

# 수온이 새꼬막, *Scapharca subcrenata*의 생존에 미치는 영향

한지도<sup>1</sup>, 전미애<sup>1</sup>, 김수철<sup>1</sup>, 이덕찬<sup>2</sup>, 조재권<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국립수산과학원 남해수산연구소 양식산업과, <sup>2</sup>국립수산과학원 남동해수산연구소

## Effect of water temperature on survival of the ark shell, *Scapharca subcrenata*

Jido Han<sup>1</sup>, Mi Ae Jeon<sup>1</sup>, Soo Cheol Kim<sup>1</sup>, Deok Chan Lee<sup>2</sup> and Jae Kwon Cho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science(NIFS), Yeosu 59780, Korea

<sup>2</sup>Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science(NIFS), Tongyeong 53085, Korea

### ABSTRACT

In this study, as the water temperature rises due to climate, we tried to reset the 50% lethal temperature and critical water temperatures of the ark shell, *Scapharca subcrenata*. Determine the effect of high water temperatures on the survival of the ark shells, they were exposed for 7 days at 26, 28, 30, 32, 34 and 36 °C. As a result, the survival rate was higher than 90.0% from 26 to 32 °C, and the mortality rate appeared rapidly at 36 °C, and all of them died on the 5th day. Based on this, the 50% lethal temperature (7 day-LT<sub>50</sub>) was 35.7 °C and the critical water temperature was 36 °C. In order to analyze the cause of death of *S. subcrenata* at the aquaculture, thought that long-term and combination factors should be analyzed.

**Key words:** Water temperature, Ark shell, Survival rate

### 서 론

최근 기후변화로 인해 전 세계적으로 수온이 지난 100년 동안 약 0.7°C 상승하였고 (Hansen *et al.*, 2006), 앞으로도 더 상승될 것이라고 예측되고 있으며 (Wang *et al.*, 2015), 한국의 수산분야 기후변화 영향 및 연구보고서에 따르면 최근 54년간 (1968-2021) 우리나라 해역의 연평균 표층 수온은 약 1.35°C 상승하였다고 보고하였다 (NIFS, 2022).

이러한 기후변화로 인해 이미 우리나라에서는 여름철 고수온으로 인해 양식생물의 대량폐사가 발생되어 큰 경제적 손실을 입었다; 2018년 조피볼락 (*Sebastes schlegelii*), 넙치 (*Paralichthys olivaceus*), 전복 (*Haliotis discus hannai*)

등 약 605억 원, 2021년 조피볼락 (*S. schlegelii*), 넙치 (*P. olivaceus*), 전복 (*H. discus hannai*), 새꼬막 (*Scapharca subcrenata*), 굴 (*Crassostrea gigas*) 등 약 217억 원.

수온은 해양생물의 생리대사와 생태학적 및 지리적 분포에 영향을 미치는 매우 중요한 요인 중 하나이다 (Sastri and Vargo, 1977; Widdows, 1985; Pörtner *et al.*, 2006; Pörtner, 2010; Ezgeta-Balić *et al.*, 2011). 수온 변화는 수산생물에게 새로운 환경에 적응을 위한 스트레스 요인으로 작용하여 대사활동에 영향을 미치고, 혈액 정상 및 면역력 등 생리적 변화를 초래한다는 연구가 있다 (Ryan, 1995; Chang *et al.*, 2001; González *et al.*, 2002; Park *et al.*, 2013; Baeck *et al.*, 2014). 특히 조간대에 서식하는 이매패류는 이동범위가 매우 제한적이므로 극심한 환경변화에 매우 심각한 영향을 받는다 (Han *et al.*, 2013).

새꼬막 (*S. subcrenata*) 은 이매패강 (Bivalvia) 돌조개목 (Aroccida) 돌조개과 (Arcidae) 에 속하는 이매패류로서 조간대로부터 수심 10 m의 진흙 갯벌에 서식하며, 우리나라 생산량의 약 96%가 여자만과 득량만에서 생산되는 전남지역의 대표 양식품종 중 하나이다 (Yoo, 1976; Min, 2004). 특히 우리나라에서는 주로 수심이 3-10 m 이내의 양식해역에 살포하여

Received: December 10, 2023; Revised: December 16, 2023;  
Accepted: December 28, 2023

Corresponding author: Jae Kwon Cho

Tel: +82 (61) 690-8980, e-mail: jkcho123@korea.kr  
1225-3480/24852

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.

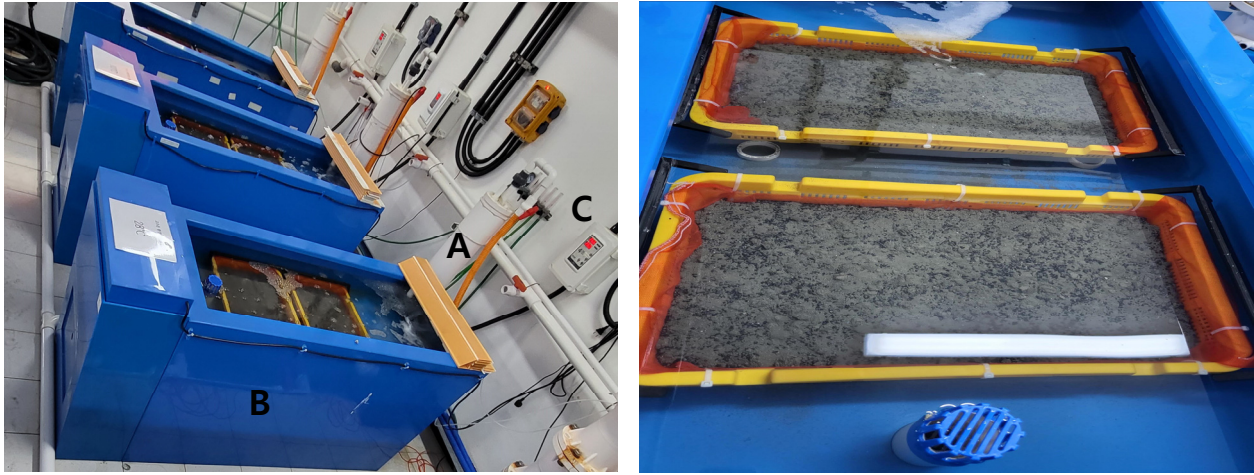


Fig. 1. Recirculating aquaculture system for temperature experiment. (A) Filtering system, (B) Experimental tank, (C) Temperature controller.

바닥에서 길러지기 때문에 수온, 염분 등 해양환경의 변화, 먹이, 자연재해 등 다양한 요인의 변화로 인해 생존율에 많은 영향을 받는다.

최근 새꼬막의 주 양식해역인 여자만과 득량만의 여름철 (7월-9월) 수온이 최대 31.8℃로 나타나며, 30℃ 이상의 수온이 약 3일간 지속되는 등 고수온 지속기간이 점차 길어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 기후변화로 인한 수온 상승에 따른 새꼬막의 수온에 대한 한계범위를 재구명하고, 생존에 미치는 영향을 확인하여 폐사원인 구명을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

본 실험에 사용한 새꼬막은 전라남도 여자도 인근 해역 (여자만) 의 양식장에서 2022년도 7월에 채집하였고 연구실로 이동하여 자체 제작한 순환여과식 ABS 사각수조에서 순치시켰다. 순환여과식 ABS 사각수조의 부피는 500 L였으며, 수조 내부에 약 10 cm 두께의 저질을 깔고 수온 26℃, 염분 31.5 psu 조건을 1주일간 유지하였다. 순치 3시간 이후, 순치개체들의 약 80%가 산란하였고, 산란한 개체 중 각장 28.4 ± 2.1 mm 인 1,120 개체를 실험에 사용하였다.

### 2. 방법

본 실험은 자체 제작한 순환여과시스템 (500 L) 을 이용하여 실시하였으며, 염분 및 질소산화물 조절을 위해 3일 간격으로 1회, 전체 순환량의 약 15-20% (80-100 L) 를 동일 수온의 해수로 환수하였다. 수조 바닥에는 여자만 인근 해안가에서 채취한 저질을 약 10 cm 두께로 깔아주었다 (Fig. 1). 수온 실험구는 6구간 (26℃, 28℃, 30℃, 32℃, 34℃, 36℃) 이며, 수

온 조절은 일일 1℃씩 단계적으로 상승시켜 실험온도에 도달 후, 7일간 유지하였다. 실험구의 밀도는 ha당 2 톤을 기준으로 사육가두리의 면적을 계산하여 실험구 당 160 개체 (0.8 m<sup>2</sup>) 를 수용하였으며, 각 실험조건별로 2반복으로 실험하였다. 먹이공급은 사육수의 수질 변화를 방지하고 및 먹이로 인한 생리학적인 반응을 최소화 하기 위해 복합농축미세조류 (Reed Mariculture, USA) 를 2일 1회, 50 mL씩 공급하였고 실험 환경의 변화를 측정하기 위해 수온, 염분 그리고 용존산소를 YSI를 이용하여 매일 오전 9시와 오후 5시에 측정하였다. 실험개체의 사망은 실험기간 동안 각 실험구별 24시간 간격으로 관찰하였고 개체의 사망은 자극을 주었을 때, 패각의 개폐여부로 사망개체를 판단한 후, 생존율로 환산하였다. 실험개체의 반수치사수온 및 임계수온은 실험기간동안 수온구간별 누적사망률을 이용하여 SPSS 통계 프로그램 (SPSS 23.0, SPSS Inc., U.S.A) 에서 probit 분석을 실시하여 산출하였다.

실험에 사용된 저질은 양식현장과의 유사성을 확인하기 위해 입도분석을 실시하였으며, 입도분석은 시료에 유기물이 완전히 제거될 때까지 10% 과산화수소를 첨가하였고, 잔류하는 과산화수소는 100℃ 이상으로 가열하여 증발시킨 후 3회 이상 증류수로 희석하여 퇴적물 내의 염분을 제거하였다. 처리된 시료는 63 μm의 표준체로 거른 후, 체에 걸린 사질 퇴적물은 건조하여 표준체로 분리하고 중량을 측정하였다 (Ingram, 1971). 63 μm의 표준체를 통과한 니질 퇴적물은 확산제 (Sodium hexametaphosphate) 를 0.5% 첨가한 후 자동입도분석기 (sedi-graph 5,100) 로 분석하였다. 또한, 각 입도구간별로 측정된 자료는 통계 처리하여 평균 입도와 분급도를 계산하였으며, Folk (1968) 의 분류에 따라 퇴적물의 종류를 결정하였다.

**Table 1.** Sediment type in Yeolja Bay and experimental mud flat

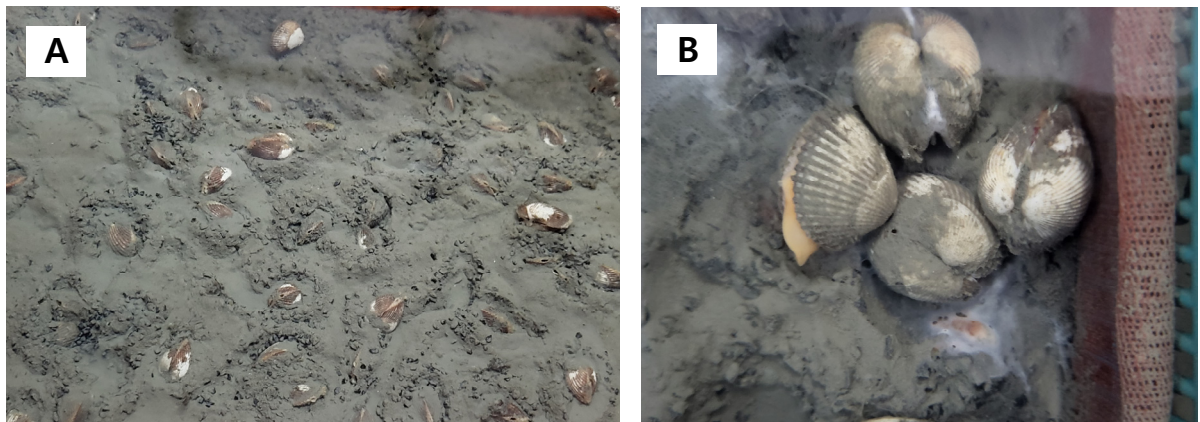
|              | Textures(%) |      |            |       |       | Statistical parameters |     |            |            |       | Sediment type (Folk, 1968) |      |
|--------------|-------------|------|------------|-------|-------|------------------------|-----|------------|------------|-------|----------------------------|------|
|              | Gravel      | Sand | Sand (G+S) | Silt  | Clay  | Mud (s + c)            | SUM | Mean (phi) | Sort (phi) | Skew  |                            | Kurt |
| Yeolja Bay-1 | 0           | 3.18 | 3.18       | 15.20 | 81.62 | 96.82                  | 100 | 9.11       | 1.50       | -0.45 | 1.89                       | C    |
| Yeolja Bay-2 | 0           | 6.70 | 6.70       | 18.51 | 74.79 | 93.30                  | 100 | 8.62       | 2.02       | -0.60 | 1.52                       | C    |
| Experiment-1 | 0           | 0.46 | 0.46       | 15.25 | 84.29 | 99.54                  | 100 | 9.24       | 1.21       | -0.36 | 2.00                       | C    |
| Experiment-2 | 0           | 0.51 | 0.51       | 12.27 | 87.22 | 99.49                  | 100 | 9.31       | 0.94       | -0.37 | 2.24                       | C    |

**3. 결과**

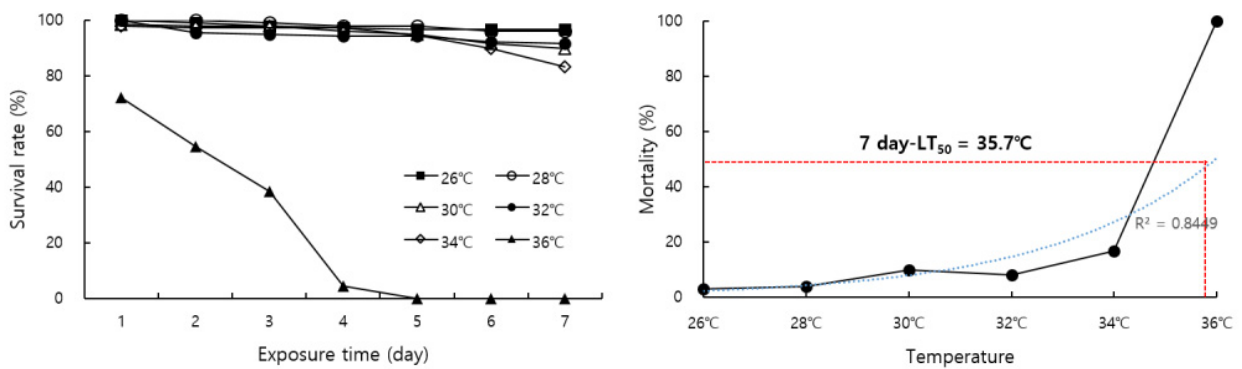
실험 기간동안 각 수온 구간별로 수온  $\pm 1^\circ\text{C}$ , 염분 31.4-32.5 psu, 용존산소 4.2-5.8 ppm으로 유지되었으며, pH도 모두 7.8 이상으로 큰 변화가 없었다. 실험생물을 사육하기 위해 조성한 저질의 경우, 조성 전 거름망 ( $\phi 2\text{ mm}$  이하) 으로 1회 걸러서 Sand의 함량이 낮았으나, 저질의 종류는 Clay로 유사하게 분석되었다 (Table 1).

수온에 따른 새꼬막의 생존율을 비교한 결과, 수온이 증가될

수록 생존율이 감소하였으며, 수온 26-32°C까지 7일간 폐사율이 90.0% 이상으로 높게 관찰되었다. 하지만 수온 32°C 조건에서는 매일 폐사율이 높게 발생되었으며, 폐사개체 주변의 저질이 부패되어 폐사를 가중시켰다 (Fig. 2). 3일 이후 급격히 폐사하여 5일째에는 모두 사망하였다 (Fig. 3, Table 2). 수온 구간별 7일간 나타난 누적 폐사율을 이용하여 반수치사수온 (7day-LT<sub>50</sub>) 을 분석한 결과, 35.7°C로 나타났으며, 임계수온은 36°C로 관찰되었다.



**Fig. 2.** The ark shell, *Scapharca subcrenata* used in the experiment. (A) Before the experiment, infiltrated into the mud flat, (B) Contamination of mud flat due to dead individuals.



**Fig. 3.** Variations of survival rate and mortality of the ark shell, *Scapharca subcrenata* exposed to high water temperature.

**Table 2.** Acumulative survival rate of ark shell, *Scapharca subcrenata* according to exposure time by water temperature

| Exposure time (day) | Acumulative survival rate (%) |      |      |      |      |      |
|---------------------|-------------------------------|------|------|------|------|------|
|                     | 26℃                           | 28℃  | 30℃  | 32℃  | 34℃  | 36℃  |
| 1                   | 100                           | 100  | 98.8 | 100  | 98.0 | 72.3 |
| 2                   | 99.4                          | 100  | 98.1 | 95.6 | 97.3 | 54.6 |
| 3                   | 98.1                          | 99.4 | 98.1 | 95.0 | 97.3 | 38.5 |
| 4                   | 97.5                          | 98.1 | 96.3 | 94.4 | 97.3 | 4.6  |
| 5                   | 96.9                          | 98.1 | 95.0 | 94.4 | 94.7 | 0.0  |
| 6                   | 96.9                          | 96.3 | 91.9 | 92.5 | 90.0 | 0.0  |
| 7                   | 96.9                          | 96.3 | 90.0 | 91.9 | 83.3 | 0.0  |

### 고 찰

연안에서 이루어지는 패류양식은 환경변화의 영향을 직접적으로 받기 때문에 계절적으로 나타나는 수온변화에 의해서 대량폐사가 유발되는 등 생산량의 변동이 크게 나타난다 (Shin *et al.*, 2012). 수온은 수산생물의 생존에 영향을 미치는 비생물적 요인으로서 성장, 발달, 번식, 대사 및 면역에 상당한 영향을 미친다 (Windisch *et al.*, 2011; Dong *et al.*, 2019).

수온에 의한 수서생물의 영향 연구는 지속적으로 보고되고 있으며, 같은 연안에 서식하는 생물일지라도 종과 서식생태에 따라 내성에 차이를 나타낸다. 꼬막, *Tegillarca granosa*의 성페와 치패를 7일간 25-40℃에 노출시킨 결과, LT<sub>50</sub>이 각각 27.7℃와 28.4℃로 나타났으며 (Shin and Moon, 2005), 바지락, *Ruditapes philippinarum* 치패의 반수치사수온 (6 day-LT<sub>50</sub>)은 26℃였으나 순응온도에 따른 반수치사수온의 차이를 보이지 않았고 (Shin *et al.*, 2000), 홍합의 반수치사수온 (9 day-LT<sub>50</sub>)은 27.1℃로 나타났다 (Shin and Wi, 2004).

수온의 변화는 수서생물의 생리학적 변화, 미토콘드리아 및 대사 효소의 활성, 산소 및 에너지 요구와 같은 생화학적 반응을 증가시키고 산소소비율과 에너지 수요를 모두 상승시킨다 (Morley *et al.*, 2012). 대부분의 수서생물은 외부환경의 변화를 견딜 수 있는 적응능력을 가지고 있지만, 임계수준을 넘어서면 생리활성이 떨어져 건강을 약화시킬 수 있다 (Barton, 1991; Zou *et al.*, 2021). 또한 많은 연구에서 산소소비율은 임계온도에 도달할 때까지 온도가 증가함에 따라 증가되며 (Shumway, 1982, Yukihiro *et al.*, 2000), 임계값을 넘어서면 생리학적 반응 속도가 현저히 낮아지고 혐기성 대사의 최종 산물이 체내에 축적된다고 보고하였다 (Sommer *et al.*, 1997; Zhang *et al.*, 2004). 따라서 급성 및 만성에 대한 수온의 영향에 대해 모두 조사하는 것이 매우 중요하다.

새꼬막, *S. subcrenata*의 경우, 22-34℃에 96시간 노출 시

켰을 때, 반수치사수온 (96h-LT<sub>50</sub>)이 31.6℃로 나타났으며, 32℃에 7일간 노출 시 폐사율이 25%로 관찰되었고 급성과 만성 노출시 혈구세포의 사멸과 괴사율이 시간에 따라 증가되는 것이 관찰되었으나, 32℃에서 산소 소비율이 다른 온도보다 높게 나타난 것으로 보아 임계수온은 32℃보다 더 높을 것이라고 보고되었다 (Jiang *et al.*, 2020). 본 연구에서는 새꼬막을 26-36℃에 7일간 노출하였을 때, 반수치사수온 (7 day-LT<sub>50</sub>) 35.7℃, 임계수온은 36℃로 나타나 이전 연구자들의 결과보다 높게 관찰되었다.

하지만 본 연구는 실내에서 실행한 실험으로 수온을 제외한 수질, 저질, 먹이 등의 영향 없이 관찰한 결과로, 양식 현장에서는 먹이, 퇴적물 오염, 밀식 등 다양한 원인들로 인해 이보다 낮은 수온에서도 폐사가 발생 될 것으로 사료된다. 또한 최근 새꼬막 양식해역인 여차만과 득량만에서 30℃ 이상의 수온이 15일 이상 지속되는 등 장기적이고 복합적인 요인에 의한 분석이 추후 수행되어야 할 것으로 생각된다.

### 요 약

본 연구에서는 기후변화로 인한 수온 상승에 따른 새꼬막 (*Scapharca subcrenata*)의 반수치사수온 및 임계수온을 재 구명하고, 생존에 미치는 영향을 확인하기 위하여 26, 28, 30, 32, 34 및 36℃의 수온에서 7일간 노출시켰다. 그 결과, 26-32℃까지 7일간 생존율이 90.0% 이상으로 높게 나타났으며, 36℃에서는 폐사율이 급격하게 나타나 5일째에는 모두 사망하였다. 이를 바탕으로 반수치사수온 (7 day-LT<sub>50</sub>)은 35.7℃, 임계수온은 36℃로 관찰되었다. 양식 현장에서의 새꼬막의 폐사원인을 분석하기 위해서는 장기적으로 복합적인 요인에 의한 영향 분석이 추후 수행되어야 할 것으로 생각된다.

### 사 사

본 연구는 국립수산물품질관리원 연구사업인 ‘가두리 양식전복 부 착생물 제어 연구 (R2023047)’ 에 의해 이루어졌습니다.

## REFERENCES

- Baeck, S.K., Min, E.Y. and Kang, J.C. (2014) Combined effects of copper and temperature on hematological constituents in the rock fish, *Sebastes schlegeli*. *Journal of Fish Pathology*, **27**: 57-65.
- Barton, B.A. (1991) Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis in the response and effects of corticosteroids. *Annual Review of Fish Diseases*, **1**: 3-26.
- Chang, Y.J., Hur, J.W., Kim, H.K. and Lee, J.K. (2001) Stress in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) and fat cod (*Hexagrammos otakii*) by the sudden drop and rise of water temperature. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **34**: 91-97.
- Dong, Z.G., Mao, S., Chen, Y.H., Ge, H.X., Li, X.Y. and Wu, X.G. (2019) Effects of air-exposure stress on the survival rate and physiology of the swimming crab *Portunus trituberculatus*. *Aquaculture*, **500**: 429-434.
- Ezgeta-Balić, D., Rinaldi, A., Peharda, M., Prusina, I., Montalto, V., Niceta, N. and Sarà, G. (2011) An energy budget for the subtidal bivalve *Modiolus barbatus* (Mollusca) at different temperatures. *Marine Environmental Research*, **71**: 79-85.
- Folk, R. L. (1968) Petrology of sedimentary rocks. Hemphill's Aystin, Texas, 170 pp.
- González, M.L., López, D.A., Pérez, M.C. and Castro, J.M. (2002) Effect of temperature on the scope for growth in juvenile scallops *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819). *Aquaculture International*, **10**: 339-348.
- Han, G.D., Zhang, S., Marshall, D.J., Ke, C.H. and Dong, Y.W. (2013) Metabolic energy sensors (AMPK and SIRT1), protein carbonylation and cardiac failure as biomarkers of thermal stress in an intertidal limpet: linking energetic allocation with environmental temperature during aerial emersion. *Journal of Experimental Biology*, **216**: 3273-3282.
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D.W. and Medina-Elizade, M. (2006) Global temperature change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, **103**: 14288-14293.
- Ingram, F.L. (1971) Sieve analysis in procedures in sedimentary petrology. Wiley-Interscience, pp. 69-94.
- Jiang, Y., Jiao, H., Sun, P., Yin, F. and Tang, B. (2020) Metabolic response of *Scapharca subcrenata* to heat stress using GC/MS-based metabolomics. Peer J, DOI 10.7717/peerj.8445.
- Min, D. K. (2004) Mollusks in Korea. Hanguel Graphics, Busan, 387 pp.
- NIFS. (2022) Annual Report for Climate Change Trends in Fisheries. Busan, 26 pp.
- 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. *Korean Journal of Malacology*, **29**: 303-311.
- Pörtner, H.O., Bennett, A.F., Bozinovic, F., Clarke, A., Lardies, M.A., Lucassen, M., Pelster, B., Schiemer, F. and Stillman, J.H. (2006) Trade-offs in thermal adaptation: the need for a molecular to ecological integration. *Physiological and Biochemical Zoology*, **79**: 295-313.
- Pörtner, H.O. (2010) Oxygen- and capacity-limitation of thermal tolerance: a matrix for integrating climate-related stressor effects in marine ecosystems. *Journal of Experimental Biology*, **213**: 881-893.
- Ryan, S.N. (1995) The effect of chronic heat stress on cortisol levels in the Antarctic fish *Pagothenia borchgrevinkii*. *Experimentia*, **51**: 768-774.
- 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., 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.
- Shumway S.E. (1982) Oxygen consumption in oysters: an overview. *Marine Biology Letters*, **3**: 1-23.
- Sommer, A., Klein, B. and Pörtner, H.O. (1997) Temperature induced anaerobiosis in two populations of the polychaete worm *Arenicola marina*(L.). *Journal of Comparative Physiology B*, **167**: 25-35.
- Wang, Y.J., Li, L., Hu, M. and Lu, W. (2015) Physiological energetics of the thick shell mussel *Mytilus coruscus* exposed to seawater acidification and thermal stress. *Science of the Total Environment*, **514**: 261-272.
- 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.
- Windisch, H.S., Kathover, R., Portner, H.O., Frickenhaus, S. and Lucassen, M. (2011) Termal acclimation in Antarctic fish: transcriptomic profiling of metabolic pathways. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative*

*Physiology*, **301**: R1453-R1466.

- Yoo, J. S., 1976. Korean Shells in Colour. Iljisa, Seoul, 196 pp.
- Yukihira, H., Lucas, J.S. and Klumpp, D.W. (2000) Comparative effects of temperature on suspension feeding and energy budgets of the pearl oysters *Pinctada margaritifera* and *P. maxima*. *Marine Ecology-Progress Series*, **195**: 179-188.
- Zhang, J.H., Fang, J.G., Hawkins, A.J.S. and Pascoe, P.L. (2004) The effect of temperature on clearance rate and oxygen consumption of scallops, *Chlamys farreri*. *Journal of Shellfish Research*, **23**: 715-721.
- Zou, D., Ning, J., Lu, X., Wang, X., Chen, M., Liu, B., Fang, J. and Wang, C. (2021) Physiological and transcriptonal responses to acute and chronic thermal stress in the ark shell *Scapharca subcrenata*. *Frontiers in Marine Science*, **8**: 1-11.