

넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 기관계 구조에 미치는 bis(tri-*n*-butyltin)oxide (TBTO) 독성

이정식* · 강주찬¹ · 신윤경² · 진영국 · 박정준

여수대학교 수산생명의학과, ¹부경대학교 수산생명의학과,
²국립수산과학원 남해수산연구소

Toxicity of Bis(tri-*n*-butyltin)oxide (TBTO) on the Organ Structure of the Flounder, *Paralichthys olivaceus*

Jung Sick Lee*, Ju Chan Kang¹, Yun Kyung Shin², Young Guk Jin and Jung Jun Park

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

¹Department of Aquatic Life Medicine, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

²South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Yeosu 550-120, Korea

Abstract - The histopathological effects of bis(tri-*n*-butyltin)oxide (TBTO) on the flounder, *Paralichthys olivaceus* were examined by means of histological methods. The experimental fishes were exposed to 0.17, 0.36, 0.60, 3.20, 6.30, 12.50 $\mu\text{g L}^{-1}$ TBTO concentrations for 42 days. Histopathological change of the fish exposed to TBTO is dependent on the exposure duration and concentration. In the lower concentrations early histological changes included activated mucous cells and chloride cells, capillary hyperemia and epithelial hyperplasia in the gill; hepatocyte activation, degeneration of bile duct and pancreatic zymogen reduction in the hepatopancreas; and capillary hyperemia, appearance of eosinophilic cell and melano-macrophagocytes in the kidney. At the higher concentrations histological changes of dysfunctionality included epithelial lifting and deformation of the lamellae in the gill; pycnosis and cytoplasmic degeneration of hepatocyte; pycnosis of haemopoietic cell and deformation of renal tubules and glomerulus in the kidney. It is indicated that TBTO induced histopathological changes in the fish as other aquatic pollutants.

Key words : TBTO, *Paralichthys olivaceus*, histopathology

서 론

내분비계장애물질로 알려진 TBT (tributyltin)와 TPT

(triphenyltin) 등의 유기주석화합물은 주로 살충제로 이용되고 있는데, 특히 목재 보존제나 선박용 방오제에 사용되고 있다(Maguire *et al.* 1986). 국내의 경우에는 선박용 또는 양식장 가두리용 방오 도료의 사용이 높아짐에 따라 이들 화합물에 의한 해양생태계의 오염 가능성이 높아지고 있는 실정이다.

* Corresponding author: Jung Sick Lee, Tel. 061-659-3172, Fax. 061-659-3172, E-mail. ljs@yosu.ac.kr

유기주석화합물이 수서생물에게 미치는 영향에 대해서는 TBT에 의한 암컷 dog-whelk, *Nucella lapillus*의 성 전환(Gibbs *et al.* 1988)에 관한 보고를 비롯하여 주로 생물의 생식과 기능적인 측면에서 활발하게 연구되어 왔다(Gibbs *et al.* 1990; Triebkorn *et al.* 1994; Jobling *et al.* 1996; Gray and Metcalfe 1997; Chin *et al.* 1999).

하지만 이들 화합물은 수서생물의 생식과 내분비 기관의 기능에 대한 영향 뿐만 아니라 각 기관계에 직접 작용하여 조직과 세포의 구조에도 영향을 주게 되는데, 수서동물의 구조적인 변화에 대해서는 bis(tri-*n*-butyltin) oxide (TBTO)의 급성독성에 의한 *Salmo gairdneri*와 *Tilapia rendalli*의 조직학적 연구(Chliamovitch and Kuhn 1977), TBTO에 장기간 노출된 guppy, *Poecilia reticulata*의 조직병리학적 연구(Wester and Canton 1987) 등이 있는데, 이 분야의 연구도 주로 담수 동물을 대상으로 수행되어진 결과이다.

본 연구는 TBTO가 해산 어류의 기관계 구조에 미칠 수 있는 가능성을 우리나라의 중요 해수양식 어류인 넙치, *Paralichthys olivaceus*를 대상으로 조직학적인 방법을 이용하여 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험생물

실험에 사용된 넙치, *Paralichthys olivaceus*는 육상수 조식 양어장에서 분양 받아 실험실로 운반한 후, 400 L 순환여과식 수조에서 10일동안 순치시켰으며, 외관상 질병 증세가 없는 전장 18.0(±1.0)cm, 전중 80.0(±5.0)g의 건강한 개체를 사용하였다.

2. 방법

실험과정에서 사육은 항온실에서 순환여과식 방법으로 진행되었다. 사육수의 교환은 2일을 원칙으로 하였으며, 사육수는 수온 20.0(±0.5)°C, 염분도 32.5(±0.5)‰, pH 8.0(±0.2), 용존산소량 7.2(±0.2)mg L⁻¹의 조건을 유지시켰다. 먹이는 넙치용 부상사료를 공급하였다.

실험 용액은 bis(tri-*n*-butyltin)oxide (TBTO) (Fluka Chemie)를 acetone에 용해시킨 후, 증류수로 1.0g L⁻¹의 stock solution을 만든 후 농도별로 희석하여 사용하였다. 농도는 예비실험을 바탕으로 인위적으로 TBTO를 첨가하지 않은 대조구와 TBTO를 첨가한 6개 농도구(0.17, 0.36, 0.60, 3.20, 6.30, 12.50 µg L⁻¹)를 설정하였으며, 42일간 2회 반복 실험하였다.

조직학적 분석에는 각 실험구별로 매주 5개체의 어류

가 사용되었다. 각 어류는 해부 후 아가미, 간췌장 및 신장을 절취하여 Bouin's solution에 일정시간 고정한 후 파라핀 절편법으로 두께 4~6 µm의 연속절편을 제작하였다. 제작된 조직표본은 Mayer's hematoxylin과 eosin (H-E) 비교염색과 Mallory 삼중염색 그리고 periodic acid and Schiff's solution (PAS) 반응과 alcian blue-periodic acid and Schiff's solution (AB-PAS, pH 2.5) 반응을 실시하였다. 조직학적 변화양상의 판정 및 기재는 조사된 개체 가운데 50% 이상의 개체에서 나타나는 조직상을 기준으로 하였다.

결 과

1. 아가미

넙치의 아가미는 대부분 경골어류의 아가미와 유사한 구조로 새엽(gill filament)과 새판(gill lamella)이 발달되어 있다. 각 새판은 새판 모세혈관을 단층의 편평 상피세포층이 싸고 있으며, 점액세포(mucous cell)와 염세포(chloride cell) 그리고 벽주세포(pillar cell) 등으로 구성되어 있었다. PAS 반응과 AB-PAS (pH 2.5) 반응 결과 점액세포는 Schiff's solution에 반응하여 붉은색을 보였으나 염세포는 음성의 결과를 보였다(Fig. 1, A). 대조구의 경우 실험 5주부터 실험 종료까지 점액세포와 염세포의 증가를 제외하고는 별다른 특이한 조직상의 변화는 보이지 않았다.

TBTO 노출구의 경우 0.17 µg L⁻¹ 농도에서 7일 동안 노출된 개체들의 아가미 조직상은 대조구와 유사하였지만 그 외의 농도에서 7일 동안 노출된 개체들의 아가미 조직상에서는 주로 AB-PAS (pH 2.5)반응에서 적색으로 반응하는 점액세포들의 증가양상이 관찰되었다(Fig. 1, B). 0.60 µg L⁻¹ 농도에서 14일 동안 노출된 개체들에서는 새판 말단부의 만곡 현상과 활성화된 염세포들의 증가된 조직학적 변화양상을 보였다(Fig. 1, C). 3.20 µg L⁻¹-14d 실험구와 3.20 µg L⁻¹-21d 실험구에서는 새판 말단부의 미약한 곤봉화 현상, 일부 변성된 염세포 그리고 새엽 상피층의 비후가 관찰되었다(Figs. 1, D and E). 6.30 µg L⁻¹-21d 실험구에서는 새판의 만곡, 새판 모세혈관의 확장 과 충혈, 변성된 다수의 염세포 및 새판 상피층이 비후된 조직상을 나타냈다(Fig. 1, F). TBTO 12.50 µg L⁻¹ 농도에서 35일 동안 노출된 개체들의 아가미 조직상에서는 주로 새판 상피층의 박리와 일부 새판말단의 곤봉화 및 붕괴가 관찰되었다(Fig. 1, G). 그리고 12.50 µg L⁻¹ 농도에서 42일동안 노출된 개체에서는 아가미의 기능이 불가능할 것으로 판단되는 새엽과 새판 상피층의 박리 및 탈락

과 함께 새판의 붕괴가 관찰되었다(Fig. 1, H).

2. 간췌장

해부학적으로 넙치의 간과 췌장은 구분되지 않지만, 조직학적으로 볼 때 간조직 사이에 췌장조직이 산재해 있

는 간췌장(hepatopancreas)의 형태를 보였다. 간세포들은 간소엽을 단위로 모여 있으며, 각각의 간세포는 둥근 다각형으로 핵은 매우 뚜렷하였다. 췌장조직을 구성하는 외분비세포들의 형태는 피라밋 모양이었고 세포질은 강한 호염기성을 나타냈지만, 세포질에는 호산성의 효소원

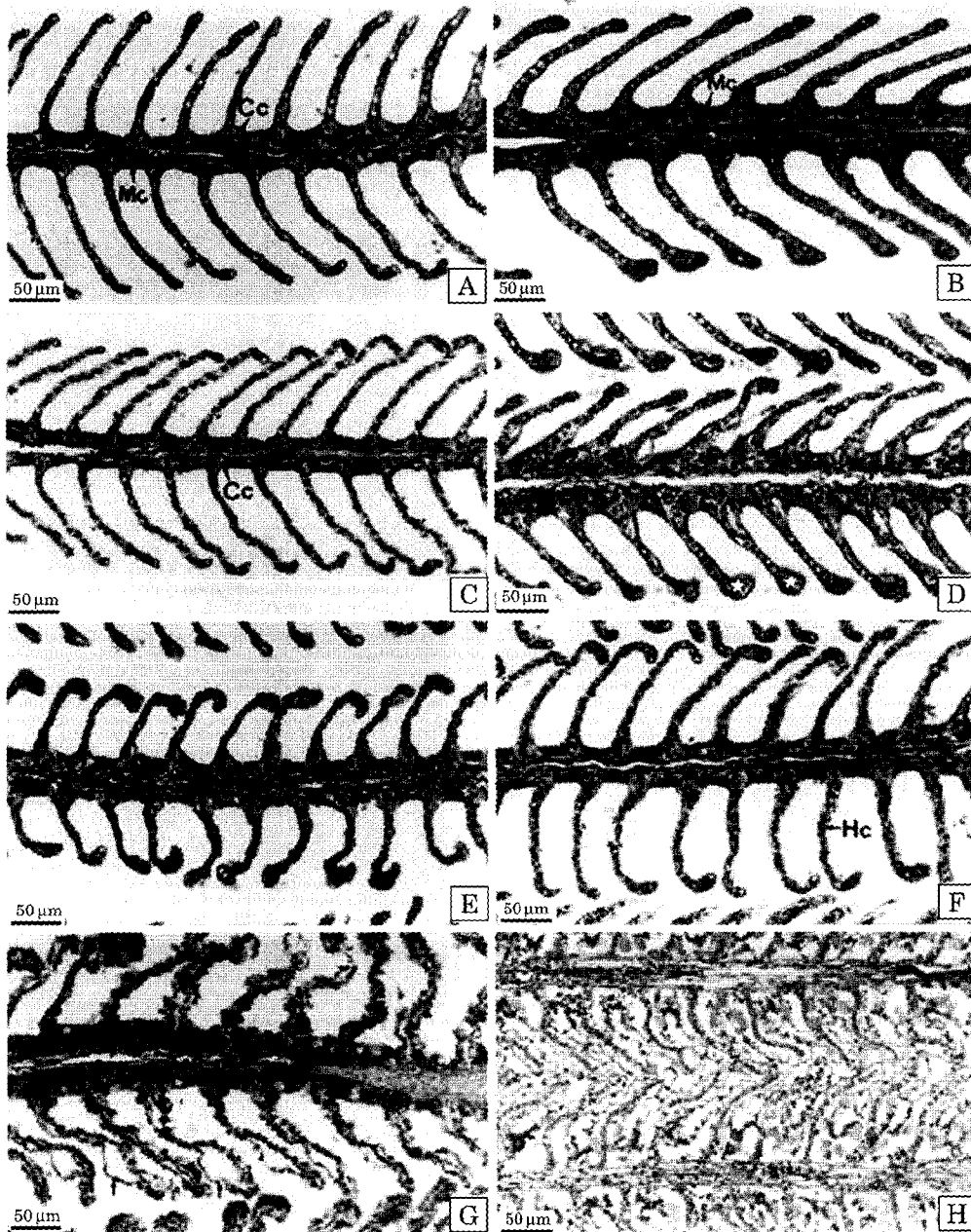


Fig. 1. Histological changes of the gill of the flounder, *Paralichthys olivaceus* exposed to TBTO. A: Control. B: $0.36 \mu\text{g L}^{-1}$ for 7 days. Note the increment of mucous cell (Mc) of PAS positive. C: $0.60 \mu\text{g L}^{-1}$ for 14 days. H-E section showing the activated chloride cells (Cc). D: $3.20 \mu\text{g L}^{-1}$ for 14 days. Note the terminal clubbing (☆) of the lamellae. E: $3.20 \mu\text{g L}^{-1}$ for 21 days. Note the hyperplasia of the filament epithelial cells. F: $6.30 \mu\text{g L}^{-1}$ for 21 days. Increment of hemocytes (Hc) and epithelial hyperplasia in the lamellae. G: $12.50 \mu\text{g L}^{-1}$ for 35 days. Note the some lifting (↑) of epithelial layer. H: $12.50 \mu\text{g L}^{-1}$ for 42 days. Section showing the separated epithelial layer and fused lamellae.

과립(zymogen granule)들이 밀집되어 있었다(Fig. 2, A). 대조구에서는 실험 개시 5주부터 실험 종료까지 간조직에서는 모세혈관내 혈구들이 다소 증가되었을 뿐 이외의 뚜렷한 조직학적 변화양상은 관찰되지 않았다.

하지만 TBTO 노출구에서 7일 동안 노출된 모든 개체들의 간조직에서는 간세포의 활성화와 간소엽 사이의 모세혈관에서 충혈 현상이 관찰되었다(Fig. 2, B). $0.60 \mu\text{g L}^{-1}$ 의 농도에서 14일 동안 노출된 개체들에서는 모세혈관의 충혈 이외에 크기 $5 \mu\text{m}$ 내외의 흑색 대식세포군(melano-macrophagocytes)이 관찰되었다(Fig. 2, C). $0.36 \mu\text{g L}^{-1}$ -21d 실험구에서는 간세포삭(hepatic cord)이 불분명해지며, 담관의 장막은 두꺼워지고 AB-PAS (pH 2.5)반응에서 적색으로 반응하였으며, 담관의 상피층 자유면은

alcian blue에 양성으로 반응하여 푸르게 나타났다(Fig. 2, D). $3.20 \mu\text{g L}^{-1}$ 농도에서 28일 동안 노출된 개체들의 췌장조직에서는 eosin에 강하게 반응하는 효소원 과립이 현저하게 감소하였다(Fig. 2, E). 상대적 고농도구인 $6.30 \mu\text{g L}^{-1}$ 와 $12.50 \mu\text{g L}^{-1}$ 농도에서 28일 이상 노출된 개체들의 간조직상은 일부 간세포의 핵축과 대부분 간세포의 세포질 혼탁 및 과립변성을 나타냈다(Fig. 2, F). 췌장조직의 효소원 과립은 $6.30 \mu\text{g L}^{-1}$ 와 $12.50 \mu\text{g L}^{-1}$ 농도에서 28일 이상 노출된 개체들에서는 거의 관찰하기 어려웠지만 상대적으로 저농도구에 해당하는 $0.17 \mu\text{g L}^{-1}$ 와 $0.36 \mu\text{g L}^{-1}$ 농도에서 35일 이상 노출된 개체들의 췌장조직표본에서는 일부 효소원 과립의 관찰이 가능하였다.

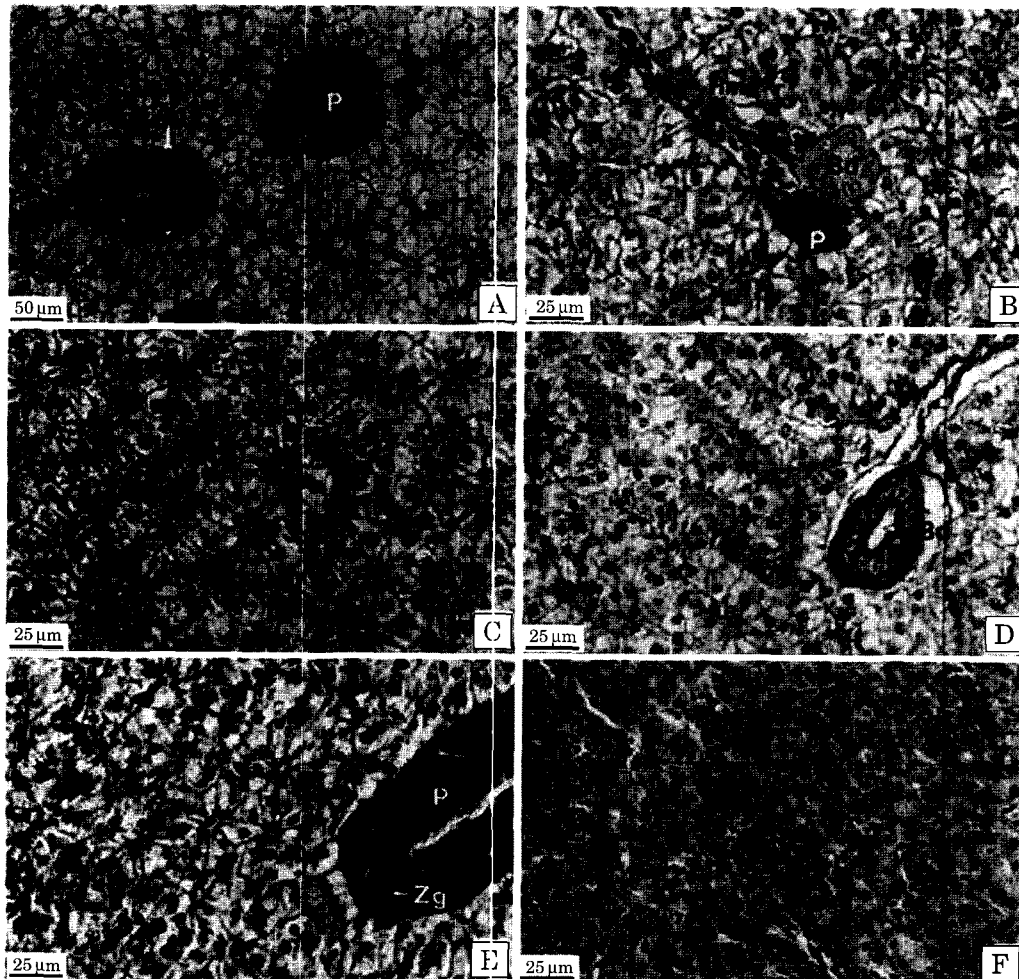


Fig. 2. Histological changes of the hepatopancreas of the flounder, *Paralichthys olivaceus* exposed to TBTO. A: Control. B: $0.17 \mu\text{g L}^{-1}$ for 7 days. Note the increment of hemocytes (Hm). C: $0.60 \mu\text{g L}^{-1}$ for 14 days. Note the melano-macrophagocytes (Mp). D: $0.36 \mu\text{g L}^{-1}$ for 21 days. AB-PAS section showing the free surface of alcian blue positive in the bile duct (Bd). E: $3.20 \mu\text{g L}^{-1}$ for 28 days. H-E section showing the activated hepatocytes and decrease of zymogen granules (Zg) in the pancreas (P). F: $6.30 \mu\text{g L}^{-1}$ for 28 days. Note the pycnosis and cytoplasmic degeneration of the hepatocytes. Hc: hepatocytes.

3. 신 장

넙치 신장은 1/5 정도의 앞 부분은 두 갈래로 분지 되

어 있으나, 나머지 부위는 융합된 상태였다. 조직학적 관찰 결과 분지 된 앞 부분은 두신(head kidney)으로 이곳에서 사구체나 세뇨관은 관찰되지 않고 혈관과 조혈조직

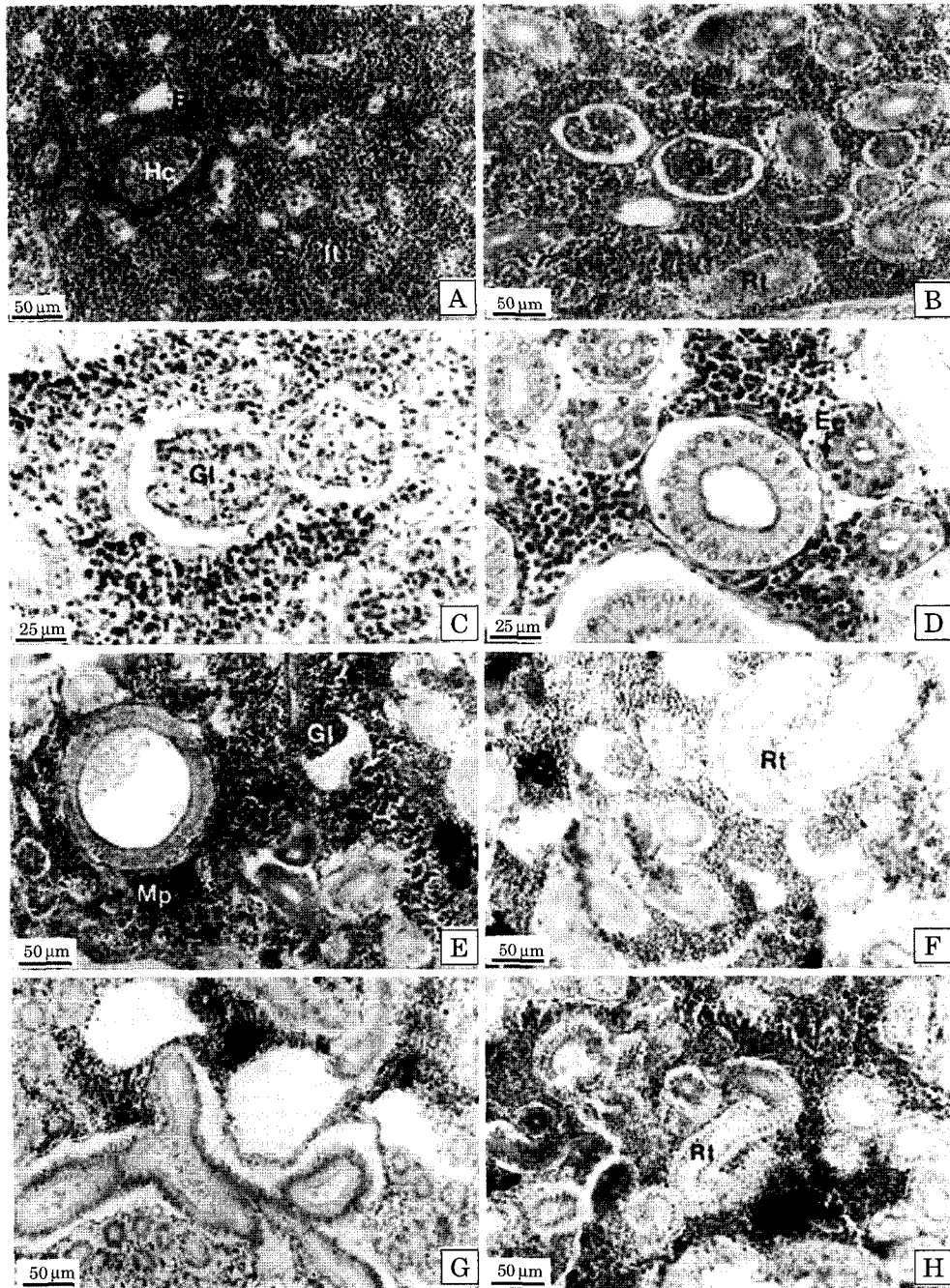


Fig. 3. Histological changes of the kidney of the flounder, *Paralichthys olivaceus* exposed to TBTO. A: Control. Section of the head kidney. B: Control. Section of the body kidney. C: $0.17 \mu\text{g L}^{-1}$ for 14 days. Note the activated glomerulus (Gl) and numerous hemocytes (Hc). D: $0.60 \mu\text{g L}^{-1}$ for 14 days. Note the numerous eosinophilic cells (Ec) and free surface of alcian blue positive in the renal tubules. E: $3.20 \mu\text{g L}^{-1}$ for 21 days. Section showing the melanomacrophagocytes (Mp). F: $3.20 \mu\text{g L}^{-1}$ for 28 days. Note the hypertrophied epithelia of renal tubules (Rt). G: $6.30 \mu\text{g L}^{-1}$ for 35 days. H: $12.50 \mu\text{g L}^{-1}$ for 42 days. Note the deformation and pycnosis of renal tubules. Bv: blood vessel, It: interstitial tissue.

만 관찰되었으나 (Fig. 3. A) 융합된 가운데 부위는 체신 (body kidney)으로 사구체와 세뇨관들이 집중적으로 분포하고 있었다 (Fig. 3. B). 대조구에서는 실험 개시부터 종료 때까지 별다른 조직상의 변화가 관찰되지 않았다.

TBTO 노출구의 경우 $0.17 \mu\text{g L}^{-1}$ 와 $0.36 \mu\text{g L}^{-1}$ 농도에서 7일 동안 노출된 개체들의 신장 조직에서는 모세혈관의 충혈만 관찰되었으나, 그 외의 농도구 ($0.60, 3.20, 6.30, 12.50 \mu\text{g L}^{-1}$)에서는 모세혈관의 충혈과 더불어 일부 세뇨관 상피층에서 호산성 세포들을 관찰할 수 있었다. $0.17 \mu\text{g L}^{-1}$ 농도에서 14일 동안 노출된 개체들의 신장조직에서는 사구체의 활성화와 보우만주머니의 비후가 관찰되었으며 (Fig. 3, C), $0.60 \mu\text{g L}^{-1}$ -14d의 실험구 개체들의 신장조직에서는 세뇨관 상피층에 호산성 세포의 증가, 세뇨관 상피층 자유면의 alcian blue 양성반응, 세뇨관 장막의 비후 및 세뇨관 상피층의 분리가 관찰되었다 (Fig. 3, D). TBTO 노출 21일에는 대부분의 농도구 ($0.60, 3.20, 6.30, 12.50 \mu\text{g L}^{-1}$)에서 사구체의 위축, 보우만주머니 내강의 단백질성 물질의 증가, 다수의 흑색 대식세포군 증가 그리고 일부 조혈세포에서 핵응축이 나타났다 (Fig. 3, E). 노출 28일의 대부분 농도구 ($0.36, 0.60, 3.20, 6.30, 12.50 \mu\text{g L}^{-1}$) 개체에서는 사구체의 위축과 세뇨관 상피세포의 비대에 의한 세뇨관 내강의 폐쇄가 관찰되었다 (Fig. 3, F). 그리고 35일과 42일의 개체 표본에서는 일부 사구체의 붕괴와 세뇨관의 상당부분이 소실된 조직상 (Fig. 3, G)과 신장의 정상적인 기능 수행이 불가능할 것으로 판단되는 조혈세포 및 세뇨관 상피세포의 핵응축, 세뇨관 내강의 폐쇄 그리고 사구체와 세뇨관 붕괴 등의 조직병리학적 변화가 관찰되었다 (Fig. 3, H).

고 찰

다양한 수중오염원의 독성은 수서동물의 생존, 성장, 이상 유영 및 행동, 기관계 구조, 생식, 대사율 및 효소학적 반응의 변화를 초래하는데, 생물체의 구조적 변화는 생리 및 행동학적 변화에 선행된다. 이러한 예는 guppy, *Poecilia reticulata*를 장기간 bis(tri-*n*-butyltin)oxide (TBTO)에 노출시킨 연구에서 볼 수 있는데, 생존율, 성장, 행동의 이상 및 기초 대사적인 반응의 변화를 나타내는 농도는 조직학적인 반응을 나타내는 농도보다 약 30 배 높게 나타났다 (Wester and Canton 1987).

수서환경에서 물리·화학적 스트레스로 인한 수서동물 기관계의 형태 및 구조적 변화는 비특이적인 현상이지만, 스트레스에 대한 노출 조건과 관계가 있다 (Mallatt 1985). 유기주석화합물을 비롯하여 내분비계장애물질로

분류된 여러 가지 화학물질과 중금속이 수서생물의 기관계 구조에 미치는 직접적인 영향에 관한 연구들 가운데 guppy, *Poecilia reticulata*에 대한 TBTO와 di-*n*-butyltin dichloride (DBTC)의 영향 연구에서는 흉선의 위축, 신장 조혈조직의 증식, 간세포의 공포화, 눈 각막의 궤양과 염증, 피부 상피의 증식과 염증이 관찰되었다 (Wester and Canton 1987).

Medaka, *Oryzias latipes*에 대한 TBTO와 DBTC의 영향 연구에서는 신장 세뇨관과 사구체의 병리조직상, 간세포의 공포화, 눈 망막 상피의 공포화와 각막 염증, 구강과 피부 상피의 증식 및 염증, 갑상선의 활성화, 부레의 gas gland 상피의 증식과 비후가 관찰되었으나 guppy, *Poecilia reticulata*에서 관찰된 흉선의 위축은 나타나지 않았다 (Wester et al. 1990).

TBTO가 무지개송어, *Oncorhynchus mykiss*의 신경계에 미치는 영향으로는 $0.5 \mu\text{g L}^{-1}$ 와 $2.0 \mu\text{g L}^{-1}$ 의 농도에 21일 동안 노출된 개체의 뇌와 시신경을 전자현미경으로 조사한 결과 신경섬유의 수초내 공포화와 신경섬유의 피사가 확인되었다 (Triebkorn et al. 1994).

그리고 가자미류의 일종인 *Platichthys flesus*에 대한 TBTO의 영향 연구에서 $32 \mu\text{g L}^{-1}$ 농도에 6일동안 노출된 개체의 아가미에서는 새엽 상피의 증식과 budding, 새판 상피의 증식에 따른 새판의 융합이 나타났다 (Grinwis et al. 1998).

수서환경의 오염원 가운데 중금속이 어류의 기관계 구조에 미치는 독성 영향으로서는 카드뮴 (Cd)에 노출된 붕어, *Carassius carassius*의 아가미에서 염세포와 새판 상피세포의 용해소체 증가와 기저막의 비후, 간세포의 공포화 그리고 신장 세뇨관 상피층의 기저막 비후가 확인되었다 (You et al. 1978).

서식지의 염분도 및 환경변화는 cutthroat trout, *Salmo clarki henshawi*의 아가미에서 염세포의 증가와 새판 상피의 박리, 간세포의 변형 및 공포화, 신장 사구체의 팽창, 충혈, 세뇨관 상피와 간질조직에서 초자변성을 유도하며 (Galat et al. 1985), 고농도의 철 (Fe)은 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 아가미에서 새판 상피의 증식, 새판 말단부의 곤봉화, 염세포의 활성화 및 변성, 새판 상피의 박리, 새판의 융합 및 피사를 유발한다 (Kang et al. 1999).

넙치, *Paralichthys olivaceus*를 $0.05, 0.08, 0.18, 0.32 \text{ mg L}^{-1}$ 농도의 구리 (Cu)에 42일 동안 노출시킨 결과 아가미에서 염세포의 활성화, 점액세포의 증가 및 산성화, 새판과 새엽의 구조적 변성 등이 나타났으며, 간체장에서는 간세포의 활성화, 체장 효소원 과립의 감소, 담관 상피층의 변성, 모세혈관의 충혈, 흑색 대식세포의 증가, 간세포의 핵응축과 세포질 변성이 나타났으며, 신장에서는 모

세혈관의 충혈, 흑색 대식세포의 출현, 세뇨관 상피의 변성, 사구체의 변성과 세뇨관 폐쇄 등 일련의 반응이 관찰되었다(Lee *et al.* 2001).

붕어, *Carassius auratus*를 0.01, 0.1, 0.5 mg L⁻¹ 농도의 카드뮴에 25일 동안 노출시킨 결과 아가미에서 점액세포의 산성화와 새엽 상피세포의 증식, 새판 상피세포의 비후, 새판의 융합이 나타났다(Bae *et al.* 2002).

본 연구의 TBTO 노출구에서 관찰된 기관계의 조직학적 변화는 결과에서 언급한 것처럼 각 기관계 별로 다양하게 나타났는데, 이 가운데 정상적인 기능 수행이 어려울 것으로 판단되는 조직상은 아가미의 경우에는 새판 상피층의 박리 및 탈락과 새판의 붕괴였으며, 간체장에서는 간세포의 핵응축, 세포질의 혼탁 및 과립변성, 신장에서는 사구체와 세뇨관의 붕괴와 조혈조직의 핵응축이었다.

이처럼 본 연구에서 관찰된 기관계의 구조적 변화는 화학물질, 중금속 및 기타 환경변화에 따른 구조적 변화와 상당 부분에서 유사하게 나타났으나 일부 항목에서 특이적 특징을 나타냈으며, 초기반응 양상과 일련의 반응 과정은 서로 뚜렷한 차이를 관찰할 수 있는데 이러한 차이는 외부 자극원에 대한 노출 조건과 실험 종의 차이에서 유래된 것으로 판단된다.

아가미의 구조적 손상은 크게 두 가지 형태로 구분되는데, 그 중 한 가지는 초기반응으로서 자극원의 직접적인 영향보다는 개체의 방어 반응으로 나타나는 현상으로(Morgan and Tovell 1973) 점액세포와 염세포의 증식 및 활성화, 새판 상피의 비대와 증식, 박리, 새판 말단의 곤봉화 그리고 새판의 융합 등을 포함한다(Mallatt 1985). 그리고 다른 한가지는 상피세포의 괴사(necrosis)와 파열(rupture) 등으로 아치사농도 보다 치사농도에서 그 빈도가 훨씬 높게 나타나기 때문에 외부 자극원에 의한 직접적인 영향으로 보고하고 있다(Temminck *et al.* 1983). 점액세포의 활성화는 점액의 분비를 증가시켜 자극원이 조직 내부로 들어가는 것을 방해하며, 염세포의 활성화는 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 하며, 새판의 융합은 자극원에 노출되는 아가미의 표면적을 감소시키는 방어기작으로 해석된다(Mallatt 1985).

간체장에서 관찰되는 간세포의 활성화와 체장 효소원과 림프의 감소는 주로 반응초기에 나타나는 현상으로 이는 독성물질의 해독에 대한 간세포의 초기 반응과정과 이에 필요한 에너지의 이용이 높아짐에 따라 나타나는 조직학적 특징으로 판단된다.

그리고 신장에서 관찰된 호산성세포와 흑색 대식세포군의 출현 및 증가는 자체방어 기작으로 나타나는 일반적인 조직학적 특징이며, AB-PAS (pH 2.5)반응에서 세뇨관 상피층 자유면의 alcian blue 양성현상은 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, 지속적인 기저막의 비후는 간질조직으로부터 세뇨관 상피층의 탈락으로 진행될 수 있다(You *et al.* 1978).

하지만 이러한 모든 방어기작은 각 기관계를 구성하는 세포 및 조직 수준에서는 설득력이 가능하지만 개체수준에서 볼 때 각 기관계를 구성하는 세포나 조직의 구조적 변화는 개체의 호흡, 해독, 배설 및 재흡수 기능 등의 비정상화를 유도하여 전체 대사에 악영향을 미칠 것으로 판단된다.

적 요

유기주석화합물이 넘치의 기관계 구조에 미치는 독성을 알아보기 위하여 넘치를 대조구와 TBTO를 첨가한 6개 농도구(0.17, 0.36, 0.60, 3.20, 6.30, 12.50 µg L⁻¹)에서 42일 동안 노출 실험을 하였다. 조직상의 변화 정도는 노출 시간과 TBTO 농도의 증가에 따라 심하게 나타났다. 저농도의 TBTO 노출구에서 관찰된 초기 조직학적 변화로는 아가미에서는 점액세포와 염세포의 활성화, 새판 모세혈관의 충혈, 상피층의 비후, 간체장에서는 간세포의 활성화와 체장 효소원과 림프의 감소, 담관의 변성이 확인되었으며, 신장에서는 모세혈관의 충혈, 호산성세포와 흑색 대식세포군의 출현이 관찰되었다. 고농도의 TBTO 노출구에서 관찰된 조직학적 변화로는 아가미에서는 새판 상피층의 박리와 새판의 붕괴, 간체장에서는 간세포의 핵응축, 세포질의 혼탁 및 과립변성, 신장에서는 조혈세포의 핵응축, 사구체와 세뇨관의 붕괴 등 정상적인 기능 수행이 어려울 것으로 판단되는 조직상들이 관찰되었다. 이와 같은 결과는 TBTO는 다른 수중오염원과 마찬가지로 어류 기관계의 조직병리학적 변화를 유도한다는 것을 나타낸다.

참 고 문 헌

- Bae HK, EK Kim, SS Nam, CK Moon, SH Jeon, JG Na and KS Park. 2002. A study on cadmium accumulations and histopathological changes in the gills of crucian

- carp, *Carassius auratus*. Kor. J. Environ. Toxicol. 17: 53-61.
- Chin P, JA Lee, YK Shin and JS Lee. 1999. Environmental tolerance for pollutants in *Littorina brevicula* (Philippi). 2. The growth, metabolism and histological changes exposed to TBTCI and heavy metals in *Littorina brevicula*. J. Korean Fish. Soc. 32:593-600.
- Chliamovitch YP and C Kuhn. 1977. Behavioural, haematological and histological studies on acute toxicity of bis(tri-*n*-butyltin)oxide on *Salmo gairdneri* Richardson and *Tilapia rendalli* Boulenger. J. Fish Biol. 10:575-585.
- Galat DL, D Post, TJ Keefe and GR Bouck. 1985. 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.
- Gibbs PE, GW Bryan, PL Pascoe and GR Burt. 1990. Reproductive abnormalities in female *Ocenebra erinacea* (Gastropoda) resulting from tributyltin-induced imposex. J. Mar. Biol. Assoc. UK. 70:639-656.
- Gibbs PE, PL Pascoe and GR Burt. 1988. Sex change in the female dog-whelk, *Nucella lapillus* induced by tributyltin from antifouling paints. J. Mar. Biol. Ass. UK. 68:715-731.
- Gray MA and CD Metcalfe. 1997. Induction of testis-ova in Japanese medaka (*Oryzias latipes*) exposed to *p*-nonylphenol. Environ. Toxicol. Chem. 16:1082-1086.
- Grinwis GCM, A Boonstra, EJ van den Brandhof, JAMA Dormans, M Engelsma, RV Kuiper, H van Loveren, PW Wester, MA Vaal, AD Vethaak and JG Vos. 1998. Short-term toxicity of bis(tri-*n*-butyltin)oxide in flounder *Platichthys flesus*: Pathology and immune function. Aqua. Toxicol. 42:15-36.
- Jobling S, D Sheahan, JA Osborne, P Matthiessen and JP Sumpter. 1996. Inhibition of testicular growth in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to estrogenic alkylphenolic chemicals. Environ. Toxicol. Chem. 15: 194-202.
- Kang JC, JS Lee and JH Jee. 1999. 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. 32:699-705.
- Lee JS, JC Kang, YK Shin, KH Ma and P Chin. 2001. Histological responses of the flounder, *Paralichthys olivaceus* exposed to copper. J. Fish Pathol. 14:81-90.
- Maguire RJ, RJ Tkacz, YK Chau, GA Bengert and PTS Wong. 1986. Occurrence of organotin compounds in water and sediment in Canada. Chemosphere 15:253-274.
- Mallatt J, RL Ridgway and C Paulsen. 1985. Ultrastructural effects of 3-trifluoromethyl-4-nitrophenol on gills of the larval lamprey *Petromyzon marinus*. Can. J. Zool. 63:155-164.
- Mallatt J. 1985. Fish gill structural changes induced by toxicants and other irritants; a statistical review. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42:630-648.
- Matthiessen P and AE Brafield. 1973. The effects of dissolved zinc on the gills of the stickleback *Gasterosteus aculeatus* (L.). J. Fish Biol. 5:607-613.
- Morgan A and PWA Tovell. 1973. The structure of the gill of the trout, *Salmo gairdneri* (Richardson). Z. Zellforsch. Mikrosk. Anat. 142:147-162.
- Oronsaye JAO and AE Brafield. 1984. The effects of dissolved cadmium on the chloride cells of the gills of the stickleback *Gasterosteus aculeatus* (L.). J. Fish Biol. 25:253-258.
- Temminck J, P Bouwmeister, P de Jong and J van den Berg. 1983. An ultrastructural study of chromate-induced hyperplasia in the gill of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquat. Toxicol. 4:165-179.
- Trieborskorn R, HR Köhler, KH Körtje, RD Negele, H Rahmann and T Braunbeck. 1994. Evaluation of bis(tri-*n*-butyltin)oxide (TBTO) neurotoxicity in rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*). II. Ultrastructural diagnosis and tin localization by energy filtering transmission electron microscopy (EFTEM). Aquat. Toxicol. 30:199-213.
- Wester PW, JH Canton, AAJ van Iersel, EI Krajnc and HAMG Vaessen. 1990. The toxicity of bis(tri-*n*-butyltin)oxide (TBTO) in small fish species *Oryzias latipes* (medaka) and *Poecilia reticulata* (guppy). Aquat. Toxicol. 16:53-72.
- Wester PW and JH Canton. 1987. Histopathological study of *Poecilia reticulata* (guppy) after long-term exposure to bis(tri-*n*-butyltin)oxide (TBTO) and di-*n*-butyltin-chloride (DBTC). Aquat. Toxicol. 10:143-165.
- You KH, CH Choi, RS Choe and YK Deung. 1978. Ultrastructural studies on cadmium poisoning in the liver, kidney and gills of *Carassius carassius*. Korean J. Electron Microscopy 8:33-48.

Manuscript Received: November 18, 2003

Revision Accepted: February 19, 2004

Responsible Editorial Member: Myung Chan Gye
(Hanyang Univ.)