

고수온에서 사육한 성장기 및 미성어기 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 배합사료 적정 공급률

김성삼 · 김강웅 · 김경덕 · 이봉주 · 한현섭 · 이경준^{1*}

국립수산과학원 사료연구센터, ¹제주대학교 해양생명학과

Optimum Feeding Rates for Growing and Sub-adult Olive Flounder *Paralichthys olivaceus* Fed Practical Extruded Pellets at High Water Temperature

Sung-Sam Kim, Kang-Woong Kim, Kyoung-Duck Kim, Bong-Joo Lee, Hyon-Sob Han and Kyeong-Jun Lee^{1*}

Aquafeed Research Center, National Institute of Fisheries Science, Pohang 37517, Korea

¹Department of Marine Life Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

We investigated the effects of feeding rate on the growth performance of growing and sub-adult olive flounder *Paralichthys olivaceus*, and the optimum feeding rate at high water temperature (25-31°C). In experiment I, two replicated groups of fish (113 g) were fed a commercial diet (CD) at rates of 0, 0.7, 1.2, 1.7, 2.2, and 2.4% (satiation) body weight (BW) per day for 4 weeks. In experiment II, two replicated groups of fish (313 g) were fed a CD feeding rates of 0, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, and 1.0% (satiation) BW per day for 4 weeks. In experiment I, the weight gain (WG) and specific growth rate (SGR) of fish fed at 0.7 and 0.9% BW per day was significantly higher than that of unfed fish (0%) and fish fed at 0.3, 0.5, and 1.0% (satiation) BW per day. In experiment II, the WG and SGR increased significantly as feeding rate increased from 0 to 2.2% BW per day, but decreased in the satiation group (2.4%). Broken-line regression analysis of WG showed that the optimum feeding rate of growing and sub-adult olive flounder were 1.98% and 0.55% BW per day, respectively, at the high water temperature.

Key words: Sub-adult, Growing, Olive flounder, Feeding rate, High water temperature

서론

외국의 수산선진국은 배합사료를 기반으로 주요 양식어종을 생산하고 있으며, 각 양식어종에 대한 배합사료 공급량 및 공급횟수에 대한 배합사료 공급프로그램이 개발되었다(NRC, 2011). 우리나라에서 가장 많이 양식되고 있는 넙치는 2014년 기준 전체 해산어 총 생산량 중 51%를 차지하는 중요한 양식어종이다(Kim et al., 2014). 아직까지 넙치 양식은 잡어에 기반한 습사료를 이용하여 양식되고 있으며, 최근 제주지역에서 배합사료 사용이 활성화 되어 점차 확대되고 있다(Oh et al., 2014). 하지만 아직까지 넙치에 대한 배합사료 공급률에 대한 정보는

부족한 실정이며, 특히 100 g 이상의 성장기, 미성어기 및 성어기 넙치를 대상으로 한 연구는 미비한 실정이다.

어류양식에 있어 총 양식경영비의 50-60%가 사료비로 지출되고 있으며(Cho et al., 2006), 배합사료의 공급량은 양식어류의 성장 및 사료효율 등에 영향을 미치므로 매우 중요하게 관리되어야 한다. 하지만 넙치에 대한 배합사료 공급률에 대한 자료가 미비하여 실제 양식현장에서는 대부분 반복급여를 하고 있는 실정이다. 배합사료의 반복공급은 사료의 허실로 인한 수질 오염 및 생산단가 상승을 초래하며, 소화 및 대사 장애 등의 문제점이 발생할 수 있다(Kim et al., 2014; Lee et al., 2014). 따라서 수온에 따른 적정 사료 공급률을 설정하여 사료가 과잉 혹은

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0681>



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 48(5) 681-687, October 2015

Received 4 November 2014; Revised 15 December 2014; Accepted 6 February 2015

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

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

부족하지 않도록 공급하여야 한다.

수온은 어류의 생리적 과정에 중요한 영향을 미치며, 서식수온 범위를 벗어나게 되면 어류의 건강에 직간접적으로 다양한 영향을 미친다. 어류는 성육단계 및 생활주기에 따라 고유한 서식수온대가 있으며, 그 중에는 생활에 최적상태를 가져다 주는 최적수온대가 있다. 넙치의 서식 적수온은 18-25℃이다. 일반적으로 서식 적수온의 범위를 벗어나 수온이 상승하면 어류의 대사율 및 산소소비가 증가되고, 수중 용존산소의 포화도가 감소된다. 넙치의 경우 서식수온 범위를 벗어나 고수온 환경에 노출시킨 결과, 체내에서 산화 스트레스를 유발시키는 동시에 면역기능을 저해시킨다고 보고되었다(Shin et al., 2010). 우리나라의 넙치양식은 대부분 육상수조식에서 유수식으로 양식을 하기 때문에 자연수온에 의존할 수 밖에 없다. 따라서 여름철 고수온기 및 겨울철 저수온기에는 정상적인 사료공급이 이루어지지 않아 질병 및 폐사로 인해 많은 문제점이 대두되고 있는 실정이다.

지금까지 보고된 넙치의 배합사료 공급률에 관한 연구를 살펴보면, 대부분 적정수온과 치어기단계(Cho et al., 2006; Choi et al., 2008; Kim et al., 2010; Kim et al., 2011; Kim et al., 2014b)에서 주로 조사되었다. 넙치의 출하크기는 대부분 1 kg 내외였으나, 최근 2 kg 이상의 대형넙치의 생산 및 출하가 꾸준히 증가하고 있다(Kim et al., 2014a). 따라서 성장기, 미성어기 및 성어기의 어류를 대상으로 사육수온별로 세부적인 배합사료 공급률 설정이 필요한 실정이다.

본 연구는 배합사료 공급프로그램 개발을 위한 기초연구로 성장기 113 g 및 미성어기 313 g 넙치를 대상으로 사육수온 25-31℃ 범위에서 배합사료의 적정공급률 조사와 더불어 성장, 사료효율 및 혈액성상에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

실험사료

실험1과 2에 사용된 실험사료는 상업용 넙치용 배합사료를 이용하였으며, 일반성분 분석은 Table 1에 나타내었다. 실험1은

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

Proximate composition	Contents	
	EXP-I	EXP-II
Dry matter (%)	7.8	8.2
Crude protein (% DM)	51.4	52.1
Crude lipid (% DM)	12.7	11.2
Crude ash (% DM)	11.5	11.0
Size (mm)	9.0~9.4	11.0~11.4

평균무게 113 g 미성어기 넙치의 배합사료 적정공급률 확인을 위해 어체 무게당(g) 0, 0.7, 1.2, 1.7, 2.2 및 2.4% (만복공급)로 설정하여 총 6개 실험구로 나누어 급여하였다. 실험2는 평균무게 313 g 미성어기 넙치의 배합사료 적정공급률 확인을 위해 어체 무게당(g) 0%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, 0.9% 및 만복공급(1.0%)으로 설정하여 총 6개 실험구로 나누어 공급하였다. 실험 시작 전 공급률 설정을 위해 실험어류를 대상으로 4일간 만복으로 실험사료를 공급한 후 공급률을 설정하였다.

실험어 및 사육관리

실험어류는 제주도내 양어장에서 제주대학교 소속 해양과 환경연구소로 운송되어 2주 동안 시판 배합사료를 급여하면서 실험환경에 적응할 수 있도록 순치시킨 후 사료공급실험에 사용되었다. 실험1은 예비사육 후 실험어류(초기 평균무게: 113±2.6 g)를 총 12개의 1,200 L 원형수조에 각 수조 당 18 마리씩 무작위로 선택하여 배치되었다. 실험2는 예비사육 후 실험어류(초기 평균무게: 313±3.4 g)를 총 12개의 1,200 L 원형수조에 각 수조 당 28 마리씩 무작위로 추출하여 배치되었다. 사료공급실험은 실험구당 2 반복구를 두었으며, 사육수는 여과해수를 사용하여 4.5 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 25℃에서 31℃ 범위로 자연수온에 의존되었다. 실험사료는 1일 2회(오전 08:00, 오후 18:00)에 나눠서 4주 동안 어체중의 공급비율별로 급여하였다.

성장 및 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℃, 3 h), 조회분은 직접회화법(550℃, 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 미세혈관채혈튜브(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 point 방법으로 분석되었다.

통계학적 분석

실험사료군의 배치는 완전확률계획법(Completely randomized 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 ± 표준편차 (mean ± SD)로 나타내었다. 백분율 데이터는 arcsine 변형 값으로 계산하여 통계 분석되었다.

결과 및 고찰

성장기 넙치(113 g)와 미성어기(313 g) 넙치를 대상으로 고수온기 25-31℃ 범위에서 배합사료 공급률을 알아보기 위한 4주간의 성장실험 결과는 Table 2에 나타내었다. 사료를 급여하지 않은 0% 실험구에서 두 실험 모두 어체중이 감소되는 성장률(-4.7%, -9.6%)을 보여, 고수온에서 어체 크기가 증가함에 따라 성장률의 감소가 증가하는 것을 알 수 있었다. 지금까지의 연구결과를 보면, 넙치를 대상으로 사료를 급여하지 않고 절식시켰을 경우 어류의 크기에 따라 다르지만 치어기(7.7 g 및 5.4 g)에는 저수온(14.8 ± 0.3℃)과 고수온(25.7 ± 0.5℃)에서 각각 -21.5% 및 -22.3% 감소되는 성장률을 보였으며(Kim et al. 2011), 성장기 97 g 넙치는 21℃ 수온에서 -12.5% (Kim et al., 2014), 육성기 240 g 넙치는 19-21℃ 수온에서 -8.1% (Lee et al., 2014), 미성어기 317 g 넙치는 21-24℃ 수온에서 -10.6% (Oh et al., 2014), 미성어기 384 g 넙치는 20-24.5℃ 수온에서 -13.9% (Kim et al., 2014)의 성장률을 보였다. 증체율 및 일간성장률에서는 사료급여량이 증가함에 따라 증가하다가 만복실험구에서 다시 떨어지는 성장결과를 보였다. 일반적으로 넙치를 비롯하여 다른 어종에서도 제한공급에 비해 만복공급으로 갈수록 성장이 높아지는 경향을 보이며, 사료공급률이 증가할수록 어류의 성장은 증가한다(Xiao-Jun and Ruyung,

Table 2. Effects of feeding rate on the growth performance of olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed the experimental diet for 4 weeks¹

Experiment I	Diets					
	0%	0.7%	1.2%	1.7%	2.2%	S ² (2.4%)
IMBW ³	109±2.4.	113±1.2	111±1.6	112±1.1	117±3.9	113±1.5
FMBW ⁴	104±5.3 ^a	151±1.4 ^b	153±4.4 ^b	175±7.1 ^c	198±3.1 ^d	176±8.6 ^c
WG ⁵	-4.7±4.9 ^a	33.2±1.2 ^b	37.8±4.0 ^b	55.9±6.3 ^c	69.5±2.7 ^d	55.4±7.6 ^c
SGR ⁶	-0.21±0.22 ^a	1.25±0.04 ^b	1.39±0.13 ^b	1.93±0.18 ^c	2.29±0.07 ^d	1.91±0.21 ^c
FE ⁷	-	178±6.7 ^b	119±12.5 ^a	110±12.4 ^a	100±3.9 ^a	97±13.3 ^a
PER ⁸	-	3.65±0.14 ^b	2.45±0.26 ^a	2.26±0.26 ^a	2.05±0.08 ^a	1.99±0.27 ^a
Survival ⁹	61±5.5 ^a	94±4.0 ^b	92±4.7 ^b	100±0.0 ^b	94±7.1 ^b	94±5.1 ^b
Experiment II	0%	0.3%	0.5%	0.7%	0.9%	S ² (1.0%)
IMBW	310±1.6	313±0.8	308±1.4	317±1.8	315±1.8	314±2.4
FMBW	284±5.7 ^a	341±10.4 ^b	346±12.1 ^{ab}	383±7.2 ^c	366±9.0 ^c	342±8.0 ^b
WG	-9.6±2.1 ^a	8.8±3.3 ^b	12.3±3.9 ^{ab}	19.5±2.3 ^c	16.4±2.9 ^c	8.8±2.5 ^b
SGR	-0.44±0.1 ^a	0.37±0.13 ^b	0.50±0.15 ^{ab}	0.78±0.08 ^c	0.66±0.11 ^c	0.37±0.10 ^b
FE	-	110±41.2 ^b	88.5±28.1 ^{ab}	100±11.5 ^b	66±11.5 ^{ab}	30±8.5 ^a
PER	-	2.26±0.85 ^b	1.82±0.58 ^{ab}	2.05±0.24 ^b	1.35±0.24 ^{ab}	0.61±0.18 ^a
Survival	75±7.1	68±14.1	71±19.8	68±11.3	71±7.1	72±12.0

¹Values are means from duplicate groups of fish; values in each row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$). ²S: Satiation. ³IMBW: Initial weight (g/fish). ⁴FMBW: Final weight (g/fish). ⁵WG: Weight gain (%) = (final weight - initial weight) × 100 / initial weight. ⁶SGR: Specific growth rate (%) = (log_e final wt. - log_e initial wt.) / days. ⁷FE: Feed efficiency (%) = wet weight gain (g) × 100 / dry feed intake (g). ⁸PER: Protein efficiency ratio = wet weight gain / protein intake. ⁹Survival (%) = Number of fish at end of experiment / Number of fish stocked × 100.

1992; Adebayo et al., 2000; Ng et al., 2000; Mihelakakis et al., 2002). 하지만 본 연구에서는 반복실험구 보다 사료공급량이 낮은 실험구에서 높은 성장률을 보인 것은 적정수온에서는 섭취량이 증가하고 대사활성 역시 높아 반복실험구가 제한실험구에 비해 성장이 높지만, 적정수온이 아닌 고수온 또는 저수온에서는 적수온과 비교하여 대사활성이 낮아 소화할 수 있는 능력 이상의 사료를 섭취할 경우 소화 및 대사에 영향을 미쳐 반복실험구에서 성장률이 떨어지는 것으로 판단된다. 수온은 어류의 생리적 과정에 중요한 영향을 미치는데 넙치의 경우 서식수온 범위를 벗어나 고수온 환경(20°C, 25°C, 30°C)에 노출시켜 산화 스트레스의 정도를 측정된 결과, 항산화효소(superoxide dismutase 및 catalase) 활성, 전환된 mRNA 발현량, lipid peroxidation, 혈장 내 H₂O₂ 농도, ALT (alanine aminotransferase) 및 AST (aspartate aminotransferase) 값이 유의적으로 증가되어 체내에서 산화 스트레스를 유발시키는 동시에 면역기능을 저해시킨다고 보고하였다(Shin et al., 2010). 이런 환경에서 사료를 공급하지 않거나 소화능력 이상으로 과잉 공급할 경우 산소소비가 증가하고 대사율이 증가하며 어류의 성장에 부정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 어체크기 및 사육수온에 따라 양식어류의 사료섭취량, 대사활성 및 이용성에 차이가 있음이 본 연구를 통해 다시 한번 증명되었다. 사료효율과 단백질 이용효율은 사료공급률이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 넙치를 대상으로 한 다른 연구에서도 고수온에서 본 연구의 결과와 일치되게 사료공급량이 증가함에 따라 사료효율 및 단백질전환효율이 유의적으로 감소하였다(Kim et al., 2011; Kim

et al., 2014). 고수온 및 적수온에서는 저수온 보다 상대적으로 사료섭취량 및 소화이용성이 높아 짧은 실험기간에도 불구하고 실험구간에 유의적인 차이를 보인 것으로 사료된다. 성장기 넙치에서 생존율은 절식실험구가 유의적으로 가장 낮은 결과를 보였으며, 나머지 실험구에서는 92% 이상 높은 생존율을 보였다. Kim et al. (2011)의 연구에서도 본 연구결과와 일치되게 고수온기에 절식실험구(20%)에서 유의적으로 낮은 생존율을 보였다. 하지만 미성어기 넙치에서는 모든 실험구에서 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 전체 실험구에서 68-75%로 낮은 생존율을 보였다. 적수온에 벗어난 저수온기와 고수온기에는 일반적으로 폐사가 많이 나타난다. 다른 연구에서도 고수온기에 생존율을 보면 특히 절식실험구(20%)와 반복실험구(85%)에서 유의적으로 낮은 생존율을 보였고, 저수온기에도 40-80%로 낮은 생존율을 보였다(Kim et al., 2011). 따라서 어류의 적정수온이 아닌 고수온기에는 어류의 사료섭취 및 대사활성에 영향을 미쳐 정상적인 대사활동이 이루어 지지 않아 소화이용성에 영향을 미치기 때문에 적정량의 사료를 공급하여 소화 및 대사에 문제가 되지 않도록 주의하여야 할 것이다. 두 연구결과를 비교하여 보면 성장기 보다는 미성어기에서 보다 높은 생존율을 보임으로서 성어기의 어류가 수온에 대한 내성이 치어기 보다 더 높은 것을 알 수 있었다.

배합사료 공급률이 넙치의 혈액성상에 미치는 영향을 알아보기 위해 조사한 혈액분석 결과는 Table 3에 나타내었다. 성장기 넙치(113 g)의 Hematocrit 수치는 모든 실험구간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. Hemoglobin 수치에서는 절식실험구에

Table 3. Effects of feeding rate on the serological characteristics of olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed the experimental diet for 4 weeks¹

Experiment I	Diets					
	0%	0.7%	1.2%	1.7%	2.2%	S ² (2.4%)
HCT ³	31.3±1.4	27.5±2.1	30.1±2.5	33.9±1.1	31.9±0.4	30.5±0.7
HGB ⁴	9.6±0.4 ^b	6.9±1.9 ^a	7.2±0.3 ^a	6.9±0.4 ^a	6.9±1.0 ^a	8.2±0.4 ^{ab}
AST ⁵	17±2.0	27±16.0	21±11.0	22±8.0	26±13.0	20±8.0
ALT ⁶	3.9±2.8	5.0±0.9	23.0±21.0	15.1±12.8	18.1±12.2	19.8±17.2
Glucose ⁷	26±12.3 ^{ab}	34±13.3 ^{ab}	40±17.2 ^b	29±11.9 ^{ab}	21±10.8 ^{ab}	17±4.5 ^a
TP ⁸	3.5±0.7 ^{ab}	3.9±0.8 ^b	4.3±0.1 ^b	3.8±0.5 ^b	3.5±0.5 ^{ab}	2.8±0.3 ^a
Experiment II	0%	0.3%	0.5%	0.7%	0.9%	S ² (1.0%)
HCT	25.9±5.1	31.5±5.3	31.3±4.9	31.7±13.9	23.8±2.2	25.0±1.2
HGB	5.2±1.6	7.2±1.8	7.8±0.6	7.7±4.1	4.6±0.9	5.4±0.4
AST	35.7±20.0 ^b	13.9±0.9 ^{ab}	14.7±2.4 ^{ab}	9.4±0.2 ^a	22.6±10.9 ^{ab}	18.9±2.4 ^{ab}
ALT	9.2±1.6 ^b	7.5±0.6 ^{ab}	8.0±0.6 ^{ab}	8.8±0.1 ^{ab}	6.9±1.1 ^a	6.7±0.4 ^a
Glucose	15.2±0.8	13.6±3.4	14.5±0.8	14.0±7.2	9.1±2.0	10.9±1.8
TP	3.2±0.2 ^a	4.1±0.1 ^b	4.2±0.2 ^b	4.5±0.6 ^b	4.5±0.0 ^b	4.3±0.4 ^b

¹Values are means from duplicate groups of fish; values in each row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$). ²S: Satiation. ³HCT: Hematocrit (%). ⁴HGB: Hemoglobin (g/dL). ⁵AST: Aspartate aminotransferase, Unit per liter (U/L) is the amount of enzyme which oxidizes one $\mu\text{mol/L}$ of NADH per minute. ⁶ALT: Alanine aminotransferase. ⁷Glucose (mg/dL). ⁸TP: Total protein (mg/dL).

서 유의적으로 높은 값을 보였으나 반복실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 본 연구는 비록 4주라는 짧은 기간 동안 수행되었지만 절식실험구에서 유의적으로 높은 hemoglobin 수치를 보였다. 이전의 연구결과를 살펴보면, 본 연구결과와 반대로 저수온기(15℃ 이하)에 절식실험구와 반복실험구에서 유의적으로 낮은 hematocrit 및 hemoglobin 수치를 보였다(Kim et al., 2011). 사육수온이 양식어류에게 부적합한 저수온기 혹은 고수온기에는 절식실험구 및 반복실험구에서 유의적으로 낮은 뚜렷한 경향을 볼 수 있었다. 본 연구에서 이전의 연구와 반대로 절식실험에서 유의적으로 높은 값을 보인 것은 어류의 성장단계 및 사육환경의 변화에 따른 차이로 보인다. 본 실험은 자연수온에 의존하여 사육수온의 범위가 25-31℃ 범위로 짧은 기간이지만 사육수온의 범위가 매우 크다. 또한 본 연구에서 절식 실험구는 다른 실험구와 비교하여 유의적으로 낮은 생존율을 보였다. 절식실험구는 사육실험기간 동안 폐사가 나타남으로써 사육밀도가 다른 실험구에 비해 낮아져 비교적 사육환경이 개선되었으나, 다른 실험구는 폐사가 거의 이루어 지지 않고 계속 성장함에 따라 밀도가 증가하여 사육환경이 악화되었을 것으로 판단된다. 이렇게 성장단계, 사육환경의 변화(밀도 및 수온)의 차이 등 다양한 요인의 영향을 받아 이전의 연구결과와 반대로 절식실험구에서 유의적으로 높은 hemoglobin 수치를 보인 것으로 판단된다. Glucose 함량에 있어서는 사료공급량이 증가함에 따라 증가하여 1.2% 실험구에서 유의적으로 가장 높았으며, 이후 다시 감소하다가 반복실험구(2.4%)에서 유의적으로 낮은 값을 보였다. Total protein 결과에서는 반복실험구가 다른 모든 실험구와 비교하여 유의적으로 낮은 값을 보였으며, 절식실험구 및 2.2% 실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이것은 반복실험구(2.4%)에서 사료공급량이 낮은 2.2% 실험구 보다 유의적으로 낮은 성장률을 보인 결과에서 알 수 있듯이 소화할 수 있는 능력 이상의 사료가 공급됨에 따라 정상적인 영양소 대사가 이루어 지지 않았기 때문으로 판단된다.

미성어기 넙치(313 g)의 hematocrit, hemoglobin 및 glucose 수치는 모든 모든 실험구간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 하지만 AST 결과에서는 0.7% 실험구가 절식실험구 보다 유의적으로 낮은 값을 보였으며, ALT 결과에서는 0.9% 및 반복실험구에서 절식실험구 보다 유의적으로 낮은 값을 보였다. AST 및 ALT는 영양적 불균형 혹은 기타 요인에 따른 간 손상을 알아보기 위해 분석하는 항목이다. 절식실험구는 4주 동안 사료를 섭취하지 못해 영양적으로 불균형하여 정상적인 영양소 대사가 이루어지지 못한 결과로 판단된다. Total protein은 실험사료의 공급에 따른 영양소의 대사를 확인하기 위해 측정한다. Total protein 결과에서는 절식실험구가 다른 모든 실험구와 비교하여 유의적으로 낮은 값을 보였다. Myeong et al. (2011)은 활어 수송을 위해 넙치를 8일간 절식시킨 후 생리학적 대사활성 변화를 조사한 결과 total protein 값이 유의적으로 감소하였다고 보고하였다. 이러한 결과의 이유는 1차적으로 먹이제한에 의한

체내 생리활성 유지를 위한 에너지 유입량 감소 때문이라고 설명하고 있다. 즉 먹이제한에 의해 대사량이 감소하여 체내 에너지원 또는 에너지 요구량이 감소하였다는 것이다. ALT 및 AST의 결과에서도 알 수 있듯이 4주간 사료를 섭취하지 못해 정상적인 영양소 대사가 이루어 지지 않아 대사량이 감소하였기 때

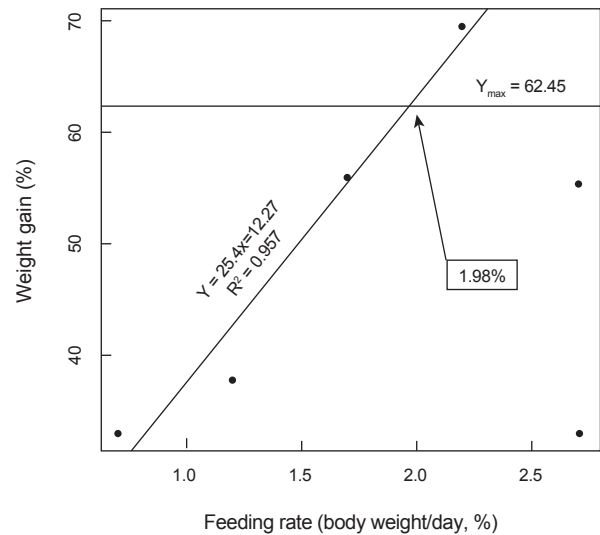


Fig. 1. Broken-line regression analysis of weight gain (%) according to feeding rate in the experiment I. Each point represents the average of two groups of fish. The optimum feeding rate for weight gain was 1.98% body weight/day.

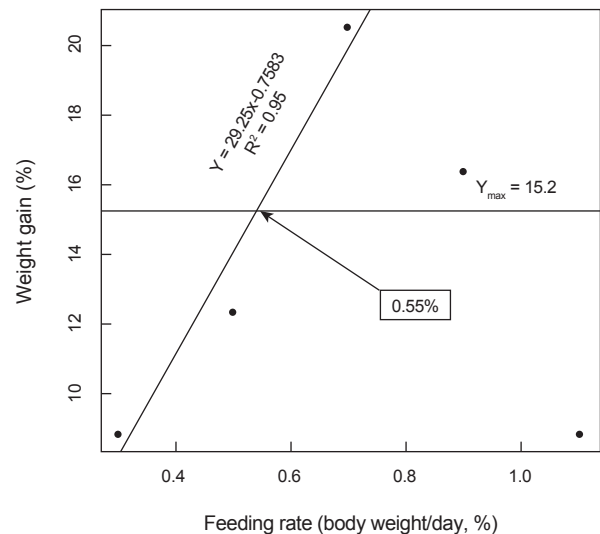


Fig. 2. Broken-line regression analysis of weight gain (%) according to feeding rate in the experiment II. Each point represents the average of two groups of fish. The optimum feeding rate for weight gain was 0.55% body weight/day.

문에 유의적으로 낮은 total protein 값을 보인 것으로 판단된다.

성장률을 기초로 Broken-line 분석을 통해 배합사료의 적정공급률을 분석한 결과, 어체중 당 성장기 넙치는 1.98%, 미성어기 넙치는 0.55%가 고수온기(25-31℃)의 적정공급률로 분석되었다(Figs. 1, 2). 지금까지 보고된 저수온에서 넙치의 수온별 적정공급률 연구결과 살펴보면, Choi et al. (2008)은 13 g 넙치치 어를 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%, 수온 20-24.5℃에서 384 g 넙치는 어체중 당 0.74%로 어류가 성장함에 따라 공급률이 감소되는 것을 알 수 있었다(Kim et al., 2014a; Kim et al., 2014b; Lee et al., 2014; Oh et al., 2014). 이와 반대로 저수온에서 넙치의 수온별 적정공급률 연구결과, 13℃ 수온에서 117 g 넙치의 적정공급률은 어체중 당 0.3% (Kim et al., 2010), 12℃에서 281 g 넙치의 적정공급률은 어체중 당 0.32% (Kim et al., 2009), 12-14℃에서 370 g 넙치의 적정공급률은 어체중 당 0.51%로 보고되었다(Kim et al., 2014). 넙치는 저수온에서 벗어난 저수온 및 고수온 환경에서 사료공급률이 감소하며, 저수온 보다는 고수온에서 적정사료공급률이 다소 높은 것을 알 수 있었다.

연구결과를 종합해 보면, 사료공급률은 어종의 크기와 사육환경에 영향을 받고, 특히 사육수온은 사료섭취량 및 생체의 영양 대사 활성에 직접적인 영향을 미쳐 결국 어류의 성장과 생존율에 영향을 미쳤다. 특히, 고수온기에 어류의 성장률을 높이기 위해 적정공급량 이상으로 사료를 반복공급 할 경우 양식어류의 정상적인 대사활동이 이루어지지 못해 오히려 성장률이 떨어질 것으로 판단된다. 또한 절식실험구에서 생존율이 낮은 것으로 볼 때 고수온기에는 절식 및 반복급여는 지양하고 적정공급률을 기초로 양식어류가 적정량의 사료를 섭취할 수 있도록 급여하여야 할 것으로 판단된다. 따라서 25-31℃ 고수온기에 성장기(113 g)와 미성어기(313 g) 넙치의 배합사료 적정공급률은 어체중 당 1.98%와 0.55%가 적절한 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2015년도 국립수산물과학원 수산과학연구소(R2015016)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

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 Aquacult 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.
- Cho SH, Lee SM, Park BH and Lee, SM. 2006. Effect of feeding ratio on growth and body composition of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus* fed extruded pellets during the summer season. *Aquaculture* 251, 78-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.05.041>.
- 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. *Korean J Fish Aquat Sci* 21, 244-251.
- 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*. *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 217-222. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2010.43.3.217>.
- 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. *Korean J Fish Aquat Sci* 42, 262-267. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2009.42.3.262>.
- 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. *Korean J Fish Aquat Sci* 44, 345-351. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2011.0345>.
- Kim SS, Kim KW, Kim KD, Lee BJ, Han HS and Lee KJ. 2014. Optimum feeding rate for sub-adult olive flounder (370 g) *Paralichthys olivaceus* fed practical extruded pellets at low water temperature (12-14℃). *Korean J Fish Aquat Sci* 47, 1063-1068. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.1063>.
- Kim SS, Kim KW, Kim KD, Lee BJ, Han HS, Kim JW, Bai SC and Lee KJ. 2014a. Optimum feeding rate for sub-adult olive flounder (384 g) *Paralichthys olivaceus* fed practical extruded pellets at optimum water temperatures (20-24.5℃). *Korean J Fish Aquat Sci* 47, 582-587. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0582>.
- Kim SS, Kim KW, Kim KD, Lee BJ, Han HS, Kim JW, Bai SC and Lee KJ. 2014b. 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. <http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2014.26.4.789>.
- Kim SS, Kim KW, Kim KD, Lee BJ, Lee JH, Han HS, Kim JW and Lee KJ. 2014. Comparison of extruded and moist pellets for growth performance, water quality and histology of olive flounder *Paralichthys olivaceus* in Jeju fish farm. *J*

- Fish Mar Sci Edu 26, 667-675. <http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2014.26.3.667>.
- 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. Korean J Fish Aquat Sci 47, 234-240. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0103>.
- Mihelakakis A, Tsoikas 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. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00491.x>.
- Myeong JI, Kang DY, Kim HC, Lee JH, Noh JH 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.
- Ng, W.K., K.S. Lu, R. Hashim and A. Ali. 2000. Effects of feeding rate on growth, feed utilization and body composition of a tropical bagrid catfish. Aquacult Int 8, 19-29. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009216831360>.
- NRC (Nutrient Research Council). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. The National Academy Press, Washington DC, USA, 279.
- Oh DH, Kim SS, Kim KW, Kim KD, Lee BJ, Han HS, Kim JW, Okorie EO, 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). Korean J Fish Aquat Sci 47, 103-113. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0399>.
- Shin HS, An KW, Kim NN and Choi CY. 2010. Antioxidant defenses and physiological changes in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) in response to oxidative stress induced by elevated water temperature. Kor J Ichthyol 22, 1-8.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.1992.tb02619>.