

젯방어, *Seriola dumerili* 피부계의 전자현미경적 구조

진 영 국* · 이 재 우 · 이 정 식

여수대학교 수산생명의학과

Ultrastructure of the Integumentary System of the Amberjack, *Seriola dumerili* (Teleostei: Carangidae), from Korea

Young Guk Jin*, Jae Woo Lee and Jung Sick Lee

Department of Aqualife Medicine, Yeosu National University, Yeosu 550-749, Korea

Integumentary structure of the amberjack, *Seriola dumerili*, was examined by light and transmission electron microscopy. Integument of the amberjack consists of epidermal and dermal layers. The epidermal thickness is about 28.32 μm . The epidermal layer could be classified into superficial, intermediate, and basal layers by morphology and position of the supporting cells. Secretory cells of the epidermal layer were classified into mucous cells and club cells in the amberjack. Mucous cells contained acidic mucous and were alcian-blue positive with AB-PAS (pH 2.5) reaction. The club cells contained well-developed rough endoplasmic reticula and large central vacuole. Also, filament-rich cells were identified in the epidermal layer. The dermal layer consists mainly of collagenous fiber, and it contains fibrocytes and pigment cells. The cytoplasm of fibrocyte had a well-developed rough endoplasmic reticulum. The pigment cells contained electron-dense melanin granules.

Key words : Amberjack (*Seriola dumerili*), Ultrastructure, Integumentary system

서 론

어류의 피부계에 관한 연구들은 그 구조 및 구성세포들이 종, 연령, 생활환경, 그리고 이들의 생리적 상태에 따라 매우 다양하지만, 대상 종들이 주로 육상과 인접한 곳에 서식하는 어류에 국한되어 있고 (Downing and Novales, 1971; Burton and Everard, 1991; Berra and Humphrey, 2002), 외양성 경골어류에 대해서는 고등어 피부계의 미세구조에 관한 보고(이와 진, 2005) 외에는 주로 분포, 생식 및 운동성과 연관된 근육의 형태와 기

능 (Johnston and Brill, 1984; Belyaev and Rygalov, 1986; Micale *et al.*, 1999) 등이 주를 이루고 있어 전반적인 어류 피부계를 말하기에는 무리가 있다.

따라서 본 연구는 젯방어, *Seriola dumerili*를 대상으로 이들 피부계의 미세구조를 밝힘으로서, 추후 어류의 다양한 피부계를 고찰하거나 또는 서식환경에 따른 구조적 차이점을 구명하는데 있어 그 기초 자료를 제공하고자 하였다. 젯방어는 농어목 전갱이과에 속하는 경골어류로서 주로 먼 바다에 서식하며, 체고가 비교적 낮고 몸이 긴 방추형으로 우리나라 전 연안, 열대와 아열대 지역에 분포한다(김과 강, 1993).

*Corresponding author: jyg4j@hanmail.net

재료 및 방법

본 실험에 사용된 젯방어는 2003년 6~8월 사이에 여수 인근 해역에서 정치망으로 채집한 전장 50.0~55.0 cm의 개체들이며, 15개체를 시험에 이용하였다. 채집 즉시 현장에서 아가미 뚜껑 뒤의 등쪽 피부조직을 절취하여 고정하였다. 광학현미경 조직표본은 Bouin's fluid에 고정 후 파라핀 절편법으로 두께 4~5 µm의 횡단면으로 제작하였으며, Mayer's hematoxylin-eosin (H-E) 비교염색, Masson 삼중염색, alcian blue-periodic acid-Schiff's solution (AB-PAS, pH 2.5) 반응, aldehyde fuchsin-alcian blue (AF-AB) 반응을 실시하였다. 조직화학적 반응 결과 점액세포의 염색 친화도 판정은 Pantone® Formula Guide (Pantone Inc., USA)를 기준으로 하여 고유번호를 괄호()안에 표시하였다.

투과전자현미경 (TEM) 조직표본 제작은 피부조직을 0.1 M phosphate buffer (pH 7.2)로 완충시킨 2.5% glutaraldehyde 용액으로 전 고정 후 1% osmium tetroxide (O₅O₄)로 4°C에서 2시간 동안 후 고정하였다. 고정이 끝난 조직은 탈수하여 Epon 812에 포매하였다. 포매된 조직은 두께 0.5 µm의 semithin section 후 70 nm의 ultrathin section을 하였다. Ultrathin section은 uranyl acetate와 lead citrate 용액으로 이중 염색하여 투과전자현미경 (JEM-1200EXII, JEOL)으로 관찰하였다.

피부 상피층 및 기저막의 두께, 상피층에 대한 상대적 기저막의 두께 및 상피층에 대한 분비세포들의 분포 비

율을 조사하기 위하여 화상분석장치 (IMT, Visus, U.S.A)를 사용하였다.

결 과

1. 광학현미경적 구조

젯방어의 피부계는 외부로부터 상피층과 진피층으로 이루어져 있었다. 상피층은 5~7층의 세포층으로 된 다층구조로서 지지세포와 분비세포들이 분포하고 있었다. 지지세포는 가장 바깥쪽에서부터 표면세포, 중간세포 그리고 기저막에 인접한 기저세포들로 이루어져 있었고 (Fig. 1A), 분비세포들은 점액세포와 곤봉상세포가 피부 상피층의 중·상층부에 주로 분포하고 있었다. 점액세포는 AB-PAS (pH 2.5) 반응에서 alcian blue에 푸른색 (2935C)으로 반응하였으며, 곤봉상세포는 공포상으로 관찰되었다 (Fig. 1C). AF-AB 반응에서 점액세포는 aldehyde fuchsin과 alcian blue가 혼재된 짙은 보라색 (268C)으로 관찰되었고, 곤봉상세포는 AB-PAS (pH 2.5) 반응과 마찬가지로 공포상으로 관찰되었다 (Fig. 1D). 진피층은 Masson 삼중염색에서 aniline blue에 의해 푸르게 나타나는 교원섬유로 구성되어 있었고, 기저막 아래쪽에 색소세포가 분포하고 있었으며, 비늘이 관찰되었다 (Fig. 1B).

상피층과 기저막의 두께는 각각 28.32 µm, 0.67 µm로 조사되었고, 상피층에 대한 상대적 기저막의 두께는 2.63%, 상피층에 대한 분비세포들의 분포비율은 8.63%

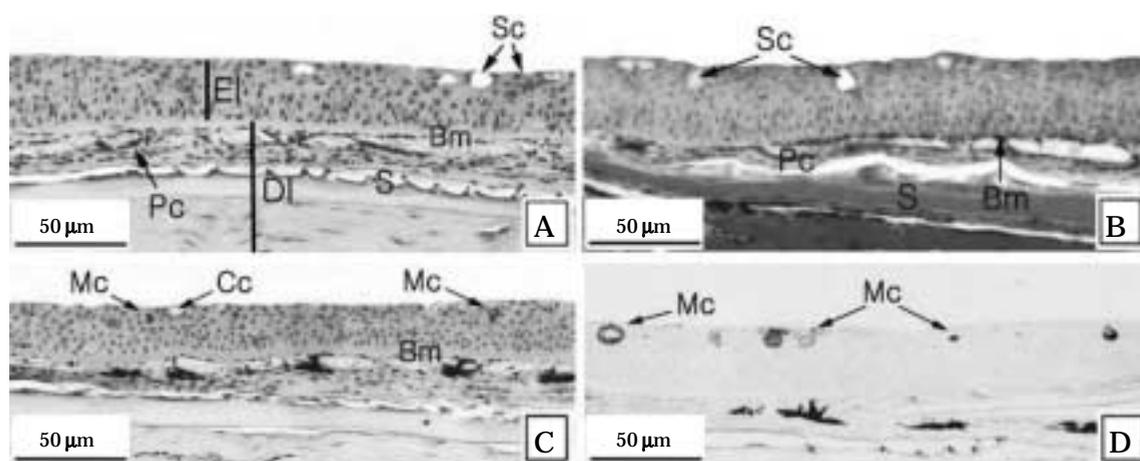


Fig. 1. Histology on the integumentary system of the amberjack, *Seriola dumerili*. A: H-E section showing the integumentary structure. B: Section of Masson's trichrome stain showing the vacuolar secretory cells of the epidermal layer. C: Section of AB-PAS reaction showing the acidic mucous cells. D: Section of AF-AB reaction showing the mucous cells of mixed carboxylated and sulfated mucosubstance. Bm: basal membrane, Cc: club cell, Dl: dermal layer, El: epidermal layer, Mc: mucous cell, Pc: pigment cell, Sc: secretory cell.

로 조사되었다.

2. 미세구조

젯방어 피부 상피층을 구성하는 표면세포는 상피층의 가장 바깥쪽에 난형의 형태로 위치하고 있었으며, 높이 300~400 nm의 잘 발달된 미세융기(microridge)들이 바

깎쪽의 자유면을 따라 뚜렷한 요철형태로 배열되어 있었다. 핵은 불규칙한 형태로 세포질의 중부에서 하부에 걸쳐 대부분을 차지하고 있다. 표면세포와 표면세포 사이의 원형질막에서는 폐쇄대(zonula occludens), 접착대(zonula adherens), 접착반(desmosome) 그리고 수지상 막구조(membrane interdigitation) 등의 세포간 결합구

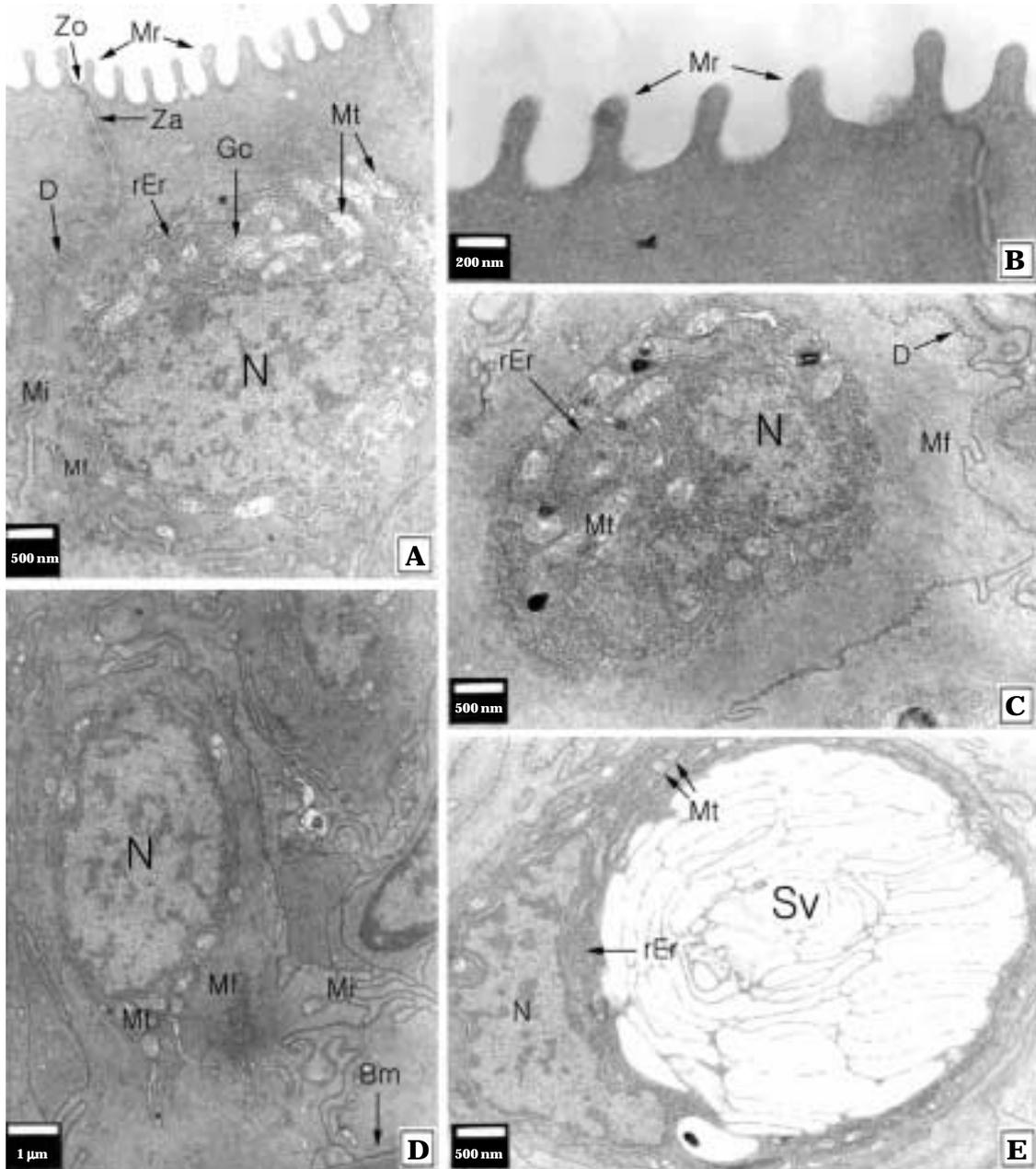


Fig. 2. Ultrastructure on the integumentary system of the amberjack, *Seriola dumerili*. A: superficial cell. B: microridge of superficial cell. C: intermediate cell. D: basal cell. E: mucous cell. Bm: basement membrane, D: desmosome, Gc: Golgi complex, Mf: microfilament, Mi: membrane interdigitation, Mr: microridge, Mt: mitochondrion, N: nucleus, rEr: rough endoplasmic reticulum, Sv: secretory vacuole, Za: zonula adherens, Zo: zonula occludens.

조가 관찰되었다 (Fig. 2A). 표면세포 바깥쪽 자유면에 분포하는 미세융기들에서 당질층 (glycocalyx)의 발달은 미

약하였다 (Fig. 2B). 중간세포는 표면세포층과 기저세포층 사이에 위치하며, 장방형의 형태를 하고 있었고, 주변 세

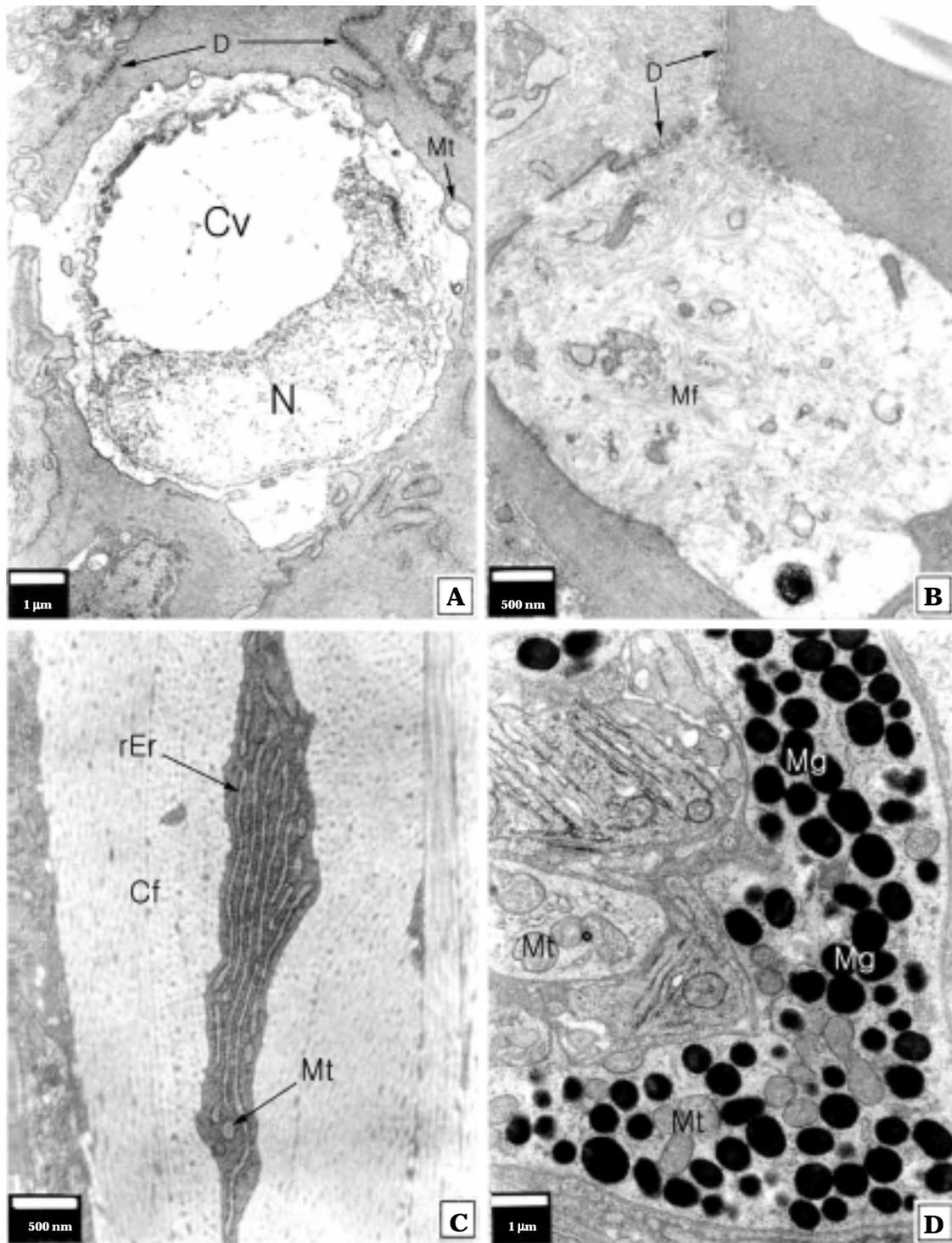


Fig. 3. Ultrastructure on the integumentary system of the amberjack, *Seriola dumerili*. A: club cell. B: filament-rich cell. C: fibrocyte and collagen fiber of dermal layer. D: pigment cell. Cf: collagen fiber, Cv: central vacuole, D: desmosome, Mf: microfilament, Mg: melanin granule, Mt: mitochondrion, N: nucleus, rEr: rough endoplasmic reticulum.

포들과는 접착반과 수지상 막구조로 연결되어 있었다. 접착반은 지지세포 가운데 가장 잘 발달되어 있었다. 핵은 불규칙한 형태로 세포의 한쪽에 치우쳐 있었다(Fig. 2C). 기저층을 구성하는 세포들은 원주형으로 주변의 세포들과는 접착반과 수지상 막구조로 연결되어 있었으며, 수지상 막구조는 지지세포 가운데 가장 잘 발달되어 있었다. 타원형의 커다란 핵이 세포의 중·상부에 걸쳐 존재하고 있었다(Fig. 2D). 이들 지지세포들은 모든 세포질이 미세섬유가 분포하는 피질부와 세포소기관들이 분포하는 수질부로 구분되었고, 핵은 핵막과 일부 핵질 내에 전자밀도가 높은 염색질이 분포하고 있었다.

분비세포 및 부속세포들은 점액세포와 곤봉상세포 그리고 filament-rich cell이 관찰되었다.

점액세포는 장경 약 5~10 μm 의 크기를 가진 원형의 세포로 세포질의 상부는 분비성 공포들로 채워져 있었고, 기저부에는 불규칙한 형태의 핵이 분포하고 있었다. 핵과 분비성 공포들의 주변에는 미토콘드리아와 조면소포체 등의 세포소기관들이 분포하고 있었고, 미세섬유들이 이들 세포소기관들을 둘러싸고 있었다(Fig. 2E).

곤봉상세포는 장경 약 5~15 μm 크기인 원형의 세포로 세포질의 상부는 커다란 하나의 공포로 이루어져 있었고, 기저부에는 미세한 이형염색질이 발달된 핵이 위치하고 있었다. 곤봉상세포의 수질부에는 세포소기관들이 발달해 있었다(Fig. 3A).

filament-rich cell은 상피층에서 표면층에 가깝게 위치하고 있었고, 크기는 약 $3 \times 4.5 \mu\text{m}$ 로 모서리가 둥근 직사각형의 형태를 하고 있었다. 세포질은 작은 구조물들과 풍부한 미세섬유들이 분포하고 있었고, 세포의 원형질막은 접착반과 수지상 막구조로 주변 세포들과 연결되어 있었다(Fig. 3B).

진피층은 콜라겐 섬유가 대부분을 차지하고 있었으며, 색소세포와 섬유세포 등이 분포하고 있었다. 콜라겐 섬유 사이의 섬유세포들은 섬유상으로서 핵과 미토콘드리아 그리고 풍부한 조면소포체 등을 함유하고 있었다(Fig. 3C). 콜라겐 섬유는 열과 행이 교대로 분포하고 있었다. 색소세포는 기저막에 인접한 곳에서 주로 멜라닌 색소세포들이 관찰되었는데, 세포질은 전자밀도가 높은 멜라닌 과립을 함유하고 있었다(Fig. 3D).

고 찰

갯방어의 피부계는 외부로부터 크게 상피층과 진피층으로 이루어져 있었다. 이러한 구조는 기존에 보고된 많은 경골어류의 피부계와 동일한 구조를 하고 있어

(Robert *et al.*, 1973; Eastman and Hikida, 1991; 이와 김, 1999; Park *et al.*, 2003; 이와 진, 2005), 갯방어 역시 경골어류의 일반적인 피부계 구조를 가진다고 볼 수 있다.

일반적으로 어류의 피부계 상피층은 다층구조로서 지지세포와 선세포 그리고 여러 가지 부속세포들로 구성되며, 그 위치와 형태에 따라 크게 외부로부터 표면세포층, 중간세포층 및 기저세포층으로 구분된다(Sato, 1979; Whitear and Mittal, 1986; 이와 김, 1999).

지지세포들의 미세구조는 표면세포의 미세융기들과 그 말단의 당질층, 세포질의 미세섬유들 그리고 세포간 결합조직인 폐쇄대, 접착대, 접착반, 수지상 막구조 등으로 특징지을 수 있다.

Mittal *et al.* (1980)은 어류 피부 상피층의 표면세포에서 관찰되는 미세융기들은 점액물질을 어류의 체표에 유지시켜 줌으로서 유영력을 높임과 동시에 외부 자극에 대한 생물학적 방어 기능을 한다고 하였으며, 박 등 (1995)은 미세융기들을 덮고 있는 실모양의 당질층은 세균이나 곰팡이와 같은 외부 이물질에 대한 인지능력과 관련이 있다고 하였다. 미세융기들은 많은 어류들에서 보고되고 있으며(Eastman and Hikida, 1991; 박 등, 1995; 이 등, 2000; 김 등, 2002; 이와 진, 2005), 갯방어에서도 관찰되지만 고등어, *Scomber japonicus* (이와 진, 2005)에서 보고된 것과 같이 당질층의 발달은 미약하였다.

미세섬유들은 당김세사로서 이들 세포의 형태유지와 주변의 물리·화학적 자극에 대해 능동적으로 대처할 수 있는 구조이며(Henrikson and Matoltsy, 1968), 표면, 중간 그리고 기저층을 구성하는 지지세포들에서 공통적으로 관찰되었다.

세포간 결합구조는 표면에서부터 기저부로 갈수록 폐쇄대, 접착대 그리고 접착반의 순으로 존재하며, 수지상 막구조는 모든 지지세포들에서 공통적으로 나타난다. 이들 구조들은 *Esox americanus* (Merrilees, 1974), American eel, *Anguilla rostrata* (Leonard and Summers, 1976), Antarctic notothenioid fish, *Gymnodraco acuticeps* (Eastman and Hikida, 1991), 돌가자미, *Kareius bicoloratus* (이와 진, 2001), 고등어, *Scomber japonicus* (이와 진, 2005) 등에서 공통적으로 관찰되며 갯방어에서도 확인된다.

어류의 점액은 호흡, 이온교환, 삼투조절, 생식, 배설, 방어, 운동, 질병저항, 신호전달, 은신처 제공 그리고 기계적 손상에 대한 보호기능을 수행한다(Ingram, 1980; Zuchelkowski *et al.*, 1985; Iger *et al.*, 1994; Berra and Humphrey, 2002; O'Byrne-Ring *et al.*, 2003; Buchmann *et al.*, 2004). Shephard (1994)는 어류 점액의 기능을 재

조사하여 크게 층의 유지와 분비물의 방출로 나누었는데, 층의 유지는 이온교환, 독성이온의 침전, 부착 등의 기능을 수행하며, 분비물의 방출은 경계층의 조절, 화학물질의 전달 및 공격, 방수, 은신처 축조 그리고 당단백질과 같은 생활성물질의 운반기능 등을 수행한다고 하였다. 많은 어류들의 피부 상피층에 존재하는 점액세포들은 일반적으로 점액성분만 분비되는 부분분비선이며, 산성과 중성의 당단백질을 함유하고 있는 것으로 알려져 있다(Gona, 1979; Mittal *et al.*, 1994). 젯방어에서 관찰된 산성의 점액당류와 그 미세구조는 *Blennius sanguinolentus* (Zaccone, 1983), 뱀장어, *Anguilla japonica* (박 등, 1995), 돌가자미, *Kareius bicoloratus* (이와 진, 2001) 등에서 관찰된 점액물질의 성상 및 미세구조와 거의 일치하였다.

점액세포는 종의 생리적 상태, 서식지의 환경, 연령, 종 특이성 등 여러 가지 요인에 의해 그 종류, 분비기작 및 활성도가 다양하기 때문에, 본 종에서 관찰된 점액세포의 여러 가지 기작을 확인하기 위해선 보다 장기적인 자료 축적이 이루어져야 할 것으로 본다.

곤봉상세포는 경고물질, 항병원성물질 그리고 페로몬 분비 등의 기능을 가지며 (Leonard and Summer, 1976; Agrawal and Mittal, 1992; Irving, 1996), 미세구조, 분포 정도, 기능 등은 어종과 성장시기 그리고 계절적인 차이를 나타낸다. 이들 세포의 내용물은 단백질 화합물로 이루어져 있다(Whitear, 1986; Agrawal and Mittal, 1992).

본 연구중에서 관찰된 곤봉상세포는 농어, *Lateolabrax japonicus* (이와 김, 1999)에서 보고된 곤봉상세포와 기본적인 구조는 유사하였지만, 세포의 크기, 핵의 형태 그리고 공포의 크기 등은 차이를 나타냈다. 이들 곤봉상세포의 분비물질은 확인되지 않아 언급할 수 없으며, 이를 위해선 점액세포와 같이 장기적인 자료 축적이 필요하리라 본다.

인 용 문 헌

- Agrawal, N. and A.K. Mittal. 1992. Structural organization and histochemistry of the epithelia of the lips and associated structures of a common Indian carp, *Cirrhina mrigala*. *Can. J. Zool.*, 70(1) : 71~78.
- Berra, T.M. and J.D. Humphrey. 2002. Gross anatomy and histology of the hook and skin of forehead brooding male nurseryfish, *Kurtus gulliveri* from northern Australia. *Environ. Biol. Fish.*, 65 : 263~270.
- Belyaev, V.A. and V.E. Rygalov. 1986. Distribution of larvae and formation of year-class abundance of chub mackerel, *Scomber japonicus* Houttuyn (Scombridae) from the Northwest Pacific. *Vopr. Ikhtiol.*, 26(4) : 593~599.
- Buchmann, K., J. Bresciani and C. Jappe. 2004. Effects of formalin treatment on epithelial structure and mucous cell densities in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) skin. *J. Fish Diseases*, 27 : 99~104.
- Burton, D. and B.A. Everard. 1991. The effect of androgen treatment on the epidermis of post-spawned winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus* (Walbaum). *J. Fish Biol.*, 38(1) : 73~80.
- Downing, S.W. and R.R. Novales. 1971. The fine structure of lamprey epidermis. *J. Ultrastruct. Res.*, 35 : 295~303.
- Eastman, J.T. and R.S. Hikida. 1991. Skin structure and vascularization in the Antarctic notothenioid fish, *Gymnodraco acuticeps*. *J. Morphol.*, 208 : 347~365.
- Gona, O. 1979. Mucous glycoproteins of teleostean fish: a comparative histochemical study. *Histochem. J.*, 11 : 709~718.
- Henrikson, R.C. and A.G. Matoltsy. 1968. The fine structure of teleost epidermis. I. Introduction and filament containing cells. *J. Ultrastruct. Res.*, 21 : 194~212.
- Iger, Y., H.A. Jenner and S.E. Wendelaar Bonga. 1994. Cellular responses in the skin of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* exposed to Rhine water. *J. Fish Biol.*, 45 : 1119~1132.
- Ingram, G.A. 1980. Substances involved in the natural resistance of fish to infection—a review. *J. Fish Biol.*, 16(1) : 23~60.
- Irving, P.W. 1996. Sexual dimorphism in club cell distribution in the European minnow and immunocompetence signalling. *J. Fish Biol.*, 48(1) : 80~88.
- Johnston, I.A. and R. Brill. 1984. Thermal dependence of contractile properties of single skinned muscle fibers from Antarctic and various warm water marine fishes including skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* and kawakawa, *Euthynnus affinis*. *J. Comp. Physiol. (B)*, 155(1) : 63~70.
- Leonard, J.B. and R.G. Summers. 1976. The ultrastructure of the integument of the American eel, *Anguilla rostrata*. *Cell Tiss. Res.*, 171(1) : 1~30.
- Merrilees, M.J. 1974. Epidermal fine structure of the teleost, *Esox americanus* (Esocidae, Salmoniformes). *J. Ultrastruct. Res.*, 47(2) : 272~283.
- Micale, V., G. Maricchiolo and L. Genovese. 1999. The reproductive biology of the amberjack, *Seriola dumerilii* (Risso 1810). I. Oocyte development in captivity. *Aquacult. Res.*, 30(5) : 349~355.
- Mittal, A.K., M. Whitear and S.K. Agarwal. 1980. Fine structure and histochemistry of the epidermis of the

- fish, *Monopterusuchia*. J. Zool., 191(1) : 107~125.
- Mittal, A.K., T. Ueda, O. Fujimori and K. Yamada. 1994. Histochemical analysis of glycoproteins in the epidermal mucous cells and sacciform cells of an Indian swamp eel, *Monopterusuchia* (Hamilton) (Synbranchiformes, Pisces). Acta Histochem. Cytochem., 27(3) : 193~204.
- O'Byrne-Ring, N., K. Dowling, D. Cotter, K. Whelan and U. MacEvilly. 2003. Changes in mucus cell numbers in the epidermis of the Atlantic salmon at the onset of smoltification. J. Fish Biol., 63 : 1625~1630.
- Park, J.Y., I.S. Kim and S.Y. Kim. 2003. Structure and histochemistry of the skin of a torrent catfish, *Liobagrus mediadiposalis*. Environ. Biol. Fish., 66 : 3~8.
- Roberts, R.J., M. Bell and H. Young. 1973. Studies on the skin of plaice, *Pleuronectes platessa* L. II. The development of larval plaice skin. J. Fish Biol., 5 : 103~108.
- Sato, M. 1979. Fine structure of the small and large mucous cells found in the skin epidermis of two cottids, *Pseudoblennius cottoides* and *Furcina* sp. Japan. J. Ichthyol., 26(1) : 75~83.
- Shephard, K.L. 1994. Functions for fish mucus. Rev. Fish Biol. Fish., 4(4) : 401~429.
- Whitear, M. and A.K. Mittal. 1986. Structure of the skin of *Agonus cataphractus* (Teleostei). J. Zool. (A), 210(4) : 551~574.
- Zaccone, G. 1983. Histochemical studies of acid proteoglycans and glycoproteins and activities of hydrolytic and oxidoreductive enzymes in the skin epidermis of the fish, *Blennius sanguinolentus* (Pallas) (Teleostei: Blenniidae). Histochemistry, 78(2) : 163~175.
- Zuchelkowski, E.M., C.A. Pinkstaff and D.E. Hinton. 1985. Mucosubstance histochemistry in control and acid-stressed epidermis of brown bullhead catfish, *Lctalurus nebulosus* (LeSueur). Anat. Rec., 212 : 327~335.
- 김익수 · 강언중. 1993. 흰색한국어류도감. 아카데미 서적, 서울, pp. 400~401.
- 김재원 · 진 평 · 진영국 · 이정식. 2002. 넙치, *Paralichthys olivaceus* (Teleostei: Pleuronectidae) 피부 상피층의 미세구조. 한국전자현미경학회지, 32(2) : 121~129.
- 박인식 · 김진정 · 조운복 · 박상욱. 1995. 염분적응에 따른 뱀장어 표피의 미세구조적 변화. I. 상피세포. 한국동물학회지, 38 : 26~37.
- 이정식 · 김재원. 1999. 농어, *Lateolabrax japonicus* (Teleostei: Moronidae) 피부계 지지세포와 선세포의 미세구조. 한국전자현미경학회지, 29(4) : 417~426.
- 이정식 · 안철민 · 허성희. 2000. 베도라치, *Pholis nebulosa* (Teleostei: Pholidae) 피부계의 미세구조. 한국수산학회지, 33(2) : 148~152.
- 이정식 · 진영국. 2001. 돌가자미, *Kareius bicoloratus* (Teleostei: Pleuronectidae) 피부계의 미세구조 및 조직화학. 한국전자현미경학회지, 31(4) : 325~331.
- 이정식 · 진영국. 2005. 고등어, *Scomber japonicus* (Teleostei: Scombridae) 피부계의 미세구조 및 조직화학. 한국어류학회지, 17(2) : 98~104.

Received: October 5, 2005

Accepted: November 19, 2005