

적수온(19-21°C)에서 배합사료를 공급한 육성기 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 적정 공급률

이정호 · 김성삼¹ · 김강웅¹ · 김경덕¹ · 이봉주¹ · 이진혁¹ · 한현섭¹ · 김재원² · 김성연 · 이경준^{3,4*}

국립수산과학원 육종연구센터, ¹국립수산과학원 양식사료연구센터, ²강원도립대학교 해양생명과학과, ³제주대학교 해양생명과학과, ⁴제주대학교 해양과환경연구소

Optimum Feeding Rate in Growing Olive Flounder *Paralichthys olivaceus* Fed Practical Expanded Pellet at Optimum Water Temperature (19-21°C)

Jeong-Ho Lee, Sung-Sam Kim¹, Kang-Woong Kim¹, Kyoung-Duck Kim¹, Bong-Joo Lee¹, Jin-Hyeok Lee¹, Hyon-Sob Han¹, Jae-Won Kim², Sung-Yeon Kim, and Kyeong-Jun Lee^{3,4*}

Genetics & Breeding Research Center, National Fisheries Research & Development Institute, Geoje 656-842, Korea

¹Aquafeed Research Center, National Fisheries Research & Development Institute, Pohang 791-923, Korea

²Department of Marine Life-Science, Gangwon Provincial college, Gangneung 210-804, Korea

³Department of Marine Life Science, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

⁴Marine and Environmental Research Institute, Jeju National University, Jeju 695-814, Korea

We investigated the effects of feeding rate on the growth performance, blood components, and histology of growing olive flounder *Paralichthys olivaceus*. We determined the optimum feeding rate (initial fish mean weight of 240 ± 10.9 g) at the optimum water temperature. Two replicated groups of fish were fed a commercial diet at rates of 0%, 0.5%, 0.75%, and 1.0% body weight (BW) per day, and to satiation. Feeding trial was conducted using a flow-through system with 10 1.2-metric ton aquaria receiving filtered seawater at 19-21°C for three weeks. Weight gain (WG) for fish fed to satiation was significantly higher than that of unfed fish and fish fed at 0.5% and 0.75% BW per day. The WG of fish fed at 1.0% BW per day was significantly higher than that of unfed fish and of fish fed at 0.5% BW per day. However, there were no significant differences in WG between fish fed at 0.5% BW per day and those fed at 0.75% BW per day, between fish fed at 0.75% BW per day and those fed at 1.0% BW per day, and between fish fed at 1.0% BW per day and those fed to satiation. The specific growth rates of fish fed at 1.0% BW per day and those fed to satiation were significantly higher than those of unfed fish and of fish fed at 0.5% BW per day. Broken-line regression analysis of weight gain showed that the optimum feeding rate of olive flounder weighing 240 g was 1.09% BW per day at the optimum water temperature.

Key words: Olive flounder, Feeding rate, Optimum water temperature, Broken-line regression analysis

서 론

최근 우리나라의 경우 수산양식에 있어서 배합사료 의무화 정책을 위해 고효율 사료개발 및 현장 배합사료 비교사양 시험 등 많은 연구들이 활발히 수행되고 있다(Kim et al., 2006; Kim et

al., 2008; An et al., 2011). 배합사료(Expanded pellet, EP)를 사용하여 양식하는 어종도 있는 반면 해산어 중 넙치 및 조피볼락 양식은 아직까지 생사료(Moist Pellet, MP) 사용량이 많아 배합사료 전환에 어려움을 겪고 있다. 이 두 어종의 배합사료 전환을 위해서는 고효율 배합사료 개발과 더불어 사육관리

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0234>



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(3) 234-240, June 2014

Received 9 April 2014; Revised 8 May 2014; Accepted 30 May 2014

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

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

및 급이체계 개발, 백신 등 질병대체 기술개발, 유전육종 기술 개발 등 획기적으로 양식생산성을 향상 시킬 수 있는 연구들도 함께 추진되어야 할 것이다(Min et al., 2009; Kim et al., 2010; Kim et al., 2011).

외국의 경우 배합사료를 기반으로 주요 양식어종을 생산하고 있으며, 이에 따라 채널메기(*Ictalurus punctatus*), 잉어(*Cyprinus carpio*), 틸라피아(*Oreochromis niloticus*) 및 송어(*Oncorhynchus mykiss*)를 대상으로 배합사료 급이량 및 급이횟수에 대한 배합사료 급이프로그램이 개발되었다(Schmittou et al., 1998; NRC, 2011). 배합사료 급이량 및 급이횟수는 어체 크기 및 사육수온에 따라 차이를 보인다. 메기의 경우 25~100 g 크기에서는 1일 2회 어체 중의 4%에서 3%로 점차 사료급이량이 감소되며, 150-600 g 크기는 1일 1회 2.8%에서 1.2%까지 감소된다. 잉어 및 틸라피아의 경우 치어기에는 1일 3회 급이 후 어체가 성장함에 따라 1일 2회로 감소되고 급이량도 4.5%에서 1.4%까지 감소된다. 송어의 경우에서도 성장함에 따라 사료 급이량이 감소되었고, 수온 조건(5℃, 10℃, 15℃)을 달리하였을 때, 수온이 올라감에 따라 사료 급이량이 증가되었다. 지금까지의 연구결과를 보면 사료 급이량은 어체 크기 및 사육수온에 따라 다르며, 어류가 성장함에 따라 감소되는 결과를 보였다.

아직까지 넙치를 대상으로 배합사료의 사육수온별 및 성장단계별로 세부적인 급이 프로그램 연구는 수행되지 않았다. 실제 넙치 양식현장에서는 급이 프로그램의 부재로 대부분 반복급이를 실시하고 있는 실정이다. 이에 따라 국립수산물과학원 사료연구센터에서 양식어업인들을 위해 크기별, 사육수온별로 적정 급이량 조사를 통해 배합사료 공급프로그램을 개발하여 인터넷과 스마트폰으로 이용하도록 제공하고 있다. 본 연구는 배합사료 공급프로그램 개발을 위한 기초연구로 240 g 넙치의 적정 수온 범위인 19-21℃ 수온에서 배합사료의 적정급이량 조사와 더불어 성장, 사료효율, 혈액성분 및 조직성상에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

실험사료

본 실험에 사용된 실험사료는 상업용 시판 넙치용 배합사료

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

Proximate composition	Experimental diet
Dry matter (%)	8.5
Crude protein (% DM)	58.6
Crude lipid (% DM)	14.5
Crude ash (% DM)	12.7
Gross energy (MJ/kg)	17.5
Size (mm)	9.0~9.4

를 이용하였으며, 일반성분 분석은 Table 1에 나타내었다. 240 g 육성기 넙치의 적정 사료급이량 확인을 위해 어체 무게당(g) 0%, 0.5%, 0.75%, 1.0% 및 만복공급(Saturation)으로 설정하여 총 5개 실험구로 나누어 급이하였다.

실험어 및 사육관리

사양실험에 사용된 실험어류는 제주도내 창해수산에서 제주대학교 소속 해양과환경연구소로 운송되어 2주 동안 시판 배합사료를 급이하면서 실험환경에 적응할 수 있도록 순치시킨 후 사료공급실험에 사용되었다. 예비사육 후 실험어류(초기 평균 무게: 240.4±11.01 g)는 총 10개의 1,200 L 원형수조에 각 수조 당 20 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 19℃에서 21℃ 범위로 자연수온에 의존되었다. 실험사료는 1일 2회(오전 08:00, 오후 18:00)에 나눠서 3주 동안 어체중의 수준별로 급이 하였다.

샘플수집

사료공급 실험 후, 어류의 최종 평균무게를 측정하여 증체율(weight gain), 사료효율(feed efficiency), 일간성장률(specific growth rate), 단백질전환효율(protein efficiency ratio) 및 생존율(survival)을 계산하였다. 최종 무게측정 후, 혈액분석을 위해 각 수조마다 4마리씩 무작위로 선택하여 마취용액(MS-222, 100 mg/L)으로 마취시켜 해파린 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 hr), 조회분은 직접회화법(550℃, 12 hr)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 해파린이 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 point 방법으로 분석되었다.

조직학적 관찰

넙치 해부를 통하여 간체장, 신장 및 전장의 조직학적 변화를 확인하기 위해 각 실험구당 3마리씩 무작위로 추출하였다. 해부한 조직을 Bouin's solution에 24시간 동안 고정 후 고정된 샘플을 수세와 탈수를 거쳐 paraffin에 포매하여 4-6 μm 두께로 연속절편하여 조직표본을 만들었다. 제작된 조직표본은 Mayer's hematoxylin과 0.5% eosin (H-E)의 비교염색을 실시한 후 광학현미경으로 관찰하였다.

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 평균 \pm 표준편차 (mean \pm SD)로 나타내었다. 백분율 데이터는 arcsine 변형 값으로 계산하여 통계 분석되었다.

결과 및 고찰

육성기 넙치(240 g)를 대상으로 적수온기 배합사료 급여량을

알아보기 위한 3주간의 성장실험 결과는 Table 2에 나타내었다. 실험기간 동안의 생존율은 85% 이상으로 모든 실험구에서 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 생존율에서 비록 유의적인 차이를 보이지 않았지만 사료가 충분히 공급된 1.0%와 만복 실험구에서는 95% 이상 높은 생존율을 보였으며, 사료가 불충분하게 공급된 나머지 실험구에서는 85-87.5%의 생존율을 보였다. 본 연구는 실험기간(3주)이 짧아 유의적인 차이를 보이지 않았지만 보다 더 장기간 연구가 수행된다면 생존율에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다. 성장결과에 있어서는 사료를 급이하지 않은 0% 실험구에서 어체중이 감소되는 성장률(-8.1%)을 보였으며, 사료급여량이 증가함에 따라 유의적으로 증가하였으나 1.0% 실험구와 만복급이 실험구에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 사료효율, 단백질전환효율 및 생존율에서도 1.0% 실험구가 가장 높았다. Kim et al. (2011)은 넙치 치어(15.7 g)를 대상으로 저수온기에 사료급여량 실험을 실시하였는데 사료를 공급하지 않은 절식실험구(0%)에서 본 연구 결과와 일치하게 어체중이 감소하는 성장률(-9.4%)을 보였다. 성장률을 기초로 Broken-line 분석을 통해 최적의 사료급여량을 분석한 결과, 어체중 당 1.09%로 분석되었다(Fig 1). 지금까지 연구 보고된 넙치의 배합사료 급여량 연구결과를 살펴보면, Choi et al. (2008)은 13 g 넙치치어를 대상으로 여름철 평균수온이 21-25 $^{\circ}\text{C}$ 일때 실험한 결과 어체중 당 3.56%가 적정 사료급여량이라고 보고하였다. Kim et al. (2009)은 본 연구의 어체사이즈와 비슷한 넙치 미성어(279 g)를 대상으로 겨울철 저수온기 평균수온이 12 $^{\circ}\text{C}$ 일때 실험한 결과 1일 1회 어체중 당 0.32%로 만복으로 급이하는 것이 좋다고 보고하였다. 본 연구에서는 이보다 높은 1.09%로 1일 2회 제한급이 하는 것이 적정급여량으로 조사되었는데, 이것은 사육수온 및 성장단계에 따라 사료급이

Table 2. Effects of different feeding rates on growth performance of olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed the experimental diet for 3 weeks¹

	Diets					Pooled SEM ⁷
	0%	0.5%	0.75%	1.0%	S ²	
Initial weight (g/fish)	237	236	251	226	252	3.86
Final weight (g/fish)	218	265	287	282	319	13.7
Weight gain ³	-8.1 ^d	12.2 ^c	14.5 ^{bc}	24.7 ^{ab}	26.6 ^a	5.19
Specific growth rate ⁴	-0.40 ^c	0.55 ^b	0.64 ^{ab}	1.05 ^a	1.12 ^a	0.21
Feed efficiency ⁵	-	94.5 ^a	90.7 ^a	136 ^b	108 ^{ab}	10.3
Protein efficiency ratio ⁶	-	1.75 ^a	1.68 ^a	2.52 ^b	1.99 ^{ab}	0.19
Survival (%)	87.5	85.0	85.0	97.5	95.0	2.76

¹Values are means from duplicate groups of fish where the values in each row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

²S = Satiation (1.25%).

³Weight gain (%) = (final weight - initial weight) \times 100 / initial weight.

⁴Specific growth rate (%) = (log_e final wt. - log_e initial wt.) / days.

⁵Feed efficiency (%) = wet weight gain (g) \times 100 / dry feed intake (g).

⁶Protein efficiency ratio = wet weight gain / protein intake.

⁷Pooled standard error of means: SD/ \sqrt{n} .

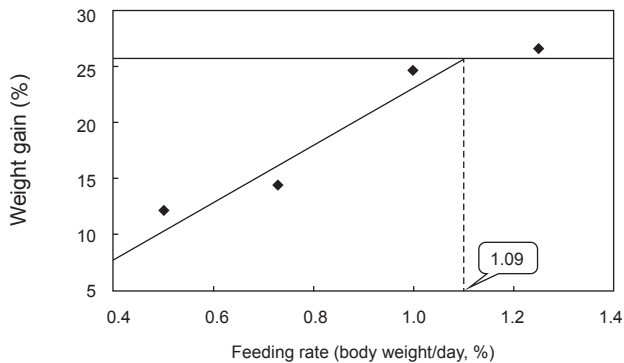


Fig. 1. Broken-line regression analysis of weight gain (%) to the feeding rates. Each point represents the average of two groups of fish. The optimum feeding rate for weight gain was 1.09 % body weight/day based on the broken-line regression analysis.

량 및 급이횟수가 달라질 수 있음을 의미한다. 이와 비슷하게 무지개송어를 대상으로 사육수온 조건(5°C, 10°C, 15°C)을 달리하여 적정급이량을 조사한 결과 적정수온 보다 낮은 온도에서는 급이량이 떨어지고 적정수온으로 올라갈수록 사료급이량이 증가하는 것을 볼 수 있었으며, 성장함에 따라 사료급이량도 점진적으로 감소하였다(NRC, 2011). Schmittou et al. (1998)은 메기, 잉어, 틸라피아를 양식하는데 있어서 성장단계별로 적정급이량 및 급이횟수를 달리하여 공급프로그램을 정리하였다. 따라서 넙치 양식에 있어서도 성장 및 수온단계별로 사료급이량, 먹이 급이 방법(제한급이, 반복급이) 및 급이횟수를 달리하여야 할 것이다. 따라서 추후 성장단계 및 사육수온을 보다 세부적으로 나누어 배합사료 급이량 및 급이횟수에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

배합사료 급이량이 넙치의 혈액성상에 미치는 영향을 알아보기 위해 조사한 혈액분석 결과는 Table 3에 나타내었다. Hema-

tocrit, hemoglobin, ALT 및 glucose 결과에 있어서는 모든 실험구들에서 유의적인 차이를 발견하지 못하였으나, AST의 경우 1.0%를 급이한 실험구에서 유의적으로 높은 값을 나타내었다. ALT와 AST는 일반적으로 척추동물에서 간의 기능과 상태를 나타내는 지표로서 사용되며 일반적으로 높은 ALT와 AST는 간 기능의 손상 또는 약화를 의미한다(Pan et al., 2003). 지금까지 넙치를 대상으로 AST를 분석한 결과 수치 값을 보면 18-101 U/L 범위이다(Kim et al., 2007; Kim et al., 2013). 본 연구에서 1.0% 실험구가 다른 실험구와 비교하여 유의적으로 높은 값을 보였지만, 이 수치(36.73 U/L)는 정상적인 범위의 값으로 간기능에 영향을 미치는 수치는 아니라고 판단된다. 혈장에서 total protein을 분석한 결과, 절식 시킨 실험구(0%)에서 유의적으로 가장 높은 값을 보였고, 0.75%, 1.0% 및 반복급이 실험구들 사이에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 일반적으로 어류에서 실험사료를 반복으로 충분히 공급되었을 경우 혈장 내 total protein 값은 차이를 보이지 않는다. Kim et al. (2009)은 자주복을 대상으로 단백질함량(35-55%)을 달리하여 반복으로 급이하였을 때 모든 실험구의 혈장 내 total protein 값의 차이가 없었다. 본 실험결과와 반대로 Kim et al. (2011)은 넙치 치어를 대상으로 저수온기에 배합사료 급이량을 달리하여 급이한 결과 절식실험구에서 유의적으로 낮은 total protein 값을 보였다. 위의 연구결과에서 알 수 있듯이 사료가 대상어종의 성장에 적합하게 충분히 공급되면 total protein 값이 차이를 보이지 않는다. 사료 내 단백질 에너지원이 아닌 탄수화물과 지방 원료의 적정 함량은 단백질의 이화작용을 최소화 할 수 있다(Cho and Kaushik, 1990). 다시 말해 어류에서 탄수화물과 지방은 단백질을 절약하는 에너지원으로서 적정함량을 사용하게 되면 단백질절약효과(protein sparing effect)를 나타낸다(Watanabe et al., 1987). 이처럼 대상어종에 적합한 사료공급량이 급이되지 않거나, 사료가 적정 에너지 비율(Protein:Energy ratio) 등을 갖추지 않으면 어류의 체내 영양소의 이화작용 등에 영향을 미칠

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

	Diets					Pooled SEM ⁵
	0%	0.5%	0.75%	1.0%	S ²	
Hematocrit (%)	32.8	33.3	32.3	29.8	25.0	1.54
Hemoglobin (g/dL)	3.08	3.25	2.70	2.71	2.59	0.11
AST (U/L) ³	23.83 ^a	18.67 ^a	17.93 ^a	36.73 ^b	18.74 ^a	2.59
ALT (U/L) ⁴	8.91	9.62	9.09	10.98	9.54	0.32
Glucose (mg/dL)	16.1	28.9	20.2	19.9	25.2	2.69
Total protein (mg/dL)	5.04 ^b	2.65 ^a	3.96 ^{ab}	3.84 ^{ab}	3.82 ^{ab}	0.28

¹Values are means from duplicate groups of fish where the values in each row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

²S = Satiation (1.25%).

³AST=Aspartate aminotransferase, Unit per liter (U/L) is the amount of enzyme which oxidizes one $\mu\text{mol/L}$ of NADH per minute.

⁴ALT=Alanine aminotransferase.

⁵Pooled standard error of means: SD/\sqrt{n} .

수 있다. 또한 어류는 변온동물로 사육수온에 따라 체내 대사활성이 달라진다. 본 연구에서 절식실험구의 TP 값이 다른 실험구 보다 유의적으로 높은 값을 보인 것은 어류가 사료를 섭취하지 못해 정상적인 영양소 대사가 이루어 지지 않았기 때문으로 판단된다.

사료급이량을 달리하여 사육한 실험어의 전어체 분석 결과는 Table 4에 나타내었다. 전어체의 수분함량은 반복공급 실험구에서 유의적으로 가장 낮은 값을 보였으나, 절식 실험구와 1.0% 실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 단백질함량은 반복실험구에서 유의적으로 낮은 값을 보였으며, 0.5% 및 0.75% 실험구에서 유의적으로 높은 값을 보였다. 지방함량은 절식실험구가 0.5%, 0.75% 및 1.0% 보다 유의적으로 높았다. 사료급이 실험구간에서는 사료급이량이 증가함에 따라 유의적으로 증가하여 반복실험구에서 가장 높은 값을 보였다. 회분은 0.5%와 0.75% 실험구에서 유의적으로 가장 높은 값을 보였으며, 1.0% 실험구에서 유의적으로 가장 낮은 값을 보였다. 사료를 급이하지 않은 절식실험구와 비교하면 사료급이량이 적은 0.5%와 0.75%는 지방함량이 적고 단백질함량이 높았다. 이와 반대로 사료급이량이 많은 반복실험구는 단백질함량이 낮고 지방함량이 유의적으로 높은 것을 알 수 있었다. 적정급이량 실험구인 1.0%에서는 절식실험구와 비교하여 단백질함량에서는 차이를 보이지 않았고, 지방 및 회분함량에서는 유의적으로 낮은 값을 보였다. 일반적으로 영양소의 함량이 다른 배합사료를 공급하게 되면 전어체의 일반성분에 영향을 미친다. Kim et al. (2009)은 단백질함량(35-55%)을 달리하여 공급한 결과 사료 내 단백질함량이 50%까지 증가할수록 전어체의 단백질 함량이 증가하였으며, 55%에서는 더 이상 증가하지 않았다. 지방함량에 있어서는 사료 내 단백질함량이 가장 낮은 35%에서 낮은 지방함량을 보였다. 조피볼락, 송어, 넙치 등 다른 연구에서도 이와 비슷한 연구결과를 보였다(Kim et al., 2001; Lee et al., 2001; Kim et al., 2002). 본 연구에서는 동일한 실험사료를 공급하였음에도 불구하고 전어체의 일반성분 결과가 다른 것은 급이량을 제한함으로써 어체성장에 필요한 적정 영양소요구량을 섭취하지 못하였기 때문으로 판단된다. 따라서 배합사료의 급이량이 과잉 또는 부족하게 되어 전어체의 일반성분에도 영

향을 주었을 것으로 판단된다. 하지만 보다 더 정확한 매커니즘을 파악하기 위해서는 장기간의 실험을 통한 증명이 필요할 것으로 판단된다.

배합사료의 급이량이 넙치의 간체장, 신장 및 전장의 조직학적 변화에 미치는 영향을 알아보기 위해 0% (절식실험구), 0.75% 및 반복실험구(saturation)의 조직상을 조사한 결과는 Fig 2에 나타내었다. 3주간의 사육실험 동안 모든 실험구에서 복부팽창과 같은 병변현상은 관찰되지 않았다. 3개 실험구의 간체장에서 간세포 내 핵이 응축되어 있고 모세혈관의 팽창 및 체장 효소원 과립들이 감소하는 현상을 관찰할 수 있었다(Fig. 2A-C). 신장은 절식실험구, 0.75% 실험구 및 반복공급구 모두 사구체 내 혈구세포가 팽창하고, 신관 상피층 상피세포의 팽창된 조직상을 보였다(Fig. 2D-F). 중장은 0.75% 실험구에서는 정상적인 조직상을 보였으나 절식실험구와 반복공급구에서 점막상피층 핵들이 응축되는 형태를 보였다(Fig. 2G-I). 이와 비슷하게 Kim et al. (2011) 연구에서 저수온기 넙치 치어를 대상으로 배합사료 급이량을 달리하여 간체장, 신장, 전장에서 조직 분석을 실시한 결과, 적정급이량 실험구가 절식실험구 및 반복실험구와 비교하여 양호한 조직상을 보여 주었다. 이러한 결과는 어류가 사료를 정상적으로 섭취하지 못하거나 이와 반대로 과잉 공급되어 영양소의 소화 및 흡수 작용에 영향을 미친 것으로 사료된다. 배합사료가 과잉 또는 불충분하게 되면 양식어류의 성장뿐만 아니라 내부 소화기관에도 부정적 영향을 미치는 것으로 판단된다.

본 연구에서 성장률을 바탕으로 broken-line regression 분석을 통한 적정급이량은 어체중 당 1.09%로 분석되었다(Fig 1). 넙치를 대상으로 지금까지 보고된 적정급이량 연구결과를 살펴보면, Choi et al. (2008)은 18.4 g에서 여름철 적정급이량을 조사한 결과 어체중 당 3.5%로 보고되었으며, Kim et al. (2011)은 7.7 g 치어를 대상으로 저수온기 및 고수온기에 적정급이량을 조사한 결과 각각 어체중 당 1.97-2.51, 4.82-6.36%로 보고되었다. Kim et al. (2009)은 281 g을 대상으로 겨울철(12℃)에 적정급이량을 조사한 결과 어체중 당 0.32%로 보고되었으며, Kim et al. (2010)은 117 g을 대상으로 겨울철(13℃)에 적정급이량을 조사한 결과 어체중 당 1일 1회 반복으로 급이하는 것을 추천

Table 4. Effects of different feeding rates on whole-body composition of olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed the experimental diet for 3 weeks (%)¹

	Diets					Pooled SEM ³
	0%	0.5%	0.75%	1.0%	S ²	
Moisture	71.9 ^{ab}	72.9 ^a	72.5 ^a	71.9 ^{ab}	71.0 ^b	0.22
Crude protein	65.3 ^b	68.5 ^a	69.3 ^a	65.0 ^b	59.1 ^c	1.20
Crude lipid	23.3 ^b	18.0 ^e	18.7 ^d	22.2 ^c	26.9 ^a	1.08
Crude ash	12.7 ^{bc}	13.5 ^{ab}	13.6 ^a	11.6 ^d	11.9 ^{cd}	0.27

¹Values are means from duplicate groups of fish where the values in each row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

²S = Satiation (1.25%).

³Pooled standard error of means: SD/\sqrt{n} .

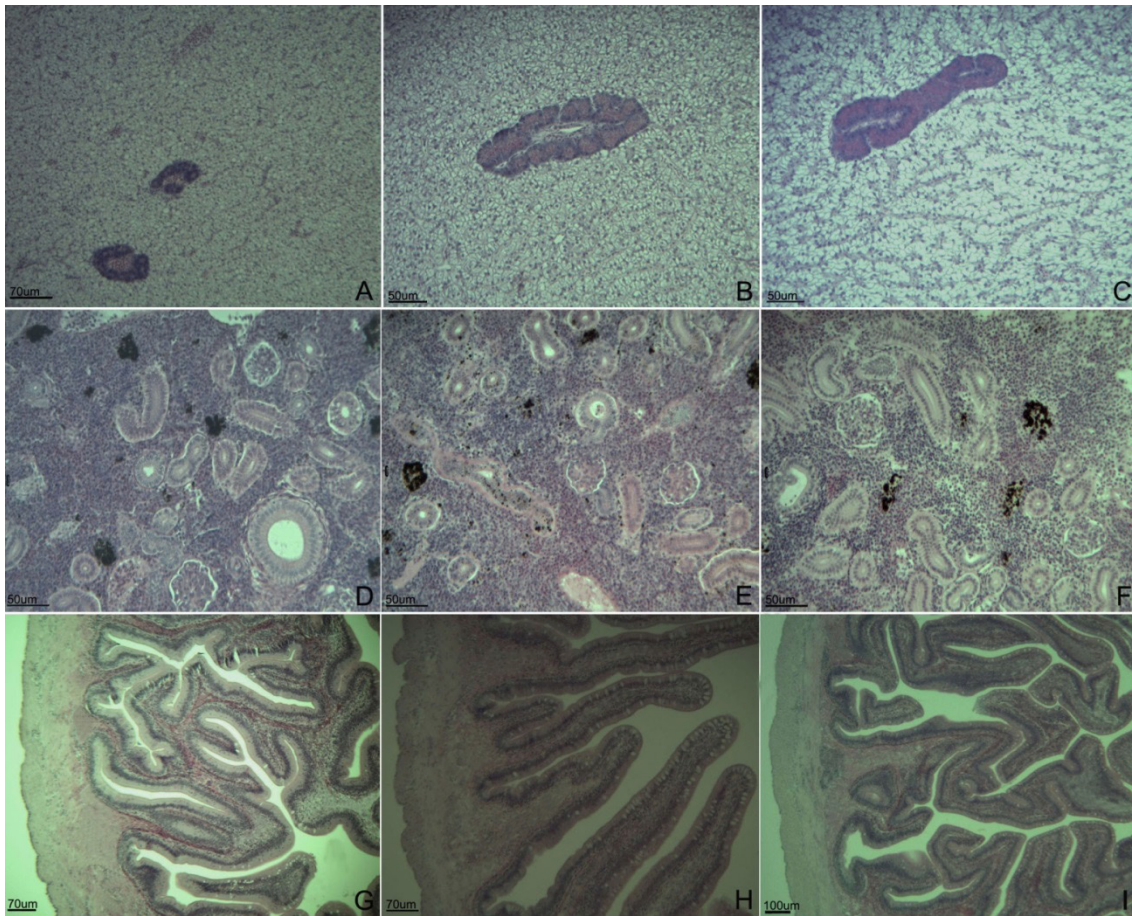


Fig. 2. Histological changes of the hepatopancreas, kidney and anterior intestine of olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed the experimental diet for 3 weeks. A, D and G: 0% group (A: Hepatopancreas, D: Kidney, and G: Anterior intestine), B, E and H: 0.75% group (B: Hepatopancreas, E: Kidney, and H: Anterior intestine), C, F and I: S (Satiation) group (C: Hepatopancreas, F: Kidney, and I: Anterior intestine).

하였으며, 급이량은 어체중 당 0.3%로 보고되었다.

연구결과를 종합해 보면, 배합사료의 급이량은 적수온기 육성기 넙치의 성장, 사료효율, 혈액학적 및 조직학적 변화에 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 따라서 넙치 사육시 사육수온과 성장단계를 고려하여 사료가 과잉 또는 부족하게 공급되지 않도록 주의하여야 할 것이다. 넙치의 적정수온인 19-21℃에서 성장률을 기초로 한 Broken-line regression 분석을 통한 넙치 240 g의 배합사료 적정급이량은 어체중 당 1.09%가 적절한 것으로 사료된다. 배합사료가 과잉 또는 불충분 하게 급이되지 않게 보다 더 구체적이고 세부적인 공급프로그램 개발 연구가 수행되어 넙치 양식어민들의 가이드라인으로 활용될 수 있도록 해야 할 것이다.

사 사

이 연구는 농림축산식품부·해양수산부·농촌진흥청·산림청 Golden Seed 프로젝트 사업에 의해 이루어진 것입니다.

References

- An CM, Park HY, Son MH, Kim KD, Kim KW and Jang MS. 2011. Evaluation of muscle quality of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed extruded pellets containing different protein and lipid levels, and raw fish-based moist pellet. Korean J Food Preserv 18, 729-738.
- 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 CY and Kaushik SJ. 1990. Nutrition energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). World Rev Nutr Diet 61, 132-172.
- 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.

- 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 HC, Noh JK, Lee JH, Kim JH, Park CJ, Kang JH, Kim KK, Lee JG and Myeong JI. 2008. Estimation of genetic parameters and reproductivity test of genetic evaluation for growth-related traits of olive flounder *Paralichthys olivaceus* 180 days of age. *J Aquaculture* 21, 317-324.
- Kim HC, Noh JK, Lee JH, Park CJ, Min BH, Kim KK, Kim JH, Lee JG and Myeong JI. 2011. Estimation of genetic parameters of growth-related traits from 11-month-old olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) base population in which wild flounder broodstocks were introduced. *J Anim Sci Tech* 53, 99-106.
- Kim JW, Cho MY, Park GH, Won KM, Choi HS, Kim MS and Park MA. 2010. Statistical data on infectious diseases of cultured olive flounder *Paralichthys olivaceus* from 2005 to 2007. *J Fish Pathol* 23, 369-300.
- Kim KD, Kang YJ, Lee HY, Kim KW, Kim KM and Lee SM. 2006. Evaluation of extruded pellets as a growing diet for adult flounder *Paralichthys olivaceus*. *J Aquaculture* 19, 173-177.
- 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*. *J Aquaculture* 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. *J Aquaculture* 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 temperature. *J Aquaculture* 44, 345-351.
- Kim KW, Kim SS, Kim JW, Son MH, Kim KD, Bai SC and Lee KJ. 2011. Effect of feeding rate and pellet water-soaking on growth, blood components, and histology of olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *J Aquaculture* 44, 490-498.
- Kim KW, Wang XJ and Bai SC. 2001. Reevaluation of the optimum dietary protein level for the maximum growth of juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf). *Aquac Res* 32, 119-125.
- Kim KW, Wang XJ and Bai SC. 2002. Optimum dietary protein level for maximum growth of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel). *Aquac Res* 33, 673-679.
- Kim SS and Lee KJ. 2009. Dietary protein requirement of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*). *Aquaculture* 287, 219-222.
- Kim SS, Galaz GB, Heo MS, Kim GY, Choi KS, Lee KW, Yeo IK and Lee KJ. 2007. Effects of dietary selfheal (*Prunella vulgaris*) water extracts and its culture fluid with *Lactobacillus rhamnosus* on growth and immune responses of juvenile olive flounder. *J Aquaculture* 40, 300-307.
- Kim SS, Rahimnejad S, Kim KW, Lee BJ and Lee KJ. 2013. Effects of dietary supplementation of spirulina and quercetin on growth, innate immune responses, disease resistance against *Edwardsiella tarda*, and dietary antioxidant capacity in the juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Fish Aquat Sci* 16, 7-14. <http://dx.doi.org/10.5657/FAS.2013.0007>.
- Lee SM, Kim KD, Park HG, Kim CH and Hong KE. 2001. Protein requirement of juvenile Manchurian trout *Brachymystax lenok*. *Fish Sci* 67, 46-51.
- Min BH, Lee JH, Noh JK, Kim HC, Park CJ, Choi SJ and Myeong JI. 2009. Hatching rate of eggs, and growth of larvae and juveniles from selected olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Dev Reprod* 4, 239-247.
- NRC (Nutrient Research Council). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. The National Academy Press, Washington DC, U.S.A., 279.
- Pan CH, Chien YH and Hunter B. 2003. The resistance to ammonia stress of *Penaeus monodon* Fabricius juvenile fed diets supplemented with astaxanthin. *J Exp Mar Biol Ecol* 297, 107-118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2003.07.002>.
- Schmittou RH, Jian Z and Cramber MC. 1998. Principles and practices of 80:20 pond fish farming. American Soybean Association, St. Louis, U.S.A., 1-93.
- Watanabe T, Takeuchi T, Satoh S, Ida T and Yaguchi M. 1987. Development of low protein high energy diets for practical carp culture with special reference to reduction of total nitrogen excretion. *Bull Jpn Soc Sci Fish* 53, 1413-1423.