

저수온기 참돔(*Pagrus major*) 절식에 따른 생존과 생리적 반응

이다연 · 박태진 · 김창윤 · 도용현*

국립수산과학원 양식연구과

Effects of Starvation on Survival and Physiological Response in Red Sea Bream *Pagrus major* under Low Water Temperature

Da-Yeon Lee, Taejin Park, Chang Yun Kim and Yong Hyun Do*

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

This study investigated the effects of re-feeding after starvation on survival, growth performance, and physiological responses in red sea bream *Pagrus major* under low water temperature. The experiment included a feeding group that was continuously fed and a starvation group that fasted from February to April, followed by re-feeding from May to July. During the fasting period, the starvation group lost 12.3% body weight, whereas the feeding group showed a modest weight gain 2.6%. During re-feeding the starvation group exhibited nearly twice the weight gain of the feeding group, indicating rapid compensatory growth. By the end of the experiment the final body weights were 934 ± 82 g and 930 ± 54 g with no significant difference between groups. The survival rate of the starvation group was 70%, 6% higher than that of the feeding group (64%). These results suggest that refeeding after a fasting period under low water temperatures induces compensatory growth in *P. major* without negatively affecting final growth, supporting its use as a beneficial aquaculture strategy.

Keywords: Red sea bream, Low water temperature, Starvation, Re-feeding, Compensatory growth

서론

어류 양식에서 먹이는 성장과 생존에 영향을 미치는 주된 생리학적 지표와 관련이 있으며(López-Olmeda et al., 2012), 이러한 생리학적 지표는 다양한 생물학적 요인(연령, 성별, 사료 구성성분, 및 건강 상태 등)과 환경적(수온, 염분 등) 요인에 따라 결정된다(Furne et al., 2005). 하지만 어류를 포함한 해양생물은 다양한 수중 환경에서 발생할 수 있는 먹이 부족 현상으로 자연적인 절식 시기를 가질 수 있다(Caruso et al., 2011). 이러한 자연적인 절식현상은 조식, 계절적 주기, 및 장기적인 생태계 변화로 발생할 수 있다(McCue, 2010). 또한 어류양식에서 질병으로 인한 폐사를 감소시키거나(Shoemaker et al., 2003), 수질 문제와 핸들링 스트레스를 줄이기 위한 관리전략으로 단기간 동안 절식을 수행하기도 한다(Davis and Gaylord, 2011). 국내 양식산업에서도 동절기의 저수온, 하절기의 고수온, 및 적조 등의 피해를 최소화하기 위한 대응 방안으로 인위적인 절식

을 감행한다(Lee et al., 2016; Kim et al., 2017).

어류는 절식기간 동안 기본 신진대사를 유지하기 위해 체내에 저장된 에너지를 주로 이용하기 때문에 생존이 가능하다(Love, 1970; Weatherley and Gill, 1987). 어류를 비롯한 수생 종의 변온동물은 100일 이상의 장기간 절식에도 생존하는 것으로 나타났다으며, 동일 기간 동안 항온동물은 소수 종에서만 생존이 가능한 것으로 보고된 바 있다(McCue, 2010). 이는 변온동물이 항온동물에 비해 10–20% 더 적은 에너지를 필요로 하기 때문이다(Hulbert and Else, 2000; Wu et al., 2004; McCue, 2010). 선행연구에 따르면 어류의 단기간 절식은 사료효율 개선, 질병 관리, 수질 개선, 및 사료비 절감에 효과적인 것으로 보고된 바 있다(Lovell, 1998; Caruso et al., 2011). 특히 어류 양식시 사료비 절감을 위한 하나의 방안으로 보상성장(compensatory growth)의 장점을 활용한 다양한 연구들이 보고된 바 있다(Jobling and Koskela, 1996; Gaylord and Gatlin, 2001; Ali et al., 2003). 보상성장은 일정 기간 동안 사료 부족 등의 이유로 절식한 어

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2422 Fax: +82. 51. 720. 2439

E-mail address: hyun5719@korea.kr



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

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2025.0289>

Korean J Fish Aquat Sci 58(4), 289-295, August 2025

Received 15 May 2025; Revised 17 June 2025; Accepted 9 July 2025

저자 직위: 이다연(연구원), 박태진(연구원), 김창윤(연구원), 도용현(연구사)

류가 충분한 영양을 공급받았을 때, 정상적으로 섭식활동을 한 개체와 유사하거나 더 빠른 성장을 보이는 현상을 의미한다(Wilson and Osbourn, 1960; Jobling and Johansen, 1999; Ali et al., 2003). 보상성장은 어류(Tian and Qin, 2003; Robert et al., 2006), 새우류(Wu and Dong, 2002), 오징어류(Vidal et al., 2006) 등 다양한 수중생물을 대상으로 연구가 수행되어져 왔다. 그러나 저수온기 실내 사육시 절식 및 사료 재공급을 통한 보상성장에 관한 연구는 미비한 실정이다.

참돔(*Pagrus major*)은 남해안 해상가두리에서 주로 양식되고 있는 품종으로 2024년에는 6,485 ton (전국 어류 양식생산량의 7.9%)이 생산되었다(KOSIS, 2024). 참돔은 수온이 15°C 이하로 하강할 경우 식욕과 활동성이 감소하며, 20°C 이상에서는 생리 대사가 활발해져 사료 섭취가 증가하고 성장 속도가 빠른 것으로 보고된 바 있다(Choi et al., 2008). 또한 여름철(고수온기)보다 겨울철(저수온기)에 생리활성이 저하되며, 8.6°C 이하 저수온이 6시간동안 지속되면 100% 폐사 하는 것으로 보고된 바 있다(Yoon, 2021). 일반적으로 양식현장에서는 겨울철 사료공급을 중단하거나 소량만을 공급하여 관리하고 있으나, 사료공급에 따른 생존 및 건강도에 대한 과학적 근거자료가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 저수온기 절식 및 사료 재공급 따른 참돔의 성장, 생존, 및 건강도를 평가하여 양식현장에서 활용 가능한 과학적 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

실험어 및 실험조건

본 실험에 사용된 참돔은 해상가두리에서 사육 중이던 개체를 2022년 1월에 국립수산물품질관리원 남동해수산연구소 생물사육실 내 사육수조(1,000 L)에 입식하였다. 저수온기 참돔 절식에 따른 생존과 생리적 반응을 관찰하기 위해 섭식구(feeding group) 및 절식구(starvation group)로 실험조건을 설정하여, 각 수조당 25마리씩(평균 체중 748.4 g, 입식밀도 18.7 kg/m³) 2반복으로 수용하였다. 실내 사육수조에 수용한 후, 1개월간 순치기간을 가졌으며, 2월부터 사료 공급 및 절식에 의한 영향을 조사하였다. 절식구는 저수온기인 2월부터 4월까지 절식한 후 수온이 상승한 5월부터 7월까지 사료를 공급하였으며, 섭식구는 지속적으로 사료를 공급하였다. 실험기간 동안 사육수온은 자연해수 조건에 따라 사육하였다(Fig. 1). 실험기간 동안 상업용 EP 사료(Cargil Agri Purina Inc., Seongnam, Korea)를 주 3회 반복공급하였으며, 사료의 주요 영양성분은 crude protein 52.0%, crude fat 10.0%, calcium 1.0%, crude ash 15.0%, crude fiber 3.0%, phosphorus 2.7%로 구성된 사료를 사용하였다.

생존율 및 성장

성장도 측정은 매일 각 수조로부터 모든 개체를 포획하여 MS-222 (Sigma, St. Louis, MO, USA) 100 ppm으로 마취 후

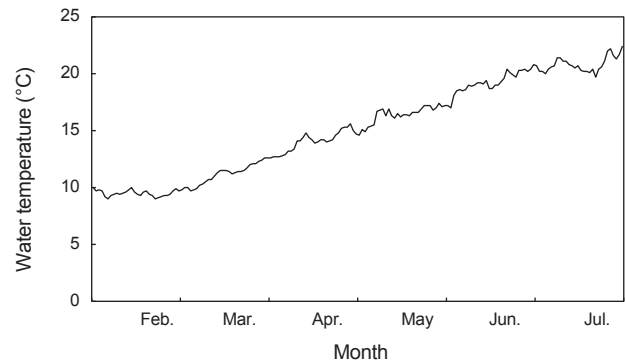


Fig. 1. Changes in water temperature during the experimental period.

체중을 측정하였다. 측정 후 생존율, 사료효율, 사료섭취량, 증체율 및 일간성장률을 계산하였다.

생존율(Survival, %)=

(Number of fish at the end of the trial/number of fish at the beginning of the trial) × 100

사료효율(Feed efficiency, %)=

Weight gain/total feed intake × 100

사료섭취량(Feed intake, g/fish)=

Total feed intake/number of surviving fish

증체율(Weight gain, %)=

(Final body weight-initial body weight)/initial body weight × 100

일간성장률(Specific growth rate, %/day)=

[ln(final weight of fish)-ln(initial weight of fish)]/days of experimental period × 100

혈액 분석

생리학적 반응을 조사하기 위해 매일 모든 수조로부터 5마리의 실험어를 무작위로 포획하여 즉시 마취(Tricaine Methanesulfonate, MS-222; Sigma; 100 ppm)시킨 후, heparin sodium 처리된 주사기(3 mL)를 사용하여 실험어의 미부혈관으로부터 혈액을 채취하였다. 혈액의 일부는 hematocrit (Ht) 측정에 사용하였으며, 나머지는 원심분리(4°C, 8,000 rpm, 10 min)한 후 혈장을 분리하여 분석 전까지 -80°C의 초저온 냉동고에 보관하였다. Ht은 혈액을 모세유리관에 넣어 원심분리(8,000 rpm, 10 min)한 후, Ht 측정판(Micro-Hematocrit Reader; Hawksley Co., UK)을 이용하여 측정하였다. 혈장의 glucose, total protein (TP), glutamic oxaloacetic transaminase (GOT) 및 glutamic pyruvic transaminase (GPT)는 자동생화학분석기(Dri-chem 7000i; Fuji, Tokyo, Japan)로 측정하였다.

통계 분석

모든 분석 결과는 SPSS version 20.0 software (IBM, Armonk, NY, USA)를 이용하여 독립표본 t-test를 실시하여 실험구간의 유의성을 검정하였다($P < 0.05$).

결과 및 고찰

생존율 및 성장

본 실험에서 절식 기간 동안 섭식구와 절식구의 생존율은 각각 96%와 98%로, 절식구에서 2% 높은 생존율을 보였다(Table 1). 이전 연구에서도 4주간 절식시킨 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 생존율은 93.8% (Park et al., 2006), 9주간 절식시킨 벵게돔의 생존율은 96.4% (Park et al., 2002)로 보고된 바 있으며, 이는 단기간의 절식이 어류의 생존율에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 본 연구 결과 실험 종료 시 절식 후 사료를 재공급한 실험구의 최종 생존율은 $70.0 \pm 14.1\%$ 로 $64.0 \pm 11.3\%$ 의 섭식구보다 6% 높게 나타났지만 유의적인 차이는 나타나지 않았다($P > 0.05$). 이와 유사하게 Kim et al. (2017)에서는 6주간 절식 후 4주간 사료를 공급한 실험에서 참돔의 생존율이 섭식구에서는 94.4% 절식 후 사료를 공급한 실험구에서는 98.1%로 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 이러한 결과는 일정 기간의 절식은 참돔의 생존율에 부정적인 영향을 미치지 않으며, 절식 후 사료 재공급시 생존율에 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 하지만 본 연구에서는 섭식구와 절식구 모두에서 실험 기간 동안 폐사율이 점차 증가하였으며, 2개월째부터 점진적인 폐사가 관찰되었으나 급격한 폐사나 질병 징후는 나타나지 않았다. 이는 저수온에 민감한 참돔이 수온상승기에 저수온 스트레스에서 회복되지 못하고, 채혈 등 실험적 조작에 따른 누적된 스트레스에 의해 폐사가 유발된 것으로 판단된다.

절식 기간 동안의 평균 체중은 섭식구 770 ± 7 g, 절식구 653 ± 26 g으로 나타났으며, 증체율은 섭식구는 $2.6 \pm 3.5\%$, 절식구는 $-12.3 \pm 5.3\%$ 로 절식으로 인해 절식구의 체중이 감소하

였다(Fig. 2). 선행연구에 따르면 어류는 절식 시에도 정상적인 신체활동을 유지하기 위해 에너지대사(glycogen, fat, protein)를 증가시켜 체중이 감소하는 것으로 보고된 바 있다(Navarro and Gutierrez, 1995). 사료효율은 섭식구와 절식 후 사료를 재공급한 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Table 1). 사료섭취량은 절식 후 사료를 재공급한 실험구에서 723 ± 74 g/fish, 섭식구에서 664 ± 101 g/fish로 나타났으며, 절식 후 사료를 재공급한 실험구가 섭식구보다 59 g/fish 더 높게 나타났고, 절식구의 증체율은 $42.6 \pm 13.9\%$ 로 섭식구 $21.3 \pm 11.7\%$ 보다 약 2배 높게 나타났다. 일간성장률은 섭식구에서 $0.340 \pm 0.17\%$, 절식 후 사료를 재공급한 실험구에서 $0.629 \pm 0.17\%$ 로 나타났으며, 두 실험구간의 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 총 실험 기간 동안 섭식구와 절식구의 최종 체중은 각각 934 ± 82 g과 930 ± 54 g으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$). 이는 절식구에서 재급이 기간 동안 섭식구보다 더 많은 사료를 섭취함으로써 보상성장이 이루어진 것으로 해석된다. 본 연구결과와 유사하게 European sea bass *Dicentrarchus labrax*, tinfoil barb *Barbonymus schwanenfeldii* 및 red sea bream *P.*

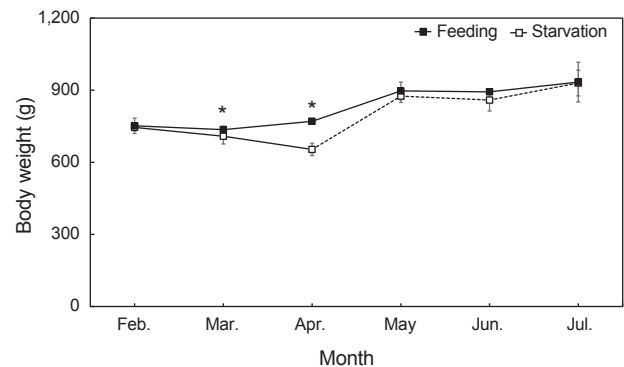


Fig. 2. Monthly changes of body weight in red sea bream *Pagrus major*. Asterisks indicate signification difference between feeding and starvation ($P < 0.05$). Dotted line indicate April to July of re-feeding.

Table 1. Effects of feeding and starvation on growth performance and survival of red sea bream *Pagrus major*

Factors	Starvation period		Re-feeding period		Total period	
	Feeding	Starvation	Feeding	Starvation	Feeding	Starvation
Survival (%)	96.0 $\pm$ 0.0	98.0 $\pm$ 2.8	66.7 $\pm$ 11.8	71.3 $\pm$ 12.4	64.0 $\pm$ 11.3	70.0 $\pm$ 14.1
IBW ¹ (g)	752 $\pm$ 32	745 $\pm$ 15	770 $\pm$ 7*	653 $\pm$ 26	752 $\pm$ 32	745 $\pm$ 15
FBW ² (g)	770 $\pm$ 7*	653 $\pm$ 26	934 $\pm$ 82	930 $\pm$ 54	934 $\pm$ 82	930 $\pm$ 54
FE ³ (%)	58.9 $\pm$ 27.2	-	103 $\pm$ 13	110 $\pm$ 9	93.5 $\pm$ 4.7	91.3 $\pm$ 20.5
FI ⁴ (g/fish)	87.2 $\pm$ 2.1	-	578 $\pm$ 52	664 $\pm$ 101	723 $\pm$ 74	677 $\pm$ 104
WG ⁵ (%)	2.6 $\pm$ 3.5	-12.3 $\pm$ 5.3	21.3 $\pm$ 11.7	42.6 $\pm$ 13.9	24.6 $\pm$ 16.3	24.8 $\pm$ 4.7
SGR ⁶ (%)	0.045 $\pm$ 0.06	0.235 $\pm$ 0.11	0.340 $\pm$ 0.17	0.629 $\pm$ 0.17	0.145 $\pm$ 0.09	0.148 $\pm$ 0.03

¹IBW, Initial body weight. ²FBW, Final body weight. ³FE, Feed efficiency. ⁴FI, Feed intake. ⁵WG, Weight gain. ⁶SGR, Specific growth rate. Asterisks indicate signification difference between feeding and starvation ($P < 0.05$).

*major*에서도 절식 후 사료공급시 섭식구보다 사료섭취량이 유의적으로 높게 나타났다(Oh et al., 2007; Eslamloo et al., 2012; Adaklı and Tasbozan, 2015). 보상성장은 절식 기간 이후 사료 재공급을 통해 성장 속도가 유사하거나 더 빠르게 나타나는 현상으로 hybrid tilapia *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus* (Wang et al., 2000), brown trout *Salmo trutta* (Bayir et al., 2011), golden pompano *Trachinotus ovatus* (Liu et al., 2022) 및 common carp *Cyprinus carpio* (Feng et al., 2025) 등의 어류에서도 절식 기간 후 사료 재공급을 통한 보상성장에 관한 연구가 활발히 이루어져 있다(Hung et al., 1997).

혈액분석

혈액분석은 어류의 영양 및 생리상태를 확인할 수 있는 지표로 저수온기 절식 및 급이에 따른 참돔의 건강도와 생리변화를 평가하고자 실시하였다. Ht은 어체의 산소운반 능력 및 스트레스와 생리활성 지표로 사용된다(Davis and Parker, 1990). 본 연구에서 Ht은 4월에 섭식구와 절식구가 각각 $37 \pm 2.6\%$, $33 \pm 1.7\%$ 로 나타나 섭식구가 절식구에 비해 유의적으로 높게 나타났으며, 또한 절식 후 사료를 재공급한 7월에도 섭식구($42 \pm 1.2\%$)가 절식구($39 \pm 1.1\%$)에 비해 유의적으로 높게 나

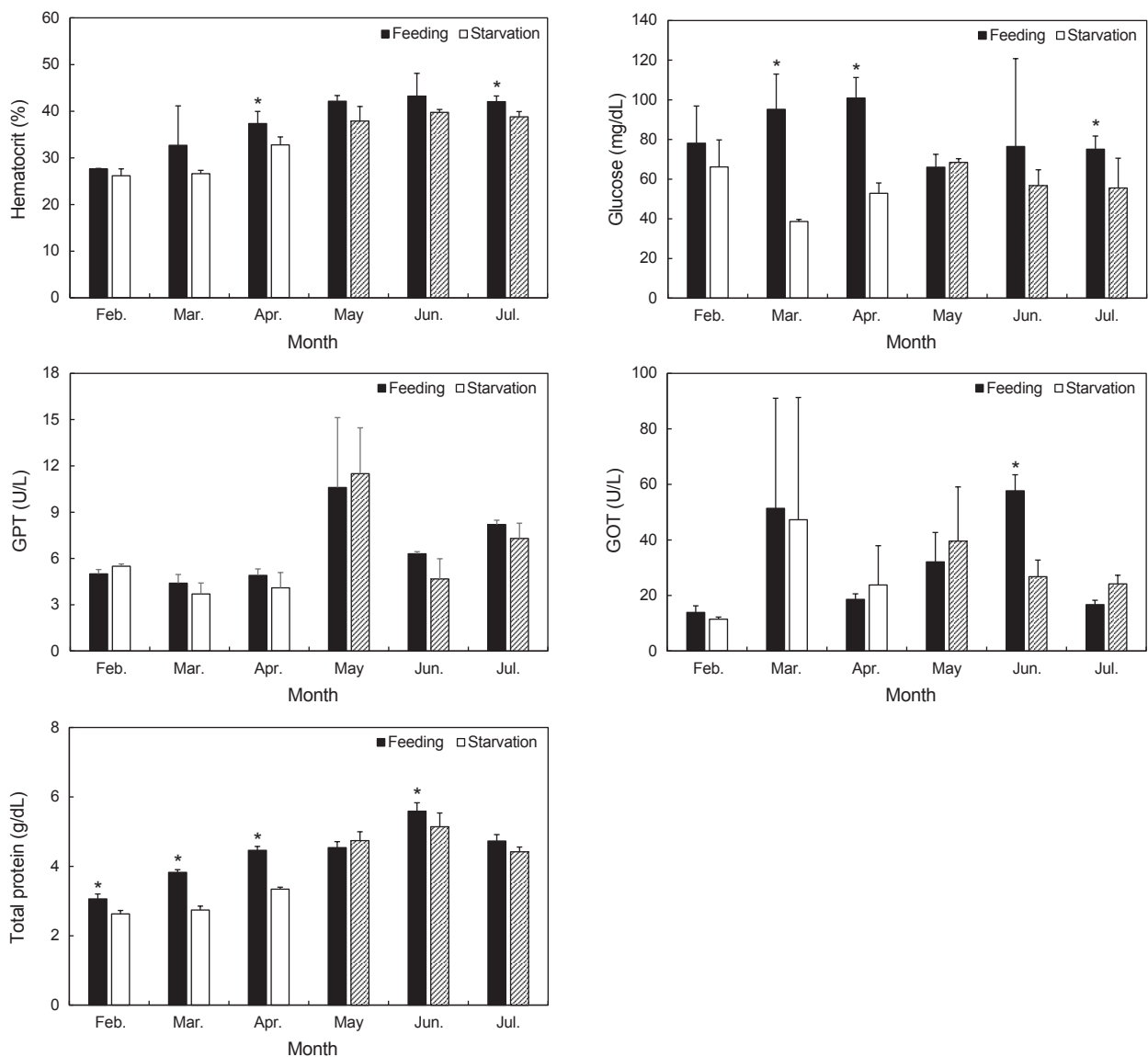


Fig. 3. Monthly changes in hematocrit (A), glucose (B), glutamic pyruvic transaminase (C), glutamic oxaloacetic transaminase (D), total protein (E) levels in red sea bream *Pagrus major*. The asterisk indicates significant differences between two groups at the same sampling point ($P < 0.05$). Diagonal line indicate April to July of re-feeding.

타났다($P<0.05$). 그러나 4월과 7월을 제외한 나머지 기간에는 실험구간 유의적인 차이가 나타나지 않아 절식과 절식 이후 사료공급이 Ht에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다(Fig. 3A). 본 연구와 유사하게 red porgy *P. pagrus*에서도 섭식구와 절식 후 사료를 공급한 실험구간의 Ht 차이가 나타나지 않았다 (Caruso et al., 2011).

본 연구에서 혈장 내 glucose는 3월에 섭식구와 절식구가 각각 95 ± 17.8 mg/dL, 39 ± 1 mg/dL로 나타났으며, 4월에는 각각 101 ± 10.3 mg/dL, 53 ± 5.2 mg/dL로 나타났다($P<0.05$). 절식 기간(저수온기) 동안 섭식구는 절식구에 비해 glucose 수치가 높게 나타났으며, 수온이 15°C 이상으로 상승함에 따라 점차 감소하는 경향을 나타냈다. 반면, 절식구는 절식 기간 동안 낮은 glucose 수치를 나타냈으나, 사료 재공급 이후 섭식구와 유사한 수준으로 회복되었다(Fig. 3B). Couto et al. (2008)의 연구에 따르면, gilthead sea bream *Sparus aurata*은 저수온 조건에서 glucose 대사 관련 효소인 glucokinase와 pyruvate kinase의 활성이 저하되는 것으로 보고된 바 있습니다. 이와 유사하게 본 연구에서도 저수온기 동안 대사 효소 활성이 저하되어 혈중 glucose가 효과적으로 조절되지 못하였으나, 수온 상승과 함께 대사 활성이 회복되어 혈중 glucose 수치가 적정 수준으로 조절된 것으로 판단된다.

GPT 및 GOT는 간세포의 손상이나 괴사와 같은 간 장애의 지표로 사용되며, 특히 어류의 스트레스 지표로 사용된다(Gambardella et al., 2012). GPT는 모든 실험구간 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$) (Fig. 3C). 이와는 다르게 선행연구에 따르면 GPT 수치가 섭식구에 비해 절식구가 높게 나타났으나, 절식 후 사료공급 시 GPT 수치가 감소하는 것으로 보고된 바 있다(Kim et al., 2017). GOT는 6월에 섭식구와 절식 후 사료를 공급한 실험구가 각각 58 ± 5.8 U/L, 27 ± 5.9 U/L로 나타나 섭식구가 절식 후 사료를 공급한 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$). 하지만 6월을 제외하고는 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않아 절식이 GPT 함량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다(Fig. 3D).

TP는 절식 기간에는 절식구에 비해 섭식구가 유의적으로 높게 나타났으며, 사료 재공급 기간에는 6월에 섭식구가 절식구에 비해 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$) (Fig. 3E). 절식이 TP 함량에 영향을 주어 TP 함량이 감소하였지만 사료 재공급 이후 절식구의 TP 함량은 섭식구와 유사한 수준으로 회복되어, 넙치 (*P. olivaceus*)와 연어류(Salmonids)의 결과와 유사하게 나타났다(Congleton and Wagner, 2006; Kim et al., 2014). 또한 Mozanadeh et al. (2017)는 지속적으로 사료를 공급한 실험구와 절식 후 사료를 공급한 실험구 사이에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 따라서 절식에 따라 TP 함량이 감소할 수 있으나, 사료 재공급시 정상 수준으로 회복될 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구 결과 저수온기(2-4월) 절식구의 증체율은 -12.3%로 절식에 따른 체중 감소가 나타났으나, 지속적으로 사료를 공급

한 섭식구의 증체율도 2.6%로 낮은 수준으로 나타났다. 절식 후 사료를 재공급한 기간 동안 증체율은 섭식구 21.3%, 절식구 42.6%로 나타났으며, 최종 체중은 각각 약 934 g, 930 g으로 유의적인 성장차이가 나타나지 않았다. 이는 섭식에 따른 보상 성장이 관찰되어, 저수온기 절식이 참돔의 성장에 부정적인 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 그러나 본 연구는 실제 양식 현장 조건을 최대한 반영하고자 750 g 이상의 참돔을 대상으로 수행되었으며, 이로 인해 사육 공간 및 수조 수의 물리적 제약으로 반복수(n=2) 확보에 한계가 있었다. 따라서 저수온기 참돔의 생물학적 반응에 대한 경향성을 파악하였으며, 향후 저수온기 생물 관리 방안 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국립수산물연구원 수산과학연구 “주요 양식품종 모니터링 연구(R2025045)”에 의하여 수행되었습니다.

References

- Adakli A and Tasbozan O. 2015. The effects of different cycles of starvation and refeeding on growth and body composition on European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Turk J Fish Aquat Sci 15, 419-427. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v15_2_28.
- Ali M, Nicieza A and Wootton RJ. 2003. Compensatory growth in fishes: A response to growth depression. Fish Fish 4, 147-190. <https://doi.org/10.1046/j.1467-2979.2003.00120.x>.
- Bayir A, Sirkecioglu AN, Bayir M, Haliloglu HI, Kocaman EM and Aras NM. 2011. Metabolic responses to prolonged starvation, food restriction, and refeeding in the brown trout, *Salmo trutta*: Oxidative stress and antioxidant defenses. Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol 159, 191-196. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2011.04.008>.
- Caruso G, Denaro MG, Caruso R, Mancari F, Genovese L and Maricchiolo G. 2011. Response to short term starvation of growth, hematological, biochemical and non-specific immune parameters in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and blackspot sea bream (*Pagellus bogaraveo*). Mar Environ Res 72, 46-52. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2011.04.005>.
- Choi HS, Jung SH, Hur YB and Yang JY. 2008. Study on the winter mass mortality of red sea bream, *Pagrus major* in south sea area. J Fish Pathol 21, 35-43.
- Congleton JL and Wagner T. 2006. Blood-chemistry indicators of nutritional status in juvenile salmonids. J Fish Biol 69, 473-490. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2006.01114.x>.
- Couto A, Enes P, Peres H and Oliva-Teles A. 2008. Effect of water temperature and dietary starch on growth and metabolic utilization of diets in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) ju-

- veniles. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 151, 45-50. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2008.05.013>.
- Davis KB and Gaylord TG. 2011. Effect of fasting on body composition and responses to stress in sunshine bass. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 158, 30-36. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.08.019>.
- Davis KB and Parker NC. 1990. Physiological stress in striped bass: Effect of acclimation temperature. *Aquaculture* 91, 349-358. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90199-W](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90199-W).
- Eslamloo K, Morshedi V, Azodi M, Ashouri G, Ali M and Iqbal F. 2012. Effects of starvation and re-feeding on growth performance, feed utilization and body composition of tinfoil barb (*Barbonymus schwanenfeldii*). *World J Fish Mar Sci* 4, 489-495. <https://doi.org/10.5829/idosi.wjfm.2012.04.05.6465>.
- Feng W, Li J, Xu Y, Jiang G, Su S, Zhang Z, Jia R and Tang Y. 2025. Effects of starvation-refeeding on antioxidant status, metabolic function, and adaptive response in the muscle of *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 602, 742372. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.742372>.
- Furne M, Hidalgo MC, Lopez A, Farcia-Gallego M, Morales AE, Domezain A, Domezaine J and Sanz A. 2005. Digestive enzyme activities in Adriatic sturgeon, *Acipenser naccarii* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 205, 391-398. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.05.017>.
- Gambardella C, Gallus L, Amaroi A, Terova G, Masini MA and Ferrando S. 2012. Fasting and re-feeding impact on leptin and aquaglyceroporin 9 in the liver of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 354-355, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.043>.
- Gaylord TG and Gatlin III DM. 2001. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 194, 337-348. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00523-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00523-8).
- Hulbert AJ and Else PL. 2000. Mechanisms underlying the cost of living in animal. *Annu Rev Physiol* 62, 207-235. <https://doi.org/10.1146/annurev.physiol.62.1.207>.
- Hung SSO, Liu W, Li H, Storebakken T and Cui Y. 1997. Effect of starvation on some morphological and biochemical parameters in white sturgeon, *Acipenser transmontanus*. *Aquaculture* 151, 357-363. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01506-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01506-2).
- Jobling M and Johansen SJS. 1999. The lipostat, hyperphagia and catch-up growth. *Aquac Res* 30, 473-478. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1999.00358.x>.
- Jobling M and Koskela J. 1996. Interindividual variations in feeding and growth in rainbow trout during restricted feeding and in subsequent period of compensatory growth. *J Fish Biol* 49, 658-667. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1996.tb00062.x>.
- Kim JH, Jeong MH, Jun JC and Kim TI. 2014. Changes in hematological, biochemical and non-specific immune parameters of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, following starvation. *Asian Australas J Anim Sci* 27, 1360-1367. <https://doi.org/10.5713/ajas.2014.14110>.
- Kim WJ, Won KM, Shin YK and Lee JY. 2017. Change of growth and blood characteristics on starvation of red seabream *Pagrus major* cultured in marine net cage in summer. *Korean J Ichthyol* 29, 165-175.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). General Table of Fishery Production Trends. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?conn_path=K2&tblId=DT_1EW0001&orgId=101 on Dec 13, 2024.
- Lee JY, Lee JH and Hur JW. 2016. Effect of starvation on survival and physiological response in red seabream *Pagrus major* in summer. *Korean J Fish Aquat Sci* 49, 620-627. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0620>.
- Liu B, Guo HY, Liu BS, Zhang N, Yang JW, Guo L, Jiang SG and Zhang DC. 2022. Starvation and refeeding influence the growth, biochemical index, intestinal microbiota, and transcriptomic profiles of golden pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus 1758). *Front Mar Sci* 9, 998190. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.998190>.
- López-Olmeda JF, Noble C and Sanchez-vazquez FJ. 2012. Does feeding time affect fish welfare. *Fish Physiol Biochem* 38, 143-152. <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9523-y>.
- Love RM. 1970. Depletion, in the chemical biology of fishes with a key to the chemical literature. Academic Press, London, U.K., 222-257.
- Lovell T. 1998. Nutrition and Feeding of Fish, 2nd edn. Kluwer Academic Publishers, Boston, London, U.K., 1-267.
- McCue MD. 2010. Starvation physiology: Reviewing the different strategies animals use to survive a common challenge. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 156, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.01.002>.
- Mozanzadeh MT, Marammazi JG, Yaghoubi M, Yavari V, Agh N and Gisbert E. 2017. Somatic and physiological responses to cyclic fasting and re-feeding periods in sobaity sea bream (*Sparidenthes hasta*, Valenciennes 1830). *Aquac Nutr* 23, 181-191. <https://doi.org/10.1111/anu.12379>.
- Navarro I and Gutierrez J. 1995. Chapter 17. Fasting and starvation. In: Biochemistry and Molecular Biology in Fishes. Volume 4. Hochachka PW and Mommsen TP, eds. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 393-434.
- Oh SY, Noh CH and Cho SH. 2007. Effect of restricted feeding regimes on compensatory growth and body composition of red sea bream *Pagrus major*. *J World Aquac Soc* 38, 443-449. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00116.x>.
- Park IS, IM JH, Jeong CH, Noh JK, Kim YH and Lee YH. 2002. Effect of starvation on some nutritional parameters in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry): 2. Characteristics of the morphometric changes in the sectioned body. *Korean J Ichthyol* 14, 11-18.
- Park IS, Woo SR, Kim EM and Cho SH. 2006. Effect of feeding and starvation on growth and phenotypic trait in olive

- flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temmincket Schlegel). J Aquac 19, 183-187.
- Robert CR, Millie BW and Brien JJ. 2006. Influence of repetitive periods of fasting and satiation feeding on growth and production characteristics of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. Aquaculture 254, 506-516. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.10.043>.
- Shoemaker CA, Klesius PH, Lim PH and Yildirim M. 2003. Feed deprivation of channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), influences organosomatic indices, chemical composition and susceptibility to *Flavobacterium columnare*. J Fish Dis 26, 553-561. <https://doi.org/10.1046/J.1365-2761.2003.00489.x>.
- Tian X and Qin JG. 2003. A single phase of food deprivation provoked compensatory growth in barramundi *Lates calcarifer*. Aquaculture 224, 169-179. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00224-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00224-2).
- Vidal ÉAG, DiMarco P and Lee P. 2006. Effects of starvation and recovery on the survival, growth and RNA/DNA ratio in loliginid squid paralarvae. Aquaculture 260, 94-105. <https://doi.org/10.1016/J.Aquaculture.2006.05.056>.
- Wang Y, Cui Y, Yang Y and Cai F. 2000. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus*×*O. niloticus*, reared in sea water. Aquaculture 189, 101-108. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00353-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00353-7).
- Weatherley AH and Gill HS. 1987. 4. Protein, lipid and caloric content. In: The Biology of Fish Growth. Academic press, London, U.K., 139-146.
- Wilson PN and Osbourn DF. 1960. Compensatory growth after undernutrition in mammals and birds. Biol Rev 35, 324-361. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1960.tb01327.x>.
- Wu BJ, Hulber AJ, Storlien LH and Else PL. 2004. Membrane lipids and sodium pumps of cattle and crocodiles: An experimental test of the membrane pacemaker theory of metabolism. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol 287, 633-641. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00549.2003>.
- Wu L and Dong S. 2002. Effects of protein restriction with subsequent re-alimentation on growth performance of juvenile Chinese shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*). Aquaculture 210, 343-358. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00860-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00860-2).
- Yoon SJ. 2021. Critical low temperature and response of behavioral tolerance on red seabream *Pagrus major* fingerlings exposed to cold shock. J Korea Acad Ind 22, 575-584. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.1.575>.