

카드뮴 축적량과 붕어 (*Carassius auratus*) 아가미 조직 변화의 상관성에 관한 연구

배희경, 김은경, 남성숙, 문창규¹, 전성환, 나진균, 박광식*

국립환경연구원 환경위해성연구과, ¹서울대학교 약학부

A Study on Cadmium Accumulations and Histopathological Changes in the Gills of Crucian Carp (*Carassius auratus*)

Heekyung Bae, Eunyoung Kim, Seong-Sook Nam, Chang-Kiu Moon¹,
Seong-Hwan Jeon, Jin-Gyun Na and Kwangsik Park*

National Institute of Environmental Research, Gyeongseo-dong, Seo-gu, Incheon 404-170, Korea,

¹College of Pharmacy, Seoul National University, San 56-1, Shillim-dong,

Kwanak-gu Seoul 151-742, Korea

ABSTRACT

Histopathological changes and cadmium accumulations in the gills were investigated in crucian carp (*Carassius auratus*) exposed to 0, 0.01, 0.1, 0.5 mg/l cadmium (Cd) concentrations for 25 days. After 25 days of exposure, cadmium accumulations increased in each of the different exposure concentrations. Histopathological changes in the gills of crucian carp exposed to cadmium included the acidification of mucous cell, the terminal clubbing of lamellae, the hyperplasia of epithelial cell and the curved of secondary lamellae. The similar histopathological changes were observed once the accumulations of cadmium reached the similar levels found in the present study with the different exposure schemes. Also the acidification of mucous cell in gills appeared when cadmium accumulations reached 5 µg/g and more. These results suggested that histopathological changes in the gills, an appearance of mucous cell acidification, be used to estimate the relation between toxic effect and cadmium accumulations in the gills.

Key words : *Carassius auratus*, cadmium exposure, gill, histopathological changes acidification of mucous cell

서 론

여러 가지 중금속 중 카드뮴은 전기도금, 페인트, 도자기 염료, 카드뮴-니켈 전지 등 산업에 다양하게 사용되어지고 있으며 (Yoo *et al.*, 1998) 그

사용량도 산업의 발달과 더불어 매년 증가하고 있는 실정이다 (Broudreau *et al.*, 1998). 수계로 유입된 카드뮴은 인체나 동물의 조직에 지속적으로 축적되고, 축적된 카드뮴의 독성은 노출되는 양과 형태 (Dudlkey *et al.*, 1982), 체내유입경로 (Goyer, 1986)에 따라 다르게 나타나는데, 신장기능, 중추신경계, 골변화증, 근육통, 고혈압, 호흡곤란 등이 유발되는 것으로 보고되고 있다 (Dudley *et al.*,

* To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-32-560-7070, E-mail: envipark@hanmail.net

1982). 특히 어류의 경우, 미량의 카드뮴에 노출될 경우에도 조직 손상, 척추 변형, 호흡기 변화 등 치사에까지 이르게 된다(Sorensen, 1991).

어류의 체조직 중 아가미는 가장 섬세하고 미묘하게 적응된 조직학적 구조를 갖고 있을 뿐 아니라 환경수에 직접 노출되어 있기 때문에 각종 유해인자의 침입 또는 이들에 의한 손상을 쉽게 받을 수 있는 곳이다(허민도, 1993). 아가미의 정상적인 구조는 이미 잘 밝혀져 있고, 또한 독성물질에 의해 유발되는 아가미의 조직 병변에 대해서도 많이 연구되고 있으나(Kantham and Richards, 1995; Pinkey and Hugues 1989; Tietge *et al.*, 1988), 아직 국내 담수어인 붕어를 이용한 아가미 조직 연구는 미흡한 상태이다.

본 연구에서는 카드뮴을 하천수 기준 농도인 0.01 mg/l을 포함하여 0.1 mg/l, 0.5 mg/l 농도로 붕어에 노출시킨 후 아가미에 축적된 카드뮴의 양과 조직학적 변화를 관찰함으로써, 독성물질인 카드뮴에 대한 붕어의 영향정도를 평가하는데 아가미의 조직학적 변화를 하나의 지표로 이용할 수 있는지를 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시험어종

양식장에서 사육한 붕어(*Carassius auratus*)를 크기 50×35×32 cm 수조에서 탈염소한 수도수를 이용하여 사육하였다. 사육실의 환경조건은 수온 25±1°C, pH 7.5±0.2, 용존 산소 7~8 mg/l 및 광주기 16h/8h(명/암)을 유지하였으며, 1주일간 순화시킨 후 시험에 사용하였다. 시험에 사용된 붕어는 체장 10.0~13.0 cm, 체중 28.0~60.0 g을 가지며, 외관상 기형이 없는 건강한 개체를 선별하여 사용하였다.

2. 시험물질 및 노출방법

시험물질 카드뮴은 CdCl₂를 사용하였고, 시험수는 48시간마다 시험수의 반을 교환해주는 반지수식 노출로, 최종농도는 하천수 기준농도 0.01 mg/l과 0.1 mg/l, 0.5 mg/l를 유지하도록 하고 각 농도당 12마리의 붕어를 처리하였다. 암수구별은 노출

후 조직검사시 확인하였다. 노출 기간은 25일로 하고, 시험기간동안 먹이는 냉동 장구벌레와 테트라비트를 1일 1회, 각 시험군에 동일한 양으로 공급하였다.

3. 아가미 카드뮴 축적량 측정

붕어 아가미의 카드뮴 체내축적농도를 알기 위해 우선 Barak와 Mason(1990)의 방법에 따라 산분해를 실시하였다. 붕어 아가미를 적출한 후 무게를 측정하고, 조직 0.5 g당 질산(HNO₃)과 과염소산(HClO₄)이 4대 1 비율로 혼합된 산분해용액 4 ml을 가하여 실온에서 48시간 방치 후 40°C에서 1시간 정도 가열하고 다시 140°C에서 약 90분간 가열하여 완전분해시켰다. 조직분해액은 냉각시키고 최종 부피가 10 ml이 되도록 탈이온수로 희석, 잘 혼합한 후 원자흡광광도계(AAS: Atomic Absorption Spectrophotometer, SPECTR 880., Varian)로 분석하였고, 각 처리군에 대한 카드뮴의 축적정도를 비교하기 위해 조직 g당 µg으로 축적농도를 계산하였다.

4. 아가미 조직 병변 관찰

조직 검사를 위해 적출한 아가미 조직 일부를 Bouin액(saturated picric acid solution 75 ml, formaldehyde 25 ml, glacial acetic acid 5 ml)에 24시간 고정하고 고정된 조직은 파라핀 절편법에 의해 4~6 µm 두께로 연속 절편하여 조직표본을 만들었다. 제작된 조직표본은 Mayer's hematoxylin과 0.5% eosin(H-E) 비교염색, AB-PAS(alcian blue & periodic acid Schiff's solution, pH 2.5)반응을 실시한 후 광학현미경하에서 관찰하였다.

결 과

1. 카드뮴 축적량

카드뮴에 노출시킨 붕어의 아가미조직에서 축적된 카드뮴의 양을 원자흡광광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer, SPECTR 880., Varian)로 분석한 결과는 Fig. 1과 같다.

각각의 노출군에 대해서 노출시간이 경과함에 따라 카드뮴 노출 농도별 그 축적량도 증가하였

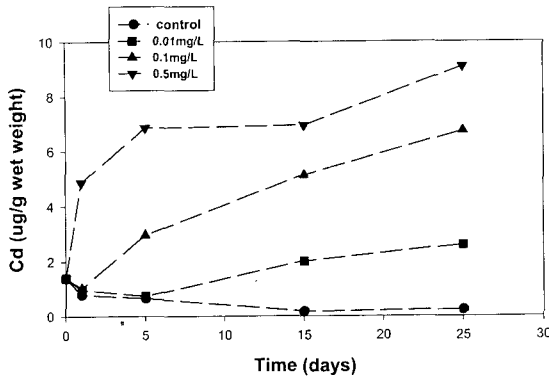


Fig. 1. Cadmium concentrations in gills of the crucian carp (*Carassius auratus*) exposed to ● 0 mg/l Cd, ■ 0.01 mg/l Cd, ▲ 0.1 mg/l Cd, ▼ 0.5 mg/l Cd.

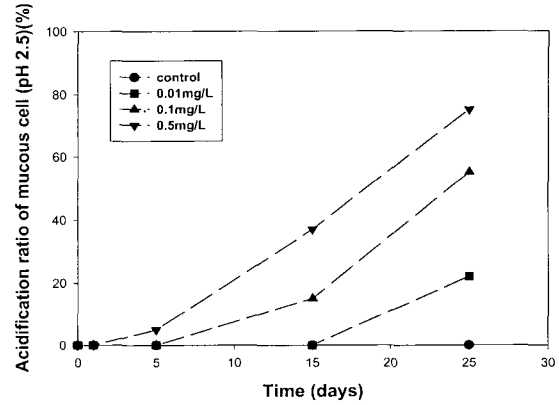


Fig. 2. Acidification ratio of mucous cell (AB-PAS stain at pH 2.5) in gills of the crucian carp (*Carassius auratus*) exposed to cadmium for 25 days.

다. 0.01 mg/l 농도에서는 노출 24시간 후에 아가미에 축적된 카드뮴의 양이 0.96 $\mu\text{g/g}$ 으로 나타났으나, 5일 후의 축적량은 0.73 $\mu\text{g/g}$ 으로 노출 1일째보다 낮은 축적량을 보이다가, 그 이후 노출 15일과 25일 후에는 각각 2.00 $\mu\text{g/g}$ 와 2.59 $\mu\text{g/g}$ 으로 증가되는 것을 확인할 수 있었다.

노출 농도 0.1 mg/l에서 25일 후 아가미에 축적된 카드뮴의 양은 대조군에 비해 6배 정도였으며, 0.5 mg/l 노출 농도에서는 25일 후 초기 노출량에 비해 9배 정도 축적되는 것을 확인할 수 있었다.

2. 조직학적 변화

H-E 비교염색과 AB-PAS 반응을 통해서 0.01, 0.1, 0.5 mg/l의 카드뮴 농도에서 25일간 노출시킨 붕어의 아가미 조직학적 변화를 관찰한 결과는 Figs. 3-6과 같다.

0.01 mg/l를 처리하였을 경우, 노출 후 1일과 5일에서는 점액세포와 염세포의 활성이 관찰되었고 AB-PAS 반응결과 적색으로 점액세포의 산성화는 관찰되지 않았다. 노출 후 15일에서는 새엽 상피세포의 증생과 새판 상피세포 비후 등이 관찰되었으며 여전히 점액세포의 산성화는 관찰되지 않았다. 노출 후 25일이 지나서야 비로소 몇몇 점액세포가 AB-PAS 반응에서 alcian blue 양성반응인 청색을 보이기 시작했으나 점액세포의 산성화가 강하게 나타나지는 않았다. 새엽 상피세포의

증생과 새판 상피세포 비후 등의 현상은 계속 진행되는 것으로 관찰할 수 있었다.

0.1 mg/l를 처리하였을 경우, 노출 후 1일에서는 혈구의 증가가 관찰되었고, 노출 5일째에는 AB-PAS 반응결과 점액세포의 산성화는 관찰되지 않았으나, 점액세포와 염세포의 활성, 새판 말단부의 미약한 곤봉화, 새판 상피세포의 비후가 관찰되었다. 노출 후 15일이 지나서야 비로소 AB-PAS 반응결과 몇몇 점액세포들이 양성반응을 보이기 시작했다. 또한 아가미 조직 전반에 걸쳐 새엽 상피세포의 증생과 새판 상피세포의 비후가 관찰되었다. 노출 후 25일에서는 AB-PAS 양성반응을 보이는 점액세포의 수가 더 늘어났으며 또한 새판 상피세포 탈락과 상피세포의 핵응축 등이 관찰되는 경향이 있었다.

0.5 mg/l를 처리하였을 경우, 노출 후 1일에는 AB-PAS 반응결과 점액세포가 양성반응을 보이지는 않았으며, 점액세포와 염세포의 활성이 관찰되었다. 노출 후 5일에는 AB-PAS 반응에서 점액세포가 몇몇 조직이 미약하게나마 양성반응을 보이기 시작하였고, 노출 후 15일에는 AB-PAS 반응에서 점액세포가 양성반응을 띄는 수가 더욱 늘어났으며, 새엽 상피세포의 증생과 핵응축, 새판의 융합 현상을 함께 관찰할 수 있었다. 노출 후 25일에는 점액세포의 산성화는 계속 진행 되어감을 확인할 수 있었으며, 노출 15일째와 마찬가지로 새엽 상피세포의 증생과 핵응축이 관찰되었고, 새

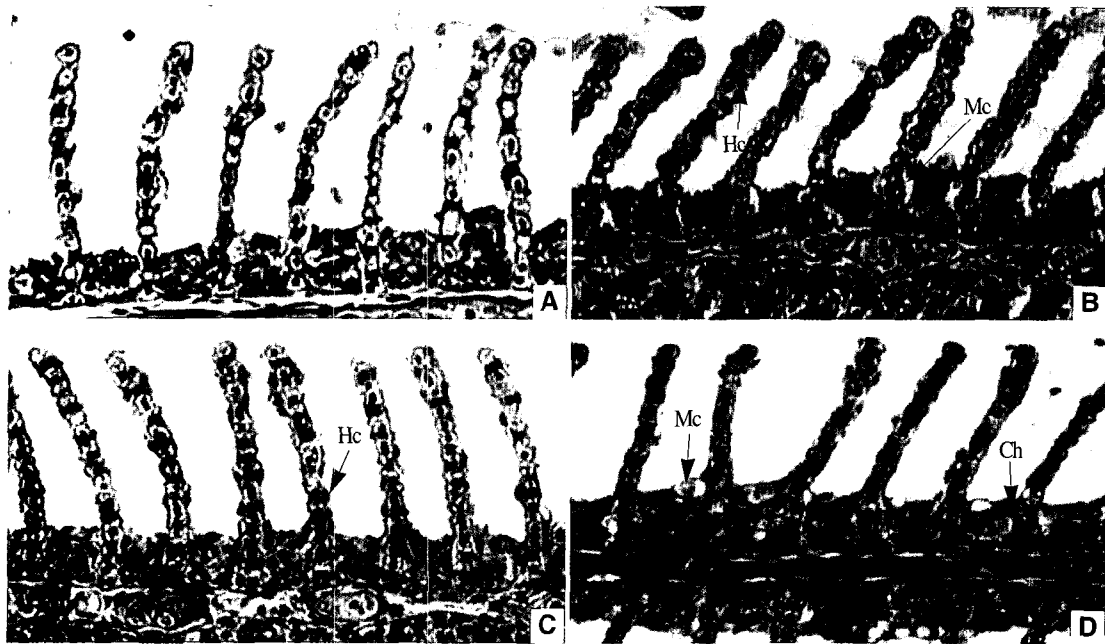


Fig. 3. Histological changes of gill of the crucian carp (*Carassius auratus*) exposed to cadmium for 1 day (H-E stain : $\times 100$). The activated mucous cells and chloride cells were shown. The mucous cells were not stained for AB-PAS reaction at pH 2.5 in all the samples. A : Control. Notice the activated mucous cells, B : Exposure to 0.01 mg/l Cd, C : Exposure to 0.1 mg/l Cd, Notice the increment of hemocytes, D : Exposure to 0.5 mg/l Cd, Notice the activated chloride cells and mucous cells. AB-PAS : alcian blue-periodic acid & Schiff's solution, Ch : chloride cell, Hc : hemocyte, Mc : mucous cell.

Table 1. Analysis of gill histological alterations in the crucian carp (*Carassius auratus*) exposed to 0 mg/l Cd, 0.01 mg/l Cd, 0.1 mg/l Cd, 0.5 mg/l Cd for 25 days

Time (days)	Conc. (mg/l)			
	control	0.01	0.1	0.5
0	-	-	-	-
1	-	점액세포와 염세포의 활성화 혈구 증가	혈구 증가	점액세포와 염세포의 활성화
5	-	점액세포와 염세포의 활성화	점액세포와 염세포의 활성화 새판의 미약한 곤봉화	새엽 상피세포의 증생 점액세포 AB-PAS 양성
15	-	새엽 상피세포의 증생 새판 상피세포의 비후	새엽 상피세포의 증생 새판 상피세포의 비후 점액세포 AB-PAS 양성	새엽 상피세포의 증생 새판 상피세포의 비후, 핵응축 새판의 융합 점액세포 AB-PAS 양성
25	-	새엽 상피세포의 증생 일부 점액세포 AB-PAS 양성	새엽 상피세포의 증생 새판 상피세포의 탈락 점액세포 AB-PAS 양성	새엽 상피세포의 증생 새판 상피세포의 탈락 새판의 융합 점액세포 AB-PAS 양성



Fig. 4. Histological changes of gill of the crucian carp (*Carassius auratus*) exposed to cadmium for 5 days ($\times 100$). The activated mucous cells and chloride cells were shown. The mucous cells stained positive for alcian blue stain at pH 2.5 when the crucian carp was exposed to 0.5 mg/l Cd for 5 days. A : Control (H-E stain). Notice the activated mucous cells, B : Exposure to 0.01 mg/l Cd (H-E stain). Notice the activated chloride cells and mucous cells, C : Exposure to 0.1 mg/l Cd (H-E stain). Notice the activated chloride cells, mucous cells and a few terminal clubbing of the lamellae. D : Exposure to 0.5 mg/l Cd (AB-PAS stain). Notice the mucous cells of alcian blue positive and hyperplasia of epithelial cells. AB-PAS : alcian blue-periodic acid & Schiff's solution, Ch : chloride cell, Mc : mucous cell.

판의 융합현상이 심화되어감을 확인할 수 있었다.

3. 카드뮴 축적량과 조직학적 변화의 상관성

아가미에 축적된 카드뮴의 농도와 조직의 변화를 살펴본 결과 (Table 1), 0.01 mg/l 농도에서 25일간 노출한 아가미의 카드뮴 축적량은 2.59 $\mu\text{g/g}$ 이었고 이때 몇몇 점액세포는 AB-PAS 반응에서 양성 반응을 띄었으나 점액세포의 산성화는 강하지 않았다.

0.1 mg/l를 처리하였을 경우, 5일 동안 노출시킨 아가미의 카드뮴 축적량은 2.96 $\mu\text{g/g}$ 으로 조직의 변화는 점액세포와 염세포의 활성이 관찰되었으나 점액세포의 산성화는 관찰되지 않았다. 15일 후 아가미에 축적된 카드뮴의 양은 5.12 $\mu\text{g/g}$ 으로

점액세포의 AB-PAS 반응결과 양성 반응을 띄었으며, 25일 후에는 6.74 $\mu\text{g/g}$ 축적되었고 AB-PAS 반응에서 양성 반응을 보이는 점액세포의 수는 더 증가하였음을 확인할 수 있었다.

0.5 mg/l를 처리하였을 경우, 노출 5일만에 축적된 카드뮴의 양은 6.86 $\mu\text{g/g}$ 으로 AB-PAS 반응에서 양성 반응을 보이는 점액세포가 발견되기 시작하여, 15일 후 6.94 $\mu\text{g/g}$, 25일 후 9.09 $\mu\text{g/g}$ 으로 축적되는 카드뮴의 양이 증가함에 따라 산성화된 점액세포의 수도 증가함을 확인할 수 있었다.

이러한 현상으로 보아 아가미에 축적된 카드뮴의 양이 5 $\mu\text{g/g}$ 정도를 나타내게 되면 AB-PAS 염색에서 양성반응이 나타남을 알 수 있었다 (Fig. 2).

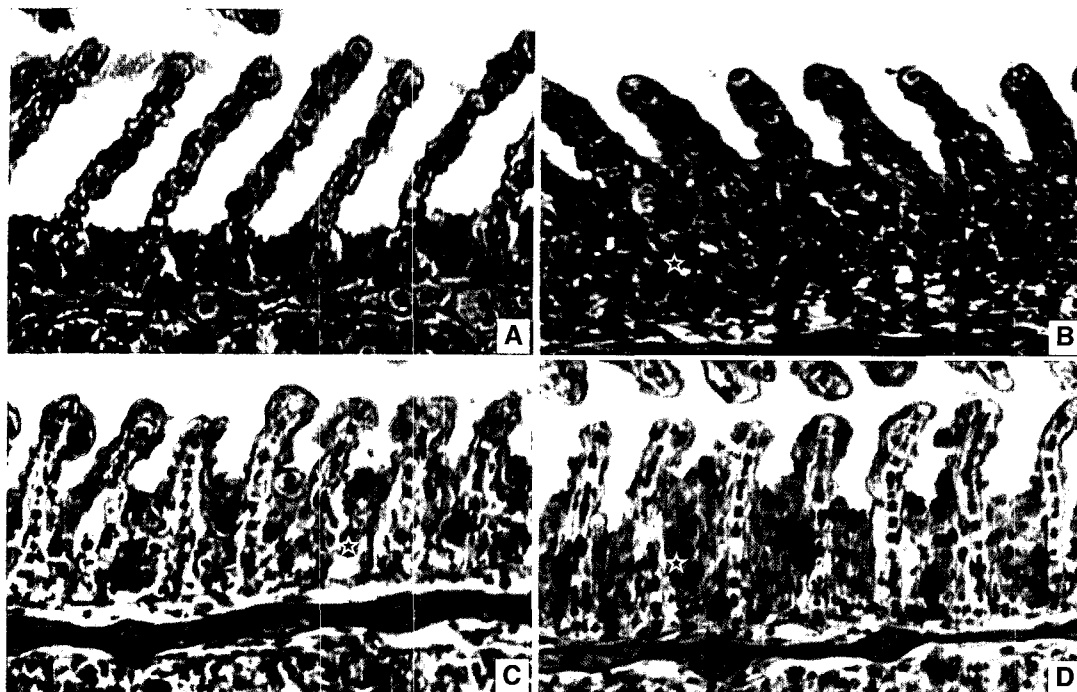


Fig. 5. Histological changes of gill of the crucian carp (*Carassius auratus*) exposed to cadmium for 15 days ($\times 100$). The hyperplasia of epithelial cells were shown in all the different exposure concentrations and the mucous cells stained strongly positive for alcian blue stain at pH 2.5 when the crucian carp was exposed to 0.1, 0.5 mg/l Cd for 15 days. A : Control (H-E stain). Notice the activated mucous cells, B : Exposure to 0.01 mg/l Cd (H-E stain). Notice the hyperplasia of filament epithelial cells, C : Exposure to 0.1 mg/l Cd (AB-PAS stain). Notice the hyperplasia of filament epithelial cells and the mucous cells of alcian blue positive, D : Exposure to 0.5 mg/l Cd (AB-PAS stain). Notice the fused gill lamellae and the mucous cells of alcian blue positive. **AB-PAS** : alcian blue-periodic acid & Schiff's solution, ☆ : the hyperplasia of filament epithelial cells.

고 찰

어류의 아가미는 물이라는 외부환경과 직접 접촉하고 있기 때문에 삼투압의 불균형과 환경유해 성분 등에 직면하게 되어 상피층의 이상증식을 유발한다(Hawkes, 1974). 이러한 이유로 어류에서 아가미의 미세구조에 대한 연구가 많이 보고되고 있다(You *et al.*, 1978; David, 1982; Perera, 1993). 본 연구에서는 여러 가지 농도로 노출시킨 붕어에서 아가미 조직에 축적된 카드뮴 양과 조직학적 변화를 살펴보고, 조직학적 변화와 카드뮴 오염과의 상관성 도출을 시도해 보고자 하였다.

독성물질에 대한 아가미 조직의 반응은 두 그룹으로 나눌 수 있는데 그 하나는 독성물질이 아

가미를 통하여 흡수되는 것을 막거나 그 독작용을 감소시키기 위한 변화이다. 상피세포의 비후, 비대, 점액세포의 증식 등은 아가미 모세혈관과 환경수와의 거리를 증가시켜 독성물질이 아가미로 확산되어 들어가는 것을 막기 위한 반응이고, 독성물질의 배출을 위한 변화로 염세포가 비대, 증식되는 현상이 나타날 수도 있다. 그러나 독성물질로 인하여 계속 자극받아 이러한 반응이 계속 진행되면 아가미 이차 새엽의 두께가 점점 두꺼워져 산소의 흡수가 어려워지므로 질식으로 인하여 사망하게 된다. 또 하나는 독성물질에 의해 직접 받는 독작용으로서 상피세포의 괴사, 탈락, 상피층의 박리 등이 여기에 속한다(Muller *et al.*, 1991).

카드뮴에 노출시킨 붕어에서 관찰된 아가미조

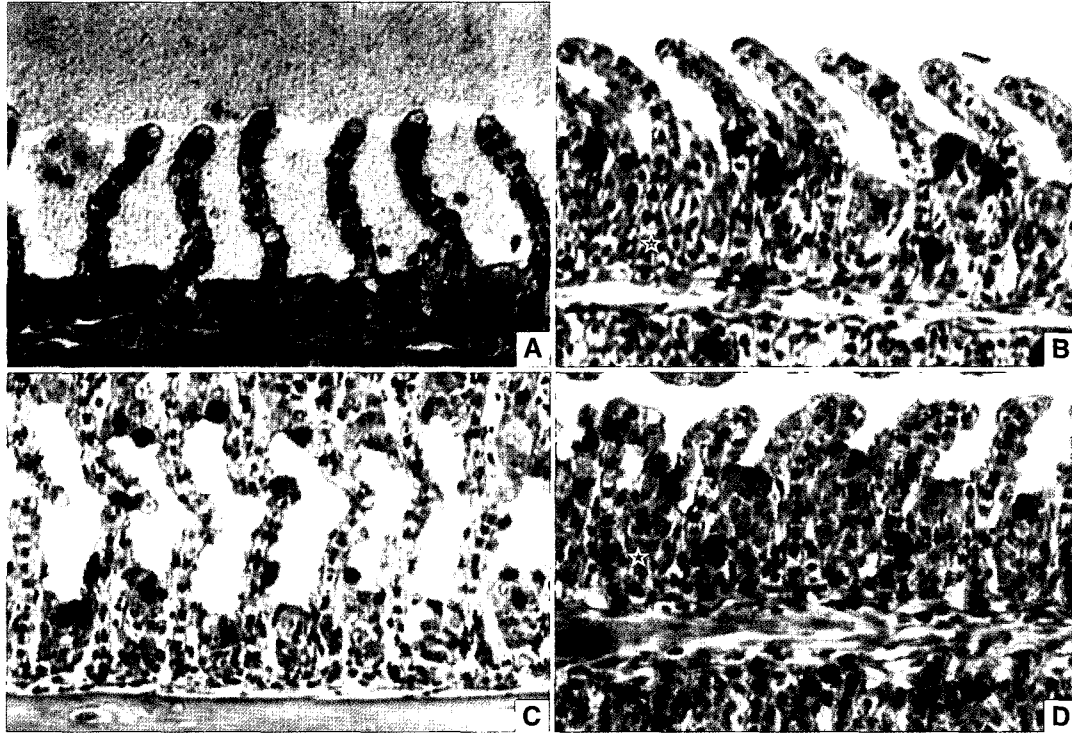


Fig . 6. Histological changes of gill of the crucian carp (*Carassius auratus*) exposed to cadmium for 25 days ($\times 100$). A few mucous cells stained weakly positive for alcian blue stain at pH 2.5 when the crucian carp was exposed to 0.01 mg/l Cd for 25 days and an increased number of mucous cells stained strongly positive for alcian blue stain at pH 2.5 when the crucian carp was exposed to 0.1, 0.5 mg/l Cd for 25 days. A : Control (H-E stain), B : Exposure to 0.01 mg/l Cd (AB-PAS stain). Notice the hyperplasia of filament epithelial cells and the mucous cells of alcian blue positive, C : Exposure to 0.1 mg/l Cd (AB-PAS stain). Notice the mucous cells of alcian blue positive, D : Exposure to 0.5 mg/l Cd (AB-PAS stain). Notice the fused gill lamellae and the mucous cells of alcian blue positive, the hyperplasia of filament epithelial cells. AB-PAS : alcian blue-periodic acid & Schiff's solution, ☆ : the hyperplasia of filament epithelial cells.

직의 초기반응 양상으로 0.1 mg/l 농도에서 1일 후 혈구의 증가와 0.5 mg/l 농도에서 1일 후 점액세포와 염세포의 활성을 확인할 수 있었다 (Fig. 3). 넙치 아가미의 경우는, 조직학적 초기반응 양상으로 카드뮴 0.210 mg/l 농도에서 7일에 염세포와 점액세포의 활성이 나타나고, 수은 0.012 mg/l 농도에서 7일에 새판 모세혈관의 팽창과 혈구의 증가 현상을 확인할 수 있었으며, 납 0.150 mg/l 농도에서 7일에 혈구의 증가 및 염세포의 활성이 관찰되었다는 보고가 있다 (Lee *et al.*, 2001). 이와 비교해보면, 같은 아가미의 초기 조직학적 변화 양상도 어류, 중금속의 종류, 노출 농도, 노출 기간에 따라

상이함을 확인할 수 있었다. 그리고 카드뮴의 축적량에 따라 상피세포의 증생, 비후, 곤봉화, 핵응축, 탈락 그리고 융합 현상과 같은 병변들이 나타났는데 이는 보편적으로 나타나는 어류 아가미 조직에서의 병리조직학적 변화와 같음을 알 수 있었다.

각각의 노출군에 대해서 시간이 경과함에 따라 카드뮴 노출 농도별 아가미 조직에 축적되는 카드뮴의 양은 증가하였다. 축적된 카드뮴의 양과 조직의 변화를 비교해보면, 아가미 조직에 카드뮴이 5.12 $\mu\text{g/g}$ 정도가 축적되기 시작하면서 점액세포가 산성화로 변화되기 시작함을 알 수 있었다.

일반적으로 모든 어종에서는 아가미 이차세변에 점액세포가 극히 적거나 없는 것으로 보고되고 있고 (Handy and Eddy, 1991), 점액세포는 중성상태에서 음성을 띠는 sialic acid를 포함하기 때문에 알루미늄과 같은 양이온인 중금속을 흡착해서 중금속류에 의해서도 증식이 되는 것으로 알려져 있다 (Shin *et al.*, 1993). 이와 같은 원리에 의해 초기 카드뮴 노출에 따른 아가미 조직의 반응 양상으로 점액세포의 활성화가 나타남을 확인할 수 있었다. 그리고 기존 점액세포의 기능은 점액을 통한 이온 농도차의 발생에 의해서 어류로부터 이온이 확산되어 가는 속도를 감소시키거나 수소이온차를 이용하여 아가미 선단 막의 산성화를 감소시키는 것인데 (Shin *et al.*, 1993), 점액세포가 산성화된다는 것은 이 기능이 저하된 것임을 추측할 수 있다. 기존 발표된 논문들에서는 독성물질에 대한 영향을 확인하는데 있어 아가미의 조직변화를 관찰하거나 점액세포의 수를 헤아릴 뿐이고, 축적된 독성물질의 양과 점액세포의 산성화를 비교한 연구는 거의 찾아볼 수 없었다. 본 실험에서 AB-PAS 염색을 통해 점액세포의 산성화 정도를 관찰하고 이를 축적된 카드뮴의 양과 비교한 것은 아가미 조직 손상을 생물학적 지표로 이용하여 환경 중 카드뮴 오염정도를 예측할 수 있는 하나의 기법으로 활용 가능하리라 사료된다.

결론적으로 카드뮴을 단독 오염원으로 사용하여 아가미의 조직학적 변화와 조직내 축적 정도와의 상관관계를 살펴보면, 노출 농도별 노출 시간이 경과함에 따라 아가미에 축적되는 양은 증가하게 되고, 노출 농도가 다른 노출군에 대해서도 카드뮴의 축적된 양이 비슷할 경우 조직학적 변화 양상도 유사하게 나타났다. 그래서 어류 종류별 차이는 있지만 담수어인 붕어에 한해서는 아가미에 나타난 조직적 변화로 축적된 카드뮴의 양을 추측할 수 있으리라 사료된다. 그리고 또한 아가미 점액세포의 산성화는 카드뮴 축적 양이 약 5 µg/g 이상에서 나타나는 조직 병리학적 증상으로 확인되어, 카드뮴 오염지역에 서식하고 있는 붕어에서 아가미의 조직학적 변화를 관찰해봄으로써 그 지역의 카드뮴 오염정도를 추측할 수 있으리라 생각된다.

앞으로 붕어에 대해서 수은 (Hg), 납 (Pb), 구리 (Cu) 등등 각각의 단독 오염원에 따른 조직학적

변화 정도와 체내 축적 정도와의 상관관계를 살펴보는 연구와 혼합 오염원에 따른 조직학적 변화 정도와 체내 축적 정도와의 상관관계를 살펴보는 연구가 계속 진행될 필요성이 있고, 이러한 연구의 결과를 토대로 오염지역에 서식하고 있는 어류의 조직학적 변화만으로 오염지역에 오염원의 정도를 파악할 수 있는 자료가 될 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2001년 환경부의 “차세대 핵심환경 기술개발사업 (Eco-technopia 21 project)”으로 지원받은 과제입니다.

참 고 문 헌

- Barak NAM and Mason CF. Mercury, cadmium and lead concentrations in five species of fresh from Eastern England. *Sci. Total. Environ.* 1990; 92 : 257-263.
- Broudeau J, Viccent R, Nadeau D, Trottier B. Toxicity of inhaled cadmium chloride early response of the antioxidant and surfactant systems in rat lungs. *J. Toxicol. Envi. Health* 1998; 23 : 241-256.
- David BG. Histology of the striped bass. *Am. Fish. Soc. Monogra.* 1982; 3 : 40-44.
- Dudkey RE, Svovoda DJ, Klaassen CD. Acute exposure to cadmium uses serve liver injury in rats. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 1982; 65 : 302-313.
- Goyer RA. Toxic effect of metals. Casarett and Doull's Toxicology, In Klaassen CD, Amder MD, Doull J, eds. (4th ed), Mecomillian Publishing Co., New York 1986; 623-680.
- Handy RD and Eddy FB. The absence of mucous on the secondary lamellae of unstressed rainbow trout. *Onchorhynchus mykiss* (Walbaum). *J. Fish. Biol.* 1991; 38 : 153-155
- Hawkes JW. The structure of fish skin. I. General organization. *Cell Tiss. Res.* 1974; 149 : 147-158.
- Huh MD and Jeong HD. Histological structure and pathological lesions of gill in teleosts. *J. Fish Pathol.* 1993; 6(1) : 65-70.
- Kantham KPL and Richards RH. Effect of buffers on the gill structure of common carp, *Cyprinus carpio* L., and

- rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). J. Fish Diseases 1995; 18 : 411-423.
- Michael WK and James ED. Scanning and transmission electron microscopic observations of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) gill. J. Fish. Res. Board Can. 1979; 36 : 1072-1079.
- Muller ME, Sanchez DA, Bergman HL, Rhem DG and Wood CM. Nature and time course of acclimation to aluminium in juvenile brook trout (*Salvelinus fontinalis*). Gill histology. Can. J. Fish. Sci. 1991; 48 : 2016-2027.
- Perera KML. Ultrastructure of the primary gill lamellae of *Scomber australasicus*. J. Fish Biol. 1993; 43 : 45-59.
- Pinkney AE, Wright DA and Hughes GM. A morphometric study of the effects of tributyltin compounds on the gills of the mummichog *Fundulus heteroclitus*. J. Fish Biol. 1989; 34 : 665-677.
- Shin MY, Choi DL, Chung JK and Chun SK. Histopathological changes in fish gills by potassium permanganate and influence of water quality. J. Fish Pathol. 1993; 6(1) : 21-55.
- Sorensen EM. cadmium. In "Metal Poisoning in Fish," CRC press, Boston. 1991; 175-234.
- Tietge JE, Johnsin RD and Bergman HL. Morphometric changes in gill secondary lamellae of Brook Trout (*Salvelinus fontinalis*) after long-term exposure to acid and aluminium. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1988; 45 : 1643-1648.
- You KH, Choi CK, Choe RS and Deung YK. Ultrastructural Studies on Cadmium Poisoning in the Live, Kidney and Gills of *Carassius carassius*. J. Electron Microscopy. 1978; 8 : 33-38.
- 김재원, 김형수, 김경선, 이정식, 진 평. 2000. 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 초기생활사 동안 피부와 아가미 형성에 미치는 Aroclor 1254®의 영향. 춘계 수산관련 학회 공동학술발표회. pp. 385-386.
- 유일수, 문연자, 이정호. 1998. 셀레늄이 메기 간장 및 신장의 카드뮴 축적에 미치는 영향. 환경과학연구지. pp. 77-85.
- 이정식, 정선영, 강주찬, 이정아, 진 평. 2001. 중금속 4종 (Hg, Cd, Cu, Pb)에 대한 넙치 (*Paralichthys olivaceus*) 아가미의 조직학적 반응 특성. 춘계수산관련학회 공동학술대회 요지집. pp. 534-535.