

# 魏氏拟尾柱虫腹皮层纤毛器微管胞器的形态及形态发生\*

娄慧玲 高 巍 倪 兵 顾福康\*\*

华东师范大学生命科学学院, 上海 200062

**摘 要** 应用荧光紫杉醇直接荧光标记和抗  $\alpha$ -微管蛋白抗体免疫荧光标记显示, 魏氏拟尾柱虫 (*Paraurostyla weissei*) 腹面皮层纤毛器微管胞器由口围带、波动膜、额腹横棘毛和左右缘棘毛等纤毛器微管、纤毛器基部附属微管等组成。其中口围带基部微管包括小膜托架、小膜附属微管; 额腹横棘毛和左右缘棘毛基部附属微管包括前纵微管束、后纵微管束和横微管束, 它们由各自的纤毛器基部向皮层细胞质不同方向发射, 形成腹皮层表面下微管网。结果表明, 魏氏拟尾柱虫的纤毛器骨架、纤毛器附属结构也是一类以微管蛋白为基本成分的微管胞器, 其中缘棘毛基部附属微管具有不同于其他纤毛虫 (例如棘尾虫) 中所观察到的同种微管胞器的建构特征。形态发生中, 前仔虫口围带在老结构位置形成, 其结构建成与部分老口围带的更新有关; 老缘棘毛的结构物质对新的左、右缘棘毛的发生可能具有定位作用及物质贡献, 但此后新的左、右缘棘毛列分别在老缘棘毛的右侧形成, 而并非是在老缘棘毛位置分化的。在有些细胞中, 新的左缘棘毛左侧另有一列棘毛, 这可能是形态发生中老的左缘棘毛退化不完全产生的 [动物学报 53 (4): 742-749, 2007]。

**关键词** 魏氏拟尾柱虫 皮层 纤毛器 微管胞器 形态发生

## Morphology and morphogenesis of the ciliature microtubular organelles in the ventral cortex of *Paraurostyla weissei* (Hypotrichida, Ciliophora)\*

LOU Hui-Ling, GAO Wei, NI Bing, GU Fu-Kang\*\*

School of Life Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China

**Abstract** The ciliature microtubular organelles in the ventral cortex of *Paraurostyla weissei* were analyzed with fluorescence labeling of FLUTAX and anti- $\alpha$  tubulin antibody. These organelles consisted of adoral zone of membranelles (AZM), undulating membranes (UM), frontal-ventral-transverse cirri (FVTC), left & right marginal cirri (L- & RMC) and the base-associated microtubules of these ciliatures. The microtubular cytoskeleton of AZM comprised membranelle brackets and its associated microtubules; the base-associated microtubules of FVTC, L- & RMC contained anterior longitudinal microtubules (ALM), posterior longitudinal microtubules (PLM) and transverse microtubules (TM), these microtubules sent forth from the ciliatures and extended to different orientation, forming the microtubule net below the surface of the ventral cortex. These results indicate that the basal components of the ciliature cytoskeleton and the ciliature base-associated microtubules of *P. weissei* are tubulins. Besides this, the constructive character of marginal cirri base-associated microtubules of *P. weissei* were different from those of other ciliates (e.g. *Stylonychia mytilus*), whose TM of left marginal cirri protruded from the ciliature and extended to the right area. During the process of morphogenesis, part of the old AZM was renewed, and the AZM of the proter was formed at the site where the old one was located. The old marginal cirri played an important part in the orientation of the new marginal cirri and supplied its development with some substances. After that, the new marginal cirri formed at the right area but not the original area of the old ones. In some cells, one row of cirri appeared at the left of the new left marginal cirri, it may be formed because the old left marginal cirri had degenerated incompletely [Acta Zoologica Sinica 53 (4): 742-749, 2007].

**Key words** *Paraurostyla weissei*, Cortex, Ciliature, Microtubular organelle, Morphogenesis

2006-09-12 收稿, 2006-12-20 接受

\* 国家自然科学基金资助项目 (No.30470201) [This research was funded by a grant from the National Natural Science Foundation of China (No.30470201)]

\*\* 通讯作者 (Corresponding author). E-mail: fkgu@bio.ecnu.edu.cn

© 2007 动物学报 Acta Zoologica Sinica

纤毛虫含有复杂的皮层细胞骨架结构。早期,应用银浸法 (Corliss, 1953)、蛋白银方法 (Grim, 1967) 及超微结构技术显示纤毛虫皮层中以纤毛基体为主要成分的骨架结构, 探讨了皮层纤毛器的形态、形态发生及其结构形成机理, 成为原生动物学和细胞生物学的重要研究内容。从 20 世纪 90 年代起, 应用非离子去垢剂和扫描电镜术相结合的方法 (顾福康等, 1991)、针对微管蛋白的直接荧光标记与间接免疫荧光标记 (Arregui et al., 1994; Arregui et al., 2002) 及相关的生化与分子生物学等方法探索纤毛虫细胞的微管胞器及其微管蛋白组分、微管胞器的功能及其微管装配机理, 又成为所在领域研究的热点。目前, 对草履虫 (*Paramecium*)、四膜虫 (*Tetrahymena*) 等纤毛虫中分散排布的体纤毛基体微管的装配和调控的研究已经取得了重要进展 (Gaerting, 2000; Ifode et al., 2000; Ifode, 2003), 而对腹毛目纤毛虫中体纤毛基体紧密排布的微管胞器其微管结构形成及装配的了解则十分有限。本文采用荧光紫杉醇 (Fluorescent taxoid) 直接荧光染色以及抗  $\alpha$ -微管蛋白抗体间接免疫荧光方法, 以腹毛目纤毛虫魏氏拟尾柱虫 (*Paraurostyla weissii*) 为材料对其皮层微管类细胞骨架的组成及形态发生进行了观察。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

魏氏拟尾柱虫于 2005 年 6 月采自浙江省临安县天目山小池塘, 分离后, 应用麦粒液发酵获得的细菌作为饵料, 建立纯系培养。将纤毛虫培养至较高密度后, 取无性生殖不同时期的细胞作为实验材料。

### 1.2 方法

**1.2.1 荧光紫杉醇直接荧光标记** 采用本实验室改进的方法 (何兰等, 2006), 主要步骤为: ①将材料放入 0.5% 的皂苷中渗透 2 min, 用 PHEM 清洗 1 次; ②将渗透后的细胞放入 4% 多聚甲醛中固定 2–3 min, PHEM 清洗 1 次并将细胞转移至涂有多聚赖氨酸的载玻片上; ③0.2% Triton X-100 处理 2–3 min, PHEM 清洗 1 次; ④1  $\mu\text{mol/L}$  FLUTAX-2 染色 10 min, 0.01 mol/L 的 PBS 漂洗, 盖片。Olympus BX 荧光显微镜观察, Cool SNAP-Pro 数码相机照相。

**1.2.2 抗  $\alpha$ -微管蛋白抗体免疫荧光标记** 采用本实验室报道的方法 (曾红等, 2006), 主要步骤为:

①将材料放入 0.5% 皂苷渗透 2 min, PHEM 清洗 1

次; ②4% 多聚甲醛固定 1 h; ③将固定的细胞用 0.1% 的 Triton-X100 缓冲液处理 13 min–15 min; ④用冷的不含 Triton X-100 的抽提缓冲液快速清洗 1 次; ⑤PBS + 3% BSA 清洗 3 次, 每次 5 min; ⑥将细胞转移至涂有多聚赖氨酸的载玻片上, 用抗  $\alpha$ -微管蛋白抗体 (鼠抗、1:1 000) 孵育 1 h, PBS + 3% BSA 清洗 3 次, 每次 5 min; ⑦羊抗鼠免疫球蛋白的二抗 (1:100) 孵育 1 h, PBS + 3% BSA 清洗 3 次, 每次 5 min, 三蒸水清洗 1 次; ⑧加防猝灭油、盖片。Olympus BX 荧光显微镜观察, Cool SNAP-Pro 数码相机照相。

## 2 结果

### 2.1 非分裂期细胞皮层的纤毛器及其附属微管

荧光显微镜显示, 魏氏拟尾柱虫的口围带、波动膜、额腹横棘毛和左右缘棘毛等纤毛器微管及纤毛器基部附属微管形成其腹皮层中主要的细胞骨架。

**2.1.1 纤毛器微管** 口围带位于前端, 其中小膜按序排列并弯曲成镰刀形, 约占细胞的 1/3 长度; 波动膜自口围带基部向前伸展, 片状; 额棘毛 6 根, 前 3 根位于细胞的前端, 后 3 根接近腹棘毛; 腹棘毛 4–5 列, 其中左侧 1 列较短, 棘毛数少, 右侧 3–4 列棘毛数相近; 横棘毛在腹棘毛的紧后端, 成斜向的一列, 含棘毛 6–9 根; 左、右缘棘毛各 1 列, 且两者在后端相接续 (图版 I: 1)。

**2.1.2 纤毛器附属微管** 几类纤毛器附属微管具有不同的构型, 其中: (1) 口围带小膜附属微管 在口围带领部小膜下方有横向的彼此平行排列呈梯状的小膜托架; 在细胞前端, 口围带小膜基部向后伸出较为短小的微管束, 且每个小膜的基部发出两束微管与相邻小膜的微管束相互交叉呈 ‘V’ 字形 (图版 I: 2、3)。(2) 额腹横棘毛基部附属微管 在额腹横棘毛区皮层, 棘毛基部附属微管一般含有前纵微管束、后纵微管束和横微管束三种微管束, 其同种微管束具有相同的定位特征, 但不同种微管束的定位及伸展方向则不一样: 前纵微管束由棘毛基部左前端向左前方皮层伸展, 后纵微管束由棘毛基部右后端向皮层右后方伸展, 横微管束由棘毛基部左侧在皮层内横向伸展。仔细观察, 各类棘毛基部附属微管的分化稍有不同, 并且在不同皮层位置的同类微管也有差异: 额棘毛基部具有较为粗大的后纵微管束 (图版 I: 1、4), 其前纵微管束和横微管束向皮层深部伸展 (图版 I: 1)。占据腹中部

皮层区的几列腹棘毛基部均含有前纵微管束、后纵微管束和横微管束，其腹棘毛列前端的棘毛基部前纵微管束不明显，而中部和后部的前纵微管束发达；前端的腹棘毛基部后纵微管束较为发达（图版 I：4），中部和后部的同种微管束趋于一致；前端的腹棘毛基部横微管束较不明显，中部以及后端的横微管束比较发达，并且长短、粗细较为接近（图版 I：5）。位于腹棘毛列后端的横棘毛基部具有发达的前纵微管束，各束微管的前端在横棘毛基部前方不远处汇聚，形成一个三角形的微管层，其后纵微管束与腹棘毛的同种类型附属微管相比较为粗大，但横微管束则不明显（图版 I：6）。（3）左、右缘棘毛基部微管——在左、右缘棘毛列中，每根棘毛基部向皮层发出前纵微管束、后纵微管束和横微管束，其微管束的定位特征与额腹横棘毛基部附属微管基本相同，但各个棘毛基部微管紧密排列形成的棘毛基部微管网则显示不同的特征。其中，棘毛基部前纵微管束较细长，各个微管束在棘毛列基部左侧相互聚集，形成一纵贯前后的粗微管束；后纵微管束较粗大，全部微管束在棘毛列右侧形成一纵贯前后的狭带；各个横微管束长度、粗细相近，它们于棘毛基部向左侧皮层伸展相当长度（图版 I：5、7）。

## 2.2 无性分裂过程中腹面皮层纤毛器的形态发生

魏氏拟尾柱虫无性分裂中，皮层老纤毛及附属结构退化瓦解，细胞分化形成前、后仔虫，期间按序产生新仔虫的口围带、波动膜，额腹横棘毛和左右缘棘毛及其附属微管等结构。基本过程如下。

### 2.2.1 口围带、波动膜

首先，在腹皮层最左侧的一列腹棘毛及横棘毛前端的部分腹棘毛瓦解（图版 II：8），于口围带和横棘毛之间这一老棘毛结构瓦解区内形成后仔虫口围带原基区（图版 II：9）。原基区按自前至后的顺序分化形成小膜、且口原基长纤毛，并自前端开始发生弯曲，最终成为后仔虫的口围带；前部的口围带原基区小膜长纤毛和原基弯曲时，于口围带原基的右侧产生有颗粒样结构聚集形成的后仔虫波动膜原基（图版 II：10），伴随着口围带的变化，原基也经历了长纤毛和成熟的过程。

后仔虫的口围带原基长纤毛时，在老口围带后 2/3 部分的小膜经历更新的过程，老小膜的纤毛瓦解，形成一片片新小膜，其右侧的老波动膜的纤毛也退化瓦解而形成新波动膜原基（图版 II：11、12），最终，两者在相应位置成为前、后仔虫的口

围带和波动膜。

### 2.2.2 额腹横棘毛

前、后仔虫的波动膜原基发生时，在该两个原基的右侧有两部分各几列腹棘毛瓦解，在棘毛瓦解区形成前、后仔虫的额腹横棘毛原基（图版 II：10）。大多数情况下，额腹横棘毛原基为 5-7 列，但不同的细胞其原基的列数往往不一样，有时同一细胞内前、后两部分原基的列数也有差异（图版 II：13、14）。此后，前、后两部分原基发生分段、迁移和长纤毛的过程，最终成为前、后仔虫的额腹横棘毛。在前、后额腹横棘毛原基分化过程中，其前、后两部分每列原基分出的前一段分别成为一根额棘毛，后一段原基各成为一根横棘毛并组成斜向排列的横棘毛列，中间的大部分原基段各成为一根腹棘毛而组排成腹棘毛列，但是处于分化中的腹棘毛原基的列数与最终形成的腹棘毛的列数并不一致。

额腹横棘毛原基分化时，处于非原基区的老额棘毛、中部的老腹棘毛和后部的老横棘毛没有明显的变化（图版 II：13），这几部分老棘毛是在细胞形成分裂沟及新的前、后仔虫的额腹横棘毛最终定位时才瓦解消失的（图版 II：15）。

### 2.2.3 左、右缘棘毛

在前仔虫口围带更新及后仔虫口围带开始长纤毛时，左列缘棘毛中的前端和中部有几根棘毛瓦解（图版 II：10），于棘毛瓦解位置形成前、后左缘棘毛原基，此后该两列原基分别在老缘棘毛内侧向后延伸，原基经历了分段和长纤毛的过程，并最终定位，成为前、后仔虫的左缘棘毛（图版 II：13、14、15）。前、后右缘棘毛原基在老的右缘棘毛前、后两个棘毛瓦解的位置发生，此后在老结构的外侧延伸、分段和成熟，其情形类似于左缘棘毛（图版 II：13）。

新的左缘棘毛分化时，其外侧的老缘棘毛有的退化，有的无明显的变化，至前、后仔虫即将分离时仍有残留的老缘棘毛；老的右缘棘毛也是在新缘棘毛分化后较长时间才退化消失的。此外，在细胞分裂后产生的仔虫中，偶见左缘棘毛左侧另有一列棘毛，其棘毛数 6-9 根不等（图版 II：16）。且这些棘毛基部具有前纵及后纵微管束。在某些细胞中其基部还可以看到老的、残留的横微管束。

## 3 讨 论

### 3.1 魏氏拟尾柱虫皮层细胞骨架的基本特征

自从 Jerka-Dzidosz (1969) 应用蛋白银染色方法显示了纤毛虫 *Urostyla weissei* 的皮层纤毛结构之

后, Borror (1972) 对腹毛目纤毛虫进行了校订, 根据该纤毛虫的纤毛模式及其形态发生特征将之作为拟尾柱虫属 (*Paraurostyla*) 的成员。本文的纤毛虫与该纤毛虫具有相同的形态学特征, 因此视为魏氏拟尾柱虫。

在腹毛目纤毛虫皮层细胞骨架的研究中, 应用蛋白银染色方法、非离子去垢剂抽提结合扫描电镜技术等, 对游仆虫 (*Euplotes*) 细胞皮层纤毛器骨架和非纤毛器骨架的结构已有了较深入的了解 (顾福康等, 2003; 顾福康, 1991; 朱慧等, 2004), 但是, 这些骨架结构中, 除纤毛器微管和表膜下微管外, 对纤毛器骨架及其附属结构的认识尚限于纤维结构水平。作者应用两种荧光标记方法, 其中荧光紫杉醇染色方法能较好地显示拟尾柱虫的纤毛器基体及纤毛杆的微管结构, 而抗  $\alpha$ -微管蛋白抗体间接免疫荧光标记能较好地显示纤毛虫的纤毛器基体及其基体附属微管, 该方法互为补充, 可特异性地显示纤毛虫皮层微管骨架结构, 所得结果为确定这些骨架结构的基本特征提供了可能条件。由于曾红等 (2006) 应用 FLUTAX 方法和抗微管蛋白抗体免疫荧光显微术, 观察到贻贝棘尾虫 (*Stylorychia mytilus*) 的纤毛器基部微管与应用蛋白银方法显示的纤毛器基部纤维 (史新柏<sup>①</sup>) 是同种结构, 本文对魏氏拟尾柱虫除取得与 Jerka-Dziadosz (1969) 应用蛋白银染色相一致的纤毛器基本形态之外, 并较完整地获得了纤毛器附属微管的结构图形, 因此有理由认为, 魏氏拟尾柱虫的皮层细胞骨架中, 除表膜下微管和纤毛器微管外, 纤毛器骨架、纤毛器附属结构等骨架也均是一类以微管蛋白为基本成分的微管胞器。

### 3.2 魏氏拟尾柱虫的纤毛器、纤毛器微管骨架和纤毛器附属微管的组成和建构特征

本文由荧光紫杉醇方法和免疫荧光标记方法显示魏氏拟尾柱虫腹面皮层微管胞器及胞器骨架由口围带、波动膜、额腹横棘毛和左右缘棘毛等纤毛器微管及其骨架、纤毛器基部附属微管等组成。其中口围带微管骨架含有小膜托架、小膜附属微管, 并且相邻两个小膜间微管骨架形成“V”形结构; 额腹横棘毛和左右缘棘毛基部附属微管均含有前纵微管束、后纵微管束和横微管束, 它们由各自的纤毛器基部向皮层细胞质不同方向发射, 形成腹皮层表

面下微管网。关于腹毛类纤毛虫棘毛基部附属微管的结构, 目前仅对少数种类有所了解, 例如棘尾虫 (*Stylorychia mytilus*)。与细胞纤毛模式不同的贻贝棘尾虫相比较, 拟尾柱虫的纤毛器骨架、纤毛器基部微管具有相似的结构组成, 且口纤毛器和额腹横棘毛附属微管也具有相似的建构特征, 但左缘棘毛基部横微管束则呈现完全不同的定位和定向特征, 其中棘尾虫的左缘棘毛基部横微管束由纤毛器基部向右侧伸展, 以致左、右缘棘毛基部附属微管形成对称图像 (曾红等, 2006); 拟尾柱虫的左缘棘毛基部横微管由纤毛器基部向左侧伸展, 以致左、右缘棘毛基部附属微管形成不对称图像。结果表明, 拟尾柱虫缘棘毛基部附属微管具有不同于棘尾虫同种微管胞器的建构特征。

### 3.3 魏氏拟尾柱虫无性分裂中纤毛器微管胞器的分化特征

Jerka-Dziadosz (1969) 曾对魏氏拟尾柱虫形态发生过程做了较详细的观察。但本文进一步发现, 魏氏拟尾柱虫无性生殖中于老口围带后 2/3 部分发生更新, 前 1/3 部分的小膜无明显变化, 此后更新的小膜和无变化的小膜共同组成前仔虫的新的口围带, 因此前仔虫口围带并非是由老的口围带全部遗传的, 这与翁尼柯虫 (*Onychodromus quadricornutus*) 的结果 (朱慧等, 2006) 相似; 并且, 新的左、右缘棘毛在老缘棘毛的位置发生时, 其老结构物质对新结构的发生可能具有定位作用及物质贡献, 但此后新的左缘棘毛列在老缘棘毛的内侧即右侧形成, 新的右缘棘毛列在老缘棘毛的外侧也即右侧形成, 而并非是在老缘棘毛的位置分化的; 此外, 额腹横棘毛形态发生中其最终形成的腹棘毛列少于相应的原基列数, 这可能与有些棘毛原基列的进一步重组和归并有关, 也表明棘毛的分化中不仅涉及到细胞对棘毛的数量和定位, 也涉及到对棘毛列的调控。

在本文的纤毛虫中还观察到, 细胞腹面左缘棘毛列的左侧, 还存在另有一列棘毛的现象, 这可能是细胞形态发生中老的左缘棘毛列不完全退化产生的。

### 参考文献 (References)

Arregui L, Munoz-Fontela C, Serrano S, Barasoain I, Guinea A, 2002.

① Shi XB, 1985. The fibrillar systems of *Stylorychia mytilus*. In: Chinese Protozoological Society ed. Proceedings of the Third Symposium of the Chinese Protozoological Society, 27-28 [史新柏, 1985. 棘尾虫的纤维系统. 见: 中国原生动物学学会编. 中国原生动物学学会第三次学术讨论会论文摘要汇编, 27-28.]

- Direct visualization of the microtubular cytoskeleton of ciliated protozoa with a fluorescent taxoid. *J. Eukaryot. Microbiol.* 49: 312–318.
- Arregui L, Serrano S, Guinea A, 1994. Microtubular elements of the marine Antarctic ciliate *Euplotes focardii*. *Arch. Protistenkd.* 144: 357–364.
- Borror AC, 1972. Revision of the order Hypotrichida (Ciliophora Protozoa). *J. Protozool.* 19 (1): 1–23.
- Corliss JO, 1953. Silver impregnation of ciliated protozoa by the Chatton-Lwoff technic. *Stain. Technol.* 28 (2): 97–100.
- Gaerting J, 2000. Molecular mechanism of microtubular organelle assembly in *Tetrahymena*. *J. Eukaryot. Microbiol.* 47: 185–190.
- Grim JN, 1967. Ultrastructure of pellicular and ciliary structures of *Euplotes eurystomus*. *J. Protozool.* 14: 625–633.
- Gu FK, Zou SF, Li YS, Ni B, 2003. Scanning electron microscopic observations on the ventral cortical cytoskeleton of *Euplotes harpa* (Protozoa, Ciliophora). *Acta Zool. Sinica* 49 (4): 514–521 (In Chinese).
- Gu FK, Zhang ZR, 1991. Scanning electron microscopic study on the structures of the cortical fibers in *Euplotes* sp. *Zool Res.* 12 (4): 337–341 (In Chinese).
- He L, Zeng H, Shen J, Niu YN, Lou HL, Gu FK, 2006. An improved FLUTAX method for visualizing the microtubule organelle of ciliates. *Chinese Journal of Zoology* 41 (3): 59–61 (In Chinese).
- Iftode F, Clerot JC, Levilliers N, Bre MH, 2000. Tubulin polyglycylation: a morphogenic marker in ciliates. *Biol. Cell.* 92: 615–628.
- Iftode F, Fleury-Aubusson A, 2003. Structural inheritance in *Paramecium*: ultrastructural evidence for basal body and associated rootlets polarity transmission through binaty fission. *Bio. Cell.* 95: 39–51.
- Jerka-dziadosz M, Frankel J, 1969. An analysis of the formation of ciliary primordia in the hypotrich ciliate *Urostyla weissei*. *J. Protozool.* 16 (4): 612–637.
- Zeng H, Ni B, Gu FK, 2006. Microtubular organelles in *Stylonychia mytilus* revealed by fluorescent labeling. *Chinese Journal of Zoology* 41 (4): 71–76 (In Chinese).
- Zhu H, Zou SF, Li YS, Ni B, Gu FK, 2004. Cortical cytoskeleton of *Euplotes gracilis* (Protozoa, Ciliophora) by non-ionic detergent extraction. *Zool Res.* 25 (5): 422–428 (In Chinese).
- Zhu H, Zou SF, Ni B, Gu FK, 2006. Differentiation of the ciliature and the base-associated fibers of *Onychodromus quadricornutus* during asexual divisions. *J. East China Normal Univ. (Natural Science Edition)*. 2: 49–57 (In Chinese).
- 顾福康, 邹士法, 李艺松, 倪兵, 2003. 镰游仆虫腹面皮层细胞骨架的扫描电镜观察. *动物学报* 49 (4): 514–521.
- 顾福康, 张作人, 1991. 一种游仆虫皮层纤维结构的扫描电镜研究. *动物学研究* 12 (4): 337–341.
- 何兰, 曾红, 沈洁, 牛延宁, 姜慧玲, 顾福康, 2006. FLUTAX 法显示纤毛虫微管胞器的改良. *动物学杂志* 41 (3): 59–61.
- 曾红, 倪兵, 顾福康, 2006. 原生动物贻贝棘尾虫微管胞器的荧光标记与显示. *动物学杂志* 41 (4): 71–76.
- 朱慧, 邹士法, 李艺松, 倪兵, 顾福康, 2004. 用非离子去垢剂抽提获得的小游仆虫皮层细胞骨架的构形. *动物学研究* 25 (5): 422–428.
- 朱慧, 邹士法, 倪兵, 顾福康, 2006. 四角翁尼柯虫无性生殖中纤毛器及其基部纤维的分化. *华东师范大学学报 (自然科学版)* 2: 49–57.

## 图版说明

### 图版 I

- 魏氏拟尾柱虫腹面微管胞器。FC: 额棘毛; VC: 腹棘毛; TC: 横棘毛; AZM: 口围带; UM: 波动膜; LMC: 左缘棘毛; RMC: 右缘棘毛; a: 额棘毛基部附属微管。
3. 口围带小膜附属微管。a: 小膜托架; b: 小膜基部附属微管。
- 额棘毛基部后纵微管束 (大箭头) 和前部区腹棘毛基部后纵微管束 (小箭头)。
- 中部及后部区的腹棘毛基部附属微管、左缘棘毛基部附属微管。ALM: 前纵微管束; PLM: 后纵微管束; TM: 横微管束。a: 前纵微管束聚集而成的粗大的微管带。
- 横棘毛基部附属微管。a: 前纵微管束形成的三角形微管层; b: 横棘毛基部的后纵微管束。
- 右缘棘毛附属微管。b: 后纵微管束聚集而成的较为狭窄的微管带。

### 图版 II

- 左侧一列腹棘毛开始瓦解 (箭头所示)。
- 早期的后仔虫口围带原基 (AZMP) (箭头所示)。
- 前、后仔虫的额腹横棘毛原基 (FVTP), 初期的前、后仔虫缘棘毛原基 (MCPC), 后仔虫的波动膜原基 (UMP)。
- 11、12. 发生更新的前仔虫口围带 (AZM) (大箭头所示发生更新的部分), 前、后仔虫的波动膜原基 (UMP) (小箭头所示)。
13. 同一纤毛虫细胞形成的前、后额腹横棘毛原基 (两者原基列数不同) 和前、后的左、右缘棘毛原基 (小箭头所示)。
14. 分段的前、后仔虫额腹横棘毛原基 (FVTP) 及发生延伸的左缘棘毛原基 (LMCP), 大箭头示残留的老棘毛。
15. 新额腹横棘毛进一步迁移, 老的左缘棘毛 (LMC) 仍旧存在。
16. 分裂后仔虫中未退化的左缘棘毛 (箭头所示)。

1、4、5、9、10、12、13、14、15、16 为 FLUTAX 直接荧光标记照片; 图 2、3、6、7、8、11 为抗  $\alpha$ -微管蛋白抗体免疫荧光标记照片。图版中标尺示 10  $\mu\text{m}$ 。

## Explanation of Plates I

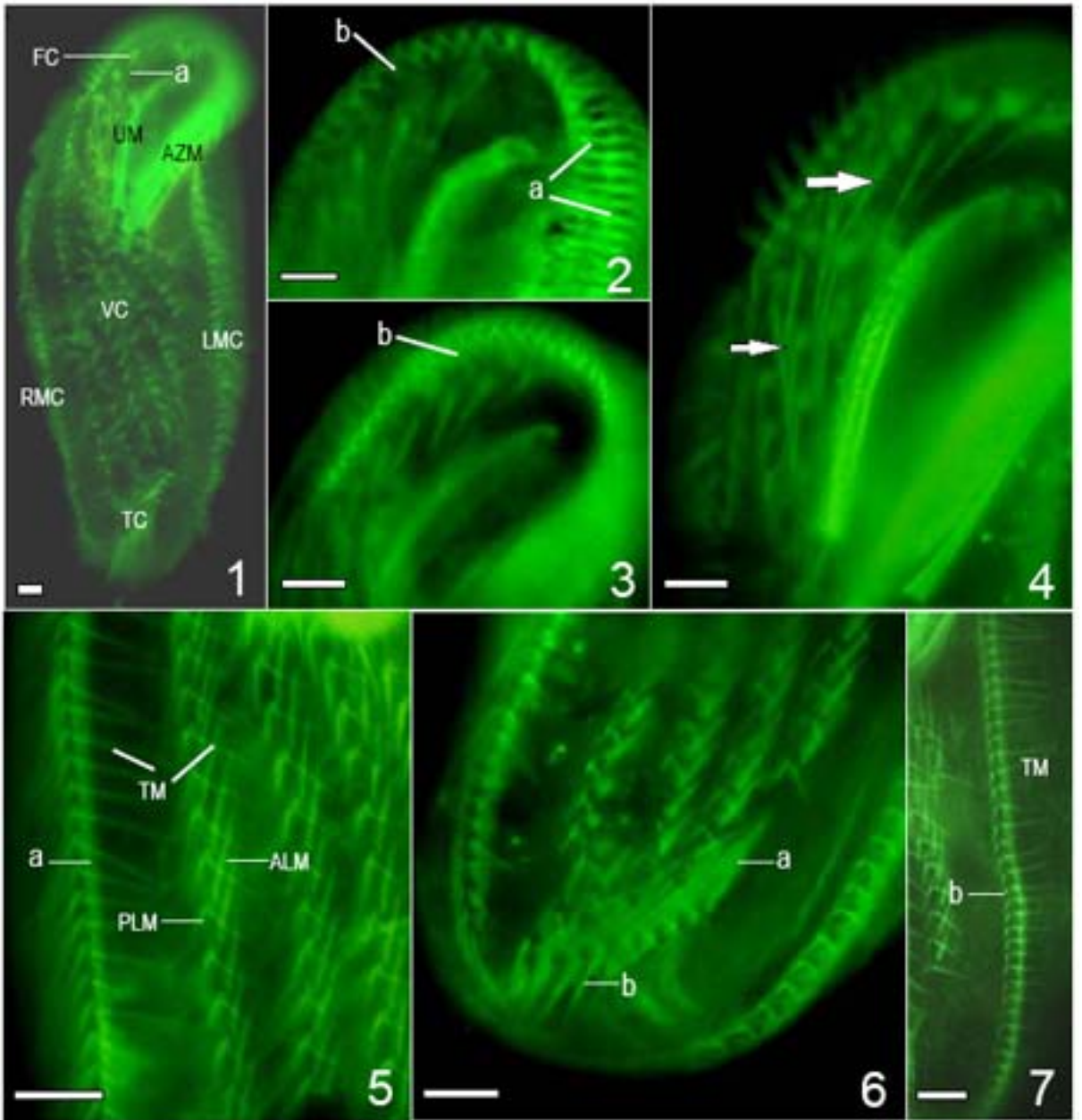
### Plate I

1. Microtubular organelles of ventral cortex of *Paraurostyla weissei*.  
FC: Frontal cirri; VC: Ventral cirri; TC: Transverse cirri; AZM: Adoral zone of membranelles; UM: Undulating membranes; LMC: Left marginal cirri; RMC: Right marginal cirri; a: FC base associated microtubules.
- 2, 3. Membranelle associated microtubules of AZM. a: Membranelle bracket; b: Membranelle base associated microtubules of AZM.
4. FC base posterior longitudinal microtubules (PLM) (big arrow) and thick posterior longitudinal microtubules of anterior VC (PLM) (small arrow).
5. Middle and posterior VC base associated microtubules and the left marginal cirri base associated microtubule. ALM: Anterior longitudinal microtubules; PLM: Posterior longitudinal microtubules; TM: Transverse microtubules. a: Thick microtubular strip which was assembled by anterior microtubules.
6. TC base associated microtubules. a: Triangular microtubular layer which was assembled by anterior longitudinal microtubules; b: TC base posterior longitudinal microtubules (PLM).
7. Right marginal cirri base associated microtubule. b: Confined microtubular strip which was assembled by posterior longitudinal microtubules.

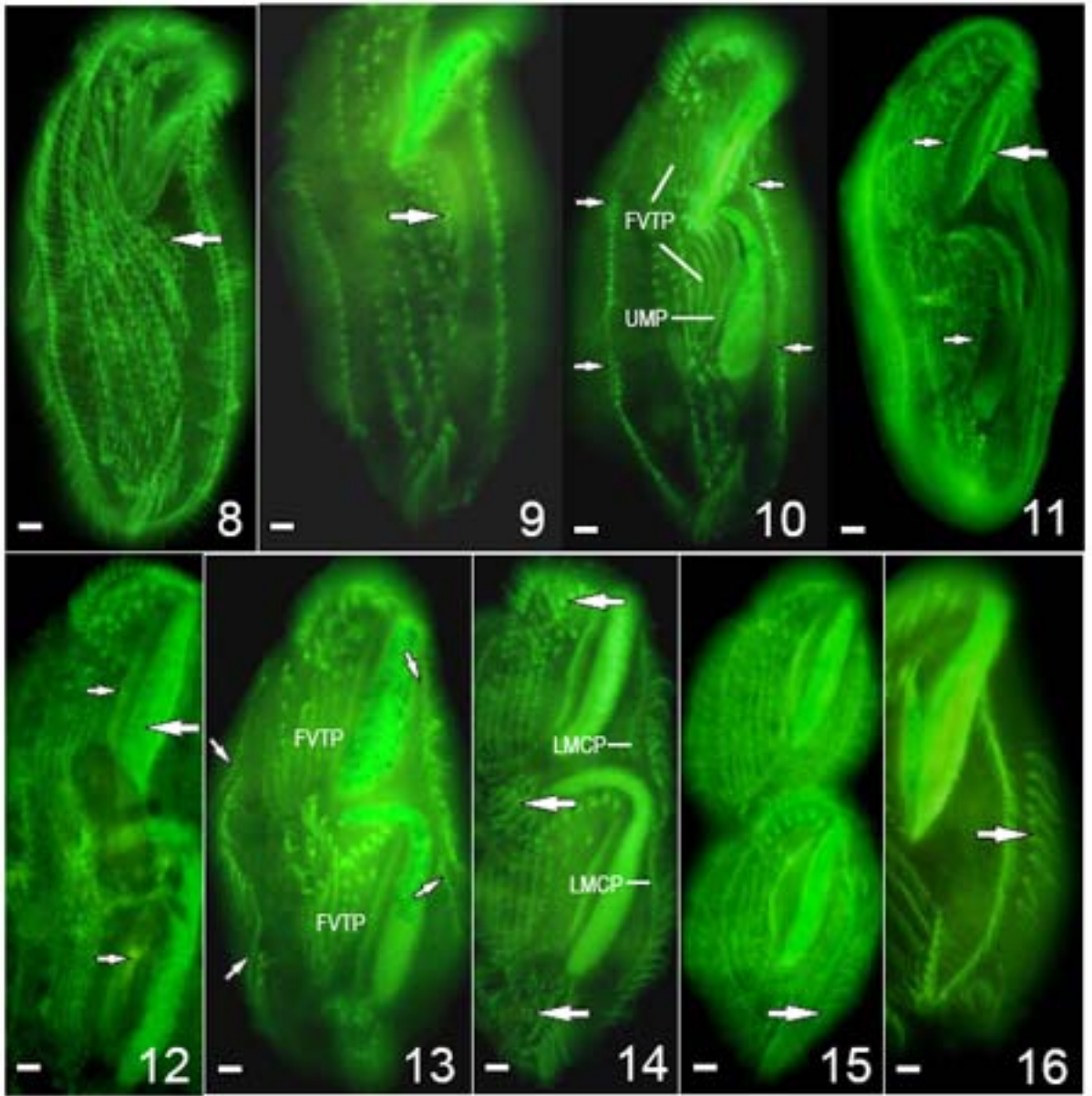
### Plate II

8. One row of ventral cirri (VC) in the left of the cell disintegrated (arrow).
9. Early stage of AZM primordium (AZMP) of opisthe (arrows).
10. FVT primordia (FVTP) of proter and opisthe, Early stage of MC primordia (MCP) of proter and opisthe, UM primordium (UMP) of opisthe.
- 11, 12. AZM of proter which was renewed, big arrow shows the renewed portion, small arrows show UM primordium (UMP).
13. FVT primordia (FVTP), LMC and RMC primordia of proter and opisthe which derived from the same ciliate cell, and the rows of FVTP of proter and opisthe were different, small arrows show RMC primordia (RMCP) of proter and opisthe.
14. Segmented FVT primordia (FVTP) and the prolonged LMC primordia (LMCP) of proter and opisthe, big arrows show the region of old ciliatures.
15. The new FVTC had transferred further to destination, arrows shows the old LMC which still existed.
16. The cell which had accomplished division process, arrow shows the old LMC which degenerated incompletely.

1, 4, 5, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16 are the fluorescence labeling of FLUTAX; 2, 3, 6, 7, 8, 11 are the fluorescence labeling of anti- $\alpha$  tubulin antibody. In the plates, Scale bar indicates 10  $\mu$ m.



图版说明见文后 (Explanation at the end of the text)



图版说明见文后 (Explanation at the end of the text)