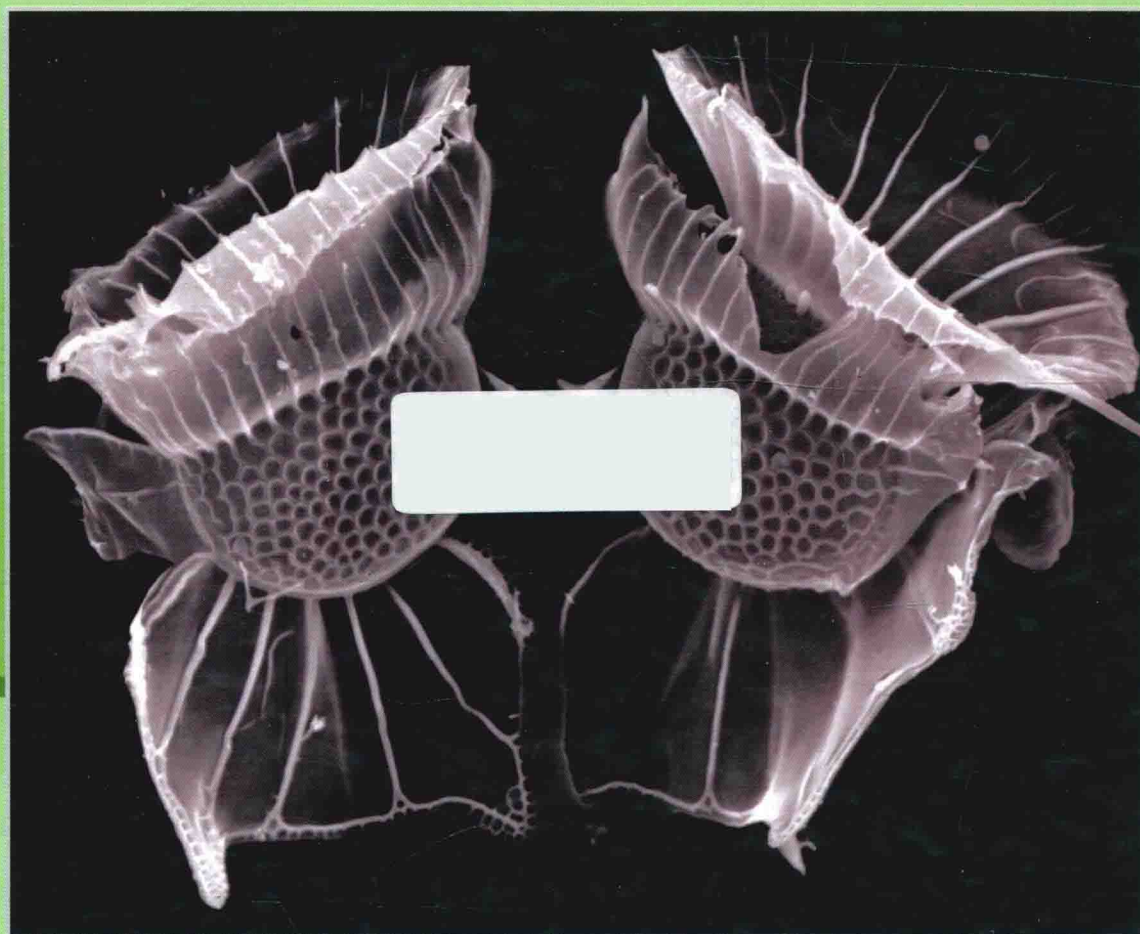


中国海域甲藻 扫描电镜图谱

Atlas of Dinoflagellates in the China's Seas

杨世民 李瑞香 著

Yang S.M. Li R.X.



海洋出版社

中国海域甲藻扫描电镜图谱

Atlas of Dinoflagellates in the China's Seas

杨世民 李瑞香 著

Yang S.M. Li R.X.

海洋出版社

2014年·北京

内 容 简 介

本书精选了我国海域 23 属 184 种海洋甲藻的扫描电子显微镜照片, 对各物种的形态特点、壳面结构及采样的海域进行了简要的描述, 展示了甲藻细胞壳面的横沟、纵沟、鞭毛孔、凹陷、孔、边翅、肋刺、脊状条纹、网纹等细小精美的结构, 并对一些物种按照新的分类学观点进行了更名。书后附有学名索引和国内外参考文献。

本书可为海洋甲藻分类学、生态学等领域的科研工作者以及大专院校生物系、水产系、海洋系、环境生态等专业的师生提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国海域甲藻扫描电镜图谱 / 杨世民, 李瑞香著.
— 北京: 海洋出版社, 2014.2

ISBN 978-7-5027-8798-1

I. ①中… II. ①杨… ②李… III. ①海域 - 甲藻门
- 电镜扫描 - 中国 - 图谱 IV. ①Q949.24-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第017781号

责任编辑: 于秋涛 高 英

责任印制: 赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京旺都印务有限公司印刷 新华书店经销

2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月北京第 1 次印刷

开本: 889mm × 1194mm 1 / 16 印张: 14

字数: 346 千字 定价: 120.00 元

发行部: 010-62132549 邮购部: 010-68038093 总编室: 010-621114

海洋版图书印、装错误可随时退换

序 言

甲藻 (dinoflagellate) 是海洋初级生产者的重要组成部分, 和硅藻并称为“海洋中的牧草”, 在海洋生态系统中起重要的作用。某些甲藻在适宜环境下过度繁殖, 形成藻华, 导致生态系统失衡, 有些甲藻会分泌毒素, 致鱼、贝等大量死亡, 并通过食物链危及人类健康和生命安全。

甲藻细胞形状各异、姿态优美, 多数甲藻具有鞭毛, 可以进行涡旋状运动, 因而在早期的文献中称其为涡鞭毛藻或涡鞭藻。甲藻的鉴定主要采用传统的形态学分类方法, 即利用光学显微技术, 根据观察到的形态来对它们进行种类鉴别。随着科技的发展与技术的进步, 分类学日趋完善。电镜技术将形态分类学研究扩展到了细胞亚显微结构和超显微结构。传统的甲藻分类, 根据细胞壁的不同把甲藻分为裸露的 (unarmoured = naked) 或具甲的 (armoured = thecate) 两大类, 但从其亚显微结构来看, 基本构造是相似的, 都是由质膜、囊体及微管组成。从超显微结构水平来看, 甲藻普遍具有壳板 (theca), 壳板有厚薄之分, 可以是平滑和没有花纹的, 如一些裸甲藻 (*Gymnodinium*), 凯伦藻 (*Karenia*), 也可以是由多块甲板构成, 其上有刺、棘、翅、眼纹、网纹、脊状纹等精美的结构, 如亚历山大藻 (*Alexandrium*) 及鳍藻 (*Dinophysis*) 等, 这些构造成成为甲藻形态分类的依据。

英国甲藻分类学家 Dodge (1985) 发表了第一部《Atlas of Dinoflagellates》电镜图集, 展示了 130 种具甲甲藻。1993 年林永水、周近明出版了我国第一部甲藻专著《南海甲藻 (一)》, 展示了 61 种甲藻, 100 幅电镜照片。

本书《中国海域甲藻扫描电镜图谱》是继林永水等 (1993) 之后又一部我国较为全面的甲藻电镜分类专著, 它的出版将为甲藻的分类学、生态学以及甲藻进化等科研、教学领域提供参考。

本专著是李瑞香、杨世民教授及他们的同事们积累多年工作所得, 是对海洋事业的一项有益的贡献, 必为大家所欢迎。

中国藻类学会副理事长

2013 年 12 月

前言

应用扫描电子显微镜对甲藻进行分类研究只有短短几十年,但由于扫描电镜放大范围广、分辨率高,使人们能更深入地研究甲藻的形态结构,因此深受国内外藻类学者的青睐。Dodge (1985) 在其所著《Atlas of Dinoflagellates》一书中,首次反映了甲藻细胞大量的扫描电镜图片及研究结果,记载了 130 种甲藻(其中包括了部分淡水物种)。我国学者林永水和周近明(1993)也在《南海甲藻(一)》一书中发布了大量甲藻扫描电镜图片,记载了南海甲藻 61 种(包括变种、变型)。

通过对近几年在中国海域科研调查时所取得的样品进行扫描电镜研究分析,作者获得了大量海洋甲藻的扫描电镜图片,本书中收录的图片即是从此数千张甲藻电镜图片中挑选出来的,共 23 属 184 种(包括变种),其中首次记录的物种 45 种。采样海域主要包括渤海、黄海北部海域、青岛沿海、长江口附近海域、浙江舟山群岛附近海域、冲绳海槽西侧(东海大陆架边缘海域)、钓鱼岛附近海域、台湾海峡、吕宋海峡北部海域(台湾南侧)、南海北部海域、海南岛附近海域、西沙群岛附近海域、中沙群岛附近海域、黄岩岛附近海域、南沙群岛附近海域。

在甲藻物种定名方面,对于鳍藻属 *Dinophysis* 和秃顶藻属 *Phalacroma*,作者采用了两属合并的观点,并将原来秃顶藻属的物种 *Phalacroma complanatum* 更名为平面鳍藻 *Dinophysis complanata*。对于原先角藻属 *Ceratium* 的物种,除了对已经在国际上接受更名为新角藻属 *Neoceratium* 的物种采用新的命名外,作者还将本书中记述的其他海洋物种一同并入到新角藻属中,进行了新的命名(为方便读者查阅,原种名附于新种名之后)。对于伞甲藻属 *Corythodinium*,作者采用 Taylor (1976) 的观点,将其与尖甲藻属 *Oxytoxum* 分离。对于物种 *Peridinium lomnickii*,作者将其并入原多甲藻属,更名为罗姆科原多甲藻 *Protoperidinium lomnickii*。

本书得到海洋公益性行业科研专项“我国海洋浮游生物分类鉴定技术及在生物多样性保护中的应用”(项目号:201005015)和中国海洋大学本科研究发展计划项目“中国海域常见浮游甲藻亚显微结构的研究”的支持。海洋甲藻扫描电镜拍摄得到了青岛大学附属医院谭金山老师的指导和协助,电镜样品的制备由中国海洋大学范瑞青老师完成,荀小罡等同学也在资料的整理方面做了大量工作,另外,中国海洋大学“东方红 2”号调查船全体工作人员在样品采集过程中提供了大力的支持与帮助,在此一并致谢。

由于作者水平有限,难免有错误和疏漏之处,敬请批评指正。

著者

2013 年 2 月

目 录

扫描电子显微镜在海洋甲藻分类研究中的应用·····	1
扫描电镜在甲藻分类研究中的优点·····	2
海洋甲藻样品的采集、分离、制备和观察·····	3
原甲藻属 <i>Prorocentrum</i> ·····	5
双管藻属 <i>Amphisolenia</i> ·····	14
音匣藻属 <i>Citharistes</i> ·····	19
鳍藻属 <i>Dinophysis</i> ·····	21
鸟尾藻属 <i>Ornithocercus</i> ·····	43
帆鳍藻属 <i>Histioneis</i> ·····	52
新角藻属 <i>Neoceratium</i> (角藻属 <i>Ceratium</i>) ·····	64
角甲藻属 <i>Ceratocorys</i> ·····	119
古秃藻属 <i>Palaeophthalacroma</i> ·····	121
屋甲藻属 <i>Goniodoma</i> ·····	124
膝沟藻属 <i>Gonyaulax</i> ·····	127
舌甲藻属 <i>Lingulodinium</i> ·····	139
螺沟藻属 <i>Spiraulax</i> ·····	140
原角藻属 <i>Protoceratium</i> ·····	141
异甲藻属 <i>Heterodinium</i> ·····	143
中甲藻属 <i>Centrodinium</i> ·····	148
伞甲藻属 <i>Corythodinium</i> ·····	149
尖甲藻属 <i>Oxytoxum</i> ·····	153
斯比藻属 <i>Scrippsiella</i> ·····	159
拟翼藻属 <i>Diplopsalopsis</i> ·····	160
囊甲藻属 <i>Blepharocysta</i> ·····	162
足甲藻属 <i>Podolampas</i> ·····	164
原多甲藻属 <i>Protoperidinium</i> ·····	168
参考文献·····	203
学名索引·····	208

扫描电子显微镜 在海洋甲藻分类研究中的应用

德国科学家 Max Knoll 和 Ernst Ruska 于 1932 年首次发表了关于电子显微镜的实验和理论研究的文章,标志着电子显微镜的诞生。此后,电子显微镜已被广泛地应用于生物学、医学、化学、地质学、物理学等自然科学的各个领域。20 世纪 70 年代扫描电子显微镜 (SEM) 开始在海洋甲藻分类研究中应用,先后有 Dodge (1973, 1981, 1982, 1985, 1988, 1995), Taylor (1971, 1973, 1976, 1980), Andreis (1975, 1982), Loeblich III (1979, 1982), Couté 和 Iitis (1985), Hernández-Becerril (1989), Faust (1990, 1991, 1997, 2000), Faust 等 (1999), 福代康夫等 (1990) 等国外学者对原甲藻属 *Prorocentrum*、鳍藻属 *Dinophysis*、鸟尾藻属 *Ornithocercus*、膝沟藻属 *Gonyaulax*、角藻属 *Ceratium*、尖甲藻属 *Oxytoxum*、裸甲藻属 *Gymnodinium*、原多甲藻属 *Protoperidinium* 等甲藻物种进行了扫描电子显微镜的观察和研究,近年来更有许多国外学者借助扫描电子显微镜发现和记述了许多海洋甲藻新种,如 Montresor (1988, 1995) 记述了新种 *Scrippsiella precaria*, *S. ramonii*; Faust (1993, 1994, 1995) 记述了新种 *Prorocentrum maculosum*, *P. foraminosum*, *P. formosum*, *P. sabulosum*, *P. sculptile*, *P. arenarium*, *Gambierdiscus belizeanus*, *Coolia tropicalis*; Selina (2004) 记述了新种 *Sinophysis minima*; Chang (2004) 记述了新种 *Karenia concordia*; Yoshimatsu (2000, 2004) 记述了新种 *Amphidiniopsis hexagona*, *Thecadinium arenarium*, *T. ovatum*, *T. striatum*, *T. yashimaense*; Murray (2007) 记述了新种 *Prorocentrum fukuyoi*; Chomérat (2008, 2010) 记述了新种 *Protoperidinium bolmonense*, *Prorocentrum consutum*。

我国学者于 20 世纪 90 年代开始借助扫描电子显微镜研究海洋甲藻 (林永水和周近明, 1993; 陆斗定和 Gobel, 2001), 并借此发现了新种 *Karenia digitata*, *K. longicanalis* (Yang, 2000, 2001)。

相信随着扫描电镜应用的普及和深入,会有更多的海洋甲藻新物种被发现,会有更详实精细的甲藻结构展现在我们面前。

扫描电镜在甲藻分类研究中的优点

扫描电镜的优点在于具有较大的景深，其景深可达普通光学显微镜的 300 余倍，能获得具真实感的三维藻体黑白图像。其次，扫描电镜放大范围广，最大有效放大倍数可达 30 万倍，并可连续改变放大倍数；且其分辨率高，最大分辨率达 4 nm，是普通光学显微镜的 500~700 倍。另外，藻体细胞可以在样品室中作立体的平移和旋转，便于从某一角度对藻体的一定区域进行观察分析。还有，扫描电镜样品的制备过程和观察时的操作步骤也较简单。这些特点使得扫描电镜能准确细致地展现海洋甲藻细胞壁甲板、横沟、纵沟、鞭毛孔、刺、肋、边翅、眼纹、孔等壳面结构，大大提高了甲藻分类研究的可靠性和准确性，也使我们得以在更微细的水平上对甲藻形态进行研究，并基于此建立更可靠的分类系统。

海洋甲藻样品的采集、分离、制备和观察

在以往海洋甲藻样品的采集过程中,对于浮游甲藻国内学者多采用网目 76 μm 浮游生物网拖网的方法,但这种方法常会漏掉一些个体较小的甲藻细胞,尤其是一些稀有种。因此作者在采集样品时除用上述方法外还结合了采水和网目 20 μm 浮游生物网拖网的方法,其中采水主要是在中国近岸甲藻细胞丰度较高的海域进行的,在大洋甲藻细胞丰度较低的海域,则主要采用 20 μm 浮游生物网拖网的方法。从结果来看,这三种采集方法相结合取得了不错的效果,作者采集到了多个个体较小且稀有的物种(如帆鳍藻属 *Histioneis* 的物种)。

海洋甲藻样品采集之后用 2%~5% 中性福尔马林溶液固定保存,在实验室内进行分离。作者采用的分离方法有两种,一种是取网采样品或水样沉降浓缩后的样品置于凹形载玻片上,在普通光学显微镜下用毛细吸管将甲藻细胞吸出,装入塑料指管中备用。这种方法的优点是备用样品中杂质较少,在观察摄像过程中获得无杂质干扰的优质甲藻图片的概率较高,缺点是在光学显微镜下观察和用毛细吸管吸出的甲藻的物种数量和细胞数量相对较少,即信息量小,有些稀有物种未必能被收入备用样品中。另一种方法是采集的甲藻样品先用 1 mm 分样筛过滤一次,初步除去样品中个体较大的动物和杂质,再用 200 μm 孔径的筛绢过滤两次,滤液装入塑料指管中备用。这种方法的优点是备用液信息量大,能获得许多稀有物种的珍贵图像资料,缺点是备用液中杂质较多,甲藻细胞受其干扰的几率大。作者在分离样品时,采用上述两种方法相结合的方式,获取的备用液分别进行扫描电镜样品的制备,以期最大限度的获得样品中海洋甲藻扫描电镜图像资料。

扫描电镜样品的制备采用了两种方法，具体如下：

方法一

- ① 2.5% 戊二醛或甲醛固定；
- ② 0.1 mol 磷酸缓冲液清洗三次，每次 20 分钟；
- ③ 梯度酒精脱水：50%（20 分钟）、70%（20 分钟）、90%（20 分钟）、100%（两次共 30 分钟）；
- ④ 临界点干燥仪干燥；
- ⑤ 离子溅射仪镀金。

方法二

- ① 2.5% 戊二醛或甲醛固定；
- ② 0.1 mol 磷酸缓冲液清洗三次，每次 20 分钟；
- ③ 梯度酒精脱水：50%（20 分钟）、70%（20 分钟）、90%（20 分钟）、100%（两次共 30 分钟）；
- ④ 自然干燥；
- ⑤ 离子溅射仪镀金。

林永水和周近明（1993）曾介绍过四种扫描电镜样品的制备方法，作者所采用的两种方法与其中的第（3）、（4）种方法类似，可作为绝大多数甲藻扫描电镜样品的制备方法。

所有电镜样品均在 JEOL 公司生产的 JSM-810 型扫描电子显微镜下观察，挑选清晰、杂质少、个体完整的甲藻细胞进行摄像，摄像时电压不超过 15 kV。

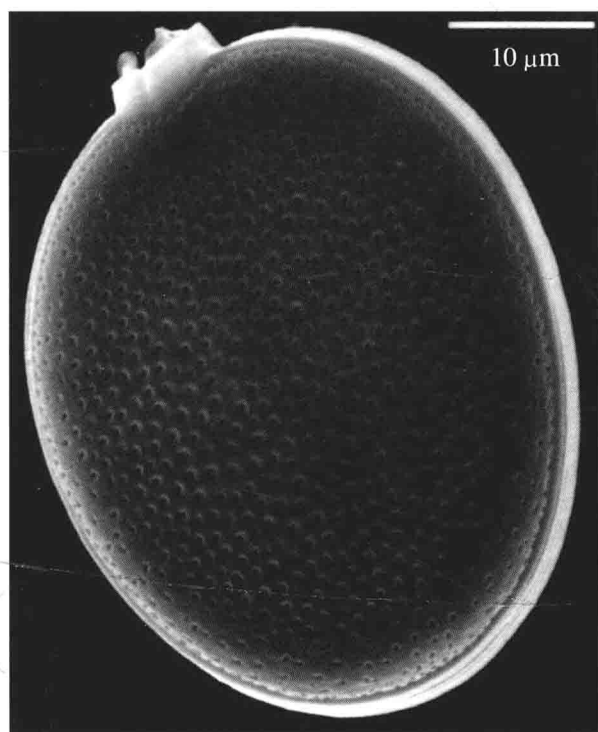
拍摄的甲藻原始图片采用 Adobe Photoshop 软件进行处理，深化背景，去除背景中的杂质，但甲藻细胞（包括细胞上的杂质）不作任何改动。

原甲藻属 *Prorocentrum*

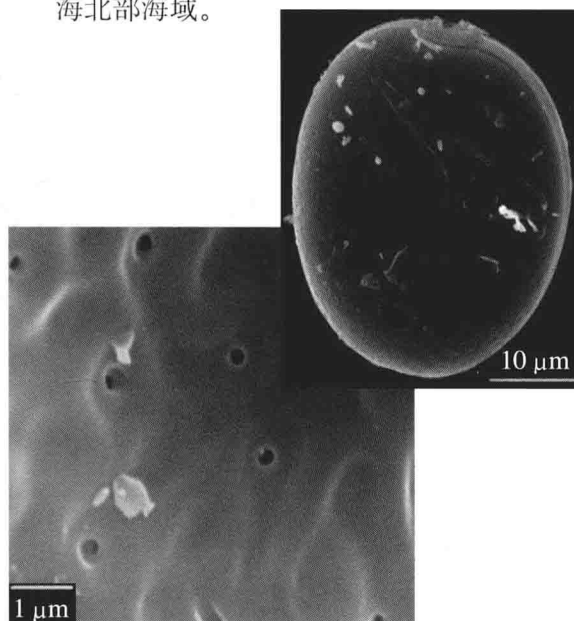
扁形原甲藻

Prorocentrum compressum (Ostenfeld) Abé, 1967

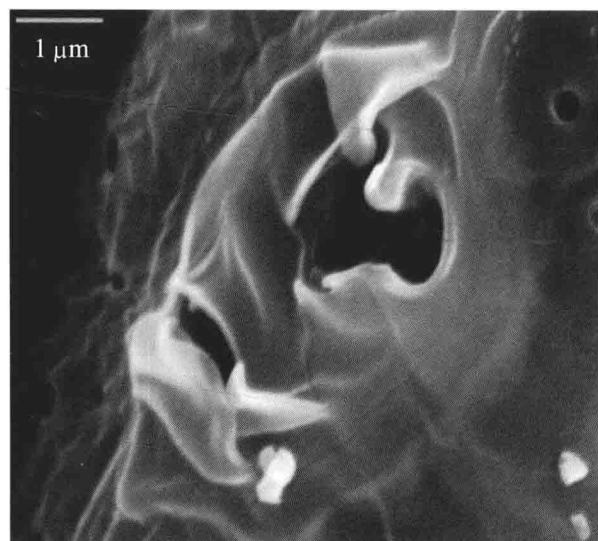
藻体细胞扁椭圆形或扁卵圆形，细胞壳面具浅凹陷，凹陷内具孔。样品采自南海北部海域。



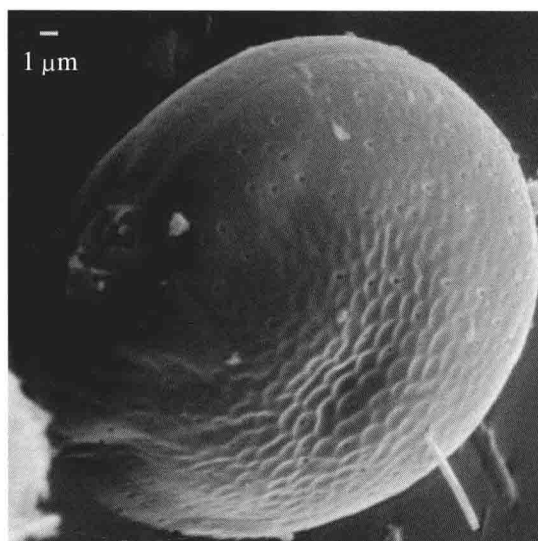
示左壳面观



示壳面浅凹陷及孔



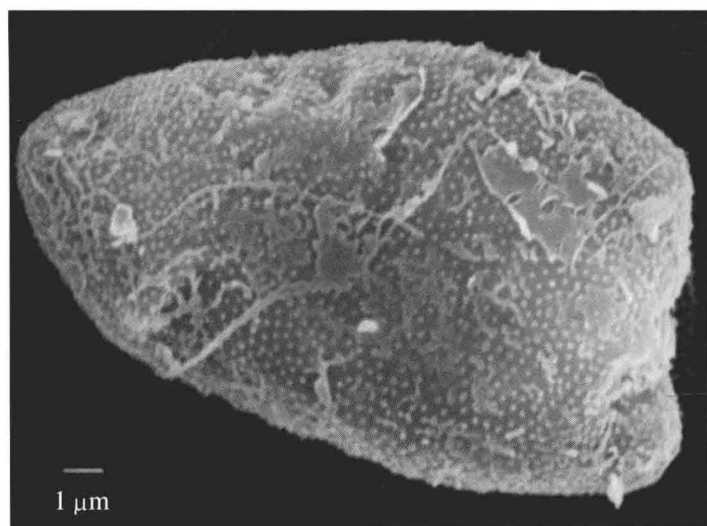
示鞭毛孔及顶面观



具齿原甲藻

Prorocentrum dentatum Stein, 1883

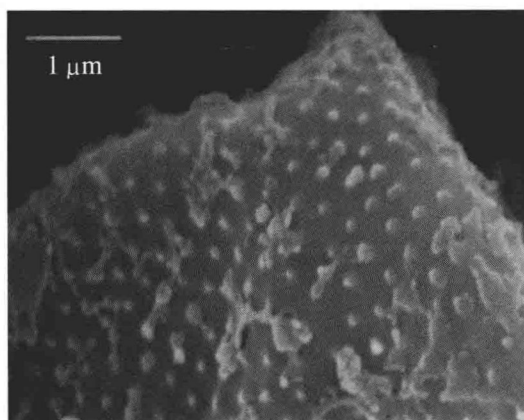
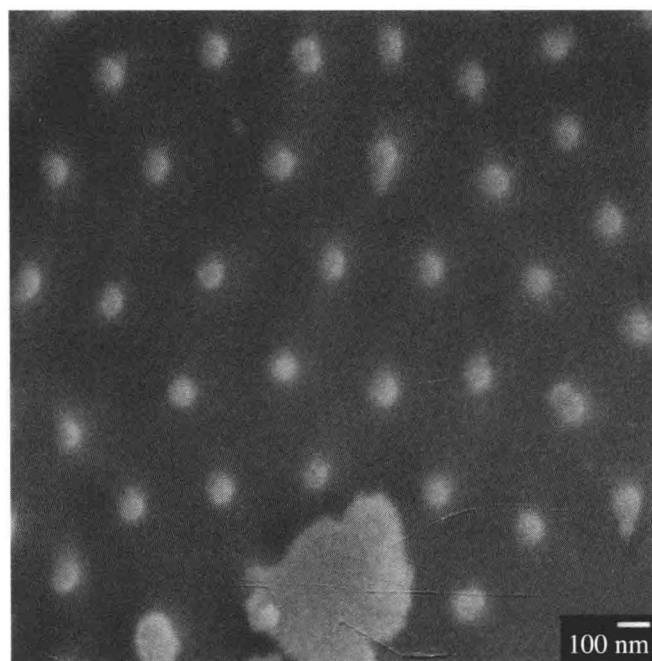
藻体细胞较小，壳面具许多小棘刺。样品采自浙江舟山群岛附近海域。



示右壳面观



示左壳面观

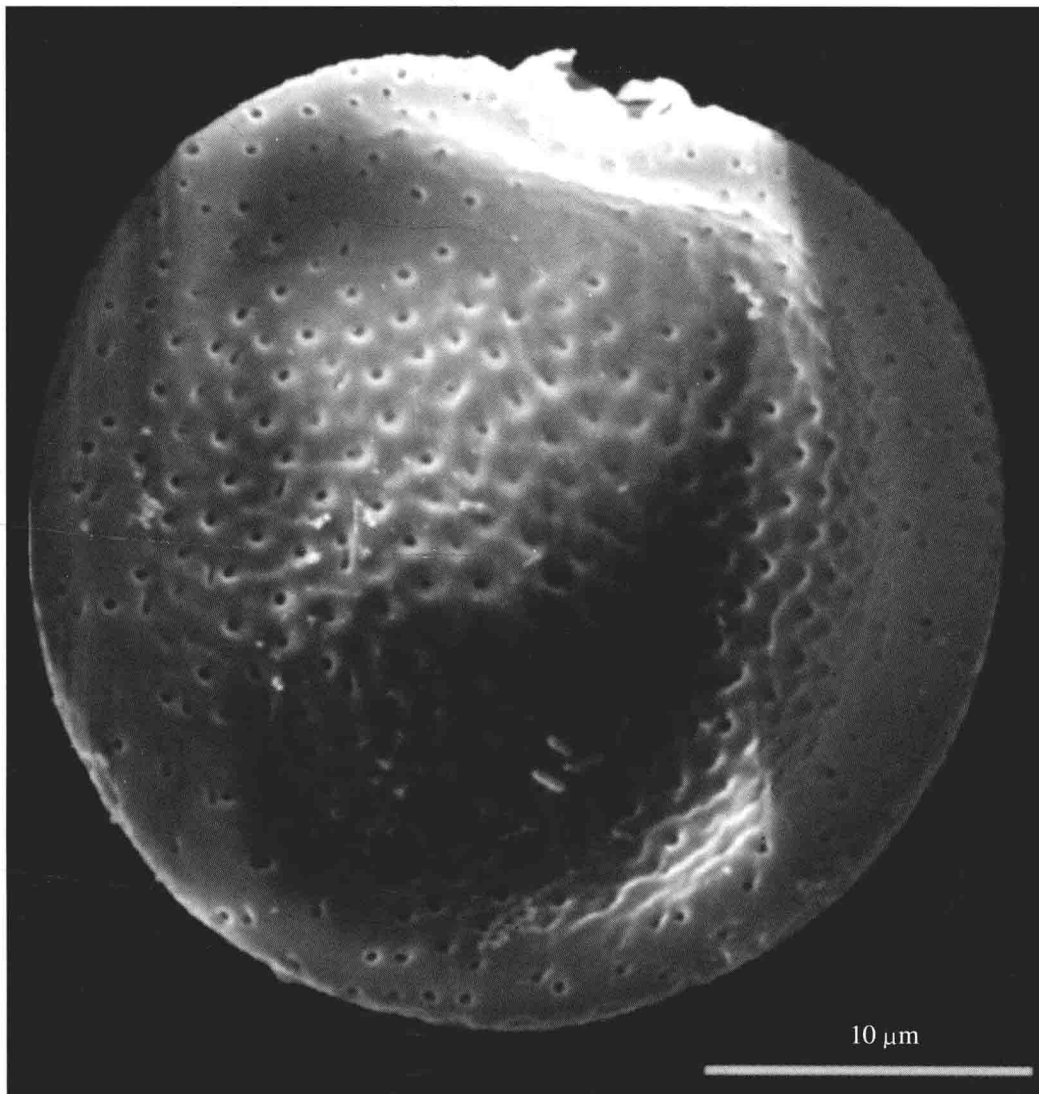


示壳面小棘刺

扁豆原甲藻

Prorocentrum lenticulatum (Matzenauer) Taylor, 1976

藻体细胞较小，呈扁圆球状，细胞壳面有许多排列规则的浅凹陷，凹陷内具孔。
样品采自中沙群岛附近海域。

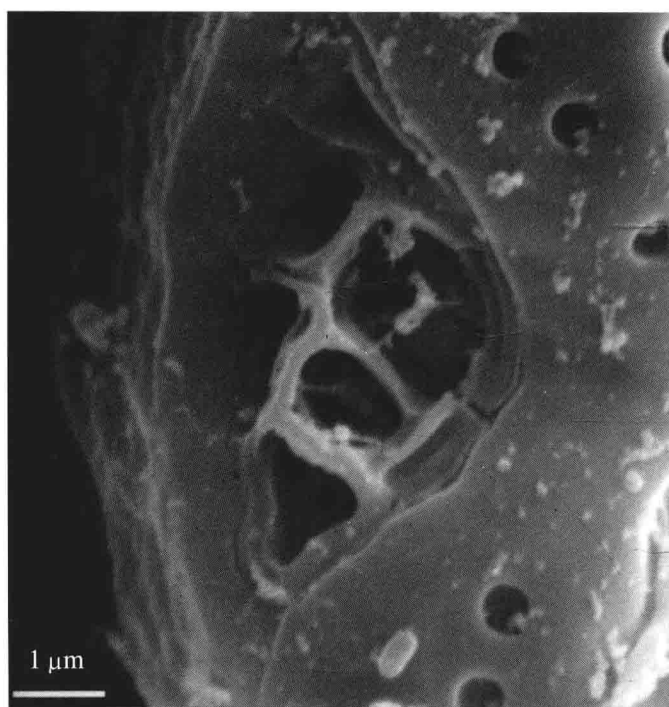


示左壳面观

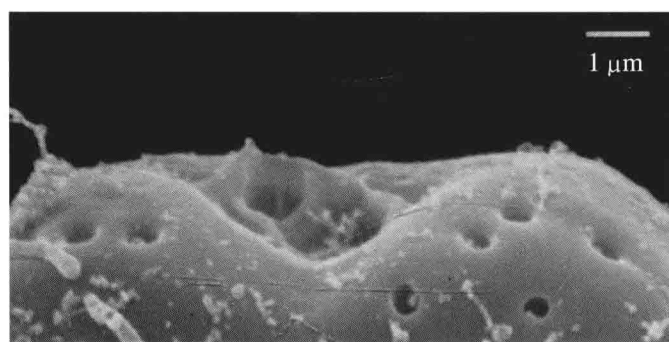
利玛原甲藻

Prorocentrum lima (Ehrenberg) Dodge, 1975

藻体细胞倒卵形，壳面具刺丝胞孔。



示右壳面观

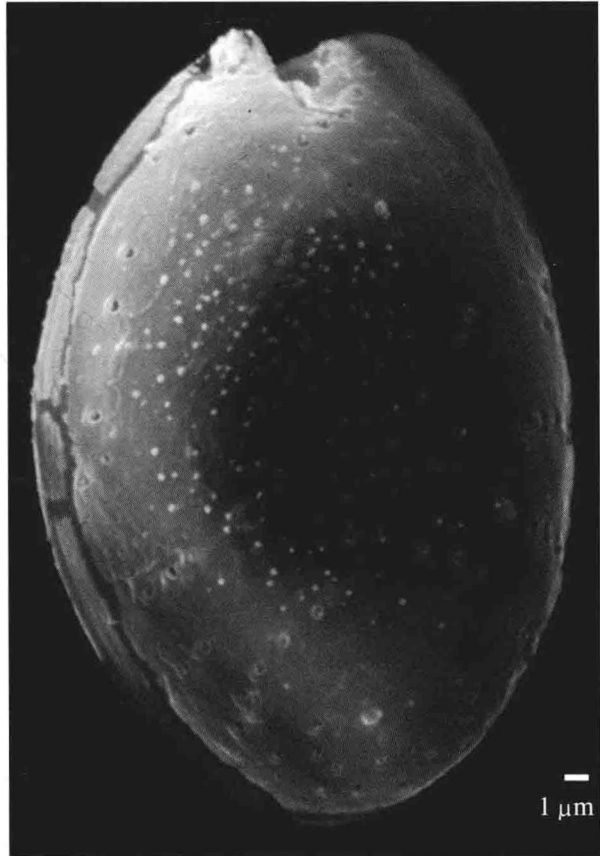


示鞭毛孔、左壳面观

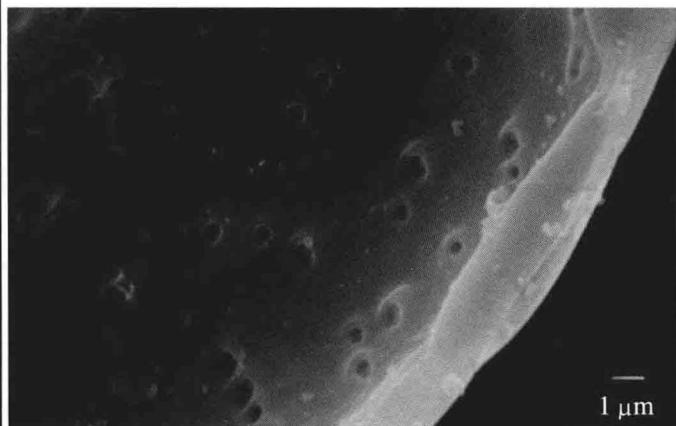
墨西哥原甲藻

Prorocentrum mexicanum Tafall, 1942

藻体细胞椭圆形，壳面具许多放射状排列的刺丝胞孔。样品采自山东半岛荣成近岸海域，系中国首次记录。



示右壳面观



示左壳面观、刺丝胞孔

闪光原甲藻

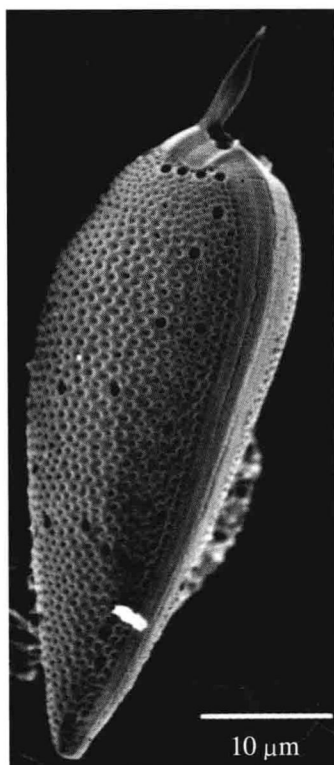
Prorocentrum micans Ehrenberg, 1833

藻体细胞瓜子形，壳面具许多孔及刺丝胞孔。

样品采自黄海、东海、南海。



示左壳面观



示腹面观



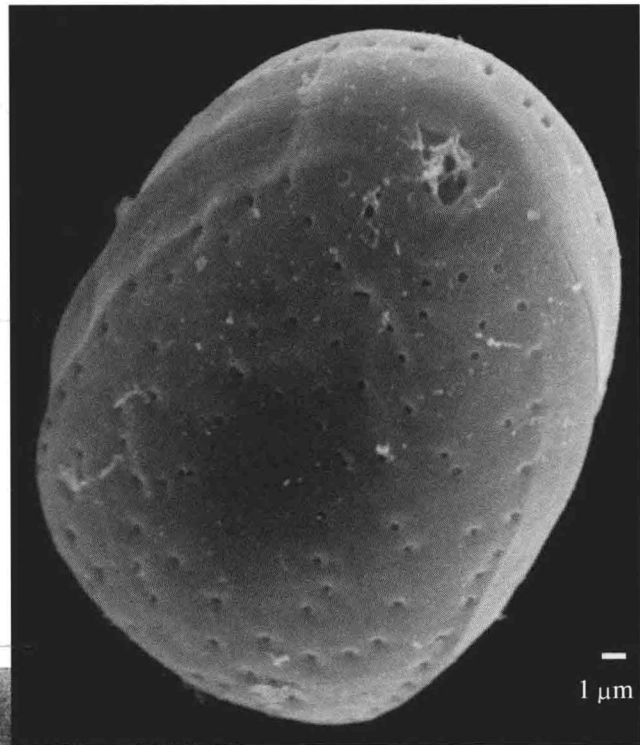
示背面观

诺里斯原甲藻

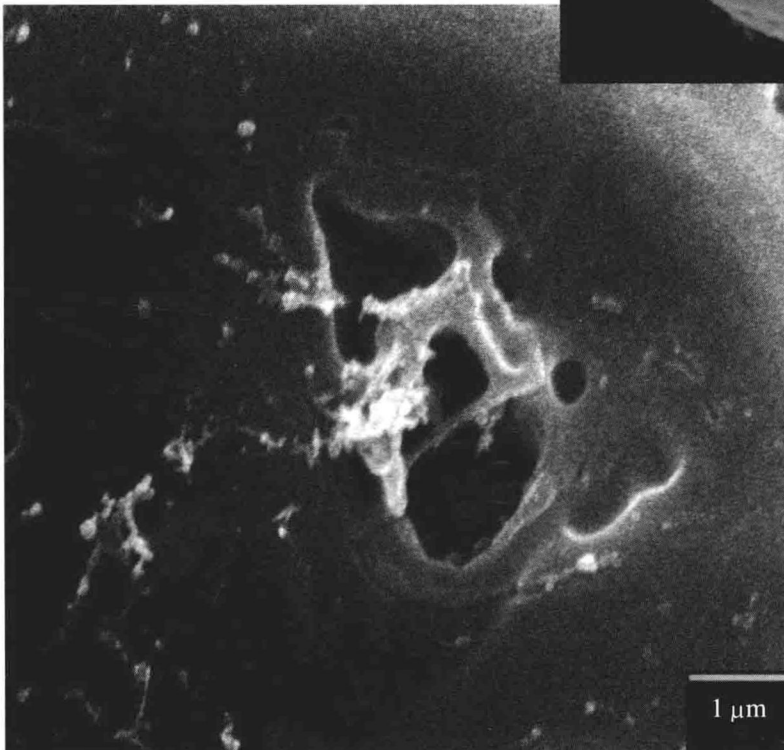
Prorocentrum norrisianum Faust & Morton, 1997

藻体细胞较小，大体呈椭圆形，壳面具许多孔。

样品采自黄海北部海域，系中国首次记录。



示右壳面观



示鞭毛孔