

文章编号: 1674-5566(2012)02-0190-09

鳊仔鱼视网膜及口腔齿的发育对摄食的适应

田文斐¹, 钟俊生¹, 钱叶洲², 吴超², 钱德²

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 安徽省池州市特种水产研究所, 安徽 池州 247100)

摘要: 采用石蜡切片及 HE 染色的方法对鳊受精卵及 1~30 d 仔鱼的视网膜结构和视觉特性进行研究, 结果表明: (1) 受精后 54 h 晶状体形成, 视网膜还未分化; 80 h 视网膜分化为外核层、内核层、内网层和神经节细胞层 4 层结构; 98 h 形成色素上皮层、视杆视锥层和神经纤维层; 124 h 外网层形成, 视网膜 10 层结构发育完全。孵化后 4 d 开始出现少量颌齿和咽齿; 5 d 和 14 d 分别观察到腭齿和犁齿; 15 d 时鳃耙形成但形状较小。口腔齿的数量随着仔鱼个体的生长而增加至近于成体。(2) 鳊内核层分化成一层水平细胞、数层双极细胞和无长突细胞, 属光感受系统不发达的类型。(3) 鳊仔鱼在消化系统尚未发育完全时已经开始形成口腔齿, 为提高捕食的成功率提供了基础条件, 充分表现了个体发育在进化过程中与生存环境相适应的特点。(4) 鳊神经节细胞层细胞随个体的生长发育而减少, 孵化后 29 d, 体长 18.36 mm 时, 只有一层神经节细胞, 说明此时的仔鱼已适应黑暗环境生活。鳊视觉结构的变化与其从浮游到底层的生态迁移及捕食方式的变化相适应。

研究亮点: 从组织学研究角度对鳊仔鱼视网膜发育进行了探讨, 详细研究了视网膜各组成结构的发育特征, 并结合鳊仔鱼齿的发育特征, 分析了其对摄食行为的适应, 首次解释了伴随着视网膜发育而形成的由浮游生活到底层生活的适应, 研究结果以期为鳊在种苗生产过程中正确选择开口饵料和早期动物性饵料, 以降低种苗的死亡率等提供理论依据。

关键词: 鳊; 仔鱼; 视网膜; 口腔齿; 结构; 视觉特性; 摄食

中图分类号: S 917

文献标志码: A

视觉在鱼类摄食、逃避敌害、移动等生命活动中起着重要的作用, 探明视网膜结构及其在不同发育时期的特性, 有助于进一步分析鱼类的行为。国内外已对鱼类视网膜进行了不同程度的研究^[1-7]。视网膜由外到内可分为色素上皮层、视杆视锥细胞层、外界膜、外核层、外网层、内核层、内网层、神经节细胞层、神经纤维层以及内界膜共 10 层^[8]。不同生活习性的鱼类各层细胞类型和细胞密度也不同。视觉发达的中上层鱼类具有 4 层水平细胞, 而视觉不发达的底栖鱼类仅有 1~2 层水平细胞^[1,3,9]。何大仁和徐永淦^[1]对 5 种不同生态类型的海水鱼视网膜进行了研究比较, 将不同鱼类的视觉特性分为高视敏度和高敏感性、高视敏度和低敏感性及低视敏度和低敏感性 3 种类型。

鱼类的齿主要用于捕食和避免食物逃逸, 同时具有撕裂或咬断食物的作用。齿的形状、大小、数量因鱼的种类不同而异。硬骨鱼类的齿主要有颌齿、腭齿、犁齿和咽齿, 统称为口腔齿, 它的类型与食性有着密切的关系, 食肉性鱼类的齿多尖利、食软体动物和甲壳类的鱼类齿较坚硬、食浮游生物鱼类齿呈绒毛状^[10]。

鳊 (*Siniperca chuatsi*) 属鲈形目 (Perciformes), 鲈科 (Serranidae), 鳊属 (*Siniperca*), 是中国特有的一类食用淡水鱼, 广泛分布于除青藏高原以外的全国各地, 亦见于朝鲜、日本, 具有较高的经济价值。鳊是主要在夜间捕食的底栖伏击型凶猛鱼类, 其视觉与牙齿起到了不可或缺的作用。魏开建和张海明^[3]、梁旭方等^[11]对鳊仔鱼及成鱼的视觉特性进行了研究, 但缺乏受精卵到仔鱼早期阶

收稿日期: 2011-10-25 修回日期: 2011-12-09

基金项目: 上海市水生生物重点学科建设项目 (S30701)

作者简介: 田文斐 (1986—), 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类生态学。E-mail: fei-729@126.com

通讯作者: 钟俊生, E-mail: jszhong@shou.edu.cn

段的连续性,也未见口腔齿发育的报道,本研究对受精卵到仔鱼早期阶段的视网膜发育过程中的结构变化及其相关特性、口腔齿的发育进行了初步研究,旨在为鳊苗种培育过程中的行为习性提供科学依据,也为我国淡水底栖鱼类的视觉研究积累科学数据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

受精卵、仔鱼样本于2010年5月1日至5月31日采于安徽省池州市特种水产研究所。

鳊受精卵在有微流水的环形道内自然孵化,孵化水温维持在20~22℃。孵化后的卵黄囊仔鱼在开口期转移到水泥池中喂养。仔鱼开口饵料为鳊鱼鱼苗,随着鳊鱼苗个体生长投喂鲢鱼苗、草鱼苗和鲤鱼苗。生长水温为19~25℃。受精卵每两小时采样一次,仔鱼每两天采样一次,每次10~15尾。为减少误差,本实验尽量追踪同一批受精卵至仔鱼期。

1.2 方 法

所得的样本先测量体长(SL)、头长(HL)、眼径(ED),之后用Bouin氏液固定,70%乙醇清洗并保存。室内将标本经乙醇脱水,二甲苯透明后进行石蜡包埋,Leica RM 2245型切片采用纵切和横切方式连续切片,切片厚度为5~10 μm, H. E染色,中性树胶封片,在Olympus MODEL BX41TF显微镜下观察并且拍照,用image-pro plus 6.0软件测量各发育阶段仔鱼的视网膜及其各亚层的厚度。

2 结 果

2.1 视 网 膜 的 发 育

受精后54 h, 胚体出现间歇性的扭动, 尾部已明显游离, 黑色素增多。此时, 晶状体虽形成, 但细胞并未分化, 视杯由两层细胞组成, 外层较薄, 细胞单一, 随后发育成为色素上皮层; 内层较厚, 不断生长形成视网膜(图版 I-1)。

发育至80 h, 仔鱼孵化(体长4.0 mm), 此时, 除眼部和卵黄囊外全身无色素, 眼部及腹部前端出现黄色素, 具间断的垂直游泳能力。晶状体细胞开始分化, 内层出现晶状体纤维, 主要由纤维细胞组成(图版 I-2)。视网膜厚度为(65.30 ± 2.78) μm, 分化成4层: 其中外核层较

薄(9.28 ± 0.51) μm、内核层较厚(27.67 ± 1.26) μm、内网状层为(5.26 ± 0.18) μm、神经节细胞层的厚度为(17.92 ± 1.87) μm。晶状体直径达到(58.28 ± 3.52) μm。色素上皮层开始形成但并未发育完全, 无法测量其厚度。

发育至98 h(体长4.1 mm), 眼睛为褐色, 头顶黄色素增加, 黄色素随个体的生长而消失。鱼体在水体中呈倾斜状态。此时, 色素上皮层、视杆视锥层和神经纤维层形成, 视神经纤维集束形成视神经(图版 I-5)。视网膜分化为7层, 总厚度为(98.39 ± 7.30) μm, 神经节细胞层厚度增加为(27.62 ± 4.54) μm。色素上皮层中的色素颗粒未向视细胞扩展仅在其外围(图版 I-3, 4)。

发育至124 h, 孵化后3 d(体长4.4 mm), 头顶有少量黑色素出现, 腹部的黑色素延伸至尾部。外网层形成, 视网膜的10层结构至此发育完全, 此时, 色素上皮层的色素颗粒已开始向视细胞层移动(图版 I-5)。视网膜总厚度为(89.50 ± 8.67) μm, 色素上皮层、视杆视锥层、外核层、外网层、内核层、内网层、神经节细胞层、神经纤维层各层厚度分别为(10.61 ± 1.74) μm、(6.33 ± 1.85) μm、(5.26 ± 0.65) μm、(2.02 ± 0.25) μm、(23.79 ± 0.77) μm、(17.54 ± 1.33) μm、(14.94 ± 1.12) μm、(4.77 ± 2.40) μm, 晶状体直径达到(105.86 ± 2.40) μm。内核层与内网层在视网膜各亚层中所占比例最高, 其次为神经节细胞层。孵化后4 d, 仔鱼已开口摄食, 游泳能力增强。

孵化后10 d(体长8.0 mm), 晶状体直径达到(179.65 ± 4.95) μm, 由于色素上皮层的色素颗粒向视细胞层扩展, 遮蔽了部分视细胞的外段(图版 I-6)。视杆视锥层可测量厚度下降至(3.84 ± 0.30) μm, 内核层(23.49 ± 8.93) μm与内网层(21.11 ± 2.53) μm分别占视网膜总厚度的25%和23%, 趋于相等。鳊仔鱼视网膜的内核层可明显观察到3种细胞, 由外到内依次为: 水平细胞、双极细胞、无长突细胞, 其中水平细胞只有一层(图版 I-8)。

孵化后14 d(体长10.42 mm), 晶状体直径为(230.74 ± 1.58) μm, 视网膜厚度为(128.62 ± 11.75) μm, 而神经节细胞层厚度为(14.67 ± 8.40) μm, 占视网膜厚度的11%(图1), 由早期多层细胞至此只有两层细胞(图版 I-7)。色素

上皮层的色素颗粒继续向视杆视锥层延伸,遮蔽了大部分视细胞外段。

孵化后 29 d(体长 18.36 mm),晶状体直径为(456.19 ± 2.67) μm,视网膜厚度为(148.34 ± 21.56) μm(图版 I-9)。视网膜色素上皮层、视杆视锥层、外核层、外网层、内核层、内网层、神经节细胞层、神经纤维层各层厚度分别为:(22.33 ± 5.94) μm、(6.58 ± 0.64) μm、(11.28 ± 1.56) μm、(8.36 ± 2.23) μm、(31.84 ± 13.36) μm、(29.09 ± 5.42) μm、(10.94 ± 2.38) μm、(8.63 ± 1.49) μm。内核层与内网层厚度仍保持相当,而神经节细胞层厚度及占视网膜厚度比例则降低(图 1)。此时,色素上皮层的色素颗粒已遮蔽视细胞外段,无法分清视杆细胞和视锥细胞。鳊的早期发育时程与特征见表 1。

表 1 鳊的早期发育特征

Tab.1 The development characteristics of *Siniperca chuatsi* in early stages

发育时期	受精后时间	主要特征
胚胎期	32 h	胚体表面开始出现黑色素,未观察到血液流动
	54 h	尾部已明显游离,胚体出现间歇性扭动,血液已开始流动;色素数量增加,呈雪花状;晶状体形成,视杯由两层细胞组成
前弯曲期	80 h	眼部及腹部前端呈现橙红色素,除眼部及卵黄囊外全身无色素;具有间歇的垂直游泳能力;视网膜分化为 4 层
	82 h	胸鳍基部呈现橙红色素;见耳石;口裂,并未开口
	88 h	可观察到眼部呈褐色
	90 h	观察到胸鳍
	92 h	胸鳍与体轴成约 60 度角,在水中呈倾斜状态;头部顶端橙红色素增加,卵黄囊表面色素减少
	98 h	头顶黄色素增加;视网膜分化为 7 层
	106 h	尾柄处出现黑色素,下颌间歇性张合
	114 h	仔鱼游泳能力增强,可水平游动,有趋光性;卵黄囊减小
	5 d	卵黄囊及头部有黄色素及少量黑色素出现,腹部的黑色素延伸至尾部;视网膜的 10 层结构发育完全;少量颌齿及咽齿出现,颌齿锋利,数枚腭齿出现
	6 d	卵黄囊明显减小,进入混合性营养阶段,开口摄食;头部色素数量增加;鳃盖棘形成;背鳍、尾鳍鳍膜明显
弯曲期	7 d	前鳃盖骨边缘形成 3 个大棘、2 个小棘
	9 d	尾柄下方出现鳍条基骨;脊索弯曲
	10 d	背鳍、臀鳍鳍条基骨形成
	11 d	背鳍、臀鳍鳍条形成,肌节呈 W 型;前鳃盖骨边缘形成 4 个大棘、2 个小棘;初见腹鳍芽;颌齿密集
	14 d	犁齿形成;前鳃盖骨边缘形成 5 个大棘、2 个小棘
后弯曲期	15 d	鳃耙开始形成,形状较小
	29 d	前鳃盖骨边缘形成 6 个大棘、2 个小棘;鳃耙及鳃弓上形成少量的绒毛状的小刺;颌齿、腭齿、犁齿、咽齿的数量无法计算;无鳞片出现;外形与稚鱼已极为相似

2.2 齿的发育

初孵仔鱼(平均体长 3.83 mm)还未开口,营养主要由卵黄囊提供。孵化后 4 d(体长 4.5 mm),

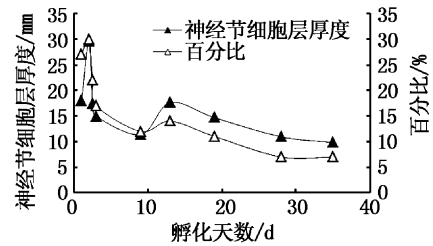


图 1 鳊仔鱼视网膜各发育阶段神经节细胞层的厚度
Fig.1 The development of ganglion cell layer of *S. chuatsi* in different life stages

鳊早期阶段眼径随其生长发育与头长 $R^2 = 0.9797$ 成正相关增长。晶状体直径与体长 $R^2 = 0.9924$ 也成正相关增长(图 2~4)。当试验鱼由初孵仔鱼长至体长为 18.36 mm 时,晶状体直径也从(58.07 ± 1.165) μm 增大至(456.19 ± 2.67) μm。

仔鱼开口摄食,进入混合性营养阶段,随着个体的生长卵黄囊逐渐缩小,最后转化为纯外源性营养。

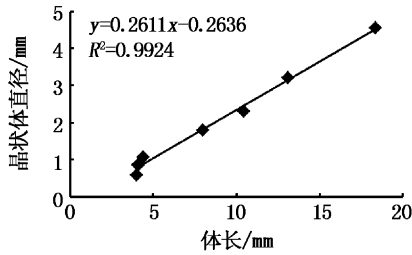


图2 鳊仔鱼体长与晶状体直径的关系
Fig.2 Relationship between standard length and lens diameter for *S. chuatsi*

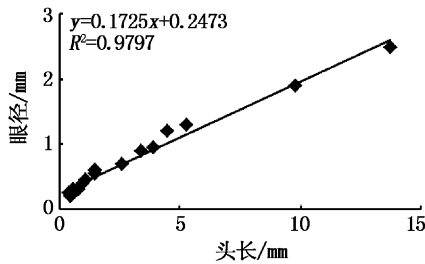


图3 鳊仔鱼头长与眼径的关系
Fig.3 Relationship between head length and eye diameter for *S. chuatsi*

受精后 124 h (体长 4.4 mm), 视网膜 10 层结构明显。孵化后 4 d, 上下颌已有少量颌齿及咽齿出现, 胸鳍支鳍骨也优先于其他附肢骨骼开始形成, 为仔鱼摄食提供条件。孵化后 5 d (体长 5.6 mm) 颌齿、咽齿数量增多, 数枚腭齿出现, 14 d (体长 10.42 mm), 犁齿形成 (图版 II - 1 ~ 3、

5 ~ 7), 孵化后 5 d, 在鳊仔鱼腹中已观察到有未消化的饵料鱼 (图版 II - 4)。孵化后 15 d (体长 11.43 mm), 鳃耙开始形成 (图版 II - 8)。孵化后 29 d (体长 18.36 mm), 鳃耙及鳃弓上形成少量的绒毛状的小刺, 体长达到 11.43 mm 时, 鳃耙及鳃弓上已密集成小块状分布。同时, 可观察到鳊仔鱼口咽腔内颌齿、腭齿、犁齿, 咽齿数量增多 (图版 II - 11, 12), 大小不等, 排列无序, 分布近似于成体。

3 讨论

3.1 视网膜发育对摄食行为的适应

鳊受精卵 54 h 形成晶状体和未分化的视网膜, 80 h 视网膜分化形成外核层、内核层、内网层和神经节细胞层, 98 h 形成色素上皮层、视杆视锥层和神经纤维层, 124 h 形成外网层, 视网膜 10 层结构已发育完全, 与大多数的硬骨鱼类有相同趋势^[4,9,12]。而河川沙塘鳢仔鱼孵出时已具备了和成鱼相同构造的晶状体, 视网膜 10 层亚结构全部发育完全^[13-15]。鳊初孵仔鱼无视网膜运动, 视细胞最先发育视锥细胞, 色素颗粒也未向视细胞层延伸, 说明视网膜运动是随着视杆细胞的产生而形成的, 视网膜运动的意义在于强光条件下保护视杆细胞, 单保党和何大仁^[2]对黑鲷及徐泳淦和何大仁^[16]对黄鳍鲷和鲮鱼的研究中也得到了相似的结论。

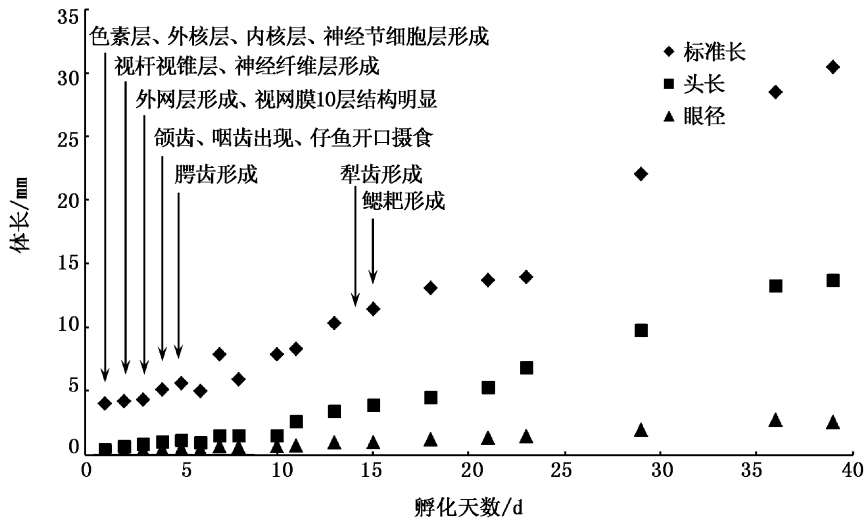


图4 鳊仔鱼各发育阶段标准长、头长及眼径的关系
Fig.4 Daily evolution of standard length, head length and eye diameter for *S. chuatsi*

孵化后 14 d,色素上皮层中的色素颗粒已开始向视细胞层移动,说明已有少量的视杆细胞形成,至孵化后 29 d,色素颗粒已完全遮蔽视细胞的外段,表明视杆细胞数量明显增加,此时,鳊仔鱼开始由浮游生活向底层生活过渡,可见只有在双重视网膜建立后,明、暗适应能力才会形成。视杆细胞在视细胞中所占的比例越大越不适应光照环境,孵化后 29 d 的黑色素浓密地分布在视杆视锥层的外段,也表明鳊仔鱼已适应于暗环境。半滑舌鳎、乌鳢也有相似的视觉变化特征^[12,17]。

鳊仔鱼视网膜内核层细胞分化为水平细胞、双极细胞和无长突细胞,其中水平细胞只有一层,水平细胞和双极细胞较无长突细胞较小,但 3 层细胞分化明显。有研究表明,光感觉系统发达的中上层鱼类,内核层分化成明显的 4 层水平细胞^[11]、数层双极细胞和无长突细胞,而一些光感受系统不发达的底栖鱼类水平细胞只有 1~2 层。半滑舌鳎内核层细胞显著减少且终生无分化的水平细胞、双极细胞和无长突细胞,表明半滑舌鳎视网膜的光敏感性不高,与其底栖生活相适应^[5,12]。鳊仔鱼视网膜水平细胞仅为一层,属于光感受系统不发达种类。

鳊视网膜神经节细胞层数量及厚度均随个体的生长而减少,作为信息的感受器,神经节细胞数量的减少使单个细胞有较大的感受域,由此提高的视敏度,更适于夜间活动。潘鸿春和陈壁辉^[18]通过对两类不同习性鱼类视网膜的光镜观察,提出乌鳢等离水存活的鱼类视细胞与神经节细胞的数目之比在 10:1 以内,接近于昼行动物,而鳊等离水不能存活的鱼类视细胞是神经节细胞的数目的数十倍甚至数百倍,接近于夜行动物。

早期鳊仔鱼白天在中上层水域活动,视敏度较高,光敏感性较差,具有明显的趋光现象,随着个体的生长,视杆细胞增多,逐步过渡到底层生活,视敏度降低,也在一定程度上提高了光敏感性。同时,其摄食方式也从早期的主动攻击型鱼类转变成底层伏击型鱼类。许多研究表明:鳊鱼视网膜只有单一的光感觉系统,即暗视系统,无法形成色觉,只趋向于弱光和运动^[11,19],而魏开建等^[20]在对不同生长阶段鳊趋光性的研究中发现,在等照度条件下对不同光色反应有差异,推

断可能鳊幼鱼有一定的颜色色觉,这可能与鳊发育早期视网膜中只有视锥细胞有关。香鱼、真鲷等许多底栖鱼类也有相似的视觉变化特点^[21]。本研究发现鳊从浮游向底层转变的过渡时期为 18.36 mm 左右,要早于魏开建和张海明^[3]的研究结果,这可能与苗种及环境因子等引起的差异。魏开建和张海明^[3]、梁旭方等^[11]对鳊仔鱼视杆视锥细胞计数结果显示:光感受细胞中视杆与视锥之比为 30:1,双锥占视锥总数的 90% 以上,以上结果显示鳊主要利用视觉在弱光环境中识别饵料鱼,并以突袭方式捕捉。由此可见,鳊视网膜结构特性与其捕食习性相适应。

BLAXTER 和 STAINES 的研究表明仔鱼首次摄食时眼睛是纯视锥视网膜^[22],鳊也不例外,在初次摄食时视网膜已有完整的 10 层结构并具有了运动反应而其他器官并未发育(图版 I-5、图版 II-4)。随着视网膜的运动反应,鳊仔鱼开始摄食,由内源性营养进入了混合性营养阶段。即此时的鳊主要靠视觉捕食。梁旭方等^[11,23-25]、杨秀平等^[26-27]对鳊的摄食行为研究表明:鳊主要依靠视觉和侧线捕食,嗅觉对鳊捕食作用不大,味觉在鳊吞咽过程中有较大的作用。杨秀平等^[26]提出在仔鱼中存在较多的 III 型味蕾,且仔鱼越小数量越多,说明 III 型味蕾在早期仔鱼的摄食活动中起着重要的作用。单保党和何大仁^[2,28]认为视觉是仔鱼开口摄食的第一感觉,嗅觉和味觉器官对摄食的作用则是在黑暗条件下对视觉摄食的补充。

3.2 齿发育对摄食行为的适应

本研究中,鳊胚胎发育至受精后第 3 天出膜。何利君^[29]在研究温度对鳊胚胎发育影响的结果显示,最适水温为 25~27 °C,且最适温度内在 5 cm/s 的流水环境中 48.37 h 出膜,而在水流 15~20 cm/s 时 26 h 鱼苗就出膜^[30]。孵化后 4 d,鳊仔鱼开始主动摄食,进入混合性营养阶段。鉴于初次摄食的鳊仔鱼视网膜已发育完全,且形成了少量的颌齿及咽齿,由于运动能力较弱,主要投喂体型偏长、游泳能力也较弱的鳊鱼苗。许多研究表明此阶段的仔鱼死亡率很高,而鳊仔鱼视网膜及已形成颌齿及咽齿的发育特点表明了其对环境自然适应。孵化后第 5 d,颌齿及咽齿数量增加,并开始形成腭齿,犁齿也随后在孵化后 14 d 出现,伴随着消化系统的初步发育成

型,具备了基本的结构以及有一定的摄食、储存、消化和吸收等生理功能^[31],投喂饵料也转变为白鲢鱼苗、草鱼苗及鲤鱼苗。消化系统以及摄食器官的形成,为仔鱼捕食提供了基础条件,向内倾斜的颌齿可以将捕获的食物牢牢咬住^[32-33],避免食物逃脱。鳊鳃耙数量少而稀疏,齿骨与鳃盖骨之间的活动关节可形成巨大的咽腔,犁骨和腭骨上大量的绒毛状的小齿使鳊适合于捕食同一栖息水层的体型稍高的鱼类^[34]。鱼类的摄食器官的形态与摄食行为有密切的关系,代田昭彦^[35]认为鱼类的口器变化与摄食有着密切关系。殷名称^[36]通过对鱼类仔鱼期的摄食规律的探讨认为决定食饵对象是否被仔鱼喜好的最主要特征是食饵大小。对于凶猛的食肉性鱼类而言,牙齿是必不可少的锋利武器。鳊仔鱼在视网膜发育完全的同时颌齿也发育完全,随着腭齿和犁齿的相继形成,仔鱼的摄食能力逐渐增强,提高了早期的鱼苗捕食的成功率。

本研究采样过程中得到安徽省池州市特种水产研究所的大力支持,实验中也得到了上海海洋大学水产与生命学院张克俭教授的指导,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 何大仁,徐永滢. 五种海水鱼视网膜结构的比较[J]. 台湾海峡,1993,12(4):342-350.
- [2] 单保党,何大仁. 黑鲷视觉发育与摄食的关系[J]. 台湾海峡,1995,14(2):169-173.
- [3] 魏开建,张海明. 鳊鱼视网膜发育的组织学研究[J]. 华中农业大学学报,1996,15(3):263-269.
- [4] 王小平,单保党,洪万树,等. 花鲈视觉发育与摄食行为的关系[J]. 厦门大学学报:自然科学版,1999,38(2):323-327.
- [5] 马爱军,柳学周,徐永江,等. 半滑舌鳎早期发育阶段的摄食特性及生长研究[J]. 海洋与湖沼,2005,36(2):130-137.
- [6] WAGNER H J, FROHLICH E, NEGISHI K, et al. The eyes of deep-sea fish II: Functional morphology of the retina[J]. Progress in Retinal and Eye Research,1998,17(4):637-685.
- [7] STEPHEN S, EASTER J, GREGORY N, et al. The development of vision in the Zebra fish (*Danio rerio*) [J]. Developmental Biology,1996,180: 646-663.
- [8] 张胜祥,李鹤,王子仁. 斑马鱼视网膜顶盖系统的组织学研究[J]. 解剖学报,2002,33(1):108-110.
- [9] 刘晓春,何大仁,李大勇. 真鲷视网膜和视网膜运动反应的发育[J]. 厦门大学学报:自然科学版,1994,33(6):857-862.
- [10] 苏锦祥. 鱼类学与海水鱼类养殖[M]. 北京:中国农业出版社,2000:57-58.
- [11] 梁旭方,郑微云,王艺磊. 鳊鱼视觉特性及其对捕食习性适应的研究[J]. 水生生物学报,1994,18(3):247-251.
- [12] 马爱军,王新安,庄志猛,等. 半滑舌鳎仔、稚鱼视网膜结构与视觉特性[J]. 动物学报,2007,53(2):354-363.
- [13] 胡先成,赵云龙. 河川沙塘鳢视觉器官的发育及其摄食的关系[J]. 动物学杂志,2007,42(5):41-48.
- [14] 孙幅英,郭学彦. 太湖河川沙塘鳢的生物学研究[J]. 水产学报,1996,20(3):193-202.
- [15] 谢仰杰,孙幅英. 沙塘鳢的胚胎和胚后发育以及温度对胚胎发育的影响[J]. 厦门水产学院学报,1996,8(1):55-62.
- [16] 徐永滢,何大仁. 黄鳍鲷和普通鲮鱼幼鱼视网膜运动反应初步研究[J]. 海洋与湖沼,1988,19(2):109-115.
- [17] 魏开建,谢从新,杨英,等. 乌鳢早期视网膜发育的初步研究[J]. 华中农业大学学报,1997,16(5):408-412.
- [18] 潘鸿春,陈壁辉. 两类不同习性鱼类视网膜的光镜观察[J]. 动物学杂志,1995,30(5):6-9.
- [19] 梁旭方. 鳊鱼视觉特性及其对捕食习性适应的研究 II [J]. 水生生物学报,1994,18(4):376-377.
- [20] 魏开建,张桂蓉,张海明. 鳊鱼不同生长阶段中趋光特性的研究[J]. 华中农业大学学报,20(2):164-168.
- [21] HUANG B Q, HU C S. The development of visual ability during the early stages of silver bream, *Sparus sarba* [J]. Journal of the Fisheries Society of Taiwan,1991,18(2):97-103.
- [22] BLAXTER J H S, STAINES M. Pure cone retinae and responses in larval teleosts [J]. Journal of the Marine Biological Association of United Kingdom, 1970,50: 449-460.
- [23] 梁旭方. 鳊鱼视觉特性及其对捕食习性适应的研究 III [J]. 水生生物学报,1995,19(1):70-75.
- [24] 梁旭方. 鳊捕食行为的研究[J]. 海洋与湖沼,1995,26(5):119-125.
- [25] 梁旭方. 鳊侧线管结构和行为反应特性及其对捕食习性的适应[J]. 海洋与湖沼,1996,27(5):457-462.
- [26] 杨秀平,黄祥柱,张训蒲,等. 鳊的口、咽腔味蕾形态和数量的初步研究[J]. 华中农业大学学报,1996,15(4):365-369.
- [27] 杨秀平,谭细畅,王永祥. 鳊嗅板的组织学研究[J]. 华中农业大学学报,1999,19(2):169-172.
- [28] 何大仁,单保党. 黑鲷化学感觉发育和摄食关系[J]. 厦门大学学报:自然科学版,1995,34(5):835-839.
- [29] 何利君. 温度对鳊鱼胚胎发育的影响[J]. 四川畜牧兽医学院学报,1999,13(4):19-28.
- [30] 张延华,朱永安,王世雄,等. 鳊鱼人工繁殖技术研究[J]. 齐鲁渔业,1997,14(5):28-29.
- [31] 吴雪峰,赵金良,钱叶洲,等. 鳊消化系统器官发生的组织学[J]. 动物学研究,2007,28(5):511-518.
- [32] 唐宇平,樊恩源. 鳊鱼消化器官的发育和食性的研究[J]. 水生生物学报,1993,17(4):329-336.

- [33] 张甫英,胡炜,周永欣. 鳊消化器官的组织学观察[J]. 水生生物学报,1998, 22(4):380-382.
- [34] 杨学芬,谢从新,杨瑞斌. 梁子湖 6 种凶猛鱼摄食器官形态学的比较[J]. 华中农业大学学报,2003,22(3):257-259.
- [35] 代田昭彦. 水产饵料生物学[M]. 刘世英,雍文岳,译. 北京:农业出版社,1985:149-177.
- [36] 殷名称. 鱼类仔鱼期的摄食和生长[J]. 水产学报,1995, 19(4):336-342.

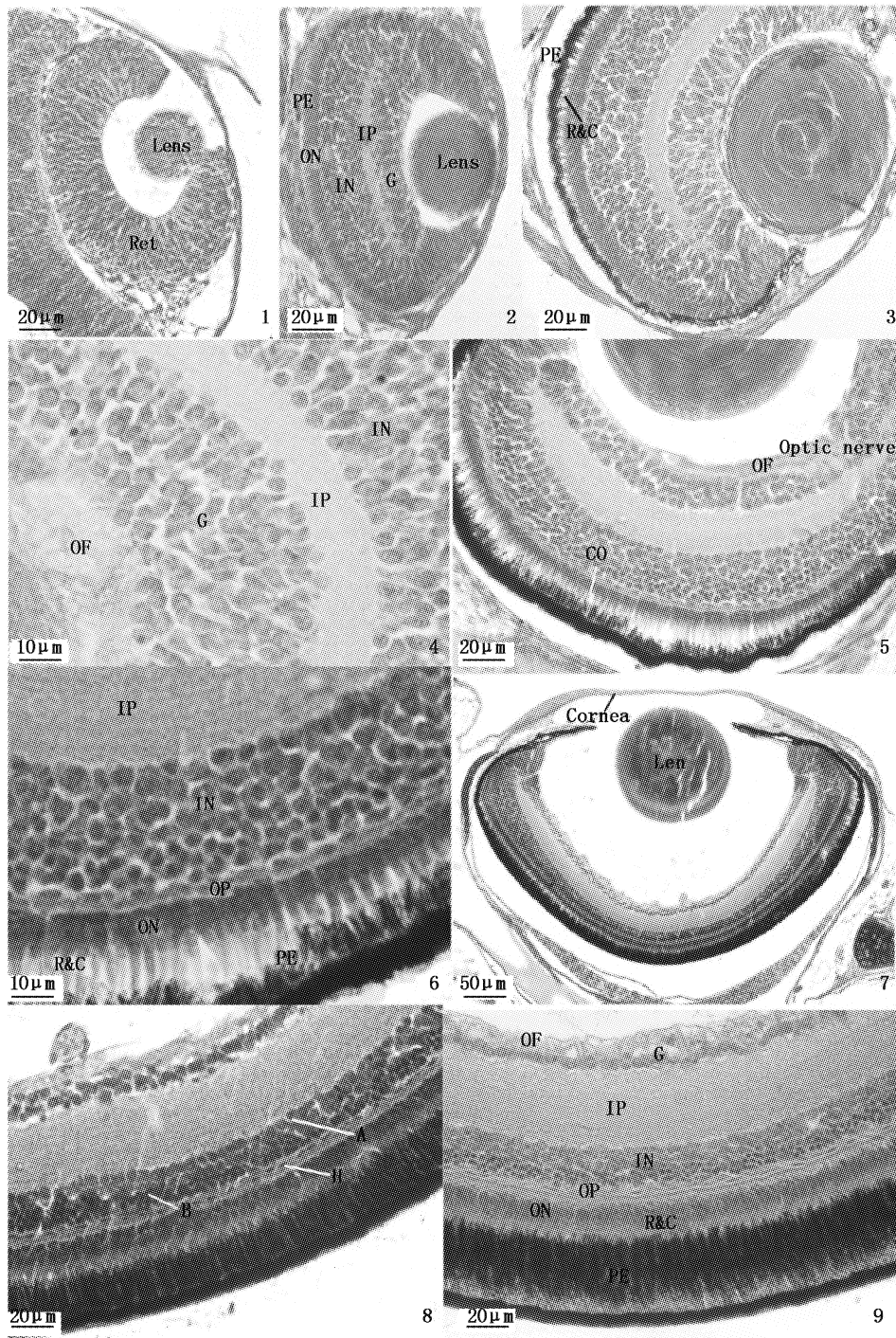
Histological observations of retina and teeth development and their adaption to feeding in *Siniperca chuatsi*

TIAN Wen-fei¹, ZHONG Jun-sheng¹, QIAN Ye-zhou², WU Chao², QIAN De²

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Institute of Special Aquaculture, Chizhou 247100, Anhui, China)

Abstract: Paraffin section and HE section were adopted to examine the structure of the retina and visual characteristics of *Siniperca chuatsi* fertilized eggs and from newly hatched to 30 days old larvae. The main results obtained are as follows: (1) At 54 h after fertilization, lens and undifferentiated retina formed. At 80 h after hatching, the retina differentiated into four layers, including outer nuclear layer, inner nuclear layer, inner plexiform layer and ganglion cell layer. At 98 h, pigment epithelium, rods and cones layer and optic nerve fibers layer were observed. At 124 h, outer plexiform layer formed and the retina was composed of ten layers. At 4 days after hatching, a couple of jaw teeth and pharyngeal teeth appeared; At 5 days and 14 days, palatine teeth and vomer teeth appeared respectively; At 15 days, gill rakers grew but small. In one word, the quantity of the teeth increased with the growth of larvae, until nearly the same as that of the adult. (2) The structure of the inner nuclear layer of *S. chuatsi* has only a layer of horizontal cells, bipolar cells and amacrine cells, which shows that the retina of *S. chuatsi* is not sensitive to light. (3) The teeth appeared before the maturity of the digestive system in the *S. chuatsi* larvae, which serves to improve the success rate in catching prey. It is a full reflection of the adaptation of individual growth to the environment in its evolutionary process. (4) The quantity of the ganglion cell decreased with the development of *S. chuatsi*. At 29 days, the structure of the ganglion cell layer of *S. chuatsi* decreased to a layer of ganglion cell, which indicates that *S. chuatsi* larvae had adapted to the dark environment. It is revealed that the changes of visual structure of *S. chuatsi* are adapted to the ecological shift from pelagic to benthic habitats and to the changes of feeding methods.

Key words: *Siniperca chuatsi*; larvae; retina; teeth; structure; visual characteristic; feeding

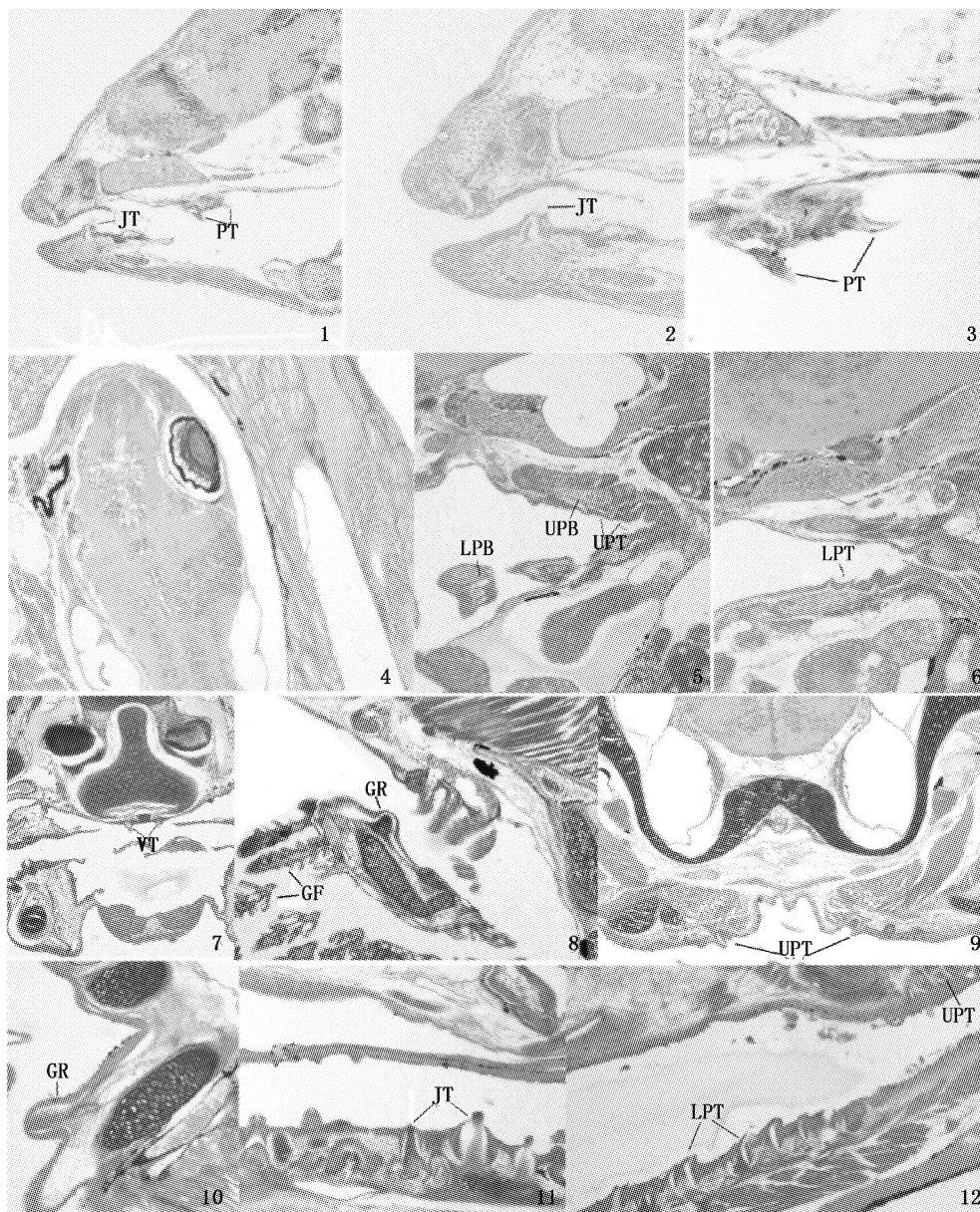


图版 I 鳊仔鱼视网膜发育的显微观测

Plate I The microscopic observation of retina in *Siniperca chuatsi* larvae

1. 54 h 受精卵胚体的视网膜; 2. 80 h 孵化后 1 d 仔鱼的视网膜; 3. 98 h 孵化后 2 d 仔鱼的视网膜; 4. 102 h 孵化后 2 d 仔鱼的视网膜; 5. 124 h 孵化后 3 d 仔鱼的视网膜; 6. 孵化后 10 d 仔鱼的视网膜; 7. 孵化后 14 d 仔鱼的视网膜; 8. 孵化后 19 d 仔鱼的视网膜; 9. 孵化后 29 d 仔鱼的视网膜。

A. 无长突细胞; B. 双极细胞; Cornea. 角膜; G. 神经节细胞层; H. 水平细胞; CO. 视锥细胞; IN. 内核层; IP. 内网层; OP. 外网层; L. 晶体; OF. 神经纤维层; ON. 外核层; Optic nerve. 视神经; PE. 色素上皮层; R&C. 视杆视锥细胞层; Ret. 视网膜。



图版 II 鳊仔鱼齿发育的显微观测

Plate II The microscopic observation of teeth in *Siniperca chuatsi* larvae

1. 孵化后 5 d 仔鱼的颌齿与腭齿; 2. 孵化后 5 d 仔鱼的颌齿; 3. 孵化后 5 d 仔鱼的腭齿; 4. 孵化后 5 d 仔鱼已摄食; 5. 孵化后 8 d 仔鱼的上咽齿; 6. 孵化后 8 d 仔鱼的下咽齿; 7. 孵化后 14 d 仔鱼的犁齿; 8. 孵化后 15 d 仔鱼的鳃耙; 9. 孵化后 19 d 仔鱼的咽齿; 10. 孵化后 29 d 仔鱼的鳃耙; 11. 孵化后 29 d 仔鱼的颌齿; 12. 孵化后 29 d 仔鱼的咽齿。

GF. 鳃丝; GR. 鳃耙; JT. 颌齿; LPT. 下咽齿; PT. 腭齿; UPT. 上咽齿; VT. 犁齿; LPB. 下咽骨; UPB. 上咽骨。