

수온 및 염분별 노출시간에 따른 북방전복, *Haliotis discus hannai* 치패의 회복률 및 아가미의 조직학적 변화

박미선¹, 김성희², 임한규³, 민병화¹, 장영진⁴, 정민환¹

¹국립수산과학원 양식관리과, ²해양수산부 기획조정실, ³목포대학교 해양수산자원학과, ⁴부경대학교 해양바이오신소재학과

Recovery Rate and Histological Changes in the Gills of Juvenile Abalone *Haliotis discus hannai* by Exposure Time of Different Water Temperatures and Salinities

Mi Seon Park¹, Seong-Hee Kim², Han Kyu Lim³, Byung Hwa Min¹, Young Jin Chang⁴ and Min Hwan Jeong¹

¹Aquaculture Management Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Korea

²Planning Department, Ministry of Oceans & Fisheries, Sejong 339-710, Korea

³Development of Marine and Fisheries Resources, Mokpo National University, Muan 534-729, Korea

⁴Development of Marine Bio-Materials and Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

ABSTRACT

This study looked into recovery rate and histological changes in the gills of juvenile abalone *Haliotis discus hannai* by exposure time (3, 6, 12, 24 and 48 h) of different water temperatures (15, 20 and 25 °C) and salinities (30, 25, 20 and 15 psu) to understand reasons for the death of abalone exposed by low salinity water. In each water temperature, abalone spats that were exposed to low salinity water (less than 20 psu) for over 6 hours showed decrease in survival rate during recovery and those were exposed at the salinity of 15 psu for more than 24 hours all died. Histological observation showed expansion or damage of gills of the species which were exposed at less than 20 psu for over 6 hours. In case of abalones exposed at the salinity of 15 psu for over 24 hours, most gill tissues were destroyed. This result was glaringly obvious at a higher water temperature, lower salinity and longer exposure time. Accordingly, suffocation caused by damage of gills considered one of direct causes of the death.

Keywords: *Haliotis discus hannai*, Salinity change, Recovery rate, Histological change of gill, Water temperature.

서 론

최근 양식산업의 급속한 발달로 물리·화학적 스트레스에 의한 양식생물의 생태·생리 변화 및 질병 치료에 관한 많은 연

구가 진행되어 양식산업에 큰 도움을 주고 있다. 그러나 이러한 연구는 주로 어류를 중심으로 이루어지고 있으며, 전복, *Haliotis* sp. 및 소라, *Batillus cornutus*와 같은 복족류에 관한 연구는 미비한 실정이다. 복족류는 환경변화에 따라 이동하는 어류와는 달리 이동이 매우 제한적이므로 급격한 환경변화에 노출될 경우, 이에 대처하는 능력이 부족하다. 따라서 급격한 환경변화는 복족류에 있어 매우 치명적이다. 해양환경 변화에 의한 물리·화학적 스트레스에 노출된 수서생물들은 세포 내 생화학 및 생리적인 역기능 발생으로 인해 세포는 죽게 된다. 일반적으로 모든 동물들은 스트레스를 받게 되면 생체 내에 활성산소 (superoxide, hydrogen peroxide, peroxy radical, hydroxy radical) 가 발생하는 것으로 알려져 있다. 활성산소는 생체 내에서 다른 물질과 결합하려는 화학적 산화

Received: September 13, 2013; Accepted: September 26, 2013

Corresponding author : Min Hwan Jeong

Tel: +82 (51) 720-2431 e-mail: mhjeong5920@gmail.com
1225-3480/24490

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.

력이 강해 세포나 기관의 막을 공격하여 세포의 기능을 손상시키는 것으로 보고되고 있다 (Ferraris *et al.*, 2002). 이러한 활성산소에 대하여 체내에서는 항산화 효소인 superoxide dismutase 등을 생성하여 세포의 기능 손상을 막으며 (Chance *et al.*, 1979; Wendel and Feuerstein, 1981), 이러한 항산화 효소는 온도변화에 의해 효소활성이 증가하는 것으로 알려져 있다 (Parihar *et al.*, 1996). 연안해역의 염분변화는 계절에 따라 다르며, 비록 짧은 기간 동안 염분변화에 노출되었다 할지라도 이에 대한 생물의 반응은 종에 따라 다르다. 대부분의 패류들은 일반적으로 50-150% 해수의 범위에서는 등장이며 (Tucker, 1970), 염분의 감소에 따라 심장 박동수, 산소소비, 암모니아 배설 및 아미노산 등의 생리적 변화를 수반한다 (Pierce and Greenberg, 1972). 또한, 염분변화는 패류의 세포 내 수분과 염류의 유입 및 배출 균형을 파괴하며, 염분이 급격하게 변화하면 세포용적과 관련된 대사율을 줄이기 위하여 폐각을 닫는 즉각적인 행동반응을 나타낸다 (Rasmussen *et al.*, 1983; Sunila and Lindstrom, 1985; Gauthier-Clerc *et al.*, 2002). 이 외에도 해양환경에 의한 물리·화학적 스트레스는 호흡을 비롯한 다양한 생리적인 변화와 함께 기관계의 구조적 변화를 유도하여 기능적인 장애를 초래한다는 결과가 여러 연구자에 의해 보고되고 있다 (Hinch and Stephenson, 1987; Regoli and Orlando, 1994; Quinn *et al.*, 2004). 그러나 물리적인 요인 중에서 염분변화가 전복 치패의 아가미 조직에 미치는 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 염분별 노출시간에 따른 북방전복, *Haliotis discus hannai* 치패의 아가미 조직 변화를 관찰하여 저염분이 전복 치패에 미치는 영향을 파악하고, 저염분 해수에 의한 폐사 기작을 구명하고자 수온 및 염분별 노출시간에 따른 회복률 및 아가미의 조직학적 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

실험에 사용한 전복은 전라남도 완도군에 위치한 북방전복 육상양식장에서 양성중인 1년생 치패를 부산 기장군 국립수산과학원 양식관리과 사육실로 운반하여 1.2톤 유수식 원형 수조에 수용하였다. 수송해 온 전복은 사육환경 변화에 의한 스트레스를 최소화하기 위하여 2주간 다시마와 미역을 충분히 공급하면서 안정시킨 후 실험에 사용하였다.

수온 및 염분별 노출시간에 따른 전복의 회복률을 알아보기 위하여, 수온 15, 20 및 25°C, 염분 35 psu 해수에 사육중인 전복을 수온 15, 20 및 25°C, 염분 30, 25, 20 및 15 psu의 해수에 각각 40개체씩 수용하여 3, 6, 12, 24 및 48시간 동안 노출시켰다. 이후 15, 20 및 25°C, 35 psu 해수에 다시 수용하여 14일 동안 생존율을 조사하였다. 실험기간 동안 다시마를

충분히 공급하였고, 모든 실험은 2반복으로 실시하였다. 각 실험에 사용된 전복의 크기는 각장 28.2 ± 0.5 mm, 중량 2.3 ± 0.2 g 이었으며, 전복의 생존율을 조사하기 위하여 회복기간 동안 매일 아침 폐사 개체를 계수하였다. 은신처 (shelter) 와 수조 벽면에 부착하는 능력이 없고, 발과 촉수를 자극하여 반응이 없는 개체를 폐사체로 판정하였다.

수온 및 염분별 노출시간에 따른 전복 아가미의 조직학적 변화를 알아보기 위하여, 수온 15, 20 및 25°C, 염분 35 psu에서 사육중인 전복을 각각의 수온 및 염분별 해수에 각각 20개체씩 수용하여 3, 6, 12, 24 및 48시간 동안 노출시킨 후 아가미를 절취하였다. 절취한 아가미는 Bouin's 용액 (picric acid 포화수용액 75 mL, 40% formalin 25 mL, glacial acetic acid 5 mL) 에 24시간 동안 고정시켰다. 이후 24시간 동안 흐르는 물로 수세한 다음 70, 80, 90, 95, 100% ethanol (Sigma, USA) I·II, 100% 자일렌 (Sigma, USA) I·II 과정을 1시간씩 단계적으로 거쳐 탈수 투명화 하였다. 탈수 투명 과정을 거친 아가미 조직을 58°C의 용해된 parplast (McCormick, USA) 에 1시간 동안 진공 침투법으로 조직내에 파라핀을 침투시켰다. 파라핀을 침투시킨 조직은 포매하여 5 μ m 두께로 연속 절편한 다음, hematoxylin-eosin (H-E) 대비염색을 실시하여 광학현미경 (BX50, Olympus, Japan) 으로 관찰하였다.

결 과

1. 수온 및 염분별 노출시간에 따른 회복률

수온 및 염분별 노출시간에 따른 북방전복 치패의 회복률은 Fig. 1-3에 나타난 바와 같다.

수온 15°C, 30, 25 psu 해수에 각각 3, 6, 12, 24 및 48시간 노출시킨 전복을 다시 일반해수에 수용하여 14일간 회복률을 조사한 결과, 모두 실험구에서 100%의 생존율을 보였으며, 수온 20, 25°C에서도 동일한 결과를 나타내었다 (Fig. 1-3). 20 psu 해수에 3, 6 및 12시간 노출시킨 전복은 실험종료 때까지 100%의 생존율을 보였으나, 24시간 노출시킨 전복은 회복 1일째 생존율 75.0 \pm 5.0%, 2일째 45.0 \pm 5.0%로 감소하였다. 이후 실험종료 때까지 생존율은 비슷한 수준으로 유지되었다. 20 psu 해수에 48시간 노출시킨 전복은 회복 1일째 생존율 7.5 \pm 2.5%로 급격히 감소하였으며, 실험종료 때의 생존율은 2.5 \pm 2.5% 였다. 15 psu 해수에 3시간 노출시킨 전복의 생존율은 실험종료 때까지 100% 였으며, 6시간 노출시킨 전복의 생존율은 회복 1일째 85.5 \pm 2.5%로 감소하였고, 실험종료 때에는 72.5 \pm 2.5%의 생존율을 나타내었다. 15 psu 해수에 12시간 노출시킨 전복은 회복 1일째 생존율이 42.5 \pm 7.5%로 급격히 감소하였으며, 실험종료 때에는 30.0 \pm 0.0%의 생존율을 나타내었다 (Fig. 1). 수온 15°C, 15 psu 해

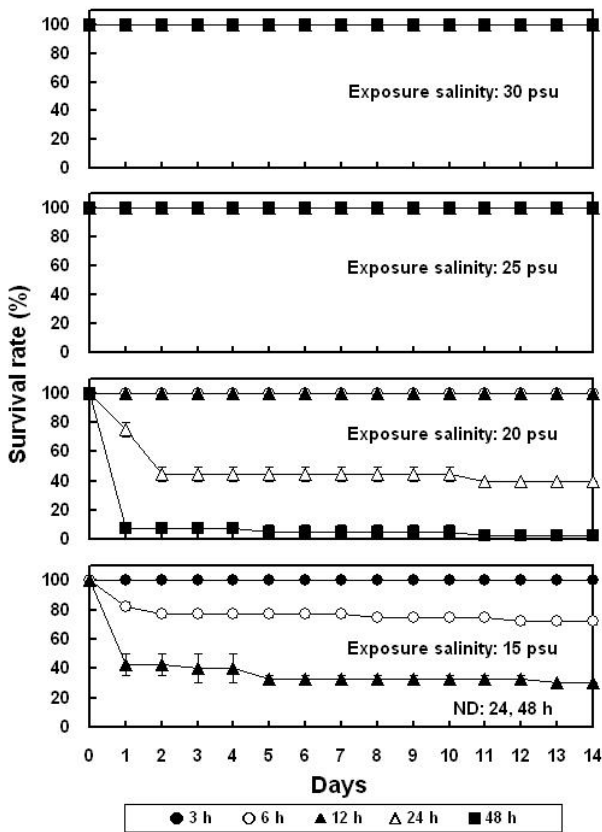


Fig. 1. Survival rate of juvenile abalone according to different salinities and exposure times at 15°C. ND: no date, h: hour.

수에 24, 48시간 노출시킨 전복은 노출기간 중 전량 폐사하였으며, 수온 20, 25°C에서도 동일 결과를 보였다 (Fig. 1-3).

수온 20°C, 20 psu 해수에 3시간 노출시킨 전복은 실험종료 때까지 100%의 생존율을 나타내었으나, 6시간 노출시킨 전복은 회복 4일째 생존율이 85.0 ± 5.0%까지 감소하였다. 20 psu 해수에 12, 24시간 노출시킨 전복은 회복 1일째 생존율이 각각 90.0 ± 10.0, 80.0 ± 0.0% 였으며, 실험종료 때의 생존율은 모두 55.0 ± 0.5% 였다. 20 psu 해수에 48시간 노출시킨 전복은 회복 1일째 생존율이 40.0 ± 0.0%로 급격히 감소하였으며, 실험종료 때의 생존율은 22.5 ± 2.5% 였다. 15 psu 해수에 3시간 노출시킨 전복의 생존율은 실험종료 때까지 100% 였으나, 6시간 노출시킨 전복의 생존율은 회복 2일째 15.0 ± 5.0%로 급격히 감소하였고, 실험종료 때에는 5.0 ± 5.0%의 생존율을 나타내었다. 15 psu 해수에 12시간 노출시킨 전복은 회복 1일째 생존율이 55.0 ± 15.0%로 급격히 감소하여, 회복 2일째 전량 폐사하였다 (Fig. 2).

수온 25°C, 20 psu 해수에 3시간 노출시킨 전복의 생존율은 실험종료 때까지 100% 였으나, 6, 12시간 노출시킨 전복의

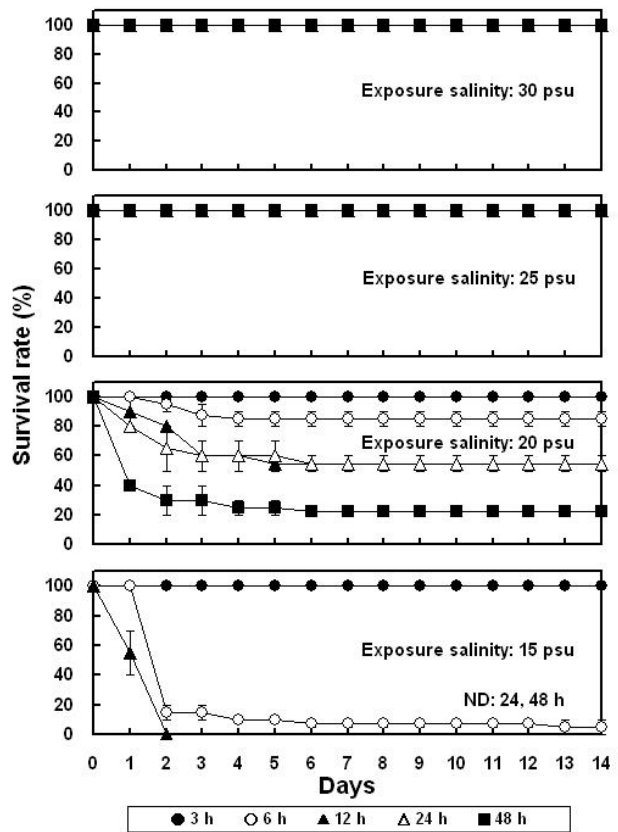


Fig. 2. Survival rate of juvenile abalone according to different salinities and exposure times at 20°C. ND: no date, h: hour.

생존율은 회복 1일째 모두 30.0 ± 10.0%로 급격히 감소하여 실험종료 때까지 유지되었다. 20 psu 해수에 24, 48시간 노출시킨 전복의 생존율은 회복 1일째 각각 40.0 ± 0.0, 30.0 ± 10.0%로 급격히 감소하였으며, 회복 3일째 전량 폐사하였다. 15 psu 해수에 3시간 노출시킨 전복의 생존율은 실험종료 때까지 100% 였으나, 6시간 노출시킨 전복의 생존율은 회복 2일째 2.5 ± 2.5%로 감소하여 실험종료 때까지 유지되었다. 15 psu의 해수에 12시간 노출시킨 전복은 회복 1일째 전량 폐사하였다 (Fig. 3).

2. 수온 및 염분별 노출시간에 따른 아가미의 조직학적 변화

수온 및 염분별 노출시간에 따른 북방전복 치패의 아가미 조직 변화를 관찰한 결과는 Fig. 4-6에 나타난 바와 같다.

수온 15°C, 30 psu 해수에 3, 6, 12, 24 및 48시간 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대조구 (0 h) 와 큰 차이를 보이지 않았다. 25 psu 해수에 3시간 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대조구와 차이를 보이지 않았으나, 6시간 노출시킨 전복의 아가미 세편은 대조구에 비해 팽창되었고, 노출 24시간째에는 팽

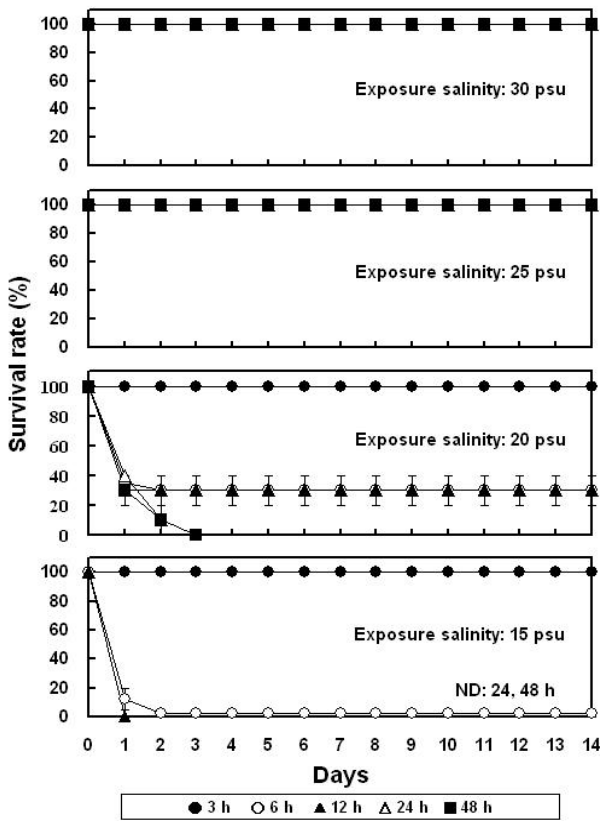


Fig. 3. Survival rate of juvenile abalone according to different salinities and exposure times at 25°C. ND: no date, h: hour.

창되어 있던 아가미 새변이 수축되었다. 노출 48시간째에는 팽창되어 있던 아가미 새변이 대조구와 비슷한 크기로 수축되었으나, 새변의 변성 및 파괴 등 손상된 조직들이 일부 관찰되었다. 20 psu 해수에 6시간 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대조구에 비해 팽창되어 있었으며, 노출 12시간째에는 일부 손상된 조직이 관찰되었다. 노출 24, 48시간째에는 대부분의 아가미 새변이 손상되어 있었다. 15 psu 해수에 3시간 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대조구에 비해 팽창되어 있었으며, 공포화된 새변도 일부 관찰되었다. 노출 12시간 이후에는 대부분의 아가미 새변이 손상되었으며, 노출 48시간째에는 모든 전복이 폐사하였다 (Fig. 4).

수온 20°C, 30 psu 해수에 6시간 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대조구와 큰 차이를 보이지 않았으나, 노출 12시간째에는 대조구에 비해 아가미 새변이 다소 팽창되었고, 노출 24시간 이후에는 수축되었다. 25 psu 해수에 6시간 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대조구와 비슷하였으나, 노출 12시간째에는 아가미 새변이 대조구에 비해 팽창되었다. 노출 24시간째에는 손상된 아가미 새변이 일부 관찰 되었으며, 노출 48시간째에는 대부분의 아가미 새변이 손상되어 있었다. 20 psu 해수에 3시간 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대조구와 비슷하였으나, 노출 12시간째에는 아가미 새변이 일부 손상되었으며, 노출 48시간째에는 대부분의 아가미 새변이 손상되었다. 15 psu 해수에 3시간 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대조구에 비해 다소 팽창되어 있었으며, 노출 12시간 이후에는 대부분의 아가미 새변이 손상되었다. 그리고 노출 48시간째에는 모든 전복이 폐사

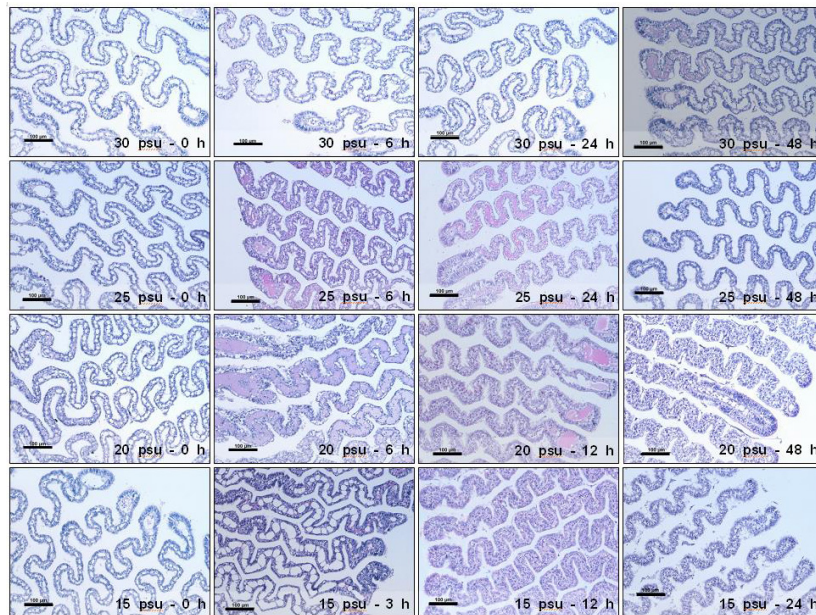


Fig. 4. Photomicrographs of gill filaments change of juvenile abalone according to different salinities and exposure times at 15°C. Scale bars: 100 µm.

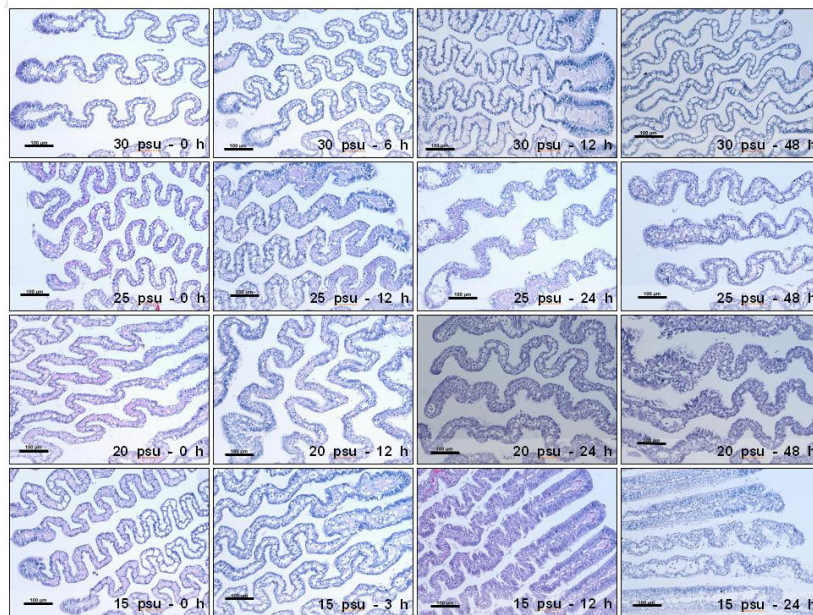


Fig. 5. Photomicrographs of gill filaments change of juvenile abalone according to different salinities and exposure times at 20°C. Scale bars: 100 µm.

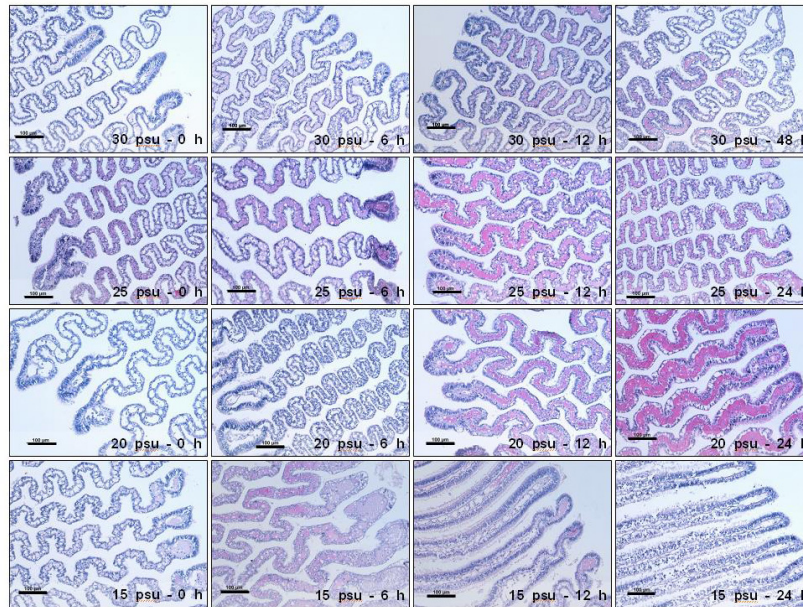


Fig. 6. Photomicrographs of gill filaments change of juvenile abalone according to different salinities and exposure times at 25°C. Scale bars: 100 µm.

하였다 (Fig. 5).

수온 25°C, 30 psu 해수에 6시간 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대조구와 큰 차이를 보이지 않았으나, 노출 12, 48시간째에는 대조구에 비해 아가미 새변이 다소 팽창되었다. 25 psu 해수에 3시간 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대조구와 비슷하였으나, 노출 6시간 이후에는 아가미 새변이 대조구에

비해 팽창되었고, 노출 24시간 후에는 대조구와 비슷하게 수축하였다. 20 psu 해수에 6시간 노출시킨 전복의 아가미는 대조구와 비슷하였으나, 12시간 이후에는 아가미 새변이 대조구에 비해 많이 팽창되어 있었다. 15 psu 해수에 3시간 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대조구와 비슷하였으나, 노출 6시간째부터 아가미 새변이 손상되기 시작하였고, 노출 12시간 이후에는

대부분이 손상되었다. 그리고 노출 48시간째에는 모든 전복이 폐사하였다 (Fig. 6).

고 찰

해양환경의 변화는 서식생물의 생리·생태에 장애를 초래하여 성장, 생존 및 번식 등에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다 (Holliday *et al.*, 1993; Shin *et al.*, 2002; Jwa *et al.*, 2009). 특히 전복과 같은 이동성이 매우 제한적인 생물은 어류와는 달리 급격한 해양환경의 변화에 대응하는 능력이 부족하기 때문에 그 피해가 크다. 따라서 환경변화에 의한 수서생물의 생리·생태학적 연구는 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 연구에서 수온 및 염분별 노출시간에 따른 북방전복 치패의 회복률을 조사한 결과, 수온 15, 20 및 25°C, 30, 25 psu 해수에 3, 6, 12, 24 및 48시간 노출시킨 전복은 회복기간 동안 폐사하는 개체 없이 100%의 회복률을 나타내었다. 그러나 20 psu 이하의 해수에 6시간 이상 노출시킨 전복은 회복기간 동안 생존율이 감소하였으며, 15 psu 해수에 24시간 이상 노출시킨 전복은 100% 회복되지 못하고 모두 폐사하였다. 특히 수온이 높을수록 회복률이 낮아, 북방전복은 수온이 높을수록, 염분이 낮을수록 회복 가능한 염분범위 및 노출시간이 짧은 것으로 판단된다. Lee (2003) 는 북방전복의 환경내성 실험에서 수온 20°C의 저염분 해수에 실험 개체를 1.5시간과 24시간 동안 노출시킨 후 회복과정을 조사한 결과, 13.5 psu 이하의 해수에 1.5시간 노출시킨 전복은 부착률이 낮았으며, 같은 염분에 24시간 동안 노출시킨 전복은 생존율이 매우 낮았다고 보고하였다. 또한 13.5 psu 해수에 24시간 노출시킨 전복은 회복 7일째까지 회복하지 못하였으나, 20.2 psu 해수에 24시간 노출시킨 전복은 회복 7일째에 80% 가 정상적으로 회복한 것으로 보고하였다. 따라서 저염분 충격에서 50% 이상의 회복률이 가능한 염분 및 노출시간은 각각 18.6 psu 이상, 24시간 이내라고 보고하여 본 연구의 결과와 일치하는 결과를 도출하였다. 또한 본 연구에서 저염분 해수에 노출된 북방전복 치패의 생존율은 대부분 회복 3-4일 이내에 안정화 되었는데, Chen and Chen (2000) 은 염분변화에 따른 마데오분자기, *Haliotis diversicolor supertexta*의 대사와 관련된 생리적 반응 연구에서 저염분 노출 초기에는 생존율이 감소하지만 2-3일 후 점차 세포 내 삼투요인을 조절하면서 정상적인 기능을 회복한다고 보고하였다. 이는 본 연구 결과와 유사하였다.

어류의 경우 조직학적인 증상들은 환경변화, 질병 및 오염물질에 대한 1차적인 반응이기 때문에 국외에서 시행되고 있는 모니터링 프로그램에서는 모니터링 이후 실제 실험을 통해 모니터링의 결과로 얻어진 조직학적인 증상들을 질병에 의한 것인지 혹은, 물리·화학적 반응에 의한 것인지를 구분한다 (NSTF, 1990; Kimbrough *et al.*, 2008). 전복과 같은 혐염성

생물은 서식지의 염분변화에 대한 적응력이 매우 낮으며, 고착성 생활 특성을 갖고 있어 이런 변화에 대하여 수동적인 반응을 나타낼 수밖에 없다. 따라서 혐염성 생물은 세포의 환경 (external environment) 변화에 대하여 안정적인 세포내 환경 (intracellular environment) 을 유지하기 위하여 다양한 생리적인 반응을 할 수 밖에 없다. 이러한 생물학적 특성으로 인하여 해산 연체동물은 환경변화를 측정하기 위한 주요 지표종으로 이용되고 있다 (Rittschof and McClellan-Green, 2005; Zaccaron da Silver *et al.*, 2005). 비단가리비, *Chlamys farreri*와 같은 부착성 패류는 서식장소의 수온, 염분, 용존산소 및 먹이생물과 같은 환경요인에 대해 직·간접적으로 생리·생태학적 영향을 받으며, 그 중 수온은 대사작용과 먹이 섭취, 에너지 수치 등에 직접적인 영향을 미치고 (Newell and Kofoed, 1977), 염분은 삼투압조절 능력에 영향을 줌으로써 해양생물의 분포와 생리적인 대사 기능을 좌우하는 것으로 알려져 있다 (Kinne, 1966). Park *et al.* (2011) 은 염분변화에 의한 이매패류의 아가미 조직 변성 및 파괴는 먹이섭식 및 산소소비와 같은 생리적 기능에 영향을 주어 결국 폐사를 유발한다고 보고하였다. 본 연구에서는 수온 및 염분별 노출시간에 따른 북방전복 치패의 아가미 조직 변화를 통하여 저염분이 이들에게 미치는 영향을 확인할 수 있었다. 본 연구의 결과 30 psu 해수에 12시간 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대조구와 형태적 차이는 보이지 않았으나, 25 psu 해수에서는 6시간, 20, 15 psu 해수에서는 3시간 이상 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대조구에 비해 팽창되는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 20, 15 psu 해수에 12시간 이상 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대부분 변성 및 파괴되어 있었다. 특히 수온이 높을수록, 염분이 낮아질수록 아가미 조직은 팽창하며, 세포가 파괴되는 등 아가미 조직이 빠르게 변형되는 것을 관찰할 수 있었다.

이상의 결과를 종합하여 본 결과, 모든 수온조건에서 20 psu 이하의 저염분 해수에 6시간 이상 노출시킨 전복은 회복기간 동안 생존율이 감소하고, 15 psu 해수에 24시간 이상 노출시킨 전복은 회복되지 못하고 전량 폐사하였다. 이와 같은 실험자료를 바탕으로 전복의 아가미 조직을 관찰한 결과, 20 psu 이하의 저염분 해수에 6시간 이상 노출시킨 전복의 아가미 조직은 팽창 또는 손상되며, 15 psu 해수에 24시간 이상 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대부분 파괴되었다. 이는 수온이 높을수록, 염분이 낮을수록, 노출시간이 길수록 확연히 나타났다. 따라서 수온이 높은 여름철 집중호우 등으로 인한 연안해역의 저염분화는 양식 전복의 아가미에 직접적인 영향을 미치며, 손상된 아가미로 인해 호흡곤란을 일으킨 전복은 질식하여 폐사하는 것으로 판단된다.

감사의 말씀

본 연구는 국립수산물품질관리원 수산시험연구과제인 어항을 활용한 어촌관광형 다영양입체양식 (IMTA) 기술 개발 (RP-2013-AQ-156) 의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

요 약

본 연구는 저염분 해수에 노출된 전복의 폐사 원인을 구명하고자, 수온별 (15, 20 및 25°C) · 염분별 (30, 25, 20 및 15 psu) · 노출시간별 (3, 6, 12, 24 및 48 h) 북방전복, *Haliotis discus hannai* 치패의 회복률 및 아가미의 조직학적 변화를 조사하였다. 모든 수온조건에서 20 psu 이하의 저염분 해수에 6시간 이상 노출시킨 전복은 회복기간 동안 생존율이 감소하였으며, 15 psu 해수에 24시간 이상 노출시킨 전복은 회복되지 못하고 전량 폐사하였다. 이를 조직학적으로 관찰한 결과, 20 psu 이하의 저염분 해수에 6시간 이상 노출시킨 전복의 아가미 조직은 팽창 또는 손상되었으며, 15 psu 해수에 24시간 이상 노출시킨 전복의 아가미 조직은 대부분 파괴되었다. 이와 같은 결과는 수온이 높을수록, 염분이 낮을수록, 노출시간이 길수록 확연히 나타났다. 따라서 저염분 해수에 노출된 전복이 폐사하는 직접적인 원인 중의 하나는 아가미 조직의 손상으로 인한 질식으로 판단된다.

REFERENCES

- Chance, B., Sice, H. and Boveris, A. (1979) Hydroperoxide metabolism in mammalian organs. *Physiol. Rev.*, **59**: 427-605.
- Chen, J.C. and Chen, W.C. (2000) Salinity tolerance of *Haliotis diversicolor supertexta* at different salinity and temperature levels. *Aquaculture*, **181**: 191-203.
- Ferraris, M., Radice, S., Catalani, P., Francolini, M., Marabini, L. and Chiesara, E. (2002) Early oxidative damage in primary cultured trout hepatocytes: a time course study. *Aquatic Toxicology*, **59**: 283-296.
- Gauthier-Clerc, S., Pellerin, J., Blaise, C. and Gagne, F. (2002) Delayed gametogenesis of *Mya arenaria* in the Saguenay fjord (Canada): a consequence of endocrine disruptors. *Comp. Biochem. Physiol.*, **131C**: 457-467.
- Hinch, S.G. and Stephenson, L.A. (1987) Size- and age-specific patterns of trace metal concentrations on fresh water clams from an acid-sensitive and a circumneutral lake. *Can. J. Zool.*, **65**: 2436-2442.
- Holliday, J.E., Allan, G.L. and Nell, J.A. (1993) Effects of stocking density for nursery culture of Sydney rock oysters (*Saccostrea commercialis*). *Aquaculture*, **96**: 7-16.
- Jwa, M.S., Kang, K.P., Choe, M.K. and Yeo, I.K. (2009) Effects of low salinity stresses on the physiology of disc abalone, *Haliotis discus discus*. *J. Fish. Pathol.*, **22**: 293-303.
- Kimbrough, K.L., Johnson, W.E., Lauenstein, G.G., Christensen, J.D. and Apeti, D.A. (2008) An assessment of two decades of contaminant monitoring in the Nation's Coastal Zone. Silver spring MD. pp. 1-105. NOAA technical memorandum NOS NCCOS, 74.
- Kinne, O. (1966) Physiological aspects of animal life in estuaries with special reference to salinity. *Neth. J. Sea. Res.*, **3**: 222-244.
- Lee, J.A. (2003) The energy budgets in various environments and environmental tolerance of ezo abalone *Haliotis discus hannai*. Ph. D. Thesis, Pukyong Nat Univ, Busan, Korea, pp. 145.
- Newell, R.C. and Kofoed, L.H. (1977) Adjustment of the components of energy balance in the gastropod *Crepidula fornicata* in response to thermal acclimation. *Mar. Biol.*, **44**: 275-286.
- NSTF (1990) North sea task force monitoring master plan. North sea environment report No 3. North sea task force/oslo and paris commissions/ICES, London.
- Parihar, M.S., Dubey, A.K., Javeri, T. and Prakash, P. (1996) Changes in lipid peroxidation, superoxide dismutase activity, ascorbic acid and phospholipids content in liver of freshwater catfish *Heteropneustes fossilis* exposed to elevated temperature. *J. Therm. Biol.*, **21**: 223-330.
- Park, J.J., Lee, J.S. and Lee, J.S. (2011) Fine structure and histopathological changes exposed to acute high salinity of the gill of Japanese clam, *Corbicula japonica*. *Korean J. Malacol.*, **27**: 15-27.
- Pierce, S.K. and Greenberg, M.J. (1972) The nature of cellular volume regulation in marine bivalves. *J. Exp. Bio.*, **25**: 15-19.
- 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*). *Aquat. Toxicol.*, **66**: 279-292.
- Rasmussen, L.P.D., Hage, E. and Karlog, O. (1983) Light and electron microscopic studies of the acute and chronic toxic effects of N-nitroso compounds on the marine mussel, *Mytilus edulis* (L.). II. N-methyl-N-nitro-N-nitrodoguanidine. *Aquat. Toxicol.*, **3**: 301-311.
- Regoli, F. and Orlando, E. (1994) Accumulation and subcellular distribution of metals (Cu, Fe, Mn, Pb and Zn) in the mediterranean mussels *Mytilus galloprovincialis* during a field transplant experiment. *Mar. Pollut. Bull.*, **28**: 592-600.
- Rittschof, D. and McClellan-Green, P. (2005) Molluscs as multidisciplinary models in environment toxicology. *Mar. Pollut. Bull.*, **50**: 369-373.
- Shin, Y.K., Moon, T.S. and Wi, C.H. (2002) Effects of the dissolved oxygen concentration on the physiology of the manila clam, *Tegillarca granosa* (Linnaeus). *J. Korean. Soc.*, **35**: 485-489.
- Sunila, I. and Lindstrom, R. (1985) Survival, growth and shell deformities of copper- and cadmium-exposed mussels (*Mytilus edulis* L.) in brackish water. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, **21**: 555-565.

Tucker, L.E. (1970) Effects of external salinity on *Scutus breviculus* (Gastropoda, Prosobranchia) -I. Body weight and blood composition. *Comp. Biochem. Physiol.*, **36**: 301-319.

Wendel, A. and Feuerstein, S. (1981) Grug-induced lipid peroxidation in mice-1. Modulation by monooxygenase activity, glutathione and selenium status. *Biochem.*

Pharmacol., **30**: 2513-2520.

Zaccaron da Silver, A., Zanette, J., Fereira, J.F., Guzenski, J., Marques, M.R. and Bairy, A.C. (2005) Effects of salinity on biomarker responses in *Crassostrea rhizophorae* (Mollusca, Bivalvia) Exposed to diesel oil. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **62**: 376-382.