

영양소 함량이 다른 부상 배합사료의 공급횟수가 육성기 넙치의 영양소 소화율에 미치는 영향

서주영, 최경현, 최진, 이상민*
강릉대학교 해양생명공학부

Effect of Feeding Frequency of Extruded Diets Containing Different Macro-nutrient Levels on Apparent Nutrient Digestibility in Grower Flounder *Paralichthys olivaceus*

Joo-Young Seo, Kyoung-Hyun Choi, Jin Choi and Sang-Min Lee*

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

Two feeding trials were carried out to investigate apparent nutrient digestibility of flounder fed experimental diets containing different levels of macro-nutrients by satiation feeding rate (Exp-1) and feeding frequency (Exp-2). Triplicate groups of fish averaging 280 g were fed three experimental diets which contained different levels of carbohydrate, protein and lipid by two feeding regimes (satiation and 80% satiation) and four feeding frequencies (three meals a day, two meals a day, one meal a day and one meal every two days). Feces were collected using a fecal collection column attached to fish rearing tanks for 6 weeks. Apparent digestibilities of dry matter, protein, lipid, energy and carbohydrate were not affected by feeding satiation rate in Exp-1. Apparent protein digestibility was not affected by feeding frequency, whereas affected by dietary composition in Exp-2. Apparent protein digestibility of fish fed a high-protein diet showed a tendency to become higher compared to that of fish fed high-carbohydrate diet and high-lipid diet at the same feeding frequency. Apparent lipid digestibility was not affected by dietary composition, however, affected by feeding frequency. Apparent digestibilities of energy and carbohydrate were affected by both dietary composition and feeding frequency. Apparent digestibilities of energy and carbohydrate in fish fed the high-protein diet showed a tendency to become higher compared to that of fish fed the high-carbohydrate diet and high-lipid diet at the same feeding frequency. Apparent digestibilities of energy and carbohydrate tended to decrease with increasing of feeding frequency at the same dietary composition.

Keywords: Flounder (*Paralichthys olivaceus*), Extruded pellet, Feeding frequency, Dietary composition, Digestibility

서 론

1990년대에 들어서면서 넙치 양식 생산량의 급격한 증가와 더불어 이 어종에 적합한 배합사료를 개발하기 위해 영양소 요구량(Lee et al., 2000a, 2002, 2003; Kim et al., 2002), 사료원료의 이용성(Kikuchi, 1999; Kim et al., 2003) 및 사료 공급횟수(Lee et al., 1999, 2000b)에 관한 연구 결과들이 보고되고 있다. 이러한 연구 결과들을 바탕으로 배합사료의 품질을 평가하는 것은 실용적인 배합사료 설계에 매우 중요하다.

사료 영양소 소화율을 조사하는 것은 사료의 품질을 평가하

는 기본적인 연구이다. 대상 어종의 영양소 이용성 및 영양소 요구량을 고려하여 영양소 소화율이 측정된 사료를 공급하는 것은 중요하다. 영양소 소화율은 어종, 어체 크기, 사료 영양소 함량, 사료 원료 및 가공조건 등의 요인들에 따라 달라질 수 있다.

사료내 영양소 중에서 단백질은 사료 단가, 어류 성장 및 수질오염 측면에서 중요하게 고려되어야 하기 때문에 대부분 어류의 영양소 소화율 연구는 단백질 평가(Smith and Lovell, 1973; Cho and Slinger, 1979; Hajen et al., 1993)에 초점을 두고 수행되었다. 지질은 에너지원으로 값비싼 사료 단백질을 절감(Beamish and Medland, 1986; De Silva et al., 1991; Takeuchi et al., 1992)시킬 수 있을 뿐 아니라 필수지방산의 공급원이며, 먹이의 장 통과 시간에 영향을 미칠 수 있다(Smith, 1989). 탄수

*Corresponding author: smlee@kangnung.ac.kr

화물도 지질과 함께 에너지원으로 쓰이는 중요한 영양소이지만, 사료내 탄수화물 함량은 다른 영양소의 소화율에 영향을 미칠 수 있는 것으로 보고되었다(Aksnes, 1995; Hemre et al., 1995; Hillestad et al., 2001). 사료내 단백질, 지질 및 탄수화물의 함량에 따라 소화율이 달라질 수 있기 때문에(Austreng et al., 1979; Morales et al., 1994; Storebakken et al., 1998), 이들 함량에 따른 에너지 및 영양소 소화율 차이를 조사하는 것은 중요하다.

영양소 소화율은 사료 공급 방법에 따라 달라질 수 있는 것으로 보고되었다(Henken et al., 1985). 양식어에게 과잉으로 사료를 공급하는 것은 어체내 에너지 대사의 효율성과 소화능력을 저하시킬 수 있을 뿐 아니라 사료유실로 인한 경제적 손실과 수질오염원이 증가될 수 있다. 반대로 부족하게 사료를 공급하는 것은 어류의 성장을 지연시키므로 대상어종의 소화능력과 함께 사료 공급방법을 결정하는 것도 중요하다.

따라서 본 실험에서는 우리나라의 중요 양식종인 넙치를 대상으로 탄수화물, 단백질 및 지질 함량을 달리한 배합사료를 설계하고, 부상 건조 사료를 제조하여 공급횟수 및 공급율에 따른 영양소 소화율을 조사하였다.

재료 및 방법

실험사료

Table 1에 표시한 바와 같이 단백질, 지질 및 탄수화물 함량을 달리한, 즉 탄수화물 함량이 높은 HC 사료, 단백질 함량이 높은 HP 사료 및 지질 함량이 높은 HL 사료를 설계하였다. 사료는 Extruder Pellet Mill (EX 920, Matador, Denmark)을 이용하여 부상 펠렛으로 성형되었다. 사료의 단백질원으로 어분을, 지질원으로 어유를 그리고 탄수화물원으로 소맥분을 사용하였으며, 사료의 영양성분은 기존에 연구된 결과(Lee et al., 2002)를 토대로 하였다. 외견상 영양소 소화율 측정을 위하여 지표물질로 산화크롬을 0.5% 첨가하였다.

실험어 및 분 수집

평균체중 280 g의 넙치를 분 수집 통이 부착된 2000 L 실험 수조(Fig. 1)에 각각 20마리씩 3반복으로 수용하여 2회에 걸쳐 소화율을 측정하였다. 실험 1에서는 3종류 사료조성 × 2가지 반복공급율, 실험 2에서는 3종류 사료조성 × 4가지 공급횟수의 factorial design으로 각각 6주간 사육하면서 분을 수집하였다. 각 실험수조마다 여과해수를 분당 10 L로 흘러주었으며, 사육 기간 동안의 수온은 17.8±2.32°C였고 비중은 1.024±0.0013였다. 사료의 반복공급율에 따른 소화율 실험(실험 1)에서 각 사료별로 반복 공급구는 실험어가 먹을 때까지 1일 1회 손으로 던져 주었으며, 제한 공급구는 본 실험에서의 넙치와 종은 다르지만 같은 육식성 해산어종인 조피볼락을 대상으로 실행된 Lee (1997)의 결과를 바탕으로 각 사료별 반복 공급구의 80%를 공급하여

Table 1. Ingredients and nutrient contents of the experimental diets

	Diets		
	HC	HP	HL
Ingredients (%)			
Mackerel meals ¹	49.8	57.7	50.9
Wheat flour	33.1	25.6	26.5
Soybean meal	5.0	5.0	5.0
Corn gluten meal	5.0	5.0	5.0
Wheat gluten	2.5	2.5	2.5
Fish oil	0.4	0	5.9
Cr ₂ O ₃	0.5	0.5	0.5
Others	3.7	3.7	3.7
Proximate analysis (% DM)			
Dry matter	95.5	96.4	95.4
Crude protein	45.4	51.8	47.0
Crude lipid	7.4	4.7	9.7
Crude ash	10.4	11.8	10.2
Nitrogen-free extract ²	36.8	31.8	33.1
Gross energy (kcal/g diet)	4.8	4.8	5.0
Essential amino acid (% in protein)			
Arg	7.9	6.5	6.2
His	4.4	3.7	3.6
Ile	4.8	4.1	4.0
Leu	11.1	8.9	9.2
Lys	9.2	7.9	7.4
Met+Cys	2.8	1.7	1.6
Phe+Tyr	9.7	7.7	7.8
Thr	6.0	4.9	4.9
Val	6.9	5.5	5.5
Total	62.8	50.8	50.2

¹Imported from Chile.

²100-(crude protein+crude lipid+crude ash).

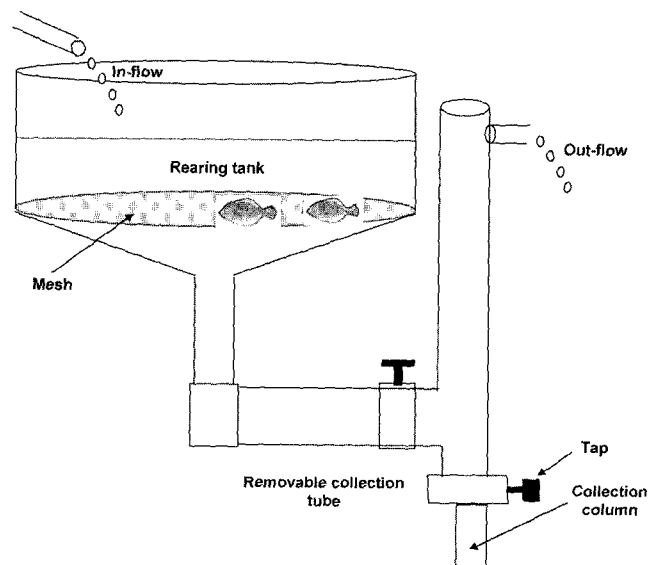


Fig. 1. Schematic diagram of a tank system for digestibility test.

주었다. 사료 공급횟수에 따른 소화율 실험(실험 2)에서 사료의 공급횟수는 각 사료마다 2일 1회, 1일 1회, 1일 2회 및 1일 3회로 설정하였다. 모든 실험구는 오전 9시에 사료를 급여한 후 오전 11시에 수조의 사료 찌꺼기를 제거하여 주었다. 이때 분수집통도 함께 청소한 후 수조에 부착해 주었으며, 다음날 아침 8시에 수집통에 모인 분을 분리하고, 여과지(Whatman #1)를 이용하여 1시간동안 냉장실(4°C)에 방치한 후 -70°C에서 동결하였다. 이와 같은 방법으로 수집한 분을 실험종료 후, 각각의 수조별로 모아서 동결 건조시켜 분쇄한 후 성분 분석하였다.

성분 분석

사료 및 분의 일반성분 분석은 AOAC (1990) 방법에 따라 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출, 수분은 105°C의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정, 조회분은 550°C의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다. 총에너지는 bomb calorimeter (Parr 1356, USA)를 이용하여 측정하였으며, 아미노산은 아미노산 전용분석기(Hitachi L-8800, Japan)를 이용하여 분석하였다. Furukawa and Tsukahara (1966)의 방법에 따라 실험사료 및 분의 산화크롬을 분석하였으며, 소화율은 다음의 공식에 의하여 계산되었다.

건물 소화율 (%) = 100 - (사료중의 Cr_2O_3 / 분중의 Cr_2O_3) × 100
영양소 및 에너지 소화율 (%)

$$= \left(1 - \frac{\text{사료중의 } Cr_2O_3}{\text{분중의 } Cr_2O_3} \times \frac{\text{분중의 영양소 또는 에너지}}{\text{사료중의 영양소 또는 에너지}} \right) \times 100$$

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 검정하였다. 또한, Two-way ANOVA test로 각 사료 조성, 사료 공급횟수 및 공급율에 대한 상관요인을 분석하였다.

결 과

사료 조성 및 반복 공급율(실험 1)에 따른 외견상 영양소 소화율을 측정된 결과를 Table 2에 나타내었다. 반복 공급율을 달리하여 각 실험사료를 먹인 넙치의 건물, 단백질, 지질, 에너지 및 탄수화물(NFE)의 외견상 소화율은 사료 조성 및 공급율에 영향을 받지 않았다($P>0.05$).

사료 조성 및 공급횟수(실험 2)에 따른 외견상 영양소 소화율 값들을 Fig. 2에 표시하였다. 건물 소화율은 공급횟수에 영향을 받지 않았지만, 사료 조성에 영향을 받아($P<0.05$) 동일한 공급횟수에서 HP 공급구의 소화율이 HC와 HL 공급구의 소화율보다 높은 경향을 보였다. 외견상 단백질 소화율은 공급횟수에는 영향을 받지 않았으나, 사료종류에 영향을 받았으며($P<0.05$), HP 공급구가 수치상으로 높은 값을 보였으나 실험구의 처리평균간에 유의한 차이는 없었다($P>0.05$). 지질 소화율은 사료 조성에는 영향을 받지 않았지만($P>0.05$), 공급횟수에는 영향을 받아($P<0.05$) 사료 공급횟수가 1일 1회에서 1일 2회로 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. NFE 소화율은 사료 조성 및 공급횟수에 모두 영향을 받았다($P<0.05$). 1일 3회 공급구를 제외한 실험구에서 공급횟수가 동일할 때, HP 공급구의 NFE 소화율이 높은 경향을 보였다. 또한, 사료 공급횟수가 증가함에 따라, HP를 공급한 실험구 사이에 통계적인 차이는 없었지만, NFE 소화율은 감소하는 경향을 보여 1일 2회 공급구의 NFE 소화율이 2일 1회 소화율보다 유의하게 낮았다($P<0.05$). 에너지 소화율은 사료 조성 및 공급횟수에 모두 영향을 받았으며($P<0.05$), 동일한 공급횟수에서 HP를 공급한 실험구가 다른 실험

Table 2. Apparent digestibility coefficients (%) for dry matter, crude protein, lipid, NFE and gross energy of experimental diets in grower flounder (average initial weight of 280 g) fed the experimental diets with different feeding satiation rates (exp-1)¹

Satiation rate	Diets	Dry matter	Crude protein	Crude lipid	NFE ²	Gross energy (kcal/g diet)
100%	HC	60±5.0 ^{ns}	92±0.6 ^{ns}	96±0.5 ^{ns}	57±7.4 ^{ns}	86±1.1 ^{ns}
	HP	72±1.1	94±0.1	97±0.5	72±1.4	90±0.8
	HL	60±6.3	92±1.0	91±3.6	55±6.1	84±2.5
80%	HC	64±3.1	92±0.6	96±0.9	64±2.5	85±1.2
	HP	64±2.1	92±0.6	96±0.1	68±2.3	88±1.1
	HL	66±3.8	93±0.3	96±0.2	64±3.9	87±1.0
Two-way ANOVA						
Diet		P<0.3	P<0.3	P<0.2	P<0.1	P<0.1
Satiation rate		P<0.9	P<0.7	P<0.3	P<0.4	P<0.8
Interaction		P<0.2	P<0.2	P<0.1	P<0.4	P<0.3

¹Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

²100-(crude protein+crude lipid+crude ash).

^{ns}Not significant ($P>0.05$).

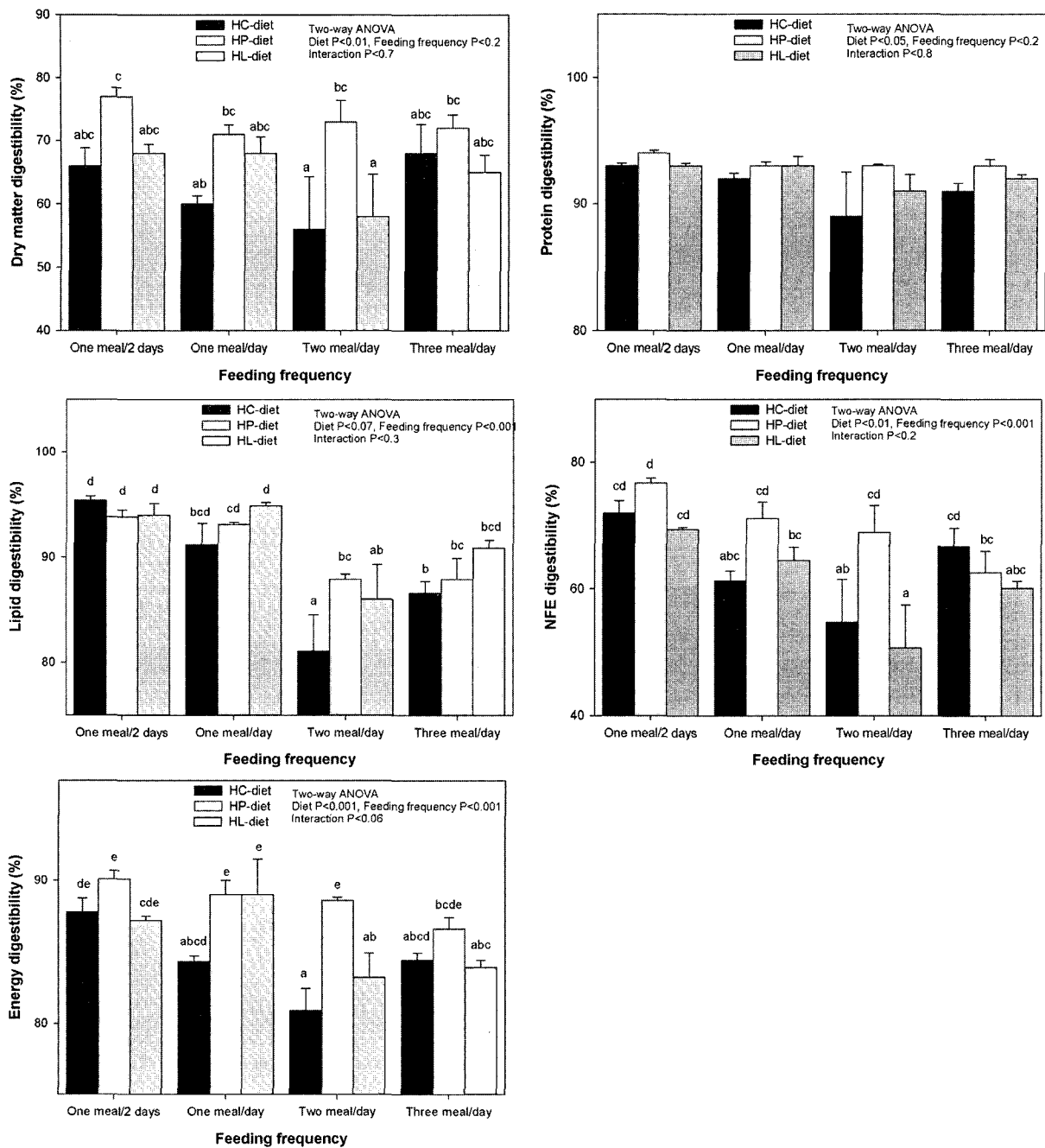


Fig. 2. Apparent digestibility coefficients (% , expressed as mean \pm SE of three replications) for dry matter, crude protein, lipid, NFE and gross energy of experimental diets in grower flounder (average initial weight of 280 g) fed the experimental diets with different feeding frequencies (exp-2). Values with different letter are significantly different ($P < 0.05$).

험구에 비해 소화율이 높은 경향을 보였고, HP 사료를 공급한 실험구 사이에서는 사료공급횟수에 따른 통계적인 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$).

고찰

본 실험에서 사료 공급율(실험 1)에 관계없이 단백질 소화율은 모든 실험구에서 92% 이상으로 대체로 높았으며, 공급횟수

에 따른 실험에서(실험2), 공급횟수가 동일할 때 HP 공급구의 단백질 소화율이 HC와 HL 공급구에 비해 수치상으로 다소 높은 값을 보였다. 이러한 경향은 넙치가 육식성 어종으로서 단백질 이용률이 높기 때문으로 해석된다. Red drum의 경우도 단백질 함량이 높은 사료를 공급할 때 단백질 소화율이 높았다고 보고된 바 있다(McGoogan and Reigh, 1996). 어종에 따라 사료내 단백질, 지질 및 탄수화물의 이용률이 달라질 수 있으므로(Austreng et al., 1979; Morales et al., 1994; Storebakken et

al., 1998) 어류의 식성을 고려한 사료의 영양소 배합비 조절은 매우 중요하다.

동일한 사료 공급횟수에서 건물 및 에너지의 소화율은 HP 공급구가 HC와 HL 공급구들에 비해 높은 경향을 보였다. 일반적으로 육식성 어류는 초식성이나 잡식성 어류에 비해 단백질 이용률이 높은 반면 탄수화물 이용률은 낮다. 이러한 관점에서 보면, HC 공급구의 낮은 영양소 소화율은 사료의 탄수화물에 영향을 받았을 가능성이 높다. 타 연구에서도 탄수화물 함량은 다른 영양소의 소화율에 영향을 미친다고 보고되어 있으며(Aksnes, 1995; Hemre et al., 1995; Hillestad et al., 2001), 대서양 연어의 경우 사료내 탄수화물 함량이 증가함에 따라 탄수화물 소화율이 감소하였다(Grisdale-Helland and Helland, 1997). 육상동물의 경우도 사료내 탄수화물 함량에 따라 단백질 분해효소의 활성과 아미노산의 소화율이 영향을 받는다고 보고되어 있다(Larsen et al., 1994). 본 연구에서도 건물 및 에너지 소화율이 사료의 탄수화물 함량에 유의하게($r=0.69$ 및 $r=0.70$; $P<0.01$) 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 다른 연구에서도 이미 보고 되었으며(Sullivan and Reigh, 1995; McGoogan and Reigh, 1996; Sugiura et al., 1998), 사료의 높은 탄수화물 함량은 다른 영양소의 이용효율을 감소시킬 수 있다고 보고되었다(Shah et al., 1982; Hilton et al., 1983; Anderson et al., 1984). Hemre et al. (1989)도 어종, 탄수화물 함량 및 탄수화물원의 전처리에 따라 영양소 소화율이 달라질 수 있다고 보고하였다. 또한, 본 실험에서 HL 공급구들의 건물, 탄수화물 및 에너지 소화율이 HP 공급구에 비해 낮은 경향을 보였는데, 이는 넙치의 경우 사료내 지질함량이 타 영양소 소화율에 영향을 미칠 수 있음을 암시하고 있다. 건물, 탄수화물 및 에너지 소화율과 사료내 지질함량 사이에 역상관($r=0.60, 0.69$ 및 0.64 ; $P<0.05$) 관계가 있는 것으로 분석되었다. Smith (1989)는 사료의 지질 함량이 장 내용물 통과 속도에 영향을 미친다고 보고하였다. 이처럼 사료내 지질과 탄수화물 함량 증가는 에너지 소화율을 저하시킬 수 있으므로 사료 공급시 탄수화물과 지질의 적정 함량을 설정하는 것은 중요하게 고려되어야 할 것이다.

영양소 소화율은 사료 공급율(Henken et al., 1985)과 공급횟수(Hastings, 1969)에 따라서 달라질 수 있는 것으로 보고되고 있다. 본 실험에서 영양소 소화율은 사료 공급율에 영향을 받지 않았지만, 지질, 탄수화물 및 에너지 소화율은 사료 공급횟수에 영향을 받아 1일 2회까지 사료 공급횟수가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이러한 차이는 사료의 영양소 섭취량 및 섭취된 영양소의 장 통과 시간과 관계가 있는 것으로 판단된다(Holmgren et al., 1983; Lee et al., 2000c). 본 실험의 결과로부터, 사료를 1일 2회 이상 공급하는 것은 에너지의 이용률을 저하시킬 수 있음을 암시하고 있으며 에너지의 과잉 공급이 될 것으로 판단된다. Lee et al. (1999)은 1.6-4.0 g의 넙치 치어의 적정 성장을 위한 EP의 적정 사료공급횟수가 1일 3회라고 보고하였으며, Kim et al. (2005)은 45 g 전후의 넙치의

적정 성장을 위한 EP의 적정 공급횟수가 1일 2회 반복 공급이라고 보고하였다. 본 실험에서는 성장결과를 조사하지 않았지만, 넙치 평균체중이 280 g 전후로 앞 실험들과의 체중 차이를 고려하여 볼 때, 적정 공급횟수가 달라질 수 있을 것으로 생각된다. 본 실험에서 지질, 탄수화물 및 에너지 소화율이 사료 공급횟수에 영향을 받아 2일 1회 및 1일 1회 공급구들에서 양호한 결과를 보인 것으로부터, 평균체중 280 g 이상의 넙치의 적정 사료 공급횟수는 1일 1회 정도가 좋을 것으로 판단된다. 하지만, 사료의 영양소 소화율은 어체 크기 뿐 아니라 사육수온, 사료 가공 조건(Smith, 1989; Lee, 2002) 등에 따라 달라질 수 있기 때문에 상세한 연구가 계속되어야 할 것이다.

요 약

평균체중 280 g의 넙치를 대상으로 탄수화물, 단백질 및 지질 함량이 다른 3 종류의 EP 사료(HC, HP 및 HL)를 제조하여, 사료 공급율과 공급횟수를 달리하여 영양소 소화율을 조사하였다. 사료의 공급율에 따른 실험(실험 1)은 각 사료별로 1일 1회 반복 공급구와 반복의 80% 공급구로 설정하였다. 사료 공급횟수에 따른 실험(실험 2)에서는 사료의 공급횟수를 각 사료마다 2일 1회, 1일 1회, 1일 2회 및 1일 3회로 설정하였다. 사료 공급율을 달리한 실험 1에서 넙치의 건물, 단백질, 지질, 에너지 및 NFE 소화율은 사료 조성 및 공급율에 영향을 받지 않았다($P>0.05$). 사료 공급횟수를 달리한 실험 2의 건물 소화율은 동일한 공급횟수에서 HP 공급구가 HC와 HL 공급구와 비교하여 높은 소화율을 보였다. 단백질 소화율은 사료 조성에 영향을 받아 HP 공급구가 수치상으로 높은 값을 보였으나 실험기간에 유의차는 없었다($P>0.05$). 지질 소화율은 사료 공급횟수에 영향을 받아 1일 2회와 3회 공급구에서 감소하는 경향을 보였다. NFE 소화율은 사료 조성 및 공급횟수에 영향을 받았으며, 동일한 공급횟수에서 1일 3회 공급구를 제외한 실험구에서 HP 공급구의 소화율이 높은 경향을 보였다. 그리고 동일한 사료에서는 2일 1회에서 1일 2회까지 공급횟수가 증가하면서 NFE 소화율이 낮아지는 경향을 보였다. 에너지 소화율은 동일한 공급횟수에서 1일 1회 공급구를 제외하고 HP를 공급한 실험구가 다른 실험구에 비해 높았고, HP 공급구들 간에는 사료공급횟수에 영향을 받지 않았다.

감사의 글

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

참고문헌

Aksnes, A., 1995. Growth, feed efficiency and quality of salmon

- (*Salmo salar*) given feeds with different ratios of carbohydrate and protein. *Aquacult. Nutr.*, 1, 241–248.
- Anderson, J. S., A. J. Jackson, A. J. Matty and B. S. Capper, 1984. Effects of dietary carbohydrate and fiber on the tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn.). *Aquaculture*, 37, 303–314.
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA. 1298 pp.
- Austreng, E., A. Skrede and A. Eldegard, 1979. Effect of dietary fat source on the digestibility of fat and fatty acids in rainbow trout and mink. *Acta Agric. Scand.*, 29, 119–126.
- Beamish, F. W. G. and T. E. Medland, 1986. Protein sparing effects in large rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 55, 35–42.
- Cho, C. Y. and S. J. Slinger, 1979. Apparent digestibility measurement in feed stuffs for rainbow trout. In: J. H. Halver and K. Tiews. (eds.), *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Vol. II. Heeneman, Berlin, pp. 239–247.
- De Silver, S. S., R. M. Gunasekera and K. F. Shim, 1991. Interactions of varying dietary protein and lipid levels in young red tilapia: evidence of protein sparing. *Aquaculture*, 95, 305–318.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple *F* tests. *Biometrics*, 11, 1–42.
- Furuukawa, A. and H. Tsukahara, 1966. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 32, 502–506.
- Grisdale-Helland, B. and S. J. Helland, 1997. Replacement of protein by fat and carbohydrate in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) at the end of the freshwater stage. *Aquaculture*, 139, 157–163.
- Hajen, W. E., D. A. Higgs, R. M. Beames and B. S. Dosanjh, 1993. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water. 2. Measurement of digestibility. *Aquaculture*, 112, 333–348.
- Hastings, W. H., 1969. Nutritional score. In: O. W. Neuhaus and J. E. Halver (eds.), *Fish in research*. Academic press, New York, USA. pp. 263–292.
- Hemre, G.-I., Ø. Lie, E. Lied and G. Lambertsen, 1989. Starch as an energy source in feed for cod (*Gadus morhua*): digestibility and retention. *Aquaculture*, 80, 261–270.
- Hemre, G.-I., K. Sandnes, Ø. Lie, O. Torrissen and R. Waagbø, 1995. Carbohydrate nutrition in Atlantic salmon: I. Growth and feed utilization. *Aquacult. Res.*, 26, 149–154.
- Henken, A. M., D. W. Kleingeld and P. A. T. Tijssen, 1985. The effect of feeding level on apparent digestibility of dietary dry matter, crude protein and gross energy in the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture*, 51, 1–11.
- Hillestad, M., F. Johnsen and T. Aasgaard, 2001. Protein to carbohydrate ratio in high-energy diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquacult. Res.*, 32, 517–529.
- Hilton, J. W., J. I. Atkinson and S. Slinger, 1983. Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Fish. Aquacult. Sci.*, 40, 81–85.
- Holmgren, S., D. J. Grove and D. J. Fletcher, 1983. Digestion and control of gastrointestinal motility. In: J. C. Rankin and R. T. Dugan (eds.), *Control Processes in Fish Physiology*. Wiley, New York, NY, USA, pp. 23–40.
- Kikuchi, K., 1999. Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, 179, 3–11.
- Kim, K. D., S.-M. Lee, H. G. Park, S. C. Bai and Y. H. Lee, 2002. Essentiality of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J. World Aquacult. Soc.*, 33, 432–440.
- Kim, G.-U., H.-S. Jang, J.-Y. Seo and S.-M. Lee, 2005. Effect of feeding frequency of extruded pellet on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* during the winter season. *J. Aquacult.*, 18, 31–36.
- 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.
- Larsen, F. M., M. N. Wilson and P. J. Moughan, 1994. Dietary fiber viscosity and amin acid digestibility, proteolytic digestive enzyme activity and digestive organ weights in growing rats. *J. Nutr.*, 124, 833–841.
- Lee, S.-M., 1997. Effects of feeding rates on growth, feed frequency and body composition of the juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Kor. J. Anim. Nutr. Feed*, 21, 327–334.
- Lee, S.-M., 2002. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, 202, 79–95.
- 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. Cho and K. D. Kim, 2000a. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. World Aquacult. Soc.*, 31, 306–315.
- Lee, S.-M., S. H. Cho and D. J. Kim, 2000b. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquacult. Res.*, 31, 917–921.
- Lee, S.-M., U.-G. Hwang and S. H. Cho, 2000c. 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.
- McGoogan, B. B. and R. C. Reigh, 1996. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. *Aquaculture*, 16, 39–46.
- Morales, A. E., G. Cardenete, M. De la Higuera and A. Sanz, 1994. Effect of dietary protein source on growth, feed conversion and energy utilization in rainbow trout *Oncorhynchus*

- mykiss*. Aquaculture, 124, 117–126.
- Shah, N., M. T. Atallah, R. P. Mahoney and P. L. Pellet, 1982. Effect of dietary fiber components of fecal nitrogen excretion and protein utilization in growing rats. *J. Nutr.*, 112, 658–666.
- Smith, L. S., 1989. Digestive functions in teleost fishes. In: J. E. Halver (ed.), *Fish Nutrition*. Academic Press, London, UK. pp. 332–411.
- Smith, R. W. and R. T. Lovell, 1973. Determination of apparent protein digestibility in feeds for channel catfish. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 102, 831–835.
- Storebakken, T., K. D. Shearer, S. Refstie, S. Lagocki and J. McCool, 1998. Interaction between salinity, dietary carbohydrate source and carbohydrate concentration on the digestibility of macronutrients and energy in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 163, 347–359.
- Sugiura, S. H., F. M. Dong, C. K. Rathbone and R. W. Hardy, 1998. Apparent digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonids feeds. *Aquaculture*, 159, 177–202.
- Sullivan, J. A. and R. C. Reigh, 1995. Apparent digestibility of selected feedstuffs in diets for hybrid striped bass (*Morone saxatilis* ♀ × *Morone chrysops* ♂). *Aquaculture*, 138, 313–322.
- Takeuchi, T., Y. Shina, T. Watanabe, S. Sekiya and K. Imaizumi, 1992. Suitable protein and lipid levels in diet for fingerlings of yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 1333–1339.

원고접수 : 2005년 5월 25일

수정본 수리 : 2005년 7월 8일