

六种土壤腹毛类纤毛虫的形态学研究

宁应之^① 马继阳^① 吕昭^②

① 西北师范大学生命科学学院 兰州 730070; ② 西安交通大学生命科学与技术学院 西安 710049

摘要: 本研究采用非淹没培养皿法、活体观察法和蛋白银染色法,对隶属于3科5属的6种土壤腹毛类纤毛虫进行了活体形态学和纤毛图式的研究,包括背褶拟片尾虫(*Urosomoida dorsincurisura* Foissner, 1982)、边缘片尾虫[*Urosoma emarginata* (Stokes, 1885) Berger, 1999]、巴西戴维虫(*Deviata brasiliensis* Siqueira-Castro, Paiva & Silva-Neto, 2009)、刚强殖口虫[*Gonostomum strenuum* (Engelmann, 1862) Sterki, 1878]、拟殖口殖口虫[*Gonostomum gonostomoidum* (Hemberger, 1985) Berger, 1999]和布氏瓦拉虫[*Wallackia bujoreani* (Lepsi, 1951) Berger & Foissner, 1989]。其中,边缘片尾虫和拟殖口殖口虫为国内新记录种;巴西戴维虫为我国土壤新记录种。通过对蛋白银染色显示的纤毛排布结果进行主要分类特征的测量和统计,并计算各个种群主要分类特征的最小值、最大值、平均值、标准差和变异系数。结果显示,本文所研究6个种的种群与国内外同种种群略有差异,但总体在种内范围内波动。本文丰富了我国纤毛虫的物种多样性,同时丰富了该类群纤毛虫的地理分布研究。

关键词: 土壤纤毛虫; 腹毛类; 形态学; 新记录种

中图分类号: Q959 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2018) 03-415-12

Morphological Studies on Six Soil Hypotrichous Ciliates from China

NING Ying-Zhi^① MA Ji-Yang^① LÜ Zhao^②

① College of Life Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070; ② College of Life Science and Technology of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

Abstract: Six soil hypotrichous ciliates belonging to five genera and three families were morphologically investigated using non-flooded Petri dish method, live observation and protargol impregnation techniques. These organisms are: *Urosomoida dorsincurisura* Foissner, 1982, *Urosoma emarginata* (Stokes, 1885) Berger, 1999, *Deviata brasiliensis* Siqueira-Castro, Paiva & Silva-Neto, 2009, *Gonostomum strenuum* (Engelmann, 1862) Sterki, 1878, *Gonostomum strenuum* (Engelmann, 1862) Sterki, 1878, *Gonostomum gonostomoidum* (Hemberger, 1985) Berger, 1999, *Wallackia bujoreani* (Lepsi, 1951) Berger & Foissner, 1989 (Fig. 1, 2). Among them, *Urosoma emarginata* and *Gonostomum gonostomoidum* were first recorded in China. *Deviata brasiliensis* were first recorded from soil in China. The result showed that these populations differ slightly from historic populations, but they fluctuated within a narrow range. According to the results of cilium arrangement acquired by the adoption of protargol impregnation techniques, main taxonomic characteristics

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

第一作者介绍 宁应之, 男, 教授; 研究方向: 原生动物学; E-mail: skyb514@qq.com.

收稿日期: 2017-10-12, 修回日期: 2018-01-06 DOI: 10.13859/j.cjz.201803010

were measured and statistically analyzed, and the minimum values, maximum values, mean values, standard deviations and variation coefficients of main characteristics were calculated in all populations (Table 1 - 3). The results showed that the populations of every species investigated in this paper were slightly different from the same populations residing domestically and abroad. However, changes in these populations generally fluctuated within intra-species ranges. Therefore, this paper can enrich both species diversity of ciliates in China and researches concerning the geographical distribution of these ciliates populations.

Key words: Soil ciliates; Hypotrichs; Morphology; New records

纤毛虫原生动物是地球上最古老的真核生物的一支,有着漫长的进化和演化史,因此目前已发现的纤毛虫在形态结构、行为方式和其适应的生态环境等生物学特征上均表现了极大的多样性(宋微波等 2000)。其中,土壤纤毛虫通常指的是分布在土壤颗粒表面的水膜中、土壤颗粒间隙的水中或是土壤表面覆盖的凋落物中的原生动物,其种类繁多,数量巨大,是土壤中最为常见且占优势的类群之一(李琦路等 2008,李玉红 2010)。而土壤中腹毛类纤毛虫多样性丰富的原因在于,腹毛类为多膜纲中特化程度最高的类群,体制上普遍为腹面多毛作为支撑有利于爬行于基质上,身体纤细,背腹扁平,其最显著的特征为,有发达的口围带和胞口,前者始于虫体前端并后行而绕至腹面。这些特征均表现出了腹毛类纤毛虫对土壤环境的高度适应性(宋微波等 1999,姜佳枚 2011)。尽管土壤中存在数量庞大且种类丰富的纤毛虫,但真正重视并系统研究土壤纤毛虫还是近 20 年来的事情。有关土壤纤毛虫的形态分类学及物种多样性的研究也相对较少,至今我国报道的土壤纤毛虫种数不及国际上报道种类数的一半(徐润林等 2000)。为了丰富有关土壤纤毛虫物种多样性的研究工作,并为其生态学和地理分布研究提供一些基础资料,本文对采自不同地区土壤生境中的纤毛虫进行了分类及物种多样性研究。

1 材料与方 法

背褶拟片尾虫 (*Urosomoida dorsincisura*) 和边缘片尾虫 (*Urosoma emarginata*) 采自兰州

市榆中县牡丹园(土壤 pH 8.2、盐度 4‰; 35°58'49.26"N, 103°58'49.56"E, 海拔 1 878 m); 巴西戴维虫 (*Deviata brasiliensis*) 和刚强殖口虫 (*Gonostomum strenuum*) 采自兰州市十里店一污水沟旁(36°05'36.97"N, 103°44'58.09"E, 海拔 1 542 m; 土壤 pH 6.7、盐度 2‰); 布氏瓦拉虫 (*Wallackia bujoreani*) 采自西安市浐灞湿地公园(34°25'19.85"N, 108°59'57.38"E, 海拔 369 m; 土壤 pH 7.2、盐度 2‰); 拟殖口殖口虫 (*Gonostomum gonostomoidum*) 采自圭峰山山底(22°33'26.23"N, 113°01'38.67"E, 海拔 178 m; 土壤 pH 6.7、盐度 3‰)。分离、培养、观察、染色制片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)。分类系统参照 Berger (1999, 2011) 和 Lynn (2008)。

2 结果与讨论

2.1 背褶拟片尾虫 *Urosomoida dorsincisura* Foissner, 1982 (图 1a~c, 2a~d, 表 1)

散毛目 Sporadotrichida Fauré-Fremiet, 1961

尖毛科 Oxytrichidae Ehrenberg, 1838

2.1.1 形态学描述 活体如图 1a 和 b 所示,虫体近似长椭圆形,后端浑圆,前端较后端微窄。活体大小为 (100~134) μm \times (40~50) μm , 柔软,明视野状态下虫体呈浅灰色。多数具有 4 枚椭圆形大核,且大体呈两两一组的分布模式(图 2a); 1~2 枚小核,在大核周边分布。单一伸缩泡位于虫体左边缘中部(图 1c),最大直径约 10 μm ,收缩周期约为 12 s。暗黄色皮层颗粒散布排列,直径大小约为 0.5 μm 。口

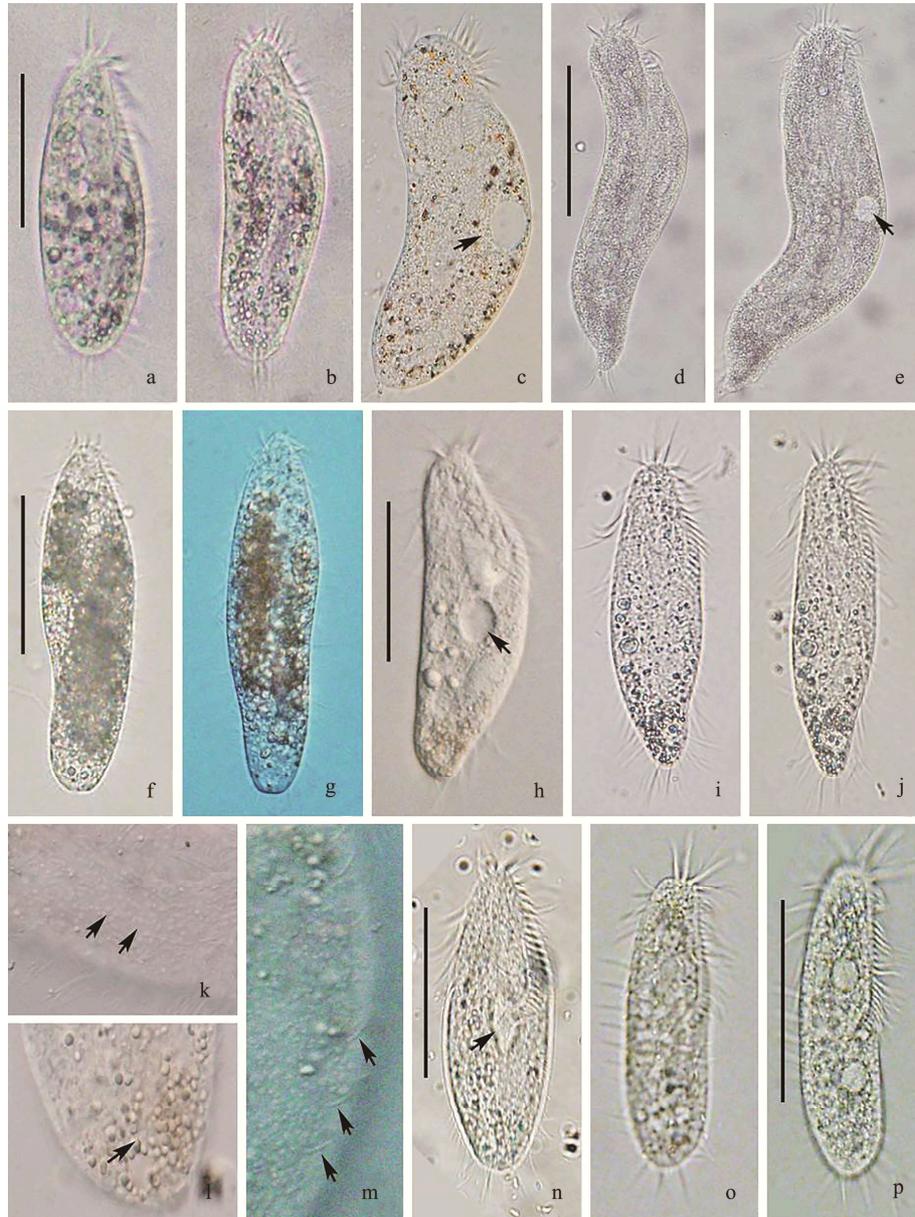


图 1 六种腹毛类纤毛虫活体照片

Fig. 1 Photomicrographs of six hypotrichous ciliates *in vivo*

a ~ c. 背褶拟片尾虫: a. 典型个体腹面观; b. 不同个体腹面观; c. 箭头示伸缩泡; d, e. 边缘片尾虫: d. 典型个体腹面观, e. 箭头示伸缩泡; f, g. 巴西戴维虫典型个体腹面观; h ~ m. 刚强殖口虫: h. 箭头示伸缩泡; i, j. 典型个体腹面观; k. 箭头示皮层颗粒; l. 箭头示黄色晶体; m. 箭头示背触毛; n. 拟殖口殖口虫典型个体腹面观, 箭头示伸缩泡; o, p. 布氏瓦拉虫典型个体腹面观。比例尺: 60 μm (a, d, f), 50 μm (h, n, p)。

Urosomoida dorsiincisura (a - c), *Urosoma emarginata* (d, e), *Deviata brasiliensis* (f, g), *Gonostomum strenuum* (h - m), *Gonostomum gonostomoidum* (n), *Wallackia bujoreani* (o, p). a, d, f, g, i, j, n, o, p. Ventral view of a representative individual. b. Ventral view, showing different body shape. c, e, h, n. Points to contractile vacuole. k. Points to cortical granules. l. Points to the yellowish crystals. m. Points to dorsal kineties. Scale bar = 60 μm (a, d, f), scale bar = 50 μm (h, n, p).

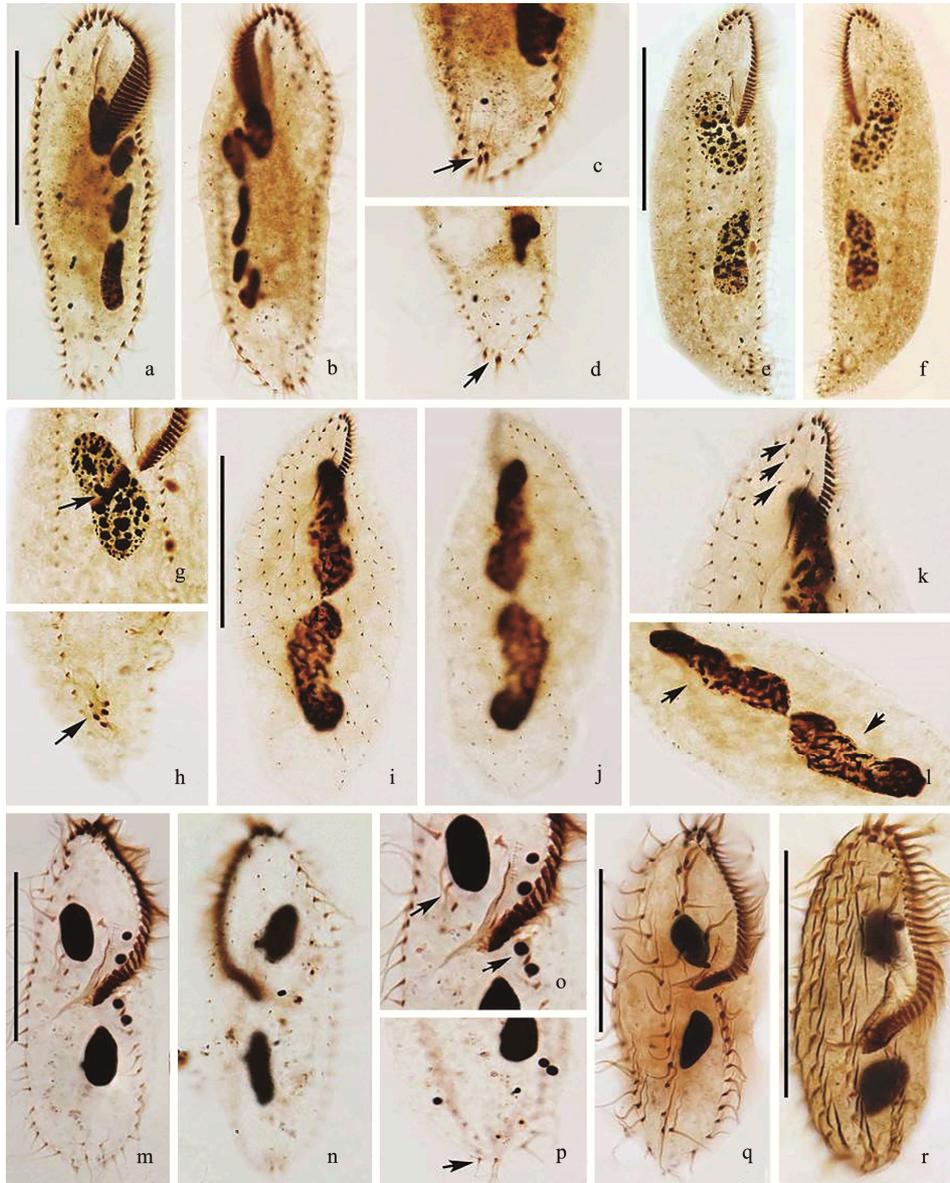


图 2 六种腹毛类纤毛虫蛋白银染色照片

Fig. 2 Photomicrographs of six hypotrichous ciliates after protargol staining

a ~ d. 背褶拟片尾虫: a. 纤毛图式腹面观; b. 纤毛图式背面观; c. 箭头示横棘毛; d. 箭头示尾棘毛; e ~ h. 边缘片尾虫: e. 纤毛图式腹面观; f. 纤毛图式背面观; g. 箭头指示大核复制带; h. 箭头示横棘毛; i ~ l. 巴西戴维虫: i. 纤毛图式腹面观; j. 纤毛图式背面观; k. 箭头示口侧棘毛; l. 箭头示融合状大核; m ~ p. 刚强殖口虫: m. 纤毛图式腹面观; n. 纤毛图式背面观; o. 箭头示额腹棘毛长列; p. 箭头示尾棘毛; q. 拟殖口殖口虫纤毛图式腹面观; r. 布氏瓦拉虫纤毛图式腹面观; 比例尺: 60 μm (a, d, f), 50 μm (h, n, p)。

Urosomoida dorsiiincisura (a - d), *Urosoma emarginata* (e - h), *Deviate brasiliensis* (i - l), *Gonostomum strenuum* (m - p), *Gonostomum gonostomoidum* (q), *Wallackia bujoreani* (r). a, e, i, m, q, r. Ventral view of the infraciliature. b, f, j, n. Dorsal view of the infraciliature. c, h. Points to transverse cirri. d, p. Points to the caudal cirri. g. Points to replication band. K. Points to parabuccal cirri. l. Fuse macronucleus. o. Points to frontoventral cirri row. Scale bar = 60 μm (a, d), scale bar = 50 μm (m, q, r).

表 1 基于蛋白银染结果统计的背褶拟片尾虫和边缘片尾虫的形态学数据

Table 1 Morphometric characterization of *Urosomoida dorsincurisura* and *Urosoma emarginata* based on protargol-stained specimens

特征 Character	物种 Species	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 Standard deviation SD	变异系数 Coefficient of variation (%)	个体数 Individual number
体长 Body length (μm)	dor	97.68	133.35	115.44	10.42	9.02	20
	ema	96.36	201.75	167.97	25.28	15.05	16
体宽 Body width (μm)	dor	35.43	51.99	46.22	4.76	10.32	20
	ema	30.20	69.21	54.85	8.88	16.19	16
口区长 Adoral zone of membranelles length (μm)	dor	31.03	43.20	37.00	3.24	8.76	20
	ema	23.87	54.14	43.93	7.13	16.22	16
口围带小膜数目 Adoral membranelles number	dor	25	31	27.5	1.7	6.3	20
	ema	26	32	28	1.62	5.7	16
口侧膜长 Length of paroral (μm)	dor	18.88	26.86	22.16	2.10	9.47	20
	ema	12.48	16.50	13.63	1.18	8.66	16
口内膜长 Length of endoral (μm)	dor	20.99	26.93	24.57	2.08	8.45	20
	ema	11.92	17.55	15.54	1.52	9.77	16
口棘毛数目 Buccal cirri number	dor	1	1	1.0	0	0	20
	ema	1	1	1.0	0	0	16
额棘毛数目 Frontal cirri number	dor	3	3	3.0	0	0	20
	ema	3	3	3.0	0	0	16
额腹棘毛数目 Frontoventral cirri number	dor	4	4	4.0	0	0	20
	ema	3	4	3.9	0.3	6.4	16
口后腹棘毛数目 Postoral ventral cirri number	dor	3	3	3.0	0	0	20
	ema	2	3	2.8	0.5	16.3	16
横棘毛数目 Transverse cirri number	dor	3	4	3.2	0.4	11.6	20
	ema	4	5	4.8	0.4	8.8	16
左缘棘毛数目 Cirri in left marginal row number	dor	23	28	25.9	1.7	6.4	20
	ema	26	33	28.1	2.1	7.3	16
右缘棘毛数目 Cirri in right marginal row number	dor	25	31	27.6	1.8	6.4	20
	ema	31	36	33.1	1.7	5.0	16
尾棘毛数目 Caudal cirri number	dor	1	2	1.9	0.3	16.8	20
	ema	2	4	3.1	0.7	23.9	16
背触毛列数 Dorsal kineties number	dor	4	4	4.0	0	0	20
	ema	4	4	4.0	0	0	16
第一列背触毛毛基粒对数 Dorsal kinety 1 number of basal body pairs	dor	13	18	15.5	1.5	10.0	20
	ema	14	19	17.1	1.4	8.2	16
第二列背触毛毛基粒对数 Dorsal kinety 2 number of basal body pairs	dor	12	17	14.5	1.2	8.9	20
	ema	14	20	17	1.9	10.9	16
第三列背触毛毛基粒对数 Dorsal kinety 3 number of basal body pairs	dor	14	17	16.0	1.1	7.0	20
	ema	14	20	16.4	2.0	12.2	16
第四列背触毛毛基粒对数 Dorsal kinety 4 number of basal body pairs	dor	11	13	12.0	0.9	7.2	20
	ema	15	19	16.8	1.3	7.6	16
大核数目 Macronuclear nodules number	dor	4	6	4.4	0.8	17.1	20
	ema	2	2	2.0	0	0	16
小核数目 Micronuclei number	dor	0	2	2.0	0.6	63.7	20
	ema	1	3	2.1	0.7	33.8	16

dor. 背褶拟片尾虫; ema. 边缘片尾虫。dor. *Urosomoida dorsincurisura*; ema. *Urosoma emarginata*.

围带小膜纤毛最长处可达 11 μm ；额棘毛纤毛长 11 μm ；横棘毛和尾棘毛纤毛长约为 12 μm ，其他棘毛长约为 10 μm 。虫体在底质上大体呈直线运动，并伴有趋触现象（即虫体触碰到障碍物时，迅速后退的现象），同时转变运动方向；偶见水中旋转上下游动。

银染后个体大小为 (98~133) μm × (35~52) μm 。口围带长约 37 μm ，由 25~31 片（平均 28 片）小膜构成，约占体长的 32%。波动膜为“尖毛虫”模式排布，口侧膜和口内膜长度分别约为 22 μm 和 25 μm 。3 根略微增粗的额棘毛，长约 11 μm ，位于虫体额区顶部；1 根口棘毛位于口内膜右侧中部略偏上处；4 根额腹棘毛呈反“√”状排布，棘毛 III/2 在水平位置上位于棘毛 VI/3 和棘毛 IV/3 之间（图 2a）；腹棘毛 3 根位于口区下方；横棘毛平均约为 3 根，位于虫体末端呈三角形排列（图 2c）。左右缘棘毛各 1 列，左缘棘毛结束于虫体亚末端位，右缘棘毛结束于虫体尾部。4 列背触毛，其中第 1~3 列从虫体前端延伸至后端，而第 4 列仅延伸到虫体中部（图 2b）。2 根尾棘毛位于长列背触毛列的末端，棘毛长约 12 μm （图 2d）。

2.1.2 比较和讨论 本种为甘肃新记录种。首次被 Foissner 等于 1982 年发现并命名。从种级水平上比较，可看出本种与其同属种间最显著的差异是大核数目，即本种平均具有 4 枚大核，而其余种通常具有 2 枚大核（Berger 1999, 李玉红 2010, Wang et al. 2016）。

本研究种群与前人研究的种群略有差异，具体表现在，本种群的活体大小为 (100~134) μm × (40~50) μm ，Foissner (1982) 报道的种群大小为 (100~150) μm × (25~40) μm ，李玉红 (2010) 报道的种群大小为 (110~140) μm × (25~40) μm ；本研究种群平均具 3.1 根横棘毛，Foissner (1982) 种群约有 2.8 根，李玉红 (2010) 报道的种群约有 3 根。可见，本种群与前人描述的种群差异不大。

2.2 边缘片尾虫 *Urosoma emarginata* (Stokes, 1885) Berger, 1999 (图 1d, e, 2e~h, 表 1)

散毛目 *Sporadotrichida* Fauré-Fremiet, 1961
尖毛科 *Oxytrichidae* Ehrenberg, 1838

2.2.1 形态学描述 活体大小 (121~168) μm × (21~33) μm ，虫体细长，前端浑圆，末端带有一钝圆的小尾并略向右侧凸出，呈钩状（图 1d）。皮膜较薄，极易弯曲。明视野下呈浅灰色，尾部体色较暗。单一伸缩泡位于虫体左缘中线处（图 1e），最大直径约 11 μm ，收缩周期约为 15 s。2 枚椭球状大核，分布于虫体中线前后 1/3 处，部分个体可观察到复制带（图 2f, g）。无皮层颗粒。虫体在底质上的运动较为缓慢并呈直线运动。在水中绕身体纵轴旋转游动。

银染后个体大小为 (96~202) μm × (30~69) μm 。口区由 26~32 片小膜构成，约占体长的 28%。口围带为“殖口虫”模式。口侧膜和口内膜不平行也不交叉，口侧膜长 13.6 μm ，口内膜长 15.5 μm 。额棘毛 3 根，呈倾斜的“假列”状排布。额腹棘毛 4 根，成列排布（图 2e）。口棘毛 1 根，位于波动膜右上方。3 根口后棘毛位于口围带下方大体呈直线排列。多数具 5 根横棘毛且并无明显前于缘棘毛（图 2h）。左右缘棘毛各 1 列，左缘棘毛列的起始明显低于右缘棘毛列，两列棘毛与尾端交汇。

背触毛 4 列，1~3 列贯穿虫体全长，第 4 列起始低于前 3 列，终止于尾端（图 2f）。3 根尾棘毛分别位于第 1、2、3 列背触毛末端。

2.2.2 比较和讨论 本种为国内新记录种，最初由 Stokes 于 1885 年以 *Opisthotricha emarginata* 为名首次报道，后又由 Wrzesniowski 在 1870 年将其移入 *Urosoma*，命名为 *Urosoma macrostyla*。后经研究发现二者有如下几点差异：（1）本种虫体右缘末端有一明显的凹陷；（2）本种横棘毛到虫体末端的距离小于 *Urosoma macrostyla*。即 *Urosoma macrostyla* 的横棘毛相对靠前。故 Berger 将其做新组合后命名为 *Urosoma emarginata*。

本种群与 *U. emarginata* 的已报道种群在活体大小指标上有一定差距，已报道的种群大小为 (150~190) μm × (40~60) μm (Berger 1999)，

本文研究的种群范围是 (120~165) μm \times (20~30) μm 。

2.3 巴西戴维虫 *Deviata brasiliensis* Siqueira-Castro, Paiva & Silva-Neto, 2009 (图 1f, g, 2i~l, 表 2)

排毛目 Stichotrichida Faure-Fremiet, 1961
卡尔科 Kahliellidae Tuffrau, 1979

2.3.1 形态学描述 活体大小 (125~214) μm \times (35~50) μm , 虫体呈椭圆棒状, 背腹不扁平, 后端浑圆, 前端略窄 (图 1f, g)。虫体运动过程中可观察到轻微的弯曲现象。低倍镜下虫体呈深灰甚至暗色, 其细胞质无色, 体色由较多晶体和食物泡导致, 在高倍镜下测量到晶体宽约 5 μm 。大核大约 5 枚, 平均大小为 15 μm \times 30 μm , 大体聚成 2 组分布在虫体左侧 (图 2l)。伸缩泡 1 个, 位于虫体中部, 完全伸展时的直径约为 11 μm 。不具有皮层颗粒。活体下口围带小膜纤毛最长处约 12 μm 。

蛋白银制片后个体大小为 (151~218) μm \times (53~85) μm 。口围带平均由 20 片小膜构成, 约占体长的 22%。额棘毛 3 根, 轻微增粗, 位于口围带远端偏下。2 或 3 根拟口棘毛位于最右边的额棘毛下方 (图 2k)。口棘毛 1 根, 位于口侧膜右前方 (图 2k); 虫体腹面分布有 7 列腹棘毛列, 明显被口围带分为两部分, 口围带右侧排布着 4 列, 而左侧有 3 列 (图 2i)。其中右侧第 1 列腹棘毛列较其余腹棘毛列短, 大约起始于虫体前端, 终止于中部或 2/3 处, 平均由 13 根棘毛构成。其余各列的起始于虫体前端, 终止于虫体近末端, 大约每列均具有 20 根棘毛。背触毛 2 列, 第 1 列约 15 对毛基粒组成, 而第 2 列明显短于第 1 列, 约有 7 对毛基粒组成 (图 2j)。

2.3.2 比较和讨论 本研究种为我国土壤新记录种, 最早由 Siqueira-Castro 于 2009 年首次报道。据前人研究 (Siqueira-Castro et al. 2009, Berger 2011, 李凤超等 2015, Luo et al. 2016) 可知 *D. quadrinucleata* 与本种极其相似, 在第二列背触毛排布模式上的一个细小差异可将二

者区分开, 即 *D. quadrinucleata* 第二列背触毛在虫体中部略偏上的位置有一明显的断裂, 但其断裂前后背触毛排列的间隔趋势保持不变, 而本研究种第二列背触毛断裂前的部分短于前者, 且断裂后的背触毛排布间隔增大。对于此种已有 3 个淡水种群被报道过 (Siqueira-Castro et al. 2009, Luo et al. 2016), 经比较发现本种群与以往所报道种群在虫体大小上略有差异, 三个种群大小分别为 (60~160) μm \times (28~64) μm (蛋白银染色数据, Siqueira-Castro et al. 2009), (110~140) μm \times (30~35) μm (活体, Luo et al. 2016, 种群 1) 和 (100~230) μm \times (20~40) μm (活体, Luo et al. 2016, 种群 2), 而本文所研究的种群大小约为 (125~214) \times (35~50) μm (活体), 大于 Luo 等 (2016) 所报道的种群 1 的大小, 但与 Luo 等 (2016) 所报道的种群 2 的大小波动范围基本保持一致。

2.4 刚强殖口虫 *Gonostomum strenuum* (Engelmann, 1862) Sterki, 1878 (图 1h~m, 2m~p, 表 3)

散毛目 Sporadotrichida Fauré-Fremiet, 1961
殖口科 Gonostomatidae Small & Lynn, 1985

2.4.1 形态学描述 活体似卵圆形, 前后端略窄, 前端左端呈斜向尖削 (图 1i, j)。活体大小 (90~115) μm \times (25~35) μm , 背腹扁平。明视野下虫体呈浅灰色, 体后端聚集大量晶体而成橘黄色 (图 1l), 同时分布少量油球, 直径 1~2 μm 。伸缩泡 1 个, 位于虫体中部 (图 1h), 最大直径约 10 μm , 收缩周期约为 12 s, 收集管明显, 并分布于伸缩泡前后。2 或 3 枚大核, 椭圆形, 分布于虫体前后 1/3 处。1~4 枚小核, 分布在大核周围。具圆形无色皮层颗粒, 散布, 直径 1.5 μm (图 1k)。口围带小膜纤毛长约 15 μm , 额棘毛纤毛长为 17 μm , 背触毛纤毛长约 3 μm 。

银染后个体大小为 (77~103) μm \times (25~41) μm 。口围带较长, 约为 44 μm , 为“殖口虫”模式, 平均由 30 片小膜构成, 约占体长的

表 2 基于蛋白银染结果统计的巴西戴维虫的形态学数据 ($n = 10$)Table 2 Morphometric characterization of *Deviata brasiliensis* based on protargol-stained specimens

特征 Character	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 Standard deviation SD	变异系数 Coefficient of variation (%)
体长 Body length (μm)	150.88	218.53	171.17	18.31	10.70
体宽 Body width (μm)	53.09	85.36	70.45	9.40	13.34
口区长 Adoral zone of membranelles length (μm)	27.66	36.67	31.58	2.63	8.33
口围带小膜数目 Adoral membranelles number	18	22	19.9	1.2	6.0
口棘毛数目 Buccal cirri number	1	1	1.0	0	0
口侧棘毛数 Parabuccal cirri number	2	3	2.3	0.5	20.9
额棘毛数目 Frontal cirri number	3	3	3.0	0	0
背触毛列数 Dorsal kineties number	2	2	2.0	0	0
大核数目 Macronuclear nodules number	4	7	5.3	0.8	15.5
口围带右侧棘毛列数 Long cirral rows right of adoral zone number	4	4	4.0	0	0
第四列额腹棘毛数 Cirri formed by anlage IV number	7	17	13.5	2.7	20.2
第五列额腹棘毛数 Cirri formed by anlage V number	17	25	21.6	2.6	11.8
第一列背触毛毛基粒对数 Dorsal kinety 1 number of basal body pairs	12	18	15.2	1.6	10.7
第二列背触毛毛基粒对数 Dorsal kinety 2 number of basal body pairs	6	8	6.9	0.7	10.7
大核长 Macronuclear nodules length (μm)	21.24	58.05	32.42	10.59	32.67
大核宽 Macronuclear nodules width (μm)	12.00	18.53	14.63	2.34	15.99

48%，口围带小膜纤毛长约 $15 \mu\text{m}$ 。口棘毛 1 根，位于波动膜右上方。额棘毛 3 根，略微增粗，棘毛长约 $17 \mu\text{m}$ 。2~4 根迁移棘毛。虫体腹面具 3 列腹棘毛列(图 2m)，分别由原基 III、IV、V 形成。其中第 V 列起始明显低于前两列，具有 7 根棘毛。第 III、IV 列分别有 1 根和 2 根棘毛。左右缘棘毛各 1 列，右缘棘毛平均 23 根，左缘棘毛列明显较右缘棘毛短，平均由 15 根棘毛组成。4~5 根横棘毛位于在虫体腹面近末端，大体呈方形排布。背触毛 3 列，贯穿整个虫体(图 2n)。尾棘毛 3 根(图 2o)。

2.4.2 比较和讨论 本种为甘肃新记录种。起初由 Engelmann 以 *Oxytricha strenua* 为名首次报道，最终于 2002 年由 Sterki 将其移入 *Gonostomum*，并命名为 *Gonostomum strenuum* (Berger 2011)。目前已报道 5 个种群，本研究

种群活体大小为 $(90 \sim 115) \mu\text{m} \times (25 \sim 35) \mu\text{m}$ ，已报道的种群大小都在 $(80 \sim 110) \mu\text{m} \times (25 \sim 35) \mu\text{m}$ 范围内波动 (Berger 2011)，本文所研究的种群也在此范围内，吻合前人的描述。该种已经在中国、西班牙、委内瑞拉和澳大利亚报道过 (Berger 2011)，本种群的发现再次证明了本种的广布性。

2.5 拟殖口殖口虫 *Gonostomum gonostomoidum* (Hemberger, 1985) Berger, 1999 (图 1n, 2q, 表 3)

散毛目 Sporadotrichida Fauré-Fremiet, 1961
殖口科 Gonostomatidae Small & Lynn, 1985

2.5.1 形态学描述 活体大小约为 $(90 \sim 110) \mu\text{m} \times (25 \sim 35) \mu\text{m}$ ，虫体长宽比为 3.6 : 1。虫体前端尖矛形，后端相对较钝圆。表膜柔软，但

表 3 基于蛋白银染结果统计的刚强殖口虫、拟殖口殖口虫和布氏瓦拉虫的形态学数据

Table 3 Morphometric characterization of *Gonostomum strenuum*, *Gonostomum gonostomoidum* and *Wallackia bujoreani* based on protargol-stained specimens

特征 Character	物种 Species	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 Standard deviation SD	变异系数 Coefficient of variation (%)	个体数 Individual
体长 Body length (μm)	str	77.28	102.50	89.56	8.58	9.58	10
	gon	57.16	106.25	81.45	21.56	26.47	5
	buj	65.88	86.76	76.17	6.89	9.04	10
体宽 Body width (μm)	str	25.35	41.14	33.30	4.81	14.44	10
	gon	30.00	42.02	34.94	4.79	13.71	5
	buj	18.01	26.53	23.25	2.88	12.38	10
口区长 Adoral zone of membranelles length (μm)	str	34.44	50.05	43.68	4.47	10.23	10
	gon	36.47	52.30	44.03	5.91	13.42	5
	buj	41.14	55.28	48.84	4.50	9.21	10
口围带小膜数目 Adoral membranelles number	str	29	31	29.8	0.8	2.7	10
	gon	30	33	31.6	1.5	4.8	5
	buj	26	37	31.9	3.8	11.9	10
口棘毛数目 Buccal cirri number	str	1	1	1.0	0	0	10
	gon	1	1	1.0	0	0	5
	buj	1	1	1.0	0	0	10
额棘毛数目 Frontal cirri number	str	3	3	3.0	0	0	10
	gon	3	3	3.0	0	0	5
	buj	3	3	3.0	0	0	5
横棘毛数目 Transverse cirri number	str	4	4	4.0	0	0	10
	gon	3	3	3.0	0	0	5
	buj	3	3	3.0	0	0	5
左缘棘毛数目 Cirri in left marginal row number	str	13	19	15.5	1.7	11.1	10
	gon	13	14	13.8	0.5	3.3	13
	buj	10	13	10.8	1.3	12.0	5
右缘棘毛数目 Cirri in right marginal row number	str	20	30	23.0	2.9	12.7	10
	gon	18	22	19.8	1.4	7.5	5
	buj	11	16	14.4	2.0	13.5	5
尾棘毛数目 Caudal cirri number	str	3	3	3.0	0	0	10
	gon	3	3	3.0	0	0	5
	buj	3	3	3.0	0	0	7
背触毛列数 Dorsal kineties number	str	3	3	3.0	0	0	10
	gon	3	3	3.0	0	0	5
	buj	3	3	3.0	0	0	10
大核数目 Macronuclear nodules number	str	2	2	2.0	0	0	10
	gon	2	2	2.0	0	0	5
	buj	2	2	2.0	0	0	10
小核数目 Micronuclei number	str	2	5	3.2	0.9	28.8	10
	gon	1	4	2.4	1.5	63.3	5
	buj	0	2	1.8	0.71	40.4	8
体前端到口棘毛的距离 Anterior body end to BC distance (μm)	str	21.64	33.85	26.84	3.66	13.64	10
	gon	20.92	35.11	28.50	5.54	19.44	5
	buj	29.10	34.48	32.44	2.15	6.64	8

续表 3

特征 Character	物种 Species	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 Standard deviation SD	变异系数 Coefficient of variation (%)	个体数 Individual
体前端到口侧膜的距离	str	20.60	35.72	26.72	3.93	14.71	10
Anterior body end to paroral distance (μm)	gon	20.96	34.96	27.53	5.15	18.71	5
	buj	24.79	36.24	30.34	3.23	10.66	8
体前端到口内膜的距离	str	21.77	36.67	29.02	3.72	12.82	10
Anterior body end to endoral distance (μm)	gon	23.79	37.58	30.70	5.08	16.55	5
	buj	28.96	40.38	35.24	3.76	10.67	8
体前端到左缘棘毛的距离	str	37.51	48.04	43.52	3.24	7.44	10
Anterior body end to left marginal distance (μm)	gon	33.89	54.01	42.26	7.76	18.36	5
	buj	47.30	58.26	52.23	3.78	7.24	8
体前端到右缘棘毛的距离	str	2.22	8.71	5.09	1.92	37.72	10
Anterior body end to right marginal distance (μm)	gon	5.79	9.99	7.65	1.51	19.74	5
	buj	3.61	7.77	5.92	1.33	22.48	8
第三列额腹棘毛数	str	2	2	2.0	0	0	10
Cirri in frontoventral row III number	gon	1	1	1.0	0	0	5
	buj	4	5	4.1	0.4	8.6	8
第四列额腹棘毛数	str	3	4	3.8	0.4	11.1	10
Cirri in frontoventral row IV number	gon	2	2	2.0	0	0	5
	buj	13	16	15.1	1.3	8.2	8
第五列额腹棘毛数	str	5	8	6.8	1.0	15.2	10
Cirri in frontoventral row V number	gon	2	2	2.0	0	0	5
	buj	13	15	14.5	0.8	5.2	8

str. 刚强殖口虫; gon. 拟殖口殖口虫; buj. 布氏瓦拉虫。str. *Gonostomum strenuum*; gon. *Gonostomum gonostomoidum*; buj. *Wallackia bujoreani*.

不具有伸缩性。胞质无色，尾部因聚集相对较多的晶体而略呈暗色。无皮层颗粒。口围带紧贴左侧边缘，近末端时明显右转，其小膜纤毛最长处达 $18\ \mu\text{m}$ 。伸缩泡 1 个（图 1n），位于口围带下方偏左处，舒张时最大直径约为 $10\ \mu\text{m}$ ，收集管观察相对较为清晰，2 条，分布于伸缩泡前后。大核 2 枚，位于虫体中线偏左侧，椭圆形；小核平均 3 枚，紧贴大核分布。不具皮层颗粒。额棘毛纤毛长 $18\ \mu\text{m}$ ，横棘毛纤毛长 $16\ \mu\text{m}$ ，背触毛纤毛长 $5\ \mu\text{m}$ ，尾棘毛纤毛长约 $12\ \mu\text{m}$ 。

银染后个体大小为 $(57\sim 106)\ \mu\text{m} \times (30\sim 42)\ \mu\text{m}$ 。口围带平均约为 $44\ \mu\text{m}$ ，由 32 片小膜构成，虫体口器为典型的殖口虫型。额棘毛 3 根，位于虫体最前端，略低于口围带远端小膜。口棘毛 1 根，位于波动膜右上方。腹面分

布着 3 列腹棘毛列分别由原基 IV、V、VI 形成，其中第 VI 列由体前延伸至体后端，而第 IV、V 列为较短的棘毛列（图 2q）。左缘棘毛列起始明显低于右缘棘毛列，左缘棘毛平均由 13.8 根棘毛构成，右缘棘毛平均由 19.8 根棘毛构成。

3 列贯穿体长的背触毛，背触毛长约 $5\ \mu\text{m}$ ，末端均着生 1 根尾棘毛。

2.5.2 比较和讨论 该种为国内新记录种。本种开始由 Hemberger 归到 *Trachelochaeta*，可能是由于他所研究种群与该属内模式种 *T. bryophila* 的最长的额腹棘毛列排布极其相似。随后 Berger 考虑了额腹棘毛长列、口区模式以及纤毛图式等因素将其移入 *Gonostomum* (Berger 2011)。本种与本属模式种近缘殖口虫的主要区别在于前者具有一列长的额腹棘毛列。已记载的印度喜马拉雅、德国波恩和韩国

蔚山的种群，由于部分种群前人描述不详，导致个别特征不能特别确定，如个体大小、表膜下颗粒的有无等。据活体形态学数据分析得知本研究种群活体大小约 $(90 \sim 110) \mu\text{m} \times (25 \sim 35) \mu\text{m}$ ，而前人所报道种群的活体大小范围是 $(60 \sim 90) \mu\text{m} \times (20 \sim 30) \mu\text{m}$ (Berger 2011)，故本研究种群略大于前人所报道的种群，但因其他形态学特征吻合，我们仍认为本种群鉴定无误。

2.6 布氏瓦拉虫 *Wallackia bujoreani* (Lepsi, 1951) Berger & Foissner, 1989 (图 1o, p, 2r, 表 3)

散毛目 Sporadotrichida Fauré-Fremiet, 1961
殖口科 Gonostomatidae Small & Lynn, 1985

2.6.1 形态学描述

虫体长椭圆形，体前端较窄，后端相较前端宽圆(图 1o, p)。背腹扁平。左右缘近乎平行，左缘平直，右缘略微有弧度。虫体活体大小约为 $(60 \sim 85) \mu\text{m} \times (20 \sim 30) \mu\text{m}$ ，皮膜柔软，虫体内质呈浅灰色或近似透明。伸缩泡 1 个，位于虫体中部前方偏左侧，最大直径约为 $10 \mu\text{m}$ 。具有无色、近似椭圆状的皮层颗粒，其直径约为 $1.5 \mu\text{m}$ 。大核 2 枚，分布于虫体中线左侧。口围带小膜纤毛最长约 $18 \mu\text{m}$ 。额棘毛和横棘毛纤毛长均为 $16 \mu\text{m}$ ，背触毛纤毛长 $6 \mu\text{m}$ ，尾棘毛纤毛可达 $18 \mu\text{m}$ ，管状。

银染后个体大小为 $(66 \sim 87) \mu\text{m} \times (18 \sim 27) \mu\text{m}$ 。口区长达 $49 \mu\text{m}$ ，平均由 32 片小膜构成，约占体长的 64%。口围带为典型的殖口虫型，即口围带起始于虫体中轴的最前端，紧贴左缘笔直向下延伸，大约到虫体中部或 2/3 处明显拐入口前庭处(图 2r)；口棘毛 2 根，位于波动膜右上方；额棘毛 3 根，位于体前端口围带略偏下。虫体腹面除左右缘棘毛外，具 2 列长腹棘毛列和 2 列较短的腹棘毛列，排列于口围带右侧；其中 2 列长腹棘毛列约由 12 根棘毛构成，大体均起始于虫体前端，终止于末端。左缘棘毛列平均由 11 根棘毛组成，而右

缘棘毛列平均由 14 根棘毛构成。

背面着生 3 列背触毛，背触毛纤毛长约 $6 \mu\text{m}$ 。第 2, 3 列均起始于虫体前端，终止于后端。而第 1 列起始位置低于第 2、3 列，但同样终止于体后端。

2.6.2 比较和讨论

在该种已报道的种群中，活体大小有所浮动，科西嘉岛种群大小 $70 \times 25 \mu\text{m}$ (Berger 2011)；甘肃甘南种群大小约为 $(67 \sim 122) \mu\text{m} \times (25 \sim 63) \mu\text{m}$ (宁应之等 2014)。而本种群活体大小为 $(60 \sim 85) \mu\text{m} \times (20 \sim 30) \mu\text{m}$ ，与科西嘉岛种群比较接近。本种群口围带由 26 ~ 37 片小膜构成，科西嘉岛种群由 23 ~ 27 片小膜构成，而甘肃甘南种群由 31 ~ 35 片小膜构成，故本研究种群与后者更为接近。

参 考 文 献

- Berger H. 1999. Monograph of the Oxytrichidae (Ciliophora, Hypotrichia). London: Kluwer Academic Publishers.
- Berger H. 2011. Monograph of the Gonostomatidae and Kahliellidae (Ciliophora, Hypotrichia). London: Springer Dordrecht Heidelberg.
- Corliss J O. 1979. The Ciliated Protozoa: Characterization, Classification and Guide to the Literature. New York: Pergamon Press.
- Foissner V W. 1982. Ökologie and Taxonomie der Hypotrichida (Protozoa, Ciliophora) Einiger österreichischer Böden. Archiv für Protistenkunde, 126(1), 19–143.
- Luo X T, Fan Y B, Hu X Z, et al. 2016. Morphology ontogeny and molecular phylogeny of two freshwater species of *Deviata* (Ciliophora, Hypotrichia) from Southern China. Journal of Eukaryotic Microbiology, 63(6): 771–785.
- Lynn D H. 2008. The Ciliated Protozoa: Characterization, Classification, and Guide to the Literature. 3rd ed. Dordrecht: Springer.
- 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.
- Siqueira-Castro I C V, Paiva T D S, Silvaneto I D D. 2009.

- Morphology of *Parastrongylidium estevesi* comb. nov. and *Deviata brasiliensis* sp. nov. (Ciliophora, Stichotrichia) from a Sewage Treatment Plant in rio de janeiro, Brazil. *Zoologia*, 26(4): 774–786.
- Wang J Y, Lyu Z, Warren A, et al. 2016. Morphology ontogeny and molecular phylogeny of a novel saline soil ciliate, *Urosomoida paragiliformis* n. sp. (Ciliophora, Hypotrichia). *European Journal of Protistology*, 56: 79–89.
- 姜佳枚. 2011. 腹毛类纤毛虫分类学及细胞发生学研究. 青岛: 中国海洋大学博士学位论文.
- 李凤超, 李延博, 吕昭, 等. 2015. 腹毛类纤毛虫-杆形戴维虫的形态学和细胞发生. *水生生物学报*, 39(6): 1255–1260.
- 李琦路, 宁应之. 2008. 土壤生态环境中纤毛虫的研究与应用. *西北师范大学学报: 自然科学版*, 44(3): 82–87.
- 李玉红. 2010. 不同类型土壤纤毛虫分类学研究. 青岛: 中国科学院研究生院海洋研究所博士学位论文.
- 宁应之, 孙静, 王红军, 等. 2014. 甘肃甘南高原沼泽湿地 6 种土壤纤毛虫记述. *动物学杂志*, 49(2): 261–271.
- 宋微波, 马洪钢. 2000. 我国海洋纤毛虫原生动物的研究进展. *生物学通报*, 35(5): 10–11.
- 宋微波, 徐奎栋, 施心路, 等. 1999. 原生动动物学专论. 青岛: 青岛海洋大学出版社.
- 徐润林, 孙逸湘. 2000. 大鹏半岛土壤纤毛虫的群落特点. *应用生态学报*, 11(3): 428–430.