

## 은어 사료의 적정 단백질 함량

이상민 · 김경덕

강릉대학교 해양생명공학부

### Optimum Dietary Protein Level of Ayu (*Plecoglossus altivelis*)

Sang-Min Lee and Kyoung-Duck Kim

Faculty of Marine Bioscience & Technology, Kangnung National University, Kangnung 210-702, Korea

This study was conducted to determine the protein requirement of ayu (*Plecoglossus altivelis*). Two replicate groups of fish initially averaging 6.6 g were fed the five isocaloric diets containing different protein level from 29% to 57% in a flow-through freshwater system for 25 days. White fish meal was used as a sole protein source. Weight gain and feed efficiency of fish increased significantly with dietary protein level up to 43% ( $P < 0.05$ ) with no additional response above this level. Protein and lipid retention, moisture, protein and lipid contents of body were not affected by dietary protein levels ( $P > 0.05$ ). Daily protein intake increased significantly with dietary protein level, whereas protein efficiency ratio of fish fed the 57% dietary protein decreased ( $P < 0.05$ ). The data obtained in this study indicate that a 43% dietary protein level could be recommended for the optimum growth of ayu.

Key words : Protein requirement, Ayu, *Plecoglossus altivelis*

### 서 론

연어목의 은어과 (Plecoglossidae)에 속하는 은어 (*Plecoglossus altivelis*)는 우리 나라 동해안과 남해안의 거의 모든 하천에 서식하고 있는 어종이다 (국립수산진흥원, 1994). 1990년대에 들어서면서 어업에 의한 은어 생산량은 급격히 감소하고 있는 반면에 양식생산량은 지속적으로 증가하고 있다 (해양수산부, 1998). 소비자의 수요 증가와 함께 국내에서도 종묘생산 기술이 확립되어 있는 은어는 고급 담수 양식종으로 개발 가치가 매우 높을 것으로 전망된다. 일본에서 이미 은어의 독특한 맛과 향 (Suyana et al., 1985)의 품질 개선을 위한 연구의 일환으로 사료에 식물성 plankton 추출물의 첨가효과 (Nakagawa, 1985; Amano and Noda, 1985; Hirano and Suyama,

1985; Shimma et al., 1980; Nakagawa et al., 1984), 지질요구 (Kanazawa et al., 1983; Hirano and Suyama, 1983; Kanazawa et al., 1982) 및 비타민 (Takeuchi et al., 1981)에 관한 연구가 일부 수행되어 있을 뿐, 양식 생산량을 높이기 위한 기초적인 연구는 매우 제한적이다.

어류 양식에 있어서 사료는 양식 경영에 매우 중요하게 고려되어야 하며, 따라서 은어의 본격적인 양식을 위해서는 이 종에 적합한 양질의 배합사료를 개발하여 이용하는 것이다. 이를 위해서는 대상 어종이 요구하는 필수영양소의 요구량을 구명하는 연구가 선행되어야 한다. 생물의 활동과 성장에 필수적으로 공급되어야 할 영양소는 수십 가지가 있으며, 이 중에서도 단백질은 성장에 가장 큰 영향을 미치는 필수 영양소이다. 어류는 육상동물보다 단백질 요구량이 높은 것

이 특징인데, 특히 육식성이 강할수록 탄수화물 보다는 단백질을 더 쉽게 이용할 수 있도록 생리적으로 적응되어 있다. 또한, 어종마다 최적 성장에 필요한 단백질 함량이 다르며, 대부분의 어류가 30-55% (NRC, 1993) 범위의 사료 단백질을 요구하기 때문에 대상어종의 성장을 적절히 유지하기 위해서는 단백질 요구량 설정이 무엇보다 중요하다. 또한, 사료의 영양 성분 중 단백질이 차지하는 비율이 매우 높고, 사료에 배합되는 단백질원의 가격이 매우 비싸기 때문에, 양식 대상어종의 단백질 요구량을 구명하는 것은 경제적인 배합사료 개발에 필수적이다. 그래서 본 연구에서는 은어 배합사료 개발에 필요한 자료를 제공하기 위해 사료의 적정 단백질 함량을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 실험사료 및 사육관리

타 어종의 단백질 요구량 범위인 30-55% (NRC, 1993)를 참고로 본 실험에서는 북양어분을 단백질원으로 하여, 사료의 단백질 함량이 29, 35, 43, 49 및 57%가 되도록 5종의 실험사료를 설정하였다 (Table 1). 탄수화물과 지질원으로 dextrin과 오징어 간유를 각각 사용하여, 모든 실험사료 100 g 당 가용에너지가 360 kcal 전후가 되도록 조정하였는데, 사료의 단백질, 지질 및 탄수화물 (NFE: nitrogen-free extract)을 각각 4, 9 및 4 kcal/g (Garling and Wilson, 1976)로 에너지를 계산하였다. 이와 같이 설계된 원료들을 잘 혼합한 후 원료 100 g 당 물 40 g을 첨가하여 펠렛 제조기로 실험사료를 성형한 후 실온에서 건조하였다. 제조된 실험사료를 -30℃에 보관하면서, 오전 (09:00)과 오후 (17:00)로 나누어 하루에 2회 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져주었다.

사육실험에 사용된 실험어는 2주간 실험수조에 순치시킨 후, 평균체중 6.6 g 전후의 은어를 선별하여 300 ℓ FRP 원형수조 (수용적: 250 ℓ)에 각각 2반복으로 50마리씩 수용하여 25일간 사육하였다. 식수로 사용되는 지하수를 각 실험수조

마다 분당 10 ℓ로 조정하여 흘러주었으며, 실험 개시시와 종료시에 측정 전일 절식시킨 후 각 실험수조에 수용된 실험어 전체 무게를 측정하였다. 사육기간 동안의 수온은 16.2-19.5℃였다.

### 성분분석

최초 어체의 성분분석용으로 40마리를 무작위로 표본 추출하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조마다 30마리씩 sample하여 냉동보관 (-70℃)하다가 성분 분석하였다. 실험사료 및 어체의 일반성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 분석하였는데, 조단백질 (N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 24 시간 동안 건조 후 측정하였다. 조회분은 550℃의 회화로에서 4 시간 동안 태운 후 정량하였다. 지방산 분석은 Lee et al. (1994)이 사용한 방법과 동일하게 실시하였다.

### 통계처리

결과의 통계처리는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 SPSS (SPSS Inc., 1997) program을 사용하여 검정하였다. 단백질 요구량은 증체율과 사료효율을 지표로 broken line model (Robbins et al., 1979)을 이용하여 추정하였다.

## 결과 및 고찰

평균체중 6.6 g 전후의 은어를 사료 단백질 함량별로 사육 실험한 결과를 Table 2에 표시하였다. 실험기간 동안의 생존율은 단백질 29% 사료가 69%로 타 실험사료의 85~90%보다 낮았으나 통계적인 차이는 없었다 ( $P>0.05$ ). 증체량 (g/fish)은 사료의 단백질 함량이 증가할수록 유의하게 ( $P<0.05$ ) 증가하다가 단백질 43% 이상에서는 더 이상 증가하지 않았다. 사료효율도 단백질 29% 사료가 55%로 가장 낮았으며, 사료 단백질 함량

**Table 1. Composition (%) of the experimental diets**

Ingredients	Protein level (%)				
	29	35	43	49	57
White fish meal	40	50	60	70	80
Dextrin	34	27	20	13	6
Squid liver oil	6.4	5.8	5.2	4.6	4
Vitamin mix. <sup>1</sup>	3	3	3	3	3
Mineral mix. <sup>2</sup>	4	4	4	4	4
Carboxymethyl cellulose	3	3	3	3	3
$\alpha$ -Cellulose	9.6	7.2	4.8	2.4	-
Nutrient content (% dry basis)					
Crude protein	28.8	35.3	43.0	49.4	57.1
Crude lipid	9.7	9.7	9.7	9.9	10.7
Crude ash	11.9	14.4	16.0	18.6	20.7
Crude fiber	12.0	9.5	6.9	4.3	1.7
Nitrogen-free extract <sup>3</sup>	37.5	31.2	24.4	17.9	9.8
Estimated energy (kcal/100 g) <sup>4</sup>	353	353	357	358	364
n-3HUFA <sup>5</sup>	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3

<sup>1</sup>Vitamin mix. contained the following diluted in cellulose (g/kg mix): ascorbic acid, 92.7;  $\alpha$ -tocopheryl acetate, 14.5; thiamin, 2.1; riboflavin, 7.0; pyridoxine, 1.4; nicin, 27.8; Ca-D-pantothenate, 9.7; myo-inositol, 139.1; D-biotin, 4.2; folic acid, 0.5; p-amino benzoic acid, 13.9; K<sub>3</sub>, 1.4; A, 0.6; D<sub>3</sub>, 0.002; choline chloride, 278.3; cyanocobalamin, 0.003.

<sup>2</sup>Mineral mix. contained the following ingredients (g/kg mix): MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 80; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 370; KCl, 130; Ferric citrate, 40; ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 20; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O, 0.15; KI, 0.15; Na<sub>2</sub>Se<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.01; MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O, 2; CoCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, 1.

<sup>3</sup>Calculated by difference.

<sup>4</sup>Estimated energy was calculated based on 4 kcal/g protein, 9 kcal/g lipid and 4 kcal/g NFE (Garling and Wilson, 1976).

<sup>5</sup>Highly unsaturated fatty acids (C $\geq$ 20).

이 증가할수록 유의하게 증가하다가 (P<0.05) 43% 이상에서는 71~79%로 비슷한 (P>0.05) 경향이였다. 타 어종의 경우도 본 실험에서와 같이 요구량 이상의 단백질 함량이 섭취되면 성장이 더 이상 개선되지 않은 선에서 유지되거나 최대 성장점보다 다소 낮아지는 경향을 보이고 있어 (Barrows et al., 1988; Cowey et al., 1972; El-Sayed and Teshima, 1992; Hidalgo and Alliot, 1988; Lee et al., 1993; Parazo, 1990; Lee and Lee, 1996; Santiago and Reyes, 1991; Siddiqui et al., 1988), 본 실험의 결과와 유사하였다.

통계적으로 영양소 요구량 추정은 여러 가지 방법이 이용되는데, 일반적으로 사료 영양소 함

량에 따른 성장 반응점을 지표로 추정하는 방법이 사용되며, Tacon and Cowey (1985)와 Baker (1986)는 사용 지표에 따라 추정되는 값이 달라질 수 있다고 조언하고 있다. 영양소 요구량 설정은 연구의 목적에 따라 최대 성장을 위한 최대 혹은 최소한의 양으로 추정될 수 있으며, 단백질의 요구량은 사료가격이나, 수질 오염 면에서 최대 성장을 위한 최소 요구량을 설정하는 것이 타당하다고 생각된다. 최소 요구량 설정에 사용되는 한 방법으로 broken line model (Robbins et al., 1979)이 이용되고 있는데 (Lee et al., 1993), 본 실험에서 이 방법을 이용하여 사료효율을 지표로 추정한 결과 (Fig. 1)는 43.4%로 나타나 성

**Table 2. Growth performance of fish fed the diets containing different protein levels after 25 days feeding trial<sup>1</sup>**

	Dietary protein level (%)				
	29	35	43	49	57
Weight gain (g/fish)	2.0 ± 0.50 <sup>a</sup>	3.0 ± 0.20 <sup>ab</sup>	3.8 ± 0.40 <sup>bc</sup>	4.3 ± 0.10 <sup>c</sup>	4.2 ± 0.10 <sup>c</sup>
Feed efficiency (%) <sup>2</sup>	55 ± 3.4 <sup>a</sup>	64 ± 4.0 <sup>ab</sup>	74 ± 2.5 <sup>bc</sup>	79 ± 0.7 <sup>c</sup>	71 ± 3.4 <sup>bc</sup>
Survival rate (%)	69 ± 0.5 <sup>ns</sup>	88 ± 9.5	90 ± 9.0	86 ± 3.0	85 ± 8.5
Daily feed intake <sup>3</sup>	2.01 ± 0.117 <sup>ns</sup>	2.33 ± 0.078	2.39 ± 0.173	2.36 ± 0.088	2.44 ± 0.093
Daily protein intake <sup>3</sup>	0.58 ± 0.033 <sup>a</sup>	0.82 ± 0.027 <sup>b</sup>	1.03 ± 0.074 <sup>c</sup>	1.17 ± 0.044 <sup>c</sup>	1.39 ± 0.053 <sup>d</sup>
Protein efficiency ratio <sup>4</sup>	1.90 ± 0.117 <sup>b</sup>	1.81 ± 0.114 <sup>b</sup>	1.73 ± 0.058 <sup>b</sup>	1.59 ± 0.013 <sup>b</sup>	1.25 ± 0.059 <sup>a</sup>
Protein retention <sup>5</sup>	33.3 ± 2.55 <sup>ns</sup>	30.4 ± 1.25	30.1 ± 5.40	24.4 ± 0.65	24.6 ± 2.25

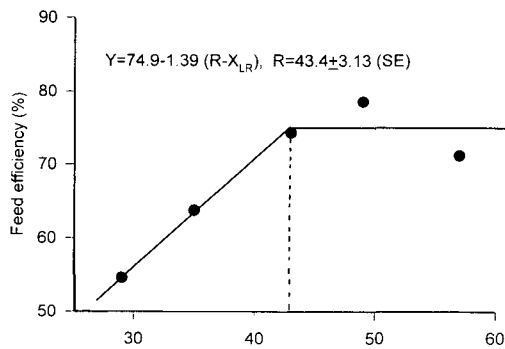
<sup>1</sup>Values (mean ± SE of two replications) in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>(Fish weight gain × 100)/Feed intake.

<sup>3</sup>
$$\frac{[\text{Feed (or protein) intake} \times 100]}{[(\text{Initial fish weight} + \text{final fish weight})/2] \times \text{days fed.}}$$

<sup>4</sup>Body wet wt. gain/Protein intake.

<sup>5</sup>(Body protein gain × 100)/Protein intake.



**Fig. 1. Broken line model of feed efficiency to dietary protein levels.**

장결과의 변화 경향과 일치하였으나, 증체율을 지표로 단백질 요구량을 추정한 결과는 45.6%로 다소 높게 추정되었다. 이와 같이 추정된 요구량이 종속변수 항목에 따라 다소 차이를 보이는 것은 앞에 언급하였듯이 사료 단백질 함량에 따른 반응점이 다른 것에 그 원인이 있는 것으로 판단된다. 이러한 성장효과들은 어체의 생리적인 상태, 주위 환경, 먹이 공급방법, 사료 단백질의 질 및 에너지 함량 등 여러 요인에 따라 반응이 달

라지며 (Smith, 1989), 본 실험에서는 에너지가 비슷한 사료들을 동일 환경 조건에서 반복으로 동시에 종료생산된 실험어에게 공급하여 상대 비교하였기 때문에 성장과 사료효율이 거의 같은 경향으로 반응하였을 것으로 보인다. 따라서 본 실험의 결과에서 사료 단백질 43% 이상에서 성장과 사료효율이 더 이상 개선되지 않았고 사료효율을 지표로 broken line model에 적용시킨 결과와 일치하는 것으로 미루어 보아 은어 사료의 단백질 함량은 43%가 적정할 것으로 판단되며, 이때의 어체 100 g 당 일일사료단백질 섭취량은 1.0 g으로 나타났다.

기존에 연구된 타 어종의 단백질 요구량을 살펴보면, 조피볼락은 40% (Lee et al., 1993), 돌돔과 쥐노래미는 45-50% (Ikeda et al., 1988; Kang et al., 1998; Lee and Lee, 1996), 방어, 참돔 및 넙치는 55% (Takeda et al., 1975; Yone, 1976), 자주복과 plaice (*Pleuronectes platessa*)는 50% (Kana-zawa et al., 1980; Cowey et al., 1972), striped bass (*Morone saxatilis*)는 47% (Millikin, 1983), gilthead bream (*Chrysophrys aurata*), estuary grouper (*Epinephelus salmoides*) 및 농어는 40%

(Sabaut and Luquet, 1973; Teng et al., 1978; Hidalgo and Alliot, 1988)로 보고되어 있다. 또한, 담수어류의 경우, 송어는 40% 내외 (Beamish and Medland, 1986; Ogino et al., 1976; Satia, 1974; Zeitoun et al., 1973), 잉어는 31~38% (Ogino and Saito, 1970; Takeuchi et al., 1979), 틸라피아는 28~35% (De Silva and Perera, 1985; Santiago et al., 1982), 차넬메기는 32% (Garling and Wilson, 1976), 은연어는 40% (Zeitoun et al., 1974), 뱀장어는 45% (Nose and Arai, 1972)로 보고되어 있다. 이러한 연구 결과들과 비교하여 보면, 본 실험에서 추정된 은어의 단백질 요구량 43%는 육식성이 강한 대부분의 해산어류보다는 낮고, 초식성이나 잡식성인 담수어류 (잉어, 틸라피아, 차넬메기)보다 높으며, 육식성인 송어, 연어 및 뱀장어와 비슷한 수준인 것으로 생각된다. 즉, 이 수준의 단백질 요구량은 은어가 육식성이 강한 잡식성의 특성을 가진 종으로 생각하여도 될 범위로 판단된다.

단백질 섭취에 따른 증체율을 나타내는 단백질효율은 사료 단백질 함량이 증가될수록 감소되어 단백질 함량 57% 실험구에서는 1.25로 타 실험구의 1.59-1.90보다 유의하게 ( $P<0.05$ ) 낮았으며, 타 어종 (Kang et al., 1998; Lee and Lee, 1996; Parazo, 1990; Santinha et al., 1996)도 같은 경향이였다. 이는 섭취된 사료 단백질이 체내에서 체구성보다는 상대적으로 에너지로 사용되는 비율이 높아지기 때문일 것이다. 또한, 섭취된 사료 단백질이 성장을 위해 체내에 축적되는 비율을 나타내는 단백질 축적률은, 본 실험에서 사료 단백질 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으나 실험구간에 유의한 차이는 없었다( $P>0.05$ ). 본 실험의 단백질 축적률이 24.4-33.3%로 나타났는데, 이러한 값은 Bowen (1987)이 조사한 어류 16종의 평균값 31%와 비슷하며, 조피볼락 27-34% (Lee et al., 1993), 방어 28% (Takeda et al., 1975), 유럽산 농어 31.5% (Hidalgo and Alliot, 1988) 및 돌돔 23-32% (Kang et al., 1998)와도 유사한 경향을 보였고, gilthead bream 24% (Sabaut and Luquet, 1973), plaice 23% (Cowey

et al., 1972)보다는 약간 높은 것으로 보아, 은어는 다른 해산어만큼 단백질을 성장에 비교적 잘 이용하는 것으로 판단된다. 이러한 단백질 축적률은 생물이 성장함에 따라 단백질이 성장에 이용되는 비율은 감소하는 대신, 어체 유지에 필요한 비율은 증가하므로, 단백질 축적률도 이에 따라 감소하는데, 조피볼락 (Lee et al., 1993)은 치어가 1년어보다 양호하였고, 다른 동물도 같은 경향이였다 (Bowen, 1987). 그러나 크기가 다른 잉어 (Huisman et al., 1979)의 경우에는 단백질 축적률이 어체크기에 큰 영향을 받지 않았다. 이러한 차이에 대해서는 금후 상세한 연구가 요망된다.

일일사료섭취율은 2.01-2.44%로 실험구간에 서로 차이가 없었는데 ( $P>0.05$ ), 이는 에너지 함량이 서로 비슷한 사료를 반복으로 공급하였기 때문에 체내에 필요한 에너지를 실험구마다 비슷한 수준으로 섭취했음을 의미한다. 하지만, 어종, 사료의 에너지 함량과 사료공급 방법에 따라서는 일일사료섭취율은 그 변화가 심한데 (Kang et al., 1998; Page and Andrews, 1973), 예를 들면, 동일 단백질 함량이라 하더라도 에너지 함량이 다르면 사료섭취량은 달라진다. 단백질섭취율은 사료의 단백질 함량이 증가됨에 따라 증가되는 경향을 보였다( $P<0.05$ ). 단백질 요구량의 연구에서 요구값은 사료의 단백질 함량 (%)이나 단위 어체중 당 일일단백질 요구량으로 표시되는 것이 일반적인 방법인데 (Bowen, 1987; Tacon and Cowey, 1985), 본 실험에서 일일단백질 요구량이 어체중 100 g 당 1.0 g으로 나타났다. 하지만 요구량을 사료의 단백질 함량 (%)으로 표시하는데 비해 이러한 일일 단백질 요구량은 어체 크기에 따라 변화되기 쉬운 단점을 가지고 있다. 즉, 성장속도가 빠른 자치어 시기에는 어체중 100 g 당 섭취해야 할 단백질 함량이 상대적으로 높을 수 있으며, 조피볼락의 경우 최대성장에 필요한 단백질 요구량이 치어가 1.34 g, 1년어가 0.43 g으로 어체가 클수록 상당히 낮은 것을 알 수 있다.

Table 3에 나타낸 바와 같이 전어체의 수분,

**Table 3. Proximate analysis (%) of whole body in fish fed the diets containing different protein levels<sup>1</sup>**

	Initial	Dietary protein level (%)				
		29	35	43	49	57
Moisture	71.2	71.1±0.69 <sup>ns</sup>	71.3±0.43	72.1±1.29	72.9±0.82	72.3±0.20
Crude protein	15.2	15.7±0.53 <sup>ns</sup>	15.7±0.08	16.0±0.99	15.2±0.10	16.8±0.33
Crude lipid	8.8	9.0±0.08 <sup>ns</sup>	10.0±0.94	8.2±0.99	8.4±1.40	8.3±1.18
Crude ash	2.5	2.8±0.33 <sup>ns</sup>	2.8±0.17	3.1±0.19	2.3±1.05	2.8±0.18

<sup>1</sup>Values are mean±SE of two replications.

<sup>ns</sup>Not significant (P>0.5).

단백질, 지질 및 회분 함량은 사료 단백질 함량에 영향을 받지 않았다 (P>0.05). 하지만, 사료의 에너지 함량이 비슷하다 하더라도 타 어종의 경우에는 전어체 지질함량이 사료의 단백질 함량에 쉽게 영향을 받지 않는다는 보고(Nematipour et al., 1992; Parazo, 1990)와 영향을 받는다는 보고 (El-Sayed and Teshima, 1992; Kang et al., 1998; Lee et al., 1993; Lee and Lee, 1996; Siddiqui et al., 1988)가 있어, 이러한 차이에 대해서는 차후 각 어종의 특성, 사육조건, 대사에너지 등을 감안하여 상세한 연구가 요망된다.

본 실험 결과로부터 6.6~11 g의 성장기 은어의 단백질 요구량은 43%, 일일단백질 요구량은 어체중 100 g 당 1.0 g으로 추정되며, 이러한 결과는 은어의 사료영양 연구와 경제적인 사료개발에 기초적인 자료가 될 것으로 전망된다.

하여 사료효율을 지표로 최소 단백질 요구량을 추정한 결과도 43.4%로 나타나 성장결과와 일치하였다. 단백질효율은 사료 단백질 함량이 증가될수록 감소되는 경향을 보여 단백질 함량 57% 실험구가 타 실험구보다 유의하게 (P<0.05) 낮았고, 단백질 축적률은 사료 단백질 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으나 실험구간에 유의한 차이는 없었다(P>0.05). 일일사료섭취율은 실험구간에 서로 차이가 없었으며, 단백질섭취율은 사료의 단백질 함량이 증가됨에 따라 증가되는 경향을 보였다 (P<0.05). 전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분 함량은 사료 단백질 함량에 영향을 받지 않았다 (P>0.05). 이상의 결과로부터 6.6~11 g의 성장기 은어의 단백질 요구량은 43%, 일일단백질 요구량은 어체중 100 g 당 1.0 g으로 추정된다.

## 요 약

은어의 단백질 요구량을 조사하기 위해 복양어분을 단백질원으로 하여, 사료의 단백질 함량이 29, 35, 43, 49 및 57%가 되도록 조정된 5종의 실험사료를 설계, 제조하여 6.6 g 전후의 은어를 사료별로 2반복으로 사육 실험하였다. 실험기간 동안의 생존율은 69~90%으로 실험구간에 통계적인 차이는 없었으나(P>0.05), 단백질 29% 사료가 가장 낮았다. 증체량 (g/fish) 및 사료효율은 사료의 단백질 함량이 증가할수록 유의하게 (P<0.05) 증가하다가 단백질 43% 이상에서는 더 이상 증가하지 않았다. Broken line model을 이용

## 감사의 글

이 논문은 해양수산부의 수산특정연구개발사업비 지원에 의해 수행된 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- Amano, H. and H. Noda, 1985. Changes of body composition of ayu, *Plecoglossus altivelis*, fed test diets supplemented with marine green algae "hitoegusa", *Monostroma nitidum*. Bull. Fac. Fish. Mie Univ., 12 : 147-154.
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. 15th

- ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. 1298pp.
- Baker, D. H., 1986. Problems and pitfalls in animal experiments designed to establish dietary requirements for essential nutrients. *J. Nutr.*, 116 : 2339-2349.
- Barrows, F. T., J. S. Sell and J. G. Nickum, 1988. Effects of dietary protein and energy levels on weight gain, body composition, and RNA:DNA ratios of fingerling walleyes. *Prog. Fish-Cult.*, 50 : 211-218.
- Beamish, F. W. H. and T. E. Medland, 1986. Protein sparing effects in large rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 55 : 35-42.
- Bowen, S. H., 1987. Dietary protein requirements of fishes-A reassessment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44 : 1995-2001.
- Cowey, C. B., J.A. Pope, J. W. Adron and A. Blair, 1972. Studies on the nutrition of marine flatfish. The protein requirement of plaice (*Pleuronectes platessa*). *Br. J. Nutr.*, 28 : 447-456.
- De Silva, S. S. and M. K. Perera, 1985. Effects of dietary protein level on growth, food conversion, and protein use in young *Tilapia nilotica* at four salinities. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 114 : 584-589.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11 : 1-42.
- El-Sayed, A. M. and S. Teshima, 1992. Protein requirements of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fry. *Aquaculture*, 103 : 55-63.
- Garling, D. L. Jr. and R. P. Wilson, 1976. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *J. Nutr.*, 106 : 1368-1375.
- Hidalgo, F. and E. Alliot, 1988. Influence of water temperature on protein requirement and protein utilization in juvenile sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 72 : 115-129.
- Hirano, T. and M. Suyama, 1985. Effect of dietary micro-algae on the quality of cultured ayu. *J. Tokyo Univ. Fish.*, 72 : 21-41.
- Hirano, T. and M. Suyama, 1983. Fatty acid composition and its seasonal variation of lipids of wild and cultured ayu. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 49 : 1459-1464.
- Huisman, A. E., J. G. P. Klein Breteler, M. M. Vismans and E. Kanis, 1979. Retention of energy, protein, fat and ash in growing carp (*Cyprinus carpio* L.) under different feeding and temperature regimes. In: J.E. Halver and Tiews (editors), *Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Hamburg 20-23 June, 1978, Vol. I, Berlin, p.175-188.
- Ikeda, M., Y. Ishibashi and O. Murata, 1988. Optimum levels of protein and lipid in purified test diet for the Japanese parrot fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 54 : 151-154.
- Kanazawa, A. S. Teshima and M. Sakamoto, 1980. Nutritional requirements of the puffer fish. Purified test diet and the optimum protein level. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46 : 1357-1361.
- Kanazawa, A., S. Teshima and M. Sakamoto, 1982. Requirements of essential fatty acids for the larval ayu. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 48 : 587-590.
- Kanazawa, A., S. Teshima, T. Kobayashi, M. Takae, T. Iwashita and R. Uehara, 1983. Necessity of dietary phospholipids for growth of the larval ayu. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, 32 : 115-120.
- Kang Y. J., S. M. Lee, H. K. Hwang and S. C. Bai, 1998. Optimum dietary protein and lipid levels on growth in parrot fish *Oplegnathus fasciatus*. *J. Aquacult.* 11 : 1-10.
- Lee, J. Y., Y. J. Kang, S. M. Lee and I. B. Kim, 1993. Protein requirements of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *J. Aquacult.*, 6 : 13-27.
- Lee, S. M., J. Y. Lee and S. B. Hur, 1994. Essentiality of dietary eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in Korean Rockfish, *Sebastes schlegeli*. *J. Korean Fish. Soc.*, 27 : 721-726.
- Lee, J. K. and S. M. Lee, 1996. Effects of the dietary protein and energy levels on growth in fat cod (*Hexagrammos otakii* Jordan et starks). *J. Korean Fish. Soc.*, 29 : 464-473.
- Millikin, M. R., 1983. Interactive effects of dietary protein and lipid on growth and protein utilization of age-0 striped bass. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 111 : 373-378.
- Nakagawa, H., 1985. Usefulness of *Chlorella*-extract for improvement of the physiological condition of cultured ayu, *Plecoglossus alt-*

- ivelis* (Pisces). Tethys, 11 : 328-334.
- Nakagawa, H., S. Kasahara, A. Tsujimura and K. Akira, 1984. Changes of body composition during starvation in *Chlorella*-extract fed ayu. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 50 : 665-671.
- Nematipour, G. R., M. L. Brown and D. M. Gatlin III, 1992. Effects of dietary energy:protein ratio on growth characteristics and body composition of hybrid striped bass, *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂. Aquaculture, 107 : 359-368.
- Nose, T. and S. Arai, 1972. Optimum level of protein in purified test diet for eel, *Anguilla japonica*. Bull. Freshw. Fish. Res. Lab. Tokyo, 22 : 145-155.
- NRC (National Research Council), 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Acad. Press, Washington, D.C. 114pp.
- Ogino, C. and K. Saito, 1970. Protein nutrition in fish. I. The utilization of dietary protein by young carp. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 36 : 250-254.
- Ogino, C., J. Y. Chiou and T. Takeuchi, 1976. Protein nutrition in fish VI. Effects of dietary energy sources on the utilization of proteins by rainbow trout and carp. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 42 : 213-218.
- Page, J. W. and J. W. Andrews, 1973. Interaction of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). J. Nutr., 102 : 1339-1346.
- Parazo, M. M., 1990. Effect of dietary protein and energy level on growth, protein utilization and carcass composition of rabbitfish, *Siganus guttatus*. Aquaculture, 86 : 41-49.
- Robbins, K. R., H. R. Norton and D. H. Baker, 1979. Estimation of nutrient requirements from growth data. J. Nutr., 109 : 1710-1714.
- Sabaut, J. J. and P. Luquet, 1973. Nutritional requirement of the gilthead bream, *Chryso-phrys aurata*. Quantitative protein requirements. Mar. Biol., 18 : 50-54.
- Santiago, C. B., M. Banes-Aldaba and M. A. Laron, 1982. Dietary crude protein requirement of *Tilapia nilotica* fry. Kalikasan, 11 : 255-265.
- Santiago, C. B. and O. S. Reyes, 1991. Optimum dietary protein level for growth of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fry in a static water system. Aquaculture, 93 : 155-165.
- Santinha, P. J. M., E. F. S. Gomes and J. O. Coimbra, 1996. Effects of protein level of the diet on digestibility and growth of gilthead sea bream, *Sparus aurata* L. Aquacult. Nutr., 2 : 81-87.
- Satia, B. P., 1974. Quantitative protein requirements of rainbow trout. Prog. Fish Cult., 36 : 80-85.
- Shimma, Y., K. Ikeda and T. Maruyama, 1980. Fatty acid composition of the trunk flesh and eggs of ayu, *Plecoglossus altivelis*, fed single cell protein feeds. Bull. Nat'l. Res. Inst. Aquacult. Japan, 1 : 61-69.
- Siddiqui, A. Q., M. S. Howlader and A. A. Adam, 1988. Effects of dietary protein levels on growth, feed conversion and protein utilization in fry and young Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture, 70 : 63-73.
- Smith, R. R., 1989. Nutritional Energetics. In: Fish nutrition, edited by J.E. Halver. Acad. Press, London. pp. 2-29.
- SPSS Inc., 1997. SPSS Base 7.5 for Window, SPSS Inc., 444N. Michigan Avenue, Chicago, IL, 60611.
- Suyana, M., T. Hirano and S. Yamazaki, 1985. Odor of ayu and its volatile components. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 51 : 287-294.
- Tacon, A. G. J. and C. B. Cowey, 1985. Protein and amino acid requirements. In: P. Tytler and P. Calow (editors), Fish Energetics, New perspectives. Croom Helm, London, pp. 155-184.
- Takeda, M., S. Shimeno, H. Hosokawa, H. Kajiyama and T. Kaisyo, 1975. The effect of dietary calorie-to-protein ratio on the growth, feed conversion and composition of young yellowtail. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 41 : 443-447.
- Takeuchi, T., T. Watanabe and C. Ogino, 1979. Optimum ratio of dietary energy to protein for rainbow trout. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 45 : 983-987.
- Takeuchi, M., S. Ishii and T. Ogiso, 1981. Effect of dietary vitamin E on growth, vitamin E distribution, and mortalities of the fertilized eggs and fry in ayu *Plecoglossus altivelis*. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 104 : 111-122.



은어 사료의 적정 단백질 함량

- Teng, S., T. Chua and P. Lim, 1978. Preliminary observation on the dietary protein requirement of estuary grouper, *Epinephelus salmoides* MAXWELL, cultured in floating net-cages. *Aquaculture*, 15 : 257-271.
- Yone, Y., 1976. Nutritional studies of red sea bream. In K.S. Price, W.N. Shaw and K.S. Danberg (editors), *Proc. 1st. Int. Conf. Aquaculture*. Lewes, Delaware, pp. 39-64.
- Zeitoun, I. H., P. I. Tack, J. E. Halver and D. E. Ullery, 1973. Influence of salinity on protein requirements of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fingerlings. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 30 : 1867-1873.
- Zeitoun, I. H., D. E. Ullery, J. E. Halver, P. I. Tack and W. T. Magee, 1974. Influence of salinity on protein requirements of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) smolts. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 31 : 1145-1148.
- 국립수산진흥원. 1994. 유용어류도감. 299pp.
- 해양수산부. 1998. 해양수산통계연보.