



등근전복속 교잡종 (북방전복 ♀ * 등근전복 ♂)의 고수온 내성

김지현 · 김수지* · 이정식* · 김재원†

전라남도 해양수산과학원(연구사) · *전남대학교(연구원 · 교수) · †강원도립대학교(교수)

Tolerance on High Water Temperature of Hybrid Abalone (*Haliotis discus hannai* ♀ * *H. discus discus* ♂)

Jihun KIM · Suji KIM* · Jung-Sick LEE* · Jae-Won KIM†

Jeollanam-do Institute of Ocean & Fisheries Technology(researcher) ·

*Chonnam National University(researcher · professor) · †Gangwon State University(professor)

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the tolerance of high water temperature according to the survival rate and degree of histological changes of hybrid abalone(*Haliotis discus hannai* ♀ * *H. discus discus* ♂). In this experiment, hybrid abalone with an average shell length of 30.3±0.90 mm was used. The water temperature conditions were 5(20, 24, 26, 28 and 30℃) groups and the exposure period was 4 weeks. At water temperature 20, 24, 26 and 28℃ the survival rate after 4 weeks was more than 90%. There was no significant difference in survival rate among different experimental groups(p<0.05). However, the survival rate at 30℃ decreased to 53.7%. The degree of histological degeneration of the organs(foot, gill and hepatopancreas) tended to increase with the increase of water temperature.

Key words : Hybrid abalone, Survival rate, Histopathology, Water temperature, Tolerance

I. 서론

다양한 물리적 환경요인 가운데 수온은 해양생물의 지리학적 분포 및 생리대사에 영향을 주는 가장 중요한 요인이다(Barton and Iwama, 1991; Pickering, 1992). 전복류는 주로 연안의 경성저질인 암반지대에 서식하며, 수온과 염분도 변화 등의 다양한 환경 변화를 겪게 된다. 최근 한국 연근해의 표층 수온은 지속적으로 상승하고 있다(Seong et al., 2010). 수서생태계에서 빠른 수온의 변화는 생물에게 스트레스로 작용하게 되는데 운동성이 낮은 패류에서는 매우 심각한 생물반응을

유발시킬 수 있다(Sastry and Vargo, 1977).

전복류는 2000년대 이후 한국, 중국, 일본을 비롯한 세계적인 고부가 산업 양식종으로 생산량이 증가하고 있는 추세이다. 하지만, 고수온과 밀식 등의 다양한 연안양식 환경조건의 악화로 인해 양식 산업이 어려움을 겪고 있다. 따라서 성장률, 내병성 및 환경내성을 향상시키기 위한 다양한 육종연구들이 전 세계적으로 진행되고 있다(Hara, 1990; Hara and Kikuchi, 1992; Viana, 2002; Najmudeen and Victor, 2004; Park et al., 2012). 한국에서는 북방전복, *Haliotis discus hannai*을 대상으로 선발육종 연구와 교잡육종 연구가 수행되고

† Corresponding author : 033-660-8223, kjw01@gw.ac.kr

* 본 연구는 해양수산부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 Golden Seed 프로젝트 사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (213008-05-2-SB720).

있다(Park et al., 2016; Kim et al., 2018).

본 연구에서는 등근전복속 교잡종(북방전복 *H. discus hannai* ♀ * 등근전복 *H. discus discus* ♂)의 생존율과 발, 아가미, 간체장의 조직학적 변화 정도를 파악하고 이 결과를 토대로 이들의 고수온 내성을 다른 전복류와 비교하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 재료

본 실험에서는 인공수정을 통해 생산된 평균 각장 30.3±0.90 mm인 등근전복속 교잡종(북방전복 *Haliotis discus hannai* ♀ * 등근전복 *H. discus discus* ♂) 400개체를 사용하였다.

2. 방법

가. 실험조건

실험에 사용한 해수의 수질은 <Table 1>과 같다. 실험은 유수식 방법으로 실시하였으며, 모든 전복은 18℃/33.5 psu 조건의 5t 수조에서 각각 40개체씩 은신처가 설치된 PVC 수조에서 1주 동안 순치 사육하였다. 순치기간에는 먹이를 공급하지 않았다. 수온 조건은 20℃의 대조구와 수온 4조건(24, 26, 28, 30℃) 으로 실험하였다. 수온은 자동수온조절기를 이용하여 조절하였다.

<Table 1> Conditions of experimental sea water

Item (unit)	Value
pH	8.3 ± 0.2
Salinity (%)	33.0 ± 0.5
Dissolved oxygen (mg/L)	7.5 ± 0.5
Chemical oxygen demand (mg/L)	1.5 ± 0.2
Ammonia (ug/L)	8.8 ± 1.0
Nitrite (ug/L)	5.4 ± 0.5
Nitrate (ug/L)	14.5 ± 0.5

나. 생존율

생존율은 Park et al.(2013)의 방법에 따라 분석하였다. 실험기간 동안 매일 오전 10시에 인위적 자극을 주었을 때, 촉수와 발의 반응 여부와 육질부가 소실된 개체를 대상으로 사망개체를 판단한 후, 누적사망률을 구하여 생존율로 환산하여 나타냈다.

다. 조직학적 분석

실험개체들은 각장 등 측정형질을 계측한 후, 발, 아가미, 간체장을 적출하였다. 적출한 조직은 10% 중성포르말린으로 24시간 고정한 후, 흐르는 물로 36~48시간 동안 수세하였다. 그 후, 알코올의 농도 순 탈수과정을 거쳐 파라핀 포매하였다. 파라핀 포매 조직은 마이크로톰을 이용하여 두께 4~6 μm의 연속절편을 제작하였다. 제작된 조직절편은 Mayer's hematoxylin-eosin(H-E) 이중염색과 periodic acid-Schiff solution and alcian blue (AB-PAS, pH 2.5) 반응을 실시하여 광학현미경으로 분석하였다. 조직화학적인 변화양상(상피층 두께, 상피세포의 변성, 점액세포의 분포비율, 호염기성세포 분포비율)은 현미경 화상분석장치(IMT, Visus, U.S.A)를 사용하여 정량화하였다.

라. 유의성 검증

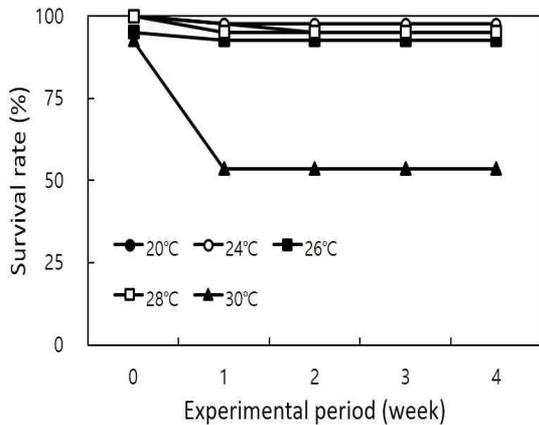
대조구에 대한 실험구의 유의적 차이(P < 0.05)를 알아보기 위하여 SPSS 통계 프로그램(SPSS 20.0, SPSS Inc., U.S.A)을 이용하여 paired sample t-test를 실시하였다.

III. 연구 결과

1. 생존율

수온 변화에 따른 생존율 분석 결과, 20℃ 수온구간에서는 1주 경과 후 97.6%로 감소하였으며, 2주 경과 후에는 95.1%로 감소하였으나 이후 종료 시점까지 생존율의 지속적인 감소는 없었다. 24℃, 26℃, 28℃에서는 1주 경과 후, 각각

97.6%, 92.7%, 95.1%로 생존율이 감소하였으나 이후 종료 시점까지 지속적인 감소는 없었으며, 수온 구간별 생존율 변화의 유의차는 없었다 ($p < 0.05$). 30°C에서는 1주 경과 후, 53.7%로 생존율이 감소하였으나 다른 수온구와 마찬가지로 이후 종료 시점까지 지속적인 생존율의 감소는 없었다(Fig. 1).



[Fig. 1] Survival rate with water temperature in hybrid abalone, *Haliotis discus hannai* ♀* *H. discus discus* ♂.

2. 조직학적 변화

가. 발

수온에 따른 발의 상피층을 조직학적으로 분석한 결과, 상피층에서는 주로 점액세포의 산성화 변성이 관찰되었으며, 근육층에서 근섬유다발의 갈라짐과 분절화 및 혈림프동의 폐쇄가 확인되었다(Fig. 2).

수온 변화에 따른 발의 상피층 점액세포의 변성 정도는 20°C와 24°C에서 30% 내외였으나 26°C에서는 50% 내외, 28°C와 30°C에서는 70% 내외로 상대적으로 저수온 구간에 비해 높았다. 근섬유다발의 변성 정도는 20°C와 24°C에서는 10%

내외로 낮은 편이나 28°C와 30°C에서는 50% 내외였으며, 혈림프동의 폐쇄는 28°C와 30°C에서 각각 30%와 50% 내외를 보였다(<Table 2>).

나. 아가미

수온에 따른 아가미의 조직학적 변화를 관찰한 결과, 모든 수온 구간에서 새엽 상피세포의 비대와 증식에 의한 새엽 상피층의 비후와 AB-PAS (pH 2.5) 반응에 푸르게 반응하는 산성 점액세포의 증가가 확인되었다. 하지만, 새엽 상피층을 구성하는 상피세포의 위축은 관찰되지 않았다(Fig. 3).

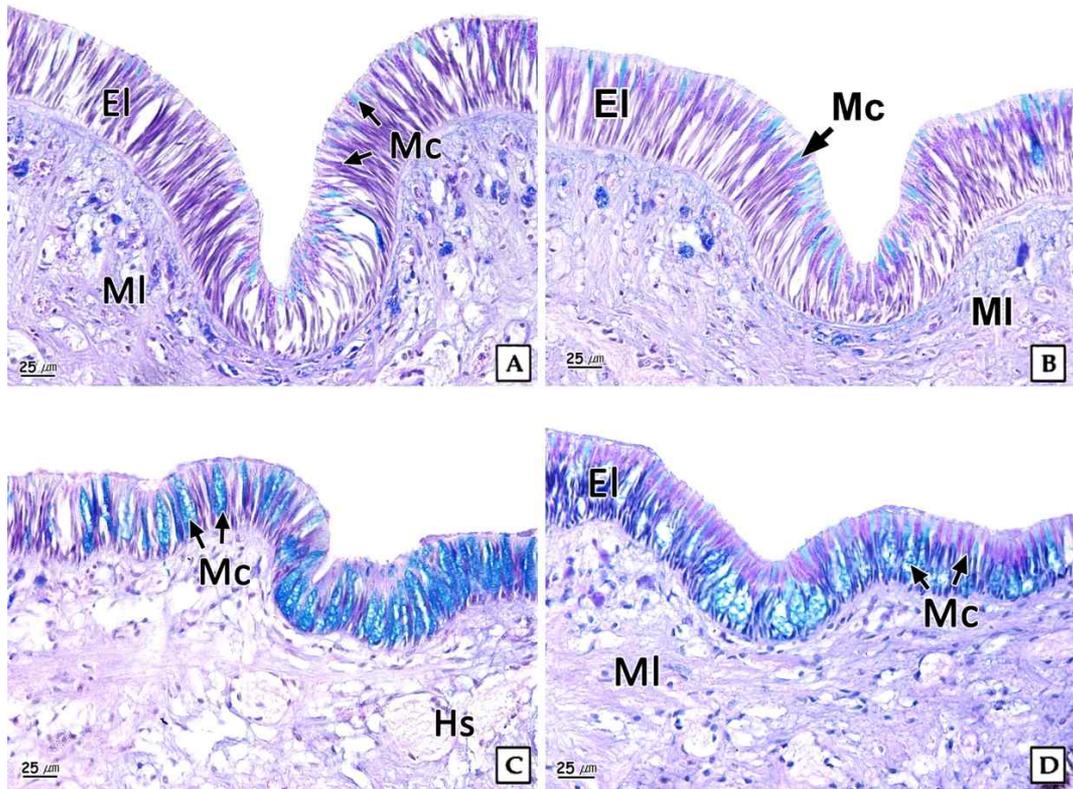
수온 변화에 따른 아가미 새엽 상피세포의 비대는 20°C에서는 관찰되지 않았으나 수온이 상승함에 따라 높아져 26°C와 28°C에서는 50% 내외로 분석되었다. 새엽 상피세포의 증식은 28°C와 30°C에서 각각 30%와 50% 내외로 분석되었다. 새엽 상피층의 점액세포 변성 정도는 수온의존적 증가 경향을 보여 30°C에서 70%의 출현율을 보였다(<Table 3>).

다. 간췌장

수온에 따른 간췌장 소화선세관의 조직학적 변화는 분비기능을 통해 세포의 소화를 담당하는 호염기성세포의 변성과 상피세포의 공포화 및 붕괴가 관찰되었다(Fig. 4).

수온 변화에 따른 소화선세관의 호염기성세포 변성 정도는 20°C와 24°C에서는 10% 내외였으나 26°C에서는 50%, 28°C와 30°C에서는 70% 내외로 증가하였다. 상피세포의 공포화 변성 정도는 24°C, 26°C와 28°C에서는 각각 30%, 50%, 70% 내외로 수온 상승에 따라 변성 정도가 높아지는 경향을 보였다. 소화선세관 상피세포의 붕괴 정도 역시 낮은 수온 구간에 비해 상대적으로 높았으며, 30°C에서는 90% 내외를 나타냈다(<Table 4>).

등근전복속 교잡종(북방전복 ♀ * 등근전복 ♂)의 고수온 내성

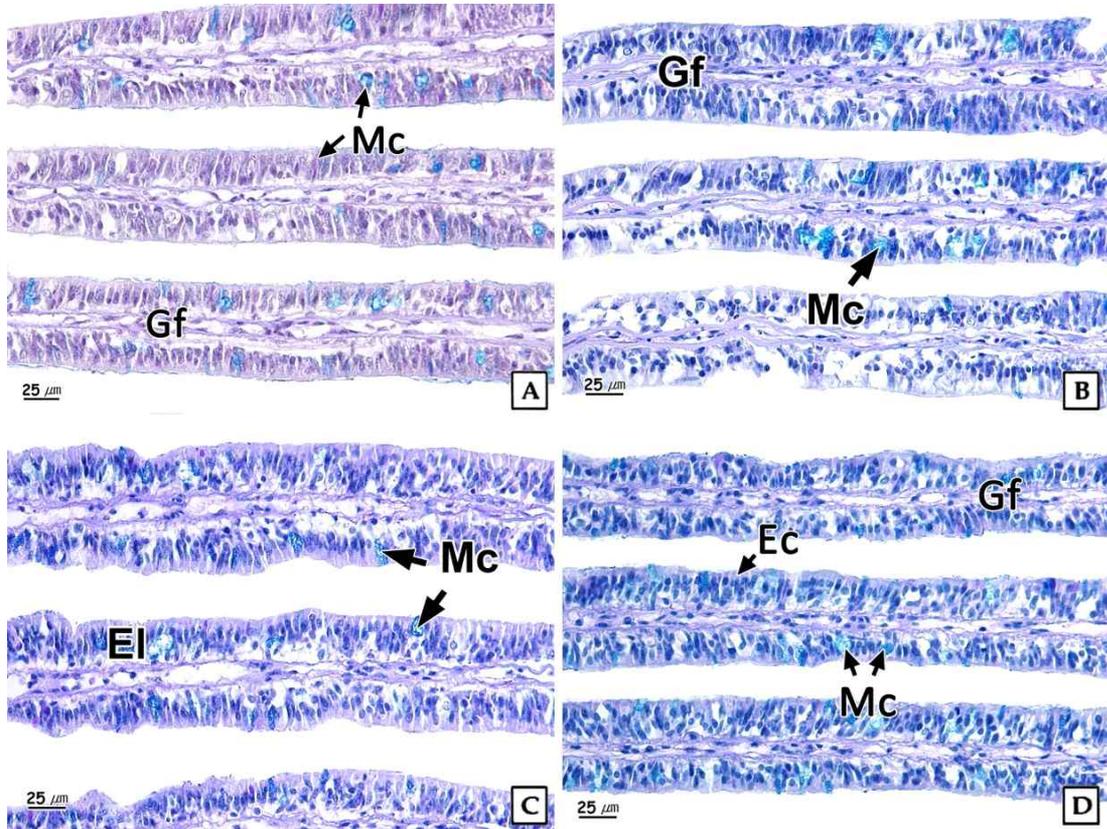


[Fig. 2] Histological change of foot with water temperature in hybrid abalone, *Haliotis discus hannai* ♀ * *H. discus discus* ♂. AB-PAS(pH 2.5) reaction. A: 20°C, B: 24°C, C: 26°C, D: 28°C. El: epithelial layer, Hs: hemolymph sinus, Mc: mucous cell, MI: muscular layer.

<Table 2> Frequency and quantitative scoring of histological alterations on foot with water temperature in hybrid abalone, *Haliotis discus hannai* ♀ * *H. discus discus* ♂

Water temperature (°C)	Epithelial layer		Muscular layer	
	Degeneration of mucous cell	Atrophy of epithelial cell	Degeneration of muscle fiber bundle	Closing of hemolymph sinus
20	+	-	-	-
24	+	-	-	-
26	++	-	+	-
28	+++	-	++	+
30	+++	-	++	++

* -: 0~20%, +: 21~40%, ++: 41~60%, +++: 61~80%, ++++: 81~100%

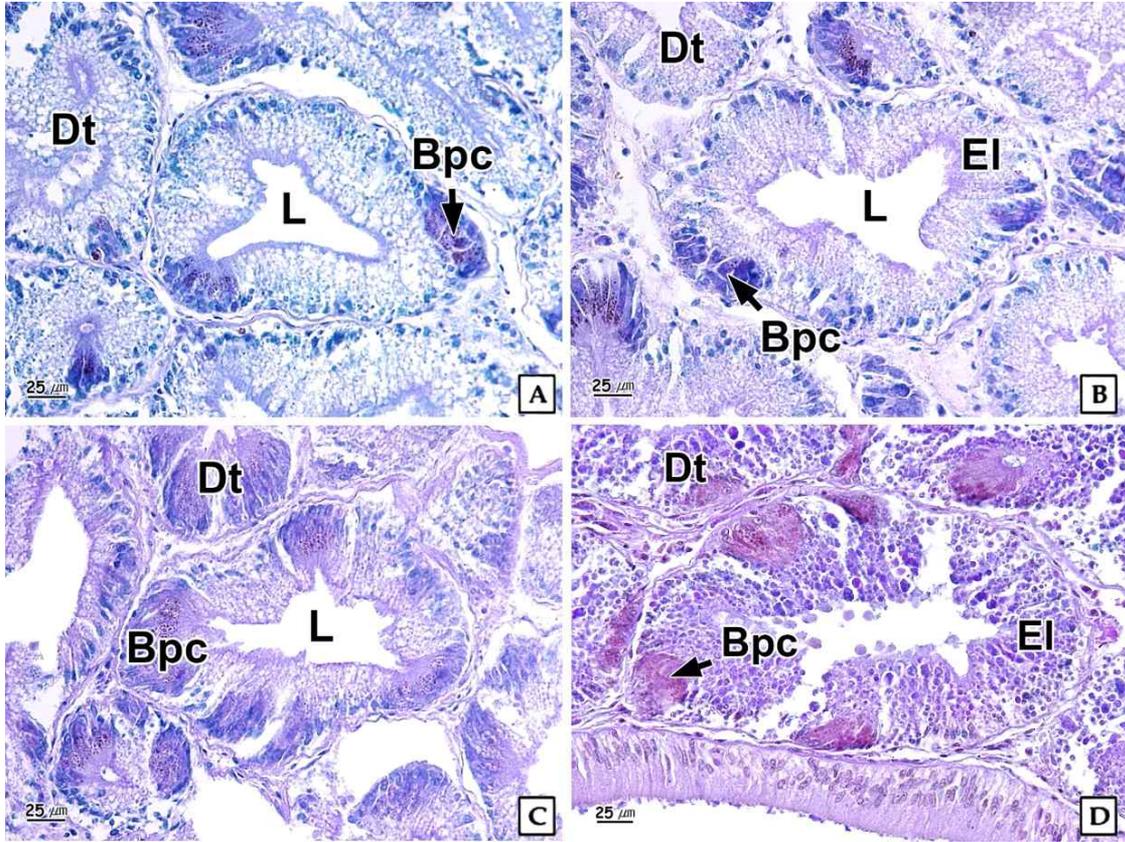


[Fig. 3] Histological change of gill with water temperature in hybrid abalone, *Haliotis discus hannai* ♀ * *H. discus discus* ♂. AB-PAS(pH 2.5) reaction. A: 20°C, B: 24°C, C: 26°C, D: 30°C. Ec: epithelial cell, El: epithelial layer, Gf: gill filament, Mc: mucous cell.

<Table 3> Frequency and quantitative scoring of histological alterations on gill with water temperature in hybrid abalone, *Haliotis discus hannai* ♀ * *H. discus discus* ♂

Water temperature (°C)	Atrophy of epithelial cell	Hyperplasia of epithelial cell	Hypertrophy of epithelial cell	Degeneration of mucous cell
20	-	-	-	-
24	-	+	-	+
26	-	++	-	++
28	-	++	+	++
30	-	+	++	+++

* -: 0~20%, +: 21~40%, ++: 41~60%, +++: 61~80%, ++++: 81~100%



[Fig. 4] Histological change of hepatopancreas with water temperature in hybrid abalone, *Haliotis discus hannai* ♀ * *H. discus discus* ♂. AB-PAS (pH 2.5) reaction. A: 20°C, B: 26°C, C: 28°C, D: 30°C. Bpc: basophilic cell, Dt: digestive tubule, El: epithelial layer, L: lumen of digestive tubule.

<Table 4> Frequency and quantitative scoring of histological alterations on hepatopancreas with water temperature in hybrid abalone, *Haliotis discus hannai* ♀ * *H. discus discus* ♂

Water temperature (°C)	Degeneration of basophilic cell	Vacuolation of epithelial cell	Deformation of epithelial cell
20	-	-	-
24	-	+	-
26	++	++	++
28	+++	+++	++
30	+++	++	++++

* -: 0~20%, +: 21~40%, ++: 41~60%, +++: 61~80%, ++++: 81~100%

IV. 고찰

연안의 해양생물들은 물리, 화학적 환경변화에 의해 생존율을 비롯한 다양한 생리학적 변화를 수반하게 된다(Navarro and Gonzalez, 1998; Donovan and Taylor, 2008; Shin et al., 2012; Park et al., 2013). 특히, 내만에서 이루어지고 있는 해상 전복 가두리 양식은 계절에 따른 수온 변화에 의한 양식생물의 생리학적 변화로 인해 폐사와 생산량의 변동으로 이어지기도 한다(Shin et al., 2012).

개체의 사망을 유도하는 생리학적 변화는 호흡률, 가스교환, 삼투조절, 이동능력 및 부착력 감소에 의한 섭이능력 저하, 소화 및 해독능력의 감소, 면역력의 감소 등 다양한 요인들이 작용한다(Gosling, 2004).

*Haliotis sieboldii*는 급격한 고수온 스트레스의 초기에는 혈림프 생성을 증가시키는 생리적 활성이 나타나지만, 일정시간이 지나면 혈림프의 생성을 억제시킨다. 단시간에 30℃ 이상의 고수온 스트레스 상황에서는 생리적 방어 한계점에 도달하여 유의적인 혈림프 수의 증감 없이 사망하게 된다(Kim et al., 2006).

전복류는 주로 경성기질에 서식하는 연안 생물일지라도 종과 서식생태에 따라 수온 변화에 대한 내성의 차이가 있는 것으로 나타났다. 수온 변화에 따른 전복류의 생존율은 *H. diversicolor supertexta*(각장 12.68±0.11 mm)의 경우, 1주간 생존 가능 수온 범위는 3.5~32.7℃이다(Chen and Chen, 1999). *H. sieboldii*의 치패는 10, 15, 20, 25℃에서 48시간 동안 생존율은 모두 100%였으나, 30℃에서는 0%이다 (Kim et al., 2006). 7일 동안 수온 20℃와 23℃에 노출된 북방전복, *H. discus hannai*(각장 6.0±0.5 cm)의 생존율은 100%였다. 하지만, 26℃와 29℃ 조건에서 생존율은 각각 60%와 15%로 감소하였으며, 32℃에서는 24시간 이내에 모두 사망하였다(Park et al., 2013).

본 연구에서 둥근전복속 교잡종(북방전복 ♀*둥근전복 ♂)의 수온에 따른 생존율은 26℃와 28℃에서 4주 경과 후, 모두 90% 이상을 나타냈으며, 30℃에서도 53.7%의 생존율을 보여 기존의 북방전복 자료와 비교하여 높은 고수온 내성을 가지는 결과를 나타냈다.

복족류는 발 표면의 점액과 발 근육을 이용하여 이동과 다양한 기질에 부착한다(Denny and Gosline, 1980; Voltzow, 1990; Smith, 1992). 삿갓조개류와 전복류는 발의 기저근육이 폐각근 또는 각축근과 밀접하게 연관되어 기질에 붙어서 이동하는 역할을 한다(Trueman and Brown, 1985; Voltzow, 1990). 특히, 이동하지 않고 부착 시에는 발 상피층의 점액세포에서 분비된 부착점액이 접착제 역할을 한다(Denny and Gosline, 1980; Denny, 1984). 전복류는 강한 물리, 화학적 스트레스에 노출될 경우 발의 구조적 변성 및 기능적 저하로 인해 기질로부터 탈락, 이동성의 저하, 사망으로 이어지게 된다(Donovan and Taylor, 2008; Shin et al., 2012).

둥근전복속 교잡종(북방전복 ♀*둥근전복 ♂)에서 수온 상승에 따른 발의 상피층에 분포하는 점액세포의 산성화와 근섬유의 조직학적 변성은 수온의존적 결과를 보였다. 이러한 결과는 수온과 염분도의 변화(Park et al., 2013), 염화니켈(NiCl₂) (Kim et al., 2015)과 염화아연(ZnCl₂) (Son et al., 2015)에 노출된 북방전복에서도 보고되었다. 따라서 수온의 변화는 물론 화학적인 환경요인의 변화 역시 발의 구조적 변성을 유발하여 북방전복의 이동과 부착력의 변화를 유발하는 원인으로 작용한다는 것이다.

북방전복의 아가미 새엽 상피층의 구조적 변성은 염화니켈 노출에 의한 상피세포의 비후, 세포질 과립 변성 및 상피세포의 파괴가 보고되었다(Kim et al., 2015). 북방전복의 아가미 새엽 상피세포의 형태는 섬모원주형세포이다(Kim et al., 2015). 복족류 아가미에서 새엽 섬모들은 수류를 형성하는 기능을 하며(Voltzow, 1994), 아가미의

새엽에서 가스교환이 일어난다(Ragg and Talyor, 2006). 본 연구에서 확인된 아가미 새엽 상피세포의 비후와 위축 및 증식은 새엽 공간의 변화에 의한 정상적인 수류형성과 가스교환의 저해를 유발할 것으로 판단된다.

복족류의 간체장은 호흡기성세포의 소화효소 분비를 통한 세포외 소화, 저장, 상피세포의 세포내 소화 및 해독기능을 가지는 소화선이다(Zaldibar et al., 2007; Jung et al., 2013). 복족류의 수온 변화에 따른 간체장의 구조적 변성에 관한 보고는 매우 찾아보기 어렵다. 패류에서 간체장의 조직학적 이상은 구리, 아연, 카드뮴에 노출된 지중해담치, *Mytilus galloprovincialis*에서 소화선세포 상피세포의 섬모 소실(Soto et al., 1996), 노닐 폐놀 노출에 의한 *Dreissena polymorpha*의 호흡기성세포의 세포질 과립감소와 상피세포의 변형(Quinn et al., 2004) 그리고 염화아연에 노출된 북방전복에서 호흡기성세포 변성 및 감소와 상피세포의 공포화와 붕괴가 보고되었다(Son et al., 2015).

등근전복속 교잡종(북방전복 ♀ * 등근전복 ♂)에서 수온 변화에 의한 소화선세포의 호흡기성세포와 상피세포의 변성 정도는 수온의존적으로 증가하였다. 하지만 상피세포의 공포화는 28℃에서는 70% 내외였으나 30℃에서는 50% 수준으로 감소하였는데, 이러한 결과는 28℃에서 공포화 변성을 보이는 세포들이 30℃에서 파괴 변성으로 증가하였기 때문으로 판단된다.

본 연구 결과, 수온 상승에 의한 기관계의 구조적 변성 정도의 증가는 이동과 부착력의 저하, 호흡기능의 저하 그리고 간체장의 소화 및 해독 기능 등의 생리학적 기능 저하가 생존율의 저하를 유도한 원인들 가운데 일부로 판단된다.

V. 결론

등근전복속 교잡종(북방전복 *Haliotis discus*

hannai ♀ * 등근전복 *H. discus discus* ♂)의 생존율과 기관계의 조직학적 변화 정도를 파악하여 이들의 고수온 내성을 평가한 결과, 수온 20, 24, 26, 28℃에서는 4주 경과 후 생존율은 모두 90% 이상으로 수온 구간별 생존율 변화의 유의차는 없었으며($p < 0.05$), 30℃에서 생존율은 53.7%였다. 고수온에서의 등근전복속 교잡종의 이러한 생존율은 북방전복에 비해 약 2~3℃ 높은 고수온 내성을 가지는 결과로 해석되었다. 수온에 따른 기관계(발, 아가미, 간체장)의 조직학적 변성 정도는 수온의존적으로 증가하는 경향을 보였으며, 이러한 구조적 변성은 개체의 다양한 생리적 기능 저하를 유발하는 원인으로 판단된다.

References

- Barton BA and Iwama GK(1991). Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annu Rev Fish Dis* 1, 3~26.
[https://doi.org/10.1016/0959-8030\(91\)90019-G](https://doi.org/10.1016/0959-8030(91)90019-G).
- Chen JC and Chen WC(1999). Temperature tolerance of *Haliotis diversicolor supertexta* at different salinity and temperature levels. *Comp Biochem Physiol A* 124, 73~80.
[https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(99\)00092-6](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(99)00092-6).
- Denny MW(1984). Mechanical properties of pedal mucus and their consequences for gastropod structure and performance. *Am Zool* 24, 23~36.
<https://doi.org/10.1093/icb/24.1.23>.
- Denny MW and Gosline JM(1980). The physical properties of the pedal mucus of the terrestrial slug, *Ariolimax columbianus*. *J Exp Biol* 88, 375~394.
- Donovan DA and Taylor HH(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*. *J Exp Mar Biol Ecol* 354, 231~240.
<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.11.011>.
- Gosling E(2004) Bivalve molluscs: Biology, ecology

- and culture, Blackwell Science, Oxford. pp. 443.
- Hara M(1990). The effect of genetics of growth in three groups of abalone seed. Bull Tohoku Nat Fish Res Inst 52, 73~78.
- Hara M and Kikuchi S(1992). Increasing growth rate of abalone *Haliotis discus hannai*, using selection techniques. NOAA Technical report 106, 21~26.
- Jung GK, Park JJ, Jeon MA, Shin HC, Lee YG and Lee JS(2013). Hepatopancreas ultrastructure of the spiny top shell, *Batillus cornutus* (Gastropoda: Turbinidae). Bull Fish Sci Inst Chonnam Nat Univ 21, 11~15.
- Kim S, Jeon MA, Ju SM, Kim JW, Kang JC and Lee JS(2015). Histological indicator change of the abalone, *Haliotis discus hannai* exposed to nickel chloride (NiCl₂). Korean J Malacol 31, 143~150. <https://doi.org/10.9710/kjm.2015.31.2.143>.
- Kim S, Kim H, Jeon MA, Ju SM, Lim HG and Lee JS(2018). Sexual maturation of *Haliotis* spp. hybrid. Korean J Malacol 34, 1~7.
- Kim TH, Kim KJ, Choe MK and Yeo IK(2006). Physiological changes of juvenile abalone, *Haliotis sieboldii* exposed to acute water-temperature stress. J Aquaculture 19, 77~83.
- Najmudeen TM and Victor ACC(2004). Reproductive biology of the tropical abalone *Haliotis varia* from Gulf of Mannar. J Mar Biol Ass India 46, 154~161.
- Navarro JM and Gonzalez CM(1998). Physiological responses of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* to decreasing salinities. Aquaculture 167, 315~327. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00310-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00310-X).
- Park MW, Kim H, Kim BH, Son MH, Jeon MA and Lee JS(2013). Changes of survival rate, falling rate and foot histology of the abalone, *Haliotis discus hannai* (Ino, 1952) with water temperature and salinity. Korean J Malacol 29, 303~311. <https://doi.org/10.9710/kjm.2013.29.4.303>.
- Park CJ, Lee JH, Noh JK, Kim HC, Park JW, Hwang IJ and Kim SY(2012). Growth of Pacific abalone *Haliotis discus hannai* using selection breeding techniques. Korean J Malacol 28, 343~347. <https://doi.org/10.9710/kjm.2012.28.4.343>.
- Park CJ, Park JW, Kim BR, Jeong KH, Kim YJ, Son YS and Kim KK(2016). Estimation of genetic parameter and growth traits by sex of Pacific abalone *Haliotis discus hannai*. Korean J Malacol 32, 249~254.
- Pickering AD(1992). Rainbow trout husbandry: management of the stress response. Aquaculture 100, 125~139. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90354-N](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90354-N).
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2003.10.007>.
- Ragg NLC and Taylor HH(2006). Heterogeneous perfusion of the paired gills of the abalone *Haliotis iris* Martyn 1784: an unusual mechanism for respiratory control. J Exp Biol 209, 475~483. <https://doi.org/10.1242/jeb.02035>.
- Sastry AN and Vargo SL(1977). Variations in the physiological response of crustacean larvae to temperature. In: Physiological response of marine biota to pollutants (ed. by Vernberg FJ, Calabrese A, Thurberg FP, Vernberg WB), Elsevier, Amsterdam, pp. 401~423. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-01677-8>.
- Seong KT, Hwang JD, Han IS, Go WJ, Suh YS and Lee JY(2010). Characteristic for long term trends of temperature in the Koreans waters. J Korean Soc Mar Environ Saf 16, 353~360.
- Shin YK, Lee WC, Kim DW, Son MH, Jun JC, Kim EO and Kim SH (2012). Seasonal changes in physiology of the abalone *Haliotis discus hannai* reared from Nohwa Island on the south coast of Korea. Korean J Malacol 28, 131~136. <https://doi.org/10.9710/kjm.2012.28.2.131>.
- Smith AM(1992). Alternation between attachment mechanisms by limpets in the field. J Exp Mar Biol Ecol 160, 205~220. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(92\)90238-6](https://doi.org/10.1016/0022-0981(92)90238-6).
- Son MH, Kim BK, Kim S and Lee JS(2015). Histological indicator change of the abalone *Haliotis discus hannai* chronic exposed to zinc chloride (ZnCl₂). Korean J Malacol 31, 195~201. <https://doi.org/10.9710/kjm.2015.31.3.195>.
- Soto M, Cajaraville MP and Marigomez I(1996).

- Tissue and cell distribution of copper, zinc and cadmium in the mussel, *Mytilus galloprovincialis*, determined by autometallography. *Tissue Cell* 28, 557~568.
[https://doi.org/10.1016/S0040-8166\(96\)80058-9](https://doi.org/10.1016/S0040-8166(96)80058-9).
- Trueman ER, Brown AC(1985). The mechanism of shell elevation in *Haliotis* (Mollusca: Gastropoda) and a consideration of the evolution of the hydrostatic skeleton in Mollusca. *J Zool* 205, 585~594.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1985.tb03546.x>.
- Viana MT(2002). Abalone aquaculture, an overview. *J World Aquac Soc* 33, 34~39.
- Voltzow J(1990). The functional morphology of the pedal musculature of the marine gastropods *Busycon contrarium* and *Haliotis kamtschatkana*. *Veliger* 33, 1~19.
- Voltzow J(1994). Gastropoda: Prosobranchia. In: *Microscopic Anatomy of Invertebrates Vol. 5. Mollusca I.* (ed. by Harrison FW and Kohn AJ), Wiley-Liss, New York, pp. 111~252.
- Zaldibar B, Cancio I, Marigómez I(2007). Reversible alterations in epithelial cell turnover in digestive gland of winkles (*Littorina littorea*) exposed to cadmium and their implications for biomarker measurements. *Aquat Toxicol* 81, 183~196.
<https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2006.12.007>.
-
- Received : 11 October, 2018
 - Revised : 01 November, 2018
 - Accepted : 10 November, 2018