

## 사육 수온이 연어(*Oncorhynchus keta*) 치어의 성장 및 생리반응에 미치는 영향

장석우, 강한승<sup>1</sup>, 강동양, 조규석\*

충청북도내수면산업연구소, <sup>1</sup>엠에스바이오랩

## Effect of rearing water temperature on growth and physiological response of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*)

Seok-Woo Jang, Han-Seung Kang<sup>1</sup>, Dong-Yang Kang and Kyu-Seok Cho\*

Inland Fisheries Industrial Research Institute of Chung Cheong Buk-do, Chungju 27432, Republic of Korea

<sup>1</sup>MS BioLab, Daejeon 34576, Republic of Korea

### \*Corresponding author

Kyu-Seok Cho

Tel. 043-220-6521

E-mail. kscho6146@korea.kr

Received: 2 December 2022

Revised: 27 December 2022

Revision accepted: 30 December 2022

**Abstract:** This study was conducted to investigate the effects of different water temperatures (8, 11, 14 and 17°C) on growth, survival and hematological parameters of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) for eight weeks. At the end of the experiment, at 14°C, the final body weights of the *O. keta* group were the highest compared to the other groups. Also, the *O. keta* showed a higher tendency in the 14°C group than the 8, 11, and 17°C groups in terms of growth performances, including specific growth rate (SGR), feed conversion ratio (FCR), feed efficiency (FE), weight gain (WG), and condition factor (CF). The survival rate (SR) was 100% at 8 and 11°C groups, 96% at 14°C group and 98% at 17°C group. In the plasma components, the alanine aminotransferase (ALT) was significantly decreased at 17°C group, whereas there was no significant change in the albumin (ALB), total protein (TP), sodium (Na<sup>+</sup>), potassium (K<sup>+</sup>) and chloride (Cl<sup>-</sup>) levels. Among the whole-body composition of salmon, moisture, crude protein, and ash were not significantly affected by water temperature. However, crude lipid in the 8°C group was significantly higher than in other water temperature groups. The results of this study demonstrated that the optimal temperature to stable growth performance for juvenile *O. keta* was 14°C.

**Keywords:** water temperature, *Oncorhynchus keta*, growth, plasma components, whole body composition

## 서 론

수온, 염분 및 산소 포화도 등은 해양생태계에 서식하는 생물들에게는 매우 중요한 환경요인으로서 해양생물의 성

장, 생식, 대사 및 삼투압 조절 등의 생리적 변화에 영향을 미친다(Chapple *et al.* 1998; Somero 2004; Norris *et al.* 2010; Hvas *et al.* 2018; Pavlosky *et al.* 2019). 특히 수온은 해양생물에 있어서 매우 중요한 환경요인으로서 수온의 변화는

체내 항상성 유지에 영향을 미치며 또한 해양생태계에서의 활동에 영향을 미친다(Caissie 2006; Crossin *et al.* 2008; Wang *et al.* 2015). 일반적으로 수온의 변화는 계절에 영향을 받는 것이 순리이나 이산화탄소 및 온실가스 배출 등에 의한 지구온난화가 기후변화의 원인으로 작용하여 수온의 변화를 일으킨다고 보고되어졌다(Sampaio *et al.* 2017). 또한 수온의 상승은 산소 용해도의 감소 및 산소를 운반하는 헤모글로빈의 결합력 약화를 통한 저산소증(hypoxia) 등을 유발하여 해양생물의 서식처 변경이나 회유 경로 변화 등의 생태환경 및 체내 항상성에 교란을 일으켜 스트레스를 유발한다고 알려져 있다(Caissie 2006; Crossin *et al.* 2008; Quinn *et al.* 2011; Wang *et al.* 2015; Lee *et al.* 2022).

어류의 성어 및 자치어 양식을 위해서는 그 어종의 성장 단계별 최적의 사육 환경을 형성 및 유지시켜 주는 것이 매우 중요하다. 특히 수온은 어류와 같은 변온동물의 대사 및 수온 적응성과 같은 생리 화학적 반응에 크게 영향을 미치므로 양식 생물종의 종자 생산 및 양성에 있어서 우선적으로 적정 수온을 밝히는 것이 매우 중요하다.

연어를 대상으로 연구에서도 수온의 중요성에 대해 보고되었는데, 수온은 배아의 생존 및 형질 형성 등 초기발생에 영향을 미치며, 또한 개체의 이동, 스몰트화(smoltification), 성장 및 생존에 영향을 미친다고 알려져 있다(McCormick *et al.* 1999; Swansburg *et al.* 2005; Elliott and Elliott 2010; Somero 2010; Burt *et al.* 2012; Hevroy *et al.* 2012; Morita and Nakashima 2015). 또한, 수온이 연어의 양식 사육에 미치는 영향에 관한 연구에서는 성장과 사료 전환 효율에 영향을 주는 가장 중요한 인자로 알려져 있다(Pillay and Kutty 2005). 어류 양식산업에 있어서 사육 중인 양식생물의 영양, 질병 및 수질 관리의 적정 유지에 따른 양식생물 개체의 건강도를 평가하는 보편적인 방법은 외형의 성장 및 생체지표인 혈액 성상의 분석을 통한 평가가 일반적으로 이루어지고 있다(Haney *et al.* 1992; Ferrer *et al.* 1994). 혈액 성상 분석은 혈액을 통한 개체의 건강 상태를 보여주는 전통적인 평가 방법이다.

연어(Chum salmon, *Oncorhynchus keta*)는 북태평양에서 식하는 6종의 연어과 어류(Chum salmon, coho salmon, chinook salmon, sockeye salmon, pink salmon, cherry salmon) 중 하나로 하천에서 태어나 바다에서 성장한 후 하천으로 돌아와 산란하는 소하성 어종이다(Jonsson and Josson 2003; Gende *et al.* 2004; Flecker *et al.* 2010; Kovach *et al.*

2013).

본 연구의 목적은 연어(*O. keta*) 치어의 사육에 있어서 수온이 미치는 영향의 중요도를 인지하여 수온의 차이에 따른 성장, 혈액 성상 및 체성분 분석을 통해 연어 치어의 건강도를 평가하여 적정 수온을 조사하는 데 목적을 두었다.

## 연구 방법

### 1. 실험어 및 실험환경

수온에 따른 연어의 성장실험은 양식환경을 고려하여 8, 11, 14 및 17°C의 4단계 수온 범위를 설정하였고, 실험수조는 288 L (1.2 m × 0.8 m × 0.3 m, 수량 192 L) 실험수조와 63 L (0.5 m × 0.42 m × 0.3 m, 수량 50.4 L) 여과조를 갖춘 반순환여과식 방법으로 진행하였다. 실험어는 2021년 12월에 부화되어 3개월 정도 사육한 치어(전장 5.70 ± 0.24 cm, 체중 1.22 ± 0.03 g)를 이용해 2022년 3월부터 5월까지 56일간(8주간) 실험을 진행하였으며, 각 실험구에 20마리씩 수용하였다. 전장과 체중은 2주 간격으로 10마리씩 무작위로 측정하였고, 혈장 화학성분은 실험 시작 시기와 종료 시기에 분석하였다. 각 실험수조에는 냉각장치(DBI-050; Daeil Co., Korea)를 설치하여 각각 수온(8 ± 0.3°C, 11 ± 0.5°C, 14 ± 0.4°C 및 17 ± 0.5°C)을 일정하게 유지하였고, 지하수를 주입하여 1일 50%씩 환수하였다. 실험기간 동안 2주마다 수질분석을 실시하였으며(Table 1), 빛은 자연 광주기를 따랐다. 실험사료는 송어용 사료(참송어 2호, Jeil Feed, Korea)를 사용하였고, 사료의 성분은 조단백질 50%, 조지

**Table 1.** The condition of water used in the test

Item	Value
pH	8.7 ± 0.2
Dissolved oxygen (mg L <sup>-1</sup> )	10.5 ± 0.5
Biological oxygen demand (mg L <sup>-1</sup> )	2.2 ± 0.6
Chemical oxygen demand (mg L <sup>-1</sup> )	0.8 ± 0.2
Ammonium nitrogen (µg L <sup>-1</sup> )	1.2 ± 0.1
Nitrite nitrogen (mg L <sup>-1</sup> )	0.108 ± 0.005
Nitrate nitrogen (mg L <sup>-1</sup> )	2.0 ± 0.01
Suspended solid (mg L <sup>-1</sup> )	0.3 ± 0.01
Chlorophyll- <i>a</i> (mg m <sup>-3</sup> )	0.5 ± 0.01
Total coliform (CFU L <sup>-1</sup> )	4.0 ± 0.5

방 7%, 조회분 14.3%, 조섬유 2.1%, 칼슘 2.0%, 인 1.8% 및 수분 12.0%였다. 사료량은 어체 중의 5%를 매일 2회(10시, 17시)로 나누어 공급하였다.

## 2. 성장률

실험 종료 시 생물학적 지표는 다음의 식을 이용하여 일간 성장률(Specific Growth Rate, SGR), 사료전환 비율(Feed Conversion Ratio, FCR), 사료효율(Feed Efficiency, FE), 증체율(Weight Gain, WG), 비만도(Condition Factor, CF) 및 생존율(Survival rate, SR)을 나타내었다.

$$\text{Specific Growth Rate (SGR)} = \frac{\text{Last weight (g)} - \text{First weight (g)}}{\text{Cultivation period (day)}} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{Feed Conversion Ratio (FCR)} = \frac{F}{(A2 + D - A1)} \quad (\text{Eq. 2})$$

F = Feed amount of one period (g)

A1 = Weight at the beginning of period (g)

A2 = Weight at the end of period (g)

D = Weight of fish died in period (g)

$$\text{Feed Efficiency (FE)} = \frac{\text{Wet weight gain}}{\text{Dry feed take}} \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\text{Weight Gain (WG)} = \frac{\text{Final weight} - \text{Beginning weight}}{\text{Beginning weight}} \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\text{Condition Factor (CF) (\%)} = WL^{-3} \times 100 \quad (\text{Eq. 5})$$

W = Weight (g), L = Total length (cm)

$$\text{Survival Rate (SR) (\%)} = \frac{\text{Fish quantity at the end of period}}{\text{Fish quantity at the beginning of period}} \times 100 \quad (\text{Eq. 6})$$

## 3. 혈장, 전어체 일반성분 분석

각각의 수온 실험구에서 1회 4마리를 분석에 이용하였고, 채취한 혈액은 4°C, 5,000 g으로 5분간 원심 분리하여 혈장을 분리하였고, 분리한 혈장으로 유기·무기성분 변화를 측정하였다. 혈장 분석은 생화학분석기(Catalyst Dx Chemistry Analyzer; IDEXX, USA)를 이용하여 유기 성분인 ALB (Albumin), ALT (Alanine aminotransferase) 및 TP

(Total protein)와 무기성분인 Na<sup>+</sup> (Sodium), K<sup>+</sup> (Potassium) 및 Cl<sup>-</sup> (Chloride)를 분석하였다. 일반성분 분석은 각 수조 별로 5마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체를 분석하였으며, AOAC (1984) 방법에 따라 수분은 상압 가열건조법(105°C, 6시간), 조단백질은 Kjeldahl 질소정량법(N×6.25), 조회분은 직접 회화법으로 분석하였다. 조지질은 샘플을 12시간 동결건조한 후 Soxtec system 1046 (Tacator AB, Sweden)을 사용하여 Soxhlet 추출법으로 분석하였다.

## 4. 통계 분석

본 실험 분석은 수온 실험구에서 4마리를 분석에 이용하였고, 3반복으로 측정하였다. 실험 분석 결과에 대한 유의성은 통계 프로그램(SPSS Statistics ver. 20. IBM, USA)을 이용하여 ANOVA test를 실시하여 Duncan's multiple range test를 통해 p<0.05일 때 유의성이 있는 것으로 간주하였다.

## 결 과

### 1. 성장 및 사료효율

수온별 56일간 연어의 체중 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 실험 14일째 14°C(2.63±0.73 g)에서는 다른 수온 구간(8°C 1.76±0.34 g, 11°C 2.18±0.66 g, 17°C 2.22±0.56 g)

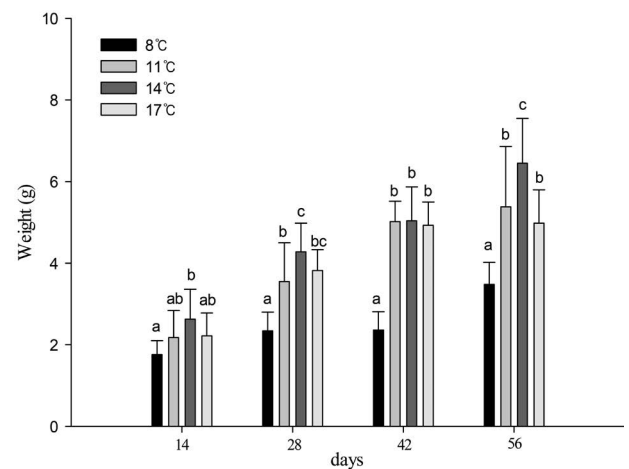


Fig. 1. Change total body weight of chum salmon, *Oncorhynchus keta* at different temperatures. The different superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ ). Initial body weight (g) =  $1.22 \pm 0.03$  g.

에 비하여 유의하게 높았으며 ( $p < 0.05$ ), 실험 42일째 ( $8^{\circ}\text{C}$   $2.36 \pm 0.45$  g,  $11^{\circ}\text{C}$   $5.02 \pm 0.50$  g,  $14^{\circ}\text{C}$   $5.04 \pm 0.83$  g,  $17^{\circ}\text{C}$   $4.93 \pm 0.57$  g)를 제외하고 ( $p > 0.05$ ), 56일째 ( $8^{\circ}\text{C}$   $3.48 \pm 0.54$  g,  $11^{\circ}\text{C}$   $5.38 \pm 1.48$  g,  $14^{\circ}\text{C}$   $6.45 \pm 1.10$  g,  $17^{\circ}\text{C}$   $4.98 \pm 0.82$  g)까지 다른 수온 구간보다 높은 체중 성장률을 보였다 ( $p < 0.05$ ). 그리고  $11^{\circ}\text{C}$  ( $3.55 \pm 0.95$  g)와  $17^{\circ}\text{C}$  ( $3.82 \pm 0.51$  g)는 실험 28일째부터 실험 종료 시까지  $8^{\circ}\text{C}$  ( $2.34 \pm 0.46$  g)보다 유의하게 높은 체중 성장을 보였다 ( $p < 0.05$ ).

실험기간 동안 수온에 따른 연어의 성장지표는 Table 2에 제시하였다. 일간 성장률은  $8^{\circ}\text{C}$  ( $1.42 \pm 0.54\%$ )가 다른 실험구 ( $11^{\circ}\text{C}$   $2.56 \pm 1.48\%$ ,  $14^{\circ}\text{C}$   $2.96 \pm 1.10\%$ ,  $17^{\circ}\text{C}$   $2.36 \pm 0.82\%$ )에 비해 유의하게 낮았다 ( $p < 0.05$ ). 사료전환 비율과 사료효율은  $14^{\circ}\text{C}$  (사료전환 비율  $3.00 \pm 0.85$ , 사료효율  $249.60 \pm 8.50\%$ )에서 가장 높은 유의성이 나타났으며 ( $p < 0.05$ ),  $11^{\circ}\text{C}$  (사료전환 비율  $2.39 \pm 0.90$ , 사료효율  $200.88 \pm 10.50\%$ )와  $17^{\circ}\text{C}$  (사료전환 비율  $2.13 \pm 0.45$ , 사료효율  $172.07 \pm 11.55\%$ )에서  $8^{\circ}\text{C}$  (사료전환 비율  $1.27 \pm 0.32$ , 사료효율  $100.52 \pm 5.50\%$ )보다 높게 나타났으나,

$14^{\circ}\text{C}$ 보다는 낮은 유의성이 나타났다 ( $p < 0.05$ ).

중체율은  $14^{\circ}\text{C}$  ( $437.50 \pm 11.05\%$ )에서 가장 높게 나타났고,  $11^{\circ}\text{C}$  ( $352.10 \pm 10.05\%$ ),  $17^{\circ}\text{C}$  ( $301.61 \pm 13.05\%$ ) 및  $8^{\circ}\text{C}$  ( $176.19 \pm 8.05\%$ ) 순서로 유의성이 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 비만도는  $14^{\circ}\text{C}$  ( $0.91 \pm 0.15\%$ )에서 다른 실험구 ( $8^{\circ}\text{C}$   $0.65 \pm 0.05\%$ ,  $11^{\circ}\text{C}$   $0.74 \pm 0.25\%$ ,  $17^{\circ}\text{C}$   $0.77 \pm 0.45\%$ )보다 유의성이 나타났으며 ( $p < 0.05$ ), 생존율은  $8^{\circ}\text{C}$ ,  $11^{\circ}\text{C}$ 에서 100%로 나왔으며  $14^{\circ}\text{C}$ 는 96%,  $17^{\circ}\text{C}$ 는 98%로 나타났다.

## 2. 혈장 및 전어체 일반성분 분석

실험 종료 시 각 실험구간의 혈액 혈장의 유기·무기 성분 분석은 Table 3에 나타내었다. ALT는  $17^{\circ}\text{C}$  ( $31.5 \pm 0.90$  U L<sup>-1</sup>)에서 다른 수온 구간 ( $8^{\circ}\text{C}$   $52.5 \pm 0.50$  U L<sup>-1</sup>,  $11^{\circ}\text{C}$   $42.3 \pm 0.85$  U L<sup>-1</sup>,  $14^{\circ}\text{C}$   $46.5 \pm 1.20$  U L<sup>-1</sup>)과 비교하여 유의하게 낮았으며 ( $p < 0.05$ ), 다른 유기·무기성분의 유의성은 나타나지 않았다. 사육실험 종료 시 연어 전어체의 일반성분 분석 결과를 측정하였다 (Table 4). 본 연구에서 수분, 단백질 및 회분의 함량은 유의한 차이를 보이지 않았으

**Table 2.** Growth and survival of *Oncorhynchus keta* at different temperatures for eight weeks

Item	Experimental groups (Water temperature, °C)			
	8	11	14	17
Specific growth rate (SGR, %)	1.42 ± 0.54 <sup>a</sup>	2.56 ± 1.48 <sup>b</sup>	2.96 ± 1.10 <sup>b</sup>	2.36 ± 0.82 <sup>b</sup>
Feed conversion ratio (FCR)	1.27 ± 0.32 <sup>a</sup>	2.39 ± 0.90 <sup>b</sup>	3.00 ± 0.85 <sup>c</sup>	2.13 ± 0.45 <sup>b</sup>
Feed efficiency (FE, %)	100.52 ± 5.50 <sup>a</sup>	200.88 ± 10.50 <sup>b</sup>	249.60 ± 8.50 <sup>c</sup>	172.07 ± 11.55 <sup>b</sup>
Weight gain (WG, %)	176.19 ± 8.05 <sup>a</sup>	352.10 ± 10.05 <sup>c</sup>	437.50 ± 11.05 <sup>d</sup>	301.61 ± 13.05 <sup>b</sup>
Condition factor (CF, %)	0.65 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.74 ± 0.25 <sup>ab</sup>	0.91 ± 0.15 <sup>b</sup>	0.77 ± 0.45 <sup>ab</sup>
Survival rate (SR, %)	100.0	100.0	96.0	98.0

Values (means ± SD) with different superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ ) as determined by Duncan's multiple range test.

**Table 3.** Change of serum albumin, alanine aminotransferase, total protein, sodium, potassium, chloride in chum salmon, *Oncorhynchus keta* at different temperatures for eight weeks

Item	Experimental groups (Water temperature, °C)			
	8	11	14	17
Albumin (ALB, g d L <sup>-1</sup> )	1.9 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.6 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.5 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.5 ± 0.03 <sup>a</sup>
Alanine aminotransferase (ALT, U L <sup>-1</sup> )	52.5 ± 0.50 <sup>a</sup>	42.3 ± 0.85 <sup>a</sup>	46.5 ± 1.20 <sup>a</sup>	31.5 ± 0.90 <sup>b</sup>
Total protein (TP, g d L <sup>-1</sup> )	4.6 ± 0.20 <sup>a</sup>	4.2 ± 0.15 <sup>a</sup>	3.9 ± 0.18 <sup>a</sup>	4.3 ± 0.25 <sup>a</sup>
Sodium (Na <sup>+</sup> , mmol L <sup>-1</sup> )	178.5 ± 0.55 <sup>a</sup>	177.3 ± 0.45 <sup>a</sup>	178.0 ± 0.50 <sup>a</sup>	180.0 ± 0.15 <sup>a</sup>
Potassium (K <sup>+</sup> , mmol L <sup>-1</sup> )	3.6 ± 0.10 <sup>a</sup>	3.0 ± 0.15 <sup>a</sup>	3.2 ± 0.20 <sup>a</sup>	3.5 ± 0.20 <sup>a</sup>
Chloride (Cl <sup>-</sup> , mmol L <sup>-1</sup> )	121.0 ± 0.85 <sup>a</sup>	120.8 ± 1.15 <sup>a</sup>	119.8 ± 1.25 <sup>a</sup>	121.0 ± 0.75 <sup>a</sup>

Values (means ± SD) with different superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ ) as determined by Duncan's multiple range test.

**Table 4.** Whole body proximate composition (%) of juvenile chum salmon, *Oncorhynchus keta* reared at different temperatures for eight weeks

Item	Experimental groups (Water temperature, °C)			
	8	11	14	17
Moisture (%)	79.68±1.51 <sup>a</sup>	80.74±0.64 <sup>a</sup>	80.98±0.39 <sup>a</sup>	80.69±0.54 <sup>a</sup>
Crud protein (%)	15.34±0.37 <sup>a</sup>	15.58±0.38 <sup>a</sup>	15.24±0.32 <sup>a</sup>	15.06±0.24 <sup>a</sup>
Crud lipid (%)	3.06±0.33 <sup>b</sup>	1.17±0.12 <sup>a</sup>	1.47±0.31 <sup>a</sup>	1.33±0.45 <sup>a</sup>
Ash (%)	2.22±0.18 <sup>a</sup>	2.36±0.07 <sup>a</sup>	2.44±0.23 <sup>a</sup>	2.30±0.10 <sup>a</sup>

Values (means±SD) with different superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ ) as determined by Duncan's multiple range test.

나, 지질 함량에서는 가장 낮은 8°C 실험구(3.06±0.33%)가 다른 실험구(11°C 1.17±0.12%, 14°C 1.47±0.31%, 17°C 1.33±0.45%)에 비해 높은 유의성을 나타내었다( $p < 0.05$ ).

## 고 찰

어류는 주변 환경에 의해 체내 대사 및 생리 상태가 변화하며 (Berg *et al.* 1992), 광온성으로 번식, 영양대사, 성장과 기관 발달 및 성분화 등과 같은 생리적 작용에 수온의 영향을 직·간접적으로 받는 것으로 알려져 있다 (Strange *et al.* 1977; Ryan 1995; Yoon and Park 2022). 제한적이지만 어류는 외부 환경에 의한 스트레스를 극복할 자가 능력, 즉 서식 수온 변화에 대한 내성을 지니고 있으며, 이것은 주변 환경(광주기, 염분, DO 및 pH) 조건에 따라 차이를 나타낼 수 있다.

또한 어류는 서식 온도의 비정상적 변화를 경험할 경우 스트레스 반응을 나타내며, 사육 개체들의 대사 감소, 성장 저해 및 면역력 약화 등에 의한 질병 발생과 그로 인한 집단 폐사가 유발될 수도 있다 (Barton and Iwama 1991; Pickering 1992). 본 연구 결과, 수온에 따른 연어의 체중 성장은 14°C 실험구가 8, 11 및 17°C 실험구보다 높은 체중 성장을 나타내고 있어 성장에 있어서 최적 수온은 14°C로 사료된다. 17°C가 14°C보다 낮은 성장을 나타내는 것은 연어과 어류의 최적 수온보다 높은 단계에서 영양원을 체내 대사 항상성 유지를 위한 에너지원으로 사용함으로써, 에너지원의 체내 축적이 낮아 나타난 결과로 추정된다 (Kang *et al.* 2004). 그러므로 성장기 연어의 자·치어 기간에서 지속적인 성장을 유지하기 위해서는 14°C를 적정 수온으로

관리해 주는 것이 좋을 것으로 판단된다.

수온 실험구간에서의 생물학적 지표에서 일간 성장률, 사료전환 비율, 사료효율 및 증체율은 8°C에서 가장 낮게 나타났으며 수온이 올라갈수록 증가하다가 14°C를 정점으로 더 높은 수온인 17°C에서는 감소하는 경향이 나타났다. Kang *et al.* (2004)은 67.0g의 농어 (*Lateolabrax japonicus*)를 다양한 수온(3, 6, 9, 12 및 17°C)에서 사육한 결과, 12°C 이하의 실험구에서는 매우 낮은 성장을 나타내었으며, 수온이 낮을수록 성장은 비례적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 마찬가지로 대서양 연어 (*Salmo salar*)를 대상으로 한 수온별(6, 10, 14 및 18°C) 실험에서 6°C 실험구가 가장 낮은 성장률을 나타내었는데, 이는 식욕부진 때문으로 보고된 바 있다 (Handeland *et al.* 2008).

비만도는 어류의 성장 정보, 건강도, 어체 상태와 환경 스트레스에 견딜 수 있는 능력 등을 간접적으로 보여주는 지표이며 (Mizanur *et al.* 2014), 어류의 행동 및 생리 요인 등 복잡한 과정에 의해 결정된다. 본 연구에서 비만도의 값은 14°C에서 유의하게 증가한 것으로 나타났는데, Karabulut *et al.* (2010)은 무지개송어 (*Oncorhynchus mykiss*)를 대상으로 9°C와 15°C에서 연구를 수행한 결과, 수온에 따른 비만도의 값은 차이가 나타나지 않았으며, Lee *et al.* (2021)은 일정 수온을 벗어난 수온에서의 강도다리 (*Platichthys stellatus*) 사육은 비만도 값에 부정적인 영향을 미친 것으로 나타나 이에 대한 명확한 원인 규명을 위한 어류의 영양, 생리학적 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 의견을 제시하고 있다. 또한 연어과 어류의 자연산 종자나 방류된 인공종자의 비만도는 체장이 약 60mm까지는 증가하나, 그 후에는 일정한 수치를 유지하는 것으로 알려져 있다 (Yeo and Choe 1998).

ALT 활성은 Jeon *et al.* (1995)의 연구 결과에서 넙치

(*Para-lichthys olivaceus*)가 가장 높은  $95 \text{ U L}^{-1}$ 이었고, 나머지 어종에서는  $10 \text{ U L}^{-1}$  이하의 아주 낮은 활성으로 나타났다. 본 연구에서는  $31.5 \sim 52.5 \text{ U L}^{-1}$ 으로 나타나 넙치를 제외한 조피볼락(*Sebastes schlegeli*), 농어(*L. japonicus*), 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*), 은연어(*O. kisutch*)보다는 높게 나타났다. 혈장 성분 중 ALT와 같은 효소 성분은 독성물질 노출에 의해 빠르게 반응하기 때문에 독성 노출에 따른 병리학 적 변화를 평가하기 위한 민감한 지표로 이용된다(Ramesh *et al.* 2018). 특히 ALT의 활성 변화는 근육, 간 및 신장 세포의 기능적 손상과 직접적인 연관이 있어 독성 노출에 따른 어류 장기의 건강 상태를 알 수 있는 주요한 지표이기도 하다(Kim *et al.* 2020).

일반적으로 독성 노출에 따른 조직의 손상으로 인해 ALT는 유의한 증가를 나타내지만, 너무 높은 농도의 급성 노출에서는 어류 조직의 완전한 기능 상실로 인해 효소의 활성이 감소할 수도 있다(Malarvizhi *et al.* 2012). 본 연구에서 수온별 차이를 살펴보았을 때  $17^\circ\text{C}$ 에서 유의하게 낮은 활성을 보였는데, 이는 적정 수온을 벗어난 높은 수온에서 독성 노출에 따른 효소 활성 감소 효과와 비슷하게 나타나는 것으로 여겨진다.

Jeon *et al.* (1995)은 어류의 총단백질 함량이  $2.9 \sim 5.1 \text{ g dL}^{-1}$ 의 범위로 조사되었으며, 어종별로 농어( $5.1 \text{ g dL}^{-1}$ ), 돌돔( $4.8 \text{ g dL}^{-1}$ ) 및 조피볼락( $4.5 \text{ g dL}^{-1}$ )이 은연어( $3.7 \text{ g dL}^{-1}$ )나 넙치( $2.9 \text{ g dL}^{-1}$ )보다 많아, 대체로 온수성 어종이 냉수성 어종에 비해 다소 높게 조사되었다. 본 연구에서도 실험구간의 수온별 유의성은 나타나지 않았지만, 위 연구에서 밝혀진 냉수성 어종의 수치와 부합되는 함량( $3.9 \sim 4.6 \text{ g dL}^{-1}$ )으로 나타났다. 혈장 총단백질 함량은 성장(Bentink *et al.* 1987)과 수질(Yanawaki *et al.* 1986; Byrne *et al.* 1989) 등에 따라서 다소 차이 나는 하지만, 일반적으로 경골어류는  $4 \sim 7 \text{ g dL}^{-1}$ 의 수준으로 알려져 있으며(Yanagisawa and Hashimoto 1984), 본 연구 결과도 대체로 비슷한 수준이었다. 연어의 혈중 ALB 함량( $1.2 \sim 1.9 \text{ g dL}^{-1}$ )은 Jeon *et al.* (1995)의 연구에서 조사되었는데, 본 연구에서의  $1.5 \sim 1.9 \text{ g dL}^{-1}$  함량과 비슷한 결과가 나왔다. 즉, 어류 혈장 중 총단백질과 ALB 농도는 수온별 차이를 보이지 않았다( $p > 0.05$ ).

혈장 무기성분의 어종별 분포는 Jeon *et al.* (1995)의 연구 결과에서 보고되었는데,  $\text{Na}^+$ 과  $\text{Cl}^-$  농도는 각각  $160 \sim 204 \text{ mmol L}^{-1}$ 과  $137 \sim 183 \text{ mmol L}^{-1}$  수준이었으며, 본 연구

에서의  $\text{Na}^+$  농도  $117.3 \sim 180.0 \text{ mmol L}^{-1}$ 과  $\text{Cl}^-$  농도  $119.8 \sim 121.0 \text{ mmol L}^{-1}$ 으로 나타나 위 연구와 비교하여  $\text{Na}^+$  농도는 대체로 비슷하게 나타나고 있으며,  $\text{Cl}^-$  농도는 비교적 낮게 나타났다. 마찬가지로 Jeon *et al.* (1995) 연구 결과에서  $\text{K}^+$  농도는 전반적으로  $0.5 \sim 3.1 \text{ mmol L}^{-1}$ 의 수준으로 조사되었으며, 본 연구의  $\text{K}^+$  농도  $3.0 \sim 3.6 \text{ mmol L}^{-1}$ 로 나타나 위 연구와 비교하여 약간 높게 나타났다. 그러나 각 수온별 실험구간의 유의성은 나타나지 않아서 자치어 성장기에서의 무기성분은 크게 부각되지 않을 것으로 사료된다.

따라서, 본 연구에서 설정한 수온 8, 11, 14 및  $17^\circ\text{C}$ 에서 56일 동안 사육한 연어의 혈액 성분에서는  $17^\circ\text{C}$ 에서 연어의 혈중 ALT가 유의하게 감소한 것을 제외하고는 모든 수온조건에서 유의한 변화는 관찰되지 않았다.

사육 수온에 따른 체조성의 변화는 어종마다 다르게 나타나므로 수온 변화에 대한 영향을 각각 평가하여야 한다(Cui and Wootton 1988). 큰입배스(*Micropterus salmoides*)를 대상으로 한 사육실험에서는  $20^\circ\text{C}$ 는  $26^\circ\text{C}$ 와  $32^\circ\text{C}$ 보다 전어체 수분함량이 유의하게 높게 나타났으나(Tidwell *et al.* 2007), Sea bass (*Sparus aurata*)와 Asian catfish (*Clarias batrachus*)를 대상으로 한 수온별 실험에서는 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분함량에 유의차가 나타나지 않았다고 보고되었다(Couto *et al.* 2008; Singh *et al.* 2009).

본 연구에서 실험한 연어의 경우, 각 수온별 실험구에서 수분, 단백질 및 회분량에서는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 지질 함량은  $8^\circ\text{C}$ 에서 유의하게 높은 수치를 나타내었다. Simpkins *et al.* (2003)의 연구에 따르면  $4^\circ\text{C}$ ,  $7.5^\circ\text{C}$  및  $15^\circ\text{C}$ 에서 무지개송어 치어를 사육한 결과, 수온이 가장 높고 활동력이 많은  $15^\circ\text{C}$ 에서 무지개송어의 지질 함량이 감소되었다고 보고하였다. 따라서, 가장 낮은 수온인  $8^\circ\text{C}$ 에서 사육한 연어의 활동력이 저하됨에 따라 지질 함량이 높게 나타난 것으로 사료된다.

이상의 결과로 연어의 자치어의 성장 시기에 사육 가능 수온은  $8^\circ\text{C}$ 를 제외한 11, 14 및  $17^\circ\text{C}$  범위로 볼 수 있으며, 이 가운데 성장과 생물학적 지표를 살펴보았을 때 최적의 성장을 보이는 수온인  $14^\circ\text{C}$ 로 유지해 주는 것이 적정할 것으로 본다. 그렇지만 본 연구는 수온에 따른 연어의 성장에만 근거하여 적정 수온을 제시하였기 때문에 향후, 본 연구와 같은 수온 범위에서 생리, 생태 변화 및 유전학 등의 연구를 통하여 연어 양식에 있어서 성장 적정 수온에 대한 추가적인 근거를 더 제시할 필요가 있을 것으로 사료된다.

## 적 요

본 연구는 연어(*Oncorhynchus keta*) 치어의 성장, 생존 및 혈액 성상에 미치는 사육수온(8, 11, 14 및 17°C)의 영향을 연구하기 위해 수행되었다. 실험 종료 시 연어의 체중(body weight, BW)은 14°C 실험구에서 가장 높았을 뿐 아니라, 특이성장률(specific growth rate, SGR), 사료전환 효율(feed conversion ratio, FCR), 사료효율(feed efficiency, FE), 증중률(weight gain, WG) 및 비만도(condition factor, CF)와 같은 성장지표에서도 14°C 실험구가 가장 높은 경향을 나타내었다. 생존율(survival rate)은 8°C와 11°C 실험구에서 100%를 보였고, 14°C 실험구에서는 96% 및 17°C 실험구에서는 98%를 각각 나타내었다. 혈장 성분 중 알라닌 아미노전이효소(alanine aminotransferase, ALT)는 17°C 실험구에서 유의한 감소를 보였으나, 알부민(albumin), 총단백질(total protein, TP), 나트륨(sodium, Na<sup>+</sup>), 칼륨(potassium, K<sup>+</sup>) 및 염소(chloride, Cl<sup>-</sup>)는 유의한 변화를 보이지 않았다. 실험 종료 시 연어의 체성분 조사를 실시한 결과, 수분(moisture), 단백질(crude protein) 및 회분량(crude ash)은 수온에 따른 유의한 변화는 보이지 않았으나, 지질(crude lipid)은 다른 실험구에 비해 8°C 실험구에서 유의하게 높은 경향을 보였다. 결론적으로 연어 치어가 성장하는데 필요한 최적의 사육 수온은 14°C로 보이나, 혈액 성분 등 생리적인 영향은 향후 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

### CRedit authorship contribution statement

Seok-Woo Jang: Data curation, Writing-Original draft preparation. Han-Seung Kang: Data curation, Writing-Reviewing and Editing. Dong-Yang Kang: Data curation. Kyu-Seok Cho: Data curation, Writing-Reviewing and Editing.

## 사 사

본 연구는 충청북도내수면산업연구소의 연어 양식 연구 과제(2022-103-0099-0287-00CF)의 지원을 받아 수행되었습니다.

## REFERENCES

Barton BA and GK 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. [https://doi.org/10.1016/0959-8030\(91\)90019-G](https://doi.org/10.1016/0959-8030(91)90019-G)

Bentink SJ, MH Bealeu, P Waterstrat, CS Tucker, F Stiles, PR Bowser and LA Brown. 1987. Biochemical reference ranges for commercially reared channel catfish. *Progress. Fish-Cult.* 49:108-114. [https://doi.org/10.1577/1548-8640\(1987\)49<108:BRRFCR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8640(1987)49<108:BRRFCR>2.0.CO;2)

Berg A, T Hansen and S Stefansson. 1992. First feeding of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) under different photoperiods. *J. Appl. Ichthyol.* 8:251-256. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.1992.tb00691.x>

Burt JM, SG Hinch and DA Patterson. 2012. Parental identity influences progeny responses to incubation thermal stress in sockeye salmon *Oncorhynchus nerka*. *J. Fish Biol.* 80:444-462. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.03190.x>

Byrne P, D Speare and HW Ferguson. 1989. Effects of a cationic detergent on the gills and blood chemistry of rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Dis. Aquat. Org.* 6:185-196. <https://doi.org/10.3354/dao006185>

Caissie D. 2006. The thermal regime of rivers: a review. *Freshw. Biol.* 51:1389-1406. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01597.x>

Chapple JP, GR Smerdon, RJ Berry and AJS Hawkins. 1998. Seasonal changes in stress-70 protein levels reflect thermal tolerance in the marine bivalve *Mytilus edulis* L. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 229:53-68. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(98\)00040-9](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(98)00040-9)

Couto A, P Enes, H Peres and A Oliva-Teles. 2008. Effect of water temperature and dietary starch on growth and metabolic utilization of diets in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juvenile. *Comp. Biochem. Physiol. A-Mol. Integr. Physiol.* 151:45-50. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2008.05.013>

Crossin GT, SG Hinch, SJ Cooke, DW Welsh, DA Patterson, SRM Jones, AG Lotto, RA Leggatt, MT Mathes, JM Shrimpton, G van der Kraak and AP Farrel. 2008. Exposure to high temperature influences the behaviour, physiology, and survival of sockeye salmon during spawning migration. *Can. J. Zool.* 86:127-140. <https://doi.org/10.1139/Z07-12>

Elliott JM and JA Elliott. 2010. Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta* and Arctic charr *Salvelinus alpinus*: predicting the effects of climate change. *J. Fish Biol.* 77:793-1817. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02762.x>

Ferrer M, JA Amat and J Vinuela. 1994. Daily variations of blood chemistry values in the chinstrap penguin (*Pygoscelis antarctica*) during the Antarctic summer. *Comp. Biochem. Physiol. A-Mol. Integr. Physiol.* 107:81-84. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(94\)90277-1](https://doi.org/10.1016/0300-9629(94)90277-1)

Flecker AS, PB McIntyre, JW Moore, JT Anderson, BW Tay-

- lor and Jr RO Hall. 2010. Migratory fishes as material and process subsidies in riverine ecosystem. pp. 559–592. In: American Fisheries Society Symposium. American Fisheries Society.
- Gende SM, TP Quinn, MF Willson, R Heintz and TM Scott. 2004. Magnitude and fate of salmon-derived nutrients and energy in a coastal stream ecosystem. *J. Freshw. Ecol.* 19:149–160. <https://doi.org/10.1080/02705060.2004.9664522>
- Handeland SO, AK Imsland and SO Stefansson. 2008. The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts. *Aquaculture* 283:36–42. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.042>
- Haney DC, DA Hursh, MC Mix and JR Winton. 1992. Physiological and haematological changes in chum salmon artificially infected with erythrocytic necrosis virus. *J. Aquat. Anim. Health* 4:48–57. [https://doi.org/10.1577/1548-8667\(1992\)004<0048:PAHCIC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8667(1992)004<0048:PAHCIC>2.3.CO;2)
- Hevrøy EM, R Waagbo, BE Torstensen, H Takle, I Stubhaug, SM Jorgensen, T Torgersen, L Tvenning, S Susort, O Breck and T Hansen. 2012. Ghrelin is involved in voluntary anorexia in Atlantic salmon raised at elevated sea temperatures. *Gen. Comp. Endocrinol.* 175:118–134. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2011.10.007>
- Hvas M, O Folkedal, A Imsland and F Oppedal. 2018. Metabolic rates, swimming capabilities, thermal niche and stress response of the lumpfish, *Cyclopterus lumpus*. *Biol. Open* 7:bio036079. <https://doi.org/10.1242/bio.036079>
- Jeon JK, PK Kim, YJ Park and HT Huh. 1995. Study of serum constituents in several species of cultured fish. *Korean J. Fish. Aquatic. Sci.* 28:123–130.
- Jonsson B and N Jonsson. 2003. Migratory Atlantic salmon as vectors for the transfer of energy and nutrients between freshwater and marine environments. *Freshw. Biol.* 48:21–27. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.00964.x>
- Kang DY, HK Han and CY Jun. 2004. Influence of water temperature on growth of yearling sea bass, *Lateolabrax japonicus* in indoor tank. *J. Aquacult.* 17:240–245.
- Karabulut HA, I Yandi and NM Aras. 2010. Effects of different feed and temperature conditions on growth, meat yield, survival rate, feed conversion ratio and condition factor in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fingerlings. *J. Anim. Vet. Adv.* 9:2818–2823. <https://doi.org/10.3923/javaa.2010.2818.2823>
- Kim JH, S Sohn, SK Kim and YB Hur. 2020. Effects on hematological parameters, antioxidant and immune responses, AChE, and stress indicators of olive flounders, *Paralichthys olivaceus*, raised in bio-floc and seawater challenged by *Edwardsiella tarda*. *Fish Shellfish Immunol.* 97:194–203. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.12.011>
- Kovach RP, JE Joyce, JD Echave, MS Lindberg and DA Tallmon. 2013. Earlier migration timing, decreasing phenotypic variation, and biochmplexity in multiple salmonid species. *PLoS One* 8:e53807. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053807>
- Lee JH, H Han, JY Lee, YS Cha and SJ Cho. 2022. Ecological health assessment of Yangjaecheon and Yeouicheon using biotic index and water quality. *Korean J. Environ. Biol.* 40:172–186. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2022.40.2.172>
- Lee KW, GS Han, HJ Lim and SG Byun. 2021. Influence of water temperature on growth of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *J. Fish. Mar. Sci. Edu.* 33:515–524. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2021.4.33.2.515>
- Malarvizhi A, C Kavitha, M Saravanan and M Ramesh. 2012. Carbamazepine (CBZ) induced enzymatic stress in gill, liver and muscle of a common carp, *Cyprinus carpio*. *J. King Saud Univ.-Sci.* 24:179–186. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2011.01.001>
- McCormick SD, RA Cunjak, B Dempson, MF O’Dea and JB Carey. 1999. Temperature-related loss of smolt characteristics in Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the wild. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56:1649–1658. <https://doi.org/10.1139/f99-099>
- Mizanur RM, HH Yun, M Moniruzzaman, F Ferreira, KW Kim and SC Bai. 2014. Effects of feeding rate and water temperature on growth and body composition of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf 1880). *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 27:690–699. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13508>
- Morita K and A Nakashima. 2015. Temperature seasonality during fry out-migration influences the survival of hatchery-reared chum salmon *Oncorhynchus keta*. *J. Fish Biol.* 87:1111–1117. <https://doi.org/10.1111/jfb.12767>
- Norris AL, DS Houser and DE Crocker. 2010. Environment and activity affect skin temperature in breeding adult male elephant seals (*Mirounga angustirostris*). *J. Exp. Biol.* 213:4205–4212. <https://doi.org/10.1242/jeb.042135>
- Pavlosky KK, Y Yamaguchi, DT Lerner and AP Seale. 2019. The effects of transfer from steady-state to tidally-changing salinities on plasma and branchial osmoregulatory variables in adult *Mozambique tilapia*. *Comp. Biochem. Physiol. A-Mol. Integr. Physiol.* 227:134–145. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2018.10.005>
- Pickering AD. 1992. Rainbow trout husbandry: management of the stress response. *Aquaculture* 100:125–139. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90354-N](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90354-N)
- Pillay TVR and MN Kutty. 2005. *Aquaculture, Principles and Practices*. Blackwell Publishing. Oxford. pp. 145–146.
- Quinn NL, CR McGowan, GA Cooper, BF Koop and WS Davidson. 2011. Identification of genes associated with heat tolerance in Arctic charr exposed to acute thermal stress. *Physiol.*



- Genomics 43:685–696. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00008.2011>
- Ramesh M, S Anitha, RK Poopal and C Shobana. 2018. Evaluation of acute and sublethal effects of chloroquine (C<sub>18</sub>H<sub>26</sub>ClN<sub>3</sub>) on certain enzymological and histopathological biomarker responses of a freshwater fish *Cyprinus carpio*. *Toxicol. Rep.* 5:18–27. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.11.006>
- Robb DHF, SC Kestin, PD Warriss and GR Nute. 2002. Muscle lipid content determines the eating quality of smoked and cooked Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 205:345–358. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00710-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00710-4)
- Ryan SN. 1995. The effect of chronic heat stress on cortisol levels in the Antarctic fish *Pagothenia borchgrevinki*. *Experientia* 51:768–774.
- Sampaio E, AR Lopes, S Francisco, JR Paula, M Pimentel, AL Maulvault, T Repolho, TF Grilo, P Pousão-Ferreira, A Marques and R Rosa. 2017. Ocean acidification dampens physiological stress response to warming and contamination in a commercially important fish (*Argyrosomus regius*). *Sci. Total Environ.* 618:388–398. <https://doi.org/10.5194/bg-2017-147>
- Simpkins DG, WA Hubert, DR Martinez and DC Rule. 2003. Interacting effects of water temperature and swimming activity on body composition and mortality of fasted juvenile rainbow trout. *Can. J. Zool.* 81:1641–1649. <https://doi.org/10.1139/z03-157>
- Singh RK, AS Desai, PA Chavan and PA Khandagale. 2009. Effect of water temperature on dietary protein requirement, growth and body composition of Asian catfish, *Clarias batrachus* fry. *J. Therm. Biol.* 34:8–13. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2008.08.005>
- Somero GN. 2004. Adaptation of enzymes to temperature: searching for basic “strategies.” *Comp. Biochem. Physiol. B-Biochem. Mol. Biol.* 139:321–333. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2004.05.003>
- Somero GN. 2010. The physiology of climate change: how potentials for acclimatization and genetic adaptation will determine ‘winners’ and ‘losers’. *J. Exp. Biol.* 213:912–930. <https://doi.org/10.1242/jeb.037473>
- Strange RJ, CB Schreck and JT Golden. 1977. Corticoid stress responses to handling and temperature in salmonids. *Trans. Am. Fish. Soc.* 106:213–218. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1977\)106<213:CSRTHA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1977)106<213:CSRTHA>2.0.CO;2)
- Swansburg E, G Chaput, D Moore, D Caissie and N El-Jabi. 2005. Size variability of juvenile Atlantic salmon: links to environmental conditions. *J. Fish Biol.* 61:661–683. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb00903.x>
- Tidwel JH, SD Cole, LA Bright, AV Arnum and D Asharian. 2007. Effect of water temperature on growth, survival and biochemical composition of largemouth bass, *Micropterus salmoides*. *J. World Aquacult. Soc.* 34:175–183. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2003.tb00054.x>
- Wang Y, L Li, M Hu and W Lu. 2015. Physiological energetics of the thick shell mussel *Mytilus coruscus* exposed to seawater acidification and thermal stress. *Sci. Total Environ.* 514:261–272. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.092>
- Yamawaki K, W Hashimoto, K Fujii, J Koyama, Y Ikeda and H Ozaki. 1986. Hemochemical changes in carp exposed to low cadmium concentration. *Nippon Suisan Gakkaishi* 52:459–466. <https://doi.org/10.2331/suisan.52.459>
- Yanagisawa T and K Hashimoto. 1984. Plasma albumins in elasmobranchs. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.* 50:1083.
- Yeo IK and MK Choe. 1998. Effects of starvation and feeding frequency on growth of juvenile Chum Salmon *Oncorhynchus keta*. *J. Aquacult.* 11:363–369.
- Yoon SJ and JH Park. 2022. Behavioral responses and tolerance limits of wild goldeye rockfish *Sebastes thompsoni* to high temperature exposure. *Korean J. Environ. Biol.* 40:247–254. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2022.40.3.247>