

백색증 메기 *Silurus asotus*에 관한 조직학적 연구

박종영* · 오민기 · 윤승운 · 이완옥¹

전북대학교 자연과학대학 생물과학부 · 생물다양성연구소, ¹국립수산과학원 중부내수면연구소

Histological Study of Oculocutaneous Albinism in Korean Far Eastern Catfish *Silurus asotus* by Jong-Young Park*, Min-Ki Oh, Seung-Woon Yoon and Wan-Ok Lee¹ (Faculty of Biological Science and Institute for Biodiversity Research, College of Natural Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea; ¹Central Regional Inland Fisheries Research, NFRDI, Cheongpyeong, Gyeonggi-do 477-815, Korea)

ABSTRACT Histological study of normal and albinic catfish *Silurus asotus* produced in aquaculture has been carried out on organs such as the eye, the barbel, the dorsal fin, and the skin (including dorsal, ventral and lateral regions). Although individuals have no differences in morphological appearance, their colors showed clear difference as follows: the normal catfishes were black overall, but the albinic ones have a yellowish-white color over the whole body, red eyes and white barbels. All the organs investigated were fundamentally very similar in structure. Regarding the distribution and density of the melanin pigments, however, the albinic catfish have no melanin in the skin and eye, particularly in the basement membrane of the epidermis and the pigment epithelial layer in the retina, while the normal catfish have lots of melanin. This phenomenon may coincide with the so-called i^1/i^1 type of oculocutaneous albinism.

Key words : Albinic catfish, *Silurus asotus*, melanin pigment, oculocutaneous albinism

서 론

메기 *Silurus asotus*는 메기목(Siluridae)에 속하는 야행성 육식어류로서 우리나라를 비롯하여 중국, 대만 및 일본에 분포하고 있다(김, 1997; 김과 박, 2002). 본 종은 현재 양식 대상어종으로 전국에서 상업적으로 널리 이용하고 있다.

최근 국립수산과학원 중부내수면연구소에서는 방류용 메기의 종묘를 생산하는 과정에서 눈과 피부에 색소발현이 결핍된 전신성백색증을 보이는 메기 1개체를 획득하였다. 어류의 백색증은 넙치나 가자미에서 일반적인 현상으로 알려져 있으며(김, 1999a, b; Bolker and Hill, 2000; Guo *et al.*, 2003; 강 등, 2007), *Olyzias latipes* (Hyodo-Taguchi *et al.*, 1997; Fu *et al.*, 2000), *Danio rerio* (Kelsh *et al.* 2000), *Oncorhynchus mykiss* (Nakamura *et al.*, 2001) 등의 어류에서도 백색증이 보고된 바 있다. 어류의 백색증 증상정도에 따라 전신성백색증(albino; i^1/i^1)과 유사백색증(quasi-albino; i^4/i^4)으

로 구분하여 정상개체와의 색소분포 차이를 조직학적으로 규명하였고(Koga and Hori, 1997), 송사리 *Oryzias latipes*의 *b* 유전자 돌연변이 연구를 통해 색소결핍의 원인과 결핍 정도를 유전학적으로 분석한 바 있다(Fukamachi *et al.*, 2001). 최근에는 멸종위기종인 묵납자루 *Acheilognathus signifer* 종묘생산과정에서 출현한 백색증 개체에 대하여 정상개체와의 조직학적 차이에 대한 연구가 이루어진 바 있다(Oh *et al.*, 2008).

본 연구대상종인 메기에 대한 연구로는 성장, 생리, 질병 등 양식기술과 관련된 연구가 대부분이었고(김과 박, 1996; 권 등, 2006; 이 등, 2008), 박과 김(2005)에 의한 메기수염의 미세조직 분석을 제외하고는 조직학적 연구가 매우 미흡한 실정이다. 특히 종묘생산 중 발생한 백색증 메기는 종묘로써 활용가치가 낮고, 성장 후 자연에 방류했을 경우 포식될 위험이 높으며 유전자원 내 백색증 유발인자를 확산시킬 우려가 있다고 보고된 바 있다(Seikai and Matsumoto, 1991; Bolker and Hill, 2000; 강 등, 2007). 이에 본 연구에서는 정상 개체와 백색증 개체 사이의 색소분포 차이 및 피

*교신저자: 박종영 Tel: 82-63-270-3344, Fax: 82-63-270-3362,
E-mail: park7877@chonbuk.ac.kr

부 구조를 조직학적으로 분석하여 효과적인 증묘관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

Vision 4.5를 사용하였다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 메기는 국립수산물과학원에서 인공 생산한 정상 개체(전장 408 mm, 체장 365 mm, 체중 540 g)와 백색증 개체(전장 367 mm, 체장 332 mm, 체중 320 g) 각각 1개체씩 사용되었으며, 조직적출을 위해 10% 포르말린으로 고정하였다. 메기의 눈, 부속지(수염, 등지느러미), 피부(등, 배, 측측)의 조직을 적출하여 파라핀 포매를 실시하였고, Microtome (Leica, Germany)을 이용해 제작한 5~7µm 두께의 조직절편을 Hematoxylin-Eosin 염색 (Presnell and Schreibman, 1997)과 멜라닌 색소에 특이적 반응을 보이는 Fontana-Masson (제갈 등, 2006)을 통해 조직을 관찰하였다. 검경 및 촬영은 Axio imager A1 (Carl Zeiss, Germany)와 Axio

결 과

1. 외부 형태적인 차이

정상 개체의 메기는 수평으로 납작한 두부와 꼬리 쪽으로 갈수록 옆으로 납작해지는 외형을 보였고, 상악이 하악보다 짧아 입 끝은 위를 향하고 있었다(Fig. 1A). 비공 앞과 하악에 수염이 각각 1쌍씩 있었으며 비교적 짧은 등지느러미를 가지고 있었다. 몸의 체색은 전체적으로 검은색을 띄었지만, 복부는 그 정도가 약하여 검은 반점이 산재해 있는 모습으로 보였다. 백색증 개체의 외형은 정상 개체와 다르지 않았으나 체색에서 매우 현저한 차이를 보였다(Fig. 1B). 백색증 메기의 체색은 전체적으로 흰색을 나타내고 있으나 노란색이 부분적으로 섞여있었다. 반면에 눈은 붉은

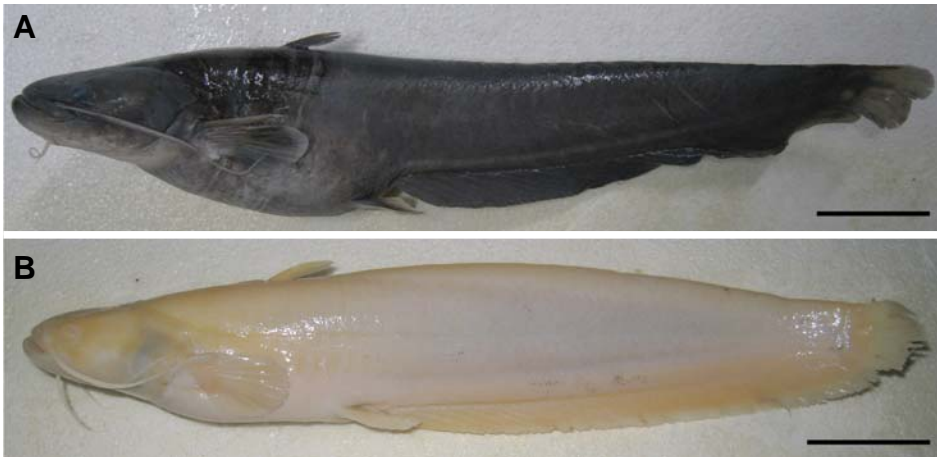


Fig. 1. External morphology of the Far Eastern Catfish, *Silurus asotus*. A: normal type, B: Albino type. Bar indicates 5 cm.

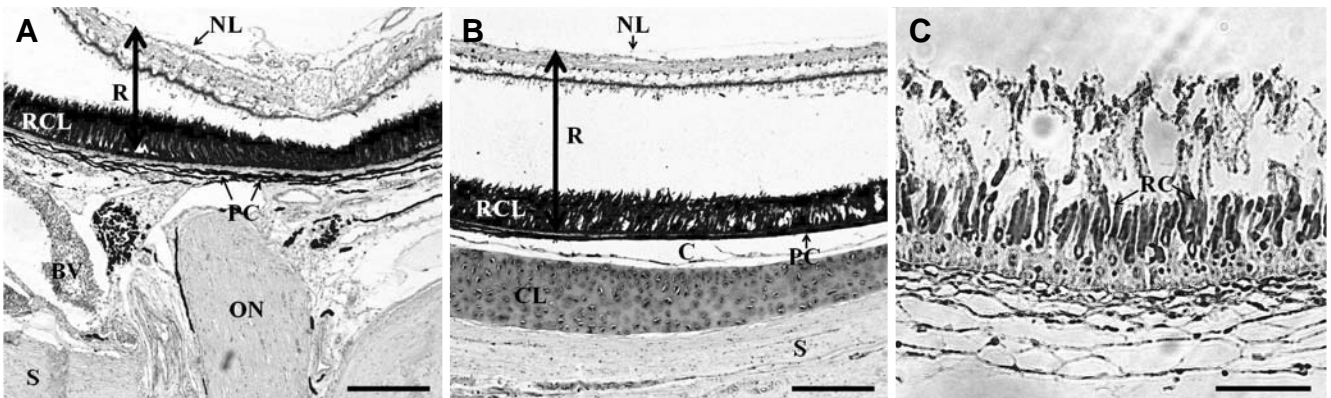


Fig. 2. A radial section of the eyeball in *Silurus asotus*. A, normal central region. Haematoxylin-Eosin staining. Bar indicates 200 µm; B, normal peripheral region. Haematoxylin-Eosin staining. Bar indicates 200 µm; C, albinic central region. Fontana-Masson staining. Bar indicates 50 µm. BV, blood vessel; C, choroid; CL, cartilaginous cell layer; NL, nerve fiber layer; ON, optic nerve; PC, pigment cell; R, retina; RC, rod cell; RCL, rod cell layer; S, sclera.

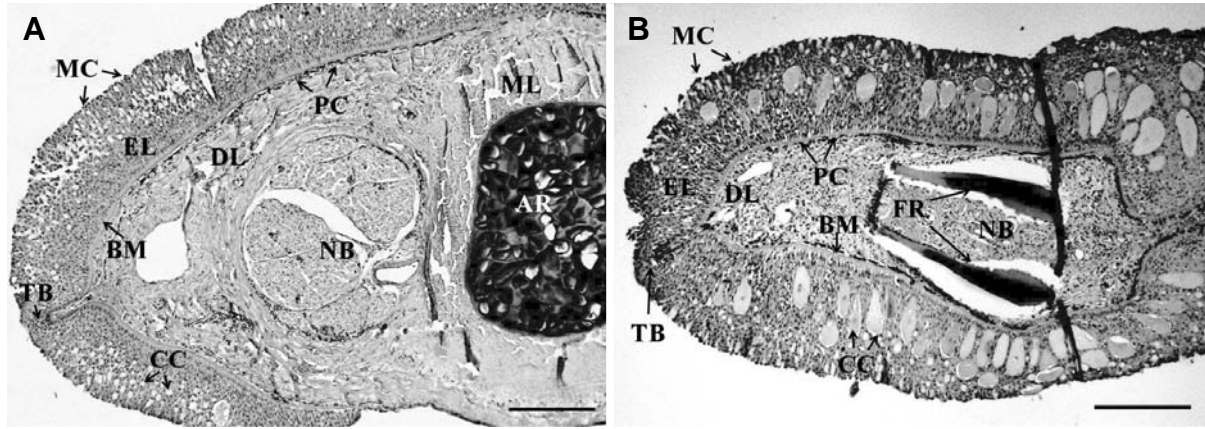


Fig. 3. Cross section of the mandibular barbel (A) and dorsal fin (B) in normal *Silurus asotus*. AR, axial rod of cartilage; CC, club cell; DL, dermis layer; EL, epidermis layer; FR, fin ray bone; MC, mucous cell; ML, muscle layer; NB, nerve bundle; PC, pigment cell; TB, taste bud. Haematoxylin-Eosin staining. Bar indicates 200 μ m.

색, 수염은 흰색을 보였다.

2. 정상 메기 조직의 일반구조

1) 안구의 후면

안구의 후면에 대한 조직학적 관찰 결과 중심부에 위치한 시신경 다발(optic nerve)을 기준으로 위쪽에는 망막(retina)이 폭넓게 자리 잡고 있었는데(Fig. 2A), 망막은 다시 여러 층으로 나뉘어졌으며, 가장 바깥층에서는 가로로 길게 나열된 얇은 신경섬유층(nerve fiber layer)이 관찰되었다. 그 아래에는 검게 염색된 시각세포층이 위치하고 있었는데, 시각세포층에는 막대세포(rod cell)로 추정되는 시각세포가 치밀하게 나열되어 있었다. 가장 아래쪽에는 색소세포(pigment cell)가 길게 이어져 띠를 형성하고 있었으며, 색소세포 내에 존재하는 멜라닌과립(melanosome)에 의해 검은색을 나타냈다. 망막 아래에는 복잡한 섬유상의 결합조직과 혈관, 신경다발 등이 관찰되었으며, 가장 아래에는 공막(sclera)이 안구의 바깥면을 감싸고 있었다. 한편 시신경 다발의 주변부에 대한 관찰에서는 망막과 공막 사이에 분포하고 있는 얇은 층의 맥락막(choroid)이 확인되었으며(Fig. 2B), 또한 공막 위에 위치한 호산성의 연골세포로 이루어진 중층의 세포조직이 관찰되었다.

2) 수염

메기의 수염은 가장 바깥쪽에 위치하고 있는 표피층(epidermis), 표피층과 진피층(dermis)의 경계면인 기저층(basement membrane), 중앙에 연골로 이루어진 축(axial rod of cartilage)과 그 주변을 둘러싸고 있는 진피층으로 구성되어 있었다(Fig. 3A). 표피층에는 많은 수의 곤봉상세포(club cell)가 분포하고 있었고, 가장 바깥면에는 작은 크기의 점액세포(mucus cell)가 긴 띠를 이루고 있었다. 또한 미뢰

(taste bud)는 표피층에 묻혀있는 상태로 있었으며 진피층과 연결되어 있었다. 표피층과 진피층의 경계면인 기저층 아래에는 색소세포층(pigment cell)이 길게 연결되어 있었으며 진피층에서는 그 중심을 통과하는 굵은 신경다발(nerve bundle)이 관찰되었다. 한편, 수염의 중심에서는 많은 수의 연골세포로 이루어진 연골성 축이 관찰되었는데 이 연골성 축은 여러가닥의 근육층(muscle layer)에 의해 둘러싸여 있었다.

3) 등지느러미의 구조

메기의 등지느러미를 조직학적으로 관찰한 결과, 수염과 비슷한 구조를 확인할 수 있었다(Fig. 3B). 표피층은 여러 층의 상피세포로 이루어져 있었으며 가장 바깥층에서 많은 수의 점액세포가 관찰되었다. 표피의 중간층에는 다양한 크기의 곤봉상세포가 위치해 있었는데, 곤봉상세포는 특히 지느러미의 측면에 많이 분포하였고 앞쪽에는 거의 분포하지 않았다. 한편 지느러미의 앞쪽에서는 수염에서와 같이 미뢰가 관찰되었는데, 표피의 점액세포와 미뢰는 Hematoxylin에 진하게 염색되는 특징을 보였다. 표피의 가장 아래에는 진피층과 맞닿아 있는 기저층이 존재하였으며, 기저층의 바로 아래에는 색소세포가 산재해 있었다. 진피층은 기조골(fin ray bone) 주변을 둘러싸고 있었으며, 가장 안쪽에 위치한 막대형의 기조골은 쌍을 이루며 평행하게 분포하고 있었다. 기조골 사이에서는 다발을 이루고 있는 신경섬유가 관찰되었다.

4) 등쪽의 피부구조

등쪽의 피부는 바깥쪽에서부터 표피층, 기저층, 진피층 및 피하층(subcutis layer)으로 이루어져 있었다(Fig. 4A). 표피층의 가장 바깥면에는 호산성의 점액세포가 길게 분포하고 있었고 중층에는 다양한 크기의 곤봉상세포가 존재하였으

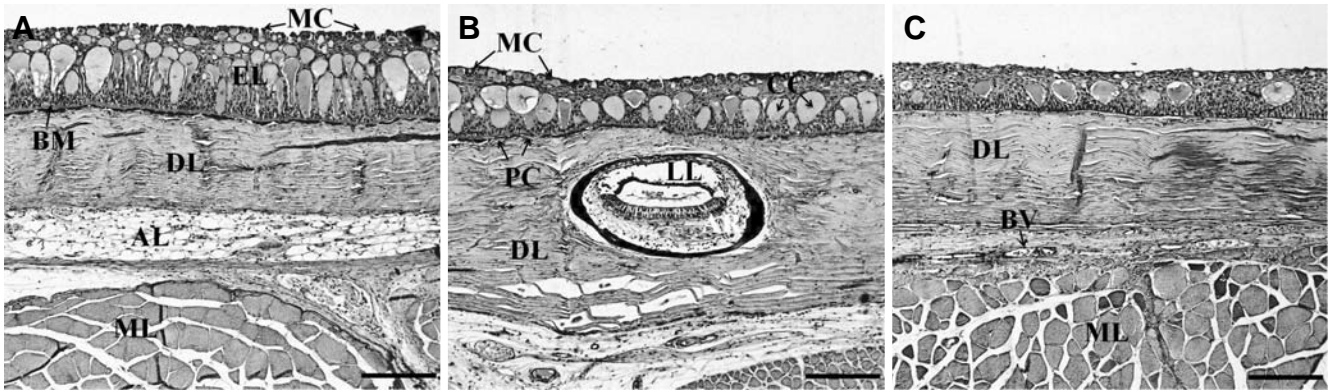


Fig. 4. Transverse section of skin in normal *Silurus asotus*. A, dorsal region; B, lateral region; C, ventral region. AL, adipose cell layer; BM, basement membrane; BV, blood vessel; CC, club cell; DL, dermis layer; EL, epidermis layer; LL, lateral line canal; MC, mucous cell; ML, muscle layer; PC, pigment cell. Hematoxylin-Eosin staining. Bars indicate 200 μm.

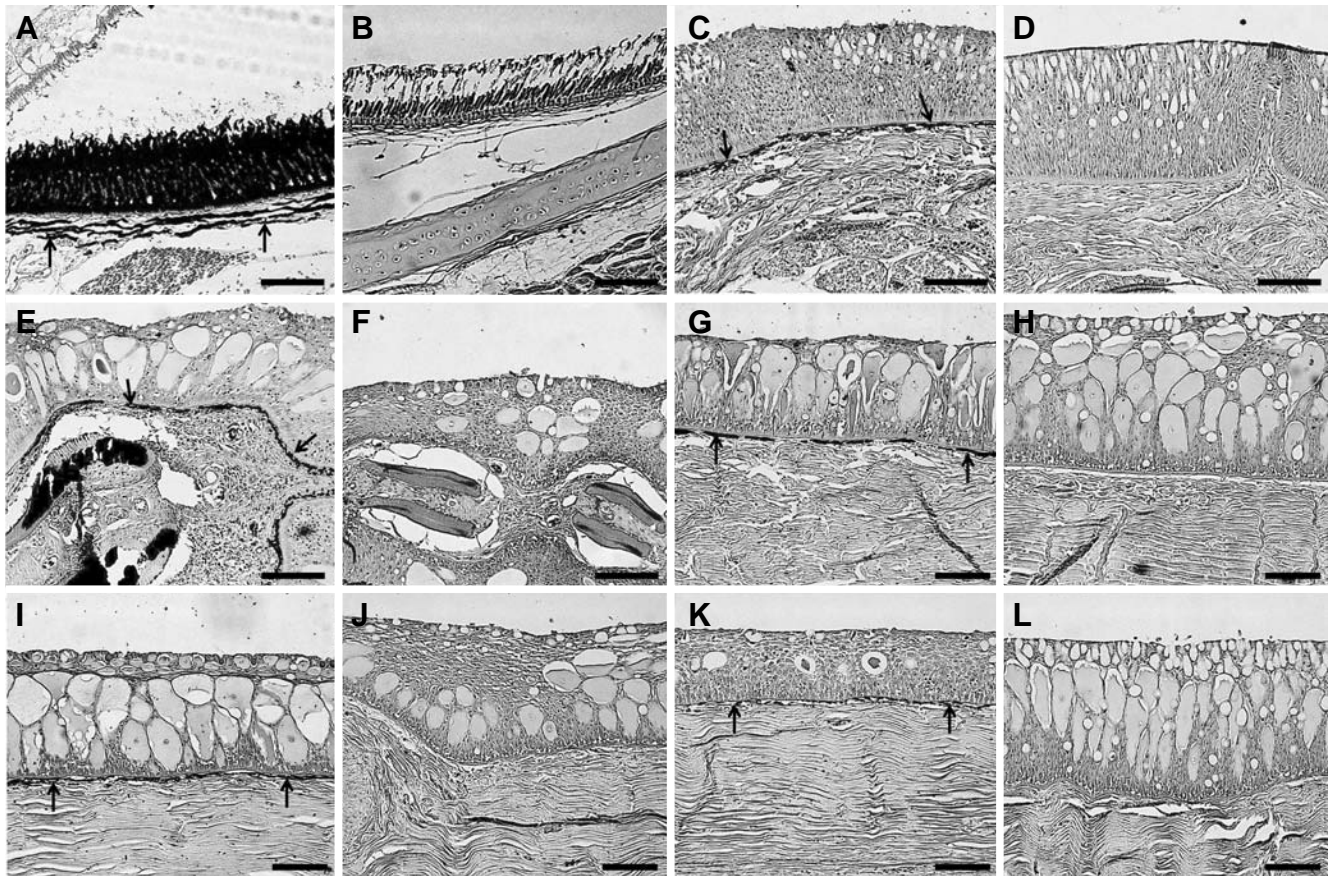


Fig. 5. Development of pigment cells in *Silurus asotus*. Dark arrows are pigment cell layer. A, normal eye; B, albino eye; C, normal barbel; D, albino barbel; E, normal dorsal fin; F, albino dorsal fin; G, normal dorsal skin; H, albino dorsal skin; I, normal lateral skin; J, albino lateral skin; K, normal ventral skin; L, albino ventral skin. Fontana-Masson staining. Bar indicates 100 μm.

며 주변의 상피세포에 비해 그 크기가 현저하게 컸다. 표피층과 진피층의 경계면에는 기저층이 얇게 위치하였고, 기저막의 바로 아래에는 검은색의 색소세포가 분포하고 있었

다. 진피층은 전체적으로 치밀한 결체 섬유로 되어 있었으며 호염기성을 나타냈다. 한편 피부의 가장 아래 부분인 피하층에는 공포로 나타나는 지방세포(adipose cell)가 5~7

층 정도 겹쳐져 있었으며, 지방층 아래에서는 혈관(blood vessel)의 모습도 관찰되었다.

5) 측면의 피부구조

측면의 피부구조는 전체적으로 등 쪽의 구조와 유사하였으며, 바깥쪽부터 표피층, 기저층, 진피층 및 피하층으로 구성되어 있었다(Fig. 4B). 등 쪽의 피부와 다르게 측면에는 진피층의 중앙을 지나는 측선관(lateral line canal)이 있었으며 측선관에서는 신경다발이 관찰되었다. 한편 등면에서 관찰되었던 여러 층의 지방층은 측면에서는 관찰되지 않았으나, 피하층을 통과하는 혈관은 관찰되었다.

6) 배쪽의 피부구조

배쪽의 피부 역시 등쪽이나 측면에서와 마찬가지로 표피층, 기저층, 진피층, 피하층으로 구성되어 있었다(Fig. 4C). 그러나 등면과 측면에 비해 표피층에 분포하는 곤봉상세포의 분포 밀도가 낮아 차이를 보였다.

3. 백색증 메기 조직의 일반구조

1) 안 구

백색증 메기 안구는 정상개체와 같이 망막, 맥락막 및 공막으로 이루어져 있었으나, 정상 개체에서 망막의 가장 바깥쪽에 분포하던 색소세포층이 백색증 개체에서는 전혀 발견되지 않아 차이를 보였다(Fig. 5B).

2) 수염과 등지느러미

백색증 메기의 수염과 등지느러미의 구조도 정상 메기와 마찬가지로 중앙의 골격성 조직과 이를 둘러싸고 있는 상피조직으로 되어 있었으며, 미뢰 또한 관찰되었다. 그러나 정상 개체의 기저층과 진피층 사이에 존재하던 색소세포층은 관찰되지 않았다(Fig. 5D and 5F).

3) 피 부

백색증 메기의 등쪽, 측면 및 배쪽의 피부는 가장 바깥쪽에서부터 표피층, 기저층, 진피층, 피하층으로 이루어져 있었으며, 표피층에는 곤봉상세포 및 점액세포가 분포하고 있어 정상개체와 구조적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 안구, 수염 및 등지느러미의 경우와 같이 정상 개체의 기저층과 진피층 사이에 분포하였던 색소세포가 백색증 개체에서는 관찰되지 않았다(Fig. 5H, 5J and 5L).

고 찰

메기의 피부구조를 조직학적으로 관찰한 결과, 망막, 맥락막 및 공막 등 안구 후면의 구조는 참갈겨니 *Zacco koreanus*, 눈동자개 *Pseudobagrus koreanus*, 묵납자루 *Acheilognathus signifer* 및 송사리 *Oryzias latipes*에서 보이는 일반

적인 어류의 안구구조(Koga and Hori, 1997; Oh *et al.*, 2008; 유, 2008)와 유사하였으나 시각세포층에 분포하는 원뿔세포(cone cell)와 막대세포(rod cell) 중 막대세포로 추정되는 시각세포가 다른 어류에 비해 매우 잘 발달된 모습을 보였다. 이는 메기의 서식처 환경과 생태적 특성을 반영한 결과로 사료되며(Lagler *et al.*, 1977), 막대세포가 야행성 어류에서 더 발달한다는 결과를 뒷받침하고 있다(Ryan, 2001; Hirt and Wagner, 2005). 한편, 유(2008)는 야행성 어류로 알려진 눈동자개의 시각세포층은 빛의 단파장에서 최대흡수력을 가지는 단일원뿔세포로만 구성되어 있다고 보고하였는데, 이 결과는 본 연구 대상종이자 같은 야행성 어류인 메기의 시각세포 구조와 차이를 나타내는 것으로 추후 빛과 시각세포의 상관관계에 대한 세밀한 분석이 요구된다. 또한 시신경 다발의 양측면에서는 호산성의 연골조직이 관찰되었는데, 이러한 구조는 어류에서 알려진 바가 없는 구조로써 깊은 수심에서도 서식하는 메기의 특성으로 볼 때 높은 수압에 대한 안구형태의 유지를 위한 조직의 발달로 여겨진다.

수염과 등지느러미에서는 중심에 골격을 가지는 공통적인 구조가 관찰되었으나 수염에서는 굵은 신경다발과 소수의 곤봉상세포가 관찰된 반면, 등지느러미에는 얇은 신경다발과 다수의 곤봉상세포가 관찰되었다. 이러한 차이는 수염이 메기의 감각기관에서 중추적인 역할을 하기 때문일 것으로 사료되었다(박과 김, 2005). 한편, 수염뿐만 아니라 등지느러미에서도 미뢰가 관찰된 점으로 볼 때 등지느러미도 감각기능을 다소 가지는 것으로 추정되었다.

전신성백색증 메기는 정상 메기와 체색에서 매우 현저한 차이를 보였을 뿐만 아니라 조직분석을 통한 멜라닌 색소의 분포에 있어서 피부뿐 아니라 눈의 망막색소상피층에서도 색소침착이 전혀 나타나지 않는 i^1/i^1 (Koga and Hori, 1997) 유형을 보였다. 이러한 사실은 비록 전신성백색증을 보인 묵납자루의 경우라 하더라도 소량의 멜라닌 색소가 망막색소상피층과 햇빛 노출부위인 등 쪽 피부조직에 존재하였고(Oh *et al.*, 2008), 송사리 역시 망막색소상피층의 안쪽에 멜라닌 색소가 소량 분포하였던 것(Koga and Hori, 1997)과는 사뭇 다른 양상이었다. 한편, 백색증의 발현은 유전적 요인뿐만 아니라 저수온, 빛 등의 서식처 환경과 영양원에 따라서도 그 발생빈도가 유의적으로 변화할 수 있다는 점으로 미뤄볼 때(강 등, 2007; 유 등, 2008), 백색증 메기의 경우 역시 이들의 서식환경과 야행성인 생태적 습성으로 인해 최소한의 색소도 형성되지 않았을 것으로 여겨진다. 백색증이 질병을 유발한다는 보고는 없지만 종묘자원 조성 중 발생한 백색증 메기에 대한 물리화학적 환경과 먹이공급 등의 점검이 요구되며 유전학적 연구를 통해 사육중인 메기 종묘 집단의 유전적 다양성과 백색증 유발인자의 확인 및 특성 파악을 통한 효과적인 종묘관리가 요구된다.

요 약

자원조성을 위한 방류용 메기 종묘를 생산하는 과정에서 출현한 전신성백색증 메기와 정상 메기의 눈, 부속지(수염, 등지느러미), 피부(등, 배, 체측)에 대한 조직학적 연구를 실시하였다. 외부형태적 차이는 발견되지 않았으나 체색에 있어서 정상 메기가 전체적으로 검은색을 띤 반면, 백색증 메기는 흰색 바탕에 노란색이 부분적으로 섞여 있었으며 눈은 붉은 색, 수염은 흰색을 보였다. 조사한 각 피부조직의 일반적인 형태는 정상 메기와 백색증 메기 간에 차이는 발견되지 않았다. 그러나 멜라닌 색소의 분포에 있어서 정상 메기의 경우, 망막의 색소상피층과 피부의 기저층에 길게 이어져 있던 색소세포층이 백색증 개체에서는 전혀 발견되지 않아 본 연구에서 확인된 백색증 메기는 i^1/i^1 유형의 전신성백색증에 해당되었다.

인 용 문 헌

- 강덕영 · 김효찬 · 김종현 · 김경길 · 명정인. 2007. 양식산 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 가성 백색증(pseudo-albinism) 발현에 미치는 환경인자들의 영향. 한국수산학회지, 40: 234-242.
- 권혁주 · 최성희 · 김은희 · 한덕우 · 권준영. 2006. 연구논문 : 어류혈청이 메기(*Silurus asotus*) 간세포의 단층배양에 미치는 영향. 한국수산학회지, 39: 23-26.
- 김영길 · 박성우. 1996. 양식 메기에서의 *Ergasilus sieboldi* Nordmann, 1832 기생충 1례. 한국어병학회지, 9: 11-13.
- 김익수. 1997. 한국동식물도감, 제37권 동물편(담수어류). 교육부, 629pp.
- 김익수 · 박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사, 465pp.
- 김종현. 1999a. 양식산 넙치의 백화현상에 따른 아미노산 조성의 비교. 한국식품영양학회지, 12: 496-501.
- 김종현. 1999b. 양식산 넙치의 백화현상에 따른 지질 및 지방산의 비교. 한국식품영양학회지, 12: 502-507.
- 박인석 · 김치홍. 2005. 한국의 메기과(Siluridae) 어류 2종의 상악수염의 조직학적 특성. 한국어류학회지, 17: 36-42.
- 유민정. 2008. 참갈겨니 *Zacco koreanus*와 눈둥자개 *Pseudobagrus koreanus*의 생태학적 차이에 의한 망막 조직의 비교 연구. 전북대학교 석사학위논문, 40pp.
- 이정열 · 허준욱 · 김선규. 2008. 기아에 따른 양식 메기, *Silurus asotus*의 성장 및 생리적 반응. 한국어류학회지, 20: 81-89.
- 제갈승주 · 주경운 · 김성인 · 안승주 · 이명환 · 광성규 · 황구연 · 김태정 · 김홍두 · 신용철 · 김주성 · 민병운 · 임형선. 2006. 조직검사학 제4판. 고려의학, 511pp.
- Bolker, J.A. and C.R. Hill. 2000. Pigmentation development in hatchery-reared flat fishes. J. Fish Biol., 56: 1029-1052.
- Fu, L., M. Mambrini, E. Perrot and D. Chourrout. 2000. Stable and full rescue of the pigmentation in a medaka albino mutant by transfer of a 17 kb genomic clone containing the medaka tyrosinase gene. Gene, 241: 205-211.
- Fukamachi, S., A. Shimada and A. Shima. 2001. Mutation in the gene encoding B, a novel transporter protein, reduce melanin content in medaka. Nature Genetics, 28: 381-385.
- Gronskov, K., J. Ek and K. Brondum-Nielsen. 2007. Oculocutaneous albinism. Orphanet J. Rare Dis., 2: 1-8.
- Guo, H., B. Huang, S. Zhang and F. Qi. 2003. Biochemical and histochemical activities of tyrosinase in the skins of normal and albino turbot *Scophthalmus maximus*. Fish Physiol. Biochem., 29: 67-76.
- Hirt, B. and H.J. Wagner. 2005. The organization of the inner retina in a pure-rod deep-sea fish. Brain Behavior and Evolution, 65: 157-167.
- Hyodo-Taguchi, Y., C. Winkler, Y. Kurihara, A. Scharl and M. Scharl. 1997. Phenotypic rescue of the albino mutation in the medakafish (*Oryzias latipes*) by a mouse tyrosinase transgene. Mech. Dev., 68: 27-35.
- Kelsh, R.N., B. Schmid and J.S. Eisen. 2000. Genetic analysis of melanophore development in zebrafish embryos. Develop. Biol., 225: 277-293.
- Koga, A and H. Hori. 1997. Albinism due to transposable element insertion in fish. Pigment Cell Res., 10: 377-381.
- Lagler, K.F., J.E. Bardach, R.R. Miller and D.R.M. Passono. 1977. Reproduction. In: Ichthyology (2nd). John Wiley and Sons, pp. 97-100.
- Nakamura, K., A. Ozaki, T. Akutsu, K. Iwai, T. Sakamoto, G. Yoshizaki and N. Okamoto. 2001. Genetic mapping of the dominant albino locus in rainbow (*Oncorhynchus mykiss*). Mol. Genet. Genom., 265: 687-693.
- Oh, M.K., J.Y. Park, M.J. You, E.J. Kang, S.G. Yang, E.O. Kim, Y.C. Jo, I.S. Park, C.H. Kim and I. Toshihiro. 2008. Histological study of oculocutaneous albinism in the Korean Bitterling, *Acheilognathus signifier* (Osteichthyes; Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 20: 167-172.
- Presnell, J.K. and M.P. Schreibman. 1997. Humanson's animal tissue techniques. The Johns Hopkins Univ. Press, London, 572pp.
- Ryan, S.J. 2001. Retina (3rd ed). Mosby, pp. 32-53.
- Seikai, T. and J. Matsumoto. 1991. Mechanisms of albinism in flatfish with regard to pigment cells and skin differentiation. Euro. Aquacult. Soc., 15: 328-330.