

다양한 수온에 급성 노출된 붕장어(*Conger myriaster*) 치어와 성어의 생존율, 생리학적 반응 및 조직학적 변화

한지도 · 김효원¹ · 김나영 · 길현우 · 김소선 · 김수철 · 진영국*

국립수산과학원 남해수산연구소 양식산업과, ¹국립수산과학원 양식연구과

Effects of Acute High Water Temperature Exposure on Survival, Physiological Responses and Histological Alterations in Juvenile and Adult Whitespotted Conger *Conger myriaster*

Jido Han, Hyowon Kim¹, Nayoung Kim, Hyunwoo Gil, Sosun Kim, Soocheol Kim and Youngguk Jin*

Aquaculture Industry Research Division, South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Yeosu 59780, Republic of Korea

¹Aquaculture Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

Juvenile and adult whitespotted conger *Conger myriaster* were exposed to different water temperatures to assess survival, body weight changes, plasma cortisol concentrations, and histological alterations in the gill and liver tissues. The experimental water temperatures were maintained at control, 24, 27, and 30°C, and fish were exposed for 96 h. Juvenile survival rate was 70.8% at 30°C, whereas adult survival rates were 80 and 60% at 27 and 30°C, respectively. Adult fish exposed to 30°C exhibited significant reductions in body weight and increased plasma cortisol concentrations. Histological examination of the gills revealed increased blood flow within the lamellar capillaries at 27°C, whereas necrosis of lamellar epithelial cells and fusion of the secondary lamellar epithelium were observed at 30°C. In the liver, increased glycogen accumulation within the hepatocyte cytoplasm was observed at 27°C, whereas hepatocyte condensation, necrosis, and vacuolated lipid droplets were observed at 30°C. These findings indicate that both juvenile and adult whitespotted conger experience physiological stress at 27°C, whereas exposure to 30°C adversely affects survival. The results of this study provide crucial baseline data for the development of future aquaculture technologies for whitespotted conger.

Keywords: *Conger myriaster*, High temperature, Survival rate, Cortisol, Histological change

서론

우리나라 연근해에 서식하는 붕장어(*Conger myriaster*)는 뱀장어목(Anguilliformes) 붕장어과(Congridae)에 속하는 종으로 바다장어류 중 국내에서 건강·보양식으로 인기가 많고 꾸준히 소비되고 있다.

붕장어는 산란기가 되면 산란장으로 추정되는 규슈-팔라우 해령으로 이동하며, 이곳에서 부화한 엽상자어(렙토세팔루스)들이 봄철 쿠로시오 해류를 따라 국내 연안에 유입되어 성장하는 것으로 알려져 있다(Miller et al., 2011). 매년 4-6월 사이에 국

내 연안에 유입된 자어들은 정치망, 낭장망 등 정치성 어구들에 대량으로 혼획되며(Hong and Han, 2023), 혼획 후 대부분 폐기 또는 폐사하여 자원손실로 이어지고 있다.

최근 국내 붕장어 어획량은 2012년 16,363톤에서 2025년 13,083톤으로 20% 감소하였다(KOSIS, 2025). 주요 소비국 중 하나인 일본의 경우 2010년부터 2022년 사이에 49%의 급격한 감소가 보고되었고, 수온상승, 환경오염 등이 원인으로 지목되고 있다(Tokai et al., 2002; MAFF, 2022). 국내 붕장어 어획량 감소도 이와 무관하지 않아 보이며, 선제적 자원관리 및 양식기술 개발에 의한 먹거리 확보가 필요한 시점이다.

*Corresponding author: Tel: +82. 61. 690. 8972 Fax: +82. 61. 685. 9073

E-mail address: jyg4jj@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2026.0358>

Korean J Fish Aquat Sci 59(4), 358-366, August 2026

Received 27 May 2026; Revised 23 June 2026; Accepted 12 July 2026

저자 직위: 한지도(연구원), 김효원(연구사), 김나영(연구관), 길현우(연구사), 김소선(연구사), 김수철(연구사), 진영국(연구사)

붕장어에 대한 연구들은 성장(Gorie and Ohtani, 1997; Correia et al., 2009), 생식생태(Okamura et al., 2000; Mochioka, 2001; 2009; Kurogi et al., 2012; Fueda et al., 2019) 등 주로 자원학적 측면에서 다양한 연구들이 진행되었고, 양성과 관련된 연구는 염분농도에 따른 생존율 변화(Han et al., 2024) 등 매우 제한적이다. 양식기술 개발은 대상 품종을 제한된 공간에서 사육하기 때문에 환경변화에 가장 직접적으로 영향을 받을 수밖에 없어(Chang et al., 1996; Chang and Hur, 1999; Park et al., 2009; Han et al., 2024), 사육환경에 대한 내성범위 확인이 먼저 수행되어야 한다. 특히 수온은 어류의 대사효율과 활성을 변화시켜 생존, 성장, 산소 소비 및 생리적 기능에 직접적인 영향을 미치는 가장 핵심적인 환경 요인이며, 적정 범위를 벗어날 경우 대량 폐사로 이어질 수 있다(Makrinos and Bowden, 2016; Maulvault et al., 2017; Chang et al., 2018).

따라서 본 연구에서는 96시간 동안 수온 급성 노출에 따른 치어와 성어의 생존율, 치사수온(lethal temperature, LT), 혈중 스트레스 호르몬 농도 및 아가미와 간의 조직학적 변화를 조사하여 붕장어 유희자원(자어)을 활용한 양식기술 기반을 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

실험어

실험어인 붕장어는 전남 여수시 개도해역 남장망에서 확보한 붕장어 염상자어(렙토세팔루스)를 남해수산연구소 생물사육동으로 운송하여 변태를 유도하였고, 변태가 완료된 붕장어 치어를 양성수조로 옮겨 시판용 뱀장어 배합사료(crude protein 55%)를 1일 2회 만복 공급하여 성어까지 양성하였다.

실험에 사용된 붕장어 치어의 평균 전장은 17.76 ± 1.17 cm, 평균 전중 6.32 ± 1.03 g이었으며, 성어는 평균 전장 45.20 ± 5.40 cm, 평균 전중 153.90 ± 63.45 g이었다

수온 노출

실험구의 수온은 치어와 성어 모두 대조구(자연수), 24, 27 및 30°C로 설정하였다. 실험수조는 500 L 유수식 원형수조를 이용하였으며, 실험수온은 히트펌프를 이용하여 설정하였고, 1일 12회전 환수되도록 조절하였다. 각 실험수온으로 조절된 실험수조에 실험어를 입식하였고(치어 각 20마리, 성어 각 10마리), 실험기간 동안 먹이는 공급하지 않았다. 매일 오전 10시에 다항목 수질측정기(Professional Plus; YSI Inc., Yellow Springs, OH, USA)를 이용하여 수질을 측정하였고, 실험수온은 $\pm 0.4^\circ\text{C}$ 를 벗어나지 않도록 조절하였다. 염분은 31.3 ± 0.2 psu, 용존산소는 5.2 ± 0.7 mg/L, pH는 8.4 ± 0.1 을 유지하였다. 실험은 96시간 동안 3반복으로 진행하였다. 본 실험은 국립수산물품질관리원 동물실험윤리위원회(NIFS-2023-50, NIFS-2025-9)의 승인을 받아 수행하였다.

생존율, 치사수온 및 체중 변화

생존율은 실험기간 동안 1일 1회 오전 10시에서 11시 사이에 생존개체를 계수하여 누적 생존율로 환산하였다. 각 노출 수온에 따른 LT는 SPSS Statistics (v19.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하여 분석하였다. 체중변화는 각 실험구별로 실험 전 체중 및 실험 종료 후 생존개체 체중을 측정하여 분석하였다.

혈중 Cortisol 농도

각 수온별 노출에 따른 실험어의 혈중 cortisol 농도를 분석하기 위해 실험종료 시 각 실험구마다 5마리씩 무작위로 샘플링하여 2-phenoxyethanol (200 ppm; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)에 마취하였다. 그 후 항응고제(heparin)가 처리된 1 mL 주사기로 미부혈관에서 채혈하였다. 채혈한 혈액은 원심분리(6,000 rpm, 15 min, 4°C) 하였고, 혈장을 분리 후 분석 전까지 -70°C 에서 보관하였다.

혈중 cortisol은 enzyme linked immunosorbent assay kit (EIA-1887; DRG International Inc., Springfield, NJ, USA)로 분석하였고, 450 nm에서 흡광도를 측정한 후 Magellan v17.2 (Tecan Group Ltd., Mnedorf, Switzerland)으로 농도를 계산하였다.

조직학적 분석

각 수온별 노출에 따른 아가미와 간의 조직학적 변화를 관찰하기 위해 실험 종료 후 시료를 10% 중성포르말린에 24시간 고정하였고, 고정된 조직은 흐르는 물에 24시간 이상 수세 후 paraffin 포매과정을 거쳐 Microtome (RM2135; Leica Biosystems Nussloch GmbH, Nussloch, Germany)을 이용해 4–5 μm 두께로 연속절편을 제작하였다. 제작한 절편은 HE (hematoxylin-eosin) 염색 후 광학현미경(DM3000; Leica Microsystems, Wetzlar, Germany)을 이용하여 분석하였다.

통계분석

결과 값은 평균 $\pm$ 표준오차로 나타냈으며, 체중 변화를 제외한 실험구 사이의 유의성은 SPSS Statistics (v19.0; IBM Corp.)을 이용하여 일원분산분석(One-way ANOVA) 후 Duncan's multiple range test로 분석하였다($P < 0.05$). 체중 변화는 실험구별 개시기(0 h) 체중에 따른 종료(96 h) 시 체중을 독립검정 t-검정으로 분석하였다($P < 0.05$).

결 과

생존율 및 LT

96시간 동안 다양한 수온에 노출된 붕장어 치어의 생존율은 대조구(22°C), 24 및 27°C 노출구의 경우 폐사가 발생하지 않았으나, 30°C 노출구의 경우 노출 24시간부터 폐사가 발생하기 시

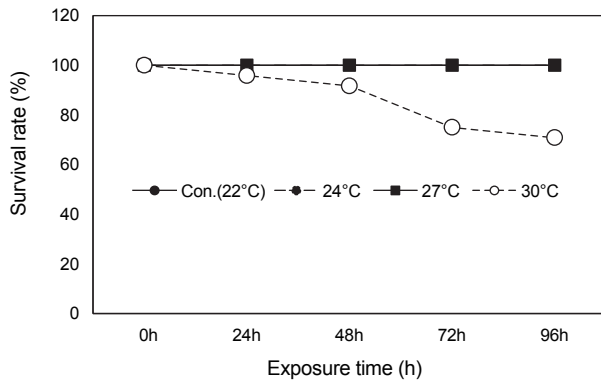


Fig. 1. Survival rate (%) of juvenile whitespotted conger *Conger myriaster* acutely exposed to various water temperatures for 96 hours.

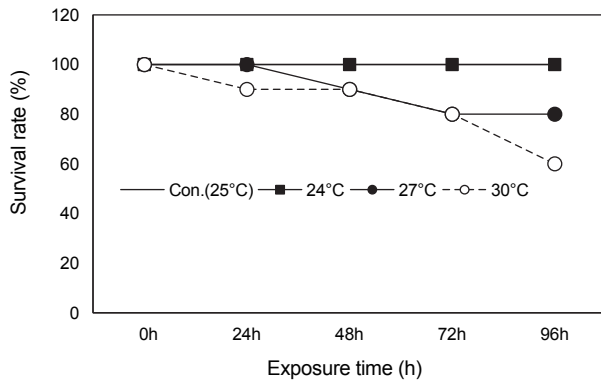


Fig. 2. Survival rate (%) of adult whitespotted conger *Conger myriaster* acutely exposed to various water temperatures for 96 hours.

작해 노출 96시간 쯤 70.8%의 생존율을 보였다(Fig. 1). 성어의 경우 대조구(25°C) 및 24°C 노출구의 경우 폐사가 발생하지 않았다. 하지만 27°C 노출구의 경우 노출 48시간부터 폐사가 발생하였고, 노출 96시간 쯤 80%의 생존율을 보였다. 30°C 노출구의 경우 치어와 마찬가지로 노출 24시간부터 폐사가 발생하였고, 노출 96시간 쯤 60%의 생존율을 나타냈다(Fig. 2).

노출 수온별 생존율 결과를 토대로 96시간 급성 노출에 따른 LT는 분석한 결과 치어의 경우 96h-LT₅₀은 30.23°C, 성어의 경우 96h-LT₅₀은 30.54°C로 치어와 성어가 큰 차이를 보이지 않았다(Table 1).

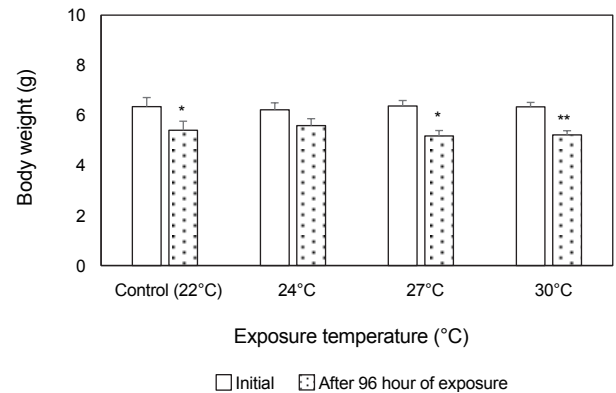


Fig. 3. Body weight (g) of juvenile whitespotted conger *Conger myriaster* acutely exposed to various water temperatures for 96 hours. The data are represented as the mean±SEM. The different letters indicate statistically significant differences between groups (*: $P<0.05$, **: $P<0.01$).

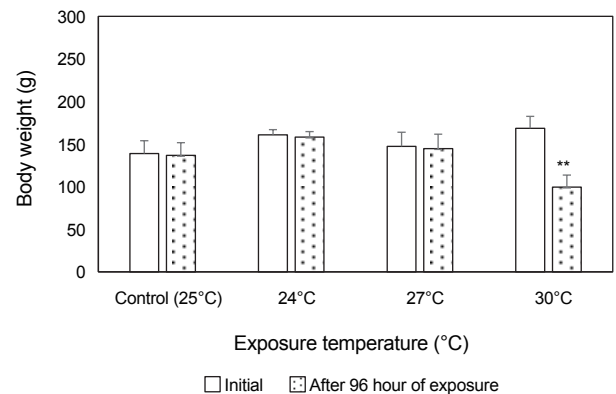


Fig. 4. Body weight (g) of adult whitespotted conger *Conger myriaster* acutely exposed to various water temperatures for 96 hours. The data are represented as the mean±SEM. The different letters indicate statistically significant differences between groups (**: $P<0.01$).

체중 변화

각 실험 수온별 노출 전 및 노출 96시간 후 체중변화를 비교한 결과 치어의 경우 모든 실험구에서 체중 감소가 나타난 가운데 30°C 노출구에서 노출 전과 비교해 1.13 g의 체중 감소를 보였다(Fig. 3, $P<0.01$). 성어의 경우도 모든 실험구에서 체중 감

Table 1. Lethal temperature (LT) of whitespotted conger *Conger myriaster* acutely exposed to various water temperatures for 96 hours

Growth stages	96h-LT ₁₀	96h-LT ₃₀	96h-LT ₅₀	96h-LT ₇₀	96h-LT ₉₀
Juvenile (°C)	29.297	30.024	30.528	31.031	31.759
Adult (°C)	26.343	28.822	30.538	32.255	34.734

소를 보였다. 체중 감소량은 대조구부터 27°C 노출구까지 최대 2.42 g이었으며, 30°C 노출구의 경우 68.93 g으로 노출 전과 비교해 유의적으로 낮았다(Fig. 4, $P<0.01$).

혈중 Cortisol 농도

치어를 대조구(22°C), 24, 27, 및 30°C에 96시간 노출 후 혈중 cortisol 농도를 분석한 결과, 각각 52.65 ± 8.45 , 57.34 ± 8.65 , 49.11 ± 5.02 , 61.94 ± 12.13 ng/mL로 30°C 노출구의 농도가 가장 높았으나 유의적인 차이는 보이지 않았다(Fig. 5). 성어의 경우 각각 10.18 ± 6.78 , 6.58 ± 4.39 , 20.09 ± 12.42 , 59.24 ± 36.62 ng/mL로 수온이 높을수록 농도가 높아졌으며, 30°C 노출구의 경우 다른 노출구와 비교해 유의적으로 높았다(Fig. 6, $P<0.05$).

조직학적 변화

아가미의 조직학적 관찰 결과, 치어의 경우 대조구(22°C) 및 24°C 노출구는 일반적인 아가미의 구조를 하고 있었으며, 특이할 만한 변화는 관찰되지 않았다(Fig. 7, A). 27°C 노출구는 새판 모세혈관 내 혈류량이 증가하는 경향을 보였으며(Fig. 7, B), 30°C 노출구에서는 새판 상피층의 탈락 및 융합 현상이 나타났다(Fig. 7, C). 성어의 경우 대조구(25°C) 및 24°C 노출구에서는 특이할 만한 변화는 나타나지 않았다(Fig. 8, A and B). 27°C 노출구에서는 치어와 동일하게 새판 모세혈관 내 혈류량이 증가하였고(Fig. 8, C), 30°C 노출구에서는 새판 상피층의 괴사, 새엽 상피층의 융합 및 분비세포들의 증가가 관찰되었다(Fig. 8, D).

간의 조직학적 관찰 결과, 치어의 경우 대조구(22°C) 및 24°C 노출구에서는 일반적인 간세포의 구조를 보이고 있었으며, 간세포 내 글라이코겐 축적이 관찰되었다(Fig. 9, A). 27°C 노출구에서는 간세포 내 글라이코겐 축적이 증가하는 경향을 보였고(Fig. 9, B), 30°C 노출구에서는 전체적으로 간세포의 응축 현상 및 간조직 내 공포상의 지질방울들이 관찰되었다(Fig. 9, C). 성어의 경우 대조구(25°C) 및 24°C 노출구에서는 특이할 만한 변화는 나타나지 않았다(Fig. 10, A and B). 하지만 27°C 노출구에서 일부 간세포 응축 및 괴사 현상이 나타났고(Fig. 10, C), 30°C 노출구에서는 대식세포 출현이 관찰되었다(Fig. 10, D).

고 찰

어류는 고수온에 급성으로 노출되면 1차 반응으로 혈중 cortisol 농도가 증가하는데, 이는 어류의 주요 스트레스 지표로 활용된다(Table 2). 이후 2차 반응에서 면역이 활성화되고 에너지 대사에 영향을 미치며, 3차 반응으로 먹이 섭취량 감소, 회피 행동 증가 등 행동 변화 및 폐사를 일으키게 된다(Donaldson et al., 2008; Tort, 2011; Vargas-Chacoff et al., 2018). 그 후 만성 반응으로 성장 및 생식능력 감소, 생존율 저하, 질병 민감도 상승 등 최종적으로 양식 생산성이 감소되어 경제적 영향을 미친

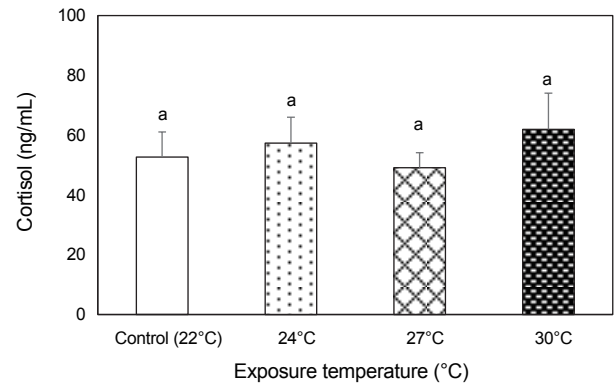


Fig. 5. Plasma cortisol levels of juvenile whitespotted conger *Conger myriaster* acutely exposed to various water temperatures for 96 hours. The data are represented as the mean $\pm$ SEM. The different letters indicate statistically significant differences between groups ($P<0.05$).

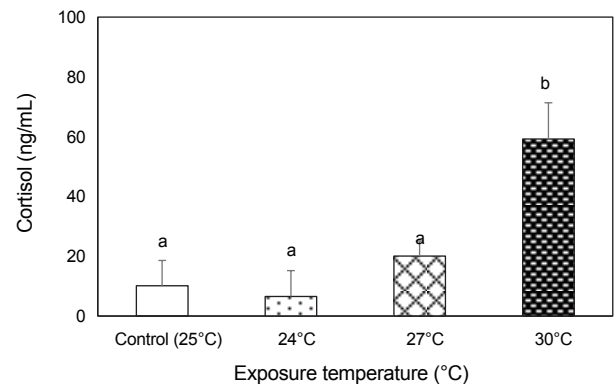


Fig. 6. Plasma cortisol levels of adult whitespotted conger *Conger myriaster* acutely exposed to various water temperatures for 96 hours. The data are represented as the mean $\pm$ SEM. The different letters indicate statistically significant differences between groups ($P<0.05$).

다(Eissa and Wang, 2016).

농어(*Dicentrarchus labrax*) 치어를 16–21°C에 급성으로 4일 동안 노출한 결과 혈중 cortisol 농도가 증가하였으며, 21°C에서 폐사율이 증가하였고(Giroux et al., 2019), 8, 14, 24 및 32°C에 30일 동안 노출한 결과 혈중 cortisol 농도 증가 및 32°C에서 성장 감소가 보고되었다(Islam et al., 2020). 또한 넙치(*Paralichthys olivaceus*)를 20, 29 및 32°C에 3일 동안 급성으로 노출한 결과 29 및 32°C에서 성장률 및 생존율이 감소하였고(Liu et al., 2017; Kim et al., 2019), 13–25°C에 48시간 동안 급성으로 노출된 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)에서는 운동능력 저하가 보고되었다(Currie et al., 2013). 본 연구에서 치어와 성어

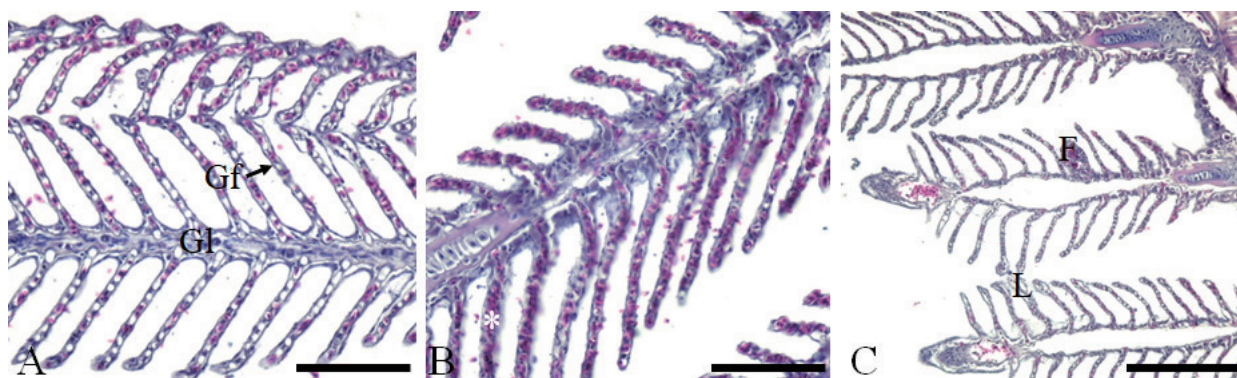


Fig. 7. Histology of gills of juvenile whitespotted conger *Conger myriaster* acutely exposed to various water temperatures for 96 hours. A, control (22°C) and 24°C, no significant structural changes were observed; B, 27°C, increased blood flow within gill lamellar capillaries (*); C, 30°C, gill lamellar epithelium lifting (L) and fusion (F). Gf, gill filament; Gl, gill lamella. Scale bar, 100 µm (A–B), 50 µm (C).

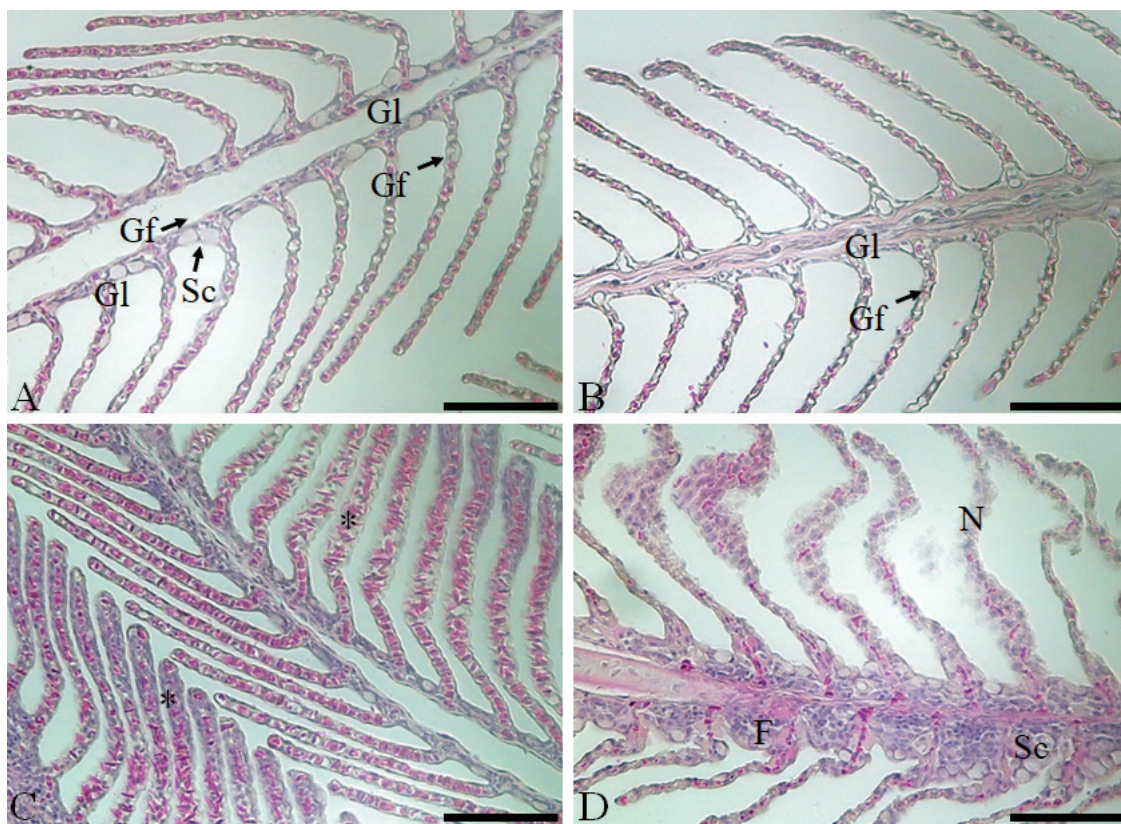


Fig. 8. Histology of gills of adult whitespotted conger *Conger myriaster* acutely exposed to various water temperatures for 96 hours. A, control (25°C) and B, 24°C, no significant structural changes were observed; C, 27°C, increased blood flow within gill lamellar capillaries (*); D, 30°C, gill lamellar fusion (F), gill lamellar necrosis (N) and increased secretory cells (Sc). Gf, gill filament; Gl, gill lamella. Scale bar, 100 µm.

모두 30°C 노출구의 혈중 cortisol 농도가 가장 높았고, 생존율은 가장 낮았으며, 체중 감소는 가장 높았다. 기존 연구 결과들

과 비교했을 때 본 연구 역시 고수온에 노출 시 급성 반응으로 혈중 cortisol 농도가 증가하며, 생존 및 성장에도 영향을 미치

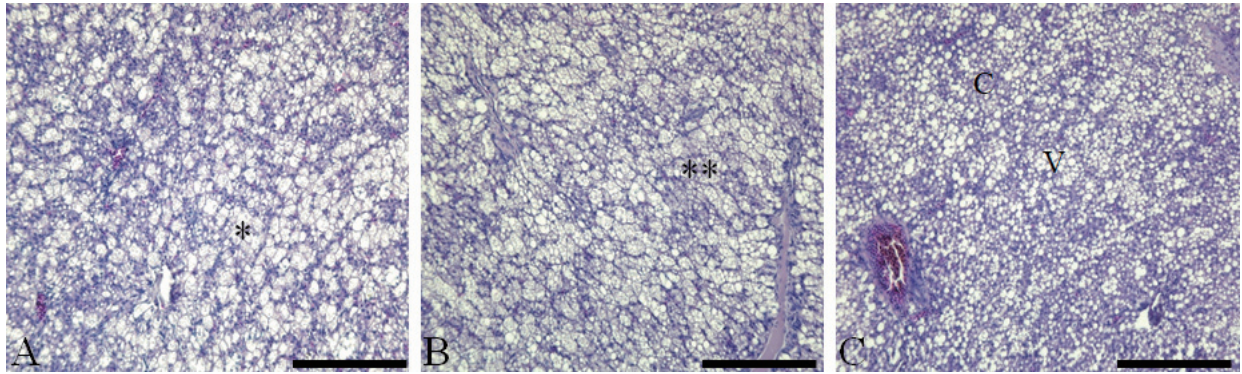


Fig. 9. Histology of liver of juvenile whitespotted conger *Conger myriaster* acutely exposed to various water temperatures for 96 hours. A, control (22°C) and 24°C, weak glycogen accumulation in hepatocytes (*); B, 27°C, strong glycogen accumulation in hepatocytes (**); C, 30°C, hepatocellular condensation (C), vacuolization (V). Scale bar, 100 µm.

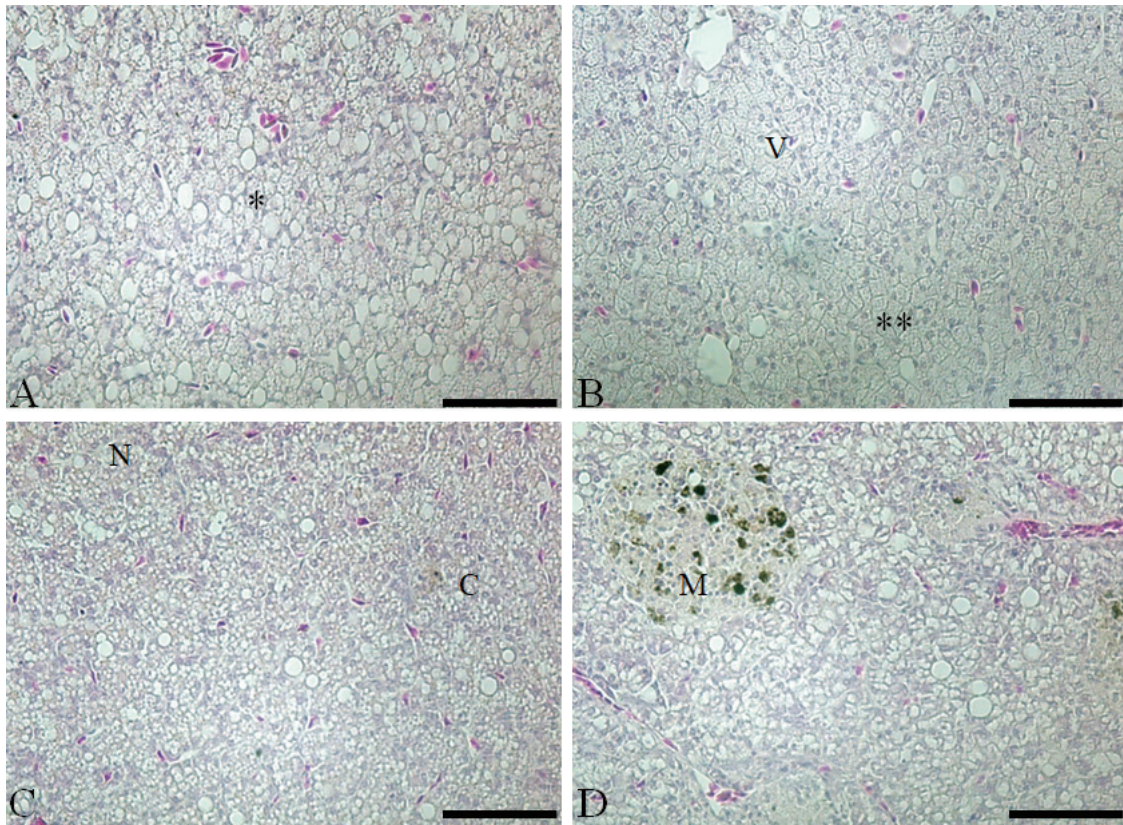


Fig. 10. Histology of liver of adult whitespotted conger *Conger myriaster* acutely exposed to various water temperatures for 96 hours. A, control (25°C), glycogen accumulation in hepatocytes (*); B, 24°C, glycogen accumulation in hepatocytes (**) and vacuolization (V); C, 27°C, hepatocellular condensation (C), necrosis (N); D, 30°C, macrophage (M). Scale bar, 100 µm.

는 것으로 판단된다.

어류의 아가미는 체내 삼투압 조절, 호흡, 면역 등 생존과 매우 밀접하게 관련된 기관이다(Rombough, 2007). 수질환경 변

화와 같은 스트레스에 노출되면 아가미 상피세포 증식, 새판 모세혈관 내 혈류량 증가, 새판 상피 융합, 상피층 탈락 등의 구조적 손상이 발생하며, 심한 경우 폐사에 이를 정도로 기능적 손

Table 2. Research on stress responses of aquaculture fish during high temperature stress

Species	Stress intensity	Stress duration	Stress type	Fish size (g)	Effects	References
Atlantic cod, <i>Gadus morhua</i>	10–22°C	2 h	Acute	–40 g	Cortisol (22°C) ↑	Pérez-Casanova et al., 2008
Atlantic salmon, <i>Salmo salar</i>	12–27.5°C	48 h	Acute	-	Heart rate (20°C) ↑	Anttila et al., 2014
Black Sea trout, <i>Salmo trutta labrax</i>	25, 30°C	30 min	Acute	184 g	Cortisol (30°C) ↑	Dengiz Balta et al., 2017
European seabass, <i>Dicentrarchus labrax</i>	24, 32°C	10 days	Acute	12 g	Cortisol (33°C) ↑ Growth (32°C) ↓	Islam et al., 2020
Mozambique tilapia, <i>Oreochromis niloticus</i>	22–34°C	2 h	Acute	14 g	Cortisol (34°C) ↑	Basu et al., 2001
Olive flounder, <i>Paralichthys olivaceus</i>	20–32°C	3 days	Acute	7 g	HSP70 (26–32°C) ↑ Survival (29°C–) ↓	Liu et al., 2017

상으로 이어진다(Amir et al., 2022). 본 연구에서 치어와 성어 모두 27°C 노출구에서 아가미 새판 모세혈관 내 혈류량이 증가하였고, 30°C 노출구에서 상피층의 탈락, 융합, 괴사 등 구조적 손상이 관찰되었다. 이와 같은 구조적 손상은 고수온에 노출된 각시붕어(*Rhodeus uyekii*), 큰입선농어(*Lates calcarifer*), 조피볼락(*Sebastes schlegelii*)에서도 동일한 결과들이 보고되었고(Saber, 2011; Kim, 2015; Amir et al., 2022), 가스 교환 유효면적을 급격히 감소시켜 심각한 호흡장애를 유발하여(Wang et al., 2022) 폐사에 영향을 미쳤을 것으로 보인다.

간은 단백질 합성, 글라이코겐 저장, 소화 및 해독 등을 담당하는 중요한 기관으로 고수온 등 스트레스 환경에 노출 시 간 세포 세포질 내 글라이코겐 과축적, 간세포 비대 및 응축, 간세포 공포화, 간세포 지질화 등 다양한 반응을 보인다(Strmac and Braunbeck, 1999). 본 연구 결과 중 27°C 노출구에서 나타난 글라이코겐 축적 현상은 고수온 스트레스 상황에서 생존을 위한 대사 에너지의 재배분 전략으로 성장에 필요한 에너지를 항상성 유지로 전환함에 따라 발생하는 현상으로 보고되고 있다(Wang et al., 2022). 32°C의 수온에 노출된 교잡종 메기(*Clarias gariepinus*)의 간에서 세포 비대 및 괴사(Khieokhajonkhet et al., 2022), 32°C의 수온에 노출된 넙치(*Paralichthys olivaceus*)에서 간세포 비대 및 세포손상(Liu et al., 2015), 28°C 이상의 수온에 노출된 조피볼락(*Sebastes schlegelii*)에서 간세포의 비대화 및 응축, 괴사(Jin et al., 2023) 등이 보고되고 있는데, 이는 본 연구 결과인 30°C에 노출된 붕장이 치어와 성어의 간 조직 내 구조적 손상들과 유사한 것으로 보여진다. 또한 간조직 내 대식세포의 출현은 30°C의 수온이 신진대사의 급격한 증가를 일으켜 체내 활성산소의 과도한 발생으로 간세포 손상 및 세포사멸을 유발하는 것으로 보여(Yoon, 2025), 붕장어에게 있어 생물학적 한계수온에 도달했음을 보여준다.

본 연구에서 생존율, 체중 변화, 혈중 cortisol 농도, 아가미와 간의 조직학적 분석을 통해 붕장어의 안정적 사육 수온은 24°C 이하이고, 27°C는 경계수온, 30°C는 한계수온으로 판단된다.

이와 같은 결과들은 향후 붕장어 유휴자원(자어)을 활용한 양식 기술을 개발함에 있어 기반기술을 확보할 수 있는 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

사 사

본 논문은 2025년 국립수산물과학원 수산시험연구사업(붕장어 자연산 자어를 활용한 양식기술 개발, R2025026) 연구개발비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Amir F, Muchlisin ZA, Nur FM, Fadli N, Siti-Azizah MN, Wilkes M, Tang UM, Hasan B, Batubara AS, Kocabas FK and Marimuthu K. 2022. Effect of increasing water temperature on the physiology and gill histology of Baramundi, *Lates calcarifer* (Pisces, Perciformes) fingerlings. *Int Aquat Res* 14, 263-273. <https://doi.org/10.22034/IAR.2022.1965030.1318>.
- Anttila K, Couturier CS, Øverli Ø, Johnsen A, Marthinsen G, Nilsson GE and Farrell AP. 2014. Atlantic salmon show capability for cardiac acclimation to warm temperatures. *Nat Commun* 5, 4252. <https://doi.org/10.1038/ncomms5252>.
- Basu N, Nakano T, Grau EG and Iwama GK. 2001. The effects of cortisol on heat shock protein 70 levels in two fish species. *Gen Comp Endocrinol* 124, 97-105. <https://doi.org/10.1006/gcen.2001.7688>.
- Chang CH, Huang JJ, Yeh CY, Tang CH, Hwang LY and Lee TH. 2018. Salinity effects on strategies of glycogen utilization in livers of euryhaline milkfish (*Chanos chanos*) under hypothermal stress. *Front Physiol* 9, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00081>.
- Chang YJ and Hur JW. 1999. Physiological responses of Grey Mullet (*Mugil cephalus*) and Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) by rapid changes in salinity of rearing water. *Korean*

- J Fish Aquat Sci 32, 310-316.
- Chang YJ, Lee YC and Lee BK. 1996. Comparison of growth and survival rates of juvenile Grey mullets (*Mugil cephalus*) in different salinities. J Aquaculture 9, 311-320.
- Correia AT, Manso S and Coimbra J. 2009. Age, growth and reproductive biology of the European conger eel (*Conger conger*) from the Atlantic Iberian waters. Fish Res 99, 196-202. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2009.06.002>.
- Currie S, Ahmady E, Watters MA, Perry SF and Gilmour KM. 2013. Fish in hot water: Hypoxaemia does not trigger catecholamine mobilization during heat shock in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol 165, 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.03.014>.
- Dengiz Balta Z, Akhan S and Balta F. 2017. The physiological stress response to acute thermal exposure in Black Sea trout (*Salmo trutta labrax* Pallas, 1814). Turk J Vet Anim Sci 41, 400-406. <https://doi.org/10.3906/vet-1606-32>.
- Donaldson MR, Cooke SJ, Patterson DA and Macdonald JS. 2008. Cold shock and fish. J Fish Biol 73, 1491-1530. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.02061.x>.
- Eissa N and Wang HP. 2016. Transcriptional stress responses to environmental and husbandry stressors in aquaculture species. Rev Aquac 8, 61-88. <https://doi.org/10.1111/raq.12081>.
- Fueda E, Segawa S, Nakamura N, Yamada S, Chuda H, Kato K and Ohta H. 2019. Residual concentration of human chorionic gonadotropin in female whitespotted conger reared under low water temperatures after a single injection. Aquaculture 509, 129-133. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.05.018>.
- Giroux M, Gan J and Schlenk D. 2019. The effects of bifenthrin and temperature on the endocrinology of juvenile Chinook salmon. Environ Toxicol Chem 38, 852-861. <https://doi.org/10.1002/etc.4372>.
- Gorie S and Ohtani T. 1997. Growth of the juvenile white-spotted congers under experimental conditions. Aquac Sci 45, 485-488. <https://doi.org/10.1123/aquaculturesci1953.45.485>.
- Han JD, Kim HY, Gil HW, Cho JK and Jin YG. 2024. Lethal concentration and histological changes of juvenile Whitespotted conger (*Conger myriaster*) exposed to various salinity concentrations. J Mar Life Sci 9, 127-135. <https://doi.org/10.23005/KSMLS.2024.9.2.127>.
- Hong CG and Han KH. 2023. Morphogenetic identification of eel's larva (*Leptocephalus*) collected by set net in Namhae, Korea. J Mar Life Sci 8, 128-135. <https://dx.doi.org/10.23005/ksmls.2023.8.2.128>.
- Islam MJ, Kunzmann A, Bögner M, Meyer A, Thiele R and James Slater M. 2020. Metabolic and molecular stress responses of European seabass, *Dicentrarchus labrax* at low and high temperature extremes. Ecol Indic 112, 106-118. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106118>.
- Jin YG, Gil HW, Kim DJ, Hwang HK and Kim HW. 2023. Survival, physiological responses and histological changes in Korean Rockfish, *Sebastes schlegelii* exposed to artificial increase of water temperature. Kor J Ichthol 35, 236-243. <https://doi.org/10.35399/ISK.35.4.3>.
- Khieokhajonkhet A, Sangphrom S, Aeksiri N, Tatsapong P, Wuthijaree K and Kaneko G. 2022. Effects of long-term exposure to high temperature on growth performance, chemical composition, hematological and histological changes, and physiological responses in hybrid catfish [*♂Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) × *♀C. macrocephalus* (Gunther, 1864)]. J Therm Biol 105, 103226. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103226>.
- Kim JH. 2015. Effects of water temperature on HSP70 family gene and plasma glucose levels in the Korean rose bitterling, *Rhodeus uyekii*. Unpublished Master Dissertation, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Kim JH, Kim SK and Hur YB. 2019. Temperature-mediated changes in stress responses, acetylcholinesterase, and immune responses of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* in a bio-floc environment. Aquaculture 506, 453-458. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.03.045>.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2025. Korean statistical information service statistical DB, Retrieved from <https://kosis.kr/index/index.do> on Mar 23.
- Kurogi H, Mochioka N, Okazaki M, Takahashi M, Miller MJ, Tsukamoto K, Ambe D, Katayama S and Chow S. 2012. Discovery of a spawning area of the common Japanese conger *Conger myriaster* along the Kyushu- Palau ridge in the western north pacific. Fish Sci 78, 525-532. <https://doi.org/10.1007/s12562-012-0468-6>.
- Liu Y, Ma D, Xiao Z, Xu S, Wang Y, Wang Y, Xiao Y, Song Z, Teng Z, Liu Q and Li J. 2015. Histological change and heat shock protein 70 expression in different tissues of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in response to elevated temperature. Chin J Oceanol Limnol 33, 11-19. <https://doi.org/10.1007/s00343-015-4028-7>.
- Liu Y, Ma D, Zhao C, Xiao Z, Xu S, Xiao Y and Li J. 2017. The expression pattern of hsp70 plays a critical role in thermal tolerance of marine demersal fish: Multilevel responses of *Paralichthys olivaceus* and its hybrids (*P. olivaceus* ♀ *P. dentatus* ♂) to chronic and acute heat stress. Mar Environ Res 129, 386-395. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2017.06.015>.
- MAFF (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries). 2022. Ministry of agriculture forestry and fisheries Japan, Retrieved from https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/index.html on Mar 25.
- Makrinos DL and Bowden TJ. 2016. Natural environmental impacts on teleost immune function. Fish Shellfish Immunol 53, 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.03.008>.
- Maulvault AL, Barbosa V, Alves R, Custodio A, Anacleto P, Repolho T and Diniz M. 2017. Ecophysiological responses

- of juvenile seabass (*Dicentrarchus labrax*) exposed to increased temperature and dietary methylmercury. *Sci Total Environ* 586, 551-558. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.016>.
- Miller MJ, Yoshinaga T and Aoyama J. 2011. Offshore spawning of *Conger myriaster* in the western north pacific: Evidence for convergent migration strategies of anguilliform eels in the atlantic and pacific. *Naturwissenschaften* 98, 537-543. <https://doi.org/10.1007/s00114-011-0787-y>.
- Mochioka N. 2001. Early life history of *Conger myriaster*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 67, 111-112. <https://doi.org/10.2331/suisan.67.111>.
- Okamura A, Utoh T, Zhang H, Yamada Y, Horie N, Mikawa N, Tanaka S, Motonobu T and Oka HP. 2000. Seasonal changes in maturity in the Conger eel *Conger myriaster* at the Pacific coast of Atsumi Peninsula, central Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi* 66, 412-416. <https://doi.org/10.2331/suisan.66.412>.
- Park SY, Choi WS, Chang YJ and Bang IC. 2009. Low salinity tolerance of the larvae and juvenile of *Acanthopagrus schlegelii*. *J Aquaculture* 22, 122-125.
- Pérez-Casanova JC, Rise ML, Dixon B, Afonso LOB, Hall JR, Johnson SC and Gamperl AK. 2008. The immune and stress responses of Atlantic cod to long-term increases in water temperature. *Fish Shellfish Immunol* 24, 600-609. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2008.01.012>.
- Rombough P. 2007. The functional ontogeny of the teleost gill: Which comes first, gas or ion exchange? *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 148, 732-742. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2007.03.007>.
- Saber TH. 2011. Histological adaptation to thermal changes in gills of common carp fishes, *Cyprinus carpio* L. *Rafidain J Sci* 22, 46-55. <https://doi.org/10.3389/rjs.2011.32464>.
- Strmac M and Braunbeck T. 1999. Effects of triphenyltin acetate on survival, hatching success, and liver ultrastructure of early life stages of zebrafish (*Danio rerio*). *Ecotoxicol Environ Saf* 44, 25-39. <https://doi.org/10.1006/eesa.1999.1781>.
- Tokai T, Shimizu T, Nakagawa T and Saita Y. 2002. Implementation process of enlarged escape-holes to conger tube fishery in Tokyo Bay. *Fish Sci* 68, 467-468.
- Tort L. 2011. Stress and immune modulation in fish. *Dev Comp Immunol* 35, 1366-1375. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2011.07.002>.
- Vargas-Chacoff L, Regish AM, Weinstock A and McCormick SD. 2018. Effects of elevated temperature on osmoregulation and stress responses in Atlantic salmon *Salmo salar* smolts in fresh water and seawater. *J Fish Biol* 93, 550-559. <https://doi.org/10.1111/jfb.13683>.
- Wang Z, Dong Z, Yang Y, Wang J, Yang T, Chen X, Liang L and Mu W. 2022. Histology, physiology and glucose and lipid metabolism of *Lateolabrax maculatus* under low temperature stress. *J Therm Biol* 104, 103161. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.103161>.
- Yoon SJ. 2025. Changes in behavior and blood composition of Black Rockfish, *Sebastes schlegelii* following exposure to high temperature. *J Mar Life Sci* 10, 15-25. <https://doi.org/10.23005/ksmls.2025.10.1.15>.