발생과 생식 제 10권 제 2호, 93~96 (2006)
Dev. Reprod. Vol. 10, No. 2, 93~96 (2006)

전어, *Konosirus punctatus*의 초기 성장 및 눈 발달

박인석† · 임수연 · 설동원 · 이진환[1] · 허준욱[2] · 정관식[3]

한국해양대학교 해양과학기술대학 해양환경 · 생명과학부
[1]한국해양대학교 해양과학기술연구소
[2]Department of Biological Sciences, University of Calgary, Canada
[3]전남대학교 수산해양대학 해양기술학부

Early Growth and Development of Eye in Dotted Gizzard Shad, *Konosirus punctatus*

In-Seok Park†, Soo-Yeon Im, Dong-Won Seol, Jin-Hwan Lee[1], Jun-Wook Hur[2] and Gwan-Sik Jeong[3]

Department of Marine Environment and Bioscience, College of Ocean Science and Technology, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea
[1]Research Institute of Marine Science and Technology, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea
[2]Department of Biological Sciences, University of Calgary, Calgary T2N 1N4, Canada
[3]Faculty of Marine Technology, College of Fisheries and Ocean Sciences, Chonnam National University, Chonnam 550-749, Korea

ABSTRACT : The total length, head length, head height, eye diameter, retina thickness, and lens diameter of the dotted gizzard shad, *Konosirus punctatus*, showed positive allometric relationships between hatching and 30 days post-hatching (dph). The increase in total length relative to head length and head height, head length growth relative to eye and lens diameter, head height growth relative to eye diameter and lens diameter, and thickness of the retina relative to eye diameter, lens diameter, head length, and head height were showed allometric relationships. The eyes were formed completely at 9 dph. At this age, the eye has a lens, an optic nerve fiber layer, a ganglion cell layer, an inner plexiform layer, an inner nuclear layer, an outer plexiform layer, an outer nuclear layer, an outer limiting membrane, a rod and cone layer, and an epithelial layer. The essential demands that must be met by the retina in this species pertain to light sensitivity and spatial resolution.

Key words : Dotted gizzard shad, Eye growth, *Konosirus punctatus*, Retina structure.

요 약 : 전어, *Konosirus punctatus*의 부화후부터 부화후 30일까지의 전장, 두장, 두고, 안경, 망막 두께 및 렌즈직경의 성장은 비례직선적이었다. 전장에 대한 두장 및 두고의 상대 성장, 두장에 대한 안경 및 렌즈직경의 상대 성장, 두고에 대한 안경 및 렌즈직경의 상대 성장, 그리고 망막 두께에 대한 안경, 렌즈직경, 두장, 두고의 상대 성장은 높은 상관계수를 보이는 상대성 장식을 보였다. 눈은 부화 후 9일에 완전히 형성되었으며 렌즈, 신경섬유층, 신경세포층, 내망상층, 내과립층, 외망상층, 외과립층, 외한계막, 간체와 추제층 및 상피층으로 구성되었다. 본 연구와 더불어 차후, 전어의 빛 민감성과 공간적 변화에 따른 망막 관련 연구가 필요하리라 사료된다.

서 론

어류 치어기에서의 시각은 먹이 섭취, 위치 확보, 집단 행동 및 포식자로 부터의 도망을 위한 매우 중요한 감각이다 (Rodriguez & Gisbert, 2001; Park *et al.*, 2006). 비록 경골어류의 망막 구조는 척추동물의 망막 구조와는 그 구조에 있어 근본적으로는 다르지 않으나, 여타 척추동물에 비하면 일반적인 망막 구조를 제시하는 것은 상당히 어렵다. 이와 같은 이유는 어류에 있어서의 수많은 종과 매우 다양한 서식지, 행

본 연구는 2004년도 한국학술진흥재단 지원인 "2004년도 한국해양대학교 해양과학기술연구소 중점연구소 지원사업(KRF-2006-005-J00501)" 및 해양수산부 수산특정연구개발사업에 의하여 수행되었음.

†교신저자: 한국해양대학교 해양과학기술대학 해양환경 · 생명과학부. (우) 606-791, (전) 051-410-4321, (팩) 051-405-4322, E-mail: ispark@hhu.ac.kr

동 및 생활사에 기인하기 때문이다(Wagner, 1990). 어류의 시각 구조와 시각 기능에 있어서 행동적 요인이나 환경적 요인은 시각생태학(visual ecology)에서 매우 주요한 위치를 차지한다(Walls, 1942; Lythgoe, 1979; Park *et al.*, 2006).

전어, *Konosirus punctatus*(Temminck et Schlegel)는 우리나라 전 연안, 일본 및 남중국해에 분포하는 연근해성 어류로 강하류에도 출현하고, 주로 규조류나 요각류 등의 플랑크톤을 먹는다(Chyung, 1977; Choi *et al.*, 2002). 본 종은 3~6월에 강하구에서 산란이 이루어지며, 부화후 1년이면 어미가 되고 수명은 약 3년으로서 우리나라 주요 수산물의 하나이다(Chyung, 1977). 이러한 전어에 대한 연구는 Lee & Kim(1984)이 전어의 생식생물학적 연구를 수행한 것을 제외하고는 없으며 특히, 전어의 자원 감소 대비와 전어의 연중 안정적인 공급을 위한 양식생물학적 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 전어의 양식 산업화를 위한 연구의 일환으로서, 인공 종묘 생산된 전어의 초기 성장 및 눈 발달을 파악하였다.

재료 및 방법

전남대학교 여수캠퍼스 수산증양식연구센터에서 2005년 5월에 인공 종묘 생산된 전어를 부화 후부터 부화 후 30일까지 매일 50마리씩 표본하였다. 부화 일수 경과에 따른 성장을 파악하기 위하여 표본된 개체들을 대상으로 전장, 두장, 두고 및 안경을 버어니아캘리퍼(CCD-20CP; Mitutoyo, Kanagawa, Japan)로 0.1mm 단위까지 측정하였다.

눈의 조직학적 조사를 위하여 표본을 10% 중성포르말린에 고정한 후 Bouin 용액에 1일간 재고정하였다. 평상의 paraffin 절편법을 사용하여 표본의 두부를 6μm 두께로 연속절편하였으며, Mayers hematoxylin과 eosin phloxine B 용액으로 염색하였다. 완성된 slide 표본을 ×100 혹은 ×400 배율의 생물현미경(Axioskop, Zeiss, Oberkochen, Germany)으로 검경하였으며 사진 촬영하였다. 아울러 전어 부화 후 30일까지의 전장에 대한 두장, 전장에 대한 두고, 두장에 대한 안경, 두장에 대한 렌즈직경, 두고에 대한 안경, 두고에 대한 렌즈직경, 망막 두께에 대한 안경, 망막 두께에 대한 렌즈직경, 망막 두께에 대한 두장 및 망막 두께에 대한 두고의 각 상대 성장을 조사하였다.

결과 및 고찰

경골어류에서 눈은 대부분 성체기까지 지속적으로 성장하지만, 눈 구성 요소의 시각 특징은 발생 초기에 안정화된다(Power *et al.*, 1988; Raymond *et al.*, 1988; Powers and Raymond, 1990). 부화시 전어의 전장은 3.8 mm±0.01SD, 두장은 0.2mm±0.01SD, 두고는 0.1mm±0.01SD, 안경은 0.1 mm±0.01SD 이었다. Fig. 1에서 나타난 바와 같이 부화 후 30일까지의 전장 성장은 Y=0.4866X+3.2397, r^2=0.9097(Y는 mm 전장, X는 부화 일수), 두장 성장은 Y=0.1152X+0.3201, r^2=0.9476(Y는 mm 두장, X는 부화 일수), 두고 성장은 Y=0.057X+0.0561, r^2=0.8949(Y는 mm 두고, X는 부화 일수) 그리고 안경 성장은 Y=0.0339X+0.0901, r^2=0.9491(Y는 mm 안경, X는 부화 일수)이었다. 부화 후 30일까지의 망막 두께 성장은 Y=13.429X+26.568, r^2=0.9444(Y는 μm 망막 두께, X는 부화 일수)이었으며 렌즈직경 성장은 Y= 1.8484X +65.079, r^2=0.9503(Y는 μm 렌즈직경, X는 부화 일수)이었다(Fig. 2). 부화 일수 경과에 따라 전장, 두장, 두고, 안경, 망막 두께 및 렌즈직경의 성장은 상관계수가 큰 positive relationship을 보였다.

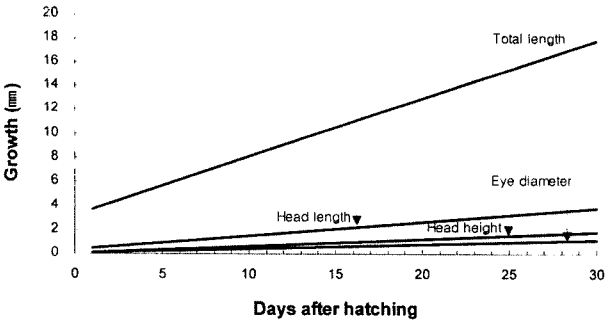

Fig. 1. Early growth of total length, head length, head depth, and eye diameter in the dotted gizzard shad, *Konosirus punctatus*.

부화 후 30일까지의 상관관계는 allometric relationship을 보여, 전장과 두장은 Y=5.9105$X^{0.8154}$, r^2=0.9321(Y는 mm 전

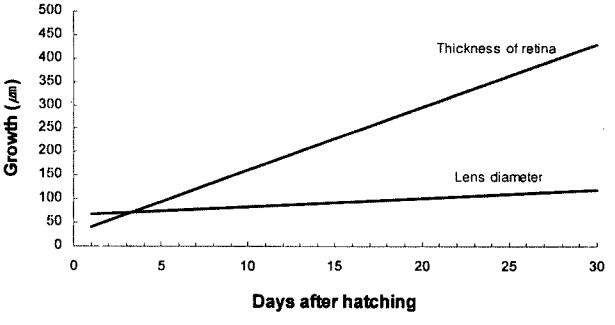

Fig. 2. Early growth of thickness of retina and lens diameter in the dotted gizzard shad, *Konosirus punctatus*.

장, X는 mm 두장), 전장과 두고는 $Y=11.414X^{0.797}$, $r^2=0.9039$(Y는 mm 전장, X는 mm 두고), 두장과 안경은 $Y=3.4154X^{0.971}$, $r^2=0.9677$(Y는 mm 두장, X는 mm 안경), 두장과 렌즈직경은 $Y=6.7274X^{0.7832}$, $r^2=0.9069$ (Y는 mm 두장, X는 μm 렌즈직경), 두고와 안경은 $Y=1.514X^{0.9631}$, $r^2=0.9381$ (Y는 mm 두고, X는 mm 안경), 두고와 렌즈직경은 $Y=3.3242X^{0.8651}$, $r^2=0.9206$(Y는 μm 두고, X는 μm 렌즈직경), 망막 두께와 안경은 $Y=111.41X^{0.2974}$, $r^2=0.9353$(Y는 μm 망막 두께, X는 mm 안경), 망막 두께와 렌즈직경은 $Y=143.29X^{0.2742}$, $r^2=0.9344$(Y는 μm 망막 두께, X는 μm 렌즈직경), 망막 두께와 두장은 $Y=78.935X^{0.271}$, $r^2=0.9021$(Y는 μm 망막 두께, X는 mm 두장) 그리고 망막 두께와 두고는 $Y=98.313X^{0.2729}$, $r^2=0.9281$(Y는 μm 망막 두께, X는 mm 두고)이었다. 본 연구에서와 같이 발생 초기의 눈 발달시 allometric relationship은 Siberian sturgeon, *Acipenser baeri*에서 눈의 성장과 두장에서 그리고 안경과 두고에서도 나타난 바 있다(Rodriguez & Gisbert, 2001).

부화시부터 부화 후 3일(전장 4.6mm±0.28SD)까지 눈은 신경아세포와 다층의 상피세포가 배열된 원기상태의 선상 대뇌조직이었다. 렌즈는 부화 후 5일(전장 5.6mm±0.36SD)에 형성되었으며, 눈은 부화 후 9일(전장 7.5mm±0.51SD)에 완전하게 형성되었다. 완전하게 형성된 눈은 10층으로 구성되었다(Fig. 3): (1) 층상의 입방상피초와 유핵섬유세포들로 구성된 수정체(crystalline lens): (2) 신경섬유로 이루어진 신경섬유층(optic nerve fiber layer): (3) 신경세포 핵주위질과 무축삭세포들로 이루어진 신경세포층(ganglion cell layer). 신경세포 핵주위질은 뚜렷한 핵을 가지는 큰 세포체인 반면, 신경세포층에는 무축삭세포와는 구별이 어려운 작은 형태의 세포가 존재하였다: (4) 망상조직으로 이루어진 내망상층(inner plexiform layer): (5) 수평세포, 무축삭세포 및 2극 신경세포로 이루어진 내과립층(inner nuclear layer). 수평세포는 외망상층에 인접해 망막표면과는 평행으로 위치하며, 핵으로 쉽게 판별할 수 있다. 2극 신경세포는 세포질 가장자리가 좁고 핵이 둥글고 진하게 염색되는 특징으로 확인 가능하며, 이러한 특징으로 인해 큰 세포질과 약하게 염색되는 핵의 특성을 보이며 내과립층의 안쪽에 근접하여 존재하는 무축삭세포와는 구별된다: (6) 외망상층(outer plexiform layer)은 얇은 망상조직으로 구성되었다: (7) 외과립층(outer nuclear layer): (8) 간체와 추체층(rod and cone layer)은 2가지형의 광수용세포인 간체와 추체로 형성되었다. 바깥쪽에 위치하고 원추형이며 장원형인 섬유상 myoid는 간체에서 호산구로 나타나는 반면, 간체의 핵은 둥글고 호염기성이었다: (9) 외

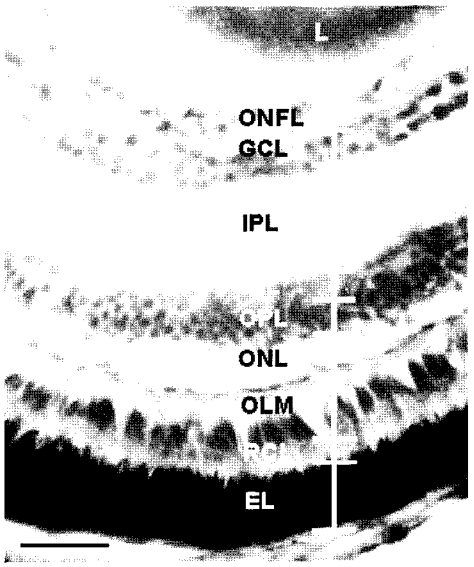

Fig. 3. Light micrograph showing a transverse section of the eye of dotted gizzard shad, *Konosirus punctatus* at days after hatching. Lens (L), optic nerve fiber layer (ONFL), ganglion cell layer (GCL), inner plexiform layer (IPL), inner nuclear layer (INL), outer plexiform layer (OPL), outer nuclear layer (ONL), outer limiting membrane (OLM), rod and cone layer (RCL), and epithelial layer (EL). Bar is 50 μm.

한계막(outer limiting membrane)은 크고 난형의 장원형인 소적과 핵을 포함하며 짧게 가늘어지는 외부 부분이 있는 추체광수용체로 구성되었다. 광수용체의 외부는 상피층으로부터의 돌출부로 일부 싸여졌다: (10) 상피층(epithelial layer)은 단층의 입방세포로 형성되었다.

부화 후 9일부터 본 실험 종료시인 부화 후 30일까지 전어 자어의 눈 세포의 수와 크기는 증가하였으며, 특히 망막 광수용세포와 상피층의 멜라닌의 증가가 현저하였다. 본 연구와 같은 유사한 양상은 Siberian sturgeon에서도 관찰 된 바 있으며, Siberian sturgeon에 비하여 본 종이 렌즈의 형성에서는 부화 후 5일로 유사한 반면, 눈의 완전한 형성은 9일 앞서 이루어지고 있다(Rodriguez & Gisbert, 2001). 특정 어류의 망막 구조는 분류학적 기준에 의해 결정되기 보다는 생태학적 및 행동학적으로 기인된 시각 구조상의 기능적 요인에 의하여 결정된다(Wagner, 1973, 1980, 1990; Wagner & Douglas, 1983; Rodriguez & Gisbert, 2001; Park *et al.*, 2006). 따라서 본 연구를 기반으로 차후, 전어의 빛 민감성과 공간적 변화에 따른 망막 관련 연구가 부수적으로 필요하리라 사료된다.

인용문헌

Choi Y, Kim JH, Park JY (2002) Marine fishes of Korea. Kyo-Hak Publishing Co., Seoul, pp 82-86.

Chyung MK (1977) The Fishes of Korea. Il-Ji Sa Publishing Co., Seoul, pp 107-108.

Lee TY, Kim HB (1984) Reproductive biology of a shad, *Konosirus punctatus* (Temminck et Schlegel). Bull Korean Fish Soc 17:206-218.

Lythgoe JN (1979) The ecology of vision. Clarendon Press, Oxford, p 261.

Park I-S, Seol D-W, Cho SH, Song Y-C, Choi HJ, Noh CH, Myoung J-G, Kim J-M (2006) Morphogenesis of the eye of brown croaker (*Miichthys miiuy*). Ocean Polar Res 28:287-290.

Powers MK, Bassi CJ, Raymond PA (1988) Lighting conditions and retinal development in goldfish: absolute visual sensitivity. Invest Ophthalmol Vis Sci 29:37-43.

Power MK, Raymond PA (1990) Development of the visual system. In: Douglas R, Djamgoz M (eds.), The Visual System of Fish, Chapman and Hall, London, pp 419-443.

Raymond PA, Hitchcock PF, Palopoli MJ (1988) Neuronal cell proliferation and ocular enlargement in Black Moor goldfish. J Comp Neurol 276:231-238.

Rodriguez A, Gisbert E (2001) Morphogenesis of the eye of Siberian sturgeon. J Fish Biol 59:1427-1429.

Wagner HJ (1973) Darkness-induced reduction of the number of synaptic ribbons in fish retine. Nature New Biol 246:53-55.

Wagner HJ (1980) Light dependent plasticity of the morphology of horizontal cell terminals in cone pedicles of fish retinas. J Neurocytol 9:573-590.

Wagner HJ (1990) Retinal stucture of fishes. In: Douglas R, Djamgoz M (eds.), The Visual System of Fish, Chapman and Hall, London, pp 109-157.

Wagner HJ, Douglas RH (1983) Morphologic changes in teleost primary and secondary retinal cells following brief exposure to light. Invest Ophthalmol Vis Sci 24: 24-29.

Walls GL (1942) The Vertebrate Eye and Its Adaptive Radiation. Facsimile edition, Hafner Publishing Co., New York, p 302.