

## 치어기 황복(*Takifugu obscurus*) 사료 내 적정 단백질 함량

유광열 · 윤현호\* · 배승철\*\*  
(충청남도수산연구소 · \*\*부경대학교)

### Optimum Dietary Protein level in Juvenile River Puffer *Takifugu obscurus*

Gwangyeol YOO · Hyeonho YUN\* · Sungchul C. BAI\*\*

(The Province of Chungcheongnam-do Fisheries Research Institute · \*\*Pukyong National University)

#### Abstract

This study was conducted to evaluate the optimum dietary protein level in juvenile river puffer. Five semi-purified diets were formulated by using casein to contain graded levels of protein levels of 35, 45, 50, 55 and 65%. Fish averaging 8.56±0.04 g were randomly assigned to one of five experimental diets in triplicate groups for 8 weeks. After the 8-weeks of feeding trial, weight gain and feed efficiency of fish fed 45, 50 and 55% diets were significantly higher than those of fish fed 35 and 65% diets ( $P<0.05$ ). Protein efficiency ratio of fish fed the 35% diet was significantly higher than those of fish fed 65% diet ( $P<0.05$ ), but there were no significant difference among those of fish fed 45, 50 and 55% diets. Specific growth rate of fish fed 50% diet was significantly higher than those of fish fed 35 and 65% diets ( $P<0.05$ ), but there was no significant difference among those of fish fed 45, 50 and 55% diets. No significant differences were observed in condition factor, hepatosomatic index, visceralsomatic index and survival among those of fish fed all the diets. Optimum dietary protein levels by using broken-line model and by using second order polynomial were estimated at 45.9% and 51.6% for the maximum growth of fish respectively. Therefore, these results suggested that the optimum dietary protein level could be greater than 45.9% but less than 51.6% for the maximum growth in juvenile river puffer.

**Key words :** River puffer, Protein requirement, Growth, Weight gain

#### I. 서론

어류가 활동하고 성장하는 데는 다양한 영양소와 에너지가 필요하며, 이 중에서 단백질은 어류의 성장에 가장 큰 영향을 미치는 영양소이다 (Bai et al., 2001). 단백질은 동물의 체조직의 주된 유기물로서, 고형물 함량으로 환산 시 약 65~75%를 차지한다. 동물이 단백질을 섭취하는 것은 단백질합성에 필요한 필수아미노산의 공급

과 비 필수 아미노산의 합성을 위한 질소성분의 공급을 위함이다(Kim et al., 2004). 일반적인 동물체의 생명현상은 유전정보 전달체계에 의한 지속되는 단백질의 합성과정으로써 성장이나 번식과 같은 생산활동을 유지하기 위해서는 새로운 단백질을 합성하거나 기능을 다 한 단백질을 교체하기 위하여 지속적으로 외부로부터 단백질을 공급받아 단백질 합성에 필요한 생화학적 아미노산을 제공받아야 한다(Bai, 2002; Kim et al.,

† 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.

2003; Okorie et al., 2007).

단백질 요구량이란 필수아미노산 요구량을 충족시키고 비필수아미노산의 및 그 외 질소를 함유한 주요 대사물질의 합성에 필요한 질소성분의 요구량 충족을 위한 최소량을 의미하는데, 현재 까지 많은 어종에서 단백질 요구량이 평가되었다(NRC 2011). 일반적으로 어류의 단백질 요구량은 어체의 크기, 수온, 사료단백질의 품질 및 에너지 함량과 같은 요인에 영향을 받을 수 있으며, 사료 내 단백질 요구량을 충족시키지 못할 경우 성장과 사료효율의 저하현상이 나타난다(Yoo et al., 2006). 반면에 사료 내 단백질 함량이 과다하게 함유되어 있을 경우, 어류에 있어서 단백질대사의 최종산물은 주로 암모니아(NH<sub>3</sub>)이기 때문에 암모니아가 수질환경에서 적정농도 이상 존재하게 되면 어류에게 독성을 나타낼 뿐만 아니라 수질오염을 야기 시키게 된다(Yoo et al., 2005).

황복(*T. obscurus*)은 복어목(Tetraodontiformes)의 참복과(Tetraodontidae)에 속하며 우리나라의 서해 연안과 기수역(임진강, 한강, 금강, 만경강), 동중국해 및 남중국해와 인접한 강하류(랴오허, 황허, 양쯔강 등)에 분포하며, 우리나라와 중국의 황해로 유입되는 하천의 중상류 지역까지 서식하는 광염성 해산어류에 속한다(Yoo, 2013). 황복은 1990년대 중반에 중묘생산 기술이 개발된 이후 꾸준히 양식되고 있으나, 사료개발을 위한 영양학적인 연구는 매우 제한적으로 보고되었다.

그러므로, 본 실험은 치어기 황복을 대상으로 영양학적이고 생화학적인 평가를 통해 황복의 최대 성장을 위한 사료 내 적정 단백질 함량을 설정하고자 실시하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험어 사육관리

실험에 사용한 황복 치어는 사육실험 전에 유사한 크기로 선별하여 3,000 L 수조에 입식한 후

실험환경에 적응할 수 있도록 기초사료를 2주간 동일하게 공급하면서 예비사육을 하였다. 예비사육 후, 평균무게 8.56±0.04 g인 황복 치어를 40 L 사각수조에 각각 20마리씩 수용하여 실험구당 3 반복으로 무작위로 배치하여 모래여과기에 의해 여과된 해수를 사육수로 공급하여 사육실험을 수행하였다. 각 실험수조는 유수식으로 유수량은 1 L/min로 조절하였으며, 각 수조에 충분한 산소 공급을 위하여 에어스톤을 설치하였다. 실험기간 동안 평균수온은 27.3±1.48℃로 전 실험기간 동안 자연수온에 의존하였다. 사육수의 염분은 26.9±1.38 psu이었고, 용존산소(DO)는 5.2~6.8 mg/L의 범위였다. 일일 사료공급량은 어체중의 4.43±0.05% (DM)로 1일 2회(09:00, 16:00) 공급하였으며, 주 사육실험기간은 8주간 실시하였다.

### 2. 실험사료 설계

황복의 단백질요구량 평가를 위한 실험사료 조성은 <Table 1>과 같다. 단백질원으로는 갈색어분과 카제인, 지질원으로는 어유, 탄수화물원으로는 텍스트린과 밀가루를 사용하였다. 실험사료는 사료 내 단백질 함량이 35, 45, 50, 55, 65%가 되도록 설계하였고, 카제인과 밀가루의 양을 조절하여 5가지 단백질 함량을 설정하였다. 또한, 각 사료의 총 에너지 함량은 동일하게 조정하였다. 모든 실험사료는 원료를 혼합 후 펠렛제조기로 압출·성형하였으며, sieve로 고르게 친 후, 밀봉하여 -20℃에 냉동 보관하면서 사용하였다.

### 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), 단백질전환효율(protein efficiency ratio), 사료효율 (feed efficiency, %), 비만도(condition factor), 간중량지

<Table 1> Composition of the experimental diets

Ingredients (%)	Protein levels (%)				
	35	45	50	55	65
Brown fish meal <sup>1</sup>	41.0	41.0	41.0	41.4	41.4
Casein <sup>2</sup>	0	12.0	18.3	24.2	36.7
Soybean meal <sup>1</sup>	4.00	4.00	4.00	4.00	3.40
Wheat flour <sup>4</sup>	42.5	30.1	23.9	17.5	5.40
Fish oil <sup>5</sup>	6.00	6.20	6.30	6.40	6.60
DHA+EPA <sup>5</sup>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Vitamin premix <sup>6</sup>	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Mineral premix <sup>7</sup>	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Proximate composition (% DM)					
Moisture	11.6	10.7	10.8	9.82	9.42
Crude protein	35.6	46.4	51.8	55.9	64.4
Crude lipid	12.0	12.4	11.7	11.2	10.9
Crude ash	14.5	14.5	14.5	14.9	15.0

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

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

<sup>3</sup>American Soybean Association.

<sup>4</sup>Young Nam Flourmills Co., Busan, Korea.

<sup>5</sup>Ewha Oil Company, Busan, Korea.

<sup>6</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; B12,0.06.

<sup>7</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.

수(hepatosomatic index), 내장중량지수(visceral-somatic index) 및 생존율(survival rate, %)을 조사하였다. 간중량지수 및 내장중량지수를 평가하기 위해 각 수조별로 5마리씩 간 및 내장의 무게를 측정하였다.

#### 4. 성분분석

실험사료와 각 수조별로 실험어를 5마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체의 일반성분은 AOAC (Association of Official Analytical Chemists, 2000)방법에 따라 수분은 상압가열건조법(135℃, 2시간), 조단백질은 kjeldahl 질소정량법(N×6.25), 조회분은 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시간 동결 건조한 후, soxtec system 1046 (Ticator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다. 실험종료 후, 혈액성분 분석을 위하여 실험어를 채혈하기 전까지 약 24시

간 동안 절식시켰다. 실험어를 각 수조당 5마리씩 무작위로 추출한 후 일회용 주사기(1 mL)를 이용하여 실험어의 미부정맥에서 혈액을 채혈하고 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.

#### 5. 통계처리

성장 및 혈액분석 결과는 SPSS 프로그램을 사용하여 One-way ANOVA test를 실시한 후 Duncan's multiple range test (Duncan, 1995)로 평균간의 유의성(P<0.05)을 검정하였다. 단백질 요구량은 증체율을 지표로 broken-line model (Robbins et al., 1979) 및 second order polynomial

(Cowey et al., 1972) 분석법을 이용하여 측정하였다(SAS procedure LNIN, 2002).

### III. 결과

8주 동안 사육한 황복 치어의 성장결과는 <Table 2>에 나타내었다. 증체율 및 사료효율은 사료 내 단백질 함량이 45, 50 및 55%인 실험구가 사료 내 단백질함량이 30 및 65%인 실험구보다 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ). 단백질 전환효율은 사료 내 단백질함량이 35%인 실험구가 사료 내 단백질 함량이 65%인 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 사료 내 단백질 함량이 35, 45, 50 및 55%인 실험구간

에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 일간성장률은 사료 내 단백질함량이 50%인 실험구가 사료 내 단백질함량이 35% 및 65%인 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났으며( $P<0.05$ ), 사료 내 단백질 함량이 45, 50 및 55%인 실험구간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 비만도(2.14~2.24), 간중량지수(10.9~11.7), 내장중량지수(15.1~16.0), 헤마토크리트(31.7~32.3), 헤모글로빈(10.8~11.8) 및 생존율은 모든 실험구간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 증체율을 기초로 하여 치어기 황복의 최대성장을 위한 단백질 요구량은 broken line model 분석결과 45.9%, second order polynomial 분석결과 51.6%로 각각 나타났으며([Fig. 1 & 2]).

<Table 2> Growth performance of juvenile river puffer fed the semi-purified diets with increasing levels of dietary protein for 8 weeks<sup>1</sup>

Parameters	Protein levels (%)					Pooled SEM <sup>2</sup>
	35	45	50	55	65	
WG (%) <sup>3</sup>	151 <sup>b</sup>	181 <sup>a</sup>	188 <sup>a</sup>	183 <sup>a</sup>	164 <sup>b</sup>	4.58
FE (%) <sup>4</sup>	48.9 <sup>b</sup>	55.9 <sup>a</sup>	56.5 <sup>a</sup>	55.5 <sup>a</sup>	52.6 <sup>b</sup>	0.88
PER <sup>5</sup>	1.24 <sup>a</sup>	1.18 <sup>ab</sup>	1.03 <sup>ab</sup>	0.91 <sup>ab</sup>	0.85 <sup>b</sup>	0.05
SGR <sup>6</sup>	1.84 <sup>c</sup>	2.07 <sup>ab</sup>	2.12 <sup>a</sup>	2.08 <sup>ab</sup>	1.94 <sup>bc</sup>	0.03
CF <sup>7</sup>	2.14	2.16	2.20	2.20	2.24	0.04
HSI (%) <sup>8</sup>	11.7	11.4	11.6	10.9	11.2	0.24
VSI <sup>9</sup>	15.8	15.7	16.0	15.5	15.1	0.20
Survival (%)	88.3	91.7	93.3	91.6	93.3	1.17
PCV <sup>10</sup>	31.9	32.3	31.7	32.1	31.8	0.42
Hb <sup>11</sup>	10.8	11.8	11.5	11.5	11.4	0.26

<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 :  $(\log_{10}\text{finalwt.} - \log_{10}\text{initialwt.})/\text{days}$ .

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

<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>PCV (%) = Hematocrit.

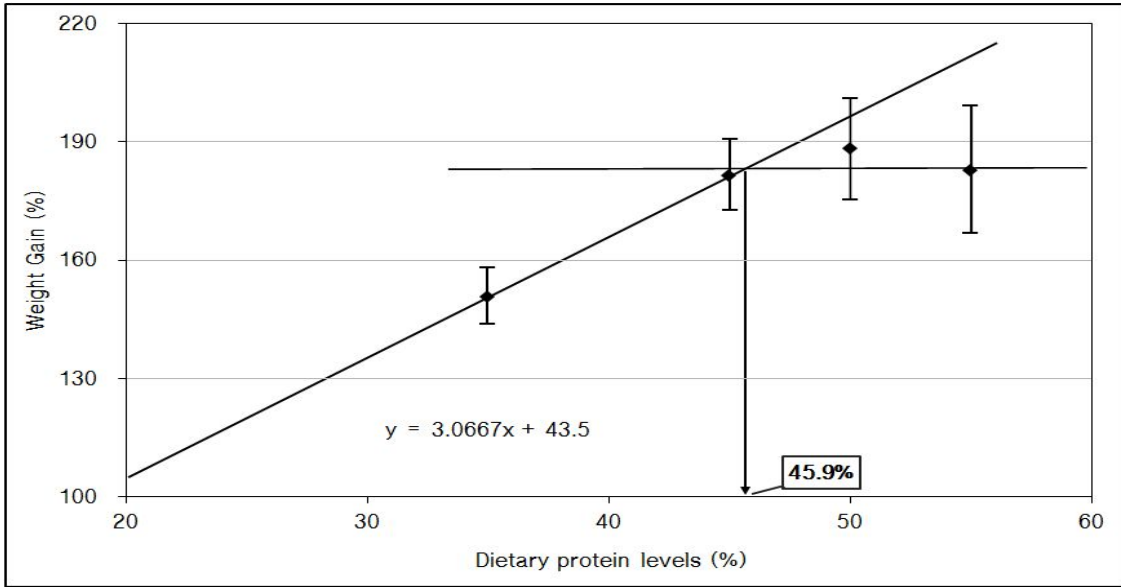
<sup>11</sup>Hb (g/dL) = Hemoglobin.

개시어와 8주 동안 실험사료를 섭취한 종료어의 전어체 일반조성의 변화는 <Table. 3>에 나타내었다. 개시어의 전어체 일반성분은 수분 74.0%,

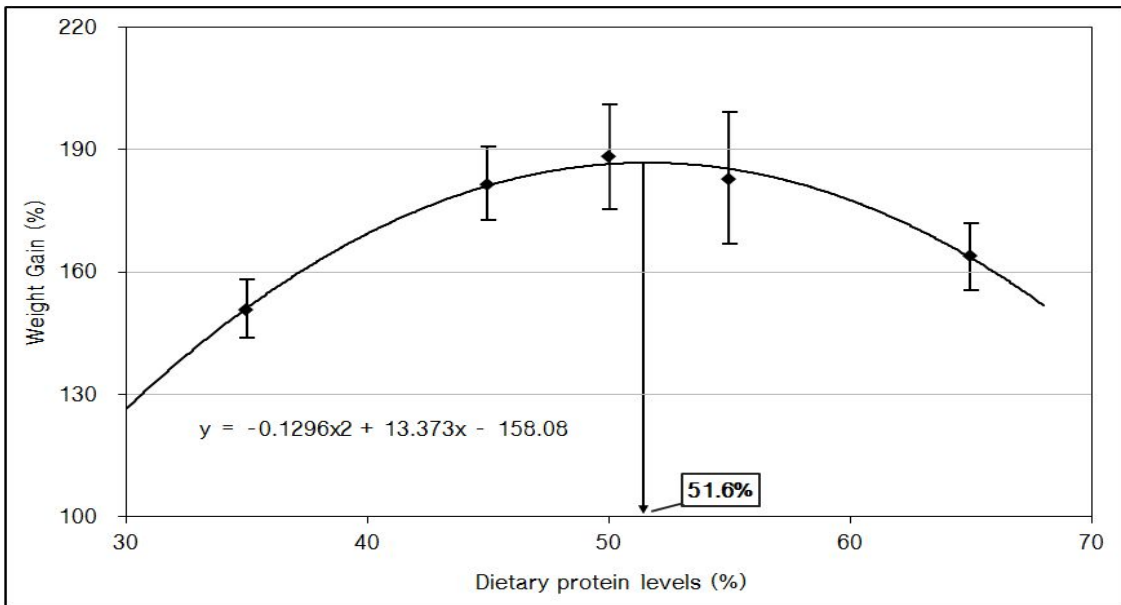
단백질 61.2%, 지질 24.3% 및 회분 9.41%로 나타났다. 실험 종료 후 전어체의 수분 함량(69.2~71.7%), 단백질 함량(65.4~68.2%) 및 회분

함량(9.29~10.9%)은 사료 내 단백질 수준에 관계 없이 모든 실험구간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 전어체 지질함량은 사료 내 단백질 함량이 65%인 실험구가 사료 내 단백질 함량이 35%인

실험구에 비해 유의한 차이로 높게 나타났으며 ( $P<0.05$ ), 사료 내 단백질함량이 45, 50, 55 및 65%인 실험구간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다.



[Fig. 1] Broken line analysis on weight gain (WG, %) to the dietary protein levels



[Fig. 2] Second order polynomial analysis on weight gain (WG, %) to the dietary protein levels

<Table 3> Whole body composition (% , DM) of fish fed the semi-purified diets with increasing levels of dietary protein for 8 weeks<sup>1</sup>

Parameters	Protein levels (%)						Pooled SEM <sup>2</sup>
	Initial	35	45	50	55	65	
Moisture	74.0±0.28	71.5	71.0	71.7	71.3	69.2	0.37
Crude protein	61.2±0.02	65.4	65.6	68.2	66.3	66.5	0.68
Crude lipid	24.3±0.06	20.5 <sup>b</sup>	24.4 <sup>ab</sup>	23.6 <sup>ab</sup>	23.5 <sup>ab</sup>	25.8 <sup>a</sup>	0.75
Ash	9.41±0.01	9.32	9.29	10.9	9.73	9.55	0.33

<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 :  $SD/\sqrt{n}$ .

#### IV. 고찰

개시어와 8주간 사료 내 단백질 함량을 다르게 공급한 실험어의 전어체성분의 변화에 있어서 수분은 전반적으로 감소되었고 단백질, 지질 및 회분은 증가하는 경향을 나타냈다. 한편, 8주간 사료 내 단백질 함량을 다르게 공급한 실험어의 전어체 성분 중 수분, 단백질 및 회분은 모든 실험구간 유의한 차이는 나타나지 않았지만, 사료 내 단백질 함량이 증가할수록 전어체 단백질과 회분의 함량도 증가하는 경향을 나타내었다. 전어체 지질함량도 사료 내 단백질 함량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었으며, 사료 내 단백질 함량 65%인 실험구가 35%인 실험구에 비하여 유의한 차이로 높게 나타났다. 본 연구의 break point까지 전어체 단백질 함량이 증가하는 경향은 다른 어종들과 유사한 결과를 보였다(Bai et al., 1999; Kim et al., 2002; Yang et al., 2002; Kim & Lee, 2009).

다른 어종의 단백질 요구량을 살펴보면 해산어류의 경우 Atlantic halibut 63% (Hamre et al., 2003), 넙치 60% (Bai et al., 2001), sand bass 45% (Alvarez-González et al., 2001), 쥐노래미 45% (Lee & Lee, 1996)로 각각 보고되었으며, 담수어류의 경우에는 잉어, 틸라피아, 차넬메기, 송어 및 뱀장어 등이 30~45%로 알려져 있다(Kang et

al., 1998; Tibbetts et al., 2001; Okorie et al., 2007). 이러한 연구 결과들은 어종, 실험사료의 조성 및 사육조건 등이 서로 다르기 때문에 비교하기에는 어려운 점이 있겠으나, 본 연구에서 추정되는 황복의 단백질 요구량 46~52%는 담수어류보다는 다소 높고 해산어류와 비교하였을 경우 중간 정도의 수준인 것으로 나타났다. 본 연구결과와는 Bai et al., (1999)이 18.5 g의 황복 치어를 대상으로 12주간 사육 실험한 결과 적정 단백질 요구량이 50%라고 보고한 것과 유사하였다. 한편, 황복과 같은 복어류인 자주복에 있어서는 Kanazawa et al., (1980)이 2 g의 자주복 치어를 대상으로 실험한 결과 단백질 요구량이 50%라고 보고한데 반하여, Kim & Lee, (2009)은 17.05 g의 자주복 치어를 대상으로 실험한 결과 단백질 요구량이 41~45%라고 보고하였다. 이는 동일한 품종이라도 실험어의 크기, 사육조건 및 실험사료의 조성 등에 따라서도 단백질 요구량이 다르게 나타날 수 있다는 것을 보여주고 있으며, Atlantic halibut에 있어서는 어체중량이 50 g, 560 g 및 970 g으로 성장함에 따라 단백질 요구량 각각 63%, 42% 및 35%로 낮아진다고 보고되었다(Hamre et al., 2003; Arnason et al., 2009).

어류의 단백질 요구량은 어종, 크기, 수온, 사료 단백질의 질, 단백질과 에너지 비 등 여러 가지 요인에 의해 영향을 받으며 (NRC 2011), 동일

한 실험 결과로도 수학적 분석방법이나 사용 지표에 따라 요구량의 추정값이 달라질 수 있다 (Tacon & Cowey, 1985; Baker, 1986). 단백질 요구량을 측정하는 방법에는 일반적으로 broken line model (Robbins et al., 1979)이나 이차회귀곡선(Cowey et al., 1972)이 이용되고 있다. 이차회귀곡선으로 구한 단백질 요구량은 생물학적 최대 성장을 위한 요구량이라 할 수 있는데, 다른 방법으로 추정한 요구량보다 수치가 높은 것이 특징이다(Zeitoun et al., 1976; Cowey et al., 1972). Broken line model은 단백질 요구량 이하에서는 사료의 단백질 함량과 성장 사이에 직선적인 관계가 성립되지만, 요구량 이상이 되면 더 이상의 성장증대가 없는 것을 가정하고 있으며, 요구량 결정을 명확하게 할 수 있는 장점이 있다(Baker, 1986). 또한, 일반적으로 broken line model에 의한 분석치는 최소요구량을 설정하는데 사용 될 수 있다. 따라서 이러한 수준으로 단백질을 공급할 경우 성장이 다소 낮아질 가능성도 있으나 사료의 이용성 측면에서 효율성이 크다고 할 수 있다 (Lee et al., 1993).

본 연구에서 사료의 단백질 함량에 따른 증체율은 사료단백질 50%까지 직선적으로 증가하다가 그 이상에서는 유의적인 차이가 없었으며, 증체량을 지표로 하여 broken line model 및 second order polynomial에 의한 단백질 요구량을 도출한 결과 황복 치어의 최대 성장을 위한 단백질 요구량은 최소 45.9%이상이며 사료 내 적정 단백질 함량은 51.8% 보다는 적을 것으로 추정되었다.

## References

- Alvarez-González, C. A. · Civera-Cerecedo, R. · Ortiz-Galindo, J. L. · Dumas, S · Moreno-Legorreta, M & Alamo, Grayeb-Del T(2001). Effect of dietary protein level on growth and body composition of juvenile spotted sand bass, *Paralabrax maculatofasciatus*, fed practical diets, *Aquaculture* 194, 151~159.
- AOAC(2000). Official methods of analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA.
- Arnason, Jon · Imsland, Albert K · Gustavsson, Arnþor · Gunnarsson, Snorri · Arnarson, Ingolfur · Reynisson, Hlynur · Jonsson, Arnar F · Smaradottir, Heidis & Thorarensen, Helgi(2009). Optimum feed formulation for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.): Minimum protein content in diet for maximum growth, *Aquaculture* 291, 188~191.
- Bai, Sung-Chul C(2002). Dietary protein level and protein/energy ratios for optimum growth of olive flounder, *Global Aquaculture Advocate* 5, 34~35.
- Bai, Sung-Chul C · Cha, Young-Taeg & Wang, Xiao-Jie(2001). A preliminary study on the dietary protein requirement of Japanese flounder larvae, *Paralichthys olivaceus*, *North American Journal of Aquaculture* 63, 92~98.
- Bai, Sung-Chul C · Wang, Xiao-Jie & Cho, Eun-Sun (1999). Optimum dietary protein level for maximum growth of juvenile yellow puffer, *Fisheries Science* 65, 380~383.
- Baker, David H(1986). Problems and pitfalls in animal experiments designed to establish dietary requirements for essential nutrients, *The Journal of Nutrition* 116(12), 2339~2349.
- Bowen, Stephen H(1987). Dietary protein requirements of fishes, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 44(11), 1995~2001.
- Cowey, C. B. · Pope, J. A. · Adron, J. W. & Blair, A(1972). Studies on the nutrition of marine flatfish, The protein requirement of plaice (*Pleuronectes platessa*), *British Journal of Nutrition* 28(3), 447~456.
- Hamre, Kristin · Øfsti, Anders · Næss, Tore · Nortvedt, Ragnar & Holm Jens Chr(2003). Macronutrient composition of formulated diets for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*, L.) juveniles, *Aquaculture* 227, 233~244.
- Kang, Yong-Jin · Lee, Sang-Min · Hwang, Hyung-Kyu & Bai, Sung-Chul C(1998). Optimum dietary protein and lipid levels on growth in parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*), *Journal of Aquaculture* 11, 1~10.
- Kanazawa, Akio · Teshima, Shin-Ichi · Sakamoto, Minechi & Shinomiya, Akihiko(1980). Nutritional requirements of the puffer fish : purified test diet and the

- optimum protein level, Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 46(11), 1357~1361.
- Kim, Sung-Sam & Lee, Kyeong-Jun(2009). Dietary protein requirement of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*), Aquaculture 287, 219~222.
- Kim, Kang-Woong · Wang, Xiao-Jie & Bai, Sung-Chul C(2002). Reevaluation of the dietary protein requirement of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*, Aquaculture research 33, 673~679.
- Kim, Kang-Woong · Wang, Xiao-Jie & Bai, Sung-Chul C(2003). Reevaluation of the Dietary Protein Requirement of Japanese Flounder *Paralichthys olivaceus*, Journal of WAS 34(2), 133~139.
- Kim, Kang-Woong · Wang, Xiao-Jie & Bai, Sung-Chul C(2004). Evaluation of optimum dietary protein to energy ratio in juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel), Aquaculture Research 35, 250~255.
- Lee, Jong-Kwan & Lee, Sang-Min(1996). Effects of the dietary protein and energy levels on growth in fat cod(*Hexagrammos otakii* Jordan et Starks), Journal of Korean Fish Soc. 29(4), 464~473.
- Lee, Jong-Yun · Kang, Yong-Jin · Lee, Sang-Min & Kim, In-Bae(1993). Protein requirements of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*, Journal of Aquaculture 6, 13~27.
- National Research Council(2011). Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington, DC.
- Okorie, Okrie Eme · Kim, Young-Chul · Lee, Seung-Hyung · Bae, Jun-Yung · Yoo, Jin-Hyung · Han, Kyung-Min & Bai, Sung-Chul C(2007). Reevaluation of the dietary protein requirements and optimum dietary protein to energy ratios in Japanese eel, *Anguilla japonica*, Journal of WAS 38(3), 418~426.
- Robbins, Kelly · Norton, Heather & Baker, David(1979). Estimation of nutrient requirements from growth data, The Journal of Nutrition 109, 1710~1714.
- Tacon, A. G. J. & Cowey, C. B.(1985). Protein and amino acid requirements, In: Tytler, P & Calow, P(editors), Fish energetics, New perspectives. Croom Helm, London, 155~183.
- Tibbetts S. M. · Lall, S. P. & Anderson, D. M.(2001). Dietary protein requirement of juvenile American eel (*Anguilla rostrata*) fed practical diets, Aquaculture 186, 145~155.
- Yang, Shuenn-Der · Liou, Chyng-Hwa & Liu, Fu-Guang(2002). Effects of dietary protein level on growth performance, carcass composition and ammonia excretion in juvenile silver perch (*Bidyamus bidyanus*), Aquaculture 213, 363~372.
- 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.
- Yoo, Gwang-Yeol · Choi, Se-Min · Kim, Kang-Woong & Bai, Sung-Chul C(2006). Apparent protein and phosphorus digestibilities of nine different dietary protein source and their effects on growth of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaseus*, Journal of Aquaculture 19, 254~260.
- Yoo Gwang-Yeol · Wang, Xiao-Jie · Choi, Se-Min · Han Kyung-Min · Kang Young-Jin & Bai, Sung-Chul C(2005). Dietary microbial phytase increased the phosphorus digestibility in juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed diets containing soybean meal. Aquaculture 243, 315~322.
- Zeitoun, Ibrahim H. · Ullrey, Duane E. · Magee, William T. · Gill, John L. & Bergen, Werner G.(1976). Quantifying nutrient requirements of fish, Journal of the Fisheries Research Board of Canada 33, 167~172.

- 
- 논문접수일 : 2014년 06월 05일
  - 심사완료일 : 1차 - 2014년 07월 03일
  - 게재확정일 : 2014년 08월 01일