

볼락, *Sebastes inermis* 산출 후 초기 성장 및 눈의 조직학적 발달 특성

박인석[†] · 박혜정 · 길현우 · 구인본

한국해양대학교 해양과학기술대학 해양환경 · 생명과학부

Early Growth and Characteristic of Histological Eye Development in Post Parturition Dark banded Rockfish, *Sebastes inermis*

In-Seok Park[†], Hye Jung Park, Hyun Woo Gil and In Bon Goo

Division of Marine Environment and Bioscience, College of Ocean Science and Technology,
Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

ABSTRACT : Importance of behavior factors or environmental factors in visual organization and visual function of fish is treated with great care in visual ecology, and there is no study about initial ocular growth and development on the dark banded rockfish, *Sebastes inermis*. Thus, this study was performed. The total length, head length, head depth, eye diameter and lens diameter of the dark banded rockfish showed positive allometric relationship between parturition stage and 60 days post-parturition (dpp). The increase in total length relative to head length and head depth, head length growth relative to eye diameter and lens diameter, and head depth growth relative to eye and lens diameter were nearly isometric. The eyes were formed completely at parturition stage. At this age, the eye has 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. Thickness of retina at 60 dpp was higher than that of at parturition stage. During this experiment, the proportion of the rod and cone layer, outer nuclear layer, and optic nerve fiber layer of retina were significantly increased, while the proportion of the outer plexiform layer, inner nuclear layer and ganglion cell layer of retina were significantly decreased ($P<0.05$). The essential demands that must be met by the retina in this species pertain to light sensitivity and spatial resolution.

Key words : Dark-banded rockfish, *Sebastes inermis*, Eye growth, Retinal development

요 약 : 어류의 시각 구조와 시각 기능 연구에 있어서 행동적 요인이나 환경적 요인의 중요성은 시각생태학에서 매우 중요하게 다루어지고 있으며, 볼락, *Sebastes inermis*에 관하여는 아직까지 초기 눈의 성장 및 발달에 관한 발생생물학적 연구가 이루어진 바가 없음을 고려하여 이에 대한 연구를 수행하였다. 볼락의 전장, 두장, 두고, 눈의 직경과 수정체 직경은 산출 직후부터 산출 후 60일까지의 단계에서 양성의 상관관계(positive allometry)를 보여주었다. 전장과 관련된 두장과 두고에서의 증가와, 두고와 관련된 눈의 직경과 수정체 직경의 성장은 거의 동형(isometric)성장을 나타내었다. 눈은 산출 단계에 완전히 형성되었다. 산출 단계의 눈은 시신경 섬유층, 신경절 세포층, 내망상층, 내과립층, 외망상층, 외과립층, 외경계막, 간체, 추체층 및 상피층을 가지며, 산출 후 60일의 망막 두께는 산출 직후의 망막 두께보다 더 크다. 본 실험 기간 동안, 망막의 간체와 추체층의 비율 및 외과립층과 시신경의 비율은 상당히 증가한 반면, 망막의 외망상층과 내과립층, 신경절 세포층의 비율은 현저하게 감소하였다($P<0.05$). 차후, 본 연구에 사용된 볼락 망막에 대한 빛 민감성과 공간 해상력에 관한 부수 연구가 필요하리라 사료된다.

서 론

[†] 교신저자: 박인석, 부산광역시 영도구 태종로 727 한국해양대학교 해양과학기술대학 해양환경 · 생명과학부. (우) 606-791, (전) 051-410-4321, (팩) 051-405-4322, E-mail: ispark@hhu.ac.kr

단행동 및 포식자 회피에 매우 중요한 감각이다(Rodriguez & Gisbert, 2001; Park et al., 2006a, 2006b). 경골어류의 망막 구조는 척추동물의 망막 구조와는 그 구조에 있어 근본적으로 다르지 않으나, 경골어류인 경우는 수많은 종과 매우 다양한 서식지, 행동 및 생활사로 인하여 여타 척추동물과 비교 시 일반적인 망막 구조를 제시하는 것은 상당히 어렵다(Wagner, 1990). 어류의 시각 구조와 시각 기능 연구에 있어서 행동적 요인이나 환경적 요인의 중요성은 시각생태학(visual ecology)에서 매우 중요하게 다루어지고 있다(Walls, 1942; Lythgoe, 1979).

어류의 시각 구조 중 망막에서 일어나는 망막운동 현상은 명순응/암순응에 수반되는 시세포의 움직임으로서, 암순응에서는 간상세포의 외절이 결상면인 외경계막 근체에 모이고, 명순응에서는 원추세포의 외절이 앞쪽으로 나오고, 간상세포의 외절은 뒤쪽으로 들어가 앞으로 나온 원추세포가 빛을 수용하여 광화학 반응을 하는 바 명순응, 암순응 변화에 따른 망막의 광수용체와 뉴런의 구조변화를 연관시킬 시도는 있었으나, 그런 명백한 변화를 찾을 수 없었다(Wagner, 1973). 금붕어, *Carassius auratus*의 간상세포 내에 존재하는 시냅스 띠 옆의 수평세포 말단은 spinule이라고 불리며, 명순응에서 0.3 μm 정도 신장되고, 암순응에서는 대부분이 사라지는 바, 이러한 spinule이 시냅스 구조를 이루는 것을 가능케 하였다(Wagner, 1980). 그리고 밝은 곳에서는 수평세포의 말단마다 12개의 spinule이 복원되었고, 어두운 곳에서는 2개의 spinule만이 복원됨을 확인하였으며, spinule은 경골어류 중에서는 찾을 수 있지만, mudpuppy, *Necturus maculosus*와 거북류를 비롯한 파충류 그리고 포유류에서는 수평세포 말단을 찾을 수 없었다(Wagner, 1980).

볼락, *Sebastes inermis* Cuvier는 분류학적으로 쏨뱅이목(Scorpaeniformes)의 양볼락과(Scorpaenidae)에 속하며, 우리나라의 동해안과 제주도 해역을 포함한 전해역 및 일본 홋카이도 이남에 분포한다. 본 종은 연안 바위 지역에서 10~20마리씩 무리지어 서식하는 난태성 경골어류로서, 11~12월에 0.4~0.5 cm의 자어를 산출한다(Chyung, 1977; Choi et al., 2002). 이러한 볼락은 연안 환경에 강한 경제성 어종으로 양식대상 종으로서의 충분한 가치성이 있고, 또한 그 자원량이 풍부하여 남해안 연안에서는 연중 채집이 가능하며, 그 생태학적 특성상 연안 수역에서의 목장화를 비롯한 자원 조성용 어종으로도 유망하다(Chyung, 1977; Lee & Kim,

1992).

지금까지의 볼락에 관한 연구들로는 정소의 계절적 변화 양상 및 정자형성과정 조사(Mizue, 1958), 연령, 성장 및 성숙에 관한 연구(Mio, 1960), 고미 습성 구멍(Shinomiya & Ezaki, 1991), 성 성숙과 체내 자어 발달과정 파악(Lee & Kim, 1992), 난 발생 과정과 산출 자어 형태 조사(Kim & Han, 1993), 산출 자·치어의 외부 형태 및 골격발달 조사(Kim et al., 1993), 자어의 초기발달 동안 갑상선의 분화 및 발달 조사(Kang et al., 2003), 성분화 및 초기 생식소 발달과정 조사(Choi et al., 2007) 및 아질산의 급성독성 혈액성상, 조직상 조사(Park et al., 2007) 등의 생식학적, 발생생물학적 및 양식생물학적 연구가 이루어진 바가 있어, 조만간 볼락의 완전양식에 의한 양식 산업화 및 종묘 방류와 관리에 의한 그 자원 조성이 기대된다. 본 연구는 우리나라에서 현재까지 양식 대상어류에 대한 논의 초기 성장 및 발달에 관한 연구가 빈어, *Müchthys müüy* 및 전어, *Konosirus punctatus*에서는 이루어진 바 있으나(Park et al., 2006b), 볼락에 관하여는 아직까지 초기 논의 성장 및 발달에 관한 발생생물학적 연구가 이루어진 바가 없음을 고려하여 이에 대한 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

한국해양대학교 수산유전육종연구실의 임해양식장에서 인공종묘 생산된 볼락, *Sebastes inermis*을 산출 직후부터 산출 후 60일까지 4일 간격으로 각 50마리씩 표본하였다. 볼락 사육 수온은 $22\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 이었다.

산출 일수 경과에 따른 성장을 파악하기 위하여 표본된 개체들을 대상으로 전장(total length), 두장(head length), 두고(head depth), 눈의 직경(eye diameter) 및 수정체 직경(lens diameter)을 해부현미경 하의 eyepiece micrometer 및 버어니아캘리퍼(CCD-20CP; Mitutoyo, Kanagawa, Japan)로 0.1 mm 단위까지 측정하였다. 결과된 측정치를 토대로 전장에 대한 두장, 전장에 대한 두고, 두장에 대한 눈의 직경, 두장에 대한 수정체 직경, 두고에 대한 눈의 직경 및 두고에 대한 수정체 직경의 각 상대성장을 조사하였다.

눈의 조직학적 조사를 위하여 표본을 10% 중성포르말린(100 mL formalin, 6.5 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 4.5 g KH_2PO_4 , 900 mL DW)에 고정한 후, Bouin 용액에 1일간 재고정하였

다. 평상의 paraffin 절편법을 사용하여 표본의 두부를 6 μm 두께로 연속절편하였으며, Mayer's hematoxylin과 eosin Y-phloxine B 용액으로 염색하였다. 산출 직후, 산출 후 20 일, 산출 후 40일, 산출 후 60일의 완성된 slide 표본을 광학 현미경(Axioskop, Zeiss, Oberkochen, Germany)으로 검경 하였다. Eyepiece micrometer로 망막(retina)의 두께를 측정 하였으며, Park et al.(2006b)의 방법에 의거하여 망막 두께 에 대한 각 상피층(epithelial layer), 간체와 추체층(rod and cone layer), 외한계막(outer limiting membrane layer), 외과 립층(outer nuclear layer), 외망상층(outer plexiform layer), 내과립층(inner nuclear layer), 내망상층(inner plexiform layer), 신경세포층(ganglion cell layer), 신경섬유층(optic nerve fiber layer)의 두께를 백분율로 나타내었다. 아울러 산 출 직후와 산출 후 60일의 눈 조직상을 광학현미경으로 사진 촬영하였다.

산출 후 사육 일수 경과에 따른 망막 각 구성 요소의 변화 양상을 파악하였으며, one-way ANOVA(SPSS 9.0, SPSS Inc., USA)를 사용하고, Duncan's multiple range test로 검 정하였다. 유의확률은 95% 수준($\alpha=0.05$)에서 이루어졌다.

결과 및 고찰

산출 후 60일까지의 볼락, *Sebastes inermis*의 전장 성장, 두장 성장, 두고 성장, 눈의 직경 성장 및 수정체 직경 성장 결과는 Fig. 1과 같다. 모든 성장은 산출 일수 경과에 따라 직선적인 성장을 보였다. 산출 직후 볼락의 전장, 두장, 두고,

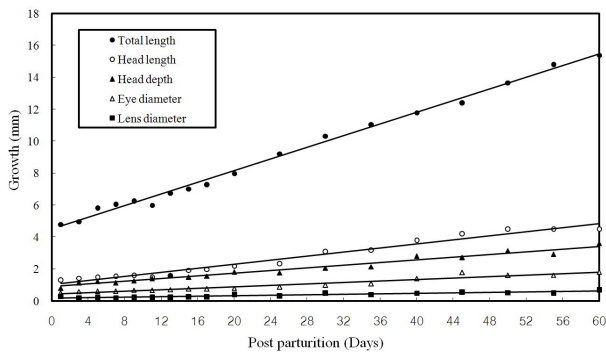


Fig. 1. Early growth of total length, head length, head depth, eye diameter and lens diameter in the dark banded rockfish, *Sebastes inermis*.

눈의 직경, 수정체 직경은 각각 4.8 ± 0.12 mm, 1.3 ± 0.04 mm, 0.8 ± 0.03 mm, 0.5 ± 0.02 mm 및 0.3 ± 0.01 mm이었다. 볼락 의 전장, 두장, 두고, 눈의 직경과 수정체 직경은 산출 후 20 일에 각각 8.0 ± 0.47 mm, 2.2 ± 0.08 mm, 1.8 ± 0.05 mm, 0.8 ± 0.02 mm 및 0.4 ± 0.02 mm이었고, 산출 후 40일에 각각 11.8 ± 0.81 mm, 3.8 ± 0.09 mm, 2.8 ± 0.07 mm, 1.4 ± 0.03 mm 및 0.5 ± 0.02 mm이었으며, 산출 후 60일에 각각 15.4 ± 1.03 mm, 4.5 ± 0.17 mm, 3.6 ± 0.11 mm, 1.8 ± 0.04 mm 및 0.7 ± 0.03 mm이었다.

산출 후 60일까지의 볼락 각 계측치는 양성의 상관관계 (positive allometric relationship)를 보여, 전장과 두장은 $y=0.1868L_T^{1.1798}$, $R^2=0.9541$ (y는 mm 두장, L_T 는 mm 전장)(Fig. 2의 a), 전장과 두고는 $y=0.1738L_T^{1.086}$, $R^2=0.9714$ (y는 mm 두고, L_T 는 mm 전장)(Fig. 2의 b)이었고, 두장과 눈의 직경은 $y=0.4412L_H^{0.8583}$, $R^2=0.9571$ (y는 mm 눈의 직경, L_H 는 mm 두장)(Fig. 3의 a), 두장과 수정체 직경은 $y=0.1536L_H^{0.8362}$, $R^2=0.9766$ (y는 mm 수정체 직경, L_H 는 mm 두장)(Fig. 3의 b)이었으며, 두고와 눈의 직경은 $y=0.533L_{HD}^{0.927}$, $R^2=0.9773$ (y는 mm 눈의 직경, L_{HD} 는 mm 두고)(Fig. 4의 a), 두고와 수정체 직경은 $y=0.1872L_{HD}^{0.8824}$, $R^2=0.9698$ (y는 mm 수정 체 직경, L_{HD} 는 mm 두고)(Fig. 4의 b)이었다. 본 연구에서와 같이 발생초기의 눈 발달시 양성의 상관관계는 Siberian sturgeon, *Acipenser baeri*에서 눈의 성장과 두장에서 그리고 눈의 직경과 두고에서도 나타난 바 있다(Rodriguez & Gisbert, 2001).

경골어류에서 눈은 대부분 성체기까지 지속적으로 성장하 지만, 눈 구성 요소의 시각 특징은 대부분 발생초기에 안정 화 되는 경향을 보임으로서 볼락 또한 산출 직후부터 완전하 게 형성되었다. 전어, *Konosirus punctatus*에서는 수정 후 16시간에 배체에 안포가 형성되었으며, 23시간 후에는 렌즈 가 형성되었고, 수정 후 35시간 이후부터는 렌즈가 착색되기 시작하였다(Kim et al., 2007). 이와 같은 어류에서의 초기 눈의 완성은 종 특이성을 보여 Siberian sturgeon에서 첫 망 막층은 부화 후 3~4일에 출현하고, 부화 후 5~6일에 수정 체가 형성된 바 있으며, 민어, *Miichthys miiuy*에서는 부화 후 14일, 전어, *Konosirus punctatus*에서는 부화 후 9일에 첫 망막층이 형성되었고, 아울러, zebrafish, *Danio rerio*에서는 수정 후 8~9시간에 원시 시세포가 나타나고, 수정 후 36시간 이면 망막의 원기가 나타난 연구가 보고되고 있다(Rodriguez

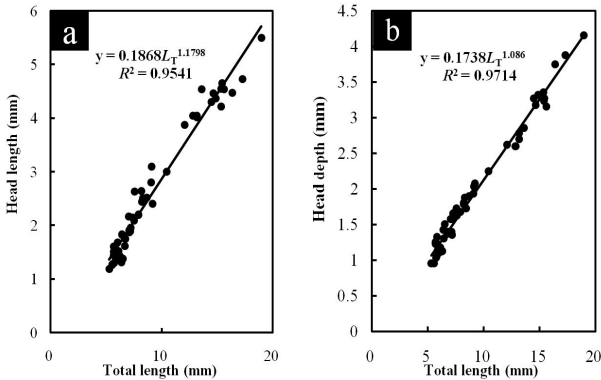


Fig. 2 Relationship between (a) total length and head length and (b) total length and head depth of the dark banded rockfish, *Sebastes inermis*.

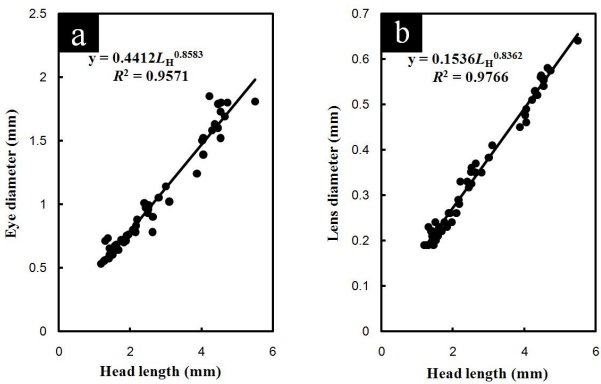


Fig. 3. Relationship between (a) head length and eye diameter and (b) head length and lens diameter of the dark banded rockfish, *Sebastes inermis*.

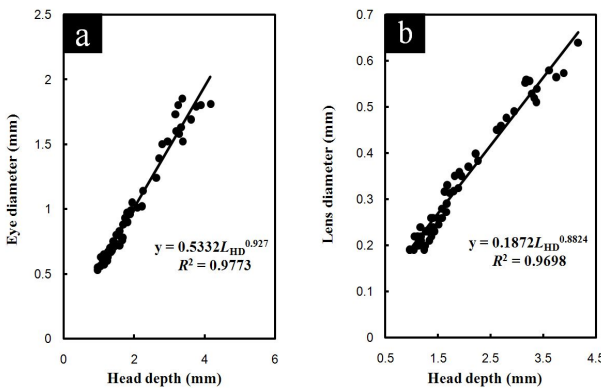


Fig. 4. Relationship between (a) head depth and eye diameter and (b) head depth and lens diameter of the dark banded rockfish, *Sebastes inermis*.

& Gisbert, 2001; Park et al., 2006a, 2006b; Zheng et al., 2000).

볼락에서 완전히 형성된 눈은 10개의 층으로 구성되었다 (Table 1, Fig. 5): (1) 층상의 입방상피초와 유핵섬유세포들로 구성된 수정체; (2) 신경섬유로 이루어진 신경섬유층; (3) 신경세포 핵주위질과 무축삭세포들로 이루어진 신경세포층 (Fig. 5). 신경세포 핵주위질은 뚜렷한 핵을 가지는 큰 세포체인 반면, 신경세포층에는 무축삭세포와는 구별이 어려운 작은 형태의 세포가 존재하였다; (4) 망상조직으로 이루어진 내망상층; (5) 수평세포, 무축삭세포 및 2극 신경세포로 이루어진 내과립층 (Fig. 5). 수평세포는 외망상층에 인접해 망막 표면과는 평행으로 위치하며, 핵으로 쉽게 판별할 수 있다 (Fig. 5). 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) 외망상층은 얇은 망상조직으로 구성되었다; (7) 외과립층; (8) 외한계막은 크고 난형의 장원형인 소적과 핵을 포함하며, 짧게 가늘어지는 외부 부분이 있는 추체광수용체로 구성되었다 (Fig. 5). 광수용체의 외부는 상피층으로부터의 돌출부로 일부 싸여졌다; (9) 간체와 추체층은 2가지 형의 광수용세포인 간체와 추체로 형성되었다. 바깥쪽에 위치하고 원추형이며, 장원형인 섬유상 myoid는 간체에서 호산구

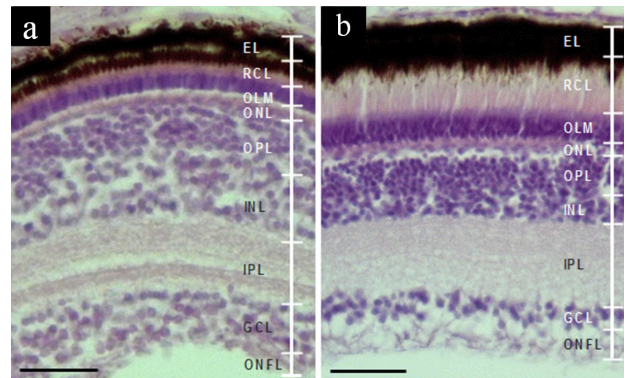


Fig. 5. Light micrograph showing a transverse section of the eye of dark banded rockfish, *Sebastes inermis* at (a) just parturition and (b) 60 days post parturition. Optic nerve fiber layer (ONFL), ganglion cell layer (GCL), inner plexiform layer (IPL), inner nuclear layer (INL), outer plexiform layer (OPL), outer nuclear layer (ONL), outer limiting membrane (OLM), rod and cone layer (RCL), and epithelial layer (EL). Bars are 10 μ m.

Table 1. Thickness in each component layer of retina in dark banded rockfish, *Sebastes inermis* from parturition stage to 60 days post parturition

	Post parturition (Days) ¹			
	0	20	40	60
Thickness of retina (μm)	92.4±3.23 ^a	87.2±4.76 ^a	110.4±6.03 ^b	147.0±9.78 ^c
Thickness of each layer of retina (%)				
Epithelial layer	4.0±0.13 ^a	4.2±0.19 ^{ab}	4.6±0.31 ^b	5.5±0.28 ^c
Rod and cone layer	8.9±0.28 ^a	9.9±0.43 ^b	13.4±0.87 ^c	21.5±1.10 ^d
Outer limiting membrane layer	4.1±0.13 ^a	4.3±0.18 ^a	5.2±0.24 ^{ab}	6.8±0.35 ^b
Outer nuclear layer	2.9±0.09 ^a	3.2±0.13 ^a	3.8±0.19 ^b	5.5±0.28 ^c
Outer plexiform layer	24.9±1.63 ^a	15.6±1.06 ^b	11.5±0.71 ^c	10.5±0.53 ^c
Inner nuclear layer	10.5±0.53 ^a	8.6±0.48 ^b	7.8±0.40 ^{bc}	7.4±0.38 ^c
Inner plexiform layer	21.5±0.69 ^a	22.0±0.81 ^{ab}	23.1±0.98 ^b	25.2±1.30 ^c
Ganglion cell layer	17.0±0.53 ^a	10.1±0.58 ^b	7.9±0.41 ^c	6.6±0.34 ^d
Optic nerve fiber layer	6.2±0.20 ^a	6.6±0.31 ^a	7.7±0.42 ^b	11.0±0.56 ^c

¹Difference among experimental groups is significant at this level. Values in the same column not sharing common super scripts are significantly different ($P < 0.05$). Fifty individuals for each group were used, Means±SD.

로 나타나는 반면, 간체의 핵은 둥글고 호염기성 이었다; (10) 상피층은 단층의 입방세포로 형성되었다(Fig. 5).

Table 1에서 나타난 바와 같이 망막 두께는 산출 후 20일까지는 큰 증가가 없었으나, 산출 후 40일부터는 유의한 증가를 보여 산출 후 60일의 망막 두께는 산출 직후의 망막 두께에 비해 60%의 두께 증가를 보였다($P < 0.05$). 산출 일수 경과에 따라 망막을 구성하는 각 요소들 중 상피층, 간체와 추체층, 외한계막, 외과립층, 내망상층 및 신경섬유층은 유의한 증가를 보인 반면, 외망상층, 내과립층 및 신경세포층은 유의한 감소를 보였다($P < 0.05$). 이러한 양상은 Fig. 5의 a(산출 직후의 망막 구조)와 b(산출 후 60일의 망막 구조)를 서로 비교 시도 잘 반영되고 있다. 이와 유사한 연구가 미꾸라지, *Misgurnus mizolepis*와 미꾸리, *M. anguillicaudatus*에서 보고된 바 있는바, 볼락에서는 외한계막의 발달이 있었으나, 미꾸라지와 미꾸리에서는 외한계막에 대한 발달이 보이지 않았다(Park & Kim, 2000). 부화 후 10개월의 미꾸라지 망막을 이루는 각 층들의 두께를 백분율로 구한 값들 중 간체와 추체층이 38.07±3.76%이고, 부화 후 10개월의 미꾸리에서는 36.00±3.27%으로서, 볼락에서는 특히 내망상층과 간체와 추체층이 발달한 반면, 미꾸라지와 미꾸리에서는 간체와 추체층이 현저하게 발달하였다(Park & Kim, 2000). 부화 일수 경과에 따른 이러한 망막 구성 요소들의 비율 변화는 망

막 구성 요소들의 고유한 기능을 고려시, 어체 초기발생에 따른 생태·생리와 밀접한 연관이 있으리라 사료된다.

산출 직후부터 본 실험 종로시인 산출 후 60일까지 볼락 자어의 눈 세포의 수와 크기는 증가하였으며, 특히 망막 광수용세포와 상피층의 멜라닌의 증가가 현저하였다. 본 연구와 같은 유사한 양상은 Siberian sturgeon에서도 관찰된 바 있다(Rodriguez & Gisbert, 2001). 특정 어류의 망막 구조는 분류학적 기준에 의해 결정되기 보다는 생태학적 및 행동학적으로 기인된 시각 구조상의 기능적 요인에 의하여 결정되는 점을 고려(Wagner, 1973, 1980, 1990; Wagner & Douglas, 1983; Rodriguez & Gisbert, 2001), 차후 본 연구를 기반으로 한 볼락의 빛 민감성과 공간적 해상력에 따른 망막 관련 연구가 부수적으로 필요하리라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국해양대학교의 “2012년도 대외 경쟁력 강화를 위한 연구강화 지원 사업 계획” 연구비 지원에 의해 수행된 연구 결과로, 본 연구 수행시 표본 분석에 도움을 주신 관련 한국해양대학교 수산유전육종학 연구실 연구진들께 감사드립니다. 본 연구는 대한민국 법률 제 9932조의 실험동물에 관한 법률 제 1호에 준수하여 수행되었음을 밝힙니다.

인용문헌

- Choi HJ, Oh SY, Noh CH, Park YJ, Myoung JG, Kim JM, Hur JW, Kim DS, Park IS (2007) Sex differentiation and early gonadogenesis in *Sebastes inermis* Cuvier. *Ocean Polar Res* 30:401-406.
- Choi Y, Kim JH, Park JY (2002) *Marine Fishes of Korea*. Kyo-Hak Publishing Co, Seoul, pp82-86.
- Chyung MK (1977) *The Fishes of Korea*. Il-Ji Sa Publishing Co, Seoul, pp107-108.
- Kang DY, Hong KP, Noh CH, Oh SU, Min BH (2003) Differentiation and development of thyroid gland during early development of larval rockfish, *Sebastes inermis*. *Korean J Ichthyol* 15:241-247.
- Kim KS, Han KH, Lee JH, Lee SH, Kim CC, Ko HJ, Jeong KS (2007) Egg development and morphology of larva and juvenile of the konoshiro gizzard shad, *Konosirus punctatus*. *Dev Reprod* 11:127-135.
- Kim YU, Han KH (1993) The early life history of the rockfish, *Sebastes inermis*. 1. Egg development and morphology of larvae by artificial treatment in aquarium. *Bull Kor Fish Soc* 26:458-464.
- Kim YU, Han KH, Byun SK (1993) The early life history of the rockfish, *Sebastes inermis*. 2. Morphological and skeletal development of larvae and juveniles. *Bull Kor Fish Soc* 26:465-476.
- Lee TY, Kim SY (1992) Reproduction and embryonic development within the maternal body of ovoviviparous teleost, *Sebastes inermis*. *Bull Kor Fish Soc* 25:413-431.
- Lythgoe JN (1979) *The Ecology of Vision*. Clarendon Press, Oxford, pp1-261.
- Mio S (1960) Studies on population biology of coastal fishes in Kyushu. I. Biology of *Sebastes inermis* (Cuvier et Valenciennes). *Oceanogr Works Japan* 5:419-436.
- Mizue K (1958) Studies on a scorpaenous fish *Sebastiscus marmoratus* (Cuvier et Valenciennes). II. The seasonal cycle of mature testis and the spermatogenesis. *Bull Fac Fish Nagasaki Univ* 6:27-38.
- Park IS, Im SY, Hur JW, Jeong GS (2006a) Early growth and development of eye in dotted gizzard shad, *Konosirus punctatus*. *Dev Reprod* 10:93-96.
- Park IS, Kim DS (2000) Comparison of some tissues in diploid and triploid hybrid between mud loach, *Misgurnus mizolepis* and cyprinid loach, *M. anguillicaudatus*. *Dev Reprod* 4:19-28.
- Park IS, Lee JW, Hur JW, Song YC, Na HC, Noh CH (2007) Acute toxicity and sublethal effects of nitrite on selected hematological parameters and tissues in dark-banded rockfish, *Sebastes inermis*. *J World Aquacult Soc* 38:188-199.
- Park IS, Seol DW, Cho SH, Song YC, Choi HJ, Noh CH, Myoung JG, Kim JM (2006b) Morphogenesis of the eye of brown croaker (*Miichthys miiuy*). *Ocean Polar Res* 28:287-290.
- Rodriguez A, Gisbert E (2001) Morphogenesis of the eye of Siberian sturgeon. *J Fish Biol* 59:1427-1429.
- Shinomiya A, Ezaki O (1991) Mating habits of the rockfish, *Sebastes inermis*. *Environ Bio Fish* 30:15-22.
- Wagner HJ (1973) Darkness-induced reduction of the number of synaptic ribbons in fish retina. *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 structure of fishes. In: *The Visual System of Fish*. Douglas R. and M. Diamgoz, eds. Chapman and Hall, London, pp109-157.
- Wagner HJ, Dougals 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, pp1-302.
- Zheng LI, Lancy M, Joseph NM, Stephen S (2000) The Morphogenesis of the zebrafish eye, including a fate map of the optic vesicle. *Dev Dynamics* 218:175-188.

(Received 29 February 2012, Received in revised form 17 March 2012, Accepted 21 May 2012)