

文章编号: 1674-5566(2014)06-0801-09

褐菖鲈和松江鲈侧线形态的比较

韦璐^{1,2,3,4}, 宋佳坤^{1,2,3,4}, 潘连德^{1,2}, 张旭光^{1,2,3,4}, 王晓杰^{1,2,3,4}, 范纯新^{1,2,3,4},
郭弘艺^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 国际海洋研究中心, 上海 201306; 4. 上海海洋大学 海洋生物系统与神经科学研究所, 上海 201306)

摘要: 鱼类的侧线类型是由分类地位还是由环境的适应而定是进化形态学的关键问题之一。通过光镜和扫描电镜, 首次描述和比较了同属鲈形目的褐菖鲈和松江鲈的侧线形态及其分布。研究结果显示, 两种研究对象的侧线都仅具机械感觉系统, 包括管道侧线和表面神经丘, 但它们的形态及分布有差异。褐菖鲈头部管道属分枝型; 松江鲈属简单型管道, 比褐菖鲈有更多的表面神经丘。这两种鱼都属以管道为主, 表面神经丘为辅助来感知水流动态的类型, 但是, 栖息在急流的褐菖鲈具有分枝型管道侧线和较少的表面神经丘分布; 生活在缓流的松江鲈有简单型管道侧线和较多的表面神经丘分布, 表明这些侧线的形态特征与不同栖息地水流环境关系密切。本文认为, 分类地位接近的褐菖鲈和松江鲈侧线系统的形态区别, 是其在进化过程中对不同栖息地水流特征的适应而形成。

研究亮点: 此前未有褐菖鲈和松江鲈侧线系统形态的报道。本文首次描述并比较了褐菖鲈和松江鲈侧线系统形态及分布, 佐证了鱼类侧线形态管道分支类型和表面神经丘多寡是进化过程中对不同栖息地水流环境的适应性选择而定的假说, 为进一步研究侧线系统功能差异提供形态学依据。

关键词: 褐菖鲈; 松江鲈; 侧线系统; 显微结构; 亚显微结构; 适应性进化

中图分类号: Q 954.1; S 917

文献标志码: A

侧线系统是水生动物的一种水流感受系统^[1], 不同鱼类的机械感觉侧线系统在形态上存在着差异。这种差异的形成, 可能是由于不同的演化历史和系统发育造成的^[2-3]; 也可能在分类地位不同的鱼类间存在着侧线形态的趋同性, 即在进化过程的适应性选择压力下, 可能发生相似的功能性特化^[4]。但是, 究竟是系统进化还是对环境的适应性在侧线形态模式形成过程中起主要作用? 该问题尚在探索争议中。本研究选取同属于鲈形目, 不同科的两种经济鱼种, 鲈科的褐菖鲈 (*Sebastiscus marmoratus*) 和杜父鱼科的松江鲈 (*Trachidermus fasciatus*) 作为研究对象。褐菖鲈多栖息于近岸岩礁急流区, 底栖肉食性, 昼

伏夜出^[5]; 松江鲈则喜缓流宽敞水域, 底栖肉食性, 昼伏夜出^[6]。褐菖鲈和松江鲈亲缘关系相近, 可减少讨论演化发育对侧线形态的影响; 而相近的生活方式能减少讨论生活习性对侧线形态的影响。这样, 就可以集中讨论栖息地的水流运动特征差异对其侧线形态形成的影响。此前未有对褐菖鲈和松江鲈侧线系统形态结构的报道, 本文是第一次观察、描述和比较这两种鱼的侧线形态及其异同点, 旨在探索不同水流环境下亲缘关系相近的鱼类间侧线系统形态的差异, 验证侧线系统形态对特定栖息地水流运动的适应性假说, 并探讨褐菖鲈和松江鲈侧线系统形态的异同对不同水流运动特征可能存在的不同功能。

收稿日期: 2014-05-15 修回日期: 2014-05-23

基金项目: 国家自然科学基金(41406150); 国家重点基础研究发展计划(2011CB111608); 上海高校水产学一流学科建设项目(A2-2019-14-0001-4); 上海海洋大学国际海洋中心(A1-0209-13-0802)

作者简介: 韦璐(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类感觉生物学。E-mail: wozaihaibin@163.com

通信作者: 宋佳坤, E-mail: jksong@shou.edu.cn

1 材料与方 法

1.1 实验材料

褐菖鲉 30 尾购自浙江省舟山枸杞岛 (30°43.235'N, 122°45.787'E), 全长为 7.20 ~ 14.87 cm, 平均为 (12.26 ± 1.82) cm; 松江鲈 14 尾样品来自上海海洋大学滨海养殖基地, 全长 7.12 ~ 11.45 cm, 平均为 (10.38 ± 1.36) cm。暂养槽规格为 100 cm × 40 cm × 45 cm, 褐菖鲉饲养水温为 22 ~ 24 °C, 根据其岩礁性栖息的特点, 暂养水槽内设置两个水泥管礁体作为栖息场所; 松江鲈暂养水温为 5 ~ 8 °C。暂养期间投喂活体杂鱼、虾类和人工配合颗粒饲料。

1.2 实验方法

1.2.1 管道 ABS 塑料注射

选取 10% 中性甲醛固定样品, 流水冲洗鱼体, 在 0.5% KOH 溶液中浸泡褪去体表色素, 在解剖镜下观察到侧线开口, 用玻璃皮下注射器和非丙酮可溶的聚乙烯导管向侧线开口中注射 ABS 塑料溶液 (丙烯腈-丁二烯-苯乙烯-丙酮混合液, 加入苏丹红调色为红色), 直至塑料溶液充满管道侧线, 使其清晰可见^[7]。

1.2.2 神经丘染色

管道神经丘观察: 选取 10% 中性福尔马林固定鱼体, 流水冲洗, 从侧线管道开口处注射 0.1% 亚甲基蓝溶液并解剖管道侧线, 用流水洗去多余亚甲基蓝溶液, 观察管道神经丘。

表面神经丘观察: 将鱼体浸泡在 0.03% 中性 MS-222 溶液中麻醉, 浸于 4-Di-2-ASP 荧光染料 (0.05 mg/mL) 中 30 min^[8] 进行染色, 使用 ZEISS Discovery V12 体视荧光显微镜观察表面神经丘。

1.2.3 扫描电镜观察

活体样品在 0.03% 中性 MS-222 溶液中麻

醉, 用 Teleost Ringer 液去除体表多余黏液, 然后浸泡于 Karnovsky 固定液 (2.5% 多聚甲醛, 2.5% 戊二醛, 0.1 MPB, pH 为 7.2) 中固定 48 h 以上。解剖切取所需观察样品部位, 用 0.1 MPB 在 4 °C 下清洗 6 次, 每次 15 min。梯度乙醇 (30% - 50% - 70% - 95% - 100%) 脱水, 每次 15 min。放入 100% 丙酮中继续脱水 10 min, CO₂ 临界点干燥, 离子溅射仪喷金, Hitachi S-3400N II 型扫描电镜观察^[9]。

1.2.4 图示绘制及数据分析

采用 Adobe Illustrator 5.0、Adobe Photoshop 3.0 绘制图示, Excel、SPSS 14.0 统计软件进行数据分析。

依据 COOMBS 等^[4], MONTGOMERY 等^[10] 对侧线系统的定义, 描述本文的实验结果。

2 结果

褐菖鲉和松江鲈的侧线系统均为机械感受系统, 包括了管道侧线和表面神经丘 (图 1)。两种鱼类的管道侧线包含头部管道侧线和躯干管道侧线, 两者间主要的侧线系统特征对比见表 1。

表 1 褐菖鲉和松江鲈侧线系统形态对比
Tab.1 Morphological similarities and differences in the lateral line systems of *S. marmoratus* and *T. fasciatus*.

侧线特征	褐菖鲉	松江鲈
管道侧线		
头部管道类型	分枝型	简单型
头部管道特征	收缩型窄管	直边型窄管
躯干管道类型	单条完整型, 无分枝	单条完整型, 无分枝
躯干管道特征	具侧线鳞	无侧线鳞
表面神经丘数量	116 ± 10.30 个	131.60 ± 19.36 个
分布位置	吻部背线、鳃盖背线、背上躯干线、躯干辅助线、尾鳍背线、尾鳍中线、尾鳍腹线	吻部背线、下颌中线、鳃盖背线、背上躯干线、躯干辅助线

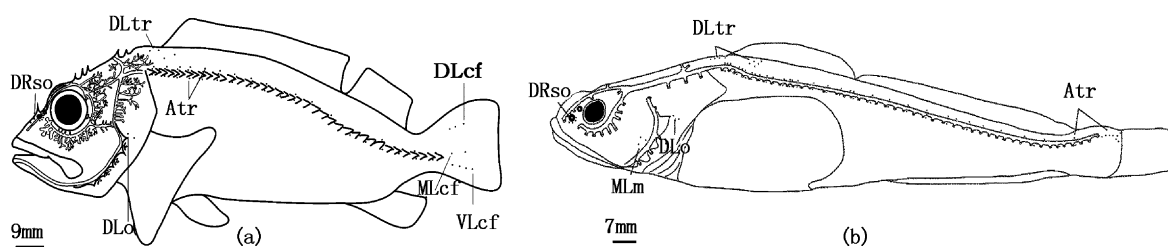


图 1 褐菖鲉 (a) 和松江鲈 (b) 侧线系统分布

Fig.1 Distribution of the lateral line system in *S. marmoratus* (a) and *T. fasciatus* (b)

黑线连接为管道系统; 黑点为表面神经丘分布; DRso. 吻部背线; MLm. 下颌中线; DLc. 鳃盖背线; DLtr. 背上躯干线; Atr. 躯干辅助线; DLcf. 尾鳍背线; MLcf. 尾鳍中线; VLf. 尾鳍腹线。

2.1 管道侧线

2.1.1 褐菖鲈管道侧线

褐菖鲈($n=6$)的管道侧线从头部延伸至躯干,分为头部管道侧线与躯干管道侧线。头部管道侧线包含眶上管、眶下管、耳管、颞管、颞上管、前鳃盖管和下颌管 7 条主支管,其中除下颌管外,其他管道皆有延伸分枝小管。主支管包裹于膜骨管道中,分枝小管从膜骨管道延伸至膜骨上的软组织,开口于皮肤或鳞片。7 条主支管中,眶上管、眶下管和耳管相连,耳管和颞管、颞上管及前鳃盖管连接,前鳃盖管和下颌管相接,头部两侧的眶上管与颞上管在头部顶端相连。褐菖鲈主支管具明显收缩结构(图 2),管道神经丘位于收缩点,即两个相邻主支管道开口间分布单个管道神经丘(图 3),其神经丘感觉斑近似宽十字形,神经丘毛细细胞的极性方向平行于所处管道主轴(图版 I)。躯干两侧各有一条躯干管道侧线,躯干管包埋在侧线鳞中,单片侧线鳞中包含单个管道神经丘,其感觉斑呈十字形,毛细胞极性方向与管道主轴平行(图版 I)。

2.1.2 松江鲈管道侧线

松江鲈($n=5$)的管道侧线系统具有头部管道侧线和躯干管道侧线。头部管道侧线有眶上管、眶下管、耳管、耳后管、颞管、颞上管、前鳃盖

管和下颌管,无延伸分枝小管,具规律排列的伸长管与外界相连。眶上管、眶下管与耳管相连,耳管与耳后管连接,耳后管与颞管及颞上管相连,前鳃盖管与下颌管相接,头部两侧的眶上管与颞上管在头部顶端相连。管道无明显收缩(图 2),相邻两个管道开孔间具有单个管道神经丘(图 3),其神经丘感觉斑近似细梭形,其毛细胞极性方向与管道主轴方向平行(图版 II)。躯干管道侧线裹覆于皮肤中,相邻管道开口之间有一个管道神经丘,神经丘周围有硬骨加固,其感觉斑近似梭形,毛细胞极性方向与管道主轴平行(图版 II)。

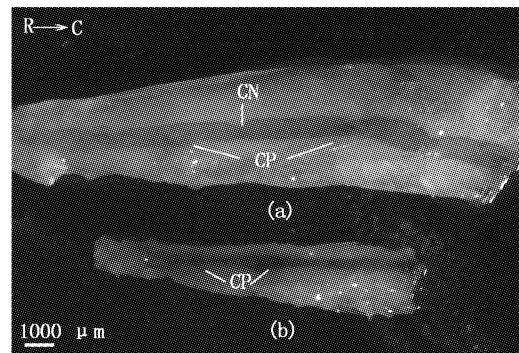


图 2 褐菖鲈(a)和松江鲈(b)头部管道图
Fig. 2 The cephalic lateral line canals in *S. marmoratus* (a) and *T. fasciatus* (b)

R→C. 头尾向; CN. 管道神经丘; CP. 管孔。

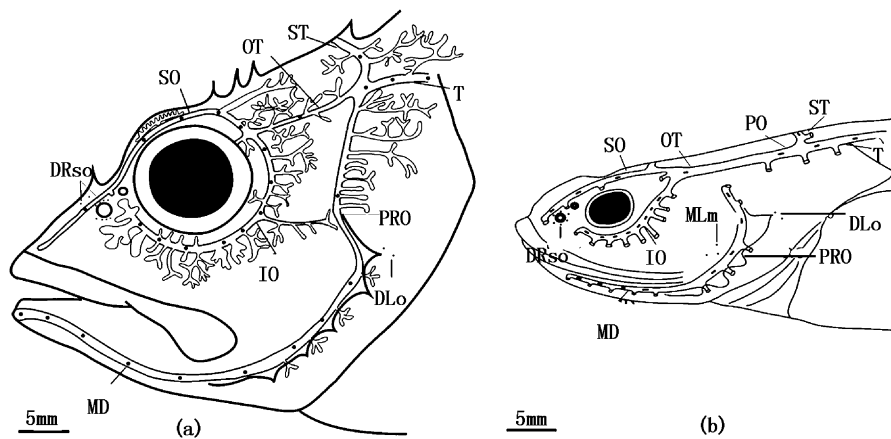


图 3 褐菖鲈(a)和松江鲈(b)头部侧线系统分布

Fig. 3 Distribution of the cephalic lateral line in *S. marmoratus* (a) and *T. fasciatus* (b)

SO. 眶上管; IO. 眶下管; OT. 耳管; PO. 耳后管; PRO. 前鳃盖管; MD. 下颌管; ST. 颞上管; T. 颞管; DRso. 吻部背线; DLo. 鳃盖背线; MLm. 下颌中线。黑点为褐菖鲈管道神经丘; 黑条为松江鲈管道神经丘; 黑斑为表面神经丘。

2.2 表面神经丘

2.2.1 褐菖鲈表面神经丘

褐菖鲈($n=4$)体表有 116.00 ± 10.30 个表

面神经丘,分布于吻部背线(DRso)、鳃盖背线(DLo)、背上躯干线(DLtr)、躯干辅助线(Atr)、尾鳍背线(DLcf)、尾鳍中线(MLcf)和尾鳍腹线

(VLcf)。在褐菖鲈躯体不同区域分布的神经丘感觉斑形状相似,近乎细椭圆形(图版Ⅲ)。通过电镜观察,除吻部背线(DRso)表面神经丘位于表皮,其余则位于鳞片中间。躯干辅助线神经丘数量占到总数的68.8%,间隔分布于侧线鳞周围,数量从前至后递减,根据分布位置不同,可分为侧线鳞间辅助躯干线与侧线鳞开口辅助躯干线。侧线鳞间辅助躯干线毛细胞极性方向与头尾主轴相垂直,为背腹轴极性方向,而侧线鳞开口辅助躯干线与头尾主轴平行,呈头尾轴极性方向。

2.2.2 松江鲈表面神经丘

松江鲈($n=5$)有 131.60 ± 19.36 个表面神经丘,分布在吻部背线(DRso)、下颌中线(MLm)、鳃盖背线(DLo)、背上躯干线(DLtr)、躯干辅助线(Atr)。神经丘在体表形成单个乳头状凹陷,凹陷中央为感觉斑(图版Ⅲ)。躯干辅助线神经丘数量占总数的59.8%,分布在躯干管道周围,数量由前向后递减,辅助躯干线存在背腹轴极性方向和头尾轴极性方向。

3 讨论

3.1 侧线形态的比较

实验结果表明,褐菖鲈和松江鲈有机械侧线感觉系统分布,虽然它们分类地位相近,但两者在管道侧线和表面神经丘的形态和分布中存在差异。

所有鱼类都具有机械侧线感觉系统,鱼类利用它感知周围微弱的水流运动以及压力变化^[11]。它的基本感觉单位是神经丘^[12],可分为生长在皮肤表面或真皮浅凹槽的表面神经丘和包埋在膜骨管道或软骨质凹槽中的管道神经丘^[4]。神经丘由小簇的毛细胞,支持细胞和套细胞构成,单个毛细胞有一根长的动纤毛,动纤毛周围紧随着一簇长度依次递减的静纤毛,这样一根动纤毛与一组静纤毛的组合称为感觉斑,这种非对称的排布决定了毛细胞定向的敏感性^[13];以上这些毛细胞、支持细胞和套细胞的组合,也称为感觉斑。

褐菖鲈的头部管道神经丘和躯干管道神经丘呈菱形,其感觉斑呈十字形;松江鲈的头部管道神经丘和躯干管道神经丘为梭形,感觉斑为细梭形。褐菖鲈和松江鲈管道神经丘形态不同,但种内管道神经丘形态相似。神经丘的形态对骨骼和鳞片成型有影响^[4],褐菖鲈和松江鲈管道神

经丘不同的形态,暗示它们侧线管道结构可能存在不同。两种鱼类管道神经丘的长轴平行于所在管道主轴,并且神经丘毛细胞极性也与管道主轴相平行;褐菖鲈的头部侧线管道在管道神经丘处有明显收缩,而松江鲈没有明显收缩;根据神经丘长轴与管道主轴相对位置关系^[4]与管道结构的分类^[10],褐菖鲈的头部侧线管道为收缩型窄管,松江鲈为直边型窄管。两种鱼类管道侧线分布的基本模式符合辐鳍亚纲鱼类侧线形态祖征^[14],保持了相对的保守性。头部侧线管道分布模式可分为简单型、加宽型、退化型与分枝型,简单管道从管道延伸出开口与外界相连;分枝管道形成源于管道的延长和伸展^[3]。实验结果表明,松江鲈的头部管道侧线分布为简单型,褐菖鲈为分枝型。褐菖鲈的分枝型管道由于其多重分枝结构比其他分布类型复杂,不同管道分布类型和管道结构可能有不同的生理机能^[15]。

褐菖鲈和松江鲈的表面神经丘靠近管道侧线呈线性排布。两者在神经丘的形态和数量上存在区别,松江鲈表面神经丘的数量多于褐菖鲈,它们形态上的区别可能是由于褐菖鲈体披鳞片,它的神经丘位于鳞片中间,平面化;松江鲈全身裸露无鳞,皮肤表层较薄,形成指纹状微嵴^[16],或影响神经丘形成乳头状凹陷。

3.2 功能

比较褐菖鲈和松江鲈的侧线形态,褐菖鲈较松江鲈有复杂的分枝管道侧线,松江鲈比褐菖鲈有更多的表面神经丘分布。褐菖鲈复杂的分枝管道侧线与松江鲈较多的表面神经丘分布表明管道神经丘与表面神经丘对不同的流体力可能具有不同的生理机能^[17]。

MUNZ 在 1985 年对丽鱼(*Sarotherodon niloticus*)的研究发现表面神经丘最佳敏感范围为 10~70 Hz,管道神经丘的为 100~200 Hz,管道神经丘对高频振动刺激更敏感^[18]。表面神经丘暴露在皮肤外,直接受到水流运动影响,相反,管道神经丘依赖管道内黏液的位移产生反应,管道口周围水流变化时引发相邻管道形成压力差,而黏液的惯性和管壁的阻力,能过滤低频。在静水中,表面神经丘暴露在皮肤表面,易感知外界水流运动,对机械振动刺激保持了高敏感度;在急流中,表面神经丘由于持续受到水流刺激,敏感度被削弱,而管道神经丘通过管道的过滤作用,

消除低频的背景噪音,即便在混流中也能有效分辨不同的水流刺激^[19],从而使得表面神经丘和管道神经丘在接收频率上形成了差别^[10]。

DIJKGRAAF 在 1969 年提出了侧线系统不同的形态是对特定栖息地或生活模式的适应性假说^[20]。对几种鲈科鱼(Percidae)的侧线研究认为窄管鱼类偏向栖息于急流中,而宽管或管道连接程度较弱的鱼类则倾向栖息于流速相对较缓水体中^[21]。分别栖息于溪流、湖泊和海洋的同种三刺鱼(*Gasterosteus aculeatus*)的侧线形态,在个体与种群间有显著的不同^[22]。这些结果表明,侧线形态的不同某种程度上是对不同水流运动产生了适应性变化。由于机械侧线系统在躲避敌害、捕食、定位和趋流等行为中起到行为导向作用,有研究指出,鱼类间不同的生活方式对侧线形态多样性也产生影响^[23]。通过研究侧线系统形态的多样性,有助于了解鱼类如何从不同的水流刺激中有效提炼重要的生物学信息^[10]。DENTON 和 GRAY 在 1988 年建模预测收缩管道与直边管道相比能过滤低频刺激,同时增强对高频刺激的敏感度^[24],表明不同的管道侧线结构也可能具有不同的生理机能。对黑剑带鲷(*Xiphister atropurpureus*)分枝躯干管道侧线的研究表明,分枝管道与简单管道相比,虽空间分辨率能力降低,但信噪比率得到提高,表明分枝管道比简单管道更适应湍急混流的环境^[25]。

褐菖鲈喜好居于岩礁急流区,松江鲈偏好栖息在缓流河区,与平缓的河流相比,岩石间水流、近岸海藻场内水流、潮汐变化等非生物介导的水流运动,能模糊生命体产生的水流运动信息,同时也妨碍鱼体探查自身运动产生的压力变化^[26],对侧线是一种干扰信息。与松江鲈相比,褐菖鲈复杂的头部分枝型管道和明显的管道收缩,显示褐菖鲈的头部管道侧线的形态与结构能从混杂的水流环境中,过滤无效的背景噪音,分辨并加强有用的刺激信号,在捕食、躲避敌害等行为中,提供有效的水流运动信息。褐菖鲈头部管道主支的连接程度强于松江鲈,头部管道间互相连接,可能用来减轻分枝管道空间分辨率的下降,而褐菖鲈和松江鲈眶上管和颞上管在头顶部相连,这可能与它们底栖的生活方式有关。松江鲈与褐菖鲈的表面神经丘成列靠近管道分布,没有演化出如金鱼(*Carassius auratus*)体表有

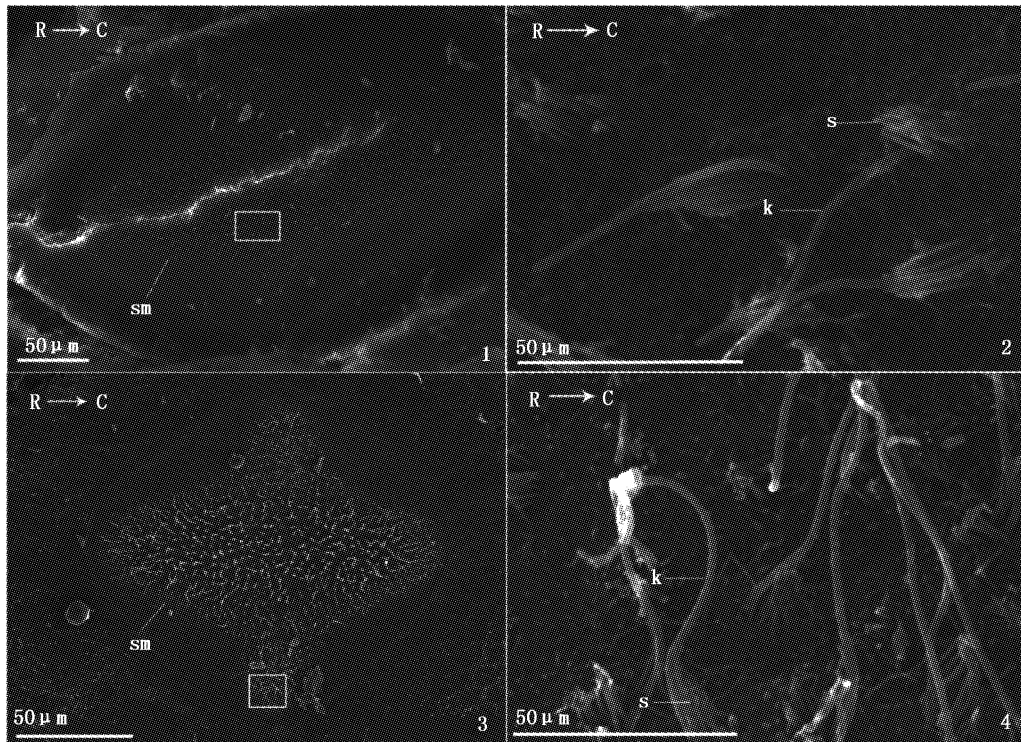
1 800~2 000 个表面神经丘分布^[27]或暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*)管道侧线表面化^[28],因此,不论是松江鲈或者褐菖鲈主要依赖管道侧线感知周身水流运动变化,靠近管道侧线分布的表面神经丘辅助增强水流流速、方向^[27]的敏感度,补偿采集因管道过滤遗失的信息。松江鲈比褐菖鲈有更多的表面神经丘,虽然松江鲈有降河入海的洄游习性,但由于其在淡水缓流中完成幼年发育,所以其侧线系统在发育过程中可能受到缓流因素的影响^[17],最终发育形成较多表面神经丘分布和简单型管道侧线的形态。

褐菖鲈和松江鲈侧线形态的差异和栖息地不同的水流运动特征,表明两者的侧线形态对所处的水流环境产生了适应性的变化,支持了侧线形态对特定栖息地的适应假说。对杜父鱼(cottoid)侧线形态比较研究也发现了相似的结果^[29]。对褐菖鲈和松江鲈侧线系统进一步的生理学比较研究,以及更多自然环境中信号和噪声的收集,可以更好理解侧线系统形态多样性对不同水流运动的适应性变化。

参考文献:

- [1] LIEM K F, BEMIS W E, WALKER W F, et al. Functional anatomy of the vertebrates: an evolutionary perspective [M]. Philadelphia: Harcourt College Publishers, 2001: 406.
- [2] GREENWOOD P H. Interrelationships of osteoglossomorphs [M]//Interrelationships of Fishes. London: Academic Press, 1973: 307-332.
- [3] WEBB J F. Gross Morphology and Evolution of Mechanoreceptive Lateral-Line System in Teleost Fishes [J]. Brain, Behavior and Evolution, 1989, 33(1): 34-53.
- [4] COOMBS S, JANSSEN J, WEBB J F. Diversity of Lateral Line Systems: Evolutionary and Functional Considerations, Sensory biology of aquatic animals [M]//Sensory Biology of aquatic animal. Springer New York, 1988: 555-593.
- [5] 许明海. 褐菖鲈 *Sebasticus marmoratus* 渔业生物学初步研究 [J]. 现代渔业信息, 2000, 15(2): 17-20.
- [6] 王金秋. 松江鲈的生态学和繁殖生物学的研究进展 [J]. 水生生物学报, 1999, 23(6): 729-734.
- [7] SONG J. The distribution of the lateral line receptors in garfish (Holostei) [J]. American Zoologist, 1984, 24(3): 134A.
- [8] NAKAE M, ASAKA R, WADA H, et al. Fluorescent dye staining of neuromasts in live fishes: an aid to systematic studies [J]. Ichthyological Research, 2012, 59(3): 286-290.
- [9] SONG J, NORTH CUTT R G. Morphology, Distribution and

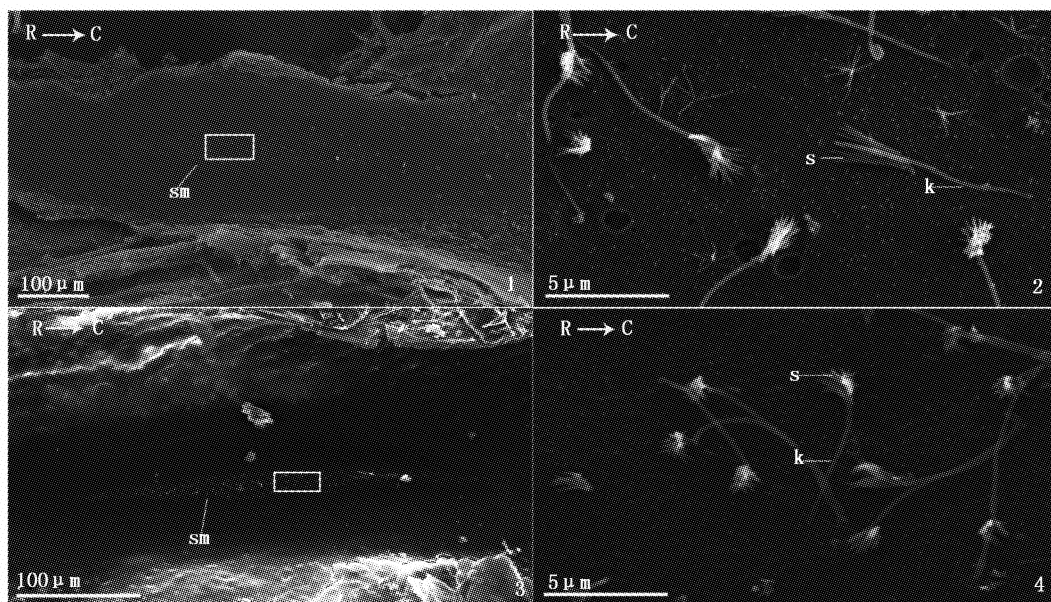
- Innervation of the Lateral-line Receptors of the Florida Gar, *Lepisosteus platyrhincus*. [J]. *Brain, Behavior and Evolution*, 1991, 37(1): 10-37.
- [10] MONTGOMERY J, COOMBS S, HALSTEAD M, et al. Biology of the mechanosensory lateral line in fishes[J]. *Fish Biology and Fisheries*, 1995, 5(4): 399-416.
- [11] YANG Y C, KLEIN A, BLECKMANN H, et al. Artificial lateral line canal for hydrodynamic detection [J]. *Applied Physics Letters*, 2011, 99(2): 023701-023703.
- [12] NORTHUTT R G. The phylogenetic distribution and innervation of craniate mechanoreceptive lateral lines [M]//*The Mechanosensory Lateral Line. Neurobiology and Evolution*. Springer New York, 1989: 17-78.
- [13] GIBB M A. Lateral line receptors; Where do they come from developmentally and where is our research going? [J]. *Brain, Behavior and Evolution*, 2004, 64(3): 163-181.
- [14] NORTHUTT R G. The Phylogenetic distribution and innervation of craniate mechanoreceptive lateral lines [M]//*The Mechanosensory Lateral Line. Neurobiology and Evolution*. Springer New York, 1989: 17-77.
- [15] MONTGOMERY J, COOMBS S, JANSSEN J. Form and function relationships in lateral line systems; comparative data from six species of Antarctic Notothenioid Fish [J]. *Brain, Behavior and Evolution*, 1994, 44(6): 299-306.
- [16] 蒋鑫, 潘连德, 马召腾. 松江鲈鱼皮肤的显微和亚显微结构[J]. *动物学杂志*, 2012, 47(4): 96-103.
- [17] MUNZ H. Functional organization of the lateral line periphery [M]//*The mechanosensory lateral line. Neurobiology and Evolution*, Springer New York, 1989: 285-297.
- [18] MUNZ H. Single unit activity in the peripheral lateral line system of the cichlid fish *Sarotherodon niloticus* [J]. *Journal of Comparative Physiology A*, 1985, 157(5): 555-568.
- [19] ENGELMANN J, HANKE W, MOGDANS J, et al. Hydrodynamic stimuli and the fish lateral line [J]. *Nature*, 2000, 408: 51-52.
- [20] DIJKGRAAF S. The functioning and significance of the lateral-line organ [J]. *Biological Reviews*, 1969, 38(1): 51-57.
- [21] JAKUBOWSKI M. Cutaneous sense organs of fishes. VIII. The structure of the system of lateral line canal organs in the Percidae [J]. *Acta Zoologica Cracoviensia*, 1967, 10: 69-81.
- [22] SONG J, NORTHUTT R G. Morphology, Distribution and Innervation of the Lateral-line Receptors of the Florida Gar, *Lepisosteus platyrhincus* [J]. *Brain, Behavior and Evolution*, 1991, 37(1): 10-37.
- [23] CARTON A G, MONTGOMERY J C. A comparison of lateral line morphology of blue cod and torrentfish; two sandperches of the family Pinguipedidae [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2004, 70(2): 123-131.
- [24] DENTON J E, GARY J A B. Mechanical factors in the excitation of the lateral line of fishes [M]//*Sensory biology of aquatic animals*, Springer New York, 1988: 595-617.
- [25] KLEIN A, MUNZ H, BLECKMANN H. The functional significance of lateral line canal morphology on the trunk of the marine teleost *Xiphister atropurpureus* (Stichaeidae) [J]. *Journal of Comparative Physiology A*, 2013, 199(9): 735-749.
- [26] MOGDANS J, BLECKMANN H. Coping with flow; behavior, neurophysiology and modeling of the fish lateral line system [J]. *Biological Cybernetics*, 2012, 106(11/12): 627-642.
- [27] SCHMITZ A, BLECKMANN H, MOGDANS J. Organization of the superficial neuromast system in goldfish, *Carassius auratus* [J]. *Journal of Morphology*, 2008, 269(6): 751-761.
- [28] 宋丽姿, 王晓杰, 宋佳坤. 暗纹东方鲀侧线系统早期形态和生长发育 [J]. *动物学杂志*, 2010, 45(6): 19-29.
- [29] VISHNER H A. The morphology of the lateral line system in 3 species of Pacific cottoid fishes occupying disparate habitats [J]. *Experientia*, 1990, 46(3): 244-250.



图版 I 褐菖鲈管道神经丘电镜图

Plate I Scanning electron micrographs of the canal neuromasts of *S. marmoratus*

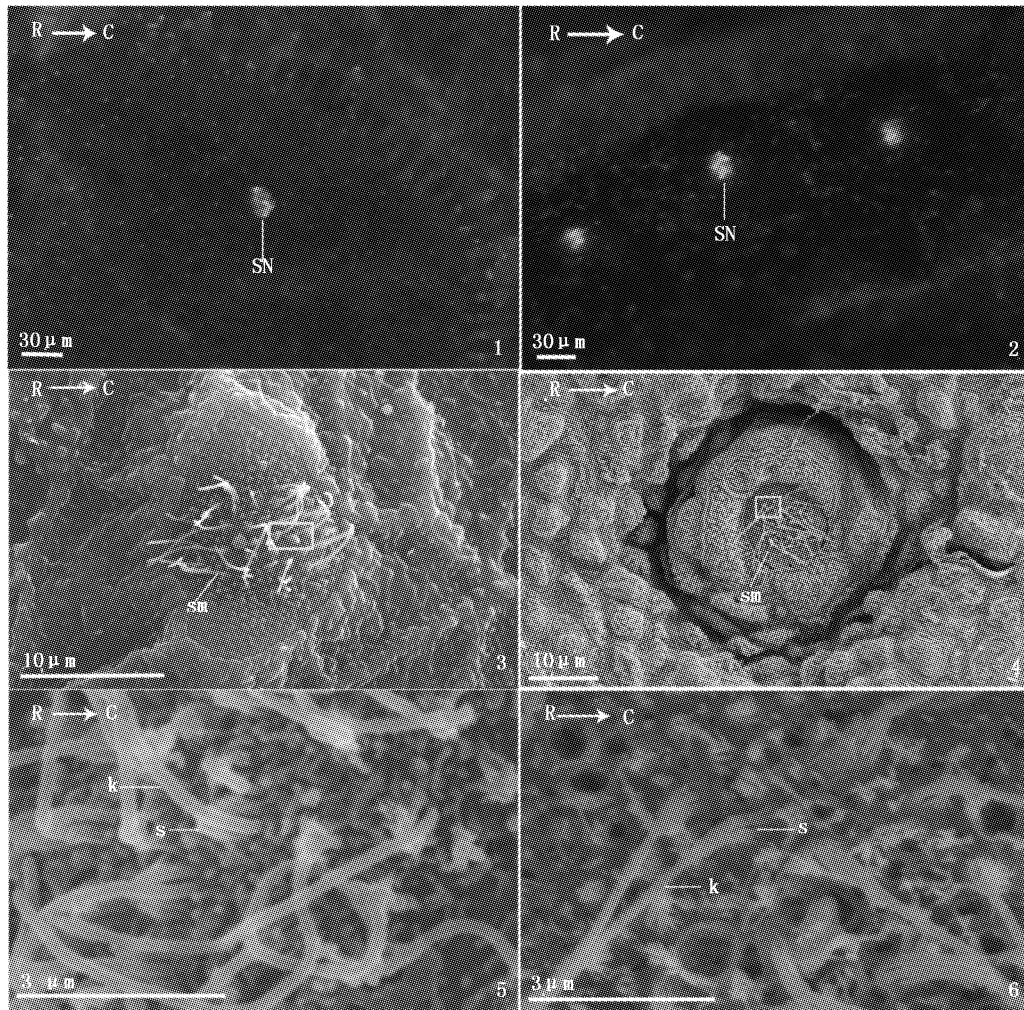
1. 头部管道神经丘; 2. 1 图感觉斑放大图; 3. 躯干管道神经丘; 4. 3 图感觉斑放大图; R→C. 头尾向; k. 动纤毛; s. 静纤毛; sm. 感觉斑。



图版 II 松江鲈管道神经丘电镜图

Plate II Scanning electron micrographs of the canal neuromasts of *T. fasciatus*

1. 头部管道神经丘; 2. 1 图感觉斑放大图; 3. 躯干管道神经丘; 4. 3 图感觉斑放大图; R→C. 头尾向; k. 动纤毛; s. 静纤毛; sm. 感觉斑。



图版Ⅲ 褐菖鲈和松江鲈表面神经丘

Plate III The superficial neuromasts of *S. marmoratus* and *T. fasciatus*

1. 褐菖鲈表面神经丘的荧光染色; 2. 松江鲈表面神经丘的荧光染色; 3. 褐菖鲈表面神经丘电镜图; 4. 松江鲈表面神经丘电镜图;
5. 3 图感觉斑放大图; 6. 4 图感觉斑放大图。R→C. 头尾向; k. 动纤毛; s. 静纤毛; SM. 表面神经丘; sm. 感觉斑。

A comparative study on the lateral line morphology of *Sebastiscus marmoratus* and *Trachidermus fasciatus*

WEI Lu^{1,2,3,4}, SONG Jia-kun^{1,2,3,4}, PAN Lian-de^{1,2}, ZHANG Xu-guang^{1,2,3,4}, WANG Xiao-jie^{1,2,3,4}, FAN Chun-xin^{1,2,3,4}, GUO Hong-yi^{1,2,3,4}

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. International Center of Marine Study, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Institute for Marine Biosystem and Neurosciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Whether the adaptation or the phylogenetic constrain impacts the morphological patterns of lateral line system is still a question in the evolutionary morphology. To approach this question, by using light and scanning electron microscopy, we compared the morphology and distribution patterns of the lateral line system in two species of Scorpaeniformes: False kelpfish (*Sebastiscus marmoratus*) and roughskin sculpin (*Trachidermus fasciatus*). The mechanosensory lateral line system of *S. marmoratus* and *T. fasciatus* are composed of canals and superficial neuromasts. The *S. marmoratus*, which lives in turbulent fast flowing habitats, has a developed branching canal system and fewer superficial neuromasts. In contrast, the *T. fasciatus* which resides in slow flowing habitats, has a simple unbranched canal system and more superficial neuromasts. Our results show that both of the patterns mainly depend on using canal lateral line system to perceive water motion with compensation of the superficial neuromasts for sensation of accurate information from the surrounding water movement. The differences of morphological patterns of the lateral line system in two systematically closely related species reflect that adaptation to the habitat hydrodynamic environment plays an important role in evolution process of morphological character formation in fish.

Key words: false kelpfish (*Sebastiscus marmoratus*); Roughskin sculpin (*Trachidermus fasciatus*); lateral line system; morphology; ultrastructure; evolutionary adaptation