

# 부유사 농도에 따른 넙치와 조피볼락의 생리학적 특성

손하정 · 최광민 · 강경식 · 우원식 · 김경호 · 손민영 · 주민수<sup>1</sup> · 박찬일\*

경상국립대학교 해양생명과학과, <sup>1</sup>국립수산과학원 동해수산연구소 양식산업과

**Physiological Characteristics of Olive Flounder (*Paralichthys olivaceus*) and Korean Rockfish (*Sebastes schlegelii*) According to the Concentration of Suspended Load by Ha-Jeong Son, Kwang-Min Choi, Gyoungsik Kang, Won-Sik Woo, Kyung-Ho Kim, Min Yong Sohn, Min-Soo Joo<sup>1</sup> and Chan-Il Park\*** (Department of Marine Biology Aquaculture and Life Sciences/Marine Bio-Education & Research Center, College of Marine Science, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea; <sup>1</sup>East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung-si 25435, Republic of Korea)

**ABSTRACT** After exposing Olive flounder and Korean rockfish to the concentration ranges of control (0 mg/L), 100 mg/L, 250 mg/L, 500 mg/L, and 1,000 mg/L, to investigate the physiological properties of suspended load on fish AST/GOT, ALT/GPT, ALP and cortisol were analyzed. As a result of the analysis, the AST/GOT, ALT/GPT, ALP and cortisol values were higher in the suspended load concentration section than in the control group. After artificial infection with *S. parauberis* for Olive flounder and *V. harveyi* for Korean rockfish exposed to suspended load, the survival rate was higher in the control group than in the suspended load concentration section. These results are related to the previously study results of suspended load that adversely affect fish, suggesting that suspended load affects the health of fish.

**Key words:** Suspended load, AST/GOT, ALT/GPT, ALP, physiological change

## 서 론

항만 및 연안개발사업에 포함되는 방파제 축조 및 매립 등 다양한 공사는 주변해역의 해수 유동 및 퇴적 환경의 변화를 유발하며 연안 생태 환경에 큰 변화를 초래할 수 있다(Yoon and Park, 2011). 이때 발생하는 부유사는 해수 유동으로 운반되는 작은 입자(일반적으로 63  $\mu\text{m}$  이하 입경의 실트와 점토)의 부유물을 말하며 이는 어류의 아가미 조직을 변형시켜 산소공급을 방해하거나 원생생물 및 세균 등에 의해 질병을 유발시키기도 한다(Baba *et al.*, 2006; Shin *et al.*, 2008). 또한 부유사가 증가하면 어류는 성장률 저하, 생리적 장애, 질병 저항력 약화 등 직접적인 피해를 입게 되며, 더 나아가 플랑크톤 발생 및 부착성 어란의 폐사와 부화 자어의 서식환경을 악화시켜 결국에는

생태계에 부정적 영향을 미치게 된다(Haney *et al.*, 1992). 이렇듯 과학기술이 발전함에 따라 항만 및 연안 개발사업도 급증하여 부유사로 인한 생태계 파괴 문제가 대두되고, 그에 따라 해양 생물에 미치는 영향도 커져가고 있는데 이를 대변할 수 있는 연구는 부족한 실정이다. 지금까지 부유사에 의한 해양생물의 영향 연구는 영양염류 관계, 어류의 먹이 생물 그리고 어류 생식소 발달 등이 진행되었지만(Maeng *et al.*, 2021) 부유사에 노출된 어류의 생리학적 관점에서의 혈청성분 변화와 스트레스 호르몬 변화를 파악하는 연구는 미비할 뿐만 아니라 종마다 유전적 차이로 인해 민감도가 달라 정확한 피해를 알기 어려운 실정이다(Waters, 1995; Mohammed *et al.*, 2009).

이전 연구에 따르면 해양생물 중 이동범위가 넓은 종은 급작스럽게 바뀌는 외부 자극에 크게 반응하지 않는 반면 이동범위가 상대적으로 작은 저서생물은 스트레스를 받게 되어 건강도가 악화되고, 심하면 폐사에 이르기까지 한다고 보고되어진 바 있다(Popper *et al.*, 2004).

따라서 이번 연구에서는 우리나라 전 연안에 분포하며 정착

저자 직위: 손하정(대학원생), 최광민(연구원), 강경식(연구원), 우원식(대학원생), 김경호(대학원생), 손민영(대학원생), 주민수(해양수산연구소), 박찬일(교수)

\*Corresponding author: Chan-Il Park Tel: 82-55-772-9153,  
E-mail: [vinus96@hanmail.net](mailto:vinus96@hanmail.net)

성 어종인 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)와 조피볼락 (*Sebastes schlegeli*)을 대상으로 부유사 농도에 따른 혈청성분 변화와 cortisol 변화를 파악하고, 질병 저항성에 있어 부유사가 미치는 영향을 확인하기 위해 넙치에는 *Streptococcus parauberis* (*S. parauberis*), 조피볼락에는 *Vibrio harveyi* (*V. harveyi*)를 인위감염시킨 후 생존율을 확인하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 부유사 농도에 따른 혈액성분 변화와 스트레스 호르몬 변화

#### 1) 실험어 준비 및 부유사 제조

실험어는 경상남도 통영시의 사설 양식장으로부터 체장  $18.6 \pm 1.3$  cm, 체중  $48.1 \pm 2.2$  g인 넙치와 체장  $18.2 \pm 0.8$  cm, 체중  $76.8 \pm 1.4$  g인 조피볼락을 제공받아 200 L 정수식 수조에  $20^\circ\text{C}$ 에서 2주간 순치한 뒤 실험에 사용하였다.

실험에 사용되는 부유사는 실험실로 옮긴 후  $63 \mu\text{m}$  채반에 통과된 샘플만 실험에 사용하였으며, 부유사 농도 구간은 대조구, 100 mg/L, 250 mg/L, 500 mg/L, 1,000 mg/L로 나누어 실험을 수행하였다. 각 실험 수조에 넙치와 조피볼락을 40개체씩 분주하고, 노출시킨 토사를 부유시키기 위해 수중모터를 사용하였다. 실험 기간 중 환수는 매일 50% 해주었으며 환수 시 유실된 부유사는 다시 첨가해주었다.

#### 2) 샘플링 및 혈청분리

부유사가 어류에 미치는 혈청성분 분석과 cortisol 변화를 확인하기 위해 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12일째에 무작위로 넙치와 조피볼락을 각각 3개체씩 선정하여 Benzocain (Sigma, St. Louis, MO, USA)으로 마취하고, 채혈하였다. 채혈 후 혈청분리를 위해  $4^\circ\text{C}$  냉장실에서 overnight하였고, 25,000 rpm에서 20분간 원심분리하였다. 분리된 혈청은 혈청성분 분석용과 cortisol 분석용으로 나누어 실험에 사용하기 전까지  $-80^\circ\text{C}$ 에 보관하였다.

#### 3) 혈청성분 분석

부유사가 어류에 미치는 혈청성분을 분석하기 위해 건식생화학분석기 (FUJI DRI-CHEM 4000i; Fuji, Japan)를 이용하여 분리한 혈청으로부터 glutamic-oxaloacetic acid transaminase (ALT/GOT), glutamic-pyruvic acid transaminase (AST/GPT), alkaline phosphatase (ALP)를 측정하였다.

#### 4) Cortisol 분석

부유사가 어류에 미치는 cortisol 변화를 확인하기 위해 Oxford Biomedical Research cortisol kit (Oxford, Michigan, USA)를 이용하여 protocol에 따라 cortisol 분석을 수행하였다.

간단히 말하면 준비된 혈청 100  $\mu\text{L}$ 에 ethyl ether 1 mL를 첨

가하였고, vortexing한 뒤 15분간  $-81^\circ\text{C}$  반응시킨 후 상청액만 새로운 e-tube에 옮겨 진공농축기에서 e-tube에 액체가 모두 증발할 때까지 반응하였다. 액체가 모두 증발된 e-tube에 extraction buffer를 100  $\mu\text{L}$  첨가하여 희석한 후 희석한 용액 10  $\mu\text{L}$ 를 extraction buffer 990  $\mu\text{L}$ 와 함께 새로운 e-tube에 분주하였고, vortexing하였다. 그 후 96-well plate에 standard 8개와 샘플 (희석 용액 10  $\mu\text{L}$  + extraction buffer 990  $\mu\text{L}$ )을 50  $\mu\text{L}$ 씩 분주하였고, conjugate 시약을 50  $\mu\text{L}$  첨가한 후 실온에서 1시간 반응하였다. 반응하고, wash buffer 200  $\mu\text{L}$ 를 샘플이 들어있는 plate에 3번 첨가 후 바로 제거해준 다음 TMB substrate를 150  $\mu\text{L}$ 씩 첨가하였으며, 실온에서 30분 반응한 뒤 1 N HCl을 첨가한 후 450 nm에서 흡광도를 측정하였다.

#### 5) 통계분석

모든 실험은 정확성을 위해 3 반복 수행하였고, 모든 데이터는 평균  $\pm$  표준편차로 표현하였다. 그룹 간의 유의성은 SPSS 통계 프로그램 (SPSS Inc.)을 이용하여 ANOVA test를 실시하였고, 사후 검정으로 Duncan's multiple range test를 통해  $p < 0.05$  일 때 유의성이 있는 것으로 간주하였다.

### 2. 인위감염 후 부유사 농도에 따른 생존율

#### 1) 인위감염 전 일주일간 부유사에 넙치와 조피볼락 노출

실험어 및 실험구조는 상기에 언급한 '1. (1)의 실험어 준비 및 부유사 제조'와 동일하며, 넙치와 조피볼락을  $20^\circ\text{C}$  수조에 20개체씩 각 수조에 분주하였다.

#### 2) 균주 준비 및 인위감염

인위감염을 위해 보관 중이던 *S. parauberis* KSP28과 *V. harveyi* KCCM40866 표준 균주를 Brain Heart Infusion Agar (최종 염분농도, 1.5%; BHIA, Difco)에 도말하여  $27^\circ\text{C}$ 에서 배양하였다. 배양된 균은 상기와 같은 동일한 조건에서 계대 배양하여 실험에 사용하였다 (Choi *et al.*, 2009).

부유사에 1주일 노출시킨 후 생존한 대조구, 100 mg/L, 250 mg/L, 500 mg/L, 1,000 mg/L 그룹의 넙치 복강에 *S. parauberis* ( $5 \times 10^6$  CFU/fish)를 인위감염시키고, 조피볼락의 복강에는 *V. harveyi* ( $5 \times 10^6$  CFU/fish)를 인위감염시켰다. 병원체의 활성을 위해 인위감염 후 하루에  $1^\circ\text{C}$ 씩 가온하고, 매일 폐사 개체를 확인하였다.

## 결 과

### 1. 부유사 농도별 노출에 따른 넙치 혈청성분 분석

부유사 농도별 노출에 따른 넙치의 AST/GOT는 1일차에 대조구와 부유사 그룹 간의 유의적 차이를 보이지 않았으나 2일차

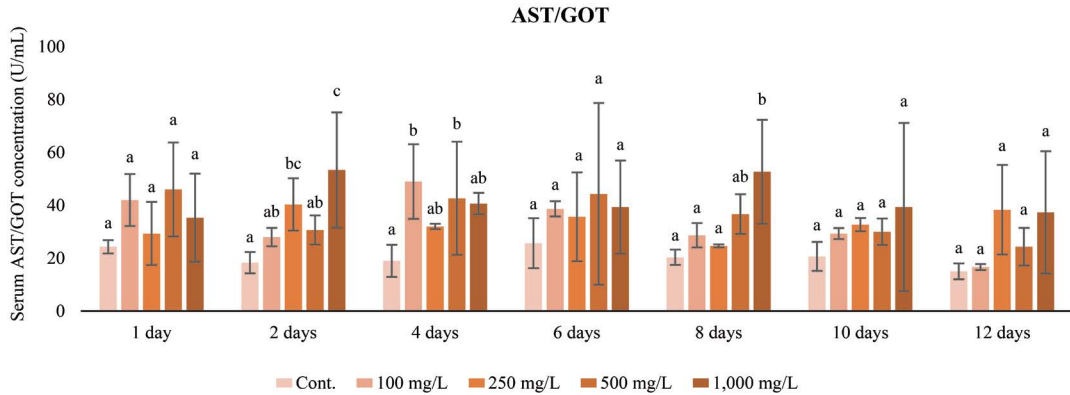


Fig. 1. Serum (AST/GOT) changes in *Paralichthys olivaceus* for 12 days after exposure to suspended load.

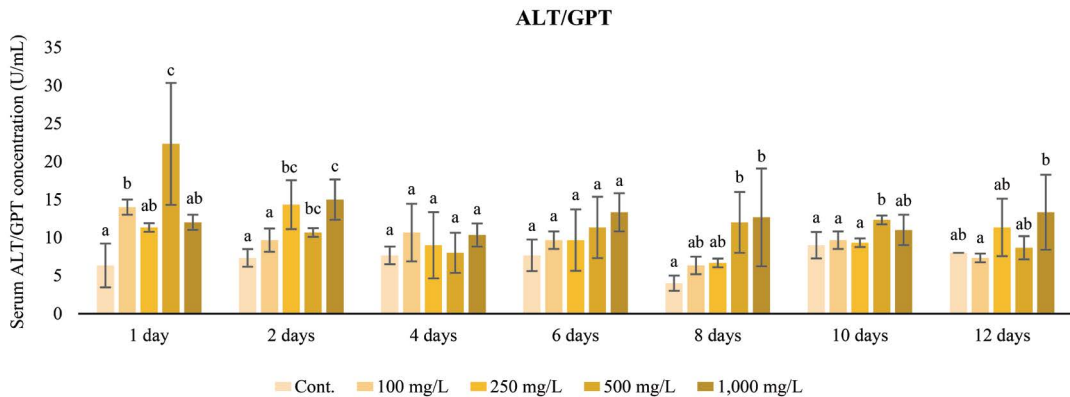


Fig. 2. Serum (ALT/GPT) changes in *Paralichthys olivaceus* for 12 days after exposure to suspended load.

에는 대조구를 기준으로 250 mg/L, 1,000 mg/L 구간에서 유의적으로 증가하였으며, 4일차에는 100 mg/L과 500 mg/L 구간에서 유의적으로 증가하였다. 6일차에는 대조구와 부유사 그룹 간의 유의적 차이를 보이지 않았으며 8일차에는 고농도인 1,000 mg/L 구간에서 유의적으로 증가하였다. 10일차와 12일차에는 다시 대조구와 부유사 그룹 간의 유의적 차이를 보이지 않았다 (Fig. 1).

넙치의 ALT/GPT는 1일차에 대조구를 기준으로 100 mg/L과 500 mg/L에서 유의적으로 증가하였으며, 2일차에는 250 mg/L, 500 mg/L, 1,000 mg/L 구간에서 유의적으로 증가하였다. 4일차와 6일차에는 대조구와 부유사 그룹 간의 유의적 차이를 보이지 않았으며 8일차에는 고농도인 500 mg/L과 1,000 mg/L 구간에서 유의적으로 증가하였다. 10일차에는 500 mg/L 구간에서 유의적으로 증가하였으며, 12일차에는 대조구와 부유사 그룹 간의 유의적 차이를 보이지 않았다 (Fig. 2).

넙치의 ALP는 1일차에 대조구보다 100 mg/L, 500 mg/L, 1,000 mg/L 부유사 그룹에서 유의적으로 증가하였으나 2일차부터 6일차까지 대조구와 부유사 그룹 간의 유의적인 차이를 보

이지 않았다. 그 후 8일차에는 대조구보다 고농도인 1,000 mg/L 그룹에서 유의적으로 증가하였고, 10일차에는 대조구보다 250 mg/L과 500 mg/L 구간에서 유의적으로 증가하였다. 12일차에는 대조구와 부유사 그룹 간의 유의적인 차이가 나타나지 않았다 (Fig. 3).

## 2. 부유사 농도별 노출에 따른 조피볼락 혈청성분 분석

부유사 농도별 노출에 따른 조피볼락의 AST/GOT는 1일차와 2일차에 대조구보다 부유사 그룹 모두에서 유의적으로 증가하였으며, 4일차에는 250 mg/L 구간을 제외하고, 모든 부유사 구간에서 대조구보다 유의적으로 증가하였다. 6일차에는 대조구와 부유사 그룹 간의 유의적인 차이를 보이지 않았지만 8일차에는 100 mg/L과 250 mg/L 구간에서 유의적으로 증가하였고, 10일차에는 다시 대조구보다 모든 부유사 구간에서 유의적으로 증가하였다. 실험종료인 12일차에는 대조구보다 100 mg/L과 500 mg/L 부유사 구간에서 유의적으로 증가한 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 4).

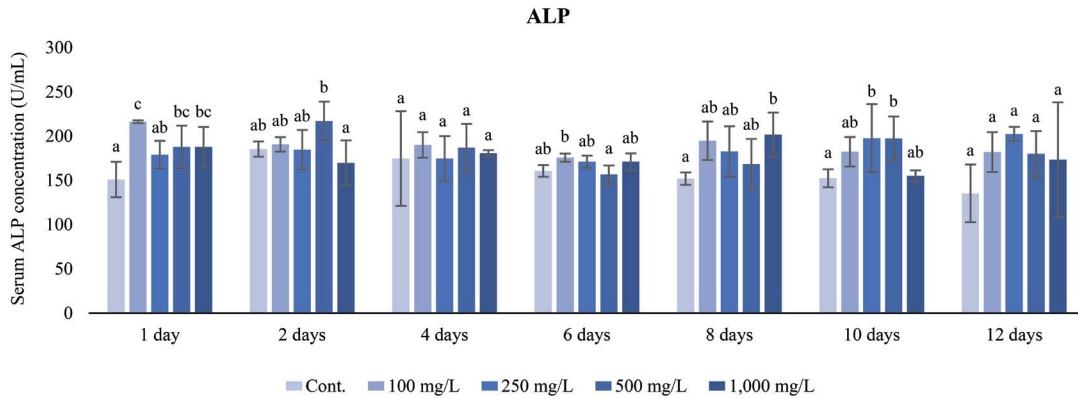


Fig. 3. Serum (ALP) changes in *Paralichthys olivaceus* for 12 days after exposure to suspended load.

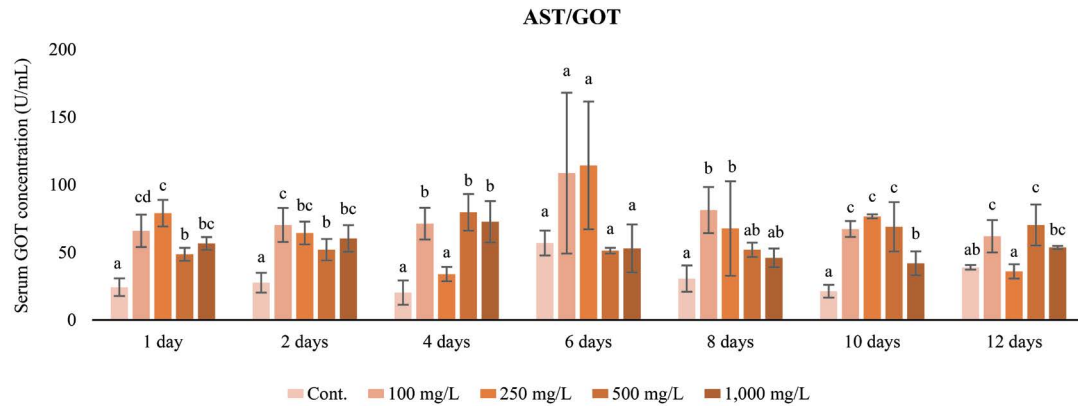


Fig. 4. Serum (AST/GOT) changes in *Sebastes schlegelii* for 12 days after exposure to suspended load.

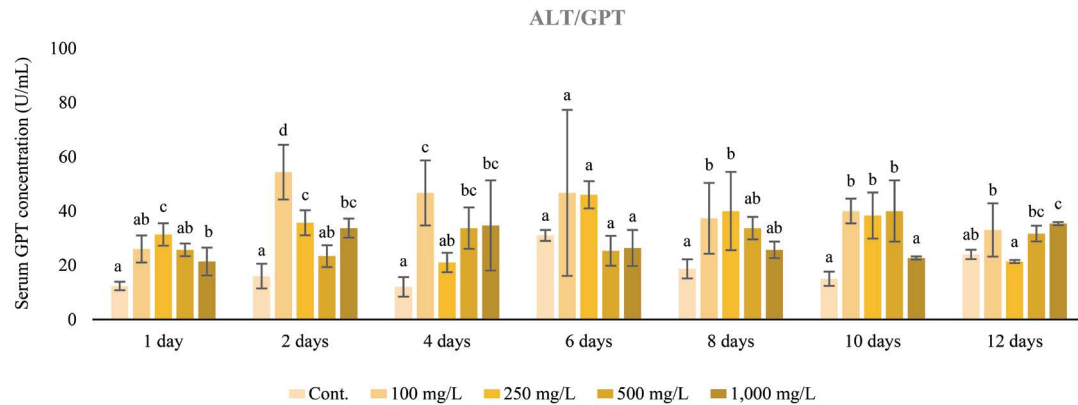


Fig. 5. Serum (ALT/GPT) changes in *Sebastes schlegelii* for 12 days after exposure to suspended load.

조피볼락의 ALT/GPT는 1일차에 대조구보다 부유사 그룹에서 유의적으로 증가하였으며, 2일차에는 500 mg/L 구간을 4일차에는 250 mg/L 구간을 제외한 모든 부유사 구간에서 대조구보다 유의적으로 증가하였다. 6일차에는 대조구와 모든 부유사 그룹 간에 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 8일차에는 고농

도인 500 mg/L와 1,000 mg/L를 제외한 부유사 그룹에서 유의적으로 증가하였으며, 10일차에는 1,000 mg/L를 제외한 부유사 그룹에서 유의적으로 증가하였다. 실험종료인 12일차에는 250 mg/L 구간을 제외한 부유사 그룹이 대조구보다 유의적으로 증가한 것을 확인할 수 있었다(Fig. 5).

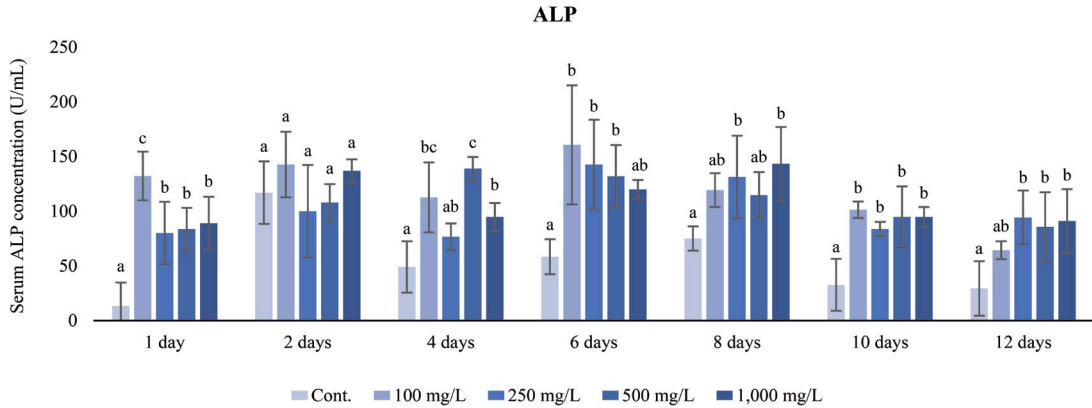


Fig. 6. Serum (GPT) changes in *Sebastes schlegelii* for 12 days after exposure to suspended load.

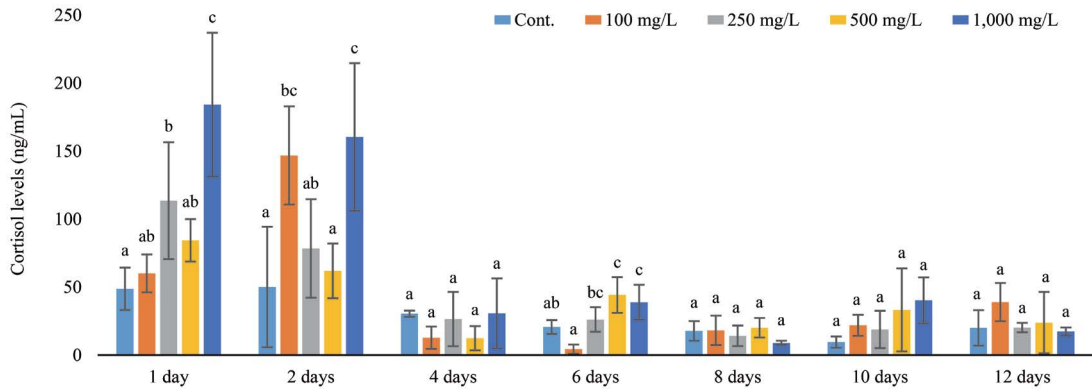


Fig. 7. Cortisol changes in *Paralichthys olivaceus* for 12 days.

조피볼락의 ALP는 1일차에 대조구보다 부유사 그룹에서 유의적으로 증가하였으나 2일차에는 대조구와 부유사 그룹 간의 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그 후 4일차에는 대조구보다 100 mg/L, 500 mg/L, 1,000 mg/L 그룹에서 유의적으로 증가하였고, 6일차에는 대조구보다 1,000 mg/L 구간을 제외한 부유사 구간에서 증가하였다. 8일차에는 250 mg/L와 1,000 mg/L 구간에서 증가하였으며, 10일차에는 모든 부유사 구간에서 대조구보다 증가하였다. 마지막으로 12일차에는 부유사 구간 중 가장 낮은 농도인 100 mg/L을 제외하고, 모든 부유사 구간에서 대조구보다 증가하였다(Fig. 6).

### 3. 부유사 농도별 노출에 따른 넙치 cortisol 분석

부유사 농도별 노출에 따른 넙치의 cortisol은 비교적 실험 초기인 1일차와 2일차에 모든 실험구에서 수치가 높았으나, 4일차부터 cortisol이 대조구를 포함한 모든 그룹에서 안정화된 것을 확인할 수 있었다. 1일차에는 대조구를 기준으로 250 mg/L와 1,000 mg/L 부유사 그룹에서 유의적으로 증가하였으며, 2일차는 100 mg/L와 1,000 mg/L 부유사 그룹에서 유의적으로 증가

하였다. 그 후 대조구와 부유사 그룹 간의 유의적인 차이를 보이지 않다가 6일차에 고농도인 500 mg/L와 1,000 mg/L에서 증가한 후 실험종료인 12일차까지 대조구와 부유사 그룹 간의 유의적인 차이를 보이지 않았다(Fig. 7).

### 4. 부유사 농도별 노출에 따른 조피볼락 cortisol 분석

부유사 농도별 노출에 따른 넙치의 cortisol은 비교적 실험 초기인 1일차~4일차에 모든 실험구에서 수치가 높았으나, 6일차부터 cortisol이 대조구를 포함한 모든 그룹에서 안정화된 것을 확인할 수 있었다. 1일차는 대조구를 기준으로 고농도인 500 mg/L와 1,000 mg/L 부유사 그룹에서 유의적으로 증가하였으며, 2일차부터 10일차까지는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 마지막으로 실험종료일 12일차에는 250 mg/L와 1,000 mg/L 부유사 그룹에서 유의적으로 증가하였다(Fig. 8).

### 5. 부유사 농도별 노출에 따른 넙치와 조피볼락 생존율

부유사 농도별 노출 후 넙치는 실험종료 시까지 폐사하지 않

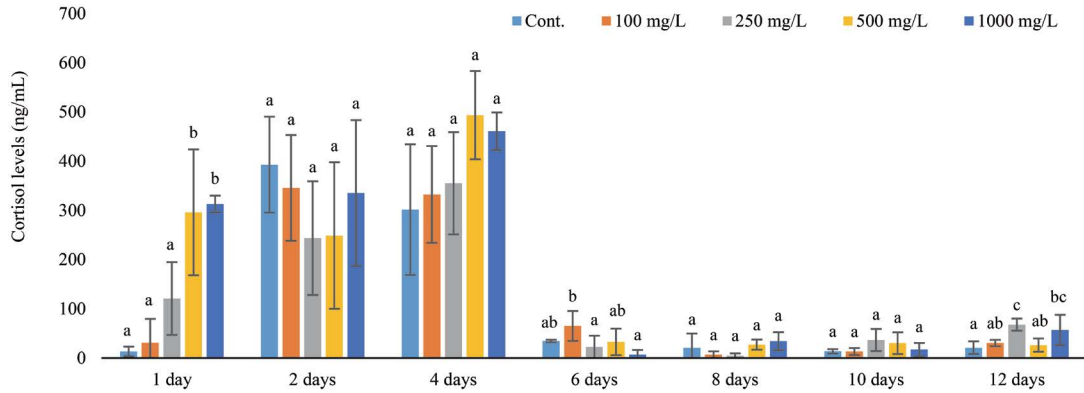


Fig. 8. Cortisol changes in *Sebastes schlegelii* for 12 days.

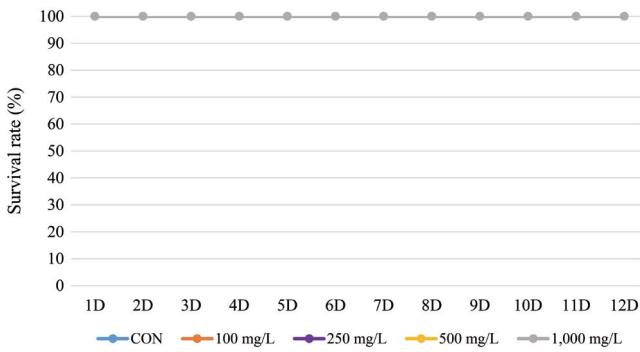


Fig. 9. Survival rate of *Paralichthys olivaceus* in 12 days.

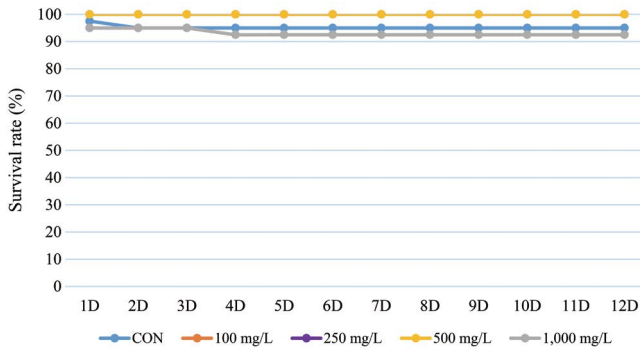


Fig. 10. Survival rate of *Sebastes schlegelii* in 12 days.

았으나, 조피볼락은 1일차에 대조구와 1,000 mg/L 구간에서 각각 1개체씩 폐사하였으며, 2일차에도 같은 구간에서 각각 1개체씩 폐사하였다. 4일차에는 1,000 mg/L 구간에서 1개체가 폐사하였다(Fig. 9 and 10).

### 6. 인위감염 후 넙치와 조피볼락 생존율

부유사에 일주일간 노출시킨 넙치에 준비된 *S. parauberis* ( $5 \times 10^6$  CFU/fish)를 인위감염 후 6일차까지는 모든 그룹에서

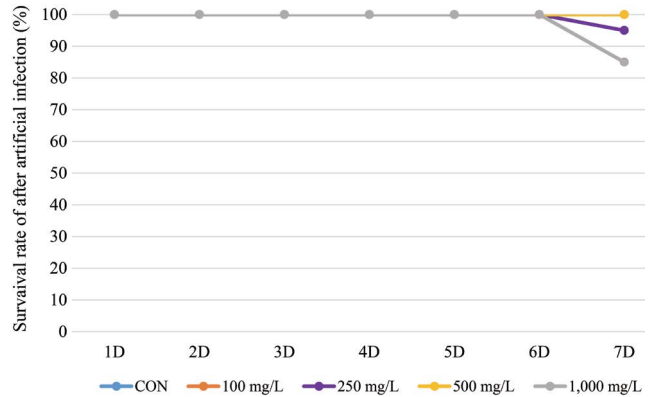


Fig. 11. *Paralichthys olivaceus* survival rate after *S. parauberis* artificial infection.

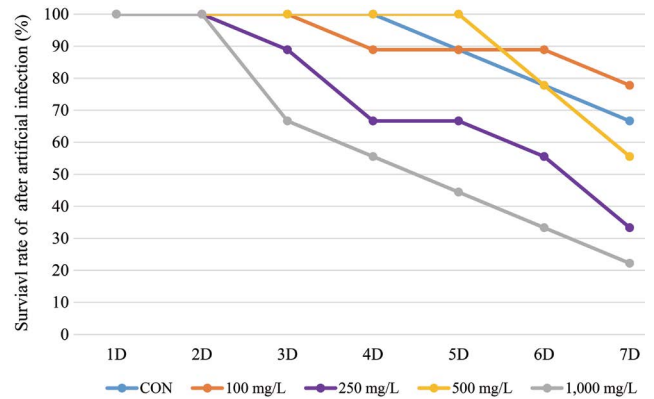


Fig. 12. *Sebastes schlegelii* survival rate after *V. harveyi* artificial infection.

폐사하지 않았으나 마지막 7일차에 250 mg/L에서 1개체, 1,000 mg/L에서 3개체가 폐사하였다(Fig. 11).

부유사에 일주일간 노출시킨 조피볼락에 준비된 *V. harveyi* ( $5 \times 10^6$  CFU/fish)를 인위감염 후 2일차까지는 모든 그룹에서

폐사하지 않았으나 3일차에 250 mg/L에서 1개체, 1,000 mg/L에서 3개체가 폐사하였으며, 4일차에 100 mg/L에서 1개체, 250 mg/L에서 2개체, 1,000 mg/L에서 1개체가 폐사하였다. 5일차에는 대조구와 1,000 mg/L에서 각각 1개체씩 폐사하였으며, 6일차에는 대조구와 250 mg/L에서 각각 1개체, 500 mg/L에서 2개체, 1,000 mg/L에서 1개체가 폐사하였다. 마지막 7일차에는 대조구와 100 mg/L에서 각각 1개체, 250 mg/L과 500 mg/L에서 2개체, 1,000 mg/L에서 1개체가 폐사하였다(Fig. 12).

## 고 찰

부유사 중 특히 5~10  $\mu\text{m}$  정도의 미세한 입자는 어류 건강도에 해로운 영향을 미칠 뿐만 아니라(Chapman *et al.*, 1987; Chen and Malone, 1991) 스트레스를 높인다(Lake and Hinch, 1999; Sutherland *et al.*, 2008; Awata *et al.*, 2011). 이러한 직접적인 영향 외에도 부유사가 수질을 악화시켜 암모니아나 아질산염과 같은 유해물질을 증가시킬 수 있어(Chen *et al.*, 2003) 부유사가 해양생물에 부정적인 영향을 일으킬 수 있다. 특히 어류가 오염물질에 노출되었을 때 혈액의 구성성분이 변하게 되는데, 이러한 혈액 성상으로 어류의 만성적인 생리적 장애 수준을 파악할 수 있다(Khattak and Hafeez, 1996).

AST/GOT, ALT/GPT, ALP는 조직에서 세포 괴사 후 산 및 알칼리 인산분해 효소가 혈액으로 침투하기 때문에 간 및 신장 손상을 평가하는 데 사용되는 지표이다(Oost *et al.*, 2003). 또한 상승된 효소 혈장 성분은 세포 손상에 대한 민감도 있는 결과 값으로 사용되어진다(Oost *et al.*, 2003). 이번 연구에서 부유사 노출 후 넙치와 조피볼락의 AST/GOT, ALT/GPT, ALP를 분석한 결과 넙치와 조피볼락 두 어군에서 모두 대조구보다 부유사가 노출된 실험구에서 AST/GOT, ALT/GPT, ALP가 상승한 것을 확인한 바 부유사가 간 및 신장 손상에 영향을 준 것으로 판단된다. AST/GOT의 최고 값은 조피볼락의 실험구보다 넙치의 실험구에서 더 높았으며, ALT/GPT의 최고 값은 조피볼락에서, ALP 최고 값은 넙치에서 더 높았다. 이렇게 간 및 신장 손상을 평가하는 지표더라도 차이를 보이는데, 이는 표준화되어 있는 포유동물의 혈액 분석학과 달리 어류는 어종별로 표준화된 정상범위나 분석 방법이 정의되어 있지 않고, 크기에 따라서도 매우 다양한 수치를 보이기 때문에(Jeon *et al.*, 1995) 개체별 혈청성분 분석 값이 일정하지 않아 차이를 보이는 것으로 생각된다. 실험 기간 중 폐사한 넙치와 조피볼락은 부유사가 환경적 요인에 대한 반응을 조기에 반영하는 호흡기관에 영향을 주어 폐사한 것으로 사료되나 이번 연구로써 이를 단정지을 수는 없으며, 추후 부유사의 영향을 받은 아가미 조직병리학적 실험이 이루어져야 이를 뒷받침할 수 있을 거라 판단된다.

Cortisol은 어류가 스트레스를 받게 되면 1차적으로 신경계

와 내분비계가 자극을 받아 과다분비를 일으키는 호르몬으로 알려져 있다(Mazeaud *et al.*, 1977). 일반적으로 어류는 스트레스에 노출되고, 0.5~1시간 후에 가장 높은 수치를 보이며, 급성 스트레스에 의해 증가된 cortisol의 농도는 보통 6~24시간 후 회복된다고 알려져 있다(Bonga, 1997; Ortuno *et al.*, 2001). 이와 유사하게 이번 연구에서도 부유사 노출 후 넙치와 조피볼락의 cortisol 농도가 실험 초기에 그룹 간 유의적인 차이를 보이다가 실험이 진행될수록 안정화되는 것을 확인할 수 있었으며, 특히 대조구에서 급증한 cortisol은 실험 수행을 위해 사용된 수중모터로 인한 급성 스트레스 값으로 판단된다. 조피볼락의 경우 넙치 실험구에서보다 cortisol 값이 비교적 높았으며, cortisol 회복 시기도 더딘 것을 확인할 수 있었는데 이는 저서성 어류인 넙치에 비해 조피볼락이 더 활발한 유영활동으로 수중모터 등 외부자극에 더 민감했던 것으로 생각된다. 이번 연구 결과와 유사하게 은어(*Plecoglossus altivelis*)에 부유사를 노출시켰을 때 cortisol이 증가되었다는 이전 연구가 있었으며(Awata *et al.*, 2011), 이러한 이전 결과와 더불어 이번 연구 결과에서도 부유사가 어류에 스트레스를 야기시키는 물질로 시사된다. 부유사 농도별 노출 후 생존율은 조피볼락보다 넙치에서 더 높았는데 이는 넙치가 부유성 어류에 비해 유영능력이 떨어질 뿐만 아니라 기질에 파묻혀 장기간 머물 수 있는 생태적 특성 때문에(Yoon and Park, 2011) 부유물질에 대한 내성이 있는 것으로 판단되며, 조피볼락의 경우 이전 연구에서 고령토 110 mg/L에서 회피 반응이 관찰되었으나(Yoon and Park, 2011) 이번 연구에서는 한정된 수조 내에서 부유사 노출을 수행하였기 때문에 조피볼락의 회피 반응에 제한이 있어 폐사되었을 것으로 판단된다. 부유사 노출에 따른 인위감염 후 생존율은 두 어군 모두 가장 높은 부유사 농도 구간인 1,000 mg/L에서 낮은 생존율을 보였다. 이러한 결과는 부유사가 증가함에 따라 어류의 질병 저항력 약화가 된다는 이전 연구와 연관되며, 아가미에 부유사가 가득 차 호흡율이 감소하게 되어 인위감염 후 건강도에 영향을 미쳐 어류의 2차 병변의 원인이 될 수 있음을 시사한다(Haney *et al.*, 1992; Landberg, 1993; Kim *et al.*, 2002). 부유사 노출에 따른 어류 면역능력에 대한 연구로 이전에 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*)에서의 lysozyme, IgM의 증가 등이 있었다(Dominguez *et al.*, 2004, 2005). 하지만 이번 연구에서는 인위감염 후 생존율만 확인하였기 때문에 부유사가 어류 건강도에 미치는 영향과 면역학적 관점에서 부정적인 영향을 단정지을 수 없으며, 추후에 부유사 노출 후 면역관련 유전자 분석 및 lysozyme, IgM 분석 등 다양한 면역학적 관점에서의 추가 실험이 이루어진다면 부유사 노출에 따른 어류 면역능력에 대한 참고 자료가 될 수 있을 것이다. 결과적으로 이번 연구를 통해 부유사 노출이 어류의 혈액성분(AST/GOT, ALT/GPT, ALP)과 cortisol 호르몬에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었으며, 또한 병원체 감염으로 인한 면역력 저하 상태일 때 부유사에 노출

되게 되면 질병 저항성이 약해져 더 빠른 폐사가 일어난다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 이번 연구 결과는 지금까지 상대적으로 미비했던 '부유사 노출이 해양생물에 미치는 영향'에 대한 기초자료로써 쓰일 수 있을 것으로 생각된다.

## 요 약

부유사가 어류에 미치는 생리학적 특성을 알아보기 위해 대조구(0 mg/L), 100 mg/L, 250 mg/L, 500 mg/L, 1,000 mg/L인 농도 구간에 넙치와 조피볼락에 노출시킨 후 AST/GOT, ALT/GPT, ALP와 cortisol을 분석하였다. 분석 결과 부유사 농도 구간에서 AST/GOT, AL T/GPT, ALP와 cortisol 값이 대조구에서 보다 높게 나타났다. 부유사에 노출된 넙치에는 *S. parauberis*, 조피볼락에는 *V. harveyi*를 인위감염하였을 때 생존율은 부유사 농도 구간에서보다 대조구에서 더 높게 나타났다. 이러한 결과는 이전에 연구되었던 부유사가 어류에 악영향을 미친다는 결과와 연관되어지며, 어류의 건강도에 부유사가 영향을 주는 것으로 시사된다.

## 사 사

이 논문은 2022년도 경상국립대학교 연구년제연구교수 연구 지원비에 의하여 수행된 연구입니다.

이 논문은 2022년도 국립수산물과학원 수산시험연구사업 (R2022003)의 지원으로 수행된 연구입니다.

## REFERENCES

- Agrahari, S., K.C. Pandey and K. Gopal. 2007. Biochemical alteration induced by monocrotophos in the blood plasma of fish, *Channa punctatus* (Bloch). *Pestic. Biochem. Physiol.*, 88(3): 268-272. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2007.01.001>.
- Awata, S., T. Tsuruta, T. Yada and K. Iguchi. 2011. Effects of suspended sediment on cortisol levels in wild and cultured strains of ayu *Plecoglossus altivelis*. *Aquaculture*, 314: 115-121. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.01.024>.
- Baba, Y., K. Kawana, T. Handa, N. Iwata and K. Namba. 2006. Ecophysiological effects of suspended solids on fish-effects of smectite on the survival of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 72(3): 408-413. <https://doi.org/10.2331/suisan.72.408>.
- Bonga, S.E.W. 1997. The stress response in fish. *Physiol. Rev.*, 77: 591-625. <https://doi.org/10.1152/physrev.1997.77.3.591>.
- Champman, P.M., J.D. Popham, J. Griffin, D. Leslie and J. Michaelson. 1987. Differentiation of physical from chemical toxicity in solid waste fish bioassays. *Water Air Soil Pollut.*, 33: 295-308. <https://doi.org/10.1007/BF00294198>.
- Chen, S. and R.F. Malone. 1991. Suspended solids control in recirculating aquacultural systems, in: engineering aspects of intensive aquaculture. *Dev. Aquacult. Fish. Sci.*, 170-186.
- Chen, Y.S., M.C.M. Beveridge, T.C. Telfer and W.J. Roy. 2003. Nutrient leaching and settling rate characteristics of the faeces of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and the implications for modelling of solid waste dispersion. *J. Appl. Ichthyol.*, 19: 114-117. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2003.00449.x>.
- Choi, H.J., M.Y. Cho, J.I. Lee, M.G. Kwon, D.L. Choi, J.W. Kim, M.C. Han and D.C. Lee. 2009. The pathogenicity of *Streptococcus parauberis* isolated from cultured olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. Fish. Pathol.*, 22(3): 263-273.
- Dominguez, M., A. Takemura and M. Tsuchiya. 2005. Effects of changes in environmental factors on the non-specific immune response of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquac. Res.*, 36: 391-397. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01220.x>.
- Dominguez, M., A. Takemura, M. Tsuchiya and S. Nakamura. 2004. Impact of different environmental factors on the circulating immunoglobulin levels in the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 241: 491-500. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.06.027>.
- Haney, D.C., D.A. Hursh, M.C. Mix and J.R. Winton. 1992. Physiological and haematological changes in chum salmon artificially infected with erythrocytic necrosis virus. *J. Aquat. Anim. Health*, 4: 48-57. [https://doi.org/10.1577/1548-8667\(1992\)004<0048:PAHCIC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8667(1992)004<0048:PAHCIC>2.3.CO;2).
- Jeon, J.K., P.K. Kim, Y.J. Park and H.T. Huh. 1995. Study of serum constituents in several species of cultured fish. *J. Korean Fish. Soc.*, 28: 123-130.
- Khattak, I.U.D. and M.A. Hafeez. 1996. Effect of malathion on blood parameters of the fish, *Cyprinion watsoni*. *Pak. J. Zool.*, 28: 45-49.
- Kim, I.S., S.Y. Kim and J.Y. Park. 2002. The abnormal tissues of gill and kidney of crucian carp *Carassius auratus* in the polluted water of Mangyong river, Korea. *Korea. J. Ichthyol.*, 14: 70-75.
- Lake, R.G. and S.G. Hinch. 1999. Acute effects of suspended sediment angularity on juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56: 862-867. <https://doi.org/10.1139/f99-024>.
- Landberg, J.H. 1993. Myxosporean parasites of common snook in Florida. *J. Aqua. Ani. Health*, 5: 102-109. [https://doi.org/10.1577/1548-8667\(1993\)005<0102:MPOCSI>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8667(1993)005<0102:MPOCSI>2.3.CO;2).
- Maeng, J.H., S.D. Kim, C.W. Park and C.G. Sung. 2021. Evaluation of marine organisms effects of suspended sediment through the bioassay. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 24(4): 300-311. <https://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2021.24.4.300>.
- Mazeud, M.M., F. Mazeud and E.M. Donaldson. 1977. Primary and secondary effects of stress in fish: some new data with a general review. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 106: 201-212. [https://doi.org/10.1577/1548-8667\(1977\)106<201:PESEFI>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8667(1977)106<201:PESEFI>2.3.CO;2).



- doi.org/10.1577/1548-8659(1977)106<201:PASEOS>2.0.CO;2.
- Mohammed, A., T. Halfhide and N. Elias-samlalsingh. 2009. Comparative sensitivity of six toxicants of tow life stages of the tropical mysid, *Metamysidopsis insularis* to six toxicants. Toxicol. Environ. Chem., 97(7): 1331-1337. <https://doi.org/10.1080/02772240802608038>.
- Oost, R.V.D., J. Beyer and N.P.E. Vermeulen. 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. Environ. Toxicol. Pharmacol., 13(2): 57-149. [https://doi.org/10.1016/S1382-6689\(02\)00126-6](https://doi.org/10.1016/S1382-6689(02)00126-6).
- Ortuno, J., M.A. Esteban and J. Meseguer. 2001. Effects of short-term crowding stress on the gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) innate immune response. Fish Shellfish Immunol., 28(4): 562-570. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2009.12.006>.
- Popper, A.N., D.T.T. Plachta, D.A. Mann and D. Higgs. 2004. Response of clupeid fish to ultrasound: a review. ICES J. Mar. Sci., 61: 1057-1061.
- Shin, M.J., J.S. Kim, Y.H. Hwang, J.E. Lee and E.W. Seo. 2008. Effect of turbidity changes on tissues of *Zacco koreanus*. Korean J. Limnol., 41(1): 73-80.
- Sutherland, A.B., J. Maki and V. Vaughan. 2008. Effects of suspended sediment on whole-body cortisol stress response of two southern appalachian minnows, *Erimonax monachus* and *Cyprinella galactura*. Copeia, 1: 234-244. <https://doi.org/10.1643/CP-07-092>.
- Waters, T.F. 1995. Sediment in streams: sources, biological effects, and control, American Fisheries Society Monograph 7, Bethesda, U. S. A., 251pp.
- Yoon, S.J. and G.S. Park. 2011. Ecotoxicological effects of the increased suspended solids on marine benthic organism. J. Environ. Sci., 20(11): 1383-1394. <https://doi.org/10.5322/JES.2011.20.11.1383>.