

• 生物编目 •

# 中国近海甲藻环沟藻属2个新记录种： 纺锤环沟藻和莫氏环沟藻

顾海峰<sup>1\*</sup> 罗肇河<sup>1</sup> 刘丽丽<sup>2</sup> 高 越<sup>3</sup>

1 (国家海洋局第三海洋研究所, 福建厦门 361005)

2 (厦门市海洋与渔业研究所, 福建厦门 361005)

3 (厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室, 福建厦门 361005)

**摘要:** 甲藻环沟藻属于一类无色素体、表面有脊的裸甲藻, 因可捕食一些重要的赤潮生物而在海洋生态系统中扮演着重要的角色。有关中国近海环沟藻属的物种多样性信息非常有限。本文报道了2个新记录种——纺锤环沟藻(*Gyrodinium fusiforme*)和莫氏环沟藻(*G. moestrupii*)。纺锤环沟藻细胞呈纺锤形, 长48.0–58.0  $\mu\text{m}$ , 宽18.0–23.0  $\mu\text{m}$ , 长宽比为2.4–3.0, 和模式种相比体型和长宽比都较小。莫氏环沟藻细胞也呈纺锤形, 长约30  $\mu\text{m}$ , 宽约15  $\mu\text{m}$ 。我们测定了纺锤环沟藻和莫氏环沟藻大亚基的部分序列, 并根据大亚基序列利用最大似然法和贝叶斯法建立了系统发育树。结果显示环沟藻属是单源的, 纺锤环沟藻和裂缝环沟藻(*G. fissum*)聚合在一起, 但是与螺旋环沟藻(*G. spirale*)分离。纺锤环沟藻和莫氏环沟藻分别可以摄食米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)和具齿原甲藻(*Prorocentrum dentatum*), 前者在米氏凯伦藻赤潮中的大量出现显示它可以促进赤潮的消退。

**关键词:** *Gyrodinium fusiforme*, *Gyrodinium moestrupii*, *Karenia mikimotoi*, 大亚基, 赤潮

## First report of *Gyrodinium fusiforme* and *G. moestrupii* (Dinophyceae) in China Sea waters

Haifeng Gu<sup>1\*</sup>, Zhaohe Luo<sup>1</sup>, Lili Liu<sup>2</sup>, Yue Gao<sup>3</sup>

1 Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen, Fujian 361005

2 Marine and Fishery Institute of Xiamen, Xiamen, Fujian 361005

3 State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005

**Abstract:** The athecate dinoflagellate genus *Gyrodinium* includes heterotrophic species that prey on other dinoflagellates, and thus play an important role in marine ecology. Information about the *Gyrodinium* diversity along the coast of China is limited. Here we report on the characteristics of two species, *Gyrodinium fusiforme* Kofoid & Swezy and *Gyrodinium moestrupii* Yoon, Kang, and Jeong that were isolated from a *Karenia mikimotoi* bloom sample in the East China Sea. The cells of *G. fusiforme* were fusiform with a length of 48.0–58.0  $\mu\text{m}$  and a width of 18.0–23.0  $\mu\text{m}$ . Cells of *G. moestrupii* were also fusiform and approximately 30  $\mu\text{m}$  long and 15  $\mu\text{m}$  wide. Partial large subunit (LSU) ribosomal DNA sequences were obtained from single cells of *G. fusiforme* and *G. moestrupii* and phylogenetic trees were built using maximum likelihood (ML) and Bayesian inference (BI). In the phylogenetic trees the genus *Gyrodinium* is monophyletic, and *G. fusiforme* groups together with *G. fissum*, but separates from *G. spirale* although they are similar in morphology. *G. fusiforme* and *G. moestrupii* can prey on *Karenia mikimotoi* and *Prorocentrum dentatum* respectively. The high abundance of *G. fusiforme* during *K. mikimotoi* bloom suggests it may play a role in bloom decline.

**Key words:** *Gyrodinium fusiforme*, *Gyrodinium moestrupii*, *Karenia mikimotoi*, LSU rDNA, harmful algal blooms

收稿日期: 2013-10-22; 接受日期: 2014-02-26

基金项目: 福建省自然科学基金(2012J01135)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: haifenggu@yahoo.com

环沟藻属(*Gyrodinium*)最初的定义包括横沟偏移距离超过体长20%的裸甲藻类,而偏移距离小于体长20%的裸甲藻类则被归到裸甲藻属(*Gymnodinium*) (Kofoed & Swezy, 1921)。但是把横沟偏移距离作为该属的分类依据有很大的缺陷,因为这一形态学特征不稳定,同一个种的偏移距离也可以变化。因此,寻找其他更合理的分类学特征用于裸甲藻的分类,是过去20年甲藻分类学研究的重要方向。其中一项开创性的工作提出顶沟可以作为裸甲藻分类的依据(Takayama, 1985),之后裸甲藻多个属的定义被修订。裸甲藻属的顶沟为马蹄形,而顶沟是直线型的物种则被转移到了凯伦藻属(*Karenia*)和卡洛藻属(*Karlodinium*),环沟藻属包括了那些具有椭圆形顶沟、细胞表面有脊且没有色素体的裸甲藻,符合这些特征的物种不到20个(Daugbjerg *et al.*, 2000),但之前描述的环沟藻数量达到153种(Gómez, 2012),它们是否符合环沟藻属最新修订的定义还有待确认。

环沟藻没有色素体,它们可以摄食一些重要的赤潮生物,因此可能在赤潮消退中扮演着重要的角色。2000年在珠江口的一次米氏凯伦藻赤潮中发现了螺旋环沟藻(*Gyrodinium spirale*),密度达到 $1.1 \times 10^5$  ind./mL(黄长江和董巧香, 2001)。但是有关中国沿海环沟藻属物种多样性的信息非常有限,这可能与该类甲藻无法培养和难以固定保存有关。2012年5月底在福州海域发生了大规模的米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)赤潮,我们于6月1日赴赤潮发生海域( $26^{\circ}27.888' \text{ N}$ ,  $119^{\circ} 48.839' \text{ E}$ )采集了水样,镜检发现水样中米氏凯伦藻的密度达 $1.0 \times 10^6$  ind./mL,其中还有2种大小明显不同的环沟藻,较大的一种密度达 $1.0 \times 10^5$  ind./mL。我们对这两种环沟藻进行了形态学观察,并测定了它们的核糖体大亚基序列,构建了系统发育树。

## 1 材料和方法

营养细胞在配备荧光和浮雕功能的光镜下活体观察(Zeiss Axio Imager microscope, Carl Zeiss, Göttingen, Germany)。并用 $10 \mu\text{g/mL}$ 的DAPI(4', 6-diamidino-2-phenylindole dihydrochloride) (Sigma-Aldrich, St. Louis, USA)染色,在上述显微镜下观察其细胞核(激发光: G365; 发射光: BP 445–450)。

赤潮水样迅速带回实验室后取 $600 \mu\text{L}$ ,加入 $200 \mu\text{L}$  4%的钨酸固定1 h,然后在系列乙醇溶液(10%, 30%, 50%, 70%和90% 1次,然后100%溶液3次,每次10 min)下脱水,临界点干燥(K850 Critical Point Dryer, Quorum/Emitech, West Sussex, UK),喷金,最后在扫描电镜下观察(LEO 1530 Gemini SEM, Zeiss/ LEO, Oberkochen, Germany)。

挑取单个细胞到PCR管中,在液氮中冷冻裂解细胞。用引物D1R和D2C扩增核糖体大亚基(D1–D2区)(Scholin *et al.*, 1994),用真核生物通用引物扩增核糖体小亚基(Medlin *et al.*, 1988)。PCR的程序为:  $94^{\circ}\text{C}$ 裂解4 min,然后进入25个循环( $94^{\circ}\text{C}$ 裂解1 min,  $45^{\circ}\text{C}$ 退火2 min,  $72^{\circ}\text{C}$ 延伸3 min),最后在 $72^{\circ}\text{C}$ 条件下延伸7 min。PCR产物纯化后克隆到pUCm-T质粒,挑取10–15个克隆送华大基因双向测序。

新得到的大亚基序列和相关的序列一起用MUSCLE(Edgar, 2004) (<http://www.ebi.ac.uk/Tools/msa/muscle/>)进行比对。利用jModelTest(Posada, 2008)选择最佳的碱基替代模型(GTR+I+G)。利用RAxML(Stamatakis *et al.*, 2008)进行最大似然法(maximum likelihood)分析,置信度采用重复抽样分析(bootstrap analysis)方法,重复抽样的次数为1,000次。贝叶斯法用软件MrBayes 3.1.2(Ronquist & Huelsenbeck, 2003)完成,共运算100万次,节点的置信度取后验概率。

## 2 结果

### 2.1 形态

纺锤环沟藻的营养细胞长 $48.0\text{--}58.0 \mu\text{m}$ (平均值 =  $53.7 \pm 4.0 \mu\text{m}$ ,  $n = 20$ ),宽 $18.0\text{--}23.0 \mu\text{m}$ (平均值 =  $20.0 \pm 2.7 \mu\text{m}$ ,  $n = 20$ )。细胞呈纺锤形,中间部位最为宽大(图1–6)。长宽比为 $2.4\text{--}3.0$ (平均值 =  $2.7 \pm 0.2$ ,  $n = 20$ )。细胞核椭圆形,位于细胞中部(图2)。上鞘和下鞘表面都有纵向排列的脊(图1),位于下鞘的脊大约40根,而位于上鞘的大约20根(图5, 6)。横沟下旋,偏移距离为细胞体长的30–34%(图1, 3, 5)。细胞头部较尖,而尾部较钝(图3, 5)。细胞略微扭曲,上鞘扭向左侧,下鞘扭向右侧(图3, 5)。纵沟很窄,略微弯曲,未侵入上鞘(图3, 5, 7)。顶沟椭圆形,被一个位于中央的突起隔成两半(图4)。纺锤环沟藻可以摄食米氏凯伦藻(图8)。

莫氏环沟藻的营养细胞也是纺锤形(图9),但是

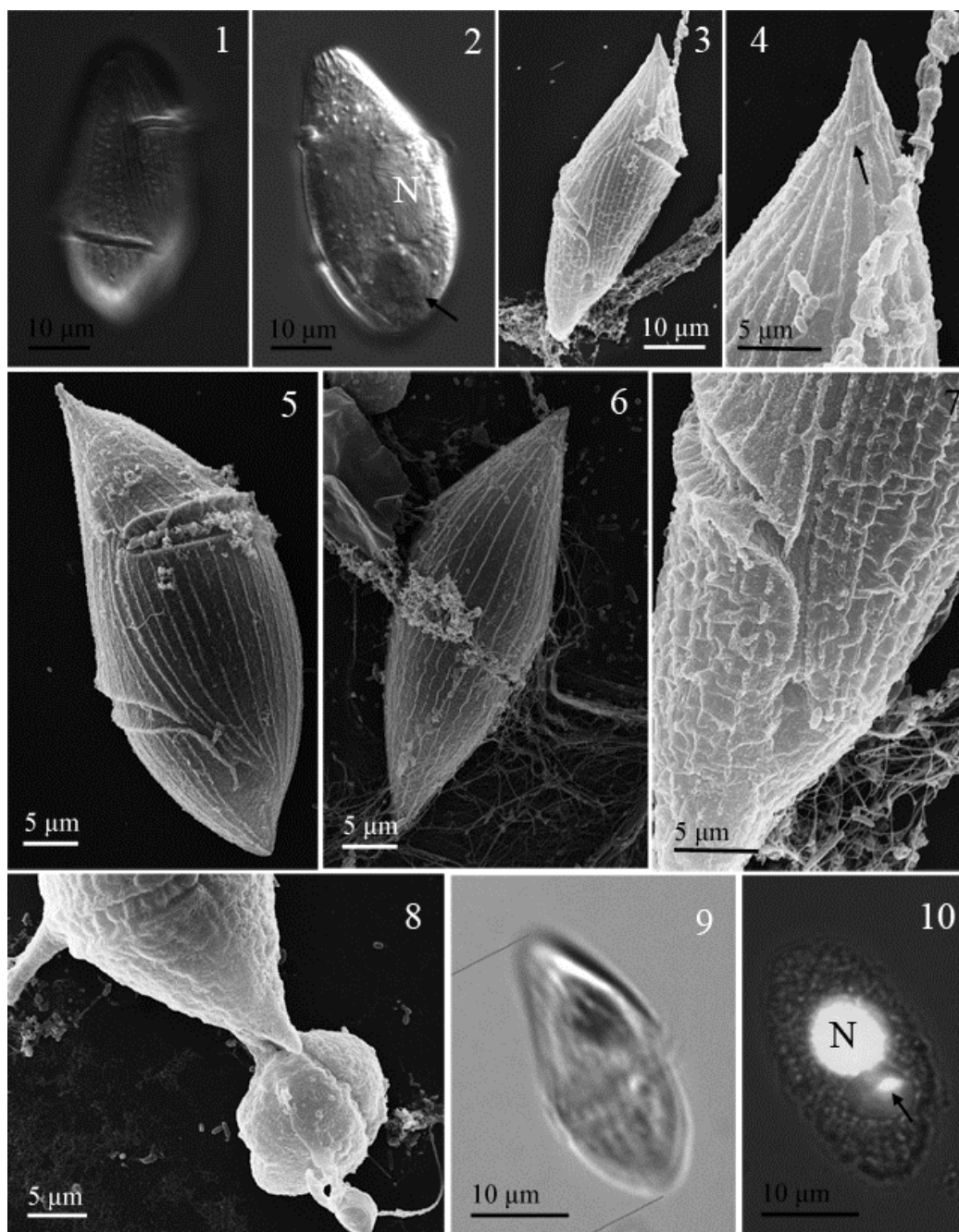
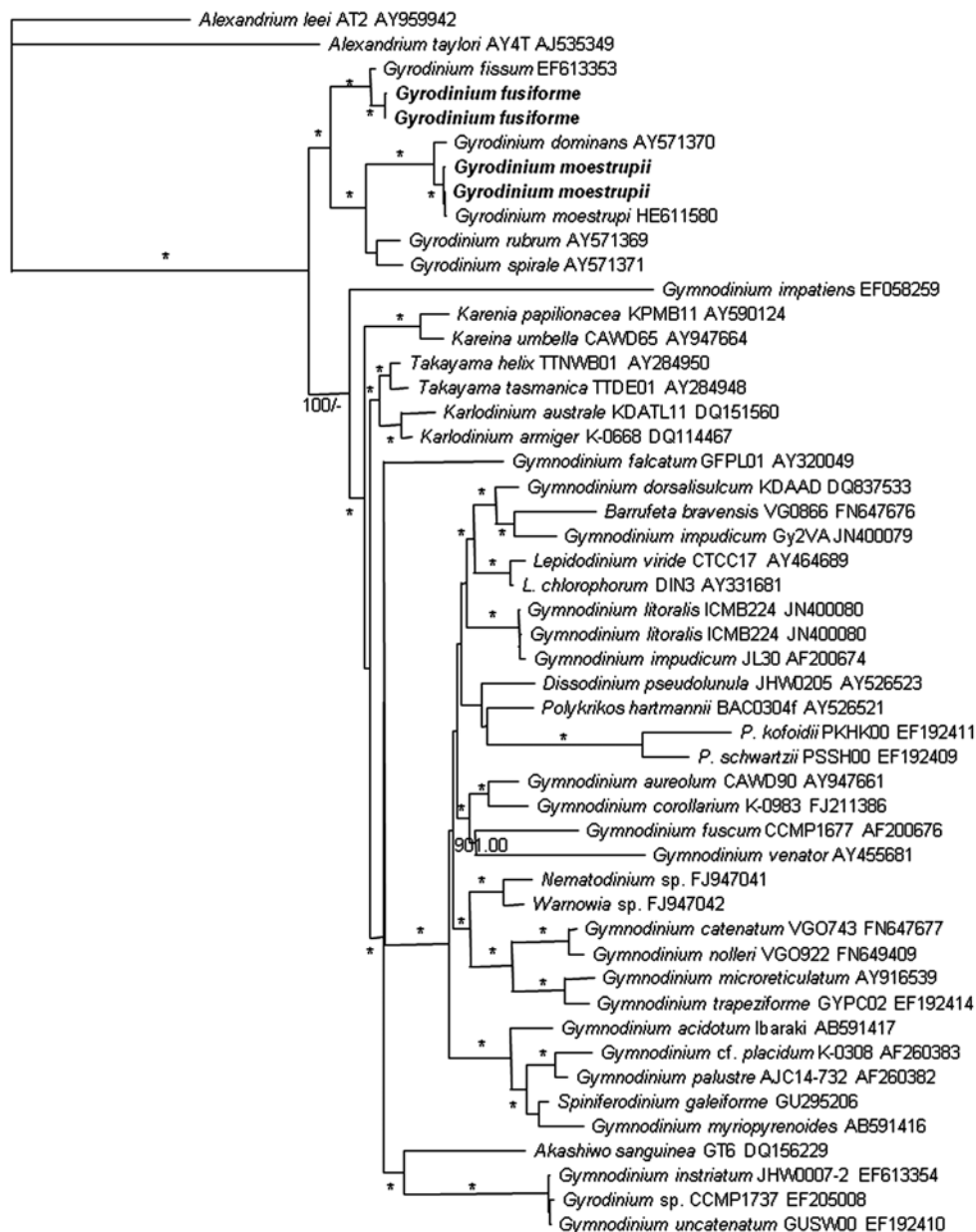


图1-10 纺锤环沟藻(1-8)和莫氏环沟藻(9-10)的形态学观察结果。1: 纺锤环沟藻腹面观, 示表面的脊和横沟偏移(LM); 2: 图1中的细胞位于不同的聚焦点, 示椭圆形的细胞核(N)和摄食的一个猎物(箭头)(LM); 3: 纺锤环沟藻腹面观, 示表面的脊和横沟偏移(SEM); 4: 纺锤环沟藻的顶沟(箭头)(SEM); 5: 纺锤环沟藻腹面观, 示表面的脊和横沟偏移(SEM); 6: 纺锤环沟藻背面观, 示表面的脊(SEM); 7: 纺锤环沟藻的纵沟(SEM); 8: 纺锤环沟藻正在摄食一个米氏凯伦藻细胞(SEM); 9: 一个活体莫氏环沟藻细胞(LM); 10: 一个DAPI染色的莫氏环沟藻细胞, 示球形的细胞核(N)和摄食的一个具齿原甲藻细胞(箭头)(LM)。

Fig. 1-10 Morphological structure of *Gyrodinium fusiforme* and *G. moestrupii* under light microscopy (LM) and scanning electronic microscopy (SEM). 1, Ventral view of *G. fusiforme*, showing surface striations and cingulum displacement (LM); 2, The same cell in Fig. 1 in different focus, showing the ellipsoidal nucleus (N) and a prey inside (arrow) (LM); 3, Ventral view of *G. fusiforme*, showing surface striations and cingulum displacement (SEM); 4, Detail of the apical groove of *G. fusiforme* (arrow) (SEM); 5, Ventral view of *G. fusiforme*, showing surface striations and cingulum displacement (SEM); 6, Dorsal view of *G. fusiforme*, showing surface striations (SEM); 7, Detail of the sulcus of *G. fusiforme* (SEM); 8, *G. fusiforme* is preying on a *Karenia mikimotoi* cell (SEM); 9, A living cell of *G. moestrupii* (LM); 10, A DAPI stained *G. moestrupii* cell, showing the spherical nucleus (N) and a *Prorocentrum dentatum* cell inside (arrow) (LM).



0.1

图11 基于部分大亚基序列用贝叶斯法建立的纺锤环沟藻和莫氏环沟藻的系统发育树。李氏亚历山大藻和泰勒亚历山大藻作为系统发育分析的外源类群。节点的数字是最大似然法分析重复抽样分析(1,000次)和贝叶斯的后验概率(左: 最大似然法的重复抽样支持度; 右: 贝叶斯的后验概率)。最大似然法支持度小于50和贝叶斯概率小于0.7的数字未列出。\*表示最大支持度。  
Fig. 11 Phylogeny of *Gyrodinium fusiforme* and *G. moestrupii* inferred from partial large subunit rDNA sequence based on Bayesian inference (BI). *Alexandrium leei* and *A. taylori* were selected as outgroups. Numbers at nodes represent the result of the ML bootstrap analysis (one thousand bootstraps performed) and Bayesian posterior probabilities (left: ML bootstrap support values; right: Bayesian posterior probabilities). Only ML bootstrap support value greater than 50 and Bayesian posterior probabilities greater than 0.7 were listed. \* indicates maximal support.

细胞较小, 长约30  $\mu\text{m}$ , 宽约15  $\mu\text{m}$ 。细胞表面有纵向排列的脊, 细胞核圆形, 位于细胞中部(图10)。莫氏环沟藻可以摄食具齿原甲藻(*Prorocentrum dentatum*)(图10), 我们对这个细胞进行了PCR扩增和克隆, 得到了莫氏环沟藻和具齿原甲藻的核糖体大亚

基序列, 间接证明了摄食行为。

## 2.2 系统发育

福建海域的纺锤环沟藻的核糖体小亚基序列和GenBank中纺锤环沟藻的序列(基因库序列号: AB120002)仅相差2个碱基, 证实了形态学的鉴定

结果。福建海域2个纺锤环沟藻细胞的核糖体大亚基的序列完全相同, 与裂缝环沟藻(*Gyrodinium fissum*)(基因库序列号: EF613353)相差25个碱基(相似度为96.5%), 与多米尼环沟藻(*G. dominans*)、卢布环沟藻(*G. rubrum*)、莫氏环沟藻和螺旋环沟藻(基因库序列号: AY571370, AY571369, HE611580, AY571371)分别相差152, 120, 155和109个碱基(序列全长709 bp, 相似度分别为78.4%, 83.0%, 78.1%和84.5%)。而3个来自福建的莫氏环沟藻细胞的大亚基序列完全相同, 与韩国株(序列号: HE611580)仅相差2个碱基(相似度为99.9%)。

用贝叶斯法建立的系统发育树见图11, 与最大似然法建立的系统发育树拓扑结构基本一致。在系统发育树上, 环沟藻属是单源的, 因为该属的6个物种全部聚在一起并得到了最大支持度。纺锤环沟藻和裂缝环沟藻形成了一个类群(支持度为最大值), 而莫氏环沟藻和多米尼环沟藻也聚在一起, 它们的姐妹群是卢布环沟藻和螺旋环沟藻, 这4个种形成的类群反过来又是纺锤环沟藻类群的姊妹群(图11)。

### 3 讨论

#### 3.1 纺锤环沟藻的形态学

纺锤环沟藻1910年发现于北冰洋, 并定名为 *Spirodinium fusus* sp. nov. (Meunier, 1910), 之后该种被移到 *Gyrodinium*(环沟藻属), 由于环沟藻属下已经有了 *Gyrodinium fusus*, 因此 *Spirodinium fusus* 改名为 *Gyrodinium fusiforme*(Kofoid & Swezy, 1921)。纺锤环沟藻和螺旋环沟藻形态极为相近, 区别是前者个体较小(长74  $\mu\text{m}$ ), 而后者个体较大(长度为105–150  $\mu\text{m}$ ), 长宽比前者为3.7, 后者为2.5(Kofoid & Swezy, 1921)。

福建海域发现的纺锤环沟藻和来自北冰洋的样品相比有3个主要的区别, 即个体较小(长度小于60  $\mu\text{m}$ ), 长宽比值较小(仅为2.7), 以及底部较钝(模式种两端都很尖)(Kofoid & Swezy, 1921)。发现于英国和加拿大的纺锤环沟藻个体都较大(分别是50–125  $\mu\text{m}$  和 45–91  $\mu\text{m}$ )(Dodge, 1982; Berard-Therriault *et al.*, 1999), 而来自日本的纺锤环沟藻长48.5–60.4  $\mu\text{m}$ , 长宽比为2.7(Takano & Horiguchi, 2004), 和福建海域的纺锤环沟藻形态接近。纺锤环沟藻和螺旋环沟藻的主要差别是细胞大小, 但是小个体的纺锤环沟藻和大个体的螺旋环沟藻难以区

分, 螺旋环沟藻的超微结构已有详细的报道(Hansen & Daugbjerg, 2004), 但是纺锤环沟藻的相关信息还不清楚。

莫氏环沟藻之前仅发现于韩国海域(Yoon *et al.*, 2012), 本研究结果把该种的分布延伸到了中国东海。福建海域的莫氏环沟藻大小、形态和表面结构都符合该种的特征, 但是我们未能仔细观察该种的形态, 因为它在水体中的数量较少, 而且在盖玻片下很容易裂解, 我们的鉴定参考了它与模式种大亚基序列的相似度。

#### 3.2 环沟藻属的系统发育

我们根据大亚基序列建立的系统发育树和之前基于小亚基序列的系统发育分析结果一致, 即环沟藻属是单源的, 且位于裸甲藻的根部(Takano & Horiguchi, 2004; Yoon *et al.*, 2012)。纺锤环沟藻和螺旋环沟藻的小亚基仅相差3个碱基, 而且在基于小亚基的系统发育树上它们也是相邻的2个物种(Takano & Horiguchi, 2004)。我们首次报道了纺锤环沟藻的大亚基序列, 和螺旋环沟藻的序列相差109个碱基, 而它们的小亚基仅相差3个碱基, 显示环沟藻属大亚基的进化速度明显要快, 是系统发育分析更为适合的基因片段。虽然这两个种的形态非常接近, 但在基于大亚基序列的系统发育树上它们却完全分开。而莫氏环沟藻和多米尼环沟藻在系统发育树上相邻, 这与它们形态的相似性吻合(Yoon *et al.*, 2012)。

#### 3.3 摄食

米氏凯伦藻可以产生毒素, 其引发的赤潮会给水产养殖和海洋生态带来灾难(Nakamura *et al.*, 1996; Davidson *et al.*, 2009)。福建海域2012年的米氏凯伦藻赤潮导致1.07万吨养殖的鲍鱼死亡, 经济损失达到20.11亿元([http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyzhgb/zhgb/201303/t20130306\\_24229.html](http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyzhgb/zhgb/201303/t20130306_24229.html))。米氏凯伦藻等有毒赤潮的爆发原因之一是浮游动物在摄食过程中选择性地避开有毒甲藻, 导致有毒甲藻的竞争者减少(孙军等, 2007; Jeong *et al.*, 2010)。而环沟藻属的物种(比如多米尼环沟藻、螺旋环沟藻)在米氏凯伦藻赤潮水体中大量出现, 并通过摄食促使赤潮的消退(Nakamura *et al.*, 1995)。纺锤环沟藻在米氏凯伦藻赤潮中大量出现之前并没有报道, 该种可能在赤潮消退中扮演着重要的角色。

莫氏环沟藻可以摄食微小亚历山大藻(*Alex-*

*andrium minutum*)、塔玛亚历山大藻(*A. tamarense*)和短凯伦藻(*Karenia brevis*)等多种有毒甲藻(Yoo *et al.*, 2013), 我们首次报道了该种可以摄食具齿原甲藻, 但是该种在具齿原甲藻赤潮水体中并没有大量出现(王金辉和黄秀清, 2003), 其在具齿原甲藻赤潮消退中的作用可能并不明显。

**致谢:** 感谢3位匿名审稿人提出了宝贵的修改意见。

## 参考文献

- Bérard-Therriault L, Poulin M, Bossé L (1999) Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent incluant également certains protozoaires. Publication Speciale Canadienne des Sciences Halieutiques et Aquatiques CNRC, Ottawa.
- Daugbjerg N, Hansen G, Larsen J, Moestrup, Ø (2000) Phylogeny of some of the major genera of dinoflagellates based on ultrastructure and partial LSU rDNA sequence data, including the erection of three new genera of unarmoured dinoflagellates. *Phycologia*, **39**, 302–317.
- Davidson K, Miller P, Wilding TA, Shutler J, Bresnan E, Kennington K, Swan S (2009) A large and prolonged bloom of *Karenia mikimotoi* in Scottish waters in 2006. *Harmful Algae*, **8**, 349–361.
- Dodge JD (1982) *Marine Dinoflagellates of the British Isles*, 303 pp. Her Majesty's Stationery Office, London.
- Edgar RC (2004) MUSCLE: multiple sequence alignment with high accuracy and high throughput. *Nucleic Acids Research*, **32**, 1792–1797.
- Gómez F (2012) A checklist and classification of living dinoflagellates (Dinoflagellata, Alveolata). *CICIMAR Oceanides*, **27**, 65–140.
- Hansen G, Daugbjerg N (2004) Ultrastructure of *Gyrodinium spirale*, the type species of *Gyrodinium* (Dinophyceae), including a phylogeny of *G. dominans*, *G. rubrum* and *G. spirale* deduced from partial LSU rDNA sequences. *Protist*, **155**, 271–294.
- Huang CJ (黄长江), Dong QX (董巧香) (2001) Taxonomic and biological studies on organisms causing a large scale red tide in Zhujiang River Estuary in spring, 1998. III. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), **32**, 1–6. (in Chinese with English abstract)
- Jeong HJ, Yoo YD, Kim JS, Seong KA, Kang NS, Kim TH (2010) Growth, feeding and ecological roles of the mixotrophic and heterotrophic dinoflagellates in marine planktonic food webs. *Ocean Science Journal*, **45**(2), 65–91.
- Kofoed CA, Swezy O (1921) The free-living unarmored dinoflagellata. *Memoirs of the University of California*, **5**, 1–564.
- Medlin L, Elwood HJ, Stickel S, Sogin ML (1988) The characterization of enzymatically amplified eukaryotic 16S-like rRNA-coding regions. *Gene*, **71**, 491–499.
- Meunier, A. 1910. *Microplancton des Mers de Barents et de Kara*, 355 pp. Duc d'Orleans Campagne Arctique de 1907. Bulens, Bruxelles.
- Nakamura Y, Suzuki S, Hiromi J (1995) Population dynamics of heterotrophic dinoflagellates during a *Gymnodinium mikimotoi* red tide in the Seto Inland Sea. *Marine Ecology Progress Series*, **125**, 269–277.
- Nakamura Y, Suzuki S, Hiromi J (1996) Development and collapse of a *Gymnodinium mikimotoi* red tide in the Seto Inland Sea. *Aquatic Microbial Ecology*, **10**(2), 131–137.
- Posada D (2008) jModelTest: phylogenetic model averaging. *Molecular Biology and Evolution*, **25**, 1253–1256.
- Ronquist F, Huelsenbeck JP (2003) MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. *Bioinformatics*, **19**, 1572–1574.
- Scholin CA, Herzog M, Sogin M, Anderson DM (1994) Identification of group- and strain-specific genetic markers for globally distributed *Alexandrium* (Dinophyceae). II. Sequence analysis of a fragment of the LSU rRNA gene. *Journal of Phycology*, **30**, 999–1011.
- Stamatakis A, Hoover P, Rougemont J (2008) A rapid bootstrap algorithm for the RAxML Web servers. *Systematic Biology*, **57**, 758–771.
- Sun J (孙军), Wang XD (王小冬), Song SQ (宋书群) (2007) Selective feeding of *Calanus sinicus* on harmful algal blooms species in East China Sea in spring. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **18**, 151–157. (in Chinese with English abstract)
- Takano Y, Horiguchi T (2004) Surface ultrastructure and molecular phylogenetics of four unarmored heterotrophic dinoflagellates, including the type species of the genus *Gyrodinium* (Dinophyceae). *Phycological Research*, **52**, 107–116.
- Takayama H (1985) Apical grooves of unarmored dinoflagellates. *Bulletin of Plankton Society of Japan*, **32**, 129–140.
- Wang JH (王金辉), Huang XQ (黄秀清) (2003) Ecological characteristics of *Prorocentrum dentatum* and the cause of harmful algal bloom formation in China Sea. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **14**, 1065–1069. (in Chinese with English abstract)
- Yoo YD, Yoon EY, Jeong HJ, Lee KH, Hwang YJ, Seong KA, Kim JS, Park JY (2013) The newly described heterotrophic dinoflagellate *Gyrodinium moestrupii*, an effective protistan grazer of toxic dinoflagellates. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, **60**(1), 13–24.
- Yoon EY, Kang NS, Jeong HJ (2012) *Gyrodinium moestrupii* n. sp., a new planktonic heterotrophic dinoflagellate from the coastal waters of western Korea: morphology and ribosomal DNA gene sequence. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, **59**, 571–586.

(责任编辑: 孙军 责任编辑: 周玉荣)