

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2022.60733

罗粉, 尤庆敏, 于潘, 王全喜. 横断山区无壳缝目硅藻中国新记录[J]. 植物科学学报, 2022, 40(6): 733-743

Luo F, You QM, Yu P, Wang QX. Newly recorded species of Araphidiales from the Hengduan Mountains[J]. Plant Science Journal, 2022, 40(6): 733-743

横断山区无壳缝目硅藻中国新记录

罗粉^{1,3}, 尤庆敏², 于潘², 王全喜^{2*}

(1. 玉溪师范学院化学生物与环境学院, 云南玉溪 653100; 2. 上海师范大学生命科学学院, 上海 200234;

3. 玉溪师范学院生物与环境工程研究院, 云南玉溪 653100)

摘要:报道了横断山区无壳缝目硅藻的 13 个中国新记录种, 包括: 截形粗肋藻(*Odontidium truncatum* (Mayer) Luo & Wang nov. comb.)、吉尔曼等杆藻 *Distrionella germainii* (Reichardt & Lange-Bertalot) Morales, Bahls & Cody)、绒毛平板藻线形变种(*Tabellaria flocculosa* var. *linearis* Koppen)、二头端脆型藻纯正变种(*Fragilariforma bicipitata* var. *genuina* Ta kin & Açıkgöz)、爪哇脆型藻(*Fragilariforma javanica* (Hustedt) Wetzel, Morales & Ector)、水生脆杆藻(*Fragilaria aquaplus* Lange-Bertalot & Ulrich)、北方脆杆藻(*Fragilaria boreomongolica* Kulikovskiy, Lange-Bertalot, Witkoxski & Dorofeyuk)、桑德里亚脆杆藻(*Fragilaria sandelii* Van de Vijcer & Jarlman)、石南脆杆藻(*Fragilaria heatherae* Kahlert & Kelly)、近菱形脆杆藻(*Fragilaria crassirhombica* Metzelitin, Lange-Bertalot & Soninkhishig)、宾西法尼亚脆杆藻(*Fragilaria pennsylvanica* Morales)、米萨雷脆杆藻(*Fragilaria misarelensis* Almeida, Delgado, Novais & Blanco)和窄肘形藻(*Ulnaria macilenta* Morales, Wetzel & Rivera)。本文对新记录种的形态特征进行了详细描述, 给出了每个种的地理分布、生境信息和理化指标, 并对新记录种及其相似种的形态特征进行讨论。

关键词: 无壳缝目; 硅藻; 横断山区; 新记录; 植物区系

中图分类号: Q949.27

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2022)06-0733-11

Newly recorded species of Araphidiales from the Hengduan Mountains

Luo Fen^{1,3}, You Qing-Min², Yu Pan², Wang Quan-Xi^{2*}

(1. School of Chemistry, Biology, and Environment, Yuxi Normal University, Yuxi, Yunnan 653100, China; 2. College of Life Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China; 3. Institute of Biology and Environmental Engineering, Yuxi Normal University, Yuxi, Yunnan 653100, China)

Abstract: Thirteen species of Araphidiales (Bacillariophyta) are newly recorded from the Hengduan Mountains, including *Odontidium truncatum* (Mayer) Luo & Wang nov. comb., *Distrionella germainii* (Reichardt & Lange-Bertalot) Morales, Bahls & Cody, *Tabellaria flocculosa* var. *linearis* Koppen, *Fragilariforma bicipitata* var. *genuina* Ta kin & Açıkgöz, *Fragilariforma javanica* (Hustedt) Wetzel, Morales & Ector, *Fragilaria aquaplus* Lange-Bertalot & Ulrich, *Fragilaria boreomongolica* Kulikovskiy, Lange-Bertalot, Witkoxski & Dorofeyuk, *Fragilaria sandelii* Van de Vijcer & Jarlman, *Fragilaria heatherae* Kahlert & Kelly, *Fragilaria crassirhombica* Metzelitin, Lange-Bertalot & Soninkhishig, *Fragilaria pennsylvanica* Morales, *Fragilaria misarelensis* Almeida, Delgado, Novais & Blanco, and *Ulnaria macilenta* Morales,

收稿日期: 2022-07-20, 修回日期: 2022-09-06。

基金项目: 国家自然科学基金(32170205); 云南省教育厅科学研究基金(2022J0757)。

This work was supported by grants from the National Natural Science Foundation of China (32170205) and Yunnan Provincial Department of Education Research Fund (2022J0757)。

作者简介: 罗粉(1992-), 女, 博士, 讲师, 研究方向为硅藻多样性及生态(E-mail: 15102162115@163.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: wangqx@shnu.edu.cn)。

Wetzel & Rivera. Herein, we describe in detail the morphological characteristics of the newly recorded species, as well as their geographic distribution, habitat information, and physicochemical indicators. The morphological characteristics of the newly recorded species and similar species are also discussed.

Key words: Araphidiales; Diatom; Hengduan Mountains; New record; Flora

无壳缝目隶属于硅藻门羽纹纲^[1]。该目硅藻上、下两个壳面均不具壳缝,壳面通常呈线形、披针形、椭圆形、舟形、新月形或弓形,带面多为矩形;细胞单生或连成扇状,带状、丛状或星状群体,多数种类能分泌胶质粘附于水中基质上,少数种类营浮游生活;繁殖方式多为细胞分裂,也可产生复大孢子^[1]。迄今为止,世界共报道无壳缝目硅藻 26 属 1100 余种,中国已报道 23 属 220 余种。脆杆藻科硅藻单生或连成带状或星状群体,壳面较窄,通常为线形、披针形或新月形,壳面末端通常具唇形突,两端具顶孔区^[2];平板藻科硅藻单生或连成带状、扇状、星状或“Z”状群体,壳面呈线形、披针形、椭圆形、卵形或扇形,壳面上通常具硅质增厚的横肋纹,线纹明显,壳面末端或中部有唇形突,两端具顶孔区^[2];十字脆杆藻科单生或连成带状群体,壳体较小,通常在 10 μm 左右,壳面呈线形、披针形、椭圆形、卵形或楔形,壳面两端有 1 或 2 个顶孔区,不具唇形突^[3]。

脆杆藻属(*Fragilaria*)是无壳缝目中最先建立的属,特征是壳面线形且不具壳缝。建立之初,该属中包含 8 种硅藻,其中 6 种是海洋硅藻,2 种是淡水硅藻。研究发现,这些种类群体形态和壳体结构差异都比较大,将它们全部放在 *Fragilaria* 中并不合适。后来,上述 8 种硅藻中有 2 种被归为扇形藻属(*Melosira*),1 种被归为等片藻属(*Diatoma*),2 种归为 *Grammatophora*;1 种归为 *Striatella*;物种 *F. pectinalis* (Müller) Lyngbye 1819 取自淡水,于 1927 年被 Boyer 指定为 *Fragilaria* 的模式种;最后 1 个物种 *F. striatula* Lyngbye 1819 来自海洋生境,由于没有找到该物种的原始标本,Müller 公布的数据也无法识别,因此该名称的应用仍不确定^[4]。1830 年, Ehrenberg 建立 *Synedra* 属^[5],1841 年建立了 *Ceratoneis* 属^[6]。1844 年, Kützing 将已建立的无壳缝类硅藻分为两类,分别为脆杆科和平板藻科^[2]。随着显微技术和分子标记技术的发展, Medlin 等^[7] 基于形态和

分子数据从脆杆藻科中将部分种类分离出来成立了十字脆杆藻科,模式属为 *Staurosira*,在分子水平上,它们与脆杆藻科中具唇形突的核心类群同属一个姐妹分支。随着硅藻更多科属的建立和新种的发现,科属种之间的界定争议并没有得到解决,一些新属的建立反而使分类鉴定更加困难,无壳缝目的形态分类系统依旧是研究和讨论的热点^[8,9]。无壳缝目在科和属水平的分类系统是以形态学特征为主要依据建立的,但是,包含多个物种属水平上的分类研究尚不够深入,通常对于这类属间的鉴定特征在描述时被放大,不准确的形态鉴定特征导致不同属的界限模糊不清,进而导致有些种的分类地位存在争议。

横断山区位于我国西南边陲,青藏高原东南缘,是我国第一、第二阶梯的分界线,面积约 $3.6 \times 10^5 \text{ km}^2$,是中国最长、最宽和最典型的南北向山系^[10]。该地区是由于板块碰撞挤压而隆起形成的巨大褶皱山脉,加上流水的不断侵蚀,形成了南北走向的高山峡谷平行相间的独特地形,海拔多在 2000 ~ 6000 m^[11]。横断山区复杂的地形地貌,多变的气候类型和多样的生境类型造就了丰富的生物多样性,这里拥有 10 000 多种高等植物和我国大约 50% 的鸟类和哺乳动物,国际环保组织将其确定为全球 36 个生物多样性热点地区之一^[12]。本文报道了该地区无壳缝目硅藻 13 个中国新记录种,旨在丰富我国硅藻种类的多样性,也为相关研究提供新的生物学资料。

1 材料与方法

分别于 2015 年 8 月、2018 年 5 月及 10 月对横断山区水域进行硅藻标本采集,采样生境包括湖泊、池塘、沼泽、河流、溪流、温泉、盐池等。野外采集的标本用 4% 的甲醛溶液固定保存。在实验室经酸消解后,用 Naphrax 胶制成永久封片^[3]。使用 Olympus BX53 型光学显微镜和 SU8010 扫描电子显微镜观察并拍照。分类鉴定参

考文献^[13-26]进行。标本存放于上海师范大学生命科学学院藻类与环境实验室和玉溪师范学院化学生物与环境学院标本馆。

2 中国新记录种描述

2.1 截形粗肋藻(图版 I: 1 ~ 12)

Odontidium truncata (Mayer) Luo & Wang
nov. comb.

Diatoma hyemalis var. *truncata* Mayer 1940:
103.

壳面长椭圆形至矩形,带面观矩形,末端平截或圆头状,中轴区明显,披针形,线纹密集,在光镜下不清楚,横肋纹高度硅质化,壳面边缘具硅质小刺,唇形突1~2个,位于壳面近末端。壳面长36~62 μm ,宽8~9.5 μm ,横肋纹在10 μm 内有3~5条。

粗肋藻属与等片藻属的主要区别在于等片藻属群体呈“Z”状,中轴区窄或无,横肋纹硅质化程度低。由于该属与等片藻属关系密切,一些学者在分类的过程中并没有将两属分开,而是将两个类群都放在等片藻属中。近年来,部分学者认为两属有明显差别,陆续将等片藻属中的一些种类移到*Odontidium*中^[17],至今为止,国内仍然没人使用*Odontidium*。本文作者认为两属差异明显,将其种类分为两个属更为合适,因此引入*Odontidium*。由于该属肋纹粗壮,故将*Odontidium*翻译为粗肋藻属。

本种形态特别,与原种*Diatoma hyemalis*差异明显,且依据该种形态特征应归属于粗肋藻属,因此将*Diatoma hyemalis* var. *truncata* Mayer修订为*Odontidium truncata*。

分布:四川、西藏。

生境:溪流。

理化指标:海拔3600~4140 m;水温1.7℃~5.3℃;pH值8.30~8.48;盐度0.07‰~0.08‰。

2.2 吉尔曼等杆藻(图版 II: 8 ~ 14, 17 ~ 18)

Distirionella germainii (Reichardt & Lange-Bertalot) Morales, Bahls & Cody 2005: 132.

壳面线形披针形,无中轴区,末端缢缩呈小头状,线纹排列不规则,在光镜下不可见,壳面末端具1个唇形突。壳面长24~47 μm ,宽2~

3 μm ,横肋纹在10 μm 内有8~12条。

该种与*Diatoma tenuis*形态较为相似,区别在于该种壳面轻微不对称,线纹排列不规则,末端明显缢缩,而*Diatoma tenuis*线纹平行排列,末端轻微缢缩。

分布:四川、西藏。

生境:湖泊、池塘、河流、溪流。

理化指标:海拔2190~4760 m;水温1.6℃~12.0℃;pH值7.80~8.80;盐度0.04‰~0.20‰。

2.3 绒毛平板藻线性变种(图版 II: 6 ~ 7, 15 ~ 16)

Tabellaria flocculosa var. *linearis* Koppen
1975: 243.

壳面杆状,中部膨大,末端圆头状,中轴区狭窄,无中央区,壳面中部具1个唇形突,末端具顶孔区。壳面长31~34 μm ,中部宽5~6 μm ,线纹在10 μm 内有14~15条。

本种与*Tabellaria flocculosa*的区别在于本种末端不膨大,中部膨胀程度低,而*Tabellaria flocculosa*壳面末端明显膨大,中部膨胀程度高。

分布:四川、西藏。

生境:湖泊、沼泽。

理化指标:海拔4160~4630 m;水温8.5℃~15.3℃;pH值6.90~7.60;盐度0.01‰。

2.4 二头端脆型藻纯正变种(图版 III: 1 ~ 3)

Fragilariforma bicapitata var. *genuina* Ta kin & Açıkgöz 2019: 45.

壳面宽线形,两侧近平行,末端缢缩呈圆头状,中轴区极窄或无,无中央区。壳面长31~44 μm ,宽3~4 μm ,线纹在10 μm 内有17~19条。

本种与*Fragilariforma bicapitata*的主要区别在于本种壳面呈线形,两侧近平行,壳面更长,*Fragilariforma bicapitata*壳面披针形,两侧弧形,壳面更短。

分布:四川。

生境:河流。

理化指标:海拔900 m;水温19.1℃;pH值8.50;盐度0.13‰。

2.5 爪哇脆型藻(图版 III: 4 ~ 17)

Fragilariforma javanica (Hustedt) Wetzel,
<http://www.plantscience.cn>

Morales & Ector 2013: 378.

壳面宽线形，两侧近平行，末端缢缩呈圆头状，无中轴区和中央区。从电镜下看，线纹由点状孔纹组成，平行排列，壳面边缘具硅质小刺，末端具1个唇形突，顶孔区2个。壳面长32 ~ 51 μm ，宽4 ~ 5 μm ，线纹在10 μm 内有23 ~ 25条。

本种与 *Fragilariforma virescens* 的区别在于本种较大，末端明显缢缩，而 *Fragilariforma virescens* 较小，末端延伸。

分布：西藏。

生境：沼泽。

理化指标：海拔 3540 m；水温 5.0°C ~ 8.1°C；pH 值 8.40 ~ 9.10。

2.6 窄肘形藻(图版II: 1 ~ 5)

Ulnaria macilenta Morales, Wetzel & Rivera 2013: 45.

壳面线形披针形，中部轻微扭曲，末端延伸呈头状，中轴区窄，中央区横矩形。壳面长89 ~ 122 μm ，宽4.5 ~ 5.5 μm ，线纹在10 μm 内有11 ~ 15条。

本种壳面独特，中部轻微波曲，与该属的其他种类明显不同。

分布：四川、西藏。

生境：湖泊、池塘、溪流。

理化指标：海拔 1510 ~ 4100 m；水温 7.3°C ~ 19.8°C；pH 值 8.40 ~ 9.00；盐度 0.14‰。

2.7 水生脆杆藻(图版IV: 1 ~ 10, 27 ~ 28)

Fragilaria aquaplus Lange-Bertalot & Ulrich 2014: 32.

壳面很窄，线形，末端喙头状，中轴区明显，窄线形，中央区不明显，壳面长33 ~ 50 μm ，宽1.5 ~ 2 μm ，线纹在10 μm 内有18 ~ 23条。

本种壳面狭窄，与 *Fragilaria pararumpens* 的区别在于本种末端无缢缩，中央区不膨大，光镜下中央区不明显，*Fragilaria pararumpens* 壳面末端缢缩呈小头状，中央区膨大呈球状。

分布：四川、云南、西藏。

生境：湖泊、池塘、沼泽、河流、溪流、温泉、盐池。

理化指标：海拔 2300 ~ 4760 m；水温 0.6°C ~ 40.0°C；pH 值 6.40 ~ 10.00；盐度

0.01‰ ~ 0.35‰。

2.8 北方脆杆藻(图版V: 1 ~ 10, 17 ~ 18)

Fragilaria boreomongolica Kulikovskiy, Lange-Bertalot, Witkoxski & Dorofeyuk 2010: 85.

壳面披针形，末端头状，中轴区窄线形，中央区小，位于壳面中部或偏向一侧，部分种类无中央区。壳面长18 ~ 24 μm ，宽2 ~ 3 μm ，线纹在101 μm 内有18 ~ 22条。

本种与 *Fragilaria pennsylvanica* 较为相似，区别在于本种壳面末端头状，中轴区窄线形，具中央区，而 *Fragilaria pennsylvanica* 壳面尖喙状，中轴区披针形、中部膨大，无中央区。

分布：四川、西藏。

生境：溪流。

理化指标：海拔 4100 ~ 4140 m；水温 1.7°C ~ 5.3°C；pH 值 8.30；盐度 0.07‰ ~ 0.08‰。

2.9 近菱形脆杆藻(图版V: 15 ~ 17, 30)

Fragilaria crassirhombica Metzelitin, Lange-Bertalot & Soninkhishig 2009: 88.

壳面近菱形，末端喙头状，中轴区窄线形，中央区明显，位于壳面中部或偏向一侧。壳面长25 ~ 35 μm ，宽5 ~ 6 μm ，线纹在10 μm 内有14 ~ 16条。

本种壳面形态独特，末端轻微延伸，与该属的其他种类明显不同。

分布：四川、云南、西藏。

生境：湖泊、沼泽、河流、溪流、温泉。

理化指标：海拔 2560 ~ 4750 m；水温 2.3°C ~ 40.0°C；pH 值 6.40 ~ 9.10；盐度 0.02‰ ~ 0.40‰。

2.10 石南脆杆藻(图版IV: 11 ~ 14, 31)

Fragilaria heatherae Kahlert & Kelly 2019: 961.

壳面直线形，两侧近平行，末端轻微缢缩呈头状，中轴区窄，中央区偏向壳面一侧，末端具1个唇形突。壳面长30 ~ 37 μm ，宽3.0 ~ 4.5 μm ，线纹在10 μm 内有13 ~ 16条。

本种与 *Fragilaria vaucheriae* 较相似，区别在于本种壳面更长，长宽比更大，而 *Fragilaria vaucheriae* 壳面更短，长宽比更小。

分布：四川、西藏。

生境:湖泊、沼泽、河流、溪流、温泉。

理化指标:海拔 1510 ~ 4750 m; 水温 1.7℃ ~ 40.0℃; pH 值 6.40 ~ 9.80; 盐度 0.01‰ ~ 0.40‰。

2.11 米萨雷脆杆藻 (图版IV: 25 ~ 26)

Fragilaria misarelensis Almeida, Delgado, Novais & Blanco 2019: 131.

壳面近菱形, 末端延伸呈喙头状, 中轴区狭窄, 中央区马蹄形, 位于壳面一侧, 壳面长 19.0 ~ 23.5 μm , 宽 4.0 ~ 4.5 μm , 线纹在 10 μm 内有 18 ~ 20 条。

本种壳面近菱形, 线纹密集, 与该属其他种类明显不同。

分布: 四川、云南、西藏。

生境: 沼泽、河流、溪流。

理化指标: 海拔 2840 ~ 4100 m; 水温 6.1℃ ~ 15.0℃; pH 值 8.00 ~ 8.60; 盐度 0.05‰ ~ 0.11‰。

2.12 宾西法尼亚脆杆藻 (图版IV: 18 ~ 24, 29)

Fragilaria pennsylvanica Morales 2007: 163.

壳面线形披针形, 末端延伸呈尖喙状, 中轴区披针形, 在中部轻微膨大, 中央区小或无, 壳面末端具 1 个唇形突。壳面长 22.5 ~ 31.0 μm , 宽 2.5 ~ 3.0 μm , 线纹在 10 μm 内有 16 ~ 19 条。

本种与 *Fragilaria boreomongolica* 形态较为相似, 区别在于本种壳面末端尖喙状, 中轴区披针形, 中部轻微膨大, 无中央区, 而 *Fragilaria boreomongolica* 壳面末端头状, 中轴区窄线形, 具中央区。

分布: 西藏。

生境: 湖泊、溪流。

理化指标: 海拔 2760 ~ 4140 m; 水温 1.7℃ ~ 11.9℃; pH 值 8.30 ~ 8.80; 盐度 0.05‰ ~ 0.18‰。

2.13 桑德里亚脆杆藻 (图版V: 11 ~ 16, 19)

Fragilaria sandellii Van de Vijver & Jarlman 2012: 242.

壳面披针形, 末端喙状至小头状, 中轴区窄, 中央区偏向壳面一侧。在电镜下, 壳面边缘具硅质小刺, 线纹由小的点状孔纹组成, 壳面两端具顶孔区, 末端具唇 1 个形突。壳面长 18 ~ 31 μm , 宽 3.5 ~ 6.0 μm , 线纹在 10 μm 内有 18 ~ 23 条。

本种与 *Fragilaria vaucheriae* 较相似, 区别在于本种壳面宽披针形, 两侧弧形, 末端缢缩呈小头状, 而 *Fragilaria vaucheriae* 壳面宽线形, 两侧近平行, 末端延伸呈头状。

分布: 四川、西藏。

生境: 河流、溪流。

理化指标: 海拔 3200 ~ 4750 m; 水温 2.3℃ ~ 19.6℃; pH 值 8.00 ~ 9.00; 盐度 0.01‰ ~ 0.18‰。

3 结论

本文对横断山区 13 个无壳缝目硅藻新记录种的形态特征进行详细描述, 给出了每个种的地理分布、生境信息和理化指标, 并对新记录种及其相似种的形态特征进行了讨论。横断山区地形地貌特殊, 生境复杂多样, 蕴含着丰富的生物多样性和特殊的生物类群, 但由于该地区山高路险, 交通不便, 仍然有很多地方的硅藻未被研究, 新种和新记录有待发现。

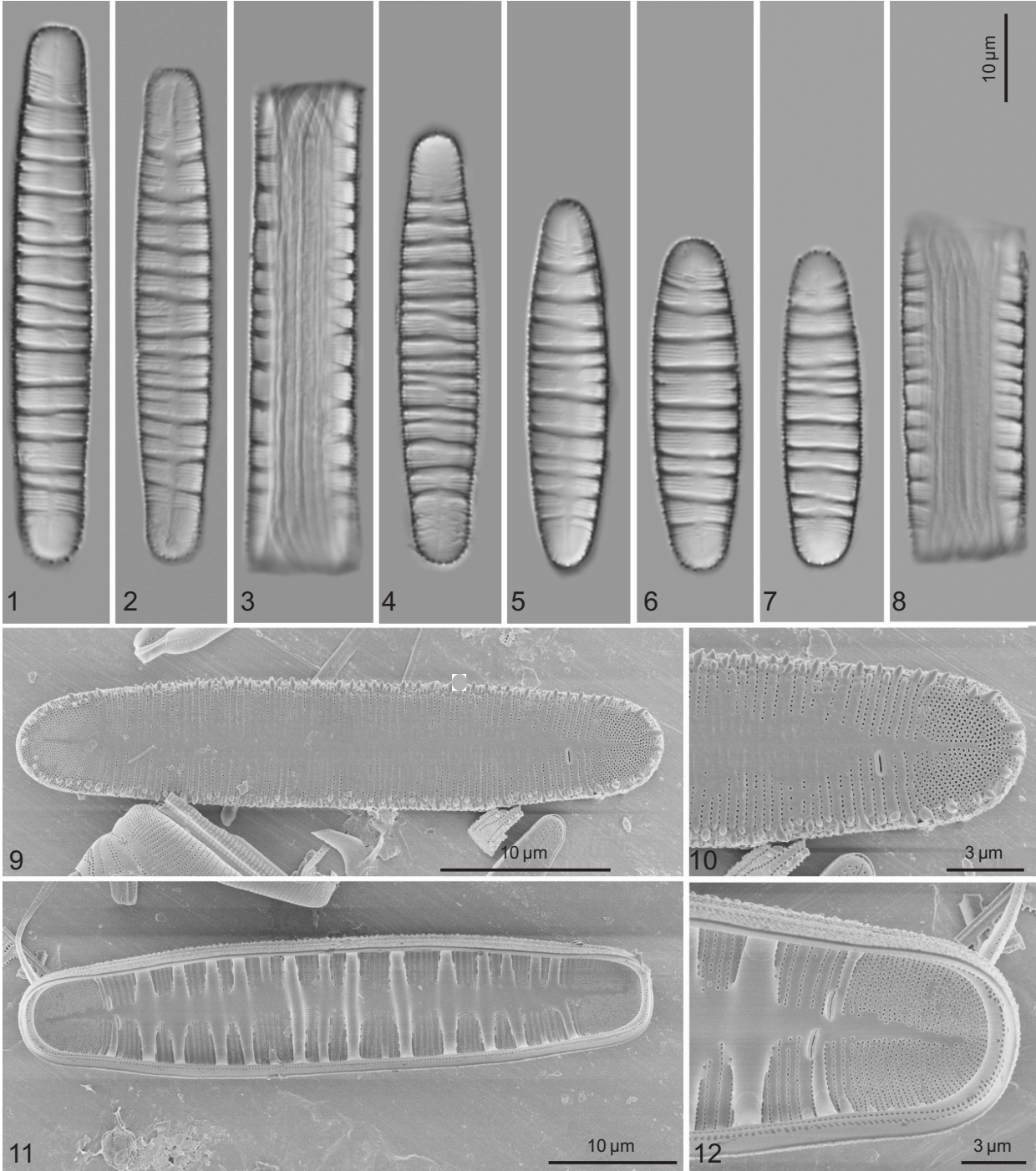
参考文献:

- [1] 齐雨藻, 李家英. 中国淡水藻志: 第 10 卷[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-161.
- [2] Kützing FT. Die Kieselalgen oder Bacillarien oder Diatomeen[M]. Nordhausen: Zu Finden Bei Köhne, 1844: 1-37.
- [3] 罗粉, 尤庆敏, 于潘, 曹玥, 王全喜. 四川木格措十字脆杆藻科硅藻的分类研究[J]. 水生生物学报, 2019, 43(4): 910-922.
Luo F, You QM, Yu P, Cao Y, Wang QX. Taxonomy of Staurosiraceae (Bacillariophyta) from Mugecuo, Sichuan province, China[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(4): 910-922.
- [4] Compère P. *Ulnaria* (Kützing) Compère, a new genus name for *Fragilaria* subgen. *Alterasynedra* Lange-Bertalot with comments on the typification of *Synedra* Ehrenberg [M]//Jahn R, Kociolek JP, Witkowski A, Compère P, eds. Lange-Bertalot-Festschrift: Studies on Diatoms. Dedicated to Prof. Dr. Dr. h. c. Horst Lange-Bertalot on the Occasion of his 65th Birthday. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2001: 97-101.
- [5] Ehrenberg CG. Organisation, Systematik und Geographisches Verhältniss der Infusionsthiere [M]. Berlin: Druckerei der Königlichen Akademie der Wissenschaften, 1830: 1-108.
- [6] Patrick R, Reimer CW. Diatoms of the United States: Ex-

- clusive of Alaska and Hawaii. Vol1: Fragilariaceae, Eunotiaceae, Achnantheaceae, Naviculaceae [M]. Philadelphia: Academy of Natural Sciences, 1966: 130–145.
- [7] Medlin LK, Desdevises Y. Phylogeny of 'ARAPHID' diatoms inferred from SSU and LSU rDNA, *RbcL* and *PsbA* sequences[J]. *Vie Milieu-Life Environ*, 2016, 66(2): 129–154.
- [8] Williams DM, Karthick B. The correct use of the names *Synedra* Ehrenberg and *Catacombas* Williams & Round, a note on the name '*Hystrix* Bory 1822', and some suggestions how to tackle the taxonomic relationships of *Synedra* [J]. *Diatom Res*, 2021, 36(2): 107–118.
- [9] Vijver B, Williams DM, Kelly M, Jarlman A, Ector L. Analysis of some species resembling *Fragilaria capucina* (Fragilariaceae, Bacillariophyta) [J]. *Journal of the Czech Phycological Society*, 2021, 21(33): 67–88.
- [10] 李炳元. 横断山脉范围探讨[J]. 山地研究, 1987(2): 12–20.
Li BY. On the boundaries of the Hengduan mountains[J]. *Journal of Mountain Research*, 1987(2): 12–20.
- [11] 王金亭, 李扬, 阎建平. 横断山区干旱河谷植被改造利用刍议[J]. 山地研究, 1988, 6(1): 13–18.
Wang JT, Li Y, Yan JP. Some suggestions on utilization and amelioration of the arid valley vegetation in the Hengduan mountainous region[J]. *Mountain Research*, 1988, 6(1): 13–18.
- [12] 陈灵芝. 中国植物区系与植被地理[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 30–159.
- [13] 谢淑琦, 齐雨藻. 等片藻属几个种的分类学问题研究[J]. 植物分类学报, 1997, 35(1): 37–42.
Xie SQ, Qi YZ. Taxonomic studies on some species of *Diatoma*[J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 1997, 35(1): 37–42.
- [14] Jüttner I, Williams DM, Levkov Z, Falasco E, Battegazzore M, et al. Reinvestigation of the type material for *Odontidium hyemale* (Roth) Kützinger and related species, with description of four new species in the genus *Odontidium* (Fragilariaceae, Bacillariophyta) [J]. *Phytotaxa*, 2015, 234(1): 1–36.
- [15] Morales EA, Bahls LL, Cody WR. Morphological studies of *Distirionella incognita* (Reichardt) Williams (Bacillariophyceae) from North America with comments on the taxonomy of *Distirionella* Williams[J]. *Diatom Res*, 2005, 20(1): 115–135.
- [16] Williams DM. *Distirionella* D. M. Williams, nov. gen., a new araphid diatom (Bacillariophyta) genus closely related to *Diatoma* Bory [J]. *Archiv Für Protistenkunde*, 1990, 138(2): 171–177.
- [17] Koppen JD. A morphological and taxonomic consideration of *Tabellaria* (Bacillariophyceae) from the northcentral United States[J]. *J Phycol*, 1975, 11(2): 236–244.
- [18] Wetzel CE, Morales EA, Hinz F, Bicudo DC, Ector L. *Fragilariforma javanica* comb. nov.: analysis of type material of a widely reported species with a tropical distribution [J]. *Diatom Res*, 2013, 28(4): 373–379.
- [19] Morales EA, Rivera SF, Wetzel CE, Novais MH, Hamilton PB, et al. New epiphytic araphid diatoms in the genus *Ulnaria* (Bacillariophyta) from Lake Titicaca (Bolivia)[J]. *Diatom Res*, 2013, 29(1): 41–54.
- [20] Lange-Bertalot H, Ulrich S. Contributions to the taxonomy of needle-shaped *Fragilaria* and *Ulnaria* species[J]. *Lauterbornia*, 2014, 78: 1–73.
- [21] Kulikovskiy MS, Lange-Bertalot H, Witkowski A, Dorofeyuk NI, Genkal SI. Diatom Assemblages from *Sphagnum* Bogs of the World. I. Nur Bog in Northern Mongolia[M]. Stuttgart: Bibliotheca Diatomologica, 2010: 85.
- [22] Lange-Bertalot H, Hofmann G, Werum M, Cantonati M. Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe: Over 800 Common Species Used in Ecological Assessment [M]. Koenigstein: Koeltz Botanical Books, 2017: 1–942.
- [23] Kahlert M, Kelly MG, Mann DG, Rimet F, Sato S, et al. Connecting the morphological and molecular species concepts to facilitate species identification within the genus *Fragilaria* (Bacillariophyta) [J]. *J Phycol*, 2019, 55(4): 948–970.
- [24] Novais MH, Almeida SFP, Blanco S, Delgado C. Morphology and ecology of *Fragilaria misarelensis* sp. nov. (Bacillariophyta), a new diatom species from southwest of Europe[J]. *Phycologia*, 2019, 58(2): 128–144.
- [25] Morales EA. *Fragilaria pennsylvanica*, a new diatom (Bacillariophyceae) species from North America, with comments on the taxonomy of the genus *Synedra* Ehrenberg [J]. *Proc Acad Natl Sci Phila*, 2007, 156: 155–166.
- [26] Van de Vijver B, Jarlman A, de Haan M, Ector L. New and interesting diatom species (Bacillariophyceae) from Swedish rivers[J]. *Nova Hedwigia*, 2012, 141: 237–253.

罗 粉等：图版 I

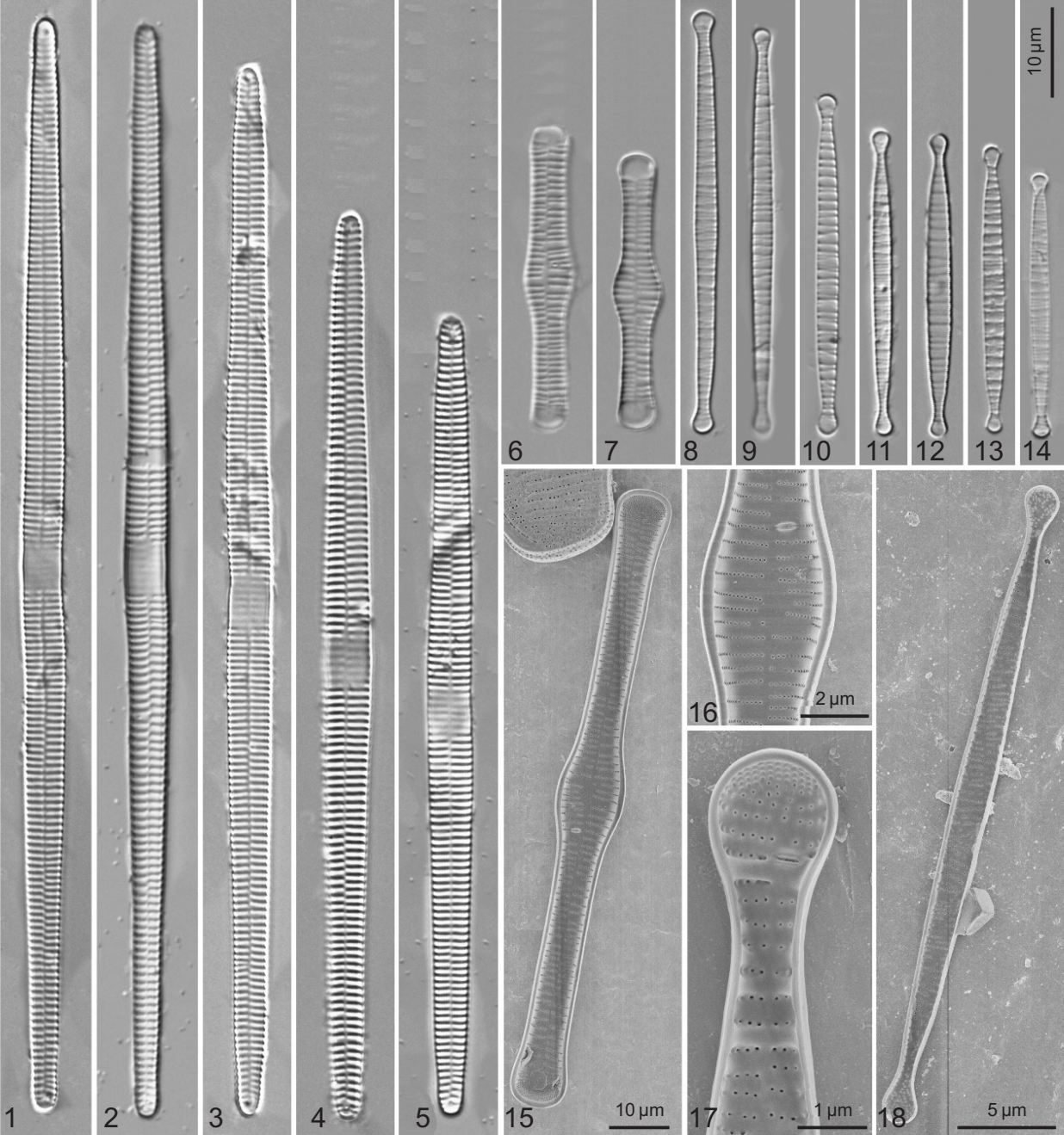
Luo Fen *et al.*: Plate I



截形粗肋藻。1 ~ 8：光镜照片；9 ~ 12：扫描电镜照片。9：外壳面观；10：末端和小刺；11：内壳面观和横肋纹；12：唇形突。
Odontidium truncatum. 1 ~ 8: Light microscopy images; 9 ~ 12: Scanning electron microscopy images. 9: External valve view; 10: End and spine; 11: Internal valve view and transapical costae; 12: Rimoportulae.

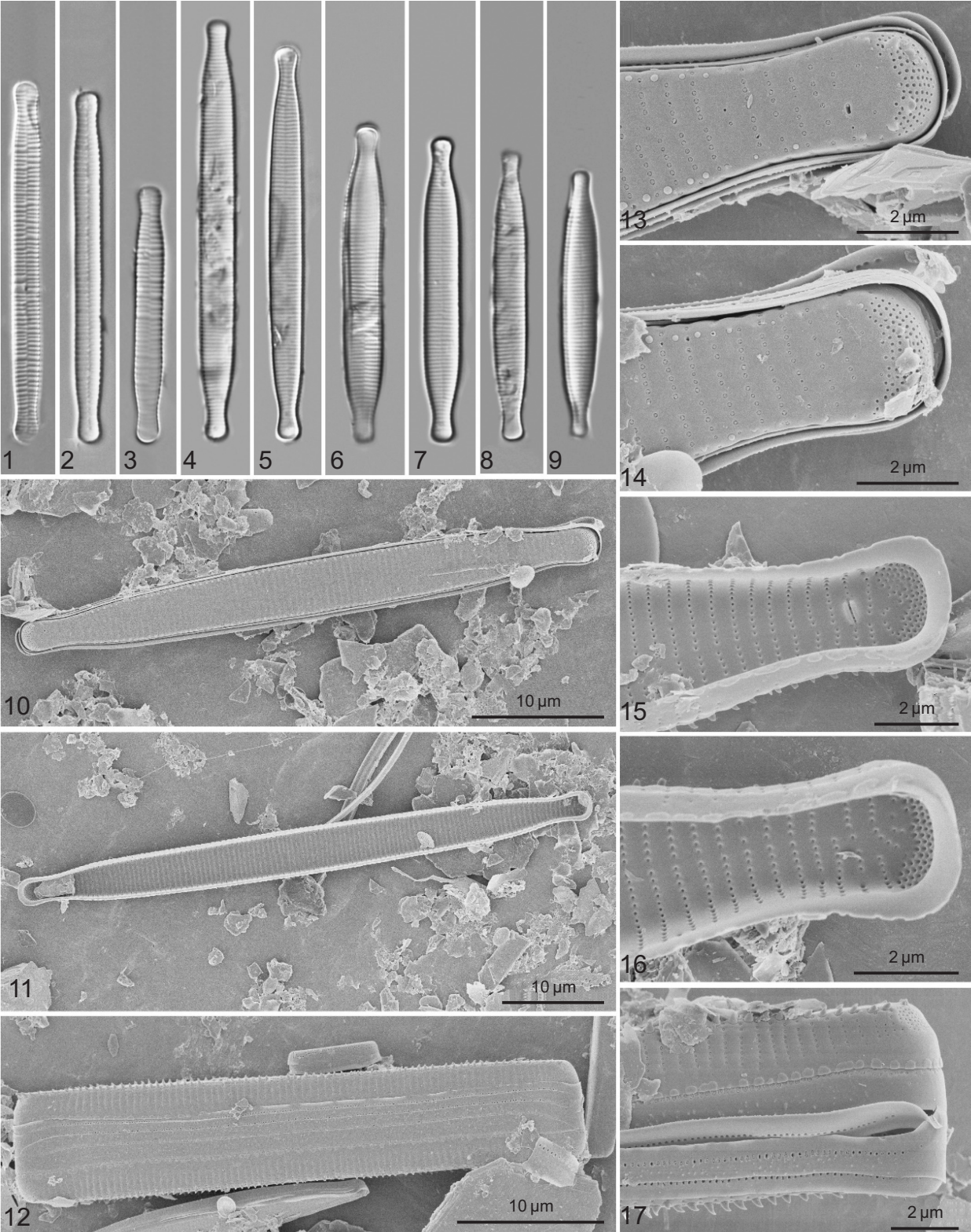
罗 粉等：图版 II

Luo Fen *et al.*: Plate II



窄肘形藻、绒毛平板藻线性变种和吉尔曼等杆藻。1 ~ 5：窄肘形藻光镜照片。6、7、15、16：绒毛平板藻线性变种(6、7：光镜照片。15、16：扫描电镜照片；15：内壳面观；16：中央区和唇形突)。8 ~ 14，17、18：吉尔曼等杆藻(8 ~ 14：光镜照片。17、18：扫描电镜照片；17：唇形突；18：内壳面观)。

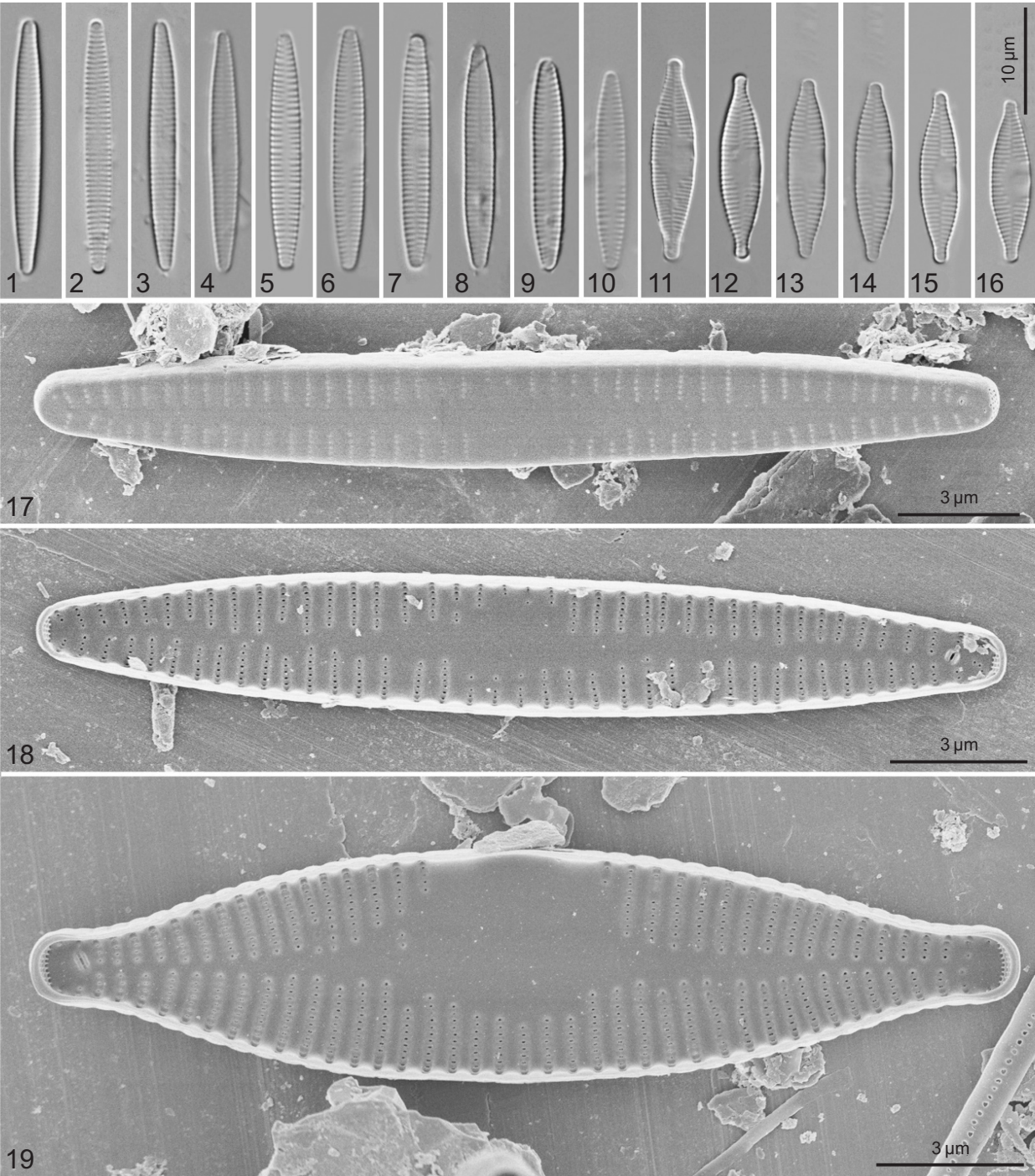
Ulnaria macilenta, *Tabellaria flocculosa* var. *linearis*, and *Distronella germainii*. 1 – 5: Light microscopy images of *Ulnaria macilenta*. 6, 7, 15, 16: *Tabellaria flocculosa* var. *linearis* (6, 7: Light microscopy images. 15, 16: Scanning electron microscopy images; 15: Internal valve view; 16: Central area and rimoportulae). 8 – 14, 17, 18: *Distronella germainii* (8 – 14: Light microscopy images. 17, 18: Scanning electron microscopy images; 17: Rimoportulae; 18: Internal valve view).



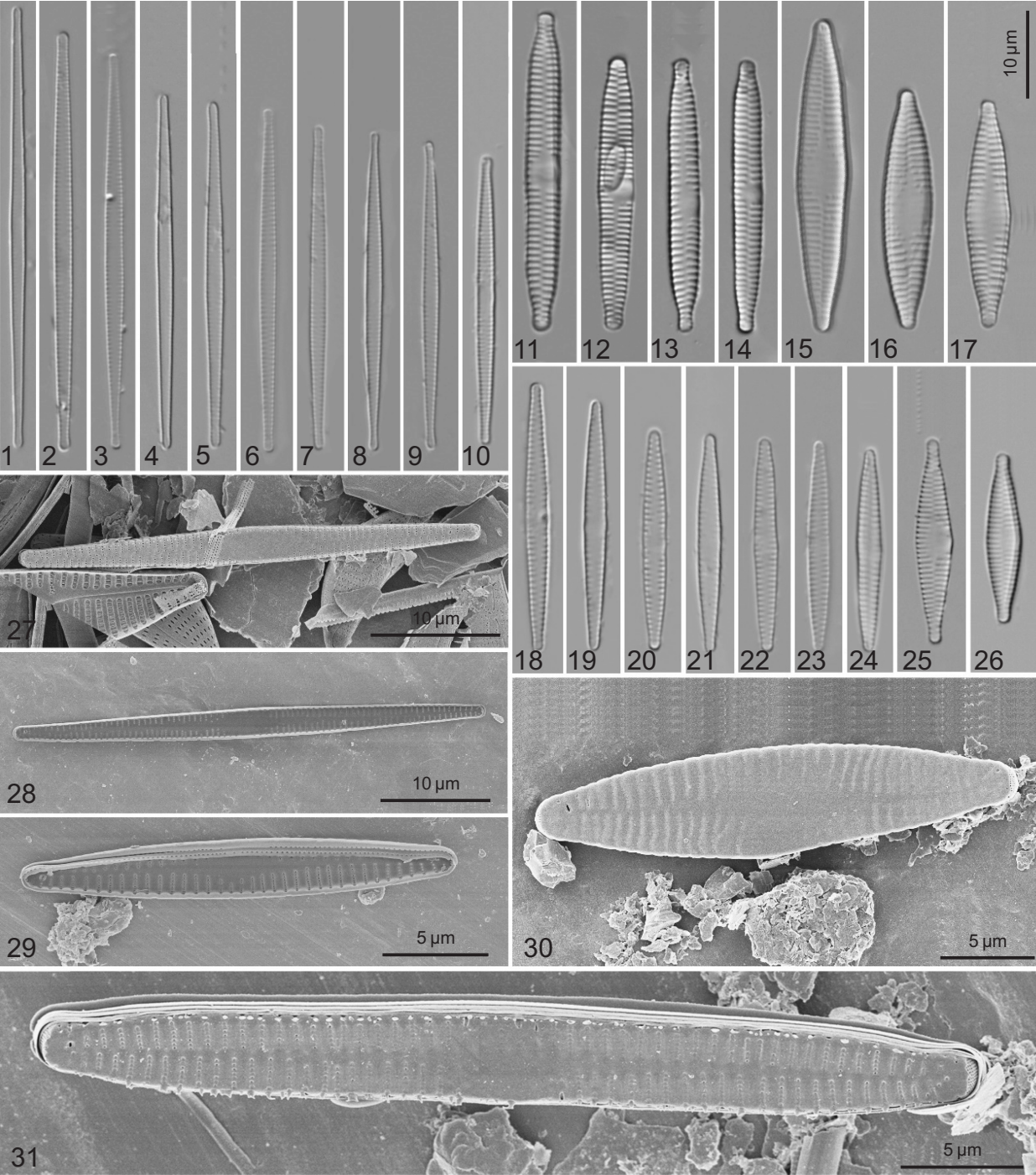
二头端脆型藻纯正变种和爪哇脆型藻。1 ~ 3: 二头端脆型藻纯正变种光镜照片。4 ~ 17: 爪哇脆型藻 (4 ~ 9: 光镜照片。10 ~ 17: 扫描电镜照片; 10. 外壳面观; 11: 内壳面观; 12: 带面观; 13, 14: 顶孔区; 15: 唇形突; 16: 壳面末端; 17: 环带)。
Fragilariforma bicapitata var. *genuina* and *Fragilariforma javanica*. 1 ~ 3: Light microscopy images of *Fragilariforma bicapitata* var. *genuina*. 4 ~ 17: *Fragilariforma javanica* (4 ~ 9: Light microscopy images. 10 ~ 17: Scanning electron microscopy images; 10: External valve view; 11: Internal valve view; 12: Girdle view; 13, 14: Pore-fields; 15: Rimoportulae; 16: End of valve; 17: Bands).

罗 粉等：图版IV

Luo Fen *et al.*: Plate IV



北方脆杆藻和微沃切里脆杆藻。1 ~ 10, 17, 18: 北方脆杆藻(1 ~ 10: 光镜照片。17、18: 扫描电镜照片; 17: 外壳面观; 18: 内壳面观)。11 ~ 16, 19: 微沃切里脆杆藻(11 ~ 16: 光镜照片。19: 扫描电镜照片, 内壳面观)。
Fragilaria boreomongolica and *Fragilaria microvaucheriae*. 1 ~ 10, 17, 18: *Fragilaria boreomongolica* (1 ~ 10: Light microscopy images. 17, 18: Scanning electron microscopy images; 17: External valve view; 18: Internal valve view). 11 ~ 16, 19: *Fragilaria microvaucheriae* (11 ~ 16: Light microscopy images. 19: Scanning electron microscopy image, internal valve view).



水生脆杆藻、石南脆杆藻、近菱形脆杆藻、宾西法尼亚脆杆藻和米萨雷脆杆藻。1 ~ 10, 27, 28: 水生脆杆藻 (1 ~ 10: 光镜照片。27, 28: 扫描电镜照片; 27: 外壳面观; 28: 内壳面观)。11 ~ 14, 31: 石南脆杆藻 (11 ~ 14: 光镜照片。31: 扫描电镜照片, 外壳面观)。15 ~ 17, 30: 近菱形脆杆藻 (15 ~ 17: 光镜照片。30: 扫描电镜照片, 外壳面观)。18 ~ 24, 29: 宾西法尼亚脆杆藻 (18 ~ 24: 光镜照片。29: 扫描电镜照片, 内壳面观)。25, 26: 米萨雷脆杆藻光镜照片。
Fragilaria aquaplus, *Fragilaria heatherae*, *Fragilaria crassirhombica*, *Fragilaria pennsylvanica*, and *Fragilaria misarelensis*. 1 ~ 10, 27, 28: *Fragilaria aquaplus* (1 ~ 10: Light microscopy images. 27, 28: Scanning electron microscopy images. 27: External valve view; 28: Internal valve view). 11 ~ 14, 31: *Fragilaria heatherae* (11 ~ 14: Light microscopy images. 31: Scanning electron microscopy image, external valve view). 15 ~ 17, 30: *Fragilaria crassirhombica* (15 ~ 17: Light microscopy images. 30: Scanning electron microscopy image, external valve view). 18 ~ 24, 29: *Fragilaria pennsylvanica* (18 ~ 24: Light microscopy images. 29: Scanning electron microscopy image, internal valve view). 25, 26: Light microscopy images of *Fragilaria misarelensis*.

(责任编辑：周 媛)