

龟足白垩腺的组织学和超微结构

陶淑云 饶小珍* 林 岗

福建师范大学生命科学学院 福州 350108

摘要: 应用光学显微镜和透射电子显微镜对龟足 (*Capitulum mitella*) 白垩腺的组织学和超微结构进行观察。龟足的白垩腺由腺细胞和管道系统组成, 外周覆有一层结缔组织膜。腺细胞为单细胞, 其发育与个体发育不同步。年幼腺细胞较小, 形态为圆形或椭圆形, 细胞核也为圆形或椭圆形。随着腺细胞的发育, 细胞及细胞核逐渐变大, 形状不规则具多态性。成熟腺细胞的细胞质电子密度高, 充满大量粗面内质网和游离核糖体; 线粒体很丰富, 但未见高尔基体。细胞质中含有丰富的颗粒状物质以及大小不一的囊泡, 小囊泡的聚集和融合形成了大囊泡即胞内管。管道系统根据位置和功能分为 4 个层次: 胞内管、收集管、次级管和初级管。收集管、次级管和初级管的管壁均由单层上皮细胞组成, 初级管较收集管和次级管大且内腔衬有几丁质层。收集管的管壁上皮细胞与腺细胞之间形成隔状连接, 各级管壁上皮细胞之间也形成隔状连接, 这种结构保证了管道的紧密性。总之, 龟足白垩腺的形态结构类似于茗荷 (*Lepas anatifera*) 和 *Dosima fascicularis*。

关键词: 龟足; 白垩腺; 组织学; 超微结构

中图分类号: Q952 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2015) 03-445-12

Histology and Ultrastructure of the Cement Apparatus in *Capitulum mitella*

TAO Shu-Yun RAO Xiao-Zhen* LIN Gang

College of Life Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350108, China

Abstract: Histology and ultrastructure of the cement apparatus of *Capitulum mitella* were observed by light microscopy and electron microscopy. The results show that the cement apparatus of *Capitulum mitella* is composed of gland cells and canal system (Fig. 1). The cement apparatus is sheathed in a layer of connective tissue membrane (Plate I - III). Gland cell is a unicellular gland (Plate I). Development of gland cells and animal itself is not synchronous. Young gland cells are small, and the shape of cells and nuclei is round or ovoid (Plate I). With development of cement gland, gland cells and their nuclei enlarge, and their shape becomes irregular with polymorphism (Plate I). The cytoplasm of mature gland cells, which has high electron density, is full of abundant rough endoplasmic reticulum, free ribosomes, and a few of mitochondria

基金项目 福建省科技厅重点项目 (No. 2014N0011), 福建省自然科学基金项目 (No. 2011J01147);

* 通讯作者, E-mail: xzrao@fjnu.edu.cn;

第一作者介绍 陶淑云, 女, 硕士研究生; 研究方向: 动物生理生态; E-mail: taoxsttkl20@163.com.

收稿日期: 2014-09-05, 修回日期: 2015-02-10 DOI: 10.13859/j.cjz.201503015

without Golgi body (Plate I, II). The cytoplasm contains rich particulate matters and vacuoles in different sizes (Plate I, II). Formation of intracellular canal in gland cells is via aggregation and fusion of cytoplasmic vacuoles (Plate I, II). The canal system is divided into four levels depending on location and function: intracellular canal, collector canal, secondary canal, principal canal (Fig. 1). The collector canal, the secondary canal, and the principal canal are composed of monolayer epithelial cells (Plate III). The principal canal is larger than the secondary canal and collector canal (Plate III). The lumen of the principal canal is lined by a dense cuticle layer (Plate III). Septate junction connects gland cells with wall cells of the collector canal. The epithelial cells of canal walls are also connected by septate junction (Plate III). This structure ensures tightness of the canal system. In this paper formation and structural characteristics of the intracellular canal and collector canal are described in detail. In short, morphological structure of the cement apparatus in *Capitulum mitella* is similar to that of *Lepas anatifera* and *Dosima fascicularis* (Plate III).

Key words : *Capitulum mitella*; Cement apparatus; Histology; Ultrastructure

龟足 (*Capitulum mitella*) 隶属于节肢动物门 (Arthropoda) 甲壳亚门 (Crustacea) 蔓足下纲 (Cirripedia) 围胸总目 (Thoracica) 有柄目 (Pedunculata) 铠茗荷亚目 (Scalpellomorpha) 指茗荷科 (Pollicipidae) 龟足属, 在我国主要分布于长江口以南海浪剧烈冲击的暴露型岩相海岸的中、高潮区的岩石缝隙 (刘瑞玉等 2007)。龟足不仅是一种营养价值高、具有多种生理功能和保健作用的优质海产品, 而且也是一种具有较高经济价值和发展前景的海水养殖品种 (陈宁等 2009)。课题组曾对龟足的生物学和室内养殖条件进行过多年的研究 (张殿彩等 2009, 赵允魁等 2009, 饶小珍等 2010, 郭世群等 2011, 林岗等 2011, 陈昭娜等 2013, Rao et al. 2014), 但国内外仍未见对其白垩腺组织学和超微结构的报道。蔓足类成体多营固着生活, 由一种特殊的单细胞腺体——白垩腺分泌粘胶剂 (cement), 用于附着到基质表面。目前国外有关无柄蔓足类白垩腺的组织学、组织化学和超微结构的研究较多 (Lacombe 1970, Walker 1970, Fyhn et al. 1976, Walker 1978), 而有关有柄蔓足类白垩腺组织学和超微结构的研究却很少。虽然早在 1969 年 Lacombe 等就观察了有柄蔓足类白垩腺组织学的结构, 但直到最近关于有柄蔓足类茗荷 (*Lepas anatifera*) 和 *Dosima fascicularis* 白垩腺的组织化学、形态

学和超微结构方面的详细研究才被报道 (Zheden et al. 2012, Jonker et al. 2012)。近年随着经济发展和人类生活的影响, 适合龟足生存的自然生境越来越少, 龟足的数量也急剧减少, 作为一种独特的海洋生物, 对其进行人工繁育有现实意义。本文从组织学和超微结构方面对龟足白垩腺进行详细的观察, 旨在分析龟足粘胶剂分泌腺的结构特点, 可为了解龟足的附着机制提供帮助, 并为实现龟足人工育苗中金星幼虫的附着变态提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

采自福建省福州市连江县定海海区。成体龟足 (峰吻径大于 10 mm) 采集于 2012 年繁殖季节 (7 ~ 8 月); 幼体龟足 (用于 H.E 染色的龟足峰吻径约 3 ~ 4 mm, 用于透射电镜的龟足峰吻径约 1 ~ 2 mm) 采集于 2012 年非繁殖季节 (11 ~ 12 月)。

1.2 方法

组织学样品制备和观察: 剪开龟足幼体和成体柄部末端, 在解剖镜下剔除外周鳞状角质层, 取下柄部肌肉组织。肌肉组织切成约 3 mm³, 在 Bouin 固定液中固定 24 h, 石蜡包埋切片, 切片厚度 4 ~ 7 μm, H.E 染色后中性树胶封片, Olympus 显微镜下观察并拍照。

电镜样品制备和观察: 剪开龟足幼体柄部末端, 在解剖镜下剔除外周鳞状角质层, 柄部肌肉组织切成约 1 mm^3 , 固定于 2.5% 戊二醛和 1% 饿酸溶液, 脱水、包埋、切片、染色。在 HITACHI H-7650 型透射电镜下观察并拍照。

2 结果

2.1 龟足白垩腺的组织学结构

龟足白垩腺位于柄部接近头状部的结缔组织中, 由腺细胞和管道系统组成。腺细胞为单细胞腺, 管道系统根据位置和功能分为 4 个层次: 胞内管、收集管、次级管和初级管。分散单个的腺细胞通过管道相连接, 腺细胞位于葡萄状分支管道的顶端。腺细胞分泌的粘胶剂经各级管道运送到体外并黏附到基质表面 (图 1)。整个白垩腺被覆着一层连续的结缔组织膜, 使白垩腺与其他组织分离开 (图 1)。柄部从外到内依次为环肌层、纵肌层、结缔组织层 (图版 I: 1), 结缔组织层中也可见少量肌纤维分布

(图版 I: 2)。

2.1.1 腺细胞 非繁殖期幼体龟足的腺细胞散布于柄部的结缔组织中, 未见明显的卵巢组织 (图版 I: 2)。繁殖期成体龟足的腺细胞和卵巢中的卵泡混杂在一起, 分散在柄部的结缔组织中 (图版 I: 3)。腺细胞大多单个存在, 一部分 3~5 个聚集在一起 (图版 I: 2~5)。腺细胞发育程度不一, 体积有大有小 (图版 I: 2~5)。

年幼腺细胞: 近似规则的椭圆形, 体积较小, 直径范围约 $10\sim 30\ \mu\text{m}$, 细胞核为圆形或椭圆形, 核质较集中 (图版 I: 2, 4~6), 可见单一核仁 (图版 I: 6)。

成熟腺细胞: 随着腺细胞的发育, 细胞形状逐渐具多态性, 不规则 (图版 I: 6, 7), 体积较大, 直径范围约 $30\sim 50\ \mu\text{m}$ (图版 I: 2, 4~8)。细胞核也具多态性, 不规则呈分叶状, 核质较分散, 细胞间差异比较大 (图版 I: 5~7), 可见单一核仁 (图版 I: 7)。细胞质有大小不一的囊泡 (图版 I: 6, 7)。

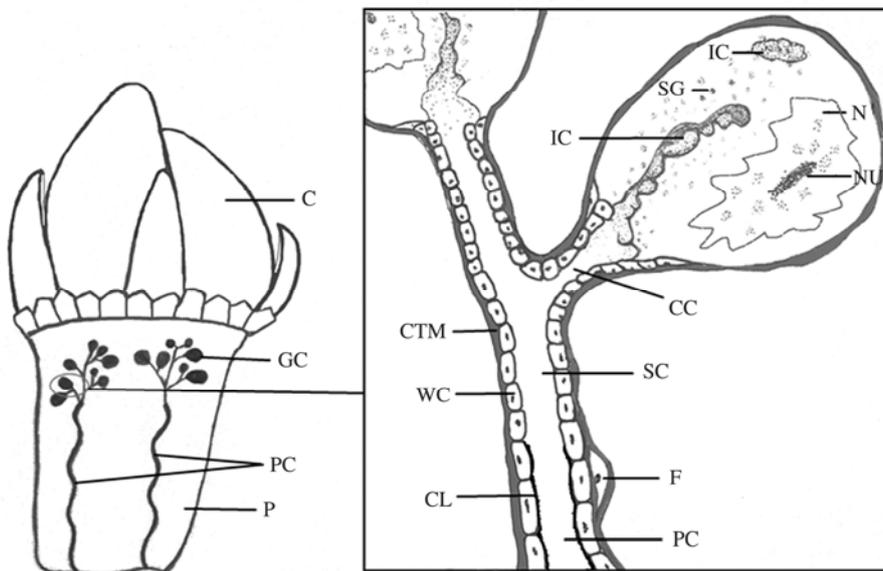


图 1 龟足白垩腺模式图

Fig. 1 Schematic drawing of morphology of the cement apparatus in *Capitulum mitella*

C. 头状部; CC. 收集管; CL. 几丁质层; CTM. 结缔组织膜; F. 成纤维细胞; GC. 腺细胞; IC. 胞内管; N. 细胞核; NU. 核仁; P. 柄部; PC. 初级管; SC. 次级管; SG. 分泌颗粒; WC. 管壁细胞。

C. Capitulum; CC. Collector canal; CL. Cuticle lining; CTM. Connective tissue membrane; F. Fibroblast; GC. Gland cell; IC. Intracellular canal; N. Nucleus; NU. Nucleolus; P. Peduncle; PC. Principal canal; SC. Secondary canal; SG. Secretory granules; WC. Wall epithelial cell.

2.1.2 管道系统 管道系统是连接腺细胞到柄部基部的通道(图1)。腺细胞内部特化出胞内管(图版 I: 3, 6, 7), 胞内管连接收集管(图1), 许多腺细胞的收集管连接到同一条次级管(图版 I: 3~5), 次级管再汇集到2条初级管(图1)。

胞内管: 胞内管为腺细胞的细胞质特化出的空腔(图1), 在组织学水平表现为细胞质中大小不一的囊泡(图版 I: 3, 6, 7)。有些成熟的腺细胞可见多个胞内管(图版 I: 6)。

收集管: 收集管连接胞内管(图1), 并与次级管相连(图版 I: 3~5)。收集管一般较短, 组织学上表现为次级管的分支管(图版 I: 3~5)。收集管延伸入腺细胞的细胞质内, 在腺细胞质内可见管壁上皮细胞, 管道结构较明显(图版 I: 5, 7, 8)。成熟的腺细胞也具有多个收集管(图版 I: 5, 8), 收集管的形态随切面角度不同, 形态也有所不同(图版 I: 5, 7, 8)。

次级管: 为连接收集管和初级管的管道(图1), 不同腺细胞的多个收集管连接在同一条次级管上(图版 I: 3~5), 其管道直径较收集管大(图版 I: 4, 5)。

初级管: 连接次级管并通到体外的管道, 管道直径最大, 2条初级管沿着柄部两侧分布(图1)。

2.2 龟足白垩腺的超微结构

2.2.1 腺细胞 年幼腺细胞: 细胞多呈椭圆形, 周围覆有一层结缔组织膜, 厚度约为 $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$ (图版 I: 9)。细胞核呈规则长椭圆形, 可见一明显核仁, 染色质呈小絮块状均匀散布于核质中, 核膜平滑(图版 I: 9)。细胞质中含有丰富的粗面内质网, 粗面内质网多呈管泡状(图版 I: 10), 线粒体呈圆形。胞质中散布一些电子密度高的颗粒以及包被高密度颗粒物质的溶酶体(图版 I: 10)。

成熟腺细胞: 与年幼腺细胞相比, 形态有较明显的不同。成熟腺细胞及细胞核的形态多不规则, 腺细胞外覆一层结缔组织膜(图版 I: 11, 12, 图版 II: 1)。细胞核大, 往往呈分叶

状(图版 I: 11, 12, 图版 II: 1), 染色质呈絮块状均匀散布于核质中, 核仁一个较大(图版 I: 12, 图版 II: 2)。核膜呈波浪状, 核膜上有高密度的核孔(图版 II: 3)。细胞质电子密度高, 充满大量的粗面内质网和游离核糖体(图版 II: 3, 4)。粗面内质网多呈管泡状, 一些呈条索状(图版 II: 3, 4)。线粒体也很丰富, 切面呈圆形、椭圆形和长条形; 但未见高尔基体(图版 II: 3)。细胞质含丰富的颗粒状物质(图版 II: 3), 还可见大小不一的囊泡, 随着细胞的成熟囊泡数量增多(图版 I: 11, 12, 图版 II: 1, 4, 5)。

2.2.2 管道系统 **胞内管:** 在成熟腺细胞的细胞质内呈现为大小不一的囊泡(图版 I: 11, 12, 图版 II: 1, 5)。囊泡有的未见明显的内含物, 有的可见不同形态的内含物(图版 I: 11, 12, 图版 II: 1, 4, 5), 如图版 II: 4 中的囊泡含有密度极高的物质, 图版 II: 5 中可见几个具膜泡结构的小囊泡, 图版 II: 6 中的大囊泡内部呈现大小不一的膜泡结构。显然细胞质中小囊泡的聚集和融合形成了大囊泡即胞内管(图1)。

收集管: 由管壁上皮细胞相互连接形成的中央具空腔的管道结构(图1)。管壁上皮细胞小, 直径约为 $3 \sim 6 \mu\text{m}$, 外覆一层结缔组织膜(图版 II: 1, 7)。上皮细胞的细胞质基质密度低, 细胞器稀少, 与腺细胞有明显的区别(图版 I: 11, 图版 II: 3, 7, 8, 图版 III: 1)。在图版 II: 3 中收集管上皮细胞与腺细胞连接处, 上皮细胞包围着腺细胞的周缘, 相连处形成紧密的隔状连接。同时, 上皮细胞延伸到腺细胞的胞内管, 上皮细胞的细胞质嵌入腺细胞的细胞质, 两者间也形成了隔状连接, 这样形成了在腺细胞内部的收集管起始端(图版 II: 8, 图版 III: 1)。图版 II: 8 清晰显示了胞内管与收集管的交界位置, 胞内管的周围为腺细胞的细胞质, 而收集管的管腔由上皮细胞包围而成。上皮细胞之间通过细胞膜的相互交叉也形成隔状连接。图版 II: 8 可见胞内管中含有密度中等的均质物质, 收集管也含有形态相同的物质, 类似

的密度中等的均质物质在图版III:1 的收集管管腔中也可观察到。

次级管: 横切面可见, 次级管约由 4 或 5 个管壁上皮细胞组成, 直径为 6 ~ 8 μm (图版III: 2, 3)。上皮细胞小、呈长梭形, 长约 5 ~ 10 μm 、宽约 3 ~ 5 μm ; 细胞核呈规则椭圆形, 染色质少且多沿核膜边缘分布 (图版III: 2, 4)。管道外覆一层结缔组织膜, 厚度约为 1 μm (图版III: 2)。图版III: 2 可以观察到次级管管腔中的内含物呈膜泡状, 与图版II: 5 和 II: 6 中胞内管中的内含物形态接近。图版III: 3 中次级管的管腔中清晰可见电子稠密的物质, 与图版II: 4 中胞内管的内含物形态完全一致。纵切面可见, 管壁上皮细胞较长, 次级管中央有明显的空腔 (图版III: 4), 管壁内侧无几丁质层 (图版III: 5)。

初级管: 横切面可见, 初级管由 4 或 5 个上皮细胞组成, 直径可达 16 μm , 管腔明显 (图版III: 6)。管道外覆一层厚度约为 0.5 ~ 1.0 μm 的结缔组织膜 (图版III: 6)。上皮细胞呈长梭形, 细胞长约 8 ~ 15 μm 、宽约 3 ~ 8 μm , 细胞核呈椭圆形。图版III: 7 中可见上皮细胞间细胞变形弯曲形成的极度蜿蜒的隔状连接。管壁内侧具一层特化的致密几丁质层, 几丁质层向管腔伸出许多小突起 (图版III: 6 ~ 8)。初级管外侧可见成纤维细胞 (图版III: 7)。图版III: 8 为次级管与初级管交界处, 初级管较次级管直径大很多, 且初级管管壁内侧具致密几丁质层, 而次级管显然不具有几丁质层。

3 讨论

龟足白垩腺由腺细胞和管道系统组成, 外覆一层连续的结缔组织膜, 腺细胞分泌的粘胶剂经管道系统运送至柄部基部, 排出体外与外界基质发生粘附作用。龟足白垩腺的形态结构类似于茗荷和 *D. fascicularis* (Lacombe et al. 1969, Jonker et al. 2012, Zheden et al. 2012)。这 3 个种类均同属茗荷亚目, 龟足属指茗荷科, 茗荷和 *D. fascicularis* 同属茗荷科。

无柄蔓足类的多种藤壶, 如钟巨藤壶 (*Balanus tintinnabulum*)、*Elminius modestus* 和龟藤壶 (*Chelonibia testudinaria*) 腺细胞的一个特征即明显区分为分泌 (合成) 区和存储 (聚集) 区 (Lacombe et al. 1969, Lacombe 1970, Walker 1970, 1978)。而有柄蔓足类的茗荷和 *D. fascicularis* 腺细胞的细胞器均匀分布在细胞质中, 并没有区分为 2 个区 (Lacombe et al. 1969, Jonker et al. 2012, Zheden et al. 2012)。一般认为腺细胞不具有明显的分化现象是原始的特征 (Kugele et al. 2000)。在这个结构特征上龟足白垩腺腺细胞与有柄蔓足类一致。

Lacombe 等 (1969) 研究表明钟巨藤壶和茗荷在同一体可观察到腺细胞的所有发育阶段, 这一现象同样存在于龟足中, 即同一个体中有不同发育时期的腺细胞。而 Jonker 等 (2012) 对茗荷和 Zheden 等 (2012) 对 *D. fascicularis* 的研究却并没有显示这一现象, 他们的结果表明幼体中只有年幼腺细胞, 而成体中只有成熟腺细胞。腺细胞的发育程度与个体发育水平一致, 这也被认为是保留原始祖先特征的标志之一。龟足腺细胞的发育程度与个体发育水平不一致, 在龟足同一个体中可观察到年幼腺细胞和成熟腺细胞, 这一结果与 Zheden 等 (2012) 和 Jonker 等 (2012) 得出的有柄蔓足类特征有所不同。

目前腺细胞发育的时期没有严格界限, 为了叙述方便而将其划为年幼腺细胞和成熟腺细胞。随着发育的进行, 腺细胞及其细胞核逐渐变大; 细胞形状逐渐具多态性不规则; 细胞核也具多态性, 多变为细长而内褶, 核膜上有大量核孔, 核质较分散; 内质网等细胞器更加丰富。龟足腺细胞发育过程中的形态变化与茗荷、泥管藤壶 (*B. kondakovi*) 是一致的 (Lacombe et al. 1969, Karande et al. 1977)。

龟足白垩腺腺细胞具有大的分叶状细胞核、高密度的核孔、大量游离核糖体和粗面内质网, 这些特点表明腺细胞具有高活性的蛋白质合成能力 (Zheden et al. 2012)。一般认为腺

细胞具多核仁也是蛋白合成高活性的表现 (Lacombe et al. 1969, 1970), 然而龟足成熟腺细胞并没有像茗荷、泥管藤壶那样具多核仁, 而仅具有单一的大核仁。龟足腺细胞中最丰富的细胞器是粗面内质网和游离核糖体, 粗面内质网多呈管泡状, 但随着细胞的发育出现一部分条索状的内质网。在藤壶属的 *B. hameri* 和龟藤壶尤其在 *Elminius modestus* 的腺细胞合成区也都呈现此特征 (Walker 1970, 1978), 这一特征被普遍认为是细胞高活性的一种标志 (Han et al. 1982)。腺细胞的这些结构特点与其功能是相适应的。

龟足白垩腺的管道系统类似于茗荷和 *D. fascicularis*, 根据位置和功能分为 4 级: 胞内管、收集管、次级管和初级管 (Lacombe et al. 1969)。各级管道呈分支状, 并最终汇集于初级管, 由初级管将粘胶剂排出体外。这种结构有利于高效收集单细胞腺体分泌的粘胶剂, 并集中排出体外。

龟足胞内管在组织学和超微结构上表现为细胞质中的囊泡, 这与其他蔓足类的胞内管形态一致 (Walker 1970, Jonker et al. 2012, Zheden et al. 2012)。在超微结构水平上可以清晰观察胞内管的结构, 囊泡呈大小不一的稀疏空泡, 空泡内可见分泌的物质。囊泡中的内含物有的为密度极高的物质, 有的呈现膜泡结构。说明龟足粘胶剂并非由单一物质组成, 而是由多种物质交融形成的。显然一些小囊泡的聚集和融合形成了大囊泡即胞内管。不论从组织学或从超微结构水平均表明龟足一个成熟腺细胞具有多个胞内管, Fyhn 等 (1976) 在纹藤壶 (*B. amphitrite*) 的腺细胞中也发现同样的情形。

本文对收集管与腺细胞的关系进行了详细的观察和描述。收集管为最开始具有管壁上皮细胞的管道结构, 上皮细胞不论包被在腺细胞的外周抑或延伸到腺细胞的内部与胞内管相连, 上皮细胞与腺细胞均形成隔状连接; 同时收集管的上皮细胞之间也形成隔状连接, 这种结构可以很好保证管道的紧密性。Zheden 等

(2012) 在 *D. fascicularis* 中也观察到这一结构。Jonker 等 (2012) 认为茗荷收集管的管腔是由管壁上皮细胞破裂形成的, 而本文的观察表明, 龟足收集管管腔的形成与 Jonker 等 (2012) 描述的并不一致。龟足白垩腺收集管的起始端与胞内管相连接, 管壁上皮细胞与腺细胞的连接类似花托包裹花蕾的结构, 上皮细胞只是与腺细胞形成紧密的隔状连接, 管腔是由几个上皮细胞相互连接形成的。与胞内管的情形一样, 不论从组织学或从超微结构水平表明龟足一个成熟腺细胞也具有多个收集管。龟足白垩腺腺细胞具有多个胞内管和收集管, 这种结构有利于腺细胞分泌的粘胶剂及时快速地运送到体外。

龟足白垩腺初级管管壁内侧具明显致密几丁质层, 和报道的其他蔓足类一样 (Lacombe et al. 1969, Walker 1970, 1974, Jonker et al. 2012, Zheden et al. 2012), 但是龟足几丁质层向管腔中央伸出许多小突起, 在其他蔓足类中并没有这一明显现象 (Walker 1970, Jonker et al. 2012, Zheden et al. 2012)。我们推测这些小突起可能与粘胶剂的运输有关。虽然对龟足的解剖表明只有 2 条初级管沿着柄部两侧分布, 但在室内龟足养殖中却发现其出胶口不止 2 个。由此推测龟足白垩腺初级管的位置并非完全固定, 其受到肌肉的牵拉可能发生轻微的移动, 这样多个出胶口更加有利于粘胶剂与基质发生粘附作用 (Zheden et al. 2012)。

参 考 文 献

- Fyhn U E H, Costlow J D. 1976. A histochemical study of cement secretion during the intermolt cycle in barnacles. *Biological Bulletin*, 150(1): 47–56.
- Han S H, Bordereau C. 1982. Ultrastructure of the fat body of the reproductive pair in higher termites. *Journal of Morphology*, 172(3): 313–322.
- Jonker J L, Byern J V, Flammang P, et al. 2012. Unusual adhesive production system in the barnacle *Lepas anatifera*: an ultrastructural and histochemical investigation. *Journal of*

- Morphology, 273(12): 1377–1391.
- Karande A A, Gaonkar S N. 1977. Histology and histochemistry of cement glands of *Balanus kondakovi*. Proceedings of the Indian Academy of Sciences: Section B, 86(6): 409–416.
- Kugele M, Yule A B. 2000. Active relocation in lepadomorph barnacles. Journal of the Marine Biological Association of the UK, 80(1): 103–111.
- Lacombe D. 1970. A comparative study of the cement glands in some balanid barnacles (Cirripedia, Balanidae). Biological Bulletin, 139(1): 164–179.
- Lacombe D, Liguori V R. 1969. Comparative histological studies of the cement apparatus of *Lepas anatifera* and *Balanus tintinnabulum*. Biological Bulletin, 137(1): 170–180.
- Rao X Z, Lin G. 2014. Scanning electron microscopy of the cypris larvae of *Capitulum mitella* (Cirripedia: Thoracica: Scalpellomorpha). Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 94(2): 361–368.
- Walker G. 1970. The histology, histochemistry and ultrastructure of the cement apparatus of three adult sessile barnacles, *Elminius modestus*, *Balanus balanoides* and *Balanus hameri*. Marine Biology, 7(3): 239–248.
- Walker G. 1974. The occurrence, distribution and attachment of the pedunculate barnacle *Octolasmis mülleri* (Coker) on the gills of crabs, particularly the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. Biological Bulletin, 147(3): 678–689.
- Walker G. 1978. A cytological study of the cement apparatus of the barnacle, *Chelonibia testudinaria* Linnaeus, an epizoite on turtles. Bulletin of Marine Science, 28(1): 205–209.
- Zheden V, Von Byern J, Kerbl A, et al. 2012. Morphology of the cement apparatus and the cement of the buoy barnacle *Dosima fascicularis* (Crustacea, Cirripedia, Thoracica, Lepadidae). Biological Bulletin, 223(2): 192–204.
- 陈宁, 林岗, 饶小珍, 等. 2009. 龟足营养成分分析及评价. 热带海洋学报, 28(6): 117–122.
- 陈昭娜, 林岗, 陈宁, 等. 2013. 龟足消化系统形态和组织学特点. 动物学杂志, 48(6): 875–883.
- 郭世群, 李名森, 肖清洁, 等. 2011. pH 对龟足胚胎和幼虫发育的影响. 海洋渔业, 33(2): 207–212.
- 林岗, 饶小珍, 陈宁, 等. 2011. 福州沿海龟足的食性研究. 海洋科学, 35(6): 56–61.
- 刘瑞玉, 任先秋. 2007. 中国动物志: 无脊椎动物 第四十二卷 甲壳动物亚门 蔓足下纲 围胸总目. 北京: 科学出版社, 213–219.
- 饶小珍, 林岗, 张殿彩, 等. 2010. 温度、盐度对龟足胚胎发育和幼虫生长的联合影响. 生态学报, 30(23): 6530–6537.
- 张殿彩, 饶小珍, 林岗, 等. 2009. 温度对龟足胚胎和幼虫生长的影响. 福建师范大学学报: 自然科学版, 25(3): 94–100.
- 赵允魁, 饶小珍, 林岗, 等. 2009. 龟足的核型分析. 泉州师范学院学报: 自然科学版, 27(4): 96–109.

图版 I 说明

龟足白垩腺的组织学和超微结构

1. 柄部纵切局部, 示肌肉和结缔组织, $\times 20$; 2. 幼体柄部横切局部, 示肌肉和腺细胞, $\times 20$; 3. 成体柄部纵切局部, 示卵巢和白垩腺, $\times 40$; 4. 白垩腺纵切, $\times 40$; 5. 白垩腺纵切局部, $\times 100$; 6. 成熟和年幼腺细胞, $\times 100$; 7. 成熟腺细胞, $\times 100$; 8. 成熟腺细胞, 示具有多个收集管, $\times 100$; 9. 年幼腺细胞, $\times 5\ 410$; 10. 图 9 的局部, 示细胞质, $\times 18\ 000$; 11. 成熟腺细胞, $\times 10\ 800$; 12. 成熟腺细胞, $\times 4\ 330$ 。

Explanation of Plate I

Histology and ultrastructure of the cement apparatus of *Capitulum mitella*

1. The local structure of longitudinal section of the peduncle, showing muscle and connective tissue, $\times 20$; 2. The local structure of transverse section of the peduncle of the young, showing muscle and gland cells, $\times 20$; 3. The local structure of longitudinal section of the cement apparatus of the adult, showing ovary and cement apparatus, $\times 40$; 4. The longitudinal section of the cement apparatus, $\times 40$; 5. The local structure of longitudinal section of cement apparatus, $\times 100$; 6. Mature gland cell and young gland cell, $\times 100$; 7. Mature gland cell, $\times 100$; 8. Mature gland cell, showing several collector canals, $\times 100$; 9. Young gland cell, $\times 5\ 410$; 10. The local structure of Plate I: 9, showing cytoplasm, $\times 18\ 000$; 11. Mature gland cell, $\times 10\ 800$; 12. Mature gland cell, $\times 4\ 330$.

CC. 收集管; CM. 环肌层; CT. 结缔组织; CTM. 结缔组织膜; IC. 胞内管; LM. 纵肌; LY. 溶酶体; M. 线粒体; MGC. 成熟腺细胞; MU. 肌肉; N. 细胞核; NM. 核膜; NU. 核仁; OV. 卵巢; RER. 粗面内质网; SC. 次级管; SG. 分泌颗粒; YGC. 年幼腺细胞; WC. 管壁上皮细胞。

CC. Collector canal; CM. Circular muscle; CT. Connective tissue; CTM. Connective tissue membrane; IC. Intracellular canal; LM. Longitudinal muscle; LY. Lysosome; M. Mitochondria; MGC. Mature gland cell; MU. Muscle; N. Nucleus; NM. Nuclear membrane; NU. Nucleolus; OV. Ovarian tissue; RER. Rough endoplasmic reticulum; SC. Secondary canal; SG. Secretory granules; YGC. Young gland cell; WC. Wall epithelial cell.

图版 II 说明

龟足白垩腺的超微结构

1. 成熟腺细胞, $\times 5\ 410$; 2. 图版 I: 12 局部, 示成熟腺细胞细胞核, $\times 9\ 030$; 3. 图版 I: 11 局部, 示细胞质的结构、管壁细胞与腺细胞的连接, $\times 21\ 600$; 4. 图版 I: 11 局部, 示胞内管, $\times 90\ 300$; 5. 成熟腺细胞局部, 示胞内管, $\times 43\ 300$; 6. 图版 I: 12 局部, 示胞内管, $\times 43\ 300$; 7. 白垩腺局部示收集管管壁细胞, $\times 14\ 400$; 8. 图版 I: 12 局部, 示胞内管与收集管交界, $\times 18\ 000$ 。

Explanation of Plate II

Ultrastructure of the cement apparatus of *Capitulum mitella*

1. Mature gland cell, $\times 5\ 410$; 2. Nucleus of the mature gland cell in Plate I: 12, $\times 9\ 030$; 3. The local structure of Plate I: 11 showing, the cytoplasm, the junction of wall cell and gland cell, $\times 21\ 600$; 4. The intracellular canal in Plate I: 11, $\times 90\ 300$; 5. The local structure of mature gland cell, showing the intracellular canal, $\times 43\ 300$; 6. The intracellular canal in Plate I: 12, $\times 43\ 300$; 7. The local structure of the cement apparatus, showing the wall cell of collector canal, $\times 14\ 400$; 8. The junction of intracellular canal and collector canal in Plate I: 12, $\times 18\ 000$.

CTM. 结缔组织膜; GC. 腺细胞; IC. 胞内管; L. 管腔; M. 线粒体; MGC. 成熟腺细胞; N. 细胞核; NM. 核膜; NP. 核孔; NU. 核仁; RER. 粗面内质网; RI. 核糖体; SG. 分泌颗粒; SJ. 隔状连接; SM. 分泌物; V. 膜泡; WC. 管壁上皮细胞。

CTM. Connective tissue membrane; GC. Cement gland cell; IC. Intracellular canal; L. Lumen; M. Mitochondria; MGC. Mature gland cell; N. Nucleus; NM. Nuclear membrane; NP. Nuclear pore; NU. Nucleolus; RER. Rough endoplasmic reticulum; RI. Ribosomes; SG. Secretory granules; SJ. Septate junction; SM. Secretory material; V. Vesicle; WC. Wall epithelial cell.

图版III说明

龟足白垩腺的超微结构

1. 图版II: 1 局部, 示腺细胞与收集管交界, $\times 25\ 200$; 2. 次级管横切, $\times 25\ 200$; 3. 图版II: 1 局部, 示次级管横切, $\times 18\ 000$; 4. 次级管纵切, $\times 7\ 220$; 5. 图版III: 4 局部, 示次级管, $\times 18\ 000$; 6. 初级管横切, $\times 7\ 220$; 7. 图版III: 8 局部, 示初级管横切局部, $\times 28\ 900$; 8. 管道局部, 示次级管与初级管交界, $\times 5\ 410$ 。

Explanation of Plate III

Ultrastructure of the cement apparatus of *Capitulum mitella*

1. The junction of gland cell and collector canal in Plate II : 1, $\times 25\ 200$; 2. The transverse section of secondary canal, $\times 25\ 200$; 3. The transverse section of secondary canal in Plate II : 1, $\times 18\ 000$; 4. The longitudinal section of secondary canal, $\times 7\ 220$; 5. The secondary canal in Plate III: 4, $\times 18\ 000$; 6. The transverse section of principal canal, $\times 7\ 220$; 7. The local structure of transverse section of principal canal in Plate III: 8, $\times 28\ 900$; 8. The local structure of canal, showing the junction of secondary canal and principal canal, $\times 5\ 410$.

CL. 几丁质层; CTM. 结缔组织膜; GC. 腺细胞; L. 管腔; N. 细胞核; NF. 成纤维细胞核; PC. 初级管; SC. 次级管; SJ. 隔状连接; SM. 分泌物; V. 囊泡; WC. 管壁上皮细胞。

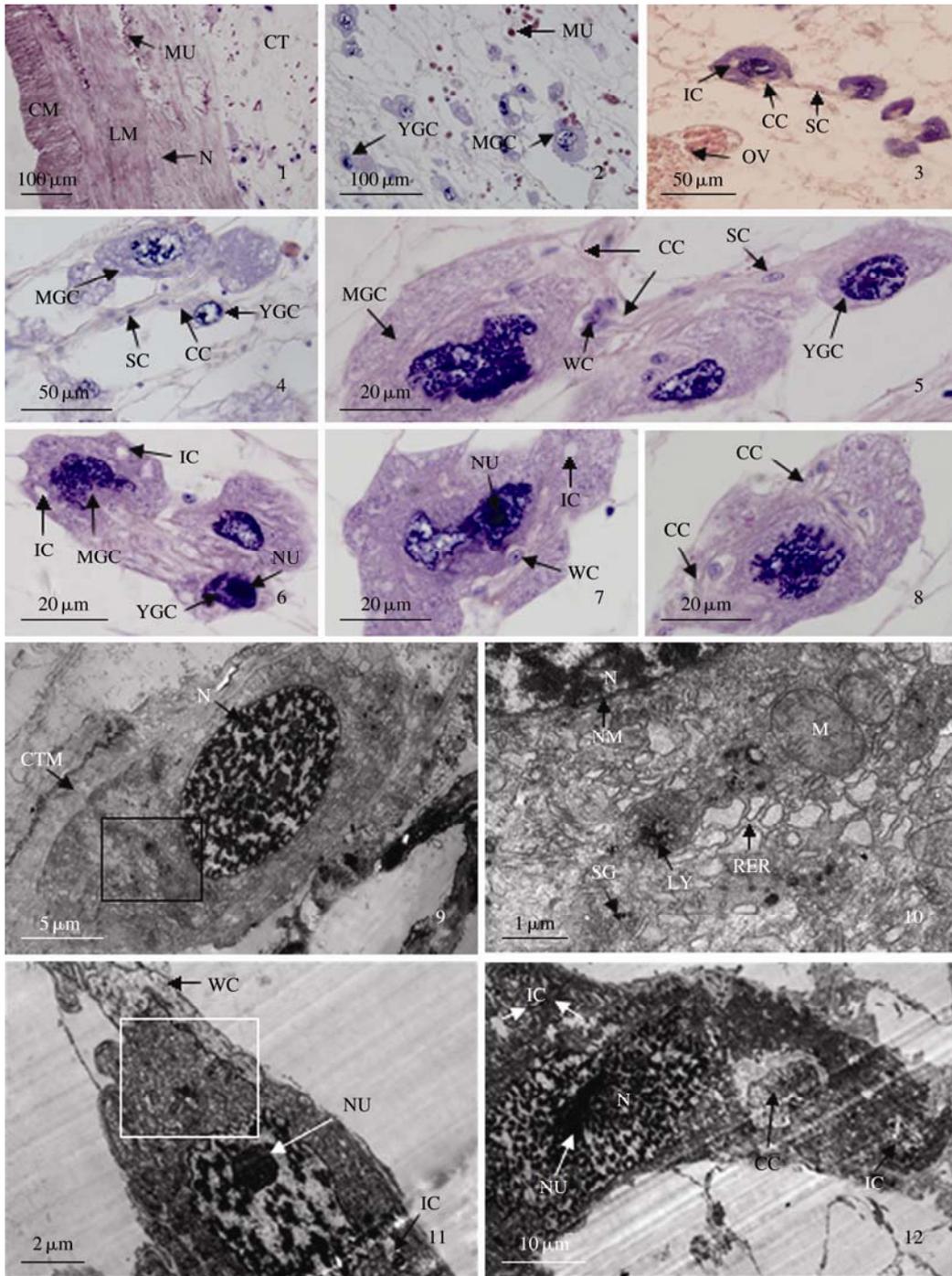
CL. Chitin layer; CTM. Connective tissue membrane; GC. Gland cell; L. Lumen; N. Nucleus; NF. Nucleus of fibroblast; PC. Principal canal; SC. Secondary canal; SJ. Septate junction; SM. Secretory material; V. Vesicle; WC. Wall epithelial cell.

陶淑云等：龟足白垩腺的组织学和超微结构

图版 I

TAO Shu-Yun *et al.*: Histology and Ultrastructure of the Cement Apparatus in *Capitulum mitella*

Plate I



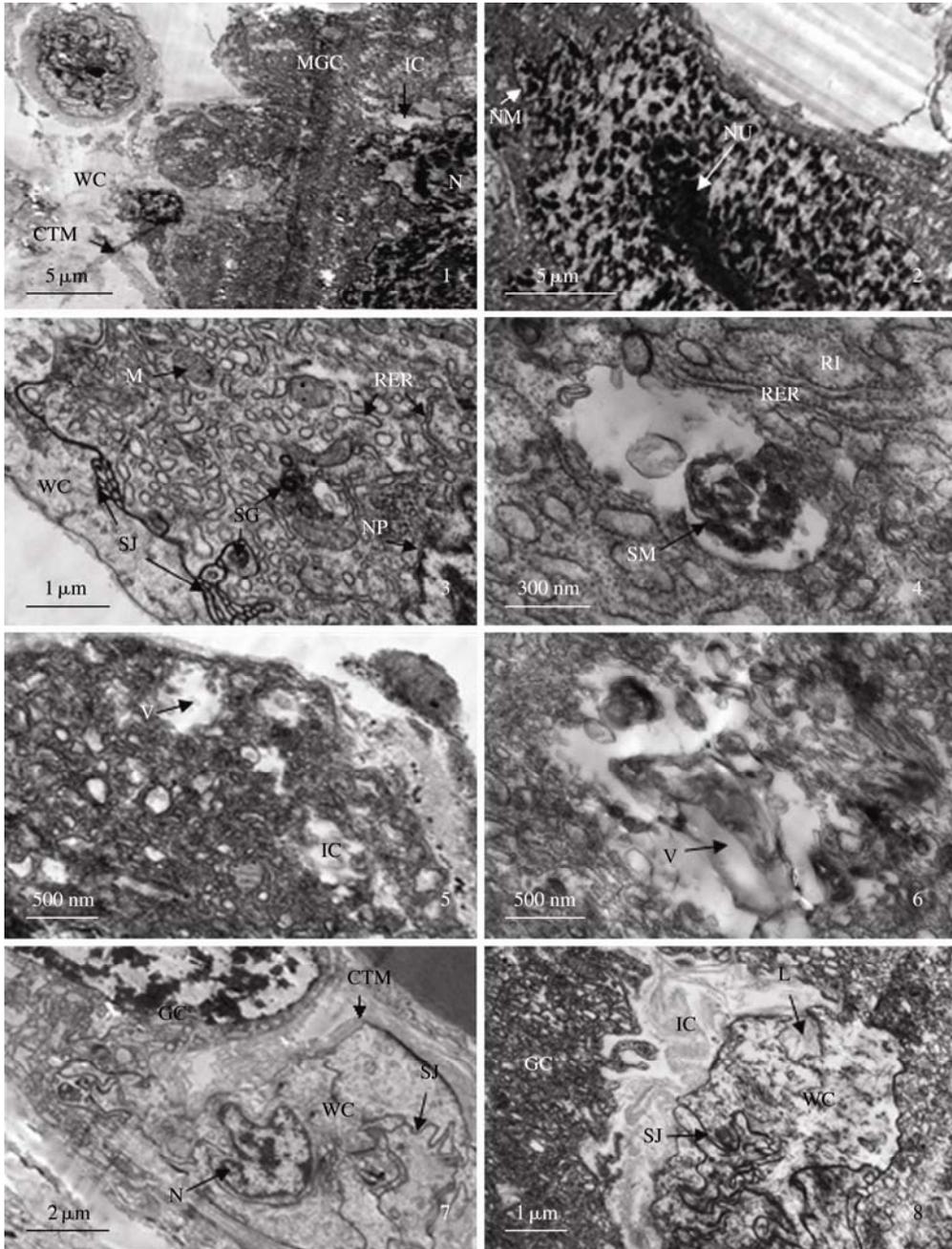
图版说明见文后

陶淑云等：龟足白垩腺的组织学和超微结构

图版 II

TAO Shu-Yun *et al.*: Histology and Ultrastructure of the Cement Apparatus in *Capitulum mitella*

Plate II



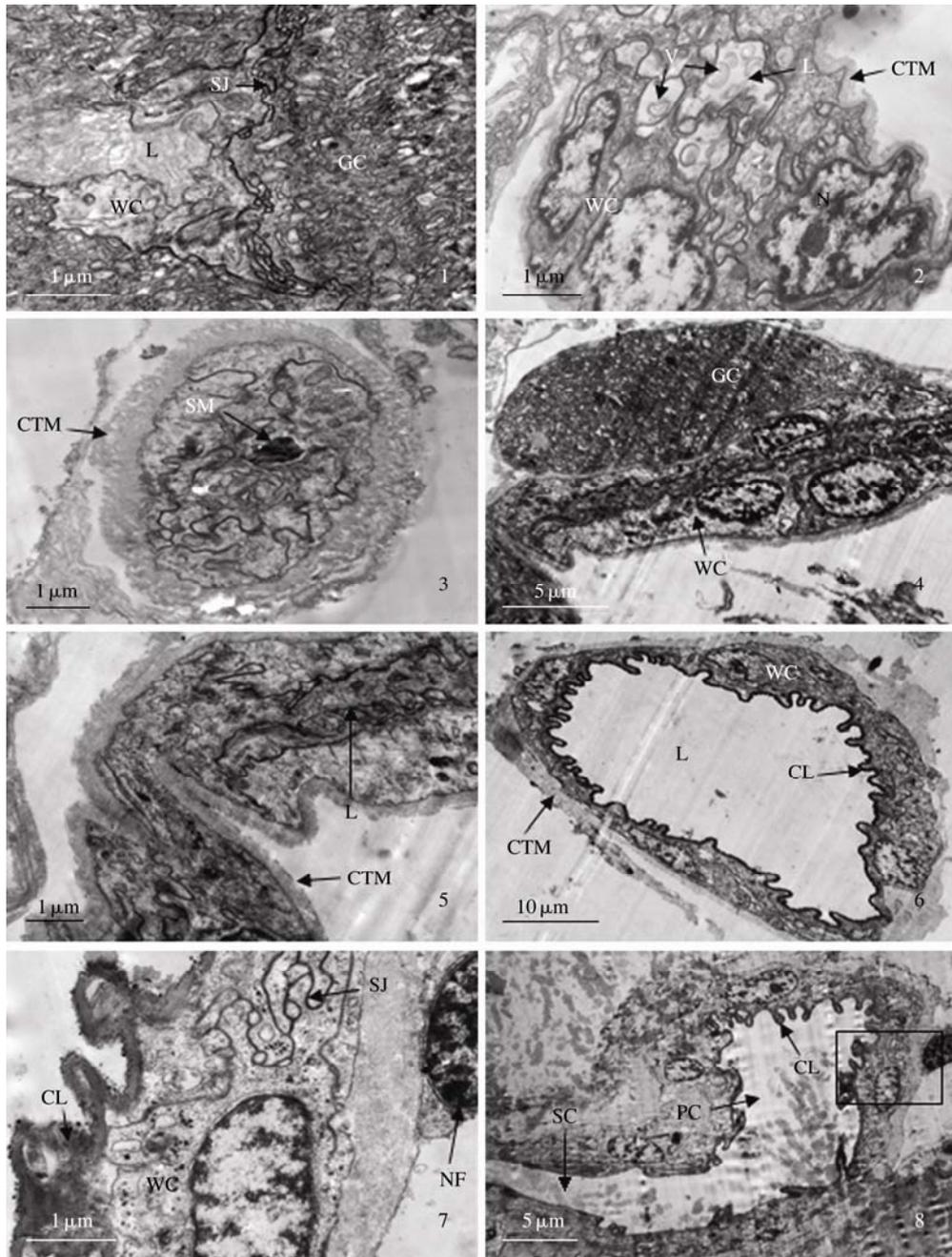
图版说明见文后

陶淑云等：龟足白垩腺的组织学和超微结构

图版III

TAO Shu-Yun *et al.*: Histology and Ultrastructure of the Cement Apparatus in *Capitulum mitella*

Plate III



图版说明见文后