

수온이 삼세기 (*Hemitripterus villosus*) 난발생 및 자치어 성장과 생존에 미치는 영향Effects of Water Temperature on Embryonic Development, Larval Growth, and Survival of *Hemitripterus villosus*이원주¹, 박애전², 유태식³, 이성훈⁴, 한경호^{1,*}Won-Ju Lee¹, Ae-Jeon Park², Tae-Sik Yu³, Sung-Hoon Lee⁴, Kyeong-Ho Han^{1,*}¹전남대학교 수산과학과,²제주특별자치도 해양수산자원연구원,³전남대학교 수산과학연구소,⁴전남대학교 수산해양산업관광레저융합학과¹Department of Fisheries Sciences, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea²Ocean and Fisheries Research Institute, Jeju Self-Governing Province 63629, Republic of Korea³Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea⁴Department of Fishery, Marine, Industry, Tourism, and Leisure, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea*Correspondence to Kyeong-Ho Han
E-mail: aqua05@jnu.ac.kr

Received February 27, 2025

Revised March 21, 2026

Accepted March 21, 2026

Abstract : Water temperature is a critical factor influencing the early life stages of fish, affecting embryonic development, hatching success, larval survival, and growth. This study investigated the effects of temperature on the early life history of *Hemitripterus villosus*, an economically and ecologically important cold-water fish species. Fertilized eggs were obtained from naturally spawning adults collected from the coastal waters of Yeosu, South Korea, and incubated at three different temperatures (5°C, 10°C, and 15°C) to examine developmental time, hatching rate, and larval total length at hatching. Additionally, larval growth and survival were evaluated at four different temperatures (2°C, 8°C, 12°C, and 16°C) over a 66-day rearing period. The results showed that higher temperatures accelerated embryonic development and hatching but significantly reduced hatching success at 15°C (32.8%) compared to 5°C and 10°C (>90%). The mean total length of newly hatched larvae was inversely related to temperature. In larval rearing experiments, survival was highest at 12°C, whereas all individuals perished at 2°C and 16°C within 30 and 24 days, respectively. Growth rates were also highest at 12°C, suggesting that this temperature range is optimal for larval development. The results indicate that *H. villosus* exhibits a temperature-dependent response during its early life stages, with an optimal range of 8~12°C for survival and growth. These findings provide fundamental insights into the thermal tolerance of *H. villosus* and may serve as a valuable reference for artificial seed production and conservation efforts in response to rising ocean temperatures.

Keywords : Embryonic development, *Hemitripterus villosus*, Juvenile, Larvae, Water temperature

서론

삼세기, *Hemitripterus villosus* (Pallas, 1814)는 바리목(Perciformes), 날개줄고기과(Agonidae), 삼세기아과(Hemitriptarinae), 삼세기속(*Hemitripterus*)에 속하는 어류로, 우리나라 전 연안과 일본 중부, 오후츠크해, 베링해 등의 북서태평양에 주로 분포한다(Masuda *et al.*, 1984; Fricke *et al.*, 2025; Kang *et al.*, 2025). 삼세기의 산란기는 우리나라 연안에서 10월 하순부터 12월까지로 자연산란수온은 6.0~15.8°C로 알려져 있다. 또한

수심 5~10 m 전후의 암반이나 돌이 많은 조간대에 바위나 돌위를 산란상으로 선택하여 4~5개의 난괴를 형성하여 산란한다(Markevich, 2000; Park *et al.*, 2014). 삼세기는 경제적으로 중요한 어종이나 어획량은 2012년에 695 t, 2017년 478 t, 2022년 264 t으로 감소하는 추세를 보이고 있다(MOF, 2024).

환경 변화에 의한 스트레스는 진골어류에 있어서 개체의 생애주기와 건강상태에 영향을 미치고 나아가 개체군, 생태계에도 영향을 주는데(Barton and Iwama, 1991), 대부분의 어류는 변온동물이므로 수온의 영향을 강하게 받는다. 또한 수온의 변

동은 어류의 생리, 성장, 번식을 포함해 어류 개체군의 구성과 변화에 직접적으로 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Billard *et al.*, 1981). 지구온난화로 인해 전 세계 해역의 수온이 상승하고 있고, 우리나라 해역은 55년간(1968~2022년) 약 1.35°C 수온이 상승하였다(NIFS, 2023). 그리하여 우리나라 해역에서 명태 *Gadus chalcogrammus*와 같은 한대성 어류의 어획량이 줄어 들고 열대성 어류의 어획량이 증가하는 추세이며(Kim *et al.*, 2022; Kim, 2022), 삼세기 역시 계절에 따라 수심 101~150 m, 251~400 m의 바닥에 근접한 수온이 -1.2°C 에서 3.5°C 인 곳에서 주로 서식하는 한대성 어류이다(Tokranov and Orlov, 2006; Antonenko *et al.*, 2010). 한대성 어류가 고수온에 노출되는 경우 만성적인 온도 스트레스에 노출되어 사망률이 증가하고 성장과 생식의 감소, 신진대사율이 현저하게 낮아지는 등 생존에 위협을 받는다(Hardwig *et al.*, 2004; Doney *et al.*, 2012; Logan and Buckley, 2015). 따라서 수온상승으로 인해 어획량이 감소하였다고 예측할 수 있다.

어류의 초기 생활사는 생존압이 높고 사망률이 높은 시기로 성어에 비해 환경의 영향을 많이 받아 수온의 영향이 더욱 크게 작용한다(Herzig and Winkler, 1986; Kamler, 1992; Clarke and Johnston, 1999; Korwin-Kossakowski, 2011; Viader-Guerero *et al.*, 2021). 수온은 난발생에 있어 발생시간, 기형률, 부화시기 등에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Herzig and Winkler, 1986; Kamler, 1992; Bruce and Arthur, 2009). 어류 수정란의 발생시간은 일반적으로 수온과 반비례 관계에 있고, 부화 직후 자어의 크기는 비례하는 경향이 있는데(Pauly and Pullin, 1988; Kamler, 1992; Bruce and Arthur, 2009). 이는 찰가자미 (*Microstomus achne*; Byun *et al.*, 2009), 갈색송어 (*Salmo trutta*; Réalis-Doyelle *et al.*, 2016), 명태(Park *et al.*, 2024) 등에서 보고된 바 있다. 또한 수온은 자치어의 난황 소모, 신진대사, 생존율과 같은 생리적 변화에 영향을 미친다(Peck and Buckley, 2007). 이에 본 연구에서는 수온이 삼세기의 초기 생활사에 미치는 영향을 알아보기 위하여 특정 수온에서 수정란의 발달 시간, 부화율, 부화 자어의 전장과 자치어의 성장률 및 생존률을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 수정란 및 자치어 확보

전라남도 여수 돌산 연안 해역에서 정치망으로 어획된 전장 26.7~28.7 cm (평균 27.1 cm), 체중 621~839.0 g (평균 691.7 g)의 삼세기 어미를 30톤 원형 콘크리트 수조($\phi 5.0\text{ m} \times 1.5\text{ m}$)에 수용하여 유수식으로 10일 10회전 환수하여 자연산란을 유도하였다(Fig. 1). 자연산란된 수정란은 2톤의 사각 FRP수조



Fig. 1. Location of the sampling area.

($1.0 \times 3.0 \times 0.7\text{ m}$)에 수용하였고, 난발생과정 중 사육수는 여과해수를 사용하였으며 유수식으로 1일 7회전 환수하였다. 사육수온은 $8.2 \sim 14.9^{\circ}\text{C}$ (평균 12.6°C), 염분은 평균 $31.0 \pm 1.0\text{ psu}$ 를 유지하였다.

2. 수온별 난발생 및 부화율, 부화자어의 평균 전장

수정란을 1톤의 사각 FRP수조($0.7 \times 2.0 \times 0.7\text{ m}$)에 어미가 자연산란한 수온과 Park *et al.* (2014)을 참고하여 5, 10, 15°C 로 구분한 실험군을 설정 후 실험하였다. 각 실험군마다 약 2,000개의 수정란을 플라스틱 바구니에 담아 수조에 띄워 평균 염분 $31.0 \pm 1.0\text{ psu}$ 의 여과해수를 충분히 공급하여 1일 7회전 환수하는 유수식으로 관리하였고, 수정란의 조건별 발생속도 차이를 관찰하기 위해 발생 중인 난을 매일 실체현미경(JP SMZ800, Nikon, Tokyo, Japan)으로 관찰하여 8세포기, 상실기, 배체형성, 이포형성 및 부화로 발생단계를 구분하였다. 단계별 소요 시간을 측정하였고 실험군별 부화시간, 부화율, 부화자어의 평균 전장을 비교하였다.

3. 수온별 자치어 성장 및 생존율

200 L 플라스틱 원형수조에 어미가 자연산란한 수온과 Park *et al.* (2014)을 참고하여 2, 8, 12, 16°C 로 실험군을 설정 후, 실험하였다. 각 실험군에 부화 후 3일째인 평균 전장 $12.02 \pm 0.36\text{ mm}$ 자어를 400마리씩 수용하였고, 염분은 평균 $31.0 \pm 1.0\text{ psu}$ 로 유지하였다. 66일간 사육하며 먹이로 *Brachionus plicatilis*, *Artemia* sp. nauplius 및 양어용 배합사료(Lovelarva, Japan)를 공급하며 정해진 기간(부화 후 3, 6, 15, 18, 21, 24, 30, 35, 41, 54, 60, 66일)에 각 실험군에서 무작위로 5마리를 추출하여 크기를 측정, 비교하였다. 또한 실험수조 내 사망 개체를 확인하여 생존율을 비교하였다.

결 과

1. 난발생에 미치는 영향

삼세기의 수정란 설정 수온별 평균 부화시간은 5°C에서는 1,591시간, 10°C에서는 1,536시간, 15°C에서는 1,488시간이 소요되어 실험구간 내에서 수온이 높을수록 부화 시간이 짧아졌다(Table 1). 각 단계별 발생 시간의 역수(1/t)와 수온(T)의 관계식은 다음과 같았다.

Table 1. Time (hour) per developmental stage of *Hemipterus villosus* at different water temperature (°C)

Developmental stage	Water temperature (°C)		
	5	10	15
8 cells	15	13	10
Morula	25	23	20
Formation of embryonic	146	144	120
Formation of Auditory vesicle	216	200	192
Hatching	1,591	1,536	1,488

$$\text{8세포기: } 1/t = 0.0167T + 0.0479 (R^2 = 0.953)$$

$$\text{상실기: } 1/t = 0.0050T + 0.0345 (R^2 = 0.970)$$

$$\text{배체 형성: } 1/t = 0.0007T + 0.0059 (R^2 = 0.797)$$

$$\text{이포 형성: } 1/t = 0.0003T + 0.0044 (R^2 = 0.974)$$

$$\text{부화: } 1/t = 0.00002T + 0.0006 (R^2 = 0.999)$$

수정란의 수온별 부화율은 5°C에서는 93.7%, 10°C에서는 90.3%, 15°C에서는 32.8%으로 다른 수온은 90% 이상의 부화율을 보였으나 15°C 이상에서 부화율이 현저하게 감소하였다(Fig. 2A).

부화 직후 자어의 평균전장은 5°C에서는 14.25 ± 0.47 mm, 10°C에서는 14.15 ± 0.53 mm, 15°C에서는 13.85 ± 0.69 mm으로 실험구간 내에서 수온이 높을수록 감소하였다(Fig. 2B).

2. 자치어에 미치는 영향

수온별 자치어의 성장률은 수온 16°C 실험군에서는 부화 후 24일째 모두 사망하였고 마지막으로 측정된 평균 전장은

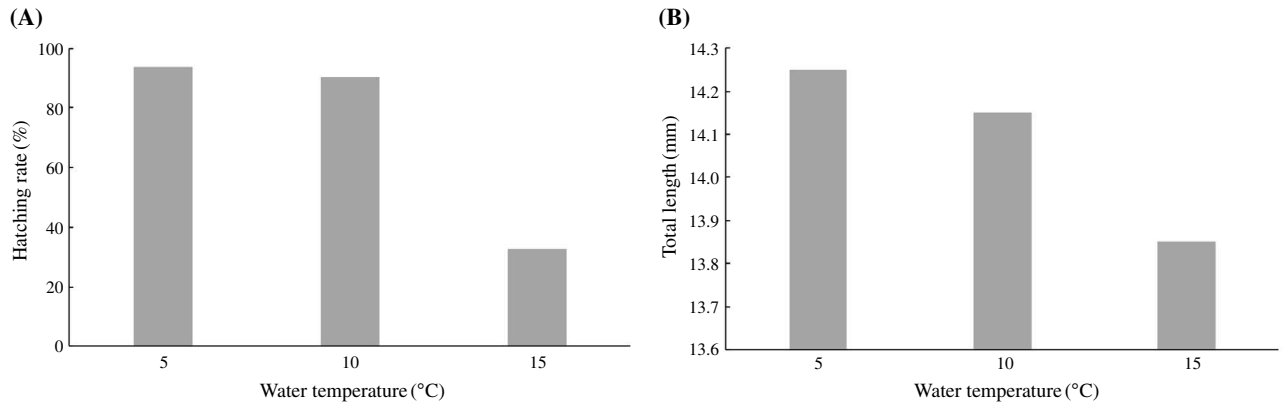


Fig. 2. (A) Hatching rate of eggs and (B) total length of newly-hatched larvae of laboratory-reared *Hemipterus villosus* at different water temperature (°C).

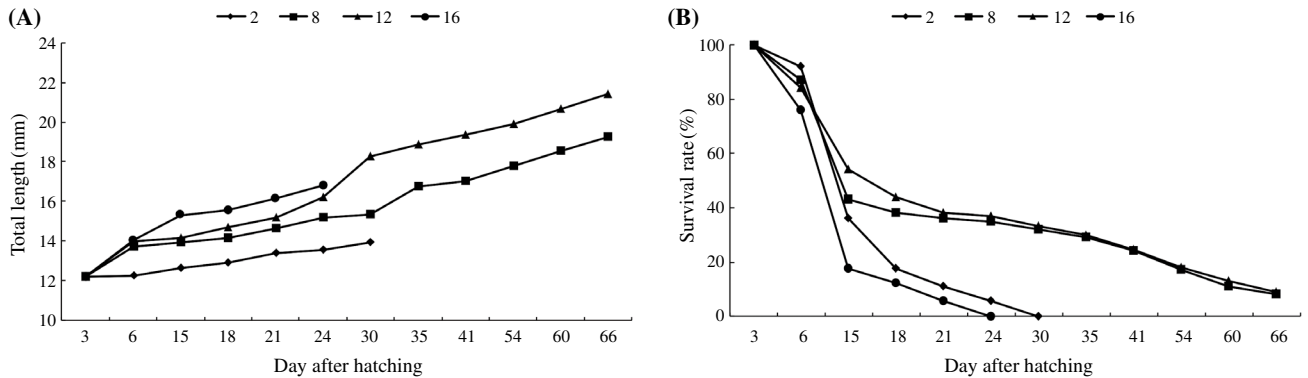


Fig. 3. (A) Total length and (B) survival rate of laboratory-reared *Hemipterus villosus* larvae at different water temperature (°C).

16.79±0.78 mm였다. 2°C에서는 부화 후, 30일째 모두 사망하였으며 마지막으로 측정된 평균 전장은 13.95±0.16 mm였다. 수온 12°C에서 66일간 사육된 자어의 평균 전장은 21.43±0.27 mm였으며, 8°C에서는 19.27±0.33 mm로 12°C에서 성장이 가장 빨랐다(Fig. 3A).

수온별 생존율은 모든 실험군에서 자어 초기에는 난황 흡수 후 7일 동안 양호한 생존율을 보였으나, 10일 전후로 급격히 생존율이 감소하였다. 16°C에서는 24일, 2°C에서는 30일째에 모든 개체가 사망하였다. 8°C와 12°C에서는 자치어가 실험종료 시까지 생존하였으며, 12°C 실험군에서의 생존율이 가장 높았다(Fig. 3B).

고 찰

수온은 변온동물인 어류의 생리적 기능과 생존에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 요인 중 하나이며, 어류는 종별로 성장과 생존에 최적의 수온 범위를 가지고 있다(Brett, 1979). *Merluccius merluccius* (Guevara-Fletcher *et al.*, 2016), 고등어 *Scomber japonicus* (Hwang *et al.*, 2008), 명태(Park *et al.*, 2024) 줄복(*Takihugu pardalis*; Han and Cho, 2007), 찰가자미(Byun *et al.*, 2009)를 비롯한 진골어류의 경우 높은 수온에서 난발생이 촉진되고, 낮은 수온에서 지연되는 것으로 보고되어 있으며(Paully and Pullin, 1988; Kamler, 1992; Bruce and Arthur, 2009), 발생과 부화에 적절한 수온의 범위를 벗어난 경우 부화율, 생존율의 감소에 더불어 기형율이 증가하는 등 발생에 치명적인 결과를 초래한다(Herzig and Winkler, 1986; Rana, 1990; Fujioka *et al.*, 2024). 삼세기의 경우, 10°C의 수온에서 1,536시간 15°C의 수온에서 1,488시간만에 부화하여 8.2~14.9°C의 수온에서 약 1,488시간만에 부화한 Park *et al.* (2014)의 결과와 일치하였다. 또한 높은 수온에서 발생 시간과 부화시간이 빨라지는 추세를 보여 다른 진골어류의 경향과 유사하였다. 5°C와 10°C 실험군에서 90% 이상의 높은 부화율을 보였으나 15°C의 실험군에서 32.8%의 낮은 부화율을 보여 15°C는 부화 적정 수온을 벗어난 것으로 보인다. 그러나 다른 연구의 산란수온과 비교하였을 때 Park *et al.* (2014)은 충남 태안군 근흥면 연안에서 자연상태의 삼세기 산란시기와 수온을 10월 하순에서 12월까지, 6.0~15.8°C로 보고하였고, Markevich (2000)는 Peter the great Bay에서 8월 말에서 9월 중순, 17~18°C로 보고하였다. 이 연구에서의 부화율이 높은 수온과 선행연구 산란시기의 수온에 차이가 있는데, 해산어류의 경우, 자연산란 시기의 수온과 부화에 적합한 수온이 유사한 것으로 알려져있어(Herzig and Winkler, 1986), 이를 규명할 추가적인 연구가 필요해 보인다.

삼세기의 부화시간은 유사한 수온에서 실험한 다른 선행연구

구와 비교하였을 때 상대적으로 수온별 비율의 차이가 크지 않았다. 일반적으로 저수온에서 산란하는 종은 고수온에서 산란하는 종에 비해 수온에 영향을 적게 받는 것으로 알려져 있는데(Peck *et al.*, 2012), 저수온 어종인 명태(Park *et al.*, 2024)와 *Merluccius merluccius* (Guevara-Fletcher *et al.*, 2016), *Melanogrammus aeglefinus* (Geoffrey and Carolyn, 1976), 대구(*Gadus mohua*; Geoffrey and Carolyn, 1976)의 부화시간의 경우, 5°C와 15°C에서 약 2배의 차이를 보였으나, 삼세기의 경우 10% 미만의 차이를 보여 삼세기의 난발생시간이 상대적으로 수온별 차이가 크지 않은 원인에 대한 추가적인 연구가 필요해 보인다.

수온에 따른 자치어의 생존율 실험 결과, 수온 16°C의 실험군과 수온 2°C에서 각각 사육 24일째와 30일째에 모두 사망하였다. 이를 통해 해당 수온이 자치어의 생존에 부적합함을 알 수 있었다. 12°C와 8°C에서는 거의 유사한 생존율을 보였는데, 12°C에서 24일, 8°C에서 30일째에 급격한 성장을 보였다. 12°C와 8°C에서 평균적으로 1.375 mm의 크기 차이를 보였지만 두 실험군 모두 일간성장률이 양호하고 실험이 종료될 때까지 생존하였다. 진골어류의 자치어 성장률은 수온이 높아질수록 증가하다 적정수온을 넘어서면 급격하게 감소하는 경향을 보인다(Ryland and Nichols 1967; Brett and Groves, 1979). 이는 *Pagrus auratus* (Fielder *et al.*, 2005), *Scophthalmus maximus* (Imslund *et al.*, 1996), 명태(Park *et al.*, 2024), 흰동가리(*Amphiprion clarkii*; Ye *et al.*, 2011)와 같은 어류에서도 보고된 바 있으며, 삼세기 자치어 역시 수온이 증가할수록 성장이 빠른 경향을 보였다. 이 연구에서 16°C로 설정한 실험군에서 자치어가 모두 사망하여 15°C에서의 수정란의 부화율보다 낮은 생존율을 보였는데, 이는 보통 수정란보다 부화 후 자치어가 받는 환경적 요인이 직접적이고, 다양하게 작용하여(Urho, 2002), 수정란보다 자치어가 받는 생존압이 더욱 높아 이러한 결과가 나온 것으로 보인다.

8°C와 12°C의 수온 조건에서 자치어가 실험 종료까지 생존하였고, 모든 실험군에서 10일 이후 자치어의 생존률이 급격하게 떨어지는 현상을 보였다. 삼세기의 경우, 부화 직후 자어부터 입과 항문이 열려있었으나, 난황흡수가 완전히 끝나는 시기는 10일 정도로 관찰되었는데, 진골어류에 있어서 난황흡수 전후로 외부 먹이를 섭취하는 단계로 이행하는 과정의 성공 여부는 자치어의 생존률과 밀접한 관련성을 가진다(Hjort, 1914; Peck *et al.*, 2012). 따라서 먹이불입에 실패한 개체들이 영양부족으로 사망한 것으로 보인다. 난황흡수가 모두 완료되고 이후 먹이불입 실패로 발생한 사망을 방지하기 위해서 자치어가 섭취하기 용이한 먹이생물에 대한 연구, 첫 먹이공급 시기에 대한 연구 등 해당 시기의 생존율을 높이기 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

삼세기 자치어는 8°C와 12°C에서 성장률과 생존율이 높았고, 특히 12°C에서 가장 양호하여 8~12°C가 이 연구에서 최적

의 사육수온으로 나타나 해당 수온에서 삼세기 종자생산이 가능할 것으로 보인다. 또한, 이 연구는 추후 삼세기 인공 양식시 종자 생산의 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

본 연구는 수온이 삼세기의 초기 생활사에 미치는 영향을 관찰하여 수정란의 발생, 부화율 부화자의 크기 그리고 70일간 자치어의 성장률과 생존율을 비교하였다. 수온별 발생은 5°C에서는 65~68일, 10°C에서는 62~66일, 15°C에서는 61~63일이 소요되어 실험수온 이내에서는 수온이 높아질수록 점차 빨라지는 추세를 보였고, 부화율은 5°C 이상 15°C 미만에서 90% 이상의 부화율을 보였으나 15°C에서 32.8%으로 급격하게 감소하는 추세를 보였다. 부화자의 크기 역시 5°C에서는 14.25 ± 0.47 mm, 10°C에서는 14.15 ± 0.53 mm, 15°C에서는 13.85 ± 0.69 mm으로 높은 수온에서 부화한 자어일수록 크기가 감소한다는 결론에 도달하였다. 자치어의 경우 수온 2°C의 대조군과 16°C 실험군은 각각 부화 후 30일 차와 24일 차에 모두 사망하여 실험이 종료되었고 12°C 실험군에서 가장 생존율과 성장률이 양호하여 66일째 자치어의 평균 전장이 21.43 ± 0.27 mm이었다. 모든 실험군에서 10일 이후 생존률이 급격하게 감소하는 현상을 보였는데, 이는 난황흡수 이후 먹이불임이 중요함을 시사한다.

참고 문헌

- Antonenko, D.V., O.I. Pushchina and S.F. Solomatov, 2010. Distribution and some features of biology of sea raven *Hemitripterus villosus* (Hemitripterae) in the northwestern part of the Sea of Japan. *J. Ichthyol.*, 50, 640-649.
- Barton, B.A. and G.K. Iwama, 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.
- Billard, R., C. Brey and C. Gillet, 1981. Stress, Environment and reproduction in teleost fish, Pickering A.D. (ed.) Stress in fish. Academic Press. London. U.K., 185-208.
- Brett, J.R., 1979. Environmental Factors and Growth. Fish physiology, Academic Press, Inc. New York, U.S.A., 8, 599-675.
- Brett, J.R. and T.D.D. Groves, 1979. Physiological energetics. Fish physiology. Academic Press, Inc. New York, U.S.A., 8, 279-352.
- Bruce, M. and W.K. Arthur. 2009. Early life history of marine fishes, 1st ed. Univ of California Press., California, U.S.A., 1-8.
- Byun, S.G., S.H. Lee, J.H. Hwang, G.H. Han, I.H. Yeon, J.D. Kim, J.H. Lee and B.I. Lee, 2009. Effect of the water temperature on the embryonic development of slime flounder *Microstomus achne*. *Dev. Reprod.*, 13, 265-270.
- Clarke, A. and N.M. Johnston, 1999. Scaling of metabolic rate with body mass and temperature in teleost fish. *J. Anim. Ecol.*, 68, 893-905.
- Doney, S.C., M. Ruckelshaus, J.E. Duffy, J.P. Barry, F. Chan, C.A. English, H.M. Galindo, J.M. Grebmeier, A.B. Hollowed, N. Knowlton, J. Polovina, N.N. Rabalais, W.J. Sydeman and L.D. Tally. 2012. Climate change impacts on marine ecosystems. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 4, 11-37.
- Fielder, D.S., W.J. Bardsley, G.L. Allan and P.M. Pankhuest, 2005. The effects of salinity and temperature on growth and survival of Australian snapper, *Pagrus auratus* larvae. *Aquaculture*, 250, 201-214.
- Fricke, R., W.N. Eschmeyer and R. Van der Laan (eds). 2024. Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera, Species, References. <https://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> online version, Updated 7/January/2025.
- Fujioka, K., Y. Aoki, Y. Tsuda, K. Okamoto, H. Tsuchida, A. Sasaki and H. Kiyofuji, 2024. Influence of temperature on hatching success of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*): implications for spawning availability of warm habitats. *J. Fish. Biol.*, 105, 372-377.
- Geoffrey, C. and A.R. Carolyn, 1976. Effects of temperature and salinity on comparative embryo development and mortality of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus* (L.)). *ICES J. Mar. Sci.*, 36, 220-228.
- Guevara-Fletcher, C., P. Alvarez, J. Sanchez and J. Iglesias, 2016. Effect of temperature on the development and mortality of European hake (*Merluccius merluccius* L.) eggs from southern stock under laboratory conditions. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 476, 50-57.
- Han, K.H. and J.K. Cho, 2007. Effect of water temperature on the embryonic development of panther ouffer, *Takifugu pardalis*. *J. Aquacult.*, 20, 265-269.
- Hardewig, I., H.O. Pörtner and P. Van Dijk, 2004. How does the cold stenothermal gadoid *Lota lota* survive high water temperatures during summer?. *J. Comp. Physiol. B.*, 174, 149-156.
- Herzig, A. and H. Winkler, 1986. The influence of temperature on the embryonic development of three cyprinid fishes, *Abramis brama*, *Chalcalburnus chalcoides mento* and *Vimba vimba*. *J. Fish. Biol.*, 28, 171-181.
- Hjort, J., 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research. Rapports Et Proses-Verbaux De La Commission Internationale Pour L'exploration Scientifique De La Mer. 20.
- Hwang, H.K., D.H. Kim, M.W. Park, S.J. Yoon and Y.H. Lee, 2008. Effects of water and salinity on the egg and larval of chub mackerel *Scomber japonicus*. *J. Aquacult.*, 21, 234-238.
- Imsland, A.K., L.M. Sunde, A. Folkword and S.O. Stefansson, 1996. The interaction of temperature and fish size on growth of the juvenile turbot. *J. Fish. Biol.*, 49, 926-940.
- Kamler, E., 1992. Early life of history of fish an energetics approach. Chapman & Hall. London. U.K., 87-96.
- Kang, C.B., J.K. Kim, K.H. Han and J.G. Myoung, 2025. Revised Clas-

- sification and Checklist of Korean Native Fishes. *Korean J. Ichthyol.*, 37(4), 398-460.
- Kim, J.G., 2022. Variation in catches of fisheries according to the climate change of Korea. *Journal of the Society of Disaster Information*, 18, 194-201.
- Kim, Y.Y., Y.K. Jang, S.T. Lee, H.K. Jung, C.I. Lee, S. Kim, K.Y. Jeong, D.S. Byun and Y.K. Cho, 2022. Potential impact of late 1980s regime shift on the collapse of Walleye pollock catch in the Western East/Japan sea. *Front. Mar. Sci.*, 9, 802748.
- Korwin-Kossakowski, M., 2011. Fish hatching strategies: a review. *Rev. Fish. Biol. Fisheries*, 22, 225-240.
- Logan, C.A. and B.A. Buckley, 2015. Transcriptomic responses to environmental temperature in eurythermal and stenothermal fishes. *J. Exp. Biol.*, 218, 1915-1924.
- Markevich, A.I., 2000. Spawning of the sea raven *Hemitripterus villosus* in Peter the Great Bay, Sea of Japan. *Russ. J. Mar. Biol.*, 26, 283-285.
- Masuda, H., K. Amaoka, C. Araga, T. Uyeno and T. Yoshinp, 1984. The fishes of the Japanese Archipelago. Vol.1 Tokai University Press, Tokyo, Japan. 437.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries), 2024. Fishery production survey. <https://www.mof.go.kr/statPortal/main/portalMain.do>. accessed on July 24, 2024.
- NIFS (National institute of fisheries science), 2023. Annual report for climate change trends in fisheries, 2023.
- Park, A.J., K.H. Han, S.H. Lee, H.J. Kim, S.Y. Kim and I.H. Lim, 2014. Embryonic development of eggs, larvae and juveniles of the *Hemitripterus villosus*. *Korean J. Ichthol.*, 26, 34-41.
- Park, J.W., H.K. Yoo, H.K. Jung, H.J. Park, K.M. Bae, C.K. Kang and C.I. Lee, 2024. Effects of water temperature changes on the early life stages (egg and larvae) of walleye Pollock (*Gadus chalcogrammus*) - Laboratory experiments and field applications. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 5-71, 151980.
- Pauly, D. and R.S.V. Pullin, 1988. Hatching time spherical, pelagic, marine fish eggs in response to temperature and egg size. *Environ. Biol. Fishes.*, 22, 261-271.
- Peck, M.A. and L.J. Buckley, 2007. Measurements of larval Atlantic cod (*Gadus morhua*) routine metabolism: temperature effects, differences and individual based modeling. *J. Appl. Ichthyol.*, 24, 144-149.
- Peck, M.A., K.B. Hubert and J.K. Liopiz, 2012. Intrinsic and extrinsic factors driving match-mismatch dynamics during the early life history of marine fishes. *Adv. Ecol. Res.*, 4, 177-301.
- Rana, K.J., 1990. Influence of incubation temperature on *Oreochromis niloticus* (L.) eggs and fry: I. gross embryology, temperature tolerance and rates of embryonic development. *Aquaculture*, 87, 165-181.
- Réalis-Doyelle, E., A. Pasquet, D. De Charleroy, P. Fontaine and F. Teletchea, 2016. Strong effects of temperature on the early life stages of a cold stenothermal fish species, brown trout (*Salmo trutta* L.). *PLoS One*, 11, e0155487.
- Ryland, J.S. and J.H. Nichols, 1967. Effect of temperature on the efficiency of growth of Plaice Prolarvae. *Nature*, 214, 529-530.
- Tokranov, A.M. and A.M. Orlov, 2006. Biological features of the sea raven *Hemitripterus villosus* (Hemitriptoridae) in pacific waters off the northern Kuril island and southeastern Kamchatka. *J. Ichthyol.*, 46, 743-751.
- Urho, L., 2002. Characters of larvae - what are they?. *Folia Zool.*, 51, 161-186.
- Viader-Guerrero, M., L.T. Guzmán-Villanueva, M. Spanopoulos-Zarco, J.A. Estrada-Godínez, D. Maldonado-García, V. Gracia-López, A. Omont and M. Maldonado-García, 2021. Effect of temperature on hatching rate and early larval development of longfin yellotail *Seriola rivoliana*. *Aquac. Rep.*, 21, 100843.
- Ye, L., S.Y. Yang, X.M. Zhu, M. Liu and K.C. Wu, 2011. Effects of temperature on survival, development, growth and feeding of larvae of Yellowtail clownfish *Amphiprion clarkii* (Pisces: Perciformes). *Sheng. Tai. Xue. Bao.*, 21, 241-245.