



## 치어기 넙치에 있어서 9가지 단백질 사료원의 단백질 및 인 소화율 측정 및 성장에 미치는 영향

유광열, 최세민<sup>1</sup>, 김강웅<sup>1</sup>, 배승철\*  
부경대학교 양식학과, <sup>1</sup>국립수산과학원 양식사료연구센터

### Apparent Protein and Phosphorus Digestibilities of Nine Different Dietary Protein Sources and Their Effects on Growth of Juvenile Olive flounder, *Paralichthys olivaceus*

Gwangyeol Yoo, Se-Min Choi<sup>1</sup>, Kang-Woong Kim<sup>1</sup> and Sungchul C. Bai\*

Department of Aquaculture/feeds and foods nutrition research center, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea  
<sup>1</sup>Aquafeed Research Center, East Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Pohang 791-802, Korea

A 6-week feeding trial was conducted to determine apparent protein and phosphorus digestibilities in order to evaluate nine different dietary protein sources in growing olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Nine diets containing fish meal analog (BAIFA-M<sup>TM</sup>), white fish meal (WFM), flounder muscle powder (FMP), squid liver powder (SLP), leather meal (LM), soybean meal (SM), corn gluten meal (CGM), poultry by-product (PBP) or egg albumin(EA) were prepared by mixing a basal diet (BD) with one of nine test ingredients at the ratio of 7 to 3. Apparent protein digestibilities of FMP, SLP, WFM, SM, CGM, LM, PBP, BAIFA-M<sup>TM</sup>, and EA were 94%, 92%, 86%, 82%, 75%, 72%, 72%, 71%, and 30%, respectively. Apparent phosphorus digestibilities of FMP, SLP, BAIFA-M<sup>TM</sup>, LM, WFM, PBP, CGM, EA and SM were 77%, 72%, 65%, 55%, 54%, 50%, 20%, 20%, and 17%, respectively. Weight gain of fish fed FMP (323<sup>a</sup>) was significantly higher than those of fish fed the other diets, and those of fish fed basal diet (302<sup>b</sup>), SLP (305<sup>b</sup>) and WFM (308<sup>b</sup>) diet were significantly higher than those of fish fed SM (274<sup>c</sup>), BAIFA-M<sup>TM</sup> (268<sup>cd</sup>), PBP (261<sup>de</sup>), LM (251<sup>e</sup>), CGM (254<sup>e</sup>) and EA (181<sup>f</sup>). Based on the results of apparent protein digestibilities, apparent phosphorus digestibilities and weight gain, SLP, SM and BAIFA-M<sup>TM</sup> could be one of good protein source to replace fish meal in flounder diets.

**Keywords:** Digestibility, Protein, Phosphorus, Protein sources, Olive flounder

## 서 론

양식 어류 사료 내 중 단백질 사료원은 어종별 차이는 있지만 사료단가의 40~70%를 차지하는 중요한 사료원이다. 단백질은 생명현상을 유지하기 위한 필수아미노산의 공급과 비필수 아미노산의 합성을 위한 질소 성분의 공급에 중요한 역할을 한다. 하지만 단백질의 부산물인 암모니아는 어류에 독성을 나타내며, 수질오염을 야기 시키기 때문에 적정함량이 사료에 공급되어야 한다(Kaushik and Cowey, 1991). 넙치의 경우 육식성인 특성 때문에 현재까지 어분이 사료내 단백질원으로 가장 많이 이용되어져 왔다. 그러나 현재 어분의 공급 불안정, 가격 상승, 과잉 첨가로 인한 수질오염 등의 문제점으로 어분을 대체할 수 있는

양질의 값싼 동·식물성 단백질원에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다(Kim et al. 2000; Choi et al., 2004; Cho et al., 2005a; Cho et al., 2005b). 하지만 어분대체단백질원에 대한 연구는 단지 사료내 어분 대체 수준정도를 측정하는 데에만 그치고 있으며, 사료원에 대한 보다 정확한 Bioavailability에 대한 연구는 아직까지 미비한 실정이다.

사료원의 품질평가 방법 중에서 그 원료의 영양소 소화율을 측정하는 것이 가장 기본적인 방법 중의 하나이다. 즉, 원료의 소화율 측정은 경제적인 실험사료 설계, 영양연구의 기초 자료, 원료의 영양학적 가치를 결정하는데 매우 필수적인 자료가 된다. 또한, 그 원료 중의 영양소 소화율을 규명함으로써 수질오염을 줄일 수 있는 저오염 배합사료를 설계할 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 치어기 넙치에 있어 중요 단백질 사료원별 단백질소화율 측정과 성장에 미치는 영향을 측정하고,

\*Corresponding author: scbai@pknu.ac.kr

더불어 사료원 별 인 소화율의 측정을 통해서 앞으로 저오염 배합사료개발을 위한 기초자료를 마련하는데 그 목적이 있다.

## 재료 및 방법

### 실험어 사육관리

실험을 위해 넙치 치어를 경상남도 통영에서 구입하여, 부경대학교 부설 수산과학연구소 사육실로 운반하여 2000 L 수조에서 실험 환경에 적응할 수 있도록 예비사육 하였으며, 실험 시작 전에 모든 실험구는 실험사료에 적응시키기 위해 기초사료를 2주간 동일하게 공급하였다. 예비사육 후, 평균 어체중  $5.02 \pm 0.06$  g (mean  $\pm$  SD)인 치어를 60 L 플라스틱 사각수조에 20마리씩 10개의 실험구(기초사료구 + 9가지 실험사료원구)에 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하여 수용하였다. 일일 사료 공급량은 어체중의 3~5%(건물량 기준)로 1일 2회 공급해주었다. 각 수조당 충분한 산소공급을 위해서 에어 스톤을 설치하여 용존산소가 포화상태가 되도록 하였고, 실험기간 동안 수온은 19~24 °C로 전 실험기간동안 자연수온에 의존하였으며, 염분도는  $31 \pm 1\%$ 이었다. 사육수의 유수량은 1 L/min되도록 조절하여, 6주간 사육실험을 실시하였다.

### 실험사료 설계

실험에서 사용한 기초사료(Basal diet, BD)의 성분은 Table 1과 같이 조성하였으며, 기초사료는 주 단백질원으로 카제인(casein), 젤라틴(gelatin) 그리고 넙치 근육분(Flounder muscle powder), 탄수화물원으로는 덱스트린(dextrin)을 사용하고, 오징어간유를 지질원으로 사용하였다. 또한, 9가지의 실험사료원의 일반성분 및 인함량은 Table 2에 나타내었다. 9가지의 실험사료는 기초사료 70%와 9가지의 동·식물성 단백질 사료원 30% 비로 혼합하여 제조되었다. 본 실험에 사용된 9가지 동·식물성 단백질원들은 BAIFA-M™(어분대체품), 어분(White fish meal, WFM), 넙치근육분(Flounder muscle powder, FMP), 오징어간분(Squid liver powder, SLP), 수지박(Leather meal, LM), 대

**Table 1.** Composition of the basal diet

Ingredients	g/kg
Casein <sup>1</sup>	330
Gelatin <sup>1</sup>	50.0
Flounder meal <sup>2</sup>	13.0
Dextrin <sup>1</sup>	276
Squid liver oil <sup>3</sup>	57.0
Corn oil <sup>3</sup>	50.0
Vit. mix <sup>4</sup>	30.0
Min. mix <sup>5</sup>	30.0
Attractant	16.0
CaCl <sub>2</sub>	14.0
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	44.0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.00
Proximate analysis	
Moisture (%)	20.1
Crude protein (% DM)	50.4
Crude fat (% DM)	11.5
Ash (% DM)	6.23
Phosphorous (% DM)	0.57

<sup>1</sup>Baker Commodities Inc., L.A., USA.

<sup>2</sup>Prepared by lyophilized muscle from adult fish.

<sup>3</sup>Ewha Oil Company, Busan, Korea.

<sup>4</sup>Contains (as mg/kg in diets): Ascorbic acid, 300; dl-Calcium pantothenate, 150; Choline bitartrate, 3000; Inositol, 150; Menadione, 6; Niacin, 150; Pyridoxine·HCl, 15; Riboflavin, 30; Thiamine mononitrate, 15; dl- $\alpha$ -Tocopherol acetate, 201; Retinyl acetate, 6; Biotin, 1.5; Folic acid, 5.4; B<sub>12</sub>, 0.06.

<sup>5</sup>Contains (as mg/kg in diets): NaCl, 437.4; MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 1379.8; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 226.4; Fe-Citrate, 299; MnSO<sub>4</sub>, 0.016; FeSO<sub>4</sub>, 0.0378; CuSO<sub>4</sub>, 0.00033; Calcium iodate, 0.0006; MgO, 0.00135; NaSeO<sub>3</sub>, 0.00025.

두박(Soybean meal, SM), 콘글루텐밀(Corn gluten meal, CGM), 가금부산물(Poultry by-product PBP), 그리고 난단백질(Egg albumin) 이었다. 모든 사료에 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 0.5% 첨가 후, 2 mm 펠렛제조기로 압출·성형하여 제작하였으며, 실험사료의 조성은 Table 3에 나타내었다. 입자의 크기는 sieve로 고르게 친 후, 밀봉하여 -20 °C에 냉동 보관하면서 사용하였으며, 일일 사

**Table 2.** Proximate composition of dietary protein sources (% of dry matter)

Ingredients	Moisture	Protein	Lipid	Ash	Phosphorus
BAIFA-M™	8.1	71	12	7.9	1.0
White fish meal	7.4	72	7.0	15	3.1
Flounder muscle powder <sup>2</sup>	5.0	85	5.3	3.4	0.8
Soybean meal	9.2	48	2.1	7.3	0.8
Corn gluten meal	7.3	64	0.7	2.0	0.6
Leather meal	3.1	67	11	19	1.3
Poultry by-product	7.3	72	11	8.3	0.5
Squid liver powder	7.4	45	20	5.8	0.7
Egg albumin	4.1	86	0.8	5.0	0.1

<sup>1</sup>BAIFA-M™= fish meal replacer. Prepared in this laboratory by proper composition. Mixture of the following ingredients: blood meal, squid liver powder, meat and bone meal, leather meal, feather meal, poultry by-products, Attractant.

<sup>2</sup>Prepared by lyophilized muscle from adult flounder.

**Table 3.** Chemical composition of reference and test diet (% dry matter)

Diets <sup>1</sup>	Moisture	Protein	Lipid	Ash	Phosphorus
BD	20.1	50.4	11.5	6.23	0.57
BAIFAD	19.2	56.6	9.87	6.76	0.63
WFMD	20.1	55.3	10.1	8.91	0.72
FMPD	15.3	59.7	10.4	6.21	0.48
SMD	21.6	50.9	9.47	6.55	0.62
CGMD	19.3	54.8	8.42	8.65	0.47
LMD	19.8	55.7	10.3	10.0	0.61
PBPD	20.3	56.6	11.1	6.08	0.54
SLPD	22.5	48.2	14.6	6.10	0.59
EAD	20.7	57.9	8.66	5.93	0.41
Pooled SEM <sup>2</sup>	1.00	4.44	2.46	0.61	0.10

<sup>1</sup>BD = basal diet, BAIFAD = BD (70%) + BAIFA-M<sup>TM</sup> (fish meal replacer, 30%), WFMD = BD (70%) + WFM (white fish meal, 30%), FMPD = BD (70%) + FMP (flounder muscle powder, 30%), SLPD = BD (70%) + SLP (squid liver powder, 30%), LMD = BD (70%) + LM (leather meal, 30%), SMD = BD (70%) + SM (soybean meal, 30%), CGMD = BD (70%) + CGM (corn gluten meal, 30%), PBPD = BD (70%) + PBP (poultry by-product, 30%), EAD = BD (70%) + EA (egg albumin, 30%).

<sup>2</sup>Pooled standard error of mean.

료공급량은 어체중  $3.87 \pm 0.62\%$ (건물량 기준)로 1일 2회(08:00, 16:00) 공급하였다.

#### 어체측정

어체 측정은 2주 간격으로 실시하였으며, 성장률을 측정하기 위하여 24시간 절식시킨 후 MS-222 (100 ppm)로 마취시켜 전 체무게를 측정하였다. 실험종료 후, 증중율(percent weight gain, %), 일간성장률(specific growth rate, %/day), 단백질전환효율(protein efficiency ratio), 사료효율(feed efficiency, %), 간중량지수(hepatosomatic index), 비만도(condition factor) 및 생존율(survival rate, %)을 조사하였다. 간중량지수를 위해 각 수조별로 3마리씩 간의 무게를 측정하였다. 상기 측정 항목들의 계산식은 다음과 같다.

$$\text{Wt. gain (\%)} = (\text{final wt.} - \text{initial wt.}) \times 100 / \text{initial wt.}$$

$$\text{Feed efficiency (\%)} = (\text{wet weight gain} / \text{dry feed intake}) \times 100$$

$$\text{Specific growth rate (\%/day)} = (\log_e \text{ final wt.} - \log_e \text{ initial wt.}) / \text{days}$$

$$\text{Protein efficiency ratio} = (\text{wet weight gain} / \text{protein intake})$$

$$\text{Hepatosomatic index} = (\text{liver weight} / \text{body weight}) \times 100$$

$$\text{Condition factor} = [\text{fish wt. (g)} / \text{fish length (cm)}^3] \times 100$$

#### 성분분석

일반성분은 실험사료와 각 수조별로 5마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체를 분석하였으며, AOAC (Association of Official Analytical Chemists, 2000)방법에 따라 수분은 상압가열건조법(135 °C, 2시간), 조단백질은 kjeldahl 질소정량법(N×6.25), 조회분은 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시간 동결 건조한 후, soxtec system 1046 (Tacator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다.

실험종료 후, 증중율 조사와 함께 혈액성분 분석을 위하여 실험어를 채혈하기 전까지 약 24시간 동안 절식시켰다. 실험어를

각 수조당 3마리씩 무작위로 추출한 후 일회용 주사기를 이용하여 실험어의 미부정맥에서 혈액을 채혈하고 micro-hematocrit 방법(Brown, 1980)에 의해 헤마토크리트(hematocrit, PCV)를 측정하였으며, 동시에 Drabkin's 용액을 사용하여 cyan-methemoglobin 방법(Sigma Chemical, St. Louis MO; total hemoglobin procedure No. 525)으로 헤모글로빈(hemoglobin, Hb)을 측정하였다. 실험 사료와 분의 인함량과 소화를 지시제인 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량은 ICP (Inductively Coupled Plasma, Perkinelmer ICP-OES 2000DV, 미국)를 이용하여 분석하였다.

#### 소화율 측정

성장 실험종료 후, 각 실험구별로 분석을 제외한 나머지 어류를 자체 고안한 분수집 장치로 이동시켜 소화를 측정에 이용하였다. 각 실험구별로 사료공급은 매일 10시와 16시에 하였으며, 사료공급 후 1시간 뒤에 사료 찌꺼기를 제거하였다. 분은 다음날 8시에 분수집 장치에 모인 분을 수거하였다. 이와 같은 방법으로 7일 동안 분수집을 하였다. 회수된 분은 동결 건조시킨 후 분쇄하여 분석 전까지 -20 °C에 보관하였다. 소화율을 비교하기 위해 기초사료와 실험사료의 소화율을 Maynard and Loosli (1969)의 공식에 의해 구한 다음, 각 사료원의 소화율을 Sugiura et al. (1998)에 의한 공식으로 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{Apparent digestibility coefficients (ADCs)} =$$

$$100 - \{[\text{nutrient in feces (\%)} \times \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ in diet (\%)}] \div [\text{nutrient in diet (\%)} \times \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ in feces (\%)}] \times 100\}$$

$$\text{ADCs of the test ingredient} =$$

$$(\text{nutrient in test diet} \times \text{ADCs of test diet} - 0.7 \times \text{nutrient in basal diet} \times \text{ADCs of basal diet}) / (0.3 \times \text{nutrient in test ingredient})$$

**통계분석**

모든 자료의 통계처리는 Computer Program Statistix 3.1 (Analytical Software, St. Paul MN. USA)로 분산분석(ANOVA test)을 실시하여 최소유의차검정(LSD: Least Significant Difference)으로 평균간의 유의성(P<0.05)을 검정하였다.

**결 과**

**성장평가**

6주 동안 사육한 넙치의 성장결과는 Table 4에 나타내었다. 증중율, 사료효율, 일간성장률에 있어서는 넙치 근육분 실험구가 다른 실험구들에 비해 유의적으로 높게 나타났(P<0.05). 그리고, 기초사료 실험구(BD), 어분 실험구(WFMD), 오징어 간분 실험구(SLPD)는 대두박 실험구(SMD), BAIFA 실험구(BAIFAD), 가금부산물 실험구(PBPD), 콘글루텐 실험구(CGMD), 수지박 실험구(LMD), 난단백질 실험구(EAD) 보다 유의적으로 높게 나타났(P<0.05). 반면에, 기초사료 실험구(BD), 어분 실험구(WFMD), 오징어 간분 실험구(SLPD)간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 반면 난단백질 실험구(EAD)가 다른 실험구들에 비하여 유의적으로 가장 낮게 나타났(P<0.05). 단백질 전환효율에 있어서 오징어 간분 실험구(SLPD)가 다른 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났으며, 또한 기초사료구(BD), 어분실험구(WFMD), 넙치 근육분 실험구(FMPD)가 대두박 실험구(SMD), BAIFA 실험구(BAIFAD), 가금부산물 실험구(PBPD), 콘글루텐 실험구(CGMD), 수지박 실험구(LMD), 난단백질 실험구(EAD)보다 유의적으로 높게 나타났(P<0.05). 반면에, 기초사료 실험구(BD), 어분 실험구(WFMD), 넙치근육분

**Table 5.** Apparent digestibilities of protein and phosphorus of nine different protein sources<sup>1</sup>

Ingredients <sup>2</sup>	Digestibility(%) <sup>4</sup>	
	Protein	Phosphorus
BAIFA-M <sup>TM</sup>	71 <sup>d</sup>	65 <sup>b</sup>
WFM	86 <sup>b</sup>	54 <sup>c</sup>
FMP	94 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>
SLP	92 <sup>a</sup>	72 <sup>a</sup>
LM	72 <sup>c</sup>	55 <sup>c</sup>
SM	82 <sup>b</sup>	17 <sup>d</sup>
CGM	75 <sup>c</sup>	20 <sup>d</sup>
PBP	72 <sup>c</sup>	50 <sup>c</sup>
EA	30 <sup>e</sup>	20 <sup>d</sup>
Pooled SEM <sup>3</sup>	2.7	8.3

<sup>1</sup>Values are means from triplicate groups, values in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>BAIFA-M<sup>TM</sup>=fish meal replacer, WFM=white fish meal, FMP=flounder muscle powder, SLP=squid liver powder, LM=leather meal, SM=soybean meal, CGM=corn gluten meal, PBP=poultry by-product, EA=egg albumin

<sup>3</sup>Pooled standard error of mean.

<sup>4</sup>Apparent digestibility values were calculated as previously described by Sugiura et al. (1998).

실험구(FMPD)간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 사료 효율에 있어서는 넙치근육분 실험구(FMPD)가 다른 실험구들에 비하여 유의적으로 가장 높게 나타났지만, 난단백질 실험구(EAD)는 다른 실험구들에 비하여 유의적으로 가장 낮게 나타났(P<0.05). 성장결과는 전반적으로 넙치 근육분 실험구(FMPD), 오징어 간분 실험구(SLPD), 어분 실험구(WFMD), 기초사료구(BD)가 높은 경향을 보였으며, 이러한 결과는 사료내

**Table 4.** Effects of the basal diet and nine test diets on growth performances in juvenile olive flounder<sup>1</sup>

	Diets <sup>2</sup>										Pooled SEM <sup>3</sup>
	BD	BAIFAD	WFMD	FMPD	SLPD	LMD	SMD	CGMD	PBPD	EAD	
WG (%) <sup>4</sup>	302 <sup>b</sup>	268 <sup>cd</sup>	308 <sup>b</sup>	323 <sup>a</sup>	305 <sup>b</sup>	251 <sup>e</sup>	274 <sup>c</sup>	254 <sup>c</sup>	261 <sup>de</sup>	181 <sup>f</sup>	7.30
FE (%) <sup>5</sup>	101 <sup>b</sup>	90.0 <sup>c</sup>	105 <sup>b</sup>	112 <sup>a</sup>	103 <sup>b</sup>	83.0 <sup>e</sup>	91.0 <sup>c</sup>	85.0 <sup>de</sup>	88.0 <sup>cd</sup>	62.0 <sup>f</sup>	2.53
SGR <sup>6</sup>	3.32 <sup>b</sup>	3.10 <sup>c</sup>	3.35 <sup>b</sup>	3.43 <sup>a</sup>	3.33 <sup>b</sup>	2.99 <sup>e</sup>	3.14 <sup>c</sup>	3.01 <sup>e</sup>	3.06 <sup>cd</sup>	2.46 <sup>c</sup>	0.05
PER <sup>7</sup>	1.94 <sup>b</sup>	1.64 <sup>de</sup>	1.88 <sup>bc</sup>	1.94 <sup>b</sup>	2.17 <sup>a</sup>	1.57 <sup>de</sup>	1.83 <sup>c</sup>	1.55 <sup>e</sup>	1.64 <sup>cd</sup>	0.97 <sup>e</sup>	0.06
CF <sup>8</sup>	1.11	1.05	1.12	1.15	1.14	1.03	1.06	1.04	1.03	1.02	0.06
PCV <sup>9</sup>	24.0	22.2	24.3	23.7	23.8	22.4	23.0	24.2	21.3	20.3	0.38
Hb(g/dl) <sup>10</sup>	5.39	5.21	5.47	5.78	5.68	5.45	5.22	5.24	5.36	5.21	0.31

<sup>1</sup>Values are means from triplicate groups, values in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>BD = basal diet, BAIFAD = BD (70%) + BAIFA-M<sup>TM</sup> (fish meal replacer, 30%), WFMD = BD (70%) + WFM (white fish meal, 30%), FMPD = BD (70%) + FMP (flounder muscle powder, 30%), SLPD = BD (70%) + SLP (squid liver powder, 30%), LMD = BD (70%) + LM (leather meal, 30%), SMD = BD (70%) + SM (soybean meal, 30%), CGMD = BD (70%) + CGM (corn gluten meal, 30%), PBPD = BD (70%) + PBP (poultry by-product, 30%), EAD = BD (70%) + EA (egg albumin, 30%).

<sup>3</sup>Pooled standard error of mean.

<sup>4</sup>Weight gain (%) : (final wt. - initial wt.) × 100 / initial wt.

<sup>5</sup>Feed efficiency (%) : (wet weight gain / dry feed intake) × 100

<sup>6</sup>Specific growth rate : (loge final wt. - loge initial wt.) / days.

<sup>7</sup>Protein efficiency ratio : wet weight gain / protein intake

<sup>8</sup>Condition factor : [fish wt. (g) / fish length (cm)<sup>3</sup>] × 100.

<sup>9</sup>PCV = Hematocrit.

<sup>10</sup>Hb (g/dl) = Hemoglobin.

단백질 함량에 관계 없이 사료원의 단백질 전환효율과 단백질 소화율이 높은 실험구가 높게 나타나는 경향을 보였다. 그리고 난단백 실험구는 높은 단백질 함량에도 불구하고 매우 낮은 성장을 보였다.

비만도, 헤마토크리트, 헤모글로빈에 있어서는 모든 실험구 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

### 소화율평가

9가지의 사료원에 대한 단백질 및 인 소화율은 Table 5에 나타내었다. 단백질 소화율은 넙치근육분이 94%, 오징어간분이 92%, 어분 86%, 대두박이 82%, 콘글루텐밀이 75%, 수지박이 72%, 가금부산물(Chicken by-product, CBP)이 72%, BAIFA-M™ 71%, 난단백이 30%로 나타났다. 인 소화율은 넙치근육분이 77%, 오징어간분이 72%, BAIFA-M™ 65%, 수지박이 55%, 어분이 54%, 가금부산물(Chicken by-product, CBP)이 50%, 콘글루텐이 20%, 난단백이 20%, 대두박 17%로 나타났다.

## 고 찰

영양소 소화율은 사료원의 이용성에 대한 평가를 하는데 가장 중요한 방법이지만, 어류에 있어서는 그 생태환경 및 생리적 특성으로 인해 어류의 영양소 소화율 측정은 간접지시제인 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 사료에 혼합하여 간접으로 측정하는 방법이 많이 적용되고 있다(Maynard and Loosli, 1969; Cho et al., 1991; Cho et al., 1994). 또한, 사료원들의 영양소 소화율 평가는 일반적으로 기초사료와 평가하고자 하는 사료원을 7:3의 비율로 혼합하여 제작된 사료를 어류에 공급하여 이루어지고 있다. 이러한 이유는 평가하고자 하는 사료원외의 다른 사료원에 의한 영향을 최대한 줄이기 위한 것이며, 특히 기초사료에는 카제인, 젤라틴, 텍스트린 등의 정제사료원을 이용하고 있다. 또한 이러한 정제사료원은 무기물과 비타민 등 미량영양소 실험에도 많이 이용되고 있다. 하지만, 해산어의 경우 정제사료원에 대한 소화능력과 기호성이 떨어지기 때문에 사료섭취촉진제를 첨가하거나, 반정제사료원을 활용하여 다른 사료원료에 대한 연구가 이루어지고 있다(Teshima et al., 1993, Berge et al., 1999, Olsen et al., 2006).

본 연구에서는 넙치를 대상으로 사료원들의 소화율 평가가 이루어졌기 때문에 먼저 넙치근육분(Flounder muscle powder, FMP)에 대한 단백질 및 인소화율 평가를 실시하였다. FMP는 성분분석시 단백질함량이 85.4%로 매우 높았으며, 회분함량이 3.7%로 낮게 나타났을 뿐만 아니라, 단백질 및 인소화율 역시 각각 94%, 77%로 매우 높게 나타났기 때문에 넙치의 사료영양실험에서 반정제사료원으로 이용 가능할 것으로 예상된다. 이러한 결과는 조피볼락의 소화율 실험에서 조피볼락 근육분이 반정제 사료원으로 사용가능한 예와 유사하였다(Choi, 2001). 오징어간분(Squid liver powder, SLP)은 성분분석시 단백질 함량이 45%로 다른 동물성 사료원들에 비해 그 함량이 낮았지만,

단백질 소화율이 FMP를 제외한 모든 실험구에 비해 유의한 차이로 높게 나타났(P<0.05). 또한, SLP는 회분함량이 낮은 반면 지질 함량이 높는데 특히, 해산어에 필수적인 EPA&DHA가 풍부하여 가장 효율적인 에너지원인 지질을 에너지로 사용하게 됨으로써 단백질을 절약할 수 있으리라 판단된다(Park, 2000). 그리고 SLP의 인함량은 0.72%로 다른 동물성 사료원들에 비해 낮게 나타났으며, 인 소화율은 다른 식물성 및 동물성 사료원에 비해 높게 나타났다. 그러므로 SLP는 넙치에 있어서 저오염 사료원으로 이용가능 할 것으로 예상되며, 조피볼락에서도 이와 유사한 결과가 나타났다(Choi, 2001). 어분은 높은 단백질 함량과 기호성으로 인해 가장 많이 이용되어 온 사료원이지만, 어분의 다량의 인은 수질오염의 원인이 되고 있다. 본 연구에서도 어분(White fish meal, WFM)은 단백질 함량이 71.7%로 높았으며, 그 소화율도 86%로 높게 나타났다. 반면에 인함량 3.13%로 가장 높았으며, 그 이용률은 54%로 나타났기 때문에 반 이상의 인이 외부환경에 배출되어 수질오염을 야기시킬 가능성이 높은 것으로 추측된다. 식물성 단백질원인 대두박은 낮은 가격, 공급의 안정, 높은 단백질 함량과 균형된 필수아미노산 조성 등의 장점으로 인해 부분적 또는 전체적인 사료내 어분의 대체에 대한 연구가 잉어(Murai and Nose., 1982), 무지개송어(Cho et al., 1974), 채널메기(Belal and Assem., 1995), 넙치(Kim et al., 2000; Choi et al., 2004), 조피볼락(Lim et al., 2004) 등 여러 어종에서 조사되어 왔다. 본 연구에서 대두박(Soybean meal, SM)은 단백질 소화율이 82%로 해산어류인 Chinook salmon (NRC, 1993), 조피볼락(Choi et al., 2004)보다 높게 나타났지만, 담수어류인 무지개송어(NRC, 1993), 채널메기(NRC, 1993), Blue tilapia (NRC, 1993), Red drum (Gaylord and Gatlin, 1996)보다는 낮게 나타났다. 이러한 이유는 일반적으로 육식성어류의 경우, 탄수화물을 소화하는 능력이 낮아서 식물성 사료원의 소화율이 낮게 나타나기 때문이다(Rychly and Spannhof, 1979; Sullivan, 1993). 본 실험에서 대두박의 인 소화율은 17%로 낮게 나타났는데, 이러한 결과는 대두박에 함유되어 있는 인의 대부분은 유기태 형태의 피틴태 인(Ketola and Harland, 1993)으로 어류에는 피틴태 인을 가수분해시키는 효소인 phytase가 존재하지 않기 때문인 것으로 예상된다(NRC, 1993). 콘글루텐밀(Corn gluten meal, CGM)의 단백질 소화율은 75%로 조피볼락에서의 결과와 유사하였으며(Choi, 2001), 인 소화율은 20%로 SM과 마찬가지로 낮게 나타났다. 수지박(Leather meal, LM), 가금부산물(Poultry by-product, PBP)의 단백질 소화율은 72%였으며, 인 소화율은 각각 55%, 50% 수준으로 나타났다. 조피볼락의 단백질 소화율 결과와 비교하였을때, LM은 유사하였지만, PBP의 경우에는 약 25% 정도 높게 나타났다. 어분대체품인 BAIFA-M™은 단백질 소화율이 낮은 수지박, 가금부산물, 육골분 등이 많이 함유되어서 인치 71%로 낮게 나타났다. 하지만, 인 소화율은 65%로 높게 나타났기 때문에 오징어 간분과 같은 단백질 소화율이 높은 사료원을 추가한다든지 아니면 단백질

소화를 향상을 위한 소화효소의 첨가, 발효 등의 가공을 한다면 좋은 사료원이 될 것으로 판단된다. 난단백(Egg albumin)은 높은 단백질 및 아미노산 함량으로 사료에 있어서 건강보조제로, 축산에 있어서는 반정제 사료원으로서 사료를 제작하는데 많이 이용되어져 왔다. 하지만, 넙치에서는 난단백의 단백질 소화율이 30%로 매우 낮게 나타나 반정제사료원으로서 이용되지 못할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구의 성장평가 및 실험결과를 통하여 볼때, 어분을 대체할 만한 저오염 사료원으로 오징어간분이 가장 적합할 것으로 판단되며, 어분대체품인 BAIFA-M™은 높은 인소화율을 가지고 있기 때문에 다른사료원의 검색, 소화효소첨가 및 발효 등을 통해 단백질 소화율 향상에 대한 연구가 이루어진다면 이용가능성이 있을 것으로 예상되며, 또한 대두박은 높은 단백질 소화율을 가지고 있기 때문에 Phytase의 첨가 등 인 소화율 향상에 대한 연구를 통해 저오염 사료원으로서 가능성이 있을 것으로 예상된다.

## 요 약

본 연구에서는 국내에서 가장 많이 양식되고 있는 넙치에 있어서 단백질 사료원들의 단백질과 인소화율을 측정을 통해 저오염 사료 개발을 위한 사료원을 선택하는데 그 목적이 있다. 본 실험에 사용된 9가지 동·식물성 단백질원들은 BAIFA-M™(어분대체품), 어분(White fish meal, WFM), 넙치근육분(Flounder muscle powder, FMP), 오징어간분(Squid liver powder, SLP), 수지박(Leather meal, LM), 대두박(Soybean meal, SM), 콘글루텐밀(Corn gluten meal, CGM), 가금부산물(Poultry by-product PBP), 그리고 난단백질(Egg albumin) 이었다. 실험결과, 각 사료원의 단백질 소화율은 FMP, 94%; SLP, 92%; WFM, 86%; SM, 82%; CGM, 75%; LM, 72%; PBP, 72%; BAIFA-M™, 71%; EA, 30%로 나타났다. 각 사료원의 인 소화율은 FMP, 77%; SLP, 72%; BAIFA-M™, 65%; LM, 55%; WFM, 54%; PBP, 50%; CGM, 20%; EA, 20%; SM, 17%로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 해양수산부 수산특정연구개발사업의 연구비지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다. 또한 본 연구를 수행함에 있어서 많은 도움을 준 부경대학교 사료영양연구소 연구원들과 어류영양학 실험실원들에게도 깊은 감사를 표합니다.

## 참고문헌

AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 2000. Cunniff, P. (Ed.), Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA.

- Belal, I. E. H. and H. Assem, 1995. Substitution of soybean meal and oil for fish meal in practical diets fed to channel catfish, *Ictalurus punctatus*: effects on body composition. *Aquaculture Research*, 26, 141-145.
- Berge, G. M., B. Grisdale-Helland and S. J. Helland, 1999. Soy protein concentrate in diets for Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus*. *Aquaculture*, 178, 139-148.
- Brown, B. A., 1980. Routine hematology procedures. (in) B. A. Brown (ed.), *Hematology: Principles and Procedures*. Lea and Febiger, Philadelphia, pp. 71-112.
- Cho, C. Y., H. S. Bayray, and S. J. Slinger, 1974. Partial replacement of herring meal with soybean meal and other changes in a diet for rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Board Can.* 31, 1523-1528.
- Cho, C. Y., J. D. Hynes, K. R. Wood, and H. K. Yoshida, 1991. Quantitation of fish culture wastes by biological (nutritional) and chemical (limnological) methods; the development of high nutrient dense (HND) diets. (in) Cowey, C. B. and C. Y. Cho (eds.), *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste*. Proceeding of the First International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste, University of Guelph, Ontario, Canada, pp. 37-50.
- Cho, C. Y., J. D. Hynes, K. R. Wood, and H. K. Yoshida, 1994. Development of high nutrient dense, low pollution diet and prediction of aquaculture waste using biological approaches. *Aquaculture*, 124, 293-305.
- Cho, S. H., S. M. Lee, S. M. Lee, B. H. Park, I. S. Park, C. Y. Choi, B. H. Min, S. B. Hur and J. Y. Jo, 2005a. Effect of partial replacement of fish meal with squid liver meal™ in the diet on growth and body composition of juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) during winter season. *J. Fish. Sci. Technol*, 8(2) 65-69.
- Cho, S. H., S. M. Lee, B. H. Park, I. S. Park, C. Y. Choi, S. M. Lee, B. H. Min, S. B. Hur and Y. S. Kim, 2005b. Effect of partial dietary substitution of meat meal for fish meal on the growth and body composition of the juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. Fish. Sci. Technol*, 8(3), 138-141.
- Choi, S. M., 2001. Apparent protein and phosphorus digestibilities of dietary protein sources in juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. Master course dissertation, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Choi, S. M., S. R. Lim, K. W. Kim, X. J. Wang, S. C. Bai, and I. S. Shin, 2004. Effects of dietary dehulled soybean meal as a fish meal replacer in fingerling and growing olive flounder, *paralichthys olivaceus*. *Aquaculture research* 35, 410-418.
- Gaylord, T. G. and D. M. Gatlin III, 1996. Determination of digestibility coefficients of various feedstuffs for red drum *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture*, 139, 303-314.
- Kaushik, S. J. and C. B. Cowey, 1991. Ammonio genesis and dietary factors affecting nitrogen excretion. (in) Cowey, C. B. and C. Y. Cho (eds.), *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste*, University of Guelph, Ontario, Canada, pp. 3-19.
- Ketola, H. G., and B. F. Harland, 1993. Influence of phosphorus in rainbow trout diets on phosphorus discharge in effluent water. *Transation America Fisheries Society*, 122, 1120-1126.

- Kim, Y. S., B. S. Kim, T. S. Moon and S. M. Lee, 2000. Utilization of deffated soybean meal as a substitute for fish meal in the diet of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). J. Korean Fish. Soc, 33(5), 469-474.
- Lim S. R., S. M. Choi, X. J. Wang, K. W. Kim, I. S. Shin, T. S. Min and S. C. Bai, 2004. Effects of dehulled soybean meal as a fish meal replacer in diets for fingerling and growing Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. Aquaculture, 231, 457-468.
- Maynard, L. A. and J. K. Loosli, 1969. Animal nutrition, 6th ed. McGraw-Hill, New York, St Louis, pp. 613.
- Murai, T., H. Ogata and T. Nose, 1982. Methionine coated with various materials supplemented to soybean meal diet for fingerling carp *Cyprinus carpio* and channel catfish *Ictalurus punctatus*. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 42, 85-88.
- National Research Council (NRC), 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Acad. Press, Washington DC.
- Olsen R. E., J. Suontana, E. Langmyhr, H. Mundheim, E. Ringo, W. Melle, M. K. Malde and G. I. Hemre, 2006. The replacement of fish meal with Antarctic krill, *Euphausia superba* in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar*. Aquaculture Nutrition, 12, 280-290.
- Park, S. H., 2000. Studies to develop low pollute diet for juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus* reared in the recirculating system. Master course dissertation, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Rychly, J. and L. Spannhof, 1979. Nitrogen balance in trout. I. Digestibility of diets containing varying levels of protein and carbohydrate. Aquaculture, 16, 39-46.
- Sugiura, S. H., F. M. Dong, C. K. Rathbone, and R. W. Hardy, 1998. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. Aquaculture, 159, 177-202.
- Sullivan, J. A., 1993. Apparent digestibility coefficients for common feedstuff in diets for original-cross hybrid striped bass *Morone saxatilis* × *Morone chrysops*. M.S. Thesis, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, 49 pp.
- Teshima, S. I., A. Kanazawa, S. Koshio, S. Itoh, 1993. L-ascorbyl-2phosphate-mg as vitamin C source for the Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). Fish nutrition in practice., Institut national dela recherche agronomique, Paris (France), 157-166.

---

원고접수 : 2006년 7월 18일

수정본 수리 : 2006년 9월 20일