参考 Gu 等(2015)中的孢粉处理步骤。将样品用自制的容器(体积 1mL)称量,称量后在室温下加入盐酸(10%)除去钙质,残留物用蒸馏水冲洗两次。用 $120\mu\text{m}$ 和 $15\mu\text{m}$ 孔径的尼龙网筛过滤去除大的颗粒,收集径粒大小为 $15\text{—}120\mu\text{m}$ 的样品。样品中加入 50%氢氟酸去除硅质颗粒,再加入 10%盐酸溶解硅酸盐沉淀。处理后的样品用蒸馏水冲洗两次,超声处理 30s,再用 $15\mu\text{m}$ 尼龙网过滤。将尼龙网上的样品冲洗定容至 10mL。

(3) 样品观察与计数: 将样品混合均匀后,用吸管吸取 1mL 至 1mL 的方格计数框中,在永新 XSZ-N107CCD 三目生物显微镜下进行种类鉴定、计数并拍照,孢囊丰度用 cyst/mL 表示。孢囊的分类根据其营养细胞的营养方式,分为自养型和异养型甲藻孢囊。

1.3 数据统计分析

本研究分别对不同季节各站点孢囊物种的丰度,多样性指数,优势度,均匀度和丰富度进行统计分析。

丰度: 各季的平均丰度 $A_{ik} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_{ijk}$, 各站点

平均丰度 $A_{ik} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M A_{ijk}$, A_{ijk} 表示第 i 季节第 j 站第 k 种孢囊的丰度, M 表示季数, N 表示站点数。

多样性指数: 多样性指数 $H' = -\sum_{k=1}^S P_k \log_2 P_k$, P_k

表示各季或站点第 k 种孢囊数占总孢囊数的比值, S 表示孢囊种类数;

均匀度: 均匀度 $J' = H'/\log_2 S$;

丰富度: 丰富度 $D = (S-1)/\log_2 N$ 。

2 结果

2.1 甲藻孢囊种类组成特征

在春季、夏季和秋季的三次沉积物采样中,共检

出甲藻孢囊 10 属 26 种(表 1), 其中种类最多的是原多甲藻属(*Proto-peridinium*), 有 10 种; 其次是斯氏藻属(*Scrippsiella*)和亚历山大藻属(*Alexandrium*), 分别有 4 种, 膝沟藻属(*Gonyaulax*) 2 种, 其余的, 舌甲藻属(*Lingulodinium*)、易碎藻属(*Fragilidium*)、扁甲藻属(*Pyrophacus*)、翼藻属(*Diplopsalis*)、裸甲藻属

(*Gymnodinium*)和多沟藻属(*Polykrikos*)各 1 种。其中, 自养型孢囊和异养型孢囊各 13 种。值得注意的是, 塔玛/相似亚历山大藻(*Alexandrium tamarense/affine*)产麻痹性贝类毒素产毒藻的孢囊以及具刺膝沟藻(*Gonyaulax spinifera*)和多边舌甲藻(*Lingulodinium polyedra*)两种产 YTX 毒素藻的孢囊也在样品中检出。

表 1 南麂海域甲藻孢囊种类组成及各季平均丰度
Tab.1 Seasonal abundance of dinoflagellate cysts in ocean around Nanji Island

孢囊种类	春季平均丰度	夏季平均丰度	秋季平均丰度
自养型甲藻孢囊(共 13 种)			
膝沟藻类孢囊(8 种)			
相似亚历山大藻 <i>Alexandrium affine</i>	1.250	0.250	1.500
安德森亚历山大藻 <i>Alexandrium andersonii</i>	0.500	1.625	0.250
拟膝沟亚历山大藻 <i>Alexandrium pseudogonyaulax</i>	0.500	1.625	0.250
塔玛亚历山大藻 <i>Alexandrium tamarense</i>	0.500	0.500	0.375
膜状膝沟藻 <i>Gonyaulax membranacea</i>	0.125	0	0
具刺膝沟藻 <i>Gonyaulax spinifera</i>	0.375	1.125	0.250
墨西哥易碎藻 <i>Fragilidium mexicanum</i>	1.125	0.125	3.000
多边舌甲藻 <i>Lingulodinium polyedra</i>	2.625	0.375	0
Tuberculudinioid 类孢囊(1 种)			
窄型扁甲藻 <i>Pyrophacus stenii</i>	0	0	0.125
钙质类孢囊(4 种)			
东海斯氏藻 <i>Scrippsiella donghaiense</i>	2.625	0.375	0
圆斯氏藻 <i>Scrippsiella rotunda</i>	1.250	0.250	1.500
斯氏藻属 <i>Scrippsiella</i> sp.	0.875	0	0.875
锥状斯氏藻 <i>Scrippsiella trochoidea</i>	0	0	0.125
异养型甲藻孢囊(共 13 种)			
原多甲藻类孢囊(10 种)			
原多甲藻 <i>Brigantedinium</i> sp.	1.250	0.250	1.500
美国原多甲藻 <i>Proto-peridinium americanum</i>	0.125	0	0
褐色原多甲藻 <i>Proto-peridinium avellana</i>	0.375	1.125	0.250
窄角原多甲藻 <i>Proto-peridinium claudicans</i>	0.125	0.125	0
锥形原多甲藻 <i>Proto-peridinium conicum</i>	0	0	0.125
里昂原多甲藻 <i>Proto-peridinium leonis</i>	0.375	0.250	0.500
长形原多甲藻 <i>Proto-peridinium oblongum</i>	0	0	0.125
<i>Proto-peridinium parthenopes</i>	0	0.125	0.250
<i>Proto-peridinium quadrioblongum</i>	0	0.125	0.250
上海原多甲藻 <i>Proto-peridinium shanghaiense</i>	0.250	0.625	0.125
翼藻类孢囊(1 种)			
微细双盾藻 <i>Diplopsalis lenticular</i>	0.500	1.625	0.250
裸甲藻类孢囊(2 种)			
伊姆裸甲藻 <i>Gymnodinium impudicum</i>	1.250	0.250	1.500
科夫多沟藻 <i>Polykrikos kofoidii</i>	0.125	0	0.625
总计	16.1	10.8	13.75

在南麂海域, 自养型甲藻孢囊占总孢囊丰度的 79%。随着季节变化, 异养型藻类孢囊所占比例也在发生变化(图 2)。从空间分布看, 各站点异养型甲藻孢囊比例分布没有明显特征, N6 站点的异养型甲藻孢囊比例在夏季和秋季分别达到同期各站点间最高值(87%和 40%)。N2、N3、N4、N7 和 N8 站点的异养型甲藻孢囊比例全年相对稳定。从时间上看, 夏季各站点间异养型甲藻孢囊比例变异较大, 而春季和秋季变异较小。夏季和秋季的沉积物样品中异养型藻类孢囊比例相对较高, 各站点异养型甲藻孢囊比例的平均值在夏季和秋季分别达到 24%和 21%, 而春季较低, 仅为 11%。

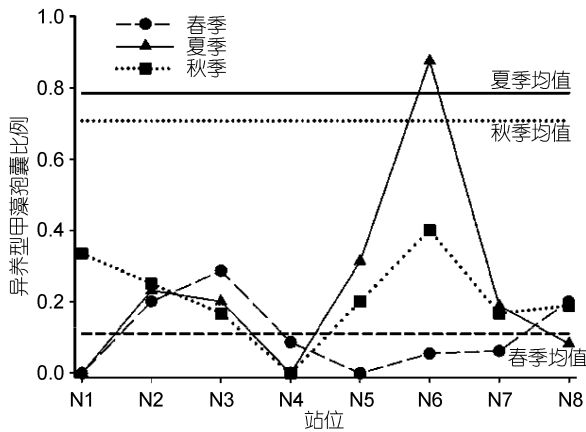


图 2 各站点不同季节异养型甲藻孢囊所占比例

Fig.2 Proportion of heterotrophic group cysts in Nanji Island in different seasons
横线代表各季异养型甲藻孢囊比例的平均值

2.2 南麂岛甲藻孢囊形态特征

南麂海域主要甲藻孢囊的形态特征如图 3 所示。

塔玛亚历山大藻 *Alexandrium tamarense* 孢囊, 长椭圆形, 两端呈圆形。具有双层孢囊壁, 外覆盖透明黏性物质。孢囊内有浅色或透明淀粉颗粒、淡褐色的脂粒, 有红色或黄色色素体(图 3a)。

相似亚历山大藻 *Alexandrium affine*/微小亚历山大藻 *A. minutum* 孢囊, 细胞呈圆形, 孢囊内有淀粉颗粒和脂粒, 外壁光滑(图 3b, 3c)。

膝沟藻孢囊 *Gonyaulax* sp., 细胞成圆形或椭圆形, 细胞壁薄, 外附有刺, 刺的底端比顶端略宽, 部分刺在顶端分为两叉, 胞内可见透明物、褐色色素体(图 3d)。图 3g 为具刺膝沟藻 *Gonyaulax spinifera*。

原多甲藻孢囊 *Protoperdinium* sp., 细胞呈褐色, 一些原多甲藻孢囊外有平行的均匀分布的刺, 细胞

内有色素, 孢囊内有色素体存在; 一些原多甲藻孢囊外表光滑, 可见甲片脱落后的萌发口(图 3e, 3f)。

斯氏藻孢囊 *Scrippsiella* sp., 细胞圆形或椭圆形, 褐色, 有两层细胞壁且较厚, 胞外有钙质的, 均匀分布的刺, 刺顶端不分叉或呈钝状顶端, 孢囊内可见红色、绿色或黄色色素体及脂粒(图 3h, 3i)。

科夫多沟藻 *Polykrikos kofoidii*, 细胞呈椭圆形, 外表附有刺, 刺的顶端交叉, 可见部分网状结构(图 3j)。

未知孢囊 1(图 3k), 细胞呈圆形, 外表光滑, 细胞壁较厚, 胞内无内容物, 疑似为某种孢囊的空孢囊; 未知孢囊 2(图 3l), 细胞近似圆形, 外有一层透明物包裹, 胞内容物较少, 细胞壁上疑似有一开口。

2.3 甲藻孢囊的时空分布特征

春季, 东海斯氏藻(*Scrippsiella donghaiense*)和多边舌甲藻(*Lingulodinium polyedra*)的平均丰度最高(2.625cyst/mL); 在夏季采集的样品中, 膝沟藻类孢囊, 安氏亚历山大藻(*Alexandrium andersonii*)以及 *Alexandrium pseudogonyaulax* 平均丰度较高(1.625cyst/mL), 微细双盾藻(*Diplopsalis lenticular*)孢囊平均丰度也达到全年最高值 1.625cyst/mL; 秋季的沉积物样品中, 相似亚历山大藻(*Alexandrium affine*)、圆斯氏藻(*Scrippsiella rotunda*)、原多甲藻(*Brigantodinium* sp.)和伊姆裸甲藻(*Gymnodinium impudicum*)孢囊平均丰度均为 1.5cyst/mL, 为秋季样品中丰度最高的 4 种孢囊(表 1)。有毒甲藻孢囊, 塔玛/相似亚历山大藻(*Alexandrium tamarense/ affine*), 伊姆裸甲藻, 以及具刺膝沟藻(*Gonyaulax spinifera*)和多边舌甲藻(*Lingulodinium polyedra*)孢囊分别占春、夏和秋三个季节孢囊总丰度的 37%、23%和 27%。

南麂海域全年孢囊丰度变化量较小。N1 和 N5 平均丰度分别为全年最高和最低(分别为 13.67cyst/mL 和 7.67cyst/mL)。如图 4a 所示, 各站点甲藻孢囊的丰度分布并没有呈现出规律性的变化。N3、N6 和 N7 的孢囊数量随时间呈逐渐下降趋势, 而 N8 的孢囊数量则逐渐上升, N1 在春季和夏季的孢囊丰度很低, 而秋季丰度显著升高。从季节分布差异来看, 岙内各站点(N1—N4)的季节变化差异要大于岙口(N5—N8)站点。

在八个采样点中, 6 种类型的孢囊所占比例有一定的差异(图 4b)。钙质类孢囊(Caleoidinellid)和膝沟藻类(*Gonyaulacoid*)孢囊在各个采样点均有分布, 两种类型的孢囊占总孢囊数量的比例很大, 其中, 在 N4、N7 和 N8 的样品中, 这一比例均高于 80%。除 N3 和 N6 两个站点外, 其余各站膝沟藻类孢囊的比例

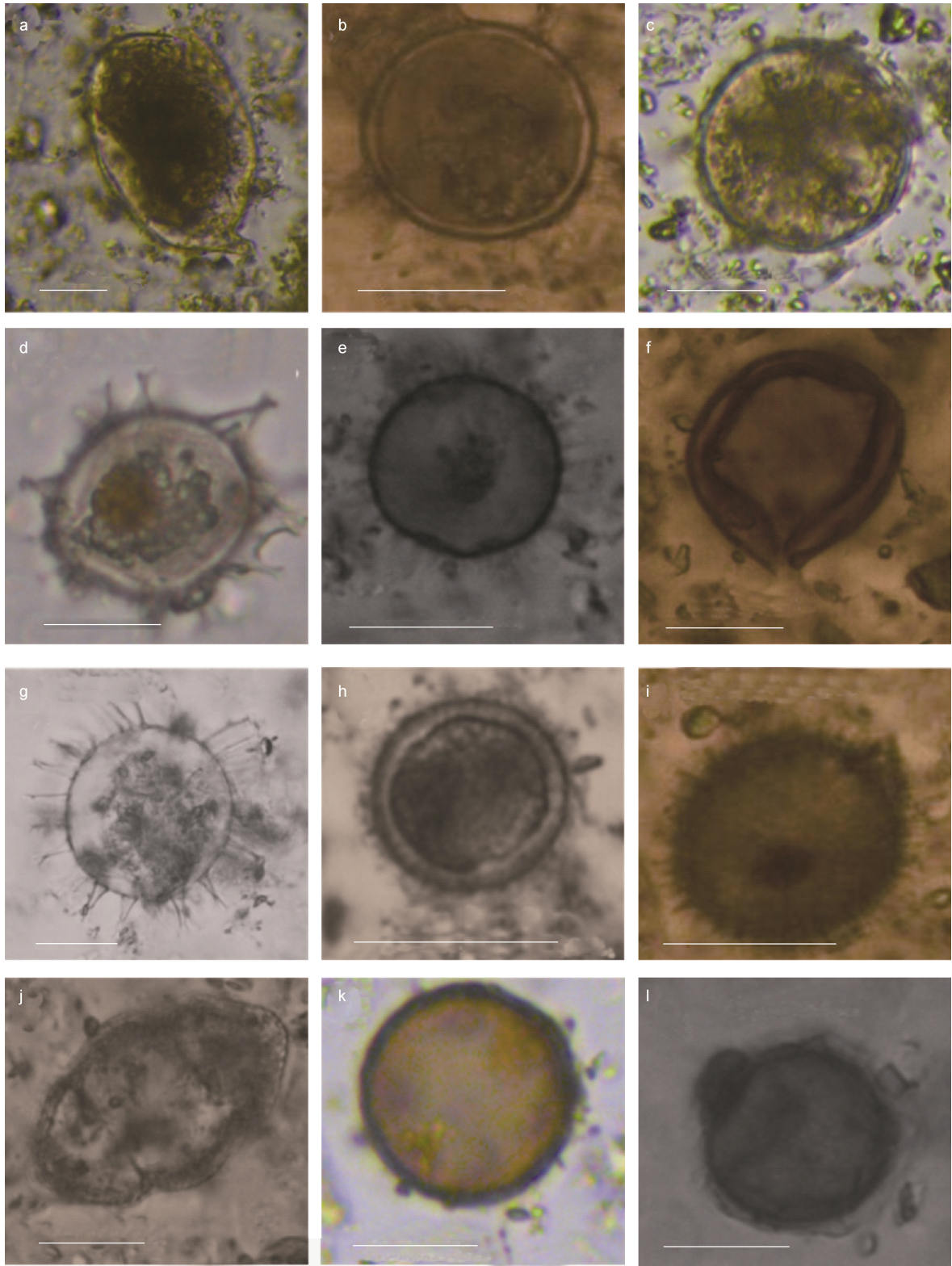


图 3 a: 塔玛亚历山大藻孢囊; b, c: 相似亚历山大藻/微小亚历山大藻孢囊; d: 膝沟藻孢囊; e, f: 原多甲藻孢囊; g: 具刺膝沟藻孢囊; h, i: 斯氏藻孢囊; j: 科夫多沟藻孢囊; k, l: 未知孢囊

Fig.3 a: cyst of *Alexandrium tamarense*; b, c: cyst of *Alexandrium affine*/*A. minutum*; d: cyst of *Gonyaulax* sp., e, f: cyst of *Proto-peridinium* sp.; g: cyst of *Gonyaulax spinifera*; h, i: cyst of *Scrippsiella* sp.; j: cyst of *Polykrikos kofoidii*; k, l: cyst of unknown species
各图中白色标尺均代表 20 μ m

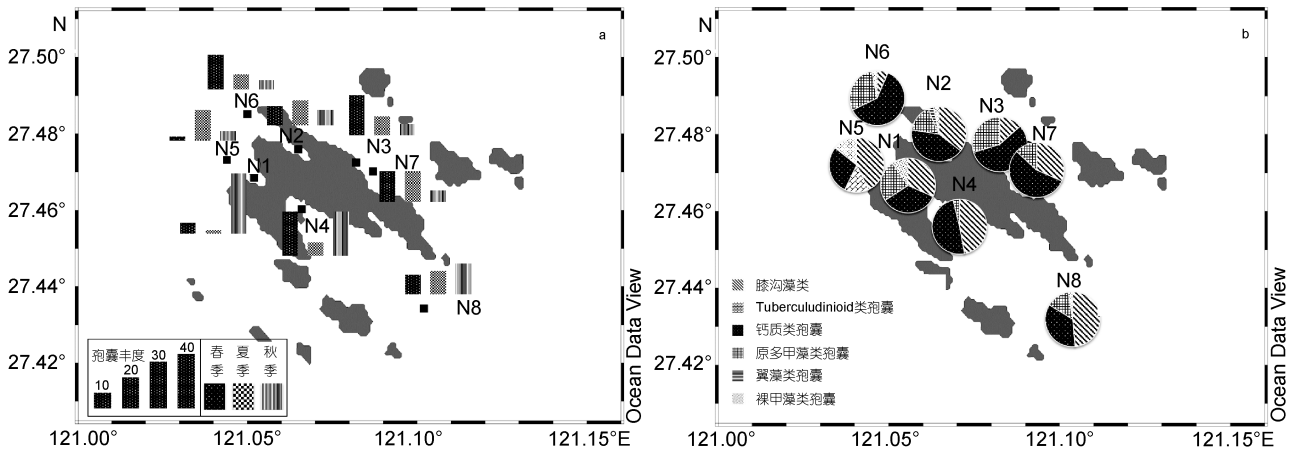


图 4 a: 2014 年南麂岛海域甲藻孢囊丰度的时空分布特征; b: 孢囊种类的时空分布特征

Fig.4 Temporal and spatial distributions in the cyst abundance (a) and proportion (b) in Nanji Island in 2014

均超过了 25%, N4、N5 和 N8 站点中这一比例更是高达 50%。原多甲藻类(Protoperidinioid)孢囊在除 N5 外的其余各站点均被检出, 其比例略低于钙质类和膝沟藻类孢囊。

甲藻孢囊的多样性指数、均匀度以及丰富度的时空分布特征, 如表 2 和表 3 所示。2014 年南麂岛海域甲藻孢囊分布的多样性、均匀度以及丰富度特征随时间变化差异不明显(表 2)。但孢囊分布的海域变化明显, 如孢囊丰富度 D 在岙口各站点(N5—N8)显著高于岙内各站点(N1—N4)(t -test $P < 0.05$), 而岙口

各站点的孢囊多样性指数低于岙内, 其中, N6 和 N7 两个站点多样性最低(表 3)。

表 2 南麂列岛甲藻孢囊多样性指数、均匀度和丰富度的季节变化特征

Tab.2 Seasonal variations in diversity, uniformity, and richness of dinoflagellate cysts in the ocean near Nanji Island

	春季	夏季	秋季
多样性指数 H'	3.128	3.017	3.442
均匀度 J'	0.665	0.642	0.732
丰富度 D	3.687	3.779	3.723

表 3 南麂列岛甲藻孢囊多样性指数、均匀度和丰富度的海域变化特征

Tab.3 Spatial variations in diversity, uniformity, and richness of dinoflagellate cysts in the ocean near Nanji Island

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
多样性指数 H'	3.740	4.297	4.491	2.950	3.433	2.431	2.603	3.130
均匀度 J'	0.796	0.914	0.955	0.628	0.730	0.517	0.554	0.666
丰富度 D	4.48	4.64	4.05	4.29	5.45	5.00	4.64	4.67

3 讨论

南麂海域地处亚热带, 全年水温变化和缓, 营养物质丰富, 呈现出良好的生物多样性。据调查, 甲藻的种类约 53 种, 这些甲藻在环境条件不适宜生长的时候, 多以孢囊的形式生存于沉积物中。根据本研究 2014 年对南麂海域沉积物的调查, 共发现孢囊 10 属 26 种, 填补了南麂岛沉积物中孢囊调查的空白。

南麂海域孢囊种类多样性, 呈现明显特征。原多甲藻属孢囊丰度较高, 与这一海域原多甲藻属营养细胞在水体中为优势种相符。原多甲藻属分布广泛, 且对温度和盐度的适应性强, 特别是在上升流区域和营养物丰富区域常发现此类藻细胞和孢囊(Kumar

et al, 2002)。自养型藻类孢囊数量较多, 同时, 13 种异养型藻类孢囊在南麂岛海域被发现, 且春季的数量较低, 夏季和秋季分布比例较高。异养型藻类孢囊被认为是富营养化导致的高初级生产力的标志。D'Silva 等(2013)通过对印度东海岸的孢囊研究表明, 甲藻孢囊种群能反映当地海域环境条件和富营养化程度。黄海燕等(2010)调查 2006—2007 年冬季长江口海域甲藻孢囊的分布发现, 异养型孢囊数量占到 70%。Kim 等(2012)发现, 从长江口至韩国西南部海域, 异养型甲藻孢囊相对丰度逐渐下降, 而自养型孢囊的相对丰度逐渐上升。本调查中发现, 南麂岛海域异养型孢囊数量最高比例约为 20%—24%, 表明南麂岛海域也可能面临着富营养化的威胁。异养型孢囊比例在夏秋季

节较高,这很可能与南麂岛海域夏季上升流增强有关(纪焕红等,2008)。总体上来说,南麂岛海域甲藻孢囊种类数量同黄海燕等(2010)、Wang等(2004)、顾海峰等(2004)等人的研究相似,但孢囊丰度低于上述研究中报道的数量。且产麻痹性贝类毒素(PSP)产毒藻、塔玛/相似亚历山大藻以及两种产扇贝毒素(YTX)产毒藻,具刺膝沟藻和多边舌甲藻的孢囊也在南麂岛沉积物样品中检出,为当地海域食品安全带来隐患。

此外,南麂海域孢囊的时空分布也呈现明显特征。南麂海域夏秋季的孢囊丰富度较高,春季较低,这与大亚湾的研究结果类似,Wang等(2004)发现,夏秋季孢囊丰富度要高于春季,但差异不大。孢囊集中于海底表层泥(0—5cm)层,水平分布上,常位于避开风浪、水流搅动小、水位较深、活性磷含量高而N/P值低的底泥中,这样的环境条件有利于孢囊的沉降,且水位较深、N/P值低更有利于孢囊的休眠(郑磊等,1997;王朝晖等,2003a;付永虎等,2009)。南麂岛岬内各站点孢囊的季节变化差异较大,这很可能是由于岬内个点水位较低(8—13m),受潮汐和海流影响较大,水体条件不利于孢囊的沉降和稳定聚集造成。

岬内各站点的孢囊丰度、多样性和均匀度分布与岬口各站点没有显著区别,然而岬内孢囊丰富度显著高于岬口。沉积物颗粒与孢囊大小相近,含沙量低的沉积物类型孢囊沉积率更高(郑磊等,1997;王朝晖等,2003a),调查发现,南麂岛岛屿附近含沙量一般比外域高,这也可能是岬口各站点孢囊丰富度较高的原因之一。大量研究表明,孢囊的分布是多因素共同调控的结果:海水深度、温度、盐度和营养等海洋环境因素,孢囊的产量、底部沉积物颗粒的大小和沉积率等对孢囊的分布均有显著的影响。大部分孢囊的大小在30—65 μm ,常常在颗粒大小、沉降性质与之相近的粘土中积累。粘性沉积物中的孢囊密度总体来说高于砂质沉积物,而且孢囊密度与粘土含量成正比。孢囊丰度可能同沉积物类型和粒径有一定相关性(Matsuoka *et al.*, 2003)。王朝晖等(2003a)证实大亚湾澳头海域沉积物中,孢囊的高含量也与沉积物类型密切相关。大亚湾澳头海域沉积物以富含有机质的灰黑色和黑色淤泥为主,沉积物颗粒大小与孢囊大小相近,有利于孢囊的沉积和积累。相反,沙质沉积物中孢囊丰度通常较低且水流速较快,不利于孢囊沉积(Horner *et al.*, 2011; Aydin *et al.*, 2015)。同时,孢囊在沉积物中的分布与当地水系的流系,以及该水域水文和沉积过程的选择性沉积作用都有一定联系。因

此,研究某一地区孢囊的种类特点、数量分布及其与环境之间的相互关系,对于了解赤潮种群补充、生消过程及机理至关重要。

4 结论

2014年南麂列岛海域发现甲藻孢囊10属26种,其中种类最多的是原多甲藻属(*Protoperidinium*),有10种;其次是斯氏藻属(*Scrippsiella*)和亚历山大藻属(*Alexandrium*),分别有4种;膝沟藻属(*Gonyaulax*)2种;其余的,舌甲藻属(*Lingulodinium*)、易碎藻属(*Fragilidium*)、扁甲藻属(*Pyrophacus*)、翼藻属(*Diplopsalis*)、裸甲藻属(*Gymnodinium*)和多沟藻属(*Polykrikos*)各1种。甲藻孢囊丰度较低(2—33 ind./mL沉积物)。异养型甲藻孢囊和自养型甲藻孢囊各13种,但自养型甲藻孢囊数量较多,占79%。夏、秋季的孢囊丰富度高于春季,岬口相对开放海域的孢囊丰度显著高于岬内站点。值得注意的是,三种有毒甲藻孢囊:塔玛/相似亚历山大藻(*Alexandrium tamarense/affine*)、具刺膝沟藻(*Gonyaulax spinifera*)和多边舌甲藻(*Lingulodinium polyedra*)的孢囊也在样品中检出,并且分别占春、夏和秋三个季节孢囊总丰度的37%、23%和27%,成为当地发生有毒甲藻暴发事件的隐患。

致谢 本研究中的甲藻孢囊图片,部分是由浙江大学2012级本科生宋绍华、徐文韬和林伟栋同学协助完成,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王朝晖, Matsuoka K, 齐雨藻等, 2003a. 大亚湾澳头海域表层沉积物中甲藻孢囊的垂直分布. 海洋环境科学, 22(4): 5—8
- 王朝晖, Matsuoka K, 齐雨藻等, 2003b. 有毒亚历山大藻(*Alexandrium* spp.)和链状裸甲藻(*Gymnodinium catenatum*)孢囊在中国沿海的分布. 海洋与湖沼, 34(4): 422—430
- 王朝晖, 康伟, 2014. 柘林湾表层沉积物中甲藻孢囊的分布与浮游植物休眠体萌发研究. 环境科学学报, 34(8): 2043—2050
- 付永虎, 王朝晖, 康伟等, 2009. 长江口及其邻近海域近代沉积物中甲藻孢囊的垂直分布. 暨南大学学报(自然科学版), 30(1): 106—110
- 纪焕红, 叶属峰, 刘星等, 2008. 南麂列岛海域浮游植物生态特征及甲藻赤潮频发原因. 海洋科学进展, 26(2): 234—242
- 陈田田, 2014. 红色赤潮藻(*Akashiwo sanguinea*)种群增长与孢囊形成机制研究. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文
- 郑磊, 齐雨藻, 1997. 南海大鹏湾甲藻孢囊分布研究. 热带亚热带植物学报, 5(3): 10—15
- 顾海峰, 方琦, 李瑞香等, 2004. 长江口甲藻孢囊的初步研究. 海洋与湖沼, 35(5): 413—423

- 黄琳, 2012. 东、黄海海域沉积物中甲藻孢囊的生态分布特征及其与海区污染关系研究. 广州: 暨南大学硕士学位论文
- 黄海燕, 陆斗定, 夏平等, 2010. 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. 生态学报, 30(20): 5569—5576
- 辜小莲, 2002. 大亚湾海域甲藻孢囊生态动力学研究. 广州: 暨南大学硕士学位论文
- Al-Hashmi K A, Goes J, Claereboudt M *et al*, 2014. Variability of dinoflagellates and diatoms in the surface waters of Muscat, Sea of Oman: comparison between enclosed and open ecosystem. *International Journal of Oceans and Oceanography*, 8(2): 137—152
- Aydin H, Yürür E E, Uzar S *et al*, 2015. Impact of industrial pollution on recent dinoflagellate cysts in Izmir Bay (Eastern Aegean). *Marine Pollution Bulletin*, 94(1—2): 144—152
- D'Silva M S, Anil A C, Sawant S S, 2013. Dinoflagellate cyst assemblages in recent sediments of Visakhapatnam harbour, east coast of India: influence of environmental characteristics. *Marine Pollution Bulletin*, 66 (1—2): 59—72
- Gu H F, Luo Z H, Mertens K N *et al*, 2015. Cyst-motile stage relationship, morphology, ultrastructure, and molecular phylogeny of the gymnodinioid dinoflagellate *Barrufetare splendens* comb. nov., formerly known as *Gyrodinium resplendens*, isolated from the Gulf of Mexico. *Journal of Phycology*, 51(5): 990—999
- Horner R A, Greengrove C L, Davies-Vollum K S *et al*, 2011. Spatial distribution of benthic cysts of *Alexandrium catenella* in surface sediments of Puget Sound, Washington, USA. *Harmful Algae*, 11: 96—105
- Ishikawa A, Hattori M, Ishii K I *et al*, 2014. In situ dynamics of cyst and vegetative cell populations of the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella* in Ago Bay, central Japan. *Journal of Plankton Research*, 36(5): 1333—1343
- Ismael A, El-Masry E, Khadr A, 2014. Dinoflagellate [cysts][S1] as signals for eutrophication in the eastern harbour of Alexandria-Egypt. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 43(3): 365—371
- Kim S Y, Lim D I, Cho H J, 2012. Dinoflagellate cyst assemblages from the northern shelf sediments of the East China Sea: an indicator of marine productivity. *Marine Micropaleontology*, 96—97: 75—83
- Kumar A, Patterson R T, 2002. Dinoflagellate cyst assemblages from Effingham Inlet, Vancouver Island, British Columbia, Canada. *Palaeoecology*, 180: 187—206
- Liu D Y, Shi Y J, Di B P *et al*, 2012. The impact of different pollution sources on modern dinoflagellate cysts in Sishili Bay, Yellow Sea, China. *Marine Micropaleontology*, 84—85: 1—13
- Matsuoka K, Joyce L B, Kotani Y *et al*, 2003. Modern dinoflagellate cysts in hypertrophic coastal waters of Tokyo Bay, Japan. *Journal of Plankton Research*, 25(12): 1461—1470
- Wang Z, Qi Y, Lu S *et al*, 2004. Seasonal distribution of dinoflagellate resting cysts in surface sediments from Changjiang River Estuary. *Phycological Research*, 52: 387—395

BIODIVERSITY AND DISTRIBUTION OF DINOFLAGELLATE RESTING CYSTS IN THE SEDIMENTS OF NANJI ISLAND, EAST CHINA SEA

YOU Sheng-Pao¹, GAO Han², LEI Xiang-Dong¹, XIAO Yun-Pu^{1,3}, GU Hai-Feng⁴, TONG Meng-Meng²

(1. Nanji Marine Environment Monitoring Center, SOA, Pingyang 325400, China; 2. Ocean College, Zhejiang University, Zhoushan 316000, China; 3. Zhejiang Pingyang County Ocean and Fisheries Bureau, Pingyang 325400, China; 4. Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen 361005, China)

Abstract A survey was conducted in 2014 on seasonal and special distributions of dinoflagellate cysts in sediment near Nanji Island off Wenzhou City, East China. High biological diversity was observed as the area is located between Taiwan Warm Current and Jiangsu / Zhejiang coastal current. Fifty-three species of dinoflagellates were identified microscopically, including 26 species and 10 genera. Among them, *Protoperidinium* dominated (10 species), followed by *Scrippsiella* (4), *Alexandrium* (4), and *Gonyaulax* (2); and only one species in *Lingulodinium*, *Fragilidium*, *Pyrophacus*, *Diplopsalis*, *Gymnodinium*, and *Polykrikos*. Of the 26 species, the numbers of autotrophic and heterotrophic species were equal; however, the autotrophic species were more abundant, taking up to 79% of all samples. In general, the cysts abundance was relatively low in 2014, ranging from 2 to 33 per mL sediment. Cysts were remarkably higher in summer and autumn, and in open waters than those in spring and the gulf area. Notably, cysts of three toxic dinoflagellates, *Alexandrium tamarense/affine*, *Gonyaulax spinifera*, and *Lingulodinium polyedra* were detected for the first time in the sediment, accounting for 37%, 23%, and 27% of the total cysts abundance in spring, summer and autumn, respectively. The presence of the toxic cysts indicates a potential outbreak risk of their vegetative cells in local coastal area. Our study provides background information for cysts diversity in the area and calls for detailed research in the future.

Key words Nanji Island; dinoflagellate cyst; biodiversity; sediment