

크롬 노출에 따른 송어, *Mugil cephalus*의 혈액성분 변화

안태영* · 정달상** · 김준환 · 강주찬†

*경기도해양수산물자원연구소, 부경대학교 수산생명의학과, **한국농수산대학

Changes of Hematological Constituents in the Mullet, *Mugil cephalus* Exposed to Chromium

Tae-Young Ahn*, Jeong Dal Sang**, Jun-Hwan Kim and Ju-Chan Kang†

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

*Gyeonggi Province Maritime & Fisheries Research Institute, Gyeonggi Province 476-841, Korea

**Korea National College of Agriculture and Fisheries, Gyeonggi Province 445-760, Korea

The study was carried out to investigate the changes of hematological parameters induced by waterborne exposure of chromium (Cr) in the mullet, *Mugil cephalus*. The mullet was exposed to sub-chronic concentrations of chromium (0, 25, 50, 100, 200 $\mu\text{g/L}$ Cr) for 4 weeks. The major hematological findings were significant decreases in the red blood cell (RBC) count and hematocrit value in mullet exposed to ≥ 50 $\mu\text{g/L}$ Cr. Although serum calcium concentration was significantly reduced at ≥ 50 $\mu\text{g/L}$ Cr, magnesium concentration was found to be significantly increased at ≥ 100 $\mu\text{g/L}$ Cr. The serum glucose and total protein concentrations were significantly increased at 200 $\mu\text{g/L}$ Cr. However, serum triglyceride concentration did not show any noticeable changes in the range of 25~200 $\mu\text{g/L}$ Cr of chromium compared to control group during the experimental period. A significant increment of GOT (glutamic oxalate transaminase) and GPT (glutamic pyruvate transaminase) activities was noticed at ≥ 100 $\mu\text{g/L}$ Cr. These results indicate that hematological and serum biochemical changes in the mullet by waterborne exposure to chromium are affected at more than 50 $\mu\text{g/L}$ Cr.

Key words : *Mugil cephalus*, Chromium, Hematological parameters

크롬(Cr)은 다양한 산화 형태를 나타내지만, 환경 내에선 3가(III)와 6가(VI) 크롬이 대부분을 차지한다 (Towill, 1978). 이 중 6가 크롬(Cr^{6+})은 피혁, 스테인리스강 및 섬유 등 다양한 산업배출수로 수 환경을 오염시키는 주요 중금속 중 하나로 수용액의 Cr(VI)은 주로 크롬산 이온으로 존재하며, 생체막을 쉽게 통과하여 산화 스트레스를 유발해 세포 손상을 일으킨다

(Bagchi *et al.*, 2002). 생물학적 시스템 내 6가 크롬(Cr^{6+})에서 3가 크롬(Cr^{3+})으로의 전환 능력은 6가 크롬을 무독화하기 위한 메커니즘으로 추정되고 있다 (Ariello and Melodia, 1990; Lushchak *et al.*, 2008). 크롬 이온은 역가가 변할 수 있고 산화된 크롬형태는 비효소와 효소적 메커니즘에 의해 줄어들게 된다 (Lushchak, 2008). Cr^{6+} 은 주로 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 또는 CrO_4^{2-} 음이온 형태로 존재하여 비특이적 음이온 수송 시스템을 통해 세포 내로 들어간다 (Valko *et al.*, 2005). 따라서

†Corresponding author: Ju Chan Kang

Tel : 051-629-5944, Fax :051-629-5938

E-mail: jckang@pknu.ac.kr

Cr³⁺보다 Cr⁶⁺이 생물 내로 흡수되기 더 쉽다 (De Flora, 2000). Cr(VI)은 동물의 신경, 피부, 유전 발암, 면역독성의 측면에서 많은 연구들이 있으며 (von Burg and Liu, 1993), 가용성과 불용성 6가 크롬은 쥐와 인간 세포 내 형태적 변형, 종양 및 돌연변이를 유발한다 (Patierno *et al.*, 1988). 어류에 있어 크롬은 다양한 대사과정을 억제하며 (Nath and Kumar, 1987), 삼투 능력과 호흡을 소실시켜 신장의 손상을 야기시키고 (Artillo and Melodio, 1988), 면역, 호흡대사 및 산화스트레스 등에도 영향을 미친다 (Prabakaran *et al.*, 2006; Lushchak *et al.*, 2008).

송어 (*Mugil cephalus*)는 생활사 중 많은 시기를 기수에서 서식하는 광염성 어류로 경골어류들 중에서 가장 광범위한 지리적 분포를 나타낸다(Thomson, 1963; Thomson, 1968). 또한 잡식성이고 영양단계가 낮으며 삼투조절에 의한 급격한 염분 변화에 견딜 수 있어 양식 대상 종으로 선호도가 높다 (Odum, 1970; Nash and Shehaden, 1980). 한편 어류의 혈액은 여러 가지 환경 요인, 특히 독성물질에 의해 그 구성 성분이 변동되므로 독성물질에 의한 어류의 영향을 파악하는데 유용한 수단으로 활용되고 있다. 국내 생산량 측면에서도 넙치, 조피볼락, 참돔에 이어 4번째로 많이 생산되는 품종이다. 하지만, 송어에 대한 6가 크롬의 영향과 그에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구는 어류의 자연 서식지 및 양식장 등에 존재할 수 있는 크롬의 영향을 평가하기 위하여 송어를 대상으로 크롬 노출에 따른 이들의 혈액학적 변동을 검토하였다.

재료 및 방법

실험어

본 실험에 사용한 송어, *Mugil cephalus*는 경남소제

양식장에서 분양 받아 실험실 조건에서 4주간 순치시킨 후, 외관상 질병증세가 없는 건강한 개체 (전장, 17.23±0.85 cm; 체중, 48.25±8.36 g)를 선별하여 사용하였다.

실험과정

실험은 온도조절이 가능한 항온실에서 유리수조 (500×280×310 mm)를 사용하여 2일마다 실험용액을 교환하는 환수식 방법에 의해 실시하였고, 기타 실험 조건은 Table 1과 같다. 실험용액은 potassium dichromate (SIGMA-ALDRICH, Inc., USA)를 증류수에 용해시켜 stock solution을 만든 후, 여과해수와 혼합하여 노출농도가 각각 0, 25, 50, 100 및 200 µg/L Cr이 되도록 설정하였다. 실험은 2회 반복으로 4주간 실시하였으며, 2주 간격으로 혈액학적 변동을 검토하였다.

Table 1. The chemical components of seawater and experimental condition used in the experiments.

Item	Value
Temperature (°C)	20.0±1.0
pH	8.1±0.5
Salinity (‰)	33.5±0.6
Dissolved oxygen (mg/L)	7.1±0.3
Chemical oxygen demand (µg/L)	1.13±0.1
Ammonia (mg/L)	12.5±0.7
Nitrite (mg/L)	1.3±0.3
Nitrate (mg/L)	11.48±1.0
Chromium (µg/L)	≤ 0.1

혈액성상

실험어는 혈액응고를 방지하기 위해 heparin-Na (5,000 IU., 중외제약)를 처리한 1회용 주사기를 사용하여 미부정맥에서 채취하였다. 채취한 혈액으로 RBC (red blood cell) count, hemoglobin (Hb) 농도 및 hematocrit (Ht)를 즉시 분석하였다. RBC count는

Hendrick's diluting solution으로 혈액을 400배 희석 후, hemo-cytometer (Improved Neubauer, Germany)를 이용하여 광학현미경으로 계수하였다. Ht는 Ht 모세관 내로 혈액을 넣어, microhematocrit centrifuge (Model; 01501, HAWKSLEY AND SONS Ltd., England)에서 12,000 rpm, 5분간 원심분리 후 판독관 (Micro-Haematocrit reader, HAWKSLEY AND SONS, England)으로 측정하였다. Hb 농도는 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd.)를 이용하여 cyan-methemoglobin법으로 측정하였다.

혈청성분

채취한 혈액은 4°C, 3000g로 5분간 원심분리 (MIKRO 22R, Hettich, Germany)하여 혈청을 분리하였다. 분리한 혈청으로 무기성분, 유기성분 및 효소활성의 변화를 검토하였다. 무기성분인 칼슘 (calcium)은 OCPC법, 마그네슘 (magnesium)은 Xylidyl blue 법에 의해 시판되고 있는 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd.)를 이용하여 측정하였다. 유기성분인 혈당 (glucose)은 GOD/POD 법, 총단백질 (total protein)은 Biuret 법, 중성지방 (triglyceride)은 enzyme 법에 의하여 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd.)를 이용하여 측정하였다. 효소활성인 GOT (glutamic

oxalate transminase)와 GPT (glutamic pyruvate transminase)는 Reitman-Frankel 법, ALP (alkaline phosphatase)는 Kind-king 법에 의하여 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd.)를 이용하여 측정하였다.

유의성 검정

실험 분석 결과에 대한 통계학적 유의성은 SPSS 통계 프로그램 (SPSS Inc.)을 이용하여 ANOVA test를 실시하여 Duncan's multiple range test를 통해 $P < 0.05$ 일 때 유의성이 있는 것으로 간주하였다.

결과

혈액 성상

6가 크롬에 노출된 송어의 혈액 성상 변화는 Table 2에 나타났다. RBC count는 2주차에 100 및 200 $\mu\text{g/L}$ Cr의 농도에서 유의한 감소가 관찰되었으며, 4주차에는 50, 100, 200 $\mu\text{g/L}$ Cr 농도에서 유의적인 감소를 나타냈다 ($P < 0.05$). Ht 값은 2주차에 50, 200 $\mu\text{g/L}$ Cr 농도에서 유의적인 증가가 나타났으며, 4주차에는 50 $\mu\text{g/L}$ Cr 이상의 농도에서 유의적인 증가를 나타냈다 ($P < 0.05$). 한편 Hb 농도는 모든 실험구에서 유의한 변동이 관찰되지 않았다.

Table 2. Changes of RBC count, hematocrit value and hemoglobin concentration in mullet, *Mugil cephalus* exposed to chromium for 4 weeks.

Parameters	Period (weeks)	Chromium concentration ($\mu\text{g/L}$)				
		0	25	50	100	200
RBC count ($\times 10^4/\text{mm}^3$)	2	45.44 \pm 4.27a	40.36 \pm 9.72ab	38.48 \pm 3.01ab	35.68 \pm 5.64b	35.08 \pm 4.93b
	4	59.36 \pm 5.35a	51.60 \pm 6.45ab	47.88 \pm 5.78b	48.52 \pm 2.30b	45.68 \pm 5.47b
Hematocrit (%)	2	35.25 \pm 4.30a	36.23 \pm 2.17a	45.75 \pm 3.90b	39.25 \pm 2.28ab	49.50 \pm 1.80b
	4	38.75 \pm 4.15a	39.75 \pm 3.03a	58.00 \pm 3.87bc	52.00 \pm 6.60b	64.00 \pm 3.32c
Hemoglobin (g/dL)	2	6.43 \pm 1.46a	6.99 \pm 1.67a	6.29 \pm 0.98a	7.23 \pm 0.65a	6.86 \pm 1.09a
	4	7.68 \pm 1.57a	8.29 \pm 1.20a	7.69 \pm 1.28a	7.25 \pm 0.47a	8.04 \pm 1.59a

Values are mean \pm S.E. Values with different superscript are significantly different ($P < 0.05$) as determined by Duncan's multiple range test.

혈청 성분

6가 크롬에 노출된 송어의 무기성분의 변동을 Table 3에 나타냈다. 칼슘농도는 2주차에 가장 높은 크롬농도인 200 $\mu\text{g/L}$ Cr에서 유의적으로 감소하였고, 4주차에는 50 $\mu\text{g/L}$ Cr 이상의 농도에서 유의적인 감소를 보였다 ($P < 0.05$). 마그네슘농도는 2주차에 가장 높은 크롬농도인 200 $\mu\text{g/L}$ Cr에서 유의적으로 증가하였고, 4주차에는 100 $\mu\text{g/L}$ Cr 이상의 농도에서 유의적인 증가를 보였다 ($P < 0.05$).

6가 크롬에 노출된 송어의 유기성분의 변동을 Table 4에 나타냈다. Glucose 농도는 2주차에 가장 높은 크롬농도인 200 $\mu\text{g/L}$ Cr에서 유의적인 증가를 보였지만 ($P < 0.05$), 4주차에는 유의한 변동이 관찰되지 않았다. Total protein 농도는 2주차에 유의한

변동이 관찰되지 않았으나, 4주차에는 가장 높은 크롬농도인 200 $\mu\text{g/L}$ Cr에서 유의적인 증가를 나타냈다 ($P < 0.05$). 한편, triglyceride 농도는 노출기간 동안 유의적인 변화가 관찰되지 않았다.

6가 크롬에 노출된 송어의 효소활성의 변동을 Table 5에 나타냈다. GOT활성은 2주차에는 가장 높은 크롬농도인 200 $\mu\text{g/L}$ Cr에서 유의적인 증가를 보였고, 4주차에서는 100 $\mu\text{g/L}$ Cr 이상의 농도에서 유의적인 증가를 보였다 ($P < 0.05$). GPT활성은 2주 및 4주차에서 100 $\mu\text{g/L}$ Cr 이상의 농도에서 유의적인 증가를 보였고, ALP활성은 2주 및 4주차에서 가장 높은 크롬농도인 200 $\mu\text{g/L}$ Cr에서 유의적인 증가를 보였다 ($P < 0.05$).

Table 3. Changes of serum calcium and magnesium concentrations in mullet, *Mugil cephalus* exposed to chromium for 4 weeks.

Parameters	Period (week)	Chromium concentration ($\mu\text{g/L}$)				
		0	25	50	100	200
Calcium (mg/dL)	2	15.51±1.29a	16.68±0.81a	15.23±1.14a	16.30±0.93a	12.79±1.63b
	4	14.43±0.78a	13.98±1.27a	11.72±0.92b	12.01±0.50b	10.78±0.56b
Magnesium (mg/dL)	2	4.34±0.50a	4.12±0.70a	4.62±0.52ab	4.32±0.80a	5.41±0.56b
	4	4.15±0.18a	4.47±0.21ab	4.35±0.19a	5.47±0.14b	5.03±0.39b

Values are mean±S.E. Values with different superscript are significantly different ($P < 0.05$) as determined by Duncan's multiple range test.

Table 4. Changes of serum glucose, total protein and triglyceride concentrations in mullet, *Mugil cephalus* exposed to hexavalent chromium for 4 weeks.

Parameters	Period (week)	Chromium concentration ($\mu\text{g/L}$)				
		0	25	50	100	200
Glucose (mg/dL)	2	59.55±17.60a	54.20±6.67a	51.72±15.76a	75.78±9.81ab	82.83±11.65b
	4	57.38±5.01a	61.84±5.56a	66.05±4.59a	62.68±6.43a	51.00±8.44a
Total protein (g/dL)	2	4.67±0.15a	4.88±0.06a	4.70±0.18a	4.51±0.07a	4.77±0.12a
	4	5.07±0.04a	5.25±0.09ab	4.98±0.23a	5.16±0.07ab	5.78±0.08b
Triglyceride (mg/dL)	2	78.52±15.45a	99.83±18.50a	66.11±8.95a	76.51±7.81a	98.32±35.13a
	4	108.60±6.95a	106.14±2.86a	96.67±6.61a	97.02±11.13a	116.49±29.48a

Values are mean±S.E. Values with different superscript are significantly different ($P < 0.05$) as determined by Duncan's multiple range test.

Table 5. Changes of serum GOT, GPT and ALP in mullet, *Mugil cephalus* exposed to hexavalent chromium for 4 weeks.

Parameters	Period (week)	Chromium concentration ($\mu\text{g/L}$)				
		0	25	50	100	200
GOT (karmen unit)	2	13.25±1.44a	14.02±2.15a	15.78±1.53ab	14.86±1.48a	17.68±1.46b
	4	12.94±1.47a	16.18±2.21ab	15.70±1.47a	18.15±3.33bc	21.12±2.70c
GPT (karmen unit)	2	6.40±0.60a	6.92±0.24a	8.02±0.63ab	10.12±0.30b	9.63±0.49b
	4	6.32±0.30a	7.89±0.70ab	7.56±0.59ab	9.95±0.31b	10.01±0.91b
ALP (K-A)	2	3.51±0.64a	4.26±0.48ab	3.69±0.27a	4.18±0.46ab	5.15±0.33b
	4	3.66±0.49a	3.58±0.41a	3.61±0.25a	4.42±0.35ab	5.72±0.12b

Values are mean±S.E. Values with different superscript are significantly different ($P < 0.05$) as determined by Duncan's multiple range test.

고찰

전이금속인 크롬이온은 생물 내에서 자유 라디칼 생성을 자극시킨다. 6가 크롬의 경우 Fenton and Haber-Weiss 반응을 촉매한다 (Wang *et al.*, 2004; Valko *et al.*, 2005; Lushchak, 2008). 생물학적 시스템 내 6가 크롬(Cr^{6+})에서 3가 크롬(Cr^{3+})으로의 전환 능력은 6가 크롬을 무독화하기 위한 메커니즘으로 추정되고 있다 (Arillo and Melodia, 1990; Lushchak *et al.*, 2008). 크롬이온은 역가가 변할 수 있고, 산화된 크롬형태는 비효소와 효소적 메커니즘에 의해 줄어들게 된다 (Lushchak, 2008). Cr^{6+} 은 주로 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 또는 CrO_4^{2-} 음이온 형태로 존재하여 비특이적 음이온 수송 시스템을 통해 세포 내로 들어간다 (Valko *et al.*, 2005). 따라서 Cr^{3+} 보다 Cr^{6+} 이 생물 내로 흡수되기 더 쉽다 (De Flora, 2000). 어류의 혈액학적 성상 변화는 환경 오염물질에 의해 야기되는 독성 스트레스를 측정하는데 널리 사용되고 있다. 그리고 혈액학적 지표들은 금속에 노출 시 빠르게 반응한다. 본 연구에서 Hb를 제외한 RBC count와 Ht에는 유의한 변화가 관찰되었다. 즉 RBC count는 2주차에는 100 $\mu\text{g/L}$ Cr 이상의 농도, 4주차에는 50 $\mu\text{g/L}$ Cr 이상의 농도에서

유의적으로 감소하였다. 반면 Ht값은 2주차에 50 및 200 $\mu\text{g/L}$ Cr농도, 4주차에는 50 $\mu\text{g/L}$ Cr 이상의 농도에서 유의적인 증가를 나타냈다. 일반적으로 외부 스트레스 요인에 의해 혈액 성상이 감소하는 것으로 보고되지만, Ht값의 경우는 금속 노출 후 증가하는 경향이 보고된 바 있다 (Benifey and Biron, 2000). 또한 비소의 경우 스트레스 반응으로 RBC의 swelling 현상을 증가시키는데 영향을 준다고 보고되었다 (Nemicsok and Boross, 1982). 본 연구에서 RBC count 감소와 Ht 증가에 의해 mean corpuscular volume (MCV)가 증가됨을 알 수 있다. 이에 따라 본 실험에서 MCV의 증가는 Cr(VI) 노출에 대한 방어 작용으로 엽산이 소비되어 결핍 현상이 일어나 거대적혈구가 생성된 것이라고 추측된다.

혈청 내 무기성분인 칼슘과 마그네슘은 혈청 삼투압 변화에 따라 증가하거나 감소한다 (Waring *et al.*, 1996; Chang *et al.*, 2001; Hur *et al.*, 2001). 본 연구 결과, 칼슘농도는 2주차에 200 $\mu\text{g/L}$ Cr 크롬농도에서 유의한 감소를 나타냈고, 4주차에는 50 $\mu\text{g/L}$ Cr 이상의 농도에서 유의한 감소를 나타냈다. 또한 마그네슘 농도는 2주차에 가장 높은 크롬농도 200 $\mu\text{g/L}$ Cr, 4주차에는 100 $\mu\text{g/L}$ Cr 이상의 농도에서 유의한 증가

를 나타냈다. 중금속에 대한 영향으로 칼슘의 감소와 마그네슘의 증가는 많이 보고되어 있다 (Larsson *et al.*, 1981; Gile, 1984; Haux and Larsson, 1984; Kuroshima, 1992; Rogers *et al.*, 2003). 따라서 칼슘농도는 금속이온의 섭취 과정 중 칼슘과 크롬의 상호작용에 의해 감소한 것으로 생각되며, 마그네슘농도는 칼슘 감소에 따른 간접적인 결과에 의해 증가한 것으로 추측된다. 또한 이러한 증감으로 어류의 삼투압 조절에 영향을 미쳤을 것으로 간주된다.

혈청 내 혈당의 경우 일반적으로 스트레스를 받을 경우에 탄수화물 대사의 증가에 따라 증가하게 된다 (Hontela *et al.*, 1996; Kennedy *et al.*, 1995). 본 연구에서 혈당농도는 2주차에 200 $\mu\text{g/L}$ Cr 농도에서 유의한 증가를 나타냈으며, 4주차에는 증가한 후 감소하는 경향을 나타냈으나, 유의적인 변동이 관찰되지 않았다. 한편 4주차에서 혈당농도가 증가한 후 감소하는 경향은 Cr(VI) 농도와 노출 기간에 따른 탄수화물의 과도한 이용에 의한 결과로 생각된다 (Bhattacharya *et al.*, 1987). 총 단백질농도는 4주차의 200 $\mu\text{g/L}$ Cr의 농도에서 유의한 증가를 나타냈다. 이는 단백질 합성, 분해 등에 문제가 생겼거나, 산화 스트레스에 따른 생리적 적응에 따른 결과라고 생각된다. 일반적으로 중성지방 농도는 수온, 성별, 생식주기와 먹이의 지질 함량이나 섭취율에 따라 변하는 것으로 알려져 있다 (Lie *et al.*, 1988). 그러나 본 실험에서 triglyceride 농도는 모든 유의적인 변동은 관찰되지 않았다.

혈청 내 효소성분인 GOT와 GPT활성은 어류에 대한 환경 오염물질의 지표로 종종 사용되며, 간이나 췌장 등 장기의 조직적 손상이나 이상발생시 혈중 농도가 높아지는 것으로 알려져 있으며, ALP활성은 간이나 뼈에 주로 존재하며, 여러 간질환에 따라 증가한다 (Leroux and Perry, 1972). 본 연구에서 GOT활성은 2주차에 200 $\mu\text{g/L}$ Cr의 농도, 4주차에는 100 $\mu\text{g/L}$

Cr 이상의 농도에서 유의적으로 증가하였고, GPT활성은 2주 및 4주차에 100 $\mu\text{g/L}$ Cr 이상의 농도에서 유의한 증가를 보였다. 또한 ALP활성은 2주 및 4주차에 가장 높은 크롬농도인 200 $\mu\text{g/L}$ Cr에서 유의한 증가를 나타냈다. 따라서 혈청 내의 효소활성의 증가는 크롬에 의한 영향으로 생각되며, 효소성분의 전체적인 증가는 Cr(VI)에 노출된 송어의 간이 손상되었음을 알 수 있다.

이상의 결과와 논의에서 송어의 혈액성분은 크롬에 의해 변동될 것으로 생각되며, 혈액성상과 혈청 무기성분은 크롬 농도 50 $\mu\text{g/L}$ 이상, 혈청유기성분과 효소성분은 크롬농도 100 $\mu\text{g/L}$ 이상에서 그 변동이 나타날 것으로 예상된다.

요약

크롬은 여러 산업으로 배출되어 수 환경을 오염시키는 주요 중금속 중 하나이며, 특히 Cr(VI)은 수용액 내에서 주로 크롬산 이온으로 존재하며, 생체막을 쉽게 통과하여 산화 스트레스 및 생체 축적을 일으킨다. 따라서 본 연구는 송어를 대상으로 그들의 혈액성분의 변동에 미치는 크롬의 영향을 검토하였다.

RBC count 및 Ht 값은 50 $\mu\text{g/L}$ Cr 농도에서 유의적인 감소를 나타냈으나, Hb 농도의 유의한 변동은 관찰되지 않았다. 혈청 칼슘농도는 50 $\mu\text{g/L}$ Cr의 농도에서 유의적인 감소를 보였고, 마그네슘농도는 100 $\mu\text{g/L}$ Cr의 농도에서 유의적인 증가를 보였다. Glucose 및 total protein 농도는 가장 높은 크롬농도인 200 $\mu\text{g/L}$ Cr에서 유의적인 증가를 보였으나, 중성지방인 triglyceride 농도는 노출기간 동안 유의한 변화가 관찰되지 않았다. GOT 및 GPT 활성은 100 $\mu\text{g/L}$ Cr 이상의 농도에서 유의적인 증가를 보였고, ALP활성은 가장 높은 크롬농도인 200 $\mu\text{g/L}$ Cr에서 유의적인

증가를 보였다. 이상의 결과는 송어의 혈액성상과 혈청 무기성분은 크롬 농도 50 $\mu\text{g/L}$ 이상, 혈청유기성분과 효소성분은 크롬농도 100 $\mu\text{g/L}$ 이상에서 변동이 나타나는 것으로 결론 내릴 수 있다.

참고문헌

- Arillo, A. and Melodia, F.: Effects of hexavalent chromium on trout mitochondria. *Toxicology Letters*. 44: 71-76. 1988.
- Arillo, A. and Melodia, F.: Protective effect of fish mucus against Cr(VI) pollution. *Chemosphere*. 20: 397-402. 1990.
- Bagchi D., Stohs S.J., Downs B.W., Preuss H.G.: Cytotoxicity and oxidative mechanisms of different forms of chromium. *Toxicology*. 180: 5-22. 2002.
- Benifey T.J. and Biron M.: Acute stress response in triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Aquaculture*. 184: 167-176. 2000.
- Bhattacharya T., Ray A.K., Bhattacharya S.: Blood glucose and hepatic glycogen. Interrelationship in *Channa punctatus*(Bloch). A parameter of non-lethal toxicity bioassay with industrial pollutants. *Indian J. Exp. Biol.* 25: 539-541. 1987.
- Chang Y.J., Hur J.W., Lim H.K. and Lee J.K.: Stress in olive flounder (*Oaralichthys olivaceus*) and fat cod (*Hexagrammos otakii*) by the sudden drop and rise of water temperature. *J. Korean. Fish. Soc.*, 34: 91-97. 2001.
- De Flora, S.: Threshold mechanisms and site specificity in chromium(VI) carcinogenesis. *Carcinogenesis*. 21: 533-541. 2000.
- Giles M.A.: Electrolyte and water balance in plasma and urine of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) during chronic exposure to cadmium. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41: 1678-1686. 1984.
- Haux C., Larsson A.: Long-term sublethal physiological effects on rainbow trout, *Salmo gairdneri*, during exposure to cadmium and after subsequent recovery. *Aquatic Toxicology*, 5: 129-142. 1984.
- Hontela, A., C. Daniel and A. C. Richard: Effects of acute and subacute exposure to cadmium on the interrenal and thyroid function in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquat. Toxicol.*, 35: 171-182. 1996.
- Hur J.W., Chang Y.J., Lim H.K., and Lee B.K.: Stress responses of cultured fishes elicited by water level reduction in rearing tank and fish transference during selection process. *J. Korean Fish. Soc.*, 34: 465-472. 2001.
- Kennedy, C.J., R.M. Sweeting, A.P. Farrell, B.A. McKeown.: Acute effects of chlorinated resin exposure on juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Environ. Toxicol. Chem.*, 14: 977-982. 1995.
- Kuroshima, R.: Effects of acute exposure to cadmium on the electrolyte balance in plasma of the carp and girella. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58: 1139-1144. 1992.
- Larsson A., Bengtsson B.E., Haux C.: Disturbed ion balance in flounder, *Platichthys flesus* exposed to sublethal levels of cadmium. *Aquatic*

- Toxicology, 1: 19-35. 1981.
- Lie, Oe., R. Waagboe, and K. Sandnes.: Growth and chemical composition of adult Atlantic salmon (*Salmo Salar*) fed dry and silage-based diets. *Aquaculture*. 69: 343-353. 1988.
- Leroux, M. and Perry, W.F.: Investigation of serum alkaline phosphatase in skeletal and hepatobiliary disease. *Clinical Biochemistry*. 5: 201-207. 1972.
- Lushchak V.I.: Oxidative stress as a component of transition metal toxicity in fish. In: Svensson, E.P.(Ed). *Aquatic Toxicology Research Focus*. Nova Science Publishers Inc, Hauppauge, NY: pp. 1-29. 2008.
- Lushchak, O.V., Kubrak, O.I., Nykorak, M.Z., Storey, K.B., Lushchak, V.I.: The effect of potassium dichromate on free radical processes in goldfish: possible protective role of glutathione. *Aquat. Toxicol.* 87: 108-114. 2008.
- Lushchak, V.I.: Oxidative stress as a component of transition metal toxicity in fish. In: Svensson, E.P. (Ed.), *Aquatic Toxicology Research Focus*. Nova Science Publishers Inc., Hauppauge, NY, USA: 1-29. 2008.
- Nash, C.E. and Z.H. Shehaden.: Review of breeding and propagation techniques for grey mullet, *Mugil cephalus*. *ICLARM Studies and Reviews* 3, Int. Cent. Living Aquatic Resources Management, Manila, 87. 1980.
- Nath, K. and Kumar, N.: Effects of hexavalent chromium on the carbohydrate metabolism of a freshwater tropical teleost *Colisa sciatus*. *Bull. Inst. Acad. Sin. (Taipei)* 26: 245-248. 1987.
- Nemcsok J., Boross L.: Comparative studies on the sensitivity of different fish species to metal pollution. *Acta Biol. Hung.* 33: 23-27. 1982.
- Odum, W.E.: Utilization of the direct grazing and plant detritus food chains by the striped mullet, *Mugil cephalus*. *Marine food chains*, 222-240. 1970.
- Patierno, S.R., Banh, D., Landolph, J.R.: Transformation of C3H/10T1/2 mouse embryo cells to focus formation and anchorage independence by insoluble lead chromate but not soluble calcium chromate: relationship to mutagenesis and internalization of lead chromate particles. *Cancer Res.* 48: 5280-5288. 1988.
- Prabakaran M., Binuramesh C., Steinhagen D., Michael R.D.: Immune response and disease resistance of *Oreochromis mossambicus* to *Aeromonas hydrophila* after exposure to hexavalent chromium. *Dis. Aquat. Organ.*, 68: 189-196. 2006.
- Rogers J.T., Richards J.G., Wood C.M.: Ionoregulatory disruption as the acute toxic mechanism for lead in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Toxicology* 64: 215-234. 2003.
- Thomson, J.M.: Synopsis of biological data on the grey mullet, *Mugil cephalus*. *Fish. Synop. Div. Fish. Oceanogr. C.S.I.R.O. Australia*, (1). 1963.
- Thomson, J.M.: The grey mullets. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 4: 301-305. 1968.
- Towill L.E.: Reviews of the Environmental Effects of Pollutants: III, Chromium. EPA-600/1-78-023 and ORNL/EIS-80: 12-17. 1978.
- Valko, M., Morris, H., Cronin, M.T.: Metals, toxicity and oxidative stress. *Curr. Med. Chem.* 12:

1161-1208. 2005.
von Burg, R., Liu, D.: Chromium and hexavalent chromium. J. Appl. Toxicol. 13: 225-230. 1993.
Wang, S., Leonard, S.S., Ye, J., Gao, N., Wang, L., Shi, X.: Role of reactive oxygen species and Cr(VI) in Ras-mediated signal transduction. Mol. Cell. Biochem. 255: 119-127. 2004.

Waring C.P., Stagg R.M., and Poxton M.G.: Physiological responses to handling in the turbot. J. Fish Biol. 48: 161-173. 1996.

Manuscript Received : May 06, 2013

Revised : July 24, 2013

Accepted : August 07, 2013