

겨울철에 부상사료 공급횟수가 넙치 치어의 성장과 체성분에 미치는 효과

김근업, 장현석¹, 서주영¹, 이상민^{1,*}
강원도 수산 양식시험장, ¹강릉대학교 해양생명공학부

Effect of Feeding Frequency of Extruded Pellet on Growth and Body Composition of Juvenile Flounder, *Paralichthys olivaceus* During the Winter Season

Gun-Up Kim, Hyun-Seok Jang¹, Joo-Young Seo¹ and Sang-Min Lee^{1,*}

Gangwon Province Marine Culture Experimental Station, Gangneung 210-860, Korea

¹Faculty of Marine Bioscience and Technology, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea

A feeding trial of two feeding rate (satiation and 80% satiation) × four feeding frequency (three meals a day, two meals a day, one meal a day and one meal every two days) factorial design with three replications was carried out to investigate the optimum feeding frequency and rate for growth of flounder during the winter season. Juvenile flounder averaging 45 g were fed a extruded pellet for 60 days. Weight gain was affected by both feeding frequency ($P<0.001$) and feeding rate ($P<0.01$). The best weight gain obtained from fish fed two meals a day with satiation was not different from that of fish fed three meals a day with satiation and 80% satiation. Feed efficiency and protein efficiency ratio of fish fed the diet three times daily were the highest among groups, but not different to other groups of fish except for one meal every two days with satiation and 80% satiation feeding. Daily feed intake was affected by both feeding frequency and feeding rate ($P<0.001$), these values of fish fed two and three meals a day with satiation were the highest among the groups. Moisture, crude protein, crude lipid and ash contents of fish were not affected by both feeding frequency and feeding rate ($P>0.05$). The results of this study indicate that the optimum feeding frequency for the growth of juvenile flounder grown from 45 g to 53 g is two meals a day with satiation feeding during the winter season.

Keywords: Flounder, Feeding frequency, Feeding rate, Winter season

서 론

넙치는 성장이 빠르고, 중요생산기술이 확립되어 있을 뿐만 아니라 고밀도 사육이 가능하며, 특히 우리나라와 일본에서 횡감으로 선호도가 높아 양식 대상종으로 가치가 높은 종으로서, 양식생산량이 계속 증가되고 있다. 하지만 아직까지 넙치 육성용으로 수질오염의 주 원인이 되고 있는 냉동 전갱이나 메가리 등 주로 생사료 위주의 먹이가 사용되고 있어 배합사료로의 사용 전환이 매우 시급한 실정이다. 따라서 최근 넙치 배합사료 개발을 위한 연구(Kim et al., 2000; Kim et al., 2002; Kim et al., 2003; Kim and Lee, 2004; Lee et al., 2002; Lee et al., 2003; Park et al., 2003)가 계속 수행되고 있다.

양식 어종에 적합한 사료가 개발되었다 하더라도 사료의 공

급이 제대로 이루어지지 않는다면 성장 및 사료효율이 달라질 뿐 아니라 수질오염 발생 등 여러 부작용이 발생할 수 있기 때문에 어류 양식시, 이에 대한 고려는 반드시 필요하다. 현재 넙치 치어의 사료 공급에 대한 연구(Lee et al., 1999; Lee et al., 2000a)들이 계속 수행되고 있지만, 넙치 크기별, 계절별 등에 따른 적정 사료 개발 및 공급 체계에 관한 연구는 아직 미흡한 상황이다.

어류를 양식함에 있어 사료 공급과 더불어 가장 중요하게 고려하여야 할 요인은 대상어종에 적합한 환경조건이다. 그 중에서도 수온은 해양어류의 성장에 직접적으로 관련된 중요한 요소이며(Horning and Pearson, 1973), 대상 어류에 따라 적정 성장에 요구되는 수온범위는 다양하다. 사료공급에 있어 적정 공급횟수와 공급률은 대상 어종의 크기와 사육환경에 영향을 받는다고 보고되어 있으며(Gershanovich and Taufik, 1992; De Silva and Anderson, 1995), 사육수온은 어류의 사료섭취량에 영향을 미칠 수 있고(Brett and Higgs, 1970), 생체의 영양 대사

*Corresponding author: smlee@kangnung.ac.kr

속도와 직접적인 관련이 있기 때문에 양식시 사육수온에 따른 사료 공급 체계에 대한 연구는 매우 중요하다. 수온 21°C 전후에서 잘 성장하는 넙치는 우리나라의 양식 대상종으로 적합한 종이지만, 수온이 낮은 겨울철에는 성장속도가 저하되기 때문에 계절별(수온별)로 사료 공급체계에 대한 연구는 양식 생산량 증대를 위해 필요하다. 이러한 취지에서 본 연구는 겨울철 부상용 배합사료의 공급횟수와 공급률이 넙치치어의 성장과 체조성에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

재료 및 방법

실험사료

실험 배합사료로 넙치의 영양소 요구(Lee et al., 2000c)를 고려하여 설계하고 사료회사에 의뢰하여 Extruder Pellet Mill (Joda, Japan)로 부상 건조 pellet으로 제조하였다. 실험 배합사료의 주요 단백질원으로 어분을, 지질원으로 대두유를 그리고 탄수화물원으로 소맥분을 각각 사용하였으며, 사료조성 및 영양성분을 Table 1에 표시하였다.

실험어 및 사육관리

실험어는 강원도 수산양식시험장에서 종묘 생산한 넙치 치어를 260 L 원형수조(수용적 180 L)에 수용하여 2주간 상품사료로 예비 사육하였다. 평균체중 45.0 g의 실험어를 선별하여 24개 수조에 20마리씩 3반복으로 수용한 후, 2 (feeding rate)×4 (feeding frequency) factorial design으로 60일간 사육하였다. 사료 공급량은 반복 공급구의 경우 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져주었으며, 제한 공급구는 육식성 해산어종인 조피볼락에 대상으로 연구된 Lee (1997)의 결과를 참고로 하여 반복 공급구

의 80%를 공급하였다. 사료 공급횟수는 공급률에 대하여 각각 1일 3회(07:00, 12:00, 17:00), 1일 2회(07:00, 17:00), 1일 1회(07:00) 및 2일 1회(07:00)로 설정하였다. 각 실험수조마다 여과해수를 분당 4 L로 조정하여 흘려주었으며, 사육기간 동안의 수온은 6.6-14.5°C (10.7±2.92)였고, 비중은 1.0261±0.0016였다. 그리고 각 수조에서 죽은 개체는 매일 제거하여 주었다. 사육실험 후 넙치의 성장 및 사료이용효율의 측정항목으로 일일 사료섭취율, 증중량, 사료효율 및 단백질효율을 다음과 같은 식으로 계산하였다.

일일사료섭취율(daily feed intake, %/day)=feed intake×100/[(initial fish weight+final fish weight+dead fish weight)/2×days fed].

증중량(weight gain, g/fish)=final average fish weight-initial average fish weight.

사료효율(feed efficiency)=fish wet weight gain×100/feed intake (dry matter).

단백질효율(protein efficiency ratio)=fish wet weight gain×100/protein intake.

사료채취 및 성분분석

최초 어체의 성분 분석용으로 50마리를 무작위로 표본 추출하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조에서 10마리를 성분 분석용 사료로 취하여 냉동보관(-75°C)하였다. 실험사료 및 어체의 일반 성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchli B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 550°C의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다. 사료의 총에너지는 5.64 kcal/g protein, 9.44 kcal/g lipid 및 4.11 kcal/g carbohydrate로 계산하였다.

통계처리

결과의 통계 처리는 SPSS Version 10 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였고, Two-way ANOVA-test로 공급횟수 및 공급률에 대한 상관요인을 분석하였다.

결 과

평균 체중 45.0 g의 넙치 치어를 60일간 사육 실험한 결과, 생존율은 96% 이상으로 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 일일사료섭취율(Fig. 1)은 사료 공급횟수와 공급률에 영향을 받았다($P<0.001$). 동일한 사료 공급횟수에서 일일사료섭취율은 제한 공급구가 반복 공급구에 비해 80-90% 범위로

Table 1. Ingredients and nutrient contents of the experimental diet

	EP
Ingredients (%)	
Fish meals ¹	53.0
Meat meal	3.0
Wheat gluten	8.0
Soybean meal	9.0
Corn gluten meal	4.0
Wheat flour	18.0
Others	5.0
Nutrient contents	
Dry matter (%)	93.0
Crude protein (%)	52.3
Crude lipid (%)	6.6
Ash (%)	10.7
Gross energy (kcal/g diet) ²	4.8

¹Mixture of mackerel fish, tuna and pollack fish meal.

²Based on 5.64 kcal/g protein, 9.44 kcal/g lipid and 4.11 kcal/g carbohydrate.

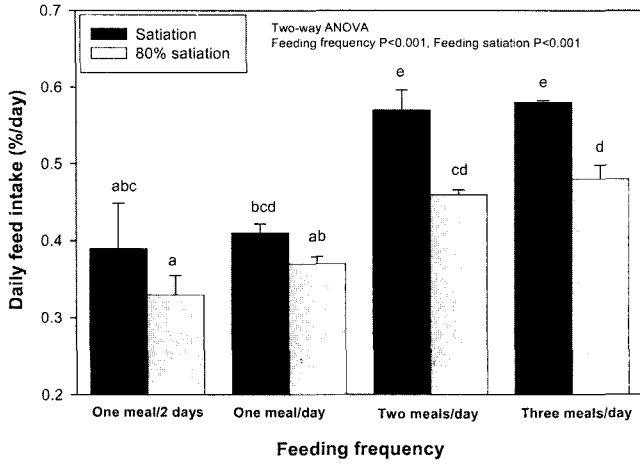


Fig. 1. Daily feed intake (expressed as mean±S.E. of three replications) of flounder (average initial weight of 45.0±0.09 g) fed the experimental diet at different feeding frequency with satiation and 80% satiation for 60 days. Values with different letter are significantly different ($P<0.05$).

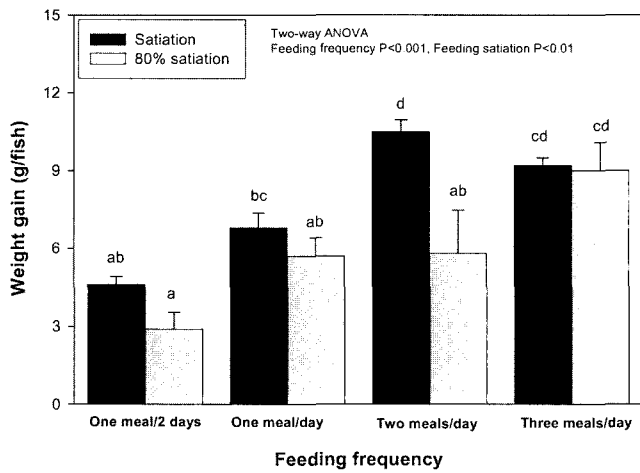


Fig. 2. Weight gain (expressed as mean±S.E. of three replications) of flounder (average initial weight of 45.0±0.09 g) fed the experimental diet at different feeding frequency with satiation and 80% satiation for 60 days. Values with different letter are significantly different ($P<0.05$).

나타났다. 그리고 동일한 공급률에서는 공급횟수가 증가할수록 일일사료섭취율은 증가하는 경향을 보이면서 1일 3회 공급구에서 가장 높았지만, 1일 2회 공급구와는 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$).

증중량(Fig. 2)은 사료 공급횟수($P<0.001$)와 공급률($P<0.01$)에 모두 영향을 받았다. 반복 공급구의 경우, 1일 2회 공급구가 1일 3회 공급구와 통계적인 차이는 없었지만 가장 높았고, 2일 1회 제한 공급구가 가장 낮은 결과를 보였다($P<0.05$). 제한 공급구의 증중량은 1일 3회 공급구가 가장 높았으며 반복 공급구와 마찬가지로 2일 1회 공급구에서 가장 낮은 결과를 보였다 ($P<0.05$). 동일한 공급횟수에서는 반복 공급구가 제한 공급구보다 높은 증중량 값을 보였는데, 1일 2회 공급구에서는 반복 공

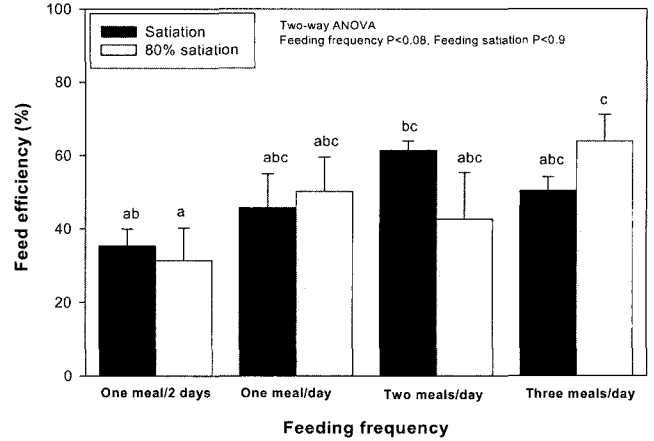


Fig. 3. Feed efficiency (expressed as mean±S.E. of three replications) of flounder (average initial weight of 45.0±0.09 g) fed the experimental diet at different feeding frequency with satiation and 80% satiation for 60 days. Values with different letter are significantly different ($P<0.05$).

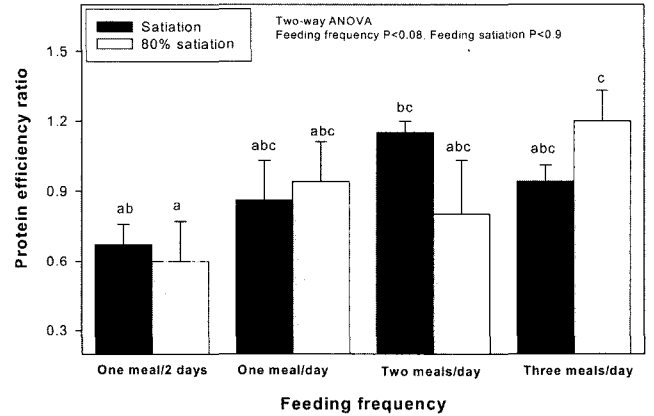


Fig. 4. Protein efficiency ratio (expressed as mean±S.E. of three replications) of flounder (average initial weight of 45.0±0.09 g) fed the experimental diet at different feeding frequency with satiation and 80% satiation for 60 days. Values with different letter are significantly different ($P<0.05$).

급구의 증중량이 제한 공급구보다 유의하게 높았다($P<0.05$).

사료효율(Fig. 3)과 단백질효율(Fig. 4)은 사료 공급횟수와 공급률에 영향을 받지 않았지만($P>0.05$), 1일 3회 제한 공급구가 가장 높았고 2일 1회 제한 공급구가 낮은 값을 보였으며, 나머지 실험구들 사이에는 유의한 차이를 보이지 않았다.

사육 실험 종료시 전어체의 일반성분 분석 결과를 Table 2에 나타냈다. 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분함량 모두 사료 공급횟수와 공급률에 영향을 받지 않았다($P>0.05$).

고찰

수온은 어류의 성장, 번식, 대사, 삼투압 조절 및 면역 등에 영향을 미치는 중요한 요인이다(Ishioka, 1980; Davis and Parker, 1990; Ryan, 1995). 넙치는 낮은 수온보다 21°C 전후의 높은 수온에서 성장이 좋은 어종으로 알려져 있으며, 수온이 낮아지

Table 2. Proximate composition (%) of flounder fed the experimental diet at different feeding frequency with satiation and 80% satiation for 60 days¹

Feeding frequency	Feeding satiation	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
One meal/2 days	Satiation	76.6±0.91	16.7±0.56	2.0±0.50	3.6±0.20
	80% satiation	75.9±0.24	17.5±0.21	2.0±0.14	3.5±0.15
One meal/day	Satiation	76.4±0.85	17.4±0.54	2.3±0.24	3.8±0.05
	80% satiation	75.8±0.19	17.0±0.03	2.1±0.72	3.7±0.07
Two meals/day	Satiation	75.8±0.42	17.3±0.10	2.4±0.18	3.7±0.10
	80% satiation	76.2±0.44	17.1±0.22	2.1±0.05	3.6±0.04
Three meals/day	Satiation	75.6±0.32	17.5±0.29	2.3±0.10	3.7±0.13
	80% satiation	75.7±0.68	17.1±0.22	2.2±0.33	3.6±0.16
Two-way ANOVA					
Feeding frequency		<i>P</i> <0.7	<i>P</i> <0.5	<i>P</i> <0.5	<i>P</i> <0.4
Feeding satiation		<i>P</i> <0.2	<i>P</i> <0.6	<i>P</i> <0.1	<i>P</i> <0.7
Interaction		<i>P</i> <0.8	<i>P</i> <0.4	<i>P</i> <0.8	<i>P</i> <0.9

¹Values are mean±SE of three replications.

면 사료섭취량이 줄어들 뿐 아니라 성장속도 또한 상대적으로 감소된다. 본 실험에서 사용된 넙치는 겨울철 10°C 전후에서 사육 실험되었기 때문에 일일사료섭취율도 어체중의 0.5% 전후로 매우 낮은 값을 보였다. 이 값은 본 실험에 적용한 수온보다 높은 수온에서 실험된 넙치(Lee et al., 2003) 및 강도다리(Lee and Lee, 2004)의 사료섭취율(1.01-1.14%)보다 매우 낮은 값을 알 수 있다. 이러한 차이는 물론 어종의 특성 및 어체 크기 차이 때문이기도 하겠지만 수온에 의해 먹이 섭취량이 달라졌음이 분명하다. 본 실험에서 넙치의 증중량 또한 상대적으로 낮은 값을 보였는데, 이는 먹이 섭취 감소와 함께 사료효율 값이 32-64%로 낮은 것으로 보아 저수온으로 인한 체내 대사 속도 감소 때문으로 판단된다.

본 연구에서 공급횟수가 증가되면서 일일사료섭취율이 증가하다가 더 이상 증가하지 않는 경향은 아주 어린 넙치를 대상으로 먹이 공급 체계에 대해 연구된 결과에도 나타났으며(Lee et al., 1999), 조피볼락에서도 비슷한 경향을 보였다(Lee et al., 2000b). 먹이섭취량이 어떤 사료공급횟수 이상에서 더 이상 증가되지 않는 현상은 아마도 그 어종의 소화기관의 사료 섭취 허용량과 섭취 에너지 요구량 만족 여부와 관련된 것으로 보인다(Lee and Putnam, 1973; Page and Andrews, 1973). 어체 증중량 및 사료이용효율이 동일 공급률의 경우, 반복구는 사료공급횟수가 증가할수록 증가하여 1일 2회 공급구까지만 증가한 반면에, 제한 공급구에서는 1일 3회 공급구가 다른 공급구보다 높은 값을 보였다. 이러한 경향은 역시 어체가 요구하는 에너지의 요구와 관련성이 있을 것으로 판단된다. 즉, 제한 공급의 경우 에너지가 제한적으로 공급되어 그만큼 공급횟수가 많은 것이 양호한 성장과 사료 이용효율을 나타낸 것으로 판단된다. 이미 앞 연구(Lee et al., 2000a)에서 넙치 치어의 경우 사료의 에너지 함량과 사료 공급횟수에 따라 성장과 사료섭취율이 달라짐을 보고한 바 있어, 이러한 추정을 뒷받침 하고 있다. 이러

한 관점에서 보면, 사료공급을 적정횟수 이상으로 증가시키는 것은 넙치 성장에 필요한 에너지 요구보다 과잉으로 사료가 공급될 수 있다. 일반적으로 과잉의 사료 공급은 영양소 이용률이 낮아져(Lee et al., 1996), 섭취되어 이용되지 못한 과잉의 영양소는 수중으로 배출되어 수질오염원을 증가시킬 뿐 아니라 과잉의 에너지는 체내에 지방으로 축적(Page and Andrews 1973; Lee et al., 2000a; Lee et al., 2000c)되어 어체 품질을 저하시키는 결과를 초래한다. 반대로 사료를 부족하게 공급하는 것은 어류의 성장을 지연시키므로 대상어류의 소화능력 등을 고려하여 최적 성장에 필요한 양만큼의 영양소를 공급하여 사료에 소요되는 비용을 최소화시키는 것이 합리적인 사료공급체계가 될 것이다.

넙치의 경우, 평균체중 1.5-4 g인 치어의 적정 사료 공급횟수는 1일 3회 반복 공급하는 것이 바람직하다고 보고되었으며(Lee et al., 1999), 평균체중 3.5-15 g인 경우에는 사료의 에너지 함량에 따라 1일 2회 또는 1일 3회 공급이 적합하다고 보고되어 있다(Lee et al., 2000a). 본 실험에서의 반복 사료 공급률에서 1일 2회 공급구가 1일 3회 공급구보다 오히려 다소 높은 증중량 값을 보여 사료를 1일 3회 반복으로 공급할 필요는 없을 것으로 판단된다. 또한, 본 연구의 사료효율과 단백질효율에서도 1일 2회 반복 공급구가 가장 높은 값을 보였던 1일 3회 제한 공급구와 비교하여 유의한 차이를 보이지 않아 사료의 1일 2회 반복공급이 적절하다는 것을 보여 주고 있다. 이미 언급된 기존의 연구들(Lee et al., 1999; Lee et al., 2000a)과 본 연구의 성장 결과 값의 차이는 같은 어종이라 할지라도 크기에 의해 먹이의 섭취 허용량, 소화 및 흡수 속도가 달라질 수 있다는 것을 의미한다. 넙치와 함께 우리나라의 해산어류의 주요 양식종인 조피볼락의 경우에도 평균 체중 6-20 g의 크기에는 1일 1회, 25-60 g의 크기에는 1일 1회 또는 2일 1회 공급하는 것이 경제적인 측면에서 좋을 것이라고 보고되어 있다(Lee et al., 1996; Lee et al., 2000b). 또한, 어종, 어체의 크기, 사료내 영양소 중

류와 함량 및 사육조건 등에 의해서도 어류의 최대성장을 위한 사료의 적정 공급횟수는 달라질 수 있다고 이전 연구에서 보고 되었다(Wang et al., 1998; Lambert et al., 2001; Dwyer et al., 2002; Riche et al., 2004). 이러한 연구결과는 어체의 크기에 따라 사료 공급횟수가 달라질 수 있다는 것을 의미하며, 어체 크기가 커지면서 내장 기관들이 함께 커지므로 사료 섭취후 장이 비워지는 시간(gastric evacuation time)이 오래 걸리기 때문이라 생각된다. 위와 같은 결과들로 미루어 보아, 사료의 적정 공급횟수는 대상어의 종이나 크기를 고려하여 설정하는 것이 바람직하다 하겠다.

이상의 결과들을 종합하면, 동일한 사료 공급횟수에서 반복 공급구의 증중량이 제한 실험구에 비해 높은 결과를 보인 것으로 보아 넙치는 조피불락(Lee, 1997)과는 다르게 사료를 반복으로 공급하는 것이 더 효율적으로 보인다. 또한, 증중량 및 사료 효율이 반복 사료 공급률에서 1일 2회 공급구까지 증가하는 것으로 보아, 평균체중 45-53 g의 넙치치어를 겨울철에 사육할 때, 사료비용, 노동력 및 시간 등을 고려하여 본 실험의 조건에서는 사료를 1일 2회 반복으로 공급하는 것이 바람직 할 것이라 판단된다.

요 약

본 연구는 겨울철 넙치 사육시 부상 배합사료의 적정 공급횟수와 공급률을 조사하기 위해 평균 체중 45.0 g의 넙치를 각 수조마다 20 마리씩 3반복으로 수용하여 60일간 사육하였다. 사료 공급횟수는 1일 3회, 1일 2회, 1일 1회 및 2일 1회로 설정하였으며 사료 공급량은 반복 및 반복의 80%로 설정하였다. 생존율은 모든 실험구에서 96% 이상이었으며, 증중량은 1일 2회 반복 공급구가 1일 3회 공급구와 통계적인 차이는 없었지만 가장 높았고, 2일 1회 제한 공급구가 가장 낮은 결과를 보였다 ($P<0.05$). 그리고 동일한 공급횟수에서 반복 공급구가 제한 공급구보다 높은 성장을 보였다. 일일사료섭취율은 반복 공급구와 제한 공급구 모두 공급횟수가 증가할수록 증가하다가 1일 2회 공급구 이상에서는 유의한 차이가 없었다. 사료효율과 단백질효율은 1일 3회 제한 공급구가 가장 높았고 2일 1회 제한 공급구가 낮은 값을 보였으며($P<0.05$), 나머지 실험구들 사이에는 유의한 차이를 보이지 않았다. 사육 실험 종료시 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분함량은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다. 이상의 결과로부터, 평균체중 45-53 g의 넙치치어를 겨울철에 사육할 때는 부상배합사료를 1일 2회 반복으로 공급하는 것이 바람직 할 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 수산특정연구개발사업의 연구비 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, 1298 pp.

Brett, J. R. and D. A. Higgs, 1970. Effects of temperature on rate of gastric digestion in fingerling sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. J. Fish. Res. Board Can., 27, 1767-1779.

Davis, K. B. and N. C. Parker, 1990. Physiological stress in striped bass: effect of acclimation temperature. Aquaculture, 91, 349-358.

De Silva, S. S. and T. A. Anderson, 1995. (In) Fish Nutrition in Aquaculture, Chapman and Hall, New York, NY, pp. 32-42.

Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics, 11, 1-42.

Dwyer, K., J. Brown, C. Parrish and S. Lall, 2002. Feeding frequency affects food consumption, feeding pattern and growth of juvenile yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*). Aquaculture, 213, 279-292.

Gershanovich, A. D. and L. R. Taufik, 1992. Feeding dynamics of sturgeon fingerlings (Acipenseridae) depending on food concentration and stocking density. J. Fish Biology, 41, 425-434.

Horning, W. B. and R. E. Pearson, 1973. Growth temperature requirement and lower lethal temperature for juvenile smallmouth bass (*Micropterus dolomieu*). J. Fish. Res. Bd. Can., 30, 1226-1230.

Ishioka, H., 1980. Stress reactions in the marine fish-I. Stress reactions induced by temperature change. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 46, 523-532.

Kim, Y. S., B. S. Kim, T. S. Moon and S.-M. Lee, 2000. Utilization of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in the diet of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). J. Kor. Fish. Soc., 33, 469-474.

Kim, K.-D. and S.-M. Lee, 2004. Requirement of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids for juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture, 229, 315-323.

Kim, S.M., S.-M. Lee and B.-D. Yoon, 2003. Effect of fermented food garbage in diet on growth and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). J. Fish. Sci. Tech., 6, 45-50.

Kim, K.-D., S.-M. Lee, H. G. Park, S. Bai and Y.-H. Lee, 2002. Essentiality of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. J. World Aquac. Soc., 33, 432-440.

Lambert, Y. and J. Dutil, 2001. Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size-grading. Aquaculture, 192, 233-247.

Lee, D. J. and G. B. Putnam, 1973. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in a test diet. J. Nutr., 103, 916-922.

Lee, S.-M., 1997. Effects of feeding rates on growth, feed frequency and body composition of the juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*). Kor. J. Anim. Nutr. Feed, 21, 327-334.

Lee, S.-M. and J.H. Lee, 2004. Effect of dietary glucose, dextrin and starch on growth and body composition of juvenile starry

- flounder *Platichthys stellatus*. Fish. Sci., 70, 53–58.
- Lee, S.-M., C. S. Park and I. C. Bang, 2002. Dietary protein requirement of young Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* fed isocaloric diets. Fish. Sci., 68, 158–164.
- Lee, S.-M., C. H. Seo and Y. S. Cho, 1999. Growth of the juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed the diets at different feeding frequencies. J. Kor. Fish. Soc., 32, 18–21.
- Lee, S.-M., K.-D. Kim and S. P. Lall, 2003. Utilization of glucose, maltose, dextrin and cellulose by juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture, 221, 427–438.
- Lee, S.-M., S. H. Kim, I.G. Jeon, S. M. Kim and Y. J. Chang, 1996. Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and body composition of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Aquacult., 9, 385–394.
- Lee, S.-M., S. H. Cho and D. J. Kim, 2000a. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck & Schlegel). Aquac. Res., 31, 917–921.
- Lee, S.-M., U.-G. Hwang and S. H. Cho, 2000b. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture, 187, 399–409.
- Lee, S.-M., S. H. Cho and K.-D. Kim, 2000c. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. J. World Aquac. Soc., 31, 306–315.
- Park, S.-U., M. G. Kwon, Y.-H. Lee, K.-D. Kim, I.-S. Shin and S.-M. Lee, 2003. Effects of supplemental *Undaria*, *Oboson* and wasabi in the diets on growth, body composition, blood chemistry and non-specific immune response of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Aquacult., 16, 210–215.
- Riche, M. D., I. Haley, M. Oetker, S. Garbrecht and D. L. Garling, 2004. Effect of feeding frequency on gastric evacuation and the return of appetite in tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). Aquaculture, 234, 657–673.
- Ryan, S. N., 1995. The effect of chronic heat stress on cortisol levels in the Antarctic fish, *Pagothenia borchgrevinki*. Experientia, 51, 768–774.
- Page, J. W. and J. W. Andrews, 1973. Interaction of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). J. Nutr., 103, 1339–1346.
- Wang, N., R. S. Hayward and D. B. Noltie, 1998. Effect of feeding frequency on food consumption, growth, size variation, and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish. Aquaculture, 165, 261–267.

원고접수 : 2004년 12월 28일

수정본 수리 : 2005년 1월 11일