

시안 노출에 의한 이스라엘잉어, *Cyprinus carpio*의 혈액화학적변동의 변동

강주찬 · 지정훈
부경대학교 수산생명의학과

Hemochemical Changes in Israel carp, *Cyprinus carpio* exposed to cyanide

Ju-Chan KANG, Jung-Hoon JEE

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

The study was carried out to determine the toxicity of cyanide on the hemochemical changes of Israel carp, *Cyprinus carpio* reared under a continuous-flow system for 5 weeks. The carps exposed to cyanide concentration over 151 $\mu\text{g}/\ell$ started to decrease significantly in red blood cell count, hemoglobin concentration and hematocrit value at week 4. However, a significant elevation of MCH and MCV was noticed a week later, at week 5 at cyanide concentration 289 $\mu\text{g}/\ell$. The low concentration of serum calcium was observed at the last week of the experiment in cyanide concentration 151 $\mu\text{g}/\ell$, while serum magnesium concentration initiated to increase from the 4th week at the cyanide concentration 289 $\mu\text{g}/\ell$. Serum total protein, albumin and glucose concentrations decreased significantly after 4th week at the concentration over 151 $\mu\text{g}/\ell$. A significant increment of GOT, GPT and LDH activities in the carp serum was noticed after 3rd week at cyanide concentrations over 151 $\mu\text{g}/\ell$ without typical changes of Al-P and amylase. These results indicate that carps can be affected by cyanide in terms of red blood cell count, hemoglobin concentration and hematocrit value in blood, calcium and magnesium concentration, GOT, GPT and LDH activities in serum when they were exposed to the cyanide concentrations 151 $\mu\text{g}/\ell$ or higher.

Key words: *Cyprinus carpio*, cyanide, toxicity, hemochemical changes

서 론

강이나 하천 등에 유입되는 오염물질은 여기에 서식하는 수생 생물에 많은 저해영향을 미치게 되는데, 오염수역의 모든 생물에 대한 저해정도를 구명하는 것은 사실상 불가능하다. 따라서, 최근에는 오염물질에 대한 지표생물의 생리생태 및 생화학적 지표를 개발하려는 시도가 부분적으로 이루어지고 있는데 (Grzebyk and Galgani, 1991; McCain et al., 1996), 이들 중에 어류의 혈액화학 구성은 일반적으로 환경수 중에 존재하는 stress를 유발하는 오염 물질에 의해 변동하기 때문에 오염수준을 감시하는 유용한 수단으로서 활용되고 있다 (Chandraseker and Jayabalan, 1993). 즉, 오염물질에 대한 어류의 적혈구수, 혈색소농도 및 상대혈구용적 등의 혈액성상의 변화 (Goel and Gupta, 1985; Khattak and Hafeez, 1996), 혈청내의 무기성분 및 유기성분의 변화 (Leatherland and Sonstegard, 1981; Yamazaki et al., 1986; Ito and Murata, 1990; Ma et al., 1995) 등이 활용되고 있다. 또한, 일반 인체 진단에서 널리 이용되는 혈청내의 전이효소인 GOT (glutamic oxalate transaminase) 및 GPT (glutamic pyruvate transaminase)도 오염수준의 판정에 널리 활용되고 있다. 이들 효소는 정상적인 조건하에서는 세포막, 세포질 및 미토콘드리아내에서 발견되지만, 세포가 손상되었을 때는 혈액으로 빠져나와 혈청내의 활성이 증가하므로 환경오염이 원인이 되는 조직손상을 인지하는 진단에 이용되고 있다. 그리고 ACh-E (Acetylcholinesterase)는 생화학적으로 가장 중요한 신경 전달 물질인 acetylcholine을 가수분해하는 효소로서 유기인계농약 및 carbamate에 의해서 그 활성이 억제되기때문에 수계오염의 지표로서 사용되고 있다 (Weiss and Gakatatter, 1964; Holland et al., 1967).

시안(cyanide)은 맹독성이며, 일반적으로 금광, 기타 산업폐기물 처리과정 및 도금공장 등의 배출수 중에 포함되어 강이나 하천으로 유입되는 경우가 많다. 그리고, 대부분은 산업공정에서 시안화칼륨 및 시안화나트륨의 형태로 급속화학 및 도금공장 등에서 많이 사용되며, 우리 나라의 일부수역에서 60~130 $\mu\text{g}/\ell$ 의 시안농도가 검출되기도 하였다 (Choi et al., 1988). 어류에 대한 시안독성에 대해서는 몇몇의 보고 (Alabaster et al., 1983; Thomas, 1985; Sarkar, 1990; Pable et al., 1997)가 있으나, 이들 연구결과의 대부분은 급성독성에 관한 치사한계를 규명한 자료들로서 장기 노출에 따른 어류의 혈액성상 및 화학변동을 체계적으로 조사한 자료는 극히 미비한 실정이다.

이상의 관점에서 본 연구는 유용 양식어류인 이스라엘잉어를 대상으로 시안노출에 의해 그들의 혈액성상 및 화학적 변동에 미치는 시안독성에 대하여 검토하였다.

재료 및 방법

1. 실험어

본 실험에 사용한 이스라엘잉어, *Cyprinus carpio*는 경남 소재 양식장에서 분양받아 실험실로 운반하여 순환여과식수조 (용량, 400 l)에서 10일 이상 순화시킨 개체를 사용하였다. 순화기간 동안의 수온, pH 및 용존산소는 각각 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 6.7~6.9, 6.5~6.8 mg/ℓ 이었고, 먹이는 시판용 잉어사료를 공급하였다. 실험에 사용한 이스라엘잉어는 외관상 질병의 증세가 나타나지 않는 체중 35.3 ± 3.83 g, 체장 11.07 ± 0.48 cm 의 건강한 개체를 사용하였다.

2. 실험과정

실험은 시안과 같은 휘발성 독성물질의 설정농도를 실험기간 동안 일정하게 유지시키기 위한 유수식장치를 사용하였고, 모든 실험은 수온 20 ± 1℃를 유지할 수 있는 항온실에서 실시하였다.

실험용액은 시안화칼륨 (Potassium cyanide)을 2차 증류수에 용해시켜 stock용액을 만들고 수산화나트륨을 첨가하여 표준용액을 조제하여 사용하였다. 시안의 농도설정에는 예비실험을 바탕으로 아치사농도인 300 µg/l을 포함하여 영향농도의 50, 25%인 150, 75 µg/l의 3구간의 농도를 설정하였다. 실험기간 동안의 시안농도 (Pyridine-pyrazolone법) 및 수질상태 (APHA, 1985)는 Table 1과 같으며, 기타 실험방법 및 과정은 전보 (Jee and Kang, 1999)에 상세히 기재되어 있다.

3. 혈액 검사

5주의 실험기간 동안 혈액검사는 시안에 노출직후부터 실험종료까지 2개의 반복 실험구를 두어 매주 실시하였다. 혈액은 ethyl aminobenzoate (Sigma, USA)로 마취시킨 후, 1회용 주사기를 사용하여 미부혈관 (caudal vein or artery)에서 채혈하였다. 채혈한 혈액은 2개로 나누어, 한 개는 heparin-Na (25,000 IU, 중외제약)을 첨가하여 혈액성상을 측정하였고, 다른 한 개는 혈청화확성분을 측정하기 위하여 1시간 동안 실온에 방치한 후, 4℃에서 2시간 동안 방치한 후에 6,000rpm에서 5분간 원심분리하여 혈청을 분리하였다. 혈액성상 및 혈청화학 측정은 채혈 후 곧바로 실시하거나 냉장상태를 유지하면서 3시간 이내에 측정하였다.

적혈구 (RBC)수는 hendrick's diluting solution으로 혈액을 1:200으로 희석한 후에 hemo-cytometer (Improved Neubauer, Germany)를 이용하여 광학 현미경하에서 계수하였다. 혈색소 (Hb) 농도는 시판되고 있는 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd.)를 사용하여 cyan-methemoglobin법, 상대혈구용적 (Hi) 값은 microhematocrit centrifuge (Model 01501, Hawksley and Sons Ltd., England)에서 12,000rpm으로 5분간 원심침적시켜 판독판으로 측정하였다. 평균적혈구혈색소량 (MCH), 평균적혈구용적 (MCV) 및 평균적혈구혈색소농도 (MCHC)는 각각 RBC수, Hb농도 및 Hi값을 이용하여 계산하였다.

혈청 무기성분의 변동은 칼슘 (Calcium), 마그네슘 (Magnesium) 및 무기인 (Inorganic phosphorus)에 대하여 측정하였다.

측정은 calcium은 o-cresolphthalein-complexon법, magnesium은 xylydyl blue법, inorganic phosphorus는 phosphomolybdenate법에 의하여 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd.)를 사용하여 측정하였다.

혈청 유기성분 변동은 총 단백질 (Total protein), 알부민 (Albumin), 혈당 (Glucose)에 대하여 측정하였다. 즉, total protein은 biuret법, albumin은 BCG법, glucose는 GOD/POD법으로 시판되고 있는 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd.)를 사용하여 측정하였다.

혈청 효소활성의 변동은 GOT (Glutamic oxalate transaminase), GPT (Glutamic pyruvate transaminase), LDH (Lactate dehydrogenase), Ch-E (Choline esterase), Al-P (Alkaline phosphatase) 및 amylase에 대하여 측정하였다. GOT와 GPT는 reitman-frankel법, LDH는 젯산기질법, Ch-E는 효소법, Al-P는 kindking법, amylase는 caraway변법으로 임상용 kit (Iatron Pharm. Co. Ltd., Japan)로 측정하였다.

4. 유의성 검정

실험결과와 통계적 처리는 SPSS 통계 프로그램 (SPSS Inc.)을 이용하여 ANOVA를 실시한 후 사후 다중비교는 최소 유의차 검정으로 평균간의 유의성 (P<0.05)을 검정하였다.

결 과

시안 노출에 의한 이스라엘잉어의 RBC, Hb 및 Ht의 변동을 Fig. 1에 나타내었다. RBC수는 시안농도 151 µg/l이상에서 2주 후부터 대조구에 비해 유의한 감소를 나타내었으며 (P<0.05), 실험 종료시의 151, 289 µg/l 시안농도에서 각각 15.3 및 13.2%가 감소하였다. Hb농도는 시안농도 151 µg/l이상에서 3주 후부터 유의한 감소를 나타내었고 (P<0.05), 5주 후의 151, 289 µg/l 시안농도에서 각각 15.1, 22.9%가 감소하였다. Ht값은 실험기간동안 모든 시안농도에서 다소의 변동을 보였으나 대조구보다 낮은 값을 유지하였고, 시안농도 151 µg/l이상에서 4주 후부터 유의한 감소를 나타내었으며 (P<0.05), 5주 후 151, 289 µg/l의 시안농도에서 각각 15.7, 17.5%가 감소하였다.

Table 1. Variation of water quality and cyanide concentration during experimental period.

Item	Fixed cyanide concentration (µg/l)*			
	0	75	150	300
Temperature (°C)	20 ± 0.25	20 ± 0.23	20 ± 0.22	20 ± 0.21
pH	6.83 ± 0.14	6.87 ± 0.17	6.85 ± 0.15	6.82 ± 0.16
DO (mg/l)	6.81 ± 0.24	6.80 ± 0.27	6.79 ± 0.30	6.81 ± 0.26
NH ₄ ⁺ -N (µg-at N/l)	0.043 ± 0.02	0.045 ± 0.01	0.042 ± 0.01	0.041 ± 0.02
NO ₂ ⁻ -N (µg-at N/l)	0.035 ± 0.01	0.033 ± 0.02	0.031 ± 0.02	0.034 ± 0.01
NO ₃ ⁻ -N (µg-at N/l)	0.922 ± 0.15	1.02 ± 0.17	0.981 ± 0.21	1.014 ± 0.24
PO ₄ ³⁻ -N (µg-at N/l)	0.063 ± 0.01	0.065 ± 0.01	0.062 ± 0.02	0.068 ± 0.01
Hardness (mg/l, as CaCO ₃)	2.75 ± 0.10	2.84 ± 0.11	2.80 ± 0.15	2.77 ± 0.12
Cyanide (µg CN ⁻ /l)	0	73 ± 1.12	151 ± 1.58	289 ± 2.85

*Data are presented as mean ± SD

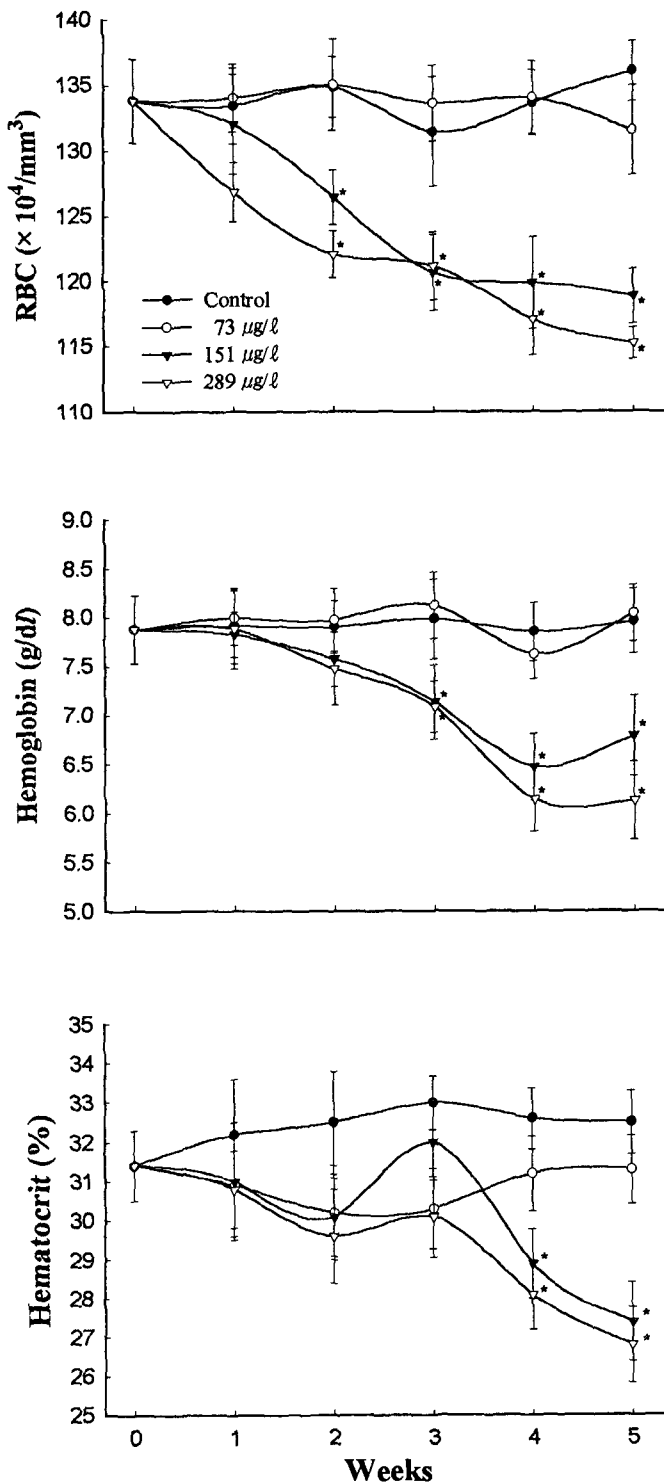


Fig. 1. Changes of RBC (red blood cell) count, Hb (hemoglobin) concentration and Ht (hematocrit) value in Israel carp exposed to various cyanide concentrations for 5 weeks. Vertical bars indicate standard deviations. *Significant difference between control and cyanide exposure group ($P < 0.05$)

MCH, MCV 및 MCHC의 변동은 Fig. 2에 나타내었다. MCH는 시안농도 289 $\mu\text{g}/\text{l}$ 에서 5주 후에 대조구에 비해 15.7%의 유의한 증가를 나타내었다 ($P < 0.05$). MCV는 시안농도 289 $\mu\text{g}/\text{l}$ 에서 4주 후부터 유의한 증가를 나타내었고 ($P < 0.05$), 5주 후 대조구에 비해 13.7%가 증가하였다. MCHC는 모든 시안농도에서 실험기간동안 다소의 변동은 있었으나 대체로 대조구와 유사한 경향을 나타내어 유의한 변동은 관찰되지 않았다.

혈청 무기성분의 변동은 Calcium, Magnesium 및 Inorganic phosphate에 대하여 Fig. 3에 나타내었다. 혈청 calcium농도는 시안농도 151, 289 $\mu\text{g}/\text{l}$ 에서 5주 후 대조구에 비해 각각 13.2, 12.2%의 유의한 감소가 인정되었다 ($P < 0.05$). 혈청 magnesium농도는 시안농도 289 $\mu\text{g}/\text{l}$ 에서 4주 후부터 대조구에 비해 유의한 증가를 나타내었고 ($P < 0.05$), 5주 후 대조구에 비해 31.6%가 증가하였다. 혈청 inorganic phosphate농도는 모든 시안농도에서 실험기간 동안 다소의 변동은 있었으나 유의한 변동은 관찰되지 않았다.

혈청 유기성분의 변동은 Total protein, Albumin 및 Glucose에 대하여 Fig. 4에 나타내었다. 혈청 total protein농도는 시안농도 151 $\mu\text{g}/\text{l}$ 에서 4주 후부터, 289 $\mu\text{g}/\text{l}$ 농도에서는 2주 후부터 대조구에 비해 유의한 감소가 인정되었다 ($P < 0.05$). 혈청 albumin농도는 시안농도 151 $\mu\text{g}/\text{l}$ 에서 3주 후부터, 289 $\mu\text{g}/\text{l}$ 농도에서는 2주 후부터 대조구에 비해 유의한 감소를 나타내었다 ($P < 0.05$). 혈청 glucose농도는 시안농도 151 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이상에서 3주 후부터 대조구에 비해 유의한 감소가 인정되었고 ($P < 0.05$), 5주 후 289 $\mu\text{g}/\text{l}$ 의 시안농도에서 대조구에 비해 1.79배가 감소하였다.

혈청 효소활성의 변동은 GOT, GPT, LDH, Ch-E, Al-P 및 Amylase에 대하여 Fig. 5, 6에 나타내었다. 혈청 GOT 및 GPT활성은 시안농도 151 $\mu\text{g}/\text{l}$ 에서 3주 후부터, 289 $\mu\text{g}/\text{l}$ 에서는 2주 후부터 대조구에 비해 유의한 증가를 나타내었고 ($P < 0.05$), 5주 후 289 $\mu\text{g}/\text{l}$ 의 시안농도에서 대조구에 비해 각각 42.8, 37.9%가 증가 하였다. 혈청 LDH활성은 시안농도 151 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이상에서 3주 후부터 대조구에 비해 유의한 증가를 나타내었다 ($P < 0.05$). 혈청 Ch-E활성은 시안농도 151 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이하에서 유의한 변동이 없었으나, 289 $\mu\text{g}/\text{l}$ 에서는 4주 후부터 유의한 증가를 나타내었다 ($P < 0.05$). 혈청 Al-P 및 amylase활성은 모든 시안농도에서 실험기간 동안 약간의 변동은 있었으나 대조구에 비해 유의한 변동은 관찰되지 않았다.

고 찰

오염물질에 노출된 어류는 일반적으로 RBC, Hb, Ht, MCH 및 MCV 등의 혈액성상의 변동을 나타낸다. 즉, malathion과 formalin에 각각 노출시킨 *Cyprinus watsoni*와 *Oreochromis niloticus*의 RBC수는 감소하였고 (Edosa et al., 1994; Khattak and Hafeez, 1996), malathion과 endosulfan은 어류의 Hb농도를 감소시키며 (Mukhopadhyay and Dehadrai, 1980; Chandrasekar and

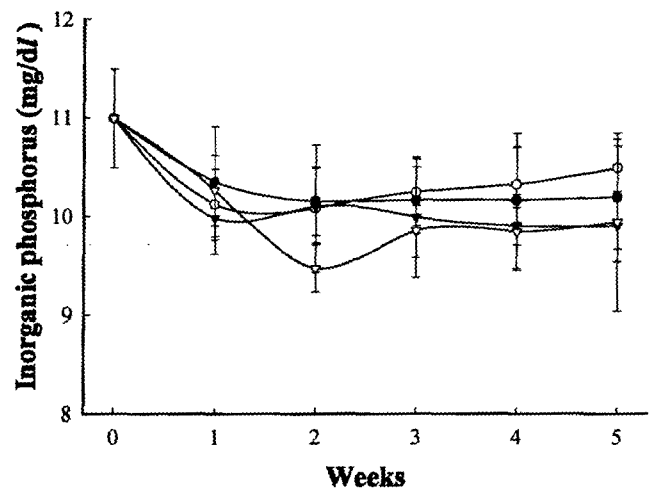
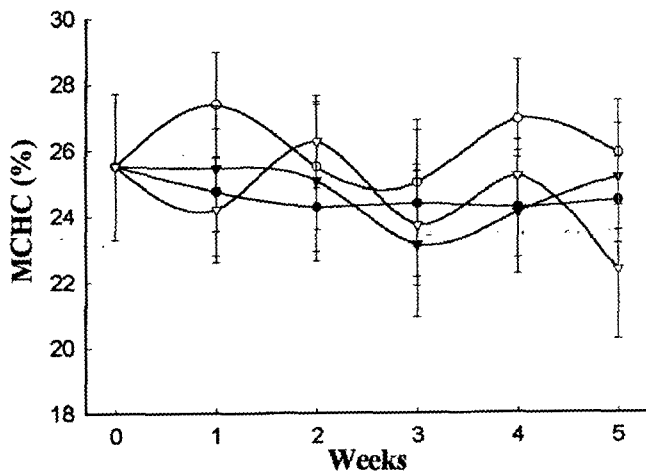
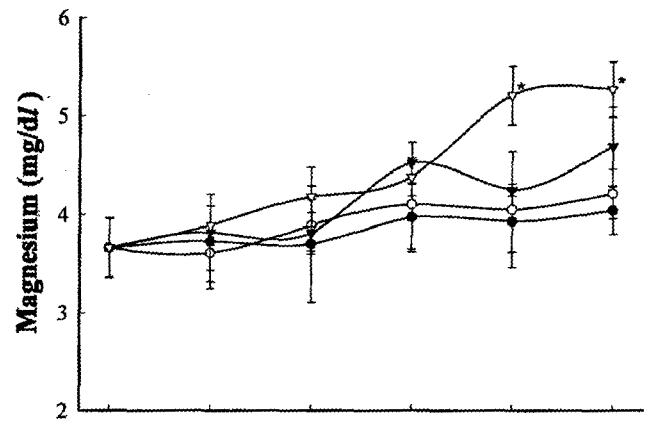
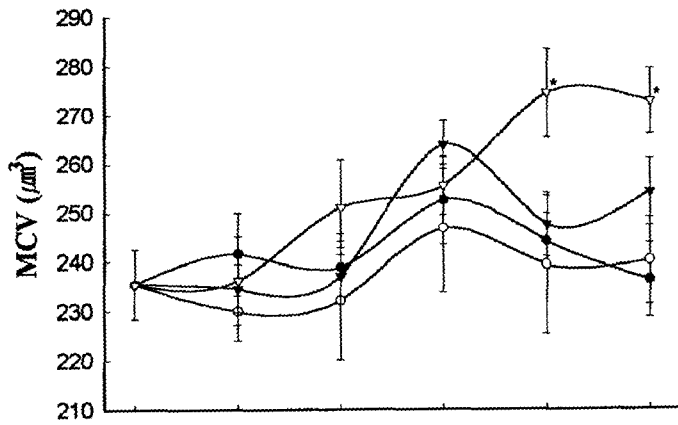
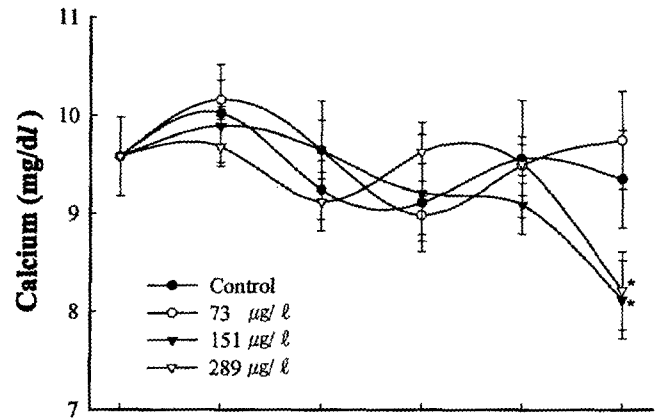
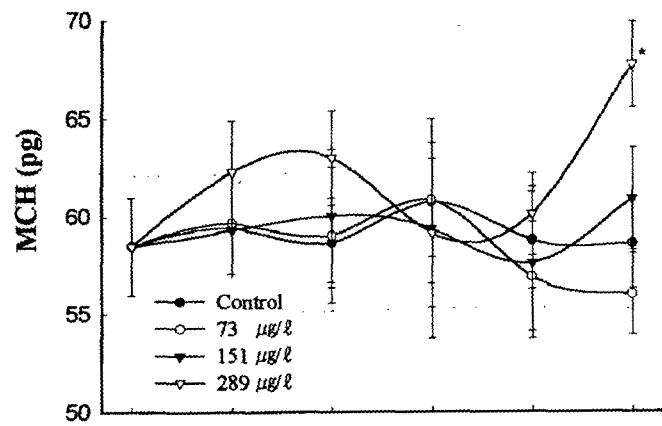


Fig. 2. Changes of MCH (mean corpuscular hemoglobin), MCV (mean corpuscular volume) and MCHC (mean corpuscular hemoglobin concentration) in Israel carp exposed to various cyanide concentrations for 5 weeks. Vertical bars indicate standard deviations. *Significant difference between control and cyanide exposure group ($P < 0.05$)

Fig. 3. Changes of calcium, magnesium and inorganic phosphate concentrations in Israel carp exposed to various cyanide concentrations for 5 weeks. Vertical bars indicate standard deviations. *Significant difference between control and cyanide exposure group ($P < 0.05$)

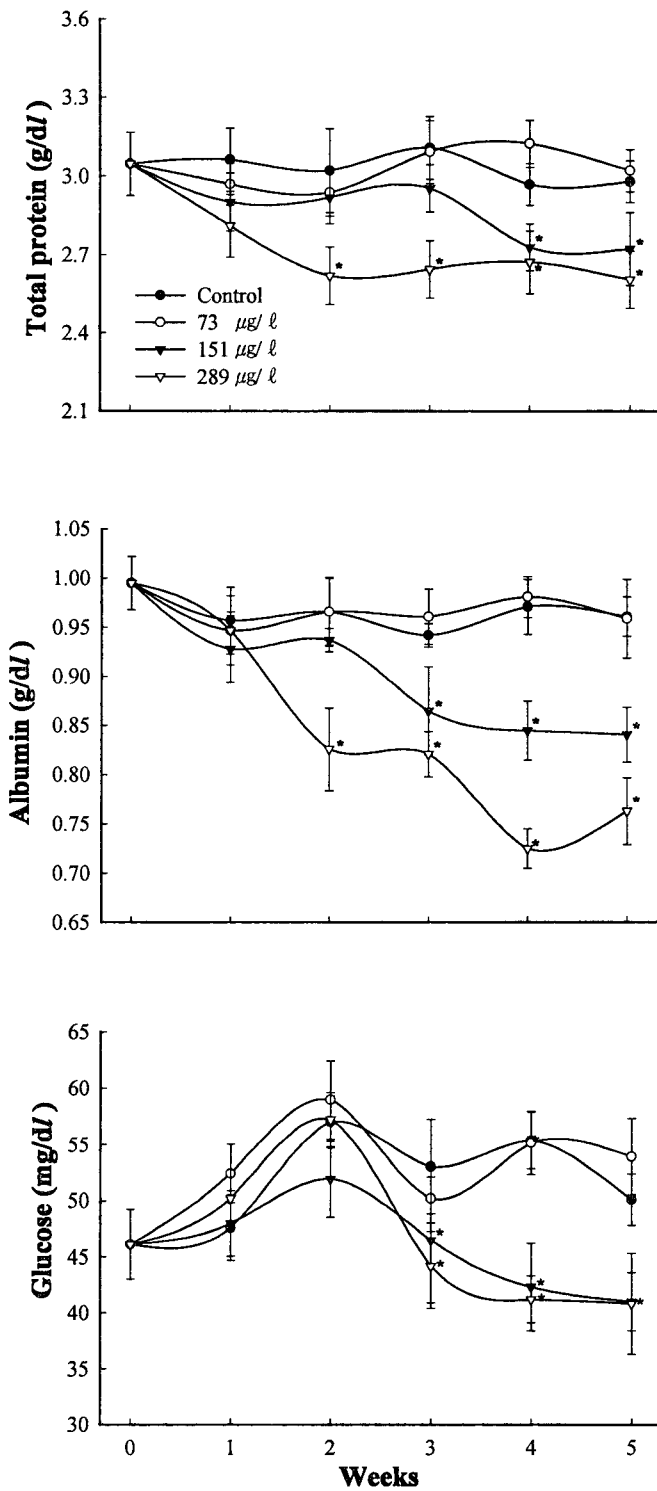


Fig. 4. Changes of total protein, albumin and glucose concentrations in Israel carp exposed to various cyanide concentrations for 5 weeks. Vertical bars indicate standard deviations. *Significant difference between control and cyanide exposure group (P < 0.05)

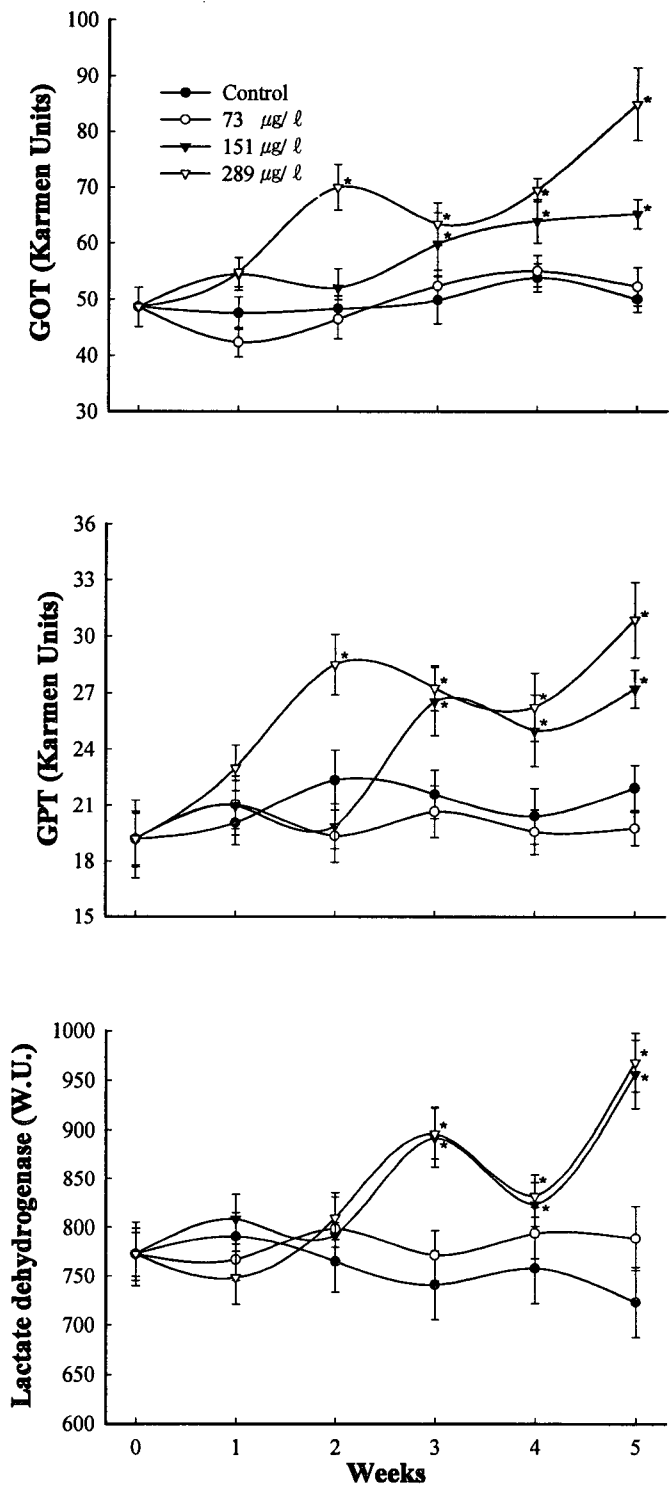


Fig. 5. Changes of GOT (glutamic oxalate transaminase), GPT (glutamic pyruvate transaminase) and LDH (lactate dehydrogenase) activity in Israel carp exposed to various cyanide concentrations for 5 weeks. Vertical bars indicate standard deviations. *Significant difference between control and cyanide exposure group (P < 0.05)

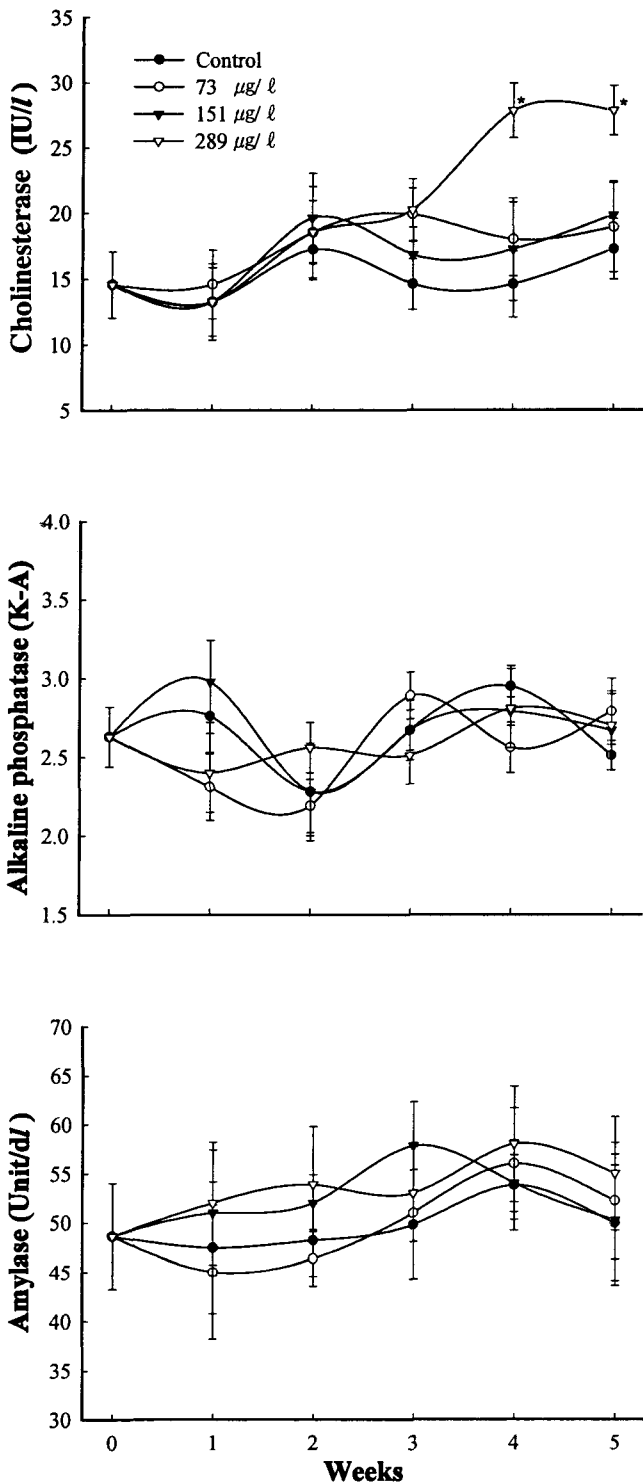


Fig. 6. Changes of Ch-E (cholinesterase), Al-P (alkaline phosphatase) and amylase activity in Israel carp exposed to various cyanide concentrations for 5 weeks. Vertical bars indicate standard deviations. *Significant difference between control and cyanide exposure group ($P < 0.05$)

Jayabalan, 1993), 살충제 및 중금속에 노출된 *Cyprinion watsoni* 의 Ht값이 감소하였다 (Goel et al., 1985; Khattak and Hafeez, 1996). 또한, 2, 3', 4- triaminoazobenzene에 노출된 *Channa punctatus*의 MCHC는 감소하였으나 (Goel and Garg, 1980), *Heteropneustes fossilis*에 있어 아연은 MCV를 증가시키고 (Goel and Gupta, 1985), thallium은 MCHC 및 MCH를 증가시킨다 (Garg et al., 1991).

시안에 노출된 이스라엘잉어의 RBC수는 151 µg/l 이상의 농도에서 2주 후부터, Hb농도는 151 µg/l 이상의 농도에서 3주 후부터, Ht값은 151 µg/l 이상의 농도에서 4주 후부터 유의한 감소를 나타내었다.

오염물질에 노출된 어류의 RBC수 및 Hb농도의 감소는 일반적으로 빈혈을 일으킨다는 보고가 있다 (Garg et al., 1991; Edosa et al., 1994). 한 예로 *Oreochromis niloticus*는 Formalin의 노출에 의한 RBC수의 감소로 빈혈을 유발하며, 그 원인은 오염물질에 의한 아가미 상피세포의 삼투조절기능 이상으로 인한 혈액 희석의 문제점을 지적하고 있다 (Edosa et al., 1994). 또한, Ht값은 어종, 계절, 영양 및 온도 등에 따라 변화하지만, 본질적으로는 오염물질에 수반되어 생기는 빈혈에 의해서 변화한다 (Goel and Gupta, 1985; Chandrasekar and Jayabalan, 1993; Khattak et al., 1996). 따라서, 시안에 노출된 이스라엘잉어는 시안농도 151 µg/l 이상에서 최소한 3주 후부터는 빈혈이 나타날 것이며, 이는 곧 4주 후의 Ht값의 감소를 초래하였을 것으로 추측된다. 한편, 시안농도 151 µg/l 이상에서 이스라엘잉어의 RBC수는 2주 후부터, Hb농도는 3주 후부터, Ht값은 4주 후부터 유의한 감소를 나타내는 것으로 보아, 151 µg/l 이상의 시안농도는 적어도 2주 후부터는 혈액색상을 변동시켜 생리적 장애를 야기시킬 것으로 생각된다. 그리고, 289 µg/l의 시안농도에서 이스라엘잉어의 MCH는 5주 후부터, MCV는 4주 후부터 증가하였고, MCHC는 모든 시안농도에서 유의한 변동은 없는 것으로 보아 다른 오염물질과 마찬가지로 289 µg/l의 시안농도에서는 적어도 5주 후에 대구성빈혈(大球性貧血)이 발생하였을 것으로 생각된다 (黒川, 1983).

이스라엘잉어의 무기성분 중에 혈청 calcium농도는 시안농도 151 µg/l 이상에서 5주 후에 유의한 감소를 나타내었고, magnesium농도는 289 µg/l의 시안농도에서 4주 후부터 유의한 증가를 나타내었으며, inorganic phosphorus농도의 변동은 관찰되지 않았다. 오염물질에 노출된 어류는 일반적으로 혈청 calcium농도가 저하하며, 특히 잉어과 어류에서 자주 관찰되는 현상으로, 원인은 신장의 뇨세관(尿細管) 상피세포의 재흡수기능의 장애, 아가미 상피세포의 막투과성 변화 및 장관흡수기능의 장애에 기인된다 (Jiro and Yasuo, 1977; Roch and Maly, 1979). 따라서, 이스라엘잉어에 있어서도 시안의 독성에 의해 상기의 장애로 인해 시안농도 151 µg/l 이상에서 혈청 calcium농도가 저하하였을 가능성이 있으며, 시안농도 289 µg/l에서의 혈청 magnesium농도의 증가는 다른 오염물질과 마찬가지로 조직 등에서 magnesium이온이 혈청으로 유리된 결과라고 사료된다 (Ma et al., 1995).

이스라엘잉어의 혈청 유기성분 중에 total protein은 시안농도 151 µg/l에서는 4주 후부터, 289 µg/l에서는 2주 후부터, albumin

농도는 시안농도 151 $\mu\text{g}/\ell$ 에서는 3주 후부터, 289 $\mu\text{g}/\ell$ 에서는 2주 후부터 각각 유의한 감소를 나타내었다.

어류의 혈청 protein 및 albumin농도변화는 최근 환경오염 지표로 사용되고 있고 (Ito and Murata, 1990; Hodson et al., 1992), 일반적으로 오염물질에 의해 감소하며, 그 원인중의 하나는 장관의 조직학적변화로 장관의 흡수장애를 들 수 있다. (Yamawaki et al., 1986; Khatkhatk et al., 1996; Shen et al., 1997). 따라서, 시안노출에 의한 이스라엘잉어의 혈청 total protein 및 albumin농도의 감소는 시안독성에 의한 장관의 흡수장애를 생각할 수 있고, 그 장애정도는 적어도 시안농도 151 $\mu\text{g}/\ell$ 에서는 4주 후부터, 289 $\mu\text{g}/\ell$ 농도에서는 2주 후부터 나타날 것으로 생각된다. 혈청 glucose농도는 151 $\mu\text{g}/\ell$ 이상에서 4주 후부터 유의한 감소가 관찰되었다. 시안농도 151 $\mu\text{g}/\ell$ 이상에서는 total protein 및 albumin농도의 저하도 동시에 관찰되어 이는 소화관의 흡수장애에 따라 glucose농도가 감소하였을 것으로 생각된다.

이스라엘잉어의 혈청 GOT와 GPT의 활성은 시안농도 151, 289 $\mu\text{g}/\ell$ 에서 각각 2주 및 3주 후부터 유의한 증가를 나타내었다. 혈청 전이효소인 GOT와 GPT의 활성은 환경오염의 원인이 되는 조직손상을 인지하는 어류질병의 진단에 이용되고 있으며 (Sakamoto and Yone, 1978; Shich, 1978; Smith and Ramos, 1980), 일반적으로 오염물질이 의해 변화한다 (Casillas and Ames, 1985; Rao et al., 1990). 오염물질에 대한 잉어류에 있어 이들 효소는 간체장 조직에 높은 활성을 가지고 있으며, 간장장애에 의해 혈중에 일탈(逸脫)한다 (尾崎, 1971). 따라서, 시안농도 151 $\mu\text{g}/\ell$ 이상에서 노출된 이스라엘잉어는 간조직에 장애를 받아 혈중에 일탈한 결과, 적어도 3주 후부터 활성이 상승한 것으로 사료된다.

이스라엘잉어의 혈청 LDH 활성은 시안농도 151 $\mu\text{g}/\ell$ 이상에서 3주 후부터 유의한 상승을 보였다. 무지개송어에 있어 abietane monocarboxylic acids, 유기인계 살충제 methidation, pyrethroid deltamethrin 및 제초제 paraqua는 혈청 LDH 활성을 증가시키며 (Balint et al., 1995; Zheng and Nicholson, 1996), 그 원인은 오염물질의 노출에 의한 장애를 받은 간조직에서 LDH가 혈중에 유출된 결과, 혈청 LDH 활성은 증가한다고 하였다 (Casillas and Ames, 1986). 따라서, 이스라엘잉어의 혈청 LDH 활성의 증가는 시안독성에 의한 간조직의 장애로 인해 혈중에 LDH가 유출된 결과라고 추측할 수 있으며, 적어도 시안농도 151 $\mu\text{g}/\ell$ 이상에서 3주 후부터 활성이 증가 될 것으로 생각된다.

이스라엘잉어의 혈청 Ch-E 활성은 시안농도 151 $\mu\text{g}/\ell$ 이하에서는 유의한 변동이 없었으나, 289 $\mu\text{g}/\ell$ 에서는 4주 후부터 유의한 증가를 나타내어 다른 오염물질에 대한 결과와 상반된 결과를 나타내었다. 즉, acetylcholinesterase (Ach-E)는 신경전달 물질중의 하나인 acetylchoine을 분해하는 효소로 오염물질의 노출에 의해 일반적으로 그 활성이 억제된다 (Weiss and Gakstatter, 1964; Holland et al., 1967; Arnold et al., 1995). 따라서, 이스라엘잉어에 있어 시안은 특징적으로 혈청내 Ch-E를 증가시켜, 다른 오염물질과 구별되는 독특한 혈청 효소활성의 변화가 관찰되었다.

이스라엘잉어의 혈청 Al-P 및 amylase 활성은 모든 시안 노출구에서 약간의 변동은 있었으나, 대조구에 비해 유의한 변화가 관찰되지 않았다. 이 같은 결과는 어류에 대한 기존의 오염물질의

영향과는 다른 결과를 나타내고 있다. 즉 cadmium 및 phenol은 어류의 이들 효소의 활성을 변동시키며 (Koyama and Itazawa, 1977; Dalela et al., 1980), SnCl_2 는 잉어의 장으로 침투하여 장관의 amylase의 효소를 증가시키고 (Buzinova, 1977), 잉어의 장관의 과다한 아연은 소화효소에 영향을 미쳐 amylase활성이 증가한다고 하였다 (Malyszheva and Vasilevskij, 1991). 그러나, cadmium에 노출시킨 잉어의 간장, 신장 및 장관의 amylase 활성에는 유의한 변동은 없었다는 보고도 있다 (Jiro et al., 1985). 따라서, 이스라엘잉어에 있어 시안 자체 혹은 본 실험 농도범위가 Al-P 및 amylase의 활성에 영향을 미치지 않았다고 생각할 수 있다.

이상의 결과와 논의를 종합하면, 시안에 노출된 이스라엘잉어는 혈액내의 RBC수, Hb농도 및 Ht값, 혈청내의 calcium, magnesium, total protein, albumin 및 glucose 농도, 혈청내의 GOT, GPT, LDH Ch-E활성의 변동이 관찰되었다. 또한, 혈액성상 및 화학적 변동은 대체로 시안농도 151 $\mu\text{g}/\ell$ 이상에서 4주 후부터 나타나고 있어 강이나 호수 등에 151 $\mu\text{g}/\ell$ 이상의 시안농도가 한달 이상 지속될 경우, 이스라엘잉어는 많은 생리적 장애를 유발시킬 것으로 생각된다.

요 약

유용 양식어류인 이스라엘잉어를 대상으로 유수식 방법에 의해 시안독성에 대하여 5주 동안 그들의 혈액성상 및 화학적 변동을 조사하였다.

시안노출에 의한 이스라엘잉어의 RBC수, Hb농도 및 Ht값은 시안농도 151 $\mu\text{g}/\ell$ 이상에서 4주 후부터 유의한 감소를 나타내었다. MCH 및 MCV는 시안농도 289 $\mu\text{g}/\ell$ 에서 5주 후부터 유의한 증가를 나타내었으나, MCHC의 변동은 관찰되지 않았다.

혈청 무기성분인 calcium농도는 5주 후에 시안농도 151 $\mu\text{g}/\ell$ 이상에서 유의하게 감소하였고, magnesium농도는 시안농도 289 $\mu\text{g}/\ell$ 에서 4주 후부터 유의한 증가를 나타내었으며, inorganic phosphate농도는 모든 시안농도에서 유의한 변동이 관찰되지 않았다. 혈청 유기성분인 total protein, albumin 및 glucose농도는 시안농도 151 $\mu\text{g}/\ell$ 이상에서 4주 후부터 유의한 감소가 인정되었다.

혈청 GOT, GPT 및 LDH활성은 시안농도 151 $\mu\text{g}/\ell$ 이상에서 3주 후부터 유의한 증가를 나타내었고, 혈청 Ch-E활성은 289 $\mu\text{g}/\ell$ 에서는 4주 후부터 유의한 증가를 나타내었으나, Al-P 및 amylase활성의 특징적인 변동은 관찰되지 않았다.

결론적으로 151 $\mu\text{g}/\ell$ 이상의 시안농도는 이스라엘잉어의 혈액내의 RBC수, Hb농도 및 Ht값, 혈청내의 calcium, magnesium, total protein, albumin 및 glucose농도, 혈청내의 GOT, GPT 및 LDH 활성변동에 영향을 미치고 있었다.

참 고 문 헌

- Alabaster J.S., D.G. Shurben and M.J. Mallett. 1983. The acute lethal toxicity of mixtures of cyanide and ammonia to smolts of salmon, *Salmo salar* L. at low concentrations of dissolved oxygen. J. Fish Biol., 22 (2), 215~222.

- APHA (American Public Health Association), American Water Works and Water Pollution Control Pederation, 1985, Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th ed. Washington, D. C. pp. 214~220.
- Arnold, H., H.J. Pluta and T. Braunbeck. 1995. Simultaneous exposure of fish to endosulfan and disulfoton in vivo: Ultrastructural, stereological and biochemical reactions in hepatocytes of male rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquat. Toxicol.*, 33 (1), 17~43.
- Balint, T., T. Szegletes, Z. Szegletes, K. Halasy and J. Nemcsok. 1995. Biochemical and subcellular changes in carp exposed to the organophosphorus methidathion and the pyrethroid deltamethrin. *Aquat. Toxicol.*, 33 (3~4), 279~295.
- Buzinova, N.S. 1977. Dynamics of activity of digestive enzymes in fish under the influence of pollutants. *J. Ichthyol.*, 17 (5), 805~808.
- Casillas, E. and W. Ames. 1985. Serum chemistry of diseased English sole, *Parophrys vetulus* Girard, from polluted areas of Puget Sound, Washington. *J. Fish Dis.*, 8 (5), 437~449.
- Casillas, E. and W. Ames. 1986. Hepatotoxic effects of CCl₄ on English sole (*Parophrys vetulus*): Possible indicators of liver dysfunction. *Comp. Biochem. Physiol. C*, 84C (2), 397~400.
- Chandrasekar, S. and N. Jayabalan. 1993. Hematological responses of the common carp, *Cyprinus carpio* L. exposed to the pesticide endosulfan. *Asian Fish. Sci.* 6 (3), 331~340.
- Choi, S.S., H.M. Oh, M.K. Kang, T.R. Cho, K.S. Lee, J.G. Lyu and T.H. Rhee. 1988. A study on the water pollution of geum river system. *Res. Rep. Env. Sci. Tech. Chungnam Univ.*, 6 (1), 1~16.
- Dalela, R.C., S. Rani and S.R. Verma. 1980. In vivo subacute physiological stress induced by phenolic compounds on acid and alkaline phosphatases in serum of a fish, *Notopterus notopterus*. *Toxicol. Lett.*, 7 (2), 181~186.
- Edosa, O., G.E. Thomas and C.O. Paul. 1994. Chronic effects of formalin on erythrocyte counts and plasma glucose of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Asian Fish. Sci.*, 7, 1~6.
- Garg, V., S.D. Tyagi, N. Singh. and S.C. Agarwal. 1991. Thallium nitrate induced haematobiochemical analysis of *Heteropneustes fossilis* blood., *J. Environ. Biol.*, 12 (3), 319~323.
- Goel, K.A. and V. Garg. 1980. 2,3', 4 Triaminoazobenzene induced hemato- biochemical anomalies in fish (*Channa punctatus*). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 25 (1), 136~141.
- Goel, K.A. and K. Gupta. 1985. Haematobiochemical characteristics of *Heteropneustes fossilis* under the stress of zinc. *Indian J. Fish.*, 32 (2), 256~260.
- Grzebyk, D. and F. Galgani. 1991. Measurement of organic pollution on marine organism: Rapid determination of EROD induction using plate readers. *Aquat. Liv. Resour.*, 4, 53~59.
- Hodson, P.V., M. McWhirter, K. Ralph, B. Gray, D. Thivierge, J.H. Carey, G. Van-Der-Kraak, D.M. Whittle and M.C. Levesque. 1992. Effects of bleached kraft mill effluent on fish in the St. Maurice River, Quebec. *Environ. Toxicol. Chem.*, 11 (11), 1635~1651.
- Holland, H.T., D.R. Coppage and N. Imada. 1967. Use of fish brain acetylcholinesterase to monitor pollution by organophosphorus pesticides. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 2 (3), 156~162.
- Ito, Y. and T. Murata. 1990. Changes in glucose, protein contents and enzyme activities of serum in carp administered orally with PCB. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 46 (4), 465~468.
- Jee, J. H. and J. C. Kang. 1999. Chronic toxicity of cyanide on survival, feeding and growth of Israel carp, *Cyprinus carpio*. *J. Kor. Fish. Soc.*, 32 (2), 261~265.
- Jiro, K. and I. Yasuo. 1977. Effects of oral administration of cadmium on fish-I. Analytical results of the blood and bones. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 43 (5) 523~526.
- Jiro, K., Keisuke, Y., Masashi, M., Keiko, W., Yayoi, I. and H. Ozaki. 1985. The effects of cadmium on the activities of tissue enzymes of fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 51 (8) 1255~1260.
- Khattak, I.U.D. and M.A. Hafeez. 1996. Effect of malathion on blood parameters of the fish, *Cyprinion watsoni*. *Pak. J. Zool.*, 28 (1), 45~49.
- Koyama, J. and Y. Itazawa. 1977. Effects of oral administration of cadmium on fish. 1. Analytical results of the blood and bones. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 43 (5), 523~526.
- Leatherland, J.F. and R.A. Sonstegard. 1981. Effect of Dietary Mirex and PCBs on Calcium and Magnesium Metabolism in Rainbow Trout, *Salmo gairdneri* and Coho Salmon, *Oncorhynchus kisutch*; A Comparison With Great Lakes Coho Salmon. *Comp. Biochem. Physiol.*, 69 (2), 345~351.
- Ma, G., H. Lin and W. Zhang. 1995. Effects of cadmium on serum gonadotropin and growth hormone in common carp (*Cyprinus carpio* L.) *J. Fish. China Shuichan Xuebao.* 19 (2), 120~126.
- Malyzheva, T.D. and V.S. Vasilevskij. 1991. Digestive enzymatic activity in common carp with enteral zinc loads. *Gidrobiol. J. Hydrobiol.*, 27 (2), 66~72.
- McCain, B.B., T.K. Collier, D.W. Brown, J.E. Stein, T. Horn, S.L. Can, M.S. Myers, S.M. Pierce and U. Varanas. 1996. Chemical contaminant exposure and effects in four fish species from Tampa Bay, Florida. *Estuaries.* 19 (1), 86~104.
- Mukhopadhyay, P.K. and P.V. Dehadrai. 1980. Biochemical changes in the air-breathing catfish *Clarias batrachus* (Linn.) exposed to malathion. *Environ. Pollut.*, 22A (2), 149~158.
- Pablo, F. Buckney R.T., R.P. Lim. 1997. Toxicity of cyanide and iron-cyanide complexes to Australian bass *Macquaria novemaculeata* and black bream, *Acanthopagrus butcheri*. *Australas. J. Ecotoxicol.*, 2 (2) 75~84.
- Rao, P.P., K.V. Joseph and K.J. Rao. 1990. Histopathological and biochemical changes in the liver of a fresh water fish exposed to heptachlor. *J. Nat. Conserv.*, 2 (2), 133~137.
- Roch, M. and E.J. Maly. 1979. Relationship of cadmium-induced hypocalcemia with mortality in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and the influence of temperature on toxicity. *J. Fish. Res. Board Can.*, 36 (11), 1279~1303.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1978. Effect of starvation on hematological characteristics, and contents of chemical components and activities of enzymes in blood serum of red sea bream. *J. Fac. Agric. Kyushu Univ.*, 23, 63~69.
- Sarkar, S.K. 1990. Toxicity evaluation of sodium cyanide to fish and aquatic organisms: Effects of temperature. *Sci. Cult.*, 56 (4), 165~168.
- Shen, H., Q. Zhang, R. Xu and G. Wang. 1997. Effects of petroleum on the sero-proteins of *Tilapia mossambica*. *Mar. Environ. Sci.*, 16 (1), 1~5.
- Shich, M.S., 1978. Changes of blood enzymes in brook trout induced by infection with *Aeromonas salmonicida*. *J. Fish Biol.*, 11, 13~18.

- Smith, A.C. and F. Ramos. 1980. Automated chemical analysis in fish health assessment. *J. Fish Biol.*, 17, 445~450.
- Thomas A.H. 1985. Acute toxicity of thiocyanate to trout. *Amer. Fish. Soc.*, 114, 895~905.
- Weiss, C.M. and J.H. Gakstatter. 1964. Detection of pesticides in water by biochemical assay. *J. WPCF.* 36 (2), 240~252.
- Yamazaki, K.W. Hashimoto, K. Fujii, J. Koyama, Y. Ikeda and H. Ozaki. 1986. Hemochemical changes in carp exposed to low cadmium concentrations. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 52 (3), 459~466.
- Zheng, J. and R.A. Nicholson. 1996. Influence of two naturally occurring abietane monocarboxylic acids (resin acids) and a chlorinated derivative on release of the inhibitory neurotransmitter gammaaminobutyric acid from trout brain synaptosomes. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 56 (1), 114~120.
- 黒川一郎. 1983. 臨床検査科學, 南山堂, 東京 pp. 187~189.
- 尾崎久雄, 1971. 魚類生理學講座 : 3. 消化生理(上), 録書房, 東京, pp. 184~188.

1999년 5월 31일 접수

1999년 9월 7일 수리