

# 中国蛭态轮虫亚纲 6 种新记录种记述

汪文博 李莹 王晓妍 王庆\*

暨南大学生态学系 广州 510632

**摘要:** 轮虫是浮游动物的重要组成部分, 蛭态轮虫作为轮虫动物门的重要类群, 因其孤雌生殖、低湿休眠和水平基因转移的特性成为国际上的研究热点。蛭态轮虫物种的形态学鉴定是进行其生态学、分子生物学和基因工程研究的基础, 具有重要意义。本研究以广东白云山和火炉山为调查区域, 共发现蛭态轮虫中国新记录科 1 科, 即原轮科 (*Philodinavidae* Harring, 1913), 新记录属 2 属, 即原盘轮属 (*Henoceros* Milne, 1916) 和双趾轮属 (*Didymodactylos* Milne, 1916), 以及新记录种 6 种, 包括有尾原盘轮虫 [*H. caudatus* (Hauer, 1937)]、巨趾原盘轮虫 [*H. falcatus* (Milne, 1916)]、多肉双趾轮虫 [*D. carnosus* (Milne, 1916)]、皇家敖突轮虫 [*Otostephanos regalis* (Milne, 1916)]、圆腹粗颈轮虫 [*Macrotrachela kallosoma* (Schulte, 1954)] 以及长肌宿轮虫 [*Habrotrocha longiceps* (Murray, 1906)]。通过显微照片和模式图详细记述了新记录种的形态结构特征。本研究丰富了我国蛭态轮虫的物种记录, 同时也为后续应用研究提供基础资料和分类参考。

**关键词:** 蛭态轮虫; 物种多样性; 轮虫分类; 新记录种; 形态学鉴定

中图分类号: Q959 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2022) 04-595-12

## Six New Species Records of Bdelloid Rotifers in China (Rotifera: Bdelloidea)

WANG Wen-Bo LI Ying WANG Xiao-Yan WANG Qing\*

Department of Ecology, Jinan University, Guangzhou 510632, China

**Abstract: [Objectives]** Bdelloid rotifers are microscopic aquatic invertebrate animals and widespread freshwater and soil inhabitants, being found from poles to equator and from shores to high mountains. They are able to use the thin water film surrounding soil particles, lichens or mosses and play a key role in microbial food webs. Exclusively parthenogenesis, horizontal gene transfer and exceptional resistance to extreme environments through anhydrobiosis make bdelloid rotifers ideal model organism. However, the taxonomy, diversity and distribution of bdelloid rotifers are poorly studied in Asia, especially in China, and the information on their occurrence is scant and insufficient. **[Methods]** In order to investigate the species diversity of bdelloid rotifers in Guangdong Province, we conducted a survey of these animals in Baiyun

**基金项目** 广东省自然科学基金项目 (No. 2021A1515010814);

\* 通讯作者, E-mail: wq2010@jnu.edu.cn;

**第一作者简介** 汪文博, 男, 博士研究生; 研究方向: 轮虫分类与生态学; E-mail: wwb129@163.com。

收稿日期: 2021-11-09, 修回日期: 2022-03-25 DOI: 10.13859/j.cjz.202204013

Mountain and Huolu Mountain. Samples were collected from water, mosses and leaf litter (Table 1). The water samples were obtained by a plankton net with 30  $\mu\text{m}$  mesh size. Samples from mosses and leaf litter were extracted by washing the substrate with distilled water, then examined using microscope immediately. All living bdelloid rotifers were recorded and photographed using a digital camera. Rotifer body dimensions were measured from screenshots of digital videos. However, we only measured the size of one rotifer from each new record due to the rarity of these species. Photos and digital screenshots from videos were both used for species identification and illustrations. Mode pattern of measurement system for bdelloid rotifers were given in Fig. 1. **[Results]** One new record family of bdelloid rotifer in China: Philodinavidae Harring, 1913, two new record genera: *Henoceros* Milne, 1916, *Didymodactylos* Milne, 1916, and six new record species: *H. caudatus* Hauer, 1937, *H. falcatus* (Milne, 1916), *D. carnosus* Milne, 1916, *Otostephanos regalis* Milne, 1916, *Macrotrachela kallosoma* (Schulte, 1954) and *Habrotrocha longiceps* (Murray, 1906) were recorded. The morphological and structural characteristics of the six new record species are described by pictures and mode pattern, and their ecological information is also presented (Fig. 2 - 7). Notably, it is the second time that *H. caudatus* has been found in China since the original description in 1937, which indicated its limited biogeographic distribution and rarity; *H. falcatus* was confirmed widespread in Africa, Europe and Asia. All Philodinavidae species are considered to be lotic species. Compared with the original description, the spur of *D. carnosus* observed in this study is slightly wider, with no difference in other morphological characteristics. The morphology of *O. regalis* in our study differs from that in original description, with many short bristles on the neck. *M. kallosoma* has been recorded in many parts of Europe and is commonly found in water habitat. *H. longiceps* protects itself by building a nest around its body. This species is rare outside Europe. **[Conclusion]** At present, considering the results of the present study, there are a sum of 99 species of bdelloid rotifers that belonging to 13 genera and 4 families have been recorded in China. However, there is still one family (Coronistomidae) and seven genera (*Abrochtha* Bryce, 1910, *Zelinkiella* Harring, 1913, *Embata* Bryce, 1910, *Philodinavus* Harring, 1913, *Anomopus* Piovaneli, 1903, *Ceratotrocha* Bryce, 1910, *Coronistomus* Örstan, 2021) not being discovered in China. China has a vast territory and diverse habitats, we suggest to implement a variety of experimental methods to broaden the scope and depth of survey on the bdelloid rotifers, and enrich the species diversity of bdelloid rotifers in China, and further explore the ecological value of bdelloid rotifer.

**Key words:** Bdelloid rotifer; Species diversity; Rotifer taxonomy; New records; Morphological identification

轮虫是浮游动物的重要组成部分，蛭态轮虫属于轮虫动物门 (Rotifera) 真轮纲 (Eurotatoria) 蛭态亚纲 (Bdelloidea)。身体由头部、躯干和足部三部分组成。爬行态时，头部前端为一强有力可伸缩的器官，称为喙 (rostrum)，是蛭态轮虫运动过程中的重要组织结构；摄食状态下轮盘 (trochi) 从头部伸出，转动纤毛以获取食物；咀嚼器为枝型；足部有数量不等的趾用于固定虫体。轮盘形态、咀嚼

器的齿式以及趾的数量是蛭态轮虫物种鉴定的重要分类学特征 (Segers 2002, Fontaneto et al. 2004)。

大多数蛭态轮虫营自由生活，仅有一小部分寄生在淡水甲壳类动物和水生昆虫幼虫的体表 (Örstan et al. 2021)。绝大多数蛭态轮虫生活在淡水或陆生生境，如苔藓、地衣和土壤中 (Fontaneto et al. 2004, 2006a)，少数物种可生活在海洋环境中 (Fontaneto et al. 2006b)。蛭态

轮虫只有雌性个体,生殖过程不存在减数分裂,属于真正的孤雌生殖方式(Welch et al. 2000, 2003, Birky 2004)。当环境处于干燥或高压缺氧等状态下,蛭态轮虫会进入休眠阶段,待环境状况好转,又可以重新复苏继续生存,这种特性称之为低湿休眠(Ricci 2001, 2017)。另外,蛭态轮虫还具备水平基因转移的特性,其遗传信息中发现了许多起源于真菌、细菌和植物的基因(Gladyshev et al. 2008)。专性孤雌生殖、低湿休眠和水平基因转移的特性使蛭态轮虫成为研究遗传进化的理想模型。

目前全球共发现蛭态轮虫 3 目 5 科 20 属 568 种(Segers 2007, Birky et al. 2011, Iakovenko et al. 2013, 2015, Song et al. 2015, 2017, Jaturapruerk et al. 2018, Örstan 2018, 2021)。1961 年,王家楫所著《中国淡水轮虫志》成为研究中国轮虫分类学的指导书籍,其中详细描述了 10 种常见的淡水蛭态轮虫。后经几十年的调查,目前我国已记录蛭态轮虫 93 种(尹志伟等 2016, 李莹等 2020, Zeng et al. 2020, 汪文博等 2021)。相比国外,我国对蛭态轮虫物种多样性的调查还不够全面,且早期研究主要由外国轮虫学者开展(Thorpe 1893, Daday 1906, Stewart 1908, Koste et al. 1996, Zhuge et al. 1998)。目前已发现的种类大多数生活在淡水等较稳定的水体中,对于苔藓、地衣、凋落物等生境的调查还有待补充。本研究获取了广东省两个山区不同类型生境样品,通过传统分类学手段对蛭态轮虫物种多样性进行调

查,为我国蛭态轮虫分类学研究提供重要的数据支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样品生境及地理信息

本研究以广东省白云山和火炉山为调查区域,采集水体、苔藓和落叶 3 种类型生境样品,采集点地理信息见表 1。

### 1.2 采样方法

苔藓与落叶样品:选取生长状态良好的苔藓,或者未完全腐烂的落叶若干,放入牛皮纸袋中,带回实验室室温下自然风干后保存。进行物种鉴定时,取约 5 cm<sup>2</sup> 的苔藓样品或重约 5 g 的落叶样品于锥形瓶内,加入超纯水浸泡 24 h,剧烈摇动锥形瓶,使虫体与环境样本分离,经过 30 μm 的筛网过滤后进行镜检观察。水体样品:使用 30 μm 浮游生物网于调查水域拖拽 8 ~ 10 次,将网内过滤物冲洗至 500 ml 采样瓶中暂存,带回实验室后立即观察蛭态轮虫活体样本。

### 1.3 物种鉴定与模式图绘制

使用显微镜(Olympus BX51)观察蛭态轮虫的形态特征,显微摄像机录制其爬行和摄食状态下的视频,将视频中重要的分类特征截图保存,参考蛭态轮虫分类书籍 *Ordnung Bdelloidea* (Donner 1965) 进行物种鉴定。使用 T Capture 软件测量截图中蛭态轮虫虫体各部分指标,测量模型参考 Iakovenko 等(2013)(图 1)。由于分离得到的蛭态轮虫新记录种较

表 1 样品采集点的地理及生境信息

Table 1 Geographic and habitat information of sample sites

采样地点 Sampling location	样品类型 Sample types	经度 Longitude	纬度 Latitude
白云山 Baiyun Mountain	G1 落叶 Leaf litter	113°17'51" E	23°10'17" N
	G2 石壁苔藓 Moss on rock	113°17'54" E	23°10'15" N
火炉山 Huolu mountain	G3 水生植物区 Aquatic plants area	113°22'52" E	23°11'02" N
	G4 山泉激流 Turbulent flow	113°22'53" E	23°11'02" N
	G5 土生苔藓 Moss on soil	113°22'45" E	23°10'48" N

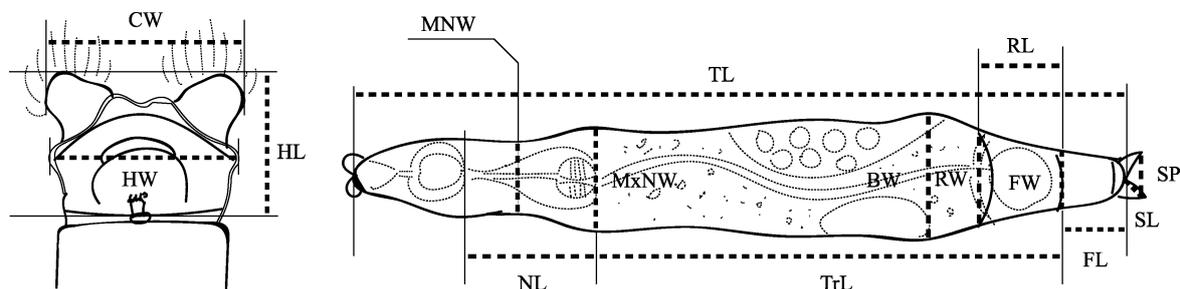


图 1 蛭态轮虫的模式测量系统 (Iakovenko 等 2013)

Fig. 1 A model measurement system for bdelloid rotifers (Iakovenko et al. 2013)

BW. 躯干宽; CW. 轮盘宽; FL. 足部长; FW. 足部宽; HL. 头长; HW. 头宽; MNW. 最小颈宽; MxNW. 最大颈宽; NL. 颈长; RL. 臀长; RW. 臀宽; SL. 刺戟长; SP. 刺戟间距; TL. 虫体总长; TrL. 躯干长

BW. Trunk width; CW. Corona width; FL. Foot length; FW. Foot width; HL. Head length; HW. Head width; MNW. Smallest neck width; MxNW. Greatest neck width; NL. Neck length; RL. Rump length; RW. Rump width; SL. Spur length; SP. Distance between spur tips; TL. Total length; TrL. Trunk length

为稀有, 本研究未能获得更多数量样本, 故仅测量了各新记录种 1 只样本的体长数据, 在今后新种新记录种描述中, 应通过单克隆培养扩大稀有物种的样本数量, 并测量多个样本体长数据, 更具代表性。使用 Adobe Illustrator 软件绘制新记录种模式图。

## 2 结果

共发现蛭态轮虫中国新记录 1 科原轮科 (Philodinavidae); 新记录 2 属, 原盘轮属 (*Henoceros*) 和双趾轮属 (*Didymodactylos*); 新记录种 6 种, 有尾原盘轮虫 (*H. caudatus*)、巨趾原盘轮虫 (*H. falcatus*)、多肉双趾轮虫 (*D. carnosus*)、皇家敖突轮虫 (*Otostephanos regalis*)、圆腹粗颈轮虫 (*Macrotrachela kallosoma*) 以及长肌宿轮虫 (*Habrotracha longiceps*)。

### 2.1 新记录科原轮科 (Philodinavidae) 及新记录属原盘轮属 (*Henoceros*)

此新记录科由隶属于新记录属原盘轮属 (*Henoceros*) 的两物种有尾原盘轮虫 (*H. caudatus*) 和巨趾原盘轮虫 (*H. falcatus*) 确定。

#### 2.1.1 新记录种有尾原盘轮虫 (*H. caudatus*)

**关键鉴定特征:** 该科轮虫轮盘原始不发达, 不易观察; 足部无成对刺戟, 为一三角形

延伸所代替; 背侧有一针状凸起 (图 2c, d)。

**详细描述:** 身体无色透明, 体型较小。喙小, 两侧各有一小突起, 该科轮虫轮盘原始, 其头冠上无成型轮盘、轮柱、上唇片等结构, 借助喙上纤毛进行摄食。颈部宽且窄, 背触手短粗, 其宽度约为长度的一半, 末端有纤毛。无眼点。枝型咀嚼器, 细齿多, 无壮齿 (major teeth)。躯干部末端有一细长的指针状突起, 为区分该属仅有两种轮虫的重要形态学分类特征。足部短, 仅有一个刺戟, 具四个粗壮趾, 与刺戟等长, 趾末端腺体发达, 有很强的吸附能力, 有助于虫体附着在基质上 (图 2)。卵生, 爬行速度慢。

**物种测量:** 虫体总长 203.8  $\mu\text{m}$ , 头宽 37  $\mu\text{m}$ , 头长 32  $\mu\text{m}$ , 颈长 10  $\mu\text{m}$ , 躯干宽 48  $\mu\text{m}$ , 躯干长 98.3  $\mu\text{m}$ , 足部长 45  $\mu\text{m}$ , 刺戟长 23  $\mu\text{m}$ 。

**生境:** 激流水体 (山泉)。

**采样时间与地点:** 2019 年 1 月 2 日采集于广东火炉山 G4 采样点。

#### 2.1.2 新记录种巨趾原盘轮虫 (*H. falcatus*)

**关键鉴定特征:** 轮盘原始不发达; 躯干背侧无针状突起; 咀嚼器无壮齿; 趾发达 (图 3)。

**详细描述:** 身体无色透明, 躯干近似圆柱形, 喙发达, 前部中央为稠密纤毛簇构成的纤

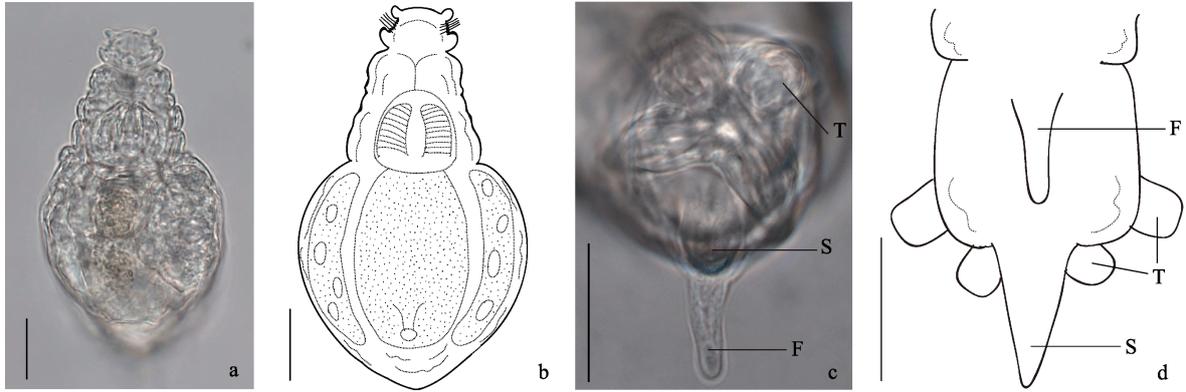


图 2 有尾原盘轮虫的形态特征

Fig. 2 Morphological characteristic of *Henoceros caudatus*

a. 背面观; b. 整体模式图; c. 足部; d. 足部模式图; 标尺. 20 μm。  
 a. Dorsal view; b. Mode pattern of entirety; c. Foot; d. Mode pattern of foot; Bar. 20 μm.  
 F. 针状突起; S. 刺戟; T. 趾

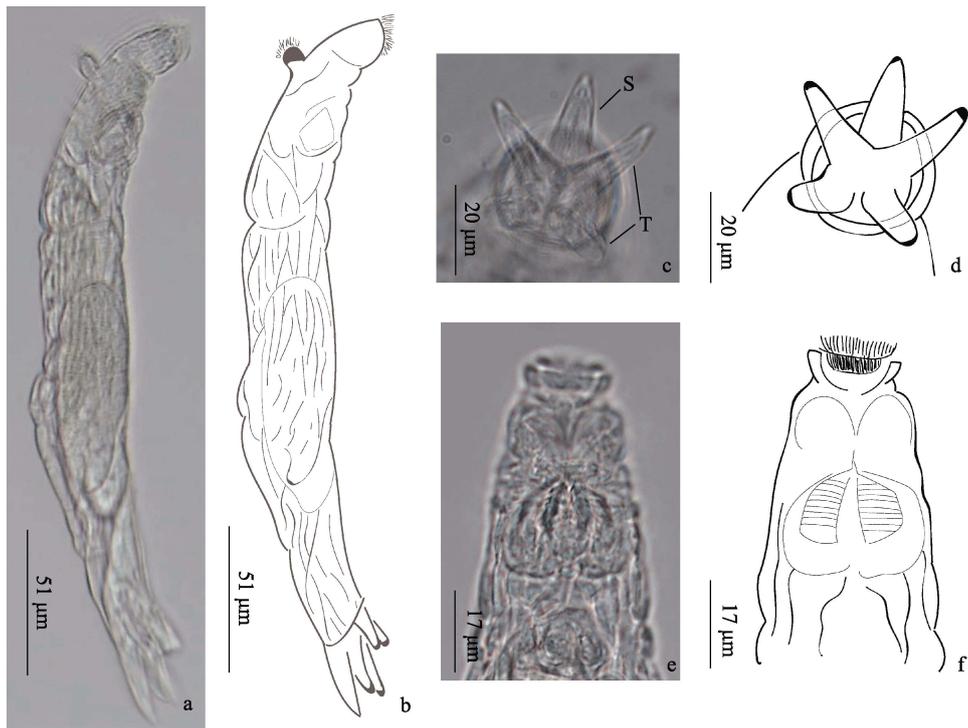


图 3 巨趾原盘轮虫的形态特征图

Fig. 3 Morphological characteristic of *Henoceros falcatus*

a. 身体侧面观; b. 身体侧面模式图; c. 四趾和刺戟; d. 趾与刺戟模式图; e. 头部腹面观; f. 头部腹面观模式图。  
 a. Side view; b. Mode pattern of entirety; c. Toes; d. Mode pattern of toes; e. Head; f. Mode pattern of head.  
 T. 趾; S. 刺戟

毛区。轮盘原始不显著。背触手极短，长与宽相近，其上有短小的纤毛。枝型咀嚼器，细齿多。足部较粗，最突出的特征为足部末端四个镰刀状趾和一刺戟，趾和刺戟均较大，约为身体全长的八分之一。摄食状态下，可观察到四趾完全伸展并支撑着身体。刺戟位于足段末端背部，基部较宽，后逐渐尖细，似椭圆形（图 3）。

**物种测量：**虫体总长 226.4 μm，头宽 27 μm，头长 40.3 μm，颈长 12.5 μm，躯干宽 30 μm，躯干长 126.5 μm，足部长 51 μm，刺戟长 22.7 μm。

**生境：**激流水体、苔藓。

**采样时间与地点：**2019 年 1 月 2 日采集于广东火炉山 G4 采样点。

**2.2 新记录属双趾轮属 (*Didymodactylos*)**

此新记录属由多肉双趾轮虫 (*D. carnosus*) 确定。

**新记录种多肉双趾轮虫 (*D. carnosus*)**

**关键鉴定特征：**趾 2 个；刺戟基部各为一基鞘所包裹；喙片三裂片；上唇片二裂片；咀嚼器齿式 4/4（图 4）。

**详细描述：**体型较大，躯干部肠道橙黄色，其他部位无色透明。喙宽，前端具三个较大的喙片。头部较大，两侧中间位置各有一球形突起。摄食状态下，可观察到轮盘明显宽于头部，其宽度是瓣环宽度的 1.5 倍，颈部宽度的 2 倍。上唇片二裂片，中间部分有一向下较深的凹陷。背触手长度约为颈宽的六分之一。无眼点。躯

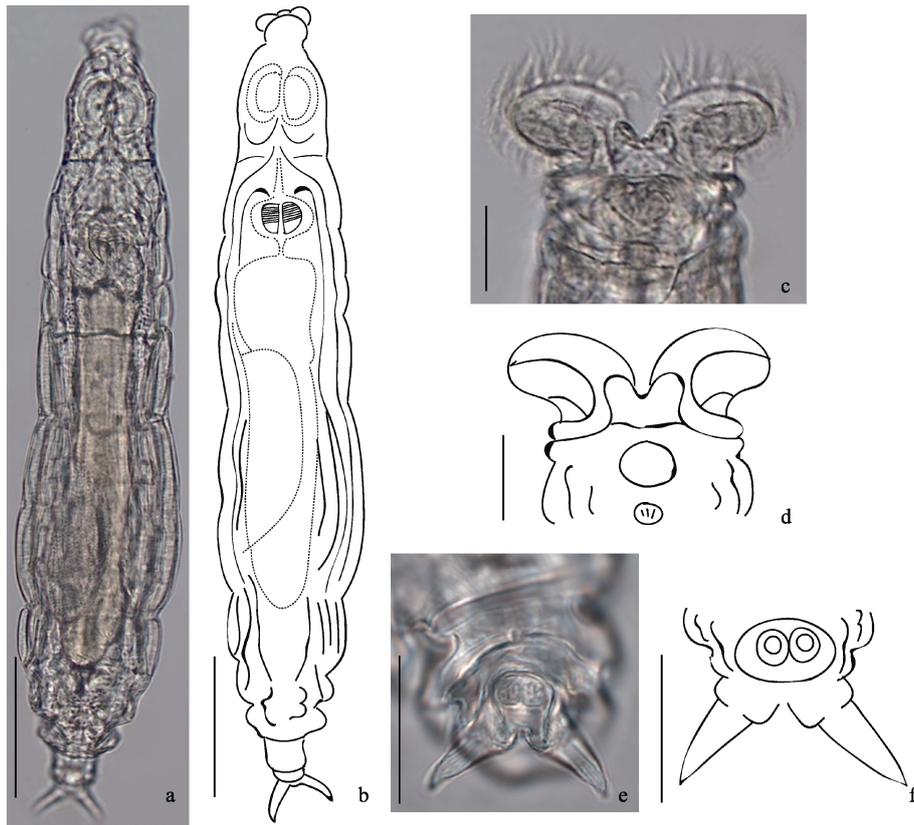


图 4 多肉双趾轮虫的形态特征图

Fig. 4 Morphological characteristic of *Didymodactylos carnosus*

a. 背面观; b. 整体模式图; 比例尺: 34 μm; c. 轮盘; d. 轮盘模式图; e. 足部; f. 足部模式图; 标尺: 20 μm.

a. Dorsal view; b. Mode pattern of entirety; Scale bar: 34 μm; c. Trochi; d. Mode pattern of trochi; e. Foot; f. Mode pattern of foot; Bar. 20 μm.

干部皮肤粗糙。咀嚼器齿式为 4/4。足部宽，短，具 4 个伪足节，约为总长的十二分之一。刺戟圆锥形，基部各为一基鞘所包裹，无足间距。趾 2 个（图 4）。卵生。

**物种测量：**虫体总长 420  $\mu\text{m}$ ，轮盘宽 80.8  $\mu\text{m}$ ，头宽 61.9  $\mu\text{m}$ ，头长 36.4  $\mu\text{m}$ ，颈长 71  $\mu\text{m}$ ，躯干宽 73  $\mu\text{m}$ ，躯干长 221  $\mu\text{m}$ ，足部长 87.9  $\mu\text{m}$ ，刺戟长 14.6  $\mu\text{m}$ ，刺戟间距 11.8  $\mu\text{m}$ 。

**生境：**石壁苔藓。

**采样时间与地点：**2019 年 1 月 2 日采集于广东火炉山 G5 采样点。

### 2.3 新记录种皇家敖突轮虫 (*Otostephanos regalis*)

**关键鉴定特征：**食物泡消化方式；轮盘具环状结构；头颈部皮肤表面着生有小刺毛；咀嚼器齿式 6/6（图 5）。

**详细描述：**体型中等，身体暗黄色，爬行时呈纺锤形，以食物泡为消化方式。喙宽且长，半圆形二裂片。头颈部较长，其皮肤表面着生有小刺毛。背触手短粗。咀嚼器齿式 6/6。轮盘宽度约比瓣环宽四分之一，其上具环状结构。上唇片半圆形，中等高度。轮槽窄且浅。躯干

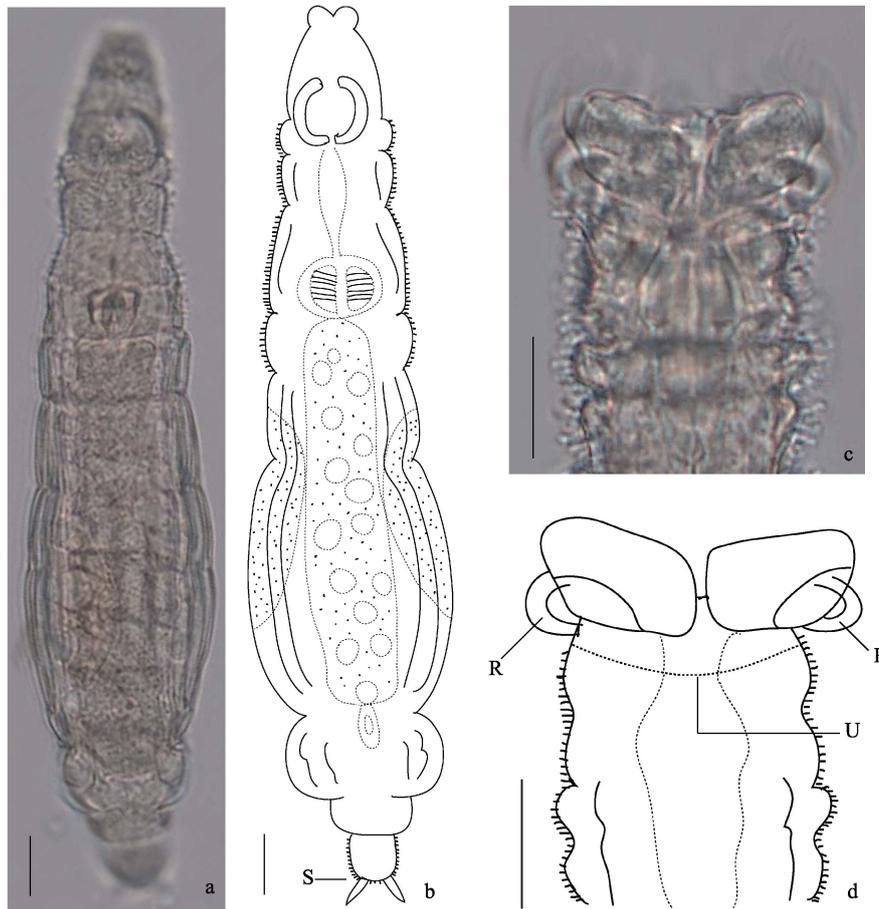


图 5 皇家敖突轮虫的形态特征图

Fig. 5 Morphological characteristic of *Otostephanos regalis*

a. 背面观；b. 整体模式图；c. 轮盘；d. 轮盘模式图；标尺 20  $\mu\text{m}$ 。

a. Dorsal view; b. Mode pattern of entirety; c. Trochi; d. Mode pattern of trochi; Bar. 20  $\mu\text{m}$ .

R. 圆环结构；S. 刺戟；U. 上唇 R. Ring; S. Spur; U. Upper lip

部有褶皱，皮肤布满点纹。臀部膨大，足部短粗，由 4 个伪体节构成。刺戟短圆锥形，无足间距。趾 3 个（图 5）。卵生。

**物种测量：**虫体总长 271.9 μm，轮盘宽 33.9 μm，头宽 29 μm，头长 19 μm，颈长 26 μm，躯干宽 60.1 μm，躯干长 167.8 μm，足部长 21.4 μm，刺戟长 9 μm，刺戟间距 4.5 μm。

**生境：**土壤凋落物层。

**采样时间与地点：**2018 年 11 月 6 日采集于广东白云山 G1 采样点。

**2.4 新记录种圆腹粗颈轮虫 (*Macrotrachela kallosoma*)**

**关键鉴定特征：**上唇片二裂片，中央有一

“v”型缺口；咀嚼器齿式 2/2（图 6）。

**详细描述：**体型中等，皮肤光滑透明。喙强壮，有两个较大的裂片。轮盘宽度等于或略大于头宽，轮柱较高，轮槽较窄。上唇片二裂片，高度较低，中央有一“v”形小缺口。颈部细长。背触手短粗。咀嚼器齿式 2/2。摄食状态下，躯干部位收缩，腹部呈球形。爬行时速度较慢，足部通常不完全伸展。趾 3 个，较短，不易观察。刺戟形状为常见三角形，无足间距（图 6）。

**物种测量：**虫体总长 277.4 μm，轮盘宽 32.9 μm，头宽 30.9 μm，头长 21.2 μm，颈长 25.4 μm，躯干宽 59.4 μm，躯干长 173 μm，足

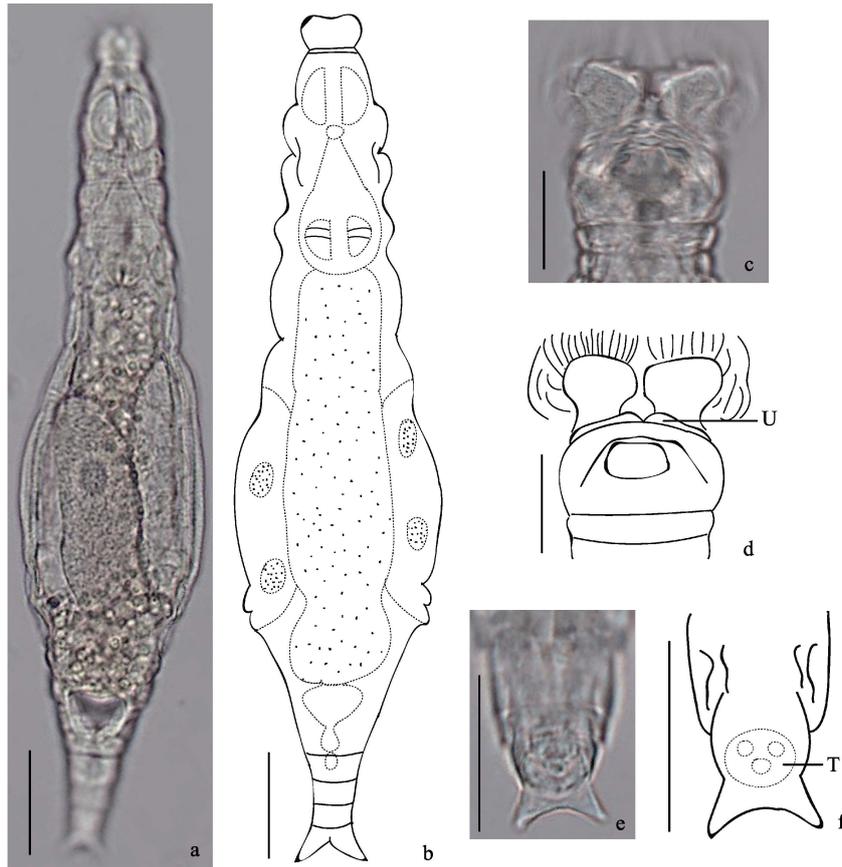


图 6 圆腹粗颈轮虫的形态特征图

Fig. 6 Morphological characteristic of *Macrotrachela kallosoma*

a. 背面观; b. 整体模式图; c. 轮盘; d. 轮盘模式图; e. 足部; f. 足部模式图; 标尺. 20 μm.

a. Dorsal view; b. Mode pattern of entirety; c. Trochi; d. Mode pattern of trochi; e. Foot; f. Mode pattern of foot; Bar. 20 μm.

U. 上唇; T. 趾 U. Upper lip; T. Toes

部长 32  $\mu\text{m}$ ，刺戟长 5.9  $\mu\text{m}$ 。

**生境：**水草。

**采样时间与地点：**2019 年 1 月 2 日采集于广东火炉山 G3 采样点。

### 2.5 新记录种长肌宿轮虫 (*Habrotrocha longiceps*)

**关键鉴定特征：**食物泡消化方式；生活在自制的“巢穴”中；上唇片三角形；咀嚼器齿式 5/5 (图 7)。

**详细描述：**该物种为蛭态轮虫中比较特殊的一类，身体躯干较柔软，可分泌黏液，将环境中一些杂质粘附在体表形成“巢穴”从而起到保护作用。长肌宿轮虫的“巢穴”整体为坚硬的膜状结构，较脏，粘附有不规则的杂质，如植物碎屑等，呈棕黄色。喙上具短纤毛，无喙片。摄食状态下，头颈部弯曲。轮盘稍宽于瓣环，上唇片中等高度，中间部分呈近似三角形。颈部较窄，中等长度。背触手约为颈部宽

度的一半。咀嚼器齿式 5/5。摄食状态下，躯干部呈椭圆形，为食物泡消化方式 (图 7)。

**物种测量：**虫体总长 281  $\mu\text{m}$ ，轮盘宽 32  $\mu\text{m}$ ，头宽 28  $\mu\text{m}$ ，头长 26  $\mu\text{m}$ ，颈长 37  $\mu\text{m}$ 。

**生境：**苔藓。

**采样时间与地点：**2018 年 11 月 6 日采集于广东白云山 G2 采样点。

## 3 讨论与结论

### 3.1 蛭态轮虫新记录种的全球分布

**3.1.1 有尾原盘轮虫** 自 1937 年 Hauer 发现该物种后，本次发现是第二次记录该物种。由于该物种生境特殊，激流水体流动性大，采样过程中该物种种群可能受到水体冲击力转移，因此比较稀少，不易被发现。目前仅有东洋界地区和我国广东省发现并记录了该物种的特征，原始记载仅包含一些粗略的分类特征，如背侧的针状突起和向腹侧弯曲成镰刀状的粗壮刺

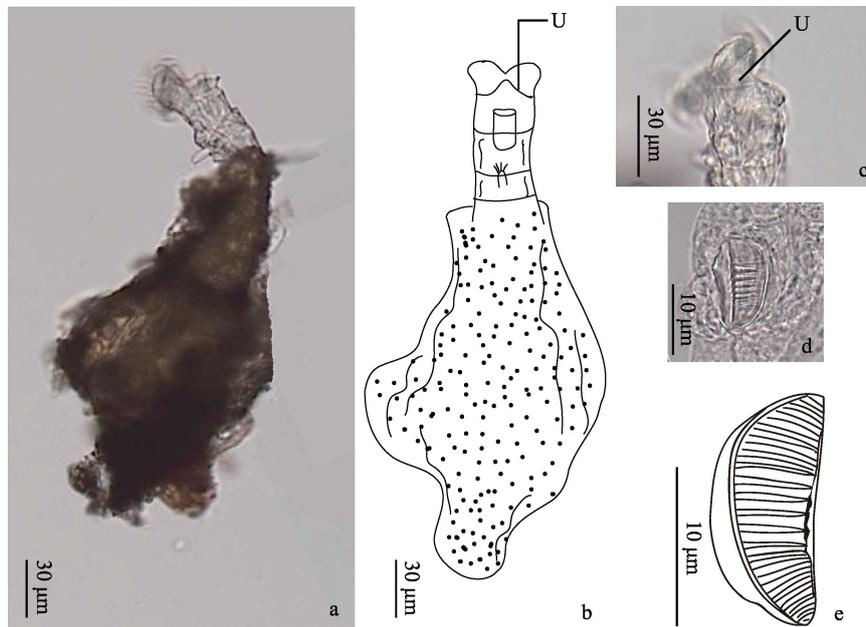


图 7 长肌宿轮虫的形态特征图

Fig. 7 Morphological characteristic of *Habrotrocha longiceps*

a. 背面观；b. 整体模式图；c. 轮盘；d. 咀嚼器；e. 咀嚼器模式图。

a. Dorsal view; b. Mode pattern of entirety; c. Trochi; d. Trophi; e. Mode pattern of trophi.

U. 上唇 U. Upper lip

戟, 缺少细节描述且模式图绘制简单, 只有基本轮廓 (Hauer 1937)。本研究完善了其形态数据, 对该轮虫喙、咀嚼器、趾等结构进行补充描述, 获得了相应的显微照片及测量数据, 丰富了对该种地理分布格局的认知 (Segers 2001)。

**3.1.2 巨趾原盘轮虫** 巨趾原盘轮虫分布于南非、意大利、英国、匈牙利和我国广东省。最早由 Milne 于 1916 年在南非一激流流经的石壁苔藓样品中发现, 且丰度较高。Milne (1916a) 认为, 该种轮虫适合在急速流动的水体中生存并可保持一定的种群规模。我国首次发现该物种, 采集于广东火炉山激流水体流经的石壁上, 与 Milne (1916a) 所描述的生境偏好相同, 但采集到的样本数量少, 推测可能是由于本次采样的激流石壁上无大面积苔藓生长, 溪水流速快, 不便巨趾原盘轮虫固着。Ricci 和 Melone 于 1998 年在意大利发现了该轮虫, 拍摄了清晰的电镜照片并对其进行了详细描述, 对进一步研究其形态结构和轮盘原始性有巨大帮助。研究发现, 巨趾原盘轮虫的培养, 在连续充氧条件下效果更好, 说明该轮虫对生境氧含量存在一定要求 (Ricci et al. 1998)。激流流速较快, 氧含量相对较高, 这可能是巨趾原盘轮虫等原轮科轮虫对激流生境特殊适应性的原因。

**3.1.3 多肉双趾轮虫** 多肉双趾轮虫分布于南非、澳大利亚以及匈牙利、芬兰、意大利等欧洲国家和我国广东省。其生境包括苔藓、落叶和腐殖土。最初是由 Milne 于 1916 年在南非的苔藓生境中发现。与原始描述的特征相比 (Milne 1916a), 本研究观察到的种类刺戟略粗, 其他结构以及形状大小无差异, 属于同一物种。Donner (1965) 编写的蛭态轮虫检索表中, 记录了多肉双趾轮虫咀嚼器齿式有 4/4、4/3、5/5、(4+1)/(1+4)、(1+3+1)/4 五种类型, 本研究的种类咀嚼器齿式为 4/4, 上述特征应为地理分布差异导致的种内变异, 仍为同一物种。Milne (1916a) 在原始描述中提到了与多肉双趾轮虫形态结构相似的物种

*Mniobia tetraodon*, 二者在上唇片、背触手、咀嚼器齿式等方面较为相似, 但也存在一些显著不同, 如多肉双趾轮虫的头冠更宽, 其足部具 4 个伪体节, 比 *M. tetraodon* 多一个, 且二者刺戟在形状结构上均有较大差异。*M. tetraodon* 可能是由多肉双趾轮虫分化而来, 也有可能二者具有共同的祖先 (Milne 1916a)。

**3.1.4 皇家敖突轮虫** 皇家敖突轮虫在 1916 年于南非首次发现, 且在亚洲、欧洲均有记录, 分布较广泛, 但并不常见 (Milne 1916b)。一般生活在苔藓中, 本研究首次在我国落叶生境发现该物种。与原始描述不同的是, 本研究的种类, 其上唇片形状较平缓, 而原始记录种为显著半圆形, 其上有舌突 (Milne 1916b)。另外, 本研究种类头、颈部皮肤排列有密集短刺毛, 推测可能是该种为了增加体表摩擦力, 便于附着, 防止被风吹走而形成的一环境适应性特征 (Milne 1916b)。

**3.1.5 圆腹粗颈轮虫** 本研究为圆腹粗颈轮虫首次在我国境内发现, 常见于稳定水体的水生植物栽培区, 一般附着生活。Donner (1965) 的描述中, 该物种轮盘略宽于头部, 与本研究所记录种类一致, 但同时 Donner (1965) 还记录了另一变种, 其发现于污水处理厂的排水管道中, 轮盘宽度小于头宽。另外该物种在欧洲多地均有记载, 结合本研究结果推测其可能为广布物种且有变种存在, 应持续关注该种轮虫以完善其地理分布信息 (Donner 1965)。

**3.1.6 长肌宿轮虫** 该物种于 1906 年由 Murray 在英国爱丁堡首次发现, 之后其他地区少有记载。Murray (1906) 将“巢穴”物种分为三类: 一类通过轮盘收集环境中碎屑以构筑巢穴; 一类通过躯干部皮肤分泌形成坚实的膜状外壳; 另外一类则寄生在动物或植物的器官和组织中。对于长肌宿轮虫的巢穴类型, Murray 并不确定, 认为该轮虫的巢穴与躯干部并不紧密贴合, 也不类似于其他任何确定的有机结构 (Murray 1906)。通过本研究观察, 推测该轮虫形成膜状外壳后又通过轮盘和喙收集环境杂

质构筑二层保护壳。由于其特殊的形态特征，在未摄食状态下，其头部经常缩到巢穴内，不可见，因此在观察样品时很容易忽略该物种的存在。在物种鉴定时，建议每隔 1~2 h 反复观察样品 2~3 次，确保可以观察到一份苔藓样品中的每一种物种。

### 3.2 我国蛭态轮虫研究展望

截至 2021 年，我国蛭态轮虫记录有 3 科 11 属 93 个物种 (Zeng et al. 2020, 李莹等 2020, 汪文博等 2021)，本研究新增蛭态轮虫新记录 1 科 2 属 6 种。目前，蛭态亚纲轮虫仍有 1 科 (Coronistomidae) 和 7 属 (*Abrochtha*、*Zelinkiella*、*Embata*、*Philodinavus*、*Anomopus*、*Ceratotrocha*、*Coronistomus*) 的物种有待去发现探究。我国幅员辽阔，具有多样化的生境，应尝试运用多种实验方法拓宽蛭态轮虫调查的广度和深度，丰富对我国蛭态轮虫物种的多样性的认知，进一步探究蛭态轮虫的生态学价值。

蛭态轮虫在  $\alpha$  多样性上，表现出与海拔呈负相关的趋势，且苔藓和地衣生境中物种组成存在显著差异 (Fontaneto et al. 2006a)。目前我国对蛭态轮虫物种多样性的研究集中在对中国南方部分省份 (广东、海南等) 的研究，其他地区研究相对缺乏。我国南北纬度跨度近 50°，包括青藏高原和四川盆地等特殊地形，海拔相差较大，加强对这些地区的研究力度，有助于进一步探究海拔与蛭态轮虫物种分布的关系，也有利于调查我国蛭态轮虫的分布情况，对完善全球蛭态轮虫物种多样性分布模式的研究具有重要意义。

目前，国际上在蛭态轮虫生物、遗传进化、生理及生态学方面的研究取得了较大进展，而我国的相关研究相对较少。近年来，越来越多的学者去研究蛭态轮虫对生态环境修复的意义 (Lapinski et al. 2003, Ding et al. 2017)，或者将蛭态轮虫作为模式生物用于相关毒理实验的研究。对于国内蛭态轮虫研究的发展，可以加强其生态监测和生态毒理方向的研究，探索其在生态环境修复应用中的可行性 (李莹等 2020)。

### 参 考 文 献

- Birky C W. 2004. Bdelloid rotifers revisited. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(9): 2651–2652.
- Birky J C W, Ricci C, Melone G, et al. 2011. Integrating DNA and morphological taxonomy to describe diversity in poorly studied microscopic animals: new species of the genus *Abrochtha* Bryce, 1910 (Rotifera: Bdelloidea: Philodinavidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 161(4): 723–734.
- Daday J. 1906. Édesvizi mikroskopi állatok Mongoliából. *Mathematikai és Természettudományi Értesítő*, (24): 634–773.
- Ding G, Li X, Lin W, et al. 2017. Enhanced flocculation of two bioflocculation-producing bacteria by secretion of *Philodina erythrophthalma*. *Water Research*, (112): 208–216
- Donner J. 1965. Bestimmungsbücher zur Bodenfauna Europas: Ordnung Bdelloidea (Rotatoria, Rädertiere). Berlin: Akademie-Verlag.
- Fontaneto D, Ricci C. 2004. Rotifera: Bdelloidea. *Freshwater invertebrates of the Malaysian Region*. Malaysia: Academy of Sciences Malaysia, 121–126.
- Fontaneto D, De Smet W H, Ricci C. 2006b. Rotifers in saltwater environments, re-evaluation of an inconspicuous taxon. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 86(4): 623–656.
- Fontaneto D, Ricci C. 2006a. Spatial gradients in species diversity of microscopic animals: the case of bdelloid rotifers at high altitude. *Journal of Biogeography*, 33(7): 1305–1313.
- Gladyshev E A, Meselson M, Arkhipova I R. 2008. Massive horizontal gene transfer in bdelloid rotifers. *Science*, 320(5880): 1210–1213.
- Hauer J. 1937. Die Rotatorien von Sumatra, Java und Bali nach den Ergebnissen der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition. Erster Teil. *Archiv für Hydrobiologie*, (15): 296–384.
- Iakovenko N S, Kašparová E, Plewka M, et al. 2013. *Otostephanos* (Rotifera, Bdelloidea, Habrotrichidae) with the description of two new species. *Systematics and Biodiversity*, 11(4): 477–494.
- Iakovenko N S, Smykla J, Convey P, et al. 2015. Antarctic bdelloid rotifers: diversity, endemism and evolution. *Hydrobiologia*, 761(1): 5–43.

- Jaturapruek R, Fontaneto D, Meksuwan P, et al. 2018. Planktonic and periphytic bdelloid rotifers from Thailand reveal a species assemblage with a combination of cosmopolitan and tropical species. *Systematics and Biodiversity*, 16(2): 128–141.
- Koste W, Zhuge Y. 1996. A preliminary report on the occurrence of Rotifera in Hainan. *Quekett Journal of Microscopy*, 37(8): 666–683.
- Lapinski J, Tunnacliffe A. 2003. Reduction of suspended biomass in municipal wastewater using bdelloid rotifers. *Water Research*, 37(9): 2027–2034.
- Milne W. 1916a. On the Bdelloid Rotifera of South Africa. *Journal of the Quekett Microscopical Club*, 13(2): 47–84.
- Milne W. 1916b. On the Bdelloid Rotifera of South Africa. Part II. *Journal of the Quekett Microscopical Club*, 13(2): 149–184.
- Murray J. 1906. VII.—The Rotifera of the Scottish Lochs. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 45(1): 151–191.
- Örstan A. 2018. Taxonomic morphology of the genus *Adineta* (Rotifera: Bdelloidea: Adinetidae) with a new species from a suburban garden. *Zootaxa*, 4524(2): 187–199.
- Örstan A. 2021. An extraordinary new fluvial bdelloid rotifer, *Coronistomus impossibilis* gen. nov., sp. nov., with adaptations for turbulent flow (Rotifera: Bdelloidea: Coronistomidae fam. nov.). *Zootaxa*, 4966(1): 16–28.
- Örstan A, Plewka M. 2021. An introduction to bdelloid rotifers and their study. [R/OL]. [2022-03-20]. <http://www.quekett.org/starting/microscopic-life/bdelloid-rotifers>.
- Ricci C. 2001. Dormancy patterns in rotifers. *Hydrobiologia*, 446(1): 1–11.
- Ricci C. 2017. Bdelloid rotifers: ‘sleeping beauties’ and ‘evolutionary scandals’, but not only. *Hydrobiologia*, 796(1): 277–285.
- Ricci C, Melone G. 1998. The Philodinavidae (Rotifera Bdelloidea): a special family. *Hydrobiologia*, 385(1/3): 77–85.
- Segers H. 2001. Zoogeography of the Southeast Asian Rotifera// Sanoamuang L, et al. Rotifera IX. Developments in *Hydrobiologia*, vol 153. Dordrecht: Springer, 233–246.
- Segers H. 2002. The nomenclature of the Rotifera: annotated checklist of valid family and genus-group names. *Journal of Natural History*, 36(6): 631–640.
- Segers H. 2007. Annotated checklist of the rotifers (Phylum Rotifera), with notes on nomenclature, taxonomy and distribution. *Zootaxa*, 1564(1): 1–104.
- Song M O, Min G S. 2015. A new species and ten new records of bdelloid rotifers from Korea. *Zootaxa*, 3964(2): 211–227.
- Song M O, Lee C H. 2017. A new and five rare bdelloids from Korea. *Zootaxa*, 4242(3): 529–547.
- Stewart F H. 1908. Rotifers and Gastrochicha from Tibet. *Records of the Indian Museum*, (2): 316–323.
- Thorpe S V G. 1893. The Rotifera of China. *Journal of the Royal Microscopical Society*, 13(2): 145–152.
- Welch D B M, Meselson M. 2000. Evidence for the evolution of bdelloid rotifers without sexual reproduction or genetic exchange. *Science*, 288(5469): 1211–1215.
- Welch D B M, Meselson M. 2003. Oocyte nuclear DNA content and GC proportion in rotifers of the anciently asexual Class Bdelloidea. *Biological Journal of the Linnean Society*, 79(1): 85–91.
- Zeng Y, Wei N, Wang Q, et al. 2020. Bdelloid rotifers (Rotifera, Bdelloidea) of China: diversity and new records. *ZooKeys*, 941(2): 1–23.
- Zhuge Y, Huang X, Koste W. 1998. Rotifera recorded from China, 1893–1997, with remarks on their composition and distribution. *International Review of Hydrobiology*, 83(3): 217–232.
- 李莹, 王庆, 魏南, 等. 2020. 蛭态轮虫中国新记录种及其研究展望. *水生生物学报*, 44(2): 423–428.
- 汪文博, 王庆, 李莹, 等. 2021. 落叶生境蛭态轮虫物种多样性及四种中国新记录种. *水生生物学报*, 45(2): 436–445.
- 王家楫. 1961. 中国淡水轮虫志. 北京: 科学出版社, 22–33.
- 尹志伟, 徐润林. 2016. 蛭态轮虫及研究动态. *动物学杂志*, 22(6): 307–312.