

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2018.20221

李维薇, 孙金辉, 王超, Tudesque L. 珠江下游颗粒沟链藻 *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen 及形态相近种赫组基沟链藻 *Aulacoseira herzogii* (Lemmerman) Simonsen 的形态学研究[J]. 植物科学学报, 2018, 36(2): 221-228

Li WW, Sun JH, Wang C, Tudesque L. Taxonomic study of *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen and morphological similar species *Aulacoseira herzogii* (Lemmerman) Simonsen from the lower reaches of the Pearl River, China[J]. *Plant Science Journal*, 2018, 36(2): 221-228

# 珠江下游颗粒沟链藻 *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen 及形态相近种赫组基沟链藻 *Aulacoseira herzogii* (Lemmerman) Simonsen 的形态学研究

李维薇<sup>1,2</sup>, 孙金辉<sup>2</sup>, 王超<sup>1\*</sup>, Loïc Tudesque<sup>3</sup>

(1. 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 广州 510380; 2. 天津农学院, 天津市水产生态及养殖重点实验室, 天津 300384; 3. CNRS, Université Paul Sabatier, ENSFEA, IRD; UMR 5174 EDB (Laboratoire Évolution and Diversité Biologique); 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse, France)

**摘要:** 采用扫描电镜 (SEM) 技术, 对采自珠江下游的沟链藻属 2 个物种颗粒沟链藻 *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen 和赫组基沟链藻 *A. herzogii* (Lemmerman) Simonsen 的形态特征进行了观察和描述, 并与其他相近种的形态异同点进行了比较分析。

**关键词:** 沟链藻属; 分裂刺; 形态分类学; 珠江

中图分类号: Q949.27

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2018)02-0221-08

## Taxonomic study of *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen and morphological similar species *Aulacoseira herzogii* (Lemmerman) Simonsen from the lower reaches of the Pearl River, China

Li Wei-Wei<sup>1,2</sup>, Sun Jin-Hui<sup>2</sup>, Wang Chao<sup>1\*</sup>, Loïc Tudesque<sup>3</sup>

(1. Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Guangzhou 510380, China;

2. Tianjin Agricultural University, Tianjin Key Lab of Aqua-Ecology and Aquaculture, Tianjin 300384, China;

3. CNRS, Université Paul Sabatier, ENSFEA, IRD; UMR 5174 EDB (Laboratoire Évolution and Diversité Biologique); 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse, France)

**Abstract:** Taxonomic studies of two *Aulacoseira* species from the natural waters of the Pearl River, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen and *A. herzogii* (Lemmerman) Simonsen, were carried out by scanning electron microscopy. Taxonomic comparison among morphologically similar species was made based on available literature.

**Key words:** *Aulacoseira*; Separation spine; Morphological taxonomy; Pearl River

在分类学上, 某些淡水直链藻属物种如颗粒直链藻 *Melosira granulata* (Ehrenberg) Ralfs、意大利直链藻 *M. italica* (Ehrenberg) Kützing、远距直

链藻 *M. distans* (Ehrenberg) Kützing 等已经从直链藻属分离出来, 并入沟链藻属 *Aulacoseira* Thwaites<sup>[1]</sup>。沟链藻属隶属于硅藻门 (Bacillario-

收稿日期: 2017-10-26, 退修日期: 2017-11-20。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41403071)。

This work was supported by a grant from the National Natural Science Foundation of China (41403071)。

作者简介: 李维薇 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向为浮游植物分类与生态学 (E-mail: liviwozai@foxmail.com)。

\* 通讯作者 (Author for correspondence. E-mail: chaowang80@163.com)。

phyta)、中心纲(Centricae)、圆筛藻目(Coscinodiscales)、海链藻科(Thalassiosoraceae), 该属主要是淡水种类, 是组成化石硅藻植物群的重要成分, 在地层划分、对比上是不可缺少的生物依据<sup>[1]</sup>。目前国内外对沟链藻属的研究主要集中于基础性研究, 对分类、多样性和种群生态学方面的研究较多<sup>[2]</sup>。虽然沟链藻属植物分布范围很广, 但目前研究所涉及的区域相对狭窄, 主要集中在淡水湖泊和江河流域<sup>[2]</sup>。

颗粒沟链藻 *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen 隶属于沟链藻属, 是珠江中下游浮游植物群落中的主要优势种<sup>[3,4]</sup>, 对群落生物量的最大贡献可达 96.8%<sup>[5]</sup>。该物种喜好富营养化且有一定波动的水环境, 因此在世界上其他大的江河流域容易形成单一优势种<sup>[6-8]</sup>。目前, 国外有关沟链藻属的研究较多, 主要涉及分类学<sup>[9-11]</sup>和生态学<sup>[12-14]</sup>; 国内开展相关研究较少, 主要有王超等对珠江下游水域颗粒沟链藻的种群生态学<sup>[5,15]</sup>及其形态特征的水环境指示功能<sup>[16,17]</sup>进行的研究, 发现颗粒沟链藻的生态及形态特征与水环境变化之间存在密切的关联性。从分类学角度来看, 沟链藻属中的部分种类因末端细胞壳盘缘具有长形刺(也称分裂刺, 以下简称长刺)而较易与沟链藻属其他种类或链状硅藻相区分, 但在光学显微镜下除末端长刺之外的其他形态特征差异并不显著。作者前期研究发现, 在光学显微镜下珠江中下游水体中存在颗粒沟链藻的形态相近种(末端细胞壳盘缘具长刺), 但仅凭光镜下的形态特征并不能确定到种, 且易与颗粒沟链藻混淆。因此, 本研究采用扫描电镜技术, 对该水域沟链藻属物种的形态特征进行仔细观察研究, 旨在弄清沟链藻属物种的形态特征及与相近种的区别, 进一步丰富沟链藻属形态特征及物种多样性研究。

## 1 材料与方法

用 25 号浮游生物网在珠江下游的多个站位采集藻类定性样本, 现场用鲁格氏液固定。带回实验室, 经过多次静止、沉淀, 浓缩到 5 ~ 10 mL。在浓缩后的样品中加入等体积的浓硫酸(或浓盐酸), 于水浴中煮沸 15 ~ 20 min(具体时间可根据有机质含量的多少而定), 然后加入蒸馏水多次水洗至中性<sup>[18]</sup>。

扫描电镜(SEM)观察在法国图卢兹第三大学电镜室进行。吸取一定体积的酸化处理样品, 滴加在 SEM 铜台上, 自然晾干后, 用 Leica EM MED020 喷射仪喷金, 然后在 Quanta™ 250 FEG SEM 下进行观察和拍照。

## 2 种类形态描述

### 2.1 颗粒沟链藻(图版 I、图版 II: 9 ~ 12)

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen Martin & Richard, 1986, p. 146–147, fig. 1–8.

颗粒沟链藻的藻链细胞组成包括端细胞和连接细胞 2 种。其中, 端细胞的壳盘缘具长刺, 同时起分裂作用, 因此端细胞也称分裂细胞, 末端长刺也称分裂刺。连接细胞只具有壳盘缘小短刺(也称连接刺, 简称短刺)。电镜观察结果显示, 藻链中部由同种藻壳成对连接而成, 部分被环带覆盖(图版 II: 9)。壳体圆柱形, 壳体高 8 ~ 17  $\mu\text{m}$ , 直径 6 ~ 12  $\mu\text{m}$ , 高与直径比值大于 0.8。壳套面上线纹密度为 10  $\mu\text{m}$  内 8 ~ 12 条, 在端细胞上线纹形状近乎笔直(图版 I: 1 ~ 6), 在连接细胞上线纹呈向右微旋(图版 I: 7、8)。点纹密度为 10  $\mu\text{m}$  内 6 ~ 16 个, 常呈椭圆形或方形。连接细胞中清晰可见点纹内部被分枝孔板占据, 部分被膜复合体覆盖(图版 I: 7、8)。端细胞壳盘缘的分裂刺起源于两个贯壳肋纹。分裂刺长刺的长度范围为 4.5 ~ 17  $\mu\text{m}$ , 偶见 2 ~ 3 个分裂刺的长度与壳体的高几近相等(图版 I: 1 ~ 6)。环沟较浅, 颈部窄(图版 II: 11、12)。壳套面上沿线纹有卷起的唇形突, 位于环沟附近, 距颈部 2 ~ 3 个点纹之间(图版 II: 11、12)。连接细胞壳盘缘的连接刺源于每个贯壳肋纹末端, 刺短, 呈有凹口的三角状, 每个连接刺表面有一个凸斑(图版 I: 7、8)。

生境: 从中营养至富营养水体均有分布, 是江河流域及浅水湖泊中的优势种<sup>[19-22]</sup>。

采样点: 珠江下游。

### 2.2 赫组基沟链藻(图版 II: 13 ~ 16)

*Aulacoseira herzogii* (Lemmerman) Simonsen B. Hickel & H. Håkansson, 1991, p. 301–303, fig. 1–23.

壳体呈圆柱形, 通常由 2 个壳体形成短的链状群体。壳体直径 5 ~ 7  $\mu\text{m}$ , 高 18 ~ 20  $\mu\text{m}$ 。高与直径比值大于 2。壳套笔直, 壳套面上具细小点

纹，密度为 10 μm 内 28 ~ 32 个，电镜下观察形状不规则(图版 II：13、14)。线纹呈直线型，密度为 10 μm 内 24 ~ 27 条。观测样本中的壳盘缘长刺均为 2 个，长度为 15 ~ 21 μm。壳套面上存在与长刺对应的刺痕，其上无点纹，2 个长刺在壳面上位置相对，于壳套表面延伸至相邻壳体的刺痕中(图版 II：15)。小而尖的刺源于每个肋纹末端(图版 II：13、14)。

生境：淡水浮游生活。

采样点：珠江下游。

3 讨论

3.1 颗粒沟链藻形态特征与历史资料的对比

基于对颗粒沟链藻形态特征的电镜观察，以及对历史资料的整理归纳，对颗粒沟链藻形态特征及与其他相近种进行了比较(表 1)。端细胞壳盘缘长刺是颗粒沟链藻的显著特征<sup>[23]</sup>，其长度与壳体的高度几近相等，与历史资料描述的结果吻合<sup>[24]</sup>。此外，偶有壳盘缘刺的长度介于长刺和短刺之间(图版 I：2、5)。观察发现，壳套面仅存在与长刺

表 1 颗粒沟链藻、赫组基沟链藻的形态特征及与其相近种的比较  
Table 1 Comparison of the morphological characteristics of *Aulacoseira granulata*, *A. herzogii*, and similar species from available literature

形态特征 Morphological characteristics		颗粒沟链藻 <i>A. granulata</i>	赫组基沟链藻 <i>A. herzogii</i>	模糊沟链藻 <i>A. ambigua</i>	木扎尼斯沟链藻 <i>A. muzzanensis</i>	颗粒沟链藻极狭变种 <i>A. granulata</i> var. <i>angustissima</i>
壳面直径 Valve diameter (μm)		6~12	5~7	5~9	9~24	3~4.5
壳体高 Mantle height (μm)		8~17	18~21	6~19	5~13	11.5~17
高与直径比值 Ratio of mantle height to valve diameter		> 0.8	≥ 2	> 1	< 1.2	> 3.2
密度 Density (10 μm)	点纹 Areolae	6~16 个	28~32 个	10~20 个	20 个	—
	线纹 Striae	8~12 条	24~27 条	14~18 条	11~13 条	10~20 条
形状 Shape	点纹 Areolae	微方的圆形或椭圆形，大，有二列现象	细小	近壳盘缘刺处为椭圆形，端细胞点纹粗糙	粗糙无序，偶见方形或者椭圆形，有二列现象	圆形或方形
	端细胞线纹 Striae of separation valve	直线形	直线形	右旋	直或右旋	直或右斜
	连接细胞线纹 Striae of linking valve	向右倾斜或微旋	直线形	右旋	右旋	右旋
环沟 Sulcus		实体且浅	浅	中空，光镜下可见的，近颈部处的“U”型结构	实体且浅	实体且浅
长刺 Long spine		2~3 个	2 个	无	1~2 个	1~2 个
形态 Morphology	连接刺 Linking spine	有凹口的三角形	无	短，有凹口的三角形	有凹口的三角形	短，分岔状
	分裂刺 Separation spine	均为尖锐的锥形	短刺不规则，长刺尖锐	小而尖，长度相等	长的分裂刺与壳体相等	均为锥形
唇形突 Rimoportula		位于距颈部 2~3 个点纹	—	线纹末端、近颈部处有 1~4 个，窄	位于距颈部 1~3 个点纹	—

对应的刺痕,未发现与此类中等长度端刺对应的刺痕,因此推测此类中等长度端刺出现于端细胞分裂之后。此种形态特征的变化是否与环境变化有关,仍需进一步的观察研究。从数量上看,观测到的端细胞分裂刺数量为2~3个(图版I:1~6),在《中国淡水藻志》(第4卷)记载中,仅能从图解上看出具有3个分裂刺<sup>[1]</sup>。结合观测到的中等长度端刺,推测在端细胞分裂之后,个别小刺受环境变化的影响继续生长,最终成为长刺。此外,颗粒沟链藻连接细胞壳套面点纹偶有二列现象(图版I:8),进一步增加了其与形态相近种木扎尼斯沟链藻 *Aulacoseira muzzanensis* (Meister) Krammer 的鉴别难度<sup>[25]</sup>。

### 3.2 赫组基沟链藻形态特征与历史资料的对比

观察发现(表1),赫组基沟链藻端细胞壳盘缘具2个等长的长刺,长度与壳体高度几近相等,2个长刺在壳盘面上呈对称分布。与Hickel和Håkansson<sup>[26]</sup>观察到的短链上有2个分裂刺、在长链中有2~4个长刺的结果一致。本实验观察到,赫组基沟链藻壳体直径5~7 μm、高17~21 μm,此结果与Hickel和Håkansson<sup>[26]</sup>的观察结果(壳体直径3.5~9 μm、高11~19 μm)以及Hustedt<sup>[27]</sup>的观察结果(壳体直径3.5~15 μm、高11~17 μm)稍有差别。在《中国淡水藻志》(第4卷)中并无赫组基沟链藻的记载,并且国内到目前为止未见有关赫组基沟链藻研究的文献。

### 3.3 颗粒沟链藻与赫组基沟链藻的形态特征对比

从细胞组成上看,颗粒沟链藻的藻链由2种细胞组成,即具分裂刺的端细胞和具连接刺的连接细胞<sup>[28,29]</sup>;而赫组基沟链藻的藻链仅由1种细胞组成,即具长刺的端细胞<sup>[30]</sup>,具备分裂和连接的双重功能<sup>[31]</sup>。从细胞大小来看,颗粒沟链藻壳体直径(6~12 μm)大于赫组基沟链藻(5~7 μm);但颗粒沟链藻壳体高度(8~17 μm)显然小于赫组基沟链藻壳体(18~20 μm)(表1)。

从端细胞壳盘缘长刺的比较来看,相同点为:当分裂刺均为2个时,颗粒沟链藻和赫组基沟链藻的分裂刺长度均与自身壳体高度基本相等,且在壳盘面上呈对称分布。不同点为:(1)颗粒沟链藻端细胞的分裂刺数量常为2~3个,而赫组基沟链藻的分裂刺均为2个;(2)颗粒沟链藻的端细胞壳盘缘存在长度介于长刺与短刺之间的不规则刺,而赫

组基沟链藻仅具有规则的长刺和短刺。

从两者端细胞壳盘缘小刺的形态特征比较来看:(1)形状上,颗粒沟链藻藻链中即将发生分离状态的端细胞(图版II:9、10)的壳盘缘小刺形状与连接细胞上的连接刺的形状(图版I:7、8)相似,均为有凹口的三角形,而与独立状态下单个端细胞壳盘缘较小的锥形分裂刺形状(图版I:1~6)差异很大;赫组基沟链藻的分裂刺小刺形状不规则。(2)长度上,颗粒沟链藻端细胞壳盘缘小刺的长度均超出壳盘面,而赫组基沟链藻的小刺未超出壳盘面(图版I:1~6)。

从细胞表面纹饰的比较来看:(1)颗粒沟链藻壳套面点纹有椭圆形、方形<sup>[32]</sup>,显著大于赫组基沟链藻的点纹尺寸(图版II:13~16)。(2)颗粒沟链藻的2种细胞壳套面线纹排列不一<sup>[20]</sup>,端细胞表面线纹常呈直线型(图版I:1~6),而连接细胞壳套面线纹向右微旋(图版I:7、8);赫组基沟链藻端细胞壳套面的线纹,均为与贯壳轴平行的直线形(图版II:13~16)。(3)壳盘缘刺的起源,颗粒沟链藻端细胞的长刺与小刺均源于两个贯壳肋纹(图版I:1~6);赫组基沟链藻端细胞分裂刺小刺源于壳套上每个贯壳肋纹,而长刺源于壳盘面边缘(图版II:13~16)。

### 3.4 颗粒沟链藻、赫组基沟链藻与其他形态相近种的比较

沟链藻属物种的形态分类依据主要是:壳体高与直径比值<sup>[20]</sup>、点纹形状及大小、点纹的贯壳线纹纹饰<sup>[33]</sup>、唇形突位置、连接刺和分裂刺<sup>[20]</sup>的形态等。据此,对本研究中沟链藻属的2个物种及其形态相近种进行了对比分析(表1)。

颗粒沟链藻与木扎尼斯沟链藻的形态特征相似,重叠特征多<sup>[20]</sup>,难以区别,但仔细观察可见,木扎尼斯沟链藻壳套面点纹相较于颗粒沟链藻更粗糙、无序,且壳体高与直径的比值更小些,据此特征可将两者区分开<sup>[30]</sup>。颗粒沟链藻极狭变种 *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (Otto Müller) Simonsen 的细胞狭长,壳体高与直径的比值相较于颗粒沟链藻要大得多。颗粒沟链藻连接细胞的辨认,也易与模糊沟链藻 *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen 相混淆,但模糊沟链藻有典型的中空、“U”型环沟结构<sup>[34]</sup>;模糊沟链藻的端细胞没有长刺,分裂刺尖而小、等长;此外颗粒沟

链藻的连接刺相比模糊沟链藻更小<sup>[20]</sup>。赫组基沟链藻仅具有端细胞, 其壳体高与直径比值较大 ( $> 2$ ), 壳盘面点纹更为细小, 光镜下几乎不可分辨, 纹线为与贯壳轴平行的直线形, 赫组基沟链藻与沟链藻属中一些物种, 如 *Aulacoseira brasiliensis* Tremarin, Torgan et T. Ludwig<sup>[30]</sup> 和 *Aulacoseira pusilla* (F. Meister) Tuji et Houki<sup>[35]</sup> 一样也没有连接刺。

## 参考文献:

- [1] 齐雨藻. 中国淡水藻志: 第4卷: 硅藻门, 中心纲[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 13-17.
- [2] 王超, 刘杨, 李新辉, 赖子尼. 基于文献计量学的直链藻属的研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36(16): 5276-5283.  
Wang C, Liu Y, Li XH, Lai ZN. Trends in *Aulacoseira* and *Melosira* research derived from a bibliometric analysis[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(16): 5276-5283.
- [3] 王超, 赖子尼, 李新辉, 高原, 李跃飞, 余煜棉. 西江下游浮游植物群落周年变化模式[J]. 生态学报, 2013, 33(14): 4398-4408.  
Wang C, Lai ZN, Li XH, Gao Y, Li YF, Yu YM. Annual variation pattern of phytoplankton community at the downstream of Xijiang River[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(14): 4398-4408.
- [4] 王超, 李新辉, 赖子尼, 曾艳艺, 高原, 刘乾甫, 杨婉玲. 珠三角河网浮游植物生物量的时空特征[J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5835-5847.  
Wang C, Li XH, Lai ZN, Zeng YY, Gao Y, Liu QF, Yang WL. Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(18): 5835-5847.
- [5] 王超, 赖子尼, 李跃飞, 李新辉, Sovan Lek, 洪颐, 谭细畅, 李捷. 西江颗粒直链藻种群生态特征[J]. 生态学报, 2012, 32(15): 4793-4802.  
Wang C, Lai ZN, Li YF, Li XH, Lek S, Hong Y, Tan XC, Li J. Population ecology of *Aulacoseira granulata* in Xijiang River[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(15): 4793-4802.
- [6] Lewis WM Jr, Hamilton SK, Saunders JF. Rivers of Northern South America[M]//Cushing CE, Cummins KW, Minshall GW, eds. River and Stream Ecosystems. Amsterdam: Elsevier, 1995.
- [7] O'Farrell I, Izaguirre I, Vinocur A. Phytoplankton ecology of the lower Paraná River (Argentina)[J]. *Fund Appl Limnol*, 1996, 11(1): 75-89.
- [8] Domitrovic YZD, Devercelli M, Emiliani MOGD. Phytoplankton[M]//Iriondo MH, Paggi JC, Parma MJ, eds. The Middle Paraná River. Berlin Heidelberg: Springer, 2007: 175-203.
- [9] Usoltseva MV, Tsoy IB. Elliptical species of the freshwater genus *Aulacoseira* in Miocene sediments from Yamato Rise (Sea of Japan)[J]. *Diatom Res*, 2010, 25(2): 397-415.
- [10] Tremarin PI, Ludwig TAV, Torgan LC. Four new *Aulacoseira* species (Coscinodiscophyceae) from Matogrossense Pantanal, Brazil[J]. *Diatom Res*, 2014, 29(2): 183-199.
- [11] Mohan J, Stone JR, Campisano CJ. Three novel species of Bacillariophyta (Diatoms) belonging to *Aulacoseira* and *Lindavia* from the Pliocene Hadar Formation, Afar Depression of Ethiopia[J]. *Phytotaxa*, 2016, 272(4): 235-247.
- [12] Mccausland MA, Thompson PA, Blackburn SI. The effect of changes in light availability caused by mixing on the growth of *Anabaena circinalis* (Nostocales, Cyanobacteria) and *Aulacoseira* sp. (Centrales, Bacillariophyceae)[J]. *Phycologia*, 2002, 40(6): 530-541.
- [13] Horn H, Paul L, Horn W, Petzoldt T. Long-term trends in the diatom composition of the spring bloom of a German reservoir: is *Aulacoseira* subarctica, favoured by warm winters? [J]. *Freshwater Biol*, 2011, 56(12): 2483-2499.
- [14] Bicudo DC, Tremarin PI, Almeida PD, Zorzal-Almeida S, Wengrat S, et al. Ecology and distribution of *Aulacoseira* species (Bacillariophyta) in tropical reservoirs from Brazil[J]. *Diatom Res*, 2016, 31(3): 199-215.
- [15] Wang C, Li XH, Lai ZN, Tan XC, Pang SX, Yang WL. Seasonal variations of *Aulacoseira granulata* population abundance in the Pearl River Estuary[J]. *Estuar Coast Shelf S*, 2009, 85(4): 585-592.
- [16] Wang C, Baehr C, Lai ZN, Gao Y, Lek S, Li XH. Exploring temporal trend of morphological variability of a dominant diatom in response to environmental factors in a large subtropical river[J]. *Ecol Inform*, 2015, 29: 96-106.
- [17] Wang C, Lek S, Lai ZN, Tudesque L. Morphology of *Aulacoseira* filaments as indicator of the aquatic environment in a large subtropical river: the Pearl River, China[J]. *Ecol Indic*, 2017, 81: 325-332.
- [18] 程兆第, 高亚辉, 刘师成. 福建沿岸微型硅藻[M]. 北京: 海洋出版社, 1993: 91.
- [19] Dam HV, Mertens A, Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands[J]. *Aquat Ecol*, 1994, 28(1): 117-133.
- [20] Siver PA, Kling H. Morphological observations of *Aulacoseira* using scanning electron microscopy[J]. *Can J Bot*, 1997, 75(11): 1807-1835.
- [21] Trifonova I, Genkal S. Species of the genus *Aulacoseira* Twaites in lakes and rivers of north-western Russia-distribution and ecology[C]//Economou-Amilli A ed. Procee-

dings 16 International Diatom Symposium. Athens: Amvro-siou Press, 2001; 315–323.

[22] Barinova SS, Medvedeva LA, Anissimova OV. Diversity of Algal Indicators in Environmental Assessment [M]. Tel Aviv-Yafo; Pilies Studio, 2006.

[23] Bahls L, Potapova M, Fallu MA, Pienitz R. *Aulacoseira canadensis* and *Aulacoseira crassipunctata* (Bacillario-phyta) in North America [M]//Kociolek JP, Theriot EC, Stevenson RJ, eds. Diatom Taxonomy, Ultrastructure and Ecology; Modern Methods and Timeless Questions. Berlin-Stuttgart: Gebrueder Borntraeger, 2009: 65–74.

[24] Manoylov KM, Biological DO, Ognjanovrumenova N, Stevenson RJ. Morphotype variations in subfossil diatom species of *Aulacoseira* in 24 Michigan Lakes, USA [J]. *Acta Bot Croat*, 2009, 68(2): 223–241.

[25] Krammer K. Morphology and taxonomy of some taxa in the genus *Aulacoseira* Thwaites (Bacillariophyceae). II: Taxa in the *A. granulate*-, *italica*- and *lirata*- groups [J]. *Nova Hedwigia*, 1991, 53(3): 477–496.

[26] Hickel B, Håkansson H. The freshwater diatom *Aulacosei-ra herzogii* [J]. *Diatom Res*, 1991, 6(2): 299–305.

[27] Hustedt F. Neue und Wenig Bekannte Diatomeen IV [J]. *Bot Notiser*, 1952: 366–410.

[28] Crawford RM. Filament formation in the diatom genera *Melosira* C. A. Agardh and *Paralia* Heiberg [J]. *Nova Hed-wigia*, 1979, 64: 121–133.

[29] Florin MB. The fine structure of some pelagic freshwater species under the scanning electron microscope I [J]. *Svensk Bot Tidskr*, 1970, 64: 51–64.

[30] Tremarin PI, Ludwig TAV, Torgan LC. Ultrastructure of *Aulacoseira brasiliensis* sp. nov. (Coscinodiscophyceae) and comparison with related species [J]. *FOTTEA*, 2012, 12(2): 171–188.

[31] Houk V, Klee R. Atlas of freshwater centric diatoms with a brief key and descriptions. Part II. Melosiraceae and Au-lacoseiraceae (Supplement to Part I) [J]. *FOTTEA*, 2007, 7(2): 85–255.

[32] Crawford R. The velum of species of the diatom genus *Aulacoseira* Thwaites [C]//John J ed. Proceedings of the 15th International Diatom Symposium. Koenigstein: Koeltz Sci Publ, 2002.

[33] Takano H. Notes on twisting of diatom colonies [J]. *Tokai Regional Fish Res Lab*, 1981, 104: 27–32.

[34] Tremarin PI, Ludwig T, Torgan L. Morphological variation and distribution of the freshwater diatom *Aulacoseira am-bigua* (Grunow) Simonsen in Brazilian continental environ-ments [J]. *Iheringia Ser Bot*, 2013, 68(1): 139–157.

[35] Meister F. Die Kieselalgen der Schweiz [J]. *Beiträge zur Kryp-togamenflora der Schweiz*, 1912, 4(1): 1–254.

图 版 说 明

图版 I：颗粒沟链藻的端细胞（分裂细胞）和连接细胞。1 ~ 6：壳环面观；7：连接细胞；8：7 的放大照片。箭头 1 示长分裂刺；箭头 2 示壳套面长刺沟槽；箭头 3 示壳套面点纹形状；箭头 4 示环带；箭头 5 示点纹内部的分支孔板；箭头 6 示连结刺，连结刺上有凸斑；箭头 7 示点纹二列现象。

图版 II：颗粒沟链藻的藻链和具唇形突的端细胞（9 ~ 12），赫组基沟链藻形态特征（13 ~ 16）。9：包含 2 个即将分离端细胞的藻链；10：9 的放大图片；11：具唇形突的颗粒沟链藻端细胞；12：11 的放大图片，示壳内面观；13 ~ 16：壳环面观。箭头 8 示 2 个准备分离的端细胞；箭头 9 示壳套面上距颈部 2 ~ 3 个点纹处的 1 个唇形突；箭头 10 示窄的颈部；箭头 1' 示长的分裂刺；箭头 2' 示环带；箭头 3' 示壳面细小的点纹，线纹直线形且与贯壳轴平行；箭头 4' 示无点纹长刺沟槽。

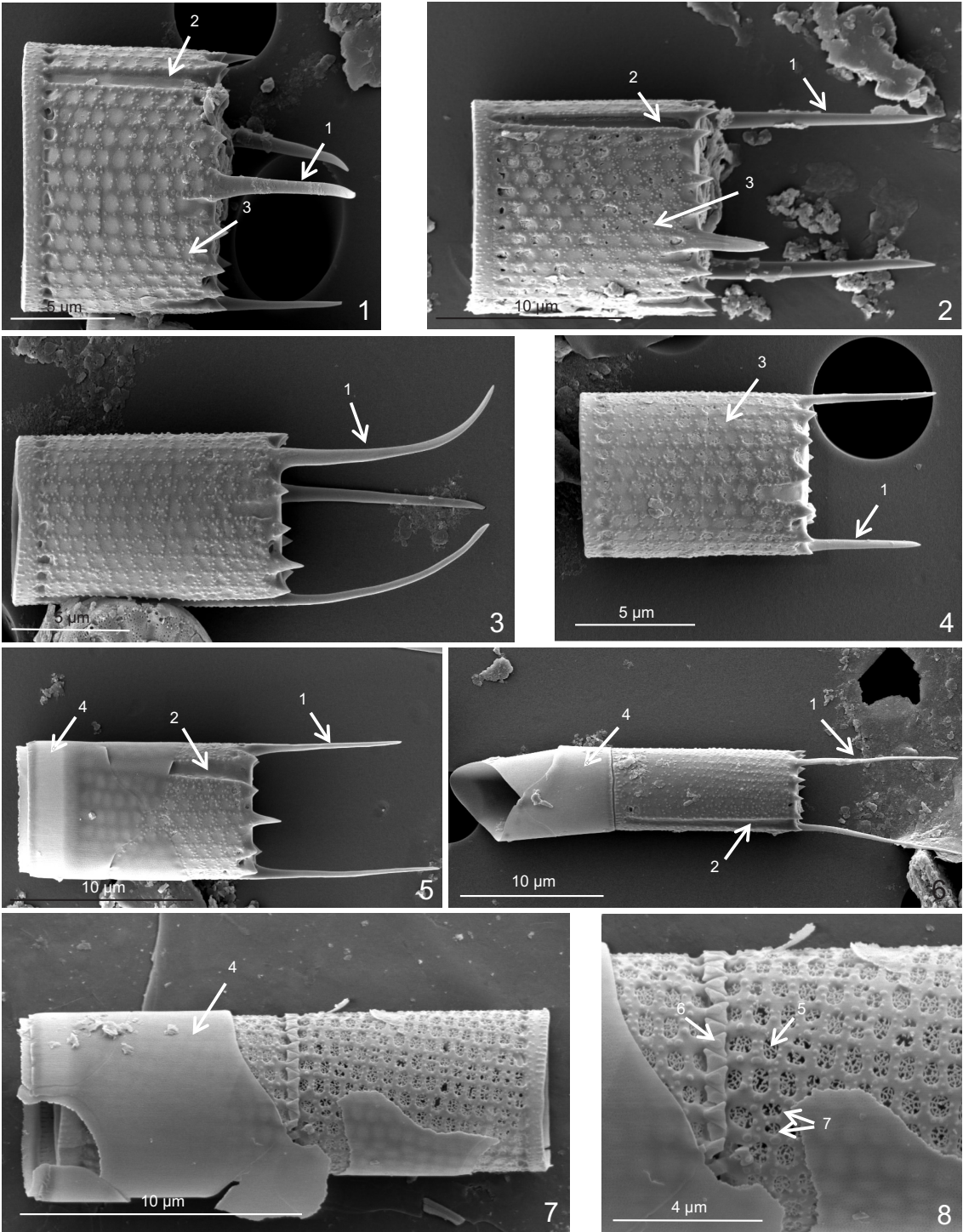
Explanation of plate

Plate I：Separation and linking valves of *Aulacoseira granulata*. 1 – 6: Girdle views of separation valves; 7: Linking valves; 8: Close-up of Fig. 7. Arrows 1: Long separation spines; Arrows 2: Long spine groove for insertion of long spine of adjacent separation valve; Arrows 3: Rows of areolae running parallel on valve mantle; Arrows 4: Girdle bands; Arrow 5: Areolae occluded by delicate vola; Arrow 6: Linking spines, with bullula on notched triangular linking spine; Arrow 7: Rows of mantle areolae appear as biseriate.

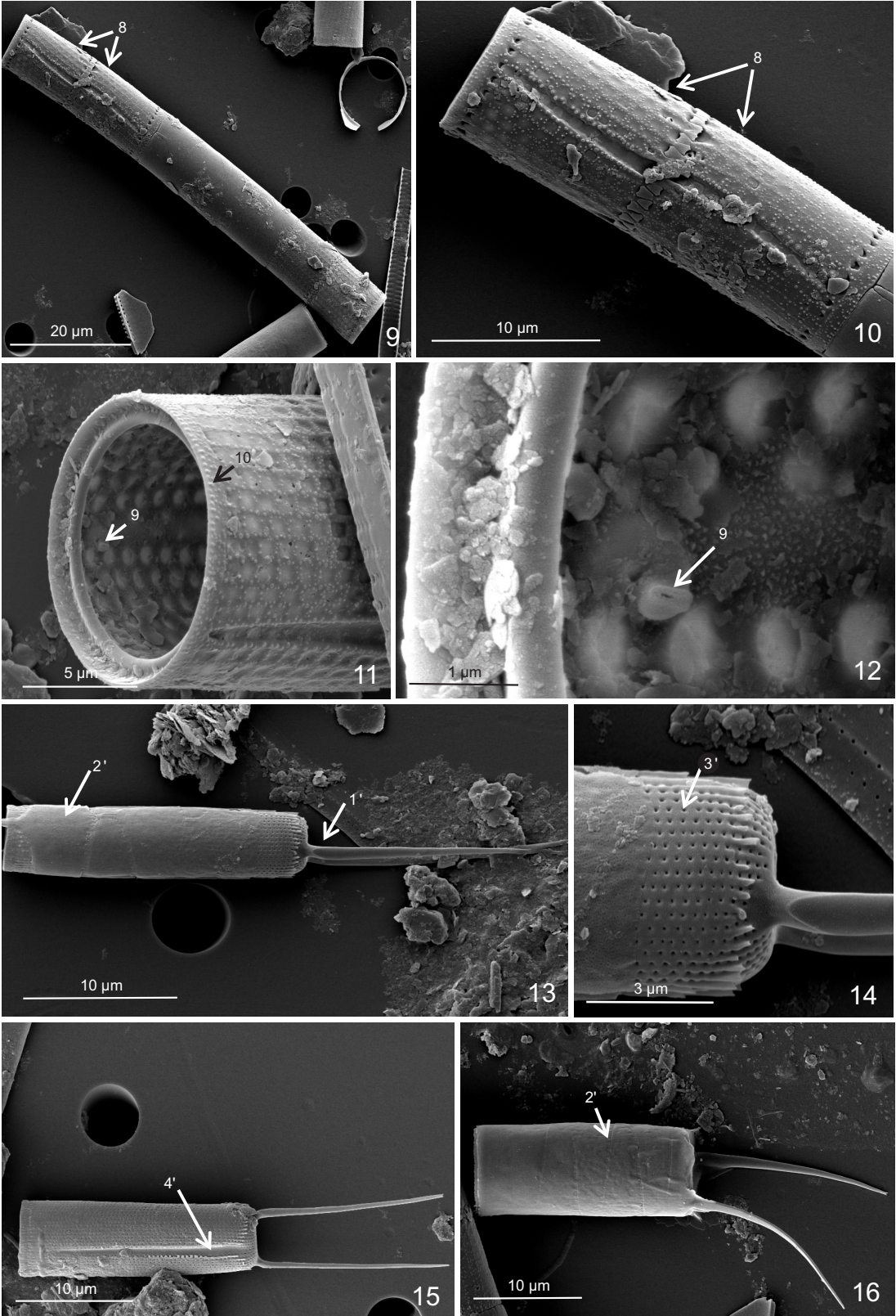
Plate II：Filament of *A. granulata* and separation valve with rimoportulae (9–12), *Aulacoseira herzogii* (13–16). 9: Filament consists of two separation valves that will divide; 10: Close-up of Fig. 9; 11: Separation valve with rimoportulae; 12: Close-up of Fig. 11, inside valve view; 13 – 16: Girdle views. Arrows 8: Two separation valves will divide; Arrows 9: Rimoportulae, closing to second or third row of areolae from the collum; Arrow 10: Narrow collum; Arrow 1': Long separation spines; Arrows 2': Girdle bands; Arrow 3': Small simple areola on mantle face, rows of areolae straight and parallel to pervalvar axis; Arrow 4': Long spine groove without areolae.

李维薇等：图版 I

Li Wei-Wei et al.: Plate I



See explanation at the end of text



See explanation at the end of text