



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

수 산 학 석 사 학 위 논 문

순환여과양식시스템 내에서 수온이  
감성돔(*Acanthopagrus schlegelii*)  
생산성에 미치는 영향



2020년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수 산 생 물 학 과

최 은 지

Thesis for the Degree of Master of Fisheries Science

Effects of water temperature on  
productivity of black sea bream  
*Acanthopagrus schlegelii* in  
recirculating aquaculture system



February 2020

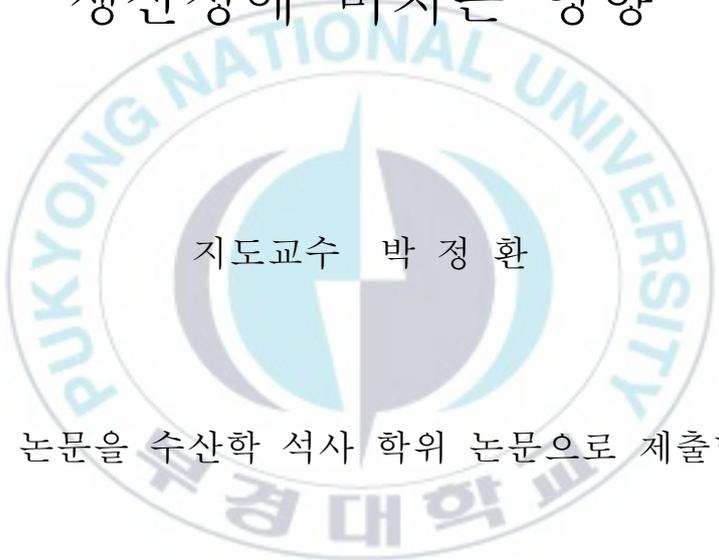
Pukyong National University

Department of Fisheries Biology

Eunji Choi

수 산 학 석 사 학 위 논 문

순환여과양식시스템 내에서 수온이  
감성돔(*Acanthopagrus schlegelii*)  
생산성에 미치는 영향



지도교수 박 정 환

이 논문을 수산학 석사 학위 논문으로 제출함.

2020년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수 산 생 물 학 과

최 은 지

최은지의 수산학석사 학위논문을  
인준함.

2020년 2월 21일



위원장 수산학박사 오 승 용 (인) 

위 원 수산학박사 김 병 기 (인) 

위 원 수산학박사 박 정 환 (인) 

## 목 차

I. 서 론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	4
II-1. 실험어 및 실험조건 .....	4
II-2. 수질 및 성장 측정 .....	7
II-3. 수온 유지 전력량 및 비용 측정 .....	9
II-4. 통계 처리 .....	9
III. 결 과 .....	10
III-1. 수질 환경 .....	10
III-2. 어류 성장 .....	12
III-3. 수온 유지 전력량 및 비용 .....	23
IV. 고 찰 .....	26
요약 .....	32
감사의 글 .....	34
참고문헌 .....	37

Effects of water temperature on productivity of black sea bream  
*Acanthopagrus schlegelii* in recirculating aquaculture system

Eunji Choi

Department of Fisheries Biology, Graduate school,  
Pukyong National University

### Abstract

Global warming is predicting rapid changes in ecosystems due to rising temperatures and water temperatures. This necessitates the continuous investigation of fish physiological changes. In aquaculture, water temperature is one of the major determinants of productivity. In addition to fish growth, survival and metabolism, feed intake is directly linked to feed efficiency and feed availability, which affects fish breeding duration. Therefore, the identification of the appropriate water temperature for a particular fish species is an important part of profit and loss in the economic aspects of the aquaculture industry.

In particular, the recirculating aquaculture system (RAS) is advantageous in maintaining the water temperature because the water is circulated and reused. However, maintaining constant water temperature is still an important issue in the RAS and it is especially true in temperate regions such as Korea. Therefore, it is necessary to identify economical water temperature in terms of growth and the cost of maintaining a constant water temperature for certain species.

Black sea bream, *Acanthopagrus schlegelii* is a high value species in Korea and considered a promising candidate for the RAS because of its wide range of tolerance to water quality. This experiment investigated growth performance and survival of black sea bream in different water

temperatures, estimating cost-effective water temperature in the RAS.

Six different water temperatures (20, 23, 26, 29, 32 and 35°C) were examined in individual recirculating systems with the same configuration (a total water volume of 413 L). Each system consisted of three tanks, a moving bead filter, a water sump, a UV sterilizer, and a circulation pump. Each tank received 40 fingerlings of black sea bream (average weight of 15.5 g). Before the experiment began, the fish were acclimated to each experimental water temperature for a week. Fish were cultured for eight weeks and fish were weighed every 4 weeks. The room temperature was maintained at an average of 22°C, and each water temperature was maintained using a cooler or a heater. The power and cost of maintaining the water temperature were also measured for estimating energy consumption.

The result indicated that the water temperature range of 26~29°C maximizes the most growth performance, showing the weight gains of 1,887 and 2,038 g, feed efficiencies of 1.41 and 1.48, and daily growth rates of 3.31 and 3.44 at 26 and 29°C. In the meantime, the power consumption and expense showed the lowest value at 26°C. Considering both growth performance and power consumption, the optimum water temperature for culturing black sea bream in the RAS appears to 26°C.

## List of Figures

Figure 1. The schematic drawing of the experimental recirculating aquaculture system. (a): treatment 20, 23°C, (b): treatment 26, 29, 32, 35°C .....	6
Figure 2. Survival rates (mean±SD) of black sea bream ( <i>Acanthopagrus schlegelii</i> ) reared in recirculating aquaculture systems with different water temperatures after 4 weeks .....	15
Figure 3. Survival rates (mean±SD) of black sea bream ( <i>Acanthopagrus schlegelii</i> ) reared in recirculating aquaculture systems with different water temperatures after 8 weeks .....	18
Figure 4. Thermal unit growth coefficient (TGC) (mean±SD) of black sea bream ( <i>Acanthopagrus schlegelii</i> ) in recirculating aquaculture system with different water temperatures after 8 weeks .....	21
Figure 5. Number of days to gain 1 kg/fish of black sea bream ( <i>Acanthopagrus schlegelii</i> ) in recirculating aquaculture system with different water temperatures. ....	22

## List of Tables

Table 1. Water quality (mean±SD) changes in experimental recirculating aquaculture systems for black sea bream ( <i>Acanthopagrus schlegelii</i> ) at six different water temperatures during 8 weeks .....	11
Table 2. Growth performance (mean±SD) of black sea bream ( <i>Acanthopagrus schlegelii</i> ) in recirculating aquaculture systems with different water temperatures after 4 weeks .....	16
Table 3. Individual growth (mean±SD) performance of black sea bream ( <i>Acanthopagrus schlegelii</i> ) in recirculating aquaculture system with different water temperatures after 4 weeks .....	17
Table 4. Growth performance (mean±SD) of black sea bream ( <i>Acanthopagrus schlegelii</i> ) in recirculating aquaculture systems with different water temperatures after 8 weeks .....	19
Table 5. Individual growth performance (mean±SD) of black sea bream ( <i>Acanthopagrus schlegelii</i> ) in recirculating aquaculture system with different water temperatures after 8 weeks .....	20
Table 6. Power and cost used for water temperature maintenance (mean±SD) of black sea bream ( <i>Acanthopagrus schlegelii</i> ) in recirculating aquaculture system .....	24
Table. 7. Power and cost used for water temperature maintenance (mean±SD) to gain 1 kg biomass of black sea bream ( <i>Acanthopagrus schlegelii</i> ) in recirculating aquaculture system .....	25

Table 8. Stocking densities of black sea bream (*Acanthopagrus schlegeli*) exposed to different water temperatures after 4 and 8 weeks ..... 31



# I. 서론

현재 전 세계적인 지구온난화로 인해 해양 산성화, 해수면 상승, 빙하 감소 등과 같은 극한 기상현상의 발생이 증가하고 있다(Ha *et al.*, 2004). 전지구의 평균 기온은 19세기 후반 이래로 현재까지 100년간 약 0.3~0.6℃ 정도 상승하고 있으며, 산업혁명 이후 대기 중 이산화탄소의 농도는 1992년 수치로 볼 때 약 30%가 증가했으며 이와 같은 추세가 지속될 경우, 2100년까지 전 지구 평균기온은 약 1~3.5℃ 정도 상승할 것으로 예측된다(IPCC, 1995). 우리나라의 경우 평균 기온의 상승폭이 세계 평균의 약 2배에 달하는 등 온난화의 진행속도가 세계 평균을 상회하고 있다(Ha *et al.*, 2004). 기온의 상승뿐만 아니라 전 세계 평균 수온이 산업혁명 이전인 지난 세기와 비교하여 0.76℃ 증가하고 향후 100년 이내에는 2℃ 이상 해수 수온이 증가될 것으로 예측하고 있다(Brewer, 1997, IPCC, 2007). 이러한 지속적인 온난화의 영향으로 인해 우리나라 역시 동, 서, 남해 해역의 표층 수온의 지속적으로 상승하고 있다고 보고되었다(Seong *et al.*, 2010). 이로 인해 우리나라에서는 양식생산량의 감소 및 한반도 부근 서식 어종의 변화가 발생하고 있으며(KOSIS, 2019), 다른 국가들에 비해 비교적 빠르게 생태계 변화가 예상된다.

국내 양식 산업은 자연환경에 크게 의존하고 있는 가두리 양식과 유수식 양식 같은 개방형 양식 방법을 주로 이용하여 왔다. 이러한 방법들은 자연 해수를 그대로 사용하기 때문에 온난화 및 계절적 수온 변동에 직접적으로 노출될 뿐만 아니라 주변 해역으로부터의 질병 유입으로 인한 빈번한 질병 발생 등으로 지속적이고 안정적인 사육이 어려운 실정이다. 그렇기 때문에 환경 독립적인 시스템인 순환여과양식시스템이 대두되고 있

다. 순환여과양식시스템은 대부분의 사육수를 재사용하고 보충수의 양이 상대적으로 작고(Kim, 2011) 자외선이나 오존 등의 살균을 통해 질병원의 유입을 최소화 할 수 있다. 뿐만 아니라 일정한 수온 유지에 유리해(Suh *et al.*, 2001) 연중 생산이 가능하다는 장점이 있다. 순환여과양식시스템에서 어류의 효율적인 성장을 위해 최적의 수온으로 연간 유지해 주는 것이 가장 이상적이지만 수온 유지에 드는 비용이 지나치게 많으면 생산성의 측면에서 경제적이지 못하다. 따라서 어류의 성장과 수온 유지에 소비되는 전력비용의 측면도 함께 고려하여 경제적인 최적의 수온을 도출하는 것이 필요하다.

어류를 포함한 변온동물의 가장 큰 특징은 그들의 체온이 환경의 온도에 따라 변동한다는 것이다(Cossins and Bowler, 1987). 그렇기 때문에 사육 수온은 어류의 성장, 생존 및 생리대사에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 알려져 있다(Brett and Groves, 1979; Jobling, 1997; Johnston, 2006). 뿐만 아니라 수온은 사료 섭취와 연관되어 사료효율 및 사료 이용성으로 직결되며, 이는 어류 양성 기간에도 영향을 미친다(Kang *et al.*, 2004; Yamamoto *et al.*, 2007; Bøgevik *et al.*, 2010). 따라서 특정 어종에 대한 적정 수온 규명은 양식 산업의 경제적인 측면에서 손익과 직결되는 매우 중요한 부분이다.

감성돔은 수온, 염분, 수질 등 환경 변화에 적응력이 강하고 성장이 빠른 어종으로, 아시아 지역에서 고부가가치 해산 양식어종으로 알려져 있다(Chang and Yueh, 1990). 이러한 특징으로 감성돔은 순환여과양식시스템 내 고밀도 사육을 통한 대량생산이 가능할 것으로 판단되는 주요 어종 중 하나이며 국내에서는 조피볼락, 넙치 및 참돔과 더불어 주요 수산자원으로 알려져 있다. 최근에는 인공 종묘생산 및 생산성 향상을 위한 기술개발, 수요증가 등으로 인해 그 생산량이 해마다 증가하고 있다(KOSIS, 2018).

감성돔은 순환여과양식시스템의 적합 어종으로 알려져 있으나 사육환경 조건에 대한 연구가 매우 부족한 실정이며, 실제 양식에 적용할 만한 자료가 제한적이다. 그렇기 때문에 순환여과양식시스템에서 성장률을 극대화하고 경제적인 양식을 실행하기 위해 감성돔이 최적으로 성장할 수 있는 수온과 상한 한계 수온의 규명이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 순환여과양식시스템 내 생산성 및 경제성을 고려한 감성돔 치어의 최적 사육 수온을 도출하고자 하였다.



## II. 재료 및 방법

### II-1. 실험어 및 실험조건

본 실험에서는 경상남도 거제도 양식장에서 분양 받은 감성돔 치어를 실험에 이용하였다. 실험어는 균일한 크기로 선발하였고, 24℃에 수용한 후 하루에 1℃씩 조절하면서 각 수온 조건에 맞게 10일 동안 순치시켰다. 실험에 사용된 어류는 평균 체중 15.5 g, 평균 길이 10 cm이며, 각 수조마다 40마리씩 수용하였다.

실험 시스템은 3개의 유리 사각사육수조(0.34 m W 0.6 m L 0.4 m H), 유동상 여과조(0.5 m W 0.48 m L 0.5 m H), 저수조(0.44 m W 0.48 m L 0.5 m L), 포말분리기(0.15 m D 0.55 m H), 200w 순환펌프, UV 살균기로 구성되었으며, 총 수량은 413 L이다. 동일하게 구성된 6개의 순환여과양식시스템이 실험에 이용되었다. 유동상 여과조에 사용된 여과매질(Kaldnes K1, 비표면적  $500\pm 50 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , Taejin engineering, Gijang, Korea)은 각 시스템마다 80 L씩 수용하였다. 공기 펌프와 공기 분사기를 이용하고 각 수조에 충분한 산소 농도를 유지하였다. 실험구는 20, 23, 26, 29, 32, 35℃로 설정하여 3반복 실시하였다. 20℃와 23℃ 실험구는 160 w 냉각기를 사용했고, 26℃ 실험구는 200 w 히터를 사용했으며 29, 32, 35℃ 실험구는 1 kw 히터를 사용해 사육 수온을 맞춰주고 대기온도는 평균 22℃로 유지하였다. 각 순환여과양식시스템의 내부 순환율은 시간당 약 5회전으로 조절하였다. 실험 기간 동안 23℃의 해수로 20, 23,

26℃ 실험구 환수를 하였고, 29℃의 해수로 29, 32, 35℃ 실험구 환수를 진행하였다.

상품사료(Deluxe N4, Woosung feed, Daejeon, Korea)를 일간 3회 (10:00, 14:00, 18:00) 반복으로 공급하면서 8주간 사육실험을 진행하였다. 사료 찌꺼기 및 배설물과 같은 큰 고형물을 제거하기 위한 목적으로 일간 총 사육수량의 10~15%씩 환수했다. 광주기는 12[암]:12[명]으로 유지하였으며, pH의 변동을 최소화하기 위해 각 수조마다 pH 측정 후 중탄산염을 추가하였다.



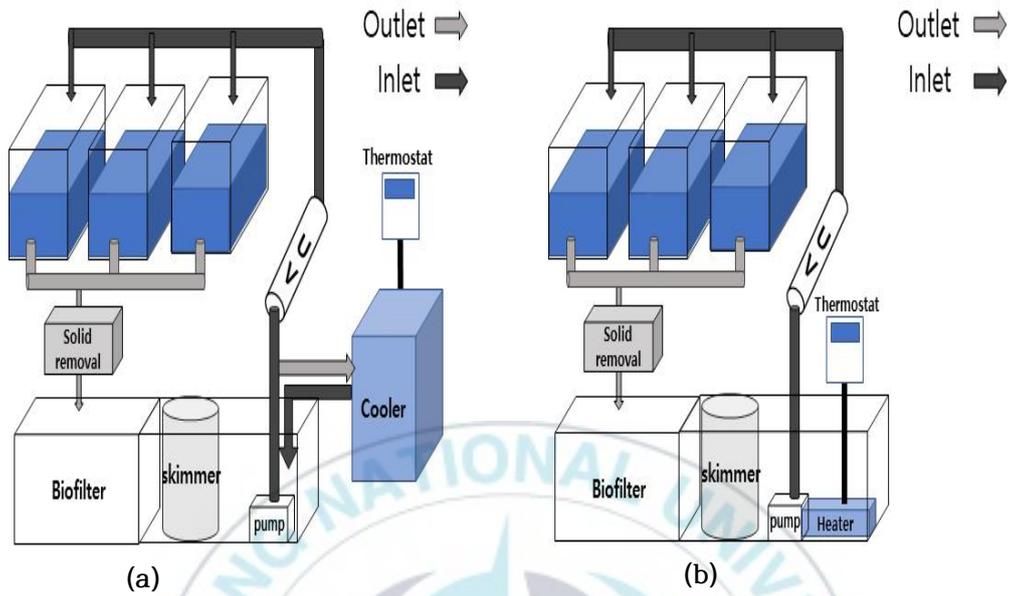


Fig 1. The schematic drawing of the experimental recirculating aquaculture system. (a): treatment 20, 23°C, (b): treatment 26, 29, 32, 35°C.

## II-2. 수질 및 성장 측정

pH, 용존 산소, 염분, 총 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소, 부유 고형물, 용존 이산화탄소를 측정했다. pH, 용존 산소, 염분은 매일 2번씩 측정하고 총 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소, 부유 고형물, 총 유기탄소, 용존 이산화탄소는 주 1회 측정했다. pH와 용존 산소는 다항목 수질 측정기(HQ 40D, HACH CO, Loveland, Colorado, USA)를 이용해 측정하였으며, 염분은 굴절식 염분계(ORA 2 SA, KERN, Mannheim, Germany)를 이용하여 측정하였다. 총 암모니아성 질소와 아질산성 질소는 각각 Indo-phenol 발색법과 Diazotization 발색법을 이용하고 분광광도계(UV-3300, Hmas, Korea)로 흡광도를 측정하였다(APHA, 2005). 질산성 질소는 분광 광도계(DR 900, HACH CO, Loveland, Colorado, USA)를 이용하여 Cadmium 환원 발색법으로 측정하였다. 부유 고형물은 해양공정시험법에 따라 분석하였다. 용존 이산화탄소는 수산화나트륨 적정법(CA-DT, HACH CO, Loveland, Colorado, USA)으로 측정하였다.

실험 시작 4주와 8주 후에 어류의 성장 정도를 측정하기 위해 총 중량, 증중량, 일간 사료섭취율, 사료계수, 일간 성장률, 생존율을 계산하였다. 개별 중량과 전장은 실험 종료 시 전 개체를 대상으로 측정하고 비만도를 계산하였다. 추가적으로 성장에 있어 수온의 영향을 보완하는 수온 의존 성장계수(Thermal Growth Coefficient, TGC)도 계산하였다. 측정한 개별 중량, 전장, 비만도를 대상으로 분산계수(Coefficient of Variation, CV)를 계산하였다. 비만도는 Froese (2006), TGC는 Malcolm Jobling (2003)에 기술된 공식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{일간 사료섭취율(\%/day)} = \text{일간성장률} \times \text{사료계수} \quad (\text{식 1})$$

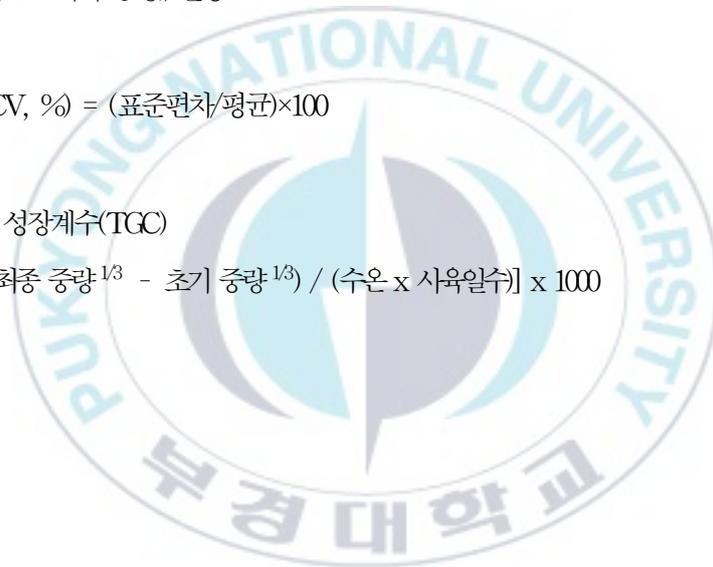
$$\text{사료계수} = \text{사료섭취량} / \text{증 중량} \quad (\text{식 2})$$

$$\text{일간 성장률(\%/day)} = [(\ln \text{최종 중량} - \ln \text{초기 중량}) / \text{사육일수}] \times 100 \quad (\text{식 3})$$

$$\text{비만도} = (100 \times \text{개체 중량}) / \text{전장}^3 \quad (\text{식 4})$$

$$\text{분산계수(CV, \%)} = (\text{표준편차} / \text{평균}) \times 100 \quad (\text{식 5})$$

$$\begin{aligned} \text{수온 의존 성장계수(TGC)} \\ = [(\text{최종 중량}^{1/3} - \text{초기 중량}^{1/3}) / (\text{수온} \times \text{사육일수})] \times 1000 \end{aligned} \quad (\text{식 6})$$



### II-3. 수온 유지 전력량 및 비용 측정

소비전력측정기(SJPM-C16 소비전력측정기, Seojun electric, Seoul, Korea)를 20℃와 23℃ 실험구의 각 냉각기에 연결하고 26, 29, 32, 35℃ 실험구에는 각 히터에 연결하여 사육 수온 유지에 사용되는 1일 전력량 및 비용을 측정하고 이에 따른 8주간 총 소비 전력량과 비용을 측정하였다. 이 때 전력 소비 비용은 농업용 전기 요금을 참고하여 계산하였다. 이 측정 결과를 바탕으로 본 시스템에서 감성돔 biomass를 1 kg 증량시킬 때 소비되는 전력량과 비용을 계산하였다.

### II-4. 통계 처리

통계 처리는 SPSS 25.0 통계프로그램을 이용하였다. One way ANOVA test를 실시하여 등분산성 검정을 위해 Levene 검정을 실시했다. 등분산성이 확보되었을 경우 Duncan's multiple range test를 이용하였고, 등분산성이 확보되지 않았을 경우 Games-Howell's multiple range test를 실시하여 유의성 검정을 하였다.

## III. 결 과

### III-1. 수질 환경

실험기간의 수질분석 결과를 Table 1에 나타냈다. 수온은 각 실험구 별로 20.1, 23.2, 26.2, 29.0, 32.0, 34.9℃로 유지하여 실험 기간 동안 각 목표 수온과 유사하게 유지되었다. 모든 실험구에서 염분, pH, 용존산소는 각각 평균 30.5~31.9 ppt, 7.56~7.82, 7.25~8.38 mg/L의 범위로 유지하였다( $P < 0.05$ ). 모든 실험구에서 총 암모니아성 질소는 평균 0.64 mg/L 이하, 아질산성 질소는 평균 0.35 mg/L 이하, 질산성 질소의 경우는 평균 38.8 mg/L 이하로 유지하였다( $P < 0.05$ ). 부유고형물의 경우 모든 실험구에서 평균 0.05 mg/L 이하로 유지하였고( $P < 0.05$ ), 용존 이산화탄소의 경우 평균 57.5 mg/L 이하로 유지하였고 실험구 간에 유의하게 차이가 없었다( $P > 0.05$ ).

Table 1. Water quality (mean±SD) changes in experimental recirculating aquaculture systems for black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*) at six different water temperatures during 8 weeks

Parameter	Target temperature (°C)						P value
	20	23	26	29	32	35	
Water temperature (°C)	20.1±0.1 <sup>f</sup>	23.2±0.1 <sup>e</sup>	26.2±0.4 <sup>d</sup>	29.0±0.3 <sup>c</sup>	32.0±0.4 <sup>b</sup>	34.9±0.4 <sup>a</sup>	0.000
Salinity (ppt)	30.7±1.4 <sup>b</sup>	30.5±1.4 <sup>b</sup>	30.6±1.5 <sup>b</sup>	30.7±1.7 <sup>b</sup>	31.2±1.7 <sup>ab</sup>	31.9±2.0 <sup>a</sup>	0.000
pH	7.68±0.01 <sup>b</sup>	7.61±0.01 <sup>c</sup>	7.60±0.03 <sup>c</sup>	7.64±0.02 <sup>bc</sup>	7.56±0.03 <sup>d</sup>	7.82±0.01 <sup>a</sup>	0.000
Dissolved oxygen (mg/L)	8.38±0.04 <sup>a</sup>	7.76±0.09 <sup>b</sup>	7.37±0.21 <sup>c</sup>	7.85±0.38 <sup>b</sup>	7.25±0.26 <sup>c</sup>	8.00±0.27 <sup>b</sup>	0.000
TAN (mg/L)	0.35±0.15 <sup>c</sup>	0.58±0.44 <sup>a</sup>	0.64±0.29 <sup>a</sup>	0.50±0.22 <sup>ab</sup>	0.43±0.17 <sup>bc</sup>	0.21±0.09 <sup>d</sup>	0.000
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	0.09±0.01 <sup>c</sup>	0.17±0.03 <sup>b</sup>	0.25±0.00 <sup>ab</sup>	0.32±0.01 <sup>a</sup>	0.35±0.04 <sup>a</sup>	0.15±0.00 <sup>bc</sup>	0.000
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	28.7±10.6 <sup>ab</sup>	31.5±14.7 <sup>ab</sup>	33.8±16.5 <sup>ab</sup>	38.9±13.4 <sup>a</sup>	38.5±13.7 <sup>a</sup>	23.0±5.9 <sup>b</sup>	0.004
SS (mg/L)	0.04±0.01 <sup>c</sup>	0.04±0.01 <sup>bc</sup>	0.04±0.01 <sup>bc</sup>	0.05±0.01 <sup>abc</sup>	0.05±0.01 <sup>ab</sup>	0.05±0.01 <sup>a</sup>	0.008
CO <sub>2</sub> (mg/L)	57.5±12.8	52.5±11.6	46.3±9.2	55.0±14.1	56.3±13.0	47.5±22.2	0.515

### III-2. 어류 성장

실험 4주차(중간 측정) 썬 생존율은 Fig. 2에 나타내었다. 생존율은 20, 23, 26℃에서는 100%였으며 29, 32, 35℃는 각각  $98.3\pm 1.4$ ,  $90.8\pm 5.2$ ,  $24.2\pm 8.8\%$ 로 유의하게 차이가 있었다( $P<0.05$ ). 어류 성장 결과는 Table 2에 나타내었다. 총 중량은 23, 26, 29℃에서 각각  $1,628\pm 28$ ,  $1,600\pm 17$ ,  $1,724\pm 93$  g으로 유의하게 높았으며, 32, 20, 35℃에서는 각각  $1,467\pm 120$ ,  $1,278\pm 68$ ,  $776\pm 56$  g으로 순차적으로 낮았다( $P<0.05$ ). 증중량도 이와 같은 경향이였으며 23, 26, 29℃에서 각각  $990\pm 25$ ,  $970\pm 13$ ,  $1,088\pm 90$  g으로 유의하게 높았으며, 32, 20, 35℃에서 각각  $868\pm 123$ ,  $656\pm 45$ ,  $153\pm 56$  g으로 낮았다( $P<0.05$ ). 총 사료 섭취량은 29℃와 32℃에서 각각  $1,343\pm 33$ 과  $1,350\pm 25$  g으로 높았으며, 26, 23, 20, 35℃에서 각각  $1,231\pm 29$ ,  $1,111\pm 15$ ,  $775\pm 53$ ,  $675\pm 33$  g으로 유의하게 낮아졌다( $P<0.05$ ). 일간 사료섭취율의 경우에는 32℃와 35℃에서 각각  $4.16\pm 1.12$ 와  $4.64\pm 1.93\%/day$ 로 높았다( $P>0.05$ ). 사료계수는 35℃에서  $5.00\pm 2.51$ 으로 가장 높았으며, 나머지 실험구에서는 유의한 차이가 없었다( $P<0.05$ ).

실험 4주차(중간 측정) 썬 개별 중량 및 전장, 일간 성장률, 비만도, 분산계수에 대한 결과는 Table 3에 나타내었다. 최종 개별 중량은 23, 26, 29, 32℃에서 각각  $42.1\pm 0.4$ ,  $40.2\pm 2.4$ ,  $47.3\pm 8.8$ ,  $47.5\pm 6.3$  g으로 유의하게 높았다( $P<0.05$ ). 일간 성장률 또한 23, 26, 29, 32℃에서 각각  $2.42\pm 0.05$ ,  $2.24\pm 0.09$ ,  $2.64\pm 0.48$ ,  $2.61\pm 0.40\%/day$ 로 유의하게 높은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 비만도의 경우에는 32℃에서만  $2.00\pm 0.02$ 의 값으로 유의하게 높은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 개별 전장, 개별 중량, 비

만도에 대한 분산계수는 각 실험구마다 유의한 차이를 나타내지 않았다 ( $P>0.05$ ).

실험 8주차(최종 측정) 껌 생존율은 Fig. 3에 나타나있다. 생존율은 20℃ 와 23℃에서는 100%였으며 26, 29, 32, 35℃는 각각 98.3±2.9, 94.2±5.8, 77.5±9.0, 0%로 유의하게 차이가 있었다( $P<0.05$ ). 어류 성장 결과는 Table 4에 나타내었다. 총 증량은 4주차 껌과 동일하게 23, 26, 29℃에서 각각 2,419±82, 2,490±59, 2,579±187 g으로 유의하게 높았으며, 32℃와 20℃에서는 각각 1,807±259, 1,711±58 g으로 낮아졌다 ( $P<0.05$ ). 증중량도 이와 같은 경향으로 23, 26, 29℃에서 유의하게 높았다( $P<0.05$ ). 총 사료 섭취량은 26℃ 와 29℃에서 각각 2,624±41과 2,860±84 g으로 높았는데 이는 32℃의 2,568±152 g와 유의한 차이가 없었다( $P<0.05$ ). 일간 사료섭취율은 32℃에서 7.10±1.09%/day으로 가장 높았고 23, 26, 29℃에서는 서로 유의적 차이가 없었으며, 20℃에서 가장 낮았다( $P<0.05$ ). 사료계수는 32℃에서 2.17±0.31으로 가장 높았으며 나머지 실험구에서는 유의한 차이가 없었다( $P<0.05$ ).

실험 8주차(최종 측정) 껌 개별 중량 및 전장, 일간 성장률, 비만도, 분산계수에 대한 결과는 Table 5에 나타내었다. 최종 개별 중량과 일간 성장률은 29℃에서 가장 높았지만 26℃나 32℃와는 유의한 차이가 없었다( $P<0.05$ ). 비만도의 경우에는 20℃와 32℃에서 각각 2.15±0.05와 2.13±0.0으로 유의하게 높은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 개별 중량에 대한 분산계수는 26℃와 32℃에서 각각 27.2±7.7과 34.6±4.4으로 유의하게 높았으며, 비만도에 대한 분산계수는 실험구 간의 유의한 차이가 없었다( $P>0.05$ ).

사육 실험 결과를 식 6에 대입하여 각 수온에 대한 TGC 값을 도출하였다. 20, 23, 26, 29, 32, 35℃ 실험구에서 각각 1.20±0.06, 1.47±0.03,

1.35±0.04, 1.26±0.07, 1.08±0.01, 0.25±0.05로 23℃에서 가장 높았지만 20, 26, 29℃와 유의한 차이가 없었고 32℃와 35℃ 순으로 유의하게 낮아졌다( $P<0.05$ ). 수온(X, water temperature)에 따른 수온 의존 성장계수(Y, TGC)의 상관관계식은 다음과 같다(Fig. 4).

$$Y = -0.1025X^2 + 0.5458X + 0.746 \quad (X: 20 \sim 35^\circ\text{C})$$

식 6을 재 정렬하면 다음과 같은 식을 도출할 수 있다(식 7). 이는 사육하고자 하는 수온과 초기 중량, 최종 중량을 정하면 목표한 무게까지 사육하는데 걸리는 기간을 계산할 수 있다. 본 실험의 결과로 예를 들어 15 g의 어류를 1 kg 증량시켜 1.015 kg으로 만들 때 소요되는 기간을 계산해 보면 각 실험구별로 316, 224, 216, 208, 219, 867일로 29℃에서 가장 짧은 기간이 소요되는 것을 확인할 수 있다(Fig 5).

$$\text{사육기간} = 1000 (\text{최종 무게}^{1/3} - \text{초기 무게}^{1/3}) / (\text{TGC} \times \text{수온}) \quad (\text{식 7})$$

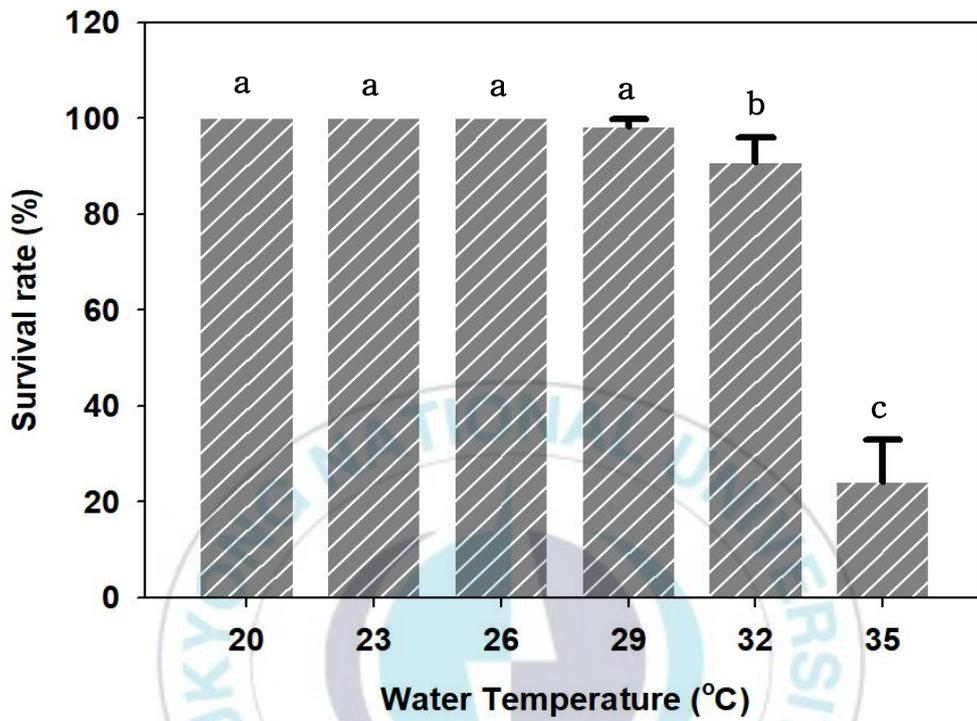


Fig 2. Survival rates (mean±SD) of black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*) reared in recirculating aquaculture systems with different water temperatures after 4 weeks ( $P=0.000$ ).

Table 2. Growth performance (mean±SD) of black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*) in recirculating aquaculture systems with different water temperatures after 4 weeks

Parameter	Target temperature(°C)						P value
	20	23	26	29	32	35	
Initial biomass (g)	623±23	693±3	630±17	637±25	599±5	623±23	0.171
Final biomass (g)	1,278±68 <sup>c</sup>	1,628±28 <sup>a</sup>	1,600±17 <sup>a</sup>	1,724±93 <sup>a</sup>	1,467±120 <sup>b</sup>	776±56 <sup>d</sup>	0.000
Weight gain (g)	656±45 <sup>c</sup>	990±25 <sup>ab</sup>	970±13 <sup>ab</sup>	1,088±90 <sup>a</sup>	868±123 <sup>b</sup>	153±56 <sup>d</sup>	0.000
Feed consumption (g)	775±53 <sup>d</sup>	1,111±15 <sup>c</sup>	1,231±29 <sup>b</sup>	1,343±33 <sup>a</sup>	1,350±25 <sup>a</sup>	675±33 <sup>c</sup>	0.000
Daily feed intake (%/day)	2.16±0.15 <sup>c</sup>	2.72±0.16 <sup>b</sup>	2.84±0.15 <sup>b</sup>	3.24±0.4 <sup>b</sup>	4.16±1.12 <sup>a</sup>	4.64±1.93 <sup>a</sup>	0.055
Feed conversion	1.18±0.00 <sup>b</sup>	1.12±0.04 <sup>b</sup>	1.27±0.01 <sup>b</sup>	1.24±0.07 <sup>b</sup>	1.57±0.21 <sup>b</sup>	5.00±2.51 <sup>a</sup>	0.003

Table 3. Individual growth (mean±SD) performance of black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*) in recirculating aquaculture system with different water temperatures after 4 weeks

Parameter	Target temperature (°C)						P value
	20	23	26	29	32	35	
Initial individual weight (g)	15.9±1.8	15.3±2.1	15.7±2.3	15.4±1.7	15.8±1.9	15.0±2.0	0.639
Initial individual length (cm)	10.2±0.4 <sup>ab</sup>	9.9±0.5 <sup>bc</sup>	9.8±0.6 <sup>c</sup>	10.1±0.4 <sup>abc</sup>	10.2±0.5 <sup>a</sup>	10.1±0.5 <sup>abc</sup>	0.014
Final individual weight (g)	34.2±0.2 <sup>b</sup>	42.1±0.4 <sup>a</sup>	40.2±2.4 <sup>a</sup>	47.3±8.8 <sup>a</sup>	47.5±6.3 <sup>a</sup>	22.4±1.1 <sup>c</sup>	0.000
Final individual length (cm)	12.2±0.2 <sup>b</sup>	13.2±0.2 <sup>a</sup>	12.9±0.2 <sup>a</sup>	13.5±0.6 <sup>a</sup>	13.3±0.6 <sup>a</sup>	11.0±0.3 <sup>c</sup>	0.000
Specific growth rate (%/day)	1.82±0.13 <sup>b</sup>	2.42±0.05 <sup>a</sup>	2.24±0.09 <sup>a</sup>	2.64±0.48 <sup>a</sup>	2.61±0.40 <sup>a</sup>	0.95±0.12 <sup>c</sup>	0.000
Condition factor	1.87±0.08 <sup>b</sup>	1.84±0.06 <sup>b</sup>	1.86±0.06 <sup>b</sup>	1.88±0.08 <sup>b</sup>	2.00±0.02 <sup>a</sup>	1.69±0.01 <sup>c</sup>	0.000
CV-body weight (%)	14.2±3.1	19.8±3.4	16.2±8.1	22.0±5.4	23.4±9.8	20.8±4.7	0.640
CV-body length (%)	4.79±1.21	6.87±3.19	5.11±2.30	6.02±1.06	7.38±2.32	7.18±0.81	0.515
CV-condition factor (%)	11.30±2.12	14.06±3.31	8.64±2.66	8.62±2.31	10.51±2.06	11.66±3.76	0.255

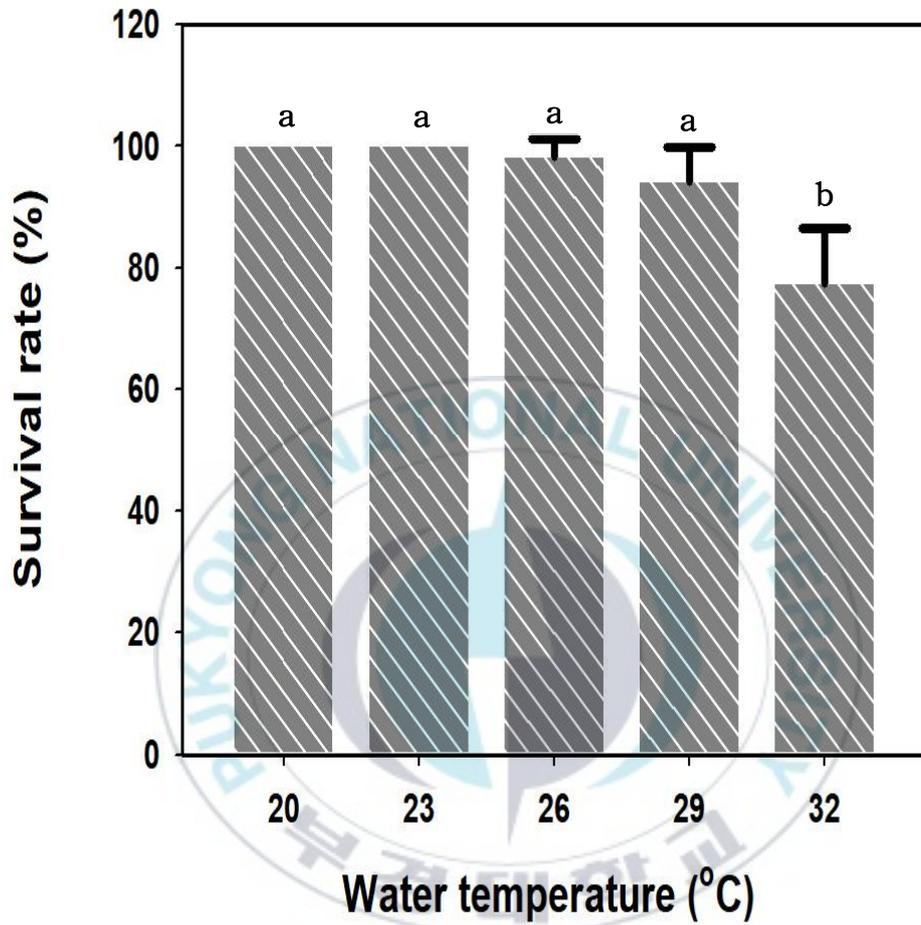


Fig 3. Survival rate (mean±SD) of black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*) reared in recirculating aquaculture system with different water temperatures after 8 weeks ( $P=0.000$ ).

Table 4. Growth performance (mean±SD) of black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*) in recirculating aquaculture system with different water temperatures after 8 weeks

Parameter	Target temperature (°C)					P value
	20	23	26	29	32	
Initial biomass (g)	623±23	693±3	630±17	637±25	599±5	0.171
Final biomass (g)	1,711±58 <sup>c</sup>	2,419±82 <sup>a</sup>	2,516±13 <sup>a</sup>	2,675±131 <sup>a</sup>	2,077±277 <sup>b</sup>	0.000
Weight gain (g)	1,089±39 <sup>c</sup>	1,780±82 <sup>a</sup>	1,887±18 <sup>a</sup>	2,038±138 <sup>a</sup>	1,478±279 <sup>b</sup>	0.000
Feed consumption (g)	1,501±70 <sup>c</sup>	2,345±17 <sup>b</sup>	2,624±41 <sup>a</sup>	2,860±84 <sup>a</sup>	2,568±152 <sup>ab</sup>	0.000
Feed intake (%/day)	3.34±0.14 <sup>c</sup>	4.26±0.15 <sup>b</sup>	4.66±0.09 <sup>b</sup>	5.09±0.38 <sup>b</sup>	7.10±1.09 <sup>a</sup>	0.001
Feed conversion	1.38±0.02 <sup>b</sup>	1.32±0.06 <sup>b</sup>	1.41±0.07 <sup>b</sup>	1.48±0.12 <sup>b</sup>	2.17±0.31 <sup>a</sup>	0.007

Table 5. Individual growth performance (mean±SD) of black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*) in recirculating aquaculture system with different water temperatures after 8 weeks

Parameter	Target temperature (°C)					P value
	20	23	26	29	32	
Initial individual weight (g)	15.9±1.8	15.3±2.1	15.7±2.3	15.4±1.7	15.8±1.9	0.639
Initial individual length (cm)	10.2±0.4 <sup>ab</sup>	9.9±0.5 <sup>bc</sup>	9.8±0.6 <sup>c</sup>	10.1±0.4 <sup>abc</sup>	10.2±0.5 <sup>a</sup>	0.014
Final individual weight (g)	43.8±1.0 <sup>c</sup>	59.3±1.8 <sup>b</sup>	62.8±1.8 <sup>ab</sup>	65.5±3.3 <sup>a</sup>	62.3±1.7 <sup>ab</sup>	0.000
Final individual length (cm)	12.7±0.1 <sup>c</sup>	14.5±0.1 <sup>ab</sup>	14.7±0.1 <sup>a</sup>	14.8±0.3 <sup>a</sup>	14.1±0.2 <sup>b</sup>	0.000
Specific growth rate (%/day)	2.41±0.14 <sup>c</sup>	3.23±0.04 <sup>b</sup>	3.31±0.09 <sup>ab</sup>	3.44±0.16 <sup>a</sup>	3.27±0.05 <sup>ab</sup>	0.000
Condition factor	2.15±0.05 <sup>a</sup>	1.94±0.03 <sup>b</sup>	1.94±0.05 <sup>b</sup>	1.99±0.04 <sup>b</sup>	2.13±0.01 <sup>a</sup>	0.000
CV-body weight (%)	17.9±3.1 <sup>b</sup>	21.6±4.5 <sup>b</sup>	27.2±7.7 <sup>ab</sup>	25.0±4.0 <sup>b</sup>	34.6±4.4 <sup>a</sup>	0.021
CV-body length (%)	8.08±1.28 <sup>ab</sup>	6.25±0.89 <sup>b</sup>	8.54±1.73 <sup>ab</sup>	8.18±0.88 <sup>ab</sup>	10.39±1.45 <sup>a</sup>	0.039
CV-condition factor (%)	13.98±3.86	13.47±2.25	17.10±3.44	13.17±3.19	13.42±1.80	0.505

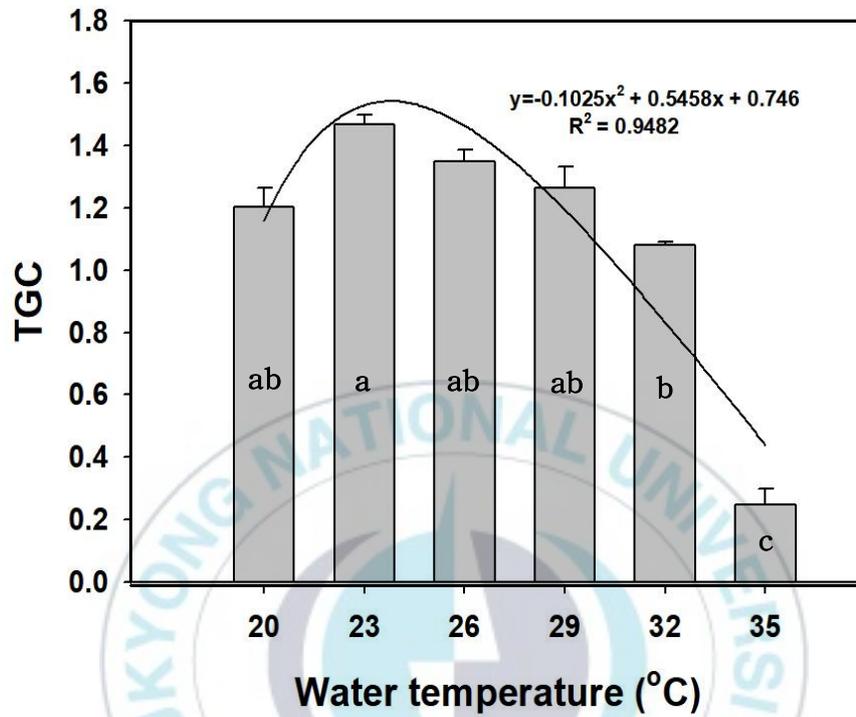


Fig 4. Thermal unit growth coefficient (TGC) (mean±SD) of black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*) in recirculating aquaculture system with different water temperatures after 8 weeks ( $P=0.000$ ).

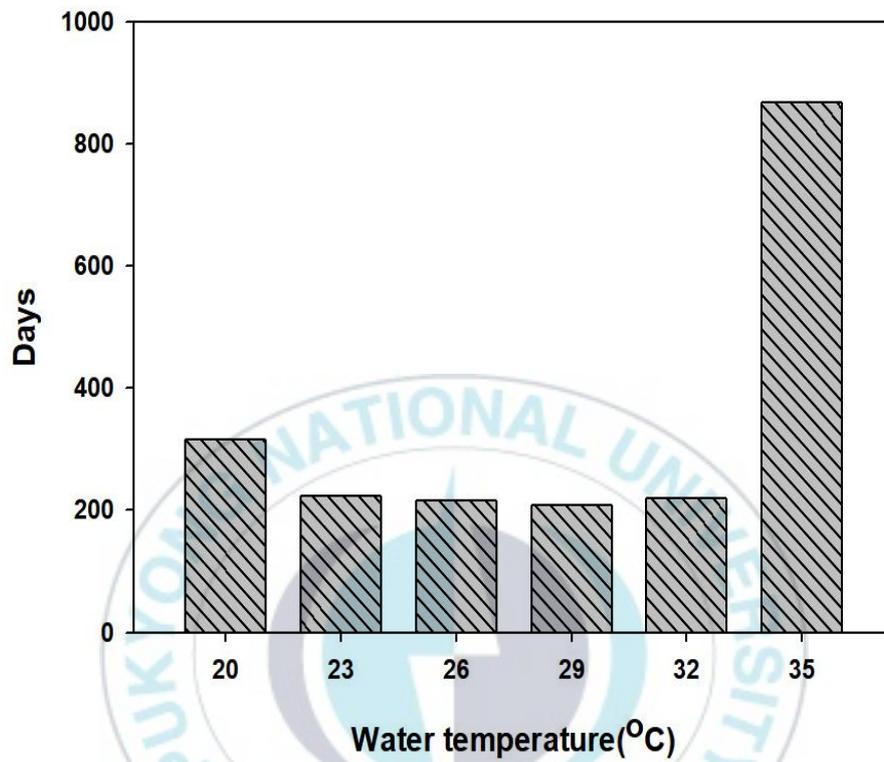


Fig 5. Number of days to gain 1 kg/fish of black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*) in recirculating aquaculture system with different water temperatures.

### III-3. 수온 유지 전력량 및 비용

각 실험구별로 수온 유지에 사용된 전력량 및 비용은 Table 6에 나타냈다. 35℃ 실험구의 경우에는 4주차까지의 측정값이다. 일일 소비 전력량과 비용 모두 23℃와 26℃에서 가장 유의하게 값이 낮았으며, 20, 29, 32, 35℃ 순으로 높았다. 이와 마찬가지로 8주간 총 소비 전력량 및 비용도 23℃와 26℃에서 가장 낮았고 20, 29, 32, 35℃ 순으로 유의하게 높았다( $P < 0.05$ ).

8주간 어류 증 중량 값과 8주간 수온유지에 소비된 전력량 및 비용 값을 나누면 biomass를 1 kg 증량시킬 때 수온유지에 필요한 전력량과 비용을 계산할 수 있으며 이는 Table 7에 나타냈다. 35℃ 실험구의 경우에는 4주차까지의 측정값으로 계산한 결과이다. 1 kg 증량을 위해 수온 유지에 소비되는 전력량 및 비용은 26℃에서 가장 적었으며 23, 29, 20, 32, 35℃ 순으로 높아졌다.

Table 6. Power and cost used for water temperature maintenance (mean±SD) of black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*) in recirculating aquaculture system

Parameter	Target temperature (°C)						P value
	20	23	26	29	32	35(4weeks)	
Daily power consumption (kwh/day)	4.42±0.84 <sup>d</sup>	1.88±1.00 <sup>e</sup>	1.71±1.44 <sup>e</sup>	7.35±2.03 <sup>c</sup>	10.68±3.10 <sup>b</sup>	16.22±2.07 <sup>a</sup>	0.000
Daily power cost (won/day)	136±26 <sup>d</sup>	58±31 <sup>e</sup>	52±44 <sup>e</sup>	225±62 <sup>c</sup>	327±95 <sup>b</sup>	497±63 <sup>a</sup>	0.000
Total power consumption during 8 weeks (kwh)	248±47 <sup>d</sup>	106±56 <sup>e</sup>	96±81 <sup>e</sup>	412±114 <sup>c</sup>	598±174 <sup>b</sup>	454±58 <sup>a</sup>	0.000
Total power cost during 8weeks (won)	7,569 <sup>d</sup>	3,233 <sup>e</sup>	2,935 <sup>e</sup>	12,610 <sup>c</sup>	18,318 <sup>b</sup>	13,915 <sup>a</sup>	0.000

Table 7. Power and cost used for water temperature maintenance (mean±SD) to gain 1 kg biomass of black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*) in recirculating aquaculture system

Parameter	Target temperature (°C)					
	20	23	26	29	32	35(4weeks)
Weight gain (kg)	1,088	1,780	1,887	2,038	1,478	0.153
Power consumption during 8weeks	248	106	96	412	598	454
Power cost during 8 weeks	7,589	3,233	2,935	12,610	18,318	13,915
Power consumption to gain 1kg (kwh/kg biomass)	228	60	51	202	405	2,967
Power cost to gain 1kg (won/kg biomass)	6,975	1,816	1,555	6,187	12,393	90,947

## IV. 고찰

실험기간 동안 수온을 제외한 다른 수질요인은 각 실험구별로 유의한 차이는 있었지만 그 범위는 감성돔 사육을 위한 적정범위 내로 유지되었다. 암모니아성 질소와 아질산성 질소는 모든 실험구에서 평균 0.64 mg TAN/L, 0.35 mg NO<sub>2</sub>-N/L 이하로 유지되었다. 질산성 질소의 경우 모든 실험구에서 평균 38.9 mg NO<sub>3</sub>-N/L 이하로 유지되었다. 암모니아성 질소의 평균값은 gilthead seabream (*Sparus aurata*)의 96LC<sub>50</sub> 73 mg TAN/L의 0.9% 그리고 NOEC 6.5 mg TAN/L의 10% 수준이었다(Ruyet *et al.*, 1995). 아질산성 질소의 경우에는 black sea bass (*Centropristis striata*)과 southern flounder (*Paralichthys lethostigma*)의 NOEC 17과 10 mg NO<sub>2</sub>-N/L의 2~6% 수준이었다(Weirich and Riche, 2006; Park *et al.*, 2013). 질산성 질소의 평균값은 감성돔(*Acanthopagrus schlegelii*)의 96LC<sub>50</sub> 2,584 mg NO<sub>3</sub>-N/L의 1.5% 수준이었다(Seo *et al.* 2019). 사육수의 부유고형물은 평균 0.05 mg/L이었으며 이는 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 7d-LC50 156.9 mg/L, 감성돔(*Acanthopagrus schlegelii*)의 NOEC 100 mg/L의 0.03~0.05% 수준이었다(Yoon and Park, 2011; Li and Shen, 2012). 용존 이산화탄소는 평균 57.5 mg CO<sub>2</sub>/L 이하로 유지되었으며 이는 청보리멸(*Sillago japonica*) EC<sub>50</sub> 2,570 mg CO<sub>2</sub>/L, 참돔(*Pagrus major*)의 EC<sub>50</sub> 1310 mg CO<sub>2</sub>/L의 2~4% 수준이었다(Kikkawa *et al.*, 2003). 이러한 농도 수준은 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소, 부유고형물, 용존 이산화탄소는 실험 결과에 영향을 주지 않았다는 것을 보여준다.

본 연구에서 수온에 따라 4주차 사육한 결과 생존율은 20~29℃에서는 유의한 차이가 없었지만 32℃와 35℃에서는 유의하게 낮은 생존율을 보

였다. 증중량은 23, 26, 29℃에서 높은 값을 나타내었고 다른 수온에 비해 빠른 성장을 한 것으로 여겨진다. 사료 섭취량과 일간 사료 섭취율의 경우 수온 상승에 따라 증가하는 경향을 보였다. 35℃ 실험구의 경우 다른 실험구들에 비해 일간 사료섭취율이 높았고, 사료계수 또한 유의하게 높은 값을 가졌다. 이는 사료 섭취량은 많았지만 그만큼 효율적인 성장이 이루어지지 않았다는 것을 의미한다. Kim (2000)과 So *et al.*,(2008)은 무지개 송어(*Oncorhynchus mykiss*)를 상한 한계 수온에서 사육했을 때 대사의 리듬이 깨지면서 대사에 부작용이 나타나 폐사한다고 보고했다. 이러한 연구결과와 본 실험의 결과로 볼 때 감성돔 사육에 있어서 35℃는 상한 한계 수온에 가깝다고 추정할 수 있다.

8주차 사육 결과, 32℃의 생존율이 다른 실험구들보다 유의하게 낮았다. 또한 증 중량, 총 사료섭취량의 경우도 수온에 따라 증가하다가 32℃에서 감소하는 것을 확인하였다. 일간 사료섭취율, 사료효율의 경우 32℃에서 가장 높은 값을 가졌는데 이는 앞서 설명한 것과 동일하게 실험구 내 개체들의 대사활동이 활성화됨에 따라 축적될 에너지원의 소비가 상대적으로 높아져서 나타난 결과로 추정되며 이는 결국 성장효율이 떨어진다는 것을 의미한다. 또한 32℃의 경우 개체 중량의 분산계수가 다른 실험구들에 비해 높은 값을 나타냈는데 이는 32℃ 실험구 내에서 개체들 간의 중량 차이가 크고 균일하게 성장하지 못했다고 판단할 수 있다. 4주차와 8주차의 결과를 비교하였을 때 32℃의 경우 사육이 장기화됨에 따라 생존율과 성장률이 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 보아 실내 사육의 경우 하절기 수온이 32℃ 이상 상승할 경우 수온 제어를 위한 조치를 취해 주어야 대량 폐사를 막을 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 나타난 감성돔(*Acanthopagrus schlegelii*)의 성장에 있어 수온의 영향은 다른 경골어류에서 나타난 결과들(Kang *et al.*, 2004;

Person-Le *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2014)과 유사하였다. 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*) 치어를 15.1, 16.0, 22.5, 23.0, 24.7, 26.5°C 에서 사육했을 때 수온이 높아짐에 따라 증 중량과 일간 사료섭취율이 증가했고(Kim *et al.*, 2008), 자바리(*Epinephelus bruneus*) 치어는 17~23°C 에서 사육했을 때 보다 22~25°C에서 사육했을 때 증 중량, 일간 성장률, 일간 사료 섭취율, 사료효율이 더 높았다(Yang *et al.*, 2014). 농어(*Lateolabrax japonicus*) 치어의 경우, 21~27°C에서 사육된 개체의 성장률과 사료효율이 17°C 이하거나 30°C 이상에서 사육된 개체보다 높았고(Kang *et al.*, 2004), 유럽 농어(*Dicentrarchus labrax*) 자치어의 경우, 13~25°C에서 수온이 높을수록 일일 성장률이 높았다(Person-Le *et al.*, 2004).

수온 의존 성장 계수(TGC)는 양식 생산 계획에 있어 성장을 예측하기 위해 주로 사용된다. TGC를 이용해 여러 온도 조건에서 어류의 성장을 추정할 수 있다(Iwama & Tautz, 1981; Iwama, 1996; Alanara *et al.*, 2001). TGC의 장점은 동일한 사육 조건에서 얻은 단일의 TGC를 사용하여 생산 주기 전반에 걸쳐 무게를 추정할 수 있다는 점이다. 하지만 Dumas *et al.* (2007)은 성장기(<20 g, 20-500 g, >500 g) 동안 각 다른 사이즈의 무지개 송어(*Oncorhynchus mykiss*)에 대한 서로 다른 TGC 값을 사용해야한다고 보고했다. 따라서 본 실험에 추가적으로 다른 사이즈의 감성돔에 대한 수온 평가도 필요하다고 판단된다.

대구 (*Gadus morhua*L.) 치어를 1~16°C에서 사육한 결과 TGC 값은 1°C에서 가장 높았으며 점차 감소해 5~9.5°C 에서는 일정하게 유지되며 다시 떨어지는 경향을 보였다(Bjornsson *et al.*, 2001). 대서양 연어 (*Salmo Salar*)의 경우 2°C의 TGC 값이 8°C의 TGC 값보다 높았다(Bendiksen *et al.*, 2002). 이는 본 실험에서 23°C에서 TGC 값이 가장 크고 수온이 증가할수록 감소하는 것과 비슷한 경향을 나타냈다.

TGC를 이용해 본 실험에서 감성돔 1 kg/fish 키우는데 소요되는 일수는 8주라는 짧은 기간 동안, 한 가지 크기의 치어로 사육한 결과로 계산했기 때문에 다소 과대 해석된 부분이 있을 수 있지만 수온별로 그 경향을 비교하고자 하는 목적으로 참고할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 실내 기온이 22℃로 유지되고 있을 때 본 순환여과양식시스템에서 20, 23, 26, 29, 32, 35℃로 감성돔을 사육하면 29℃에서 가장 빠르게 성장할 것으로 예상된다. 본 실험에서 8주차 개체 무게 결과에서 29℃에서 가장 높은 값을 나타낸 것으로 보아 이를 뒷받침해주는 결과라고 판단된다.

본 실험에서 어류의 생존, 성장 측면에서 가장 적합하다고 생각되는 수온은 26, 29℃이었다. 그러나 29℃에서 1 kg/biomass를 증량시키기 위해 수온 유지에 사용되는 전력비용은 6,178원으로 26℃에서 나타난 비용인 1,555원보다 약 4배 정도가 많았다. 따라서 수온 26℃에서 감성돔 치어가 조금 더디게 성장하였더라도 그 차이는 29℃와 크지 않았고 수온 유지에 소비되는 전력량과 전력비용은 1/4 수준이었으므로, 26℃로 감성돔을 사육하는 것이 더 경제적일 수 있다.

또한 성장저하와 폐사개체의 증가로 인한 사육밀도의 변화가 어류의 성장에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 일반적으로 다양한 어류에서 높은 사육밀도는 사료섭취량, 성장, 생존에 부정적인 영향을 미친다고 알려져 있다(Tidwel *et al.*, 1996; Lambert and Dutil, 2001, Rowland *et al.*, 2006; Marco *et al.*, 2008; Sammouth *et al.*, 2009). 사육기간 동안 사육 밀도는 Table 8 에 나타냈다. 순환여과양식시스템에서 감성돔 사육 밀도 실험 결과 58 kg/m<sup>3</sup> 까지 사육에 영향을 미치지 않았다고 보고했다(Celio, 2018). 이와 비교해 보면 본 실험에서의 사육 밀도는 감성돔의 생존이나 성장에 영향을 미치지 않았을 것으로 판단된다.

본 실험에서는 순환여과양식시스템 내에서 수온이 감성돔의 생산성에

미치는 영향을 조사하였다. 본 연구에서 얻은 결과는 향후 순환여과양식시스템으로 감성돔 치어의 높은 생산량을 얻기 위한 기초자료로 사용할 수 있을 것이다. 또한 순환여과양식에 있어 중요한 부분을 차지하는 수온 유지에 드는 비용적인 측면까지 고려하여 보다 경제적인 수온 선정에 대한 정보를 제공할 것이다. 추가적으로 다양한 크기의 감성돔을 대상으로 추가적인 수온 실험과 장기적인 수온의 영향을 관찰한다면 순환여과양식시스템 내에서 높은 감성돔 생산성을 위한 더 많은 정보를 제공할 수 있을 것이라 생각된다.



Table 8. Stocking densities of black sea bream (*Acanthopagrus schlegeli*) exposed to different water temperatures after 4 and 8 weeks

Stocking density (kg/m <sup>3</sup> )	Target temperature (°C)					
	20	23	26	29	32	35
Initial	8.9	9.9	9	9.1	8.6	8.9
4 weeks	18.3	23.3	22.9	24.6	21.0	11.1
8 weeks	24.4	34.6	35.9	38.2	29.7	-

## 요약

전 지구적으로 지구온난화로 인해 기온 및 수온의 상승으로 생태계의 빠른 변화가 예고되고 있다. 이로 인해 어류의 생리학적 변화를 지속적으로 조사하여 대응할 필요가 있다. 양식 생물을 사육하는데 있어 수온은 생산성을 결정하는 주요 요인 중 하나로 작용한다. 어류의 성장, 생존 및 생리대사 뿐만 아니라 사료 섭취와 연관되어 사료효율 및 사료 이용성으로 직결되고, 이는 어류 사육 기간에도 영향을 미친다. 따라서 특정 어종에 대한 적정 수온 규명은 양식 산업의 경제적인 측면에서 손익과 직결되는 매우 중요한 부분이다.

특히 순환여과양식시스템의 경우 물을 순환하며 재사용하기 때문에 수온 유지에 이점은 있으나 일정한 수온 유지에 소비되는 비용이 과도하면 경제적인 생산성을 가지지 못한다. 그렇기 때문에 성장의 측면과 더불어 일정한 수온 유지에 소비되는 비용 측면에서도 경제적인 수온을 규명해야 한다.

따라서 국내에서 고부가가치인 감성돔을 순환여과양식시스템으로 사육할 때 성장과 수온 유지에 드는 비용 측면에서 최적의 수온을 도출하고자 본 실험을 진행하였다.

본 실험에서는 20, 23, 26, 29, 32, 35℃의 수온으로 실험을 진행하였으며, 6개의 순환여과양식시스템을 이용해 실험을 진행하였다. 실내 온도는 평균 22℃로 유지하였고, 각 수온들은 냉각기 및 히터를 사용하여 수온을 유지해주었다. 수온 유지에 소비되는 전력 및 비용을 일일 측정하였고 총 8주간 실험 진행하였다.

순환여과양식시스템 내 감성돔 사육에 있어 최적의 수온을 평가한 결

과(8주 실험) 성장 측면에서 26℃와 29℃에서 증중량이 각각 1,887, 2,038 g로, 사료효율은 각각 1.41, 1.48, 일간 성장률은 3.31, 3.44로 최대의 성장 효율을 보였다. 실내 온도 평균 22℃일 때, 수온 유지 전력 및 비용은 26℃에서 가장 낮은 값을 보였다. 성장과 수온 유지 측면에서 순환여과양식시스템 내 감성돔을 사육할 때 적정의 수온은 26℃라고 판단된다.



## 감사의 글

감사의 글을 쓰려고 하니 마지막이라는 것이 더욱 실감이 납니다. 3년 동안 실험실 생활을 하면서 많은 것들을 배우고 좋은 사람들도 많이 알게 되었습니다. 석사 과정동안 많은 도움을 주신 분들께 감사의 인사를 전하고자 합니다.

바쁘신 와중에도 논문이 완성되기까지 아낌없는 지도와 격려로 부족한 저를 이끌어주신 박정환 교수님께 진심으로 감사드립니다. 항상 저희에게 많은 관심으로 친근하게 해주시면서도 보다 나은 사람이 되게끔 열정적으로 지도해주신 덕분에 많이 성장할 수 있었습니다.

논문 심사를 위해 따뜻한 조언과 세심한 교정을 해주신 오승용 박사님과 김병기 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

2년의 대학원 기간 동안 많은 가르침을 주신 김동수, 배승철, 남윤권, 김종명, 공승표, 최윤희 교수님께 감사드립니다.

항상 배울 점이 많았던 양식시스템 실험실 오빠들과 동생들에게 고마움을 전합니다. 부산 남자에게선 볼 수 없는 다정함으로 멘탈 약한 동생 도와준다고 고생 많이 한 같은 최 씨 집안 태건이 오빠, 때로는 장난끼 많게 재밌는 이야기도 많이 주고받고, 때로는 단호하게 동생들을 인솔했던 재현이 오빠, 같은 시기에 졸업 논문을 준비하면서 더 많은 시간을 보내고 더 많은 이야기를 나눴던 준혁이 오빠, 항상 묵묵하게 할 일을 잘 해내고 재현이 오빠가 항

상 씻고 다니라며 다그쳤던 태영이 오빠, 여자 같은 세심함으로 많은 고민들을 들어주고 같이 고민해준 8센치 형원이, 많이 까불지만 호기심이 가득한 눈으로 질문 많이 하고 말이 많은 범준이, 못난 언니 멘탈 관리와 뒷바라지 한다고 많이 고생한 ‘수과대 아이유’ 다희, 아직까지는 ‘다희 친구’가 더 익숙하지만 아름관 일은 누구보다 열심히인 재만에게도 진심을 담아 고마움을 전합니다. 그리고 연구실 첫 석사 졸업자여서 많이 고생한 석이 오빠, 각자의 자리에서 열심히 노력해준 지민, 유정, 혜림, 준호 오빠, 수현이를 포함해 배려 속에서 서로 아끼고 챙겨주는 실험실 식구들의 도움으로 석사과정을 마칠 수 있었기에 진심으로 감사의 마음을 표현합니다.

또 같이 대학원 생활을 하면서 서로 힘들 때마다 술 한잔 걸치고 많은 이야기를 나누고 위로가 되어줬던 민혜, 여름이 오빠, 재훈이 오빠, 하함이 오빠에게 진심으로 고맙고 많은 힘이 되었다고 전하고 싶습니다.

그리고 대학생 때 인연을 맺어 석사 끝날 때까지 각자의 자리에서 응원해준 해바신 멤버들, 경주, 정민, 정현이 언니, 혜나 언니, 현수 오빠, 근석이 오빠, 진수 오빠 등등! 덕분에 행복한 학교 생활 했습니다. 진심으로 고맙습니다.

다들 각자 삶 산다고 떨어져 있지만 멀리서라도 열심히 응원하고 이야기 들어줘서 고마운 예진이, 희진이, 정화, 지연이, 혜빈이, 지연이, 유라에게도 고마운 마음을 전합니다.

그리고 항상 든든한 지원군, 내 편인 우리 아빠, 엄마, 언니, 동생에게도 고마움을 전합니다. 둘째딸 믿고 묵묵히 응원해줘서 무

사히 마무리할 수 있었습니다. 부모님에게 자랑스러운 딸이 되도록 더욱 더 노력하는 둘째딸 되겠습니다. 감사합니다.

2년간의 석사 생활을 정말 알차게 보냈습니다. 이 마무리가 끝이 아닌 새로운 시작이라고 생각하고 끊임없이 배우고 더 성장하는 양식시스템 실험실의 첫 번째 여장부가 되겠습니다. 감사합니다.



## 참 고 문 헌

- Alanara A., Kadri S. & Paspatis M. 2001. Feeding management. In: Food intake in Fish (ed. by D Houlihan, T. Boujard & M. Jobling). Blackwell Science, Oxford. pp. 332-353.
- Bendiksen E.A., Jobling M. & Arnesen A.M. 2002. Feed intake of Atlantic salmon parr *Salmo salar* L in relation to temperature and feed composition. Aquaculture Research 33, 525-532.
- Bogevik AS, Henderson RJ, Mundheim H, Waagbo R, Tocher DR and Olsen RE. 2010. The influence of temperature on the apparent lipid digestibility in Atlantic salmon *Salmo salar* fed Calanus finmarchicus oil at two dietary levels. Aquaculture 309, 143-151. <https://doi.org/10.1016/j.aqua-culture.2010.08.016>.
- Björnsson B., Steinarsson A. & Oddgeirsson M. 2001. Optimal temperature for growth and feed conversion of immature cod *Gadus morhua* L. ICES Journal of Marine Science 58, 29-38.
- Brett JR and Groves TDD. 1979. Physiological energetics. Fish Physiol 8, 279-352. [https://doi.org/10.1016/s1546-5098\(08\)60029-1](https://doi.org/10.1016/s1546-5098(08)60029-1).
- Brewer PG. 1997. Ocean chemistry of the fossil fuel CO<sub>2</sub> signal: The haline signal of “business as usual”. Geochimica et Cosmochimica Acta 61, 1367-1369. <https://doi.org/10.1029/97GL01179>.

- Chang, C. F. and W. S. Yueh, 1990. Annual cycle of gonadal histology and steroid profiles in the juvenile males and adult females of the protandrous black porgy *Acanthopagrus schlegelii*. *Aquaculture* 91, 179-196.
- Cossins A. R. and Bowler K. 1987. *Temperature Biology of Animals*. Chapman & Hall, London 337 pp.
- Dumas, A., France, J., Bureau, D., 2007. Evidence of three growth stanzas in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* across life stages and adaptation of the thermal-unit growth coefficient. *Aquaculture* 267, 139 - 246.
- Froese, R., 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22, 241-253.
- IPCC, 1995: IPCC Second Assessment, *Climate Change 1995*, IPCC, pp63.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Scientific Basis*, Working group contribution to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Summary for Policymakers. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 996 pp.
- Iwama G.K. 1996. Growth of salmonids. In: *Principles of Salmonid Culture* (ed. by W. Pennell & B.A. Barton), Elsevier, Amsterdam. pp.467-515.

- Iwama G.K. & Tautz A. 1981. A simple growth model for salmonids in hatcheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 38, 649–656.
- Jobling M. 1997. Temperature and growth: Modulation of growth rate via temperature change. Cambridge University Press, Cambridge (UK). <https://doi.org/10.1017/cbo9780511983375.010>
- Johnston IA. 2006. Environment and plasticity of myogenesis in teleost fish. *J Exp Biol* 209, 2249–2264. <https://doi.org/10.1242/jeb.02153>.
- J. Person-Le Ruyet, K. Mahe, N. Le Bayon, H. Le Delliou. 2004. Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* 237, 269 – 280.
- Kim, P.K. 2011. Effects of stocking density and dissolved oxygen concentration on the growth and hematology of the Parrot fish *Oplegnathus fasciatus* in a recirculating aquaculture system (RAS). *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44: 747–752. (in Korean)
- Kikkawa T, Ishimatsu A and Kita J. 2003. Acute CO<sub>2</sub> tolerance during the early developmental stages of four marine teleosts. *Environ Toxicol* 18, 375–382. <http://dx.doi.org/10.1002/tox.10139>.
- KOSIS. 2018. Korean Statistical Information Service. Korea.

KOSIS. 2019. Korean Statistical Information Service. Korea.

Kyong-Min Kim, Jung Uie Lee, Jae Woo Kim, Seok-Jung Han, Kyoung-Duck Kim and Jae-Yoon Jo. 2008. Daily feeding rates of Parrot fish *Oplegnathus fasciatus* fed extruded pellet at the different water temperatures. Kor. J. Aquaculture. 21(4), 294-298.

Lambert, Y. and J. D. Dutil, 2001. Fod intake and growth of adult Atlantic cod *Gadus morhua* reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size-grading. Aquaculture 192:233-247.

Li, Y. and A. Shen. 2012. Gill damage and recovery in juvenile black sea bream *Acanthopagrus schlegelii* stressed by uncontaminated suspended solids, Advanced Materials Research, Vol. 518-523, pp. 5047-5054.

Machaieie Célio Arlindo. 2019. Pukyong National University. Thesis for the Degree of Master of Fisheries Science.

Malcolm Jobling. 2003. The thermal growth coefficient (TGC) model of fish growth: a cautionary note. Aquaculture Research. 34, 581-584

Marco, P. D., A. Priori, M. G. Finoia, A. Masari, A. Mandich and G. Marino, 2008. Physiological responses of European sea bass *Dicentrarchus labrax* to different stocking densities and acute stress challenge. Aquaculture 275:319-328.

- Park, J., H. V. Daniels and S. H. Cho. 2013. Nitrite toxicity and met hemoglobin changes in southern flounder, *Paralichthys lethostigma*, in brackish water. World Aquaculture Society 44:726-734.
- Rowland, S. J., C. Mifsud, M. Nixon and P. Boyd, 2006. Effects of stocking density on the performance of the Australian freshwater silver perch *Bidyanus bidyanus* in cages. Aquaculture 253:301-308.
- Ruyet, J. P. L., H. Chartois and L. Quemener. 1995. Comparative acute ammonia toxicity in marine fish and plasma ammonia response. Aquaculture 136, 181-194.
- Sammouth, S., E. R. Orbcastel, E. Gaset, G. Lemarie, G. Breuil, G. Marino, J. L. Coeurdacier, S. Fivelstad and J. P. Blancheton, 2009. The effect of density on sea bass *Dicentrarchus labrax* performance in a tank-based recirculating system. Aquacultural Engineering 40, 72-78.
- Sang Geun Yang, Seung Cheol Ji, Tae Seok Moon, Maeng Hyun Son, Kyong min Kim, Sung Pyo Hur, Chi Hoon Lee and Young Don Lee. 2014. Adaptive Characteristics of the Longtooth Grouper *Epinephelus bruneus* according to Stocking Density and Water Temperature. 2014. Korean J Fish Aquat Sci, 47(6), 847-852.
- Sang-Young So, Jun Wook Hur and Jeong-Yeol Lee. 2008.

Variation of Oxygen Consumption, Operculum Movement Number and Hemoglobin by Water Temperature Change in Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss*. Korean Journal of Ichthyology. Vol. 20, No.4, 239-247.

Seok Seo, Eun Ji Choi and JeongHwan Park. 2019. Acute Nitrate Nitrogen Toxicity in Juvenile black Seabream *Acanthopagrus schlegelii*. 2019. Korean J Fish Aquat Sci, 52(3), 268-273.

Seong KT, Hwang JD, Han IS, Go WJ, Suh YS and Lee JY. 2010. Characteristic for long-term trends of temperature in the Koreans waters. J K Soc Mar Environ 16, 353-360.

Suh, K.H., B.J. Kim and I.G. Jeon. 2001. Design and Development of Intergrated Recirculating Aquaculture System. J. Kor. Fish. Soc., 34: 70-76.

Tidwel, J. H., C. D. Webster and S. D. Coyle, 1996. Effects of dietary protein level on second year growth and water quality for largemouth bass *Micropterus salmoides* raised in ponds. Aquaculture 145:213-223.

Weirich, C. R. and M. A. Riche, 2006. Tolerance of juvenile black sea bass *Centropristis striata* to acute ammonia and nitrite exposure at various salinities. Fisheries Science 72, 915-921.

Yamamoto T. Shima T. Furuita H. Sugita T. and Suzuki N. 2007. Effects of feeding time, water temperature, feeding frequency and dietary composition on apparent nutrient digestibility in

rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and common carp *Cyprinus carpio*. Fish Sci 73, 161-170. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2007.01314.x>.

Yoon, S. J. and G. S. Park. 2011. Ecotoxicological effects of the increased suspended solids on marine benthic organisms, Journal of the Environmental Sciences, Vol. 20, pp. 1383-1394.

강덕영, 한형균, 전창영. 2004. 농어, *Lateolabrax japonicus* 유어의 성장에 있어 사육 수온의 영향. 한국양식학회지, 17(4), 240-245

김인배. 2000. 어류양식학. 도서출판구덕. 부산. 433pp.

하경자, 하은호, 류철상, 전은희. 2004. 1909년 이후의 우리나라 4대 도시의 기온 경향과 극한 기후. 한국기상학회지. 40(1),pp.1-16.