

芬兰贝氏藻(硅藻门)的超微结构研究

龚志港, 刘冰*, 刘祝祥, 陈锦华, 袁莉

(吉首大学 生物资源与环境科学学院, 湖南吉首 416000)

摘要:以采集于青海湖的石附生硅藻(芬兰贝氏藻)为样品,用10%的HCl溶液溶解样品中含钙的固体化合物,再加入30% H₂O₂溶液氧化去掉硅藻细胞的有机物质,获得干净的硅藻标本。利用Naphrax[®]封装剂制成永久装片,在光学和电子显微镜下对其形态特征进行了详细研究。结果表明:(1)在光学显微镜下芬兰贝氏藻具有披针形的壳瓣外形、尖圆的壳面末端和明显伸长的中轴区三个特征。(2)在扫描电子显微镜下芬兰贝氏藻紧邻中央区的孔纹明显伸长,其长度为2~4个正常孔纹的长度。(3)通过文献查阅和相似种类的比较发现,同时具有尖圆的末端和明显伸长的紧邻中央区的孔纹是芬兰贝氏藻鉴定的独特性状组合,故芬兰贝氏藻的身份可由此确定。该研究首次报道了芬兰贝氏藻在中国的分布。

关键词:青海湖;咸水硅藻;贝氏藻属;中央区;伸长的孔纹

中图分类号:Q949.27 **文献标志码:**A

Ultrastructure of *Berkeleya fennica* Juhlin-Dannfelt (Bacillariophyta)

GONG Zhigang, LIU Bing*, LIU Zhuxiang, CHEN Jinhua, YUAN Li

(College of Biology and Environmental Science, Jishou University, Jishou, Hunan 416000, China)

Abstract: The material of an epilithic diatom sample (including *Berkeleya fennica*), collected from Lake Qinghai, was processed using 10% HCl to dissolve all solid compound containing calcium, and then adding 30% H₂O₂ to oxidize and remove the organic matter of diatom cells. As a result, the clean diatom specimens can finally be obtained. Permanent slides were prepared well by using Naphrax[®] mountant. The morphological characters of *B. fennica* were thoroughly studied under light and scanning electron microscope. The results show: (1) under light microscope, *B. fennica* possesses three characters: lanceolate valve outline, acutely rounded valve apices and markedly elongated central area. (2) Under scanning electron microscope, *B. fennica* possesses markedly elongated areolae which are close to the central area, and their lengths are equal to the ones of 2–4 normal areolae. (3) After consulting the literature and making comparisons between similar taxa, the current paper can confirm that the unique identifying character combination of *B. fennica* is the combination of the acutely rounded valve apices and the markedly elongated areolae close to the central area, by which the identity of *B. fennica* can be confirmed. *Berkeleya fennica* is reported for the first time in China in this paper.

Key words: Lake Qinghai; brackish-water diatom; *Berkeleya*; central area; elongated areola

收稿日期:2020-10-13;修改稿收到日期:2020-12-14

基金项目:国家自然科学基金(31760051)

作者简介:龚志港(1997-),男,硕士研究生。E-mail: 825870760@qq.com

* 通信作者:刘冰,博士,副教授,主要从事硅藻分类和生态研究。E-mail: jsulb@outlook.com

硅藻门的贝氏藻属(*Berkeleya*)由 Greville 在 1827 年建立^[1]。它是一类舟形的具有双壳缝的硅藻,生活在海洋或咸水中^[2]。英国著名的硅藻学家 Cox 对贝氏藻属进行了较多的研究,并于 1975 对该属进行了修订^[3]。其修订描述如下:细胞常常包裹于胶质管内。壳瓣线性或线性披针形,具有钝的末端。中央壳缝(近壳缝)两末端通常相距较远,中央区的长度在个体之间是变化的,即不恒定。远壳缝端终止于壳瓣末端前面区域。线纹在壳瓣中央附近横向排列,在接近末端处呈会聚状,而在最末端处呈放射状。线纹通常非常精细,但是有时在中央区附近存在明显扩大的孔纹。其细胞具有多条环带。根据 AlgaeBase 网站的数据^[4],贝氏藻属目前有 13 个公认种类。在贝氏藻属的种类中,有 5 个种类的壳面线纹在光学显微镜下难以分辨,本研究的芬兰贝氏藻(*Berkeleya fennica* Juhlin-Dannfelt)就属于其中之一(表 1)。

金德祥等^[5-6]在其 2 卷海洋底栖硅藻专著中没有涉及到贝氏藻属及其种类,程兆第等^[7-8]在其 2 册中国海藻志中同样没有涉及到贝氏藻属及其种类。经过文献查阅,我们发现只有彭玉梅等^[9]在对青海湖的硅藻研究中提到了一种贝氏藻——*Berkeleya rutilans* (Trentepohl ex Roth) Grunow (微红贝氏藻)。彭玉梅等没有给出其中文名,此中文名为本文作者新拟,但是没有提供图片和文字描述。据此可知,贝氏藻属在国内还没有详细的报道。

青海湖是中国最大的内陆咸水湖,不仅具有重要的经济、文化等价值,而且具有极其重要的生态功能^[10]。对于青海湖的硅藻区系,有过一些研究报道。例如,彭玉梅等^[11-12]描述并发表了 2 个来自青海湖的硅藻新(变)种。最近,刘冰等^[13]描述并发表了另一硅藻新种——中华栉形藻(*Ctenophora sinensis* Bing Liu et D. M. Williams)。在对青海湖的底栖硅藻研究中,我们发现其硅藻多样性高,包含有许多前人没有报道的种类。本研究对其中的一种——芬兰贝氏藻予以描述和报道(后续还有更多其他种类),以期增加相关研究者对贝氏藻属和对青海湖硅藻多样性的认识。

1 材料和方法

本研究的取样地点位于青海湖南侧的湖滨浅滩。从青海湖的环湖西路到天峻县的湖滨浅滩中有较大的岩石,其上长有丰富的石附生硅藻。在临岸浅水下选择硅藻着生多的石头至少 5 块,用牙刷

把这些石头表面的生物膜(石附生生物,其中主要是硅藻群落)用力刷到塑料盘里,然后倒入 100 mL 样品瓶中,直到体积达到约 80 mL 时加入 70% 的酒精至 100 mL (固定样品内的硅藻),然后拧紧瓶盖,带回实验室进一步处理。

在实验室先用 10% 的 HCl 溶液溶解掉要处理样品中含钙的固体化合物,然后加入 2 倍要处理硅藻样品体积的 30% H₂O₂ 溶液,在 80 °C 恒温条件下加热 6 h 以氧化去掉硅藻细胞的有机物质,然后加入蒸馏水,静置 12 h 后吸去上清液。这个过程重复 5 次以得到干净的硅藻标本。利用 Naphrax[®] 封装剂制成永久装片以供光学显微镜观察和拍照(德国徕卡光学显微镜,型号 Leica DM3000)。永久装片共 24 张保存在吉首大学植物标本馆,编号分别为 JSUD2020-0001 至 0024。扫描电镜观察在湖南怀化学院完成(德国卡尔蔡司场发射扫描电子显微镜,型号 Sigma HD)。

2 观察结果

芬兰贝氏藻(图版 I, 1~16;图版 II, 1~6)

Berkeleya fennica Juhlin-Dannfelt 1882: 35, pl. II: fig. 19; Snoeijs and Balashova 1998: 30, photographs provided by Pauli Snoeijs (Snoeijs 提供的这些图片没有编号)

2.1 光学显微镜和扫描电子显微镜观察

光学显微镜观察(图版 I, 1~10);在光学显微镜下,只能辨别壳瓣的轮廓和明显的中轴区。壳瓣披针形或线性披针形,具有尖锐的末端。壳瓣大小为(测量 34 个标本):长 13.3~31.1 μm,宽 2.6~3.8 μm。中轴区略微弯曲,明显可见;中央区明显伸长,长度为 2.5~13.2 μm,占整个壳面长度的 18.8%~43.1%。由于中央区伸长,因而两近缝端相距甚远,壳缝两分支变短且分别靠近两末端。线纹在光学显微镜下无法分辨。

扫描电子显微镜观察(图版 I, 11~16;图版 II, 1~6):壳瓣披针形(图版 I, 11~13;图版 II, 1~3)。从壳外面观看,壳面略呈拱形,壳套浅;中轴区略微弯曲;中央区明显伸长;线纹在壳面中部略呈放射状(图版 I, 11 两箭头所示),在接近两末端处呈汇聚状(图版 I, 11 两弯箭所示),在两末端最远处呈强烈放射状(图版 I, 11 两箭所示),中部线纹密度为 36~40 条/10 μm(测量 10 个标本);紧邻中央区的孔纹明显伸长,伸长后的 1 个孔纹具有 2~4 个正常孔纹的长度(图版 I, 12 四箭所示);外近缝端和远缝

表 1 芬兰贝氏藻与相似种类的比较

Table 1 Comparisons between *Berkeleya fennica* and its similar taxa

种类 Taxon	壳瓣外形 Valve outline	壳瓣大小 Valve dimensions (Length: L; Width: W; μm)	线纹密度 Stria density /(in 10 μm)	增大或伸长的孔纹 Enlarged or elongated areolae	参考文献 Reference
阿黛利贝氏藻 <i>B. adeliensis</i>	线性, 末端钝圆 Linear valve, ob- tusely rounded apex	长(L) 57~82 宽(W) 7~13	50~60	无数据 No data	[15]
南极贝氏藻 <i>B. antarctica</i>	宽线性披针形, 末端宽圆 Broadly linear-lanceolate valve, broadly rounded apex	长(L) 20~26 宽(W) 6~8	36~40	在壳面边缘 At valve margin	[15]
芬兰贝氏藻 <i>B. fennica</i>	线性披针形, 末端圆 Linear-lanceo- late valve, rounded apex	长(L) 17 宽(W) 3	无数据 No data	无数据 No data	[14]
芬兰贝氏藻 <i>B. fennica</i>	线性披针形, 末端尖圆 Linear-lanceo- late valve, acutely rounded apex	长(L) 14~24 宽(W) 3~4	30 at the center, 35 near each apex	紧邻中央区 Closed to central area	[17]
芬兰贝氏藻 <i>B. fennica</i>	线性披针形, 末端尖圆 Linear-lanceo- late valve, acutely rounded apex	长(L) 13~31 宽(W) 2.6~3.8	36~40	紧邻中央区 Closed to area	本文 This paper
无纹贝氏藻 <i>B. hyaline</i>	披针形, 末端略微头状 Lanceolate valve, slightly capitate apex	长(L) 30~50 宽(W) 5	>40	无数据 No data	[3]
钝贝氏藻 <i>B. obtusa</i>	线性, 末端钝圆 Linear valve, ob- tusely rounded apex	长(L) 17~36 宽(W) 5~7	24~32	无数据 No data	[16]
微红贝氏藻 <i>B. rutilans</i>	通常线性, 末端钝圆 Often linear valve, obtusely rounded apex	长(L) 18~35 宽(W) 4~6	Ca. 27	无数据 No data	[3]
分散贝氏藻 <i>B. sparsa</i>	窄椭圆形, 末端尖圆 Narrowly ellip- tical valve, acutely rounded apex	长(L) 19~37 宽(W) 5~8	18~22	无数据 No data	[16]

端皆向壳面同侧弯曲(图版 I, 13 四箭所示, 参见 14~15)。从壳内面观看, 内近缝端直, 略为膨大(图版 II, 1~3 箭所示, 参见 5), 内远缝端终止于螺旋舌(图版 II, 4、6 弯箭所示); 孔纹在内壳面被长方形或近圆形的孔膜所覆盖(图版 II, 5)。

2.2 芬兰贝氏藻与相似种类的比较

芬兰贝氏藻的模式标本由 Juhlin-Dannfelt 采自波罗的海, 但他对芬兰贝氏藻模式种描述很简单, 即只提到壳瓣的外形和大小^[14](表 1)。后续研究描述和发表了几个与 Juhlin-Dannfelt 所描述的芬兰贝氏藻具有相似壳瓣外形和大小的贝氏藻种类(表 1, 文献[3, 15-16]), 因此, 仅参照 Juhlin-Dannfelt 的描述, 不能准确鉴定出芬兰贝氏藻。Snoeijs 等^[17]对采自波罗的海的芬兰贝氏藻进行了扫描电镜观察, 并分析了它与南极贝氏藻(*Berkeleya antarctica* Grunow)、阿黛利贝氏藻(*B. adeliensis* Medlin)和微红贝氏藻的区别^[15], 指出微红贝氏藻与芬兰贝氏藻的一个主要区别特征是前者线纹密度小, 在光学显微镜下即可见; 而后者线纹密度大, 在光学显微镜下不可见。另一个区别特征是微红贝氏藻具有宽圆的末端而芬兰贝氏藻具有尖圆的末端。

对于阿黛利贝氏藻和南极贝氏藻两者与芬兰贝氏藻的区别, Snoeijs 等^[17]认为是前两者具有更高的线纹密度和宽圆的末端(后者具有尖圆的末端)。

3 讨论

从以上分析可以看出, Snoeijs 等^[17]是把芬兰贝氏藻具有尖圆的末端作为它的主要鉴定特征。在观察了 Snoeijs 等^[17]提供的芬兰贝氏藻扫描电镜图之后, 我们发现芬兰贝氏藻具有第 2 个鉴定特征, 即紧邻中央区的孔纹明显横向伸长。而本研究采自青海湖的贝氏藻标本具有尖圆的壳面末端和明显横向伸长的紧邻中央区的孔纹 2 个鉴定特征, 因此可以确定其身份为芬兰贝氏藻。

除了以上相似种类, 还有无纹贝氏藻 [*Berkeleya hyalina* (Round & M. E. Brooks) E. J. Cox]、钝贝氏藻(*B. obtusa* Grunow)和分散贝氏藻(*B. sparsa* Mizuno)3 个种类也与芬兰贝氏藻形态相似^[16], 对它们进行比较, 可以进一步认清芬兰贝氏藻的特征。芬兰贝氏藻与无纹贝氏藻的主要区别是前者的末端尖圆而后者的末端略微头状, 芬兰贝氏藻与钝贝氏藻的主要区别是前者末端尖圆(后者

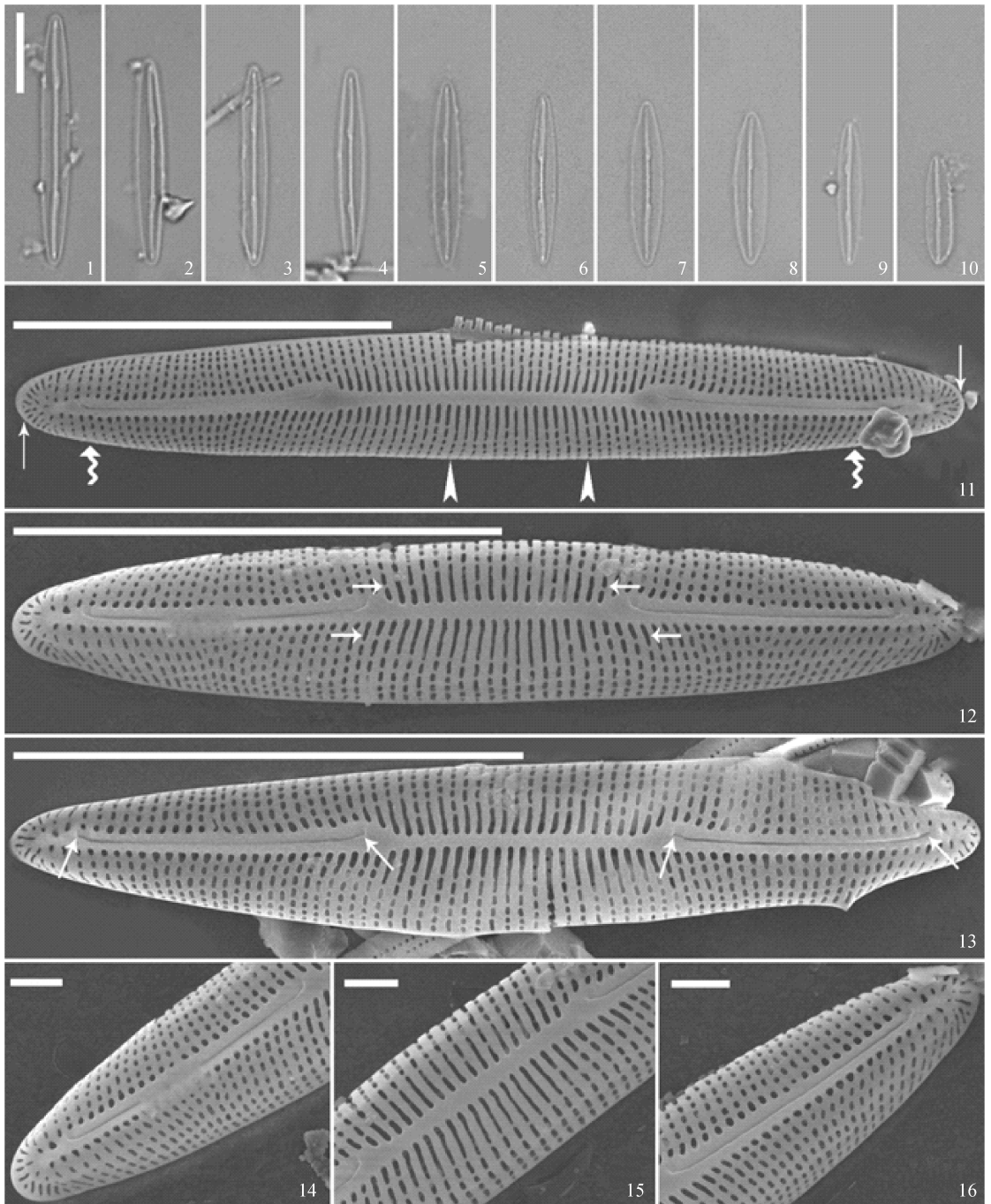
钝圆)和具有更高的线纹密度,芬兰贝氏藻与分散贝氏藻的主要区别是前者具有更高的线纹密度和后者具有更宽的壳面。

彭玉梅等^[9]在对青海湖的硅藻报道中,列出了微红贝氏藻的名称,由于没有提供图片和文字描述,因此,不能确定是否把芬兰贝氏藻鉴定为微红贝氏藻了。但是,本研究在从青海湖取回的硅藻样品中

没有观察到微红贝氏藻。微红贝氏藻的中部线纹在光学显微镜下明显可见,很容易与芬兰贝氏藻区分。本研究认为芬兰贝氏藻的鉴定特征组合是具有尖圆的壳面末端和明显横向伸长的紧邻中央区的孔纹。在本研究之前,国内尚无芬兰贝氏藻的报道,因此,本研究是它的国内首次报道。

参考文献:

- [1] GREVILLE R K. Scottish Cryptogamic Flora, or Coloured Figures and Descriptions of Cryptogamic Plants, Belonging Chiefly to the Order Fungi; and Intended to Serve As a Continuation of English Botany. Vol. 5 [M]. Edinburgh & London: MacLachlan & Stewart; Baldwin, Craddock & Joy, 1827, fasc. 55-60, pls 271-300.
- [2] ROUND F E, CRAWFORD R M, MANN D G. The diatoms: biology and morphology of the genera [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990: 1-747.
- [3] COX E J. Further studies on the genus *Berkeleya* Grell [J]. *British Phycological Journal*, 1975, **10**(2): 205-217.
- [4] GUIRY M D, GUIRY M. AlgaeBase [M]. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 28 September 2020.
- [5] 金德祥, 程兆第, 林均民, 等. 中国海洋底栖硅藻类上卷[M]. 北京:海洋出版社, 1982: 1-323.
- [6] 金德祥, 程兆第, 刘师成, 等. 中国海洋底栖硅藻类下卷[M]. 北京:海洋出版社, 1992: 1-437.
- [7] 程兆第, 高亚辉. 中国海藻志第五卷硅藻门第二册羽纹纲 I [M]. 北京:科学出版社, 2012: 1-137.
- [8] 程兆第, 高亚辉. 中国海藻志第五卷硅藻门第三册羽纹纲 II [M]. 北京:科学出版社, 2013: 1-183.
- [9] 彭玉梅, RIOUAL PATRICK, 金章东. 青海湖硅藻组合及其季节变化——来自沉积物捕获器的初步研究[J]. *地球环境学报*, 2013, **4**(3): 1 338-1 345.
- PENG Y M, RIOUAL PATRICK, JIN Z D. A brief assessment of diatom assemblages and seasonal dynamics in Lake Qinghai: a time-series sediment trap study [J]. *Journal of Earth Environment*, 2013, **4**(3): 1 338-1 345.
- [10] 杨建新, 祁洪芳, 史建全, 等. 青海湖夏季水生生物调查 [J]. *青海科技*, 2008, **6**: 19-25.
- YANG J X, QI H F, SHI J Q, et al. A survey of aquatic organisms in Qinghai Lake in summer [J]. *Qinghai Science and Technology*, 2008, **6**: 19-25.
- [11] PENG Y M, RIOUAL P, LEVKOV Z, et al. Morphology and ultrastructure of *Hippodonta qinghainensis* sp. nov. (Bacillariophyceae), a new diatom from Lake Qinghai, China [J]. *Phytotaxa*, 2014, **186**(2): 61-74.
- [12] PENG Y M, RIOUAL P, JIN Z, et al. *Gyrosigma peisonis* var. *major* var. nov., a new variety of *Gyrosigma peisonis* (Bacillariophyta) from Lake Qinghai, China [J]. *Phytotaxa*, 2016, **245**(2): 119-128.
- [13] LIU B, WILLIAMS D M, LIU Z X, et al. *Ctenophora sinensis*: a new diatom species (Bacillariophyta) from China with comments on its structure, nomenclature and relationships [J]. *Phytotaxa*, 2020, **460**(2): 115-128.
- [14] JUHLIN-DANNFELT H. On the diatoms of the Baltic Sea. Bihang till Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar, 1882, **6**(21): 1-52.
- [15] MEDLIN L. *Berkeleya* spp. from Antarctic waters, including *Berkeleya adeliensis* sp. nov., a new tube-dwelling diatom from the undersurface of sea-ice [J]. *Nova Hedwigia, Beiheft*, 1990, 100: 77-98.
- [16] WITKOWSKI A, LANGE-BERTALOT H, METZELTIN D. Iconographia Diatomologica 7. Diatom flora of marine coast I [M]. A. R. G Gantner Verlag K. G., Königstein, 2000: 1-925.
- [17] SNOEIJIS P, BALASHOVA N. Intercalibration and distribution of diatom species in the Baltic Sea, Vol. 5. The Baltic Marine Biologist Publication, 16e [M]. Uppsala: Opulus Press, 1998: 1-144.

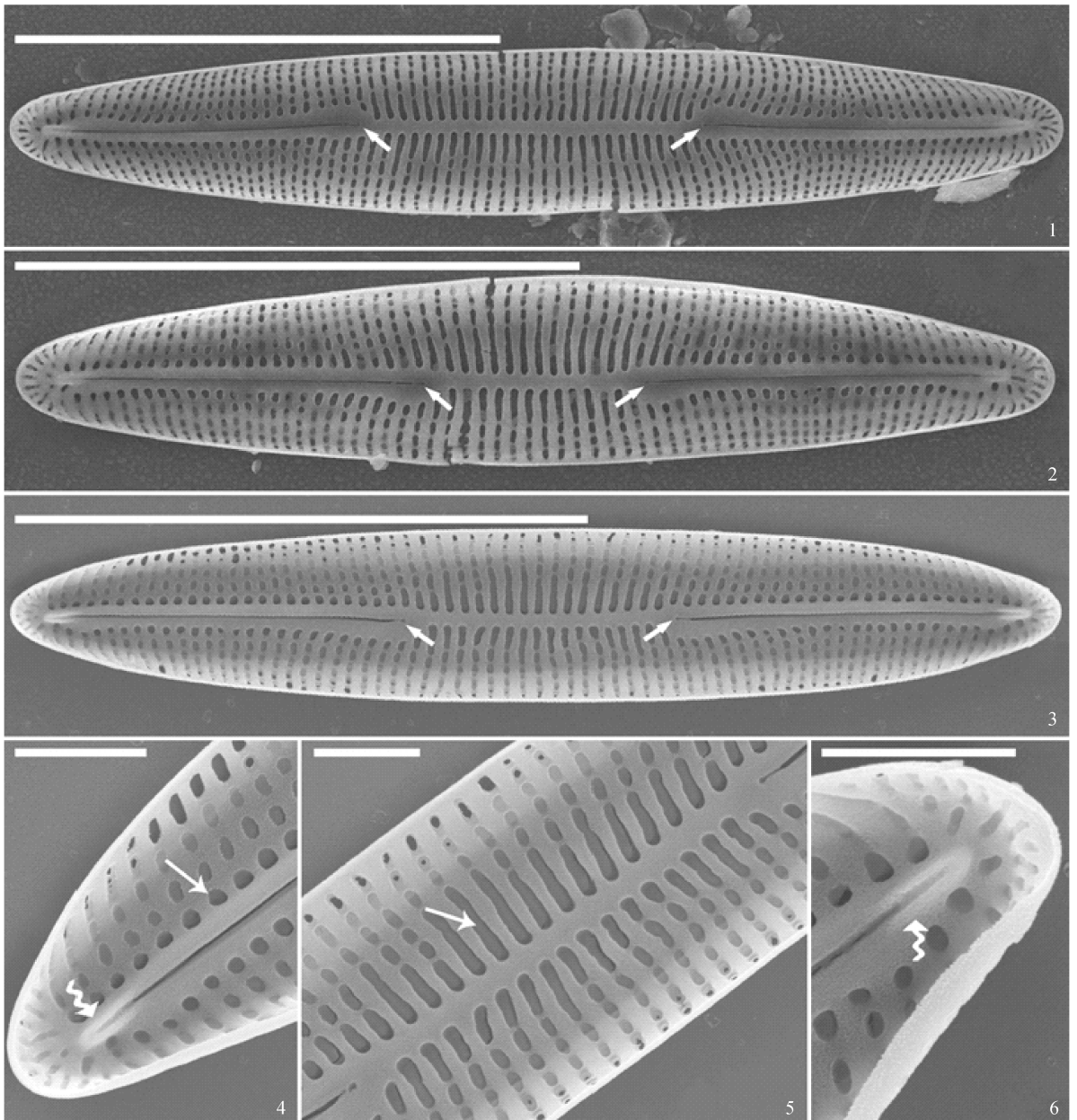


图版 I 芬兰贝氏藻光学(1~10)和扫描电子显微镜观察(11~16, 壳外面观)

1~10. 10个壳瓣展示一个递减排列的壳瓣形态变化; 11. 一个完整的壳瓣, 注意线纹在中部呈放射状排列(两箭头所示), 在靠近末端部分呈会聚状排列(两弯箭头所示), 在壳面最末端有一列孔纹沿边缘呈强烈辐射状排列(两箭所示); 12. 一个完整的壳瓣, 注意壳面中部紧邻中轴区的孔纹明显伸长(4箭所示); 13. 一个完整的壳瓣, 注意略呈弧形弯曲的壳缝, 以及远缝端和近缝端向壳面同一侧弯曲(4箭所示); 14~16. 展示图12的细节. 1~13标尺为 $10\ \mu\text{m}$; 14~16标尺为 $1\ \mu\text{m}$

Plate I *Berkeleya fennica*, LM(1-10) and SEM(11-16, external view)

Figs. 1-10. Ten valves showing a reduction series; Fig. 11. A complete valve, note striae are radiate at the valve middle (two arrowheads), convergent towards the ends (two curved arrows), and strongly radiate over the end (arrows); Fig. 12. A complete valve, note the markedly elongated areolae close to the central area (four arrows); Fig. 13. A complete valve, note the two slightly arc-like raphe branches and both the proximal and distal raphe ends bent towards the same valve side (four arrows); Figs. 14-16. Details of Fig. 12. Scale bar = $10\ \mu\text{m}$ (Figs. 1-13), $1\ \mu\text{m}$ (Figs. 14-16)



图版 II 芬兰贝氏藻扫描电子显微镜观察(1~6, 壳内面观)

1~3. 3个完整的壳瓣展示内近壳缝端直且相距远(两箭所示); 4~6. 展示图3的细节, 注意孔纹被致密的膜完全覆盖(箭所示), 以及内远端壳缝终止于双唇状螺旋舌(弯箭所示)。1~3 标尺为 $10\ \mu\text{m}$, 4~6 标尺为 $1\ \mu\text{m}$

Plate II *Berkeleya fennica*, SEM(1-6, internal view)

Figs. 1-3. Three complete valves showing the straight, distantly spaced internal proximate raphe ends (arrows); Figs. 4-6. Details of Fig. 3, note the areola openings covered by hymens (arrows), and the internal distal raphe ends terminating in bilabiate helictoglossae (Figs. 4, 6, two curved arrows). Scale bar = $10\ \mu\text{m}$ (Figs. 1-3), $1\ \mu\text{m}$ (Figs. 4-6)

(编辑: 潘新社)