

# 부남호 저층수 및 수온과 염분에 대한 바지락 영향 평가

서진영

한국해양과학기술원 선박평형수연구센터

## The effects of bottom water in Bunam lake, temperature and salinity on the mortality of malina clam, *Ruditapes philippinarum*

Jin-Young Seo

Ballast Water Research Center, KIOST, Geoje 53201, Republic of Korea

### ABSTRACT

This study was conducted to measured the survival rate (or mortality) of *Ruditapes philippinarum* according to the change of salinity when the water temperature is high. In laboratory, the mortality test was performed on the *R. philippinarum*, we conducted experiments at water temperature 20, 25, and 30 °C, salinity was tested at intervals 5 psu from 0 to 35 psu. As a result of exposure for bottom water of Bunam lake, the mortality was 20% in 100% bottom water, and it was found that there was no effect at concentrations below 50% in bottom water in Bunam lake. The LC<sub>50</sub> by water temperature was 4.816 psu at 20 °C, 14.645 psu at 25 °C, and 20.063 psu at 30 °C. The death of the clam was observed only at a concentration of 15 psu or less at 20 °C. But the dead *R. philippinarum* observed at all concentrations of salinity at 30 °C. The filtration rate was 0 ml min<sup>-1</sup> at only 0 and 5 psu at 20 °C, but the feeding activity started from 20 psu or higher at 30 °C. As such, exposure to low-salinity water during the high-temperature period has an effect on the filtration rate and mortality of *R. philippinarum*.

**Key Words:** Salinity, Temperature, Filtration rate, *Ruditapes philippinarum*, Bunam lake

### 서 론

천수만은 충남 태안, 서산, 홍성, 보령과 안면도에 둘러싸인 반폐쇄성 내만으로, 천수만의 북쪽에는 간월호와 부남호가 있고, 동쪽에는 홍성호와 보령호가 있다. 부남호와 간월호 주변은 축산업과 농업이 발달하고 있어 비점오염원의 유입이 많이 존재하는 지역이다 (Lim *et al.*, 2006). 1984년에 건설된 서산 A, B 방조제로 인해 현재는 홍수기를 제외한 대부분의 계절에 부남호와 천수만의 상시 유통은 없는 상태이다. 부남호는 방조제 건설 이전에는 기수역이었으나, 현재는 담수역으로 변화하였고, 저층에 고여있던 해수가 외해로 모두 배출되지 못한 상태에서 방조제가 건설되어 부남호 저층에는 해수층, 표층은

담수층으로 분리되어 녹조 및 수질오염이 매년 반복적으로 발생하고 있으며, 저층은 빈산소수괴의 형성으로 생물이 전혀 없는 무생물 상태를 보인다 (충청남도, 2019).

연안 및 조간대에 서식하는 이매패류는 수온, 염분과 같은 환경 변동에 대한 내성이 강하다. 이매패류의 경우 염분 변동이 나타날 경우 초기에는 저염분이 체내로 유입되는 것을 막기 위해 껍질을 닫고 수일간 섭식활동을 거의 하지 않는다 (Akberali, 1978). 하지만 여름철 고수온기에 집중호우로 인해 염분농도가 떨어질 경우 대량 폐사가 발생한다. 이러한 폐사의 원인으로 바이러스 (Kang *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2010), 먹이섭취능력감소 (Kim and Kho, 2004) 등 다양한 연구가 진행되어 왔다. 최근 몇 년간 천수만, 특히 태안의 황도 갯벌에서 발생한 굴과 바지락의 집단 폐사는 부남호의 방류가 원인 중 하나인 것으로 보도되고 있다. 부남호 방류는 하계 홍수기에만 집중적으로 이루어진다.

따라서 본 연구에서는 천수만 갯벌에 서식하고 있는 바지락을 대상으로 부남호 저층수가 천수만에 유입되었을 경우를 가정하여, 부남호 저층수에 바지락을 노출하여 사망률 측정을 통한 부남호 저층수에 대한 급성독성평가를 수행해 보고자 한다. 또한 갯벌에 서식하고 있는 바지락들이 하계 고온과 저염분수

Received: December 16, 2022; Revised: December 26, 2022;  
Accepted: December 31, 2022

Corresponding author: Jin-Young Seo

Tel: +82 (55) 639-8554, e-mail: jyseo@kiost.ac.kr  
1225-3480/24828

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.

에 노출되었을 경우를 가정하여, 바지락의 고수온과 저염분에 대한 내성정도를 파악해 보고, 이러한 경우 섭식능력에는 어떠한 변화를 나타내는지 파악해 보고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험 생물

실험에는 충남 태안군 황도 갯벌에 서식하는 바지락을 사용하였다. 바지락은 구입 후 실험실로 이동하여 1주일 이상 수조에서 순치 후 실험에 사용하였다. 실험에 사용한 개체의 크기 및 습중량 확인을 위하여 실험 전 무작위로 추출한 20개의 개체에 대해 크기 (각장, 각고, 각폭) 를 vernier calipers로 측정하였으며, 전자저울로 전중량 (Total weight) 을 측정하였다.

### 2. 노출영향 평가

부남호 저층수에 대한 독성영향을 평가하기 위해 2020년 8월에 부남호 저층수를 채수하여 실험에 이용하였다. 저층수는 부남호 내에서 배수갑문에 가장 인접한 해수가 고여 있는 지역의 수심 8 m 이상의 수역에서 채수하였고, 실험실로 이동 후 실험 전까지 냉암소에서 보관하였다. 실험은 부남호 저층수를 여과해수로 희석하여 사용하였고, 원수를 100%로 하여 희석 비율에 따라 75%, 50%, 25%, 그리고 여과해수 (0%) 총 5개의 농도에서 실험을 수행하였다. 2.7 L 용량의 원형 수조에서 실험을 수행하였고, 수조당 10개체씩 바지락을 투입하여 3반복으로 실험을 수행하였다. 실험실 온도 조건 (20°C) 에서 실험을 수행하였고, 실험이 진행되는 48시간 동안 산소공급을 해 주었으며, 먹이는 공급하지 않았다.

다음으로 수온과 염분이 바지락의 생존에 미치는 영향을 파악하기 위해, 20°C (Control) 와 25°C, 30°C (2개 실험구) 의 온도 조건에서, 염분농도 0 psu에서 35 psu 까지 5 psu 간격으로 실험을 수행하였다. 10 L 수조에 바지락 20개체를 넣고 96 hr 동안 노출하여 사망률을 측정하였다. 실험이 진행되는 동안 산소공급은 해 주었고, 먹이생물은 공급하지 않았다. 실험에 사용한 바지락은 실험 수일 전부터 서서히 수온을 올려 온도의 영향을 최소화하였으며, 노출 조건과 동일한 수온에서 1일 이상 순치 후 실험에 사용하였다.

### 3. 여과율 실험

염분과 수온의 변동에 따른 바지락의 섭식능을 파악하기 위해 사망률 실험과 동일한 수온 (20, 25, 30°C) 및 염분 (0-35 psu, 5 psu 간격) 조건에서 여과율 실험을 수행하였다. 500 ml 용량의 비커에 5개체씩 바지락을 넣고, 해수 400 ml과 고농도로 배양된 먹이생물 *Isochrysis galbana*를 100 ml 주입

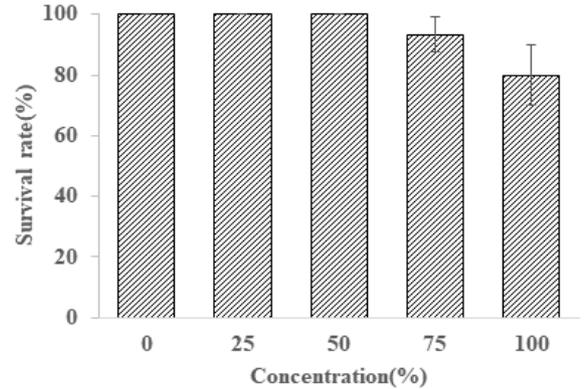


Fig. 1. Survival rate of *Ruditapes philippinarum* by concentration for bottom water of Bunam Lake.

하여 두 시간 동안 여과율을 측정하였다. 실험은 농도별로 3반복으로 수행하였다. 여과율 측정에는 Fluorometer (Tuner Designs Model 10-AU) 를 이용하여 엽록소의 량을 측정하였다. 여과율 산출에는 Coughlan (1969) 의 방법을 사용하였다.  $FR = V \times \ln(C_{t_0}/C_t)/t$  여기서, FR: 여과율 ( $ml \text{ min}^{-1}$ ), V: 실험액의 용량 (ml),  $C_{t_0}$ : 초기먹이생물 농도 ( $cells \text{ ml}^{-1}$ ),  $C_t$ : 시간 t에서의 먹이생물농도 ( $Cells \text{ ml}^{-1}$ ), t: 실험시간 (min). 먹이생물인 *I. galbana*는 한국해양과학기술원 남해연 구소의 해양시료도서관에서 분양받아 배양하여 사용하였다.

### 4. 통계처리

LC<sub>50</sub>의 산출에는 Sigma plot을 사용하여 계산을 진행하였다. Excel 데이터에서 염분 값을 상용로그로 로그화하여 X축으로, 사망률을 Y축으로 하여 Sigmoidal, Sigmoid, 4 Parameter 함수로 계산하였다.

## 결 과

### 1. 시험생물

실험에 사용한 천수만 바지락은 각장 38.9-46.5 mm, 각고 24.6-28.9 mm, 각폭 16.3-19.8 mm, 습중량 8.7-14.7 g의 범위를 보였다. 평균 각장의 크기는 43.1mm, 평균 각고는 26.8mm, 평균 각폭은 17.8 mm, 평균 무게는 12.0 g였다.

### 2. 노출영향평가

부남호 저층수에 실험용 바지락을 노출한 결과, 0% (Control) 에서는 사망한 개체가 없었으며, 25%와 50%에서도 3개의 실험구 모두에서 사망률은 0%였다. 저층수 농도 75%에서는 실험구 1과 2에서 1개체씩 사망하여 사망률은 6.7%였고, 100% 저층수에서는 실험구 1에서는 2개체, 실험구

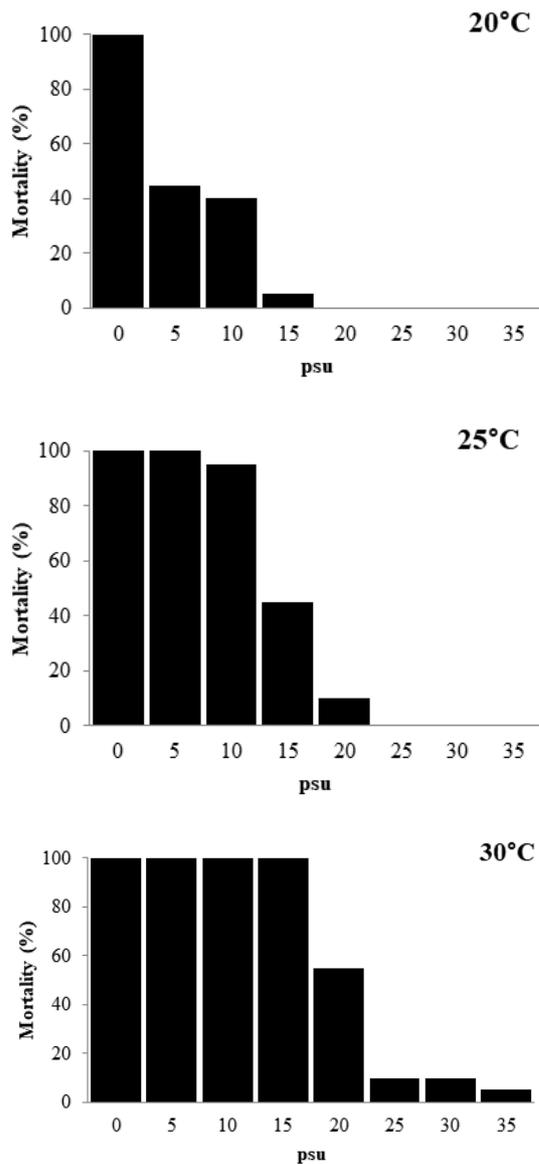


Fig. 2. Mortality of *Ruditapes philippinarum* according to salinity fluctuations at each temperature.

2에서는 3개체 그리고 실험구 3에서는 1개체가 사망하여 평균 사망률은 20%였다 (Fig. 1).

고수온기, 저염수가 바지락의 생존에 미치는 영향을 파악하기 위해 수온별로 염분 구배를 달리하여 생존율 (사망률) 을 측정해 보았다. 그 결과, 조간대 바지락의 경우, 20°C에서는 0 psu에서 20개체가 모두 사망하였고, 5 psu에서는 20개체 중 9개체가 사망하여 사망률은 45%였다. 10 psu와 15 psu에서도 각각 8개체와 1개체가 사망하여 사망률은 각각 40%, 5%였다. 20 psu 이상의 염분 농도에서는 사망하는 개체가 관찰되

지 않았다 (Fig. 2). 25°C에서는 0 psu와 5 psu에서 모든 개체가 사망하였으며, 10 psu에서는 20개체 중 19개체가 사망하여 사망률이 95%로 매우 높았다. 15 psu와 20 psu에서도 각각 9개체와 2개체가 사망하여 사망률은 각각 45%와 10%였고, 25 psu 이상의 농도에서는 사망하는 개체가 관찰되지 않았다. 30°C에서는 0-15 psu에서는 모든 개체가 사망하였고, 20 psu에서는 11개체가 사망하여 사망률이 55%였다. 25 psu와 30 psu에서는 각각 2개체가 사망하여 사망률은 10%였고, 35 psu에서는 1개체가 사망하여 사망률은 5%였다. LC<sub>50</sub>은 20°C에서 4.816 psu, 25°C에서는 14.645 psu, 30°C에서는 20.063 psu로 나타났다.

### 3. 여과율

여과율 실험 결과, 20°C에서 2시간 동안 노출하였을 때, 35 psu에서의 여과율은 9.3 ml min<sup>-1</sup> 로 가장 높았고, 25 psu와 30 psu에서도 각각 여과율이 5.6 ml min<sup>-1</sup>, 3.8 ml min<sup>-1</sup>로 상대적으로 높게 나타났다 (Fig. 3). 하지만 10-20 psu에서는 전체적으로 여과율은 1 ml min<sup>-1</sup>로 매우 낮았다. 0 psu와 5 psu에서는 전혀 여과 활동을 하지 않는 것으로 나타났다. 25°C에서는 25 psu에서의 여과율이 2.5 ml min<sup>-1</sup> 로 가장 높았고, 그 외 농도에서는 거의 섭식활동이 진행되지 않는 것으로 나타났다. 30°C에서는 20 psu 이상의 농도에서 여과율이 1.5-5.3 ml min<sup>-1</sup>로 나타났고, 25 psu에서 가장 높았다. 15 psu 이하의 농도에서는 전혀 섭식활동을 하지 않는 것으로 나타났다. 온도 별 여과율을 측정된 결과, 20°C에서는 10 psu에서 여과활동이 시작되어 대부분의 염분 농도에서 활발한 섭식활동이 나타났고, 25°C에서는 25 psu에서만, 30°C에서는 20 psu 이상의 농도에서만 여과활동이 일부 나타났다.

### 고찰

천수만 주변 간월호와 부남호 내 COD 함량은 2010년도부터 환경기준 VI등급 (10 mg L<sup>-1</sup>) 을 초과하였고, TOC 기준으로도 2016년 이후 급격히 나빠지고 있으며, 2017년 이후부터는 VI등급 (8 mg L<sup>-1</sup> 초과: 매우 나쁨) 을 초과한 상태로 농업 용수로 사용 불가 수준으로 매우 오염되어 있다 (충남연구원, 2018). 실제 실험에 이용한 부남호 저층수를 채수한 정점에서의 염분 함량은 30 psu 이상이었고, 저층의 용존산소 함량은 0 mg L<sup>-1</sup>, COD는 206 mg L<sup>-1</sup>로 수질이 ‘매우 나쁨’ 상태였다 (충남남도, 2019). 이는 생물이 거의 생존할 수 없는 환경이며, 실제 조사에서도 이 지역에 서식하는 생물이 없는 무생물상태 (Azotic)였다 (충청남도, 2019). 하지만 부남호 저층수에 바지락을 노출하여 급성 독성 영향을 살펴본 결과, 100% 저층수에서도 사망률은 대조구와 통계적으로 차이를 보이지

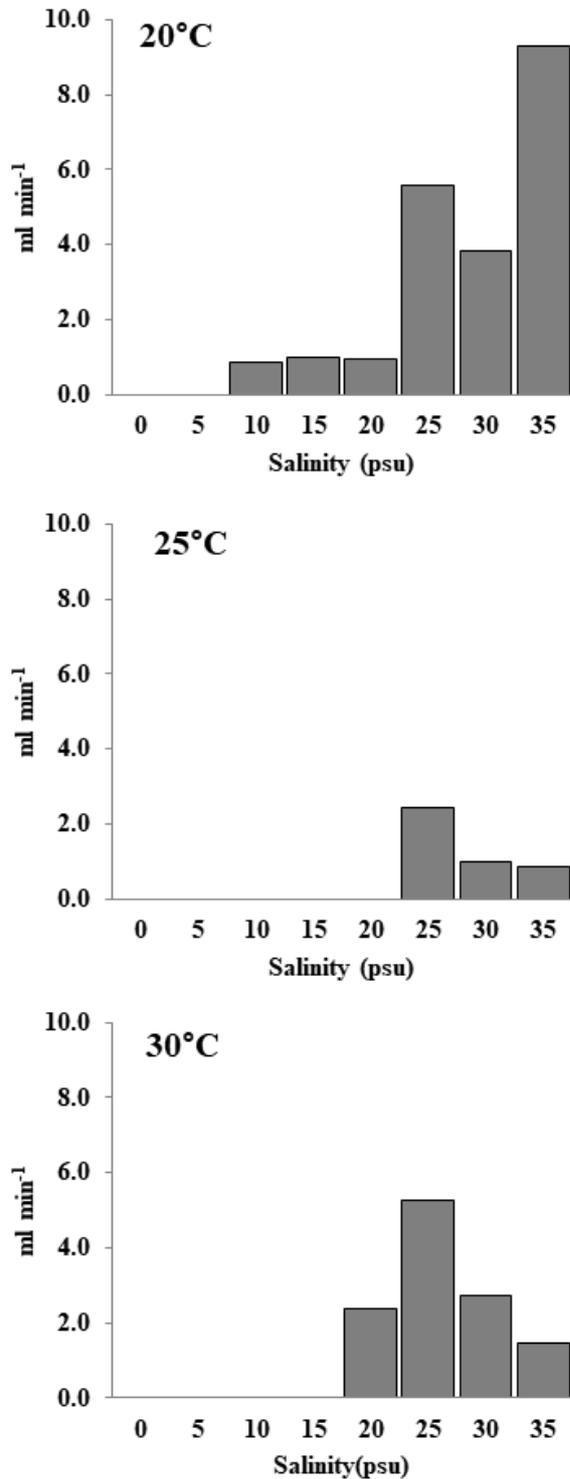


Fig. 3. Filtration rate of *Ruditapes philippinarum* according to salinity fluctuations at each temperature.

않았다. 서 등에 의해 2021년 수행된 연구에서는 동일한 조건

에서 참굴을 대상으로 노출 영향평가를 수행하였다 (Seo *et al.*, 2021). 참굴의 경우 2021년에 천수만에서 실제로 대량 폐사가 발생하였고, 그 주요한 원인 중 하나로 집중강우와 담수의 방류 때문인 것으로 나타났다. 하지만 참굴의 경우 100% 부남호 저층수에 노출하였을 때, 사망률이 0%로 나타나 단기간에 부남호 저층수에 의한 집단 사망이 발생할 가능성이 매우 낮은 것으로 나타났다. 하지만 본 연구에서 바지락의 경우 100% 부남호 저층수에서의 사망률이 20% 내외로 나타나, 참굴에 비해서는 부남호 저층수에 의한 영향이 있는 것으로 나타났다. 하지만 바지락 역시 대조구와 통계적으로 차이를 보이지는 않아 심각한 수준의 영향이 있는 것은 아닌 것으로 나타났다.

고수온기 집중강우로 인한 염분 저하가 되었을 때, 바지락의 먹이섭취 능력이 감소하여 대량 폐사가 발생한다 (Kim and Kho, 2004). 바지락 각장크기 30 mm 이상 대형 개체에서의 여수율은 24 psu 에서 가장 높았고, 18 psu 부터 감소하여 15 psu 이하에서 가장 낮은 값을 보였다 (Kim and Kho, 2004). 각장크기 30 mm 이상의 3년생 바지락의 경우, 20-35 psu의 염분 구간에서 25°C에서 여과율이 최대를 보였다 (Shin and Lim, 2003). 본 연구에서도 각장크기 30 mm 이상의 대형 개체를 대상으로 실험을 수행한 결과, 온도에 상관없이 25 psu에서 가장 높은 여과율을 보였고, 특히 20°C에서 가장 높았으며, 25°C와 30°C에서는 15 psu 이하에서는 섭식활동을 전혀 하지 않는 것으로 나타났다. 2021년 조사 결과, 하계 집중호우기에 부남호와 간월호의 방류가 시작되면, 천수만 주변 해역의 염분 함량은 표층의 경우 13 psu까지 떨어지고, 저층에도 20 psu 내외로 감소한다 (Seo *et al.*, 2021). 2021년 연구결과에서 참굴은 20°C에서는 0 psu와 5 psu 에서 사망률이 40% 이하로 나타난 반면 (Seo *et al.*, 2021), 바지락은 20°C에서도 0 psu에서는 100% 사망하였고, 25°C에서도 10 psu 까지 사망률이 높게 나타나, 저염분에 의한 영향이 참굴에 비해 높은 것으로 나타났다. 다만, 바지락의 경우 고수온에 비해 저수온 스트레스가 더욱 큰 것으로 알려져 있고 (Nie *et al.*, 2023), 실제 천수만을 비롯한 서해안에서의 집단 폐사는 저수온기에 주로 발생하고 있다 (국립수산과학원, 2007). 우리나라의 경우 강우가 하계에 집중되어 있고, 천수만 주변의 호소수는 집중 강우기에만 방류를 하기 때문에 저수온기에 저염수의 방류가 일어날 확률은 매우 낮으나, 저수온기에 바지락 양식장에 부남호 저층수와 저염수가 동시에 유입된다면, 단시간에도 큰 피해가 발생할 가능성이 높으므로 주의가 필요할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 천수만에서 발생하는 바지락 폐사의 원인을

알아보고자, 바지락의 폐사와 관련이 있다고 알려진 부남호 저층수에 대한 영향 평가와 고수온기 염분 변동에 따른 바지락의 사망률을 측정해 보았다. 부남호 저층수에 바지락을 노출한 결과, 100% 저층수에서는 사망률이 20%였고, 저층수 50% 이하의 농도에서는 전혀 영향이 없는 것으로 나타났다. 수온 별 바지락의 LC<sub>50</sub>은 20℃에서 4.816 psu, 25℃에서는 14.645 psu, 30℃에서는 20.063 psu로 나타났다. 20℃에서는 15 psu 이하의 농도에서만 사망한 반면 30℃에서는 모든 염분 농도에서 사망하는 개체가 나타났다. 또한 20℃에서는 0과 5 psu 에서만 섭식활동을 하지 않은 반면, 30℃에서는 20 psu 이상의 농도에서부터 섭식활동을 하여 차이를 보였다. 바지락의 경우 고수온에 비해 저수온 영향이 더욱 큰 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 저수온에 대한 연구를 수행하지 않았지만, 고수온기에도 저염분수에 노출될 경우 바지락의 여과율 및 사망률에 영향이 있는 것으로 나타나, 하계 담수를 방류할 경우에도 각별한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 ‘부남호 역간척에 따른 해양환경 영향분석 및 대응방안 마련 연구 (G52000)’ 의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Akberali, H.B. (1978) Behavior of *Scrobicularia plana* (Da coasta) in water of various salinities. *Jornal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **33**: 237-249.

Kang, H.-S., Hong, H.-K., Yang, H.-S., Park, K.-I., Lee, T.-K., Kim, Y.-O. and Choi, K.-S. (2015) Spatial variation in the reproductive effort of mania clam

*Ruditapes philippinarum* during spawning and effects of the protozoan parasite *Perkinsus olseni* infection on the reproductive effort. *Ocean and Polar Res.*, **37**: 49-59.

Kim, H.-J., Bang, I.-S. and Park, K.-I. (2010) Effects of water temperature and salinity on the formation of prezoosporangia and zoosporangia of the protozoan parasite, *Perkinsus olseni*, isolated from the Manila clam *Ruditapes philippinarum* on the west coast of Korea. *Korean J. Malacol.*, **26**(3): 211-215.

Kim, C.-W. and Kho, K.-H. (2004) Effects of water temperature and salinity on dietary feeding of Manila clam(*Ruditapes philippinarum*). *Korean J. Environ. Biol.*, **22**(1): 28-34.

Lim, K.-H., Lee, Y.-S. and Kim, L.-H. (2006) Estimation of pollutant loading from watershed into lakes of Ganwol and Boonam. *J. of Korean Wetlands Society*, **8**: 33-40.

Nie, H., Lu, Z., Li, D., Dong, S., Li, N., Chen, W., Huo, Z. and Yan, X. (2023) The potential roles of fatty acid metabolism-related genes in Manila clam *Ruditapes philippinarum* under cold stress. *Aquaculture*, **562**: 738-750.

Seo, J.-Y., Kim, J., Jeong, D.H., Lee, M., Shin, K. and Baek, S.H. (2021) Effects of the salinity and temperature on the mortality of *Crassostrea gigas*. *Korean J. Malacol.*, **37**: 45-54.

Shin, H.C, and Limm K.H. (2003) The influence of water temperature and salinity on the filtration rates of the short-necked clam, *Ruditapes philippinarum*. *Korean J. of Malacology*, **19**: 1-8.

충남연구원 (2018) 2017 서해안 연안환경측정망 모니터링 연구 용역.

충청남도 (2019) 천수만 하구환경 종합관리기본계획 수립 연구 용역.

국립수산물과학원 서해수산연구소 (2007) 경기도 연안의 바지락 폐사원인 조사.

