

## Pentachlorophenol 노출에 따른 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 혈액성분의 변화

강주찬<sup>†</sup> · 민은영

부경대학교 수산생명의학과

### Changes of hematological parameters in olive flounder *Paralichthys olivaceus* exposed to pentachlorophenol

Ju-Chan Kang<sup>†</sup> and Eun-Yong Min

*Dept. of Aquatic Life Medicine, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

Experiments were carried out to determine the hematological changes in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, after sub-chronic dietary pentachlorophenol (PCP) concentrations (0, 0.1, 0.5 and 1.0 mg/kg) exposure 6 weeks. The RBC count, Ht and Hb were significantly decreased in PCP 0.5 mg/kg exposed flounder compared to control group. The flounder exposed to PCP concentration 0.5 mg/kg started to increase significantly in serum magnesium concentrations after 4 weeks. The low concentration of serum calcium concentration was observed at 6 weeks of the experiment in PCP concentration 0.5 mg/kg. Although serum total protein concentrations was significantly reduced compared to the control group at PCP concentration 0.5 mg/kg, serum glucose concentration was found to be significantly increased over the control group. A significant increment of GOT, GPT and LDH activities in the flounder serum was noticed after 4 weeks at PCP concentrations over 0.5 mg/kg without typical changes of AI-P. These results indicate that flounder can be affected by PCP in terms of inorganic matter, organic matter and enzyme activity in serum when they were exposed to the PCP concentrations 0.5 mg/kg or higher.

*Key words* : *Paralichthys olivaceus*, Pentachlorophenol (PCP), Serum, Hemochemical changes

최근 급속한 산업화에 따른 생활오수 및 공장폐수의 연안 유입으로 인한 해양생태계의 환경오염은 크나큰 문제가 되고 있으며, 이에 대한 영향은 상당한 기간 동안 진행되고 있다. 이에 따라 연안오염은 급속히 악화되어 어류 등과 같은 유용수산자원은 큰 타격을 받고 있으나, 원인규명이나 오염의 현 상태와 추세 파악이 부족하여 피해저감을 위한 적절한 대책 수립

이 어려운 현실이다. 특히 어류에 급·만성 독성을 가지고 있는 독성 물질들은 연안 해역으로 유입된 후 장·단기적으로 해양생태계에 여러 가지 영향을 미치게 된다. 최근에는 일부 해역에서 각종 독성 물질에 의한 수산자원 피해가 가시화 되고 있음에도 불구하고 오염의 영향과 피해를 정량적으로 파악하고 추정할 수 있는 체계적이고 종합적인 연구가 부족한 실정이다. 특히 plastic 단량체로 사용되는 bisphenol-A의 환경 유입은 43%가 수중을 통해서 이루어지는

<sup>†</sup>Corresponding Author : Ju-Chan Kang, Tel : 051-629-5944,

Fax : 051-629-5938, E-mail:

jckang@pknu.ac.kr

것으로 알려지고 있지만, 어류를 비롯한 해양생물이 이들 합성화학물질에 어떤 영향을 받고 있는가에 관한 조사는 미비한 실정이다. 합성화학물질 등의 노출에 따라 어류의 생식기능 저하 및 축적은 단순한 자연 생태계의 파손뿐만 아니라 인류의 생존과도 깊은 관련을 가지고 있다.

Pentachlorophenol (PCP)는 살충제 제초제 등에 사용되며 (Shen *et al.*, 1997), 환경 중에 널리 분포하고 있으며 (Crosby *et al.*, 1981), 해양무척추 동물은 PCP 1 mg/L 이하에서 급성적인 영향을 받는다 (Davis and Hoos, 1975; Borthwick and Schimmel, 1978). 또한 PCP의 LC50은 일반적으로 1 mg/L 이하이며, 많은 해양생물에 있어 0.1 mg/L 이하를 나타내기도 한다 (Davis and Hoos, 1975). 해양생물에 있어 PCP의 독성은 온도뿐만 아니라 pH 및 용존산소의 영향을 받으며 (Crandall and Goodnight, 1959), 어류의 발달단계, 생식 및 면역에 있어서도 영향을 받는다 (Chen *et al.*, 2004), 어류에 있어 독성물질에 대한 생리학적 반응은 일반적으로 biomonitoring으로 사용될 수 있으며 (McDonald and Milligan, 1992; Folmar, 1993; Jee *et al.*, 2004), 이들 중 혈액학적 변화는 오염물질에 대해 민감하게 반응 한다 (Bansal *et al.*, 1979). 따라서 본 연구는 연안 독성물질에 대한 위해성을 평가하기 위한 하나의 수단으로 PCP에 노출된 넙치의 혈액성분의 변화를 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 실험어

넙치는 경남 소재 양식장에서 분양받아 실험실로 운반하였다. 넙치는 이동과정과 사육환경의 변화 등에 따른 스트레스로 인하여 때때로 섭식활동을 하지 않은 경우가 있기 때문에 먹이 붙임을 하고, 실험실조건에 적응시키기 위하여 실험실의 사육수조에서 3주간 순치시킨 후 실험에 사용하였다. 이때 수온, pH, 염분 및 용존산소는 각각 19.4~21.3°C, 7.8~8.1, 32.3~33.1‰ 및 7.5~7.8 mg/L 이었고, 먹이로는 해산 어용 배합사료를 공급하였다. 실험에 사용한 넙치는 외관상 질병의 증세가 나타나지 않은 49.7±3.9g의 건강한 개체를 사용하였다.

### 실험사료

실험사료는 해산어용 분말사료 (천하 제일사료, 한국)를 기본사료로 사용하였으며, 사료의 조성은 Table 1과 같다. 실험사료는 용매를 사용하여 PCP를 각각 설정농도로 조정하였으며 (0, 0.1, 0.5, 1.0 mg/kg), 7일마다 교체하여 냉동 보관하였다. 넙치는 실험 수조에 수용하여 각각의 오염물질이 함유된 사료를 1일 1회 체중의 2%를 공급하였고, 대조구는 PCP를 첨가하지 않은 사료를 공급하였다.

Table 1. Composition of the basal diet

Ingredients	g/Kg
Casein, vitamin free	335
Gelatin	75
Corn starch	280
Dextrin	140
Squid liver oil	50

Soy bean oil	30
Carboxymethylcellulose	30
Protease	5
Cellulose	15
Vitamin premix <sup>1</sup>	10
Mineral premix <sup>2</sup>	30

<sup>1</sup>The vitamin mix provided the following in mg/kg diet: vitamin A (500,000 IU/g), 8; vitamin D<sub>3</sub>(1,000,000 IU/g), 2; vitamin K, 10; vitamin E, 100; thiamine, 10; riboflavin, 20; pyridoxine, 20; vitamin C, 50; nicotinic acid, 150; folic acid, 10; vitamin B<sub>12</sub>, 0.02; biotin, 2; inositol, 400; choline chloride, 2,000; panthothenate, 200.

<sup>2</sup>Contains (as g/kg premix): NaCl, 43.3; MgSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O, 136.6; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 86.9; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 239.0; Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O, 135.3; ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 21.9; Fe-citrate, 29.6; Ca-lactate, 303.89; AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O, 0.15; KiO<sub>3</sub>, 0.15; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 0.01; CuCl<sub>2</sub>, 0.2; MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O, 2.0; CoCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, 1.0.

### 혈액 채취

혈액은 ethylaminobenzoate (Sigma, USA)로 마취시킨 후, 1회용 주사기를 사용하여 미부혈관 (caudal vein or artery)에서 채혈하여 RBC (Red Blood Cell) count, Hematocrit (Ht) 및 Hemoglobin (Hb)을 측정하였다. 또한 채혈한 혈액은 혈청화학성분을 측정하기 위하여 1시간 동안 실온, 4°C에서 2시간 동안 방치한 후에 6,000rpm에서 5분간 원심·분리하여 혈청을 분리하였다.

### 혈액지수 분석

각종 혈액지수는 혈액성상 및 혈청중의 유기성분, 무기성분 및 효소의 활성변화를 조사하였다. RBC count는 Hendrick's diluting solution으로 혈액을 희석한 후, Hemo-cyto-meter (Improved Neubauer, Germany)를 이용하여 광학 현미경에서 계수하였다. Ht치는 hematocrit 모세관으로 혈액을 채혈한 후, Micro-hematocrit centrifuge (Model; 01501, Hawksley and sons Ltd., England)에서 12,000rpm으로 5분간 원심 침적시켜 판독판으로 측정하였으며, Hb농도는 시판되고 있는 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd.)를 사용하

여 cyan-methemoglobin 법으로 측정하였다. 혈청의 무기성분은 chloride, phosphate, magnesium 및 calcium에 대하여 조사하였다. Chloride는 colorimetric 법에 의해 시판되는 kit (Sigma Diagnostics kit 461)에 측정하였으며, phosphate 농도는 phosphomolybdenate 법에 의하여 clinic kit (Asan Pharm, Co., Ltd)를 사용하여 측정하였다. Magnesium 농도는 키시딜블루-I이 마그네슘의 존재하에서 마그네슘 콤플렉스를 생성하여 홍색을 나타내므로 이것을 515 nm에서 비색 정량하는 자일리딜블루법 (Xylidyl blue method)으로 실시하였다. Calcium 농도는 OCPC (o-cresolphthalein-complexon)법으로 시판되고 있는 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd.)를 사용하여 정량하였다. 혈청 내 유기성분은 total protein, glucose 및 total cholesterol에 대하여 조사하였다. Total protein은 Biuret법, glucose는 GOD/POD법, total cholesterol은 colorimetric 법에 의해 시판되는 kit (SIGMA Diagnostics kit)에 의해 측정하였다. 혈청 효소활성의 변동은 GOT (Glutamic oxalate transaminase), GPT (Glutamic pyruvate transaminase), LDH (Lactate dehydrogenase) 및 AIP (Alkaline phosphatase)에 대하여 측정하였다. GOT와

GOT는 reitman-frankel법, LDH는 젯산기질법, AIP는 kind-king법으로 임상용 kit (Iatron Pharm. Co. Ltd., Japan)로 측정하였다.

### 통계분석

결과는 SPSS 통계 프로그램 (SPSS Inc.)을 이용하여 ANOVA test를 실시한 후 최소유의차 검정을 실시하였으며,  $P < 0.05$ 에서 유의차가 있는 것으로 간주하였다.

## 결 과

### 혈액성상

PCP에 노출된 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 적혈구수, Ht 및 Hb농도와 변화를 Table 2에 나타냈다. PCP에 노출된 넙치의 적혈구 수 및 Ht는 2주째부터 0.5 mg/kg 이상의 농도, Hb는 0.5 mg/kg 이상의 농도에서 4주째부터 유의한 감소를 나타냈다( $P < 0.05$ ).

Table 2. Changes of hematological properties in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* exposed to dietary pentachlorophenol for 6 weeks

Parameter	Time (weeks)	Group			
		Control	0.1 mg/kg	0.5 mg/kg	1.0 mg/kg
RBC count ( $\times 10^4/\text{mm}^3$ )	2	287.8 $\pm$ 12.6 <sup>a</sup>	268.9 $\pm$ 15.3 <sup>ab</sup>	246.4 $\pm$ 7.7 <sup>b</sup>	218.3 $\pm$ 11.7 <sup>c</sup>
	4	283.1 $\pm$ 8.5 <sup>a</sup>	274.8 $\pm$ 13.5 <sup>a</sup>	234.7 $\pm$ 10.4 <sup>b</sup>	213.8 $\pm$ 10.3 <sup>c</sup>
	6	291.9 $\pm$ 8.1 <sup>a</sup>	273.7 $\pm$ 13.4 <sup>ab</sup>	256.3 $\pm$ 12.3 <sup>b</sup>	247.1 $\pm$ 17.1 <sup>b</sup>
Ht (%)	2	30.6 $\pm$ 3.0 <sup>a</sup>	28.9 $\pm$ 2.7 <sup>ab</sup>	26.3 $\pm$ 1.4 <sup>ab</sup>	24.1 $\pm$ 2.8 <sup>b</sup>
	4	29.0 $\pm$ 2.5 <sup>a</sup>	27.5 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	23.0 $\pm$ 1.7 <sup>b</sup>	22.8 $\pm$ 1.1 <sup>b</sup>
	6	28.9 $\pm$ 3.6 <sup>a</sup>	25.0 $\pm$ 1.6 <sup>ab</sup>	22.3 $\pm$ 2.8 <sup>b</sup>	22.1 $\pm$ 1.4 <sup>b</sup>
Hb (g/dL)	2	5.8 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	5.3 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	5.1 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	4.6 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>
	4	5.3 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	5.5 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	4.2 $\pm$ 1.2 <sup>ab</sup>	4.4 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>
	6	5.1 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	4.9 $\pm$ 0.8 <sup>ab</sup>	4.7 $\pm$ 0.5 <sup>ab</sup>	4.2 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>

All data are presented as means $\pm$ SE (n=10). Means in each row with a different superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ). RBC: red blood cell, Ht: hematocrit, Hb: hemoglobin

### 혈청 무기성분

PCP에 노출된 넙치의 혈청 무기성분의 변화를 Table 3에 나타냈다. Magnesium 농도는 0.5 mg/kg이상의 농도에서 4주째 이후 유의한 증가가 관찰되었

고, calcium 농도는 0.5 mg/kg이상의 농도에서 6주째 유의한 감소가 관찰되었다( $P < 0.05$ ). 한편 PCP에 노출된 넙치의 혈청 chloride 및 phosphate 농도의 유의한 변화는 실험기간 동안 관찰되지 않았다.

Table 3. Changes of serum inorganic parameters in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* exposed to dietary pentachlorophenol for 6 weeks

Parameter	Time (weeks)	Group			
		Control	0.1 mg/Kg	0.5 mg/Kg	1.0 mg/Kg
Chloride (mM)	2	147.2±4.1 <sup>a</sup>	149.6±4.6 <sup>a</sup>	145.3±4.0 <sup>a</sup>	150.5±4.1 <sup>a</sup>
	4	146.8±3.2 <sup>a</sup>	140.3±6.3 <sup>a</sup>	154.4±6.0 <sup>a</sup>	151.3±5.9 <sup>a</sup>
	6	149.4±3.0 <sup>a</sup>	140.5±6.4 <sup>a</sup>	146.0±3.1 <sup>a</sup>	145.7±2.1 <sup>a</sup>
Phosphate (mM)	2	2.40±0.2 <sup>a</sup>	2.38±0.4 <sup>a</sup>	2.49±0.6 <sup>a</sup>	2.42±0.5 <sup>a</sup>
	4	2.51±0.6 <sup>a</sup>	2.40±0.9 <sup>a</sup>	2.32±0.4 <sup>a</sup>	2.48±0.8 <sup>a</sup>
	6	2.48±0.5 <sup>a</sup>	2.47±0.2 <sup>a</sup>	2.51±0.6 <sup>a</sup>	2.46±0.7 <sup>a</sup>
Magnesium (mM)	2	1.33±0.2 <sup>a</sup>	1.34±0.3 <sup>a</sup>	1.42±0.2 <sup>a</sup>	1.39±0.6 <sup>a</sup>
	4	1.37±0.3 <sup>ab</sup>	1.33±0.5 <sup>a</sup>	1.72±0.5 <sup>b</sup>	1.90±0.9 <sup>b</sup>
	6	1.39±0.4 <sup>a</sup>	1.40±0.3 <sup>a</sup>	1.69±0.5 <sup>ab</sup>	1.88±0.7 <sup>b</sup>
Calcium (mM)	2	2.80±0.4 <sup>a</sup>	2.84±0.4 <sup>a</sup>	2.77±0.3 <sup>a</sup>	2.57±0.6 <sup>a</sup>
	4	2.46±0.2 <sup>a</sup>	2.79±0.4 <sup>a</sup>	2.80±0.5 <sup>a</sup>	2.77±0.3 <sup>a</sup>
	6	2.77±0.3 <sup>a</sup>	2.80±0.7 <sup>a</sup>	1.82±0.2 <sup>b</sup>	1.93±0.7 <sup>b</sup>

All data are presented as means±SE (n=10). Means in each row with a different superscript are significantly different (P<0.05).

#### 혈청 유기성분

PCP에 노출된 혈청 유기성분의 변화를 Table 4에 나타냈다. Total protein 농도는 4주째 PCP 농도 0.5 mg/kg이상의 농도에서 유의하게 감소하였으며,

glucose 농도는 PCP 농도 0.5 mg/kg 이상의 농도에서 2주이 후부터 유의한 증가를 나타냈다(P<0.05). 한편 total cholesterol 농도는 대조구에 비해 낮게 나타났지만, 유의한 차이는 관찰되지 않았다.

Table 4. Changes of serum organic parameters in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* exposed to dietary pentachlorophenol for 6 weeks

Parameter	Time (weeks)	Group			
		Control	0.1 mg/Kg	0.5 mg/Kg	1.0 mg/Kg
Total protein (g/dL)	2	3.95±0.7 <sup>a</sup>	3.99±0.9 <sup>a</sup>	3.94±1.1 <sup>a</sup>	3.70±0.7 <sup>a</sup>
	4	3.81±1.0 <sup>a</sup>	3.87±0.8 <sup>a</sup>	2.12±0.3 <sup>b</sup>	2.05±0.5 <sup>b</sup>
	6	4.15±1.5 <sup>a</sup>	3.80±1.3 <sup>ab</sup>	2.22±0.4 <sup>b</sup>	2.14±0.7 <sup>b</sup>
Glucose (mg/dL)	2	41.2±2.9 <sup>a</sup>	39.2±3.9 <sup>a</sup>	51.4±2.8 <sup>b</sup>	56.9±4.3 <sup>b</sup>
	4	43.3±3.0 <sup>a</sup>	45.5±5.6 <sup>a</sup>	49.8±7.9 <sup>ab</sup>	55.7±4.2 <sup>b</sup>
	6	44.0±4.3 <sup>a</sup>	47.0±4.8 <sup>ab</sup>	48.6±3.2 <sup>ab</sup>	54.1±5.4 <sup>b</sup>
Total cholesterol (mg/dL)	2	252.5±9.2 <sup>a</sup>	243.9±7.6 <sup>a</sup>	229.2±12.8 <sup>a</sup>	238.7±9.6 <sup>a</sup>
	4	257.0±6.9 <sup>a</sup>	248.5±12.2 <sup>a</sup>	246.6±11.8 <sup>a</sup>	249.5±9.6 <sup>a</sup>
	6	251.6±6.1 <sup>a</sup>	254.5±15.4 <sup>a</sup>	239.0±8.9 <sup>a</sup>	243.0±10.6 <sup>a</sup>

All data are presented as means±SE (n=10). Means in each row with a different superscript are significantly different (P<0.05).

### 혈청 효소활성

PCP에 노출된 혈청 효소활성의 변화를 Table 5에 나타냈다. 혈청 GOT 활성은 0.5 mg/kg의 농도에서 2주 이후부터 유의한 증가가 관찰되었고, 혈청 GPT 활성은 0.5 mg/kg 농도에서 4주 이후부터 유의한 증

가가 관찰되었다( $P < 0.05$ ). 또한 혈청 LDH 활성은 0.5 mg/kg의 농도에서 4주 이후, 1.0 mg/kg의 농도에서는 6주에서 유의한 증가가 관찰되었으나( $P < 0.05$ ), 혈청 AIP활성의 변화는 관찰되지 않았다.

Table 5. Changes of serum enzyme activity in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* exposed to dietary pentachlorophenol for 6 weeks

Parameter	Time (weeks)	Group			
		Control	0.1 mg/Kg	0.5 mg/Kg	1.0 mg/Kg
GOT (K-U)	2	29.5±3.4 <sup>a</sup>	28.5±2.8 <sup>a</sup>	32.5±3.9 <sup>ab</sup>	39.5±4.1 <sup>b</sup>
	4	28.9±4.0 <sup>a</sup>	31.2±2.2 <sup>a</sup>	33.5±3.8 <sup>ab</sup>	38.5±3.7 <sup>b</sup>
	6	30.2±2.3 <sup>a</sup>	31.5±3.0 <sup>a</sup>	33.5±3.4 <sup>a</sup>	40.5±3.4 <sup>b</sup>
GPT (K-U)	2	11.2±1.8 <sup>a</sup>	12.8±2.2 <sup>a</sup>	13.2±3.1 <sup>a</sup>	15.2±2.9 <sup>a</sup>
	4	10.9±3.2 <sup>a</sup>	15.3±2.5 <sup>ab</sup>	17.2±1.9 <sup>b</sup>	18.2±3.7 <sup>b</sup>
	6	11.4±2.1 <sup>a</sup>	14.8±3.7 <sup>a</sup>	20.2±1.2 <sup>b</sup>	21.2±1.2 <sup>b</sup>
LDH (W.U.)	2	258.5±9.2 <sup>a</sup>	259.9±7.6 <sup>a</sup>	265.2±12.8 <sup>a</sup>	278.7±13.6 <sup>a</sup>
	4	261.0±6.9 <sup>a</sup>	252.5±12.2 <sup>a</sup>	268.6±11.8 <sup>a</sup>	302.5±9.6 <sup>b</sup>
	6	256.6±6.1 <sup>a</sup>	271.5±15.4 <sup>ab</sup>	293.5±11.9 <sup>b</sup>	312.0±10.6 <sup>b</sup>
AIP (K-A)	2	6.2±1.2 <sup>a</sup>	5.9±0.8 <sup>a</sup>	6.0±0.7 <sup>a</sup>	6.7±1.6 <sup>a</sup>
	4	5.9±0.9 <sup>a</sup>	6.5±1.2 <sup>a</sup>	6.3±1.1 <sup>a</sup>	6.9±1.3 <sup>a</sup>
	6	6.6±0.6 <sup>a</sup>	6.5±1.4 <sup>a</sup>	7.1±0.9 <sup>a</sup>	7.3±2.1 <sup>a</sup>

All data are presented as means±SE (n=10). Means in each row with a different superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ).

## 고 찰

일반적으로 어류가 오염물질에 노출되었을 때 혈액의 구성성분이 변하게 되는데, 이러한 혈액성상은 어류의 만성적인 생리적 장애 수준을 파악하고, 더 나아가 노출된 화학물질에 대한 정보를 추정할 수 있다 (Khattak and Hafeez, 1996). PCP에 노출된 넙치의 RBC 수, Ht값 및 Hb농도는 0.5 mg/kg이상의 농도에서 감소하는 경향을 나타내고 있는데, 이는 비장의 기능장애와 관련성을 가지고 있으며 이와 같은 조혈

기관의 손상은 빈혈을 유발했을 것으로 추정 된다 (Witters, *et al.*, 1990). 어류가 독성물질에 노출되었을 때 일반적으로 Ht와 Hb농도는 변동을 일으키는데, 이는 혈액의 pH 변동으로 세포의 삼투이동 (Osmotic shifts)에 영향을 미치기 때문인 것으로 보고되고 있다 (Milligan and Wood, 1982). Johansson 등 (1972)은 Clophen A50 (10  $\mu$ g/g fish weight)을 *Salmo trutta*에 43일 동안 경구 투여한 결과 Hb 농도와 Ht값이 감소했음을 보고하였고, Aroclor 1254를 *Coturnix coturnix japonica*에 투여했을 때 Hb 농도와 Ht값은 감소하여

본 결과와 일치하고 있다.

넙치의 혈청무기성분인 calcium 농도는 0.5 mg/kg 이상의 PCP농도에서 유의한 감소를 나타냈고, magnesium 농도는 이와 반대로 유의한 증가를 나타냈다. Cadmium (42  $\mu\text{g/L}$ , 15d)에 노출된 잉어의 혈청 calcium 농도는 감소하였고 (Yamawaki *et al.*, 1986), aldrin에 노출된 *Clarias batrachus*도 혈청 calcium이 저하되는 경향을 보였는데 이는 신장의 전해질 균형 상실에 의해 유발되었을 것으로 추정된다. 또한 독성 물질에 노출된 어류는 일반적으로 혈청 calcium 농도가 저하되는데, 원인은 신장의 뇨세관 상피세포의 재흡수 기능의 장애, 아가미 상피세포의 막 투과성 변화 및 장관 흡수기능의 장애에 있다 (Jiro and Yasuo, 1977; Roch and Maly, 1979). 따라서, 넙치에 있어서도 PCP의 존재는 상기의 장애로 인해 calcium 농도가 저하하였을 가능성이 크며, magnesium 농도의 증가는 다른 오염물질과 마찬가지로 조직 등에서 혈청으로 유리된 결과 (Ma *et al.*, 1995)라고 생각된다.

넙치의 혈청 total protein 농도는 0.5 mg/kg 이상의 PCP 농도에서 유의하게 감소하였으나, glucose의 농도 유의하게 증가하는 경향을 나타냈다. 어류의 혈청 유기성분은 화학물질의 노출에 의한 대사 장애의 수준을 판단할 수 있는 주요한 지표로 사용된다. 일반적으로 어류가 독성물질에 노출되었을 때 장관의 흡수 장애, 간췌장의 손상 및 세노관의 재흡수 장애로 인하여 혈청 total protein의 농도는 감소하는 경향을 보인다 (Yamawaki *et al.*, 1986 ; Khattak and Hafeez, 1996 ; Shen *et al.*, 1997). 따라서 넙치의 혈청 total protein의 감소는 상기의 장애에 의한 것으로 예상된다. 한편 혈청 glucose의 농도는 일반적으로 오염물질에 노출되었을 때 증가를 보이는데, 이는 catecholamines에 의해서 근육과 간에 존재하는 glycogen reserves의 방출 과정인 glycogenolysis가 일어나기 때문이며, 만성

적인 경우는 cortisol에 의한 단백질 분해 작용에 의한 것으로 알려져 있다. Gluth와 Hanke (1985)에 의하면 HCB (100  $\mu\text{g/L}$ )를 72시간 동안 잉어에 노출시켰을 때 혈청 glucose 농도의 증가한다고 하였고, PCBs 노출에 의해 무지개송어의 total protein 농도는 감소하며, *Salmo trutta*의 glucose 농도는 증가를 보여(Mayer *et al.*, 1985) 본 실험과 유사한 경향을 나타냈다.

넙치의 혈청 GOT, GPT 및 LDH 활성은 0.5 mg/kg 이상의 PCP노출에 의해 증가하는 경향을 나타냈다. 혈청 전이효소인 GOT와 GPT의 활성은 환경오염 원인이 되는 조직 손상을 인지하는 어류질병의 진단에 이용되고 있으며 (Sakamoto and Yone, 1978; Shich, 1978; Smith and Ramos, 1980), 일반적으로 독성물질에 의해 변동한다 (Casillas and Ames, 1985; Rao *et al.*, 1990). 독성물질에 대한 어류의 이들 효소는 간췌장 조직에 높은 활성을 가지고 있으며, 간장 장애에 의해 혈중에 일탈한다 (尾崎, 1971). 따라서, PCP에 노출된 넙치는 간 조직에 장애를 받아 혈 중에 일탈로 인하여 활성이 상승한 것으로 생각된다. 또한 무지개송어에 있어 유기인계 살충제 및 제초제는 혈청 LDH 활성을 증가시키며 (Balint *et al.*, 1995; Zheng and Nicholson, 1996), 그 원인은 독성물질의 노출에 의한 장애를 받은 간 조직에서 LDH가 혈중에 유출된 결과, 혈청 LDH 활성은 증가한다고 하였다 (Casillas and Ames, 1986). 따라서, 넙치의 혈청 LDH 활성의 증가는 간 조직의 장애로 인해 혈 중에 LDH가 유출된 결과라고 추측할 수 있다. 이상의 결과와 논의로부터 0.5 mg/kg 이상의 PCP 농도에 적어도 4주 이상 노출된 넙치는 혈청내의 무기성분, 유기성분 및 효소의 활성을 부분적으로 변화시킬 것으로 사료되어 연안의 PCP오염에 대한 생물학적지표로 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

## 요약

PCP 노출에 따른 넙치의 혈액성상, 혈청의 유기성분, 무기성분 및 효소활성의 변화를 검토하였다. 넙치의 적혈구 수 및 Ht는 0.5 mg/kg 이상의 농도에서 2주 이후, Hb는 0.5 mg/kg 이상의 농도에서 4주 이후부터 유의한 감소를 나타냈다. 넙치의 혈청 chloride 및 phosphate 농도의 변화는 관찰되지 않았지만, magnesium 농도는 0.5 mg/kg 이상의 농도에서 4주째 이후부터 유의하게 증가하였고, 혈청 calcium 농도는 0.5 mg/kg 이상의 농도에서 6주째 유의한 감소가 관찰되었다. 혈청 total protein 농도는 6주째 0.5 mg/kg 이상의 농도에서 유의하게 감소하였으며, glucose 농도는 0.5 mg/kg에서 2주 후부터 유의한 증가가 관찰되었지만, total cholesterol 농도의 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 혈청 GOT 활성은 0.5 mg/kg의 농도에서 2주 이후, 혈청 GPT 활성은 0.5 mg/kg 농도에서 4주 이후부터 유의한 증가가 관찰되었다. 또한 혈청 LDH 활성은 1.0 mg/kg의 농도에서 4주 이후, 0.5 mg/kg의 농도에서 6주에서 유의한 증가가 관찰되었으나, 혈청 AIP 활성의 변화는 관찰되지 않았다.

### 감사의 글

본 연구는 2006년도 부경대학교 연구년 교수지원 연구비에 의하여 수행된 연구결과이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Bansal, S.K., Verma, S.R., Gupta, A.K. and Dalela, R.C.: Physiological dysfunction of the haemopoietic system in a fresh water teleost, *Labeo rohita*, following chronic chlordane exposure. Part I -Alteration in certain haematological parameters. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 22:666-673, 1979.
- Balint, T., Szegletes, T., Szegletes, Z., Halasy, K. and Nemcsok, J.: Biochemical and subcellular changes in carp exposed to the organophosphorus methidathion and the pyrethroid deltamethin. Auat. Toxicol., 33(3~4):279-295, 1995.
- Borthwick, P.W. and Schimmel, S.C.: Toxicity of pentachloro-phenol and related compounds to early life stages of selected estuarine animals. In Pentachloro-phenol : chemistry, pharmacology, and environmental toxicology, pp.141-146, Rao, K.R. ed. New York, London, Plenum Press, 1978.
- Casillas. E. and Ames, W.: Serum chemistry of diseased English sole, *Parophrys vetulus* Girard, from polluted areas of Puget Sound, Washington. J. Fish Dis., 8(5):437-449, 1985.
- Casillas. E. and Ames, W.: Hepatotoxic effects of CCl4 on english sole (*Parophrys vetulus*) : Possible indicators of liver dysfunction. Comp. Biochem. Physiol., 4C(2):397-400, 1986.
- Chen, X., Yin, D., Hu, S. and Hou, Y.: Immunotoxicity of pentachlorophenol on macrophage immunity and IgM secretion of the crucian carp (*Carassius auratus*). Bull. Environ. Contam. Toxicol., 73:153-60, 2004.
- Crandall, C.A. and Goodnight, C.J.: The effect of various factors on the toxicity of sodium pentachlorophenate to fish. Limnol. Oceanogr., 4:53-56, 1959.
- Crosby, D.G., Beynon, K.I., Greve, P.A., Korte, F., Still, G.G. and Vouk, J.W.: Environmental chemistry of pentachlorophenol. Pure Appl. Chem., 53:
- Bansal, S.K., Verma, S.R., Gupta, A.K. and Dalela, R.C.: Physiological dysfunction of the haemopoietic system in a fresh water teleost, *Labeo rohita*,



- 1051-1080, 1981.
- Davis, J.C. and Hoos, R.A.: Use of sodium pentachloro-phenate and dehydroabiotic acid as reference toxicants for salmonid bioassays. *J. Fish. Res. Board Can.*, 32:411-416, 1975.
- Folmar, L.C.: Effects of chemical contaminants on blood chemistry of teleost fish : A bibliography and synopsis of selected effects. *Environ. Toxicol. Chem.*, 12 :337-375, 1993.
- Jee, J.H., Kim, S.G. and Kang, J.C.: Effect of waterborne iron on serum iron concentration and iron binding capacity of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J. Fish. Sci. Tech.*, 7(1): 23-28, 2004.
- Joro, K. and Yasuo, I.: Effect of oral administration of cadmium on fish-I. Analytical results of the blood and bones. *Bull. Jap. Soc. Fosh.*, 43(5):523-536, 1977.
- Johansson, N., Larsson, A. and Lewander, K.: Metabolic effects of PCB (polychlorinated biphenyls) on the brown trout, *Salmo trutta*. *Comp. Gen. Pharmacol.*, 3:310-314, 1973.
- Khattak, I.U.D. and Hafeez, M.A.: Effect of malathion on blood parameters of the fish, *Cyprinion watsoni*. *Pak. J. Zool.*, 28(1):45-49, 1996.
- Ma, G., Lin, H. and Zhang, W.: Effects of cadmium on serum gonadotropin and growth hormone in common carp(*Cyprinus carpio* L.) *J. Fish. China Shuichan Xuebao.*, 19(2):120-126, 1995.
- Mayer, K.S., Mayer, F.L. and Witt, A.: Waste transformer oil and PCB toxicity to rainbow trout. *Am. Fish. Soc.*, 114:869-886, 1985.
- McDonald, D.G. and Milligan, C.L.: Chemical properties of the blood. pp. 55-133. In *fish physiology*(Hoar WS, DJ Randall and AP Farrell, eds.) Academic Press, San Diego, 1992.
- Milligan, L.C. and Wood, C.M.: disturbances in hematology, fluid volum distribution and circulatory function associated with low environmental pH in the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Exp. Biol.*, 99:397-415, 1983.
- Rao P.P., Joseph, K.V. and Eao, K.J.: Histopathological and bio chemical changes in the liver of a fresh water fish exposed to heptachlor. *J. Nat. Conserv.*, 2(2):133-137, 1990.
- Roch, M. and Maly, E.J.: 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, 1979.
- Sakamoto, S. and Yone, Y.: Requirement of red sea bream for dietary iron. II. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44(3):223-225, 1978
- Shen, H, Zhang, Q., Xu, R. and Wang, G.: Effects of petroleum on the sero-proteins of *Tilapia mossambica*. *Mar. Environ. Sci.*, 16(1):1-5, 1997.
- Shich, M.S.: Changes of blood enzymes in brook trout induced by infection with *Aeromonas salmonicida*. *J. Fish. Biol.*, 11:13-18, 1978.
- Smith, A.C. and Ramos, F.: Automated chemical analysis in fish health assessment. *J. Fish. Biol.*, 17:445-450, 1980.
- Yamazaki, K.W., Hashimoto, K., Fujii, Koyama, J., Ikeda, Y. and Ozaki, H.: Hemochemical changes in carp exposed to low cadmium concentrations. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 52(3):459-466, 1986.
- Witters, H.E., Van Puymbroeck, S., Van Den Sande, I. and Vanderborgh, O.L.J.: Haematological disturbances and osmotic shifts in rainbow trout,

- Oncorhynchus mykiss (walbaum) under acid and aluminum exposure. J. Comp. Physiol., 160B: 563-571, 1990.
- Zheng, J. and Nicholson, R.A.: 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, 1996.
- 尾崎久雄: 魚類生理學講座 : 3. 消化生理(上), 録書房, 東京, pp.184-188, 1971.
- 
- Manuscript Received : May 3, 2010  
Revised : August 19, 2010  
Accepted : August 23, 2010