

염화아연 (ZnCl₂) 만성노출에 따른 북방전복, *Haliotis discus hannai*의 조직학적 지표 변화

손맹현, 김병학, 김수지¹, 이정식¹

국립수산과학원 남서해연구소, ¹전남대학교 수산생명의학과

Histological Indicator Change of the Abalone, *Haliotis discus hannai* Chronic Exposed to Zinc Chloride (ZnCl₂)

Maeng-Hyun Son, Byeong-Hak Kim, Suji Kim¹ and Jung Sick Lee¹

Southwest Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea

¹Department of Aqualife Medicine, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to find out concentration of trace metal, survival rate, falling rate and structural changes of abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to zinc chloride. Experimental groups were composed of one control condition and four exposure conditions (0.3, 0.8, 1.3, 1.8 ZnCl₂ mg/L). The accumulation of trace metal (zinc) in abalone was significantly increased all exposure group. Though the exposure groups had lower survival rate than the control group, higher falling rate than the control group. Histopathological changes in the foot, gill and hepatopancreas of abalone revealed obvious with exposure group than control group.

Key words: *Haliotis discus hannai*, zinc chloride (ZnCl₂), histopathology

서 론

토양, 하천, 지하수 및 해양으로 유입된 미량금속은 물에 분해되거나 안정한 화합물로 되지 않은 혼합 상태로 남아 수질과 토양을 오염시킨다. 또한 긴 반감기를 가지며, 먹이사슬을 통한 단계적인 농축으로 상위 포식자인 인간에게까지 영향을 미쳐 성장 지연, 면역력 저하, 소화기관의 질환 및 생식소 발달 저하를 유발한다 (Sorensen, 1991; Prasad, 1996; Cui *et al.*, 1999).

미량금속 중 필수원소에 속하는 아연 (Zn) 은 탄수화물과 지방대사에 관여하며, DNA와 단백질의 구성요소 및 세포분화의 주기 등 다양한 생체 반응에 관여하고 있다 (Wu and Wu, 1987; King *et al.*, 2000). 실생활에서 아연은 철의 부

식 방지를 위해 사용되며, 차량의 도금, 건전지, 선박 및 채묘기에 사용되어 해양에 장기간 방치할 경우 해양 오염원으로 작용하게 된다 (Ku, 2015). 아연에 장기간 노출된 *Tapes semidecussatus*는 생존율과 운동성이 감소되고 라이소솜의 막이 파괴되며, 소화선에서 지방갈색소의 침적이 증가된다 (Byrne and O'Halloran, 2001). 그리고 *Cerastoderma edule*에서는 생식세포의 발달이 억제된다 (Timmermans *et al.*, 1996).

북방전복, *Haliotis discus hannai*는 한국, 중국, 일본 등에서 고부가가치의 양식 대상종으로 생산량이 점차 증가하고 있는 추세이다. 하지만 생산량 증가를 위한 전복 양식 시설의 증가와 집중적이고 반복적인 어장의 이용 등은 어장 환경의 악화와 폐사율 증가 및 생산성 저하 등의 악순환을 일으킨다 (Kim, 2014). 또한 전복은 환경변화에 따라 이동할 수 있는 어류들과는 달리 이동이 매우 제한적이므로 급격한 환경변화에 노출될 경우 많은 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 염화아연 (ZnCl₂) 만성노출에 따른 북방전복의 생존율, 탈락률 및 조직학적인 변화양상을 통해 그 위해성을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

Received: September 11, 2015; Revised: September 22, 2015; Accepted: September 30, 2015

Corresponding author : Suji Kim

Tel: +82 (61) 659-7172 e-mail: vital1008@naver.com
1225-3480/24584

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Quantitative scoring of histological alterations

	None	Mild	Moderate	Severe
Frequency (%)	0	< 30.0	30.1-70.0	70.1-100
Quantitative scoring	-	+	++	+++

1. 재료

실험에 사용된 북방전복, *H. discus hannai*은 각장 33.81 ± 2.31 mm, 전중량 3.71 ± 0.82 g으로 외형적 이상이 없는 300개체를 사용하였다. 북방전복은 실험개시 전 수온 18℃, 염분 32.5 psu 조건에서 2주 동안 순치시킨 후 실험에 사용하였다.

2. 방법

1) 실험조건

본 실험은 OECD test guideline No. 203 (OECD, 1992)을 참고하여 실시하였으며, 반지수식 독성시험 방법을 이용하여 4주 동안 진행하였다. 모든 실험은 농도구 당 북방전복 30개체씩 수용하였으며, 2회 반복실험 하였다. 시험용액은 염화아연 (zinc chloride, Sigma, U.S.A)을 1000 mg/L의 표준용액 (zinc chloride stock solution)으로 만든 다음, 실험 농도별로 희석하여 조제하였다. 실험농도는 급성독성시험을 바탕으로 0, 0.3, 0.8, 1.3, 1.8 ZnCl₂ mg/L로 설정하였다. 실험기간 동안 북방전복의 사육환경과 유사하도록 각 수조마다 검은 시트지를 부착하였으며, 수온, 염분농도, pH를 매일 오전 9시에 측정하였다. 사육수는 염화아연 (ZnCl₂)의 반감기에 따라 2일 1회 실험수의 1/3씩 교환하였으며, 교환시 사이펀을 이용하여 수조 바닥면의 배설물을 제거하였다.

2) 생존율 및 탈락률

실험개체들의 생존 및 탈락은 실험기간 동안 각 농도구별 24시간 간격으로 관찰하였다. 개체의 생존은 자극 시 발과 촉수의 수축반응 여부로 사망개체를 판단한 후, 누적사망률을 구하여 생존율로 환산하여 나타냈으며, 기질로부터 떨어진 개체를 대상으로 자극에 대한 발과 촉수의 수축반응 여부로 탈락개체를 판단하였다.

3) 조직학적 지표 분석

광학현미경 조직표본제작은 발, 아가미, 간체장을 적출하여 Bouin's solution에 24시간 고정한 후, 흐르는 물로 36-48시간 동안 수세하였다. 그 후, 알코올의 농도순 탈수과정을 거쳐 파라핀에 포매하였다. 파라핀에 포매된 조직은 마이크로톰을 이용하여 두께 4-6 μm로 연속절편을 제작하였다. 제작된 조직절편은 Mayer's hematoxylin-eosin (H-E) 염색과 alcian blue and periodic acid-Schiff solution (AB-PAS, pH 2.5)

반응을 실시하였다. 점액세포의 염색친화도 판정은 Pantone® Formula Guide (Pantone Inc., USA)을 기준으로 고유번호를 괄호 안에 표시하였다.

조직화학적 변화양상 (상피층 두께, 점액세포 분포비율, 호염기성세포 분포비율)은 화상분석장치 (IMT, Visus, USA)를 사용하여 정량화하였다. 기관계의 조직학적 변화 정도는 Kim *et al.* (2015)을 기준으로 조직학적 변성을 보이는 개체수를 출현율에 따라 Table 1과 같이 4단계로 구분하였다.

4) 체내 미량금속 농도 분석

분석개체는 해부하여 폐각을 제거한 뒤, 염과 이물질 제거하기 위해 증류수로 세척 후, 분석 전까지 -80℃ 초저온 냉동고에서 보관하였다. -80℃ 동결건조기를 이용하여 시료를 동결건조시킨 후 건조된 시료를 마쇄하여 0.1-0.5 g을 취하였다. 마쇄된 시료에 HNO₃ (nitric acid 65%, Merck, Germany) 10 mL를 넣고 80℃에서 서서히 분해시켰다. 완전히 분해된 시료는 60-80℃를 유지한 상태로 2% HNO₃로 2회 이상 전처리 하였다. 전처리된 시료는 2% HNO₃로 100 mL 정량한 후 일부를 분취하여 ICP-MS (Perkin Elmer, NexION®300X)로 측정하였다.

5) 유의성 검증

대조구에 대한 노출구들의 유의적 차이 (P < 0.05)를 알아보기 위하여 통계처리는 SPSS 통계 프로그램 (SPSS 20.0, SPSS Inc., U.S.A)을 이용하여 paired sample t-test를 실시하였다.

결 과

1. 체내 미량금속 축적 농도

염화아연에 노출된 북방전복의 체내 아연 농도는 농도의존적으로 증가하는 결과를 보였다. 노출 1주 경과 후 대조구에서는 23.37 mg/kg였으며, 0.3, 0.8, 1.3, 1.8 mg/L 농도구에서는 각각 30.66, 49.29, 63.85, 62.25 mg/kg이었다. 실험 종료 기인 노출 4주 경과 후 대조구에서는 47.92 mg/kg, 각 농도구에서는 54.58, 64.35, 120.81, 81.12 mg/kg으로 노출 1주 후와 마찬가지로 농도의존적으로 증가하는 결과를 보였으며, 1.3 mg/L 농도구에서 가장 높은 축적농도를 나타내었으나 유의적인 차이를 나타내지 않았다 (P > 0.05).

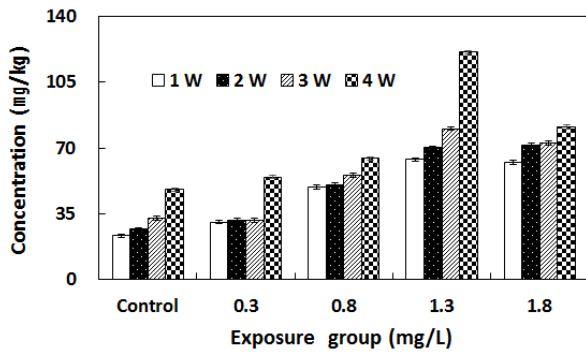


Fig. 1. Zinc concentration in the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to zinc chloride for 4 weeks. Vertical bar: SD.

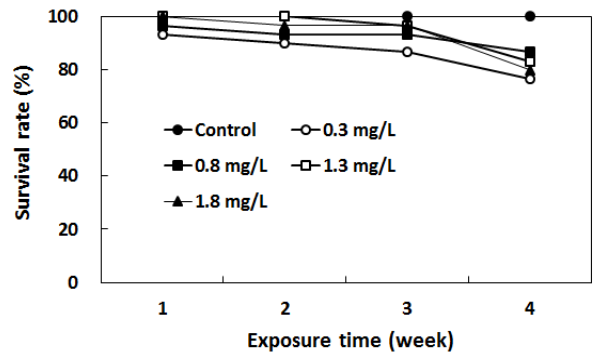


Fig. 2. Survival rate of *Haliotis discus hannai* exposed to zinc chloride for 4 weeks.

2. 생존율 및 탈락률

염화아연에 노출된 북방전복의 생존율은 대조구에서 100%를 보였다. 3주 동안 모든 노출구에서 약 90% 이상의 생존율을 나타냈으며, 노출 4주 후에 0.3 mg/L 농도구에서 76.7%로 가장 낮게 나타났다.

탈락률은 대조구에서 나타나지 않았으며, 노출구에서도 노출 1주 동안 모든 실험구에서 탈락 개체는 나타나지 않았다. 실험 종료기인 노출 4주 후에 0.3, 0.8, 1.3, 1.8 mg/L 농도구에서 탈락률은 각각 2.5%, 0.8%, 4.6%, 3.3%로 나타났다.

3. 조직학적 지표 변화

1) 발

염화아연에 노출된 북방전복의 발 상피층에서는 1주 경과 후 모든 농도구에서 AB-PAS (pH 2.5) 반응시 푸른색 (2935C, 3015C) 으로 반응하는 점액세포수의 증가와 일부 섬모의 소실이 관찰되었다 (Fig. 4A). 실험 종료기인 노출 4주 경과 후에는 0.3, 0.8, 1.3 mg/L 농도구에서 점액세포 수의 증가, 혈림프동의 폐쇄와 일부 근섬유 다발들의 소실이 관찰되었으며 (Fig. 4B, C), 1.8 mg/L 농도구에서는 점액세포 수의 감소와 근육층 일부에서 근섬유 다발들의 분절화와 갈라짐이 확

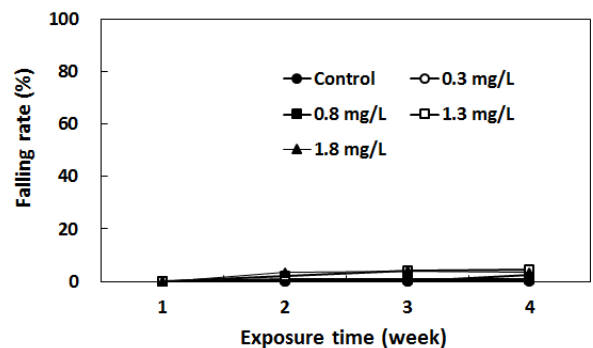


Fig. 3. Falling rate of *Haliotis discus hannai* exposed to zinc chloride for 4 weeks.

인되었다 (Fig. 4D). 또한 섬유성 물질에 의한 혈림프동 내강의 폐쇄가 나타났다. 염화아연 노출에 따른 발의 상피층 두께를 비교한 결과 대조구에서는 14.43 μm 였으나 0.3, 0.8, 1.3, 1.8 mg/L 농도구에서는 46.58, 43.19, 50.23, 38.88 μm 로 대조구에 비해 모든 농도구에서 유의적으로 증가하는 결과를 보였다 ($P < 0.05$). 발 상피층의 점액세포 분포비율을 비교한 결과 실험 종료기에 대조구에서 5.0%로 나타났으며, 모든 농도구에서 대조구와 비교하였을 때 유의적으로 증가하는

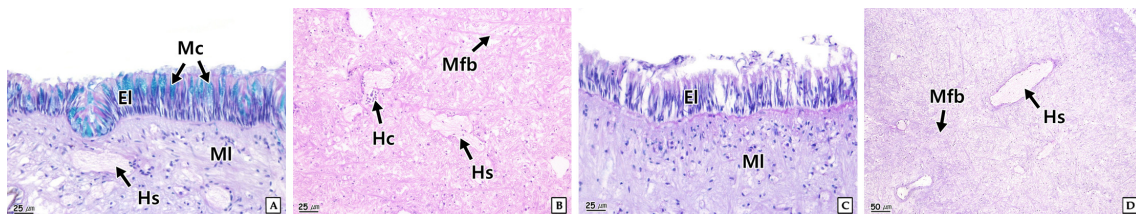


Fig. 4. Histological change of foot of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to zinc chloride. A: 0.8 ZnCl₂ mg/L, B and C: 1.3 ZnCl₂ mg/L, D: 1.8 ZnCl₂ mg/L. EI, epithelial layer; Hc, hemocytes; Hs, hemolymph sinus; Mc, mucous cell; Mfb, muscle fiber bundle; MI, muscle layer.

Table 2. Quantitative scoring of foot histological alteration of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to zinc chloride for 4 weeks

Histological alterations		Control	0.3	0.8	1.3	1.8
Epithelial layer	TE	-	++	++	++	++
	DE	-	-	+	+	++
	DMC	-	+	++	++	++
Muscular layer	SMFB	-	-	-	+	++
	CHS	-	+	+	++	++

* Score values: -, none; +, mild; ++, moderate; +++, severe. TE, thickness of epithelial layer; DE, degeneration of epithelial layer; DMC, distribution of mucous cell; SMFB, separation of muscle fiber bundle; CHS, closing of hemolymph sinus.

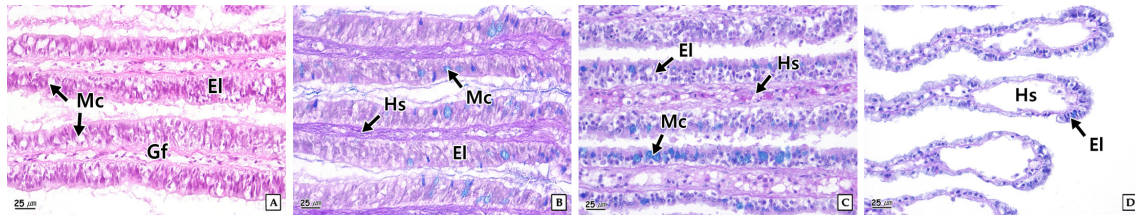


Fig. 5. Histological change of gill of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to zinc chloride. **A** and **B**: 0.8 ZnCl₂ mg/L, **C**: 1.3 ZnCl₂ mg/L, **D**: 1.8 ZnCl₂ mg/L. EI, epithelial layer; Gf, gill filament; Hs, hemolymph sinus; Mc, mucous cell.

결과를 나타냈다 ($P < 0.05$). 염화아연 노출에 따른 발의 조직학적 변성은 상피층 두께의 변화가 가장 뚜렷하였으며, 노출 농도가 높아짐에 따라 조직학적 변성 또한 증가하는 경향을 나타냈다 (Table 2).

2) 아가미

염화아연에 노출된 북방전복의 아가미에서는 노출 1주 후 모든 농도구에서 새엽 상피층 섬모의 탈락, 상피세포의 세포질 혼탁과 같은 상피세포의 변성이 관찰되었으며 (Fig. 5A), 시간이 경과함에 따라 상피층에서 AB-PAS (pH 2.5) 반응시 보라색 (2735C) 으로 반응하는 점액세포의 수가 증가하였고 (Fig. 5B) 상피세포의 일부가 파괴되었다. 실험 종료기에는 새엽 상피층 섬모의 부분적 탈락, 상피세포의 파괴, 일부 상피층의 탈락 그리고 점액세포의 공포화 및 혈림프동의 변성이 관찰되었다 (Fig. 5C, D). 염화아연 노출에 따른 아가미의 상피층 두께를 비교한 결과 대조구에서는 17.60 μm 였으며, 0.3, 0.8, 1.3, 1.8 mg/L 농도구에서는 20.54, 17.80, 16.55, 11.76 μm 로 대조구와 유사한 결과를 보였으며, 유의적인 차이는 나타나지 않았다 ($P > 0.05$). 아가미 새엽 상피층의 점액세포 분포 비율을 비교한 결과 실험 종료기에 대조구에서 2.2%로 모든 농도구에서 대조구와 유사한 결과를 보였으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다 ($P > 0.05$). 염화아연 노출에 따른 아가미

의 조직학적 변성은 새엽 상피층 섬모의 탈락이 가장 뚜렷하게 나타났으며, 노출의 농도가 증가함에 따라 조직학적 변성 또한 증가하는 경향을 나타냈다 (Table 3).

3) 간체장

염화아연에 노출된 북방전복 간체장의 소화선세포에서는 노출시간이 경과함에 따라 상피세포의 공포화가 관찰되었다 (Fig. 6A, B). 실험종료기에는 0.3, 0.8, 1.3 mg/L 농도구에서 상피세포의 공포화와 일부 상피세포의 파괴 및 탈락이 확인되었으며 (Fig. 6C, D), 1.8 mg/L 농도구에서는 상피세포의 파괴로 세포 잔여물들이 내강에 축적된 것이 관찰되었다. 염화아연 노출에 따른 간체장 소화선세포의 상피층 두께를 비교한 결과 대조구에서는 54.55 μm , 0.3, 0.8, 1.3, 1.8 mg/L 농도구에서는 39.87, 36.86, 43.97, 35.86 μm 로 대조구에 비해 모든 농도구에서 감소하는 결과를 보였으며, 1.3 mg/L와 1.8 mg/L 농도구에서 대조구와 유의적인 차이를 나타냈다 ($P < 0.05$). 소화선세포의 호염기성세포 분포비율을 비교한 결과 실험 종료기인 4주에 대조구에서 14.2%였으나, 농도가 높아질수록 증가하는 결과를 보여 1.8 mg/L 농도구에서는 9.9%로 대조구에 비해 유의적으로 감소하는 결과를 나타냈다 ($P < 0.05$). 염화아연 노출에 따른 간체장의 조직학적 변성은 소화선세포 상피층의 두께와 호염기성세포의 분포비율이 가장 뚜

Table 3. Quantitative scoring of gill histological alteration of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to zinc chloride for 4 weeks

Histological alterations	Control	0.3	0.8	1.3	1.8
Disappearance of cilia	-	+	+	++	+++
Thickness of epithelial layer	-	+	-	-	-
Destruction of epithelial cell	-	-	+	++	++
Vacuolation of epithelial cell	-	-	-	+	++

* Score values: -, none; +, mild; ++, moderate; +++, severe.

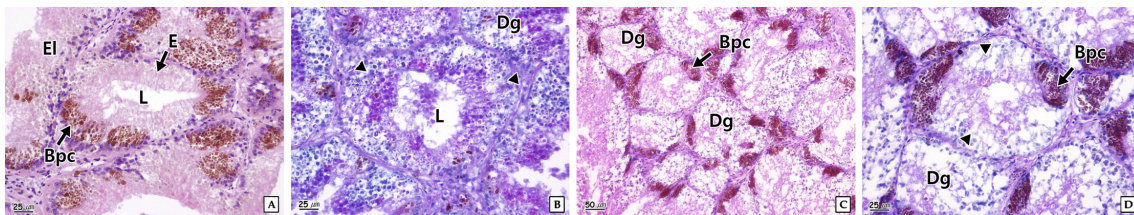


Fig. 6. Histological change of digestive tubule of hepatopancreas of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to zinc chloride. **A:** 0.3 ZnCl₂ mg/L, **B:** 0.8 ZnCl₂ mg/L, **C and D:** 1.3 ZnCl₂ mg/L. Bpc, basophilic cell; Dg, digestive tubule; E, epithelial cell; EI, epithelial layer; L, lumen.

Table 4. Quantitative scoring of hepatopancreas histological alteration of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to zinc chloride for 4 weeks

Histological alterations	Control	0.3	0.8	1.3	1.8
Thickness of epithelial layer	++	+	+	++	+
Vacuolation of epithelial cells	-	-	+	+	++
Destruction of epithelial cells	-	-	+	+	++
Distribution of basophilic cells	+	++	++	++	-

* Score values: -, none; +, mild; ++, moderate; +++, severe.

렷하게 나타났으며, 노출의 농도가 높아짐에 따라 조직학적 변성 또한 증가하는 경향을 나타냈다 (Table 4).

고찰

해양환경의 변화는 서식생물의 생태생리에 장애를 초래하여 성장, 생존 및 생식 등에 큰 영향을 주며 (Wedemeyer and McLeay, 1981; Park *et al.*, 2013), 육상에서 연안 수역으로 유입된 금속원소는 오랜 기간 분해되지 않는 지속성과 그에 따른 독성 및 생체축적의 특성으로 인해 수계생물의 급성 및 만성독성을 유발한다 (Atchison *et al.*, 1987). 미량금속 중 필수원소에 속하는 아연은 주로 뼈, 피부, 근육조직에 축적되고 (Pentreath, 1973; Wicklund *et al.*, 1990), 일부는

metallothionein과 결합한다 (Soh *et al.*, 1993). 하지만 아연이 적정 농도보다 높으면 세포의 구조적 이상 및 생화학적 기능 장애로 인한 생리적인 불균형을 나타내어 생물에게 나쁜 영향을 미치게 된다 (Viarengo, 1985).

Ju *et al.* (2006) 은 대북, *Gomphina veneriformis*를 아연에 노출시켜 체내 축적 농도를 관찰한 결과, 1.79 mg/L 농도구에서 대조구에 비해 유의적으로 증가하는 결과를 보였다. 본 연구에서는 아연 만성노출에 따른 체내 축적농도를 비교한 결과 1주 경과 후 모든 농도구에서 농도가 높아짐에 따라 농도의존적으로 증가하는 결과를 보였으며, 실험 종료기인 4주 후 역시 모든 농도구에서 대조구에 비해 높은 체내 축적농도를 나타냈다.

Wang *et al.* (2009) 은 북방전복, *Haliotis discus*

*hannai*를 구리 (Cu) 에 노출시켜 생존율을 관찰한 결과, 1.08 mg/kg 농도구에서는 대조구와 유사한 결과를 보였지만, 1.08 mg/kg을 제외한 모든 농도구에서는 생존율이 감소하는 결과를 나타냈다. 또한 북방전복을 니켈 (Ni) 에 노출시켜 생존율을 관찰한 결과 모든 농도구에서 농도의존적으로 감소하였으며, 탈락률은 농도의존적으로 증가하는 결과를 나타냈다 (Kim *et al.*, 2015). 본 연구에서도 노출기간이 길어짐에 따라 생존율은 감소하였으며, 탈락률은 증가하는 결과를 보여 Kim *et al.* (2015) 의 보고와 유사한 결과를 보였다.

전복의 발은 운동기관으로써 부착, 이동, 먹이의 포획 등과 같은 다양한 기능을 수행한다 (Voltzow, 1990). 전복은 이동 시 발의 근육과 발바닥에서 분비되는 점액을 이용하며 움직이지 않을 경우 기질 표면에 자신의 몸을 부착시킨다 (Denny and Gosline, 1980; Denny, 1984).

북방전복을 니켈에 노출시킨 결과, 발 상피층에 분포하는 점액물질의 증가, 혈림프동의 폐쇄 및 점액세포의 공포화 등이 나타났다 (Kim *et al.*, 2015). 본 연구에서도 노출 농도가 높아짐에 따라 점액세포의 증가 및 공포화, 혈림프동의 폐쇄 및 근섬유 다발들의 분절화 등이 관찰되어 기존 연구와 유사한 결과를 보였다.

아가미는 일반적으로 호흡 및 질소노폐물 배설의 중추적인 역할이 이루어지는 기관으로 다른 기관에 비해 그 표면적이 넓기 때문에 환경변화에 가장 민감하게 반응하는 부위로 알려져 있다 (Lee *et al.*, 1997). 아가미는 수중에 독성물질이 함유되거나 수서생태계의 급격한 변화와 같은 환경적 스트레스를 받게 되면 조직학적으로 곤봉화를 나타내거나 새변은 두꺼운 상피층을 이루게 되며, 표면에 다수의 점액세포를 이루어 이차새변의 유합, 새변간 공간 소실, CO₂ 교환을 저하로 인해 호흡능의 약화가 나타날 수 있다 (Huh and Jeong, 1993; Shin *et al.*, 1993; Lee *et al.*, 2006).

아연에 노출된 대복의 아가미는 노출 초기 혈림프동이 확장되었으며, 이후 혈구의 증가와 섬모의 부분적인 탈락이 관찰된다. 노출이 진행됨에 따라 측면섬모의 탈락과 정단상피세포의 괴사 및 부분적인 상피층의 박리가 나타난다 (Ju *et al.*, 2006). 본 연구에서도 기존 연구와 유사한 결과를 보였으며, 새엽 상피층 섬모의 부분적인 탈락, 일부 상피세포의 파괴 및 탈락 등이 관찰되었다. 이러한 조직학적 병변으로 인해 아가미 본래의 기능을 상실할 것으로 생각된다.

복족류의 간체장은 여러 가지 중요한 기능을 하는 소화선으로서 소화효소의 분비, 영양물질의 흡수와 저장 및 소화되지 않은 먹이의 외부 방출 등을 담당하고 있다. 간체장을 구성하는 소화선세포는 먹이의 세포내 소화를 담당하는 상피세포와 세포외 소화를 위한 효소의 합성과 분비에 관여하는 호염기성 세포로 구성되어 있다.

Nonylphenol (NP) 에 112일 동안 노출된 *Dreissena polymorpha*의 소화선세포는 내강이 확장되고, 상피세포의 변형과 호염기성 과립의 감소가 관찰되었으며 (Quinn *et al.*, 2004), 80 µg/L의 구리, 아연, 카드뮴 (Cd) 에 41일 동안 노출된 지중해담치, *Mytilus galloprovincialis*에서는 소화선세포를 구성하는 상피세포의 섬모가 모두 소실되었다 (Soto *et al.*, 1996). 본 연구에서는 상피세포의 공포화와 파괴가 진행되어 그 잔여물들이 소화선세포의 내강에 축적되어 있는 것이 관찰되었다. 또한 대조구에 비해 농도가 높아질수록 호염기성 세포의 분포비율이 점차 증가하는 결과를 보였으나 1.8 mg/L 농도구에서 유의적으로 감소하는 결과를 보였다. 이러한 결과로 보아 비록 아연의 함량이 미량일지라도 장기간 노출시 생물의 체내에 지속적인 축적이 일어나며, 이는 생물에 조직학적 변화와 생리학적 병변을 유발할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 (전복 가두리양식 생산성향상 및 표준화 연구 15-AQ-51) 지원으로 수행되었습니다.

요 약

본 연구는 염화아연 만성노출에 따른 북방전복의 미량금속 축적 농도, 생존율, 탈락률 및 조직학적 지표 변화에 대하여 알아보고자 하였다. 실험은 1개의 대조구와 4개의 노출구 (0.3, 0.8, 1.3, 1.8 ZnCl₂ mg/L) 였다. 염화아연에 노출된 북방전복의 체내 미량금속 축적 농도는 모든 노출구에서 농도의존적으로 증가하는 결과를 보였다. 생존률 및 탈락률은 대조구에 비해 노출구에서 농도의존적으로 나타났다. 북방전복의 발, 아가미, 간체장의 조직학적 변화는 시간이 경과함에 따라 대조구에 비해 노출구에서 뚜렷하게 나타났다.

REFERENCES

- Atchison, G.J., Henry, M.G. and Sandheinrich, M.B. (1987) Effects of metals on fish behavior: a review. *Environmental Biology of Fishes*, **18**: 11-25.
- Byrne, P.A. and O'Halloran, J. (2001) The role of bivalve molluscs as tools in estuarine sediment toxicity testing: a review. *Hydrobiologia*, **465**: 209-217.
- Cui, L., Takagi, Y., Wasa, M., Sando, K., Khan, J. and Okada, A. (1999) Nitric oxide synthase inhibitor attenuates intestinal damage induced by zinc deficiency in rats. *The Journal of Nutrition*, **129**: 792-798.
- Denny, M.W. (1984) Mechanical properties of pedal mucous and their consequences for gastropod

- structure and performance. *American Zoologist*, **24**: 23-36.
- Denny, M.W. and Gosline, J.M. (1980) The physical properties of the pedal mucus of the terrestrial slug, *Ariolimax columbianus*. *The Journal of Experimental Biology*, **88**: 375-394.
- Huh, M.D. and Jeong, H.D. (1993) The histological structure and the pathological lesions of gill in teleosts. *Journal of Fish Pathology*, **6**: 65-70.
- Ju, S.M., Lee, J.W., Jin, Y.G., Yu, J. and Lee, J.S. (2006) Effect of zinc bioaccumulation on survival rate, activity, growth and organ structure of the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae). *Journal of Environmental Toxicology*, **21**: 115-126.
- Kim, D.W. (2014) Effect on benthic foraminifera of organic pollution in the abalone aquaculture. Master Thesis of Chonnam National University. pp. 66.
- Kim, S., Jeon, M.A., Ju, S.M., Kim, J.W., Kang, J. and Lee, J.S. (2015) Histological indicator change of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to nickel chloride (NiCl₂). *The Korean Journal of Malacology*, **31**: 143-150.
- King, J.C., Shames, D.M. and Woodhouse, L.R. (2000) Zinc homeostasis in humans. *The Journal of Nutrition*, **130**: 1360-1366.
- Ku, K. (2015) Structure of the heart-kidney complex and histological changes with zinc (ZnSO₄) exposure of *Tegillarca granosa*. Master Thesis of Chonnam National University. pp. 58.
- Lee, C., Shin, M.J., Lee, J.E. and Seo, E.W. (2006) Tissues and plasma proteins of *Hemiculter eigenmanni* in muddy water of reservoir. *Korean Journal of Environmental Biology*, **24**: 213-220.
- Lee, Y.C., Chang, Y.J. and Lee, B.K. (1997) Osmoregulation capability of juvenile grey mullets (*Mugil cephalus*) with the different salinities. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **30**: 216-224.
- OECD (1992) Test No. 203: Fish, acute toxicity test. *In*: OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. (ed. by OECD). pp. 1-9. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Park, M.W., Kim, H., Kim, B.H., Son, M.H., Jeon, M.A. and Lee, J.S. (2013) Changes of survival rate, falling rate and foot histology of the abalone, *Haliotis discus hannai* (Ino, 1952) with water temperature and salinity. *The Korean Journal of Malacology*, **29**: 303-311.
- Pentreath, R.J. (1973) The accumulation and retention of Zn and Mn by the plaice, *Pleuronectes platessa*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **12**: 1-18.
- Prasad, A.S. (1996) Zinc deficiency in women, infants and children. *Journal of the American College of Nutrition*, **15**: 113-120.
- Quinn, B., Gagne, F., Costello, M., McKenzie, C., Wilson, J. and Mothersill, C. (2004) The endocrine disrupting effect of municipal effluent on the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). *Aquatic Toxicology*, **66**: 279-292.
- Shin, M.Y., Choi, D.L., Chung, J.K. and Chun, S.K. (1993) Histopathological changes in fish gills by potassium permanganate and influence of water quality. *Journal of Fish Pathology*, **6**: 21-55.
- Soh, C.T., Yoo, I.S., Park, H., Kim, S.H., Kim, J.J. and Min, D.Y. (1993) Experimental study on the effect of cadmium containing shellfish by the long term intake. *The Korean Journal of Malacology*, **9**: 85-93.
- Sorensen, E.M.B. (1991) Cadmium. *In*: Metal Poisoning in Fish. (ed. by Sorensen, E.M.B.). pp. 175-234. CRC Press, Boston.
- Soto, M., Cajaraville, M.P. and Marigomez, I. (1996) Tissue and cell distribution of copper, zinc and cadmium in the mussel, *Mytilus galloprovincialis*, determined by autometallography. *Tissue and Cell*, **28**: 557-568.
- Timmermans, B.M.H., Hummel, H. and Bogaards, R.H. (1996) The effect of polluted sediment on the gonadal development and embryogenesis of bivalves. *The Science of the Total Environment*, **187**: 231-236.
- Viarengo, A. (1985) Biochemical effects of trace metals. *Marine Pollution Bulletin*, **16**: 153-158.
- Voltzow, J. (1990) The functional morphology of the pedal musculature of the marine gastropods *Busycon contrarium* and *Haliotis kamtschatkana*. *Veliger*, **33**: 1-19.
- Wang, W., Mai, K., Zhang, W., Ai, Q., Yao, C., Li, H. and Liufu, Z. (2009) Effects of dietary copper on survival, growth and immune response of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture*, **297**: 122-127.
- Wedemeyer, G.A. and McLeay, D.J. (1981) Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors. *In*: Stress and Fish. (ed. by Pickering, A.D.). pp. 247-255. Academic Press, London.
- Wicklund, A., Norrgren, L. and Runn, P. (1990) The influence of cadmium and zinc on cadmium turnover in the zebrafish, *Brachydanio rerio*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **3**: 348-353.
- Wu, F.Y.H. and Wu, C.W. (1987) Zinc in DNA replication and transcription. *Annual Review of Nutrition*, **7**: 251-271.