

甘肃农田四种土壤腹毛类纤毛虫（纤毛门，旋毛纲，腹毛亚纲）的形态学研究

万玛央措^① 徐富荣^② 杨怀印^① 沈小亚^① 刘浩^①
武维宁^③ 陈鹏^① 刘娜^① 陈凌云^① 宁应之^{①*}

① 西北师范大学生命科学院 兰州 730070; ② 榆中县恩玲高级中学 兰州 730100;

③ 甘肃农业大学资源与环境学院 兰州 730070

摘要: 利用非淹没培养皿法、活体观察法和蛋白银染色法,对采自甘肃临夏县和会宁县农田土壤的4种腹毛类纤毛虫,即柠檬管膜虫(*Cyrtohymena citrina*)、背触毛拟腹柱虫(*Gastrostylides dorsicirratu*)、沙栖蠕形尖毛虫(*Vermioxytricha arenicola*)和半残毛虫属一种(*Hemisincirra* sp.)进行了研究。结果表明,柠檬管膜虫、背触毛拟腹柱虫和沙栖蠕形尖毛虫为中国纤毛虫分布新记录种。半残毛虫属一种因缺失相关分类学、细胞发生学和分子学信息,此处暂作为未定名种处理。文中对4种纤毛虫的形态学特征进行了详细描述和讨论。

关键词: 甘肃; 农田土壤; 腹毛类纤毛虫; 中国分布新记录种; 未定种; 形态学

中图分类号: Q959 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2021) 04-543-15

Morphological Studies of Four Species of Hypotrichous Ciliates (Ciliophora, Spirotrichea, Hypotrichia) from Farmland Soils in Gansu

Wanma Yangcuo^① XU Fu-Rong^② YANG Huai-Yin^① SHEN Xiao-Ya^① LIU Hao^①
WU Wei-Ning^③ CHEN Peng^① LIU Na^① CHEN Ling-Yun^① NING Ying-Zhi^{①*}

① *College of Life Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070;* ② *Enling Senior High School of Yuzhong County, Lanzhou 730100;* ③ *College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China*

Abstract: Four species of hypotrichous ciliates isolated from farmland soils in Gansu, *Cyrtohymena citrina* (Fig. 1 and 2), *Gastrostylides dorsicirratu* (Fig. 3 and 4), *Vermioxytricha arenicola* (Fig. 5 - 7) and *Hemisincirra* sp. (Fig. 8 and 9), were studied morphologically using non-flooded Petri dish method, live observation and protargol staining methods. Among the species, *C. citrine*, *G. dorsicirratu* and *V. arenicola* are new record species of ciliates in China and *H. sp.* is kept as an unnamed form owing to the lack of some key taxonomic data and morphogenetic as well molecular information, which are required for accurate

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 41761056, 41361055);

* 通讯作者, E-mail: skyb514@qq.com;

第一作者介绍 万玛央措, 女, 硕士研究生; 研究方向: 原生动物学; E-mail: 1461455288@qq.com.

收稿日期: 2020-12-08, 修回日期: 2021-04-16 DOI: 10.13859/j.cjz.202104007

identification. Their morphological character were described in details and discussed.

Key words: Gansu; Farmland soils; Hypotrichous ciliates; New record species in China; Unnamed species; Morphology

农田生态系统是人类为了满足生存需要, 积极干预自然, 依靠土地资源进行人类所需食物和其他农产品生产的半自然生态系统(尹飞等 2006)。在自然生态规律和社会经济规律的双重作用下其变动性明显高于自然生态系统(安飞虎等 2008, 刘鸣达等 2008)。其中, 农田土壤是农田生态系统的重要组成部分, 在农业生产活动的影响下其形态、性状和肥力等特性在不同程度上有别于当地自然土壤。农田土壤动物作为农田土壤圈中一个重要的生物类群, 影响着农田生态系统的功能发挥。近年来, 有关农田土壤动物的研究主要有肥料的施用、农田的耕作制度和耕作方式、农田土壤污染等对土壤动物的种类、群落结构等方面的影响(翟云霞等 2017, 李进 2019, 耿云灿等 2020)。纤毛虫作为农田土壤动物中最重要的原生动物类群之一, 其形态多样、种类繁多、个体微小、细胞膜纤薄, 因而能非常迅速地感知周围环境的变化并做出相应反应(周可新等 2003)。目前有关农田生态系统土壤纤毛虫的研究主要集中在群落特征及其对环境的响应等方面(Adl et al. 2005, 宁应之等 2017, 2018), 分类学研究较为稀缺和零散。然而分类学是生物学研究的基础(姜传奇等 2017), 因此较系统地对农田生态系统土壤纤毛虫进行分类学研究十分迫切和必要。因而对采自甘肃农田土壤生境中的 4 种腹毛类纤毛虫进行了形态学研究, 增加了农田生态系统土壤纤毛虫物种多样性资料, 为进一步探讨土壤纤毛虫在农田生态系统中的具体作用积累基础资料并为当地农田生态系统环境监测、环境质量评价等提供微型生物多样性资料。

1 材料与方法

土壤样品采自甘肃省临夏县境内的两个农

田样点和甘肃省会宁县境内的一个农田样点, 每个样点选择 3 组 10 m × 10 m 的平行样方, 每个小样方按照“梅花五点式”取样法采集 0 ~ 5 cm 的表层土样, 每份样品都是由 25 次取样混合而成, 取实验所需适量土样带回实验室自然风干。土样培养采用“非淹没培养皿法”(Foissner 1992), 取 50 g 风干土于直径 15 cm 的培养皿里, 加入适量土壤浸出液使土样充分浸润但不被淹没, 在 25 °C 的恒温光照培养箱中连续培养, 待有纤毛虫出现时开始活体观察, 之后根据活体特征将其分离, 必要时进行粗培养、纯培养和克隆培养。分离、培养、观察等研究方法及名词术语主要参照 Corliss (1979)、宋微波等 (1999) 和 Shao 等 (2015)。待土壤纤毛虫大量富集时开始蛋白银染色实验, 主要采用 Wilbert 蛋白银染色法 (Wilbert 1975)。分类系统参照 Lynn (2008)。土温用测量范围为 - 10 ~ 60 °C 的曲管地温计现场测定, 土壤 pH 值使用 TSS-851 土壤湿度酸度计(四平市电子技术研究所)测定(土水比为 1 : 2.5)。

2 结果与讨论

2.1 柠檬管膜虫 *Cyrtohymena citrina* (Berger et Foissner, 1987) Foissner, 1989

散毛目 Sporadotrichida Fauré-Fremiet, 1961

尖毛虫科 Oxytrichidae Ehrenberg, 1838

管膜虫属 *Cyrtohymena* Foissner, 1989

采集时间和地点: 2018 年 8 月 14 日, 甘肃省临夏县联丰村百合农田。

生境特征: 土壤温度约 30.8 °C, 土壤 pH 8.36。

标本保存: 蛋白银永久制片标本(编号 XFR2018110801)保存于西北师范大学生命科学学院微型生物研究室。

2.1.1 形态学描述 活体大小约 (125 ~ 135

μm) \times (40 ~ 55 μm), 平均为 130 μm \times 45 μm , 长宽比约为 3 : 1, 个体间大小差异不大; 虫体为长椭圆形, 两端钝圆, 左缘中部稍隆起, 背腹扁平, 厚幅比约为 3.5 : 1。在低倍镜下虫体为淡黄色, 黄绿色皮层颗粒(直径约为 0.5 μm)成簇分布于棘毛和背触毛周围; 胞质无色, 体内含有少量的油球(直径约为 1 ~ 3 μm)和大量不规则的灰绿色结晶体(长约 2 ~ 4 μm); 伸缩泡 1 枚位于虫体 1/2 处靠近左缘, 直径为 10 μm , 排空时间为 6 s, 收集管较短且不明显; 椭圆形大核 2 枚纵行排列于体中轴左侧; 活体状态下额棘毛和横棘毛明显粗壮且较长, 额棘毛长约 16 μm , 横棘毛长约 15 μm , 左右缘棘毛长约 11 μm , 尾棘毛长约 9 μm (图 1, 2 a, b)。

运动通常表现为在底质中慢速伏底爬行, 或在水体中沿虫体纵轴做顺时针翻滚前行, 具有趋触性。

蛋白银染色后虫体大小约 (101 ~ 140 μm) \times (36 ~ 62 μm), 平均为 121.2 μm \times 49.8 μm ,

长宽比约为 2.4 : 1。口区长为 34 ~ 51 μm , 约占体长 34%。口围带呈完整的问号状, 由 24 ~ 35 片小膜组成。波动膜由口侧膜和口内膜组成, 自口围带基部向前端延伸, 其中口侧膜较口内膜发达, 且两者在 1/2 处相交。腹面棘毛按照典型的 8 : 5 : 5 模式排布; 粗大的额棘毛 3 根, 分布于顶端; 口棘毛 1 根; 额腹棘毛 4 根, 呈“V”型分布; 口后腹棘毛 3 根, 分布于口围带下方; 横棘毛 5 根, 位于虫体后端; 左右缘棘毛各 1 列, 左缘棘毛 15 ~ 25 根, 右缘棘毛 17 ~ 25 根, 几乎平行排布, 延伸至虫体尾部且相交(图 2c, 表 1)。椭圆形大核 2 枚, 位于虫体左侧, 大核内有许多大小不同的核仁; 3 枚球形小核, 通常附着在两枚大核边缘。

背触毛 6 列, 其中第 1、2、3 列贯穿整个虫体全长, 第 4 列起始位置稍稍靠后, 第 5、6 列较短, 分布于虫体右侧。尾棘毛 3 根, 分别产生于第 1、2、4 列背触毛的末端(图 2d, 表 1)。

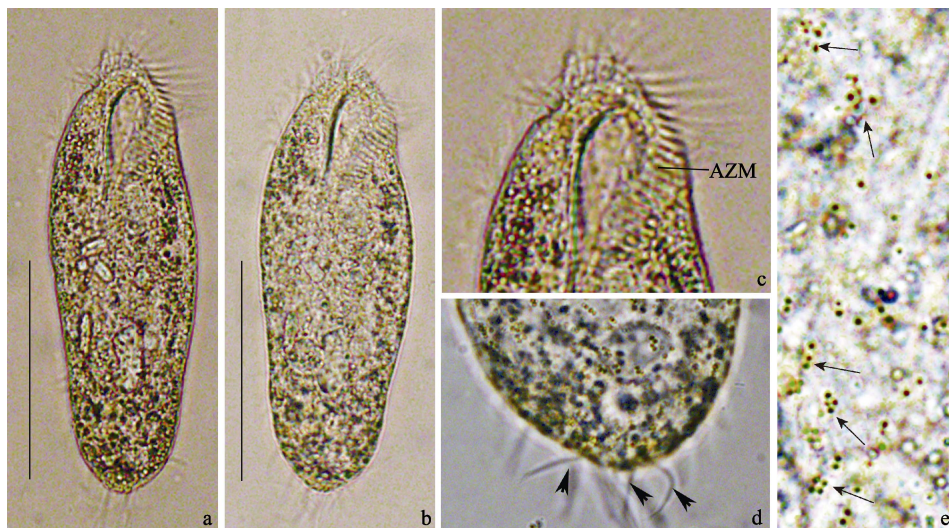


图 1 柠檬管膜虫的活体形态

Fig. 1 Morphology of *Cyrtohymena citrina* from life

a. 典型个体腹面观; b. 不同体型个体腹面观; c. 虫体前端腹面观, 示口围带 (AZM); d. 虫体后端背面观, 短箭头示尾棘毛; e. 长箭头示皮层颗粒。标尺 = 65 μm 。

a. Ventral view of a representative specimen; b. Ventral view of cell showing different body shape; c. Ventral view of anterior body, to show the adoral zone of membranelles (AZM); d. Dorsal view of the posterior body, to show the caudal cirri (arrowheads); e. Cortical granules (arrows). Bar = 65 μm .

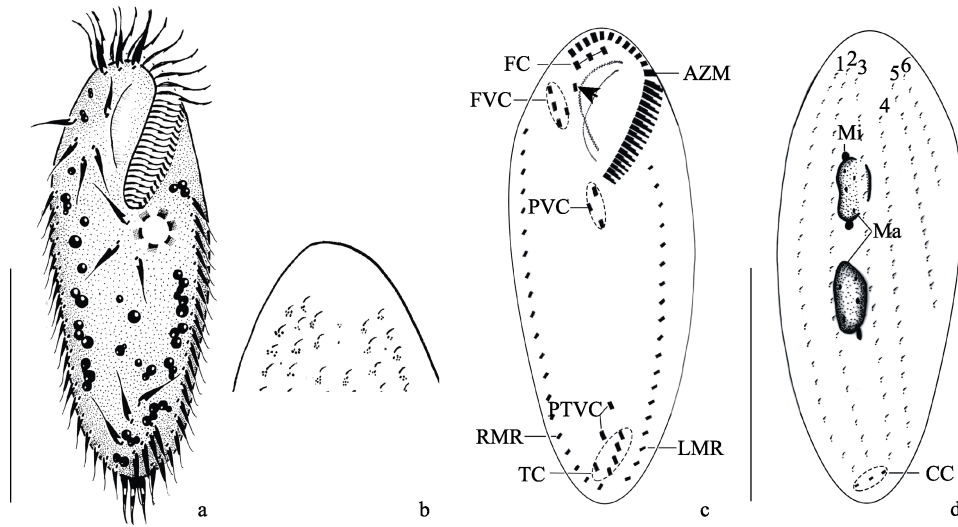


图 2 柠檬管膜虫的形态 (a, b) 和纤毛图式 (c, d)

Fig. 2 Morphology of *Cyrtohymena citrina* from life (a, b) and after protargol staining (c, d)

a. 典型个体腹面观; b. 示背面皮层颗粒排布模式; c. 腹面纤毛图式, 箭头示口棘毛; d. 背面纤毛图式及核器。标尺 = 60 μm。

a. Ventral view a representative specimen; b. Distribution of cortical granules on the dorsal side; c. Ventral view to show infraciliature, arrow indicates buccal cirrus; d. Dorsal view to show infraciliature and nuclear apparatus. Bar = 60 μm.

AZM. 口围带; CC. 尾棘毛; FC. 额棘毛; FVC. 额腹棘毛; LMR. 左缘棘毛列; Ma. 大核; Mi. 小核; PTVC. 横前棘毛; PVC. 口后腹棘毛; RMR. 右缘棘毛列; TC. 横棘毛; 1~6. 第 1~6 列背触毛。

AZM. Adoral zone of membranelles; CC. Caudal cirri; FC. Frontal cirri; FVC. Frontovervental cirri; LMR. Left marginal row; Ma. Macronuclear nodules; Mi. Micronuclei; PTVC. Pretransverse ventral cirri; PVC. Postoral ventral cirri; RMR. Right marginal row; TC. Transverse cirri; 1-6. Dorsal kineties.

2.1.2 比较和讨论 柠檬管膜虫是由 Foissner 于 1985 年发现的, 1987 年 Berger 和 Foissner 将其命名为 *Steinia citrina* 并对其进行了原始的描述, 后来由 Foissner 于 1989 年将其归入管膜虫属重新组合。目前关于柠檬管膜虫已经报道的种群是奥地利种群 (Berger 1999) 和印度种群 (Singh et al. 2015), 本种群为中国新记录种。现将其形态学特征进行详细比较: 虫体体型, 本种群为长椭圆形, 奥地利种群细长或“S”形、印度种群椭圆形; 虫体大小, 本种群为 (101 ~ 140 μm) × (36 ~ 62 μm), 奥地利种群 (75 ~ 112 μm) × (27 ~ 41 μm)、印度种群 (85.5 ~ 128.8 μm) × (24.5 ~ 44.5 μm); 口围带小膜数目, 本种群为 25 ~ 35 片, 奥地利种群 31 ~ 37 片、印度种群 35 ~ 43 片; 左缘棘毛数目, 本种群为 15 ~ 25 根, 奥地利种群 17 ~ 24 根、印度种群 21 ~ 26 根; 右缘棘毛数目, 本种群为 17 ~ 25

根, 奥地利种群 18 ~ 25 根、印度种群 20 ~ 24 根。以上比较可知, 本种群与 Berger (1999) 报道的奥地利种群及 Singh 等 (2015) 报道的印度种群结构特征差异较小, 均属于种群间差异。

2.2 背触毛拟腹柱虫 *Gastrostylides dorsicirratu* (Foissner, 1982) Foissner, 2016

散毛目 Sporadotrichida Fauré-Fremiet, 1961
尖毛虫科 Oxytrichidae Ehrenberg, 1838

拟腹柱虫属 *Gastrostylides* Foissner, 2016

采集时间和地点: 2018 年 8 月 14 日, 甘肃省临夏县联丰村苜蓿农田。

生境特征: 土壤温度约 23.3 °C, 土壤 pH 7.69。

标本保存: 蛋白银永久制片标本 (编号 XFR2019072001) 保存于西北师范大学生命科学学院微型生物研究室。

2.2.1 形态学描述 活体大小约 (130 ~ 165

表 1 柠檬管膜虫的形态特征统计数据

Table 1 Morphometric characterization of *Cyrtohymena citrina*

特征 Character	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Arithmetic mean	中值 Median	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation (%)	个体数 Number of individuals investigated
体长 Body length (μm)	101	140	121.2	120.0	11.8	0.1	20
体宽 Body width (μm)	36	62	49.8	50.5	6.1	0.1	20
口区长 Buccal field length (μm)	34	51	40.9	41.0	3.9	0.1	20
口围带小膜数目 Adoral membranelles number	24	35	28.6	29.0	2.3	0.1	20
口棘毛数目 Buccal cirri number	1	1	1.0	1.0	0	0	20
额棘毛数目 Frontal cirri number	3	3	3.0	3.0	0	0	20
左缘棘毛数目 Left marginal cirri number	15	25	18.8	18.5	2.2	0.1	20
右缘棘毛数目 Right marginal cirri number	17	25	20.2	19.0	2.5	0.1	20
额腹棘毛数目 Frontoventral cirri number	4	4	4.0	4.0	0	0	20
口后腹棘毛数目 Postoral ventral cirri number	3	3	3.0	3.0	0	0	20
横棘毛数目 Transverse cirri number	5	5	5.0	5.0	0	0	20
横前棘毛数目 Pretransverse ventral cirri number	2	2	2.0	2.0	0	0	20
尾棘毛数目 Caudal cirri number	3	3	3.0	3.0	0	0	14
背触毛列数目 Dorsal kineties number	5	6	5.9	6.0	0.3	0	14
第一列背触毛毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 1 number	17	35	24.1	24.0	4.9	0.2	14
第二列背触毛毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 2 number	15	32	23.8	25.0	4.5	0.2	14
第三列背触毛毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 3 number	15	25	21.0	21.5	2.9	0.1	14
第四列背触毛毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 4 number	14	28	22.2	22.5	3.6	0.2	14
第五列背触毛毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 5 number	10	23	16.1	15.5	4.2	0.3	14
第六列背触毛毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 6 number	3	15	9.2	8.0	4.1	0.4	14
大核数目 Macronuclear nodules number	2	3	2.1	2.0	0.2	0.1	18
小核数目 Micronuclei number	1	8	2.8	2.0	2.0	0.7	18

μm) \times (50 ~ 70 μm), 平均为 145 μm \times 55 μm , 长宽比约为 3 : 1, 个体间大小差异不大; 虫体呈长椭圆形, 前端略缩细, 后端钝圆, 背腹扁平; 左缘稍隆起, 右缘平直; 虫体柔软, 不具有收缩性; 体色为灰黑色, 胞质无色, 虫体尾部有许多油球(直径 2 ~ 3 μm)和大量不规则的结晶体, 腹部分布有长椭圆形绿藻团(直径 8 μm \times 15 μm); 伸缩泡位于虫体 1/2 处靠近左缘, 直径为 15 μm , 排空时间为 4 s; 具椭圆形淡黄绿色皮层颗粒(直径 1 μm), 松散排列于虫体两侧; 活体状态下 2 枚椭圆形大核清晰可见, 纵行排列于体中轴左侧; 额棘毛和横棘毛明显粗壮且较长, 额棘毛长约 14 μm , 横棘毛

长约 18 μm , 左缘棘毛长约 18 μm , 右缘棘毛长约 16 μm , 尾棘毛长约 21 μm (图 3, 4 a, b)。

运动通常表现为在底质中慢速伏底爬行, 或在水体中沿虫体纵轴做顺时针翻滚前行, 具有趋触性。

蛋白银染色后虫体大小约(67 ~ 92 μm) \times (26 ~ 42 μm), 平均为 74.4 μm \times 32.7 μm , 长宽比约为 2 : 1, 口区长为 23 ~ 43 μm , 约占体长 45%, 口围带连续, 由 30 ~ 38 片小膜组成, 波动膜为典型的尖毛虫(*Oxytricha*)模式, 即口侧膜与口内膜等长, 在空间上明显相交, 且相交于 3/5 处。额棘毛 3 根, 位于口区前端; 口棘毛、口旁棘毛和口后腹棘毛各 1 根; 额腹

棘毛 10 ~ 16 根, 倾斜排布于虫体腹部中央, 起始于右缘棘毛稍下位, 终止于虫体 2/3 处; 横棘毛 5 根, 位于虫体后端, 呈对号排布; 横前棘毛 2 根, 位于横棘毛稍上位; 左右缘棘毛各一列, 左缘棘毛 23 ~ 31 根, 右缘棘毛 21 ~ 31 根, 延伸至虫体后端基本相连。细胞核位于虫体中轴左侧, 由 2 枚椭圆形大核和 1 ~ 4 枚球形小核组成, 且核内存在许多大小不等的核仁 (图 4c, 表 2)。

背触毛 5 列, 其中第 1、2 列位于虫体左侧, 贯穿整个虫体全长, 第 3 列位于虫体右侧, 起始于虫体前端, 终止于后端 2/3 处; 第 4 列背触毛位于第 3 列背触毛右侧, 起始于虫体 2/3 处, 终止于后端; 第 5 列背触毛位于最右侧, 起始于前端, 终止于虫体 1/2 处。尾棘毛 6 ~ 11 根, 分别产生于第 1、2 和 4 列背触毛的末端 (图

4d, 表 2)。

2.2.2 比较和讨论 本种由 Foissner (1982) 发现并命名为 *Gastrostyla dorsicirrata*, Foissner (2016) 以该种为模式种建立了拟腹柱虫属 (*Gastrostylides*)。目前被报道有印度种群 (Singh et al. 2014) 和奥地利种群 (Berger 1999, 2008)。三个种群部分形态学特征稍有差异 (表 3), 虫体大小, 本种群 (67 ~ 92 μm) × (26 ~ 42 μm), 印度种群 (84 ~ 108 μm) × (27 ~ 44 μm), 奥地利种群 (90 ~ 122 μm) × (29 ~ 42 μm); 大核数目, 本种群 2 枚, 印度种群 2 枚, 奥地利种群 2 ~ 4 枚; 横棘毛数目, 本种群 5 根, 印度种群 4 ~ 6 根, 奥地利种群 5 根; 背触毛列数, 本种群 5 列, 印度种群 5 ~ 6 列, 奥地利种群 5 列。区别较小, 可认定为种群间差异, 可能由环境差异所致。

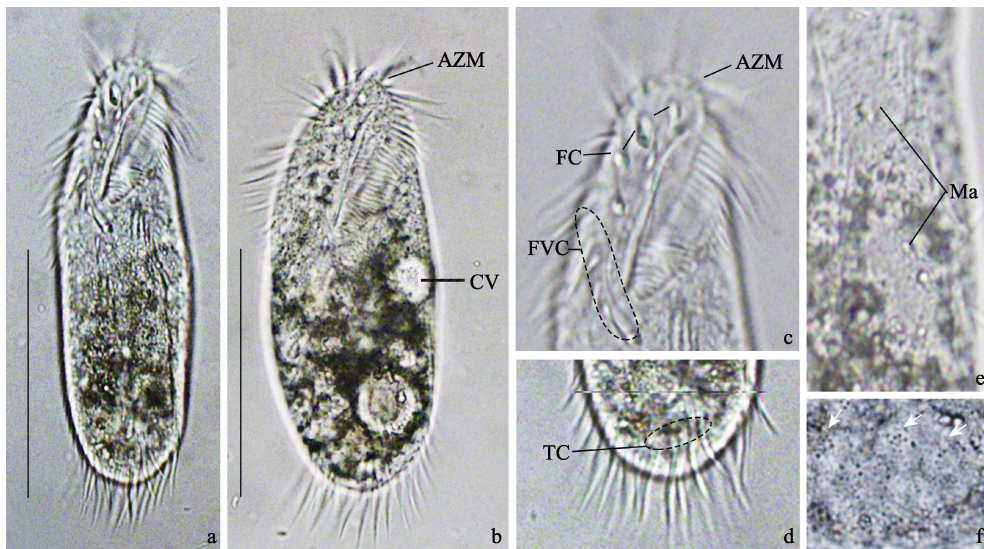


图 3 背触毛拟腹柱虫的活体形态

Fig. 3 Morphology of *Gastrostylides dorsicirrata* from life

a. 典型个体腹面观; b. 不同体型个体腹面观; c. 虫体前端腹面观, 示口围带、额棘毛和额腹棘毛; d. 虫体后端腹面观, 示横棘毛; e. 大核; f. 皮层颗粒。标尺 = 70 μm。

a. Ventral view of a representative specimen; b. Ventral view of cell showing different body shape; c. Ventral view of anterior body, to show the adoral zone of membranelles, frontal cirri and frontoventral cirri; d. Ventral view of the posterior body, to show the transverse cirri; e. Macronuclear nodules; f. Cortical granules. Bar = 70 μm.

AZM. 口围带; CV. 伸缩泡; FC. 额棘毛; FVC. 额腹棘毛; Ma. 大核; TC. 横棘毛。

AZM. Adoral zone of membranelles; CV. Contractile vacuole; FC. Frontal cirri; FVC. Frontoventral cirri; Ma. Macronuclear nodules; TC. Transverse cirri.

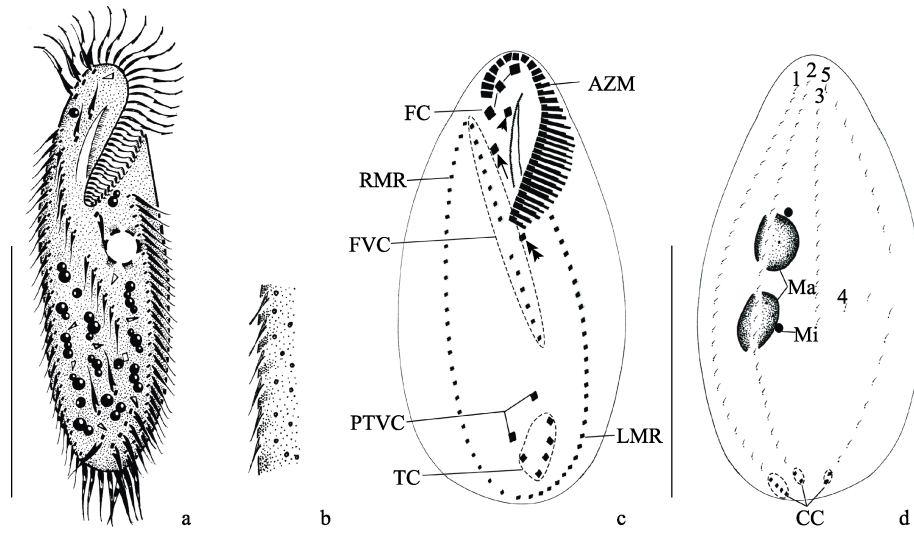


图 4 背触毛拟腹柱虫的形态 (a, b) 和纤毛图式 (c, d)

Fig. 4 Morphology of *Gastrostylides dorsicirratu* from life (a, b) and after protargol staining (c, d)

a. 典型个体腹面观；b. 示腹面皮层颗粒排布模式；c. 腹面纤毛图式，短箭头示口棘毛，长箭头示口旁棘毛，双箭头示口后腹棘毛；d. 背面纤毛图式及核器。标尺 = 40 μm。

a. Ventral view of a representative individual; b. Distribution of cortical granules on the ventral side; c. Ventral view to show infraciliature, arrowhead indicates buccal cirrus, arrow indicates parabuccal cirrus and double-arrowhead indicates postoral ventral cirrus; d. Dorsal view to show infraciliature and nuclear apparatus. Bar = 40 μm.

AZM. 口围带；CC. 尾棘毛；FC. 额棘毛；FVC. 额腹棘毛；LMR. 左缘棘毛列；Ma. 大核；Mi. 小核；PTVC. 横前棘毛；RMR. 右缘棘毛列；TC. 横棘毛；1~5. 第 1~5 列背触毛。

AZM. Adoral zone of membranelles; CC. Caudal cirri; FC. Frontal cirri; FVC. Frontoventral cirri; LMR. Left marginal row; Ma. Macronuclear nodules; Mi. Micronuclei; PTVC. Pretransverse ventral cirri; RMR. Right marginal row; TC. Transverse cirri; 1 - 5. Dorsal kineties.

表 2 背触毛拟腹柱虫的形态特征统计数据

Table 2 Morphometric characterization of *Gastrostylides dorsicirratu*

特征 Character	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Arithmetic mean	中值 Median	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation (%)	个体数 Number of individuals investigated
体长 Body length (μm)	67	92	74.4	74.5	6.0	12.5	14
体宽 Body width (μm)	26	42	32.7	33.5	4.3	7.6	14
口区长 Buccal field length (μm)	23	43	30.5	30.5	4.5	6.8	14
口围带小膜数目 Adoral membranelles number	30	38	33.5	33.5	2.3	14.4	14
口棘毛数目 Buccal cirrus number	1	1	1.0	1.0	0	0	14
额棘毛数目 Frontal cirri number	3	3	3.0	3.0	0	0	14
口旁棘毛数目 Parabuccal cirri number	1	1	1.0	1.0	0	0	14
左缘棘毛数目 Left marginal cirri number	23	31	26.8	26.5	2.6	10.4	14
右缘棘毛数目 Right marginal cirri number	21	31	26.7	26.5	2.4	11.3	14
额腹棘毛数目 Frontoventral cirri number	10	16	12.9	13.0	1.9	6.8	14
口后腹棘毛数目 Postoral ventral cirri number	1	1	1.0	1.0	0	0	14

续表 2

特征 Character	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Arithmetic mean	中值 Median	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation in %	个体数 Number of individuals investigated
横棘毛数目 Transverse cirri number	5	5	5.0	5.0	0	0	14
横前棘毛数目 Pretransverse ventral cirri number	2	2	2.0	2.0	0	0	13
尾棘毛数目 Caudal cirri number	6	11	8.5	8.0	1.2	7.0	13
背触毛列数目 Dorsal kineties number	5	5	5.0	5.0	0	0	12
第一列背触毛毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 1 number	25	32	29.4	29.0	1.9	15.6	12
第二列背触毛毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 2 number	23	34	26.8	25.5	3.2	8.5	12
第三列背触毛毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 3 number	13	20	16.8	17.5	2.3	7.2	12
第四列背触毛毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 4 number	5	12	9.7	10.0	2.1	4.7	12
第五列背触毛毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 5 number	2	15	10.2	10.0	3.6	2.8	12
大核数目 Macronuclear nodules number	2	2	2.0	2.0	0	0	14
小核数目 Micronuclei number	1	4	2.0	2.0	1.1	1.9	14

表 3 背触毛拟腹柱虫 3 个种群的形态学特征比较

Table 3 Morphometric comparison of three populations of *Gastrostylides dorsicirratus*

特征 Character	中国种群 Chinese population 本研究 Present research	印度种群 Indian population Singh et al. 2014	奥地利种群 Austrian population Berger 1999
体长 Body length (μm)	67 ~ 92	84 ~ 108	90 ~ 122
体宽 Body width (μm)	26 ~ 42	27 ~ 44	29 ~ 42
口区长 Buccal field length (μm)	23 ~ 43	35 ~ 43	37 ~ 47
口围带小膜数目 Adoral membranelles number	30 ~ 38	33 ~ 43	33 ~ 37
口棘毛数目 Buccal cirrus number	1	1	1
额棘毛数目 Frontal cirri number	3	3	3
口旁棘毛数目 Parabuccal cirri, number	1	1	1
左缘棘毛数目 Left marginal cirri number	23 ~ 31	26 ~ 32	26 ~ 32
右缘棘毛数目 Right marginal cirri number	21 ~ 31	25 ~ 31	26 ~ 31
额腹棘毛数目 Frontoventral cirri number	10 ~ 16	16 ~ 20	-
口后腹棘毛数目 Postoral ventral cirri number	1	1	1
横棘毛数目 Transverse cirri number	5	4 ~ 6	5
横前棘毛数目 Pretransverse ventral cirri number	2	2 ~ 3	-
尾棘毛数目 Caudal cirri number	6 ~ 11	9 ~ 11	-
背触毛列数目 Dorsal kineties number	5	5 ~ 6	5
大核数目 Macronuclear nodules number	2	2	2 ~ 4
小核数目 Micronuclei number	1 ~ 4	2 ~ 4	-

“-” . 未报道。“-”. Not reported.

2.3 沙栖蠕形尖毛虫 *Vermioxytricha arenicola*
Foissner, Agatha et Berger, 2002

散毛目 Sporadotrichida Fauré-Fremiet, 1961
尖毛虫科 Oxytrichidae Ehrenberg, 1838
蠕形尖毛虫属 *Vermioxytricha* Foissner,

Agatha et Berger, 2002

采集时间和地点: 2018 年 8 月 14 日, 甘肃省会宁县会师镇南咀村胡麻农田。

生境特征: 土壤温度约 31.3 °C, 土壤 pH 7.56。

标本保存: 蛋白银永久制片标本(编号 XFR2019071501)保存于西北师范大学生命科学学院微型生物研究室。

2.3.1 形态学描述 活体大小约(170 ~ 195 μm) \times (10 ~ 15 μm), 平均为 180 μm \times 15 μm , 长宽比约为 13 : 1, 个体间大小差异不大; 虫体为细长条形, 前端较宽, 后端尖细呈“尾巴”状, 背腹扁平, 虫体柔软易弯曲, 有收缩性; 虫体体色为浅灰色, 胞质无色, 体内含有大量的油球(直径 1 ~ 2 μm)和食物泡(直径 5 μm), 尤其在尾部聚集较多, 使得尾部呈现灰黑色; 皮层颗粒为淡黄色球状(直径 1 μm), 于背部分散排列, 腹部则分布于棘毛周围; 伸缩泡位于虫体赤道面近左缘, 直径为 10 μm , 排空时间为 3 s; 额棘毛明显粗壮, 长约 11 μm , 横棘毛长约 9 μm , 左缘棘毛长约 6 μm , 右缘棘毛长约 5 μm (图 5, 6)。

运动极具灵活性, 常在基底表面或土壤颗

粒间快速爬行, 或在水中延身体纵轴做顺时针翻转前行, 具有趋触性。

蛋白银染色后虫体大小约(86 ~ 159 μm) \times (7 ~ 12 μm), 平均为 115.7 μm \times 8.5 μm , 长宽比约为 14 : 1, 口区长为 13 ~ 16 μm , 约占体长 13%, 口围带连续, 由 14 ~ 17 片小膜组成, 口侧膜与口内膜相交, 且口内膜较短; 额棘毛 3 根, 明显粗壮; 口棘毛 1 根, 位于口侧膜右端; 口旁棘毛 1 根, 位于口棘毛前端偏右位置; 额腹棘毛 3 根, 呈“V”型排布; 横前棘毛与横棘毛缺失; 左右缘棘毛各 1 列, 左缘棘毛 25 ~ 43 根, 右缘棘毛 29 ~ 50 根, 延伸至虫体末端重叠汇合; 椭圆形大核 8 ~ 16 枚, 位于虫体中轴左侧, 大核内有许多大小不同的核仁; 球形小核 1 ~ 7 枚通常附着在大核边缘(图 7a, 表 4)。

背触毛 2 列, 其中第 1 列位于虫体左侧, 贯穿整个虫体全长, 第 2 列位于虫体右侧前端。尾棘毛缺失(图 7b, 表 4)。



图 5 沙栖蠕形尖毛虫的活体形态

Fig. 5 Morphology of *Vermioxytricha arenicola* from life

a. 典型个体腹面观; b. 不同体型个体腹面观; c. 弯曲状态腹面观, 示虫体的柔软性及轮廓; d. 箭头示皮层颗粒; e. 伸缩泡。标尺 = 90 μm 。

a. Ventral view of a representative specimen; b. Ventral view of cell showing different body shape; c. Ventral view of bending individual, showing flexibility and body outline. d. Arrow indicates cortical granules; e. Contractile vacuole. Bar = 90 μm .

AZM. 口围带; CV. 伸缩泡。AZM. Adoral zone of membranelles; CV. Contractile vacuole.

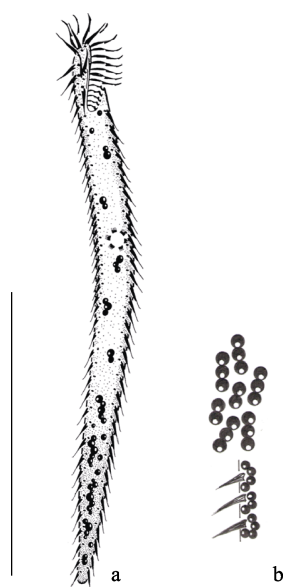


图 6 沙栖蠕形尖毛虫形态

Fig. 6 Morphology of *Vermioxytricha arenicola* from life

a. 典型个体腹面观; b. 皮层颗粒。标尺 = 60 μm。

a. Ventral view of a representative individual; b. Cortical granules. Bar = 60 μm.

2.3.2 比较和讨论 蠕形尖毛虫属 (*Vermioxytricha* Foissner, Agatha & Berger, 2002) 目前仅发现沙栖蠕形尖毛虫和 *V. muelleri* (Foissner, 1986) Foissner, Agatha & Berger, 2002 两种, 区分二者最显著的形态学特征是皮层颗粒的有无 (Berger 2008)。

沙栖蠕形尖毛虫已报道的种群有突尼斯种群和纳米比亚种群 (和莹莹 2011), 现将以上两种种群与本种群各特征作如下比较。体型大小, 本种群为 (170 ~ 193 μm) × (12 ~ 16 μm), 纳米比亚种群 (138 ~ 192 μm) × (12 ~ 22 μm), 突尼斯种群 (132 ~ 215 μm) × (12 ~ 20 μm); 长宽比, 本种群为 13 : 1, 纳米比亚种群 10.5 : 1, 突尼斯种群 10.7 : 1; 口区长, 本种群为 13 ~ 16 μm, 纳米比亚种群 18 ~ 26 μm, 突尼斯种群 20 ~ 24 μm; 口围带小膜数, 本种群为 14 ~ 17 片, 纳米比亚种群 16 ~ 20 片, 突尼斯种群 15 ~ 19 片; 左缘棘毛数目, 本种群为 25 ~ 43

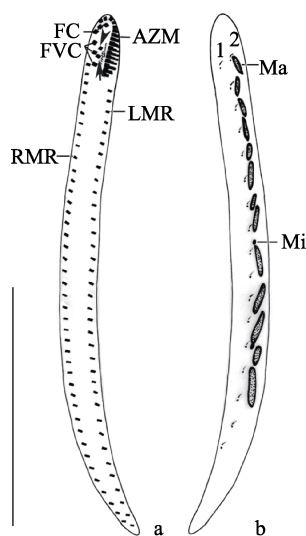


图 7 沙栖蠕形尖毛虫的纤毛图式

Fig. 7 Morphology of *Vermioxytricha arenicola* after protargol staining

a. 腹面纤毛图示, 短箭头示口棘毛, 长箭头示口旁棘毛; b. 背面纤毛图示及核器。标尺 = 60 μm。

a. Ventral view to show infraciliature, arrowhead indicates the buccal cirrus, arrow indicates the parabuccal cirrus; b. Dorsal view to show infraciliature and nuclear apparatus. Bar = 60 μm.

AZM. 口围带; FC. 额棘毛; FVC. 额腹棘毛; LMR. 左缘棘毛列; Ma. 大核; Mi. 小核; RMR. 右缘棘毛列; 1, 2. 第 1、2 列背触毛。

AZM. Adoral zone of membranelles; FC. Frontal cirri; FVC. Frontoventral cirri; LMR. Left marginal row; Ma. Macronuclear nodules; Mi. Micronuclei; RMR. Right marginal row; 1, 2. Dorsal kineties.

根, 纳米比亚种群 30 ~ 48 根, 突尼斯种群 30 ~ 56 根; 右缘棘毛数目, 本种群为 29 ~ 50 根, 纳米比亚种群 29 ~ 50 根, 突尼斯种群 36 ~ 78 根; 大核数目, 本种群为 8 ~ 16 枚, 纳米比亚种群 8 ~ 16 枚, 突尼斯种群 13 ~ 18 枚; 小核数目, 本种群为 1 ~ 7 枚, 纳米比亚种群 2 ~ 5 枚, 突尼斯种群 1 ~ 5 枚。本种群与其他两个种群差异小, 可认为种群间差异。

2.4 半残毛虫属未定名种 *Hemisincirra* sp.

散毛目 Sporadotrichida Fauré-Fremiet, 1961
管柱科 Trachelostylidae Small & Lynn, 1985
半残毛虫属 *Hemisincirra* Hemberger, 1985

表 4 沙栖蠕形尖毛虫的形态学统计数据

Table 4 Morphometric characterization of *Vermioxytricha arenicola*

特征 Character	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Arithmetic mean	中值 Median	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation (%)	个体数 Number of individuals investigated
体长 Body length (μm)	86	159	115.7	110.0	20.3	5.7	15
体宽 Body width (μm)	7	12	8.5	8.0	1.3	6.5	15
口区长 Buccal field length (μm)	13	16	14.5	14.0	1.1	13.4	15
口围带小膜数目 Adoral membranelles number	14	17	15.7	16.0	1.2	13.1	15
口棘毛数目 Buccal cirrus number	1	1	1.0	1.0	0	0	15
额棘毛数目 Frontal cirri number	3	3	3.0	3.0	0	0	15
口旁棘毛数目 Parabuccal cirri number	1	1	1.0	1.0	0	0	15
额腹棘毛数目 Frontoventral cirri number	3	3	3.0	3.0	0	0	15
左缘棘毛数目 Left marginal cirri number	25	43	36.1	37.0	4.6	7.8	15
右缘棘毛数目 Right marginal cirri number	29	50	41.7	42.0	6.3	6.6	15
背触毛列数目 Dorsal kineties number	2	2	2.0	2.0	0	0	11
第一列背触毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 1 number	14	20	16.6	16.0	1.7	9.7	11
第二列背触毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 2 number	1	2	1.2	1.0	0.4	3.1	11
大核数目 Macronuclear nodules number	8	16	12.5	12.5	2.7	4.6	14
小核数目 Micronuclei number	1	7	1.6	0.5	2.1	0.8	14

采集时间和地点: 2018 年 8 月 14 日, 甘肃省临夏县联丰村苜蓿农田。

生境特征: 土壤温度约 23.3 °C, 土壤 pH 7.69。

标本保存: 蛋白银永久制片标本(编号 XFR2018100901) 保存于西北师范大学生命科学学院微型生物研究室。

2.4.1 形态学描述 虫体为长椭圆形, 前端窄细, 后端钝圆, 体柔软, 无明显收缩性; 活体大小约 (105 ~ 120 μm) \times (25 ~ 35 μm), 平均为 110 μm \times 25 μm , 长宽比约为 4 : 1, 个体间大小差异不大; 虫体呈长棍棒状, 前端较后端略窄细, 在 1/2 处达到最宽, 然后向两端逐渐变窄, 虫体柔软易弯曲变形, 不具有收缩性; 虫体体色为灰色, 颜色较浅, 胞质无色, 体内含有大量的油球(直径 1 ~ 2 μm) 和不规则的大小不一的灰绿色结晶体布满全身; 伸缩泡位于体前端 1/3 处靠近左缘, 未见收集管, 直径为直径为 9 μm , 排空时间为 4 s; 无皮层颗粒; 活体状态下 2 枚椭圆形大核纵行排列于体中轴

左侧; 额棘毛和横棘毛明显粗壮且较长, 额棘毛长约 11 μm , 横棘毛长约 10 μm , 左缘棘毛长约 6 μm , 右缘棘毛长约 8 μm (图 8, 9 a, b)。

运动通常表现为在底质中慢速伏底爬行, 或在水体中沿虫体纵轴做顺时针翻滚前行, 在未受惊扰的情况下常常在培养皿底静伏不动, 在载玻片上来回游动或原地顺时针转圈, 运动具有趋触性。

蛋白银染色后虫体大小约 (74 ~ 138 μm) \times (20 ~ 30 μm), 平均为 99.7 μm \times 24.8 μm , 长宽比约为 4 : 1, 口区长为 19 ~ 28 μm , 约占体长 23%, 口围带连续, 由 18 ~ 23 片小膜组成, 口侧膜与口内膜平行纵向排列。额棘毛 3 根, 明显粗壮; 口棘毛 1 根, 位于口侧膜右端; 口旁棘毛 1 根, 位于口棘毛前端偏右位置; 迁移棘毛 2 根, 位于最右侧额棘毛下方, 右缘棘毛列正上方; 小双虫中腹棘毛 4 根, 呈“zig-zag”排布, 位于虫体前端; 横棘毛恒为 3 根, 位于虫体尾部末端; 横前棘毛缺失; 左右缘棘毛各 1 列, 左缘棘毛 21 ~ 35 根, 右缘棘毛 23 ~ 34

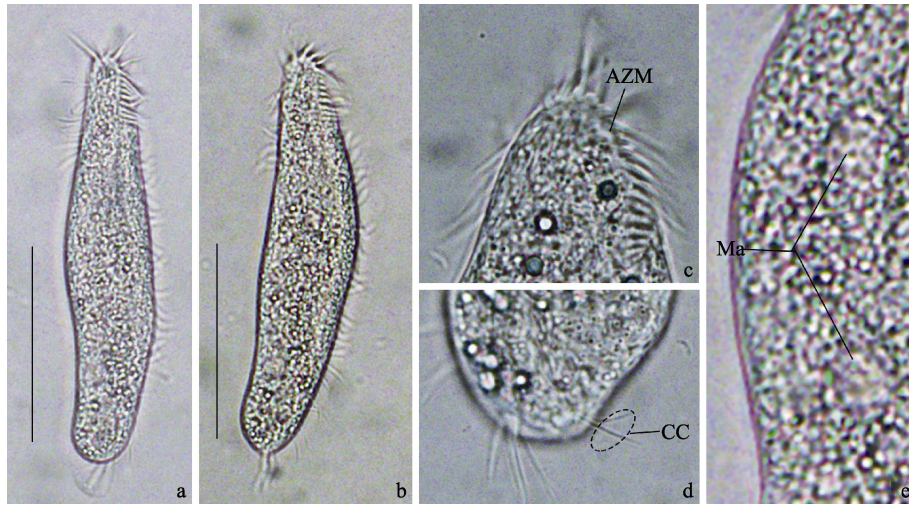


图 8 半残毛虫属未定名种的活体形态

Fig. 8 Morphology of *Hemisincirra* sp. from life

a. 典型个体腹面观; b. 不同体型个体腹面观; c. 虫体前端腹面观, 示口围带; d. 虫体后端背面观, 示尾棘毛; e. 大核。标尺 = 55 μm。

a. Ventral view of a representative specimen; b. Ventral view of cell showing different body shape; c. Ventral view of anterior body, to show the adoral zone of membranelles; d. Dorsal view of posterior body, to show the caudal cirri; e. Macronuclear nodules. Bar = 55 μm.

AZM. 口围带; CC. 尾棘毛; Ma. 大核。

AZM. Adoral zone of membranelles; CC. Caudal cirri; Ma. Macronuclear nodules.

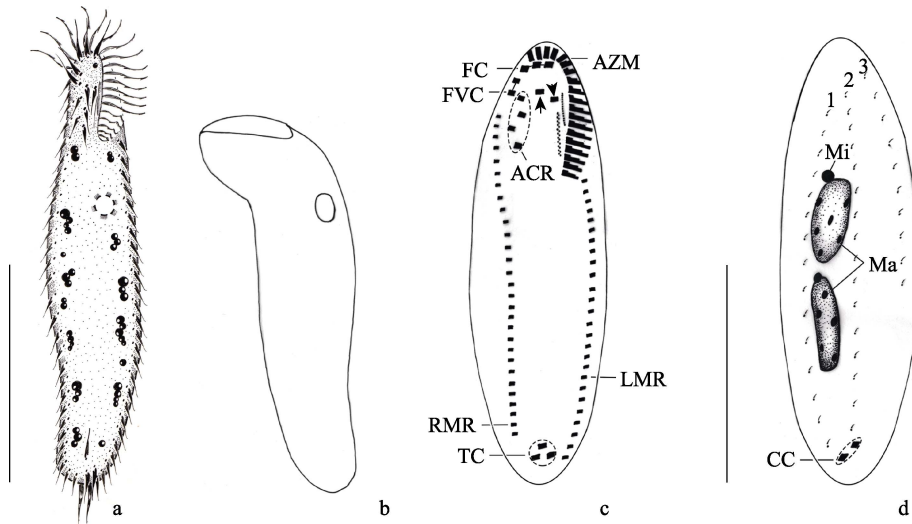


图 9 半残毛虫属未定名种的形态 (a, b) 和纤毛图式 (c, d)

Fig. 9 Morphology of *Hemisincirra* sp. from life (a, b) and after protargol staining (c, d)

a. 典型个体腹面观; b. 腹面观, 示不同体型; c. 腹面纤毛图式, 短箭头示口旁棘毛, 长箭头示口旁棘毛; d. 背面纤毛图式及核器。标尺 = 50 μm。

a. Ventral view a representative specimen; b. Ventral view, demonstrating different body shape; c. Ventral view to show infraciliature, arrowhead indicates the buccal cirrus, arrow indicates the parabuccal cirrus; d. Dorsal view to show infraciliature and nuclear apparatus. Bar = 50 μm.

ACR. 小双虫中腹棘毛列; AZM. 口围带; CC. 尾棘毛; FC. 额棘毛; FVC. 额棘毛; LMR. 左缘棘毛列; Ma. 大核; Mi. 小核; RMR. 右缘棘毛列; TC. 横棘毛; 1~3. 第 1~3 列背触毛。

ACR. Amphiselliid median cirral row; AZM. Adoral zone of membranelles; CC. Caudal cirri; FC. Frontal cirri; FVC. Frontoventral cirri; LMR. Left marginal row; Ma. Macronuclear nodules; Mi. Micronuclei; RMR. Right marginal row; TC. Transverse cirri; 1 - 3. Dorsal kineties.

根, 顺延至虫体尾部但不相交; 2 枚椭圆形大核, 位于虫体中轴左侧, 核间距较远, 大核内有許多大小不同的核仁; 2 枚球形小核, 通常附着在两枚大核边缘(图 9c, 表 5)。

背触毛 3 列, 其中第 1、2 列位于虫体左侧, 贯穿整个虫体全长, 第 3 列位于虫体右侧, 起始于虫体前端, 终止于后端 2/3 处。尾棘毛恒为 2 根, 分别产生于第 1、2 列背触毛的末端(图 9d, 表 5)。

2.4.2 比较和讨论 半残毛虫属(*Hemisincirra* Hemberger, 1985) 目前已报道 10 种, 本未定种与其他种的详细形态特征比较见表 6。本种与 *H. octonucleata* 和 *H. quadrinucleata* (Berger 2008) 最为相似。差异之处包括, 活体大小, 本种群为 $(103 \sim 120 \mu\text{m}) \times (24 \sim 33 \mu\text{m})$, *H.*

octonucleata 为 $(95 \sim 120 \mu\text{m}) \times (18 \sim 25 \mu\text{m})$, *H. quadrinucleata* 为 $(110 \sim 130 \mu\text{m}) \times (18 \sim 20 \mu\text{m})$; 长宽比, 本种群为 4:1, *H. octonucleata* 5:1, *H. quadrinucleata* (5~6):1; 口区长, 本种群为 19~28 μm , *H. octonucleata* 24~30 μm , *H. quadrinucleata* 22~32.5 μm ; 口围带小膜数, 本种群为 18~23 片, *H. octonucleata* 13~15 片, *H. quadrinucleata* 15~16 片; 小双虫中腹棘毛数目, 本种群为 4 根, *H. octonucleata* 9 根, *H. quadrinucleata* 4 根; 横棘毛数目, 本种群为 3 根, *H. octonucleata* 2 根, *H. quadrinucleata* 2~3 根; 大核数目, 本种群为 2 枚, *H. octonucleata* 4 枚, *H. quadrinucleata* 4~8 枚。

在半残毛虫属中, 其他种大核数目均大于

表 5 半残毛虫属未定名种的形态学统计数据

Table 5 Morphometric characterization of *Hemisincirra* sp.

特征 Character	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Arithmetic mean	中值 Median	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation (%)	个体数 Number of individuals investigated
体长 Body length (μm)	74	138	99.7	102.0	13.7	0.1	20
体宽 Body width (μm)	20	30	24.8	25.0	2.5	0.1	20
口区长 Buccal field length (μm)	19	28	22.5	22.0	2.1	0.1	20
口围带小膜数目 Adoral membranelles, number	18	23	19.3	19.0	1.4	0.1	20
口棘毛数目 Buccal cirrus number	1	1	1.0	1.0	0	0	20
额棘毛数目 Frontal cirri number	3	3	3.0	3.0	0	0	20
口旁棘毛数目 Parabuccal cirri number	1	1	1.0	1.0	0	0	20
左缘棘毛数目 Left marginal cirri number	21	35	25.8	25.5	3.2	0.1	20
右缘棘毛数目 Right marginal cirri number	23	34	29.0	29.0	2.8	0.1	20
迁移棘毛数目 Frontoterminal cirri number	2	2	2.0	2.0	0	0	20
小双虫中腹棘毛数目 Amphiellid median cirri number	4	4	4.0	4.0	0	0	20
横棘毛数目 Transverse cirri number	3	3	3.0	3.0	0	0	20
尾棘毛数目 Caudal cirri number	2	2	2.0	2.0	0	0	14
背触毛列数目 Dorsal kineties number	3	3	3.0	3.0	0	0	14
第一列背触毛毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 1 number	12	20	14.5	13.0	3.0	0.2	14
第二列背触毛毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 2 number	11	25	15.5	14.5	3.4	0.2	14
第三列背触毛毛基粒数目 Dikinetids in dorsal kinety 3 number	5	18	10.4	9.0	4.0	0.4	14
大核数目 Macronuclear nodules number	2	2	2.0	2.0	0	0	14
小核数目 Micronuclei number	1	3	2.1	2.0	0.4	0.2	14

表 6 半残毛虫属未定名种与其相近种的形态学特征比较
Table 6 Morphometric comparison of *Hemisincirra* sp. with other *Anteholosticha* species

物种 Species	sp.	<i>buikampi</i>	<i>gellerti</i>	<i>inquieta</i>	<i>interrupta</i>	<i>namibiensis</i>	<i>oconucleata</i>	<i>quadrinucleata</i>	<i>rariseta</i>	<i>vermicularis</i>	<i>wenzeli</i>			
体长 Body length (µm)	111	150	63.7	100	78	84.6	111.8	102.3	57.7	95~120	110~130	143.2	200	75.9
体宽 Body width (µm)	27	10	12.6	15	10.1	12.6	14.9	9.3	11.7	18~25	15~20	13.9	12	11.8
长: 宽 Length: width	4:1	15:1	-	-	-	-	-	-	5:01	5:1	5~6:1	-	16:1	-
口区长 Buccal field length (µm)	22	25.5	15.4	-	13.2	15.1	18.6	15.1	13.6	24~30	22~32.5	22.6	-	13.9
大核数目 Macronuclear nodules number	2	24	8.8	-	27.7	31.7	28.3	28.9	4.1	8	4~8	14.9	10	28.8
小核数目 Micronuclei number	2	-	-	2	2	2.1	2.8	-	1.9	2	2	1.9	2	2.4
口围带小膜数目 Adoral membranelles number	19.3	13	15	12	13	13.1	13.9	14.3	12	13~15	15~16	15.9	12	12.4
额棘毛数目 Frontal cirri number	3	3	3	-	3	3	3	3	3	3	3	3	-	3
口旁棘毛数目 Parabuccal cirri, number	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
口棘毛数目 Buccal cirri number	1	1	1	-	1	1.3	1	-	0.9	1	1	-	-	1
迁移棘毛数目 Frontoterminal cirri number	2	-	-	-	-	-	1.9	-	2	2	2	2.2	-	-
小双虫中腹棘毛数目 Amphistolid median cirri number	4	5	10.1	-	5	5	8.2	6.6	5.1	9	4	7	10.5	4.4
横棘毛数目 Transverse cirri number	3	2	2.9	2	2	2	1.9	-	4.3	2	2~3	-	-	2
左缘棘毛数目 Left marginal cirri number	25.8	15	16.6	17	17.7	19.9	24.3	25.4	24.1	-	-	25.1	54	18.3
右缘棘毛数目 Right marginal cirri number	29	15	15.9	18	16.8	21.4	22.7	27	20.7	-	-	26.6	64	19
背触毛列数目 Dorsal kineties number	3	3	4	3	3	3	3	1	2	3	3	2	1	3
尾棘毛数目 Caudal cirri number	2	-	-	-	-	-	1.5	-	-	-	-	-	-	3
皮层颗粒 Cortical granules	缺失 Lacking	未知 Unknown	无色 Colourless		黄色 Yellow		缺失 Lacking	缺失 Lacking	缺失 Lacking	未知 Unknown	未知 Unknown	缺失 Lacking	未知 Unknown	无色 Colourless
参考文献 Source of data	本研究 Present research								Berger 2008					

“-” . 未报道。“-”. Not reported

等于 4 枚, 而本种大核数目为 2 枚。大核数目为纤毛虫属内最为重要的种间区分特征之一 (Berger 2008), 因此将本种与半残毛虫属其他种区分开来。

参 考 文 献

- Adl S M, Coleman D C, Read F. 2005. Slow recovery of soil biodiversity in sandy loam soils of Georgia after 25 years of no-tillage management. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 114(2/4): 323–334.
- Berger H. 1999. Monograph of the Oxytrichidae (Ciliophora, Hypotrichia). *Monographiae Biologicae*, 78(i/xii): 1–1080.
- Berger H. 2008. Monograph of the Amphiellidae and Trachelostylidae (Ciliophora, Hypotricha). London: *Monographiae Biologicae*, 1–737.
- Corliss J O. 1979. The ciliated protozoa. Characterization, classification and guide to the literature. *Transactions of the American Microscopical Society*, 98(3): 413–425.
- Foissner W. 1992. Estimating the species richness of soil protozoa using the “non-flooded petridish method” // Lee J J, Soldo A. *Protocols in Protozoology*. Lawrence: Allen Press, 10.1–10.2.
- Foissner W. 2016. Terrestrial and semiterrestrial ciliates (Protozoa, Ciliophora) from Venezuela and Galápagos. *Denisia*, 35(1): 1–912.
- Lynn D H. 2008. *The Ciliated Protozoa: Characterization, Classification, and Guide to the Literature*. Dordrecht: Springer, 1–540.
- Shao C, Lu X T, Ma H G. 2015. A general overview of the typical 18 frontal-ventral-transverse cirri Oxytrichidae s. l. genera (Ciliophora, Hypotrichia). *Journal of Ocean University of China*, 14(3): 522–532.
- Singh J, Kamra K. 2014. Molecular phylogeny of an Indian population of *Gastrostylides dorsicirratu* (Foissner, 1982) Foissner et al. 2002. comb. nov. (Hypotrichia, Oxytrichidae): an oxytrichid with incomplete dorsal kinety fragmentation. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 61(6): 630–636.
- Singh J, Kamra K. 2015. Morphology and molecular phylogeny of an Indian population of *Cyrtohymena citrina* (Ciliophora, Hypotricha), including remarks on ontogenesis of *Urosomoida-Notohymena-Cyrtohymena* group. *European Journal of Protistology*, 51(4): 280–289.
- Wilbert N. 1975. An improved technique of protargol impregnation for ciliates. *Mikrokosmos*, 64(6): 171–179.
- 安飞虎, 张恒嘉, 李云. 2008. 绿洲农田生态系统的特点及生态化学计量特征研究探析. *现代农业科技*, 493(23): 239–240.
- 翟云霞, 臧建成, 苏成. 2017. 西藏林芝市不同耕作方式对农田土壤动物群落特征的影响. *西南农业学报*, 30(1): 141–147.
- 耿云灿, 董炜华, 李晓强, 等. 2020. 浅析培肥措施对中国农田土壤动物群落的影响. *现代农业研究*, 26(9): 54–55.
- 和莹莹. 2011. 不同类型土壤纤毛虫分类学与分子系统发育研究. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所)硕士学位论文, 68–76.
- 姜传奇, 缪炜. 2017. 四种淡水缘毛类纤毛虫的形态学研究. *水生生物学报*, 41(3): 652–660.
- 李进. 2019. 跳虫(弹尾纲)不同生物水平特征对农田重金属和抗生素类污染响应的毒理学研究. 上海: 华东师范大学博士学位论文.
- 刘鸣达, 黄晓娜, 张玉龙, 等. 2008. 农田生态系统服务功能研究进展. *生态环境*, 17(2): 384–388.
- 宁应之, 王婷婷, 董玟含, 等. 2017. 庆城县退耕还林区春季土壤纤毛虫群落特征. *西北师范大学学报: 自然科学版*, 53(2): 88–93.
- 宁应之, 杨永强, 董玟含, 等. 2018. 土壤纤毛虫群落对不同退还模式生态恢复的响应. *生态学报*, 38(10): 3628–3638.
- 宋微波, 徐奎栋, 施心路, 等. 1999. *原生动物学专论*. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1–365.
- 尹飞, 毛任钊, 傅伯杰, 等. 2006. 农田生态系统服务功能及其形成机制. *应用生态学报*, 17(5): 929–934.
- 周可新, 许木启, 曹宏, 等. 2003. 土壤原生动物在环境监测中的应用. *动物学杂志*, 38(1): 80–84.