

# 黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)鳃的超微结构研究\*

罗芬<sup>1</sup> 陈礼强<sup>2①</sup> 康斌<sup>2</sup>

(1. 宁德师范学院生物工程系 宁德 352100; 2. 云南大学亚洲国际河流中心  
云南省国际河流与跨境生态安全重点实验室 昆明 650091)

**提要** 应用光学和电子显微成像技术对黄颡鱼鳃的表面形态特征、鳃小片血管分布及其内部超微结构进行了观察。结果表明,黄颡鱼鳃耙呈长锥形,鳃弓表面具棘状小刺,鳃小片呈褶皱状,镶嵌排列在长条形鳃丝两侧。光镜可观察到鳃小片两侧红色的入鳃和出鳃动脉以及中部片状毛细血管网。鳃耙、鳃弓、鳃丝及鳃小片表面均被扁平上皮细胞覆盖,其表面微嵴形态结构各异。鳃弓和鳃丝表面有线粒体密集细胞和粘液细胞开口,鳃小片表面未发现分泌细胞开口但附着大量粘液。鳃小片主要由单层或数层上皮细胞和由支持细胞包裹的血管腔构成。线粒体密集细胞分布于鳃小片边缘和血管周围,可分为两个亚型。黄颡鱼鳃上皮细胞和线粒体密集细胞的超微结构特征与其相应的呼吸功能和体内离子转运、能量代谢生理功能相适应。

**关键词** 黄颡鱼, 鳃, 扁平上皮细胞, 线粒体密集细胞, 超微结构

**中图分类号** S959.216

鱼类是地球上现存数量最多、种类最丰富的水生脊椎动物(约 25000 种),已有 5 亿年的进化历史,而鳃作为鱼类的呼吸器官也伴随其走过了漫长的进化过程(Evans *et al.*, 2005)。虽然鱼类也有肾和皮肤等辅助呼吸器官,但毫无疑问,鳃仍是鱼类最主要的呼吸器官。此外,鳃还是鱼类调节渗透压和离子平衡、保持体内酸碱平衡及氮排泄功能的主要器官,鱼类的鳃几乎同时担负了哺乳动物肺和肾脏的主要功能(Perry *et al.*, 2003)。鱼类的鳃具有非常复杂、精妙的结构,包括密集的血管系统、高度特化的呼吸上皮,这些特征都为其适应与外界水环境进行气体交换奠定了结构基础(Wilson *et al.*, 2002)。因此,明晰鱼类鳃详细形态结构是解析其复杂生理功能的重要基础,而关于鳃形态结构的研究也一直受到国内外学者的广泛关注(郭淑华等, 1988;方展强等, 2004;黄建华等, 2005; Rajbanshi *et al.*, 1977; Zayed *et al.*, 2004; Monteiro *et al.*, 2010)。由于不同鱼类栖息环境各具特点,而对鱼类鳃结构的观察又受到方法学的制约,至今在鱼类鳃的具体形态结构特征和相应功能等方面仍

存在不少疑问,如鳃呼吸上皮的结构特点与功能的关系(Lin *et al.*, 2004;); 线粒体密集细胞的起源、分类及其功能等都尚未阐明(Lee *et al.*, 2008)。

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)隶属鲇形目(Siluriformes)、鲿科(Bagridae)、黄颡鱼属(*Pelteobagrus*),是我国重要的经济鱼类。目前对黄颡鱼的研究已有诸多报道(王吉桥, 2003; 杨瑞斌等, 2006; Wang *et al.*, 2006; Lu *et al.*, 2008; 李云等, 2009; 李大宇等, 2009; 耿毅等, 2010), 尚未见对其鳃超微形态结构的报道。本文对黄颡鱼鳃的显微和超微结构进行了研究,详细描述了黄颡鱼鳃的血管分布及扁平上皮细胞、线粒体密集细胞的超微结构,对相应的生理功能进行了探讨,以期丰富黄颡鱼鳃形态结构的基础生物学资料,并为阐明鱼类鳃的结构特征与生理功能的关系提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验动物

6 尾健康黄颡鱼成鱼购于农贸市场,体长

\* 国家自然科学基金重点基金项目, U0936602 号; 福建省教育厅科技项目, JB09233 号; 宁德师范学院“服务海西建设”资助项目, 2010H307; 宁德师范学院教授培养工程资助项目。罗芬, 硕士, 副教授, E-mail: luofen1999@163.com

通讯作者: 陈礼强, 博士, Email: clq810423@163.com

收稿日期: 2010-07-04, 收修改稿日期: 2011-09-10

(16.3±1.5) cm, 体重(64.1±14.7) g。

## 1.2 光镜制样及拍照

活体取出鳃片, 用 0.65%氯化钠溶液充分冲洗, 除去血污和粘液, 在 Nikon ECLIPSE 80i 显微镜下观察并拍照。

## 1.3 扫描电镜制片

活体取下鱼鳃小块, 用 2.5%戊二醛固定 12 h(pH=7.4; 4°C), 然后用磷酸缓冲液冲洗 3 次, 经 1% 锇酸固定 1 h, 再用磷酸缓冲液冲洗 3 次。各级乙醇脱水, 醋酸异戊酯取代, 临界点干燥, 真空喷金后在 Hitachi S-4800 型扫描电镜下观察、拍照。

## 1.4 透射电镜制片

鳃组织在 2.5%戊二醛中固定 12 h(pH=7.4, 4°C), 然后用 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH=7.4)每隔 20 min 冲洗一次, 共 3 次。放入 1%锇酸固定 2 h, 用 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH=7.4)每隔 15 min 冲洗一次, 共 3 次。然后用 50%—100%乙醇逐级脱水, 包埋、定位、超薄切片, 最后在 Phillips TECNAI10 型透射电镜下观察并拍照。

## 2 结果

### 2.1 鳃的基本结构

黄颡鱼具有 4 对完整的全鳃, 位于咽部后端的两侧。每一全鳃的基本结构与其他硬骨鱼类相似, 分别由鳃耙(gillrakers)、鳃弓(gill arch)和鳃丝(gill filaments)组成(图 1a)。鳃耙位于鳃弓凹面外侧, 呈长锥

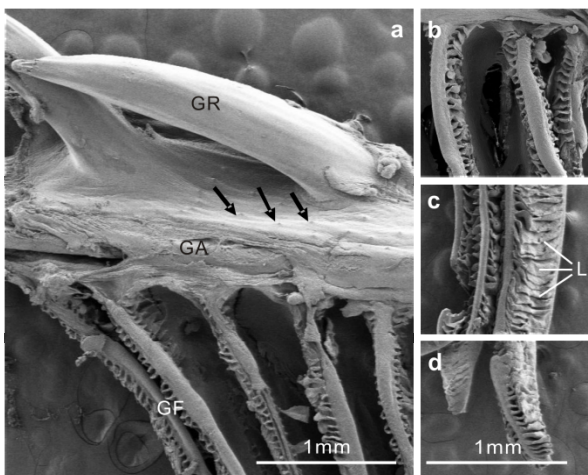


图 1 黄颡鱼鳃的形态结构

Fig.1 Gill morphology in *Pelteobagrus fulvidraco*

a. 鳃的总体形态结构; b, c, d. 鳃丝的底部、中部和顶部形态结构。GR: 鳃耙; GA: 鳃弓; GF: 鳃丝; L: 鳃小片。黑色箭头所示为鳃弓表面的棘状刺

形, 长度为 1—2 mm, 排列稀疏, 鳃耙间距 1 mm 左右。鳃弓由鳃弓骨和表皮组成, 其表面可见许多突起的棘状小刺(图 1a)。鳃丝一端呈流梳状着生在鳃弓的凸面, 另一端游离。每一鳃丝两侧伸出许多排列有序的小片状突起, 即鳃小片(lamellae)。黄颡鱼鳃丝细长, 中部呈长柱形, 鳃小片近半圆形; 末端稍尖, 鳃小片呈三角形(图 1b, c, d)。

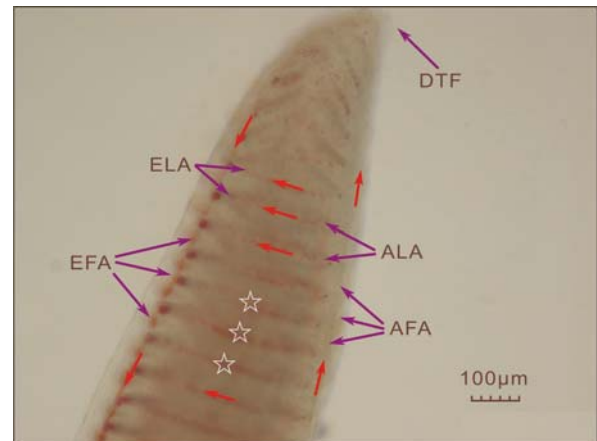


图 2 鳃丝内血管分布

Fig.2 Distribution of arteries in gill filament

AFA: 入鳃动脉; ALA: 入鳃小片血管; EFA: 出鳃动脉; ELA: 出鳃小片血管; DTF: 鳃丝顶端。红色箭头为血液流动方向; 所示为鳃小片毛细血管网

光镜观察表明, 黄颡鱼鳃丝呈长条状, 末端形态和扫描电镜观察结果一致(图 1d)。整个鳃丝通体透明, 能清晰观察到内部的血管分布。如图 2 所示, 鳃丝两侧分别为入鳃动脉(Afferent Filamental Artery, AFA)和出鳃动脉(Efferent Filamental Artery, EFA); 两条动脉血管之间为鳃小片毛细血管网, 底部的鳃小片和两条动脉构成楼梯状, 而顶部则呈“八”字形。血液由入鳃动脉进入鳃丝, 然后经入鳃小片血管(Afferent Lamellae Arterioles, ALA)进入鳃小片, 在鳃小片毛细血管网中与外部环境进行血氧交换, 然后由出鳃小片血管(Efferent Lamellae Arterioles, ELA)汇集到出鳃动脉, 最后流出鳃丝。

### 2.2 鳃表面超微结构

2.2.1 鳃弓的表面形态结构 黄颡鱼鳃弓表面主要由扁平上皮细胞(Pavement Cells, PVC)覆盖, 这些细胞排列紧密但间隙明显。扁平上皮细胞呈多边形, 细胞表面具有大量指纹状的微嵴(microridges)和微沟(microplicae), 组成菱形或方形的迷宫状图案, 微嵴分布稀疏, 间距 0.5—1.0 μm。鳃弓扁平上皮细胞长径

( $10\pm 6$ )  $\mu\text{m}$ , 短径( $6\pm 4$ )  $\mu\text{m}$ , 细胞表面有轻微盘状凹陷, 中部低, 边缘高(图 3)。鳃弓表面有许多孔洞, 是线粒体密集细胞(Mitochondria-Rich Cells, MRC)和粘液细胞(Mucous Cells, MC)的开口(图 3a), 这些细胞均被扁平上皮细胞覆盖。仔细观察可以发现, 这些孔洞可分为两类: 第一类为粘液细胞开口, 开口周围隆起, 形似“火山口”, 推测隆起的边缘为粘液细胞的分泌物, 同时在“火山口”周围也可以观察到圆球状或块状的分泌物(图 3b); 第二类为线粒体密集细胞的开口, 它们处于几个上皮细胞交界处, 一般为圆形, 开口直径 2—4  $\mu\text{m}$ , 孔洞较浅, 可以观察到孔洞内有一些白色的茸毛状突起, 推测为线粒体密集细胞顶部的微嵴(图 3c)。

**2.2.2 鳃耙的表面形态** 鳃耙表面也被具环形微嵴的扁平上皮细胞所覆盖, 但整体表面较平坦, 无分泌细胞开口。鳃耙表面上皮细胞个体较大, 形态多样, 长径( $16\pm 4$ )  $\mu\text{m}$ , 短径( $8\pm 4$ )  $\mu\text{m}$ , 整个细胞表面平整, 指纹状的微嵴排列非常密集(图 3d)。

**2.2.3 鳃丝及鳃小片的表面形态结构** 鳃丝和鳃小片呈树枝状分布, 鳃小片有序排列于鳃丝的两侧, 共同构成黄颡鱼呼吸的主要场所(图 4a)。鳃丝表面形态与鳃弓上皮比较类似, 由许多表面呈环形微嵴的上皮细胞覆盖, 仅有少量分泌细胞开口。上皮细胞表面微嵴分布均匀, 间距 0.3—0.5  $\mu\text{m}$ 。细胞个体较小, 但大小均匀, 长径( $8\pm 3$ )  $\mu\text{m}$ , 短径( $4\pm 3$ )  $\mu\text{m}$ 。两者不同之处在于鳃丝上皮细胞比鳃弓细胞表面的盘状凹陷更深, 细胞边缘的隆起更宽厚, 形成明显的细胞界线(图 4b)。

鳃小片表面结构与鳃丝表

面差异大。外侧鳃小片的上皮细胞表面凹凸不平, 但不具有环形微嵴, 而是布满了许多圆形的点状小突起。鳃小片表面有一层薄的粘液覆盖, 使得细胞界线不清, 但基本可以观察到细胞边缘的嵴状隆起(图

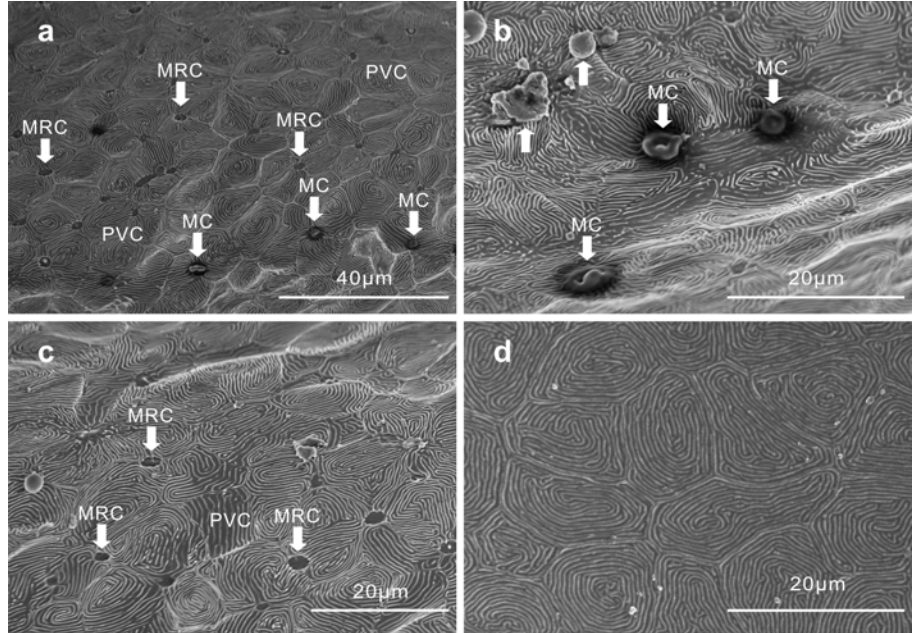


图 3 鳃弓表面微嵴的形态

Fig.3 Ultrastructure of the microridges on the surface of gill filaments  
PVC: 扁平上皮细胞; MRC: 线粒体密集细胞; MC: 粘液细胞

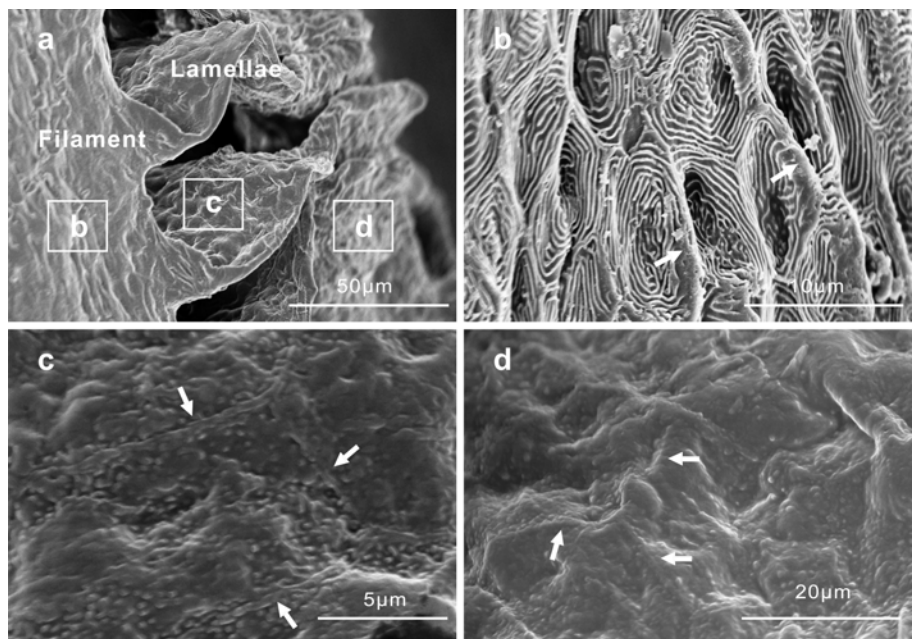


图 4 鳃丝及鳃小片表面超微结构

Fig. 4 Ultrastructure of the gill filaments and the lamellae  
a. 鳃丝和鳃小片的结构; b. 鳃丝表面; c. 外侧鳃小片表面; d. 内侧鳃小片表面。  
白色箭头所指为细胞边缘的嵴状隆起



4c)。内侧鳃小片上皮细胞表面呈丘陵状, 表面也可见许多小圆形点状突起, 但由于覆盖有一层很厚的粘液, 细胞界线已经很难区分(图 4 d)。

### 2.3 鳃小片内部超微结构

黄颡鱼鳃小片主要由上下单层或数层呼吸上皮细胞、线粒体密集细胞、支持细胞(Pillar Cells, PC)以及血管网所构成。扁平上皮细胞位于鳃小片的最外层, 表面具有微峭, 形成凹凸不平的覆盖层, 包裹着内部的线粒体密集细胞和未分化细胞等。在上皮细胞与支持细胞之间有许多腔隙, 称为窦状隙(sinusoid)。鳃小片内部主要由支持细胞和毛细血管组成, 两个支持细胞中间夹着一个血管腔, 血管腔内可观察到红细胞(图 5a)。

**2.3.1 支持细胞** 支持细胞是一种仅存于鱼类鳃中的内皮细胞, 它分布于鳃小片血管的间隙, 界定了血管的位置和空间大小。黄颡鱼鳃中的支持细胞一般呈方形, 细胞核形态多样; 胞内具有线粒体、核糖体, 但缺乏内质网。支持细胞边缘与鳃小片的基膜相连, 并向四个角延伸, 从而形成一层很薄的膜状缘(flanges), 厚度约为 0.02—0.05 μm。这层膜状缘包裹在鳃小片血管的四周, 基本限定了血管的大小和形态(图 5b)。膜状缘超薄的结构有利于缩短血液向外部水体扩散的距离, 提高血氧交换的效率(Bartels *et al*, 1993)。

**2.3.2 扁平上皮细胞** 透射电镜观察, 黄颡鱼扁平上皮细胞位于鳃丝或鳃小片的表层, 其细胞表面有许多指状突起(图 5b); 扁平上皮细胞有一个大的细胞核, 因此核质比较大。菱形扁平上皮细胞的核侧扁, 而方形扁平细胞的细胞核则呈圆形。细胞质内含有各种细胞器, 如内质网、高尔基体, 溶酶体以及囊泡。扁平上皮细胞覆盖在线粒体密集细胞上面, 但有一些孔隙, 推测是线粒体密集细胞或粘液细胞的分泌开口。

**2.3.3 线粒体密集细胞** 黄颡鱼线粒体密集细胞主要分布在鳃小片的表面以及鳃弓血管周围, 这类细胞的显著特点是细胞质内存在大量的线粒体。根据细胞质的电子密度和线粒体形态等特征, 可将黄颡鱼的线粒体密集细胞分为两个亚型, 分别称为线粒体密集细胞型(MRC1)和线粒体密集细胞型(MRC2)。线粒体密集细胞型主要分布于鳃丝和鳃小片边缘, 紧靠血管周围; 用透射电镜观察时, 线粒体密集型细胞呈圆形或卵圆形, 其细胞质电子密度低, 较明亮; 线粒体个体较小, 呈圆形或长条形, 但长条形较多; 细胞核圆形或侧扁, 位于细胞一端; 胞质内

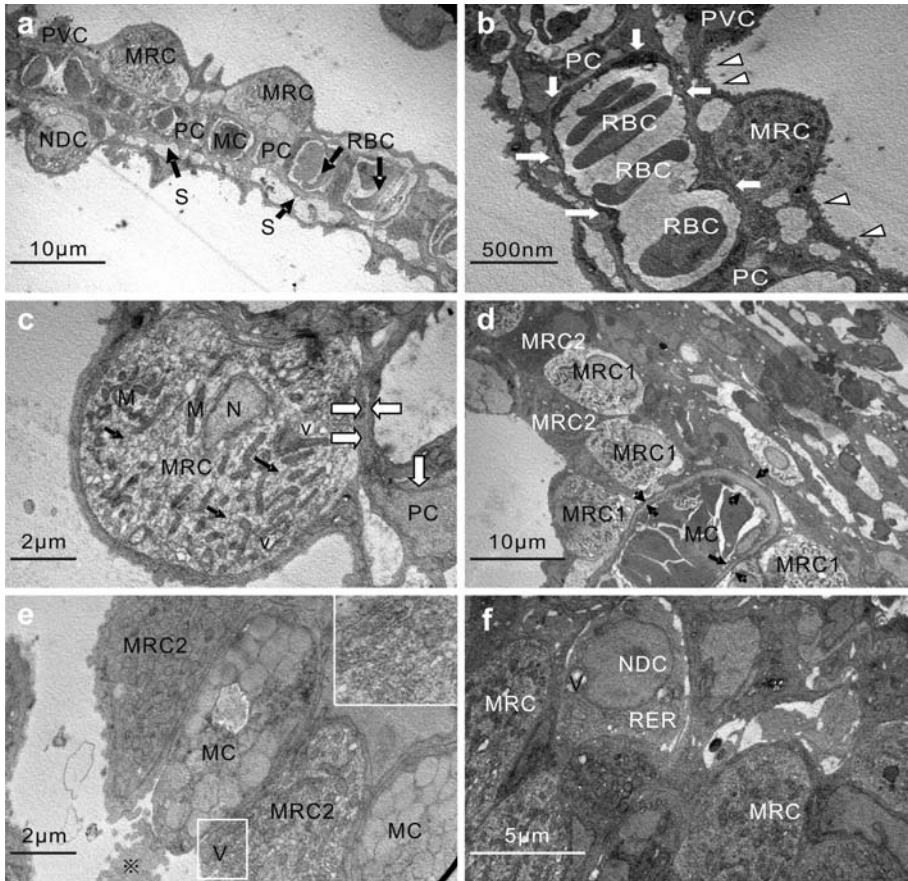


图 5 鳃小片内部超微结构

Fig.5 Ultrastructure of the gill filaments

a. 鳃小片的结构组成; b. 支持细胞及血管, 白色箭头所示为膜状缘, 白色三角所指为膜表面凸起的微峭; c. 线粒体密集细胞, 黑色箭头为微管系统, 白色箭头为支持细胞的膜状缘; d. 两种线粒体密集细胞, 黑色箭头为血管的腔壁; e. 粘液细胞, 内嵌图示线粒体密集细胞内大量的囊泡; f. 未分化细胞。 M: 线粒体; MC: 血管腔(图 a 和 d); MC: 粘液细胞(图 e); MRC: 线粒体密集细胞; MRC1: 线粒体密集细胞型; MRC2: 线粒体密集细胞型; N: 细胞核; NDC: 未分化细胞; PC: 支持细胞; PVC: 扁平上皮细胞; RER: 粗面内质网; RBC: 血红细胞; S: 窦状隙; V: 囊泡; \* 细胞分泌物

有许多微管系统(Tubular System, TS)以及一些较大的液空泡(vacuoles)(图 5c, d)。线粒体密集细胞型主要分布于鳃弓表面和鳃小片内部,呈长条形或椭圆型;细胞质电子密度较高,较灰暗;线粒体数量多且个体较大,主要呈圆形,有少量长条形;细胞核小,呈不规则扁形;细胞质顶部有大量小型囊泡(vesicles)密集分布(图 5d)。

**2.3.4 粘液细胞** 黄颡鱼粘液细胞主要分布于鳃丝上皮,与线粒体密集细胞间隔而生。细胞呈长椭圆形,长径( $8\pm 3$ )  $\mu\text{m}$ ,短径( $3\pm 2$ )  $\mu\text{m}$ 。整个细胞内充满了粘液泡,电子密度低,较明亮。细胞核和少量细胞器均挤在细胞的基部,具有内质网、高尔基体和线粒体。在粘液细胞的顶端,可见许多外排的分泌物(图 5e)。

**2.3.5 未分化细胞 (Nondifferentiated Cells)** 黄颡鱼鳃中有少量未分化细胞,分布于鳃丝基部或是表皮细胞膜的间隔,它是其他功能细胞,如扁平上皮细胞、线粒体密集细胞的母体,在发育时具有极大的可塑性。该细胞有一个很大的细胞核,呈圆形,核质比大。胞质内具有内质网、溶酶体、囊泡和液泡等细胞器(图 5f)。

### 3 讨论

#### 3.1 鳃扁平上皮细胞形态结构与功能

鱼类鳃扁平上皮细胞包裹于鳃的最外层,是鳃表皮上数量最多的一个细胞类型,覆盖了鳃表面近90%的面积(Laurent *et al*, 1980)。扁平上皮细胞是一种重要的多功能细胞,不仅在气体交换中起重要作用,还被认为具有渗透压调节功能(Wilson *et al*, 2000)。不同鱼类由于生活环境不同,其鳃扁平上皮细胞的形态结构和功能一般有较大差异。即使同一种鱼类,分布在鳃不同区域的扁平上皮细胞的形态结构也会有很大变化。本研究表明,黄颡鱼鳃耙、鳃弓及鳃丝表面覆盖的扁平上皮细胞的大小、形态及其表面微峭的分布密度等均有明显不同,这与虎利齿脂鲤(*Hoplias malabaricus*)鳃部扁平上皮细胞分布类似(Moron *et al*, 1996)。而 Sandra 等对尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的研究也表明,分布在鳃丝和鳃小片表面扁平上皮细胞的形态结构明显不同,并推测这些不同结构是与其相应生理功能相适应的(Monteiro *et al*, 2010)。黄颡鱼鳃耙表面扁平上皮细胞的表面平整,微峭排列非常紧密,推测主要起保护作用。同时,鳃丝扁平上皮细胞的表面呈剧烈的盘状内凹,且微峭分布均匀,排列较密集,这进一步增大了鳃丝的面积,

提高和外界进行气体和离子交换的效率。而细胞表面的微峭可能会增强水分子的粘附作用,从而有利于呼吸时血液和水体间的气体交换(Rajbanshi *et al*, 1977)。此外,黄颡鱼鳃小片表面附有很多粘液,这也与其底栖的生活习性一致,因为这些粘液不仅可以有效减弱水体中悬浮颗粒物对鳃的摩擦和损伤,也能在鳃暴露于空气中时保持其湿润(Moron *et al*, 1996)。黄颡鱼鳃不同功能区域的扁平上皮细胞具有不同的形态结构,验证了鱼类鳃扁平上皮细胞的形态与其功能密切相关。

#### 3.2 线粒体密集细胞的分类及其生理功能

线粒体密集细胞在鱼类鳃的功能细胞研究中备受关注,这主要是由于该细胞有多个细胞亚型且与多种生理功能密切相关。海水硬骨鱼类中,线粒体密集细胞被证实与  $\text{Cl}^-$  的排除有关,被称为氯细胞或是泌氯细胞(Chloride Cell)(Evans *et al*, 1999),而在淡水硬骨鱼类中,它主要是离子内在化的场所,与  $\text{Cl}^-$  的代谢无关,所以一般称为线粒体密集细胞(Perry *et al*, 1997)。由于淡水鱼类线粒体密集细胞形态多样,其细胞亚型的分类颇受争议。Pisam 等最先根据细胞质的电子密度及在鳃中的分布位置,将线粒体密集细胞分为  $\alpha$  和  $\beta$  两个亚型,并对它们在虹鳟(*Lebistes reticulatus*)、泥鳅(*Cobitis teania*)、太平洋鲑(*Salmo salar*)、鮡(*Gobio gobio*)和尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)鳃中的形态结构进行了详细的描述(Pisam *et al*, 1987, 1995)。随后, Lee 等根据细胞顶部的膜状突起的形态将尼罗罗非鱼鳃中的线粒体密集细胞分为“深孔型”(deep-hole)、“浅滩型”(shallow-basin)和“波纹型”(wavy-convex)三个亚型,并表明这三个亚型的线粒体密集细胞会随外部水体盐度和渗透压的改变而相应地发生形态结构变化(Lee *et al*, 1996, 2000)。本研究中,黄颡鱼线粒体密集细胞的特征与 Pisam 等(1987)关于此细胞的描述较为相似,因此作者根据细胞质的电子密度和线粒体形态等特征,将黄颡鱼线粒体密集细胞分为两个亚型。主要分类特征为:线粒体密集细胞型的胞质电子密度低,线粒体个体较小,长条形较多,胞质内有许多微管系统以及一些较大的液空泡;而线粒体密集细胞型则细胞质电子密度较高,线粒体数量多且个体较大,主要呈圆形,细胞质顶部有大量小型囊泡密集分布。

鱼类线粒体密集细胞与离子转运关系密切,其形态结构也极大地受到外部环境离子强度的影响。长期低离子浓度环境暴露不仅能明显促进虹鳟(*Oncorhynchus*

*mykiss*)鳃小片表面线粒体密集细胞的增生,也可以促使该细胞表面积增大(Laurent *et al*, 1985; Greco *et al*, 1996)。如果将鱼类从低离子浓度的水体转移到高离子浓度的水中,鳃上线粒体密集型细胞将明显增多(Sheida *et al*, 2010)。根据黄颡鱼鳃中线粒体密集细胞的分布和内部结构,推测两个亚型的细胞可能涉及到不同的生理功能。黄颡鱼线粒体密集型细胞多分布在鳃丝及鳃小片边缘区域,细胞内微管系统比较发达,提示该细胞可能具有较强与外界环境进行离子交换的能力,因为发达的微管系统具有很强的 $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase活性,而 $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase正是细胞内离子转运的活性位点(Marshall, 2002)。黄颡鱼线粒体密集型细胞分布于鳃弓表面和鳃小片内部,胞内线粒体数量多且个体较大,细胞质顶部有大量小型囊泡密集分布,提示该细胞可能与能量代谢和离子调节功能有关。因为细胞中线粒体的具体数目取决于细胞的代谢水平,代谢活动越旺盛,线粒体越多。同时,细胞内线粒体数量越多,表明该细胞涉及到为离子转运蛋白提供ATP,从而驱动离子的定向转运以及部分离子的酸碱平衡(Marshall *et al*, 2002)。目前关于淡水鱼类线粒体密集型细胞功能的相关研究很少。Tsai等(1998)提出,线粒体密集型细胞可能与钙离子吸收有关,其较深的细胞质可能是钙沉积的结果。另有研究证实,虹鳟鳃上的线粒体密集型细胞能特异性识别植物凝集素,但其具体生理功能仍不清楚(Goss *et al*, 2001)。

本文对黄颡鱼鳃的表面形态特征、鳃小片血管分布和内部超微结构进行了研究,探讨了黄颡鱼鳃的上皮细胞、线粒体密集细胞的结构特征及其与相应生理功能的密切关系,这些研究结果丰富了黄颡鱼鳃形态结构的基础生物学资料,也为深入研究其鳃的呼吸生理功能提供参考。

### 参 考 文 献

- 方展强, 邱 玫, 王春风, 2004. 剑尾鱼鳃结构的光镜、扫描和透射电镜观察. 电子显微学报, 23(5): 553—559
- 王吉桥, 2003. 黄颡鱼生物学及养殖技术. 现代渔业信息, 18(6): 1—8
- 李 云, 朱志强, 叶 勤等, 2009.  $17\beta$ -雌二醇对雄性瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)的雌激素效应. 海洋与湖沼, 40(2): 195—200
- 李大宇, 殷倩茜, 侯 宁等, 2009. 黄颡鱼(*Pelteobagrus eupogon*)不同生态地理分布群体遗传多样性的微卫星分析. 海洋与湖沼, 40(4): 460—469
- 杨瑞斌, 谢从新, 魏开建等, 2006. 不同投喂频率下黄颡鱼仔稚鱼的摄食节律研究. 华中农业大学学报, 25(3): 274—276
- 耿 毅, 汪开毓, 范方玲等, 2010. 养殖黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)鮡爱德华氏菌(*Edwardsiella ictaluri*)的分离鉴定与生物学特性研究. 海洋与湖沼, 41(1): 61—67
- 郭淑华, 王良臣, 1988. 鲤鳃表面结构扫描电镜研究. 水生生物学报, 12(1): 54—57
- 黄建华, 李加儿, 刘 匆, 2005. 鲢点石斑鱼和大眼鳊鳃的扫描电镜观察. 动物学研究, 26(1): 82—88
- Bartels H, Potter I C, 1993. Intercellular junctions in the water-blood barrier of the gill lamellae in the adult lamprey (*Geotria australis*, *Lampetra fluviatilis*). Cell Tissue Res, 274: 521—532
- Evans D H, Piernarini P M, Choe K P, 2005. The multifunctional fish gill: dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation and excretion of nitrogenous waste. Physiol Rev, 85: 97—177
- Evans D H, Piermarini P M, Potts W T W, 1999. Ionic transport in the fish gill epithelium. J Exp Zool, 283: 641—652
- Greco A M, Fenwick J C, Perry S F, 1996. The effects of soft-water acclimation on gill structure in the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Cell Tissue Res, 285: 75—82
- Goss G G, Adamia S, Galvez F, 2001. Peanut lectin binds to a subpopulation of mitochondria-rich cells in the rainbow trout epithelium. Am J Physiol, 281: R1718—R1725
- Laurent P, Dunel S, 1980. Morphology of gill epithelia in fish. Am J Physiol, 238: R147—R159
- Laurent P, Hobe H, Dunel-Erb S, 1985. The role of environmental sodium chloride relative to calcium in gill morphology of freshwater salmonid fish. Cell Tissue Res, 240: 675—692
- Lee T H, Hwang P P, Lin H C *et al*, 1996. Mitochondria-rich cells in the branchial epithelium of the teleosts, *Oreochromis mossambicus*, acclimated to various hypotonic environments. Fish Physiol Biochem, 15: 513—523
- Lee T H, Hwang P P, Shieh Y E *et al*, 2000. The relationship between “deep-hole” mitochondria-rich cells and salinity adaptation in the euryhaline teleost, *Oreochromis mossambicus*. Fish Physiol Biochem, 23: 133—140
- Lee W, Huang C Y, Lin H C, 2008. The source of lamellar mitochondria-rich cells in the air-breathing fish, *Trichogaster leeri*, J Exp Zool, Part A: Ecol Gen Physiol, 309(4): 198—205
- Lin C H, Huang C L, Yang C H *et al*, 2004. Time-course changes in the expression of Na, K-ATPase and the morphometry of mitochondria-rich cells in gills of euryhaline tilapia (*Oreochromis mossambicus*) during freshwater acclimation, J Exp Zool A Comp Exp Biol, 301(1): 85—96
- Lu S F, Zhao N, Zhao A *et al*, 2008. Effect of soybean phospholipids supplementation in formulated microdiets and live food on foregut and liver histological changes of *Pelteobagrus fulvidraco* larvae. Aquaculture, 278: 119—127
- Marshall W S, 2002.  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  transport by fish gills: retrospective review and prospective synthesis. J Exp

- Zool, 293: 264—283
- Marshall W S, Lynch E M, Cozzi R R F, 2002. Redistribution of immunofluorescence of CFTR anion channel and NKCC co-transporter in chloride cells during adaptation of the killifish *Fundulus heteroclitus* to sea water. *J Exp Biol*, 205: 1265—1273
- Monteiro S M, Oliveira E, Fontainhas-Fernandes A, 2010. Fine structure of the branchial epithelium in the teleost *Oreochromis niloticus*. *J Morphol*, 271: 621—633
- Moron S E, Fernandes M N, 1996. Pavement cell ultrastructural differences on *Hoplias malabaricus* gill epithelia. *J fish Biol*, 49: 357—362
- Perry S F, 1997. The chloride cell: structure and functions in the gills of freshwater fishes. *Annu Rev Physiol*, 59: 325—347
- Perry S F, Shahsavarani A, Georgalis T *et al*, 2003. Channels, pumps, and exchangers in the gill and kidney of freshwater fishes: their role in ionic and acid-base regulation. *J Exp Zool*, 300: 53—62
- Pisam M, Caroff A, Rambourg A, 1987. Two types of chloride cells in the gill epithelium of a freshwater-adapted euryhaline fish, *Lebistes reticulatus*; their modifications during adaptation to seawater. *Am J Anat*, 179:40—50
- Pisam M, LeMoal C, Auperin B *et al*, 1995. Apical structures of “mitochondria-rich” a and b cells in euryhaline fish gill: their behaviour in various living conditions. *Anat Rec*, 241: 13—24
- Rajbanshi V K, 1977. The architecture of the gill surface of the catfish, *Heteropneutes fossilis* (Bloch): SEM study. *J Fish Biol*, 10: 325—329
- Sheida A, Preeti K, Rahim P *et al*, 2010. Chloride cell morphometrics of common carp, *Cyprinus carpio*, in response to different salinities. *Comp Clin Pathol*, DOI: 10.1007/s00580-010-1003-8
- Tsai J C, Hwang P P, 1998. Effects of wheat germ agglutinin and colchicine on microtubules of the mitochondria-rich cells and  $Ca^{2+}$  uptake in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) larvae. *J Exp Biol*, 201: 2263—2271
- Wang C F, Xie S Q, Zhu X M *et al*, 2006. Effects of age and dietary protein level on digestive enzyme activity and gene expression of *Pelteobagrus lvidraco* larvae. *Aquaculture*, 254: 554—562
- Wilson M J, Laurent P, 2002. Fish gill morphology: Inside out. *J Exp Zool*, 293: 192—213
- Wilson J M, Laurent P, Tufts B L *et al*, 2000. NaCl uptake by the branchial epithelium in freshwater teleost fish. An immunological approach to ion-transport protein localization. *J Exp Biol*, 203(15): 2279—2296
- Zayed A E, Mohamed S A, 2004. Morphological study on the gills of two species of fresh water fishes: *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus*. *Annal Anat*, 186: 295—304

## FINE STRUCTURE OF GILLS IN TELEOST (*PELTEOBAGRUS FULVIDRACO*)

LUO Fen<sup>1</sup>, CHEN Li-Qiang<sup>2</sup>, KANG Bin<sup>2</sup>

(1. Department of Bioengineering, Ningde Teacher College, Ningde, 352100; 2. Asian International Rivers Center, Yunnan Key Lab of International Rivers and Transboundary Eco-security, Yunnan University, Kunming, 650091)

**Abstract** Using optical and electron microscopic imaging techniques, we studied the fine structure of gills in teleost (*Pelteobagrus fulvidraco*), including surface morphology, lamellar vascular distribution, and internal ultrastructure of gill filament. The results showed that the prick-shaped gill rakers were presented on the anteromedial side of the arch opposite to the gill filaments, and abundant small spines were presented on the dorsal surface of the gill arch. Many gill lamellae were arranged on both sides of each filament, and interwove with each other. The red afferent filamental artery, the efferent filamental artery, and the capillary network of lamellae were clearly observed under an optical microscope. The gill rakers, gill arches, and branchial filaments were all covered by a layer of stratified epithelium, whereas distinct morphology of microridges were presented on the surface of pavement cells. In the stratified epithelium, the pillar cells, the mucous cells, the pavement cells, and the mitochondria-rich cells were identified, and the ultrastructure of all these cell types was described. Two kinds of holes, which were considered to be the opening of the mucous cells or the mitochondria-rich cells, were located in the circular ridge of the gill arches and gill filaments, showing clear distinction from each other. On the contrary, no hole was found on the surface of lamellae, which was covered by a mucus layer. The basic structure of the secondary lamellae consisted of one or two outer epithelial layers and intermediate blood channels, which were coated by the pillar cells and their flanges. The mitochondria-rich cells that lined the lamellae or around the vascular included two cell types, i.e., the light cells and the dark cells. The relationships between the ultrastructure and function of the pavement and mitochondria-rich cells were also discussed.

**Key words** *Pelteobagrus fulvidraco*, Gill, Pavement cells, Mitochondria-rich cells, Ultrastructure