

# 단백질원료의 종류에 따른 황복(*Takifugu obscurus*) 치어의 소화율 및 성장 평가

유광열 · 배승철<sup>1\*</sup>

충청남도수산연구소, <sup>1</sup>부경대학교 해양바이오신소재학과/사료영양연구소

## Effects of Different Dietary Protein Sources on Apparent Digestibility and Growth in Juvenile River Puffer *Takifugu obscurus*

Gwangyeol Yoo and Sungchul C. Bai<sup>1\*</sup>

The Province of Chungcheongnam-do Fisheries Research Institute, Boryeong 355-851, Korea

<sup>1</sup>Department of Marine Bio Materials & Aquaculture/Feeds and Foods Nutrition Research Center, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

An 8-week feeding trial was conducted to determine the apparent dry matter and protein digestibility of seven different dietary protein sources by juvenile river puffer *Takifugu obscurus*. Eight diets containing white fish meal (WFM), brown fish meal (BFM), squid liver powder (SLP), krill meal (KM), leather meal (LM), soybean meal (SM), or fermented soybean meal (FSM) were prepared by mixing a basal diet (BD) with one of the seven test ingredients at a ratio of 7 to 3. Fish averaging  $10.8 \pm 0.04$  g were fed the experimental diets in triplicate groups. The apparent dry matter digestibilities of BFM, WFM, FSM, SLP, LM, SM, and KM were 80, 78, 72, 67, 56, 55, and 54%, respectively, while the corresponding apparent protein digestibilities were 96, 96, 93, 92, 89, 88, and 86. The weight gain of fish fed BFM was significantly greater than that of fish fed SM or LM ( $P < 0.05$ ), while it was not significantly different from that of fish fed the BD, WFM, FSM, BFM, SLP, or KM. These results indicated that WFM, BFM, FSM, and SLP are potentially good protein sources for replacing fish meal in river puffer feed.

Key words: Digestibility, Protein sources, River puffer, Growth

### 서론

배합사료 가격은 사료원료 비용의 50-70%를 차지하기 때문에 경제적이고 효율적인 사료를 생산하기 위해서는 사료원료의 가격에 대비한 품질평가가 필수적이다(Jafri and Hassan, 1999). 사료원료의 품질평가 방법 중에서 그 원료의 영양소 소화율을 측정하는 것이 가장 기본적인 방법 중의 하나이다. 일반적으로 사료원료들의 영양소 소화율 평가는 기초사료와 평가하고자 하는 사료원료를 7:3 비율로 혼합하여 제조한 사료를 실험어에게 공급하여 이루어지는데, 이것은 평가하고자 하는 사료원료가 다른 사료원료에 의해 받는 영향을 최소화시키기 위함이다(Yoo et al., 2006). 또한, 원료의 소화율 측정은 경제적인 실험사료 설계, 영양연구의 기초자료 및 원료의 영양학적 가치

를 결정하는데 매우 필수적인 자료가 된다.

일반적으로 어류는 탄수화물에 대한 이용성이 낮아 다른 육상 동물에 비해 사료내 단백질이 차지하는 비율이 높고, 어류의 성장에 있어서 양어사료원료 비용 중 단백질원의 비용이 약 60% 이상을 차지하기 때문에 양어사료에서 양질의 단백질 원료의 선택은 매우 중요하다. 양어사료에서 어분은 영양소 함량이 높고, 어류의 기호성이 좋아 가장 많이 사용되고 있는 사료원료이다. 하지만, 최근에 어획량의 감소에 따른 수급불균형 및 가격 상승 등으로 안정적인 단백질원의 공급이 위협 받고 있는 실정이다. 따라서 양어사료 영양학자들은 어분대체품으로 식물성 단백질원 및 동물성 부산물 단백질을 이용하여 값비싼 어분 대신 값싸고 공급이 안정적인 사료원을 부분적 또는 완전히 대체하기 위한 노력을 계속하고 있다. 단백질 원료를 연구하는데

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0383>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Kor J Fish Aquat Sci 47(4) 383-389, August 2014

Received 8 July 2014; Revised 28 July 2014; Accepted 5 August 2014

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5916 Fax: +82. 51. 629. 7063

E-mail address: scbai@pknu.ac.kr

소화율 실험은 거의 필수적으로, 여러 가지 단백질 원료에 대한 영양소 및 에너지 소화율은 연어(Hajen et al., 1993), 넙치(Lee et al., 2008), 돌돔(Ko et al., 2008), 조피볼락(Lee, 2002) 및 이스라엘 잉어(Kim et al., 1997) 등 다양한 양식어류에서 보고된 바 있으나, 황복을 대상으로 수행한 연구는 보고 되지 않았다.

그러므로 본 실험은 치어기 황복을 대상으로 동·식물성 단백질 사료원료들의 이용성을 평가하여 경제성 있는 황복의 배합 사료 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 실험어 사육관리

사육실험에 앞서 황복(*Takifugu obscurus*) 치어를 유사한 크기로 선별하여 3,000 L 수조에 입식한 후 실험환경에 적응할 수 있도록 기초사료를 2주간 동일하게 공급하면서 예비사육을 하였다. 예비사육 후, 평균무게  $10.8 \pm 0.04$  g인 황복 치어를 40 L 사각수조에 각각 20마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 실험어를 무작위 배치 하였으며, 사육수는 모래여과기에 의해 여과된 해수를 사용하였다. 각 실험수조는 유수식으로 유수량은 1 L/min로 조절하였으며, 각 수조에 충분한 산소 공급을 위하여 에어스톤을 설치하였다. 실험기간 동안 평균수온은  $23.3 \pm 2.24$  °C였으며, 전 실험기간 동안에 자연수온에 의존하였다. 사육수의 염분은  $27.5 \pm 1.85$  psu였고, 용존산소(DO)는 5.1-5.9 mg/L의 범위였다. 일일 사료공급량은 어체중의 4% (DM)로 1일 2회(09:00, 16:00) 공급하였으며, 주 사육실험기간은 8주간 실시하였다.

### 실험사료 설계

실험에서 사용한 기초사료(basal diet, BD)의 성분은 Table 1에 나타내었다. 기초사료는 단백질원으로 갈색어분과 황복 근육분을, 탄수화물원으로는 밀가루를 사용하였고, 어유를 지질원으로 사용하였다. 황복 근육분은 중량 400 g 내외의 황복으로부터 근육을 빼와 분리 한 후 동결 건조하여 분말로 만들어 사용하였다. 단백질 원료들의 소화율 평가를 위한 실험사료는 기초사료 70%와 7가지의 동·식물성 단백질원을 30% 비로 혼합하여 제조하였다. 본 실험에 사용된 7가지 단백질원은 백색어분(white fish meal, WFM), 갈색어분(brown fish meal, BFM), 오징어간분(squid liver powder, SLP), 크릴분말(krill meal, KM), 수지박(leather meal, LM), 대두박(soybean meal, SM) 및 발효대두박(fermented soybean meal, FSM)이며, 실험사료의 각 원료 및 기초사료를 포함한 8가지 실험사료의 성분조성은 Table 2 및 3에 나타내었다. 모든 사료는 실험사료원료들의 소화율평가를 위하여 소화율 지시제로 이용되고 있는  $Cr_2O_3$ 를 0.5% 첨가하여 원료를 혼합 후 펠렛제조기로 압출·성형하였다. 실험사료의 입자크기는 sieve로 고르게 친 후, 밀봉하여 -20 °C에 냉동 보관하면서 사용하였다.

Table 1. Composition of the basal diet

Ingredients	%
Brown fish meal <sup>1</sup>	65
Yellow puffer muscle powder <sup>2</sup>	6
Wheat flour <sup>3</sup>	18
Fish oil <sup>4</sup>	4.5
Vitamin premix <sup>5</sup>	3
Mineral premix <sup>6</sup>	3
$Cr_2O_3$	0.5
<i>Proximate composition (% DM)</i>	
Moisture	10.0
Crude protein	51.7
Crude lipid	12.0
Crude ash	20.9

<sup>1</sup>Rom Co., LTD. Goseong, Korea.

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

<sup>3</sup>Young Nam Flourmills Co., Busan, 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;  $B_{12}$ , 0.06.

<sup>6</sup>Contains (as mg/kg in diets) : NaCl, 437.4;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 1379.8;  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ , 226.4; Fe-Citrate, 299;  $MnSO_4$ , 0.016;  $FeSO_4$ , 0.0378;  $CuSO_4$ , 0.00033; Calciumiodate, 0.0006;  $MgO$ , 0.00135;  $NaSeO_3$ , 0.00025.

### 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), 단백질전환효율(protein efficiency ratio), 사료효율(feed efficiency, %), 비만도(condition factor), 간중량지수(hepatosomatic index), 내장중량지수(visceralsomatic index) 및 생존율(survival rate, %)을 조사하였다. 간중량지수 및 내장중량지수 측정을 위해 각 수조별로 5마리씩 실험어를 포획하여 간 및 내장의 무게를 측정하였다.

### 성분분석

실험사료와 각 수조별로 5마리씩 무작위로 추출한 실험어를 분쇄한 전어체의 일반성분은 AOAC (Association of Official Analytical Chemists, 2000)방법에 따라 수분은 상압가열건조법(135 °C, 2시간), 조단백질은 kjeldahl 질소정량법( $N \times 6.25$ ), 조지방은 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시

Table 2. Proximate composition of dietary protein sources (% DM)

Ingredients	Moisture	Protein	Lipid	Ash
White fish meal <sup>1</sup>	7.07	77.7	8.65	12.6
Soybean meal <sup>2</sup>	10.4	55.6	0.78	7.38
Fermented soybean meal <sup>3</sup>	5.00	52.8	1.44	6.36
Brown fish meal <sup>4</sup>	4.45	65.8	10.8	22.5
Leather meal <sup>5</sup>	6.87	77.9	9.94	12.9
Squid liver powder <sup>5</sup>	10.1	48.3	14.3	9.10
Krill meal <sup>6</sup>	6.23	55.8	11.2	17.2
Puffer muscle powder <sup>7</sup>	81.5	81.3	1.83	5.03

<sup>1</sup>From Alaska supplied by Rom Co., Ltd. Goseong, Korea. <sup>2</sup>American Soybean Association/Korea. <sup>3</sup>CJ Cheiljedang corp. Seoul, Korea. <sup>4</sup>From Chile supplied by Rom Co., Ltd. Goseong, Korea. <sup>5</sup>Woosungfeed Co. Ltd. Daejeon, Korea. <sup>6</sup>Rom Co., Ltd. Goseong, Korea. <sup>7</sup>Prepared by lyophilized muscle from adult fish.

Table 3. Chemical composition of reference and test diets (% DM)

Diets <sup>1</sup>	Moisture	Protein	Lipid	Ash
BD	10.0	52.7	11.5	20.9
WFM	14.8	60.3	10.8	18.0
SM	13.3	52.4	9.08	16.3
FSM	13.4	54.4	9.12	16.2
BFM	15.8	55.7	11.9	20.7
LM	11.3	60.4	11.1	17.6
SLP	12.9	50.9	12.5	16.9
KM	14.7	54.6	12.2	20.0

<sup>1</sup>BD = basal diet, WFM = BD (70%) + WFM (white fish meal, 30%), SM = BD (70%) + SM (soybean meal, 30%), FSM = BD (70%) + FSM (fermented soybean meal, 30%), BFM = BD (70%) + BFM (brown fish meal, 30%), LM = BD (70%) + LM (leather meal, 30%), SLP = BD (70%) + SLP (squid liver powder, 30%), KM = BD (70%) + KM (krill meal, 30%).

간 동결 건조한 후, soxtec system 1046 (Tacator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다. 실험종료 후, 혈액 성분 분석을 위하여 실험어를 각 수조당 3마리씩 무작위로 추출한 후 일회용 주사기를 이용하여 실험어의 미부정맥에서 혈액을 채혈하고 micro-hematocrit 방법으로 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.

**소화율측정**

성장 실험종료 후, 실험 어류를 자체 제작한 분수집 장치로 이동시켜 소화율 측정에 이용하였다(Fig. 1). 사료공급은 매일 10시와 16시에 하였으며, 최종 사료공급 후 1시간 뒤에 사료 찌꺼기를 제거하였다. 분은 다음날 8시에 분수집 장치에 모인

분을 수거하였다. 이와 같은 방법으로 10일 동안 분을 수집 하였으며, 회수된 분은 동결 건조시킨 후 분쇄하여 분석 전까지 -20℃에 보관하였다. 실험사료와 분의 소화율 지시제인 Cr<sub>3</sub>O<sub>3</sub> 함량은 ICP (Inductively Coupled Plasma, Perkinelmer ICP-OES 2000DV, USA)를 이용하여 분석하였으며, Sugiura et al. (1998)에 의한 공식으로 다음과 같이 소화율을 계산하였다.

Apparent digestibility coefficients of dry matter (ADCs of DM, %) = 100 × [1 - Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in diet (%) / Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in feces (%)]

ADCs of nutrients (%) = 100 - [{nutrient in feces (%) × Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in diet (%)} ÷ {nutrient in diet (%) × Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in feces (%)}] × 100]

ADCs of the test ingredient (%) = 100/30 × (ADCs in test diet - 0.7 × ADCs of basal diet)

**통계처리**

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.

**결과 및 고찰**

소화율평가는 양식어류의 배합사료에 사용할 사료원료를 선정하기 위해 그 원료의 가치를 평가하는데 가장 중요한 방법이다(Kim et al., 2010). 사료원료의 소화율에 대한 정보는 영양소 이용가능 양을 대략적으로 공급하기 때문에 어류의 성장을 최대화시킬 수 있는 사료의 제작 뿐만 아니라 사료허실에 따른 오염을 줄일 수 있어 매우 유용하게 활용된다(Zhou et al., 2004). 사료이용률은 단백질 원료에 따라 차이를 나타내며, 어분은 높은 단백질함량, 아미노산조성의 균형 및 높은 기호성으로 어류

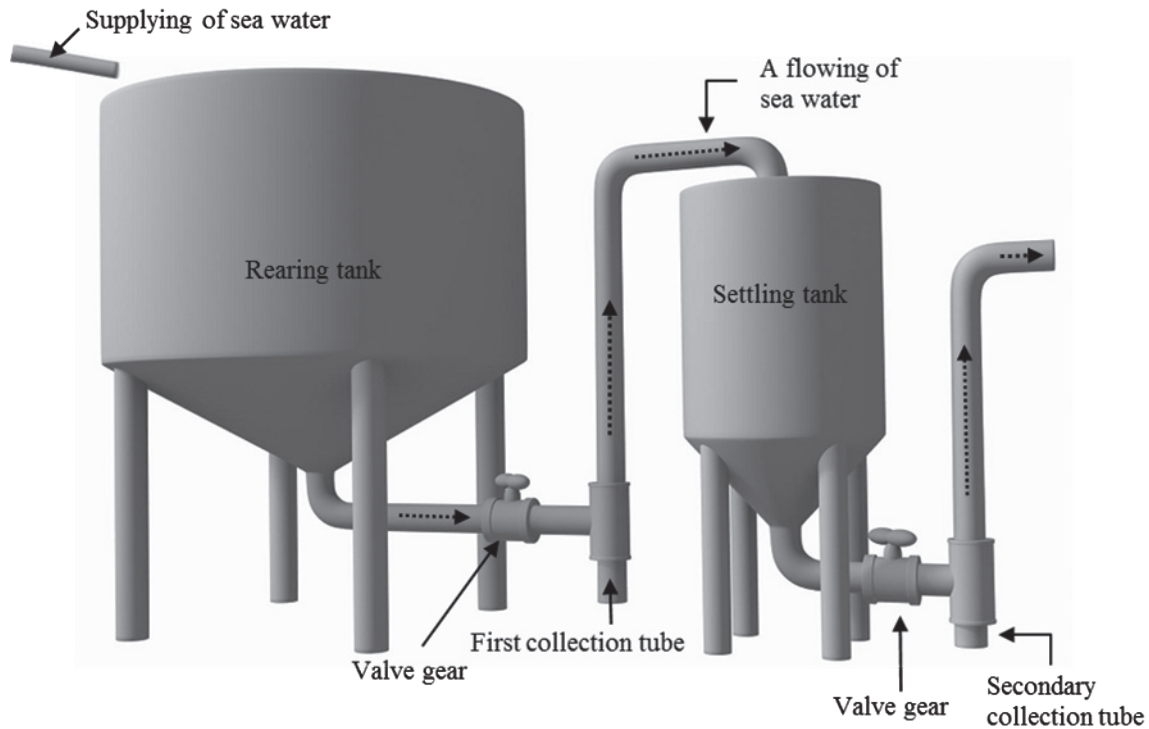


Fig. 1. Digestibility tank system used in this study.

를 위한 최적의 단백질원으로 여러 어종에서 이미 잘 알려져 있다(Zhou et al., 2004; Jang et al., 2005; Kikuchi and Furuta, 2009). 황복 치어를 대상으로 한 본 연구에서도 단백질 사료원료의 소화율 평가결과 갈색어분(WFM) 및 백색어분(BFM) 실험구가 다른 동·식물성 단백질원료(수지박, LM, 오징어간분; SLP, 크릴분말; KM, 대두박; SM 및 발효대두박; FSM)에 비하여 건물소화율 및 단백질소화율이 유의한 차이로 높게 나타났다(Table 4). Kim et al. (2010)은 넙치를 대상으로 어분의 종류 및 품질에 따른 소화율을 평가하기 위하여 단백질 원료로 백색어분, 청어분, 연어분, 멸치어분을 이용하여 실험 한 결과 각 원료의 건물소화율 및 단백질소화율이 백색어분(79%, 95%), 연어분(77%, 94%), 멸치분(76%, 92%) 및 청어분(77%, 94%)로 유의한 차이가 나타나지 않는다고 보고하였다. 이러한 결과는 본 실험에서 단백질 함량이 77%인 백색어분(WFM)과 66%인 갈색어분(BFM)을 실험구로 하여 비교 분석한 결과, 두 실험구 간 증체율(69.2%, 82.3%), 건물소화율(78.1%, 80.5%) 및 단백질소화율(95.7%, 96.0%)에 있어서 유의한 차이가 나타나지 않은 것과 유사하였다. 한편, 발효대두박 및 오징어간분의 건물소화율 및 단백질소화율은 백색어분 및 갈색어분과 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 대두박, 수지박 및 크릴분말 실험구 보다 유의한 차이로 높게 나타났다. 육성기 넙치에 있어서 백색어분의 건물소화율과 단백질소화율이 각각 79%와 95%인 반면, 오징어간분의 건물소화율 및 단백질소화율이 각각 72% 및

Table 4. Apparent digestibility of dry matter and protein of seven different protein sources<sup>1</sup>

Diets <sup>2</sup>	Digestibility (%) <sup>3</sup>	
	Dry matter	Crude protein
WFM	78.1 <sup>a</sup>	95.7 <sup>a</sup>
SM	54.7 <sup>c</sup>	86.3 <sup>c</sup>
FSM	71.7 <sup>ab</sup>	93.1 <sup>ab</sup>
BFM	80.5 <sup>a</sup>	96.0 <sup>a</sup>
LM	56.2 <sup>c</sup>	88.0 <sup>bc</sup>
SLP	66.6 <sup>b</sup>	91.8 <sup>abc</sup>
KM	53.8 <sup>c</sup>	89.1 <sup>c</sup>
Pooled SEM <sup>4</sup>	2.41	1.02

<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>BD = basal diet, WFM = BD (70%) + WFM (white fish meal, 30%), SM = BD (70%) + SM (soybean meal, 30%), FSM = BD (70%) + FSM (fermented soybean meal, 30%), BFM = BD (70%) + BFM (brown fish meal, 30%), LM = BD (70%) + LM (leather meal, 30%), SLP = BD (70%) + SLP (squid liver powder, 30%), KM = BD (70%) + KM (krill meal, 30%).

<sup>3</sup>Apparent digestibility values were calculated as previously described by Sugiura et al. (1998).

<sup>4</sup>Pooled standard error of mean:  $SD/\sqrt{n}$ .



89%로 낮게 나타났으며(Kim et al., 2010), 황복을 대상으로 수행한 본 연구에서도 오징어간분의 건물소화율 및 단백질소화율은 각각 66.6% 및 91.8%로 백색어분 보다 유의한 차이로 낮게 나타났다. Zhou et al. (2004)는 cobia를 대상으로 단백질원료로 어분과, 수지박을 이용하여 소화율을 평가한 결과 어분의 건물소화율 및 단백질소화율이 각각 87.7% 및 96.3%인 것에 비하여, 수지박의 건물소화율 및 단백질소화율이 각각 60.4% 및 87.2%로 수지박이 어분에 비하여 유의한 차이로 낮게 나타났다고 보고하였다. 이러한 결과는 본 실험에서 수지박의 건물소화율 및 단백질소화율이 각각 56.2% 및 88%로 어분 실험구에 비하여 유의한 차이로 낮게 나타난 것과 유사하였다. 또한, 넙치를 대상으로 수행한 실험(Yoo et al., 2006)에서도 백

색어분의 단백질소화율 86%에 비하여 수지박의 단백질 소화율이 72%로 유의한 차이로 낮게 나타난 결과와도 유사하였다. Laining et al. (2003)은 humpback grouper를 대상으로 어분과 새우분말을 단백질원료로 이용하여 소화율을 평가한 결과 어분의 건물소화율 및 단백질소화율이 각각 59% 및 82%이며, 새우분말의 건물소화율 및 단백질소화율은 각각 58% 및 78%로 두 원료간에 유의한 차이가 나타나지 않는다고 보고하였다. 그러나 본 실험에서는 크릴분말의 건물소화율 및 단백질소화율이 각각 53.8% 및 89.1%로 실험에 사용된 동물성 단백질 원료 중 가장 낮았다. 이러한 결과는 본 실험에 사용하기 위하여 구입한 크릴분말이 미세하게 분쇄되지 않아 크릴의 갑각이 원료에 다량으로 포함되어 있었고, 분수집시에도 실험어가 소화 시

Table 5. Growth performance of juvenile river puffer *Takifugu obscurus* fed eight experiment diets for 8 weeks<sup>1</sup>

Parameters	Diets <sup>2</sup>								Pooled SEM <sup>3</sup>
	BD	WFM	SM	FSM	BFM	LM	SLP	KM	
WG (%) <sup>4</sup>	74.2 <sup>ab</sup>	69.2 <sup>abc</sup>	51.1 <sup>cd</sup>	64.6 <sup>abcd</sup>	82.3 <sup>a</sup>	47.0 <sup>d</sup>	63.8 <sup>abcd</sup>	59.4 <sup>abcd</sup>	2.99
FE (%) <sup>5</sup>	29.2 <sup>ab</sup>	27.3 <sup>abc</sup>	21.8 <sup>c</sup>	25.5 <sup>abc</sup>	31.1 <sup>a</sup>	21.6 <sup>c</sup>	25.6 <sup>abc</sup>	24.3 <sup>bc</sup>	0.94
PER <sup>6</sup>	0.58 <sup>a</sup>	0.48 <sup>abc</sup>	0.39 <sup>c</sup>	0.45 <sup>bc</sup>	0.56 <sup>ab</sup>	0.37 <sup>c</sup>	0.43 <sup>c</sup>	0.48 <sup>abc</sup>	0.02
SGR <sup>7</sup>	1.11 <sup>ab</sup>	1.05 <sup>abc</sup>	0.82 <sup>c</sup>	0.99 <sup>abc</sup>	1.99 <sup>a</sup>	0.80 <sup>c</sup>	1.00 <sup>abc</sup>	0.93 <sup>bc</sup>	0.04
CF <sup>8</sup>	2.20 <sup>ab</sup>	2.32 <sup>a</sup>	2.24 <sup>ab</sup>	2.20 <sup>ab</sup>	2.21 <sup>ab</sup>	2.03 <sup>b</sup>	2.04 <sup>b</sup>	2.11 <sup>ab</sup>	0.03
HSI (%) <sup>9</sup>	0.12 <sup>a</sup>	0.12 <sup>a</sup>	0.11 <sup>ab</sup>	0.10 <sup>b</sup>	0.10 <sup>b</sup>	0.11 <sup>ab</sup>	0.11 <sup>ab</sup>	0.11 <sup>ab</sup>	0.002
VSI <sup>10</sup>	0.17 <sup>ab</sup>	0.17 <sup>a</sup>	0.16 <sup>abc</sup>	0.15 <sup>c</sup>	0.15 <sup>bc</sup>	0.16 <sup>abc</sup>	0.16 <sup>abc</sup>	0.16 <sup>abc</sup>	0.002
Survival (%)	98.3	100	95.0	100	98.3	95.0	93.3	96.7	0.79
PCV <sup>11</sup>	31.5	31.2	33.2	31.7	29.3	31.1	30.5	32.0	0.94
Hb <sup>12</sup>	11.4	11.2	11.7	11.6	11.2	11.4	11.7	11.3	0.18

<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, WFM = BD (70%) + WFM (white fish meal, 30%), SM = BD (70%) + SM (soybean meal, 30%), FSM = BD (70%) + FSM (fermented soybean meal, 30%), BFM = BD (70%) + BFM (brown fish meal, 30%), LM = BD (70%) + LM (leather meal, 30%), SLP = BD (70%) + SLP (squid liver powder, 30%), KM = BD (70%) + KM (krill meal, 30%). <sup>3</sup>Pooled standard error of mean:  $SD/\sqrt{n}$ . <sup>4</sup>Weight gain (%):  $(\text{final wt.} - \text{initial wt.}) \times 100 / \text{initial wt.}$  <sup>5</sup>Feed efficiency (%):  $(\text{wet weight gain} / \text{dry feed intake}) \times 100$ . <sup>6</sup>Protein efficiency ratio:  $\text{wet weight gain} / \text{protein intake}$ . <sup>7</sup>Specific growth rate:  $(\log_e \text{ final wt.} - \log_e \text{ initial wt.}) / \text{days}$ . <sup>8</sup>Condition factor:  $[\text{fish wt. (g)} / \text{fish length (cm)}]^3 \times 100$ . <sup>9</sup>Hepatosomatic index:  $(\text{liver weight} / \text{body weight}) \times 100$ . <sup>10</sup>Visceralsomatic index:  $(\text{viscera weight} / \text{body weight}) \times 100$ . <sup>11</sup>PCV (%) = hematocrit. <sup>12</sup>Hb (g/dL) = hemoglobin.

Table 6. Whole body composition (% DM) of juvenile river puffer *Takifugu obscurus* fed eight experiment diets for 8 weeks<sup>1</sup>

Parameters	Diets <sup>2</sup>									Pooled SEM <sup>3</sup>
	Initial	BD	WFM	SM	FSM	BFM	LM	SLP	KM	
Moisture	76.2±0.24	72.5	74.0	74.0	73.5	74.1	74.6	74.9	73.4	0.26
Crude protein	51.8±0.02	55.5 <sup>c</sup>	56.9 <sup>bc</sup>	58.5 <sup>ab</sup>	59.6 <sup>a</sup>	58.0 <sup>ab</sup>	57.4 <sup>abc</sup>	57.2 <sup>abc</sup>	58.4 <sup>ab</sup>	0.32
Crude lipid	29.5±0.05	30.6 <sup>a</sup>	29.9 <sup>ab</sup>	28.5 <sup>ab</sup>	27.0 <sup>b</sup>	27.8 <sup>ab</sup>	28.7 <sup>ab</sup>	29.2 <sup>ab</sup>	28.3 <sup>ab</sup>	0.35
Ash	10.6±0.02	11.8 <sup>ab</sup>	12.6 <sup>a</sup>	11.1 <sup>bc</sup>	11.2 <sup>bc</sup>	11.0 <sup>bc</sup>	10.4 <sup>bc</sup>	9.80 <sup>c</sup>	10.2 <sup>c</sup>	0.22

<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, WFM = BD (70%) + WFM (white fish meal, 30%), SM = BD (70%) + SM (soybean meal, 30%), FSM = BD (70%) + FSM (fermented soybean meal, 30%), BFM = BD (70%) + BFM (brown fish meal, 30%), LM = BD (70%) + LM (leather meal, 30%), SLP = BD (70%) + SLP (squid liver powder, 30%), KM = BD (70%) + KM (krill meal, 30%). <sup>3</sup>Pooled standard error of mean:  $SD/\sqrt{n}$ .

키지 못해 분으로 배출된 것을 확인할 수 있었는데, 이러한 이유로 본 실험에서 크릴분말의 소화율이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 식물성 단백질 원료인 대두박의 건물소화율(54.7%) 및 단백질소화율(86.3%)은 다른 단백질원료에 비하여 가장 낮게 나타났으며, 자주복(Kikuchi and Furuta, 2009), 조피볼락(Lee, 2002), seabass (Tantikitti et al., 2005), haddock (Tibbetts et al., 2004) 및 무지개송어(Cheng and Hardy, 2003)의 결과와 유사하였다. 식물성 단백질원료의 소화율이 낮게 나타나는 이유는 식물성원료에 탄수화물의 함량이 높는데 반하여 황복을 포함한 잡식성어류는 탄수화물 이용성이 낮기 때문이라고 알려져 있다(Chong et al., 2003; Bonaldo et al., 2006). 한편, 본 실험에서 대두박을 발효 가공 처리함으로써 건물소화율(71.7%) 및 단백질소화율(93.1%)이 확연하게 개선되는 효과를 나타냈다. 이러한 결과는 효모 등 미생물을 이용하여 전처리한 대두박을 공급한 결과 European sea bass (Tibaldi et al., 2006)와 조피볼락(Yoo et al., 2005)의 대두박 이용성을 향상시킨다고 보고된 것과 유사하였다.

8주간의 성장평가 결과는 단백질 원료의 건물소화율 및 단백질소화율의 결과와 유사한 경향을 나타내었다(Table 4). 증체율, 사료효율 및 일간성장률은 갈색어분 실험구가 대두박 및 수지박 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 백색어분, 발효대두박, 갈색어분, 오징어간분 및 크릴분말 실험구간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 사료효율 및 일간성장률은 갈색어분 실험구가 대두박, 수지박 및 크릴분말 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 기초사료, 백색어분, 발효대두박, 갈색어분 및 오징어간분 실험구간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 단백질전환효율은 기초사료구가 대두박, 수지박 및 오징어간분 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 기초사료, 백색어분, 발효대두박, 갈색어분 및 오징어간분 실험구간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 비만도는 백색어분 실험구가 수지박 및 오징어간분 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 다른 실험구간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 간중량지수는 기초사료 및 백색어분 실험구가 발효대두박, 갈색어분 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 다른 실험구간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 내장중량지수는 백색어분 실험구가 발효대두박 및 갈색어분 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 다른 실험구간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

따라서, 본 연구의 소화율 및 성장평가 결과를 통하여 볼 때, 황복 배합사료의 단백질원료로 백색어분, 갈색어분, 발효대두박 및 오징어간분이 활용 가능할 것으로 판단되며, 이러한 결과는 경제적이면서 영양학적으로 적합한 황복 배합사료를 설계하는데 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

## 사 사

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

## References

- AOAC. 2000. Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, U.S.A.
- Bonaldo A, Roem AJ, Pecchini A, Grilli E and Gatta PP. 2006. Influence of dietary soybean meal levels on growth, feed utilization, gut histology of Egyptian sole (*Solea aegyptiaca*) Juveniles. *Aquaculture* 261, 580-586. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.08.013>.
- Cheng ZJ and Hardy RW. 2003. Effects of extrusion and expelling processing, and microbial phytase supplementation on apparent digestibility coefficients of nutrients in full-fat soybeans for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 218, 501-514.
- Chong A, Hashim R and Ali A, 2003. Assessment of soybean meal in diets for discus (*Symphysodon aequifasciata* HECKEL) farming through a fishmeal replacement study. *Aquaculture Research* 34, 913-922.
- 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.
- Jaffri 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.
- Jang HS, Kim KD and Lee SM. 2005. Effect of various commercial fish meals as dietary protein sources on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J Aquaculture* 18, 267-271. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2000.tb00882.x>.
- Kikuchi K and Furuta T. 2009. Use of defatted soybean meal and blue mussel meat as substitute for fish meal in the diet of tiger puffer, *Takifugu rubripes*. *J World Aquac Soc* 40, 472-482.
- Kim KD, Kim DG, Kim KW, Son MH, Kang YJ, Baek JM and Lee SM. 2010. Effect of dietary wheat flour content on the growth and body composition of the snail, *Semisulcospira gottschei*. *Kor J fish Aquat Sci* 43, 747-750.
- Kim JD, Kim KS, Lee SB and Jeong KS. 1997. Nutrients and energy digestibilities of various feedstuffs fed to Israeli strain of growing common carp (*Cyprinus carpio*). *J Aquaculture* 10, 327-334.
- Kim KD, Kim DG, Kim SK, Kim KW, Son MH and Lee SM. 2010. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Kor J Aquat Sci* 43, 325-330.
- Ko GY, Lim SJ, Kim SS, Oh DH and Lee KJ. 2008. Effects

- of dietary supplementation of scoria on growth and protein digestibility in juvenile parrot fish *Oplegnathus fasciatus* and olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *J Aquaculture* 21, 199-138.
- Laining A, Rachmansyah C, Ahmad T and Williams K. 2003. Apparent digestibility of selected feed ingredient for hump-back grouper *Cromileptes altivelis*. *Aquaculture* 218, 529-538.
- Lee SM. 2002. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture* 207, 79-95.
- 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 Aquaculture* 21, 89-95.
- 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.
- Tantikitti C, Sangpong W and Chiavareesajja S. 2005. Effects of defatted soybean protein levels on growth performance and nitrogen and phosphorus excretion in Acian seabass (*Lates calcarifer*). *Aquaculture* 248, 41-50.
- Tibaldi T, Kissil GWM, Sklan D and Pfeffer E. 2006. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their predictability in compound diets for European sea bass, *Sparus aurata* L. *Aquacult Nutr* 3, 81-89.
- 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.
- Yoo GY, SM Choi, Kim KW and Bai SC. 2006. Apparent protein and phosphorus digestibilities of nine different dietary protein source and their effects on growth of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaseus*. *J Aquaculture* 19, 254-260.
- Yoo GY, Wang XJ, Choi SM, Han KM, Kang YJ and Bai SC. 2005. Dietary microbial phytase increased the phosphorus digestibility in juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed diets containing soybean meal. *Aquaculture* 243, 315-322.
- Zhou QC, Tan BP, Mai KS and Liu YJ. 2004. Apparent digestibility of selected feed ingredients for juvenile cobia *Rachycentron canadum*. *Aquaculture* 241, 441-451.