

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.23150

雍园圆, 尤庆敏, 范思哲, 曹玥, 王全喜, 罗粉. 横断山区异极藻属硅藻中国新记录[J]. 植物科学学报, 2024, 42 (3): 282~295

Yong YY, You QM, Fan SZ, Cao Y, Wang QX, Luo F. Newly recorded species of *Gomphonema* from the Hengduan Mountains in China[J]. *Plant Science Journal*, 2024, 42 (3): 282~295

## 横断山区异极藻属硅藻中国新记录

雍园圆<sup>1</sup>, 尤庆敏<sup>2</sup>, 范思哲<sup>1</sup>, 曹玥<sup>2</sup>, 王全喜<sup>2</sup>, 罗粉<sup>1,3\*</sup>(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:** 报道了横断山区异极藻属 (*Gomphonema*) 硅藻中国新记录 18 种, 分别为: 缠结异极藻头端变种 (*G. intricatum* var. *capitata* Hustedt)、变窄异极藻 (*G. angustius* Reichardt)、非洲异极藻 (*G. afrhombicum* Reichardt)、假中间异极藻 (*G. pseudointermedium* Reichardt)、尖顶型异极藻 (*G. auguriforme* Levkov)、加利福尼亚异极藻 (*G. californicum* Stancheva & Kociolek)、近拉蒂科尔异极藻 (*G. sublatcollum* Reichardt)、球顶异极藻 (*G. sphenovortex* Lange-Bertalot & Reichardt)、威尔斯科异极藻 (*G. wilschkorum* Lange-Bertalot)、瓦尔达异极藻 (*G. vardarensense* Reichardt)、微小异极藻 (*G. parvuliforme* Lange-Bertalot)、细小异极藻 (*G. parvuloides* Cholnoky)、维多利亚异极藻 (*G. lacus-victoriensis* Reichardt)、尤卡塔尼异极藻 (*G. yucatanense* Metzeltin & Lange-Bertalot)、窄头异极藻 (*G. angusticephalum* Reichardt & Lange-Bertalot)、长贝尔塔异极藻 (*G. lange-bertalotii* Reichardt)、中间异极藻 (*G. intermedium* Hustedt) 和中亚异极藻 (*G. medioasiae* Metzeltin, Lange-Bertalot & Nergui)。本研究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了讨论。

**关键词:** 硅藻; 横断山; 异极藻属; 新记录

中图分类号: Q949.27

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837 (2024) 03-0282-14

## Newly recorded species of *Gomphonema* from the Hengduan Mountains in China

Yong Yuanyuan<sup>1</sup>, You Qingmin<sup>2</sup>, Fan Sizhe<sup>1</sup>, Cao Yue<sup>2</sup>, Wang Quanxi<sup>2</sup>, Luo Fen<sup>1,3\*</sup>

(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. Research Institute of Biology and Environmental Engineering, Yuxi Normal University, Yuxi, Yunnan 653100, China)

**Abstract:** This paper reports 18 new records of diatoms from the genus *Gomphonema* in the Hengduan Mountains of China, including *G. intricatum* var. *capitata* Hustedt, *G. angustius* Reichardt, *G. afrhombicum* Reichardt, *G. pseudointermedium* Reichardt, *G. auguriforme* Levkov, *G. californicum* Stancheva & Kociolek, *G. sublatcollum* Reichardt, *G. sphenovortex* Lange-Bertalot & Reichardt, *G. wilschkorum* Lange-Bertalot, *G. vardarensense* Reichardt, *G. parvuliforme* Lange-Bertalot, *G. parvuloides* Cholnoky, *G. lacus-victoriensis* Reichardt, *G. yucatanense* Metzeltin & Lange-Bertalot, *G. angusticephalum* Reichardt & Lange-Bertalot, *G. lange-bertalotii* Reichardt, *G. intermedium* Hustedt, and *G. medioasiae* Metzeltin, Lange-Bertalot & Nergui. Detailed descriptions of the morphological characteristics, geographical distribution, habitat preferences, and physico-

收稿日期: 2023-08-15, 接受日期: 2024-03-11。

基金项目: 云南省科技厅基础研究项目 (202301AU070177); 国家自然科学基金项目 (32170205); 云南省大学生创新创业项目 (S202211390026)。

作者简介: 雍园圆 (2001-), 女, 学士, 研究方向为硅藻分类 (E-mail: [2967862429@qq.com](mailto:2967862429@qq.com))。\* 通信作者 (Author for correspondence. E-mail: [luofen919@yxnu.edu.cn](mailto:luofen919@yxnu.edu.cn))。

chemical indices for each species are provided. Furthermore, comparative analyses of the morphological characteristics of the newly recorded species and their closely related counterparts are discussed.

**Key words:** Diatoms; Hengduan Mountains; *Gomphonema*; New records

硅藻是一类具有色素体的单细胞藻类，形态多样性高，常以二分裂的方式进行无性繁殖。硅藻具有硅质的外壳，其形态特征是重要的分类依据。硅藻在水中扮演着初级生产者的角色，其光合作用产生大量油脂，使其成为初级消费者的美食；它在全球碳、氧及硅循环中也起到了非常重要的作用；另外它还可以作为水体检测的指示生物<sup>[1-3]</sup>。硅藻死后也具有相当大的作用，其硅质细胞壁不会被分解，可长期保存，因此常被用于地层鉴定、古气候研究、法医鉴定等研究中<sup>[4]</sup>。

在 Patrick 和 Reimer<sup>[5]</sup> 的分类系统中，异极藻科包括异极藻属 (*Gomphonema*)、双楔藻属 (*Didymosphenia*) 和异楔藻属 (*Gomphoneis*)。异极藻属是硅藻中种类较多的一个属，在硅藻植物的系统演化中占有重要位置，分布非常广泛<sup>[6]</sup>。该属的主要特征是壳面异极，棒形或楔形；中轴区窄，线形；中央区明显，常呈横矩形或圆形；壳缝丝状；多数种类中央区具一孤点；壳面底端具顶孔区；具假隔膜；线纹多由 1~2 列点纹组成。带面多呈楔形。到目前为止，世界上异极藻属植物共报道 1 800 余种（含变种或变型）<sup>[7]</sup>。

Skvortzow<sup>[8]</sup> 是最早报道我国异极藻属植物的学者，他在 1929 年首次报道了厦门的异极藻属植物。1949 年之后，我国的藻类学迅速发展，藻类学家对我国各地的异极藻属进行调查研究。饶钦止等<sup>[9, 10]</sup> 分别于 1964、1973 年报道了我国西藏南部的部分异极藻属种类。朱蕙忠和陈嘉佑<sup>[11, 12]</sup> 于 1983、2000 年分别报道了湖南索溪峪及西藏地区的异极藻属植物。包文美等<sup>[13]</sup> 报道了长白山地区的异极藻属植物。范亚文等<sup>[14]</sup> 对黑龙江省异极藻属植物进行了报道。李艳玲等<sup>[15]</sup> 对横断山区异极藻科硅藻进行报道。直到 2004 年，《中国淡水藻志·第十二卷·硅藻门·异极藻科》<sup>[16]</sup> 一书中较系统、全面地总结了我国近一个世纪来有关异极藻科分类学研究的成就。书中记述了异极藻属硅藻 136 个分类单位，相对于科内的其他属而言，对它的研究最为广泛，有关的报道也最多。到目前为止，我国共记录了异极藻属 300 余个分类

单位。

横断山区位于西藏东南与云南及四川西部交汇处，在海拔高度上处在第一阶地的东端边缘，它拥有复杂的地形地貌，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。本文报道了该地区异极藻属硅藻 18 个中国新记录种，旨在丰富我国硅藻种类的多样性，也为相关的科学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 月以及 2018 年 10 月对横断山区水域进行硅藻标本的采集，生境包括湖泊、池塘、沼泽、河流、溪流、温泉、盐池等。

采样方法：浮游标本使用 25 mm 浮游生物网过滤捞取；着生标本使用牙刷或镊子刮取；底栖标本使用吸管轻轻吸取土壤表层<sup>[17]</sup>。

样本处理：（1）将野外采集的标本放入 50 mL 的标本瓶中，现场用 4% 的甲醛溶液固定<sup>[18]</sup>。（2）将野外采集的标本取出 15 mL 放入离心管，离心后将沉淀转入消解管中，然后加入 10 mL 浓硝酸，置于微波消解仪中进行消解处理，待反应完成并冷却后，取出样品并将其转入到离心管中，离心后用纯净水清洗然后再离心，清洗 6 次，将清洗后的沉淀转移到离心管中，加入 75% 的酒精进行保存<sup>[17]</sup>。（3）取适量存于离心管中的硅藻样品，用 Naphax 胶制成永久封片。

标本观察及鉴定：使用 Olympus BX53 型光学显微镜对永久封片观察并拍照；使用日立 SU8010 扫描电子显微镜对样品进行观察并拍照；使用 Photoshop 软件对照片进行处理并制作图版，参考文献<sup>[19-28]</sup> 进行分类鉴定。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 中国新记录种的描述

### 2.1 缠结异极藻头端变种 (图版 I: 1~7、17)

*Gomphonema intricatum* var. *capitata* Hustedt

壳面线状棒形, 中部最宽, 略膨大, 头端轻微膨大呈宽圆形, 下部逐渐变窄, 基部尖, 中轴区略宽, 披针形, 中央区呈横矩形, 一侧具 1~2 条短线纹, 另一侧具 0~1 条短线纹, 单列型线纹, 孔纹呈“C”形, 壳缝呈直向, 顶孔区由密集的小孔组成并且被壳缝分为大小不等的 2 个小区, 与线纹不连续。壳面长 83~119  $\mu\text{m}$ , 宽 11~14.5  $\mu\text{m}$ , 线纹在 10  $\mu\text{m}$  内有 6~8 条。

该种与细弱异极藻箭形变种 (*G. subtile* var. *sagitta* (Schumann) Grunow) 和细弱异极藻球形变种 (*G. subtile* var. *rotundatum* Cleve) 相似, 区别在于该种线状棒形, 头端轻微膨大呈宽圆形; 而细弱异极藻箭形变种壳面较长呈箭形, 头状的上端部呈楔形; 与后者区别在于后者头状端部较小且呈球形。

生境: 湖泊、温泉。

分布: 四川 (木格措、药池温泉)。

理化指标: 海拔 3 570~3 780 m; 水温 9.3  $^{\circ}\text{C}$ ~32.7  $^{\circ}\text{C}$ ; pH 值 6.8~8.0; 盐度 0.02 ‰~0.83 ‰。

### 2.2 变窄异极藻 (图版 I: 8~13、15~16)

*Gomphonema angustius* Reichardt 2009: 161

壳面披针形, 左右两侧轻微不对称, 末端宽圆形, 中轴区窄、线形, 近缝端外表面呈膨大状, 远缝端弯转并伸至壳套, 中央区向一侧扩大至边缘呈辐节状, 孤点位于中央节中心或轻微偏向一侧, 孤点呈圆形, 单列型线纹, 辐射状排列。壳面长 26~31  $\mu\text{m}$ , 宽 5.5~6.5  $\mu\text{m}$ , 线纹在 10  $\mu\text{m}$  内有 11~15 条。

该种与窄异极藻棒形变种 (*G. angustatum* var. *citera* (Hohn & Hellerm) Patrick) 相似, 区别在于该种壳面披针形, 单列型线纹且呈辐射状排列; 而窄异极藻棒形变种壳面棒形, 线纹放射状。

生境: 沼泽、河流 (大渡河、澜沧江)、溪流。

分布: 四川 (夹金山森林公园); 云南 (德钦县、澜沧江); 西藏 (芒康县)。

理化指标: 海拔 1 660~2 440 m; 水温 9.1  $^{\circ}\text{C}$ ~

12.5  $^{\circ}\text{C}$ ; pH 值 8.0~8.9; 盐度 0.09 ‰~0.26 ‰。

### 2.3 非洲异极藻 (图版 I: 14)

*Gomphonema afrhombicum* Reichardt 2007: 110.

壳面棒形, 头部钝圆形, 基部小头状。中轴区较宽, 壳缝呈波形走向, 近缝端直向, 远缝端向外延伸至壳套, 具有一个孤点位于一侧, 线纹较短且稀疏, 呈单列平行排列, 由中间向两端逐渐变长。壳面长 34.5  $\mu\text{m}$ , 宽 5.6  $\mu\text{m}$ , 线纹在 10  $\mu\text{m}$  内有 13 条。

该种与近棒形异极藻墨西哥变种 (*G. subclavatum* var. *mexicanum* (Grunow) Patrick) 相似, 区别在于该种整体较窄, 壳缝呈波形走向, 线纹较短且稀疏; 而近棒形异极藻墨西哥变种比该种宽, 壳缝呈直向, 线纹较长且多, 远缝端增生呈小刺。

生境: 湖泊。

分布: 四川 (大渡河)。

理化指标: 海拔 3 780 m; 水温 9.3  $^{\circ}\text{C}$ ~13.3  $^{\circ}\text{C}$ ; pH 值 7.1~7.8; 盐度 0.02 ‰。

### 2.4 假中间异极藻 (图版 II: 1~10、24)

*Gomphonema pseudointermedium* Reichardt 2008: 108.

壳面楔状棒形, 中部最宽, 向两侧逐渐变窄, 头部宽圆形, 基部圆形, 中轴区窄、线形, 近缝端直向, 远缝端弯转并延伸至壳套, 中央区小、圆形至卵圆形, 具一个孤点, 孤点呈圆形, 线纹在中部辐射排列, 两端近平行排列且为双列型线纹, 组成线纹的孔纹大部分为“C”形, 少部分为圆形。壳面长 22~57  $\mu\text{m}$ , 宽 6~8.5  $\mu\text{m}$ , 线纹在 10  $\mu\text{m}$  内有 9~12 条。

该种与缠结异极藻矮小变种 (*G. intricatum* var. *pumilum* Grunow) 相似, 区别在于缠结异极藻矮小变种壳体较小, 壳面中部膨大不明显。

生境: 湖泊、河流、溪流。

分布: 四川 (岷江、邛海、盐源县); 西藏 (大熊措、桑曲河)。

理化指标: 海拔 740~4 475 m; 水温 0.6  $^{\circ}\text{C}$ ~19.8  $^{\circ}\text{C}$ ; pH 值 8.2~10.0; 盐度 0.07 ‰~0.14 ‰。

### 2.5 尖顶型异极藻 (图版 II: 11~13)

*Gomphonema auguriforme* Levkov, Mitic-Kopanjan, Wetzels & Ector 2016: 33.



壳面楔状棒形, 近上端处最宽, 向下逐步变窄, 末端尖头状, 中轴区窄、线形, 中央区小, 一个孤点位于一侧, 线纹在中部平行排列, 两端辐射排列。壳面长 25~27.5  $\mu\text{m}$ , 宽 8~9  $\mu\text{m}$ , 线纹在 10  $\mu\text{m}$  内有 12~14 条。

该种与尖顶异极藻 (*G. augur* Ehrenberg) 相似, 区别是尖顶异极藻顶孔区为平滑区且远缝端增生呈小刺。

生境: 湖泊。

分布: 四川 (西昌市、邛海)。

理化指标: 海拔 1 510 m; 水温 19.8  $^{\circ}\text{C}$ ; pH 值 8.5; 盐度 0.14‰。

## 2.6 加利福尼亚异极藻 (图版 II: 14~23)

*Gomphonema californicum* Stancheva & Kociolek 2016: 120.

壳面楔状棒形, 近上端处最宽, 向下逐步变窄, 头部圆头状, 基部尖头状, 中轴区窄、线形, 远缝端弯转并延伸至壳套, 中央区横矩形, 中央区两侧线纹较稀疏, 单列型线纹, 一个孤点位于一侧。壳面长 38~60  $\mu\text{m}$ , 宽 7~9  $\mu\text{m}$ , 线纹在 10  $\mu\text{m}$  内有 10~12 条。

该种与缠结异极藻二叉变种 (*G. intricatum* var. *dichotomum* (Kutzing) Grunow) 相似, 区别在于该种壳面楔状棒形, 而缠结异极藻二叉变种壳面披针状棒形或近线形。

生境: 溪流。

分布: 四川 (雅家情海、雅拉雪山); 西藏 (芒康县、东达山)。

理化指标: 海拔 3 200~4 190 m; 水温 1.8  $^{\circ}\text{C}$ ~14.6  $^{\circ}\text{C}$ ; pH 值 7.8~8.7; 盐度 0.01‰~0.08‰。

## 2.7 近拉蒂科尔异极藻 (图版 III: 1~4)

*Gomphonema sublatcollum* Levkov, Mitic-Kopanja & Reichardt 2016: 124.

壳面楔状棒形, 中间处较宽, 由上至下逐步变窄, 头部宽圆形, 基部尖头状, 中央区较小, 一个孤点位于一侧且孤点呈圆形, 线纹在中部平行排列, 且为双列型线纹, 近缝端呈直向, 远缝端弯转并延伸至壳套。壳面长 13~42  $\mu\text{m}$ , 宽 3~6  $\mu\text{m}$ , 线纹在 10  $\mu\text{m}$  内有 13~14 条。

该种与橄榄绿异极藻波罗的变种 (*Gomphonema olivaceum* var. *balticum* (Cleve) Grunow) 和缢缩异极藻头端变种 (*Gomphonema constrictum*

var. *capitatum* (Ehrenberg) Grunow) 相似, 区别是该种与前者的区别是橄榄绿异极藻波罗的变种壳面较长, 且无孤点, 而该种具有一个孤点; 该种与后者的区别在于缢缩异极藻头端变种壳面上部具轻度凹入的收缢部。

生境: 湖泊。

分布: 西藏 (八宿县)。

理化指标: 海拔 3 830~4 475 m; 水温 0.6  $^{\circ}\text{C}$ ~12.0  $^{\circ}\text{C}$ ; pH 值 8.2~10.0; 盐度 0.04‰~0.10‰。

## 2.8 球顶异极藻 (图版 III: 5~9、24)

*Gomphonema sphenovortex* Lange-Bertalot & Reichardt 1996: 73

壳面针形, 中间宽, 两端呈尖形, 头部和基部尖圆状, 近缝端呈直向, 远缝端弯转并延伸至壳套, 无孤点, 线纹在中部呈辐射排列, 组成线纹的孔纹为“C”形、线纹是单列型线纹, 中央区小。壳面长 14~18  $\mu\text{m}$ , 宽 3.6~4.6  $\mu\text{m}$ , 线纹在 10  $\mu\text{m}$  内有 12~14 条。

该种与普加利异极藻中华变种 (*Gomphonema puiggarianum* var. *sinicum* Skvortzow) 和克利夫异极藻 (*Gomphonema clevei* Fricke) 相似, 该种与前者的区别是普加利异极藻中华变种线纹较短; 与后者的区别是克利夫异极藻线纹较短且有一个孤点, 而球顶异极藻没有孤点。

生境: 湖泊。

分布: 四川 (大渡河)。

理化指标: 海拔 3 200 m; 水温 9.8  $^{\circ}\text{C}$ ~40.0  $^{\circ}\text{C}$ ; pH 值 6.4~8.2; 盐度 0.03‰~0.40‰。

## 2.9 威尔斯科异极藻 (图版 III: 10~11)

*Gomphonema wiltschkorum* Lange-Bertalot

壳面楔状棒形, 头部宽圆形, 基部狭圆形, 中轴区窄、线形, 中央区小、矩形, 具一个孤点, 线纹在中部平行排列, 两端微辐射排列。壳面长 18.5~22.5  $\mu\text{m}$ , 宽约 5  $\mu\text{m}$ , 线纹在 10  $\mu\text{m}$  内有 14~16 条。

该种与克利夫异极藻 (*Gomphonema clevei* Fricke) 相似, 区别在于克利夫异极藻线纹整体较短, 远缝端增生小刺呈“S”状, 头部较圆; 而威尔斯科异极藻两端较尖, 线纹较长。

生境: 沼泽、溪流。

分布: 四川 (四姑娘山)。

理化指标: 海拔 2 200~3 600 m; 水温 3.0  $^{\circ}\text{C}$ ~

12.3 °C; pH 值 8.6; 盐度 0.05‰。

## 2.10 瓦尔达异极藻 (图版 III: 12~23)

*Gomphonema vardarens* Reichardt 2016: 131

壳面披针形, 两侧近平行, 两端均呈头状, 中轴区窄、线形, 呈细椭圆状, 中央区横矩形, 具一个孤点, 孤点呈圆形, 线纹在中部近平行单列排列, 孔纹为“C”形, 两端微辐射排列, 近缝端呈直向, 远缝端弯转并延伸至壳套, 顶孔区由密集的小孔组成并且被壳缝分为大小不等的 2 个小区, 与线纹不连续。壳面长 12.5~28.5  $\mu\text{m}$ , 宽 3~4.5  $\mu\text{m}$ , 线纹在 10  $\mu\text{m}$  内有 12~14 条。

该种与类橄榄绿异楔藻 (*G. olivaceoides* (Hustedt) Carter) 形态相似, 区别在于类橄榄绿异楔藻具有 6 个孤点, 且远缝端呈“S”形, 两端较圆; 而瓦尔达异极藻只有一个孤点且两端较尖。

生境: 沼泽、河流、溪流。

分布: 四川 (康定县、夹金山森林公园); 云南 (金沙江、香格里拉县、德钦县); 西藏 (芒康县)。

理化指标: 海拔 1 400~3 807 m; 水温 5.0 °C~21.1 °C; pH 值 6.9~8.7; 盐度 0.05‰~0.42‰。

## 2.11 微小异极藻 (图版 IV: 1~7, 23)

*Gomphonema parvuliforme* Levkov, Mitic-Kopanja & Reichardt 2016: 96

壳面梭形棒状, 头部、基部都呈小头状, 中间较宽, 两端较窄, 单侧边具有一个圆形孤点, 近缝端弯钩状, 远缝端弯转并延伸至壳套, 顶孔区由密集的小孔组成并且被壳缝分为大小不等的 2 个小区, 线纹为单列型线纹, 孔纹为“C”形, 中部一侧一条线纹仅有 7~8 个孔纹组成。壳面长 15.5~21  $\mu\text{m}$ , 宽 6~7  $\mu\text{m}$ , 线纹在 10  $\mu\text{m}$  内有 12~17 条。

该种与赫迪异极藻 (*G. hedinii* Hustedt) 相似, 区别是赫迪异极藻头部较大, 基部较小, 且远缝端呈直向; 而微小异极藻远缝端弯转并延伸至壳套。

生境: 池塘、沼泽、溪流。

分布: 四川 (雅砻江、金沙江)、云南 (怒江)。

理化指标: 海拔 1 534~3 760 m; 水温 15.0 °C~19.1 °C; pH 值 8.4~9.1; 盐度 0.14‰。

## 2.12 细小异极藻 (图版 III: 8~12, 24)

*Gomphonema parvuloides* Chohnoky

壳面宽披针形, 中部最宽且略凸出膨大, 向两侧逐渐变窄, 头部宽圆形, 基部圆形, 中轴区窄、线形, 中央区横矩形, 具一个孤点, 壳缝弯曲, 远缝端弯转并延伸至壳套, 顶孔区由密集的小孔组成并且被壳缝分为大小不等的 2 个小区, 线纹为单列型线纹, 孔纹为“C”形, 少部分呈“S”形。壳面长 28.5~35  $\mu\text{m}$ , 宽 8~14  $\mu\text{m}$ , 线纹在 10  $\mu\text{m}$  内有 11~15 条。

该种与塔形异极藻 (*G. turris* Ehrenberg) 相似, 区别在于塔形异极藻壳缝直向, 近缝端呈直向, 远缝端增生小刺; 而细小异极藻壳缝弯曲, 近缝端呈直向, 远缝端弯转并延伸至壳套。

生境: 池塘、河流。

分布: 云南 (宁蒗县)。

理化指标: 海拔 2 230~3 280 m; 水温 11.9 °C~19.8 °C; pH 值 8.3~9.0; 盐度 0.07‰~0.10‰。

## 2.13 维多利亚异极藻 (图版 III: 13~18, 25)

*Gomphonema lacus-victoriense* Reichardt 2007: 118.

壳面线状棒形, 中部最宽, 向两侧逐渐变窄, 两端均呈宽圆形, 中轴区略窄, 线形, 中央区小、呈椭圆形至横矩形, 两侧各具 1~3 条短线纹, 线纹由圆形孔纹组成、单列排列, 近缝端呈弯钩状, 远缝端不延伸到壳套。壳面长 19~26.5  $\mu\text{m}$ , 宽 4.5~5.5  $\mu\text{m}$ , 线纹在 10  $\mu\text{m}$  内有 14~16 条。

该种与橄榄绿异极藻十字形变种 (*G. olivaceum* var. *stauroneiforme* Grunow) 相似, 区别在于橄榄绿异极藻十字形变种近缝端呈直向, 中部 4 条线纹较短; 而维多利亚异极藻近缝端呈弯钩状, 中部 1~2 条线纹较短。

生境: 湖泊。

分布: 四川 (木格措、药池温泉)。

理化指标: 海拔 3 780 m; 水温 9.3 °C~13.3 °C; pH 值 7.1~7.8; 盐度 0.02‰。

## 2.14 尤卡塔尼异极藻 (图版 III: 19~22, 26)

*Gomphonema yucatanense* Metzeltin & Lange-Bertalot 1998: 131.

壳面梭形棒状, 头部和基部呈圆形, 中央壳缝一侧具有一个圆形孤点, 近缝端直向, 远缝端延伸至壳套, 线纹为单列型线纹且平行排列, 中

央的线纹短且排列不规则, 顶孔区由密集的小孔组成并且被壳缝分为大小不等的2个小区。壳面长33~39  $\mu\text{m}$ , 宽4.8~5.4  $\mu\text{m}$ , 线纹在10  $\mu\text{m}$ 内有12~14条。

该种与山地异极藻中间变种(*G. montanum* var. *medium* Grunow)相似, 区别在于山地异极藻中间变种壳面较粗壮, 上端部较宽且凸出成头状, 远缝端增生小刺; 而尤卡塔尼异极藻远缝端延伸至壳套。

生境: 湖泊。

分布: 四川(大渡河)。

理化指标: 海拔3 780 m; 水温9.3  $^{\circ}\text{C}$ ~13.3  $^{\circ}\text{C}$ ; pH值7.1~7.8; 盐度0.02‰。

#### 2.15 窄头异极藻 (图版V: 1~3、15、16、18)

*Gomphonema angusticephalum* Reichardt & Lange-Bertalot 1999: 49.

壳面楔状棒形, 近上端处最宽, 上部具一明显凹陷, 中部向下逐步变窄, 末端尖头状, 中轴区窄、线形, 中央区小, 一个孤点位于一侧, 孤点呈圆形, 近缝端呈直向, 远缝端延伸至壳套, 顶孔区由密集的小孔组成并且被壳缝分为大小不等的2个小区, 线纹近平行排列, 孔纹为“C”形。壳面长30~34.5  $\mu\text{m}$ , 宽5~6  $\mu\text{m}$ , 线纹在10  $\mu\text{m}$ 内有17~19条。

该变种与尖细异极藻棒状变种(*G. acuminatum* var. *clavus* (Brébisson) Grunow)相似, 区别在于尖细异极藻棒状变种较为宽大, 中部以下宽而短; 而窄头异极藻较为细小, 中部以下细长。

生境: 湖泊。

分布: 四川(邛海); 云南(拉市海)。

理化指标: 海拔1 510~2 440 m; 水温15.1  $^{\circ}\text{C}$ ~19.8  $^{\circ}\text{C}$ ; pH值8.1~8.5; 盐度0.14‰~0.22‰。

#### 2.16 长贝尔塔异极藻 (图版V: 4~14、17)

*Gomphonema lange-bertalotii* Reichardt 2008: 118.

壳面披针形, 两侧近平行, 两端均呈头状, 中轴区窄、线形, 中央区横矩形, 在壳缝一侧具一个孤点, 孤点呈圆形, 线纹在中部近平行排列, 孔纹呈“C”形、泪形或者圆形, 线纹两端辐射排列, 近缝端呈弯钩状, 远缝端延伸至壳套, 顶孔区由密集的小孔组成并且被壳缝分为大小不等的2个小区, 且与线纹连续。壳面长26~47.5  $\mu\text{m}$ ,

宽4~6.5  $\mu\text{m}$ , 线纹在10  $\mu\text{m}$ 内有9~15条。

该种与橄榄绿异极藻密纹变种(*G. olivaceum* var. *densostriatum* Z. X. Shi et H. Z. Zhu)相似, 区别在于橄榄绿异极藻密纹变种线纹较密, 且中部有4~6条短小线纹, 无孤点; 而长贝尔塔异极藻具有一个孤点, 且少部分近缝端呈弯钩状。

生境: 湖泊、池塘、沼泽、溪流。

分布: 四川(木格措、药池温泉、折多山、卓玛央措、牛奶海、四姑娘山); 西藏(芒康县、然乌湖)。

理化指标: 海拔2 400~4 600 m; 水温1.6  $^{\circ}\text{C}$ ~15.0  $^{\circ}\text{C}$ ; pH值7.1~8.7; 盐度0.02‰~0.37‰。

#### 2.17 中间异极藻 (图版VI: 1~13、30~32)

*Gomphonema intermedium* Hustedt 1942: 120.

壳面披针形, 末端尖头状, 中轴区窄、线形, 中央区小, 一个孤点位于一侧, 孤点呈圆形, 线纹在中部辐射排列且线纹为双列型线纹, 孔纹呈圆形或“C”形, 两端近平行排列, 近缝端呈直向, 远缝端延伸至壳套, 顶孔区由密集的小孔组成并且被壳缝分为大小不等的2个小区, 且与线纹连续。壳面长20~37  $\mu\text{m}$ , 宽3.5~5  $\mu\text{m}$ , 线纹在10  $\mu\text{m}$ 内有11~12条。

该种与纤细异极藻长耳变种(*G. gracile* var. *auritum* Braun)相似, 区别在于纤细异极藻长耳变种线纹较稀疏且远缝端增生小刺; 而中间异极藻线纹较密且呈双排排列, 远缝端延伸至壳套。

生境: 湖泊、池塘、河流、溪流。

分布: 四川(岷江、雅江县、稻城亚丁自然保护区、波瓦山); 西藏(林芝市、大熊措、芒康县); 云南(香格里拉、拉市海、宁蒗县)。

理化指标: 海拔740~4 630 m; 水温0.6  $^{\circ}\text{C}$ ~19.6  $^{\circ}\text{C}$ ; pH值7.8~10.0; 盐度0.01‰~0.22‰。

#### 2.18 中亚异极藻 (图版VI: 14~29)

*Gomphonema medioasiae* Metzeltin, Lange-Bertalot & Soninkhishig 2009: 53.

壳面线形披针形, 中部最宽, 向两侧逐渐变窄, 两端均呈圆形, 中轴区略宽, 向中部逐渐变宽, 呈近菱形, 中央区具一个孤点, 孤点呈圆形, 与一侧短线纹相连, 近缝端弯钩状, 远缝端延伸至壳套, 顶孔区由密集的小孔组成并且被壳缝分



为大小不等的 2 个小区, 且与线纹连续。壳面长 18~51  $\mu\text{m}$ , 宽 4.5~7  $\mu\text{m}$ , 线纹在 10  $\mu\text{m}$  内有 10~13 条。

该变种与纤细异极藻 (*G. gracile* Ehrenberg) 相似, 区别在于纤细异极藻线纹较密且长, 平行排列, 远缝端增生小刺呈“S”形; 而中亚异极藻线纹中部较短, 随着向两端的延伸, 线纹逐渐变长, 远缝端延伸至壳套。

生境: 溪流。

分布: 四川 (雅拉雪山)。

理化指标: 海拔 3 200~3 604 m; 水温 6.1  $^{\circ}\text{C}$ ; pH 值 8.6; 盐度 0.05‰。

### 3 讨论

本文对横断山区异极藻属 18 种及其相似种进行了形态上的对比, 主要从壳面形态、有无孤点、线纹、顶孔区、近缝端、远缝端以及壳缝走向等方面展开了讨论。从孤点的形态和位置来判断, 它们很可能是由线纹末端的孔纹分化而来。异极藻属由于营附着生活, 其上下不对称, 细胞的下端基部形成了特殊的顶孔区, 以适应细胞的附着生活。此外, 异极藻属的线纹有双列型线纹、单列型线纹以及混合型线纹, 通过对异极藻属植物细胞发育过程的研究发现, 双列线纹是由单列线纹经分裂形成, 这表明双列孔纹是进化的形态, 而且是由单列孔纹衍生而来。异极藻属其多样性体现在壳面形态、孤点数目和形状、线纹类型、孔纹形态等, 不同的藻类在这些方面具有差异。孤点的数目和形态、线纹的类型等都可以帮助我们区分藻类以及初步判断藻类的种属。另外本研究还添加了它们的生境、分布以及理化指标等数据, 进一步增加了对其生活方式及适应条件的了解, 以便更好地利用该类群硅藻的生物资源。

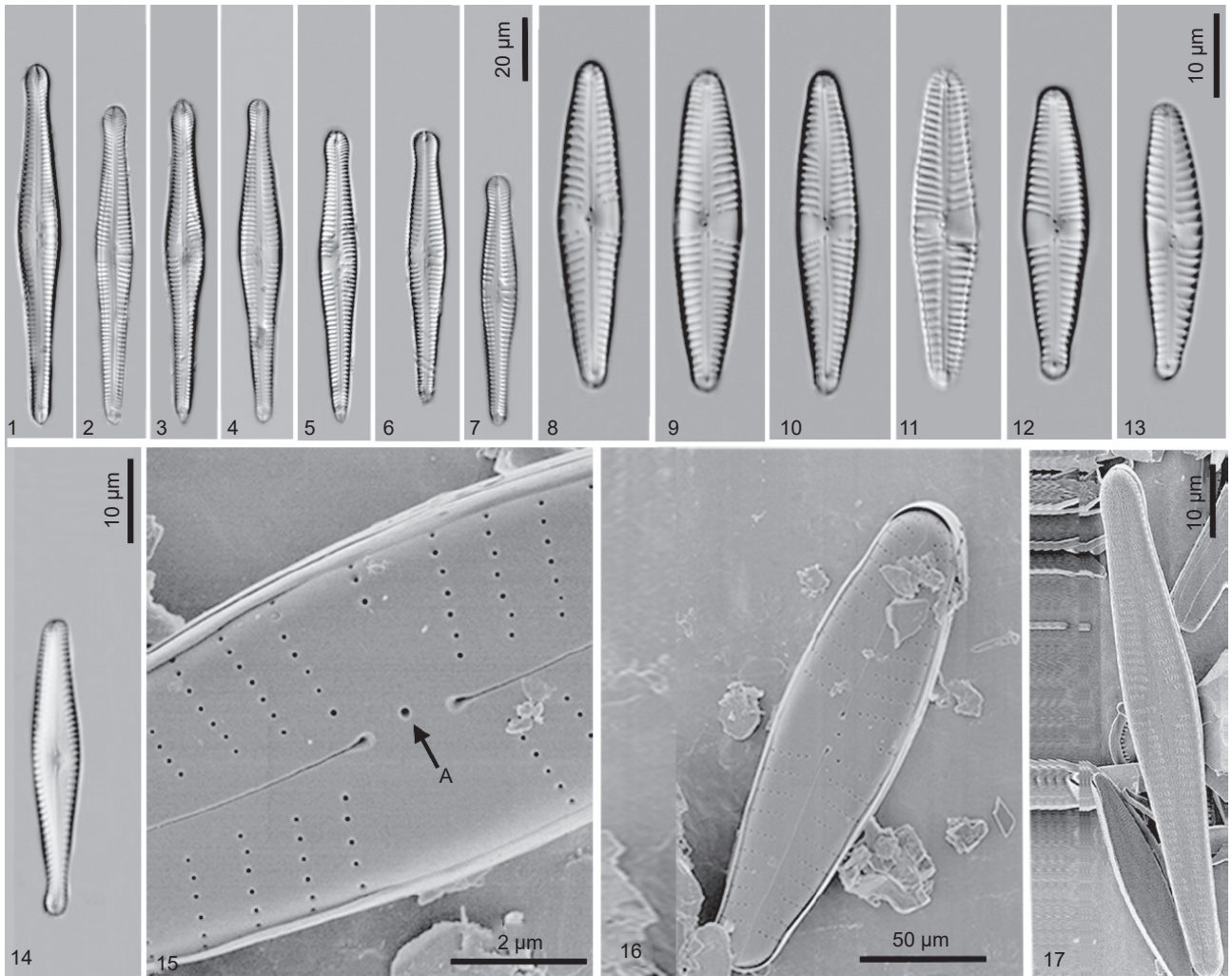
由于目前异极藻属所能提供的性状特征的信息量不够充分, 因此不能采用更科学的分支系统学或数量分类学的方法来进行分析。此外, 异极藻属在进化方面的研究也较少, 在今后的研究中可以多关注异极藻属的进化方面的问题以及系统发育方面的问题。

### 参考文献:

- [ 1 ] Schnetzer A, Steinberg D. Natural diets of vertically migrating zooplankton in the Sargasso Sea[J]. *Mar Biol*, 2002, 141 ( 1 ): 89-99.
- [ 2 ] Falciatore A, Bowler C. Revealing the molecular secrets of marine diatoms[J]. *Annu Rev Plant Biol*, 2002, 53: 109-130.
- [ 3 ] obo EA, Heinrich CG, Schuch M, Wetzel CE, Ector L. Diatoms as bioindicators in rivers[M]//Necchi Jr O, ed. *River Algae*. Chambridge: Springer, 2016: 245-271.
- [ 4 ] 谢淑琦, 蔡石勋. 山西、河北、内蒙古及河南内陆水体中心硅藻的研究 [J]. *山西大学学报*, 1981 ( 3 ): 14-32.  
Xie SQ, Cai SX. Study on diatoms in inland water centers in Shanxi, Hebei, Inner Mongolia and Henan[J]. *Journal of Shanxi University*, 1981 ( 3 ): 14-32.
- [ 5 ] Patrick R, Reimer CW. The Diatoms of the United States: Exclusive of Alaska and Hawaii: Vol. 2, Part 1[M]. Philadelphia: Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 1975: 213.
- [ 6 ] 刘羽彤, 刘妍, 刘琪琛, 范亚文. 异极藻属 ( 硅藻门 ) 5 种中国新记录 [J]. *西北植物学报*, 2016, 36 ( 1 ): 190-193.  
Liu YT, Liu Y, Liu QC, Fan YW. Five newly recorded species of *Gomphonema* ( Bacillariophyta ) from China[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2016, 36 ( 1 ): 190-193.
- [ 7 ] Guiry MD, Guiry GM. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2024 [EB/OL]. ( 2024-03-20 ). <https://www.algaebase.org>.
- [ 8 ] Skvortzow BW. Alpine diatoms from Fukien province, South China[J]. *Philipp J Sci*, 1929, 41 ( 1 ): 39-49.
- [ 9 ] 饶钦止. 西藏南部地区的藻类 [J]. *海洋与湖沼*, 1964, 6 ( 2 ): 169-189.  
Rao QZ. Some fresh-water algae from southern Tibet[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1964, 6 ( 2 ): 169-189.
- [ 10 ] 饶钦止, 朱蕙忠, 李尧英. 我国西藏南部珠穆朗玛峰地区藻类概要 [J]. *科学通报*, 1973, 18 ( 1 ): 30-32.  
Rao QZ, Zhu HZ, Li YY. Overview of algae in Mount Everest in southern Tibet, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1973, 18 ( 1 ): 30-32.
- [ 11 ] 朱蕙忠, 陈嘉佑. 索溪峪的硅藻研究 [M]//施之新. 湖南武陵源自然保护区水生生物. 北京: 科学出版社, 1983: 1-80.
- [ 12 ] 朱蕙忠, 陈嘉佑. 中国西藏硅藻 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1-353.
- [ 13 ] 包文美, 王全喜, Reimer CW. 长白山地区硅藻的研究 [J]. *植物研究*, 1992, 12 ( 2 ): 125-143.  
Bao WM, Wang QX, Reimer CW. Diatoms from the Changbaishan Mountain area[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 1992, 12 ( 2 ): 125-143.
- [ 14 ] 范亚文, 包文美, 王全喜. 中国黑龙江省异极藻科植物研究 [J]. *植物研究*, 1998, 18 ( 2 ): 243-251.  
Fan YW, Bao WM, Wang QX. Investigation on gomphonemaceae from Heilongjiang province in China[J]. *Bul-*

- letin of Botanical Research*, 1998, 18 ( 2 ): 243–251.
- [15] Li YL, Xie P, Gong ZJ, Shi ZX. Cymbellaceae and Gomphonemataceae ( Bacillariophyta ) from the Hengduan Mountains region ( southwestern China ) [J]. *Nova Hedwigia*, 2003, 76 ( 3-4 ): 507–536.
- [16] 施之新. 中国淡水藻志 ( 第十二卷 ): 硅藻门-异极藻科 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1–147.
- [17] 刘琪. 四川若尔盖湿地及其附近水域硅藻的分类及生态研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2015: 1–364.
- [18] 王艳璐, 尤庆敏, 于潘, 王全喜. 四川亚丁自然保护区硅藻植物分类研究 [J]. 上海师范大学学报 ( 自然科学版 ), 2018, 47 ( 5 ): 585–591.
- Wang YL, You QM, Yu P, Wang QX. A taxonomic study of diatom plants in Yading Nature Reserve of Sichuan[J]. *Journal of Shanghai Normal University ( Natural Sciences )*, 2018, 47 ( 5 ): 585–591.
- [19] Reichardt E. Zur Revision der Gattung *Gomphonema*: die Arten um *G. affine/insigne*, *G. angustatum/micropus*, *G. acuminatum* sowie Gomphonemoide Diatomeen aus dem Oberoligozän in Böhmen[M]//Lange-Bertalot H, ed. *Iconographia Diatomologica*. Königstein: Koeltz Scientific Books, 1999: 1–203.
- [20] Stancheva R, Sheath RG, Kociolek JP. New freshwater gomphonemoid diatoms from streams in the Sierra Nevada Mountains, California, USA[J]. *Phytotaxa*, 2016, 289 ( 2 ): 118–134.
- [21] Jahn R, Kusber WH, Skibbe O, Zimmermann J, Van AT, et al. *Gomphonella olivacea* ( Bacillariophyceae ) - a new phylogenetic position for a well-known taxon, its typification, new species and combinations[J]. *Plant Ecol Evol*, 2019, 152 ( 2 ): 219–247.
- [22] Reichardt E. Silikatauswüchse an den inneren Stigmenöffnungen bei *Gomphonema*-Arten[J]. *Diatom Res*, 2009, 24 ( 1 ): 159–173.
- [23] Reichardt E. Neue und wenig bekannte Gomphonema-Arten ( Bacillariophyceae ) mit Areolen in Doppelreihen[J]. *Nova Hedwigia*, 2007, 85 ( 1-2 ): 103–137.
- [24] Reichardt E. *Gomphonema intermedium* Hustedt sowie drei neue, ähnliche Arten[J]. *Diatom Res*, 2008, 23 ( 1 ): 105–115.
- [25] Levkov Z, Mitic-Kopanja D, Reichardt E. The diatom genus gomphonema in the republic of Macedonia[M]//Lange-Bertalot H, ed. *Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*. Oberreifenberg: Koeltz Botanical Books, 2016: 1–552.
- [26] Lange-Bertalot H, Metzeltin D. Indicators of oligotrophy-800 taxa representative of three ecologically distinct lake types, carbonate buffered-Oligodystrophic-weakly buffered soft water[M]//Lange-Bertalot H, ed. *Iconographia Diatomologica*. Königstein: Koeltz Scientific Books, 1996: 1–390.
- [27] Metzeltin D, Lange-Bertalot H. Tropical diatoms of South America I : about 700 predominantly rarely known or new taxa representative of the neotropical flora[M]//Lange-Bertalot H, ed. *Iconographia Diatomologica*. Königstein: Koeltz Scientific Books, 1998: 3–695.
- [28] Metzeltin D, Lange-Bertalot H, Soninkhishig N. Diatoms in mongolia[M]//Lange-Bertalot H, ed. *Iconographia Diatomologica*. Königstein: Koeltz Scientific Books, 2009: 3–686.

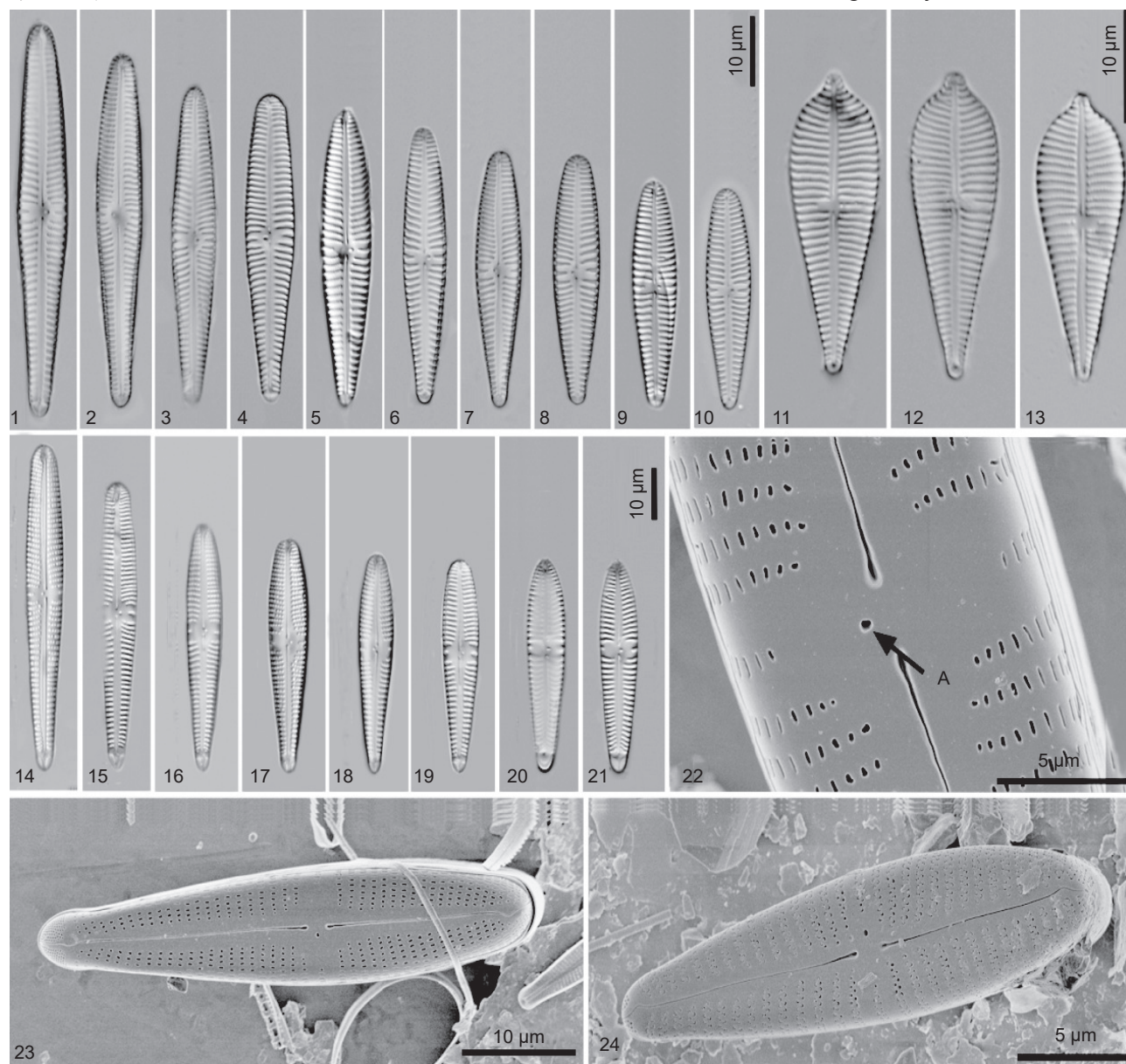




缠结异极藻头端变种、变窄异极藻和非洲异极藻。1~7、17：缠结异极藻头端变种（1~7：光镜照片。17：扫描电镜照片，外壳面观）。8~13、15~16：变窄异极藻（8~13：光镜照片。15~16：扫描电镜照片；15：中央区的外壳面观，A代表弧点；16：外壳面观）。14：非洲异极藻（光镜照片）。

***Gomphonema intricatum* var. *capitata*, *G. angustius* and *G. afrhombicum*.** 1-7, 17: *G. intricatum* var. *capitata* (1-7: Light microscopy images. 17: Scanning electron microscopy images, external valve view). 8-13, 15-16: *G. angustius* (8-13: Light microscopy images. 15-16: Scanning electron microscopy images; 15: Internal valve view of central area, A is stigma; 16: External valve view). 14: *G. afrhombicum* (Light microscopy images).

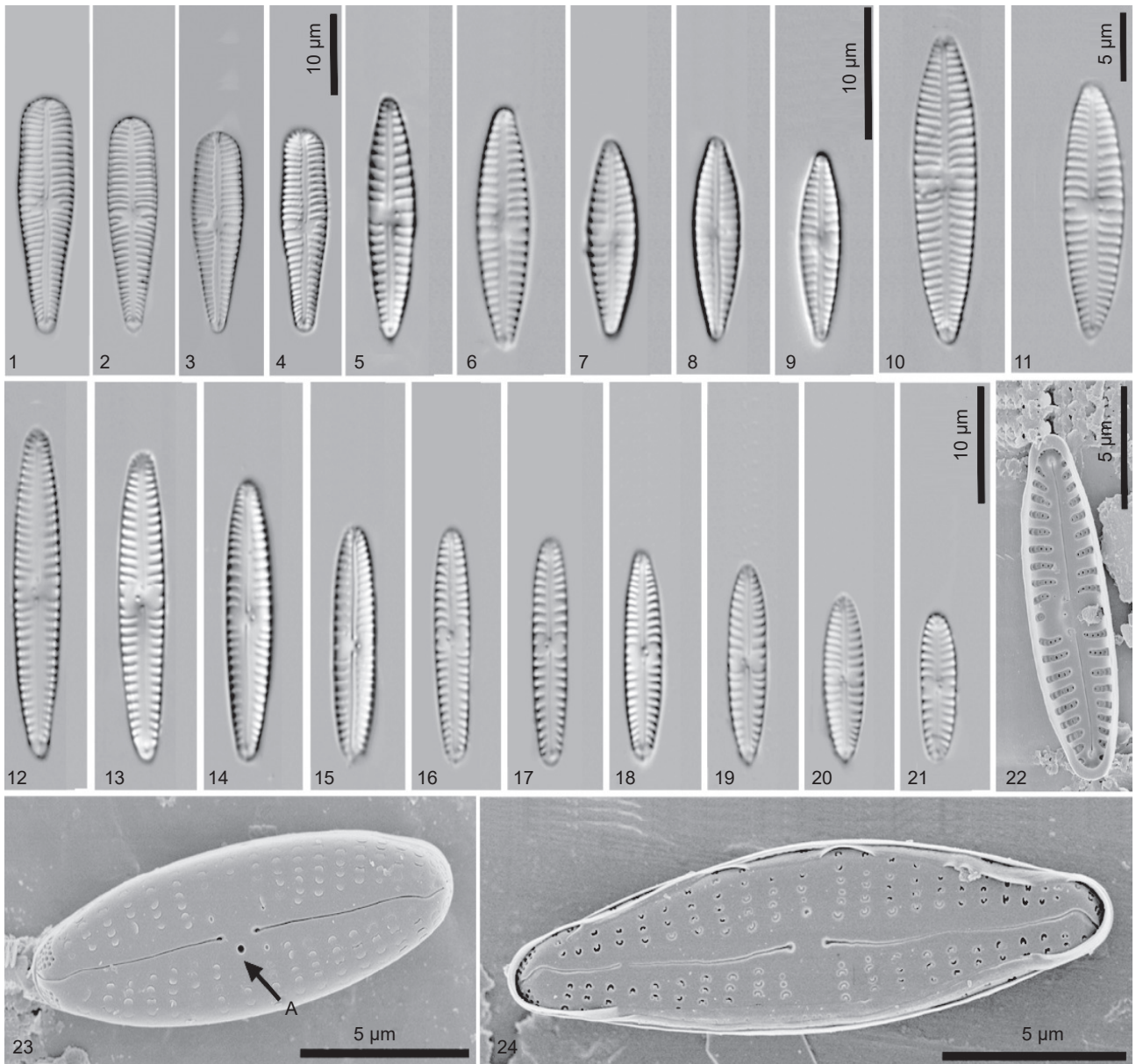
## 雍园圆等：图版 II

Yong Yuanyuan *et al.*: Plate II

假中间异极藻、尖顶型异极藻和加利福尼亚异极藻。1~10、24：假中间异极藻（1~10：光镜照片。24：扫描电镜照片，外壳面观）。11~13：尖顶型异极藻（光镜照片）。14~23：加利福尼亚异极藻（14~21：光镜照片。22~23：扫描电镜照片；22：中央区的外壳面观，A代表孤点；23：外壳面观）。

***Gomphonema pseudointermedium*, *G. auguriforme* and *G. californicum*.** 1-10, 24: *G. pseudointermedium* (1-10: Light microscopy images. 24: Scanning electron microscopy images, external valve view). 11-13: *G. auguriforme* (Light microscopy images). 14-23: *G. californicum* (14-21: Light microscopy images. 22-23: Scanning electron microscopy images; 22: Internal valve view of central area, A is stigma; 23: External valve view).



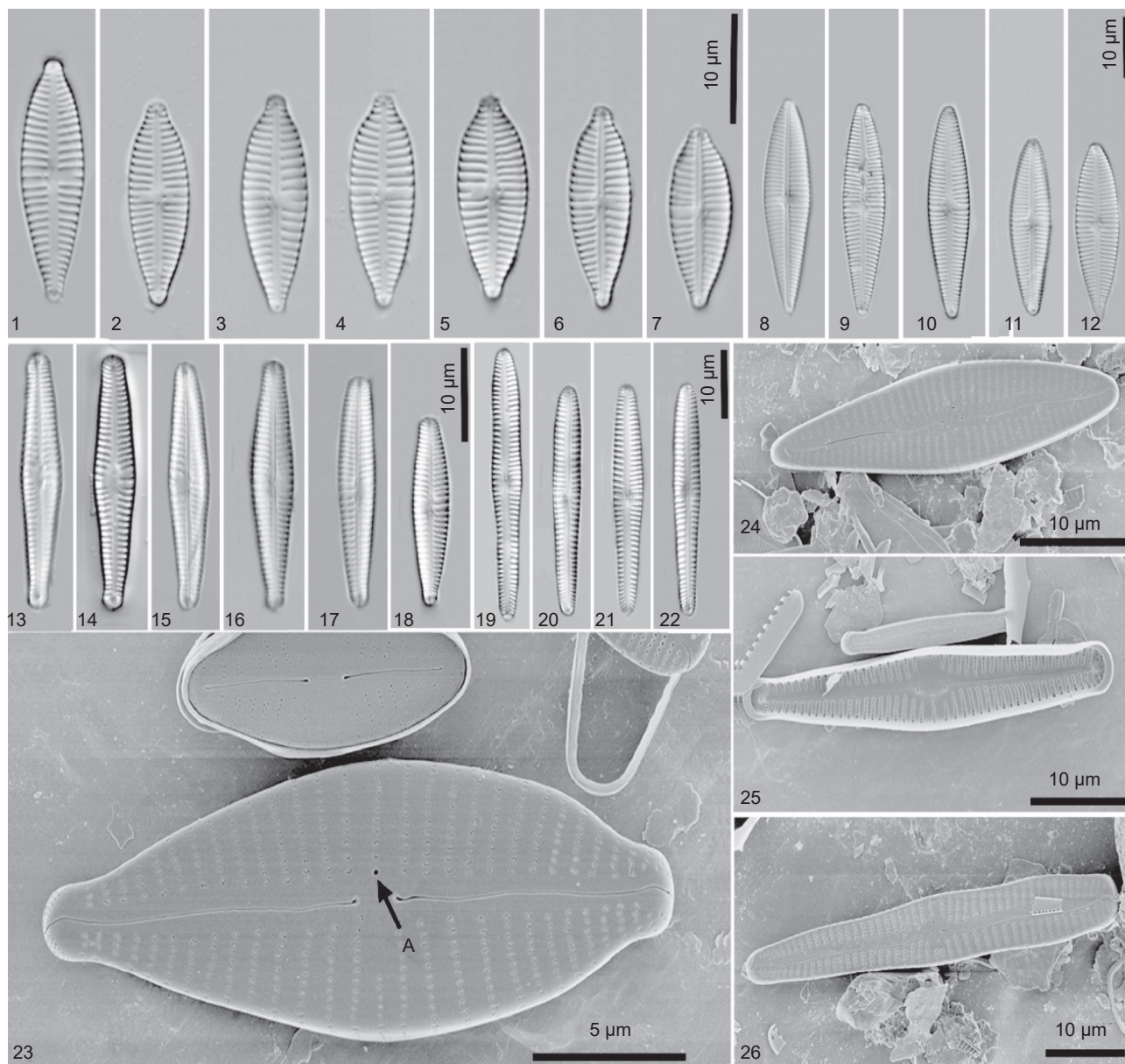


近拉蒂科尔异极藻、球顶异极藻、威尔斯科异极藻和瓦尔达异极藻。1~4: 近拉蒂科尔异极藻 (光镜照片)。5~9、24: 球顶异极藻 (5~9: 光镜照片。24: 外壳面观)。10~11: 威尔斯科异极藻 (光镜照片)。12~23: 瓦尔达异极藻 (12~21: 光镜照片。22~23: 扫描电镜照片; 22: 内壳面观; 23: 外壳面观, A 代表孤点)。

***Gomphonema sublatocollum*, *G. sphenovortex*, *G. wilschkorum*, and *G. vardarense*.** 1-4: *G. sublatocollum* (Light microscopy images). 5-9, 24: *G. sphenovortex* (5-9: Light microscopy images. 24: External valve view). 10-11: *G. wilschkorum* (Light microscopy images). 12-23: *G. vardarense* (12-21: Light microscopy images. 22-23: Scanning electron microscopy images; 22: Internal valve view; 23: External valve view, A is stigma).

## 雍园圆等：图版IV

## Yong Yuanyuan et al.: Plate IV



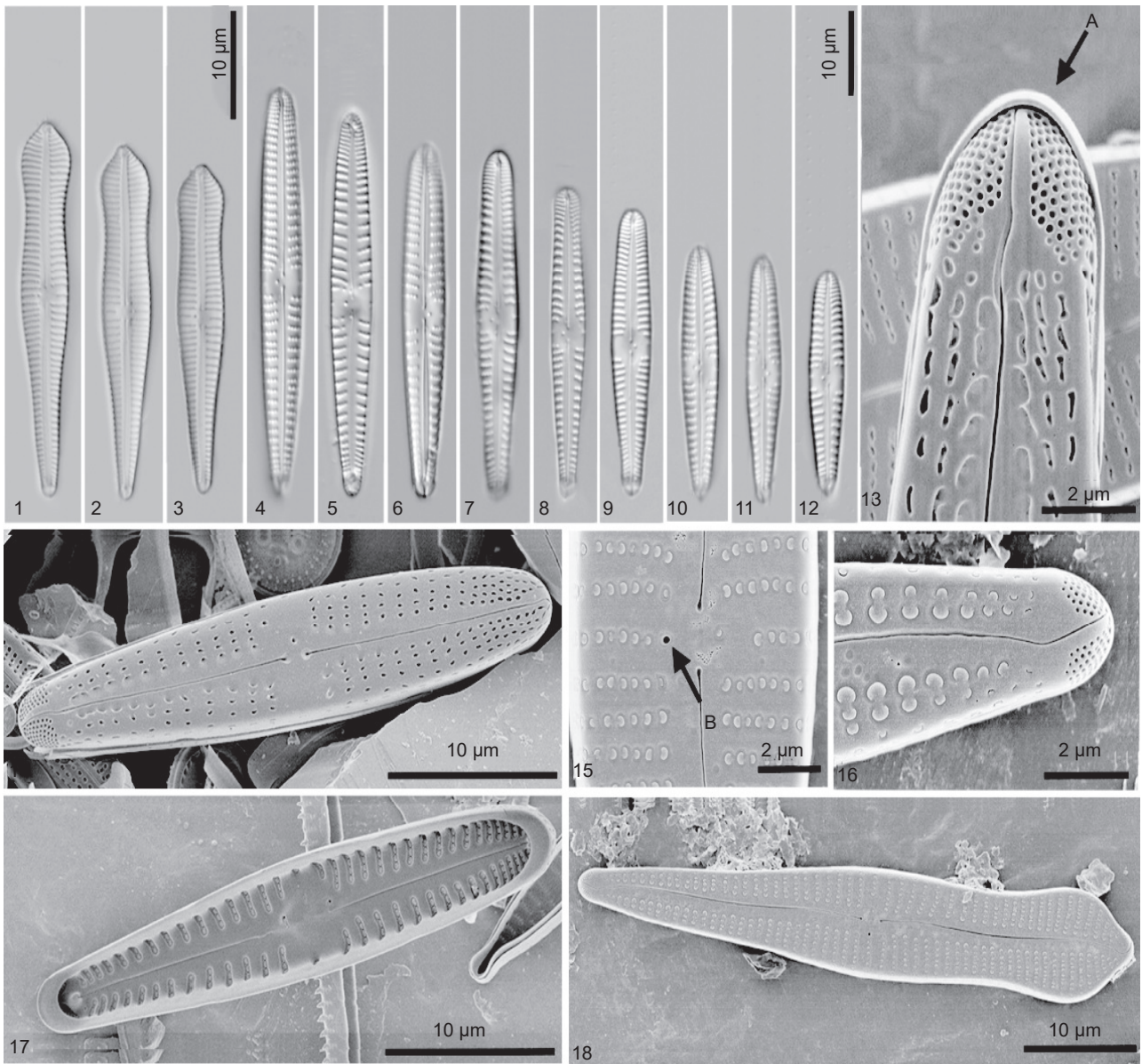
微小异极藻、细小异极藻、维多利亚异极藻和尤卡特尼异极藻。1~7、23：微小异极藻（1~7：光镜照片。23：扫描电镜照片，外壳面观，A代表孤点）。8~12、24：细小异极藻：（8~12：光镜照片。24：扫描电镜照片，外壳面观）。13~18、25：维多利亚异极藻（13~18：光镜照片。25：扫描电镜照片，内壳面观）。19~22、26：尤卡特尼异极藻（19~22：光镜照片。26：扫描电镜照片，外壳面观）。

***Gomphonema parvuliforme*, *G. parvuloides*, *G. lacus-victoriensis*, and *G. yucatanense*.** 1-7, 23: *G. parvuliforme* (1-7: Light microscopy images. 23: Scanning electron microscopy images, external valve view, A is stigma). 8-12, 24: *G. parvuloides*: (8-12: Light microscopy images. 24: Scanning electron microscopy images, external valve view). 13-18, 25: *G. lacus-victoriensis* Victoria (13-18: Light microscopy images. 25: Scanning electron microscopy images, internal valve view). 19-22, 26: *G. yucatanense* (19-22: Light microscopy images. 26: Scanning electron microscopy images, external valve view).



雍园圆等：图版 V

Yong Yuanyuan et al.: Plate V

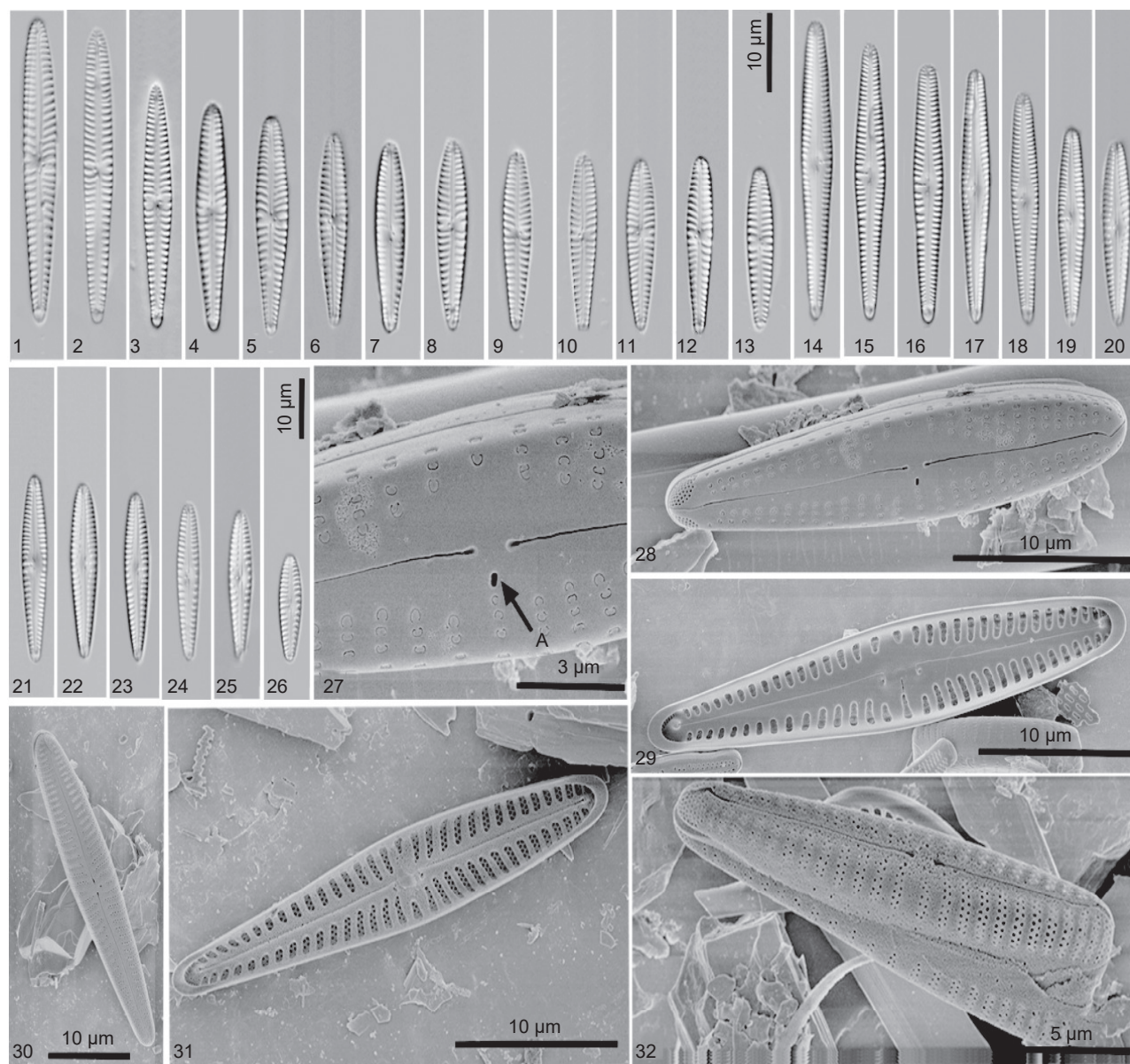


窄头异极藻和长贝尔塔异极藻。1~3、15、16、18：窄头异极藻（1~3：光镜照片。15、16、18：扫描电镜照片；15：中央区的外壳面观，B 代表弧点；16：远缝端和顶孔区的外壳面观；18：外壳面观）。4~14、17：长贝尔塔异极藻（4~12：光镜照片。13、14、17：扫描电镜照片；13：远缝端，A 代表顶孔区；14：外壳面观；17：内壳面观）。

***Gomphonema angusticephalum* and *G. lange-bertalotii*.** 1-3, 15, 16, 18: *G. angusticephalum* (1-3: Light microscopy images. 15, 16, 18: Scanning electron microscopy images; 15: Internal valve view of central area, B is stigma; 16: External valve view of distant raphe end and apical pore field; 18: External valve view). 4-14, 17: *G. lange-bertalotii* (4-12: Light microscopy images. 13, 14, 17: Scanning electron microscopy images; 13: Distant raphe end, A is apical pore field; 14: External valve view; 17: Internal valve view).

雍园圆等：图版VI

Yong Yuanyuan et al.: Plate VI



中间异极藻和中亚异极藻。1~13、30~32：中间异极藻（1~13：光镜照片。29~32：扫描电镜照片；30：外壳面观；31：内壳面观；32：带面观）。14~29：中亚异极藻（14~26：光镜照片。27~29：扫描电镜照片；27：中央区的外壳面观，A代表弧点；28：外壳面观；29：内壳面观）。

***Gomphonema intermedium* and *G. medioasiae*.** 1-13, 30-32: *G. intermedium* (1-13: Light microscopy images. 30-32: Scanning electron microscopy images; 30: External valve view; 31: External valve view; 32: Girdle view). 14-29: *G. medioasiae* (14-26: Light microscopy images. 27-29: Scanning electron microscopy images; 27: Internal valve view of central area, A is stigma; 28: External valve view; 29: Internal valve view).

（责任编辑：周媛）