

# 波纹唇鱼鳃丝的光镜、扫描和透射电镜观察

廖光勇<sup>①②</sup> 区又君<sup>①\*</sup> 李加儿<sup>①</sup>

(① 中国水产科学研究院南海水产研究所 广州 510300; ② 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306)

**摘要:**应用光学显微镜、扫描电镜和透射电镜对波纹唇鱼(*Cheilinus undulatus*)鳃的组织结构、表面形态特征及鳃小片超微结构进行了观察。结果表明,波纹唇鱼有3对全鳃,1对半鳃和1对伪鳃,鳃丝呈梳状紧密排列在鳃弓上,鳃小片紧密地镶嵌排列在鳃丝两侧,入鳃动脉、出鳃动脉和鳃小片毛细血管网组成鳃的血液系统。鳃丝非呼吸区分布有沟、坑、孔等结构,呼吸区较为平滑。鳃丝表面多为上皮细胞,但形态有所差别,非呼吸区上皮细胞有较规则的指纹状微嵴;而呼吸区上皮细胞表面无微嵴,呈皱褶状;在呼吸区和非呼吸区之间的过渡区上皮细胞有不规则指纹状微嵴,融合现象明显。非呼吸区有氯细胞、黏液细胞游离端向外的开口。氯细胞主要分布在鳃小片基部,胞内有大量线粒体和排泄小泡。鳃小片由上皮细胞、基膜、内皮细胞和柱细胞构成,形成特殊的水/血屏障双层结构,内部为发达的毛细血管网,充满血液。本文还探讨了波纹唇鱼鳃的结构与其功能的密切关系。

**关键词:**波纹唇鱼;鳃丝;光镜;超微结构

**中图分类号:**S917.4,Q248 **文献标识码:**A **文章编号:**0250-3263(2011)01-07-09

## Light, Scanning and Transmission Electron Microscopical Observation of Gill Filaments of *Cheilinus undulatus*

LIAO Guang-Yong<sup>①②</sup> OU You-Jun<sup>①\*</sup> LI Jia-Er<sup>①</sup>

(① *South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300;*

② *College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*)

**Abstract:** The histological, surface and internal fine structures of gill filaments of *Cheilinus undulatus* were investigated using light, scanning and transmission electron microscopy. The results showed that there were 3 pairs of holobranch, 1 pair of hemibranch and 1 pair of pseudobranchia. The comb primary filaments lined on the gill arches closely. Many secondary gill lamellae inlaid on two sides of each filament, and arranged each other closely. The blood system of filament was composed of afferent artery, efferent artery and capillary vessel nets. Various features such as indentations, micropits and crevices were present on non-respiratory surface of filaments. The respiratory surface of filaments was folded. The filaments were covered by epithelial cells, which had different surface features in different areas. It had regular fingerprint shape microridges in non-respiratory surface, no microridge but folded surface in respiratory area and irregular microridges in the transition region. There were many holes on the non-respiratory surface. Chloride cells and mucous cells were observed and many mitochondria and excretion vesicles distributed in chloride cells. Secondary filaments were consisted of epithelial cells, basement membranes, endothelial cells and pillar cells. These structures formed the water-blood barrier.

**基金项目** 国家“863”项目(No. 2006AA10A414);

\* 通讯作者, E-mail: ouyoujun@126.com;

**第一作者简介** 廖光勇,男,硕士研究生;研究方向:水产养殖动物繁殖学;E-mail: guangyong1797@163.com。

**收稿日期:**2010-08-02, **修回日期:**2010-10-29

The close relationship between the structure of fish gill and its function was discussed.

**Key words:** *Cheilinus undulatus*; Gill filaments; Light microscope; Ultrastructure

波纹唇鱼 (*Cheilinus undulatus*) 隶属鲈形目隆头鱼科唇鱼属, 为暖水性鱼类, 主要分布于太平洋西部热带海域、大洋洲、印度洋西北部及红海, 我国主要分布于南海诸岛和台湾海域<sup>[1]</sup>。体呈椭圆形, 侧扁; 头大, 项部甚突; 吻较长, 前端钝圆。成鱼体绿色, 体侧每一鳞片上有黄绿色及灰绿色横线; 头有橙色与绿色网状纹<sup>[1]</sup>。波纹唇鱼为名贵的海水经济鱼类, 由于遭到过度捕捞, 现已濒临灭绝。世界自然基金会 (WWF)、世界自然保护联盟 (IUCN) 和《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES) 均将其列为濒危物种。应积极呼吁人类保护其野生资源, 同时应加强相关方面的研究, 尤其是增殖方面已迫在眉睫。

目前, 国内外对波纹唇鱼研究资料极少, 国内现仅有对其不同组织同工酶表达差异<sup>[2]</sup>、营养成分分析与评价<sup>[3]</sup>和核型分析<sup>[4]</sup>等方面的报道, 国外现主要报道生物学方面研究<sup>[5-7]</sup>。鳃是鱼类进行气体交换的场所, 吸收溶解在水中的氧气, 呼出血液中呼吸作用产生的二氧化碳; 还是调节渗透压、离子平衡及排泄的重要器官。某些鱼类鳃还有滤食作用, 如鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙 (*Aristichthys nobilis*) 等。不少学者对驼背鲈 (*Cromileptes altivelis*)<sup>[8]</sup>、卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*)<sup>[9]</sup>、红笛鲷 (*Lutjanus erythropterus*)<sup>[9]</sup>、鲮 (*Mugil cephalus*)<sup>[10]</sup>、鲮 (*Cirrhina molitorella*)<sup>[10]</sup>、剑尾鱼 (*Xiphophorus helleri*)<sup>[11]</sup>、浅色黄姑鱼 (*Nibea coibor*)<sup>[12]</sup>、斑鳢 (*Ophicephalus maculatus*)<sup>[13]</sup>、鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*) 稚鱼<sup>[14]</sup> 等的鳃进行了观察。本实验采用光镜、扫描电镜和透射电镜技术, 观察了波纹唇鱼鳃的组织学结构、表面形态及其超微结构, 旨在研究波纹唇鱼鳃结构与生理功能、生活习性之间的适应性, 丰富该鱼的基础生物学资料, 为其人工放流及养殖、病害防治、环境污染检测及资源保护等提供科学依据。

## 1 材料与方 法

**1.1 材料** 实验用波纹唇鱼购于广州市黄沙水产市场, 选择健康正常的鱼 4 尾, 体重 ( $746 \pm 68$ ) g, 全长 ( $365 \pm 28$ ) mm。活体运回实验室。

### 1.2 方 法

**1.2.1 鳃组织切片制样** 活体取鳃小块, 用 Bouin 液固定 24 h, 用 70% 乙醇冲洗脱色, 各级乙醇脱水, 二甲苯过渡, 石蜡包埋, 切片厚度  $5 \sim 6 \mu\text{m}$ , 经苏木精-伊红染色, 中性树胶封片, 制好片后直接在显微镜上观察并拍照。

**1.2.2 扫描电镜制样** 活体取鳃小块, 经  $0.1 \text{ mol/L}$  预冷的磷酸缓冲液冲洗后, 立即用  $2.5\%$  戊二醛固定 24 h ( $\text{pH} = 7.4, 4^\circ\text{C}$ ), 经磷酸缓冲液冲洗 3 次,  $1\%$  锇酸后固定 1 h, 再用磷酸缓冲液冲洗, 各级乙醇脱水, 醋酸异戊酯置换, 临界点干燥, 真空喷镀金后在 FEI-XL-30-ESEM 扫描电镜下观察、拍照。

**1.2.3 透射电镜制样** 取鳃丝经  $0.1 \text{ mol/L}$  预冷的磷酸缓冲液冲洗后, 立即用  $2.5\%$  戊二醛固定 24 h ( $\text{pH} = 7.4, 4^\circ\text{C}$ ), 经磷酸缓冲液冲洗 3 次,  $1\%$  锇酸后固定 1 h, 再用磷酸缓冲液冲洗, 各级乙醇脱水, Epon 812 树脂包埋、定位、Leica UCT 超薄切片机切片, 经醋酸铀及柠檬酸铅双重染色后, 用 FEI-Tecnaï 12 分析型透射电子显微镜观察并拍照。

## 2 结 果

**2.1 波纹唇鱼鳃的一般形态表观结构** 波纹唇鱼具有 4 对鳃, 前 3 对为全鳃, 第 4 对为半鳃; 4 对鳃长度依次缩短; 有伪鳃, 伪鳃短, 鳃丝细。全鳃由鳃弓和两列结构相似的鳃瓣 (也称为鳃片) 组成, 整个鳃呈弓形, 两鳃瓣间的鳃间隔已退化。半鳃的鳃弓上只有 1 列鳃瓣。每一鳃瓣由许多长条状鳃丝连续平行的紧密排列而成, 鳃丝一端着生在鳃弓的凸面, 另一端游离, 使鳃瓣呈梳状; 全鳃的同一鳃弓的两鳃瓣上的

鳃丝一长一短,长鳃丝长度为 $(6.75 \pm 0.167)$  mm,短鳃丝为 $(5.80 \pm 0.27)$  mm。每一鳃丝两侧伸出许多以鳃丝为主轴的薄片状流线型鳃小片,是与外界环境进行气体交换的场所。鳃丝上鳃小片排列紧密,1 mm 鳃丝上有 27 ~ 34 个鳃小片。由于鳃小片表面上皮很薄,肉眼难以看清。鳃小片内部含有丰富的毛细血管,使整个鳃丝呈鲜红色。

**2.2 波纹唇鱼鳃丝的组织学光镜观察** 组织学观察显示,波纹唇鱼的鳃弓表面有一层经染色后呈蓝色的黏膜,其内有纵横交错的肌肉组织。软骨组织分布在鳃弓中央,与鳃弓纵轴平行,在软骨组织外层由薄的骨外膜包被,整个软骨组织和骨组织由较厚的骨外膜包被(图版 I:1)。在骨外膜下方是结缔组织,里面分布有发达的血管系统,有明显的动脉血管和静脉血管,靠近鳃丝一侧的动脉是入鳃动脉,入鳃动脉两侧靠下分布有软骨组织;近鳃耙一侧的动脉是出鳃动脉,二者间有疏松结缔组织相隔。在入鳃动脉旁边有管腔较大的静脉,动脉血管壁厚,静脉血管壁极薄,还观察到小动脉分布在附近(图版 I:1)。鳃小片紧密排列在鳃丝上,具有毛细血管功能,鳃小片内充满血细胞(图版 I:2),深层的鳃小片(鳃小片中央部分)可见融合现象。在鳃丝的端部鳃小片融合,不规则,可见一处软骨组织,呈椭圆形(图版 I:3)。

**2.3 波纹唇鱼鳃丝的扫描电镜观察** 扫描电镜显示,波纹唇鱼鳃丝长条状,末端向外,由基部向末端延伸鳃丝逐渐变细,鳃丝基部直径为 $900 \sim 1\,270 \mu\text{m}$ ,中部为 $431 \sim 811 \mu\text{m}$ ,端部为 $252 \sim 343 \mu\text{m}$ ,同一鳃瓣的相邻鳃丝间距为 $(0.29 \pm 0.03)$  mm。鳃丝上平行排列很多鳃小片,鳃小片间距 $(32.81 \pm 1.96) \mu\text{m}$ ,鳃小片的厚度为 $(8.19 \pm 0.56) \mu\text{m}$ ,鳃丝末段呈小勺状(图版 I:4)。

鳃丝表皮以上皮细胞为主,根据不同位置、结构及功能将其表面分为呼吸区、非呼吸区和过渡区(图版 I:5)。呼吸区占鳃小片表面的绝大部分,其上皮细胞薄,高度毛细血管化,是进行气体交换的场所;非呼吸区主要起支持作用,

鳃小片镶嵌其上,内有动脉;二者之间连接区域为过渡区。非呼吸区上皮细胞排列紧密,表面上皮细胞呈不规则的圆形、椭圆形或六边形,其表面布满明显指纹状回路的微嵴,微嵴有融合、间断等现象,这些微嵴以单个上皮细胞为单位,故上皮细胞间能清楚辨别细胞界限,上皮细胞的长径为 $(9.68 \pm 1.79) \mu\text{m}$ ,短径为 $(5.91 \pm 0.65) \mu\text{m}$ 。上皮细胞上微嵴的宽度为 $(206.90 \pm 18.60)$  nm,微嵴在拐角处较宽,宽度为 $(270 \sim 331)$  nm(图版 I:6)。非呼吸区根据其于鳃小片距离,可分为近鳃小片区和远鳃小片区,近鳃小片区和远鳃小片区的面接近垂直(图版 I:7)。近鳃小片区上皮细胞表面较为平坦,上皮细胞微嵴多数向外略凸出。上皮细胞(Ep)间分布有黏液细胞(Mc)和氯细胞(Cc)的分泌孔及分泌颗粒(图版 I:6)。氯细胞分布于扁平细胞之间,游离面向外膨胀,细胞边缘低于周围的上皮细胞,其黏液表面通常沉积于上皮细胞下面,在上皮细胞之间形成“开孔”,有的可见分泌颗粒(图版 I:6)。远鳃小片区上皮细胞表面凹凸程度较大,有的一团上皮细胞堆积成一个小丘,有较多沟、坑等结构(图版 I:8)。远鳃小片区上皮细胞微嵴的指纹回路不及近鳃小片区规则,上皮细胞有的向外凸出,有的向内凹陷。在上皮细胞间分布有黏液细胞的环形开口,黏液细胞一般位于上皮细胞纵深处或上皮细胞之间(图版 I:9)。

呼吸区主要集中在鳃小片上,上皮细胞薄且宽大,细胞间紧密连接,在胞间连接处形成明显凸嵴,呈明显的不规则五边形至七边形。上皮细胞表面没有指纹状微嵴,细胞表面有的平滑,有的布满不规则皱褶,似锡箔纸揉皱后被拉平,皱褶也有密有疏(图版 II:10a,b)。

在呼吸区和非呼吸区之间有一个明显的过渡区,过渡区的上皮细胞形态与呼吸区、非呼吸区的有差别(图版 II:11)。上皮细胞有密集的微嵴,微嵴较为杂乱,融合、间断现象明显。有的细胞间界限明晰,有的细胞间微嵴融合,有的细胞中央凸出有乳头状结构(图版 II:12)。在低倍镜下( $500 \times$ ),过渡区凸出的上皮细胞表

面显示颗粒状(图版 II:11)。

**2.4 波纹唇鱼鳃小片的透射电镜观察** 波纹唇鱼鳃小片由两层单层呼吸上皮细胞、内皮细胞及其间的柱细胞和毛细血管网构成。鳃丝の入鳃动脉和出鳃动脉在每一鳃小片的基部伸出分支,进入鳃小片内毛细血管,每一鳃小片都是一个独立的呼吸场所。鳃小片的两层单层上皮细胞间形成腔隙结构,腔隙间有柱细胞起支持作用,形成大片空隙,便是毛细血管腔,充满血液,管腔较窄,有的地方仅能使单层血细胞通过(图版 II:13)。上皮细胞表面具回沟状的微嵴结构,细胞呈扁平状,核位于细胞中部,呈长棒状或豆状,上皮细胞间紧密连接。柱细胞核大,位于毛细血管腔中间位置,有的分别与两侧的上皮细胞相接(图版 II:13),有的只一侧与上皮细胞相接(图版 II:14),在柱细胞和上皮细胞间有腔隙结构称为窦状隙(图版 II:15)。鳃小片的毛细血管网没有独立的血管壁,上皮细胞构成血管外壁,内皮细胞也是血管壁的重要组成部分,内皮细胞的胞质内含明显可见的一类被膜嗜银颗粒,称为 Palae/Weibel 体(图版 II:14,15)。在上皮细胞内侧有一层基膜,整个基膜紧密、连续。上皮细胞、基膜、内皮细胞和柱细胞一起构成了特殊的水/血屏障双层结构(图版 II:13~16)。鳃小片基部或接近基部上皮细胞间分布有氯细胞和黏液细胞,氯细胞通常被上皮细胞覆盖,在上皮细胞连接之间的表面有开孔,胞内含有众多围绕核分布的线粒体,氯细胞内还有很多排泄小泡(图版 II:17)。氯细胞常在柱细胞对生的部位观察到(图版 II:16)。黏液细胞数量较少,胞内有较多的分泌颗粒(图版 II:18)。

### 3 讨论

**3.1 波纹唇鱼鳃的形态及组织学结构** 一般鱼类都有 4 对全鳃,鱼类鳃弓上每一鳃瓣称为半鳃,由前后两个半鳃合为一个全鳃,但波纹唇鱼鳃比较特别,第 4 对为半鳃;鳃盖上有 1 对伪鳃,伪鳃具有辅助呼吸的作用<sup>[15]</sup>。每对鳃由鳃弓、鳃丝和鳃耙构成,鳃弓呈圆弧形,能有效缓

解水流的冲击力,使水流尽量均匀经过鳃的各鳃丝。对于同一全鳃的两个鳃瓣的相对长短少有报道,本实验观察到波纹唇鱼前 3 对全鳃的鳃弓上有一长一短的鳃瓣,鳃瓣略微向外伸展,与相邻鳃弓上鳃瓣交接而不连接,鳃丝密集排列在鳃瓣上,鳃丝末端无膨大,呈小勺状,此结构使吸入的水流基本都经过鳃表面,但其他水中固体物质可以顺利通过,不会堵塞或附着鳃丝,为呼吸作用提供基本保证。鳃丝表面有规则或不规则的微嵴、沟、坑、孔等结构,使表面凹凸不平,能有效增大其表面阻力,延缓水流速度,延长与鳃丝的接触时间,为呼吸作用提供时间保证。波纹唇鱼鳃丝非呼吸区表面的凹凸程度在不同区域不一样,在远鳃小片区凹凸极为明显,而近鳃小片区平坦,这种特征在其他学者报道中未见提及。鳃小片呈流线型,是主要呼吸区,平行紧密排列在鳃丝上,鳃小片的上皮细胞表面呈皱褶状,鳃小片的两个面结构一样,都能直接参与呼吸作用,使氧气和二氧化碳的交换面积最大化,提高气体交换率。鳃的整体结构和排布与其呼吸功能相适应,吸收水中的溶氧供给机体所需,排出生理活动产生的二氧化碳。鱼类鳃对栖息地溶氧含量表现为一定的适应性,Paterson 等报道了尼罗尖吻鲈(*Lates niloticus*) 在沼泽地低溶氧条件下 12 年后鳃丝明显变长,而在溶氧相对高的湖泊里生长的尼罗尖吻鲈基本没有变化<sup>[16]</sup>。波纹唇鱼属于珊瑚礁鱼类,主要栖息于险峻的外礁斜坡、峡道斜坡与乌湖礁,成鱼在深水水域活动,溶氧较低,鳃的结构能有效提高氧的吸收率,与低溶氧水环境相适应。

波纹唇鱼鳃弓上肌肉纵横交错,有较丰富的骨组织,使鳃能较好地承受水流产生的机械压力,起到对鳃丝的保护作用。鳃丝内血管发达,入鳃动脉和出鳃动脉大,管壁较厚,它们分别与鳃弓的出鳃动脉和入鳃动脉相连通,入鳃动脉和出鳃动脉在每一鳃小片的基部水平伸出小枝进入鳃小片,在鳃小片形成毛细血管网<sup>[15]</sup>。入鳃动脉和出鳃动脉能快速地将血液输入鳃丝,经过鳃小片,在发达的鳃小片毛细血

管网进行气体交换,再通过出鳃动脉快速输出,运送到机体的各部位,完成新陈代谢。

**3.2 波纹唇鱼鳃丝表面结构** 波纹唇鱼鳃丝表面分为呼吸区和非呼吸区,二者表面都是上皮细胞,但形态有一定差异,非呼吸区上皮细胞表面布满微嵴,微嵴呈指纹状为主,排列紧密;呼吸区上皮细胞表面较平滑,细胞间连接更明显,没有微嵴,呈皱褶状,细胞一般呈五边形至七边形;二者有明显过渡区,过渡区上皮细胞微嵴密集,杂乱,呈不规则的指纹状。非呼吸区主要是起支持、分泌等功能,可见一些黏液细胞在其表面的开口。关于表皮细胞微嵴的作用,有的学者认为是增加表面积,提高气体交换率<sup>[17]</sup>;有的学者认为微嵴被黏液覆盖,不能增加气体交换面积<sup>[18]</sup>;还有学者认为微嵴能起到固定黏液的作用<sup>[19-20]</sup>;除此之外,作者认为非呼吸区上皮细胞呼吸作用并非其主要功能,主要是支持作用,这种微嵴能有效增强细胞的机械强度,维持整个鳃丝的基本形态结构,保证内部结构及内环境不受水流的机械损伤。呼吸区表面是气体交换的主要场所,上皮细胞是鳃丝内环境和外部水环境间重要的隔离结构,保证在气体交换的同时隔离水环境与内环境,呼吸区上皮细胞表面呈皱褶状结构,没有微嵴,与剑尾鱼观察结果相似<sup>[11]</sup>,这种结构能有效地延长水流的停留时间,吸附水分子,增大气体交换面积,以提高气体交换率。呼吸区和非呼吸区上皮细胞表面结构差异明显,这与二者发挥不同功能相适应。

**3.3 波纹唇鱼鳃小片超微结构** 波纹唇鱼鳃小片的透射电镜中观察到有上皮细胞、柱细胞、内皮细胞、氯细胞和黏液细胞 5 种细胞。具有呼吸功能的鳃小片由上皮细胞、内皮细胞、基膜和柱细胞形成双层结构的水/血液屏障,上皮细胞在外层,细胞间紧密连接;内侧为连续的基膜与内皮细胞,形成屏障的第二层;柱细胞起支持作用,抵抗外界水流压力,维持鳃小片的基本形态。水/血液屏障是硬骨鱼类鳃小片的基本结构,这种结构便于与外界进行气体交换,获取氧气,排出二氧化碳,能有效将内环境与外环境隔

开,维持内环境的稳定。鳃小片高度血管化,是发达的毛细血管网,鳃丝两侧靠近边缘处各有一条血管,内侧一条为入鳃动脉,靠外侧的为出鳃动脉,二者分别与鳃弓的入鳃动脉和出鳃动脉相连通<sup>[15]</sup>。Vogel 等报道了硬头鳉 (*Salmo gairdneri*) 动静脉融合源于两条平行的入鳃动脉<sup>[21-22]</sup>。血液经入鳃动脉,流经鳃小片毛细血管网,进行气体交换后,进入出鳃动脉,实现呼吸过程<sup>[23]</sup>。氯细胞在海水硬骨鱼类起到调节渗透压和离子平衡的重要作用,还可分泌氯化物<sup>[11]</sup>。氯细胞内有大量的线粒体和排泄小泡,分泌的氯化物通过排泄小泡将血液中氯化物排出体外,同时也是体内氯化物的储存场所。氯细胞间通过间隙连接相互联系,这种结构便于氯细胞间的分泌等活动的协作<sup>[24]</sup>。本实验观察结果证明波纹唇鱼氯细胞内含有大量线粒体和排泄小泡,这有利于适应高盐度海水。

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] 农业部水生野生动植物保护办公室,广东省海洋与渔业局. 水生野生保护动物识别手册. 北京:科学出版社, 2004: 271.
- [ 2 ] 区又君,齐旭东,李加儿. 波纹唇鱼不同组织 5 种同工酶表达的差异. 南方水产, 2009, 5(2): 51 - 55.
- [ 3 ] 区又君,李加儿. 野生波纹唇鱼 *Cheilinus undulatus* 营养成分分析与评价. 热带海洋学报, 2010, 29(3): 97 - 102.
- [ 4 ] 霍蕊,张本,陈国华,等. 波纹唇鱼染色体核型分析. 海洋科学, 2009, 33(4): 94 - 97.
- [ 5 ] Sadovy Y, Kulbicki M, Labrosse P, et al. The humphead wrasse, *Cheilinus undulatus*: synopsis of a threatened and poorly known giant coral reef fish. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2004, 13(3): 327 - 364.
- [ 6 ] Choat J H, Davies C R, Ackerman J L, et al. Age structure and growth in a large teleost, *Cheilinus undulatus*, with a review of size distribution in labrid fishes. Marine Ecology Progress Series, 2006, 318: 237 - 246.
- [ 7 ] Chateau O, Wantiez L. Site fidelity and activity patterns of a humphead wrasse, *Cheilinus undulatus* (Labridae), as determined by acoustic telemetry. Environ Biol Fish, 2007, 80(4): 503 - 508.
- [ 8 ] 何永亮,区又君,蔡文超,等. 驼背鲈鳃丝的光镜、扫描和透射电镜观察. 华南农业大学学报, 2009, 30(2): 86 - 89.

- [9] 李加儿, 区又君, 刘匆. 红笛鲷和卵形鲳鲹鳃的扫描电镜观察与功能探讨. *海洋水产研究*, 2007, 28(6): 45 - 50.
- [10] 李加儿, 刘匆, 区又君, 等. 鲷和鲮鳃丝的扫描电镜比较观察. *动物学杂志*, 2005, 40(4): 74 - 78.
- [11] 方展强, 邱玫, 王春风. 剑尾鱼鳃结构的光镜、扫描和透射电镜观察. *电子显微学报*, 2004, 23(5): 553 - 559.
- [12] 李加儿, 徐晓娟, 区又君, 等. 浅色黄姑鱼鳃结构及其呼吸面积的研究. *南方水产*, 2008, 4(1): 22 - 27.
- [13] 孙京田, 王爱芹. 斑鳢鳃表面亚微形态结构特征的扫描电镜研究. *山东师范大学学报: 自然科学版*, 2006, 21(1): 130 - 132.
- [14] 王艳, 胡先成. 不同盐度下鲈鱼稚鱼鳃的显微结构观察. *海洋科学*, 2009, 33(12): 138 - 142.
- [15] 楼允东. *组织胚胎学*. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2005: 86 - 92.
- [16] Paterson J A, Chapman L J, Schofield P J. Intraspecific variation in gill morphology of juvenile Nile perch, *Lates niloticus*, in Lake Nabugabo, Uganda. *Environ Biol Fish*, 2010, 88(2): 97 - 104.
- [17] 邢维贤, 安利国, 杨桂文, 等. 胡子鲶鳃扫描电镜的观察. *水产学报*, 2000, 24(2): 101 - 103.
- [18] Hughes G M, Wright D E. A comparative study of the ultrastructure of the water/blood pathway in the secondary lamellae of teleost and elasmobranch fishes-benthic forms. *Z Zellforsch*, 1970, 104(4): 478 - 493.
- [19] 郭淑华, 王良臣. 鲤鳃表面结构扫描电镜研究. *水生生物学报*, 1988, 12(1): 54 - 60.
- [20] 李加儿, 区又君, 刘匆. 斑点叉尾鲷鳃结构的扫描电镜观察. *南方水产*, 2009, 5(5): 52 - 56.
- [21] Vogel W O P. Arteriovenous anastomoses in the afferent region of Trout gill filaments (*Salmo gairdneri* Richardson, Teleostei). *Zoomorphologie*, 1978, 90(3): 205 - 212.
- [22] Vogel W, Vogel V, Pfautsch M. Arterio-venous anastomoses in Rainbow Trout gill filaments. *Cell and Tissue Research*, 1976, 167(3): 373 - 385.
- [23] Palzenberger M, Pohla H. Gill surface area of water-breathing freshwater fish. *Reviews in Fish Biology a Fisheries*, 1992, 2(3): 187 - 216.
- [24] Bartels H, Potter I C. Communicating (gap) junctions between chloride cells in the gill epithelium of the lamprey, *Geotria australis*. *Cell and Tissue Research*, 1990, 259(2): 393 - 395.

### 图版 I 说明

1. 鳃弓结构的组织学横切面(×100); 2. 鳃丝及鳃小片的组织学纵切面(×200); 3. 鳃丝末端的组织学纵切面(×100); 4. 鳃丝整体的形态, 鳃丝末端(箭头示)(×60); 5. 示呼吸区、非呼吸区和过渡区(×200); 6. 示鳃丝非呼吸区表面细胞(×4 000); 7. 示鳃丝非呼吸区的远鳃小片区和近鳃小片区, 小孔结构(箭头示)(×800); 8. 示远鳃小片区(非呼吸区)(×250); 9. 示远鳃小片区(非呼吸区)表面细胞, 小孔结构(箭头示)(×3 000)。

### Explanation of Plate I

1. Cross section of gill arch tissue (×100); 2. Longitudinal section of primary filament and secondary filament tissue (×200); 3. Longitudinal sections of end of secondary filament tissue (×100); 4. Scanning electron micrographs of primary filament, the end of primary filament (arrow) (×60); 5. Scanning electron micrographs of respiratory surface, non-respiratory surface and transition region (×200); 6. Scanning electron micrographs of cell surface in non-respiratory surface (×4 000); 7. Scanning electron micrographs of farther area from secondary filament and nearby area from secondary filament, small holes (arrow) (×800); 8. Scanning electron micrographs of farther area from secondary filament (non-respiratory surface) (×250); 9. Scanning electron micrographs of cell surface of farther area from secondary filament, small holes (arrow) (×3 000).

### 图版 II 说明

10. 示鳃小片表面细胞(×4 000); 11. 示过渡区(×500); 12. 示过渡区表面细胞, 乳头状结构(箭头示)(×4 000); 13. 示鳃小片的基本结构(×1 200); 14. 鳃小片, 示不同柱细胞(×1 200); 15. 示窦状隙(×1 200); 16. 示氯细胞与柱细胞的位置关系(×1 200); 17. 示氯细胞(×1 900); 18. 示黏液细胞(×2 900)。

### Explanation of Plate II

10. Scanning electron micrographs of cell surface of nearby area from secondary filament (×4 000); 11. Scanning electron micrographs of transition region (×500); 12. Scanning electron micrographs of cell surface of transition region, papillary structures (arrow) (×4 000);

13. Transmission electron micrographs of secondary filament ( $\times 1\ 200$ ); 14. Transmission electron micrographs of secondary filament, show indifferent types of pillar cells ( $\times 1\ 200$ ); 15. Transmission electron micrographs of sinusoid ( $\times 1\ 200$ ); 16. Transmission electron micrographs of the position between chloride cell and pillar cell ( $\times 1\ 200$ ); 17. Transmission electron micrographs of chloride cell ( $\times 1\ 900$ ); 18. Transmission electron micrographs of mucous cell ( $\times 2\ 900$ ).

1~3 为光镜图; 4~12 为扫描电镜图; 13~18 为透射电镜图。

1-3: Light micrographs; 4-12: Scanning electron micrographs; 13-18: Transmission electron micrographs.

A: 小动脉; Aa: 入鳃动脉; Bc: 血细胞; Bm: 基膜; Cc: 氯细胞; Ct: 软骨组织; Cvn: 毛细血管网; Ea: 出鳃动脉; En: 内皮细胞; Ep: 上皮细胞; Ev: 排泄小泡; Fa: 远鳃小片区; Fp: 融合; M: 线粒体; Mc: 黏液细胞; Mm: 黏膜; Mu: 肌肉; N: 细胞核; Na: 近鳃小片区; Nrs: 非呼吸区; P: 骨外膜; Pc: 柱细胞; Pf: 鳃丝; Pw: 被膜嗜银颗粒小体; Rs: 呼吸区; S: 窦状隙; Sf: 鳃小片; Sg: 分泌颗粒; Ts: 过渡区; V: 静脉。

A: Arteriole; Aa: Afferent artery; Bc: Blood cell; Bm: Basement membrane; Cc: Chloride cell; Ct: Cartilage tissue; Cvn: Capillary vessel net; Ea: Efferent artery; En: Endothelial cell; Ep: Epithelia cell; Ev: Excretion vesicle; Fa: Farther area from secondary filament; Fp: Fusion place; M: Mitochondrion; Mc: Mucous cell; Mm: Mucous membrane; Mu: Muscle; N: Nucleus; Na: Nearby area from secondary filament; Nrs: Non-respiratory surface; P: Periosteum; Pc: Pillar cell; Pf: Primary filament; Pw: Pslsde/Weibel; Rs: Respiratory surface; S: Sinusoid; Sf: Secondary filament; Sg: Secretory granules; Ts: Transition region; V: Vena.

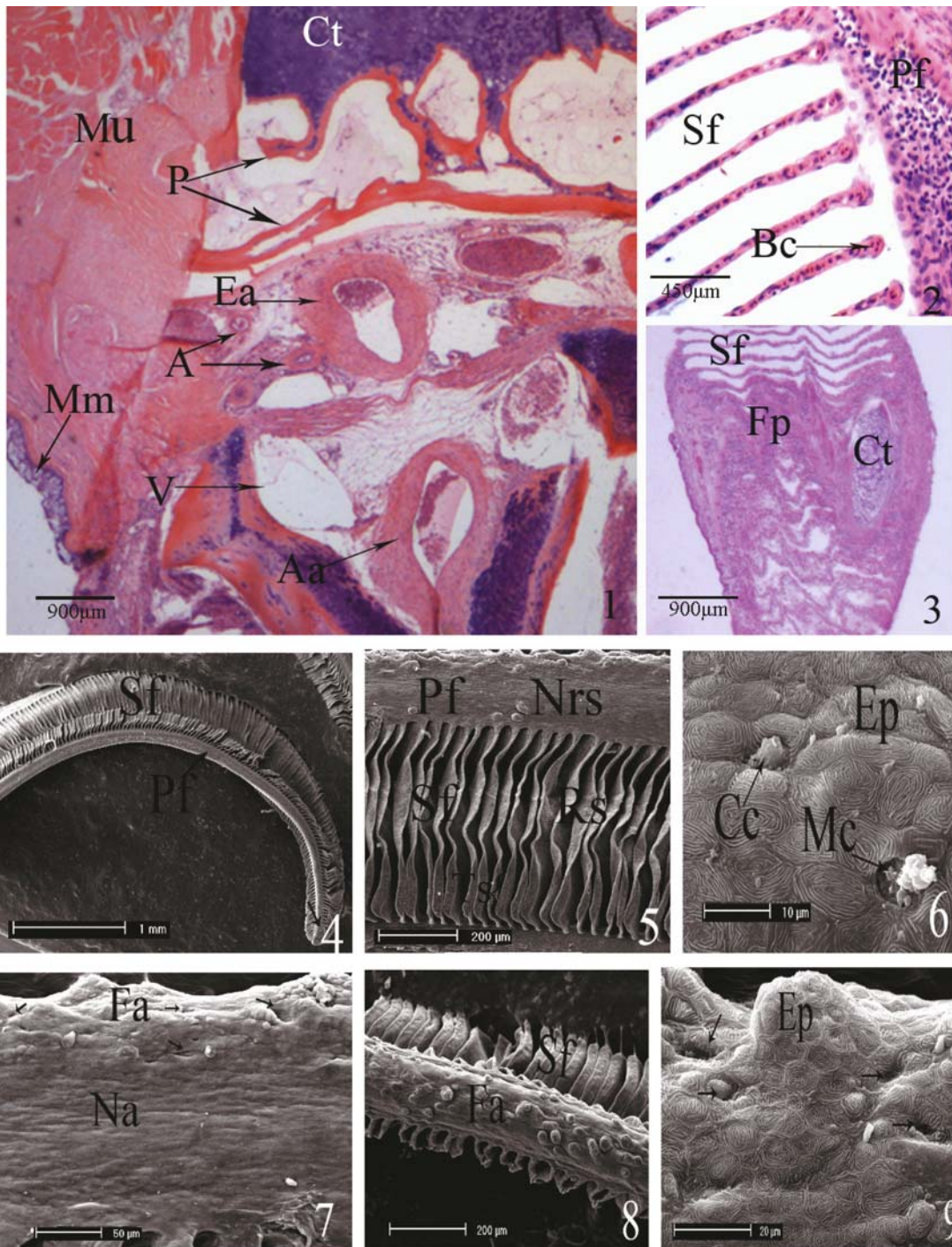
廖光勇等: 波纹唇鱼鳃丝的光镜、扫描和透射电镜观察

图版 I

LIAO Guang-Yong *et al.*: Light, Scanning and Transmission Electron Microscopical Observation of

Gill Filaments of *Cheilinus undulatus*

Plate I



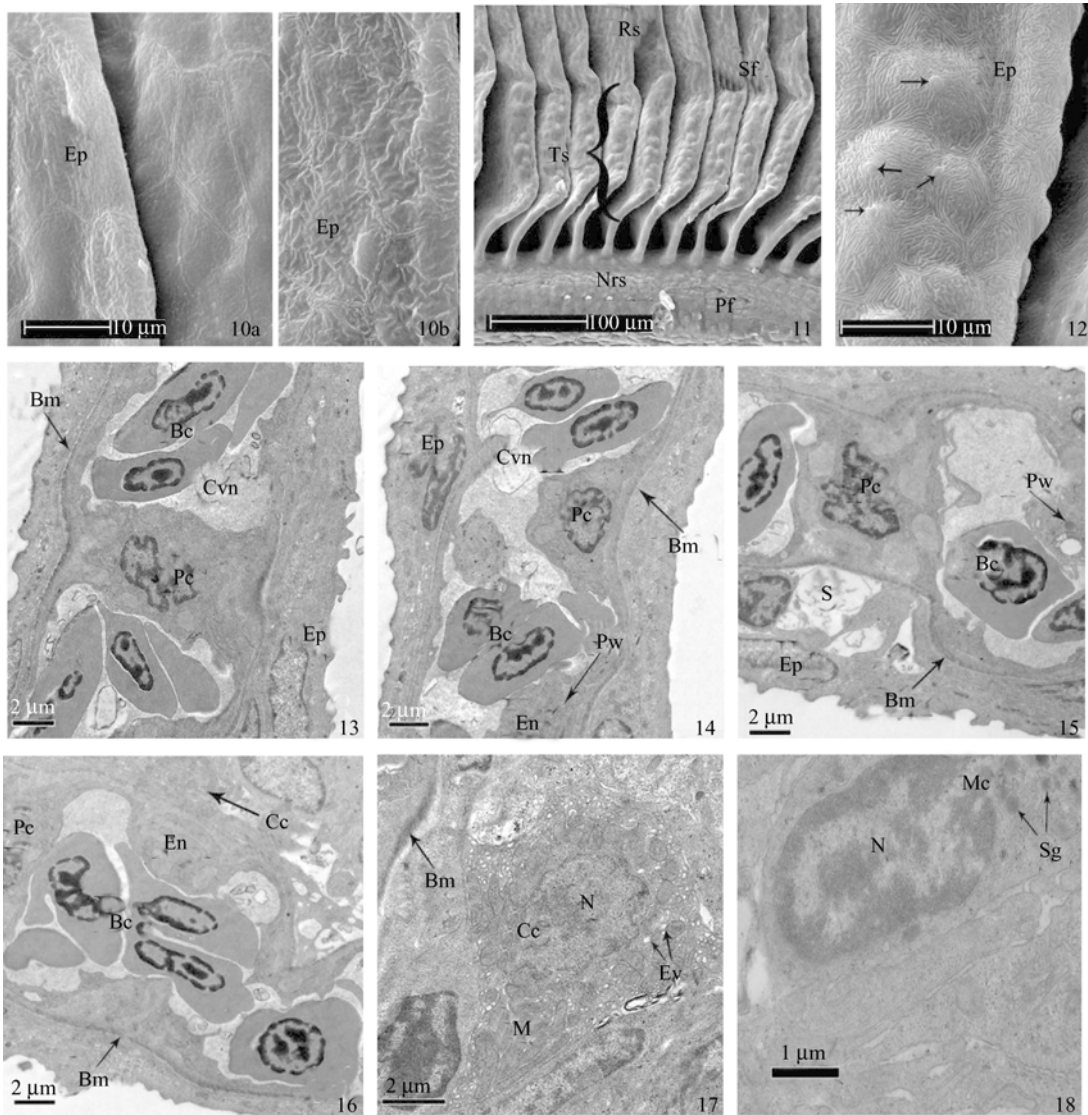
图版说明见文后



廖光勇等:波纹唇鱼鳃丝的光镜、扫描和透射电镜观察

图版 II

LIAO Guang-Yong *et al.* :Light, Scanning and Transmission Electron Microscopical Observation of Gill Filaments of *Cheilinus undulatus* Plate II



图版说明见文后