

桂山岛海域甲藻孢囊的分布与浮游植物休眠体萌发研究

康伟^{1,3}, 王朝晖^{2,3}

(1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 上海 200090; 2. 暨南大学, 广东 广州 510632; 3. 水体富营养化与赤潮防治广东普通高校重点实验室(暨南大学); 广东 广州 510632)

摘要: 为了了解珠江口桂山岛海域甲藻孢囊的分布及浮游植物休眠体的萌发状况, 以揭示赤潮发生潜势, 于2009年1月采集了珠江口桂山岛海域表层沉积物样品, 对沉积物中甲藻孢囊的种类和数量进行分析, 并对浮游植物休眠体进行了萌发试验。结果表明, 桂山岛海域甲藻孢囊有21种, 原多甲藻类孢囊在种类数上占优势。甲藻孢囊密度较低, 为110~315个/g, 平均为202个/g, 养殖区密度高于非养殖区。异养型甲藻孢囊百分比含量较高, 表明了该海域较高的富营养化程度。活体孢囊密度百分比达61.8%, 说明表层沉积物中存在大量未萌发的活性孢囊, 为赤潮暴发埋下了隐患。萌发的浮游植物种类数较少, 为19属22种。20 d和40 d萌发的浮游植物细胞平均密度分别为490个/g和264个/g。萌发的甲藻优势种为 *Biecheleriopsis adriatica*, 其次为锥状斯氏藻(*Scrippsiella trochoidea*); 萌发的硅藻主要以中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、旋链角毛藻(*Chaetoceros curvistus*)和舟形藻(*Navicula* sp.)占优势。桂山岛海域有毒有害甲藻孢囊的广泛分布以及潜在赤潮种类的大量萌发, 表明该海域有较高的赤潮发生风险。

关键词: 甲藻孢囊; 浮游植物休眠体; 萌发; 桂山岛海域; 珠江口

中图分类号: X 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)07-0033-08

doi: 10.11759/hyxx20151207002

休眠体是浮游植物生活史中重要的保护机制和繁殖方式, 当海洋环境发生变化时, 浮游植物常会以休眠体的形式沉降到底底^[1], 当环境条件适宜时, 浮游植物休眠体又能萌发成营养细胞回到水体, 休眠体对浮游植物种群的生存、延续以及种群的分布扩散等, 均具有重要的生物学和生态学意义^[2]。甲藻休眠体称为孢囊, 孢囊具有孢粉质壁, 能长期完整地保存在沉积物中, 可以真实地记载甲藻种群发展, 被认为是引发赤潮的“种源”^[3]。其密度及百分比含量可反映当时海域浮游植物状况以及赤潮发生的历史及海域富营养化的演变历史^[4]。

桂山岛海域位于珠江口外伶仃洋, 是我国赤潮多发区之一, 也是广东重要的水产增殖区和重要的渔场。为了减少潮汐的影响, 桂山岛海域距岸500 m处修有两条长约400 m和800 m的防波堤, 仅有两个出口用于交通, 堤外除东北部有养殖外, 堤内养殖区密布, 水体交换能力差, 水体富营养化严重, 多次发生大规模赤潮, 给当地海洋渔业造成了巨大损失。国内有关甲藻孢囊分布的研究已有不少^[5-7], 但对浮游植物休眠体萌发与赤潮发生关系的研究较少, 而有关珠江口甲藻孢囊的分布状况及浮游植物休眠体萌

发研究尚未见报道。本文对桂山岛海域表层沉积物中甲藻孢囊的种类和数量进行了定性定量分析, 并对表层沉积物中浮游植物休眠体进行了萌发试验, 以期了解桂山岛海域甲藻孢囊的分布及浮游植物休眠体的萌发状况, 为揭示该海域赤潮发生潜势提供依据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置与样品采集

在桂山岛海域设置7个站位(图1), 其中, G1、G2、G5、G6和G7站分布于养殖区, 在堤外无养殖区域及水体交换区分别设置对照点G3和G4站。于2009年1月用彼得逊(Peterson Garb)抓斗式采泥器采

收稿日期: 2015-11-29; 修回日期: 2016-04-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41476132); 水体富营养化与赤潮防治广东普通高校重点实验室(暨南大学)开放课题

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41476132; Key Laboratory of Eutrophication and Red Tide Prevention of Guangdong Higher Education Institutes, Jinan University, KLB07007]

作者简介: 康伟(1984-), 男, 内蒙古乌兰察布人, 助理研究员, 主要研究方向为赤潮生态学, E-mail: kangweinihao@163.com; 王朝晖, 通信作者, E-mail: twzh@jnu.edu.cn

集表层沉积物, 取上层 0~2 cm 沉积物, 立即置于 4℃ 下避光保存待分析。

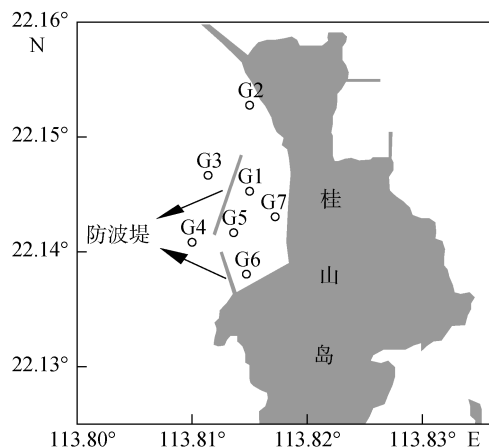


图 1 采样站位位置示意

Fig. 1 Sampling stations

1.2 样品处理与甲藻孢囊分析鉴定

取 10 g 沉积物样品, 经浓盐酸和氢氟酸处理, 去除沉积物中的钙质和硅质后用蒸馏水脱酸, 脱酸后超声波处理 30 s, 然后依次通过 125、20 μm 不锈钢网筛, 收集两者之间的样品至表面皿中, 将表面皿涡旋, 用吸管吸取上层悬浮液至小塑料广口瓶中, 加浓度为 2%~3% 的福尔马林溶液固定, 最后定容至 10 mL。

取 0.5 mL 处理后的样品在 Leica DMIRB 显微镜下观察, 记录样品中甲藻孢囊的数量与种类, 包括含有内含物的活体孢囊和已经萌发的空孢囊。重复取样观察, 使每个样品至少观察到 100 至 200 个孢囊, 孢囊的密度以每克干泥内的孢囊数(个/g)表示。孢囊分类鉴定至种, 在不能确定种名的情况下, 则鉴定至属。

1.3 浮游植物休眠体的萌发与观察

浮游植物休眠体具有一定时间的强制性休眠期, 一般为 2 周至半年不等^[8], 只有过了强制性休眠期的休眠体才具有萌发潜势。本研究中, 样品在 4℃ 下避光保存一年, 确保全部休眠体度过强制性休眠期, 同时也使得沉积物中的浮游植物营养细胞失去生长活性, 在培养过程中不能生长增殖, 保证实验中的浮游植物全部为休眠体萌发而来。

取 1 g 表层沉积物样品, 加入到含有 40 mL 培养基的三角瓶中, 培养基用桂山岛海域陈旧海水配制, 其中的氮、磷、硅浓度均设置为研究海域最高的质

量浓度, 分别为 500 $\mu\text{g/L}$ 、74 $\mu\text{g/L}$ 和 1000 $\mu\text{g/L}$, 其余元素及其质量浓度与 f/2 培养基相同。

萌发培养在 25℃ 的恒温光照培养箱中进行, 光照强度为 7500 lx、光暗比 12 h : 12 h(L : D), 每天摇动一次。每个沉积物样品设 20 d 和 40 d 萌发两组实验, 每个实验组各设 3 个平行。在培养的第 20 天和第 40 天, 各取上清 30 mL, 合并 3 个平行样品, 并加入 4% 的福尔马林溶液固定, 静置 24 h 以上, 逐步浓缩成 2 mL 待观察。

在 Leica DMIRB 显微镜下对萌发的浮游植物进行定性定量分析, 萌发的浮游植物数量以 1 g 干泥中萌发的浮游植物细胞数表示(个/g), 一些不确定种仅鉴定至属。其中对萌发出的一种薄壁甲藻 *Biecheleriopsis adriatica* 的鉴定是通过分离培养的细胞株进行 rDNA 序列测定, 与 GenBank 上的相关序列比对分析, 结合扫描电子显微镜观察确定的。

2 结果与分析

2.1 桂山岛海域表层沉积物中甲藻孢囊的分布

2.1.1 甲藻孢囊的种类组成

表层沉积物中共分析鉴定出甲藻孢囊 21 种, 其中膝沟藻类(Gonyaulacoid group)3 种、钙质类(Calcoidinellid group)1 种、裸甲藻类(Gymnodinioid group)5 种、原多甲藻类(Protoperidinioid group)9 种、翼藻类(Diplopsalid group)3 种, 各站位甲藻孢囊分布见表 1。每个站位出现的孢囊物种数为 6~10 种, 平均为 8 种, 其中 G2、G6 站种类数较多。原多甲藻类孢囊是桂山岛海域的优势类群, 种类数较多, 裸甲藻类孢囊、膝沟藻类孢囊种类数也较丰富。有毒有害的亚历山大藻属孢囊(*Alexandrium* sp.)、锥状斯氏藻孢囊(*Scrippsiella trochoidea*)、链状裸甲藻孢囊(*Gymnodinium catenatum*)均有分布, 特别是微小亚历山大藻孢囊(*Alexandrium minutum*)和透镜翼甲藻孢囊(*Diplopsalis lenticula*)出现频率较高, 分别达到 85.7% 和 100%。

2.1.2 甲藻孢囊的密度分布

甲藻孢囊密度为 110~315 个/g, 平均密度为 202 个/g。其中, 微小亚历山大藻孢囊平均密度最高, 为 63 个/g。从分布区域看, 甲藻孢囊密度表现为养殖区高于非养殖区, 其中位于养殖区的 G2 站甲藻孢囊密度最高, 非养殖区 G3 站甲藻孢囊密度最低。G4 站处于堤内外水体交换处, 孢囊密度也较高。堤内还出

表 1 甲藻孢囊在桂山岛海域表层沉积物中的分布

Tab. 1 Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from the Guishan Island sea area

孢粉学名	生物学名	中文名	站位						
			G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
膝沟藻类 (Gonyaulacoid group)									
<i>Alexandrium</i> sp.1 (ellipsoidal)	<i>Alexandrium tamarense/catenella</i>	塔玛/链状亚历山大藻	+						+
<i>Alexandrium</i> sp.2(globe)	<i>Alexandrium minutum</i>	微小亚历山大藻	+	+		+	+	+	+
-	<i>Fragilidium mexicanum</i>	墨西哥易碎藻				+			
钙质孢囊类 (Calcoidinellid group)									
-	<i>Scrippsiella trochoidea</i>	锥状斯氏藻	+				+	+	+
裸甲藻类 (Gymnodinioid group)									
-	<i>Polykrikos kofoidii</i> sp.2	科夫多沟藻	+						
-	<i>Gymnodinium catenatum</i>	链状裸甲藻	+	+					
-	<i>Cochlodinium</i> sp.	旋沟藻		+	+				
-	<i>Pheopolykrikos harmannii</i>	哈曼褐多沟藻					+		
-	<i>Polykrikos schwartzii</i> sp.1	无纹多沟藻							+
原多甲藻类 (Protopteridinioid group)									
<i>Brigantedinium cariacense</i>	<i>Protopteridinium avelanum</i>	褐色原多甲藻	+				+	+	
<i>Brigantedinium simplex</i>	<i>Protopteridinium conicoide</i>	锥腹原多甲藻	+						+
<i>Brigantedinium</i> spp.	<i>Protopteridinium</i> sp.	原多甲藻		+	+	+	+	+	+
<i>Brigantedinium irregulare</i>	<i>Protopteridinium</i> sp.	原多甲藻						+	
<i>Quinquecupis concretum</i>	<i>Protopteridinium leonis</i>	里昂原多甲藻			+				
<i>Lejeunecysta</i> sp.	<i>Protopteridinum oblongum</i>	长形原多甲藻		+					
<i>Votadinium calvum</i>	<i>Protopteridinium oblongum</i>	长形原多甲藻	+	+	+				
-	<i>Protopteridinium americanum</i>	美利坚原多甲藻		+	+	+	+	+	
-	<i>Protopteridinium</i> sp.1	原多甲藻		+			+	+	+
翼藻类 (Diplopsalid group)									
-	<i>Diplopsalis lenticula</i>	透镜翼甲藻	+	+	+	+	+	+	+
-	<i>Diplopelta parva</i>	微细双盾藻		+	+			+	
<i>Dubridinium caperatum</i>	<i>Zygabikodinium lenticulatum</i>								+

现一个孢囊密度相对较低的区域, 该区域靠近港口, 且处在航道上, 在本次调查前曾有过挖掘, 而堤外低密度的 G3 站也处在航道上(图 2)。

在营养类型上, 甲藻分为自养型和异养型两种。自养型甲藻能进行光合作用, 而异养型甲藻则需要摄食其他小型浮游植物或有机碎屑维持生长。膝沟藻类、钙质孢囊类的全部物种以及裸甲藻类中的链状裸甲藻、旋沟藻(*Cochlodinium* sp. cf. *polykrikoides*)和哈曼褐多沟藻(*Pheopolykrikos harmannii*)属于自养型甲藻, 而全部原多甲藻类、翼藻类以及裸甲藻类中的多沟藻(*Polykrikos* sp.)属于异养型甲藻, 形成孢囊的甲藻中异养型和自养型甲藻孢囊的比例是孢囊集群结构的重要组成。本研究中异养型

甲藻孢囊相对较丰富, 其密度百分比为 28.7%~89.0%, 平均为 56.5%(图 3), 除 G1 站外, 其余站位均为异养型占优势。

从是否萌发的角度, 孢囊又可分为未萌发的活体孢囊和已萌发的空孢囊。活体孢囊一般为水体中新形成的孢囊, 其尚未萌发还具有萌发活性, 能反映海域孢囊形成趋势, 而空孢囊是已经萌发释放了原生质的孢囊空壳, 其数量及百分比可反映孢囊的萌发状况。本研究中活体孢囊占总孢囊数量的百分比为 28.5%~89.0%, 平均为 61.8%(图 4)。活体孢囊密度变化范围在 61~244 个/g, 平均为 124 个/g。除 G1 和 G4 站位外, 活体孢囊密度均显著高于空孢囊密度。

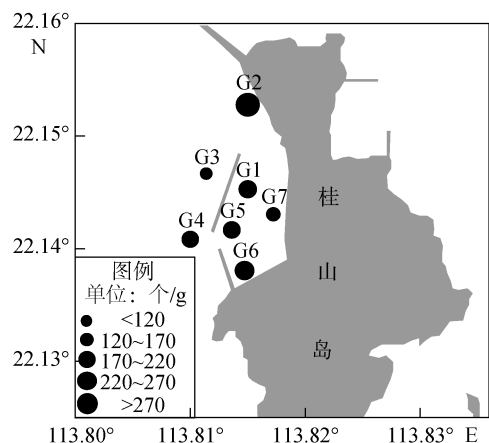


图2 桂山岛海域甲藻孢囊密度分布

Fig. 2 Distribution of dinocysts in surface sediments from the Guishan Island sea area

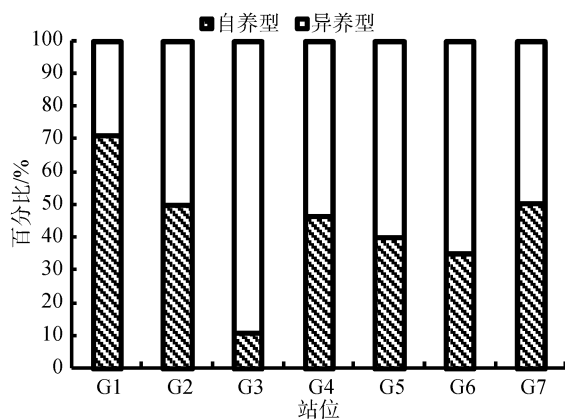


图3 桂山岛海域各站位自养型、异养型甲藻孢囊百分比

Fig. 3 Proportions of autotrophic and heterotrophic dinoflagellate cysts in the Guishan Island sea area

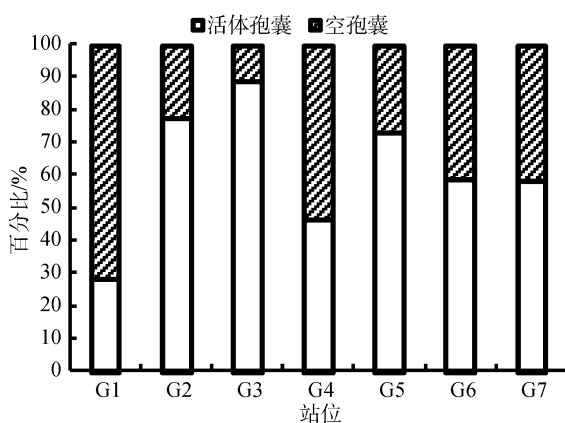


图4 桂山岛海域各站位甲藻活体孢囊、空孢囊百分比

Fig. 4 Proportions of living and empty cysts found in the Guishan Island sea area

2.2 桂山岛海域萌发的浮游植物群落结构

2.2.1 萌发的浮游植物种类组成

桂山岛海域表层沉积物共萌发出浮游植物 19 属

22 种。其中硅藻 16 种, 占总种数的 72.7%, 甲藻 4 种, 占总种数的 18.2%, 其他浮游植物种类仅 2 种。20 d 和 40 d 萌发出的浮游植物种类数差异不明显。其中, 20 d 萌发出的硅藻种类数较多, 而甲藻种类数较少; 40 d 萌发出的甲藻占总种数的百分比上升, 而硅藻所占百分比则明显降低(图 5)。

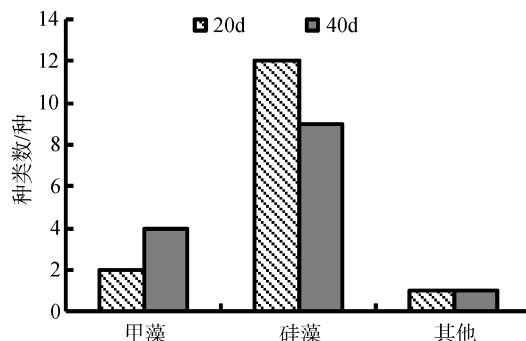


图5 桂山岛海域表层沉积物萌发浮游植物种类数

Fig. 5 The number of germinated phytoplankton species in surface sediments from the Guishan Island sea area

2.2.2 萌发的浮游植物密度

萌发的浮游植物细胞密度如图 6a 所示, 20 d 萌发出的浮游植物细胞密度为 185~1768 个/g, 平均为 490 个/g, 以甲藻占优势, 其密度百分比为 71.0%; 40 d 萌发出的浮游植物细胞密度低于 20 d, 为 36~768 个/g, 平均为 264 个/g, 硅藻和甲藻密度百分比分别为 54.4%和 45.2%。20、40 d 细胞密度最高值均出现在 G3 站位, 构成密度峰值的主要种为 *Biecheleriopsis adriatica*, 其细胞密度分别为 1565 和 672 个/g。

从硅藻萌发情况(图 6b)看, 20 d 和 40 d 萌发的细胞平均密度分别为 142 个/g 和 144 个/g, 除 G7 细胞密度较低外, 其余各站位萌发的硅藻细胞密度相近。20 d 萌发中, G2 站的优势硅藻为拟菱形藻 (*Pseudonitzschia* sp.), G7 站硅藻的优势种为菱形海线藻 (*Thalassionema nitzschioides*), 其他站位无明显优势硅藻。40 d 萌发中, 多数站位硅藻优势种为中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*), 也有部分站位以旋链角毛藻 (*Chaetoceros curvustus*) 和舟形藻 (*Navicula* sp.) 占优势。

20 d 和 40 d 萌发出的甲藻细胞密度分别为 348 和 119 个/g。20 d 萌发的甲藻平均密度高于硅藻, 而 40 d 萌发的甲藻则略低于硅藻(图 6c)。优势甲藻主要为 *Biecheleriopsis adriatica*, 其平均百分比含量达 64.1%, 几乎所有站位均有出现, 细胞密度与甲藻细

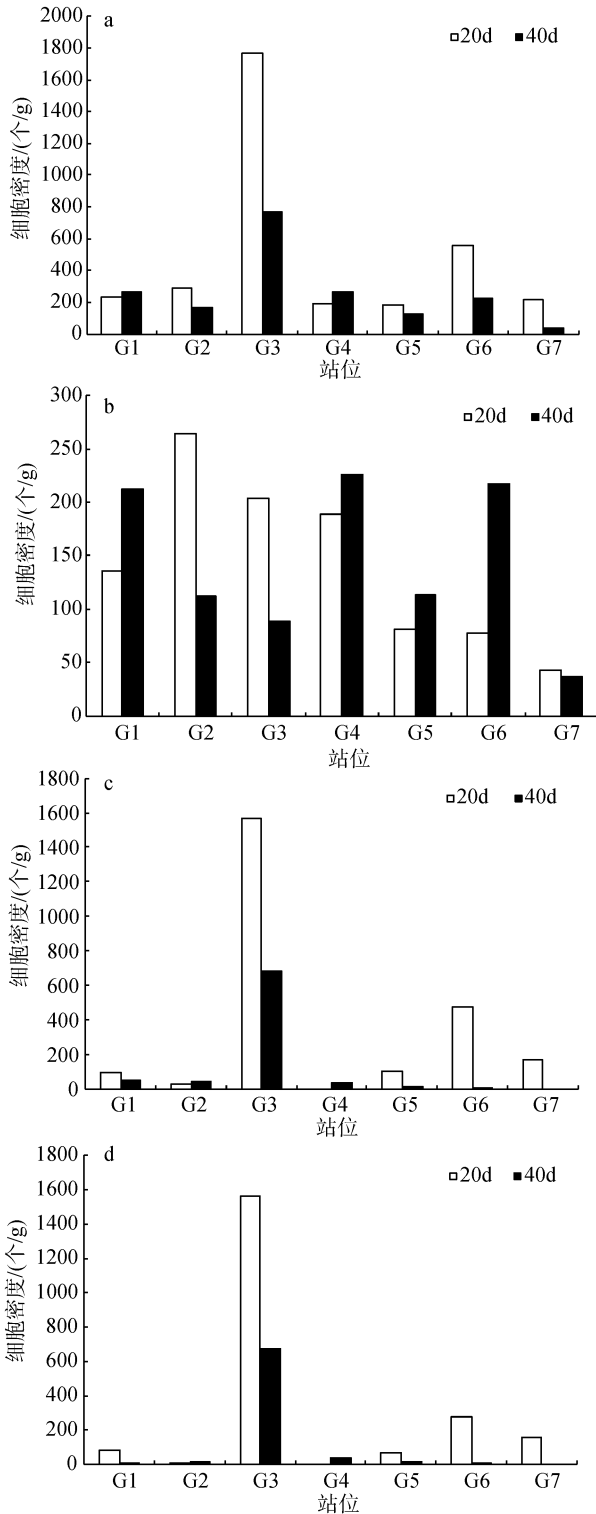


图6 桂山岛海域表层沉积物萌发培养 20 d 和 40 d 后的浮游植物细胞密度

Fig. 6 Cell number of germinated phytoplankton, after 20 d, and 40 d incubation of surface sediments from the Guishan Island sea area

a. 总浮游植物, b. 硅藻, c. 甲藻, d. *Biecheleriopsis adriatica*
a. overall phytoplankton; b. diatoms; c. dinoflagellates; d. *Biecheleriopsis adriatica*

胞密度趋势一致(图 6d)。锥状斯氏藻(*Scrippsiella trochoidea*)是甲藻的第 2 优势种, 在 20 d 萌发的密度及出现频率也较高, 最高密度为 200 个/g, 而 40 d 萌发中仅有 2 个站出现, 但密度均较高。亚历山大藻(*Alexandrium* sp.)仅出现在 G1 和 G3 站的 40 d 萌发结果中, 细胞密度均较低, 最高密度仅为 21 个/g。

3 讨论

3.1 甲藻孢囊分布特征与环境因子的关系

桂山岛海域由于建有防波堤, 相对来说受到外来风浪影响较小, 堤内形成的孢囊也很难迁移出去, 孢囊产量能代表该海域孢囊形成率。表层沉积物中共分析鉴定出甲藻孢囊 21 种, 孢囊密度平均为 202 个/g, 但种类数及孢囊密度却低于广东其他沿海港湾如大亚湾大鹏澳海域、大鹏湾、深圳湾等^[9-10]。由于甲藻孢囊的分布受海水深度、温度、盐度和营养盐等海洋环境因素以及孢囊的产量、底部沉积物颗粒的大小和沉积速率等共同影响^[11-13], 而且甲藻孢囊常在颗粒大小、沉降性质与之相近的黏土中积累, 黏性沉积物中甲藻孢囊密度总体高于砂质沉积物^[14], 而桂山岛海域位于珠江口, 沉积物砂质含量较高, 导致孢囊密度较广东其他港湾低。从分布区域上看, 甲藻孢囊密度表现为养殖区高于非养殖区, 这与养殖区较高的富营养化程度及较少的扰动有关, 而航道上由于挖掘以及频繁的扰动, 孢囊难以沉降积累, 因此孢囊密度较低。沉积物中的孢囊一般需要进入水体真光层, 具有一定的溶解氧和适当的光强才能萌发^[15], 水体扰动较大的海域, 孢囊进入真光层萌发的几率更大, 而萌发后的空孢囊还会沉降于沉积物中。桂山岛海域海底扰动程度较低, 沉积物中孢囊萌发率较低, 这也是空孢囊百分比含量较低的原因, 但大量活性孢囊的存在也为赤潮暴发埋下了隐患, 一旦环境条件有利于孢囊的萌发, 则有发生赤潮的风险。

异养型甲藻及其孢囊的产量高于自养型, 表明供其摄食的小型硅藻数量丰富, 而异养型甲藻孢囊相对较高的百分比是工业污染和富营养化的重要指标^[16]。桂山岛海域养殖发达, 加上地表径流输入的大量营养盐, 富营养化严重, 使得一些小型硅藻大量快速生长, 硅藻占据优势影响了自养型甲藻的生长, 而以硅藻为食的异养型甲藻数量增加, 从而导致异养型甲藻孢囊的百分比升高。

亚历山大藻孢囊在桂山岛海域的分布较广, 特

别是微小亚历山大藻孢囊几乎每个站位都有,但是密度较低。亚历山大藻是麻痹性贝类毒素(Paralysis Shellfish Poisoning, PSP)的主要产毒藻,也是我国分布最广泛的 PSP 产毒藻类,除了营养细胞能产毒外,其孢囊也能产毒,且孢囊的产毒能力要高出营养细胞数倍^[17],而孢囊又可被底栖贝类摄食,成为冬季贝类体内毒素积累的重要原因^[18]。尽管桂山岛海域表层沉积物中的亚历山大藻孢囊百分比含量较高,但总的来说密度较低,而且桂山岛海域尚未有大规模亚历山大藻赤潮的记录,有关亚历山大藻孢囊的形成及其来源还有待进一步研究。

3.2 萌发的浮游植物群落特征与赤潮发生潜势

萌发出的浮游植物种类数远低于同期的浮游植物调查,种类组成以硅藻为主,甲藻种类数较少,这是由于并非所有浮游植物都能形成孢囊或休眠体,休眠体种类丰富程度应较水体中的浮游植物低^[19];此外,通过一段时间的萌发培养,萌发的浮游植物会发生种群演替,竞争力强、生长快的种类会大量增长,而竞争力较差的种类则逐渐消失;再者,由于萌发受温度、溶解氧、营养盐、光照强度等环境条件^[20]及生物内在节律^[21]等的影响,某些种类的休眠体在培养过程中未能萌发。

尽管萌发出的硅藻种类数最多,但其萌发的硅藻细胞密度却不是很高。一方面是由于桂山岛海域全年水温较适宜,且海水中的营养盐很丰富,硅藻不需要形成孢子以度过不良环境,因此,硅藻孢子较低的形成率使得萌发出的营养细胞较少;另一方面,由于萌发培养后期,培养基中硅的消耗导致非硅藻细胞的大量增殖,也影响了硅藻的数量。

萌发出的 *Biecheleriopsis adriatica* 为甲藻优势种,但在同期的孢囊分布调查中,未观察到该藻的孢囊。该藻细胞微小,形态与裸甲藻相似,桂山岛海域以往浮游植物调查中有未定名裸甲藻存在的记录^[23-24],有可能和本研究是同一个种。由于小型甲藻在常规生态学调查中很难区分至种^[27],因此难以判断其是否为研究海域的新出现种。康伟和王朝晖等在对大亚湾和柘林湾表层沉积物中甲藻孢囊的分布及萌发研究中也萌发出了该种^[19, 25-26],且未发现该种的孢囊。虽然有报道发现其疑似孢囊的存在^[22],但由于对其孢囊形态认识不足,均未能有效鉴别。目前 *Biecheleriopsis adriatica* 在国内其他海域尚未有报道,有关其生活史及孢囊也有待进行深入研究。本研究

的萌发实验证实了其较高的萌发及生长潜力,应密切关注该种对广东沿海生态环境可能带来的危害。

锥状斯氏藻作为常见的赤潮种类在我国分布广泛,其营养细胞具有较高的生长速率、较长的稳定期和对低营养盐较好的适应能力,对环境适应能力强^[28],其孢囊也具有较高的萌发率,在我国经常发生赤潮。本次萌发实验也证明这些特点,尽管表层沉积物中其孢囊密度不是最高,但一旦萌发就很快成为优势种,从而形成赤潮。

亚历山大藻孢囊在本次调查中分布广泛,但萌发出的亚历山大藻细胞数量却极低。这是由于本研究中萌发设定的温度为研究海域常年的平均温度 25℃,而亚历山大藻孢囊最适的萌发温度是 10~15℃^[29],大大高于亚历山大藻孢囊萌发的适宜温度,因此未能观察到萌发峰值。由此可见,海水温度是影响萌发的重要因素之一,而明确各浮游植物休眠体的最适萌发温度也有助于赤潮的预警。

参考文献:

- [1] 王朝晖. 中国典型近海海域甲藻孢囊分布及其与富营养化和赤潮生消的关系研究[D]. 广州:暨南大学, 2007.
Wang Zhaohui. Distribution of dinoflagellate cysts in chinese typical coastal areas and its relationships with eutrophication and algal bloom[D]. Guangzhou: Jinan University, 2007.
- [2] 谢文玲, 高亚辉. 海洋浮游植物休眠期的生态学研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2006, 45: 240-244.
Xie Wenlin, Gao Yahui. A review on the ecology of resting stages of the marine phytoplankton[J]. Journal of Xiamen University(Natural Science), 2006, 45: 240-244.
- [3] Kremp A, Anderson D M. Factors regulation germination of calcified cysts of the spring bloom dinoflagellate *Scrippsiella hangoei* from the northern Baltic Sea[J]. Journal of Plankton Research, 2000, 22: 1311-1327.
- [4] McGillicuddy D J, Signell R P, Stock C A, et al. A mechanism for offshore initiation of harmful algal blooms in the coastal Gulf of Maine[J]. Journal Plankton Research, 2003, 25: 1131-1138.
- [5] 魏洪祥, 赵文, 梁玉波. 大窑湾养殖区赤潮甲藻孢囊种类组成及分布的研究[J]. 水生生物学报, 2011, 35(3): 489-497.
Wei Hongxiang, Zhao Wen, Liang Yubo. Studies on species composing and distribution of dinoflagellate cyst in Dayao Bay[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2011, 35(3): 489-497.

- [6] 王艳, 黄琳, 顾海峰, 等. 中国渤海海域甲藻孢囊的种类多样性和生态地理分布[J]. 植物学报, 2012, 47(2): 125-132.
Wang Yan, Huang Lin, Gu Haifeng, et al. Species diversity and eco-geographical distribution of dinoflagellate cysts in the Bohai Sea, China[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2012, 47(2): 125-132.
- [7] 苏玉萍, 薛铖, 游雪静, 等. 九龙江西陂库区沉积物甲藻孢囊的分布[J]. 生态学报, 2016, 36(6): 1-9.
Su Yuping, Xue Cheng, You Xuejing, et al. Research on the distribution of dinoflagellate cysts in the surface sediments of the XiPi reservoir in the Jiulong River[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(6): 1-9.
- [8] Matsuoka K and Fukuyo Y. Technical guide for modern dinoflagellate cyst study. WESTPAC-HAB/WESTPAC/IOC. Tokyo: Asian Natural Environmental Science Center, 2000.
- [9] 王朝晖, Matsuoka K, 齐雨藻, 等. 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[J]. 海洋与湖沼, 2003a, 34(4): 422-430.
Wang Zhaohui, Matsuoka K, Qi Yuzao, et al. Distribution of cysts of toxic *Alexandrium* spp. and *Gymnodinium catenatum* along the Chinese coastal waters[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2003a, 34(4): 422-430.
- [10] 王朝晖, Matsuoka K, 齐雨藻, 等. 深圳湾表层沉积物中甲藻孢囊的垂直分布[J]. 生态学报, 2003b, 23(10): 2073-2081.
Wang Zhaohui, Matsuoka K, Qi Yuzao, et al. Vertical distribution of dinoflagellate resting cysts in surface sediments from Shenzhen Bay of the South China Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003b, 23(10): 2073-2081.
- [11] Genovesi L, de Vernal A, Thibodeau B, et al. Recent changes in bottom water oxygenation and temperature in the Gulf of St Lawrence: Micropaleontological and geochemical evidence[J]. Limnology and Oceanography, 2011, 56(4): 1319-1329.
- [12] Prebble J G, Crouch E M, Carter L, et al. An expanded modern dinoflagellate cyst dataset for the Southwest Pacific and Southern Hemisphere with environmental associations[J]. Marine Micropaleontology, 2013, 101: 33-48.
- [13] Hessler I, Young M, Holzwarth U, et al. Imprint of eastern Indian Ocean surface oceanography on modern organic-walled dinoflagellate cyst assemblages[J]. Marine Micropaleontology, 2013, 101: 89-105.
- [14] Yamaguchi M, Itakura S, Imai I. Vertical and horizontal distribution and abundance of resting cysts of the toxic dinoflagellates *Alexandrium tamarense* and *Alexandrium catenella* in sediments of Hiroshima Bay, Seto Inland Sea, Japan [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1995, 61: 700-706.
- [15] Kim Y O, Han M S. Seasonal relationships between cyst germination and vegetative population of *Scrippsiella trochoidea* (Dinophyceae)[J]. Marine Ecology Progress Series, 2000, 204: 111-118.
- [16] Liu D Y, Shen X H, Di B P, et al. Palaeoecological analysis of phytoplankton regime shifts in response to coastal eutrophication[J]. Marine Ecology Progress Series, 2013, 475: 1-14.
- [17] Oshima Y, Bolch C M, Hallewgraef G M. Toxin composition of resting cysts of *Alexandrium tamarense* (Dinophyceae)[J]. Toxicon, 1992, 30: 1539-1544.
- [18] Schwinghamer P, Hawryluk M, Powell C, et al. Resuspended hypnozygotes of *Alexandrium fundyense* associated with winter occurrence of PSP in inshore Newfoundland waters[J]. Aquaculture, 1994, 122: 171-179.
- [19] 王朝晖, 康伟. 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[J]. 环境科学学报, 2014, 34(8): 2043-2050.
Wang Zhaohui, Kang Wei. Distribution of dinocysts and germination of phytoplankton resting spores in surface sediments from Zhelin Bay, the South China Sea[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2014, 34(8): 2043-2050.
- [20] Kremp A. Effects of cyst resuspension on germination and seeding of two bloom-forming dinoflagellates in the Baltic Sea[J]. Mar. Ecol. Prog. Ser., 2001, 216: 57-66.
- [21] Matrai P, Thompson B, Keller M. Circannual excystment of resting cysts of *Alexandrium* spp. from eastern Gulf of Maine populations[J]. Deep-Sea Research II, 2005, 52(19/21): 2560-2568.
- [22] Moestrup Ø, Lindberg K, Daugbjerg N. Studies on woloszynskioid dinoflagellates V. Ultrastructure of *Biecheleriopsis* gen. nov[J]. Phycological Research, 2009, 57: 221-237.
- [23] 王朝晖, 齐雨藻, 尹伊伟, 等. 珠海桂山岛米氏裸甲藻赤潮对鱼鳃损伤的病理学组织观察[J]. 海洋学报, 2001, 23(1): 133-138.
Wang Zhaohui, Qi Yuzao, Yin Yiwei, et al. Histopathological changes in fish gills *Gymnodinium mikimotoi* red tide in Guishan Island area, the South China Sea. Acta Oceanologica Sinica, 2001, 23(1): 133-138.
- [24] Landsberg J H. The effects of harmful algal blooms on aquatic organisms[J]. Reviews in Fisheries Science, 2002, 102: 113-390.
- [25] 康伟, 王朝晖, 付永虎, 等. 大亚湾沉积物中浮游植物休眠体萌发研究[J]. 中国环境科学, 2009, 29(12): 1285-1290.
Kang Wei, Wang Zhaohui, Fu Yonghu, et al. Investiga-

- tion on germination of phytoplankton resting cells in sediment traps collected from Daya Bay, South China Sea[J]. *China Environmental Science*, 2009, 29(12): 1285-1290.
- [26] Wang Z H, Fu Y H, Kang W, et al. Germination of phytoplankton resting cells from surface sediments in two areas of the Southern Chinese coastal waters[J]. *Marine Ecology* 2013, 34: 218-232.
- [27] Pertola S, Faust M A, Kuosa H. Survey on germination and species composition of dinoflagellates from ballast tanks and recent sediments in ports on the South Coast of Finland, North-Eastern Baltic Sea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2006, 52: 900-911.
- [28] 王朝晖, 齐雨藻, 辜小莲. 大亚湾海域锥状斯氏藻孢囊形成与萌发的季节变化[J]. *热带亚热带植物学报*, 2007, 15(1): 9-15.
- Wang Zhaohui, Qi Yuzao, Gu Xiaolian. Seasonal fluctuation of *Scrippsiella trochoidea* cyst population in Daya Bay, South China Sea. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2007, 15(1): 9-15.
- [29] Itakura S, Yamaguchi M. Germination characteristics of naturally occurring cysts of *Alexandrium tamarense* (Dinophyceae) in Hiroshima Bay, Inland Sea of Japan[J]. *Phycologia*, 2001, 40: 263-267.

Distribution of dinocysts and the germination of phytoplankton resting spores in surface sediments from the Guishan Island sea area in the Pearl River Estuary of the South China Sea

KANG Wei^{1, 3}, WANG Zhao-hui^{2, 3}

(1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China; 2. College of Life Science and Technology, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 3. Key Laboratory of Eutrophication and Red Tide Prevention of Guangdong Higher Education Institutes, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Received: Nov. 29, 2015

Key words: dinocyst; resting spore; germination; Guishan Island sea area; the Pearl River Estuary

Abstract: In order to understand the distribution of dinocysts and the potential of harmful algal blooms (HABs) found in the Guishan Island sea area in the Pearl River Estuary, dinocysts were analyzed in surface sediment samples, collected in January 2009. The surface sediments were incubated for 20, and 40 days, and germinated vegetative cells were examined; a total of 21 types of dinocysts were observed, with *Protoperidinium* species cysts found to be the most abundant and diversified. The average concentration of germinated phytoplankton was 490, and 264 cells/g, respectively, after 20 and 40 days incubation. Cyst concentrations were low, ranging from 110 to 315 cysts/g, with an average of 202 cysts·g⁻¹, while higher concentrations of cysts were found in stations located in aquaculture areas. The proportions of cysts from heterotrophic dinoflagellates were higher, indicating a high nutrient level in this sea area. Furthermore, proportions of living cysts averaged 61.75%, indicating the high potential for HABs. The species diversity of germinated phytoplankton recorded was low, and altogether 22 taxa within 19 genres were observed. Interestingly, a woloszynskioid species, *Biecheleriopsis adriatica*, was predominant in the germinated dinoflagellates analyzed, with *Scrippsiella trochoidea* found to be the next dominant dinoflagellate. In the germinated phytoplankton samples, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros curvisetus*, and *Navicula* sp. were the dominant diatoms. The results from this study suggest the high risk of HABs in the Guishan Island sea area, as indicated by the wide distribution of cysts of HAB species, and the massive germination of potential HAB species.

(本文编辑: 梁德海)