한국어병학회지 제 14권 제 2호 (2001)
J. Fish Pathol., 14(2) : 81 ~ 90 (2001)

구리 (Cu)에 대한 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 조직학적 반응

이정식† · 강주찬* · 신윤경** · 마경화 · 진 평***
여수대학교 어병학과, *부경대학교 수산생명의학과,
**국립수산진흥원 남해수산연구소, ***부경대학교 해양생물학과

Histological Responses of the Flounder, *Paralichthys olivaceus* Exposed to Copper

Jung Sick Lee,† Ju Chan Kang,* Yun Kyung Shin,
Kyung Hwa Ma and Pyung Chin*****

Department of Fish Pathology, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea
**Department of Aquatic Life Medicine, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea*
***South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Yosu 550-120, Korea*
****Department of Marine Biology, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea*

The histological responses of the flounder, *Paralichthys olivaceus* to copper were examined in the gill, hepatopancreas and kidney. In control group, from 5 weeks mucous cells and chloride cells were increased in the gill, and numerous hemocytes and some melano-macrophagocytes were observed in the hepatopancreas and kidney. The minimum concentration for histological responses was 0.05 mg/ℓ/7d. In this group gill and hepatopancreas showed chloride cell activation, hepatocyte activation, pancreatic zymogen reduction, and congestion, and melanomacrophagocytes were observed in the kidney. From the histological observations, the critical concentrations for dysfunctionality were 0.18 mg/ℓ/21d in the gill, 0.18 mg/ℓ/14d in the hepatopancreas and 0.08 mg/ℓ/14d in the kidney, respectively.

Key word : Copper, *Paralichthys olivaceus*, Histopathology

미량원소 (trace element)는 생물체들이 정상적인 생명활동을 유지하는데 필수 불가결한 원소 중 생명체내에 비교적 함량이 적은 원소들로서 이 가운데는 미량금속들 (trace metals)이 포함된다. 미량금속은 보통 두 종류로 구분되는데, 그 중 한 종류는 정상적인 생화학적 반응과정에 필수적인 구리 (Cu), 아연 (Zn), 철 (Fe), 망간 (Mn) 등이며, 또 다른 한 종류는 어떤 확실한 생화학적 기능을 가지지 않는 금속들로서 카드뮴 (Cd), 수은 (Hg), 크롬 (Cr), 납 (Pb) 등으로 이들은 수서환경에서 중요한 오염원으로 작용하고 있다 (Viarengo, 1985). 하지만 전자의 경우에도 체내에 이들의 농도가 높아지게 되면 세포의 구조적 이상 및 생화학적인 기능의 장애로 인한 여러 측면의 생리학적인 불균형이 나타나게된다. 고농도의 구리, 아연, 철은 단독 또는 혼합형태로 수서생물 또는 환경에 길항적으로 작용하거나 또는 공동상승적으로 영향을 미쳐 성장, 번식력 및 일차생산성 등을 저하시키고, 용존산소와 alkalinity에도 영향을 준다 (Mukhopadhyay and Konar, 1985).

고농도의 구리는 진주담치, *Mytilus edulis*의 초기 유생 발생과정의 저해와 성체에 있어서 아가미, 혈구, 간췌장의 조직학적 변화와 생식에 영향을 미치고 (Calabrese *et al.*, 1984), Coho salmon 치어에서 metallothionein 대사의 변화를 유도하고 (McCarter and Roch, 1983), 진주담치의 패각 형성 및 성장에 영향을 주며 (Strongren, 1986), *Torpedo marmorata* 신경계의 미토콘드리아 변성을 유도하며 (Totaro *et al.*, 1986), *Morone americana*의 간 염증, 담관 상피의 증식, 흑색대식세포군의 증가 및 간조직 구조의

†Corresponding Author

파괴 (Bunton *et al.*, 1987)를 유발한다. 또한 cichlid fish, *Oreochromis niloticus*의 호흡과 운동성에 변화를 주며 (Alkahem, 1989), *Channa punctatus*의 혈구 감소와 혈장 단백질의 현저한 감소를 유발하며 (Sasty and Sachdeva, 1994), 바지락, *Ruditapes philippinarum*의 아미노산 대사의 불균형을 초래하며 (Blasco and Puppo, 1999), 진주담치의 면역기능을 저하시킨다 (Pipe *et al.*, 1999).

이러한 보고에서처럼 환경에 높은 농도로 존재하는 이들 미량금속은 주로 아가미를 통하여 체내로 흡수되어 일부는 배설되지만 상당량은 체내에 축적된다. 따라서 배설과 축적된 금속으로 인한 독성을 완화시키기 위한 생물체의 노력은 여러 면에서 정상적인 상태와는 현저히 다르게 나타난다.

본 연구는 주요 양식 대상어류인 넙치를 대상으로 구리에 대하여 직접적인 반응을 나타낼 것으로 판단되는 기관계를 대상으로 반응한계농도와 일련의 조직학적인 반응양상을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

실험에는 외관상 질병의 증세가 나타나지 않은 체장 17.5~19.2 cm, 체중 76.2~84.3 g의 건강한 개체를 사용하였다. 이들은 400 ℓ 순환여과식 수조에서 10일 동안 수온, pH, 염분 및 용존 산소가 각각 19.8~21.3 ℃, 7.8~8.3, 32.6~33.3 ‰, 7.1~7.4 mg/ℓ인 조건에서 순치 시킨 개체들이다.

먹이는 넙치용 부상사료를 공급하였고, 실험해수의 교환은 2일을 원칙으로 하였으나, 수질측정 결과에 따라 매일 교환하였다. 실험용액은 구리 ($CuCl_2$, RdH-32284)를 이용하여 stock solution을 만든 다음 sodium citrate를 같은 비율로 첨가하여 설정 농도별로 제조하였다. 실험구는 구리를 첨가하지 않은 대조구와 예비실험 결과 영향농도를 기준으로 4개의 구리노출 농도구 (0.05, 0.08, 0.18, 0.32 mg/ℓ)를 설정하여 각 실험구별로 넙치를 6주간 노출시켜 2회 반복 실험하였다.

각 실험구의 어류는 매주 5개체씩 필요한 기관을 절취하여 파라핀 절편법에 의하여 4~6 ㎛ 두께의 연속절편을 제작하였다. 표본은 Mayer's hematoxylin-0.5 % eosin (H-E) 비교염색, Mallory 삼중염색, AB-PAS (pH 2.5) 및 PAS 반응을 실시하였다. 조직학적 변화양상의 기재는 조사된 개체 가운데 50 % 이상의 개체에서 나타나는 조직상을 기준으로 하였다.

결 과

대조구

아가미

넙치의 아가미는 다른 경골어류와 마찬가지로 각새골을 중심으로 새엽과 새판이 발달된 구조였다. 각 새판은 가장 바깥쪽에 단층 편평 상피세포층으로 덮여 있으며, 점액세포와 염세포 그리고 벽주세포 등으로 구성되어 있었다. 점액세포와 염세포는 H-E 염색과 Mallory 삼중염색에서는 모두 공포상으로 나타났지만 (Fig. 1, A), PAS 반응에서 점액세포는 양성의 결과를 보였고 염세포는 음성의 결과를 보였다 (Fig. 1, B). 실험 개시기부터 4주까지는 별다른 특이한 조직상은 관찰되지 않았으며, 사육 5주부터 실험 종료까지는 점액세포와 염세포의 증가가 관찰되었다.

간췌장

육안적으로 넙치의 간과 췌장은 구분되지 않지만, 조직학적으로 볼 때 가장 바깥쪽은 얇은 장막으로 싸여 있으며, 췌장조직이 산재해 있는 간췌장의 형태를 보였다. 간세포들은 각각의 간세포사슬을 하나의 단위로 모여있으며, 각각의 간세포는 둥근 다각형으로 핵은 매우 뚜렷하였다 (Fig. 1, C). 간조직의 여러 부위에서는 간정맥 및 모세혈관 그리고 담관이 확인되었다. 췌장조직을 구성하는 외분비세포들은 역삼각형으로 세포질은 강한 호염기성을 나타냈지만, 세포질에는 다수의 호산성 효소원과립들이 밀집되어 있었다 (Fig. 1, D). 실험 개시 5주부터 대조구의 간조직에서는 모세혈관내에 혈구가 다소 증가되었으며, 일부 흑색 대식세포들이 관찰되었으나 췌장조직내의 효소원 과립의 변화는 관찰되지 않았다. 6주 후에는 간세포의 팽창이 관찰되었을 뿐 별다른 조직상의 변화는 관찰되지 않았다.

신장

넙치 신장은 1/5정도의 전단부는 두 갈래로 분지되어 있으나, 나머지 부위는 융합된 상태였다. 신장

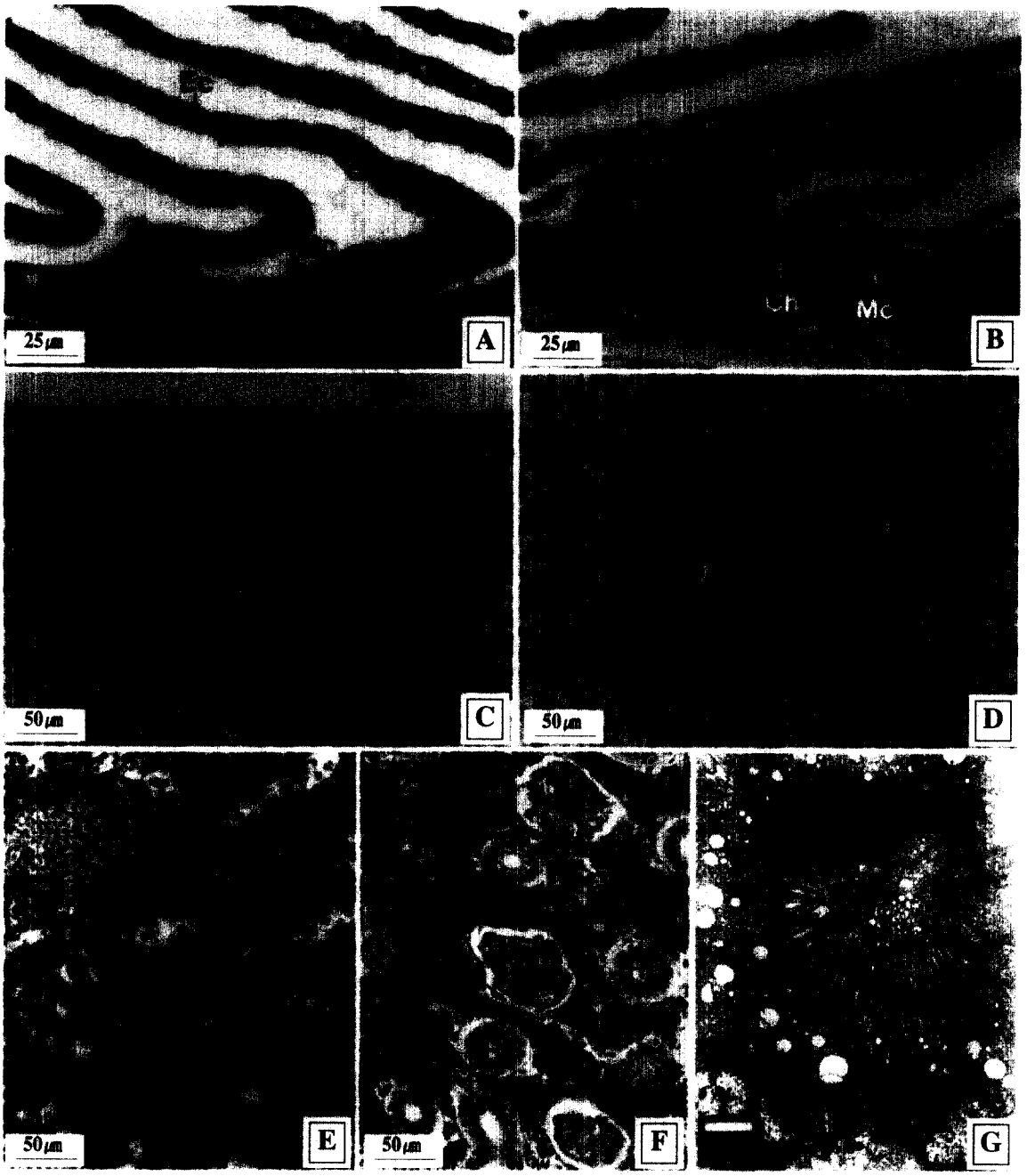

Fig. 1. Histology of gill, hepatopancreas and kidney of the flounder, *Paralichthys olivaceus* in the control group. A: Longitudinal section of gill showing the mucous cell (Mc) and chloride cell (Ch) of vacuolar form. B: Section of AB-PAS (pH 2.5) showing the mucous cells of PAS positive. C: Section of H-E stain showing the serous membrane (Sm), hepatic lobule (Hl) and hepatic cell (Hc). D: Section showing the hepatic cell and pancreas (P) with numerous zymogen granules (Zg) in the cytoplasm. E: Anterior part of kidney. Notice the abundant interstitial tissue (It) and absence of glomerulus and renal tubules. F: Mid part of kidney. Notice the glomerulus (Gl) and renal tubules (Rt). G: Section showing the microvilli (Mv) on the free surface of renal tubules. Bv: blood vessel, Ec: epithelial cell, L: lumen.

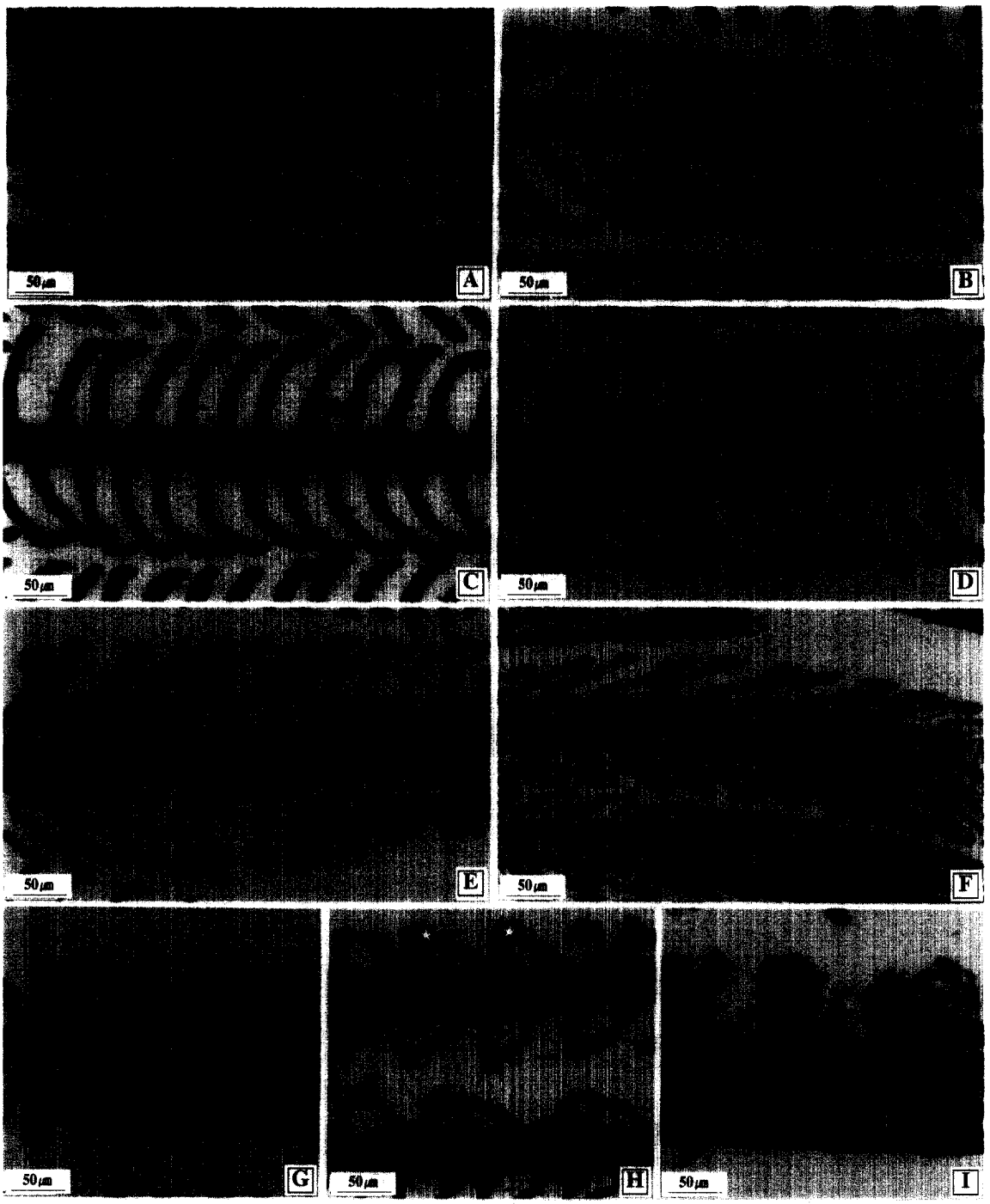

Fig. 2. Histological changes of gill of the flounder, *Paralichthys olivaceus* exposed to copper. A: 0.05 mg/ℓ/7d. Notice the activated chloride cells (Cc). B: 0.05 mg/ℓ/14d. Notice the activated mucous cells (Mc) of PAS positive. C: 0.08 mg/ℓ/14d. Notice the hyperplasia of filament epithelial cells and increment of hemocytes (Hc). D: 0.05 mg/ℓ/21d. Notice the mucous cells of alcian blue positive. E: 0.18 mg/ℓ/21d. F: 0.32 mg/ℓ/21d. G: 0.32 mg/ℓ/28d. Notice the lifting (↑) of epithelial layer. H: 0.05 mg/ℓ/42d. Notice the terminal clubbing and fusion (☆) of gill lamellae. I: 0.18 mg/ℓ/42d. The section showing the deformation of the lamellae.

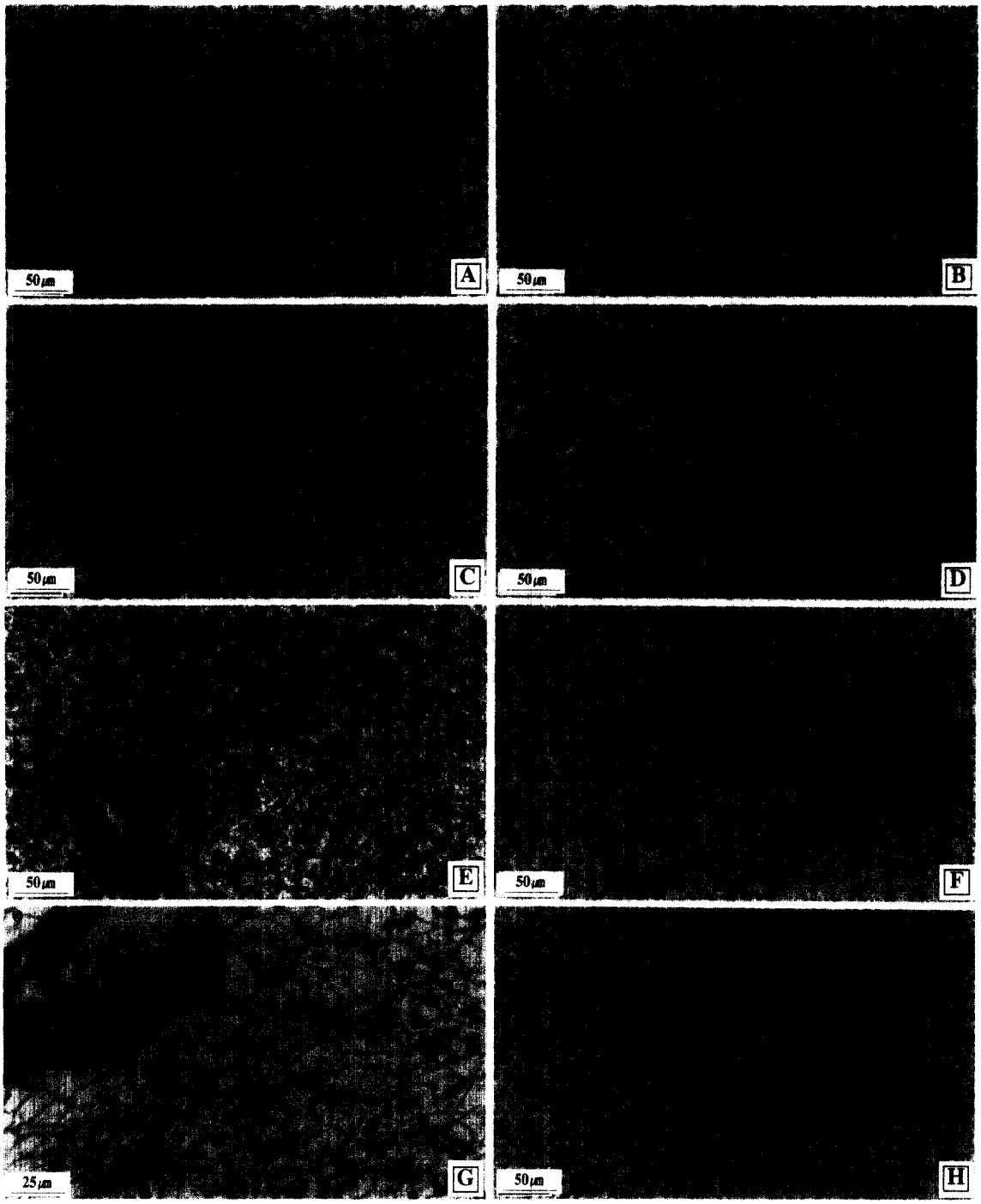

Fig. 3. Histological changes of hepatopancreas of the flounder, *Paralichthys olivaceus* exposed to copper. A: 0.05 mg/ℓ/7d. Notice the swelling of hepatic cells and the degeneration of zymogen granules. B: 0.08 mg/ℓ/7d. AB-PAS section showing the free surface of alcian blue positive in the bile duct (Bd). C: 0.08 mg/ℓ/14d. Notice the melano-macrophagocytes (Mp). D: 0.18 mg/ℓ/14d. Notice the cloudy swelling and pycnosis of hepatic cells. E: 0.32 mg/ℓ/14d. Notice the granulation of hepatic cells. F: 0.18 mg/ℓ/21d. Notice the regeneration of zymogen granules. G: 0.18 mg/ℓ/35d. Notice the regeneration of hepatic cells. H. 0.32 mg/ℓ/42d.

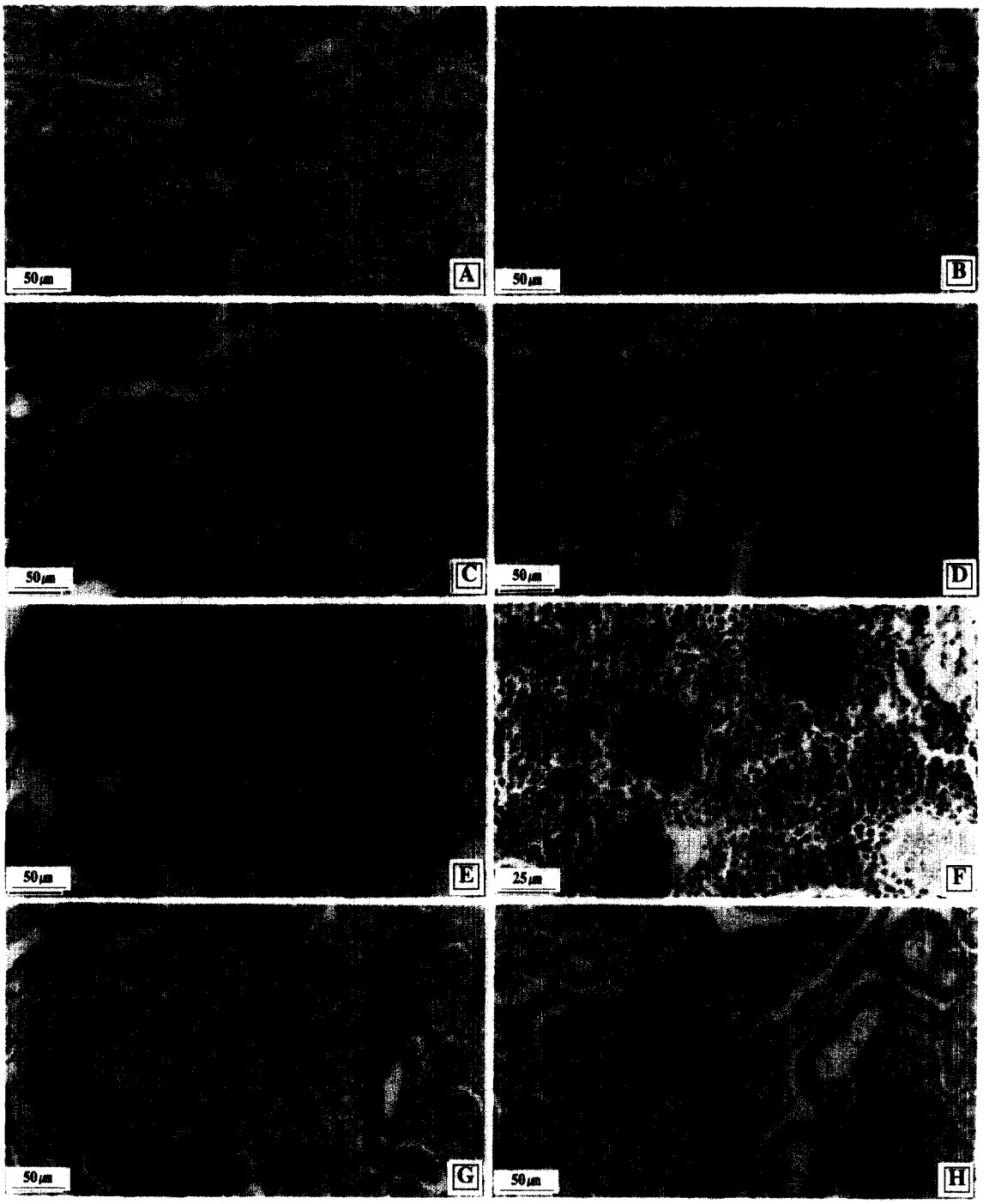

Fig. 4. Histological changes of kidney of the flounder, *Paralichthys olivaceus* exposed to copper. A: 0.05 mg/ℓ/7d. Notice the melano-macrophagocytes (Mp) and increment of hemocytes (Hc). B: 0.05 mg/ℓ/14d. Notice the numerous eosinophilic cells (Ec). C: 0.08 mg/ℓ/14d. Notice the activated glomerulus (Gl). D: 0.32 mg/ℓ/14d. E: 0.18 mg/ℓ/21d. F: 0.08 mg/ℓ/28d. H-E section showing the abundance of hemocytes in the interstitial tissue. G: 0.18 mg/ℓ/35d. H: 0.18 mg/ℓ/42d.

을 세 부분으로 나누어 보았을 때, 제일 앞쪽에서 사구체나 세뇨관은 관찰되지 않았고, 혈관과 조혈조직만 관찰되었다 (Fig. 1. E). 가운데 부분에서는 사구체와 세뇨관들이 집중적으로 분포하고 있었다. 사구체는 얇은 보우만주머니로 싸여 있으며, 내부는 모세혈관으로 구성되며 다수의 혈구세포들이 관찰되었다 (Fig. 1. F). 후방부에는 일부 사구체와 세뇨관들이 주로 분포하고 있었으며, 마지막 부분에서는 집합세관과 집합관이 관찰되었다. 근위세뇨관의 내강 상피층은 주로 입방형세포들로 구성되며 이들 세포들은 자유면에 미세융모를 가지고 있었다. 원위세뇨관의 내강 상피층은 주로 원주형세포들로 구성되며 이들 세포의 자유면에서는 섬모와 미세융모들이 관찰되었다 (Fig. 1, G). 실험 개시기부터 4주까지는 별다른 조직상의 변화가 관찰되지 않았으나 5주부터 실험종료까지는 흑색 대식세포들이 일부 관찰되었다.

노출구

아가미

구리 노출 실험구 가운데 가장 낮은 0.05 mg/ℓ 의 농도에서 7일 동안 노출된 개체들의 아가미 조직상에서는 대조구와 비교해 볼 때 새엽 상피층에서 염세포의 증가 및 활성화가 관찰되었다 (Fig. 2, A). 그 후 0.05 mg/ℓ/14d 농도구의 개체에서는 AB-PAS (pH 2.5) 반응에서 적색으로 반응한 점액세포들이 새엽 상피층에서 증가된 양상을 보였다 (Fig. 2, B). 0.08 mg/ℓ/14d 농도구에서는 새엽 상피세포들의 증식과 새판 모세혈관 내에서 혈구의 증가가 관찰되었으며 (Fig. 2, C), 0.05 mg/ℓ/21d 농도구에서는 새판 말단부에서 미약한 곤봉화와 함께 새판 상피층의 비후가 관찰되었다. 그리고 AB-PAS (pH 2.5) 반응에서 상당수 점액세포들이 점액 성상이 중성에서 산성으로 전환되었음을 의미하는 alcian blue에 양성 반응을 보여 청색으로 나타났다 (Fig. 2, D). 0.18 mg/ℓ/21d 농도구에서는 새엽 상피층의 비후가 심화되었고 염세포들은 변성된 조직상을 보였다 (Fig. 2, E). 0.32 mg/ℓ/21d 농도구와 0.32 mg/ℓ/28d 농도구에서는 새엽 상피층 상피세포들의 이상 증식과 새판 상피층의 박리가 관찰되었다 (Fig. 2, F and G). 0.05 mg/ℓ/42d 농도구에서는 곤봉화를 나타내는 각 새판말단부가 서로 융합되어 있었으며 (Fig. 2, H), 0.18 mg/ℓ/42d 농도구의 개체들에서는 새판의 융합, 변형 및 파괴가 관찰되어 아가미 고유의 기능이 소실된 것으로 판단되는 조직상이 나타났다 (Fig. 2, I).

간췌장

구리 노출 농도 0.05 mg/ℓ 에서 7일 동안 노출된 개체들의 간췌장 조직은 간세포의 활성화와 췌장 효소원과립의 감소를 나타냈다 (Fig. 3, A). 0.08 mg/ℓ/7d 농도구에서는 담관 내강의 자유면이 AB-PAS (pH 2.5)반응에서 청색을 나타냈으며 (Fig. 3, B), 0.08 mg/ℓ/14d 농도구 개체들의 간조직에서는 모세혈관내의 혈구 증가와 흑색 대식세포들의 무리가 관찰되었다 (Fig. 3, C). 0.18 mg/ℓ/14d 농도구의 개체들에서는 일부 간세포의 핵응축과 간세포 세포질의 혼탁 현상, 담관 장막 주변의 흑색 대식세포군의 응집 그리고 췌장의 효소원과립이 거의 소실된 조직상이 나타났으며 (Fig. 3, D), 0.32 mg/ℓ/14d 농도구에서는 간세포의 세포질에서 과립변성이 관찰되었다 (Fig. 3, E). 0.18 mg/ℓ/21d 농도구에서는 간조직의 모세혈관 팽창과 혈구의 증가가 나타났으며, 췌장조직에서는 효소원과립의 증가가 관찰되었다 (Fig. 3, F). 0.18 mg/ℓ/35d 농도구와 0.32 mg/ℓ/42d 농도구에서는 간세포의 활성과 전 단계에 비해 혈구의 수가 감소된 조직상이 관찰되었다 (Fig. 3, G and H).

신장

0.05 mg/ℓ 의 구리 농도에서 7일간 노출된 개체들의 신장에서는 혈구의 대량증가와 흑색 대식세포군의 출현이 여러 부분에서 관찰되었다 (Fig. 4, A). 0.05 mg/ℓ/14d 농도구 개체들의 신장 조직에서는 혈구의 증가, 흑색 대식세포군의 출현과 함께 세뇨관 상피층에서 호산성 세포들의 출현이 관찰되었다 (Fig. 4, B). 0.08 mg/ℓ/14d 농도구 개체들에서는 일부 사구체의 활성, 일부 간질조직의 핵응축과 세뇨관 내강쪽 상피층의 자유면이 AB-PAS (pH 2.5)반응에서 청색을 나타냈다. 그리고 대조구 및 낮은 구리 노출구에 비해 세뇨관 상피층의 기저막이 비후된 조직상을 보였다 (Fig. 4, C). 0.32 mg/ℓ/14d 농도구와 0.18 mg/ℓ/21d 농도구 개체들의 사구체는 전체적으로 매우 활성화되어 있었으며, 상당수의

세뇨관 내강은 폐쇄되어 있었다 (Fig. 4, D and E). 0.08 mg/ℓ/28d 농도구 개체에서는 일부 신장 간질조직에서 핵응축과 혈구의 증가가 관찰되었다 (Fig. 4, F). 0.18 mg/ℓ 의 농도에서 35일간 노출된 개체들의 세뇨관 상피층은 alcian blue에 약하게 반응하다가 (Fig. 4, G), 0.18 mg/ℓ/42d 농도구에서는 alcian blue에 음성반응을 나타냈으며, 일부 세뇨관에서는 내강이 열려있는 조직상이 관찰되었다 (Fig. 4, H).

고 찰

여러 가지 수중오염원에 대한 생물체의 반응한계농도를 설정하는데는 생존율, 성장, 행동의 이상, 호흡률, 조직학적 반응 및 효소학적 반응의 변화를 조사하는 방법 등이 사용되어지고 있다.

본 연구에서는 조직학적인 측면에서 처음 반응양상이 관찰된 구리 농도구는 0.05 mg/ℓ/7d로 나타났는데, 이러한 값은 다른 방법을 이용했을 때는 다소 다르게 나타날 것으로 생각된다. 이와 같은 결과는 구리에 대한 넙치의 반응한계농도에 대해서는 생존이나 성장 및 기타 대사적인 측면에서 보고된 예가 없으므로 비교하기는 곤란하지만, guppy, *Poecilia reticulata*를 장기간 TBTO에 노출시킨 연구에서 생존율, 성장, 행동의 이상 및 기초 대사적인 반응의 변화를 나타내는 농도는 조직학적인 반응을 나타내는 농도보다 약 30배 높게 나타났다 (Wester and Canton, 1987).

이러한 결과는 생물체의 구조적 변화가 생리 및 행동학적 변화에 선행된다는 개념을 확인시켜주는 좋은 예이며, 스트레스에 대한 반응한계농도 설정에는 기존에 일반적으로 사용되고 있는 방법 외에도 생물체 기관계의 구조적인 측면의 변화도 고려해야 할 필요성을 의미한다.

수서환경에서 독성물질 또는 물리적인 스트레스로 인한 수서동물 기관계의 형태 및 구조적 변화는 비특이적인 현상이지만, 스트레스에 대한 노출 조건과 무관한 것이 아니다 (Mallatt, 1985).

어류 아가미, 간, 신장의 구조 및 조직학적 변화에 미치는 영향에 관한 연구들에서 You *et al.* (1978)은 카드뮴에 노출된 붕어, *Carassius carassius*의 아가미에서 염세포와 새판상피세포의 용해소체 증가와 기저막의 비후, 간세포의 공포화 그리고 신장 세뇨관 상피층의 기저막 비후를 관찰하였다. Galat *et al.* (1985)은 서식지의 염분도 및 환경변화는 cutthroat trout, *Salmo clarki henshawi*의 아가미 염세포의 증가와 새판상피의 박리, 간세포의 변형 및 공포화, 신장 사구체의 팽창, 충혈, 세뇨관 상피와 간질조직에서 초자변성을 유도한다고 보고하였다. 또한 Kang *et al.* (1999)은 고농도의 철에 대한 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 반응 가운데 새판상피의 증식, 새판 말단부의 곤봉화, 염세포의 활성 및 변성, 새판상피의 박리, 새판의 융합 및 괴사를 보고하였다.

본 연구에서 구리 노출구 가운데 조직학적 변화가 처음 관찰된 농도구는 0.05 mg/ℓ/7d 였다. 이 농도구의 아가미에서는 모세혈관의 충혈, 점액세포와 염세포의 증가 및 활성이 관찰되었고, 간췌장에서는 간세포의 활성화와 췌장 효소원과립의 감소, 신장에서는 충혈과 흑색 대식세포군의 출현과 세뇨관 상피층 자유면의 alcian blue 양성이 관찰되었다.

그리고 각 기관계 별로 정상적인 기능 수행이 어려울 것으로 판단되는 한계농도구는 아가미에서는 0.18 mg/ℓ/21d, 간췌장에서는 0.18 mg/ℓ/14d, 신장의 경우에는 0.08 mg/ℓ/14d로 조사되었다.

한계농도구 보다 높은 농도구에서 주로 관찰된 조직상은 아가미의 경우에는 새판 상피층의 박리와 새판의 융합, 변형 및 파괴였으며, 간췌장에서는 간세포의 핵응축, 세포질의 혼탁 및 과립변성 그리고 췌장 효소원과립의 소실 후 회복이었으며, 신장에서는 세뇨관 내강의 폐쇄와 간질조직의 핵응축이었다.

이처럼 기존의 보고와 본 연구에서 관찰된 전체적인 구조적 변화는 비특이적이라 할 수 있다. 하지만 아가미의 경우 초기반응 양상과 일련의 반응과정은 서로 뚜렷한 차이를 관찰 할 수 있는데 이러한 차이는 외부 자극원에 대한 노출 조건과 실험종의 차이에서 유래된 것으로 생각할 수 있을 것이다.

일반적으로 외부 자극원에 의한 아가미의 구조적 손상은 크게 두 가지 형태로 구분되는데, 그 중 한 가지는 상피세포의 괴사 (necrosis)와 파열 (rupture)을 포함하며, 다른 한 가지는 점액세포와 염세포의 증식 및 활성, 새판 상피의 비대와 증식, 박리, 새판 말단의 곤봉화 그리고 새판의 융합 등을 포함한다 (Mallatt, 1985). 이 가운데 전자는 아치사농도

보다 치사농도에서 그 빈도가 훨씬 높게 나타나기 때문에 외부 자극원에 의한 직접적인 영향으로 보고하고 있다 (Temminck *et al.*, 1983). 후자의 경우는 자극원의 직접적인 영향보다는 개체의 방어 반응으로 나타나는 현상이다 (Morgan and Tovell, 1973). 점액세포의 활성은 점액의 분비를 증가시켜 자극원이 조직내부로 들어가는 것을 방해하며, 염세포의 활성은 자극원을 방출하거나 중화시키는 역할을 담당한다 (Mattiessen and Brafield, 1973; Oronsaye and Brafield, 1984; Mallatt *et al.*, 1985). 그리고 상피의 비대, 증식, 박리는 자극원이 혈류에 확산되는 거리를 증가시키는 역할을 제공하며, 새판의 융합은 자극원에 노출되는 아가미의 표면적을 감소시키는 방어기작으로 해석된다 (Mallatt, 1985).

하지만 이러한 모든 방어기작은 아가미 또는 아가미를 구성하는 세포 및 조직 수준에서는 설득력이 가능하지만 개체수준에서 볼 때는 아가미를 구성하는 세포나 조직의 구조적 변화는 개체 호흡의 비정상화를 유도하여 전체 대사에 악영향을 미칠 것으로 판단된다.

간췌장에서 관찰되는 간세포의 활성과 췌장 효소원과립의 감소는 주로 반응초기에 나타나는 현상으로 이는 독성물질에 대한 개체의 초기 반응과정에 필요한 에너지의 이용이 높아짐에 따라 나타나는 조직학적 특징으로 판단된다.

그리고 신장에서 볼 수 있는 흑색대식세포군의 출현 및 증가는 자체방어 기작으로 나타나는 일반적인 조직학적 특징이며, AB-PAS (pH 2.5)반응에서 세뇨관 상피층 자유면의 alcian blue 양성 현상은 세포의 기능적인 이상으로 인한 세뇨관 재흡수 기능의 장애를 추측할 수 있다. 세뇨관 상피층 기저막의 비후는 독성물질로 인한 신장의 일반적인 병리현상으로 이는 재흡수 장애로 인한 물질의 기저막 투과에 영향을 주며, 계속적인 기저막의 비후는 간질조직으로부터 세뇨관 상피층의 탈락으로 진행될 수 있다 (You *et al.*, 1978).

요 약

구리에 대한 넙치의 조직학적 반응을 알아보기 위하여 아가미, 간췌장 및 신장 조직상의 변화를 조사하였다. 대조구에서는 5주 후 아가미에서 점액세포와 염세포의 증가가 관찰되었다. 간췌장과 신장에서는 혈구의 증가와 일부 흑색 대식세포들이 관찰되었다. 구리 노출구 가운데 조직학적 변화가 처음 관찰된 농도구는 0.05 mg/ℓ/7d 였으며, 아가미에서는 염세포의 증가, 간췌장에서는 간세포의 활성화와 췌장 효소원과립의 감소, 신장에서는 충혈과 흑색 대식세포군이 관찰되었다. 정상적인 기능 수행이 어려울 것으로 판단되는 한계농도는 아가미의 경우 0.18 mg/ℓ/21d, 간췌장에서는 0.18 mg/ℓ/14d 그리고 신장에서는 0.08 mg/ℓ/14d 였다.

참고 문헌

Alkahem, H. F. : Effect of sublethal copper concentrations on the behaviour of cichlid fish, *Oreochromis niloticus*. Z. Angew. Zool., 76 : 93-100, 1989.

Blasco, J. and Puppo, J. : Effect of heavy metals (Cu, Cd and Pb) on aspartate and alanine aminotransferase in *Ruditapes philippinarum* (Mollusca: Bivalvia). Comp. Biochem. Physiol., C. 122C : 253-263, 1999.

Bunton, T. E., Baksi, S. M., George, S. G. and Frazier, J. M. : Abnormal hepatic copper storage in a teleost fish, *Morone americana*. Vet. Pathol., 24 (6) : 515-524, 1987.

Calabrese, A., MacInnes, J. R., Nelson, D. A., Greig, R. A. and Yevich. P. P. : Effects of long-term exposure to silver or copper on growth, bioaccumulation and histopathology in the blue mussel, *Mytilus edulis*. Mar. Environ. Res., 14 : 253-274, 1984.

Galat, D. L., Post, D., Keefe, T. J. and Bouck, G. R. : Histological changes in the gill, kidney and liver of lahontan cutthroat trout, *Salmo clarki henshawi*, living in lakes of different salinity-alkalinity. J. Fish Biol., 27 : 533-552, 1985.

Kang, J. C., Lee, J. S. and Jee, J. H. : Ecophysiological responses and subsequent recovery of the olive flounder, *Paralichthys olivaceus* exposed to hypoxia and iron. II. Survival, metabolic and histological changes of the olive flounder exposed to iron. J. Korean Fish. Soc., 32(6) : 699-705, 1999.

Mallatt, J. : Fish gill structural changes induced by toxicants and other irritants: A statistical review. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42 : 630-648, 1985.

Mallatt, J., Ridgway, R. L. and Paulsen, C. : Ultrastructural effects of 3-trifluormethyl-4-nitrophenol on gills of the larval lamprey *Petromyzon marinus*. Can. J. Zool., 63 : 155-164, 1985.

Matthiessen, P. and Brafield, A. E. : The effects of dis-

solved zinc on the gills of the stickleback *Gasterosteus aculeatus* (L.). J. Fish Biol., 5 : 607-613, 1973.

McCarter, J. A. and Roch, M. : Hepatic metallothionein and resistance to copper in juvenile coho salmon. Comp. Biochem. Physiol., 74C : 133-137, 1983.

Morgan, A. and Tovell, P. W. A. : The structure of the gill of the trout, *Salmo gairdneri* (Richardson). Z. Zellforsch. Mikrosk. Anat., 142 : 147-162, 1973.

Mukhopadhyay, M. K. and Konar, S. K. : Effects of copper, zinc and iron mixture on fish and aquatic ecosystem. Environ. Ecol., 3(1) : 58-64, 1985.

Oronsaye, J. A. O. and Brafield, A. E. : The effects of dissolved cadmium on the chloride cells of the gills of the stickleback *Gasterosteus aculeatus* (L.). J. Fish Biol., 25 : 253-258, 1984.

Pipe, R. K., Coles, J. A., Carissan, F. M. M. and Ramanathan, K. : Copper induced immunomodulation in the marine mussel, *Mytilus edulis*. Aquat. Toxicol., 46 : 43-54, 1999.

Sastry, K. V. and Sachdeva, S. : Effect of water-borne cadmium and copper on the blood of the fish *Channa punctatus*. Environ. Ecol., 12 : 291-297, 1994.

Strongren, T. : The combined effect of copper and hydrocarbons on the length growth of *Mytilus edulis*. Mar. Environ. Res., 19 : 251-258, 1986.

Temmink, J., Bouwmeister, P., de Jong, P. and van den Berg, J. : An ultrastructural study of chromate-induced hyperplasia in the gill of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquat. Toxicol., 4 : 165-179, 1983.

Totaro, E. A., Pisanti, F. A., Gless, P. and Continillo, A. : The effect of copper pollution on mitochondrial degeneration. Mar. Environ. Res., 18 : 245-253, 1986.

Viarengo, A. : Biochemical effects of trace metals. Mar. Pollut. Bull., 16(4) : 153-158, 1985.

Wester, P. W. and Canton, J. H. : Histopathological study of *Poecilia reticulata* (guppy) after long-term exposure to bis(tri-n-butyltin)oxide (TBTO) and di-n-butyltindichloride (DBTC). Aquat. Toxicol., 10 : 143-165, 1987.

You, K. H., Choi, C. H., Choe, R. S. and Deung, Y. K. : Ultrastructural studies on cadmium poisoning in the liver, kidney and gills of *Carassius carassius*. Korean J. Electron Microscopy, 8(1) : 33-48, 1978.