

한국산 납자루아과 어류 2종의 시각세포에 관한 비교 연구

김재구 · 박종영*

전북대학교 자연과학대학 생명과학과, 전북대학교 부설 생물다양성연구소

A Comparative Study on the Visual Cells in Two Korean Bittering Fishes by Jae Goo Kim and Jong Young Park* (Faculty of Biological Science and Institute for Biodiversity Research, College of Natural Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea)

ABSTRACT Two Korean *Rhodeus* bittering fishes are known as having a unique reproduction system that the female deposits its egg inside freshwater mussels. Among them, *R. ocellatus* and *R. uyekii* show an ecological difference in feeding items and micro-habitat. Through a light microscope, the visual cells of the retina in the two species were investigated to get information between vision and environment related with habitat. The two fishes' eyes are spherical and *R. ocellatus* has relatively larger eyes. For the two species, the visual cells of the retina consisted of long single cones, short single cones, unequal double cones and rods. In the cones, all show a row mosaic pattern. Although the two species have a different micro-habitat in the wild, the component of the visual cells was very similar to each other.

Key words: *Rhodeus ocellatus*, *Rhodeus uyekii*, retina, visual cells, row mosaic model

서 론

잉어목 납자루아과 어류는 산란시기에 암컷이 긴 산란관을 내어 민물조개의 새강에 알을 낳는 독특한 생활사를 가지는 어류이며, 국내의 납줄개속 어류는 멸종된 서호납줄개 1종을 포함하여 모두 5종이 분포하고 있다(Kim and Park, 2002). 이 가운데 흰줄납줄개, *Rhodeus ocellatus*는 유속이 느리고 물풀이 우거진 하천의 수변부나 연못 등에 서식하며 잡식성으로 바닥에 붙은 작은 동물과 물풀에 붙은 작은 생물을 주로 섭식하며, 각시붕어, *Rhodeus uyekii*는 한국고유종으로서 흐름이 빠르지 않은 하천 가장자리의 수초가 무성한 진흙 바닥과 연못에서 서식하며 잡식성이지만 돌이나 수초에 붙어 있는 부착조류나 유기물의 조각을 주식으로 한다고 알려져 있다(Kim, 1997). 또한 두 종은 모두 산란시기에 수컷에서 혼인색이 나타나는 특징을 보유하고 있다(Kim and Park, 2002).

일반적으로 어류의 눈은 눈꺼풀이 없으며 포유류의 수정체

(lens)와는 다른 탄력성이 없는 구형의 수정체를 가지고 있다. 따라서 수정체의 변화로 초점을 맞출 수 없기 때문에 수정체 견인근(retractor lentis muscle)을 통해 전후이동으로 초점을 맞추는 것으로 알려져 있다(Nicol, 1989; Kim, 1997). 눈으로 받아들인 빛과 시각정보는 시신경을 통해 뇌로 전달되는데 고등한 척추동물에서는 좌우 시신경이 교차부에서 서로 접합되어 있으나 어류의 시신경은 좌우가 각각 교차되어 뇌에 연결된다(George and Robert, 2001).

대부분의 척추동물 눈은 외막(outer coat)과 중막(middle coat), 내막(inner coat)으로 구분된다. 외막은 각막(cornea)과 공막(sclera)으로 구성되며, 중막은 홍채(iris), 모양체(ciliary body), 맥락막(choroid)으로 구성된다. 마지막으로 시각세포가 존재하며 빛의 정보를 받아들이는 망막(retina)은 내막에 위치하고 있다(George and Robert, 2001; You and Park, 2008). 망막은 눈의 가장 안쪽인 내벽에 위치하며 외부로부터 들어오는 신호를 감지하는 신경조직의 연합층으로 구성된다(Polyak, 1957). 신경연합층은 가장 안쪽의 망막색소상피층(retinal pigment epithelium; RPE), 시각세포가 존재하는 시각세포층(visual cells layer; VCL), 이들의 핵으로 구성된 외

*Corresponding author: Jong Young Park Tel: 82-63-270-3344, Fax: 82-63-270-3362, E-mail: park7877@jbnu.ac.kr

핵층(outer nuclear layer; ONL), 신경가지로 구성된 외망상층(outer plexiform layer; OPL), 신경세포의 핵이 존재하는 내핵층(inner nuclear layer; INL), 신경전달을 위한 내망상층(inner plexiform layer; IPL), 마지막으로 이들 정보를 시신경으로 전달하는 신경절세포층(ganglion cell layer; GCL)이 순차적으로 존재한다(Hagedorn *et al.*, 1998). 그중 시각세포층 내에는 원추세포(cone cell)와 간상세포(rod cell)가 존재하며 원추세포는 비교적 강한 파장의 빛을 감지하고 색을 구별할 수 있으며, 간상세포는 약한 빛을 감지해 명암 구별의 역할을 한다(Peter and Joseph, 1996). 시각세포의 구성과 종류의 차이는 각 동물의 서식방법과 계통학적 차이에 밀접한 연관을 가지는 것으로 보고되어 있다. 특히 낮에 활동하는 척추동물은 원추세포와 간상세포 모두를 가지고 있으며 원추세포의 밀도가 더 높은 반면 야행성 척추동물의 망막에는 대부분 간상세포로 구성되어 있다(Audesirk *et al.*, 2008).

경골어류의 눈에 관한 연구는 광학현미경을 이용한 시각세포의 형태학적 분석(Lyall, 1957; Collins and MacNichol, 1978; Monica, 2001; Thomas and Craig, 2010)과 원추세포의 모자이크 모델에 관한 연구(Lyall, 1956; Rossetto *et al.*, 1992; Yuko *et al.*, 1997), 명암 조건에 따른 원추세포의 변화(Yvette, 1980; Fernald, 1982; Frank *et al.*, 2001) 등에 대하여 비교적 활발한 연구가 진행되어 왔다. 다만 국내의 연구에는 생태적 차이에 의한 두 종 간의 망막 조직의 비교연구(Lee and Lim, 2005; You and Park, 2008) 이외에는 미흡한 실정이며 특히 간상세포와 원추세포의 형태와 배열에 관한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 한국산 남자루아과 납줄개속에 속하는 흰줄납줄개와 각시붕어의 망막구조 및 시각세포들의 형태와 구조를 현미경적으로 확인하고, 이들의 미세서식처를 포함한 수중환경과의 상관관계를 규명하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험재료

흰줄납줄개($n=10$, 46.8 ± 1.7 mm SL)와 각시붕어($n=10$, 34.5 ± 3.6 mm SL)는 2015년 3월에 전라북도 완주군 용진면 용흥리($35^{\circ}53'29''$ N; $127^{\circ}9'56''$ E) 일대에서 족대(망목 4×4 mm)를 이용하여 채집하였다.

2. 실험방법

흰줄납줄개와 각시붕어 눈의 외부형태를 조사한 후 망막의 시각세포를 관찰하기 위해 광학현미경을 이용하여 망막구조 및 시각세포를 확인하였다.

채집된 개체들의 눈은 4°C 의 10% formalin에 12시간 고정

하고 12시간 수세하였다. 이후 70~100%의 ethanol을 이용하여 탈수하였고 xylene으로 치환하여 paraffin으로 포매하였다. Block은 microtome(Leica-820, Germany)을 이용하여 $5 \mu\text{m}$ 간격으로 절단하였으며 hematoxylin과 eosin으로 이중 염색하였다. 완성된 슬라이드를 광학현미경(Carl zeiss-AX10, Germany)을 이용하여 시각세포층과 시각세포 형태를 확인하기 위해 수직 절단면을 관찰하였으며, 모자이크 패턴을 확인하기 위해 수평으로 절단하여 관찰하였다. 시각세포의 길이는 내절과 외절이 완전한 세포의 전체 길이로 측정하였고 가로 직경은 내절의 가장 팽대부를 측정한 후 평균과 편차를 계산하였다.

결 과

1. 안구의 외부형태

흰줄납줄개 눈은 3.9 ± 0.1 mm의 크기였으며, 각시붕어의 눈은 3.1 ± 0.4 mm로 확인되었다. 두장 대 안경비율을 측정할 결과 흰줄납줄개는 38.1 ± 1.9 였으며 각시붕어는 35.2 ± 4.2 로 흰줄납줄개 눈이 각시붕어보다 큰 것으로 확인되었다. 두 종 모두 가로안경과 세로안경이 유사한 구형의 안구를 가지고 있었다.

2. 광학현미경적 관찰

1) 수직단면(longitudinal plane)의 관찰

흰줄납줄개와 각시붕어의 신경연합층을 확인한 결과, 두 종 모두 기본적인 신경연합층의 구성은 같았다. 신경연합층은 가장 안쪽부터 색소포가 많은 망막색소상피층이 존재하였고, 시각세포들이 존재하는 시각세포층, 그리고 이 시각세포의 핵들이 존재하는 외핵층, 외망상층, 내핵층 등으로 명확히 구분되는 구조를 가지고 있었다(Fig. 1A, B). 전체 신경연합층의 두께는 흰줄납줄개가 $284.6 (\pm 17.4) \mu\text{m}$ 였으며 각시붕어의 두께는 $252.1 (\pm 13.9) \mu\text{m}$ 로 확인되었다. 시각세포의 핵이 존재하는 외핵층의 두께는 흰줄납줄개가 $17.8 (\pm 1.9) \mu\text{m}$ 였으며, 각시붕어는 $13.9 (\pm 2.1) \mu\text{m}$ 로 나타났다(Fig. 1A, B). 시각세포층을 구성하는 시각세포는 두 종 모두 긴 단일원추세포(long single cone; LS), 짧은 단일원추세포(shot single cone; SS), 길고 짧은 원추세포가 하나의 쌍을 이룬 이형이중원추세포(unequal double cone; DC) 및 간상세포(rod cell; R)로 구성되었다. 이들 모든 시각세포들은 내절(inner segment)과 외절(outer segment)로 구분되었으며 내절은 호염성 염색액인 eosin에, 외절은 호산성 염색액인 hematoxylin에 염색되어 나타났다(Fig. 1C, D). 흰줄납줄개와 각시붕어의 각 원추세포 크기를 비교한 결과 두 종 간 큰 차이는 없었으나 각시붕어의 간상세포가 더 긴 것을 확인할 수 있었다(Table 1; Fig. 1). 가장 긴 세포는 간상세포였

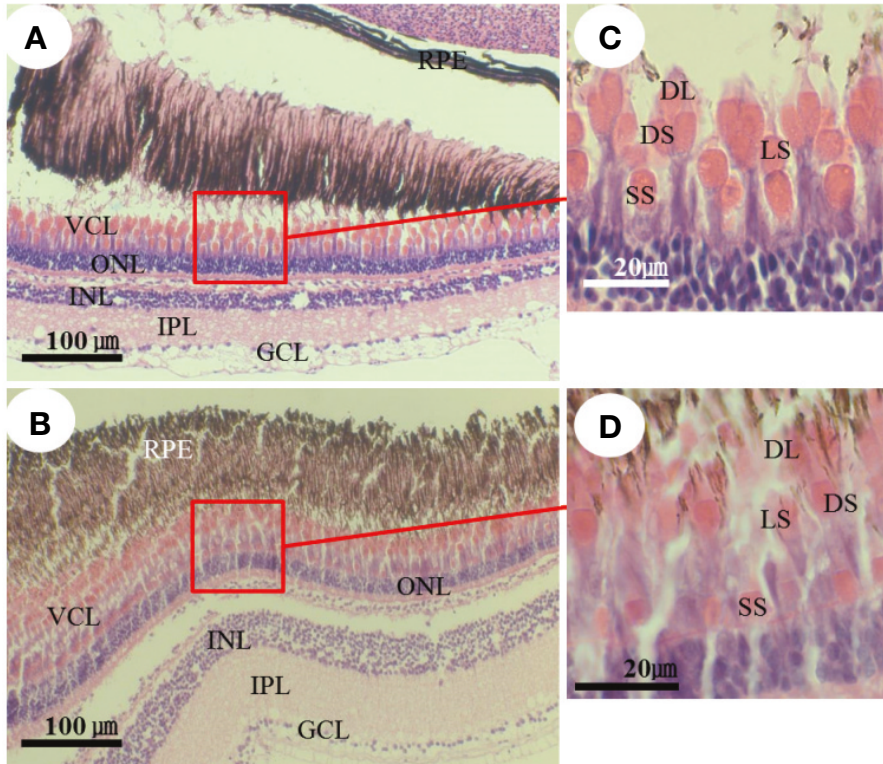


Fig. 1. Longitudinal sections of the retina in a Harris hematoxylin and counter-stained with eosin used by light microscope of two bittering fishes. DL, long double cone cell; DS, shot double cone cell; GCL, ganglion cell layer; INL, inner nuclear layer; IPL, inner plexiform layer; LS, long single cone; ONL, outer nuclear layer; RPE, retina pigment epithelium; SS, short single cone cell; VCL, visual cell layer.

Table 1. Measurements of the visual cell types in *Rhodeus ocellatus* and *R. uyekii* (μm)

Species	Cell type	Length (n=30)	Diameter (n=30)
<i>R. ocellatus</i> (n=10)	LS	31.5 ± 2.6	6.4 ± 0.4
	SS	20.3 ± 1.1	6.9 ± 0.2
	DL	39.7 ± 1.9	5.4 ± 0.4
	DS	34.6 ± 2.6	6.1 ± 0.4
	R	147.6 ± 9.3	3.1 ± 0.2
<i>R. uyekii</i> (n=10)	LS	34.4 ± 1.7	5.6 ± 0.5
	SS	16.1 ± 1.7	4.9 ± 0.7
	DL	41.4 ± 2.4	4.5 ± 0.8
	DS	36.7 ± 2.1	4.9 ± 0.7
	R	81.0 ± 1.8	3.4 ± 0.3

* LS; long single cone cell, SS; shot single cone cell, DL; double cone cell long element, DS; double cone cell shot element, R; rod cell.

으며 직경은 가장 얇게 확인되었다. 원추세포들은 길이가 짧은 반면 직경은 간상세포보다 두껍게 확인되었다.

2) 수평단면(transverse plane)의 관찰

흰줄납줄개와 각시붕어의 시각세포층을 수평으로 절단하여 관찰한 결과, 이형이중원추세포와 긴 단일원추세포 및 짧은 단일원추세포가 일렬로 배열되는 열 배열(row-type)의 모자이크 형태가 확인되었다(Fig. 2A, B). 가장 짧은 단일원추세포를

중심으로 상하좌우에 긴 단일원추세포가 배열되는 형태의 첫 번째 형태의 열 배열, 이형이중원추세포 중 긴 원추세포와 짧은 원추세포의 배열로 두 번째 열 배열이 나타났다. 내절이 절단된 시각세포들은 eosin에 염색되었으며 외절이 절단된 시각세포는 hematoxylin에 염색되었다. 간상세포는 원추세포보다 망막색소상피층에 가깝게 존재하기 때문에 시각세포층을 수평으로 절단한 단면에서는 관찰할 수 없었다(Fig. 2C).

고 찰

한국산 납줄개속 어류 2종 흰줄납줄개와 각시붕어의 시각세포를 광학현미경상에서 조사한 결과, 흰줄납줄개의 눈은 3.9 mm의 크기로 각시붕어의 눈(3.1 mm)보다 더 큰 것으로 확인되었다. 두장 대 안경비율 역시 흰줄납줄개가 각시붕어의 비율보다 큰 것을 확인할 수 있었다. 이는 기존에 연구된 미꾸리과 어류 미꾸리의 눈(2.2 mm)보다 크기와 두장 대 안경비율이 큰 것으로 나타났다(Kim *et al.*, 2015). 두 종 모두 가로안경과 세로안경이 거의 유사한 구형의 눈을 가지고 있었다. Kim (1997)의 문헌과 비교한 결과 역시 비교적 체장 및 두장에 대한 안경비율은 다소 높은 종에 속하였다.

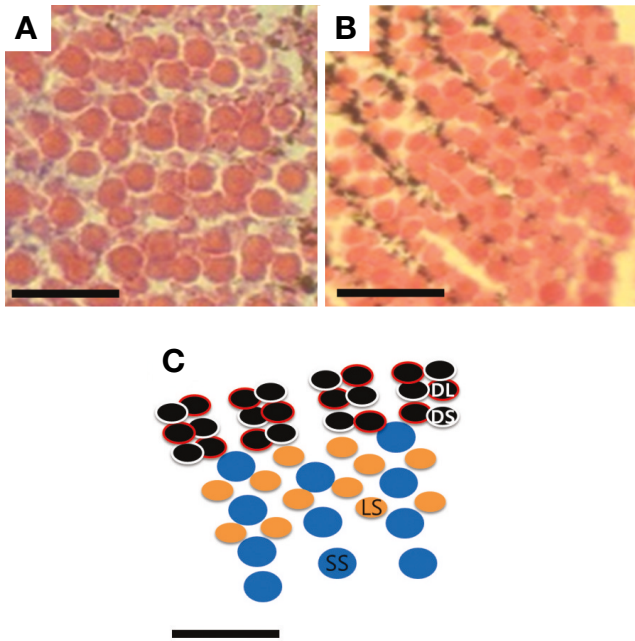


Fig. 2. Transverse section through cone ellipsoids showing a row mosaic pattern in the visual cells (bars = 20 μ m). DL, long double cone cell (black spot with red line); DS, shot double cone cell (black spot with white line); LS, long single cone (orange spot); SS, short single cone cell (blue spot).

흰줄납줄개와 각시붕어 모두 다른 어류와 같이 기본적인 망막구조인 신경연합층을 보유하고 있었다. 시각세포의 핵이 존재하는 외핵층과 전체 망막의 두께를 비교해본 결과, 이 역시 흰줄납줄개가 더 큰 것으로 확인되었다. 눈의 크기가 더 큰 종에서 시각세포들이 크기와 망막 및 외핵층 크기가 더 큰 것으로 사료된다(Hagedorn *et al.*, 1998; Lee and Lim, 2005; Kim *et al.*, 2014). 꺾지(Kim *et al.*, 2014)의 연구와 비교한 결과, 꺾지의 망막은 약 277.8 μ m의 두께였으나 흰줄납줄개와 각시붕어는 각각 284.6 μ m, 252.0 μ m로 더 두꺼운 것을 확인할 수 있었다. 이는 비교적 긴 간상세포와 다양한 종류(긴 단일원추세포, 짧은 단일원추세포, 이형이중원추세포 및 간상세포)로 구성되는 시각세포의 핵층(외핵층)이 두꺼웠기 때문으로 사료된다(Kim *et al.*, 2014). Lyall (1957)은 *Phoxinus laevis*의 시각세포층에서 단일원추세포, 이중원추세포, 삼중원추세포(triple cone cell), 사중원추세포(quadruple cone cell) 등 4가지 형태의 원추세포를 확인하였으며 Collins and MacNichol (1978)은 3종의 어류에서 삼중원추세포(triple cone cell)를 확인하였다. 어류는 물 속이라는 환경에 서식하기 때문에 빛은 수표면의 굴절로 인해 분산된다(Fernald, 1988; Meer van der, 1992). 분산된 다양한 파장대를 흡수하는 여러 종류의 원추세포가 망막에 존재하게 된다고 하였다(Audesirk *et al.*, 2008). 그중 짧은 단일원추세포는 주로 단파장에서 최대 흡수력을 보이며 이중원추세포는 중파장과 장파장에서 최대 흡수력을 갖는다고 알려져 있

다(Marc and Sperling, 1976; Meer van der, 1992). 본 연구에서도 납줄개속 어류는 다양한 시각세포들로 구성된 망막을 보유하고 있기 때문에 수표면에 서식하는 본 종들은 단파장에서부터 장파장의 빛 모두를 수용할 수 있는 것으로 사료된다. 특히 긴 간상세포들이 많이 산재해 있는 것으로 볼 때 빛의 신호가 약한 상황에서도 명암 구별도 가능할 것으로 사료된다.

척추동물에서 간상세포는 낮은 광조건에서 명암을 구별하여 사물을 감지할 수 있다고 알려져 있다. 심해어류에서 다층의 간상세포로만 구성된 시각세포층을 보유하는 종과 간상세포가 매우 발달한 야행성어류에 대하여 확인한 바 있다(George and Robert, 2001; Hirt and Wagner, 2005). 기존의 국내 담수어류 연구(You and Park, 2008; Kim *et al.*, 2014)에서는 간상세포를 확인하지 못하였으나 본 연구에서는 납줄개속 어류 2종의 시각세포층 내 간상세포를 관찰할 수 있었다.

납줄개속 어류 두 종의 시각세포층을 수평절단한 결과, 긴 단일원추세포와 짧은 단일원추세포 및 이형이중원추세포가 규칙적인 배열로 인해 열 배열의 모자이크 형태로 확인되었다. 꺾지와 구피 *Poecilia reticulata*의 패턴은 동형이중원추세포와 짧은 단일원추세포를 보유하기 때문에 사각형의 패턴으로 구성된다(Yvette, 1980; Kim *et al.*, 2014). 잉어목에 속하는 미꾸리는 열 배열로 확인한 바 있다(Kim *et al.*, 2015). 또한 계류에서 서식한다고 알려진 인도의 미꾸리과 어류 3종의 연구에서도 *Nemacheilus beavani*, *N. devdevi*는 정방형 배열로 나타내는 반면에, 비교적 유속이 빠른 곳의 *Balitora brucei*에서는 규칙적인 패턴을 찾을 수 없었다고 보고하였다(Nag and Bhattacharjee, 2002). 이들 배열의 차이는 계통학적 분류군 사이에서 차이를 보인 것으로 사료되나, 위의 Nag and Bhattacharjee (2002)의 결과를 볼 때 같은 미꾸리과 어류에서도 서식하는 환경에 따라 패턴의 배열이 달라질 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구의 납줄개속 두 종은 계통학적 연관성과 이들의 서식환경에 따라 시각세포들이 잘 분화한 결과로 사료된다.

흰줄납줄개와 각시붕어의 시각세포층에는 긴 단일원추세포, 짧은 단일원추세포, 이형이중원추세포와 간상세포가 열 배열로 나타났으며 두 종의 망막구조는 거의 차이를 보이지 않았다. 이러한 특징은 흰줄납줄개와 각시붕어가 어느 정도 유사한 환경에 서식하고 먹이를 먹는 생활패턴도 유사한 결과와 잘 일치하는 것으로 확인되었다. 특히 두 종은 산란시기에 수컷의 몸이 더 화려하게 변하는 혼인색을 띠는 특징을 보유하고 있기 때문에 잘 분화된 시각세포는 산란시기에도 종 특이적이며 다양한 색을 구별할 것으로 사료된다. 따라서 두 종에 대한 시각세포의 미세구조적 연구가 진행된다면 이들의 서식환경과 시각에 관한 상호관계를 명확히 구분할 수 있을 것으로 보인다.

요 약

시각세포는 많은 종에서 알려지지 않았지만 종의 서식환경과 매우 밀접한 연관성을 갖는 것으로 알려져 있다. 이에 흰줄납줄개와 각시붕어 두 종의 시각세포를 광학현미경으로 조사하였다. 두 종의 눈은 비교적 큰 것으로 확인되었다. 신경연합층은 가장 바깥쪽부터 망막색소상피층, 시각세포층, 외핵층, 외망상층, 내핵층, 내망상층, 신경절세포층 등으로 구성된다. 특히 시각세포들이 존재하는 시각세포층을 확인한 결과, 매우 다양한 시각세포들을 보유하고 있었다. 긴 단일원추세포, 짧은 단일원추세포, 길고 짧은 원추세포가 쌍을 이룬 이형이중원추세포와 간상세포로 구성되어 있었다. 이들의 수평단면을 확인한 결과, 열 배열의 형태로 나타났으며 다양한 시각세포 종류와 열 배열을 갖는 특징은 이들의 서식환경과 밀접한 관련성이 있는 것으로 확인되었다.

사 사

본 연구는 “2016년 전북대학교 국립대학 혁신지원사업 박사후연구원” 지원사업에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Audesirk, G., T. Audesirk and B.E. Byers. 2008. *Biology: Life on Earth* 8th edition. Prentice Hall, New Jersey, pp. 817-831.

Collins, B.A. and E.F. MacNichol. 1978. Triple cones found in retinas of 3 fish species. *Cell Mol. Life Sci.*, 35: 106-108.

Fernald, R.D. 1982. Cone mosaics in a teleost retina: No difference between light and dark adapted states. *Experientia*, 38: 1337-1339.

Fernald, R.D. 1988. Aquatic adaptations in fish eyes. In: Atema, J., R.R. Fay, A.N. Popper and W.N. Tavolga (eds.), *Sensory Biology of Aquatic Animals*. Springer Verlag, New York, pp. 435-466.

Frank, R., R.M. Roland and S. Ulrich. 2001. Outer retinal fine structure of the garfish *Belone belone* (L.) (Belonidae, Teleostei) during light and dark adaptation-photoreceptors, cone patterns and densities. *Acta Zool.*, 82: 89-105.

George, C.K. and K.C. Robert. 2001. *Comparative anatomy of vertebrates*. McGraw Hill, New York, pp. 387-454.

Hagedorn, M., A.F. Mack, B. Evans and R.D. Fernald. 1998. The embryogenesis of rod photoreceptors in the teleost fish retina, *Haplochromis burtoni*. *Dev. Brain Res.*, 108: 217-227.

Hirt, B. and H.J. Wagner. 2005. The organization of the inner retina in a pure-rod deep-sea fish. *Brain Behav. Evolut.*, 65: 157-167.

Kim, C.H., J.G. Kim and J.Y. Park. 2015. The structure of visual cells in the retina of the pond loach, *Misgurnus anguilli-*

caudatus (Pisces; Cobitidae). *Applied Microscopy*, 45: 254-258.

Kim, I.S. 1997. *Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea*, Vol. 37, Freshwater Fishes. Ministry of Education, 629pp. (in Korean)

Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. *Freshwater fishes of Korea*. Kyohak Publishing, Seoul, 467pp. (in Korean)

Kim, J.G., J.Y. Park and C.H. Kim. 2014. Visual cells in the retina of the aucha perch *Coreoperca herzi* Herzenstein, 1896 (Pisces; Centropomidae) of Korea. *J. Appl. Ichthyol.*, 30: 172-174.

Lee, M.S. and J.W. Lim. 2005. Comparative study of retinal tissues of Genus *Zacco* and Genus *Pseudogobio* in Korean fish: Possible relationship with prey and habitat. *Korean J. Anat.*, 38: 103-110.

Lyall, A.H. 1956. Occurrence of triple and quadruple cones in the retina of the minnow (*Phoxinus laevis*). *Nature*, 177: 1086-1087.

Lyall, A.H. 1957. Cone arrangements in teleost retinæ. *Quart. J. Micr. Sci.*, 98: 189-201.

Marc, R.E. and H.G. Sperling. 1976. The chromatic organization of the goldfish cone mosaic. *Vision Research*, 16: 1211-1224.

Meer, H.J. van der. 1992. Constructional morphology of photoreceptor patterns in percomorph fish. *Acta Biotheor.*, 40: 51-85.

Monica, R.L. 2001. Morphology of the eye and visual acuities in the settlement-intervals of some coral reef fishes (Labridae, Scaridae). *Environ. Biol. Fish.*, 62: 365-378.

Nag, T.C. and J. Bhattacharjee. 2002. Retinal cytoarchitecture in some mountain-stream teleosts of India. *Environ. Biol. Fish.*, 63: 435-449.

Nicol, J.A.C. 1989. *The eyes of fishes*. Clarendon Press, Oxford, pp. 82-142.

Peter, B.M. and J.C.J. Joseph. 1996. *Fishes: an introduction to ichthyology*. Prentice Hall, New Jersey, pp. 152-156.

Polyak, S. 1957. *The vertebrate visual system*. University of Chicago Press, Chicago, pp. 1-178.

Rossetto, E.S., H. Dolder and I. Sazima. 1992. Doble cone mosaic pattern in the retina of larval and adult piranha, *Serrasalmus spilopleura*. *Experientia*, 48: 597-599.

Thomas, J.L. and W.H. Craig. 2010. Ocular dimensions and cone photoreceptor topography in adult Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Environ. Biol. Fish.*, 88: 369-376.

You, M.J. and J.Y. Park. 2008. Comparative study of the retinal structure in two Korean endemic freshwater fishes, *Zacco koreanus* (Cyprinidae) and *Pseudobagrus koreanus* (Bagridae) based on their habitats. *Korean J. Ichthyol.*, 20: 97-104. (in Korean)

Yuko, N., O. Tadashi, T. Fumio and M. Toshiteru. 1997. Three-dimensional reconstitution of cone arrangement on the spherical surface of the retina in the medaka eyes. *Zool. Sci.*, 14: 795-801.

Yvette, W.K. 1980. Cone mosaics in a teleost retina: Changes during light and dark adaptation. *Experientia*, 36: 1371-1374.