

여름철 참돔(*Pagrus major*)의 절식에 따른 생존과 생리적 반응

이정용* · 이정환¹ · 허준욱¹

국립수산과학원 양식관리과, ¹(주)생물모니터링센터

Effect of Starvation on Survival and Physiological Response in Red Sea Bream *Pagrus major* in Summer

Jeong Yong Lee*, Jung Hwan Lee¹ and Jun Wook Hur¹

Aquaculture Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

¹Bio-Monitoring Center, Daejeon 34576, Korea

A 60-day experiment was conducted to determine the effect of feeding and starvation on the survival, growth, and blood parameters of red sea bream *Pagrus major*. The starved group was not fed during the first 32 days of the experiment and was then fed for 28 days. The growth rate of the starved fish group was significantly lower than that of the fed fish group. Starvation resulted in growth retardation and reductions in final body weight, growth rate, specific growth rate, and condition factor, whereas the fed fish group grew well and maintained a good condition. The growth rate of the starved group that was refeed was higher than that of the fed group. Red blood cells, hematocrit, and hemoglobin showed no significant differences between the fed and starved groups. The cortisol and glucose levels of the fed group of juveniles were higher than those of the starved group. The cortisol levels of the starved group of adults were higher than those of the fed group, whereas the glucose levels of the starved group were lower than those of the fed group. These results suggest that the survival, growth, and hematological parameters used to reflect starvation and feeding in this study provide a useful index of physiological response and survival rate in red sea bream.

Key words: Red sea bream, Starvation, Survival, Growth, Blood parameter

서 론

자연에서 어류들은 계절적인 월동(wintering), 산란이동(spawning migration) 혹은 지역적인 먹이 부족으로 인해 자연 절식(starvation) 시기를 거치게 되며, 이러한 절식은 짧게 수주부터 수달에 이를 수 있다(Love, 1970; Weatherley and Gill, 1987). 이와 같은 절식시의 어류는 생화학적 방법, 생리학적 방법 그리고 행동학적 방법으로 절식을 극복하고 견딜 수 있으며, 절식 시 어체는 생체 내의 내생적(endogenous) 축적에너지를 소모하여 항상성을 유지하고, 이러한 체조직 저장 에너지의 사용은 성장 감소(degrowth)로 나타나며, 어체의 화학적 조성과 수분함량에서의 변화와 어체 축적 에너지변화를 동반한다(Weatherley and Gill, 1987; Park, 2004). 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*) 및 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 절식 실험

시 체중과 조직 중량 조사 그리고 비만도 조사와 아울러 심장, 비장, 간, 장, 피부, 복강, 지방 및 내장피 제거 체중이 분석된 바 있다(Weatherley and Gill, 1981; Woo, 2005).

혈액성상 또한 절식 시 다양한 반응을 보여, 절식 시 혈액 내 glucose 농도에 대하여 Atlantic cod (*Gadus morhua*), European eel (*Anguilla anguilla*), 강꼬치고기(*Esox lucius*) (Ince and Thorpe, 1976; Larsson and Lewander, 1973; Karma, 1966), 밀복 (*Opsanus tau*), goldfish (*Carassius auratus*) 및 American eel *Anguilla rostrata* (Tashima and Cahill, 1968; Chavin and Young, 1970; Moon, 1983)을 대상으로 연구된 바 있다. 국내 주요 양식종인 넙치의 경우 절식에 따른 red blood cell (RBC), hematocrit (Ht), hemoglobin (Hb), glucose, cortisol과 같은 혈액성상 및 전해질(Na⁺, Cl⁻, K⁺)농도는 차이를 보이지 않았다고 보고된 바 있다(Woo, 2005). 또한 절식 시 혈장 내 유리지

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0620>



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

Korean J Fish Aquat Sci 49(5) 620-627, October 2016

Received 26 May 2016; Revised 9 September 2016; Accepted 21 September 2016

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2430 Fax: +82. 51. 720. 2439

E-mail address: lly1968@korea.kr

방산의 농도에 대하여 European eel, American eel (Larsson and Lewander, 1973; Moon, 1983), *O. mykiss*와 *E. lucius* (Weatherley and Gill, 1981; Ince and Thorpe, 1976) 및 *O. tau* (Tashima and Cahill, 1968)을 대상으로 절식 시 변화 양상에 대한 연구가 이루어졌다. 한편 *O. mykiss*와 *E. lucius* (Kawatsu, 1966; Ince and Thorpe, 1976)의 경우 절식 시 Ht가 감소하였고, Love (1970)는 이러한 Ht 감소는 어류의 적혈구 생성 능력을 감소시킬 수 있다고 하였다. 그러나 Larsson and Lewander (1973)은 European eel에서는 Ht의 감소현상이 나타나지 않는다고 보고하여 절식이 어류 생리에 미치는 영향에 관한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 여름철 적조나 25℃ 이상의 고수온기 대응하기 위한 방법 중 하나인 사료공급을 중단하는 인위적인 절식현상에 대한 생리적 반응을 평가 및 보완할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 실제 가두리양식장에서 절식에 따른 참돔 치어와 성어의 성장, 생존율 및 혈액성상의 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

실험어류

본 실험에 사용된 참돔(*Pagrus major*) 치어 및 성어는 2015년 7월 경상남도 남해군 미조면 남해도 수산가두리 양식장에서 사육하던 어류를 구입하였다. 이는 각각 활어 수송차량을 이용하여 국립수산물품질관리원 남해양식연구센터 가두리양식장으로 운반하여, 2주간 안정시키고 포식 및 절식실험에 사용하였다. 실험 시작 시 실험어의 평균 전장 및 체중을 digital vernier caliper (CD-20CP, Japan)와 전자저울(JW-1, Korea)을 사용하여, 0.1 cm 및 0.1 g까지 측정하였다.

실험조건 및 사육관리

국립수산물품질관리원 남해양식연구센터 해상가두리에서 약 3톤 용량의 가두리수조(120×130×200 cm)에 참돔치어는 수조당 100마리씩 수용하여 포식구(fed group)와 절식구(starved group)를 설정하였으며, 참돔 성어는 수조당 40마리씩 수용하여 포식구와 절식구를 2반복으로 사육하였다. 실험기간 중 수달 및 해적생물 등에 의한 피식을 방지하기 위하여 포식구와 절식구의 각 가두리 상면을 2×2 cm 망목의 그물로 덮었다. 실험기간중의 수온은 21.3-25.7℃로 나타났으며, dissolved oxygen는 7.3-9.8 mg/L 및 pH는 7.9-8.1로 참돔 사육에 지장이 없는 환경이었다.

포식구의 먹이공급에 사용된 사료는 crude protein 50%, crude fat 10%, crude fiber 5%, ash 18%, calcium 1% 및 phosphorus 2.7%의 조성으로 구성되어있는 사료(Cj CheilJedang Corp., Korea)를 사용하였다. 포식구는 하루 2회(9:00 및 18:00) 반복 시까지 사료를 공급하였다. 절식구는 실험기간 동안 사료를 주지 않았다.

본 실험 시작 후부터 실험종료 시까지 성장, 생존율 및 혈액성상 조사를 위하여 실험시작 시부터 4, 8, 16 및 32일째에 포식구와 절식구에서 각각 10마리씩 무작위로 표본 하였다. 32일간의 절식 및 포식 이후 60일째까지 포식구와 절식구에 사료를 공급하고 실험종료 시에 각 실험구에서 10마리씩 표본하여 회복능력을 분석하였다. 매 표본 시 포식구는 하루 전에 절식시킨 후 샘플 하였다.

생존율 및 성장분석

실험기간중의 생존율은 매일 죽은 개체를 파악하여 이로부터 누적생존율로 역산하였다. 실험시작 시와 실험종료 시에 표본된 포식구와 절식구, 각 10마리의 참돔치어 및 성어를 대상으로 성장항목을 파악하였으며, 각 개체를 대상으로 전장과 체중을 digital vernier caliper와 전자저울을 사용하여 각각 0.1 cm 및 0.1 g까지 측정하였다. 절식 32일째와 이후 사료를 공급하며 60일까지의 회복실험종료 후 전장성장률(growth rate for total length, GRL)과 체중성장률(growth rate for body weight, GRW)은 전장성장률(%)=(실험종료 시 평균전장-실험시작 시 평균전장)×100/실험시작 시 평균전장, 체중성장률(%)=(실험종료 시 평균체중-실험시작 시 평균체중)×100/실험시작 시 평균체중의 공식을 사용하여 계산하였다. 일일 성장률(specific growth rate, %)은 일일 성장률=(실험종료 시 총체중-실험시작 시 총체중)/사육일수, 비만도(condition factor)는 비만도=체중×100/전장³으로 계산하였다.

포식구를 대상으로 사료 섭취량(feed intake)은 사료 섭취량=소비된 사료의 건조중량/(사육일수×수용개체 수)의 공식으로, 일일 사료 섭취률(specific feeding rate)은 일일 사료 섭취률(%)=(사료공급량×100)/[(실험시작 시 총체중+실험종료 시 총체중+폐사개체 추정 총체중)/2] 공식으로, 그리고 사료전환 효율(feed conversion rate, %)은 사료전환효율=(일일 성장률×100)/일일 사료 섭취률) 공식으로 계산하였다.

혈액 채취 및 성분 분석

실험시작 시부터 4, 8, 16, 32 및 60일째에 포식구와 절식구에서 각 10마리의 참돔 치어 및 성어를 대상으로 혈액성상 분석을 실시하였다. 혈액은 20 IU/mL heparin sodium (Choongwae Pharmacy Corporation, Korea)을 처리한 주사기(23 G)를 사용하여 마취 없이 1분 이내에 미병부의 혈관에서 채혈하였다. 채혈된 혈액의 일부는 RBC, Ht, Hb 측정을 위해 즉시 분석에 사용하였으며, 나머지는 원심분리(14,000 g, 4℃, 10분) 후 혈장을 분석 전까지 -80℃에 보관하였다.

RBC, Ht, Hb는 Auto Hematology Analyzer BC-2800 Vet (MINDRAY, China)로 측정하였다. 혈장 cortisol은 Donaldson (1981)의 방법에 따라 Coat-A-Count TKCO Cortisol RIA Kit (DPC, USA)로 항원 및 항체반응을 유도한 다음, 1470 WIZARD Automatic Gamma Counter (Cobra II, Packard Co., USA)를 사용하여 radioimmunoassay (RIA)에 의해 측정하였다.

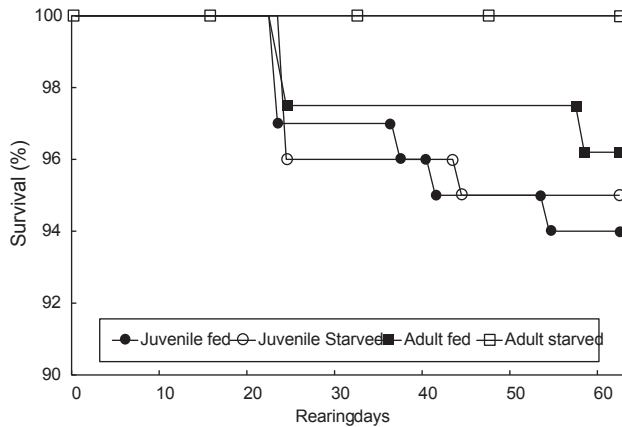


Fig. 1. Survival rate of red sea bream *Pagrus major* fed and starved for 60 days. Starved groups were starved for 32 days and then refed until 60 days.

다. Glucose는 혈당측정기(Johnson & Johnson Medical Korea Ltd., Korea)를 사용하여 측정하였으며, Na^+ , K^+ 및 Cl^- 는 elec-

trolyte analyzer i-Smart 30 vet (i-SENS Inc., Korea)을 사용하여 분석하였다.

통계처리

각 실험에서 얻어진 결과값 사이의 유의 차 유무는 SPSS-통계패키지(SPSS 18.0, SPSS Inc., USA)에 의한 ANOVA Duncan's multiple range test로 검정하였다.

결 과

생존율 및 성장분석

참돔 치어 포식구의 생존율은 23일째 폐사가 발생하여 실험 종료 시 생존율은 94.0%이었으며, 치어 절식구의 경우, 24일째 폐사가 발생하여 실험 종료 시 생존율은 95.0%였다. 참돔 성어 포식구는 23일째 폐사가 발생하여 실험 종료 시 96.2%의 생존율을 보였다. 참돔 성어 절식구는 실험시작 시부터 종료 시까지 100%의 생존율을 보였다(Fig. 1).

32일간의 절식 및 포식과 이후 사료급여에 따른 회복으로 인한 참돔치어 및 성어의 성장 관련 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. The change of growth of red sea bream *Pagrus major* fed and starved for 60 days

Items	Rearing days	Juvenile		Adult	
		Fed	Starved	Fed	starved
TL (mm)	0	72.6±3.2	72.6±3.2	204.8±17.3	204.8±17.3
	32	91.2±8.6	75.5±3.9	225.0±17.3	206.0±20.5
	60	107.8±21.4	95.4±3.0	242.4±15.1	221.0±15.8
BW (g)	0	7.0±0.9	7.0±0.9	147.5±33.4	147.5±33.4
	32	11.6±2.7	5.2±1.2	201.1±50.0	129.5±40.8
	60	20.3±8.4	12.5±3.2	271.2±18.2	180.5±34.2
GRL (%)	32	25.6±10.9	4.0±1.0	9.9±2.9	0.6±4.4
	60	18.2±5.7	26.4±1.9	7.7±4.5	7.3±2.0
GRW (%)	32	65.0±32.2	-26.0±8.1	36.3±6.4	-12.2±7.4
	60	75.0±17.4	139.6±7.1	34.8±11.2	39.4±7.8
Specific growth rate (%)	32	0.1±0.1	-0.1±0.0	1.7±0.3	-0.6±0.3
	60	0.3±0.2	0.2±0.2	2.2±0.1	1.6±0.3
Condition factor	32	1.5±0.1	1.2±0.2	1.8±0.1	1.5±0.1
	60	1.6±0.1	1.4±0.2	1.9±0.1	1.7±0.0
Feed intake (%)	32	1.4±0.1	-	3.3±0.1	-
	60	1.1±0.1	1.2±0.2	3.1±0.5	3.1±0.4
Specific feeding rate (%)	32	73.2±1.7	-	57.8±1.4	-
	60	71.2±3.0	69.6±3.1	43.0±6.6	58.3±9.4
Feed conversion rate (%)	32	0.3±0.1	-	3.3±0.6	-
	60	0.5±0.3	0.7±0.1	5.2±1.5	2.9±1.1

The values are mean±SD (Fed: $n=10$, Starved: $n=10$). Starved groups were starved for 32 days and then refed until 60 days. TL, Total length; BW, Body weight; GRL, Growth rate for total length; GRW, Growth rate for body weight.

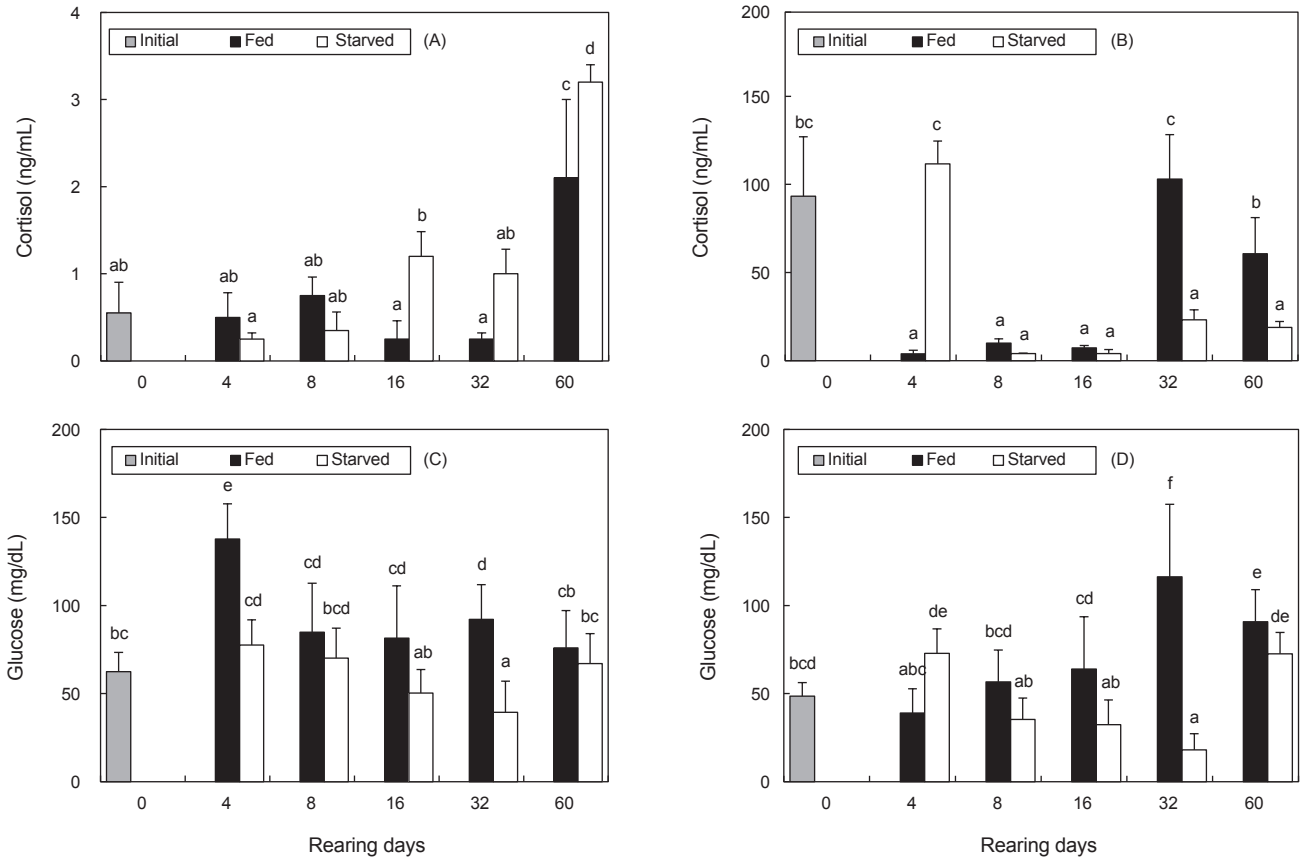


Fig. 2. Variations of cortisol and glucose levels in plasma of fed and starved groups in red sea bream *Pagrus major* for 60 days ($n=10$). Starved groups were starved for 32 days and then refed until 60 days. Different alphabetic letters on the bars means significantly different ($P>0.05$). (A): adult red sea bream, (B) : juvenile red sea bream, (C) : adult red sea bream, (D) : juvenile red sea bream.

참돔 치어 경우 포식구의 평균전장은 32일째 91.2 ± 8.6 mm로 실험 개시 시(72.6 ± 3.2 mm)에 비해 1.3배 증가 하였으나, 절식구의 평균전장은 75.5 ± 3.9 mm로 실험 개시 시와 큰 차이가 없었으며, 60일째 평균전장은 포식구와 절식구에서 각각 107.8 ± 21.4 mm와 95.4 ± 3.0 mm로 포식구가 높았다. 또한 참돔 치어의 평균체중은 32, 60일째 모두 포식구에서 각각 11.6 ± 2.7 g과 20.3 ± 8.4 g으로 절식구(5.2 ± 1.2 g, 12.5 ± 3.2 g)보다 높았다. 성장률(전장 성장률, 체중 성장률 및 일일 성장률)은 32일째 까지는 포식구가 더 높거나 절식구에서 성장률이 마이너스로 나타났지만, 60일째는 절식구에서 더 높거나 포식구와 비슷하게 나타났다. 비만도는 32, 60일째 모두 포식구에서 1.5 ± 0.1 , 1.6 ± 0.1 로 절식구보다 높게 나타났다. 실험 종료 시(60일)를 기준으로 사료 섭취량과 사료 전환 효율은 절식구에서 높게 나타났으나, 일일 사료 섭취율은 포식구에서 높게 나타났다.

참돔 성어의 경우 포식구의 평균전장은 32일째 225.0 ± 17.3 mm로 실험 개시 시(204.8 ± 17.3 mm)에 비해 1.1배 증가 하였으나, 절식구의 평균전장은 206.0 ± 20.5 mm로 실험 개시

시와 큰 차이가 없었으며, 60일째 평균전장은 포식구와 절식구에서 각각 242.4 ± 15.1 mm와 221.0 ± 15.8 mm로 포식구가 높았다. 또한 평균체중은 32, 60일째 모두 포식구에서 각각 201.1 ± 50.0 g과 271.2 ± 18.2 g으로 절식구(129.5 ± 40.8 g, 180.5 ± 34.2 g)보다 높았다. 전장 성장률과 일일 성장률은 32, 60일째 모두 포식구에서 높았으나 체중 성장률은 32일째는 포식구(36.3 ± 6.4), 60일째는 절식구(39.4 ± 7.8)에서 높았다. 비만도는 전 실험기간동안 포식구에서 1.8-1.9로 높았다. 실험 종료 시(60일)를 기준으로 사료 섭취량은 포식구와 절식구가 각각 3.1 ± 0.5 와 3.1 ± 0.4 로 비슷했으나 일일 사료 섭취율은 절식구(58.3 ± 9.4), 사료전환효율은 포식구(5.2 ± 1.5)에서 높았다.

혈액 parameter 변화

Cortisol은 참돔 성어의 경우 실험 개시 시 0.6 ± 0.4 ng/mL이었으며, 포식구(2.1 ± 0.9 ng/mL)와 절식구(3.2 ± 0.2 ng/mL) 모두 60일째 가장 높았다(Fig. 2A). 치어의 경우에는 실험 개시 시 93.3 ± 33.7 ng/mL이었으며, 포식구는 32일째(103.0 ± 25.2 ng/mL), 절식구는 4일째(111.7 ± 12.9 ng/mL) 가장 높았다

(Fig. 2B).

Glucose는 참돔 성어의 경우 실험 개시 시 62.5 ± 10.9 mg/dL이었으며, 포식구와 절식구 모두 4일째 각각 137.7 ± 20.0 mg/dL와 77.5 ± 14.4 mg/dL로 가장 높았다(Fig. 2C). 치어의 경우에는 실험 개시 시 48.5 ± 7.8 mg/dL이었으며, 포식구는 32일째 (116.3 ± 41.2 mg/dL), 절식구는 4와 60일째 약 77.5 mg/dL로 가장 높았다(Fig. 2D).

실험기간 동안 모든 실험구의 RBC, Hb, Ht 및 이온(Na^+ , K^+ , Cl^-) 농도는 Table 2와 Table 3과 같다. RBC 값은 참돔 치어

의 경우 0일째 $1.7 \pm 0.1 \times 10^6$ cell/ μL 이었으며, 계속 증가하여 60일째 포식구와 절식구 각각 $3.4 \pm 0.8 \times 10^6$ cell/ μL 와 $3.2 \pm 0.6 \times 10^6$ cell/ μL 로 가장 높았다($P < 0.05$). 성어의 경우 0일째 $3.5 \pm 0.6 \times 10^6$ cell/ μL 이었으며, 계속 감소하여 60일째 포식구와 절식구가 각각 $3.3 \pm 0.6 \times 10^6$ cell/ μL 와 $2.8 \pm 0.3 \times 10^6$ cell/ μL 로 나타났다($P < 0.05$).

Hb는 치어의 경우 0일째 3.7 ± 0.9 g/dL이었으며, 60일째 포식구와 절식구에서 각각 10.1 ± 2.2 g/dL와 8.7 ± 1.9 g/dL로 가장 높았다. 성어의 경우 0일째 11.1 ± 1.2 g/dL이었으며, 32일째

Table 2. Changes of red blood cell, hemoglobin, hematocrit of red sea bream *Pagrus major* fed and starved for 60 days

Group	Rearing	Red blood cell ($\times 10^6$ cell/ μL)		Hemoglobin (g/dL)		Hematocrit (%)	
	Days	Fed	Starved	Fed	Starved	Fed	Starved
Juvenile	0	1.7 ± 0.1^a	1.7 ± 0.1^a	3.7 ± 0.9^a	3.7 ± 0.1^a	23.9 ± 1.5^a	23.9 ± 0.1^a
	4	1.6 ± 0.4^a	2.1 ± 0.2^{ab}	3.2 ± 0.7^a	5.4 ± 0.1^{abc}	22.1 ± 5.7^a	29.3 ± 6.8^{ab}
	8	2.1 ± 0.4^{ab}	2.5 ± 0.9^{bc}	4.1 ± 1.1^a	5.0 ± 0.1^{ab}	23.7 ± 7.7^a	25.5 ± 9.5^a
	16	2.2 ± 0.3^{ab}	2.6 ± 0.5^{bc}	4.5 ± 0.8^a	5.9 ± 0.1^{bc}	30.4 ± 4.4^{ab}	28.7 ± 7.0^{ab}
	32	2.7 ± 0.6^b	2.8 ± 0.5^{bc}	7.4 ± 1.5^b	6.9 ± 0.1^c	37.3 ± 10.0^b	27.3 ± 8.0^{ab}
	60	3.4 ± 0.8^c	3.2 ± 0.6^c	10.1 ± 2.2^c	8.7 ± 0.1^d	48.2 ± 9.8^c	39.0 ± 10.8^b
Adult	0	3.5 ± 0.6^c	3.5 ± 0.6^c	11.1 ± 1.2^c	11.1 ± 0.1^c	47.9 ± 3.7^b	47.9 ± 3.7^{bc}
	4	3.2 ± 0.3^{bc}	2.7 ± 1.0^a	8.4 ± 0.9^{ab}	7.1 ± 0.1^a	41.4 ± 5.9^{ab}	31.9 ± 13.9^a
	8	2.6 ± 1.0^{ab}	3.5 ± 0.4^b	8.0 ± 2.7^a	9.8 ± 0.1^{bc}	39.4 ± 12.3^{ab}	48.4 ± 8.5^c
	16	3.3 ± 0.5^{bc}	3.0 ± 0.5^{ab}	10.0 ± 0.8^{bc}	8.9 ± 0.1^b	46.8 ± 4.0^b	41.3 ± 7.5^{abc}
	32	2.1 ± 0.4^a	2.7 ± 0.3^a	8.3 ± 1.9^{ab}	8.6 ± 0.1^{ab}	33.5 ± 7.6^a	38.3 ± 4.3^{ab}
	60	3.3 ± 0.6^{bc}	2.8 ± 0.3^a	9.9 ± 0.6^{bc}	9.7 ± 0.1^{bc}	40.8 ± 7.7^{ab}	45.1 ± 2.8^{bc}

The values are mean \pm SD (Fed: $n=10$, starved: $n=10$). Starved groups were starved for 32 days and then re-fed until 60 days. Values (mean \pm SD) in the same row mean not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

Table 3. Changes of Na^+ , K^+ and Cl^- of red sea bream *Pagrus major* fed and starved for 60 days

Group	Rearing	Na^+ (mmol/L)		K^+ (mmol/L)		Cl^- (mmol/L)	
	Days	Fed	Starved	Fed	Starved	Fed	Starved
Juvenile	0	144.5 ± 0.7^a	144.5 ± 0.7^a	7.9 ± 0.2^{cd}	7.9 ± 0.2^b	120.0 ± 2.8^a	120.0 ± 2.8^a
	4	151.4 ± 18.0^{ab}	154.8 ± 13.8^{ab}	4.2 ± 1.3^{ab}	7.7 ± 1.7^b	126.8 ± 14.5^{ab}	130.3 ± 9.8^{ab}
	8	157.6 ± 12.6^{ab}	163.0 ± 13.7^{bc}	5.9 ± 1.5^{bc}	6.2 ± 1.8^{ab}	138.2 ± 8.7^{bc}	135.6 ± 11.1^{ab}
	16	166.7 ± 16.1^{bc}	149.2 ± 8.8^{ab}	9.6 ± 2.8^d	8.2 ± 3.6^b	136.7 ± 10.3^{bc}	126.9 ± 15.4^a
	32	179.9 ± 13.3^{cd}	150.9 ± 15.4^{ab}	8.0 ± 2.5^{cd}	8.6 ± 2.3^b	149.5 ± 11.0^{cd}	132.7 ± 11.5^{ab}
	60	196.1 ± 7.6^d	177.3 ± 5.9^c	3.1 ± 0.8^a	4.4 ± 1.0^b	155.4 ± 3.9^d	145.0 ± 9.2^b
Adult	0	187.6 ± 2.7^{bc}	187.6 ± 2.7^b	0.6 ± 0.1^a	0.6 ± 0.1^a	155.6 ± 2.9^a	155.6 ± 2.9^{ab}
	4	194.4 ± 7.1^{cd}	189.1 ± 12.9^b	0.6 ± 0.2^a	0.5 ± 0.2^a	154.6 ± 4.6^a	153.3 ± 9.0^a
	8	184.9 ± 9.7^b	160.8 ± 3.3^a	0.6 ± 0.4^a	0.6 ± 0.2^a	156.9 ± 5.9^a	158.4 ± 2.2^{abc}
	16	191.7 ± 6.0^{bcd}	192.2 ± 4.8^b	0.8 ± 0.4^a	0.7 ± 0.5^a	156.0 ± 3.2^a	160.9 ± 4.4^{bc}
	32	196.7 ± 9.5^d	185.5 ± 5.1^b	0.6 ± 0.2^a	0.9 ± 0.5^a	160.1 ± 6.3^a	158.9 ± 5.0^{bc}
	60	157.1 ± 8.8^a	208.3 ± 4.6^c	2.1 ± 0.8^b	2.1 ± 0.8^b	157.6 ± 10.6^a	162.4 ± 3.6^c

The values are mean \pm SD (Fed: $n=10$, starved: $n=10$). Starved groups were starved for 32 days and then re-fed until 60 days. Values (mean \pm SD) in the same row mean not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

포식구와 절식구에서 각각 8.3 ± 1.9 g/dL와 8.6 ± 0.8 g/dL로 감소하였다. 60일째 포식구와 절식구의 Hb는 각각 9.9 ± 0.6 g/dL와 9.7 ± 0.6 g/dL로 나타났다.

Ht는 치어의 경우 0일째 $23.9 \pm 1.5\%$ 이었으며, 32일째 포식구는 $37.3 \pm 10.0\%$, 절식구는 $27.3 \pm 8.0\%$ 로 나타났다. 60일째 포식구와 절식구의 Ht값은 각각 $48.2 \pm 9.8\%$ 와 $39.0 \pm 10.8\%$ 로 가장 높았다($P < 0.05$). 성어의 경우 Ht값은 0일째 $47.9 \pm 3.7\%$ 로부터 32일째 포식구 $33.5 \pm 7.6\%$ 로 감소하였다($P < 0.05$).

Na^+ 은 치어의 경우 0일째 144.5 ± 0.7 mmol/L이었다. 그 후 계속 증가하여 32일째 포식구는 179.9 ± 13.3 mmol/L, 절식구는 150.9 ± 15.4 mmol/L이었으며, 60일째 포식구와 절식구가 각각 196.1 ± 7.6 mmol/L 및 177.3 ± 5.9 mmol/L로 가장 높았다. 성어의 경우 Na^+ 은 0일째 187.6 ± 2.7 mmol/L이었다. 포식구의 경우 32일째 196.7 ± 9.5 mmol/L로 가장 높았으나, 절식구에서는 60일째 208.3 ± 4.6 mmol/L로 가장 높았다.

K^+ 은 치어의 경우 0일째 7.9 ± 0.2 mmol/L이었으며, 포식구와 대조구 각각 16일, 32일째 가장 높았다. 성어의 경우는 0일째 0.6 ± 0.1 mmol/L이었으며, 60일째 포식구와 절식구 모두 2.1 ± 0.8 mmol/L로 동일하게 나타났다.

Cl⁻은 치어의 경우 0일째 120.0 ± 2.8 mmol/L이었으며, 그 후 농도가 계속 증가하여 60일째 포식구와 대조구에서 각각 155.4 ± 3.9 mmol/L, 145.0 ± 9.2 mmol/L로 가장 높았다. 성어의 경우 0일째 155.6 ± 2.9 mmol/L이었으며, 절식구의 경우 60일째 162.4 ± 3.6 mmol/L로 가장 높았으나 포식구에서는 실험 기간 동안 유의한 차이가 없었다.

고 찰

어류는 섭식하지 못하는 절식 시에도 기본 신진대사를 유지하기 위해서 필요한 에너지를 소비하는데, 절식 시에는 외부로부터 공급받는 먹이가 없으므로 체내 저장에너지가 소비된다. 이러한 이유로 어류의 절식에 관한 연구는 절식 시 어류의 영양 상태 및 성장, 생존에 대해 이해하는데 도움이 되는 자료로써 유용하다(Weatherley and Gill, 1981; Lee et al., 1998; Park et al., 1998; Park et al., 2001).

본 연구결과 참돔의 치어와 성어는 절식의 유무와 관계없이 모든 실험구에서 94% 이상의 높은 생존율을 보였다. 이러한 결과는 4주간의 절식 시킨 넙치(Park et al., 2006)와 9주간 절식시킨 버들치(Park et al., 2002)의 생존율이 각각 93.8%와 96.4%로 높게 나타난 결과와 유사하였으며, 80일간 절식 시킨 메기(Lee et al., 2008)의 생존율이 80.2%인 것에 비해서는 높게 나타나 실제 가두리양식장에서도 32일간의 절식은 참돔 치어 및 성어의 생존율에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 여겨진다.

참돔 치어와 성어의 포식구 및 절식구의 성장률 변화를 조사한 결과, 참돔 치어 및 성어 절식구의 32일째 체중 성장률은 각각 $-26.0 \pm 8.1\%$ 및 $-12.2 \pm 7.4\%$ 로 마이너스 성장을 보였다. 이와 같은 절식에 따른 체중감소는 무지개송어, *Salmo gairdneri*

를 3주와 13주 동안 절식 시 각각 14.5%와 32.5%의 체중감소를 나타낸다는 보고(Weatherley and Gill, 1981)와 일치하며, 32일간의 절식은 전장에서의 변화보다는 체중감소로 나타났는데, 이는 어류 절식 시 나타나는 일반적인 현상으로서, 무지개송어에서 당년생과 1년생인 경우 각각 4주와 6주 절식 시 절식구가 포식구에 비해 낮은 비만도를 보였다라는 보고(Sumpter et al., 1991)와 유사한 결과를 보였다.

또한 32일간 절식시킨 결과 체중 성장률과 비만도는 성체보다 치어에서 더 낮게 나타났는데, 이는 어체의 크기에 따른 영양소 요구나 생리적 차이에 의한 것으로 여겨지며, 조피볼락의 경우도 어체의 크기에 따라 성장 및 사료 이용성이 다르다고 보고된 바 있다(Seo et al., 2009).

32일간의 절식은 단기간일지라도 실험어의 성장률 감소로 이어졌기에 절식 이후 28일간의 회복실험을 통해 성장률에 대해 조사하였다. 본 연구 결과 절식구에 28일간 포식구와 동일한 양의 사료를 공급한 결과, 보상 성장을 통해 60일째 절식구의 성장률이 포식구의 성장률 및 표현 형질의 값보다 같거나 오히려 상승하였다. 이러한 사료 재공급을 통한 회복을 장기적으로 진행한다면 포식구와 절식구의 성장 항목의 차이는 없을 것으로 판단되며, 채널메기 *Ictalurus punctatus* (Gaylord and Gartlin, 2000), 잉어 *Carassius auratus* (Xie et al., 2001) 및 hybrid tilapia (Wang et al., 2000)에서도 이러한 절식 후 보상 성장에 대해 보고된 바 있다.

Cortisol, glucose, RBC, Ht, Hb 및 전해질 농도 등과 같은 혈액 지표는 어류의 경우 생리활성 및 건강도를 평가하는데 유용한 지표로 사용된다(Barton et al., 1985; Thomas and Robertson, 1991).

Cortisol과 Glucose는 일반적으로 스트레스를 받았을 때 혈중 농도가 증가한다(Barton and Iwama, 1991). Biswas et al. (2006)은 스트레스를 받지 않은 참돔의 cortisol과 glucose의 수치를 각각 7-15 ng/mL와 68-80 mg/dL라고 하였다. 본 연구 결과 참돔 성어의 경우 모든 실험구에서 그 이하의 농도가 나타났으나, 치어의 경우는 실험 0, 4, 32일째 93.3-103.0 ng/mL로 높게 나타났다. 하지만 cortisol의 증가는 절식과 급이에 따른 뚜렷한 경향이 나타나지 않아 절식 이외의 다른 요인에 의한 것으로 여겨진다. 또한 성어에 비해 치어의 cortisol 농도가 매우 높게 나타난 것은 성장 정도에 따라 뇌나 신장 같은 cortisol 분비에 관여하는 기관의 발달 정도가 다르기 때문으로 추측되며, 틸라피아의 경우 corticotropin-releasing hormone의 분비량이 치어와 성어에서 다르게 나타난다고 보고된 바 있다(Pepels et al., 2004). Glucose의 경우 성어와 치어 모두 포식구에서 각각 4일째 와 32일째 116.3-137.7 mg/dL로 높게 나타났지만 이후 약 90 mg/dL 이하로 감소하였으므로 32일간의 절식은 참돔의 생리활성에 큰 장애를 끼치지 않을 것으로 여겨진다.

일반적으로 glucose 농도는 스트레스를 받을 시 cortisol의 gluconeogenesis 작용에 의해 cortisol과 동반 상승하게 되며

(Pickering and Pottinger, 1989), Barton and Iwama (1991)는 절식에 의한 stress를 받을 시 glucose와 cortisol의 동반 상승이 일어난다고 하였다. 본 연구 결과 참돔 치어의 경우 32일째 포식구에서 cortisol과 glucose가 동반 상승하였으나, 참돔 성어의 경우 16일째와 32일째 절식구의 cortisol는 상승하였으나 glucose은 동반 상승하는 경향을 보이지 않았다. 이는 절식에 의한 stress가 아닌 다른 환경적 요인에 의한 것으로 여겨진다.

Ht, RBC 및 Hb는 생체의 산소운반능력과 생리활성의 지표로 활용되며, 스트레스를 받을 시 수치가 증가한다(Davis and Parker, 1990). Jung et al. (2006)은 정상적인 참돔의 Ht와 Hb 수치가 각각 40-46%와 7.1-9.8 g/dL라고 하였다. 본 연구 결과 모든 실험구의 Ht와 Hb의 범위가 이와 유사하게 나타났으며, 포식구와 절식구 간에도 큰 차이를 보이지 않아, 32일 간의 절식은 참돔의 Ht, RBC 및 Hb에는 큰 영향을 주지 않은 것으로 나타났다.

본 연구 결과 참돔의 혈장 Na⁺은 실험 시작 시에 비해 포식구와 절식구 모두 증가한 것으로 나타났으나, 실험구간의 차이는 보이지 않았으며, K⁺과 Cl⁻은 참돔의 치어와 성어 모두 변화폭이 특징적이지 않았다. 이는 본 연구의 실험 조건인 32일 간의 절식은 참돔의 혈장 전해질 변화에는 큰 영향을 끼치지 못하며, 넙치의 경우 혈장 전해질 농도는 절식에 거의 영향을 받지 않는다는 결과와 유사하게 나타났다(Myeong et al., 2011).

본 연구 결과를 요약하면 32일간 참돔에 가해지는 절식은 그 기간 동안 성장과 비만도에는 다소 영향을 미칠 수 있으나 재급이 시 정상 회복이 가능하며, 혈액학적 지표 분석 결과 절식기간 동안 건강도에도 큰 문제가 없을 것으로 나타났다. 따라서 본 연구 결과는 참돔 양식에 있어 여름철 적조나 고수온기 발생 시 대량 폐사를 예방하기 위한 차원으로 절식을 할 경우 유용한 참고 자료로 쓰여질 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2016년 국립수산물과학원 수산과학연구소(R2016048)의 지원으로 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Barton BA, Weiner GS and Schreck CB. 1985. Effect of prior acid exposure on physiological responses of juvenile rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to acute handling stress. *Can J Fish Aquat Sci* 42, 710-717. <http://dx.doi.org/10.1139/f85-091>.
- Barton BA and Iwama GK. 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. [http://dx.doi.org/10.1016/0959-8030\(91\)90019-G](http://dx.doi.org/10.1016/0959-8030(91)90019-G).
- Biswas AK, Seoka M, Takii K, Maita M and Kumai H. 2006. Stress response of red sea bream *Pagrus major* to acute handling and chronic photoperiod manipulation. *Aquaculture* 252, 129-152.
- Chavin W and Young JE. 1970. Factors in the determination of normal serum glucose levels of goldfish, *Carassius auratus* L. *Comp Biochem Physiol* 33, 629-653. [http://dx.doi.org/10.1016/0010-406X\(70\)90376-2](http://dx.doi.org/10.1016/0010-406X(70)90376-2).
- Davis KB and Parker NC. 1990. Physiological stress in striped bass: Effect of acclimation temperature. *Aquaculture* 91, 349-358. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90199-W](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(90)90199-W).
- Donaldson EM. 1981. The pituitary interrenal axis as an indicator of stress in fish. In: *Stress and Fish*. Pickering AD, ed. Academic Press, New York, U.S.A., 11-47.
- Gaylor TG and Gatlin DM. 2000. Assessment of compensatory growth in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) and associated changes in body condition indices. *J World Aquacult Soc* 31, 326-336. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2000.tb00884.x>.
- Ince BW and Thorpe A. 1976. The effects of starvation and force-feeding on the metabolism of the northern pike, *Esox lucius* L. *J Fish Biol* 8, 79-88. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.1976.tb03909.x>.
- Jung SH, Byun SG, Jee BY and Choi HS. 2006. Application of veterinary chemistry analyzer used to hematological analysis of marine fish cultured in floating netcage. *J Fish Pathol* 19, 253-265.
- Karma SK. 1966. Effects of starvation and refeeding on some liver and blood constituents of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *J Fish Res Bd Can* 23, 975-982. <http://dx.doi.org/10.1139/f66-090>.
- Kawatsu H. 1966. Studies on the anaemia of fish. 1. Anaemia of rainbow trout caused by starvation. *Bull Freshwater Fish Res Lab Tokyo* 15, 167-173.
- Larsson A and Lewander K. 1973. Metabolic effects of starvation in the eel, *Anguilla anguilla* L. *Comp Biochem Physiol* 44, 367-374. [http://dx.doi.org/10.1016/0300-9629\(73\)90489-1](http://dx.doi.org/10.1016/0300-9629(73)90489-1).
- Lee CK, Park IS and Hur SB. 1998. Influence of starvation on the variations of hepatocyte nucleus in larvae of red spotted grouper, *Epinephelus sakaara*. *J Aqua* 11, 11-17.
- Lee JY, Hur JW and Kim SG. 2008. Effects of starvation on growth and physiological response in cultured catfish, *Silurus asotus*. *Korean J Ichthyol* 20, 81-89.
- Love RM. 1970. *The Chemical Biology of Fishes with a Key to the Chemical Literature*, Academic Press, London, U. K., 222-257.
- Moon TW. 1983. Metabolic reserves and enzyme activities with food deprivation in immature American eels, *Anguilla rostrata* (Lesueur). *Can J Zool* 61, 802-811. <http://dx.doi.org/10.1139/z83-106>.
- Myeong JI, Kang DK, Kim HC, Lee JH, Noh JK and Kim HC. 2011. Changes of stress response and physiological metabolic activity of flounder, *Paralichthys olivaceus* following

- to food deprivation and slow temperature descending. Kor J Ichthyol 23, 87-94.
- Park IS, Lee CK, Lim JH, Kim JH and Kim SU. 1998. Effect of starvation on the growth and hepatocyte nuclear size of larval rockfish *Sebaste ssschlegeli* and larval spotted sea bass *Lateolabrax* sp. J Aquacult 11, 345-352.
- Park IS, Im JM, Ryu DK, Nam YK and Kim DS. 2001. Effect of starvation on morphometric changes in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry). J Appl Ichthyol 17, 277-281. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-0426.2001.00298.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): Characteristics of the Morphometric Changes in the Sectioned Body. J Appl Ichthyol 14, 11-18.
- Park IS. 2004. Effect of starvation on some parameters in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry): A Review. Korean J Environ Biol 22, 351-368.
- 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 Aquacult 19, 183-187.
- Pepels PPLM, Wendelaar SE and Balm PHM. 2004. Bacterial lipopolysaccharide (LPS) modulates corticotrophin-releasing hormone (CRH) content and release in the brain of juvenile and adult tilapia (*Oreochromis mossambicus*; Teleostei). J Exp Biolol 207, 4479-4488. <http://dx.doi.org/10.1242/jep.01316>.
- Pickering AD and PottingerTG. 1989. Stress responses and disease resistance in salmonid fish: Effects of chronic elevation of plasma cortisol. Fish Physiol Biochem 7, 253-258. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00004714>.
- Seo JY, Kim KD and Lee SM. 2009. Effects of supplemental herb medicines in the diets on growth, feed utilization and body composition of juvenile and grower rockfish, *Sebastes schlegeli*. J Aquacult 22, 112-117.
- Sumpter JP, Le Bail PY, Pickering AD, Pottinger TG and Carragher JF. 1991. The effect of starvation on growth and plasma growth hormone concentrations of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Gen Comp Endocrinol 83, 94-102. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-6480\(91\)90109-J](http://dx.doi.org/10.1016/0016-6480(91)90109-J).
- Tashima L and Cahill CF. 1968. Effects of insulin in the toadfish, *Opsanus tau*. Gen Comp Endocrinol 11, 262-271. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-6480\(68\)90081-6](http://dx.doi.org/10.1016/0016-6480(68)90081-6).
- Thomas P and Robertson L. 1991. Plasma cortisol and glucose stress responses of red drum (*Sciaenops ocellatus*) to handling and shallow water stressors and anesthesia with MS-222, quialdine sulfate and metomidate. Aquaculture 96, 69-86. [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90140-3](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(91)90140-3).
- Wang Y, Cui Y, Yang Y and Cai F. 2000. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*, reared in seawater. Aquaculture 189, 101-108.
- Weatherley AH and Gill HS. 1981. Recovery growth of following periods or restricted rations and starvation in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. J Fish Biol 18, 195-208. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.1981.tb02814.x>.
- Weatherley AH and Gill HS. 1987. The biology of fish growth. 4. Protein, lipid and caloric contents. Academic press, London, U. K., 139-146.
- Woo SR, 2005. Effect of starvation on parameters in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temmincket Schlegel). MS Thesis, Korea Maritime University, Busan, Korea.
- Xie S, Xhu Y, Cui Y, Wootton RJ, Lei W and Yang Y. 2001. Compensatory growth in the gibel carp following feed deprivation: temporal patterns in growth, nutrient deposition, feed intake and body composition. J Fish Biol 8, 999-1009. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.2001.tb00550.x>.