

## 사료원료에 대한 넙치 *Paralichthys olivaceus*의 소화율 평가

김경덕\*·김동규·김신권·김강웅·손맹현·이상민<sup>1</sup>  
국립수산과학원 사료연구센터, <sup>1</sup>강릉원주대학교 해양생명공학부

### Apparent Digestibility Coefficients of Various Feed Ingredients for Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*

Kyoung-Duck Kim\*, Dong Gyu Kim, Shin-Kwon Kim,  
Kang-Woong Kim, Maeng Hyun Son and Sang-Min Lee<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>Faculty of Marine Bioscience & Technology, Gangneung-Wonju National University,  
Gangneung 210-702, Korea

The apparent digestibility coefficients of dry matter, crude protein and energy in white fishmeal, herring meal, anchovy meal, salmon meal, sardine meal, mackerel meal, squid meal, soybean meal, corn gluten meal and wheat flour were determined for olive flounder. Digestibility coefficients were determined using a reference diet and test diets that contained 70% of the reference diet mixture and 30% test ingredients. All diets contained 0.5% chromic oxide as a digestibility indicator. The fish averaging 220 g were held in 500 L tanks at a density of 20 fish per tank. Feces were collected from three replicated groups of fish using a fecal collection column attached to a fish-rearing tank. The apparent dry matter, crude protein and energy digestibility coefficient values observed were in the ranges 29–79%, 59–95% and 45–91%, respectively, for various test ingredients. The apparent dry matter, crude protein and energy digestibility of white fishmeal, herring meal, anchovy meal, salmon meal, sardine meal, mackerel meal and squid meal were significantly higher than those of soybean meal, corn gluten meal and wheat flour.

Key words: Apparent digestibility coefficients, Feed ingredients, Olive flounder

#### 서 론

넙치는 성장이 빠르고, 종묘생산 기술이 확립되어 있을 뿐만 아니라 고밀도 사육이 가능하며, 특히 우리나라와 일본에서 횡감으로 선호도가 높아 양식 대상종으로 가치가 높은 어종이다.

어류양식에 소요되는 비용 중 사료비는 다른 요인들에 비해 상대적으로 높은 비율을 차지하므로 양식장 환경 및 질병과 함께 가장 중요하게 고려되어야 할 요인이다. 그 동안 넙치 배합사료 개발에 필요한 자료를 위하여 단백질, 지질 및 필수 지방산과 같은 영양소 요구량과 사료원료 이용성에 관한 연구들이 활발하게 수행되어 왔다 (Lee et al., 2000; Kim et al., 2002; Lee and Kim 2005; Lee et al., 2008). 또한, 넙치 양식 현장에서 주로 사용되고 있는 생사료와 배합사료의 사육효과 비교 연구를 통하여 배합사료로의 생사료 대체 가능성이 보고되었다 (Kim et al., 2006, 2008). 이와 같이 양식 경쟁력 향상을 위해서는 양식어의 사육에 적합한 실용배합사료를 개발하여 양식 생산성을 높이는 반면, 어분과 같은 값비싼 원료를 대체할 수 있는 사료원료 개발 등을 통해 지속적으로 사료가격을 낮출 수 있도록 해야 한다.

양식어의 영양소 및 에너지 요구량을 충족시키며, 배합사료의 생산단가를 최소화할 수 있는 경제적인 사료원료를 사용하기 위해서는 사료원료에 대한 소화율 측정은 필수적이다 (Jafri and Hassan, 1999). 성분 분석을 통하여 사료에 함유된 영양소 함량을 파악할 수는 있으나, 양식어가 섭취한 사료 영양소들이 어체내에서 소화되지 못하여, 제대로 흡수되지 않는다면 사료에 함유된 영양소들은 실제적인 영양적 가치를 갖지는 못할 것이다. 영양성분 분석과 더불어 소화율의 측정은 사료원료 중에서도 특히 단백질원의 영양적 가치를 더욱 정확하게 평가할 수 있도록 한다. 어류사료에 많이 사용되는 사료원료에 대한 영양소 및 에너지 외관상 소화율 (apparent digestibility coefficient)은 연어 (*Oncorhynchus kisutch*)를 포함한 주요 양식어종에서 보고되었다 (Bruce et al., 1996; Sugiura et al., 1998; Lee, 2002; Tibbetts et al., 2004, 2006). 넙치의 경우 사료원료별 아미노산 및 에너지 소화율에 관한 연구가 수행되었으나 (Lee et al., 2008), 여러 종류의 어분을 포함한 양식사료 원료에 대한 건물 및 단백질과 같은 주요 영양소 소화율에 관한 연구는 제한적인 실정이다. 그래서 본 연구는 상업적으로 많이 사용되고 있는 다양한 어분과 대두박, 콩글루텐 및 소맥분의 건물, 조단백질 및 에너지에 대한 넙치의 외관상 소화율을 측정하기 위하여 수행되었다.

\*Corresponding author: kdkim@nfrdi.go.kr

## 재료 및 방법

### 실험사료

실험에 사용한 표준사료 (reference diet)는 단백질원으로 백색어분을 사용하였으며, 지질원으로 오징어간유를, 탄수화물원으로는  $\alpha$ -전분과 소맥분을 각각 사용하였다 (Table 1). 또한 소화율 측정을 위하여 산화크롬 ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )을 0.5% 첨가하여 소화율 지표물질로 사용하였다. 소화율 측정에 사용된 사료원료는 백색어분, 청어분, 멸치분, 연어분, 정어리분, 고등어분, 오징어분, 대두박, 콘글루텐밀 및 소맥분으로 총 10종류이며 (Table 2), 기초사료와 각 사료원료를 7:3의 무게비율로 혼합하여 11종류의 실험사료를 제조하였다 (Table 3). 모든 실험사료는 설계된 원료들을 잘 혼합한 후 원료 100 g 당 물 40 g 내외를 첨가하여 펠렛 제조기로 사료를 성형한 후 실온에서 24시간 건조하였다. 제조된 사료는  $-20^\circ\text{C}$ 에 보관하면서 사용하였다.

### 실험어 관리 및 분 수집

자체적으로 설계 제조한 분 수집 장치가 연결된 500 L 실험

Table 1. Ingredients and nutrient contents of the reference diet

Ingredients	%
White fishmeal <sup>1</sup>	67
$\alpha$ -Starch	5
Wheat flour	18
Squid liver oil	5
Vitamin premix <sup>2</sup>	2
Mineral premix <sup>3</sup>	2
Choline chloride	0.5
Chromic oxide	0.5
Nutrient contents (dry basis)	
Crude protein	52.4
Crude lipid	9.9
Ash	13.0
Carbohydrate <sup>4</sup>	24.7
Gross energy (cal/g)	4881

<sup>1</sup> White fishmeal from Alaska supplied by Galim Engineering Co., Ltd., Seoul, Korea.

<sup>2</sup> Vitamin mix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): L-ascorbic acid, 121.2; DL- $\alpha$ -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003.

<sup>3</sup> Mineral mix contained the following ingredients (g/kg mix):  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 80.0;  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0;  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2;  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.15; KI, 0.15;  $\text{Na}_2\text{Se}_2\text{O}_3$ , 0.01;  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 2.0;  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 1.0.

<sup>4</sup> 100-(crude protein+crude lipid+ash).

Table 2. Nutrient contents of the ingredients used to test diets

Test ingredients	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Ash (%)	Carbohydrate (%) <sup>11</sup>	Gross energy (cal/g)
WFM <sup>1</sup>	8.4	69.0	6.6	15.0	1.0	4420
HM <sup>2</sup>	7.2	70.8	9.7	11.7	0.6	4978
AM <sup>3</sup>	7.2	69.0	9.6	13.3	0.9	4751
SMM <sup>4</sup>	8.1	68.7	10.3	12.2	0.7	4785
SDM <sup>5</sup>	8.2	68.1	8.3	14.3	1.1	4621
MM <sup>6</sup>	8.6	61.4	10.1	18.2	1.7	4435
SQM <sup>7</sup>	9.2	74.6	3.8	10.9	1.5	4533
SBM <sup>8</sup>	11.7	46.8	1.6	5.8	34.1	4114
CGM <sup>9</sup>	10.0	59.8	1.0	2.2	27.0	5202
WF <sup>10</sup>	11.6	12.5	2.0	0.9	73.0	3821

<sup>1</sup> White fishmeal from Alaska supplied by Galim Engineering, Co., Ltd., Seoul, Korea.

<sup>2</sup> Herring meal from Denmark supplied by Galim Engineering.

<sup>3</sup> Anchovy meal from Chile supplied by Galim Engineering.

<sup>4</sup> Salmon meal from Chile supplied by Galim Engineering.

<sup>5</sup> Sardine meal from Chile supplied by Suhyupfeed Co., Ltd., Uiryeong, Korea.

<sup>6</sup> Mackerel meal from Chile supplied by Suhyupfeed.

<sup>7</sup> Squid meal from Chile supplied by Galim Engineering.

<sup>8</sup> Soybean meal (dehulled, solvent extracted) supplied by Suhyupfeed.

<sup>9</sup> Corn gluten meal supplied by Suhyupfeed.

<sup>10</sup> Wheat flour supplied by Suhyupfeed.

<sup>11</sup> 100-(moisture+crude protein+crude lipid+ash).

Table 3. Nutrient contents (dry basis) of the test diets fed to flounder

Test diets (70% reference + 30% ingredient)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Ash (%)	Gross energy (cal/g)
WFM <sup>1</sup>	58.9	10.8	14.1	4919
HM <sup>1</sup>	59.4	12.1	12.8	5047
AM <sup>1</sup>	58.6	11.5	13.2	4967
SMM <sup>1</sup>	59.1	11.4	12.9	4998
SDM <sup>1</sup>	59.6	11.0	13.6	4919
MM <sup>1</sup>	56.1	11.3	14.8	4818
SQM <sup>1</sup>	61.5	9.0	12.7	4995
SBM <sup>1</sup>	53.2	8.6	11.5	4907
CGM <sup>1</sup>	57.2	8.7	9.6	5114
WF <sup>1</sup>	43.7	8.6	9.5	4900

<sup>1</sup> See Table 2.

수조 (Fig. 1)에 평균체중 220 g의 넙치 육성어를 20마리씩 각 사료별 3반복으로 수용하여 4주간 예비 사육한 후, 실험사료를 오후 2시에 만복에 가깝도록 공급하고, 오후 5시에 수조 및 분 수집 통을 깨끗이 청소한 후 다음날 오전 10시에 수집통에 모인 분을 여과하고 샘플 수집하였다. 분 수집 기간 동안의 평균 수온은  $21.0 \pm 2.8^\circ\text{C}$ 였다. 수집된 분은 동결 건조하여  $-20^\circ\text{C}$ 에 보관하며 성분분석에 사용하였다.

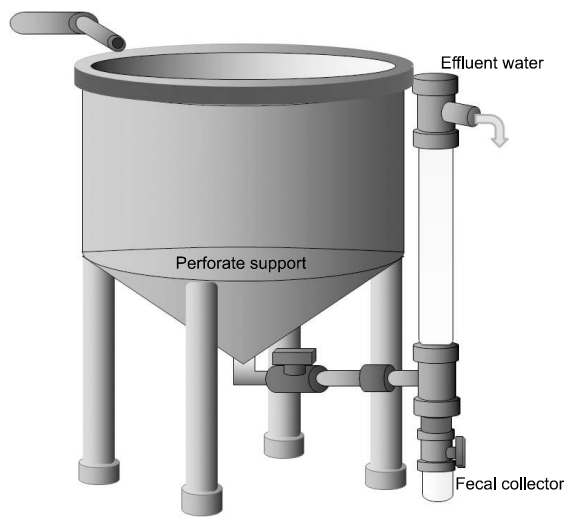


Fig. 1. Digestibility tank system used in this study.

성분분석

사료원료, 실험사료 및 분의 수분은 105°C에서 6시간 건조하여 측정하였으며, 조단백질 (N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Gerhardt VAP500T/TT125, Germany)을 사용하여 분석하였다. 조지방은 조지방추출기 (Velp SER148, Italy)를 사용하여 ether로 추출한 후 측정하였으며, 조회분은 회화로를 사용하여 550°C에서 4시간 동안 태운 후 정량하였다. 에너지 함량은 열량분석기 (Parr-6200, Moline, IL, USA)를 사용하여 분석하였다. 실험사료와 분의 산화크롬 함량은 시료의 크롬 함량을 원자흡광분광광도계 (Analyticjena, Germany)를 사용하여 분석한 후, 분자량 값으로 환산하여 측정하였다.

소화율측정

실험사료 및 사료원료의 소화율은 Cho et al. (1982)이 사용한 아래의 공식으로 계산하였다.

실험사료의 소화율

$$\begin{aligned} \text{건물 소화율} &= 100 - (\text{사료중의 } Cr_2O_3 \times 100 / \text{분중의 } Cr_2O_3) \\ \text{영양소 소화율} &= 100 - [(\text{분중의 영양소} \times \text{사료중의 } Cr_2O_3) / (\text{사료중의 영양소} \times \text{분중의 } Cr_2O_3)] \times 100 \end{aligned}$$

사료원료의 소화율

$$= 100/30 \times (\text{실험사료의 영양소 소화율} - 0.7 \times \text{표준사료의 영양소 소화율})$$

통계처리

결과의 통계 처리는 SPSS program을 사용하여 ANOVA-test를 실시한 후, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성 ( $P < 0.05$ )을 검정하였다.

결 과

넙치 육성어의 사료원료 10종류에 대한 외관상 건물, 조단백질 및 에너지 소화율측정 결과를 Table 4에 나타내었다.

사료원료별 건물 소화율은 29-79%였고, 동물성 원료인 어분 및 오징어분의 건물 소화율 (67-79%)이 식물성 원료인 대두박 (53%), 콘글루텐밀 (60%) 및 소맥분 (29%)에 비하여 유의하게 높았다 ( $P < 0.05$ ). 동물성 원료별 건물 소화율은 정어리분이 백색어분, 멸치분 및 연어분에 비하여 유의하게 낮은 결과를 보였으며 ( $P < 0.05$ ), 식물성 원료별 건물 소화율은 소맥분이 대두박 및 콘글루텐밀에 비하여 유의하게 낮았다 ( $P < 0.05$ ). 사료원료별 조단백질 소화율은 59-95%였고, 어분 및 오징어분의 조단백질 소화율 (88-95%)이 대두박 (78%), 콘글루텐밀 (79%) 및 소맥분 (59%)에 비하여 유의하게 높았다 ( $P < 0.05$ ). 모든 원료의 에너지 소화율은 45-91%였고, 동물성 원료의 에너지 소화율 (82-91%)이 식물성 원료인 대두박 (68%), 콘글루텐밀 (74%) 및 소맥분 (45%)에 비하여 유의하게 높았다 ( $P < 0.05$ ). 동물성 원료별 조단백질 및 에너지 소화율은 사료원료에 따른 차이는 없었으며, 식물성 원료별 조단백질 및 에너지 소화율은 소맥분이 대두박 및 콘글루텐밀에 비하여 유의하게 낮았다 ( $P < 0.05$ ).

Table 4. Apparent digestibility coefficient of dry matter, crude protein and energy of the test ingredients in flounder

Apparent digestibility coefficient (%)	Dry matter (%)	Crude protein (%)	Energy (%)
WFM <sup>1</sup>	79±0.5 <sup>e</sup>	95±0.3 <sup>c</sup>	91±0.1 <sup>d</sup>
HM <sup>1</sup>	74±2.7 <sup>de</sup>	91±1.6 <sup>c</sup>	87±1.8 <sup>d</sup>
AM <sup>1</sup>	76±1.7 <sup>e</sup>	92±1.1 <sup>c</sup>	87±1.3 <sup>d</sup>
SMM <sup>1</sup>	77±0.3 <sup>e</sup>	94±0.3 <sup>c</sup>	89±0.9 <sup>d</sup>
SDM <sup>1</sup>	67±1.2 <sup>cd</sup>	88±1.3 <sup>c</sup>	82±1.4 <sup>cd</sup>
MM <sup>1</sup>	73±0.8 <sup>de</sup>	93±0.1 <sup>c</sup>	87±0.5 <sup>d</sup>
SQM <sup>1</sup>	72±1.5 <sup>de</sup>	89±1.4 <sup>c</sup>	83±1.4 <sup>d</sup>
SBM <sup>1</sup>	53±4.2 <sup>d</sup>	78±5.5 <sup>b</sup>	68±4.9 <sup>b</sup>
CGM <sup>1</sup>	60±4.0 <sup>bc</sup>	79±4.7 <sup>b</sup>	74±2.1 <sup>bc</sup>
WF <sup>1</sup>	29±3.9 <sup>a</sup>	59±2.8 <sup>a</sup>	45±3.4 <sup>a</sup>

Values (mean ± SE of three replications) in each column with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ). <sup>1</sup>See Table 2.

각 사료원료의 단백질 함량과 건물 ( $r = -0.93$ ,  $P < 0.01$ ), 조단백질 ( $r = -0.88$ ,  $P < 0.01$ ) 및 에너지 ( $r = -0.93$ ,  $P < 0.01$ ) 소화율은 높은 상관관계를 나타내었으며, 원료별 탄수화물 함량과 건물 ( $r = -0.95$ ,  $P < 0.01$ ), 조단백질 ( $r = -0.93$ ,  $P < 0.01$ ) 및 에너지 ( $r = -0.96$ ,  $P < 0.01$ ) 소화율은 역 (inverse)의 상관관계를 보였다.

고 찰

사료 단백질원의 품질은 어류 성장에 영향을 미치는 주된 요인이며, 단백질 소화율은 어류의 단백질 이용성을 평가하기 위한 주요한 방법이다. 사료산업에 있어서 사료원료별 영양소 소화율 측정 자료는 양식어종의 영양소 요구량을 충족시킬 수 있는 최저가 사료배합비를 설계하는데 필수적이다. 사료원료의 소화율은 주로 원료의 화학적 영양조성 및 대상어종의 소화 능력에 따라 달라진다. 육성기 넙치를 대상으로 수행된 본 연구에서 어분 종류별 단백질 소화율은 88-95%였으며, 에너지 소화율은 82-91%로 높은 값을 나타내었다. 본 실험에

서 넙치의 청어분 (herring meal)에 대한 단백질 소화율은 91%로 무지개송어 (*Oncorhynchus mykiss*), Atlantic salmon (*Salmo salar*), coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*), European sea bass (*Dicentrarchus labrax*), red drum (*Sciaenops ocellatus*), Atlantic cod (*Gadus morhua*) 및 haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) (Cho and Kaushik, 1990; Anderson et al., 1992; Hajen et al., 1993; McGoogan and Reigh, 1996; Gomes and Oliva-Teles, 1998; Tibbetts et al., 2004, 2006)의 청어분 단백질 소화율 87-98% 범위에 속하였으며, 에너지 소화율 (87%)도 무지개송어, Atlantic salmon, haddock 및 European sea bass (Cho and Kaushik, 1990; Anderson et al., 1992; Gomes and Oliva-Teles, 1998; Tibbetts et al., 2004)의 84-98% 범위에 속하였다. 식물성 원료인 콘글루텐밀에 대한 넙치의 단백질 소화율은 79%로 Atlantic cod, rockfish (*Sebastes schlegeli*) (Lee, 2002), coho salmon 및 haddock의 86-92%에 비하여 낮았으며, 대두박 단백질 소화율은 78%로 red drum (80%) 및 rockfish (80-84%)와는 유사하였으나, Atlantic cod, 무지개송어, coho salmon 및 haddock의 90-93%에 비해 낮았다. 또한 넙치의 콘글루텐밀 에너지 소화율은 74%로 무지개송어의 72-87%에 속하며, Atlantic cod, gilthead seabream (Lupatsch et al., 1997) 및 haddock (80-83%) 보다는 다소 낮았고, 대두박의 에너지 소화율은 68%로 European sea bass (69-70%)와 유사하였으며 gilthead seabream (*Sparus aurata*) 및 red drum (38%-58%) 보다는 높았지만, Atlantic cod, Atlantic salmon 및 haddock (72-92%) 보다는 낮았다.

Lee et al. (2008)은 평균체중 300 g 넙치의 콘글루텐밀, 대두박 및 소맥분 에너지 소화율은 각각 86, 98 및 52%로 보고하여, 본 연구의 콘글루텐밀, 대두박 및 소맥분 에너지 소화율 74, 68 및 45%에 비하여 전반적으로 높은 결과를 보였다. 어류의 소화율은 사료조성, 사육수온과 같은 환경조건, 사료공급 방법 및 사료제조 조건 등에 영향을 받을 수 있다 (Sullivan and Reigh, 1995). 따라서 어류의 사료원료 소화율이 항상 일정한 수준으로 유지되는 것은 아니다 (McGoogan and Reigh, 1996). 본 연구와 Lee et al. (2008)의 연구에서 측정된 사료원료별 에너지 소화율 값의 차이에 대한 원인을 명확히 설명할 수는 없지만, 이러한 차이는 각 실험에 사용된 어체의 크기, 기초사료 조성 및 사료수온 등에 의한 것으로 판단된다. 이러한 생물학적 및 환경적인 요인과 더불어, 소화율 측정을 위한 분 수집 방법 역시 소화율 측정값에 영향을 미친다. 어류의 소화율 측정을 위한 분 수집 방법에는 내장을 절개하는 방법 (dissection), 항문 부위를 눌러서 분을 짜내는 방법 (stripping) 과 배설된 분을 분 수집 통으로 수집하는 방법 (decantation)이 있으며, 이 중 분 수집통을 이용하는 방법이 가장 많이 사용되고 있다. Lee (1997)는 조피볼락의 소화율 측정을 위한 분 수집 방법으로 내장을 dissection하는 것 보다는 항문 부위를 stripping하거나 분 수집통을 이용하는 것이 바람직하며, 어체의 크기가 작아서 분을 충분히 수집할 수 없거나, 어류의 handling으로 인한 스트레스 요인이 측정되는 소화율 값에 큰 영향을 미치는 상황에서는 분 수집통을 이용하는 것이

바람직하다고 보고하였다. 따라서 분 수집 방법도 신중하게 고려하여 소화율 측정값의 정확도가 최대화되도록 하여야 할 것이다.

어류의 성장을 향상시키는 어분의 우수성은 여러 어종에서 이미 잘 알려져 있는데, 이는 어분의 높은 단백질 함량, 균형잡힌 아미노산 조성 및 기호성 향상 등에 의한 것이다 (Andrews and Page, 1974; Tacon and Jackson, 1985; Nandeesha et al., 1991). 그러나 어분은 가격이 높은 편이며 생산량이 제한적이라는 단점이 있어, 양식어의 정상적인 성장을 유지하며 사료 중에 어분의 함량을 최소화시킬 수 있는 대체 단백질원 조사를 위한 연구는 필수적이다. 본 연구에서 식물성 원료인 대두박 및 콘글루텐밀은 여러 종류의 어분에 비하여 건물, 단백질 및 에너지 소화율이 낮았다. Kim et al. (2000)은 사료의 단백질 원료로 어분 대신 대두박 함량을 달리한 사료로 넙치를 사육한 결과, 대두박 함량이 증가함에 따라서 성장 및 사료효율이 감소하였다고 보고하였다. 일반적으로 육식성 어류는 식물성 원료에 비하여 동물성 원료의 건물 및 에너지 이용율이 더 높은 것으로 알려져 있다 (Cho et al., 1982; Bergot and Breque, 1983; Ellis and Reigh, 1991; Reigh and Ellis, 1992; Sullivan and Reigh, 1995). 이와 같이 식물성 원료에 대한 소화율이 낮은 것은 식물성 원료에 함유된 탄수화물의 함량 및 화학적 조성과의 관계가 있으며, 대부분의 육식성 어류는 에너지원으로 사료 중의 탄수화물을 효율적으로 사용하지 못하는 것으로 보고되었다 (Wood, 1993). 어류는 식물성 원료에 존재하는 탄수화물인 섬유소를 에너지원으로 이용하지 못하며, 사료 중에 섬유소의 함량이 높을 경우 타 영양소들의 이용율을 감소시키며 (Anderson et al., 1984), 단백질 분해 효소 활성을 감소시키거나 사료의 장통과 시간을 단축시킴으로써 소화 및 흡수가 제대로 이루어지지 못하여 단백질 이용율을 감소시키기도 한다 (Falge et al., 1978; Jobling, 1981; Steffens, 1989). 본 연구에서도 각 사료원료의 탄수화물 함량과 건물, 조단백질 및 에너지 소화율은 높은 역 (inverse)의 상관관계를 나타내었는데, 조피볼락 (Lee, 2002), salmonids (Sugiura et al., 1998), hybrid striped bass (Sullivan and Reigh, 1995) 및 red drum (McGoogan and Reigh, 1996)과 같은 타 어종에서도 본 연구와 유사한 경향을 보였다.

이상의 결과로 볼 때, 사료원료별 넙치 육성어의 건물, 조단백질 및 에너지 소화율은 동물성 원료인 어분 및 오징어분이 식물성 원료인 대두박, 콘글루텐밀 및 소맥분에 비하여 높았으며, 식물성 원료별 소화율은 소맥분이 대두박 및 콘글루텐밀에 비하여 낮았다. 이러한 결과는 경제적이고 영양적으로 균형있는 넙치용 배합사료를 설계하는데 기초 자료가 될 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 국립수산과학원 (고효율 배합사료 개발 및 실용화 연구, RP-2010-AQ-039)의 지원에 의해 운영되었습니다.

## 참고문헌

Anderson JS, Jackson AJ, Matty AJ and Capper BS. 1984.

- Effects of dietary carbohydrate and fiber on the tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn.). *Aquaculture* 37, 303-314.
- Anderson JS, Lall SP, Anderson DM and Chandrasoma J. 1992. Apparent and true availability of amino acids from common feed ingredients for Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in seawater. *Aquaculture* 108, 111-124.
- Andrews JW and Page JW. 1974. Growth factors in the fish meal component of catfish diets. *J Nutr* 104, 1091-1096.
- Bergot F and Breque J. 1983. Digestibility of starch by rainbow trout: effects of the physical state of starch and of the intake level. *Aquaculture* 34, 203-212.
- Bruce BM and Robert CR. 1996. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. *Aquaculture* 141, 233-244.
- Cho CY and Kaushik SJ. 1990. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *World Review of Nutrition and Dietetics* 61, 132-172.
- Cho CY, Slinger SJ and Bayley HS. 1982. Bioenergetics of salmonid species: energy intake, expenditure and productivity. *Comp Biochem Physiol* 73, 25-41.
- Ellis SC and Reigh RC. 1991. Effects of dietary lipid and carbohydrate levels on growth and body composition of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture* 97, 383-394.
- Falge R, Schpanof L and Jurss K. 1978. Amylase, esterase and protease activity in the intestine content of rainbow trout *Salmo gairdneri* Rich. after feeding with feed containing different amounts of starch and protein. *J Ichthyol* 18, 283-287.
- Gomes da Silva J and Oliva-Teles A. 1998. Apparent digestibility coefficients of feedstuffs in seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquatic Living Resources* 11, 187-191.
- Hajen WE, Higgs DA, Beames RM and Dosanjh BS. 1993. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in seawater. 2. Measurement of digestibility. *Aquaculture* 112, 333-348.
- Jafri AK and Hassan MA. 1999. Energy digestibility coefficients of commonly used feedstuffs in different size class of Indian major carps, *Labeo rohita* (Hamilton) and *Cirrhinus mrigala* (Hamilton). *Asian Fish Sci* 12, 155-163.
- Jobling M. 1981. Dietary digestibility and the influence of food components on gastric evacuation in plaice *Pleuronectes platessa* L. *J Fish Biol* 19, 29-36.
- Kim KD, Kang YJ, Lee JY, Nam MM, Kim KW, Jang MS and Lee SM. 2008. Evaluation of extruded pellets and raw fish-based moist pellet for growth of sub-adult flounder *Paralichthys olivaceus*. *J Aquacult* 21, 102-106.
- Kim KD, Lee SM, Park HG, Bai SC and Lee YH. 2002. Essentiality of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J World Aquacult Soc* 33, 432-440.
- 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 Aquacult* 19, 173-177.
- Kim YS, Kim BS, Moon TS and Lee SM. 2000. Utilization of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in the diet of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J Korean Fish Soc* 33, 469-474.
- Lee SM. 1997. Evaluation of the nutrient digestibilities by different fecal collection methods in juvenile and adult Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *J Korean Fish Soc* 30, 62-71.
- Lee SM, Seo JY, Choi KH and Kim KD. 2008. Apparent amino acid and energy digestibilities of common feed ingredients for flounder *Paralichthys olivaceus*. *J Aquacult* 21, 89-95.
- Lee SM. 2002. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture* 207, 79-95.
- Lee SM and Kim KD. 2005. Effect of various levels of lipid exchanged with dextrin at different protein level in diet on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquacult Nutr* 11, 1-8.
- Lee SM, Cho SH and Kim KD. 2000. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *J World Aquacult Soc* 31, 306-315.
- Lupatsch T, Kissil GWM, Sklan D and Pfeffer E. 1997. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients

- and their predictability in compound diets for gilthead seabream, *Sparus aurata* L. *Aquacult Nutr* 3, 81-89.
- McGoogan BB and Reigh RC. 1996. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. *Aquaculture* 141, 233-244.
- Nandeesha MC, Srikanth GK, Keshavanath P and Das SK. 1991. Protein and fat digestibility of five feed ingredients by an Indian major carp, *Catla catla* (Hamilton). In: *Fish Nutrition Research in Asia, Proceedings of the Fourth Asian Fish Nutrition Workshop* (ed By S.S. De Silva), Asian Fisheries Society, Manila, Philippines, 75-81.
- Reigh RC and Ellis SC. 1992. Effects of dietary soybean and fish-protein ratios on growth and body composition of red drum (*Sciuenopps owllatus*) fed isonitrogenous diets. *Aquaculture* 104, 279-292.
- Steffens W. 1989. *Principles of Fish Nutrition*. Ellis Harwood, Chichester, U.K., 384.
- Sugiura SH, Dong FM, Rathbone CK and Hardy RW. 1998. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. *Aquaculture* 159, 177-202.
- Sugiura SH, Dong FM, Rathbone CK and Hardy RW. 1998. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. *Aquaculture* 159, 177-202.
- Sullivan JA and Reigh RC. 1995. Apparent digestibility of selected feedstuffs in diets for hybrid striped bass (*Morone saxatilis* ♀ × *Morone chrysops* ♂). *Aquaculture* 138, 313-322.
- Tacon AG and Jackson AJ. 1985. Utilisation of conventional and unconventional protein sources in practical fish feeds. In Cowey CB, Mackie AM and Bell JG. (ed.) *Academic Press, London, U.K.*, 119-145.
- Tibbetts SM, Lall SP and Milley JE. 2004. Apparent digestibility of common feed ingredients by juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L. *Aquaculture Research* 35, 643-651.
- Tibbetts SM, Milley JE and Lall SP. 2006. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758). *Aquaculture* 261, 1314-1327.
- Wood CM. 1993. Ammonia and urea metabolism and excretion. In: D.H. Evans (Editor), *The Physiology of Fishes*. CRC Press, Boca Raton FL U.S.A., 379-425.

---

2010년 5월 20일 접수  
 2010년 8월 12일 수정  
 2010년 8월 16일 수리