

양식 뱀장어 (*Anguilla japonica*)의 황달에 관하여

김대현 · 박성우[†]
(군산대학교)

Jaundice in Cultured Eel (*Anguilla japonica*)

Dae-Hyun KIM · Sung-Woo PARK[†]
(Kunsan National University)

Abstract

The disease occurred in cultured eel (*Anguilla japonica*) in a recirculatory culture system without any separated filtration apparatus. As the pond had a high level of nitrite with 60 mg/ℓ, 1% NaCl was added to reduce nitrite toxicity to eel. The first outbreak was observed a week after the NaCl treatment and continued for 10 days. Accumulated mortality was about 0.2-0.5%.

Affected fish ranged from 150-350 g were usually anorexic and exhibited yellow colour in the skin of the abdominal region and at the base of pectoral fins, as well as in the eyes. In a few individuals with severe symptoms, the lateral skin was also yellowish. The spleen, kidney, muscle and gall bladder were yellowish and the liver was pale-yellow colour but green on the posterior part. The gall bladder was shrunken without bile.

Some abnormal erythrocytes such as “tear drop” cells (dacrocyte) were observed in peripheral blood smears stained with May-Grunwald Giemsa. Hematocrit values and hemoglobin contents in the jaundiced eel were significantly lower compared with apparently healthy eel. Severe haemosiderosis accompanied by erythrophagocytosis was found in the kidney and spleen. Haemosiderin deposits were observed in macrophages of the haematopoietic tissue of the kidney and in the splenocytes. But no significant alterations were found in the hepatic cells. In this study we report the first outbreak of jaundice in cultured eel in Korea. Pathological and hematological investigations suggested that severe hemolysis may result in jaundice in eel although the cause of hemolytic jaundice was not identified in this study.

Key words : Eel, *Anguilla japonica*, Jaundice

I. 서론

우리나라에서 뱀장어 양식은 비닐하우스 내의 순환여과식 방식으로 사육되고 있지만, 최근 들어 기존에 알려지지 않은 AngHV-1과 같은 새로운 질병이 발병되고 있다.

황달은 포유류에서는 조직에 빌리루빈이 축적되어 발생하는 질환으로 피부, 눈 또는 지방조직

이 황색으로 변하는 것을 특징으로 하는 질병이다. 어류의 황달에 관한 연구는 차넬메기 *Ictalurus punctatus* (Tomasso et al., 1979), sharp-tooth catfish *Clarias gariepinus* (Oladele et al., 2012), 방어 *Seriola quinqueradiata* (Sakai et al., 1989; Sorimachi et al., 1993), 참돔 *Pargrus major* (Sakai et al., 1993), coho salmon *Oncorhynchus kisutch* (Sakai et al., 1994; Smith et

[†] Corresponding author : 063-469-1884, psw@kunsan.ac.kr

* 본 연구는 군산대학교 수산과학연구소의 연구비 지원에 의한 대어민 질병 상담업무의 일환으로 수행되었습니다.

al., 2006), 뱀장어 *Anguilla japonica* (Kawatsu & Sakai, 1980; Endo et al., 1992), 동남아시아산 메기 *Pangasianodon hypophthalmus* (Chinabut, 2002), hybrid catfish, *Clarias betrachus* x *Clarias fuscusi* (Chang et al., 2008), chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha* (Garver et al., 2015) 등이 있다.

혈액학적 관점에서 Heme의 대사과정이 포유류와 다른 어류(Sakai et al, 1988, 1990)의 황달의 원인은 매우 다양하여, 세균성(Sorimachi et al., 1993; Oladele et al., 2012), 영양성 (Sakai et al., 1989, Chinabut 2002), 바이러스성(Sakai et al., 1994; Smith et al., 2006) 등 다양한 원인이 제기되고 있는 반면, 원인이 명확하지 않은 용혈성 황달(Chang et al., 2008) 또는 여전히 원인 불명인 경우(Sakai et al., 1993; Garver et al., 2015)도 있다.

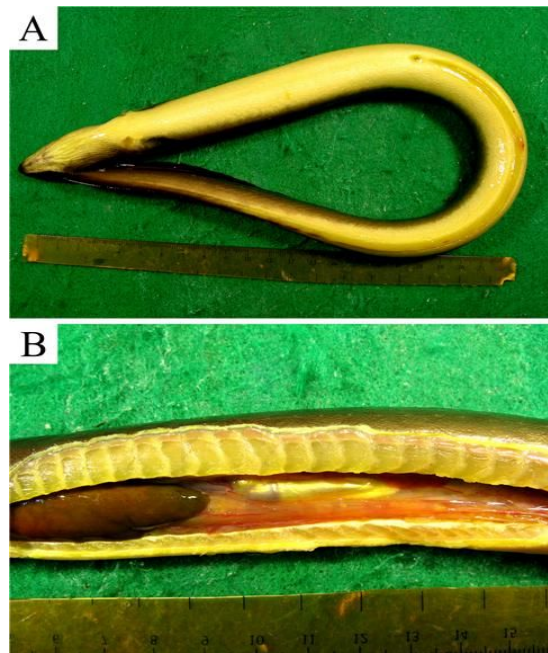
본 연구에서는 2014년 10월 전북에서 순환여과식으로 사육중인 뱀장어에 발생한 황달의 원인을 구명하고자 몇몇 혈액학적 성장과 병리조직학적으로 검토한 결과를 보고한다.

II. 재료 및 방법

황달 증상을 나타내는 양식 뱀장어 4마리(평균 체장 50.7 cm, 평균 체중 199.3 g)을 시료로 사용하였다. 뱀장어는 urethane 1.5%에 마취한 다음 미부혈액에서 혈액을 채취하여 도말표본을 만들어 May-Grunwald Giemsa염색 및 hemoglobin양과 hematocrit값을 측정하였다. 세균의 분리를 위하여 병어의 간장, 비장 및 신장을 tryptic soy agar (Difco) 및 brain hear infusion agar (Difco)에 접종하여 25℃에 48시간 배양하였다.

병어의 간장, 비장, 신장, 근육 및 소화관을 10%중성포르말린에 고정하여 상법에 따라 파라인 조직표본을 만들었다. 5 μm의 조직 절편은 Meyer's HE염색 및 혈철소(hemosiderin)를 염색하기 위하여 Perl's Prussian blue로 염색 후 광학현미경으로 검정하였다.

조직속의 bilirubin의 존재는 신장, 비장, 간장 및 근육의 조직 절편을 탈파라핀한 다음 증류수에 함수시킨 후 Stein's iodine stain 및 Fouchet solution으로 염색하였다. Stein's iodine stain의 경우 요오드액에 6-12시간 침지하여 bilirubin을 녹색의 biliverdin로 산화시킨 다음 증류수로 세척하였다. 5% sodium thiosulfate액으로 15-30초간 탈색시킨 다음 다시 증류수로 세척하였다. Stein's iodine solution은 tincture of iodine(Iodine 7.5g, Potassium iodine 5 g, Dw 5 ml, 95% ethanol로 100 ml로 mass up)과 Lugol액(Iodine 1 g, Potassium iodide 2 g, Dw 100 ml)을 1:3의 비율로 혼합하여 제조한다. 대비로서 핵을 염색을 위해서 nuclear fast red (Sigma)액으로 5분간 염색한 다음 증류수로 세척하였다.



[Fig. 1] A: External symptoms of jaundiced eel showing yellow discoloration in the ventral surface, eyes, and at the base of pectoral fins. B: Internal symptoms exhibiting green liver and yellow discoloration of muscle, swim bladder and stomach.

Modified fouchet stain의 경우 fouchet solution(25% trichloroacetic acid 25 ml, 10% ferric chloride 10 ml의 혼합액)에 5분간 염색 후 running water와 증류수로 세척하였다. 대비 염색으로 Van giesan solution(Picric acid 100 ml, 1% acid fuchsin 15 ml)에 2분간 염색 후에 증류수로 세척하였다. 영구표본을 만들기 위해서 무수알콜 I, II, xylene I, II를 순차적으로 통과시켜 탈수 투명화시킨 다음 봉입하였다. 두 반응 모두 현미경으로 검경하여 emerald green으로 착색된 것을 양성반응으로 하였다.

III. 결과 및 고찰

발병한 양식장(15 m x 15 m, 수심 1 m)은 비닐하우스내의 자체 순환방식의 양식장으로서 뱀장어용 배합사료를 반죽하여 어체중의 1.2%를 일간 급여량으로 하여 1일 2회 투여하고 있었다. 사육수는 여과조 없이 순환하여 사용하는 양식장으로 하루에 수량의 약 5%를 환수하며, 사육수온은 28°C, pH는 5.5-6.0, DO는 5-6 mg/l, nitrite-N은 10-20 mg/l이었다.

본 양식장에서 사육중인 뱀장어에 황달의 발생은 사육중 양식지의 nitrite-N의 농도가 60 mg/l으로 상승하여, 사육지의 수량을 감소시킨 다음 1%식염수에 24시간 약육시켰다. 그 후 다시 지하수를 주입하여 수위를 상승시켜 먹이를 투여하기 시작한 약 1주일 후에 황달이 최초로 발생하기 시작하였다. 황달이 최초에 발생하였을 때는 사육미수 15,000미 중 하루에 40마리 정도가 폐사하여, 발병 5-7일간의 폐사율은 2.5%였으며, 그 후에도 폐사가 지속되어 10일 후 황달 증상이 발견되지 않을 때까지의 누적 폐사율은 0.2-0.5% 정도였다.

같은 양식장에서도 어린 개체에는 황달이 발생하지 않았으며, 주로 150-250 g의 개체에 발생하는 경향이였다. 또한 여러 양식지 중에서 아질산

의 농도가 높았던 수조일수록 아질산의 독성을 감소시키기 위해 1%식염 약육(Crawford and Allen, 1977; Perrone and Maeda, 1977; Tomasso et al, 1979)을 실시한 후에도 황달의 발생 빈도는 높은 경향이였다.

동일 수조에서 황달 증상을 나타내지 않는 개체는 먹이 섭취와 유영이 활발하였다. 그러나 황달 증세를 띄는 개체는 대부분이 전혀 먹이를 먹지 않으며, 배수구 주변에서 힘없이 유영하거나 바닥에 가라앉아 점차 체색이 노란색으로 변한 부분이 확대되면서 폐사되는데, 일단 체색이 노란색으로 변한 개체는 회복이 불가능하여 폐사되는 경향이였다.

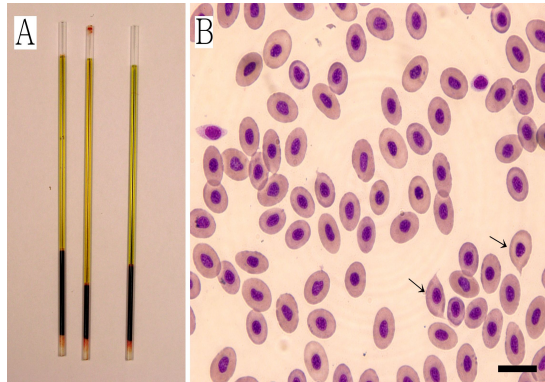
병어는 외관상 복부의 전체와 뒷지느러미 전체가 황색을 띄며, 가슴지느러미는 기부만이 황색을 띄고 끝 부분은 흑색을 띄며, 눈도 황변되어 있었다. 황달 증상이 심한 개체는 체측면의 피부도 등지느러미 아래 부분까지 황변되어 있었다 ([Fig. 1A]).

해부하여 보면 간장이 퇴색되어 있고 간장의 테두리 부분은 녹간 증상을 나타낸다. 또한 부레, 근육, 위의 부분도 황변되어 있고, 비장은 심하게 종대되며, 담낭은 담청색을 띄면서 수축되어 편평한 형태를 하고 있다([Fig. 1B]). 세균의 분리를 위하여 병어의 조직을 TSA 또는 BHIA에 접종하여 24°C에 48시간 배양한 결과 세균의 발육은 확인되지 않았다.

Kawatsu & Sakai(1980)은 황달 증상을 나타내는 뱀장어는 복부, 근육, 소화관이 황변되며, 간장이 검게 변하면서 백색 또는 흑색의 반점이 형성되며, 담낭이 수축된다고 보고하였다. 본 연구의 경우도 대부분의 증상이 일치하지만, 간장에 흑색 또는 백색의 반점이 형성되는 대신에 간장의 끝 부분이 녹간 증상을 띄는 점과 부레와 가슴지느러미 기부가 황변하는 것은 새로운 발견이라 하겠다.

또한 *Clarias* sp.종인 *C. macrocephalus* x *C. gariepinus*의 hybrid catfish (Pearson et al., 1994)와

C. betrachus x *C. fuscus*의 hybrid catfish (Chang et al., 2008)의 결과와 유사하지만, 뱀장어에서는 복수의 축적은 전혀 발견되지 않는 것이 차이점이라 할 수 있다.



[Fig. 2] A: Microhematocrit tubes showing reduced packed cell volume and yellowish plasma after centrifugation. B: Peripheral blood smear from jaundiced eel showing some irregular shape of erythrocytes such as “tear drop” cells (dacrocyte, arrows) and immature erythrocytes. May-Grunwald Giemsa stain. Bar=10 μ m.

병어의 말초혈액은 hematocrit 원심기에 원심한 후의 혈장 부분은 뱀장어의 고유의 혈장 색깔인 녹색이 아닌 황색을 띄고 있었다(Fig. 2A). 황달 증상의 뱀장어 말초혈액의 May-Grunwald Giemsa 염색 표본에서는 백혈구 중에서 전구의 수가 많고, 호중구와 단구도 정상어에 비해 많은 경향이 있었지만, 정상 개체와 현저한 차이는 없었다. 적혈구는 세포질의 한쪽 또는 양쪽이 길게 늘어난 모양의 이상 적혈구가 다수 발견되며, 세포질의 테두리가 호염기성을 나타내는 미숙적혈구의 출현

비율이 높았다(Fig. 2B). 이러한 이상 적혈구는 Turc (2013)의 동남아산 메기의 황달 개체의 말초 혈액 도말표본에서는 적혈구가 눈물모양 (tear drop cell, dacrocyte), helmet모양 (keratocyte) 또는 핵이 분절된 적혈구가 발견되었고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 동남아산 황달의 경우와는 달리 Kubota et al (1981)의 경우와 마찬가지로 단지 눈물 모양의 변형된 적혈구가 발견되었을 뿐, helmet모양 또는 핵이 분절된 변형 적혈구는 발견되지 않았다.

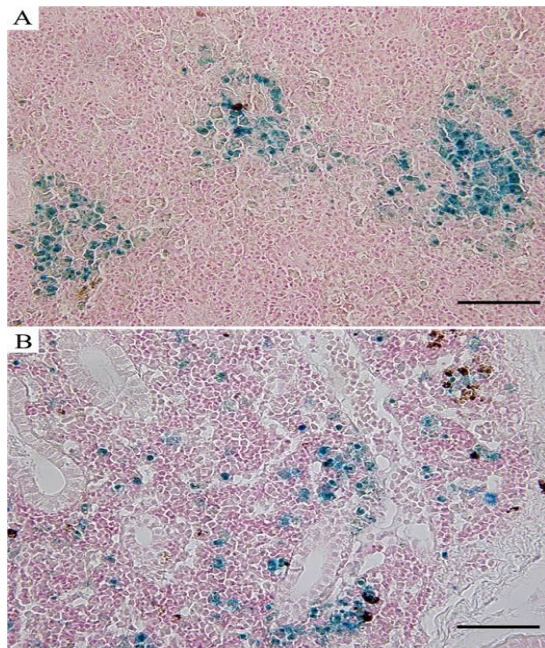
건강한 뱀장어와 황달이 발병한 뱀장어의 hemoglobin양 (Hb)과 hematocrit (Ht) 값은 <Table 1>에 표시하였다. 건강한 개체의 Hb와 Ht는 각각 7.2 ± 1.3 g/dl 및 $46.9 \pm 2.0(\%)$ 인 반면, 황달 개체는 1.8 ± 0.6 g/dl와 $5.6 \pm 0.6(\%)$ 로서 건강개체에 비해 Hb와 Ht 모두 현저하게 낮게 나타났다.

건강한 뱀장어의 혈장의 색깔과 Ht값은 26.0-37.0% (大上 et al., 1969)이며, biliverdin이라는 색소 단백질을 포함하고 있기 때문에 혈청이 녹색을 띄는 (Yamaguchi et al., 1966; Kawatsu and Sakai, 1980)것과는 달리 황달 병어는 혈장의 색깔이 노란색을 띄고 Ht값은 현저히 낮은 수치였다. 그러나 Kawatsu & Sakai (1980)는 건강한 뱀장어의 Hb는 7.43 g/dl, 황달개체의 Hb는 6.9 g/dl로 차이가 없었다고 하였지만, 본 연구의 경우에는 황달 개체는 Hb값도 또한 현저히 낮은 수치를 나타내었다. 한편 Turc (2013)가 동남아산메기 황달에서의 Ht치는 현저히 감소하며, 황달을 일으킨 개체는 심한 빈혈이 유발된다고 보고하였다. 이처럼 Ht치가 현저하게 감소하는 것은 출혈 또는 용혈을 의미하지만, 황달 동남아산 메기에서는 전혀 출혈 환부가 발견되지 않았다. 그럼으

<Table 1> Comparison in the Hemoglobin content and hematocrit value in healthy or jaundiced eel (n=4)

Eel	Hemoglobin (g/dl)	Hematocrit (%)
Heathy	7.2 ± 1.3 (6.5-8.9)	46.9 ± 2.0 (44.0-48.9)
Jaundiced	1.8 ± 0.6 (1.1-2.6)	5.6 ± 0.6 (4.9-6.1)

로 동남아산메기에서의 Ht값의 감소는 적혈구의 붕괴를 의미함으로 동남아산 메기의 황달은 용혈성 황달이라고 보고하였다. 그러나 Kawatsu & Sakai (1980)는 뱀장어의 황달이 Ht치가 정상어와 차이가 없어 황달의 원인이 간 기능 장애라고 추정하였고, Endo et al.(1992)가 보고한 뱀장어의 황달에서도 적혈구의 현저한 붕괴가 관찰되었는데, 간 기능 장애와 적혈구의 붕괴를 원인으로 추정하였다.



[Fig. 3] Severe hemosiderin deposits in the parenchyma of spleen (A) and in the haematopoietic tissue of kidney (B). Perl's Prussian blue stain. Bars= 50 μ m.

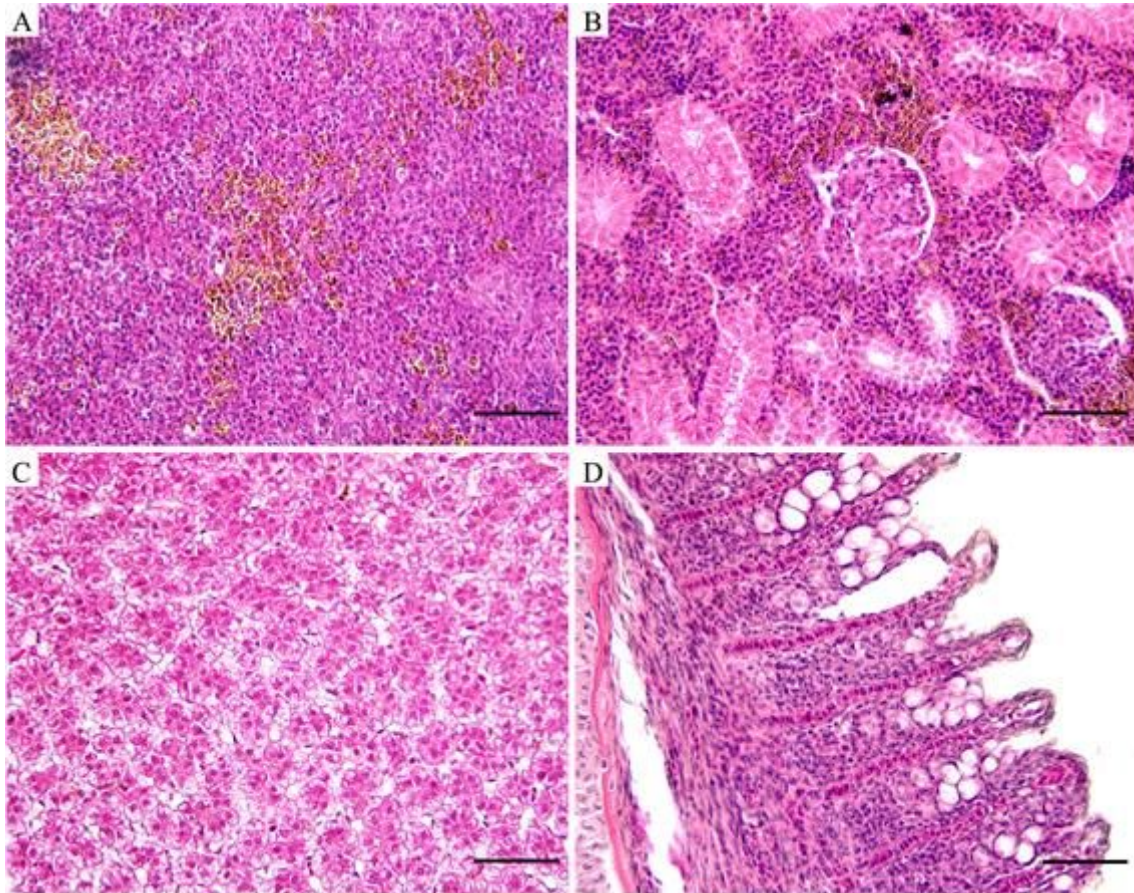
Kubota et al. (1981)은 고밀도 순환여과식 뱀장어 양식장에서 아질산의 농도가 7.8-10.5 mg/l 일 때 아질산중독증(methemoglobinemia)가 발생하며, 병어는 혈액과 간장이 초콜릿색을 띠면서 일부의 개체는 부종과 황달이 동반된다고 보고하였다. 또한 아질산중독의 증상이 심한 개체일수록 말초 혈액 적혈구가 눈물방울 모양(tear drop-shaped) 또

는 방추형(spindle-shaped)으로 변형하거나 핵의 변성 및 혈구의 붕괴가 나타나며 미숙혈구의 출현이 높았다. 본 연구에서도 황달의 최초의 발단은 높은 아질산독성이 발생한 이후에 발생하였으며 혈액학적으로 Kubota et al (1981)의 아질산 중독증의 증상과 매우 유사하였다.

병어의 가장 현저한 병리조직학적 변화는 비장과 신장의 혈철소의 침착이었다([Fig. 3]). 즉 비장과 신장의 조직표본에서는 출혈의 징후는 발견되지 않았다. 반면에 비장의 비수에는 마크로파지가 탐식한 혈철소가 집합체 또한 산재된 형태로 존재하며, 신장의 조혈조직에도 혈철소를 탐식한 마크로파지가 집합체 또는 산재되어 관찰되지만, Prussian blue염색에서 핑크색으로 염색되는 ceroid는 발견되지 않았다.

신장의 사구체의 소수의 모세혈관이 종대되며, 일부의 세뇨관은 혼탁종창, 초자적 변성 및 상피세포의 괴사가 발견되었다. 간세포의 세포질에는 글리코겐의 공포는 발견되지 않으며, 세포는 종창 및 핵붕괴를 동반한 괴사가 유발되어 있었지만, 혈철소의 침착은 발견되지 않았다([Fig. 4A-C]). 신장과 비장에 출혈이 없이 혈철소가 현저하게 침착된 것은 적혈구의 과잉붕괴에 기인한 것으로 말초혈액에서의 형태 이상의 적혈구 또는 미숙 적혈구의 출현 및 Ht치의 현저한 감소가 유발되었다고 결론지을 수 있다.

아가미는 소수의 흡충이 감염되어 있는 경우도 있었지만, 모세혈관의 출혈과 상피세포의 증생으로 인한 새변의 유착, 상피세포의 박리 등이 관찰되었다([Fig. 4D]). 아가미의 이러한 변화는 병어를 아질산의 독성을 완화시키기 위하여 부분 환수 후에 1%식염수욕을 실시하여도 회복하지 못하고 폐사된 직접적인 원인으로 추정된다. 병어에서의 bilirubin의 탐지를 위하여 Stein's iodine 염색한 경우 단지 신장의 괴사된 세뇨관의 관공내에서만 발견되고 ([Fig. 5]), 비장, 간장 및 피부 등에서는 발견되지 않았다.



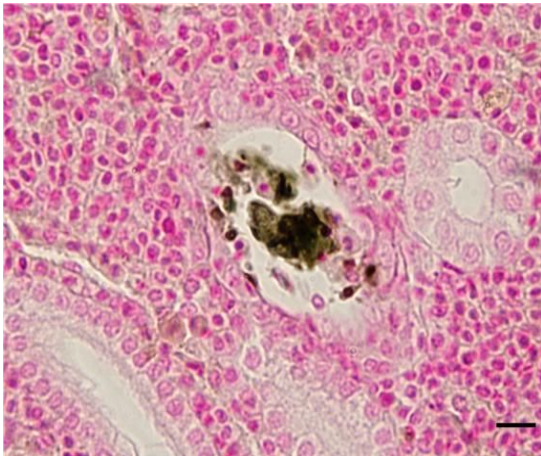
[Fig. 4] A: Aggregated and scattered melanomacrophages deposited in the parenchyma and in the blood vessel of spleen. Splenocytes phagocytized degenerated erythrocytes and hemosiderin are deposited in the splenocytes. B: Mild necrosis and degeneration of renal tubular epithelia with hyaline droplet and cloudy swelling. Hemosiderin deposits in the haematopoietic tissue. C: Focal necrosis of the hepatic cells with nuclear pyknosis and eosinophilic granules in the cytoplasm. D: Hyperplasia of lamellar epithelia, fusion of gill filaments, and separation of secondary lamellar epithelium. HE. Bars= 50 μ m.

이러한 병리조직학적 변화는 Kubota et al.(1981)의 보고에서 메트화율이 높은 경우(고농도의 아질산에 노출되었을 경우)의 신장과 비장의 변화와 일치하지만, 간세포의 공포화와는 약간의 차이가 있다. 또한 Sakai et al.(1989)는 방어에서, Endo et al.(1992)는 뱀장어에서 간장은 조직학적으로 변화가 거의 없지만, 신장과 비장의 혈철소의 침착과 ceroid가 조직학적으로 침착되기 때문에 황달의 직접적인 원인은 용혈이 아니라

용혈과 지질의 과산화가 황달의 원인이라고 하였다. 그러나 본 연구의 경우 간을 비롯한 여러 조직에서 ceroid의 축적은 발견되지 않으며, 간세포의 손상 또한 경미한 것으로 미루어보아 지질의 과산화를 황달의 원인이라고도 볼 수 없다.

따라서 본 연구에서 황달 증상의 뱀장어에서 조직학적으로 출혈이 발견됨이 없이 Ht치와 Hb가 동시에 현저히 감소한 것과 비장과 신장에 혈철소가 다량으로 침착된 것은 적혈구의 용혈에

의한 것으로 판단된다. 황달의 직접적인 원인은 밝혀내지 못하였으나 병어의 증상, 용혈과 혈색소의 감소와 미숙적혈구의 출현을 특징으로 하는 혈액학적 특징 및 조직학적 변화 등으로 미루어 매우 높은 농도의 아질산에 노출 후에 극심한 용혈이 일어나고 이어서 혈액중의 간접형의 빌리루빈 (unconjugated bilirubin)의 양이 증가되어, 간에서 수용성인 직접형의 빌리루빈(conjugated bilirubin)으로 변환되지 않아, 체외로 배출되지 못하고 혈액을 따라 순환하면서 전신적 황달을 유발되었으며, 아가미의 호흡면적의 감소에 의한 호흡곤란이 직접적인 사인으로 작용한 것으로 추정된다.



[Fig. 5] Bilirubin deposits were demonstrated as an emerald green color in a necrotized renal lumens of kidney. Stein's iodine staining. Bars= 10 μ m.

References

- Chang, P-H. · Kou, S-T. · Chen, M-H. · Tu, C. · Huang, S-H. · Lai, T-M. and Yu, W-C.(2008). Jaundice in cultured hybrid catfish, *Clarias betrachus* x *Clarias fuscusi*. JVCS, 1: 47~51.
- Chinabut S.(2002). Jaundice disease in catfish, a case study demonstrating a decline in incidence as a result to research output. In: Primary Aquatic Animal Health Care in Rural Small Scale Aquaculture Development (ed. by J.R. Arthur, M.J. Phillips, R.P. Subasinghe, M.B. Reantaso & I.H. MacRac) FAO Fish Technical paper No. 406: 77~80.
- Crawford, R. E. and Allen, G. H.,(1977). Seawater inhibition of nitrite toxicity to chinook salmon. Trans. Am. Fish. Soc., 106: 105~109.
- Endo, M. · Sakai, T. · Yamaguchi, T. · Nakajima, H.(1992). Pathology of jaundice in the cultured eel *Anguilla japonica*. Aquaculture, 103: 1 - 7.
- Garver, K. A. · Marty, G. D. · Cockburn, S. N. · Richard, J. · Hawley, L. M. · Müller, A. & Saksida, S.(2016). Piscine reovirus, but not Jaundice Syndrome, was transmissible to Chinook Salmon, *Oncorhynchus tshawytscha* (Walbaum), Sockeye Salmon, *Oncorhynchus nerka* (Walbaum), and Atlantic Salmon, *Salmo salar* L. J. Fish Dis, 39: 117~128.
- Kawatsu, H. and Sakai, T.(1980). Hyperbilirubinemia in cultured eel. Bull. Jap. Soc. Sci, Fisher., 46: 809~812.
- Kubota, S. S. · Amano, H. · Ichioka, M. · Miyazaki, T. and Niwa, M.(1981). Methemoglobinemia in Japanese eel. Bull. Fac. Fish. Mie Univ., 8: 149~161.
- Oladele, O. O. · Ajayi, O. L. · Olude, O. O. · Stephen, O. O. · Adediji, A. A. · Arasi, I. O. · Ntiwunka, U. G.(2012). Jaundice syndrome in African sharp-tooth catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell), associated with haemolytic *Staphylococcus aureus*. J. Fish Dis, 35: 945~947.
- Pearson, M. D. · Chinabut, S. · Karnchanakham, S.(1994). Jaundice disease in the farmed catfish hybrid, *Clarias macrocephalus* (Gunther) × *C. gariepinus* (Burchell) in Thailand. J Fish Dis, 17: 325~336.
- Perrone, S. J. and Maeda, T. L.(1977). Protective effect of chloride on nitrite toxicity to coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). J. Fish Res. Bd. Can., 34: 486~492,
- Sakai, T. · Murata, H. · Endo, M. · Yamauchi, K. · Tabata, N. and Fukudome, M.(1989). 2-Thiobarbituric acid values and contents of f_i -tocopherol and bile pigments in the liver and

- muscle of jaundiced yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. Agric. Biol. Chem., 53: 1739~1740
- Sakai, T. · Murata, H. · Yamauchi, K. · Takahashi, K. · Okamoto, N. · Kihira, K. & Tanaka, Y.(1994). Hyperbilirubinemia of Coho Salmon *Oncorhynchus kisutch* Infected with Erythrocytic Inclusion Body Syndrome (EIBS) Virus. Fisheries sci. 60: 519~521.
- Sakai, T. · Shimomura, T. · Endo, M. · Murata, H. · Tashiro, K. & Yamauchi, K.(1993). Occurrence of hyperbilirubinemia in cultured red sea bream. J. Biosci, biotech, and biochem, 57: 328~329.
- Sakai, T. · Tabata, N. and Watanabe. K.(1988). Bile pigments in the bile of freshwater fish, rainbow trout, tilapia, and pejerrey. Agric. Biol. Chem., 52: 3051~3056.
- Sakai, T. · Tabata, N. and Watanabe. K.(1990). Bile pigments in the bile of marine fish: Yellowtail, red sea bream, and flounder. Agric. Biol. Chem., 54: 2047~2053.
- Smith, P. A. · Larenas, J. · Contreras, J. · Cassigoli, J. · Venegas, C. · Rojas, M. E. & Díaz, S. (2006). Infectious haemolytic anaemia causes jaundice outbreaks in seawater cultured coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum), in Chile. J. Fish Dis, 29, 709~715.
- Sorimachi, M. · Maeno, Y. · Nakajima, K. · Inouye, K. & Inui, Y.(1993). Causative agent of jaundice of yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. Fish Path.
- Tomasso, J. R. · Simco, B. A. and Davis, K. B.(1979). Chloride inhibition of nitrite-induced methemoglobinemia in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). J. Fish. Res. Bd. Can., 36: 1141~1144.
- Turc, L. T. T.(2013). Investigation into jaundice in farmed catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*, Sauvage) in the Mekong Delta, Vietnam. University of Stirling, doctoral thesis.
- Yamaguchi, K. · Kochiyama, Y. · Hashimoto, K. and Matsuyama, F.(1966). Studies on a blue-green serum pigment of eel-II. Identification of prosthetic group. Bull. Jap. Soc. Sci. Fisher., 32: 873~878
- 大上皓久, 幡谷雅之, 村松高明 (1969). 養殖ウナギの血液性状に関する研究. I. 健康状態と2, 3の血液性状との関係について. 静岡水試研究報告, 3: 57~67.
-
- Received : 09 August, 2016
 - Revised : 13 October, 2016
 - Accepted : 20 October, 2016