

## 수온 하강에 따른 참돔, *Pagrus major*의 생존율 및 생리 반응

신윤경 · 김영대 · 김원진\*

국립수산과학원 남동해수산연구소

**Survival and Physiological Responses of Red Sea Bream *Pagrus major* with Decreasing Sea Water Temperature by Yun Kyung Shin, Young Dae Kim and Won Jin Kim\*** (South East Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Tongyoung 53085, Republic of Korea)

**ABSTRACT** Decrease in seawater temperature during winter is one of the most important and serious issues confronted by fish net-cage aquaculture farms. This can become the cause of the manifestation of diseases and ensuing mass mortality. The present study was conducted to assess the survival rate, the range of limited low-temperature, the response of oxidative stress in the blood of red sea bream *Pagrus major* with decrease of water temperature. Low-lethal temperature for 7 days of *P. major* (7 day-LT<sub>50</sub>) was 6.54°C (confidence limit: 6.31~6.71°C). Oxygen consumption rate was decreased with lower temperature. It showed the minimum value at the range of low-lethal temperature. Osmolality at 5°C and 6°C experimental group was higher significantly than control group. SOD (superoxide dismutase) activity was increased significantly at 5°C experimental group compared to control group. This study data will be used to determine the appropriate area for aquaculture of red sea bream. It also manage fish net-cage farm to cope with the mass mortality occurring frequently during winter season.

**Key words:** *Pagrus major*, low temperature, osmolality, oxidative stress

### 서 론

스트레스는 어류의 면역체계와 생리적 과정을 억제 시킨다 (Bowden, 2008). 수온은 양식생물의 생존, 성장 및 생리적 과정에 영향을 미치는 가장 심각한 스트레스 요인 중 하나이며 (Cheng *et al.*, 2017), 이것은 생물의 온도내성과 밀접하게 관계되어 있다. 많은 해양동물들의 온도내성범위는 대사에 미치는 온도변화의 영향에 의해 결정되며, 어류의 수온에 대한 내성한계는 어류의 분포 및 생태학적 역할 등을 평가하는 중요한 요인이다 (Kir *et al.*, 2017).

많은 동물들은 활동할 수 있는 온도의 범위를 벗어나도 비활동적이 되거나 동면 또는 하면과 같은 상태에 의해서 생존할 수 있다. 온도내성범위는 생물이 활동할 수 있는 상·하한의 온도 경계 범위를 의미하며 (Rajaguru and Ramachandran, 2001; Debnath *et al.*, 2006), 치사수온은 개체군에서 50%가 더

이상 생존할 수 없는 수온으로 정의하고 있다 (Rajaguru and Ramachandran, 2001), 수온에 기인한 폐사는 빠르게 진행되고 어류의 수온내성 한계는 생물에 미치는 스트레스의 양과 비례한다 (Ellis *et al.*, 2017). 또한 일반적으로 온도한계범위에서 생물의 심장운동은 그 생물의 임계온도를 측정할 수 있는 민감한 변수로 이용할 수 있다.

참돔은 우리나라 주요 양식어종으로 남해안의 가두리 양식장에서 주로 양성되고 있으며, 양식에 적합한 수온은 15~26°C로 알려져 있다 (MERI, 2000). 그러나 참돔양식장이 주로 분포되어 있는 남해안의 경우, 최근 들어 겨울 동안 수온의 변화가 불규칙하고 수온 하강의 폭이 커져 이로 인한 대량폐사가 빈번하게 발생하고 있는 실정이다. 그러므로 겨울철 수온 하강에 따른 효율적인 사육관리를 위해 온대성 양식어류인 참돔의 저수온 내성범위 및 생리학적 반응에 관한 연구는 매우 중요하다.

본 연구는 참돔의 하한내성수온 및 수온 하강에 따른 호흡률, 암모니아질소배설률 및 혈액 내 산화스트레스 반응을 조사하였다.

\*Corresponding author: Won Jin Kim Tel: 82-55-640-4731,  
Fax: 82-55-641-2036, E-mail: kwj7073@gmail.com

## 재료 및 방법

실험에 사용된 참돔 *Pagrus major*는 경남 통영시 산양읍 풍화리에 위치한 참돔양식장 해상가두리 참돔양식장에서 사육 중인 개체를 구입하여 실험실로 옮긴 후 1톤 수조에서 실내사육하면서 1달 동안 순치시켜 실험에 사용하였다. 순치기간 동안 수온은  $10 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , 염분은 34.2 psu, 용존산소농도는  $9.5 \pm 0.5 \text{ mg/L}$ 를 유지하였으며, 먹이는 수협사료(해산어 침강스페셜 13호)를 오전 10시와 오후 4시로 나누어 2회씩 공급하였다. 저수온에 대한 하한내성수온을 분석하기 위하여 실험수온은  $10 \pm 0.5$  (대조구), 8, 7, 6, 5,  $4 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 였으며, 염분은  $34.2 \pm 0.5 \text{ psu}$ 였다. 실험에 사용된 개체의 크기는 평균 전장  $36.9 \pm 1.6 \text{ cm}$ , 평균 전중량  $901.6 \pm 102.7 \text{ g}$ 이었다. 실험방법은 순환식으로 수행하였으며, 실험수온은 각 수온별로 냉각기(대일 DA-1000B)를 설치하여 실험수온을 설정하고 실험기간동안 설정한 수온에서 실험해수가 순환하도록 설치하였다. 실험시작 전 24시간부터 실험기간 7일 동안 먹이를 공급하지 않았다. 실험수온별 생존율은 수시로 사망개체의 발생 여부를 확인하였으며, 사망개체가 발생한 경우 사망개체를 제거하여 생존율로 환산하여 구하였다. 사망개체는 실험어가 뒤집혀서 아가미 뚜껑의 운동이 정지되었을 때 사망으로 판정하였다.

수온 하강에 따른 참돔의 호흡률은 Respirometer와 생물 호흡측정기(Orbis 3600, Switzerland)를 이용하여 실험 전후 Respirometer내 용존산소의 차로서 구하였으며, 암모니아질 소배설률은 phenolphthorite 방법(Solorzano, 1969)을 이용하여 분석하였다. 수온 하강에 노출시킨 참돔의 스트레스반응을 조사하기 위하여 참돔의 혈액 내 SOD (superoxide dismutase), CAT (catalase) 및 삼투질농도를 분석하였다. SOD와 CAT는 어류 ELISA kit (Cusabio Biotech, China)를 사용하였고, Versamax SoftMax pro 6 (Molecular Devices, USA)를 이용하여 파장 450 nm에서 흡광도를 측정하였다. 삼투질농도는 삼투압 측정기 Osmomat 3000 (Gonotec, Germany)을 이용하여 분석하였다.

반수치사 수온 (50% lethal temperature)은 probit법에 의해

분석(Finney, 1971) 하였으며, 실험결과에 사용된 유의성 검정은 SPSS 19.0을 이용하여 one-way ANOVA로 통계처리 후 Duncan's multiple range test로 사후 검증하였다.

## 결과

### 1. 수온 하강에 따른 참돔의 생존율 변화

참돔의 하한내성수온을 조사하기 위하여 수온  $10 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 에서 1달간 순치시킨 참돔을 수온 4, 5, 6, 7,  $8 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 에 노출시킨 후 생존율을 조사한 결과, 수온  $4^\circ\text{C}$ 에서 참돔은 노출 1일째 25% 폐사하였으며, 노출 4일째 모두 폐사하였다. 수온  $5^\circ\text{C}$ 에서는 노출 4일째 75%가 폐사하였고, 노출 5일째 모두 폐사하였다. 수온  $6^\circ\text{C}$ 에서는 노출 6일째 모두 폐사하였다(Fig. 1). 수온  $7^\circ\text{C}$ 에서는 노출기간 동안 4.5% 폐사율을 보여 참돔의 7일 동안의 반수치사수온 (7 days-LT<sub>50</sub>)은  $6.54^\circ\text{C}$  (95% 신뢰한계:  $6.31 \sim 6.76^\circ\text{C}$ )로 분석되었다(Table 1).

### 2. 수온 하강에 따른 참돔의 생리학적 변화

수온 하강에 따른 참돔의 생리학적 반응을 조사하기 위하여

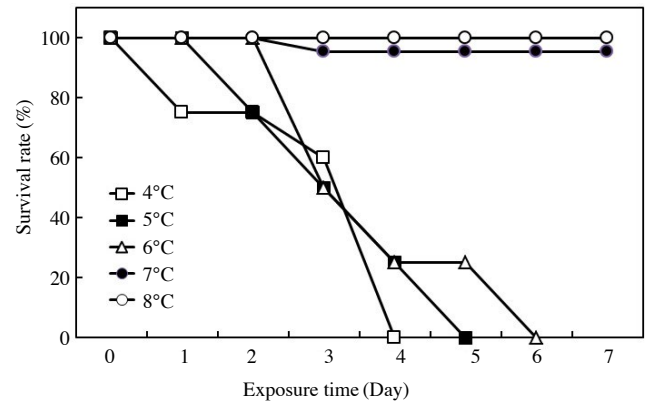


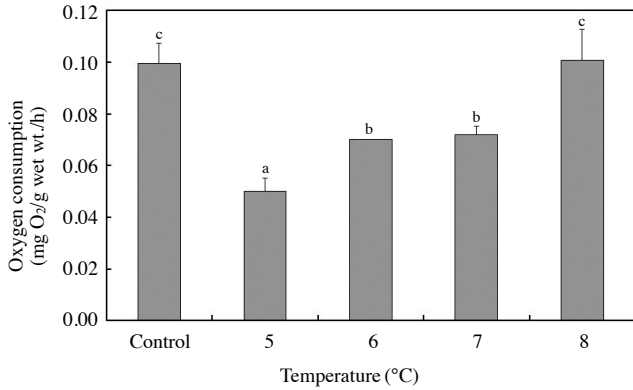
Fig. 1. Survival rate of red sea bream *Pagrus major* with decrease of sea water temperature for 7 days.

Table 1. LT<sub>50</sub> (Lethal temperature) values and their 95% confidence limit of red sea bream *Pagrus major* exposed to different experimental temperature for 7 days

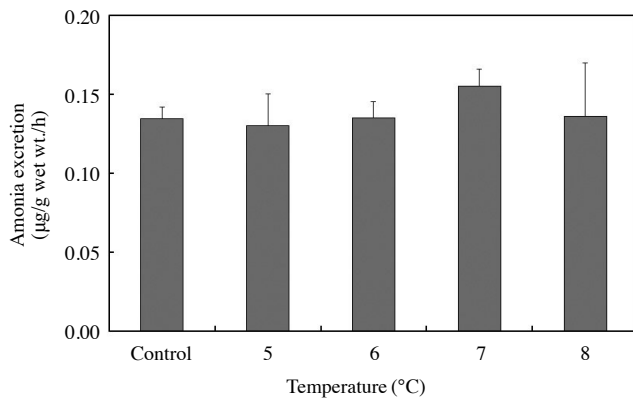
Temperature (°C)	Water quality			Survival rate (%)	*LT <sub>50</sub> and 95% confidence limit (°C)
	pH	Salinity (psu)	DO (mg/L)		
10 (Control)	8.09	33.4 ± 0.5	9.8 ± 0.5	100	6.54 (6.31~6.76)
8	8.04	33.4 ± 0.5	9.6 ± 0.5	100	
7	8.02	33.4 ± 0.5	9.5 ± 0.5	95.5	
6	7.91	33.4 ± 0.5	9.8 ± 0.5	0	
5	8.12	33.4 ± 0.5	9.9 ± 0.5	0	
4	8.04	33.4 ± 0.5	9.6 ± 0.5	0	

\*LT<sub>50</sub> was calculated by the probit scale.

각 실험수온에 노출시킨 후 4일째 생존한 개체를 대상으로 참돔의 대사반응, 혈액 내 삼투질농도, SOD 및 CAT의 변화를 분석하였다. 수온 4°C 실험구에서는 노출 4일째 모두 폐사하여 생리학적 반응은 분석할 수 없었다.



**Fig. 2.** Changes of oxygen consumption rate of red sea bream *Pagrus major* on 4<sup>th</sup> day exposed to different experimental group with decrease of sea water temperature.



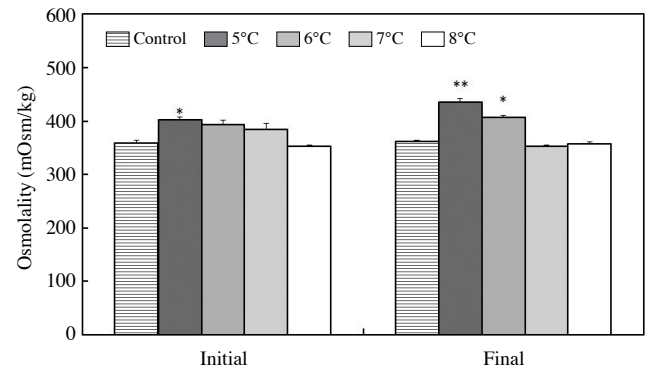
**Fig. 3.** Changes of ammonia excretion rate of red sea bream *Pagrus major* on 4<sup>th</sup> day exposed to different experimental group with decrease of sea water temperature.

참돔의 산소소비율은 대조구에 비해 수온이 하강할수록 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 2). 참돔의 산소소비율은 수온 8°C에서는 대조구와 유의한 차이를 보이지 않았다( $P>0.05$ ). 하지만 수온이 7°C 이하로 하강함에 따라 산소소비율은 대조구에 비해 28.7~47.9% 감소하여 5, 6, 7°C에서 유의한 차이를 보였다( $P>0.05$ )(Fig. 2).

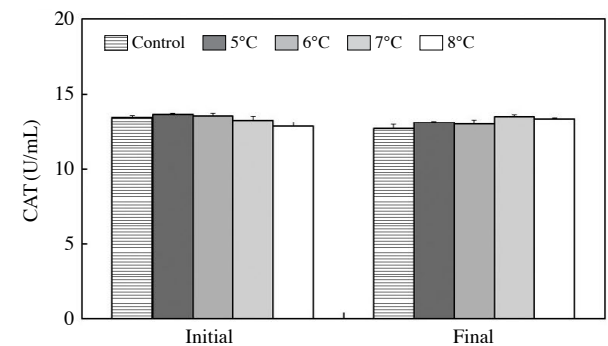
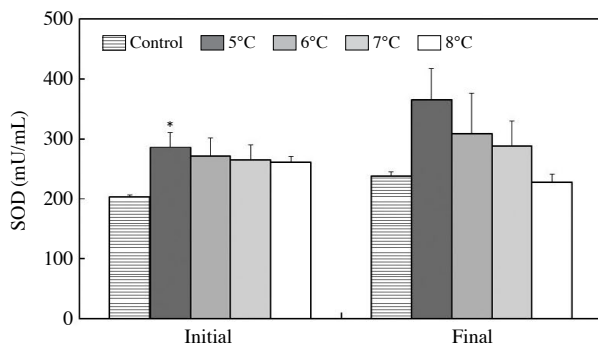
반면 암모니아 질소배설률은 수온 7°C에 노출시킨 실험구에서 다소 높게 나타났으나 노출수온에 따른 유의한 차이는 없었으며( $P>0.05$ ), 산소소비율의 반응과 달리 수온 감소에 따라 유의한 변화를 나타내지 않았다(Fig. 3).

참돔의 혈액 내 삼투질농도는 수온 5°C와 6°C 실험구에서 각 실험수온에 노출시킨 직후에 비해 노출 후 4일이 경과한 후 유의하게 높아졌지만, 대조구와 7, 8°C 실험구 사이에 유의한 차이는 없었다(Fig. 4).

각 실험수온에 노출시킨 참돔의 활성산소(ROS) 소거효소 활성변화를 알아보기 위하여 참돔의 혈액 내 SOD와 CAT를 분석하였다. 실험수온에 노출시킨 직후 혈액 내 SOD는 대조구인 수온 10°C에 비해 수온 6°C, 7°C 및 8°C 실험구에서 모두 활성이 증가한 경향을 보였고 5°C에서 유의한 차이를 나타



**Fig. 4.** Changes of osmolality of red sea bream *Pagrus major* on 4<sup>th</sup> day exposed to different experimental group with decrease of sea water temperature.



**Fig. 5.** Effect of low temperature on the enzymatic activities of superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) in blood of red sea bream *Pagrus major* exposed to different experimental group with decrease of sea water temperature.

났다. 그리고 각 실험수온별 노출 4일 경과한 후 SOD는 수온이 낮을수록 활성이 증가하는 경향을 보였지만 유의한 차이를 보이지 않았고, 8°C 실험구에서는 노출시간이 경과한 후 오히려 감소하는 경향을 보였다(Fig. 5).

Catalase (CAT)는 참돔을 각 실험수온에 노출시킨 직후 대조구와 각 실험수온 간의 유의한 반응을 나타내지 않았으며, 노출기간이 4일 경과한 후에도 실험수온에 따른 유의한 변화를 보이지 않았다(Fig. 5).

## 고 찰

일반적으로 수온변화는 생물의 생리적 과정에 뚜렷한 영향을 미친다. 일정한 범위 내에서 수온증가는 대사과정을 가속화하지만, 생리적 범위를 벗어난 수온 상승 또는 하강이 생물의 면역체계와 질병을 방어하는 능력을 억제시키는 가장 심각한 영향요인 중 하나이다(Luo *et al.*, 2014). 온대성 어류에서 낮은 수온은 질병에 대한 저항력과 면역체계를 약화시키는 가장 심각한 위협 요인 중 하나이다(Luo *et al.*, 2014). 또한 낮은 수온에 대한 급성 노출은 삼투조절 및 이온조절에도 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Overstreet, 1974; Hurst, 2007; Donaldson *et al.*, 2008).

우리나라에서 겨울철 동류의 폐사는 주로 1~2월에 전남과 경남해역의 해상가두리 양식장에서 발생하여 양식인들에게 경제적 손실을 입히고 있는 실정으로 참돔의 생존 가능한 저수온 내성 범위에 대한 평가는 한국의 남해안 소제 가두리 양식장에서 양성하고 있는 참돔의 동계폐사와 관련하여 매우 중요하다. 참돔은 온대성 어류로 서식수온 8~28°C, 저수온에 대한 폐사 임계수온은 5~9.1°C로(MERI, 2000) 폐사 임계범위가 순응온도에 따라 다르게 나타나고 있다(Ford and Beiting, 2005; Dalvi *et al.*, 2009). Yoo (2000)와 MERI (2000)의 보고에 따르면 참돔의 서식수온은 10~28°C이며, 10°C 이하에서 먹이를 섭취하지 않으며, 7°C 이하에서 폐사한다. 온대성어류인 돌돔의 경우에는 폐사를 일으키는 저수온 임계범위는 4.5~5.0°C로 보고하고 있으며, 말쥐치는 8.1~10.4°C로 보고되고 있다(MERI, 2000). 경남의 통영과 거제지역에서 2015~2017년 1~2월 동안 표층수온은 2.5~12.0°C로(NIFS, 2018) 같은 기간 동안 저수온에 기인한 참돔폐사가 보고되고 있으며, 참돔의 폐사발생시 수온은 7°C 이하에서 간헐적으로 2주 이상 노출된 것으로 추정된다. 또한 Choi *et al.* (2008)에 따르면 8°C 이하에서 42일간 장기간 노출에 의해 참돔의 대량폐사가 발생한 것으로 보고하였다. 본 연구에서 참돔의 저수온에 대한 7일 동안 반수치사하한수온은(7 days-LT<sub>50</sub>) 6.54°C(6.31~6.76°C)로 위에 보고된 참돔의 폐사유발 수온과 유사하였다.

변온동물에서 산소소비율과 암모니아 질소배설률의 대사

반응은 수온과 상관관계를 나타내며(Hochachka and Somero, 1971; Hazel and Prosser, 1974), 이와 유사한 결과는 어류(Sollid *et al.*, 2005; Debnath *et al.*, 2006), 패류(Widdows, 1973; Haure *et al.*, 1998; Saucedo *et al.*, 2004) 및 갑각류(Tian *et al.*, 2004) 등에서 보고되고 있다.

본 연구에서 10°C 이하의 저수온에 노출시킨 참돔의 산소소비율은 수온 하강에 따라 감소하여 산소소비율이 수온과 상관관계를 나타내는 이전의 보고(Debnath *et al.*, 2006; Dalvi *et al.*, 2009)들과 유사한 결과를 보였다. 또한 산소소비율은 참돔의 반수치사수온 6.54°C 이하에서 대조구에 비해 47.9% 감소를 나타내어 진주담치 *Mytilus edulis*의 치사온도에서 호흡률이 감소한 결과(Read, 1982)와도 유사하여 치사직전 호흡대사장애(Widdows, 1973; Read, 1982)로 인해 폐사로 이어지는 것으로 보인다.

수온스트레스는 수서동물의 항산화작용에 영향을 미치며(Jiang *et al.*, 2016), 저수온 노출에 의한 스트레스는 ROS 생성을 증가시켜서 산화적스트레스를 유발시킨다. 항산화 반응은 스트레스에 대한 세포방어기작으로 SOD와 CAT가 ROS에 대한 세포적항산화 기작으로 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있으며(Hermes-Lima, 1998), 생물계에서 항산화물질 유도는 산화적스트레스를 제어할 수 있는 중요한 요소이다(Parihar *et al.*, 1997). 본 연구에서 참돔의 혈액 내 SOD는 각 실험수온별 노출 4일 경과한 후 5, 6, 7°C 실험구에서 활성 증가 경향을 보였으며, 수온 8°C 실험구에서는 노출시간이 경과한 후 오히려 감소하였다. SOD는 활성산소 중 반응성 산소종인 superoxide를 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>로 변환시키는 효소이고, CAT는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 반응성이 낮은 H<sub>2</sub>O와 O<sub>2</sub>로 변환시켜서 조직 내 활성산소를 감소 및 제거하는 역할을 한다(Madeira *et al.*, 2013). 이러한 SOD의 합성이 5°C 실험구에서 증가한 것은 저수온 노출에 의해 조직 내에 ROS가 형성되었고 이들을 제거하기 위한 방어기작으로 작용한 것으로 여겨진다.

어류가 저수온에 노출되면 삼투질 및 이온조절이 일어나며(Overstreet, 1974; Donaldson *et al.*, 2008), 저수온에 대한 급성 스트레스는 어류의 근육 내 이온농도의 불균형을 초래하며 평형을 유지하지 못한다(Stanley and Colby, 1971). 본 연구의 저수온 노출 초기 반응에서 참돔의 혈액 내 삼투질농도는 수온이 낮을수록 증가하였으며, 저수온 노출 4일경과 후에는 참돔이 모두 폐사한 수온 5°C와 6°C에서 삼투질농도가 유의하게 증가하였는데, 이는 하한수온에 가까워질수록 어류의 혈액 내 이온농도를 서식환경의 이온농도로 조정하며 일정한 삼투질농도의 유지가 어려워져(Woodhead and Woodhead, 1959; Stanley and Colby, 1971), 하한수온에 가까워질수록 삼투조절의 기능 장애로 어류의 저수온에 의한 폐사가 발생한다는 보고(Hurst, 2007)와 일치하는 것으로 여겨진다.

따라서 위에 언급한 결과를 종합하여보면 참돔의 폐사를 유

발시킬 수 있는 저수온에 대한 하한내성수온은 6.54°C(6.31~6.76°C)이었으며, 하한수온범위에서 대사율이 감소하고 활성 산소 소거효소 SOD와 CAT의 활성이 증가되었으며, 삼투질농도가 유의하게 증가하였다. 이는 폐사를 일으킬 수 있는 하한수온범위에서 저수온스트레스에 의한 과도한 ROS 생성, 대사 및 삼투조절 등의 기능장애가 발생한 것으로 보인다.

## 요 약

겨울철 수온의 변동으로 우리나라 남해안 연안에 위치하고 있는 어류가두리 양식장에서 관리하고 있는 어류의 폐사가 빈번하게 발생하고 있다. 본 연구는 온대성 어류인 참돔을 대상으로 저수온 하한내성 범위 및 수온 하강에 따른 호흡률, 암모니아질소 배설률과 혈액내 산화스트레스 반응을 조사하였다. 참돔의 하한내성수온은 6.54°C(95% 신뢰한계: 6.31~6.76°C)였다. 산소소비율은 수온 하강에 따라 감소하였으며, 하한수온에서 최저치를 나타내었다. 혈액 내 삼투질농도는 수온 5°C와 6°C에서 대조구에 비해 유의한 증가를 나타내었다. 혈액 내 SOD는 모든 실험구 가운데 수온 5°C에서 유의하게 활성 증가가 나타났다. 본 연구의 결과는 참돔을 양식할 수 있는 지역 선정 및 겨울철 발생하는 동계 폐사원인 규명을 위한 자료로도 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

## 사 사

본 연구는 국립수산물과학원 「수산물과학연구 주요 양식품종 모니터링(R2018005)」에 의하여 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Bowden, T.J. 2008. Modulation of the immune system of fish by their environment. *Fish & Shellfish Immunol.*, 25: 373-383.
- Cheng, C.H., C.X. Ye, Z.X. Guo and A.L. Wang. 2017. Immune and physiological responses of pufferfish (*Takifugu obscurus*) under cold stress. *Fish & Shellfish Immunol.*, 64: 137-145.
- Choi, H.S., S.H. Jung, Y.B. Hur and J.Y. Yang. 2008. Study on the winter mass mortality of red sea bream, *Pagrus major* in the South sea area. *J. Fish Pathol.*, 21: 35-43. (in Korean)
- Dalvi, R.S., A.K. Pal, L.R. Tiwari, T. Das and K. Baruah. 2009. Thermal tolerance and oxygen consumption rates of the catfish *Horabagrus brachysoma* (Günther) acclimated to different temperatures. *Aquaculture*, 295: 116-119.
- Debnath, D., A.K. Pal, N.P. Sahy, K. Baruah, S. Yengkokpam, T. Das and S. Manush. 2006. Thermal tolerance and metabolic activity of yellowtail catfish *Pangasius pangasius* (Hamilton) advanced fingerlings with emphasis on their culture potential. *Aquaculture*, 258: 606-610.
- Donaldson, M.R., S.J. Cooke, D.A. Patterson and J.S. Macdonald. 2008. Cold shock and fish. *J. Fish Biol.*, 73: 1491-1530.
- Ellis, T.A., J.A. Buckel, J.E. Hightower and S.J. Poland. 2017. Relating cold tolerance to winterkill for spotted seatrout at its northern latitudinal limits. *J. Expt. Mar. Biol. Ecol.*, 490: 42-51.
- Finney, D.J. 1971. *Probit Analysis*. 3rd. London, Cambridge University Press, p. 333.
- Ford, T. and T.L. Beitinger. 2005. Temperature tolerance in the goldfish, *Carassius auratus*. *J. Thermal Biol.*, 30: 147-152.
- Hazel, J.R. and C.L. Prosser. 1974. Molecular mechanisms of temperature compensation in poikilotherms. *Physiol. Rev.*, 54: 620-677.
- Haure, J., C. Penisson, S. Bougrier and J.P. Baud. 1998. Influence of temperature on clearance and oxygen consumption rates of the flat oyster *Ostrea edulis*: determination of allometric coefficients. *Aquaculture*, 169: 211-224.
- Hermes-Lima, M., J.M. Storey and K.B. Storey. 1998. Antioxidant defenses and metabolic depression. The hypothesis of preparation for oxidative stress in land snails, *Comp. Biochem. Physiol.*, 120: 437-448.
- Hochachka, P.W. and G.N. Somero. 1971. Biochemical adaptation to the environment. In: Hoar, W.S. and D.J. Randall (Eds.). *Fish physiology*. Academic Press, New York and London, 100-148.
- Hurst, T.P. 2007. Causes and consequences of winter mortality in fishes. *J. Fish Biol.*, 71: 315-345.
- Jiang, W.W., J.Q. Li, Y.P. Gao, Y.Z. Mao, Z.J. Jinag, M.R. Du, Y. Zang and J.G. Fang. 2016. Effects of temperature change on physiological and biochemical responses of Yesso scallop, *Patinopecten yessoensis*. *Aquaculture*, 451: 463-472.
- Kir, M., M.C. Sunar, and B.C. Altındağ. 2017. Thermal tolerance and preferred temperature range of juvenile meagre acclimated to four temperature. *J. Thermal Bio.*, 65, 125-129.
- Luo, S.W., L. Cai, Y. Liu and W.N. Wang. 2014. Functional analysis of a dietary recombinant fatty acid binding protein 10 (FABP 10) on the *Epinephelus coioides* response to acute low temperature challenge. *Fish & Shellfish Immunol.*, 36: 475-484.
- Madeira, D., L. Narciso, H.N. Cabral, C. Vinagre and M.S. Diniz. 2013. Influence of temperature in thermal and oxidative stress responses in estuarine fish. *Comp. Biochem. Physiol.*, Part A, 166: 237-243.
- MERI, Report of marine ecology research institute. 2000. 2: A-79.
- NIFS, National Institute of Fisheries Science. 2018. Information system of real time sea water temperature. <http://www.nifs.go.kr/risa/main.risa>.
- Overstreet, R.M. 1974. An estuarine low-temperature fish-kill in Mississippi, with remarks on restricted necropsies. *Gulf Res. Rep.*, 4: 328-350.

- Parihar, M.S., T. Javeri, T. Hemnani, A.K. Dubey and P. Prakash. 1997. Responses of superoxide dismutase, glutathione peroxidase and reduced glutathione antioxidant defences in gills of the freshwater catfish (*Heteropneustes fossilis*) to short-term elevated temperature. *J. Thermal Biol.*, 22: 151-156.
- Rajaguru, S. and S. Ramachandran. 2001. Temperature of some estuarine fishes. *J. Thermal Bio.*, 26: 41-45.
- Read, K.R.H. 1982. Respiration of the bivalve molluscs *Mytilus edulis* L. and *Brachidontes demissus plicatulus* Lam. as a function of size and temperature. *Comp. Biochem. Physiol.*, 7: 89-101.
- Saucedo, P.E., L. Ocampo, M. Monteforte and H. Bervera. 2004. Effect of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion in the Calafia mother of pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856). *Aquaculture*, 229: 377-387.
- Sollid, J., R.E. Weber and G.E. Nilsson. 2005. Temperature alters the respiratory surface area of crucian carp *Carassius carassius* and goldfish *Carassius auratus*. *J. Exp. Biol.*, 208: 1109-1116.
- Solorzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenol- hypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.*, 14: 799-801.
- Stanley, J.G. and P.J. Colby. 1971. Effects of temperature on electrolyte balance and osmoregulation in the alewife (*Alosa pseudoharengus*) in fresh and sea water. *Trans. Am. Fish Soc.*, 100: 624-638.
- Tian, X., S. Dong, F. Wang and L. Wu. 2004. The effects of temperature changes on the oxygen consumption of juvenile Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis* Osbeck. *J. Exptl. Mar. Biol. and Ecol.*, 310: 59-72.
- Widdows, J. 1973. Effect of temperature and food on the heart beat, ventilation rate and oxygen uptake of *Mytilus deulis*. *Mar. Biol.*, 20: 276-296.
- Woodhead, P.M. and A.D. Woodhead, 1959. The effects of low temperatures on the physiology and distribution of the cod, *Gadus morhua* L. in the Barents Sea. *P. Zool. Soc. Lond.*, 133: 181-199.
- Yoo, S.K. 2000. *Mariculture*. Guduk Publishing Co., 570-590.