

## 농어 (*Lateolabrax japonicus*) 아가미의 형태와 미세구조

강 충 배, 김 진 구<sup>1</sup>, 김 재 원<sup>2,\*</sup>

한국해양수산연구원, <sup>1</sup>부경대학교 자원생물학과, <sup>2</sup>강원도립대학 해양생명과학과

### Morphology and Ultrastructure of Gill for *Lateolabrax japonicus*

Chung Bae Kang, Jin Koo Kim<sup>1</sup> and Jae Won Kim<sup>2,\*</sup>

Korea Ocean and Fisheries Institute, Daeyeon-3-dong, Nam-gu, 506-604, Korea

<sup>1</sup>Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

<sup>2</sup>Marine Life-Science, Gangwon Provincial College, Gangneung 210-804, Korea

(Received November 3, 2009; Accepted December 27, 2009)

#### ABSTRACT

Morphology of the gill in *Lateolabrax japonicus* was investigated after staining the gill, as a result, we found the gill is composed of gill raker, gill arch, gill filament and gill lamellae. The number of gill raker was 7~10 in the upper and 13~18 in the lower.

Ultrastructure of the gill in *Lateolabrax japonicus* were examined by means of the light and transmission electron microscopes. The gill have primary filament and secondary filament (lamellae). The following cells are identified and described: pavement cell, pillar cell, blood cell, mucose cell and chloride cell etc.

Simple epithelial layer consists of squamous epithelium contained large nucleus, intracellular organelles etc. and the surface is covered with some of microridges. The lamella pillar structures are characterized by the axial microtubules and lateral membrane interdigitations. The mucous cells were globular in shape, and had almost the mucous granules of same size with various electron density. Chloride cells contain a lot of mitochondria and specifically developed tubular systems.

**Keywords** : Gill, Morphology, Ultrastructure, Sea bass, *Lateolabrax japonicus*

#### 서 론

어류의 생활사동안 수중에 적응하기 위하여 다른 부속 호흡기관(피부, 인후실, 창자 등)을 가질지라도 대부분 경골어류들의 주요 호흡기관은 아가미를 사용하였다(Genten et al., 2009). 일반적으로 어류의 호흡은 피부와 아가미를 통하여 이루어지며, 아가미에서 훨씬 높은 호흡기능을 담당한다. 뿐만

아니라 아가미는 호흡 및 질소노폐물 배설의 중추적인 역할을 수행하며, 다른 기관에 비해 그 표면적이 넓기 때문에 환경변화에 가장 민감하게 반응하는 부위로 알려져 있다(Lee et al., 1997).

연안에서 염분변화는 계절에 따라 다르며, 비록 짧은 기간 동안 염분의 변화에 노출되었다할지라도 반응은 생물의 종류에 따라 다르게 나타난다. 특히 여름철 집중호우 시에는 염분의 변화가 심각하므로 연안에서 양식되고 있는 양식생물의

\* Correspondence should be addressed to Jae Won Kim,

, E-mail: kjwol@hanmail.net

생산량에 피해를 주고 있다. 염분급변은 어체의 생리반응에 큰 영향을 미치는 요인이 되며, 삼투압 조절에 영향을 미침으로써, 이온과 수분 평형의 혼란, 스트레스 등을 유발한다고 알려져 있다(Min et al., 2003). 현재 내수면 어류 양식의 활성화 방안으로 해산어류를 담수로 순화시키는 연구가 활성화 되고 있다(Hur et al., 2001; Min et al., 2005; Kim et al., 2009)

농어속(*Lateolabrax*) 어류는 농어목(Perciformes), 농어아목(Percoidae), 농어과(Moronidae)에 속하는 어류로서 한국, 중국, 대만 및 홋카이도 이남의 일본 연안에 널리 분포한다(Nakabo, 2002; Nelson, 2006). 농어(*Lateolabrax japonicus*)는 한국, 일본 및 중국 등지에서 중요한 식량자원으로 평가받고 있으며, 최근 국내에서도 주요 양식대상 종으로 연구가 활발히 진행되고 있다(Kang et al., 2001; Kang et al., 2002; Han et al., 2003; Kang et al., 2004). 최근 양식 생산고를 올리기 위한 일환으로 염분변화에 대한 농어의 중요한 호흡기관인 아가미의 반응기작을 파악하는 데 아가미 미세구조에 대한 연구는 필요하나 아직 미세구조에 대한 정확한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 농어의 아가미 구조에 대한 기초자료를 얻기 위하여 광학현미경과 투과전자현미경을 이용하여 미세구조를 조사하고자 하였다.

## 재료 및 방법

연구에 사용한 실험 어종은 전장 45.0 cm 내외의 농어 10 개체를 사용하였고, 채집된 재료는 연수절단 방법으로 희생시킨 후 아가미를 적출하였다. 새파 표본을 관찰하기 위하여 Kawamura & Hosoya(1991)의 개량 2중 염색법 중 변형된 경골염색 방법을 사용하였으며, 해부현미경(SMZ-10, NICON, Japan)으로 관찰하였다.

광학현미경용 조직표본의 경우 파라핀으로 포매된 조직을 4~6  $\mu\text{m}$ 으로 세절하여 Mayer's hematoxylin과 0.5% eosin(H-E)으로 이중염색하여 광학현미경(BA400, MOTIC, China)으로 관찰하였다.

투과전자현미경(TEM)의 조직표본 제작은 적출한 아가미 조직을 1 mm<sup>3</sup> 내외 크기로 얇게 자른 후 0.1 M phosphate buffer(pH 7.2)로 완충시킨 2.5% glutaraldehyde 용액으로 4°C에서 2~4시간 동안 전고정 하였다. 고정된 조직 절편은 phosphate buffer로 약 10분간 충분히 세척한 후 1% osmium tetroxide(O<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)로 4°C에서 2시간 동안 후고정 하였다. 고정이 끝난 조직은 0.1 M phosphate buffer로 세척하고 ethanol을 이용하여 실온에서 15분 간격으로 단계별로 탈수한 후 Epon 812에 포매하였다. 포매된 조직을 초박절편으로 만들어 uranylacetate와 lead citrate로 이중전자염색하여 투과전자현미경(JEM-1200EXII, JEOL, Japan)으로 관찰하였다.

## 결과 및 고찰

농어의 아가미를 광학현미경과 투과전자현미경으로 관찰한 결과는 다음과 같다. 농어 아가미는 새파(gill racker), 새궁(gill arch), 새엽(gill filament) 및 새판(gill lamellae) 등으로 구성되어 있었고(Fig. 1, 2). 새파 수는 위쪽 새파수의 경우 7~10개(주로 9~10개, 평균 81.0%), 아래쪽 새파수는 13~18개(주로 15~16개, 평균 66.6%)로 조사되었다. 농어의 새파는 길고 그 수도 다소 많이 형성되어 있는 특징을 나타내는데 새파가 형성된 기부, 즉 새궁의 바깥쪽 각새골 부위에 독립된 작은 골판 조각이 형성되어 있으며, 삼각형에 가까운 형태를 보였다. 안쪽 각새골 부위에 형성된 골판 조각은 호리병 형태를 나타내며 기저부는 좁은 것으로 관찰되었다. Lee et al.(1998)은 하스돔속 3종의 새파를 비교한 결과, 가장 소형종의 새파가 나머지 중형종보다 가늘고 길어 플랑크톤 섭이에 용이할 것이라고 하였다. 본 연구에서 농어의 새파수는 적지만 형태적으로 가늘고 길어 육식성이면서 오히려 잡식성에 더 가까운 특징을 보이는데, 이러한 결과는 Huh et al.(2009)의 연구 결과와 유사한 것으로 나타났다.

한편, 다양한 세포가 존재하는 아가미 주요부위의 새엽과 새판(이차새엽)을 광학현미경과 투과전자현미경에서 관찰한 결과는 다음과 같다.

농어 아가미는 새궁 외연의 앞 뒤 2열로 된 긴 점막성의 빗살과 같은 모양으로 줄지어 있는 많은 수의 새엽을 가지고 있으며, 각 새엽은 전후 두개의 새판이 근접하여 두열로 배열되어 있었다. 농어의 새판은 pavement 세포, 기둥세포(pillar cell), 혈구세포, 점액세포(mucose cell) 및 염류세포(chloride cell) 등으로 구분되었다(Figs. 3-4). 아가미는 좌우 4쌍의 아가미궁으로 구성되며, 각각에서 여러 개의 일차 증판이 그리고 각각의 일차 증판으로부터 좌우로 이차 증판이 돌출된 구조로 호흡상피의 평면이 확장된 구조적 특징을 갖는데, 이 호흡 증판구조가 직접 그리고 계속해서 서식수의 흐름과 맞닿게 되므로 서식수의 변화로 인해 영향을 받은 세포는 즉시 재생된다고 알려져 있다(Mallat, 1985; Kang et al., 1996).

새판의 표면에서 pavement 세포는 단층으로 큰 핵을 가진 편평상피로 구성되었으며, 미토콘드리아, 조면 및 활면소포체, 골지체, 다양한 전자밀도로 구성된 vesicle, 그리고 세포내 소기관을 가지고 있었다(Figs. 5-6). 상피세포 바깥쪽의 자유면에서는 다수의 미세융기(microridge)들이 발달되어 있고, 이들 미세융기의 표면은 미세한 섬유상 막인 glycolyx로 덮여 있었다(Fig. 7). 새판의 기둥세포는 세로 방향의 미세소관들과 측면 membrane interdigitation을 가지고(Fig. 8) 핵 내에 과립성의 전자밀도가 높은 혈구세포(Fig. 9)가 기둥세포와 일정한 간격으로 나타났다. 어류 아가미 이차

새변의 표면에 나타나는 미세융기는 호흡면적의 증가와 분비점액의 흐름 및 부착을 돕는다(Huh, 1993). 이러한 기능은 어류 피부의 요철형태의 미세융기가 외상이나 기계적 자극에 대한 생물학적 방어 기능과 점액세포에서 분비된 점액물질을 어류의 체표에 유지시켜줌으로써 물과의 마찰력을 감소시켜 유영력을 높이는 구조와 유사하다. 이것은 미세융기의 표면에 실모양의 glycoalyx가 덮고 있어 세균, 기생충 또는 곰팡이와 같은 이물질에 대한 인지 능력에 관여하는 것으로 보고된 바(Park et al., 1995), 농어 새판에서 나타나는 미세융기도 이러한 유사한 기능을 하는 것으로 생각된다. 새판 상피(표면의 90% 이상)를 덮고 있는 가장 풍부한 세포형태는 pavement 세포 또는 호흡세포로 알려져 있고(Genten et al., 2009), 기동세포는 어류 아가미에서 공통적으로 나타나는 특이적 구조이며 다른 어떠한 척추동물에서 가지고 있지 않은 것이다(Hoar & Randall, 1984). 가스교환에 관계되는 부분은 주로 pavement 세포와 기동세포이다. 이들 세포의 얇은 세포질테(cytoplasmic extension)가 환경수와 혈액간의 가스교환장소가 되며 일정한 호흡거리를 갖는다. 이 같이 구성된 이차 새판의 두께는 혈압과 호흡수압의 변동에 의하여 일정하게 유지된다고 하였다(Huh, 1993).

점액과립을 가진 점액세포는 구형이고 다양한 전자밀도를 가진 거의 같은 크기의 점액과립을 가지고 있었으며, 새판에는 드문드문 나타났지만 새엽에 많이 분포하고 있는 것으로 관찰되었다(Fig. 10). 어류의 아가미는 포유류의 호흡기도와는 달리 수서환경에서 가스 교환을 하기 때문에 수중에 있는 여러 가지 이물질, 세균 및 각종 화학적 자극에 대해서 아가미를 보호하는 구조적, 기능적 장치를 가지고 있다. 보호 장치 중에서 어류 점액세포는 아가미 상피 표면에 점액물질을 분비하여 점액층을 형성하는 세포로서 아가미 상피와 외계 환경수와의 사이에서 방어적 기능을 하며(Jakowska, 1963), 그리고 이 점액층을 통하여 이산화탄소와 암모니아 배설, 이온조절과 가스교환을 수행할 수 있다(Handy & Eddy, 1991). 조피볼락에서 드물게 나타나는 점액세포와 다수의 rodlet 세포(Kim & Baek, 2004), 넙치 아가미에서 많이 분포하는 점액세포와 드문 드문 존재하는 rodlet 세포(Kim & Baek, 2004a)와는 다르게 농어 아가미의 새판에서는 돌돔 아가미(Kim & Baek, 2004b)와 비슷하게 rodlet 세포가 거의 없이 점액세포가 다수 분포하는 것은 종의 특성 또는 서식지가 다른 데서 오는 것으로 생각된다.

염류세포는 타원형으로 H-E 염색 표본에서 모두 공포상으로 관찰되었다. 이들은 새엽과 새판 기부와 새판의 상피세포 사이에 주로 분포하고 있었으며 핵 내부의 일부와 핵막 주변을 따라 전자밀도가 높은 이질 염색질이 존재한다. 세포질에는 기저의 핵과 밀집된 세포질 소낭, 확장되고 분리된 크리스테가 발달된 미토콘드리아가 대부분을 차지하고 있으며, tubular system이 전반적으로 고루 분포하였다(Fig. 11). 경골

어류에서 아가미 이온교환의 주요 세포는 염세포이다. 염세포는 일차와 이차 새판 사이의 교차점에서 관찰되며(Genten et al., 2009), 해산경골어류에서  $\text{Na}^+$ 와  $\text{Cl}^-$ 을 배설하는 곳으로서(Payan et al., 1984), 삼투조절 기능에 중요한 역할을 담당하고 있다(Keys & Willmer, 1932). Kang et al.(1996)과 Yoon(2000)은 담수와 해수에 서식하는 개체의 아가미 미세구조를 Type I과 Type II의 2가지 형태: Type I의 특징은 전형적인 담수에 서식하는 개체에서 발견되는 것으로서 전자밀도와 미토콘드리아의 수가 적은 세포질 구조를 가진 세포로 구성되어 있고, Type II의 특징은 전형적인 해수에 서식하는 개체로서 길고 타원형의 미토콘드리아를 갖는 세포질로 구성된 세포를 가진다고 보고하였다. 본 연구의 농어는 조피볼락(Kim & Baek, 2004), 넙치(Kim & Baek, 2004a) 및 돌돔(Kim & Baek, 2004b)과 마찬가지로 전형적인 해산어류로 Type II의 형태를 가지는 것으로 확인되었다.

## 참 고 문 헌

- Gneten F, Terwinghe E, Danguy A: Atlas of fish histology. Science Publishers: pp. 104-110, 2009.
- Han HK, Kang DY, Jun CY, Chang YJ: Effect of salinity change on physiological response and growth of yearling sea bass, *Lateolabrax japonicus*. J Aquaculture 16(1) : 31-36, 2003.
- Handy RD, Eddy FB: The absence of mucus on the secondary lamellae of unstressed rainbow trout, *Oncorhynchus mukiss* (Walbaum). J Fish Biol 38 : 153-155, 1991.
- Hoar WS, Randall DJ: 1984. Fish physiology, volume X (part A). Gills. Academic Press Inc., 456pp
- Huh MD: The histological structure and the pathological lesions of gill in teleosts. J Fish Pathol 6(1) : 65-70, 1993.
- Huh SH, Park JM, Park SC, Jeong DJ, Park CI, Baek GW: Feeding habits of *Lateolabrax Japonicus* in the Coastal Waters off Dolsan-do, Yeosu. Korean J Ichthyol 21(1) : 23-27, 2009.
- Hur JW, Chang YJ, Kang DY, Lee BK: Changes of gill tissue and body composition of juvenile grey mullet (*Mugil cephalus*) and Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) to the sharp salinity change in a recirculating rearing system. J Korean Fish Soc 34(1) : 51-56, 2001.
- Jakowska S: Mucus secretion in fish-a note. Ann NY Acad Sci 106 : 458-462. 1963.
- Kang DY, Han HK, An CM: Reproductive cycle of seabass, *Lateolabrax japonicus*. Korean J Ichthyol 13(3) : 201-209, 2001.
- Kang DY, Han HK, Baek HJ: Monthly gonadal and sex hormonal changes of indoor-reared seabass, *Lateolabrax japonicus* during annual reproductive cycle. J Korean Fish Soc 35(6) : 614-620, 2002.
- Kang DY, Han HK, Jun CY: Influence of water temperature on growth of yearling sea bass, *Lateolabrax japonicus* in indoor tank. J Aquaculture 17(4) : 240-245, 2004.

- Kang WS, Moon YH, Han JW, Kim HH: Apoptosis in chloride cells of killifish (*Orizias latipes*) gills adapted to the seawater. Korean J Electron Microscopy 26(3) : 369-377, 1996.
- Kawamura K, Hosoya K: A modified double staining technique for making a transparent fish-skeletal specimen. Bull Nat'l Res Inst Aquacul 20 : 11-18, 1991.
- Kim JW, Baek GW: Ultrastructural study on the gill of the olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Teleostei: Pleuronectidae). Korean J Ichthyol 16(2) : 135-140, 2004a.
- Kim JW, Baek GW: Ultrastructural of the gill of the parrot fish, *Oplegnathus fasciatus*. Korean J Electron Microscopy 34(2) : 139-143, 2004b.
- Kim JW, Baek HJ: Study on the gill lamellae of the rockfish, *Sebastes schlegeli* (Teleostei: Scorpaenidae). Korean J Ichthyol 16 (4): 295-300, 2004.
- Kim YS, Do YH, Min BH, Lim HK, Lee BK, Chang YJ: Physiological responses of starry flounder *Platichthys stellatus* during freshwater acclimation with different speeds in salinity change. J Aquaculture 22(1) : 28-33, 2009.
- Lee JU, Kim YU, Baik CI, Kim JB, Kim JK, Hwang SJ: Feeding structures of three species in the Genus *Pomadasyidae*, Pisces) from the Arafura sea of Indonesia. Korean J Ichthyol 10(1) : 32-39, 1998.
- Lee YC, Chang YJ, Lee BK: Osmoregulation capability of juvenile grey mullets (*Mugil cephalus*) with the different salinities. J Korean Fish Soc 30 : 216-224, 1997.
- Mallat J: Fish gill structural changes induced by toxicants and other irritants: a statistical review. Can J Fish Aquat Sci 42 : 630-648, 1985.
- Min BH, Choi CY, Chang YJ: Comparison of physiological conditions on black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* acclimated and reared in freshwater and seawater. J Aquaculture 18 : 37-44, 2005.
- Min BH: Physiological responses of black seabream, *Acanthopagrus schlegeli* to freshwater acclimation. Master thesis, Pukyong National University, Busan, Korea, 55p, 2003.
- Nakabo T: Introduction of ichthyology. In: Nakabo, T (ed), Fishes of Japan with pictorial keys to the species, English ed Tokai Univ Press Tokyo: pp. xxi-xlii, 2002.
- Nelson JS: Fishes of the world, 4th ed John Wiley & Sons, New York: pp. 1-601, 2006.
- Park IS, Kim JJ, Jo UB, Park SO: Fine structural changes in the eel epidermis according to sea water adaptation. I. Epithelial cell. Korean J Zool 38 : 26-37, 1995.

### < 국문초록 >

농어 아가미는 새파, 새궁, 새엽 및 새판으로 구성되어 있었다. 위쪽 새파수는 7~10개이며, 아래쪽 새파수는 13~18개로 조사되었다. 농어 아가미의 주요부위인 새엽과 새판(이차새엽)을 광학현미경과 투과전자현미경에서 관찰한 결과는 다음과 같다.

농어 아가미는 새궁(gill arch) 외연의 앞 뒤 2열로 된 긴 점막성의 빗살과 같은 모양으로 줄지어 있는 많은 수의 새엽(gill filament)을 가지고 있으며, 각 새엽은 전후 두개의 새판(gill lamellae)이 근접하여 두 열로 배열되어 있었다. 농어의 새판은 pavement cell, 기둥세포(pillar cell), 혈구세포, 점액세포(mucose cell) 및 염류세포(chloride cell) 등으로 구분되었다. 새판의 표면은 단층으로 큰 핵을 가진 pavement 세포로 구성되며, 상피표면의 glycocalyx로 덮혀진 미세융기를 가진다. 그리고 새판은 기둥세포와 혈구세포와 일정한 간격을 두고 분포하고 있었다. 점액세포는 새판에 드문드문 나타났지만 새엽에 많이 분포하고 있으며, 염류세포는 미토콘드리아와 tubular system이 잘 발달되어 있었다.

### FIGURE LEGENDS

**Figs. 1-3.** Photomicrographs of the gill of the sea bass, *Lateolabrax japonicus*. Fig. 1. The external feature of gill inside. Gf, gill filament; Gl, gill lamellar; Gr, gill racker. Fig. 2. Longitudinal section of H-E stain showing the gill arch (Ga), gill filament (Gf), and gill lamellae (Gl). Fig. 3. Longitudinal section of H-E stain. Gill lamellae consists of the pavement cell (Pvc), pillar cell (Pc), blood cell (Bc), mucous cell (mc), and chloride cell (Cc).

**Figs. 4-11.** Electron micrographs of the gill of the sea bass, *Lateolabrax japonicus*. Fig. 4. Longitudinal section of TEM showing pavement cell (Pvc), pillar cell (Pc), and blood cell (Bc) in gill lamellae. Fig. 5. Nucleus of pavement cell in the gill lamellar. N, nucleus. Fig. 6. Pavement cell. Note the mitochondria (Mt), vesicles (V) and intracellular organelles. Fig. 7. Microridges covered with glycocalyx (Gc) of the pavement cell. Fig. 8. Pillar cell (Pc) has electron-dense nucleus and intracellular organelles. Fig. 9. Blood cell of the gill lamellar. Nm nucleus. Fig. 10. The numerous mucous cell. Note numerous membrane-bounded secretory granules (Sg). Fig. 11. Chloride cell (Cc). Note numerous mitochondria (Mt), some tubular system (T) and nucleus (N).





