

## 치어기 황복(*Takifugu obscurus*) 사료 내 에너지에 대한 적정 단백질 비 평가

유광열\* · 배승철†

(\*충청남도수산연구소 · †부경대학교)

### Evaluation of the Optimum Dietary Protein to Energy Ratio in Juvenile River Puffer *Takifugu obscurus*

Gwangyeol YOO\* · Sungchul C. BAI†

(\*The Province of Chungcheongnam-do Fisheries Research Institute · †PukyongNationalUniversity)

#### Abstract

This study was conducted to estimate the optimum dietary protein to energy (P/E) ratio in juvenile river puffer. Nine experimental diets were formulated with three energy levels and three protein levels at each energy levels. Three energy levels of 3000, 3750 and 4500 kcal diets were included at 45, 50 and 55% crude protein (CP) levels, respectively (45P3000, 45P3750, 45P4500, 50P3000, 50P3750, 50P4500, 55P3000, 55P3750 and 55P4500). Fish averaging 3.43±0.02 g randomly were fed the experimental diets in triplicate groups for 8 weeks. Weight gain of fish fed the 50P4500 diet were significantly higher than that of fish fed the 45P3000, 45P3750, 45P4500, 50P3000 and 50P3750 diets ( $P<0.05$ ), but there was not significantly different from that of fish fed the 50P4500, 55P3750 and 55P4500 diets. Feed efficiency of fish fed the 50P4500 diet were significantly higher than that of fish fed the 45P3000, 45P3750, 45P4500, 50P3000 and 50P3750 diets ( $P<0.05$ ), but there was not significantly different from that of fish fed the 50P4500, 55P3000, 55P3750 and 55P4500 diets. Protein efficiency ratio of fish fed the 45P3000 and 45P3750 diets was higher than that of fish fed 50P4500 and 55P4500, but there was not significantly different from that of fish fed the 45P3000, 45P3750, 45P4500, 50P3000, 50P3750, 55P3000 and 55P3750 diets. Based on weight gain, feed efficiency and specific growth rate, diets containing energy levels 4500 kcal/kg diet had an optimum P/E ratio of approximately 111 mg protein/kcal (50% crude protein) in juvenile river puffer.

**Key words :** Protein, Energy, P/E ratio, River puffer

#### I. 서론

에너지는 영양소는 아니지만 생명체의 생존에 가장 기본적으로 요구되며, 동물체 대사의 모든 과정에 필요하므로 양어사료를 배합하는데 있어

서 우선적으로 고려해야 할 것이 사료의 에너지 함량이다. 에너지는 탄수화물, 지질과 단백질(아미노산)의 산화대사 과정 중에 방출되는데, 동물의 종류, 먹이섭취, 나이, 크기 및 생리적 상태와 동물체의 활동량에 따라 차이가 있다. 그리고 사

† Corresponding author : 051-629-5916 scbai@pknu.ac.kr

\* 본 연구는 해양수산부 수산실용화기술개발사업 (황복의 친환경양식 및 산업화 기술개발, 311045-03-1-SB010)에 의해 이루어진 것임.

료에 있어서 각 영양소들의 적정 섭취량은 사료 중의 에너지 함량과 밀접한 상관관계가 있다. 그러므로, 사료원료에 함유된 유용 에너지량에 관한 정보는 각 사료원료의 전체적인 가치를 평가하는데 중요할 뿐만 아니라, 사료 배합시 영양소와 에너지의 적정 비율을 제공할 수 있도록 함으로써 중요한 의미를 부여한다(NRC, 2011).

어류는 포유류와 달리 탄수화물 및 지질 에너지에 대한 이용성이 낮아 값비싼 단백질원을 먼저 사용하기 때문에, 양어사료 배합시에는 단백질 요구량이 먼저 고려의 대상이 되며, 결과적으로 단백질과 에너지의 균형에 초점을 맞추게 된다(Bai et al., 1998; Peres & Aires, 1999). 단백질 함량에 비해 에너지가 부족한 사료를 먹이면 사육어는 유지에 필요한 에너지를 충당하기 위해 단백질을 분해하여 에너지원으로 사용하므로 단백질 효율이 낮아지고 성장도 저하될 뿐만 아니라 암모니아 생성으로 인한 과도한 질소 배설을 초래한다(Kim et al., 2004; Bicudo et al., 2009). 이와 반대로 에너지 함량이 너무 많으면 사육어의 사료 섭취량이 적어지고, 이에 따라 다른 필수 영양소를 충분히 공급받을 수 없게 되므로 성장이 저하된다. 뿐만 아니라 사료의 에너지 함량이 지나치게 높을 때에는 어체에 지방이 과도하게 축적되어 식품으로서의 가치가 떨어진다(McGoogan & Gatlin, 1999; Han et al., 2005). 이와 같이, 양어사료에서는 사료내 단백질을 에너지원으로 소비시키지 않고 조직합성에 최대한 이용되도록 함으로써 단백질 효율을 증대시키는 것이 영양학적, 환경적 및 경제적인 관점에서 중요하다(Kim et al., 2004).

황복(*T. obscurus*)은 복어목(Tetraodontiformes) 참복과(Tetraodontidae)에 속하며 우리나라의 서해 연안과 기수역(임진강, 한강, 금강, 만경강), 동중국해 및 남중국해와 인접한 강하류(라오허, 황허, 양쯔강 등)에 분포하며 산란시기에는 큰 하천이나 강의 중류까지 거슬러 올라와 산란하는 소하성어류이다(Jang et al., 1996). 황복은 우리나라와

중국에서 1990년대 중반부터 양식되고 있으나, 황복에 관하여 국내·외 보고된 연구는 대부분 세포유전학적 연구 및 생리생태에 관한 연구로 배합사료개발을 위한 영양학적 연구는 매우 제한적인 실정이다(Yoo, 2013).

따라서 본 연구는 치어기 황복을 대상으로 영양학적이고 생화학적인 평가를 통해 사료내 에너지에 대한 적정 단백질 비를 평가함으로써 경제성 있는 실용배합사료 개발의 기초를 마련하고자 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험어 사육관리

사육실험에 앞서 황복 치어를 유사한 크기로 선별하여 3,000 L 수조에 입식한 후 실험환경에 적응할 수 있도록 기초사료를 2주간 동일하게 공급하면서 예비사육을 하였다. 예비사육 후, 평균 무게  $3.43 \pm 0.02$  g인 황복 치어를 40 L 사각수조에 각각 20마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하였으며, 사육수는 모래여과기에 의해 여과된 해수를 사용하였다. 각 실험수조는 유수식으로 유수량은 1 L/min로 조절하였으며, 각 수조 당 충분한 산소 공급을 위하여 에어스톤을 설치하였다. 실험기간동안 평균수온은  $24.9 \pm 2.27^\circ\text{C}$ 로 전 실험기간 동안 자연수온에 의존하였다. 사육수의 염분은  $26.5 \pm 1.45$  psu이었고, 용존 산소(DO)는 4.9~6.1 mg/L의 범위였다. 일일 사료 공급량은 어체중의 5% (DM)로 1일 2회(09:00, 16:00) 공급하였으며 주 사육실험기간은 8주간 실시하였다.

### 2. 실험사료 설계

실험사료의 조성은 <Table 1>과 같다. 실험사료의 단백질원으로는 갈색어분, 카제인을 사용하여 에너지에 대해 조단백질 함량을 45%, 50% 및 55%로 설계하였으며, 지질원으로 대두유를 탄수

화물원으로 밀가루를 사용하였다. 그리고 조단백 질함량과 에너지를 맞추기 위하여 셀룰로오스를 이용하여 실험사료를 제조하였다. 실험사료는 조단백질 함량 각각 45%, 50% 및 55%에 대해 단백질/에너지비(P/E ratio) 45/3000, 45/3750, 45/4500, 50/3000, 50/3750, 50/4500, 55/3000, 55/3750 및 55/4500으로 총 9가지로 제작하여 (45P3000, 45P3750, 45P4500, 50P3000, 50P3750,

50P4500, 55P3000, 55P3750 및 55P4500) 실험구당 3반복으로 실험을 수행하였다. 사료내 가용성 에너지(available energy)는 사료의 단백질, 지질 및 탄수화물을 각각 4, 9 및 4 kcal/g로 계산하였다 (NRC, 2011). 모든 실험사료는 원료를 혼합 후 펠렛제조기로 압출·성형하였으며, 표준체(sieve)로 고르게 친 후 밀봉하여 -20℃에 냉동 보관하면서 사용하였다.

<Table 1> Composition and proximate analysis of the nine experimental diets

Ingredients (%)	Diets								
	45P3000	45P3750	45P4500	50P3000	50P3750	50P4500	55P3000	55P3750	55P4500
Brown fish meal <sup>1</sup>	35	60	60	60	60	60	60	60	60
Casein <sup>2</sup>	17.8	0	0	6.1	6.1	6.1	12.2	12.2	12.2
Wheat flour <sup>3</sup>	21.5	14.5	14.5	8.5	8.4	8.5	2.5	2.4	2.5
Soybean oil <sup>1</sup>	0	8.35	16.7	0.1	8.5	16.8	0.2	8.6	16.9
DHA+EPA <sup>4</sup>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vitamin mix <sup>5</sup>	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mineral mix <sup>6</sup>	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Cellulose <sup>1</sup>	18.7	10.15	1.8	18.3	10	1.6	18.1	9.8	1.4
<i>Proximate composition (% DM)</i>									
Moisture	7.70	7.50	7.28	7.56	7.35	6.69	7.57	7.44	7.10
Crude protein	43.8	44.5	44.0	48.7	51.1	48.7	53.6	55.0	55.3
Crude lipid	5.21	15.8	23.5	7.66	15.5	23.5	8.05	15.4	22.0
Crude ash	16.9	16.5	16.9	17.5	17.5	16.9	16.7	16.9	17.5
P/E ratio <sup>7</sup>	146	119	98	162	136	108	179	147	123

<sup>1</sup>Rom Co. Haman, Korea.

<sup>2</sup>Baker Commodities Inc., L.A., USA.

<sup>3</sup>Young Nam Flourmills Co., Pusan, Korea.

<sup>4</sup>Ewha Oil Company, Busan, Korea.

<sup>5</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>6</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;Calciumiodate,0.0006;MgO,0.00135;NaSeO<sub>3</sub>·0.00025.

<sup>7</sup>P/E ratio = protein/energy ratio (mg/kcal).

### 3. 어체측정

어체 측정은 2주 간격으로 실시하였으며, 성장률을 측정하기 위하여 24시간 절식시킨 후 MS-222 (100 ppm)로 마취시켜 전체무게를 측정하였다. 실험종료 후, 증체율(percent weight gain,

%), 일간성장률(specific growth rate, %/day), 단백질 전환효율(protein efficiency ratio), 사료효율(feed efficiency, %), 비만도(condition factor), 간중량지수(hepatosomatic index), 내장중량지수(visceral-somatic index) 및 생존율(survival rate, %)을 조사하였다. 간중량지수 및 내장중량지수 평가를 위해

각 수조별로 5마리씩 간 및 내장의 무게를 측정하였다.

#### 4. 성분분석

실험사료와 각 수조별로 5마리씩 무작위로 추출한 어체를 분쇄한 후 전어체의 일반성분을 분석하였다. 전어체 일반성분은 AOAC (Association of Official Analytical Chemists, 2000)방법에 따라 수분은 상압가열건조법(135℃, 2시간), 조단백질은 kjeldahl 질소정량법(N×6.25), 조회분은 회화로(Yj-8500D, Korea)를 이용하여 직접회화법으로 분석하였다. 조지질은 샘플을 12시간 동결 건조한 후, soxtec system 1046 (Tator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다. 실험종료 후, 증체율 조사와 함께 혈액성분 분석을 위하여 실험어를 채혈하기 전까지 약 24시간 동안 절식시켰다. 실험어를 각 수조당 5마리씩 무작위로 추출한 후 일회용 주사기를 이용하여 실험어의 미부정맥에서 혈액을 채혈하여 micro-hematocrit 방법에 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. 혈청성분의 분석을 위하여 채혈한 혈액을 항응고제가 처리되지 않은 원심분리관에 넣고 실온에 30분간 방치한 후 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 냉장보관하면서 16시간 이내에 분석하였다. 혈청성분은 혈액분석기 CH 100 (대광메디텍, 한국)을 이용하여 GOT (glutamic oxaloacetic transaminase), GPT (glutamic pyruvic transaminase)는 Kinetic 방법으로, T-P (total protein), Glucose, Cholesterol, Triglyceride는 End-Point 방법을 이용하여 분석하였다.

#### 5. 통계처리

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

### Ⅲ. 결 과

8주 동안 사육한 황복 치어의 성장결과는 <Table 2>에 나타내었다. 증체율은 50P4500 실험구가 45P3000, 45P3750, 45P4500, 50P3000, 50P3750 및 50P3000 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 50P4500, 55P3750 및 55P4500 실험구 사이에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 단백질전환효율은 45P3000 및 45P3750 실험구가 50P4500 및 55P4500 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 45P3000, 45P3750, 45P4500, 50P3000, 50P3750, 55P3000 및 55P3750 실험구 사이에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 사료효율 및 일간성장률은 증체율과 유사한 경향을 나타내었다. 비만도는 55P4500 실험구가 45P3750, 50P3000, 50P3750, 55P3000 및 55P3750 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 45P3000, 45P4500, 50P4500 및 55P4500 실험구 사이에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 간중량지수와 내장중량지수는 45P4500 및 55P4500 실험구가 50P4500을 제외한 모든 실험구(45P3000, 50P3000, 50P3750, 55P3000, 55P3750 및 55P4500)에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ). 단백질축적효율은 45P4500 및 50P4500 실험구가 다른 모든 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며, 에너지축적효율에 있어서는 55P3000 실험구가 다른 모든 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ).

<Table 2> Growth performance of juvenile river puffer fed the nine experimental diets for 8 weeks<sup>1</sup>

Parameters	Diets									Pooled SEM <sup>2</sup>
	45P3000	45P3750	45P4500	50P3000	50P3750	50P4500	55P3000	55P3750	55P4500	
WG (%) <sup>3</sup>	173 <sup>d</sup>	183 <sup>cd</sup>	205 <sup>bcd</sup>	184 <sup>cd</sup>	211 <sup>bcd</sup>	275 <sup>a</sup>	225 <sup>bc</sup>	238 <sup>ab</sup>	248 <sup>ab</sup>	7.44
FE (%) <sup>4</sup>	37.0 <sup>c</sup>	37.5 <sup>c</sup>	39.2 <sup>bc</sup>	37.1 <sup>c</sup>	40.2 <sup>bc</sup>	44.7 <sup>a</sup>	42.3 <sup>ab</sup>	43.0 <sup>ab</sup>	43.6 <sup>ab</sup>	0.68
PER <sup>5</sup>	0.87 <sup>a</sup>	0.87 <sup>a</sup>	0.82 <sup>ab</sup>	0.83 <sup>ab</sup>	0.81 <sup>ab</sup>	0.77 <sup>b</sup>	0.80 <sup>ab</sup>	0.78 <sup>ab</sup>	0.74 <sup>b</sup>	0.01
SGR <sup>6</sup>	2.08 <sup>d</sup>	2.17 <sup>cd</sup>	2.31 <sup>bcd</sup>	2.17 <sup>cd</sup>	2.36 <sup>bcd</sup>	2.74 <sup>a</sup>	2.45 <sup>abc</sup>	2.53 <sup>ab</sup>	2.52 <sup>ab</sup>	0.05
CF <sup>7</sup>	2.33 <sup>ab</sup>	2.26 <sup>c</sup>	2.34 <sup>ab</sup>	2.24 <sup>c</sup>	2.19 <sup>c</sup>	2.49 <sup>a</sup>	2.21 <sup>c</sup>	2.18 <sup>c</sup>	2.36 <sup>ab</sup>	0.03
HSI (%) <sup>8</sup>	0.14 <sup>b</sup>	0.14 <sup>ab</sup>	0.15 <sup>a</sup>	0.12 <sup>c</sup>	0.13 <sup>bc</sup>	0.13 <sup>bc</sup>	0.11 <sup>d</sup>	0.13 <sup>bc</sup>	0.15 <sup>a</sup>	0.002
VSI <sup>9</sup>	0.16 <sup>d</sup>	0.19 <sup>b</sup>	0.21 <sup>a</sup>	0.17 <sup>cd</sup>	0.19 <sup>b</sup>	0.20 <sup>ab</sup>	0.19 <sup>b</sup>	0.18 <sup>bc</sup>	0.21 <sup>a</sup>	0.003
PRE (%) <sup>10</sup>	20.5 <sup>c</sup>	23.4 <sup>b</sup>	27.9 <sup>a</sup>	19.4 <sup>c</sup>	22.9 <sup>b</sup>	26.5 <sup>a</sup>	20.9 <sup>c</sup>	21.0 <sup>c</sup>	24.1 <sup>b</sup>	1.28
ERE (%) <sup>11</sup>	34.5 <sup>bc</sup>	31.1 <sup>c</sup>	28.1 <sup>d</sup>	35.1 <sup>bc</sup>	32.3 <sup>c</sup>	30.9 <sup>c</sup>	38.5 <sup>a</sup>	32.5 <sup>c</sup>	30.9 <sup>c</sup>	1.86

<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>Pooled standard error of mean :  $SD/\sqrt{n}$ .

<sup>3</sup>Weight gain (%) :  $(\text{final wt.} - \text{initial wt.}) \times 100 / \text{initial wt.}$

<sup>4</sup>Feed efficiency (%) :  $(\text{wet weight gain} / \text{dry feed intake}) \times 100$ .

<sup>5</sup>Protein efficiency ratio :  $\text{wet weight gain} / \text{protein intake}$ .

<sup>6</sup>Specific growth rate :  $(\log_e \text{ final wt.} - \log_e \text{ initial wt.}) / \text{days}$ .

<sup>7</sup>Condition factor :  $[\text{fish wt. (g)} / \text{fish length (cm)}^3] \times 100$ .

<sup>8</sup>Hepatosomatic index :  $(\text{liver weight} / \text{body weight}) \times 100$ .

<sup>9</sup>Visceralsomatic index :  $(\text{viscera weight} / \text{body weight}) \times 100$ .

<sup>10</sup>Protein retention efficiency :  $[(\text{final body protein} - \text{initial body protein}) / \text{total dietary protein fed}] \times 100$ .

<sup>11</sup>Energy retention efficiency :  $[(\text{final body energy} - \text{initial body energy}) / \text{total dietary energy fed}] \times 100$ .

실험어의 전어체 조성변화는 <Table 3>에 나타내었다. 전어체 단백질 함량은 55P4500 실험구가 다른 모든 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 45P4500, 50P3000, 50P3750, 50P4500, 55P3000 및 55P3750 실험구의 전어체 단백질 함량은 45P3000 및 45P3750 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ). 전어체 지질 함량은 55P3000, 55P3750 및 55P4500 실험구가 45P3000 및 50P3000 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 45P3750, 45P4500, 50P3750, 50P4500, 55P3000, 55P3750 및 55P4500 실험구 사이에는 유의한 차이가 나타나

<Table 3> Whole body composition (% , DM) of juvenile river puffer fed the nine experimental diets for 8 weeks<sup>1</sup>

Parameters	Diets									Pooled SEM <sup>2</sup>
	45P3000	45P3750	45P4500	50P3000	50P3750	50P4500	55P3000	55P3750	55P4500	
Moisture	70.2	70.6	72.3	72.2	72.0	70.3	72.2	72.1	71.9	0.27
Crude protein	49.0 <sup>c</sup>	49.2 <sup>c</sup>	51.8 <sup>b</sup>	52.3 <sup>b</sup>	52.0 <sup>b</sup>	52.3 <sup>b</sup>	52.6 <sup>b</sup>	52.5 <sup>b</sup>	53.9 <sup>a</sup>	0.49
Crude lipid	33.7 <sup>b</sup>	37.6 <sup>ab</sup>	38.0 <sup>ab</sup>	33.2 <sup>b</sup>	37.7 <sup>ab</sup>	36.4 <sup>ab</sup>	39.6 <sup>a</sup>	40.9 <sup>a</sup>	40.9 <sup>a</sup>	0.66
Ash	6.76 <sup>b</sup>	7.43 <sup>ab</sup>	7.32 <sup>ab</sup>	9.07 <sup>a</sup>	8.23 <sup>ab</sup>	8.16 <sup>ab</sup>	8.63 <sup>ab</sup>	8.13 <sup>ab</sup>	7.43 <sup>ab</sup>	0.20

<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>Pooled standard error of mean :  $SD/\sqrt{n}$ .

지 않았다. 전어체 회분 함량은 50P3000 실험구가 45P3000 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 45P3000 실험구를 제외한 모든 실험구 사이에는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

8주 동안 실험사료를 섭취한 실험어의 혈액 및 혈청 성분의 변화는 <Table 4>에 나타내었다. 혈액내 헤마토크리트(PCV) 수치는 45P3750, 45P4500 및 55P4500 실험구가 50P3750 및 55P3750 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 다른 모든 실험구간에는 유의한 차이가

나타나지 않았다. 헤모글로빈 수치는 45P3750 및 45P4500 실험구가 50P3000 및 55P3000 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며, 다른 모든 실험구간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 혈청 글루코스 및 혈청 단백질은 실험사료의 단백질 및 에너지 수준이 증가함에 따라 그 수치가 감소되는 경향을 보였다. 혈청내 총콜레스테롤은 실험사료의 단백질 함량이 증가하면 그 수치도 증가하고, 실험사료의 에너지 수준이 증가할 경우에는 감소되는 경향이 나타났다.

<Table 4> Hematological and serological characteristics of juvenile river puffer fed the nine experimental diets for 8 weeks<sup>1</sup>

Parameters	Diets									Pooled SEM <sup>2</sup>
	45P3000	45P3750	45P4500	50P3000	50P3750	50P4500	55P3000	55P3750	55P4500	
PCV <sup>3</sup>	29.8 <sup>abc</sup>	33.3 <sup>a</sup>	32.7 <sup>a</sup>	30.5 <sup>ab</sup>	27.0 <sup>bc</sup>	31.0 <sup>ab</sup>	29.8 <sup>abc</sup>	25.8 <sup>c</sup>	33.0 <sup>a</sup>	0.08
Hb <sup>4</sup>	10.2 <sup>ab</sup>	10.6 <sup>a</sup>	10.6 <sup>a</sup>	10.5 <sup>ab</sup>	9.85 <sup>b</sup>	10.2 <sup>ab</sup>	9.85 <sup>b</sup>	9.95 <sup>ab</sup>	10.2 <sup>ab</sup>	0.61
Glucose <sup>5</sup>	25.8 <sup>b</sup>	37.0 <sup>a</sup>	21.8 <sup>b</sup>	25.7 <sup>b</sup>	25.5 <sup>b</sup>	34.3 <sup>a</sup>	24.0 <sup>b</sup>	24.8 <sup>b</sup>	22.3 <sup>b</sup>	1.16
GOT <sup>6</sup>	45.5 <sup>abc</sup>	48.8 <sup>a</sup>	42.4 <sup>abc</sup>	38.6 <sup>bc</sup>	38.4 <sup>bc</sup>	47.0 <sup>ab</sup>	44.8 <sup>abc</sup>	35.7 <sup>c</sup>	49.2 <sup>a</sup>	1.18
GPT <sup>7</sup>	9.78	10.6	6.98	8.70	7.30	11.2	5.75	7.02	7.70	0.36
T-P <sup>8</sup>	4.58 <sup>a</sup>	4.18 <sup>a</sup>	3.25 <sup>b</sup>	3.77 <sup>b</sup>	3.95 <sup>ab</sup>	3.35 <sup>b</sup>	3.73 <sup>b</sup>	3.45 <sup>b</sup>	3.77 <sup>b</sup>	0.23
Cholesterol <sup>9</sup>	386 <sup>a</sup>	333 <sup>abc</sup>	258 <sup>d</sup>	322 <sup>bc</sup>	297 <sup>bcd</sup>	279 <sup>cd</sup>	354 <sup>ab</sup>	307 <sup>bcd</sup>	299 <sup>bcd</sup>	13.1
Triglyceride <sup>10</sup>	182	257	290	200	239	239	154	251	314	12.7

<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>Pooled standard error of mean : SD/ $\sqrt{n}$

<sup>3</sup>PCV (%) = Hematocrit.

<sup>4</sup>Hb (g/dL) = Hemoglobin.

<sup>5</sup>Glucose (g/dL).

<sup>6</sup>GOT (IU/L) = Glutamic oxaloacetic transaminase. One unit is defined as the amount of enzyme causing the transamination of 1.0  $\mu$ mol of L-aspartate per minute at 25°C and pH 7.4.

<sup>7</sup>GPT (IU/L) = Glutamic pyruvic transaminase. One unit is defined as the amount of enzyme causing the transamination of 1.0  $\mu$ mol of L-alanine per minute at 25°C and pH 7.4.

<sup>8</sup>T-P (g/dL) = Total protein.

<sup>9</sup>Cholesterol (mg/dL).

<sup>10</sup>Triglycerides (mg/dL).

#### IV. 고찰

치어기 황복을 대상으로 사료내 적정 단백질/에너지 비를 평가하기 위하여 단백질 함량 45%, 50% 및 55%의 각각의 단백질 함량에 대하여 에

너지 수준을 3000 kcal, 3750 kcal 및 4500 kcal로 설정하여 총 9가지 실험사료를 제작하였으며 실험사료의 에너지 수준에 대한 사료내 단백질 비는 100 ~ 183 mg protein/kcal였다. 8주간의 사육 실험 결과, 황복 치어의 증체율, 사료효율, 일간

성장률 및 단백질전환효율을 고려하였을 때 사료내 단백질 함량 50%, 에너지 4500 kcal 실험구에서 가장 좋은 성장결과가 나타났으며, 에너지 수준에 대한 사료내 적정 단백질 비는 111 mg protein/kcal로 나타났다.

다른 어종들에 있어서 유사한 사료내 에너지 수준에 따른 적정 단백질 함량을 살펴보면, Han et al., (2005)은 치어기 뱀장어(15±0.3 g)에 있어서 에너지 4500 kcal/kg 수준에 대한 단백질 함량이 45%인 실험사료에서 최대의 성장결과를 나타냈으며, 이와 같은 결과를 토대로 사료내 적정 단백질/에너지 비는 100 mg protein/kcal로 보고하였다. 또한, 넙치 치어(8.1±0.08 g)에 있어서는 에너지 4000 kcal/kg 수준에 대한 단백질 함량이 45%로, 사료내 적정 단백질/에너지 비는 112 mg protein/kcal로 보고하였다(Kim et al., 2004). 한편, Booth et al., (2010)은 yellowtail king fish를 대상으로 성장 단계별로 사료내 에너지 수준에 따른 적정 단백질 함량을 평가하여, 어체 중량이 200g 이하일 때는 에너지 2870 kcal/kg 수준에 대한 단백질 함량이 45.6%, 어체 중량이 200~1,000g 내외일 경우에는 에너지 3600 kcal/kg 수준에 대한 단백질 함량이 46.5%, 어체 중량이 1,000g 이상일 때에는 에너지 4300 kcal/kg 수준에 대한 단백질 함량이 43.2%라고 보고하였으며, 이에 대한 각각의 사료내 적정 단백질/에너지 비는 159, 130 및 100 mg protein/kcal로 유어기에 단백질/에너지 비가 본 연구결과에 비하여 상당히 높았다. 많은 연구자들이 단백질/에너지 비는 어종별 단백질요구량, 탄수화물 이용성, 사료조성 및 환경적 요인 등 여러 가지 여건뿐만 아니라 동일한 품종이어도 성장단계별 영양소 요구량이 다르기 때문에 적정 단백질/에너지 비가 달라질 수 있다고 보고하였다(Azevedo et al., 2005; Clark & Seymour, 2006; Booth et al., 2010; Helland et al., 2010).

본 연구결과 사료내 에너지 수준과 단백질 함량이 증가함에 따라 증체율, 사료효율 및 단백질 축적율이 각각 증가하였는데, 이는 사료내 지질

에 의한 단백질 절약 효과가 나타난 것으로 추정할 수 있다. 이와 같이 지질 또는 탄수화물 첨가에 의한 사료내 단백질 절약효과에 대해서는 yellowtail kingfish (Booth et al., 2010), 넙치(Choi et al., 2008) 및 잉어(Ahmad et al., 2012) 등 많은 어류에서 그 효과가 보고되고 있다. 사료 중에 함유된 비단백질 에너지원인 탄수화물이나 지질의 양이 충분하지 않을 때, 어류는 유지나 대사에 필요한 에너지를 충당하기 위하여 단백질을 분해한다(Laining et al., 2003; Ai et al., 2004; Lee, 2008). 반면에 사료에 적당한 양의 비단백질 에너지가 포함되어 있을 경우에는 섭취된 단백질 증장상을 위해 쓰이는 부분이 커지므로 어류의 증체량, 사료효율 및 단백질 축적률이 좋아져서 단백질 절약효과가 나타날 수 있다.

어체의 일반성분 조성은 동일한 종간 계통 차이, 환경여건, 사료배합 등에 많은 영향을 받다고 알려져 있다(Cheng et al., 2006; El-Kachief et al., 2011; Kikuchi et al., 2011). 또한, 지나치게 많은 단백질과 에너지가 사료내 함유되어 있을 때 어류는 성장이나 유지에 필요한 에너지를 충당하기 위해 단백질을 분해하여 에너지원으로 사용하기 때문에 단백질 효율이 낮아지고 성장도 저하시킬 뿐만 아니라 과다 질소배설을 초래하고 어체내 지방이 과도하게 축적되어 식품으로 가치를 떨어뜨릴 수 있다고 보고하였다(Cai et al., 1996; Kim et al., 2004; Ng et al., 2008; Helland et al., 2010). 본 연구결과에서도 단백질 및 에너지 수준이 증가함에 따라 전어체 단백질 및 지질 함량이 증가하는 경향을 보였다. 사료내 단백질을 에너지원으로 소비시키지 않고 조직합성에 최대한 이용되도록 함으로써 단백질 효율을 증대시키는 것이 영양학적, 환경적 및 경제적인 관점에서 배합 사료 개발에 있어 중요하므로 본 연구결과를 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구결과를 통하여 치어기 황복의 사료내 적정 단백질/에너지 비(P/E ratio)를 살펴보면, 성장률과 사료효율 등을 고려한 에너지 수준에 대

한 사료내 적정 단백질 비는 111 mg protein/kcal 인 것으로 추정된다.

## References

- Ai, Qinghui · Mai, Kangsen · Li, Huitao · Zhang, Chunxiao · Zhang, Lu · Duan, Qingyuan · Tan, Beiping · Xu, Wei · Ma, Hongming · Zhang, Wenbing & Liufu, Zhigou(2004). Effects of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile Japanese seabass *Lateolabrax japonicus*, *Aquaculture* 230, 507~516.
- Ahmad, Muzaffar · Qureshi, T. A. · Singh, A. B. · Susan, Manohar · Kamlesh, Borana & Salman, Rouf Chalko(2012). Effect of dietary protein, lipid and carbohydrate contents on the growth, feed efficiency and carcass composition of *Cyprinus carpio* communis fingerlings, *Interna J of Fish and Aquacult* 4(3), 30~40.
- AOAC(2000). Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA.
- Azevedo, P. A. · Milgen, J. van · Leeson, S. & Bureau, D. P.(2005). Comparing efficiency of metabolizable energy utilization by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) using factorial and multivariate approaches, *J Anim Sci* 83, 842~851.
- Bai, Sung-Chul C. · Wang, Xiao-Jie & Cho, Eun-Sun(1998). Optimum dietary protein level for maximum growth of juvenile yellow puffer, *Fishery Science* 65(3), 380~383.
- Bicudo, Álvaro José De Almeida · Sado, Ricardo Yuji Sado & Cyrino, José Eurico Possebon(2009). Growth and haematology of pacu, *Piaractus mesopotamicus*, fed diets with varying protein to energy ratio, *Aquaculture Research* 40, 486~495.
- Booth, Mark A. · Allana, Geoff L. & Pirozzia, Igor(2010). Estimation of digestible protein and energy requirements of yellow tail kingfish *Seriola lalandi* using a factorial approach, *Aquaculture* 307, 247~259.
- Cai, Y. · Wermerskirchen, J. & Adelman, J.(1996). Ammonia excretion indicates protein adequacy for fish, *Prog Fish Cult* 58, 124~127.
- Cheng, Ann-Chang · Chen, Chia-Yung · Liou, Chyng-Hwa & Chang, Ching-Fong(2006). Effects of dietary protein and lipids on blood parameters and superoxide anion production in the grouper, *Epinephelus coioides*(Serranidae: Epinephelinae), *Zoological Studies* 45(4), 492~502.
- Choi, Se-Min · Kim, Kang-Woong · Kang, Yong-Jin · Park, Hung-Sik & Bai, Seung-Chul C(2008). Optimum dietary lipid level and feeding rates of extruded pellets in juvenile flounder *Paralichthys olivaceus* during the summer season, *J Aquaculture* 21(4), 244~251.
- Clark, T. D. & Seymour, R. S.(2006). Cardiorespiratory physiology and swimming energetic of a high-energy-demand teleost, the yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*), *J Exp Biol* 209, 3940~3951.
- El - Kashief, MA · Amal, SS & Seham, AI(2011). Effects of varying levels of fish oil on growth performance, body composition and haematological characteristics of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L), *Egypt J Aquat Biol & Fish* 15, 125~141.
- Han, Kyung-Min · Bae, Jun-Young · Eme, Okorie-okorie · Go, Su-Hong · Yoo, Jin-Hyung & Bai, Sung-Chul C(2005). Evaluation of the optimum dietary protein to energy ratio of juvenile Japanese eel, *Anguilla japonica*, *J Aquaculture* 18, 135~141.
- Helland, Ståle J. · Hatlen, Bjarne & Barbara, Grisdale-Helland(2010). Energy, protein and amino acid requirements for maintenance and efficiency of utilization for growth of Atlantic salmon post-smolts determined using increasing ration levels, *Aquaculture* 305, 150~158.
- Jang, Seon-Il · Kang, Hee-Woong & Han, Hyoung-Kyun(1996). Embryonic, larval, and juvenile stages in yellow puffer, *Takifugu obscurus*, *J Aquaculture* 9(1), 11~18.
- Kikuchi, Kotaro · Furuta, Takeshi · Iwata, Nakahiro · Onuki, Kazue & Noguchi, Tamao(2011). Effect of dietary lipid levels on the growth, feed utilization, body composition and blood characteristics of tiger puffer *Takifugu rubripes*. *Aquacult* 298, 111~117.
- Kim, Kang-Woong · Wang, Xiaojie Wang · Choi, Se-Min · Park, Gun-Jun & Bai, Sungchul C(2004). Evaluation of optimum dietary protein-to-energy ratio in juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel), *Aquaculture*



- Research 35, 250~255.
- Laining, Asda · Rachmansyaha · Ahmada, Taufik & Wiliams, Kevin(2003). Apparent digestibility of selected feed ingredient for humpback grouper *Cromileptes altivelis*, Aquaculture 218, 529~538.
- Lee, Sang-Min(2008). Influence of lipid level and supplemental lecithin in diet on growth, feed utilization and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*) in suboptimal water temperatures, Aquaculture 251, 484~490.
- McGoogan, Bruce B & Gatlin, Delbert M.(1999). Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus* 1. Effects of dietary protein and energy levels, Aquaculture 178, 333~348.
- National Research Council(2011). Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington, DC.
- Ng, Wing-Keong · Sena, Norfauziah-Abdullaha & De-Silva, S(2008). The dietary protein requirement of the Malaysian mahseer, *Tor tambroides* (Bleeker), and the lack of protein-sparing action by dietary lipid, Aquaculture 284, 201~206.
- Peres, Helena & Aires, Oliva-Teles(1999). Influence of temperature on protein utilization in juvenile European sea bass(*Dicentrarchus labrax*), Aquaculture 170, 337~348.
- Yoo, Gwang-Yeol(2013). A study on the nutritional standards to develop the practical diet in juvenile yellow puffer, *Takifugu obscurus*, Ph. D thesis. Pukyong National University of fisheries biology, Busan, Korea.
- 
- 논문접수일 : 2014년 07월 01일
  - 심사완료일 : 1차 - 2014년 07월 30일
  - 게재확정일 : 2014년 07월 31일