

수온 및 염분농도에 따른 북방전복, *Haliotis discus hannai* (Ino, 1952) 의 생존율, 탈락율 및 발의 조직학적 변화

박민우, 김혜진¹, 김병학, 손맹현, 전미애¹, 이정식¹

국립수산과학원 남서해연구소, ¹전남대학교 수산생명의학과

Changes of Survival Rate, Falling Rate and Foot Histology of the Abalone, *Haliotis discus hannai* (Ino, 1952) with Water Temperature and Salinity

Min Woo Park, Hyejin Kim¹, Byeong Hak Kim, Maeng Hyun Son, Mi Ae Jeon¹ 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 investigated survival, falling and structural changes of foot in *Haliotis discus hannai* with various water temperature and salinity. Experimental conditions were composed of control with 20°C/33.5 psu, higher temperature group with 23, 26, 29 and 32°C, lower temperature group with 3, 6, 9 and 12°C, and different salinities group with 33.5, 26.8, 20.1, 13.4, 6.7 and 3.3 psu. Experimental period was 7 days. Survival and falling rate of the abalone exposed to 7 days at control and experimental condition of 12°C and 23°C/33.5 psu were 100% and 0%, respectively. Mortality and falling rate of the abalone exposed to the different temperature and salinity were dose dependent by experimental condition. Histopathological changes in epithelial and muscular layer of foot showed more obvious with experimental condition of salinity decrease than different temperature condition.

Key words: survival and falling rate, foot histopathology, abalone, water temperature, salinity

서 론

수온과 염분은 해양생물의 생리대사와 지리적 분포에 영향을 미치는 매우 중요한 물리적 요인으로 연안에서 수온 및 염분농도의 변화는 계절적 특징을 나타낸다. 해양생물은 짧은 기간 동안 수온 및 염분농도의 변화에 노출되었다 할지라도 생물의 반응은 종과 이들의 크기에 따라 다양하게 나타난다 (Kinne, 1963; Widdows, 1985).

수온은 해양동물의 생식에 중요하게 작용하는 요인이지만, 급격한 수온의 변화는 스트레스로 작용하게 되는데 어류에 비해 상대적으로 이동성이 낮은 부착성 패류에서는 매우 심각한 생물반응을 유발시킬 수 있다 (Sastry and Vargo, 1977; Widdows, 1985). 일반적으로 패류는 150-50% 해수의 범위에서는 등장성이며 (Tucker, 1970), 염분농도의 변화정도에 따라 성장, 생존, 부착 및 산소소비 패턴을 비롯한 다양한 생리적 변화를 나타낸다 (Pierce and Greenberg, 1972; Shin *et al.*, 2012).

전복류 (Haliotidae) 는 세계적으로 56종이 보고되어 있으며, 이들의 최대 크기는 종에 따라 매우 다양하다 (Geiger, 1998). 이들은 전 세계적으로 분포하며 열대 산호초에서부터 온대 암반연안에 이르기까지 다양한 서식지를 가진다 (Geiger, 1998; Lindberg, 1992).

전복류의 수온, 염분농도 및 물리적 요인의 변화와 관련한 생물학적 반응에 관한 연구는 *Haliotis asinina* (Singhagraiwan *et al.*, 1992), *H. diversicolor supertexta*

Received: October 10, 2013; Revised: December 19, 2013
Accepted: December 22, 2013
Corresponding author : Jung Sick Lee
Tel: +82 (61) 659-7172 e-mail: ljs@chonnam.ac.kr
1225-3480/24500

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative 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 | - | + | ++ | +++ |

(Chen and Chen, 1999; Cheng *et al.*, 2002), *H. sieboldii* (Kim *et al.*, 2005; 2006), *H. iris* (Ragg and Taylor, 2006), *H. discus hannai* (Shin *et al.*, 2011, 2012) 등에 관한 다양한 연구가 있다. 일반적으로 전복류는 강한 스트레스에 노출되는 경우 기질로부터 탈락 및 이동성의 저하, 사망으로 이어지는데 이러한 결과는 발의 구조의 변성 및 기능적 저하와 연관된 것이다 (Donovan and Taylor, 2008; Shin *et al.*, 2012).

북방전복은 한국, 중국, 일본 등에서 중요한 고부가가치의 양식대상종이다. 한국에서 북방전복의 양식장은 연안에 위치하므로 여름철 고수온기와 겨울철 저수온기를 거쳐야 하며, 여름철 강우에 따른 저염분농도의 조건을 경험하여야 한다 (Shin *et al.*, 2012). 따라서 본 연구에서는 수온과 염분농도의 변화에 따른 북방전복의 생존, 탈락 및 발의 구조적 변화를 이해하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료

실험에는 외형과 부착능력에 이상이 없는 각장 6.0 ± 0.5 cm의 북방전복, *Haliotis discus hannai* 600개체를 이용하였다. 북방전복은 20°C/33.5 psu 조건의 5t 수조에서 1주간 순치시킨 후 실험에 사용하였다.

2. 방법

수온 조건은 20°C를 대조구로 고수온 4조건 (23, 26, 29, 32°C) 과 저수온 4조건 (3, 6, 9, 12°C) 으로 구분하였다. 염분농도 조건은 33.5 (100% 해수 (SW)), 26.8 (80% SW), 20.1 (60% SW), 13.4 (40% SW), 6.7 (20% SW), 3.3 psu (10% SW) 의 6개였다. 실험기간은 7일이었다. 실험에 사용된 FRP 수조의 부피는 500 L였다. 각 실험수조 당 20개체를 수용하였으며 각 실험 조건 별로 2반복 구간에서 실험이 행해졌다. 수온은 수온자동조절기를 이용하여 조절하였다. 염분농도는 여과해수에 담수를 첨가하여 조절했으며, 염분농도 측정은 자동염분농도측정기 (Atago, PR-100SA, Korea) 를 사용하였다. 실험 개체들의 사망과 탈락은 24시간 간격으로 확인하였다. 개체의 사망은 자극에 대한 발과 촉수의 수축반응 여부로 판단하였으며, 기질로부터 떨어진 개체들만을 탈락으로 판단하였다.

조직학적 분석은 실험종료시점에 실시하였으며, 분석 개체

수는 각 시험구별로 10개체였다.

광학현미경 조직표본제작은 발을 적출하여 Bouin's solution에 24시간 고정한 후, 흐르는 물로 36-48시간 동안 수세하였다. 그 후, 알코올의 농도 순 탈수과정을 거쳐 파라핀에 포매하였다. 파라핀에 포매된 조직은 마이크로톰을 이용하여 두께 4-6 μm의 횡단면과 종단면으로 연속절편을 제작하였다. 제작된 조직절편은 Mayer's hematoxylin-eosin (H-E) 염색과 periodic acid-Schiff solution and alcian blue (AB-PAS, pH 2.5) 반응을 실시하였다. 점액세포의 염색친화도 판정은 Pantone® Formula Guide (Pantone Inc., USA) 을 기준으로 고유번호를 괄호 안에 표시하였다. 발의 조직학적 변화 정도는 조직학적 변성을 보이는 개체수를 기준으로 출현율에 따라 Table 1과 같이 4단계로 구분하였다.

결 과

1. 수온

1) 사망률 및 탈락률

대조구 (수온 20°C) 와 수온 23°C 조건에 7일간 노출된 북방전복의 생존율의 변화는 없었다. 수온 26°C 와 29°C의 고수온 조건에 7일간 노출된 북방전복의 생존율은 각각 60%와 15%로 감소하였으며, 수온 32°C 조건에서는 24시간 이내에 모두 사망하였다. 수온 20°C와 수온 23°C 조건에 7일간 노출된 북방전복의 부착기질에서 떨어지는 탈락률의 변화는 없었다. 수온 26°C와 29°C 조건에서 7일간 노출된 북방전복의 탈락률은 각각 30%와 55%로 증가하였다. 수온 32°C 조건에서는 24시간 이내에 모두 탈락하였다 (Fig. 1).

수온 12°C의 저수온 조건에 7일간 노출된 북방전복의 생존율의 변화는 없었다. 9°C, 6°C 및 3°C 의 저수온 조건에 7일간 노출된 북방전복의 생존율은 각각 90, 35, 5%로 감소하였다. 수온 12°C의 저수온 조건에 7일간 노출된 북방전복의 생존율의 변화는 없었으나 9°C, 6°C 및 3°C 의 저수온 조건에 7일간 노출된 북방전복의 탈락율은 각각 5, 92.5, 100%로 증가하였다 (Fig. 2).

2) 발의 조직학적 변화

북방전복 발의 조직학적 구조는 횡단면에서 외부로부터 상피층, 결합조직층 및 근육층으로 구분할 수 있었다. 상피층은 단층으로 점모원주형 상피세포, 점액세포 및 과립세포들로 이

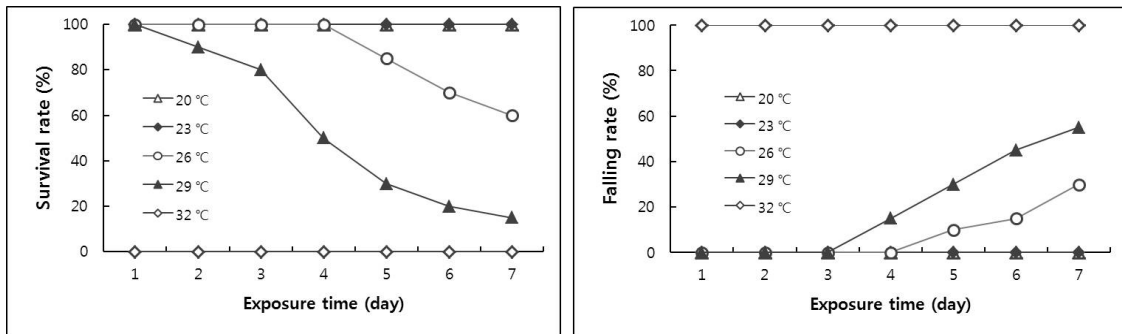


Fig. 1. Variations of survival and falling rate of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to high water temperature.

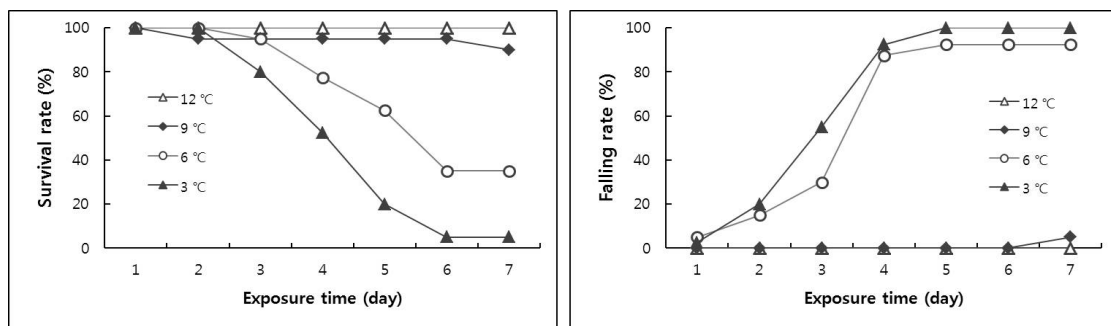


Fig. 2. Variations of survival and falling rate of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to low water temperature.

루어져 있었다. H-E 염색 결과, 점액세포는 공포상을 나타냈으며, 과립세포들은 호산성과립세포와 흑색과립세포들로 구분되었다 (Fig. 3A). AB-PAS (pH 2.5) 반응 결과, 상피층의 자유면에서는 선조연의 발달이 뚜렷하였으며, 점액세포들은 붉은색 (238C) 과 푸른색 (2665C) 으로 반응하는 두 종류로 구분

되었는데, 붉은색으로 반응하는 세포들의 비율이 훨씬 높았다. 결합조직층은 매우 얇은 편이며, 근육층에서는 근섬유 다발들과 혈림프동 (hemolymph sinus) 이 관찰되었다. 근섬유 다발들은 치밀하게 분포하고 있었으며, 환상근섬유와 종주근섬유들이 격자모양으로 구성되어 있었다 (Fig. 3B).

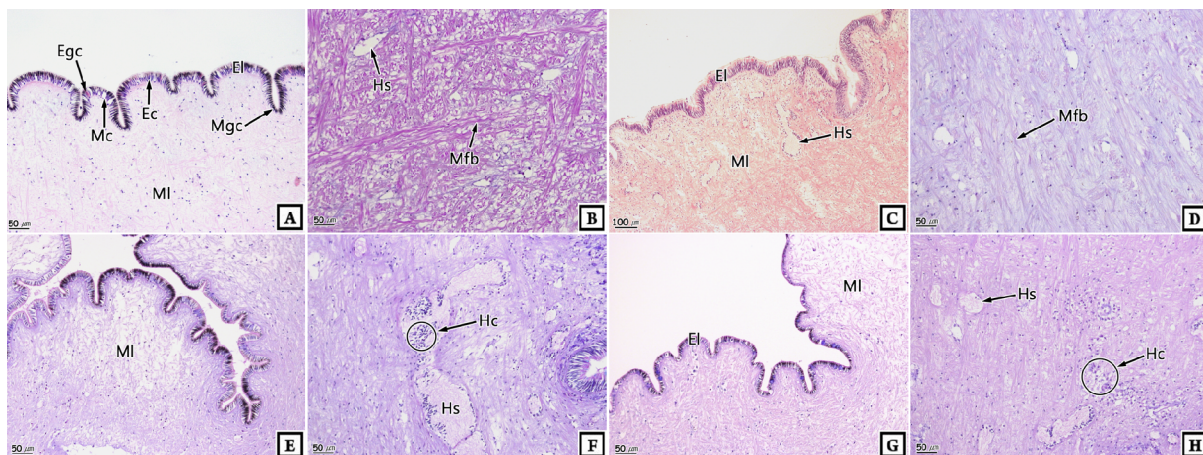


Fig. 3. Foot histological alterations of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to high water temperature. **A** and **B**: Control (20°C-33.5psu), **C** and **D**: 23°C, **E** and **F**: 26°C, **G** and **H**: 29°C. Ec, epithelial cell; Egc, eosinophilic granular cell; El, epithelial layer; Hc, hemocytes; Hs, hemolymph sinus; Mc, mucous cell; Mfb, muscle fiber bundle; MI, muscle layer.

Table 2. Quantitative scoring of foot histological alterations of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to high water temperature

| Histological alterations | Control (20℃) | 23℃ | 26℃ | 29℃ | |
|--------------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|
| Epithelial layer | DE | - | - | + | + |
| | DEGC | - | + | ++ | +++ |
| | DMGC | - | + | ++ | +++ |
| | DMC | - | ++ | +++ | +++ |
| Muscle layer | DMF | - | - | ++ | +++ |
| | HI | - | + | ++ | +++ |
| | CHS | - | - | ++ | +++ |

Score values: -, none; +, mild; ++, moderate; +++, severe. DE, degeneration of epithelium; DEGC, degeneration of eosinophilic granular cell; DMGC, degeneration of melano granular cell; DMC, degeneration of mucous cell; DMF, degeneration of muscle fiber; HI, hemocyte infiltration; CHS, closing of hemolymph sinus.

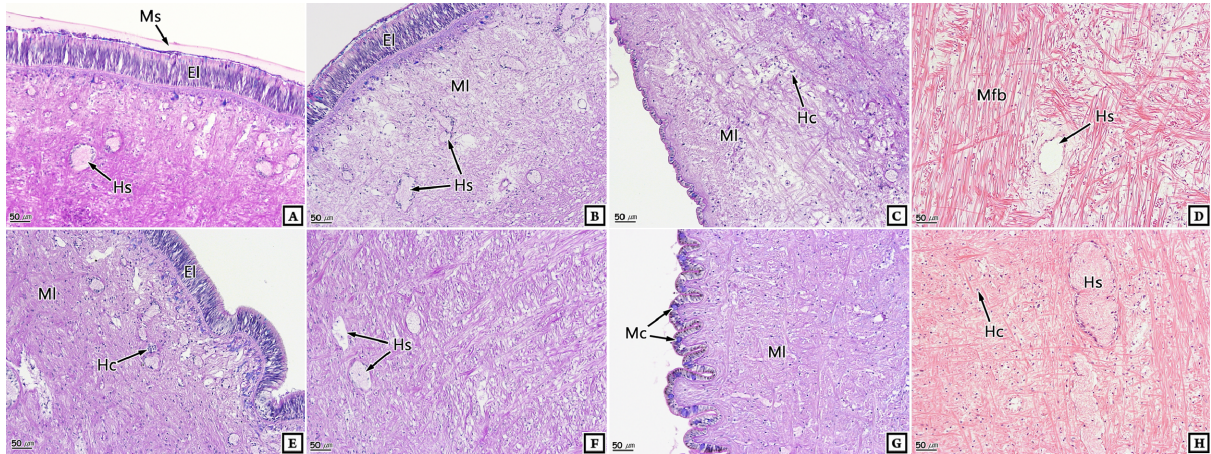


Fig. 4. Foot histological alterations of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to low water temperature. **A** and **B**: 12℃, **C** and **D**: 9℃, **E** and **F**: 6℃, **G** and **H**: 3℃. EI, epithelial layer; Hc, hemocytes; Hs, hemolymph sinus; Mc, mucous cell; Ms, mucous substance; Mfb, muscle fiber bundle; MI, muscle layer.

고수온 조건의 수온 23℃에서는 상피층 호산성과립세포의 감소와 점액물질의 증가 및 근육층 혈림프동의 확장이 나타났다 (Fig. 3C, D). 수온 26℃에서는 상피층 점액의 산성화 및 상피층 근처의 근육층에서는 근섬유 다발의 간격 확대와 혈구의 침윤이 확인 되었다 (Fig. 3E, F). 수온 29℃에서는 상피층 호산성과립세포와 흑색과립세포의 감소가 뚜렷하였으며, 점액세포의 공포화가 증가되었다. 그리고 근육층을 구성하는 근섬유의 갈라짐과 분절화가 뚜렷하였으며, 혈림프동 내강은 섬유성물질에 의해서 폐쇄된 조직상이 확인되었다 (Fig. 3G, H). 일부 사망개체 가운데 탈락하지 않은 개체들이 확인되었다. 이들의 발 상피층에서는 점액세포의 활성화와 근섬유의 간격이 다른 개체들에 비해 넓어진 조직상이 나타났다. 수온 23℃ 이상의 고수온 상태에서 발의 조직학적 변성은 점액세포의 변성이 가장 뚜렷하였으며, 수온이 증가함에 따라 조직학적 변성도

증가하는 양상을 보였다 (Table 2).

저수온 조건의 수온 12℃에 노출된 북방전복의 발에서는 상피층 자유면에 점액물질의 증가와 결합조직층의 비후 및 혈림프동에서 혈구의 증가가 나타났다 (Fig. 4A, B). 수온 9℃에서는 상피층 점액의 산성화와 근섬유 사이의 간질조직에서 혈구의 증가가 확인 되었다 (Fig. 4C, D). 수온 6℃에서부터 3℃로 수온이 하강함에 따라 상피층 점액의 산성화 및 공포화가 증가되었으며, 근육층의 혈림프동 내강은 섬유성물질에 의해서 폐쇄된 조직상이 확인되었다 (Fig. 4E, F, G, H). 수온 12℃ 이하의 저수온 상태에서 발의 조직학적 변성은 상피층에서는 점액세포의 변성이 가장 뚜렷하였으며, 근육층에서는 혈구의 침윤이 가장 뚜렷하였다. 발의 조직학적 변성은 수온이 감소함에 따라 증가하는 양상을 보였다 (Table 3).

Table 3. Quantitative scoring of foot histological alterations of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to low water temperature

| Histological alterations | | 12°C | 9°C | 6°C | 3°C |
|--------------------------|------|------|-----|-----|-----|
| Epithelial layer | DE | ++ | ++ | ++ | +++ |
| | DEGC | ++ | ++ | +++ | +++ |
| | DMGC | ++ | ++ | ++ | +++ |
| | DMC | +++ | +++ | +++ | +++ |
| Muscle layer | DMF | ++ | ++ | +++ | +++ |
| | HI | +++ | +++ | +++ | +++ |
| | CHS | ++ | ++ | +++ | +++ |

Score values: -, none; +, mild; ++, moderate; +++, severe. DE, degeneration of epithelium; DEGC, degeneration of eosinophilic granular cell; DMGC, degeneration of melano granular cell; DMC, degeneration of mucous cell; DMF, degeneration of muscle fiber; HI, hemocyte infiltration; CHS, closing of hemolymph sinus.

2. 염분농도

1) 사망률 및 탈락률

대조구인 33.5 psu/20°C 조건에 7일간 노출된 북방전복의 생존율과 탈락율은 각각 100%와 0%였다. 26.8 psu의 조건에 7일간 노출된 북방전복의 생존율은 90%였다. 20.1 psu에서는 노출 6일에 모두 사망하였으며, 13.4 psu 이하에서는 노출 24시간 내에 모두 사망하였다. 26.8 psu의 조건에 7일간 노출된 북방전복의 탈락률은 10%였다. 20.1 psu에서는 노출 5일째 모두 탈락하였으며, 13.4 psu 이하의 조건에서는 노출 24시간 내에 모두 탈락하였다 (Fig. 5).

2) 발의 조직학적 변화

염분농도의 저하 (26.8, 20.1, 13.4, 6.7 and 3.3 psu) 에 따른 북방전복 발의 상피층과 근육층의 조직학적 변화는 수온 변화에 의한 조직학적 변화 보다 뚜렷하였다. 26.8 psu에서 북방전복 발의 상피층에서는 호산성과립세포의 감소 및 점액의 산성화가 확인되었으며, 근육층에서는 근섬유 다발의 간격 확대가 나타났다 (Fig. 6A, B). 20.1 psu에서는 상피층 흑색

과립세포들의 감소, 점액세포의 공포화 및 위축, 상피층의 비후 및 일부 상피세포의 변성이 관찰되었다. 근육층에서는 근섬유의 갈라짐, 분절화, 혈구의 증가 및 섬유성 물질에 의한 혈림프동의 폐쇄가 확인되었다 (Fig. 6C, D). 염분농도가 13.4, 6.7 및 3.3 psu로 감소하면서 상피층에서는 점액세포의 변성 및 소실, 상피세포의 파괴, 상피층의 붕괴 및 탈락이 확인되었으며, 근육층에서는 혈구의 증가 및 섬유성 물질에 의한 혈림프동의 폐쇄와 근섬유 다발의 붕괴가 확인되었다 (Fig. 6E-J). 염분농도의 감소에 따른 북방전복 발의 조직학적 변성은 근육층에서 보다 상피층에서 뚜렷하였다. 발의 조직학적 변성은 염분농도가 감소함에 따라 증가하는 양상을 보였다 (Table 4).

고 찰

해양동물의 생리적 반응은 연령, 크기 및 생활사를 포함한 여러 가지 환경요인에 의해 영향을 받는데, 특히 수온과 염분농도의 변화는 연안생물의 생리적 과정에 영향을 미치는 중요한 요인이다. 수온 변화와 저염분농도에 노출된 패류는 섭이감소, 성장률 감소, 기관계의 구조적 변화, 생존율 감소, 호흡률

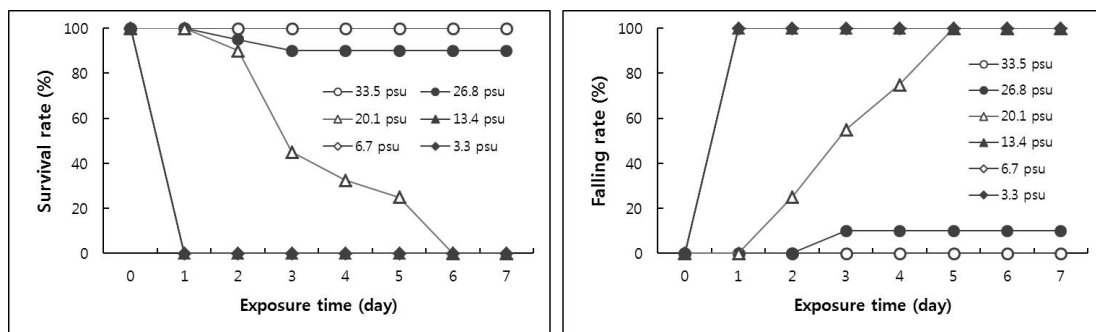


Fig. 5. Variations of survival and falling rate of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to various salinity.

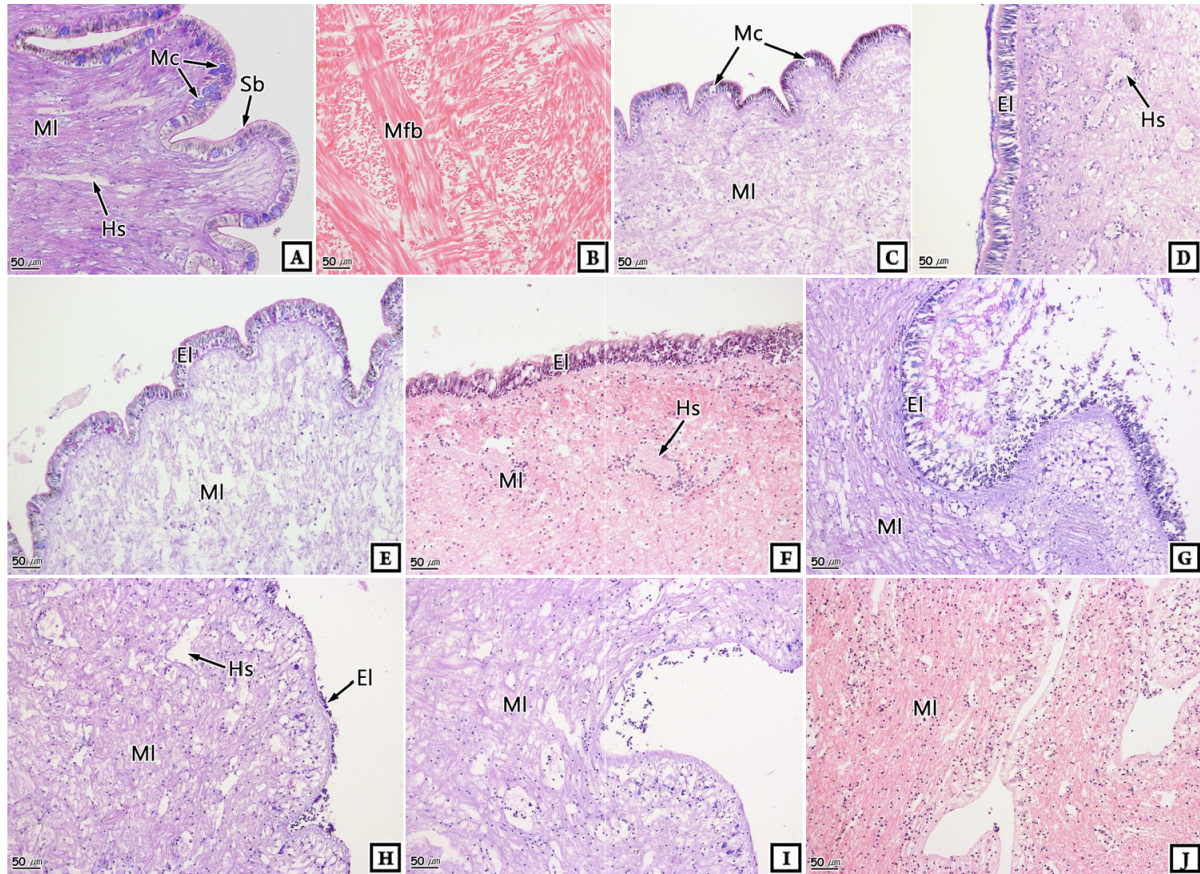


Fig. 6. Foot histological alterations of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to various salinity. **A** and **B**: 26.8 psu, **C** and **D**: 20.1 psu, **E** and **F**: 13.4 psu, **G** and **H**: 6.7 psu, **I** and **J**: 3.3 psu. EI, epithelial layer; Hs, hemolymph sinus; Mc, mucous cell; MI, muscle layer; Sb, striated border.

Table 4. Quantitative scoring of foot histological alterations of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to various salinity

| Histological alterations | Control (33.5 psu, 100% SW) | 26.8 psu (80% SW) | 20.1 psu (60% SW) | 13.4 psu (40% SW) | 6.7 psu (20% SW) | 3.3 psu (10% SW) |
|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Epithelial layer | DE | - | + | ++ | +++ | +++ |
| | DEGC | - | ++ | +++ | +++ | +++ |
| | DMGC | - | ++ | +++ | +++ | +++ |
| | DMC | - | ++ | +++ | +++ | +++ |
| Muscle layer | DMF | - | + | ++ | +++ | +++ |
| | HI | - | + | ++ | +++ | +++ |
| | CHS | - | + | ++ | +++ | +++ |

Score values: -, none; +, mild; ++, moderate; +++, severe. DE, degeneration of epithelium; DEGC, degeneration of eosinophilic granular cell; DMGC, degeneration of melano granular cell; DMC, degeneration of mucous cell; DMF, degeneration of muscle fiber; HI, hemocyte infiltration; CHS, closing of hemolymph sinus.

및 대사량의 변화 (Bayne *et al.*, 1985; Widdows, 1985; Navarro and Gonzalez, 1998; Chen *et al.*, 1999; Shin *et al.*, 2012) 등을 나타낸다. 특히, 연안에서 이루어지고 있는 패류 양식은 대체로 환경변화에 대한 문제를 안고 있어, 하계 고수온 및 저염분, 동계 저수온 등 계절적 변화에 의해 연안 양식 생물의 폐사에 영향을 미치기도 하고 생산량의 변동이 발생하기도 한다 (Shin *et al.*, 2012).

일반적으로 동일 연안 서식 생물일지라도 종과 서식생태에 따라 수온 및 염분농도 변화에 대한 내성의 차이가 있는 것으로 나타났다. 18°C와 25°C에 순응시킨 바지락, *Ruditapes philippinarum*의 반수치사수온도는 18°C에 순응시킨 실험구는 36°C, 그리고 25°C에 순응시킨 실험구는 37°C로 두 순응구간에서 큰 차이를 나타내지 않았다 (Shin *et al.*, 2000). 홍합, *Mytilus coruscus*에서 9일 동안의 반수치사수온은 27.1°C였으며, 수온 10, 15, 25°C에서 각 수온별 9일 동안의 반수치사 염분농도는 각각 17.01, 19.95 및 21.79 psu였다 (Shin and Wi, 2004). 꼬막, *Tegillarca granosa*의 성패와 치패에 대한 7일 동안의 LT₅₀은 각각 27.72°C와 28.36°C이다 (Shin and Moon, 2005). 수온 및 염분농도의 변화에 따른 전복류의 생존율은 *Haliotis asinina*의 경우에는 32.5 psu에서 저염분으로 옮겼을 때, 20.5 psu의 염분농도까지 생존이 가능하다 (Singhagraiwan *et al.*, 1992). *Haliotis diversicolor supertexta*의 각장 12.68 ± 0.11 mm 치패의 경우, 20°C/35 psu에서 1주간 생존 가능 수온 범위는 3.5-32.7°C이며, 30°C/25 psu에서 1주간 생존 가능 수온 범위는 14.0-36.8°C이다 (Chen and Chen, 1999). *Haliotis sieboldii*의 치패는 10, 15, 20, 25°C에서 48시간 동안 생존율은 모두 100%였으나, 30°C에서는 0%이다 (Kim *et al.*, 2006).

본 연구에서 수온 20°C/33.5 psu와 23°C 조건에 7일간 노출된 북방전복, *Haliotis discus hannai*의 생존율은 100%였으나 26°C 이상의 고수온 조건에서는 온도의존적으로 생존율은 감소하였으며 기질 탈락률은 증가하였다. 수온 12°C의 저수온 조건에 7일간 노출된 북방전복의 생존율은 100%였으나 9°C, 6°C 및 3°C의 저수온 조건에서 생존율은 각각 90, 35, 5%로 감소하였다. 26.8 psu/20°C의 조건에 7일간 노출된 북방전복의 생존율은 90%였으나 염분농도가 감소함에 따라 생존율은 감소하고 탈락률은 증가하는 경향을 보였다.

수온 및 염분농도의 변화에 따른 전복류의 생리기능 변화 및 사망원인에 대해서는 다양한 연구 들이 보고되었다. 급격한 염분농도의 변화에 따른 패류의 먹이섭취 및 대사와 관련된 생리적 반응은 노출초기에는 감소되지만 2-3일 지나면서 점차 세포내 삼투요인을 변화시켜 조절하며, 정상적인 기능을 되찾아 회복한다. 하지만, 단기간의 염분변화에 대한 에너지 균형을 조절할 수 있는 생리적 보상 조절에 영향을 미칠 수 있는 능력

에는 한계가 있다 (Widdows, 1985). Shin *et al.* (2011)은 북방전복의 경우 19.8 psu에 노출 후 6일째 모두 사망한 결과는 20 psu이하 외부환경의 삼투질농도에 순치하지 못하여 항상성을 유지할 수 있는 생리적 내성한계 범위를 벗어나게 됨으로서 대사조절 능력을 잃어 사망한 것으로 설명하였다.

패류의 혈림프는 가스교환, 삼투조절, 생체방어, 영양물질의 소화와 수송, 상처치유 및 배설 기능 등에 관여하는 것으로 알려져 있다 (Gosling, 2004). 급격한 수온 변화에 따른 *Haliotis sieboldii*의 생리적 변화에서 저수온 스트레스의 경우는 혈림프의 생성을 저해하며, 고수온 스트레스의 경우에는 초기에는 혈림프 생성을 증가시키는 생리적 활성이 나타나지만, 이 역시 일정시간이 지나면 혈림프의 생성을 억제 시킨다. 단시간에 30°C 이상의 고수온 스트레스를 받게될 경우 생리적 방어 한계점에 도달하여 유의적인 혈림프 수의 증감 없이 사망하게 된다 (Kim *et al.*, 2006).

보통 복족류에서 기질에 부착은 발 근육과 점액을 이용한다. 복족류는 움직이지 않고 있을 때 접촉체 역할을 하는 부착점액을 발 근육 표면으로부터 분비함으로써 기질에 부착한다 (Denny and Gosline, 1980; Denny, 1984). 삿갓조개류나 전복류의 경우에는 발의 기저근육이 폐각의 등 쪽에 붙어있는 폐각근 또는 각축근과 밀접하게 연관되어 있어서 기질에 단단히 붙어서 기어 다니는 역할을 담당 한다 (Trueman and Brown, 1985; Voltzow, 1990). 삿갓조개류에서 부착은 각축근의 수축과 점액층 사이의 상호작용에 의한 흡착에 의해서 수행된다 (Smith, 1991, 1992).

본 연구에서 수온 및 염분농도 변화 조건에 노출된 북방전복에서 발 상피층에 분포하는 점액세포의 산성화를 비롯한 변성이 확인되었다. 점액의 산성화는 점액의 점성이 약화됨을 의미하며, 점액세포의 공포화 및 위축은 점액의 분비가 약화되었거나 증지를 의미한다. 이러한 점액 점성의 약화 및 분비능력 저하는 북방전복의 부착력을 약화시켜 기질로부터 탈락을 유발하는 원인으로 판단된다.

잠입성 이매패류의 경우, 잠입 능력 및 이동력은 발 상피층의 점액, 근섬유의 수축, 근육층 내의 혈림프동의 팽창 등과 연관되어 있다 (Gosling, 2004). 그러나 복족류에서 근육층 혈림프동과 관련하여 고찰된 보고는 찾아보기 힘들지만 복족류 역시 부착이나 이동력은 혈림프동의 수축 또는 팽창과도 연관이 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서 북방전복 발의 근육층에서 근섬유 다발 간격의 확대를 비롯한 조직학적 변성이 확인되었는데, 이러한 현상은 발 근육의 수축작용 저하를 나타내는 구조적 특징으로 이 역시 기질 부착력의 약화와 연관된 것으로 판단된다.

하지만, 북방전복의 기질부착력과 관련된 구체적인 자료를 축적하기 위해서는 추후 점액분비 및 근섬유 변성 등에 관한

정량적 분석이 수행되어야 할 것으로 생각된다.

요 약

본 연구는 수온과 염분농도의 변화에 따른 북방전복의 생존, 탈락 및 발의 구조적 변화를 이해하고자 하였다. 노출조건은 대조구 (20℃/33.5 psu), 고수온 4조건 (23, 26, 29, 32℃), 저수온 4조건 (3, 6, 9, 12℃), 염분농도 6조건 (33.5, 26.8, 20.1, 13.4, 6.7, 3.3 psu) 이었다. 실험기간은 7일이었다. 대조구와 12℃ 및 23℃/33.5 psu 조건에 7일간 노출된 북방전복의 생존율과 탈락률은 각각 100%와 0%였다. 다양한 수온 및 염분농도 조건에 노출된 북방전복의 사망률과 탈락률은 농도의존적 이었다. 북방전복 발의 상피층과 근육층의 조직학적 변화는 수온의 변화 보다 염분농도의 감소 조건에서 더욱 뚜렷하였다.

감사의 글

본 연구는 국립수산물품질관리원 (전복 가두리양식 생산성향상 및 표준화 연구 13-AQ-51) 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Bayne, B.L., Brown, D.A., Burns, K., Dixon, D.R., Ivanovici, A., Livingstone, D.R., Lowe, D.M., Moore, M.N., Stebbing, A.R.D. and Widdows, J. (1985) The effects of stress and pollution on marine animals (Praeger special studies). Praeger Scientific, Westport, C.T. pp. 9.

Chen, J.C. and Chen, W.C. (1999) Temperature tolerance of *Haliotis diversicolor supertexta* at different salinity and temperature levels. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, **124**: 73-80.

Cheng, W., Yeh, S.P., Wang, C.S. and Chen, J.C. (2002) Osmotic and ionic changes in Taiwan abalone *Haliotis diversicolor supertexta* at different salinity levels. *Aquaculture*, **203**: 349-357.

Denny, M.W. (1984) Mechanical properties of pedal mucus 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*. *Journal of Experimental Biology*, **88**: 375-393.

Donovan, D.A. and Taylor, H.H. (2008) Metabolic consequences of living in a wave-swept environment: Effects of simulated wave forces on oxygen consumption, heart rate, and activity of the shell adductor muscle of the abalone *Haliotis iris*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **354**: 231-240.

Geiger, D.L. (1998) Recent genera and species of the family Haliotidae Rafinesque, 1815 (Gastropoda:

Vestigastropoda). *Nautilus*, **111**: 85-116.

Gosling, E. (2004) Bivalve molluscs: Biology, Ecology and Culture, Blackwell Science, Oxford. pp. 443.

Kim, T.H., Kim, K.J., Choe, M.K. and Yeo, I.K. (2006) Physiological changes of juvenile abalone, *Haliotis sieboldii* exposed to acute water-temperature stress. *Journal of Aquaculture*, **19**: 77-83.

Kim, T.H., Yang, M.H., Choe, M.K., Han, S.J. and Yeu, I.K. (2005) Physiological studies on acute water-temperature stress of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai*. *Journal of Aquaculture*, **18**: 7-12.

Kinne, O. (1966) Physiological aspects of animal in estuaries with special reference to salinity. *Netherlands Journal of Sea Research*, **3**: 222-244.

Lindberg, D.R. (1992) Evolution, distribution, and systematics of Haliotidae. *In*: Abalone of the World: Biology, Fisheries, and Culture. (ed. by Shepherd, S.A., Tegner, M.J., Guzman del Proo, S.A.), Blackwell, Oxford, pp. 3-18.

Navarro, J.M. and Gonzalez, C.M. (1998) Physiological responses of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* to decreasing salinities. *Aquaculture*, **167**: 315-327.

Pierce, S.K. and Greenberg, M.J. (1972) The nature of cellular volume regulation in marine bivalves. *Journal of Experimental Biology*, **57**: 681-692.

Ragg, N.L.C., Taylor, H.H. (2006) Heterogeneous perfusion of the paired gills of the abalone *Haliotis iris* Martyn 1784: an unusual mechanism for respiratory control. *Journal of Experimental Biology*, **209**: 475-483.

Sastry, A.N. and Vargo, S.L. (1977) Variations in the physiological response of crustacean larvae to temperature. *In*: Physiological Response of Marine Biota to Pollutants. (ed. by Vernberg, F.J., Calabrese, A., Thurberg, F.P., Vernberg W.B.), Academic Press, New York, pp. 410-424.

Shin, Y.K. and Moon, T.S. (2005) Temperature tolerance and physiological changes of blood cockle, *Tegillarca granosa*. *Journal of Korean Fisheries Society*, **38**: 251-256.

Shin, Y.K. and Wi, C.H. (2004) Effects of temperature and salinity on survival and metabolism of the hard shelled mussel *Mytilus coruscus*, Bivalve; Mytilidae. *Journal of Aquaculture*, **17**: 103-108.

Shin, Y.K., Jun, J.C., Im, J.H., Kim, D.W., Son M.H. and Kim, E.O. (2011) Physiological responses in abalone *Haliotis discus hannai* with different salinity. *Korean Journal of Malacology*, **27**: 283-289.

Shin, Y.K., Lee, W.C., Kim, D.W., Son, M.H., Jun, J.C., Kim, E.O. and Kim, S.H. (2012) Seasonal changes in physiology of the abalone *Haliotis discus hannai* reared from Nohwa Island on the south coast of Korea. *Korean Journal of Malacology*, **28**: 131-136.

Singhgraiwan, T., Doi, M. and Sasaki, M. (1992) Salinity tolerance of juvenile donkey's ear abalone, *Haliotis asinina* Linne. *Thailand Marine Fisheries Research Bulletin*, **3**: 71-77.

- Smith, A.M. (1991) The role of suction in the adhesion of limpets. *Journal of Experimental Biology*, **161**: 151-169.
- Smith, A.M. (1992) Alternation between attachment mechanisms by limpets in the field. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **160**: 205-220.
- Trueman, E.R., Brown, A.C. (1985) The mechanism of shell elevation in *Haliotis* (Mollusca: Gastropoda) and a consideration of the evolution of the hydrostatic skeleton in Mollusca. *Journal of Zoology*, **205**: 585-594.
- Tucker, L.E. (1970) Effects of external salinity on *Scutus breviculus* (Gastropoda, Prosobranchia)-I. Body weight and blood composition. *Comparative Biochemistry and Physiology*, **36**: 301-319.
- Voltzow, J. (1990). The functional morphology of the pedal musculature of the marine gastropods *Busycon contrarium* and *Haliotis kamtschatkana*. *Veliger*, **33**: 1-19.
- Widdows, J. (1985) The effects of fluctuating and abrupt changes in salinity on the performance of *Mytilus edulis*. *In*: Marine Biology of Polar Regions and Effects of Stress on Marine Organism. (ed. by Gray, J. S., Christiansen, M.E.), Wiley-Interscience, New York. pp. 555-566.