

河川沙塘鳢视觉器官的发育及其与摄食的关系

胡先成^{①②} 赵云龙^{①*}

(① 华东师范大学生命科学学院 上海 200062; ② 重庆师范大学 重庆市动物生物学重点实验室 重庆 400047)

摘要:利用光学显微镜观察了河川沙塘鳢(*Odontobutis potamophila*)视觉器官的发育,并对其发育与摄食的关系进行了研究。河川沙塘鳢的眼囊起源于神经外胚层。当胚胎发育至心跳期时,眼囊内陷形成视杯,之后,视杯内表面的外胚层形成晶状体而与视杯分离,视杯进一步发育形成视网膜。随着胚胎的进一步发育,晶状体的直径增加,结构逐步发育完善。胚胎发育至眼黑色素出现期时,视网膜分化为6层,其中,外核层、内核层和神经节细胞层3个核层明显;胚胎发育至孵化前期时,视网膜已分化为10层。孵出后1 d的仔鱼,其视网膜已能行使功能,仔鱼逐渐开口摄食。随着稚、幼鱼的发育,视网膜厚度进一步增加,结构发育完善。视网膜的结构和视觉特性显示河川沙塘鳢是要求光照条件好、白昼活动并具有较好视觉功能的鱼类。

关键词:河川沙塘鳢 视觉器官 视网膜 发育 摄食

中图分类号:Q954 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2007)05-41-08

Visual Organ Development and Its Relationship with Feeding of *Odontobutis potamophila*

HU Xian-Cheng^{①②} ZHAO Yun-Long^{①*}

(① School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062;

② Key Laboratory of Animal Biology, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

Abstract: The visual organ development of *Odontobutis potamophila* was examined with microscopy, the relationship between visual development and feeding was also studied. The main results are listed as follows: The optic vesicle was of neuroectodermal origin. At the heart-beating stage, the optic vesicle folded and formed the optic cup. Soon afterwards, optic cup induced the overlying surface ectoderm to form the lens, and it proliferated into the retina. During the development, the lens diameter increased, and the lens gradually developed to be perfect. At the eye pigmentation stage, the retina differentiated into six layers. Outer nuclear layer, inner nuclear layer and ganglion cell layer were observed. At the prehatching stage, the retina was composed of ten layers. One day after the hatching, the retina had become functional and larvae gradually began to feed. The thickness of the retina increased and the structure developed to be perfect with the development. The structural and visual characters of the retina indicated that *O. potamophila* was diurnal species with good vision.

Key words: *Odontobutis potamophila*; Visual organ; Retina; Development; Feeding

基金项目 上海市科学技术委员会重大项目(No.04DZ19301),重庆市动物生物学重点实验室项目(No.0402);

* 通讯作者, E-mail: ylzha@bio.ecnu.edu.cn;

第一作者介绍 胡先成,男,博士研究生,副教授,研究方向:水生动物发育生物学; E-mail: hww@cqnu.edu.cn.

收稿日期:2007-03-13,修回日期:2007-07-03

视觉器官是鱼类重要的光感受器,在鱼类的摄食、定位、逃避敌害等方面发挥着重要的作用。有关鱼类视觉器官的形态结构及其生理功能的研究已有大量报道^[1-8],而针对鱼类视觉器官的发生、发育的研究结果则较少^[9-12],以至对鱼类早期发育过程中视觉器官的发生、发育机制及其视觉特性的认识至今尚不甚明了。

河川沙塘鳢(*Odontobutis potamophila*)是我国具有增养殖前景的淡水经济鱼类,随着人工繁殖的深入,有必要深入了解该鱼早期发育的基础生物学特性。在对河川沙塘鳢的生物学、胚胎发育和器官发育进行了一些研究的基础上^[13-15],作者进一步对早期发育过程中视觉器官的发生、发育进行研究,以期进一步阐明鱼类视觉器官发育的机制及其视觉特性。同时也为生产实践中如何根据鱼类早期发育过程中视觉器官的发育及其视觉特性确定仔鱼的开口摄食时期、饵料投喂时间以及选择饵料种类提供指导。

1 材料与方法

1.1 材料 河川沙塘鳢亲鱼购自上海市铜川路水产品集贸市场。采用干法人工授精获得受精卵,将消除粘性的受精卵置于室内水族箱中,在18~24℃的室温条件下静水孵化,每天换水2次。仔鱼孵出后投喂枝角类,并定时除污换水。根据河川沙塘鳢胚胎及胚后发育的分期^[14],观察胚胎、仔鱼、稚鱼及幼鱼发育过程,从心跳期开始取样,胚胎的每个发育时期取样1次,仔鱼发育期间取样3次,稚鱼和幼鱼发育期间分别取样1次。

1.2 方法 将去膜的胚胎、仔鱼、稚鱼和幼鱼用Bouin氏液固定,常规石蜡包埋,连续切片,切片厚度为6 μm, H.E染色,中性树胶封片,在Nikon E-600光学显微镜下观察、拍照。

1.3 测量与计算 在Nikon E-600光学显微镜下用目镜测微尺测量视网膜及其各亚层的厚度。视网膜上外核层细胞核(ON)、神经节细胞(G)的分布数量,以随机取10个连续的视网膜横切片中100 μm单位长度内细胞的分布数量

来表示。2种细胞的数量比率以其分布数量进行计算,用ON/G表示。

2 结果

2.1 胚胎发育期间视觉器官的发生 河川沙塘鳢的胚胎发育历时18 d。受精后86 h,胚胎发育至原肠晚期。眼囊出现,其来源于胚胎的神经外胚层。受精后135 h,胚胎发育至心跳期,眼囊内陷形成视杯(图版I:1)。受精后141 h,胚胎发育至眼晶体形成期。视杯促使其中中央表面的外胚层形成晶状体(图版I:2),此时,晶状体的细胞尚未分化,形态单一,视杯由2层神经上皮组成,其外层较薄,细胞单一,进一步发育为视网膜的色素上皮层,而其内层较厚,细胞形态多样,不断增生扩散,形成多层的神经视网膜(图版I:2)。

受精后213 h,胚胎发育至眼黑色素出现期。晶状体的细胞出现分化,边缘为透明的薄膜,内侧为单层立方上皮,再向内为晶状体纤维,是晶状体的主要部分,由纤维细胞组成,在光镜下纤维形成年轮状的同心环,外层间距较密,愈向中央愈稀疏,而且逐渐失去细胞结构(图版I:3、4)。角膜和巩膜明显,但结构简单。视网膜增厚,达到 $(77.50 \pm 1.25) \mu\text{m}$,分化为6层,分别为色素上皮层、外核层、外网状层、内核层、内网状层、神经节细胞层。其中,外核层、内核层和神经节细胞层3个核层都非常明显,外核层很薄,厚度为 $(6.25 \pm 0.31) \mu\text{m}$,内核层很厚,为 $(45.00 \pm 0.80) \mu\text{m}$,神经节细胞层为 $(17.50 \pm 0.63) \mu\text{m}$,外网状层和内网状层不太明显。在平伸的色素细胞中出现黑色素颗粒(图版I:5)。

受精后240 h,胚胎发育至背鳍原基形成期。视网膜厚度为 $(97.50 \pm 1.25) \mu\text{m}$,分化为7层,增加了视神经纤维层,并且可见视神经纤维集束形成的视神经(图版I:6)。

受精后376 h,胚胎发育至孵化前期。角膜分化为5层,由外向内依次为复层上皮、基膜、纤维层、薄弹性膜和扁平上皮(图版I:7、8);巩膜由软骨和结缔组织构成,虹膜和脉络膜明显

(图版 I :7)。晶状体直径达到 $(138.60 \pm 4.95) \mu\text{m}$ 。除边缘的立方上皮具有明显的细胞形态以外,其内的晶状体纤维大多失去细胞结构(图版 I :7)。视网膜发育良好,分化为 10 层,由外向内依次为色素上皮层、视锥视杆层、外界膜、外核层、外网状层、内核层、内网状层、神经节细胞层、视神经纤维层、内界膜。其中,视锥视杆层明显,由视锥细胞和视杆细胞的外段及内段构成,而可见的多数是视锥细胞,视杆细胞的数量较少,色素上皮层中的色素颗粒已经扩展到视锥视杆层,并遮蔽视杆细胞的外段(图版 II :9)。视网膜总厚度为 $(127.50 \pm 1.88) \mu\text{m}$ 。色素上皮层、视锥视杆层、外核层、外网状层、内核层、内网状层、神经节细胞层、视神经纤维层的厚度分别为 $(20.00 \pm 0.63) \mu\text{m}$ 、 $(7.50 \pm 0.31) \mu\text{m}$ 、 $(7.18 \pm 0.23) \mu\text{m}$ 、 $(2.50 \pm 0.31) \mu\text{m}$ 、 $(43.75 \pm 1.25) \mu\text{m}$ 、 $(25.00 \pm 0.63) \mu\text{m}$ 、 $(16.25 \pm 0.46) \mu\text{m}$ 、 $(5.63 \pm 0.35) \mu\text{m}$,分别占视网膜总厚度的 15.69%、5.88%、5.63%、1.96%、34.31%、19.61%、12.75%、4.42%。

2.2 仔、稚、幼鱼视觉器官的发育

2.2.1 仔、稚、幼鱼视觉器官发育的组织学

河川沙塘鳢的胚胎历经 18 d 的发育后孵出仔鱼。孵出后 1 d 的仔鱼已可自由游泳,此时,晶状体直径达到 $(158.30 \pm 3.72) \mu\text{m}$,发育已较完备(图版 II :10)。视网膜的 10 层结构明显,其中,色素上皮层中的色素颗粒进一步向视锥视杆层扩展,视锥视杆层的主体仍为视锥细胞,且有单锥细胞和双锥细胞的分化,视杆细胞较少,视网膜总厚度达到 $(131.18 \pm 2.48) \mu\text{m}$,内网状层的厚度进一步增加,几乎与内核层厚度相等(图版 II :11)。

孵出后 5 d 的仔鱼游泳敏捷,所有仔鱼均已开口摄食,眼发育已较完备。在眼球的外侧有明显的眼调节肌。晶状体直径达到 $(168.30 \pm 2.48) \mu\text{m}$,已具有与成体相同的构造,外层为透明的晶膜,形成晶状囊,其内侧的上皮细胞已变得扁平,为单层扁平上皮,又名晶膜上皮,再向内则为晶状体纤维,占据晶状体的大部,除周围少数纤维具有细胞核以外,其余的纤维都已

经失去细胞结构(图版 II :12)。视网膜总厚度达到 $(133.65 \pm 2.25) \mu\text{m}$,外核层增厚,视锥、视杆细胞数量增多,内网状层的厚度与内核层厚度相当(图版 II :13)。

孵出后 8 d 的仔鱼已处于仔鱼发育后期,大多数仔鱼的卵黄囊已经消失,仔鱼转为纯外源性营养。角膜和巩膜、虹膜和脉络膜结构清晰。在眼球的背后部与视神经接近的区域,有甚发达的血脉,为脉络膜脉(图版 II :14)。视网膜总厚度达到 $(136.13 \pm 2.48) \mu\text{m}$ 。

河川沙塘鳢的稚鱼期较长,为孵出后的第 9~42 d。孵出后 21 d 的稚鱼,虹膜和脉络膜发育较完备。脉络膜是结缔组织,有极细的弹性纤维,有黑色素细胞,组织比较松散,膜中血管甚多(图版 II :15)。虹膜位于眼球的前面,与脉络膜相连,其结构与脉络膜大致相似,但含有甚多的黑色素。视网膜总厚度达到 $(141.08 \pm 3.71) \mu\text{m}$ 。

河川沙塘鳢从孵出后第 43 d 开始便进入幼鱼期,器官发育完备。孵出后 43 d 的幼鱼,其视觉器官从结构和功能方面都接近成鱼。晶状体的直径达到 $(346.50 \pm 7.43) \mu\text{m}$ 。视网膜总厚度为 $(150.45 \pm 4.95) \mu\text{m}$,各层结构发育完备。色素上皮层的色素颗粒向其下的视锥视杆层极度扩展,几乎完全遮蔽视锥视杆细胞的外段(处于明适应状态)。内网状层的厚度稍大于内核层,神经节细胞层的相对厚度降低,细胞数量减少(图版 II :16)。色素上皮层、视锥视杆层、外核层、外网状层、内核层、内网状层、神经节细胞层、视神经纤维层的厚度分别为 $(43.75 \pm 2.50) \mu\text{m}$ 、 $(5.00 \pm 0.63) \mu\text{m}$ 、 $(13.75 \pm 1.25) \mu\text{m}$ 、 $(4.69 \pm 0.36) \mu\text{m}$ 、 $(30.55 \pm 1.88) \mu\text{m}$ 、 $(36.88 \pm 2.75) \mu\text{m}$ 、 $(9.58 \pm 0.93) \mu\text{m}$ 、 $(6.25 \pm 0.46) \mu\text{m}$,占视网膜总厚度的比例分别为 29.08%、3.32%、9.14%、3.12%、20.31%、24.51%、6.37%、4.15%。

2.2.2 视网膜上两种细胞的分布数量及其数量比的变化

河川沙塘鳢仔、稚、幼鱼不同发育时期的外核层细胞核(ON)、神经节细胞(G)在视网膜上的分布数量见表 1。可见,随着河川沙

塘鳢的发育,外核层细胞核(ON)的分布数量变化不大,而神经节细胞(G)的分布数量减小,表明其随生长呈下降趋势。表1也显示了2种细胞数量比的变化。随着河川沙塘鳢的生长发育ON/G呈递增趋势,ON/G的变化很好地反映了视网膜网络结构中信息传递通道(感受细胞→双极细胞→神经节细胞)的会聚程度由低到高的变化趋势。

表1 河川沙塘鳢视网膜横切片上100 μm范围内外核层细胞核(ON)和神经节细胞(G)的数量

Table 1 The quantity of nuclei of outer nuclear layer (ON) and ganglion cells (G) per 100 μm unit length in the retinal cross sections of *Odontobutis potamophila*

发育时期 Development stage	外核层 细胞核(ON) Nuclei of the outer nuclear layer	神经节 细胞 (G) Ganglion cells	ON/G
眼黑色素出现期 Eye pigmentation stage	52 ± 4	121 ± 8	0.4
背鳍原基形成期 Dorsal fin primordium formation stage	48 ± 2	112 ± 9	0.4
孵化前期 Prehatching stage	45 ± 2	88 ± 8	0.5
孵出后1 d 1 day after hatching	43 ± 3	78 ± 6	0.6
孵出后5 d 5 days after hatching	42 ± 2	72 ± 7	0.6
孵出后8 d 8 days after hatching	40 ± 2	68 ± 5	0.6
孵出后21 d 21 days after hatching	46 ± 3	56 ± 3	0.8
孵出后43 d 43 days after hatching	48 ± 3	45 ± 3	1.1

2.3 仔鱼视觉器官发育与开口摄食 河川沙塘鳢的仔鱼发育时期为孵出后至第8 d。孵出后1 d的仔鱼,其视觉器官发育良好,视网膜的10层结构明显。在明适应的条件下,色素颗粒发生明显的位移,说明已出现视网膜运动反应,视网膜已经能够行使功能,视觉成为其开口摄食的第一感觉。孵出后2 d的仔鱼已开口摄食,摄食个体占总数的30%,孵出后3 d仔鱼的摄食率达到60%。孵出后5 d的仔鱼,眼发育

已较完备,视网膜完全功能化,仔鱼依靠视觉已全部开口摄食,摄食率达到100%。河川沙塘鳢仔鱼的开口摄食期为孵出后2~5 d,仔鱼群体的混合营养期为孵出后2~8 d,孵出后9 d的个体已转为纯外源性营养而进入稚鱼期。

2.4 稚鱼的视觉特性与昼夜摄食节律 孵出后21 d的稚鱼,其视觉器官发育完备。视细胞包括视锥细胞和视杆细胞,视锥细胞又分双锥和单锥细胞,视杆细胞对光线具有高度的敏感性,属于低阈值细胞,而视锥细胞则是高阈值细胞。河川沙塘鳢稚鱼视锥细胞与视杆细胞的比例为(4~6):1,这决定了其视网膜对弱光不敏感,需要在光线较强的环境下活动和摄食。

在一昼夜内,每隔4 h采样一次,每次采鱼10尾,观察24 h内稚鱼胃充塞度。06:00时胃充塞度为4~5级的占22%,10:00时充塞度4~5级的占44%,14:00和18:00时摄食活动最为强烈,充塞度4~5级的为100%,22:00时充塞度4~5级的占40%,02:00时充塞度均为0~1级。由此可见,河川沙塘鳢稚鱼存在明显的昼夜摄食节律,其主要是在白天摄食。

3 讨论

河川沙塘鳢的视觉器官是其感官中最早发生的,早在原肠晚期的神经胚阶段,其眼囊就已经出现。由于河川沙塘鳢的胚胎发育时间达18 d之久,其视觉器官在胚胎期也就经历了长时间的发育,因此发育相对比较完善。仔鱼孵出后,晶状体已具有与成体相同的构造,视网膜已具有10层结构,眼的其他结构也分化发育较完全,这不同于其他大多数硬骨鱼类^[2,13,14]。此时,仔鱼视觉器官已能行使其功能,使其成为仔鱼摄食的重要也是唯一的感官。仔鱼借助于发育良好的视觉器官完成开口摄食,开口摄食期相对较早,为孵出后2~5 d,仔鱼群体的开口摄食期处在混合营养期(孵出后2~8 d)内,仔鱼在其内源性营养即卵黄耗尽之前就已经开口摄食,从而很好地实现了从内源性营养到外源性营养的转换,提高了仔鱼的成活率^[15]。

Wanger 提出视网膜的内网状层厚度与内

核层大致相等,并认为这可能反映了神经纤维相互作用的复杂程度^[6]。河川沙塘鳢仔、稚、幼鱼的视网膜内网状层的厚度与内核层正好大致相等,这不同于斑马鱼(*Branchydanio rerio*)视网膜中内网状层的厚度大于内核层^[2]。Wanger^[6]采用光感受器细胞层的厚度与神经视网膜厚度相对比率的方法进行视网膜分类:具有较好视力的白昼活动类型鱼的光感受器细胞层(包括色素上皮层)的厚度与神经视网膜厚度之比一般为1:1,而在低光照环境下生活的鱼,其神经视网膜厚度比光感受器细胞层厚度小15%~20%。河川沙塘鳢幼鱼视网膜光感受器细胞层与神经视网膜厚度的比值为0.7:1,光感受器细胞层厚度比神经视网膜厚度小,这说明其光接收系统的结构比传递系统简单,是典型的光照条件好、白昼活动,并具有较好的视觉功能的鱼类。同时,外核层细胞核(ON)与神经节细胞(G)的数量比(ON/G)反映了视网膜网络结构中信息传递的会聚程度,也进一步反映了鱼视觉器官视敏度的高低及光敏感性的强弱^[10]。河川沙塘鳢仔、稚、幼鱼的ON/G都不高,说明其视网膜网络的信息会聚程度低,单个神经节细胞的感受域较小,且感受细胞多为视锥细胞,视敏度阈值较高,适于感受较强的光线。由此可见,河川沙塘鳢仔、稚、幼鱼适于在光照条件好的环境中活动、摄食,这与其生活在浅水湖泊且白天摄食的习性相吻合。

参 考 文 献

[1] 何大仁,徐永涂.五种海水鱼视网膜结构的比较.台湾海峡,1993,11(4):342~350.

- [2] 王子仁,常城,白雪涛.斑马鱼(*Branchydanio rerio*)视网膜正常结构的定量研究.兰州大学学报(自然科学版),1994,30(4):102~107.
- [3] 潘鸿春,陈璧辉.两种不同习性鱼类视网膜的光镜观察.动物学杂志,1995,30(5):6~9.
- [4] 王念民,刘建丽,王炳谦等.施氏鲟仔鱼眼的组织学观察.水产学杂志,2006,19(1):20~25.
- [5] Lockett N A. Retinal structure in a deep-sea fish, *Sternopyx diaphana*, Hermann. *Experimental Eye Research*, 1970, 9(1): 22~27.
- [6] Wagner H J. Retinal structure of fishes, In: Douglas R H, Djamgoz M B A, eds. *The Visual System of Fish*. London: Chapman and Hall Ltd, 1990, 109~147.
- [7] Douglas R H, Partridge J C, Marshall N J. The eyes of deep-sea fish I: Lens pigmentation, tapeta and visual pigments. *Prog Ret Eye Res*, 1998, 17(4): 597~636.
- [8] Wagner H J, Frohlich E, Negishi K, et al. The eyes of deep-sea fish II: Functional morphology of the retina. *Prog Ret Eye Res*, 1998, 17(4): 637~685.
- [9] 单保党,何大仁.黑鲟视觉发育与摄食的关系.台湾海峡,1995,14(2):169~173.
- [10] 魏开建,张海明.鳊鱼视网膜发育的组织学研究.华中农业大学学报,1996,15(3):263~269.
- [11] 王小平,单保党,洪万树等.花鲈视觉发育与摄食行为的关系.厦门大学学报(自然科学版),1999,38(2):323~327.
- [12] Stephen S, Easter J, Gregory N, et al. The development of vision in the Zebrafish (*Danio rerio*). *Developmental Biology*, 1996, 180: 646~663.
- [13] 孙帼英,郭学彦.太湖河川沙塘鳢的生物学研究.水产学报,1996,20(3):193~202.
- [14] 谢仰杰,孙帼英.河川沙塘鳢的胚胎和胚后发育以及温度对胚胎发育的影响.厦门水产学院学报,1996,18(1):55~62.
- [15] 胡先成.河川沙塘鳢的器官发育.重庆师范学院学报(自然科学版),1996,13(1):27~31.

图版 I 说明

1. 心跳期,视杯(箭头)形成,×400;2. 眼晶体形成期,晶状体出现,×400;3. 眼黑色素出现期,示眼的结构,×200;4. 眼黑色素出现期,示晶状体,×400;5. 眼黑色素出现期,示视网膜,×400;6. 背鳍原基形成期,示视神经和视网膜的视神经纤维层(箭头),×200;7. 孵化前期,示眼的结构,粗箭头示角膜,细箭头示虹膜,×100;8. 孵化前期,示角膜,×400。

Explanation of Plates I

1. At the heart-beating stage, the optic cup (arrow) was formed, ×400; 2. At the lens formation stage, the lens appeared, ×400; 3. At the eye pigmentation stage showing the structure of the eye, ×200; 4. At the eye pigmentation stage showing the lens, ×400; 5. At the eye pigmentation stage showing the retina, ×400; 6. At the dorsal fin primordium formation stage, showing optic nerve and optic nerve fibers layer (arrow) of the retina, ×200; 7. At the prehatching stage showing the structure of the eye, thick arrow point to cornea and thin arrow point to iris, ×100; 8. At the

prehatching stage ,showing the cornea ,×400.

图版 II 说明

9. 孵化前期 ,示视网膜 粗箭头示外界膜 细箭头示内界膜 ,×400 ; 10. 孵化后 1 d 仔鱼 ,示眼的结构 ,×200 ; 11. 孵化后 1 d 仔鱼 ,示视网膜 粗箭头示外界膜 细箭头示内界膜 ,×400 ; 12. 孵化后 5 d 的仔鱼 ,示眼的结构 ,×200 ; 13. 孵化后 5 d 的仔鱼 ,示视网膜 ,×400 ; 14. 孵化后 8 d 的仔鱼 ,示视神经和脉络膜腺 ,×400 ; 15. 孵化后 21 d 的稚鱼 ,示巩膜和脉络膜 ,×200 ; 16. 孵化后 43 d 的幼鱼 ,示视网膜 粗箭头示外界膜 细箭头示内界膜 ,×400.

Explanation of Plates II

9. At the prehatching stage ,showing the retina ,thick arrow point to outer limiting membrane and thin arrow point to inner limiting membrane ,×400 ; 10. 1 day after the hatching ,showing the structure of the eye ,×200 ; 11. 1 day after hatching ,showing the retina ,thick arrow point to outer limiting membrane and thin arrow point to inner limiting membrane ,×400 ; 12. 5 days after hatching ,showing the structure of the eye ,×200 ; 13. 5 days after hatching ,showing the retina ,×400 ; 14. 8 days after hatching ,showing optic nerve and choroid gland ,×400 ; 15. 21 days after hatching ,showing sclera and choroid ,×200 ; 16. 43 days after hatching ,showing the retina ,thick arrow point to outer limiting membrane and thin arrow point to inner limiting membrane ,×400.

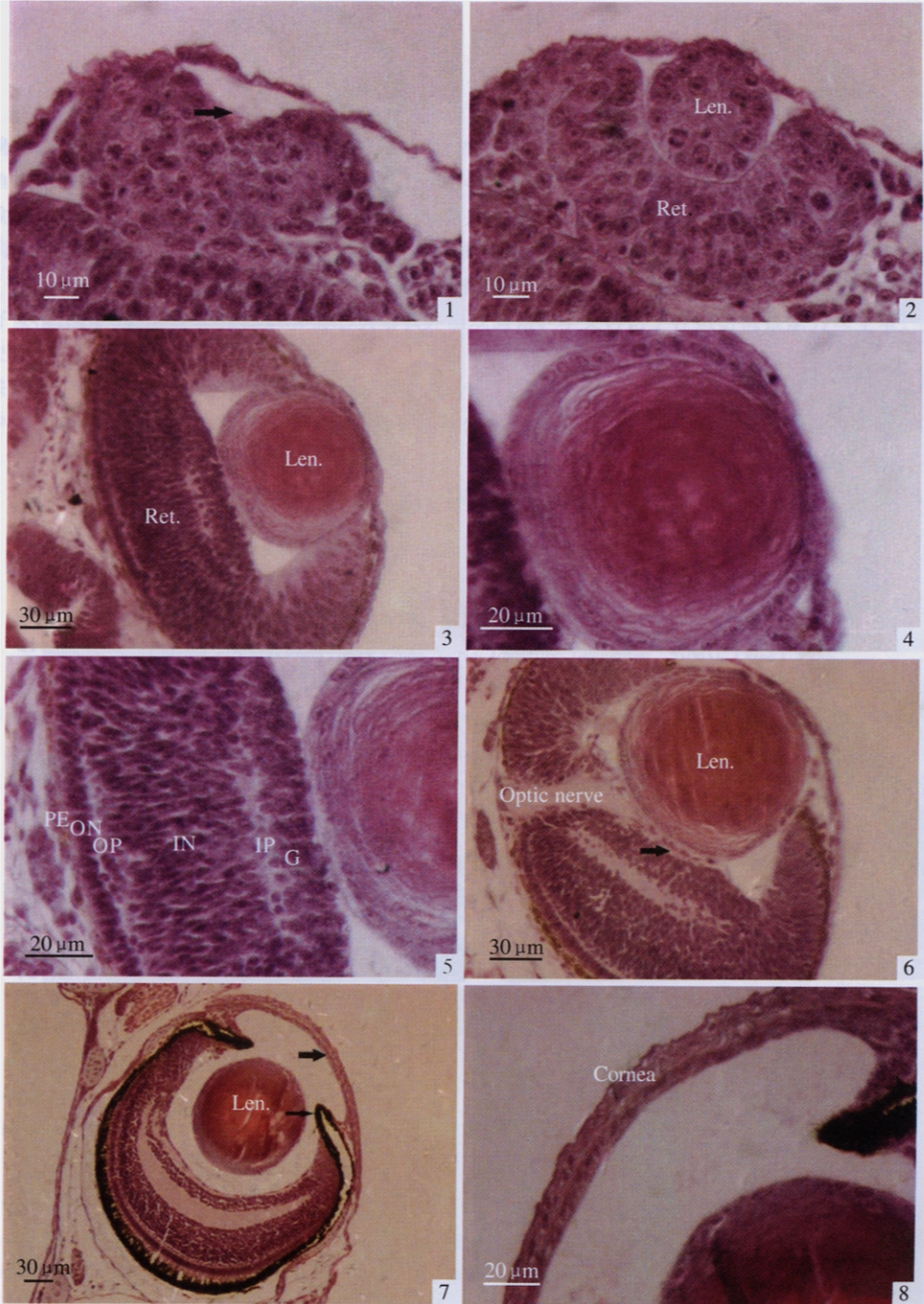
Cho. 脉络膜(Choroid) ; Choroid gland 脉络膜腺 ; Cornea 角膜 ; G 神经节细胞层(Ganglion cell layer) ; IN 内核层(Inner nuclear layer) ; IP 内网状层(Inner plexiform layer) ; Iris 虹膜 ; Len. 晶状体(Lens) ; OF 神经纤维层(Optic nerve fibers layer) ; ON 外核层(Outer nuclear layer) ; OP 外网状层(Outer plexiform layer) ; Optic nerve 视神经 ; PE 色素上皮层(Pigment epithelium) ; R&C 视锥视杆层(Rods and Cones) ; Ret. 视网膜(Retina) ; Scl. 巩膜(Sclera) .

胡先成等:河川沙塘鳢视觉器官的发育及其与摄食的关系

图版 I

HU Xian-Cheng *et al.*: Visual Organ Development and Its Relationship with Feeding
of *Odontobutis potamophila*

Plate I



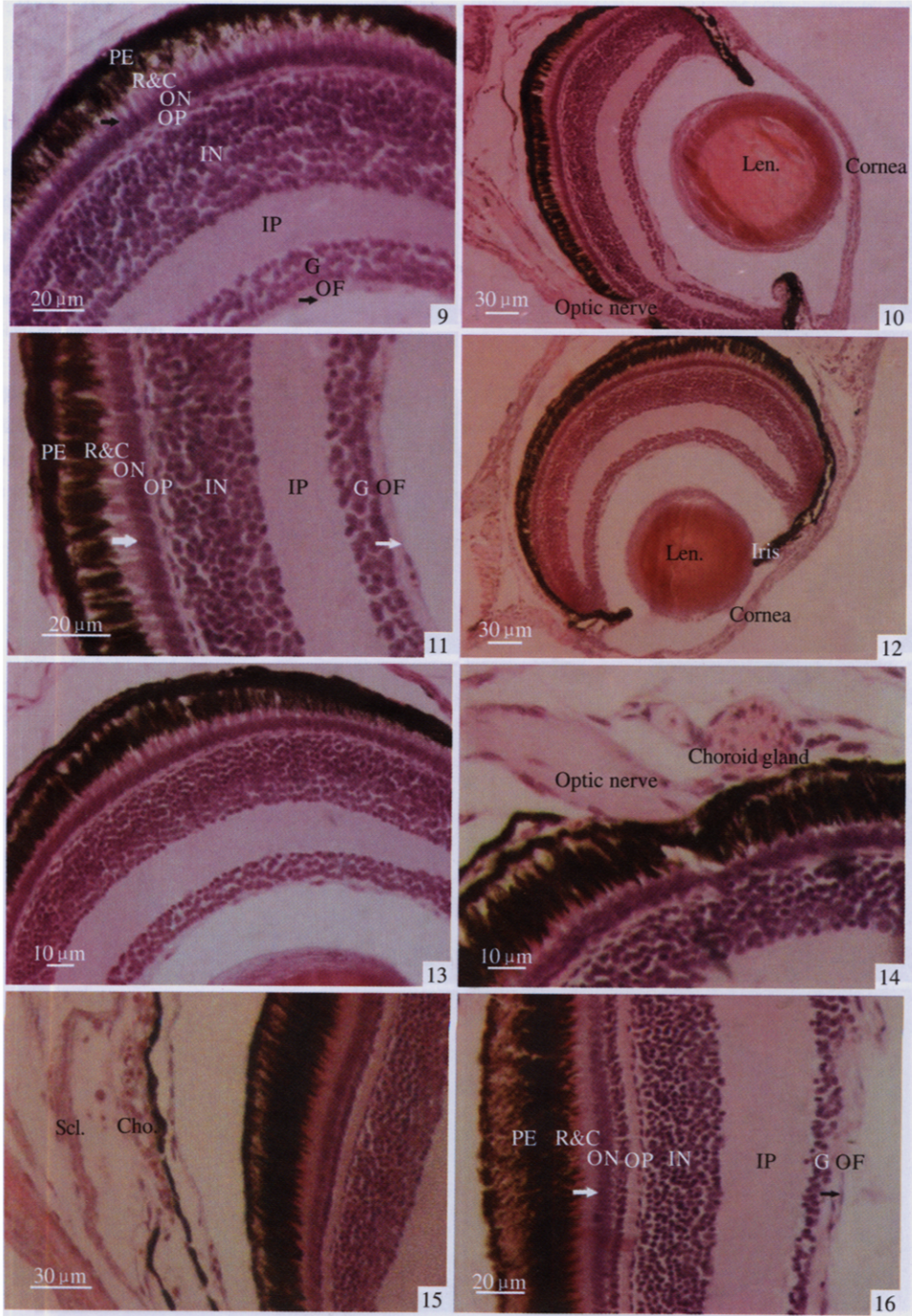
图版说明见文后

胡先成等:河川沙塘鳢视觉器官的发育及其与摄食的关系

图版 II

HU Xian-Cheng *et al.*: Visual Organ Development and Its Relationship with Feeding of *Odontobutis potamophila*

Plate II



图版说明见文后