

## 저수온(12-14°C)에서 사육한 미성어기(370 g) 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 배합사료 적정 공급률

김성삼 · 김강웅 · 김경덕 · 이봉주 · 한현섭 · 이경준<sup>1\*</sup>

국립수산과학원 사료연구센터, <sup>1</sup>제주대학교 해양생명과학과

## Optimum Feeding Rate for Sub-adult Olive Flounder (370 g) *Paralichthys olivaceus* Fed Practical Extruded Pellets at Low Water Temperature (12-14°C)

Sung-Sam Kim, Kang-Woong Kim, Kyoung-Duck Kim, Bong-Joo Lee, Hyon-Sob Han and Kyeong-Jun Lee<sup>1\*</sup>

Aquafeed Research Center, National Fisheries Research and Development Institute, Pohang 791-923, Korea

<sup>1</sup>Department of Marine Life Science, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

We investigated the effects of feeding rate on the growth performance and blood components of sub-adult olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Optimum feeding rate (initial fish mean weight : 370±5.72 g) was determined under the low water temperature. Two replicated groups of fish were fed a commercial diet at rates of 0%, 0.3%, 0.4%, 0.5%, and 0.6% body weight (BW) per day, and to satiation (0.75%). Feeding trial was conducted under a flow-through system with 12 1.2-metric ton aquaria receiving filtered seawater at 12-14°C for 4 weeks. Weight gain (WG) and specific growth rate (SGR) for fish fed at 0.6% BW per day was significantly higher than that of unfed fish (0%) and fish fed at 0.3% and 0.4% BW per day. There were no significant differences in WG and SGR among fish fed at 0.5%, 0.6%, and 0.75%. These parameters were negative and significantly lower in the starved fish than in fish fed the experimental diet at all feeding rates. Survival for unfed fish (0%) was significantly lower than that of fish fed at 0.4%, 0.5%, and 0.6%. Hematocrit and hemoglobin content of fish fed at 0% and 0.75% (satiation) were significantly lower than that of fish fed at 0.4% BW per day. Total protein content in unfed fish was significantly lower than those in other treatments. Broken-line regression analysis of weight gain showed that the optimum feeding rate of olive flounder weighing 370 g was 0.51% BW per day at the low water temperature.

Key words: Olive flounder, Feeding rate, Low water temperature, Commercial diet, Satiation

### 서 론

양식환경에서 사료섭취율은 어류의 성장에 영향을 미치는 가장 큰 요인 중 하나이며(Li et al., 2004), 사료를 섭취한 후 소화, 대사, 흡수 및 배설의 복합적인 생리과정을 거쳐 어류는 성장하게 된다(Brett et al., 1970). 어류는 변온동물로 수온에 따라 체내 소화효소 활성이 달라지며(Pelleiter et al., 1995), 수온이 낮아지면 소화효소 및 대사 활성이 떨어져 사료섭취량이 떨어지고(Fauconneau et al., 1983), 이와 반대로 적정수온으로 상승하

게 되면 소화효소 및 대사활성의 증가하면서 먹이섭취 활성도 증가하게 된다(NRC, 2011). 적정수온 이상의 고수온으로 올라가면 다시 먹이섭취 활성은 떨어지게 된다. 넙치의 경우 자연환경에서 서식수온은 10-27°C 범위이며, 양식환경에서 적정사육수온은 8-25°C 이지만 4-28°C에서도 사육이 가능하며, 최적 사육수온은 21-24°C로서 수온 10°C 이하와 27°C 이상에서는 먹이섭취 활성이 현저하게 떨어진다(NFRDI, 2006). 따라서 수온에 따른 적정 사료 공급률을 설정하여 사료가 과잉 혹은 부족하지 않게 급여하는 것은 사료효율 및 어류 성장에 영향을 미치

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.1063>



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.

Kor J Fish Aquat Sci 47(6) 1063-1068, December 2014

Received 15 September 2014; Revised 27 November 2014; Accepted 29 December 2014

\*Corresponding author: Tel: +82. 64. 754. 3423 Fax: +82. 64. 756. 3493

E-mail address: kjlee@jejunu.ac.kr

로 매우 중요하게 관리되어야 한다. 하지만 배합사료의 공급률에 대한 자료가 미비하여 실제 양식현장에서는 대부분 반복급여를 하고 있어 사료가 과잉 혹은 부족하게 급여되기가 쉽다.

환경친화적 배합사료의 사용은 양식업의 경쟁력을 강화시킬 뿐만 아니라 안전한 양식수산물 공급, 수산자원 남획 및 어장환경오염 방지 등 지속가능한 양식산업의 육성을 위해 나아가야 할 길이다. 배합사료를 처음 사용하는 어가에서는 사료의 선택, 크기 및 공급률 등 배합사료에 대한 정보가 부족하여 많은 애로점을 가지고 있다. 따라서 배합사료 사용 경험이 부족한 양식어업인들을 위해 배합사료의 선택 기준, 영양스펙, 사료크기 선택, 공급률, 급여횟수 및 공급방법 등 다양한 연구가 활발히 이루어져야 할 것이다. 아직까지 넙치를 대상으로 배합사료의 사육수온별 및 성장단계별로 세부적인 공급프로그램 연구는 수행되지 않았다. 실제 넙치 양식현장에서는 공급프로그램의 부재로 대부분 반복급여를 하고 있어 세부적인 성장단계별 및 사육수온별 적정공급률 조사를 통한 배합사료 공급프로그램 개발이 필요하다. 이에 따라 본 연구는 배합사료 공급프로그램 개발을 위한 기초연구로 370 g 넙치를 대상으로 사육수온 12-14°C 범위에서 배합사료의 적정공급률 조사와 더불어 성장, 사료효율 및 혈액성상에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 실험사료

본 실험에 사용된 실험사료는 상업용 시판 넙치용 배합사료를 이용하였으며, 일반성분 분석치는 Table 1에 나타내었다. 370 g 미성어기 넙치의 배합사료 적정공급률 확인을 위해 어체 무게당(g) 0%, 0.3%, 0.4%, 0.5%, 0.6% 및 반복공급(0.75%)으로 설정하여 총 6개 실험구로 나누어 급여하였다. 실험 시작 전 공급률 설정을 위해 실험어류를 대상으로 4일간 반복으로 실험사료를 공급한 후 공급률을 설정하였다.

### 실험어 및 사육관리

사양실험에 사용된 실험어류는 제주도내 양어장에서 제주대학교 소속 해양과환경연구소로 운송되어 2주 동안 시판 배합사료를 급여하면서 실험환경에 적응할 수 있도록 순치시킨 후 사료공급실험에 사용되었다. 예비사육 후 실험어류(초기 평균무

게:  $370 \pm 5.7$  g)는 총 12개의 1,200 L 원형수조에 각 수조 당 30 마리씩 무작위로 선택하여 배치되었다. 사료공급실험은 실험구당 2 반복구를 두었으며, 사육수는 여과해수를 사용하여 2-3 L/min의 유수량이 공급되도록 조절되었고, 모든 실험수조에 용존산소 유지와 원활한 사육수 순환을 위하여 에어스톤을 설치하였다. 광주기는 자동타이머가 설치된 형광등을 이용하여 12L:12D 조건으로 유지되었고, 전 실험기간 동안 평균 수온은 12°C에서 14°C 범위로 자연수온에 의존되었다. 실험사료는 1일 2회(오전 08:00, 오후 18:00)에 나눠서 4주 동안 어체중의 수준별로 급여 하였다.

### 샘플수집

사료공급 실험 후, 어류의 최종 평균무게를 측정하여 증체율(weight gain), 사료효율(feed efficiency), 일간성장률(specific growth rate), 단백질이용효율(protein efficiency ratio) 및 생존율(survival)을 계산하였다. 최종 무게측정 후, 혈액분석을 위해 각 수조마다 4마리씩 무작위로 선별하여 마취용액(MS-222, 100 mg/L)으로 마취시켜 헤파린 처리가 된 주사기를 사용하여 미부동맥에서 채혈한 후, hematocrit 및 hemoglobin 함량을 측정하였다. 분석 후, 남은 혈액은 ALT (alanine aminotransferase), AST (aspartate aminotransferase), total protein 및 glucose 분석을 위해 원심분리기(Micro 17TR, Hanil Science, Korea)를 이용하여 5,000 rpm으로 10분간 원심분리하여 혈장을 분리하였다.

### 일반성분 분석

실험사료의 일반성분 분석은 AOAC (2000) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법(125°C, 3 h), 조회분은 직접회화법(550°C, 12 h)으로 측정하였고, 단백질은 자동 조단백분석기(Kejltec system 2300, Sweden)로 분석되었으며, 지방은 Folch et al. (1959)의 방법에 따라 soxhlet 추출장치(Soxhlet heater system C-SH6, Korea)를 이용하여 분석되었다.

### 혈액분석

Hematocrit은 헤파린이 처리된 모세혈관채혈튜브(Micro Hematocrit Capillary Tubes)에 혈액을 채운 다음 고무판(Wax plates)에 세운 후, 혈액진단원심분리기(Micro Hematocrit VS-12000, Vision Scientific, Korea)에서 10분간 원심분리하여 값을 측정하였다.

Hemoglobin, ALT, AST, total protein 및 glucose 함량은 각각의 시약과 반응시킨 후 혈액생화학분석기(Express plus system, Bayer, USA)를 이용하여 분석하였다. ALT와 AST는 kinetic, hemoglobin, total protein 및 glucose 함량은 end point방법으로 분석되었다.

### 통계학적 분석

실험사료군의 배치는 완전확률계획법(Completely random-

Table 1. Proximate composition of the experimental diet for olive flounder *Paralichthys olivaceus* (% of DM basis)

Proximate composition	Content
Moisture (%)	7.8
Crude protein (% DM)	53.1
Crude lipid (% DM)	11.8
Crude ash (% DM)	10.7
Size (mm)	13.0-13.4

ized design)에 따라 실시하였고, 성장 및 분석결과는 SPSS (Version 12.0) 프로그램을 이용하여 One-way ANOVA로 통계 분석되었다. 실험의 데이터 값의 유의차는 Duncan's multiple test ( $P < 0.05$ )로 비교되었다. 데이터는 평균값  $\pm$  표준편차 (mean  $\pm$  SD)로 나타내었다. 백분율 데이터는 arcsine 변형 값으로 계산하여 통계 분석되었다.

## 결과 및 고찰

미성어기 넙치(370 g)를 대상으로 저수온기 배합사료 공급률을 알아보기 위한 4주간의 성장실험 결과는 Table 2에 나타내었다. 성장결과에 있어서는 사료를 급여하지 않은 0% 실험구에서 어체중이 감소되는 성장률(-5.7%)을 보였으며, 하루에 약 0.25 g 어체중이 감소하였다. 넙치를 대상으로 사료를 급여하지 않고 절식시켰을 때, 어류의 크기에 따라 다르지만 치어기에는 저수온 및 고수온에서 각각 -1.2% 및 -1.15% 감소되는 성장률을 보였으며(Kim et al. 2011), 성장기 97 g 넙치는 21°C 수온에서 -12.5% (Kim et al., 2014), 육성기 240 g 넙치는 19-21°C 수온에서 -8.1% (Lee et al., 2014), 미성어기 317 g 넙치는 21-24°C 수온에서 -10.6% (Oh et al., 2014)의 성장률을 보였다. 절식시켰을 때 수온에 따른 성장률은 어체 크기가 클수록 성장률의 감소가 높고, 치어기에는 사육수온에 따른 성장률의 감소 차이가 크게 없는 반면, 어체가 성장함에 따라 육성기 및 미성어기 단계에서는 고수온 및 적수온 보다는 저수온에서 성장률의 감소가 낮은 것을 알 수 있었다. 증체율 및 일간성장률에서는 사료 급여량이 증가함에 따라 증가하여 0.6% 실험구가 0%, 0.3% 및 0.4% 실험구 보다 유의적으로 높았으나, 0.5% 및 반복실험구(0.75%)와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 일반적으로 지금까지 보고된 연구결과를 살펴보면, 넙치를 비롯하여 여러 어종에서 제한공급에 비해 반복공급으로 갈수록 성장이 높아지는 경향을 보이며, 사료공급률이 증가할수록 어류의 성장이 증가하였다(Xiao-Jun and Ruyung, 1992; Adebayo et al., 2000; Ng et al., 2000; Mihelakakis et al., 2002). Kim et al. (2009)은 겨

울철 12°C 수온에서 279 g 넙치를 대상으로 공급률 실험을 실시한 결과 반복실험구(0.32%)에서 유의적으로 가장 높은 성장률을 보였다. 하지만 본 연구에서는 반복실험구(0.75%) 보다 0.6% 실험구에서 높은 성장률을 보였다. 적정수온에서는 섭취량이 증가하고 대사활성 역시 높아 반복실험구가 제한실험구에 비해 성장이 높지만, 저수온에서는 대사활성이 낮아 소화할 수 있는 능력 이상의 사료를 섭취할 경우 소화 및 대사에 문제가 발생하여 반복실험구에서 성장률이 떨어지는 것으로 판단된다. 따라서 어체크기 및 사육수온에 따라 양식어류의 사료섭취량, 대사활성 및 이용성에 차이가 있음이 본 연구를 통해 다시 한번 증명되었다. 사료효율 및 단백질이용효율에서는 모든 실험구에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 어류는 변온동물로서 수온에 따라 생체 내 대사활성 및 먹이섭취 활성에 차이가 있다. Kim et al. (2011)의 연구결과를 보면, 저수온과 고수온에서 적정공급률을 조사하였는데, 본 연구의 결과와 일치되게 저수온기에는 사료효율 및 단백질전환효율에서 차이를 보이지 않았으며, 고수온기에는 유의적인 차이를 보였다. 저수온에는 상대적으로 사료섭취량이 적고 소화이용성이 낮으며, 실험기간도 짧아 실험구간에 유의적인 차이가 없는 것으로 판단되며, 고수온 및 적수온에서는 저수온 보다 상대적으로 사료섭취량 및 소화이용성이 높아 짧은 실험기간에도 불구하고 실험구간에 유의적인 차이를 보인 것으로 사료된다. 생존율에서는 절식실험구가 유의적으로 가장 낮은 결과(67%)를 보였으며, 사료급여량이 적은 0.3% 실험구와 사료급여량이 많은 반복실험구에서도 낮은 생존율(77%)을 보였다. Kim et al. (2011)의 연구에서도 본 연구결과와 일치되게 저수온기에 절식실험구(40%)와 반복실험구(66.7%)에서 유의적으로 낮은 생존율을 보였으며, 고수온기 역시 절식실험구(20%) 및 반복실험구(85%)에서 유의적으로 낮은 생존율을 보였다. 따라서 어류의 적정수온에서 벗어난 저수온 및 고수온기에는 어류의 사료섭취율 및 대사활성에 영향을 미쳐 정상적인 대사활동이 이루어 지지 않아 소화이용성에 영향을 미치기 때문에 사료가 과잉 또는 부족하지 않도록

Table 2. Effects of feeding rate on the growth performance of olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed the experimental diet for 4 weeks<sup>1</sup>

	Diets					S <sup>2</sup>
	0%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	
Initial weight (g/fish)	381 $\pm$ 3.5	367 $\pm$ 2.3	373 $\pm$ 1.2	368 $\pm$ 1.4	367 $\pm$ 1.8	364 $\pm$ 1.4
Final weight (g/fish)	360 $\pm$ 3.6 <sup>a</sup>	397 $\pm$ 7.2 <sup>b</sup>	409 $\pm$ 4.0 <sup>bc</sup>	421 $\pm$ 1.2 <sup>c</sup>	427 $\pm$ 20.8 <sup>c</sup>	410 $\pm$ 0.6 <sup>bc</sup>
Weight gain <sup>3</sup>	-5.7 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>	8.2 $\pm$ 2.0 <sup>b</sup>	9.4 $\pm$ 1.1 <sup>b</sup>	14.4 $\pm$ 0.3 <sup>bc</sup>	16.2 $\pm$ 5.7 <sup>c</sup>	12.7 $\pm$ 0.2 <sup>bc</sup>
Specific growth rate <sup>4</sup>	-0.25 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.34 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>	0.39 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	0.58 $\pm$ 0.01 <sup>bc</sup>	0.65 $\pm$ 0.21 <sup>c</sup>	0.52 $\pm$ 0.01 <sup>bc</sup>
Feed efficiency <sup>5</sup>	-	103 $\pm$ 24.7	90 $\pm$ 10.3	109 $\pm$ 2.4	101 $\pm$ 35.3	84 $\pm$ 1.2
Protein efficiency ratio <sup>6</sup>	-	2.13 $\pm$ 0.51	1.85 $\pm$ 0.21	2.24 $\pm$ 0.05	2.09 $\pm$ 0.73	1.73 $\pm$ 0.02
Survival (%)	67 $\pm$ 6.4 <sup>a</sup>	77 $\pm$ 5.0 <sup>ab</sup>	94 $\pm$ 3.5 <sup>c</sup>	80 $\pm$ 7.1 <sup>b</sup>	87 $\pm$ 4.6 <sup>b</sup>	77 $\pm$ 3.9 <sup>ab</sup>

<sup>1</sup>Values are means from duplicate groups of fish; values in each row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ). <sup>2</sup>S = Satiation (0.75%). <sup>3</sup>Weight gain (%) = (final weight - initial weight)  $\times$  100 / initial weight. <sup>4</sup>Specific growth rate (%) = (log<sub>e</sub> final wt. - log<sub>e</sub> initial wt.) / days. <sup>5</sup>Feed efficiency (%) = wet weight gain (g)  $\times$  100 / dry feed intake (g). <sup>6</sup>Protein efficiency ratio = wet weight gain / protein intake.

록 주의하여야 할 것이다.

배합사료 공급률이 넙치의 혈액성상에 미치는 영향을 알아보기 위해 조사한 혈액분석 결과는 Table 3에 나타내었다. Hematocrit 및 hemoglobin 수치는 0.3% 및 0.4% 실험구가 절식 실험구(0%) 및 반복실험구(0.75%) 보다 유의적으로 높았으나 0.5% 및 0.6% 실험구와는 유의적인 차이가 없었다. Hematocrit 및 hemoglobin은 일반적으로 어류 사육실험에 있어서 건강지표로 활용되는 분석항목으로 실험사료의 급여에 따른 어류의 건강상태를 간접적으로 확인하기 위해 측정한다. 본 연구는 비록 4주라는 짧은 기간 동안 수행되었지만 절식실험구 및 반복실험구에서 유의적으로 낮은 hematocrit 및 hemoglobin 수치를 보였으며, 이것은 사료가 과잉 또는 부족하게 공급되면 어류의 건강도에 악영향을 끼칠 수 있음을 시사한다. 다른 연구결과에서도 저수온기(15°C 이하)에 절식실험구와 반복실험구에서 유의적으로 낮은 hematocrit 및 hemoglobin 수치를 보였다 (Kim et al., 2011). 사육수온이 양식어류에게 적합할 때는 반복 실험구 또는 절식실험구에서 비교적 큰 차이를 보이지 않았지만, 사육수온이 양식어류에게 부적합한 저수온기 혹은 고수온기에는 절식실험구 및 반복실험구에서 유의적으로 낮은 뚜렷한 경향을 볼 수 있었다. AST 및 ALT는 영양적 불균형 혹은 기타 요인에 따른 간 손상을 알아보기 위해 분석하는 항목으로, AST 결과에서는 모든 실험구에서 유의적인 차이가 없었으며, ALT 결과에서는 0.5% 실험구가 0.3% 실험구 보다 유의적으로 높은 값을 보였으나 다른 실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. Glucose 및 total protein은 실험사료의 공급에 따른 영양소의 대사를 확인하기 위해 측정한다. Glucose 함량에 있어서는 0.6% 실험구가 0%, 0.3% 및 반복실험구(0.75%) 보다 유의적으로 높은 값을 보였으며, 절식실험구에서 유의적으로 가장 낮은 값을 보였다. Total protein 결과에서는 절식실험구(0%) 가 다른 모든 실험구와 비교하여 유의적으로 낮은 값을 보였다. Myeong et al. (2011)은 활어 수송을 위해 넙치를 8일간 절식 및 단기수온 하강 조건에서 생리학적 대사활성 변화를 조사한

결과, 절식 및 수온하강에 의해 total protein 및 glucose 값이 유의적으로 감소하였다고 보고하였다. 이러한 결과의 이유는 1차적으로 먹이제한에 의한 혈중 glucose의 농도감소로 체내 생리활성 유지를 위한 에너지 유입량 감소 때문이라고 설명하고 있다. 즉 먹이제한에 의한 대사량 감소는 체내 에너지원 감소 또는 에너지 요구량 감소에 의해 글리코겐 분해(glycogenolysis) 또는 포도당 신생합성(gluconeogenesis) 활성이 낮아짐으로 나타난 결과로 추정하였다. 또한 수온을 하강되어 소화효소 및 대사활성이 떨어져 혈액 내 total protein 및 glucose 함량이 낮게 분석된 것으로 판단된다. 이것은 0.6% 실험구에서 유의적으로 높은 성장률을 보인 결과에서 알 수 있듯이 적정량의 사료가 공급됨으로써 0.6% 실험구에서는 소화 및 영양소의 대사가 적절하게 이루어졌고, 절식실험구에서는 사료가 공급되지 않아 정상적인 영양소 대사가 이루어 지지 않았기 때문으로 판단된다.

성장률을 기초로 Broken-line 분석을 통해 배합사료의 적정 공급률을 분석한 결과, 어체중 당 0.51%로 분석되었다(Fig 1). 본 연구와 비슷하게 수온이 낮은 겨울철에 수행된 배합사료 공급률 연구결과를 살펴보면, 13°C 수온에서 117 g 넙치의 적정 공급률은 어체중 당 0.3% (Kim et al., 2010), 12°C에서 279 g 넙치의 적정공급률은 어체중 당 0.32% (Kim et al., 2009)로 보고되었다. 보통 어류가 성장함에 따라 사료공급률은 감소하는데, 다른 연구와 비교하여 본 연구에서 공급률이 보다 높게 나온 것은 사육수온 및 밀도 등 사육환경의 차이에 의한 것으로 판단된다. 본 연구는 사육수온이 자연수온에 의존하여 12-14°C였으며 사육수온이 떨어지는 가을철에서 겨울철 사이에 진행되었고, 사육밀도는 1,200 L 원형수조에 30마리를 배치하여 4주간 수행되었다. 이와 반면에 Kim et al. (2009)은 사육수온이 자연수온에 의존하여 9-14°C였으며 사육수온이 상승하는 봄철에서 여름철로 지나가는 시기에 실험이 진행되었고, 사육밀도는 1,800 L 수조에 20마리씩 배치하여 15주간 진행되었다. 이와 같이 저수온기에는 미세한 사육수온 및 밀도 등 환경적 차이가 넙치의 사료섭취율 및 공급률에 큰 영향을 미치는 것을 알

Table 3. Effects of feeding rate on the serological characteristics of olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed the experimental diet for 4 weeks<sup>1</sup>

	Diets					S <sup>2</sup>
	0%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	
Hematocrit (%)	20.2±1.0 <sup>a</sup>	27.7±0.6 <sup>b</sup>	28.3±1.8 <sup>b</sup>	23.3±1.8 <sup>ab</sup>	23.2±3.3 <sup>ab</sup>	20.3±5.5 <sup>a</sup>
Hemoglobin (g/dL)	4.3±0.4 <sup>a</sup>	5.0±1.0 <sup>b</sup>	5.6±0.4 <sup>b</sup>	4.5±0.3 <sup>ab</sup>	4.5±0.6 <sup>ab</sup>	4.4±0.7 <sup>a</sup>
AST (U/L) <sup>3</sup>	19.6±2.5	18.0±3.8	24.8±11.2	28.9±7.8	29.3±6.7	22.2±5.0
ALT (U/L) <sup>4</sup>	7.8±0.7 <sup>ab</sup>	7.1±0.8 <sup>a</sup>	7.5±0.6 <sup>ab</sup>	8.8±1.4 <sup>b</sup>	8.1±0.6 <sup>ab</sup>	7.3±0.6 <sup>ab</sup>
Glucose (mg/dL)	10.4±1.0 <sup>a</sup>	14.0±0.3 <sup>abc</sup>	18.4±1.7 <sup>cd</sup>	16.5±0.9 <sup>bcd</sup>	21.3±3.2 <sup>d</sup>	12.4±5.7 <sup>ab</sup>
Total protein (mg/dL)	3.6±0.2 <sup>a</sup>	4.3±0.3 <sup>b</sup>	4.3±0.5 <sup>b</sup>	4.5±0.3 <sup>b</sup>	4.3±0.3 <sup>b</sup>	4.3±0.2 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Values are means from duplicate groups of fish; values in each row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ). <sup>2</sup>S = Satiation (0.75%). <sup>3</sup>AST=Aspartate aminotransferase, Unit per liter (U/L) is the amount of enzyme which oxidizes one  $\mu\text{mol/L}$  of NADH per minute. <sup>4</sup>ALT=Alanine aminotransferase.

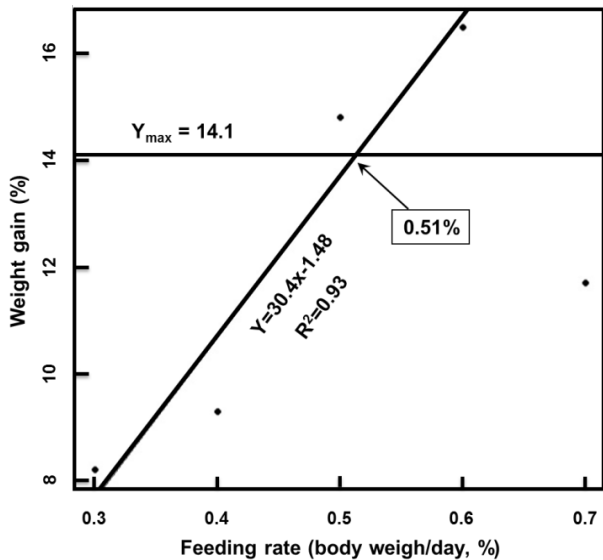


Fig. 1. Broken-line regression analysis of weight gain (%) according to feeding rate. Each point represents the average of two groups of fish. The optimum feeding rate for weight gain was 0.51% body weight/day.

수 있었다. 따라서 먹이섭취활동이 현저하게 떨어져 사료를 거의 섭취하지 않는 저수온기에는 먹이경쟁을 위해 밀도를 정상 범위의 밀도보다 약간 높게 해 주는 것이 사료섭취율을 높이는 데 도움이 될 것으로 판단된다. 이와 반대로 고수온 및 적수온에서 지금까지 보고된 넙치의 배합사료 공급률 연구결과를 살펴 보면, Choi et al. (2008)은 13 g 넙치치어를 대상으로 평균수온이 21-25℃일때 실험한 결과 적정공급률은 어체중 당 3.56%, 수온 21℃에서 97 g 넙치는 어체중 당 2.52%, 수온 19-21℃에서 240 g 넙치는 어체중 당 1.09%, 수온 21-24℃에서 317 g 넙치는 어체중 당 0.99%로 어류가 성장함에 따라 공급률이 감소되는 것을 알 수 있었다(Kim et al., 2014; Lee et al., 2014; Oh et al., 2014). 지금까지 연구된 대부분의 연구가 300 g 미만의 작은 크기 어류에서 수행되었으며, 사육수온에 따라 배합사료의 공급률이 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 향후에는 300 g 이상의 어류를 대상으로 사육수온별 적정공급률 실험이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

연구결과를 종합해 보면, 사료공급률은 어종의 크기와 사육 환경에 영향을 받고, 특히 사육수온은 사료섭취량 및 생체의 영양대사 활성에 직접적인 영향을 미쳐 결국 어류의 성장과 생존율에 영향을 미쳤다. 특히, 저수온기에 어류는 대사활성이 낮아 성장률을 높이기 위해 반복으로 사료를 공급할 경우 양식어류의 정상적인 대사활동이 이루어지지 못해 생존율이 낮아질 것으로 판단된다. 절식실험과 반복실험에서 생존율, hematocrit 및 hemoglobin 수치가 낮은 것으로 볼 때 저수온기에는 절식 및 반복급여는 지양하고 적정공급률을 기초로 양식

어류가 사료를 섭취할 수 있도록 급여하여야 할 것으로 판단된다. 따라서 12-14℃ 저수온기에 미성어기 370 g 넙치의 배합사료 적정공급률은 어체중 당 0.51%가 적절한 것으로 사료된다.

## 사 사

이 연구는 국립수산물연구원(친환경 실용배합사료 개발 및 품질 관리 연구, RP-2014-AQ-101)의 지원에 의해 연구되었습니다.

## References

- Adebaio OT, Balogun AM and Fagbenro OA. 2000. Effects of feeding rates on growth, body composition and economic performance of juvenile clariid catfish hybrid (female *Clarias gariepinus* × male *Heterobranchus bidorsalis*). *J Aquac Trop* 15, 109-117.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 17th Edition. Cunniff P, ed. Association of Official Analytical Chemists, Inc, Arlington, VA, U.S.A.
- Brett JR and Higgs DA. 1970. Effects of temperature on the rate of gastric digestion in fingerling sockeye salmon, *Onchorhynchus nerka*. *J Fish Res Bd Can* 27, 1767-1779.
- Choi SM, Kim KW, Kang YJ, Park HS and Bai SC. 2008. Optimum dietary lipid level and feeding rates of extruded pellets in juvenile flounder *Paralichthys olivaceus* during the summer season. *J Aquaculture* 21, 244-251.
- Fauconneau B, Choubert G, Blanc D, Breque J and Luquet P. 1983. Influence of environmental temperature on flow rate of foodstuffs through the gastrointestinal tract of rainbow trout. *Aquaculture* 34, 27-39.
- Folch J, Lee M and Sloane-Stanley GH. 1959. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226, 497-509.
- Kim KD, Nam MM, Kim KW, Kim DG and Son MH. 2010. Effects of feeding rate and frequently on the winter growth and body composition of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Kor J Fish Aquat Sci* 43, 217-222.
- Kim KD, Nam MM, Kim KW, Lee HY, Hur SB, Kang YJ and Son MH. 2009. Effects of feeding rate and feeding frequency on growth and body composition of sub-adult flounder *Paralichthys olivaceus* in suboptimal water temperature. *Kor J Fish Aquat Sci* 42, 262-267.
- Kim KW, Hwang NY, Son MH, Kim KD, Lee JH, Liu Y, Yun YH, Park GH, Kim SS, Lee KJ and Bai SC. 2011. Optimum feeding rates in juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed practical expanded pellet at low and high water temperatures. *Kor J Fish Aquat Sci* 44, 345-351.
- Kim SS, Kim KW, Kim KD, Lee BJ, Han HS, Kim JW, Bai SC and Lee KJ. 2014. Optimum feeding rate in growing olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed practical extruded pellet at optimum water temperature (21℃). *J Fish Mar Sci Edu*

26, 787-795.

- Lee JH, Kim SS, Kim KW, Kim KD, Lee BJ, Lee JH, Han HS, Kim JW, Kim SY and Lee KJ. 2014. Optimum feeding rate in growing olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed practical expanded pellet at optimum water temperature. Kor J Fish Aquat Sci 47, 234-240. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0234>.
- Li MH, Manning BB and Robinson EH. 2004. Effect of daily feed intake on feed efficiency of juvenile channel catfish. N Am J Aquacult 66,100-104.
- Mihelakakis A, Tsolkas C and Yoshimatsu T. 2002. Optimization of feeding rate for hatchery-produced juvenile gilthead sea bream, *Sparus aurata*. J World Aquac Soc 33, 169-175.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2006. Standard manual of olive flounder culture. NFRDI, Busan, Korea. 5.
- Ng WK, Lu KS, Hashim R and Ali A. 2000. Effects of feeding rate on growth, feed utilization and body composition of a tropical bagrid catfish. Aquacult Int 8, 19-29.
- NRC (Nutrient Research Council). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. The National Academy Press, Washington DC, U.S.A., 279.
- Oh DH, Kim SS, Kim KW, Kim KD, Lee BJ, Han HS, Kim JW, Okorie OE, Bai SC and Lee KJ. 2014. Optimum feeding rate for growing olive flounder (317 g) *Paralichthys olivaceus* fed practical extruded pellets at optimum water temperature (21-24°C). Kor J Fish Aquat Sci 47, 103-113. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0103>.
- Pelletier D, Blier P, Dutil JD and Guderley H. 1995. How should enzyme activities be used in fish growth studies?. J Exp Biol 198, 1493-1497.
- Xiao-Jun X and Ruyung S. 1992. The bioenergetics of the southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen): growth rate as a function of ration level, body weight, and temperature. J Fish Biol 40, 719-730.