

뱀장어 치어의 사료내 에너지에 대한 적정 단백질 비 평가

한경민, 배준영, Okorie okorie Eme, 고수홍, 유진형¹, 배승철*
부경대학교 양식학과/사료영양연구소, ¹천하제일사료

Evaluation of the Optimum Dietary Protein to Energy Ratio of Juvenile Japanese eel, *Anguilla japonica*

Kyung-min Han, Jun-young Bae, Okorie okorie Eme, Su-hong Go,
Jin-hyung Yoo¹ and Sungchul C. Bai*

Department of Aquaculture/Feeds & Foods Nutrition Research Center, Pukyong National University, Busan 708-737, Korea
¹Chunhajeil feed corporation, Haman 637-830, Korea

A 16-week feeding trial was conducted to estimate the optimum dietary protein to energy ratio (P/E ratio, mg/kcal) in juvenile Japanese eel, *Anguilla japonica*. Six experimental diets were formulated with three energy levels and two protein levels at each energy level. Three energy levels of 3800, 4150 and 4500 kcal per kg diets were included at 45 and 50% crude protein (CP) levels, respectively (₁₂₀P₄₅, ₁₁₀P₄₅, ₁₀₀P₄₅, ₁₃₀P₅₀, ₁₂₀P₅₀ and ₁₁₀P₅₀). After four weeks of the conditioning period, fish initially averaging 15.0±3 g (means±SD) were randomly distributed into each tank as groups of 20 fish. Each diet was fed to fish in three randomly selected tanks at a rate of 2~3% wet body weight per day in the recirculated system. Weight gain (WG) and specific growth rate of fish fed diet ₁₀₀P₄₅ were significantly higher (P<0.05) than those of fish fed the other diets. WG of fish fed diet ₁₂₀P₅₀ was also significantly higher than those of fish fed diets ₁₃₀P₅₀ and ₁₁₀P₅₀. Feed efficiency ratio of fish fed diets ₁₀₀P₄₅ and ₁₁₀P₄₅ were significantly higher (P<0.05) than those of fish fed other diets. These results suggest that the optimum P/E ratio may be 100 mg/kcal with 45% protein diets, and 120 mg/kcal 50% protein diets for the maximum growth of juvenile Japanese eel under the experimental condition.

Keywords: Eel, Protein to energy ratio, Protein, Energy

서 론

동물에 있어서 단백질은 필수영양소로서 에너지 생산에도 관여하는데 먹이를 통하여 섭취한 모든 에너지는 체내에 축적되거나 대사과정을 통한 상실 및 배설질소와 분의 형태로 배출되어진다. 이러한 단백질의 대사산물은 유독질소의 형태로 배설되므로 수질환경과 밀접한 관련이 있으므로(Kim and Chin, 1995) 영양적, 환경적 측면에서 중요한 요인이 될 수 있다. 일반적으로 양어 사료에 가장 많이 쓰이는 동물성 단백질 사료원은 어분이며, 대두박과 같은 식물성 단백질원의 사용이 확대되어 가고 있다. 그러나, 육상동물과 달리 어류는 에너지원으로서 저가의 탄수화물이나 식물성 단백질원 보다는 어분과 같은 동물성 단백질 사료원을 더 효율적으로 이용하는데, 어분은 고가의 에너지원이므로 단백질의 적정 요구량에 따른 에너지 함량의 균형은 경제적인 사료관리와 사육어의 건강에 많은 영향을

미치게 된다(Shiau and Huang, 1990; Takeuchi et al., 1992; Shiau and Lan, 1996).

에너지는 영양소는 아니지만 생명체의 생존에 가장 기본적으로 요구되므로 양어사료를 배합하는데 있어 우선적으로 고려해야 할 것이 사료의 에너지 함량이다. 그렇지만, 실제에 있어서 단백질이 가장 비싼 에너지원이고 성장에 필수적인 영양소이기 때문에 단백질 요구량이 먼저 고려의 대상이 되며, 결과적으로 단백질과 에너지의 균형에 초점이 맞추게 된다(Kaushik, 1994). 이런 점에서 어류의 에너지 요구량은 단백질과 에너지 비(Digestible protein to Digestible energy ratio, DP/DE ratio)로써 나타내는데, 사료의 에너지 함량이 단백질에 비하여 너무 적거나 또는 많아도 사육어의 성장에 지장을 줄 수 있으므로 단백질과 에너지 비는 항상 균형을 이루어야 한다(Shiau and Lan, 1996; Peres and Oliva-Teles, 1999; Samantaray and Mohanty, 1999). 즉, 단백질에 비해 에너지가 부족한 사료를 먹이면 사육어는 유지에 필요한 에너지를 충당하기 위해 단백질을 분해하여 에너지원으로 사용하므로 단백질 효율이 낮아지고 성장도 저하시킬(Garling

*Corresponding author: scbai@pknu.ac.kr

and Wilson, 1976; McGoogan and Gatlin, 1999) 뿐만 아니라 암모니아 생성으로 인한 과도한 질소 배설을 초래한다(Ballestrazzi et al., 1994; Cai et al., 1996). 한편, 단백질에 비해 에너지가 과잉 함유된 사료를 섭취하게 되면 사육어의 사료 섭취량이 적어지고, 이로 인해 단백질이나 아미노산과 같은 다른 필수 영양소를 충분히 공급받을 수 없게 되므로 성장이 저하된다. 뿐만 아니라, 사료의 에너지 함량이 지나치게 높을 때에는 어체 내 지방이 과도하게 축적되어 식품으로서의 가치가 떨어지기도 한다(Cowey, 1993; Hillestrad and Johnsen, 1994; McGoogan and Gatlin, 1999). 이러한 사료내 단백질과 에너지의 비율(mg protein/kcal)은 양식어류의 상품성과 더불어 성장에도 직접적인 영향요인으로 작용하므로 grass carp, 100-124 (Xianghua, 1988); Nile tilapia, 110 (El-Sayed and Teshima, 1992); hybrid striped bass, 125 (Nematipour et al., 1992); European seabass, 88 (Peres and Oliva-Teles, 1999) 및 snakehead 91 (Samantaray and Mohanty, 1999) 등의 양식어종을 대상으로 사료내 적정 단백질과 에너지의 비율과 사료효율 및 체조성에 관한 연구가 많이 수행되어 왔다. 뱀장어의 단백질 요구량은 그 종류와 어체의 크기에 따라 다소의 차이가 있으나 45~50% 범위에서 요구되는 것으로 나타났지만, 현재 배합사료 제작 시 가장 중요하게 고려되어야 할 사료 내 에너지에 대한 적정 단백질 비의 평가에 관한 연구는 American eel (*Anguilla rostrata*)에 있어서 가소화 단백질과 에너지의 적정 비율에 관한 연구(Tibbetts et al., 2001) 외에는 희소한 실정이다.

따라서, 본 연구는 국내 주요 담수양식어종인 치어기 Japanese eel (*A. japonica*)를 대상으로 영양학적이고 생화학적인 평가를 통해 사료 내 에너지에 대한 적정 단백질 비를 결정함으로써 체계적이고 경제성 있는 실용적 배합사료 개발의 기초를 확립하고 이에 대한 영양학적 관리와 배합사료의 효율적 이용성을 제안하고자 한다.

재료 및 방법

실험어 및 사육관리

실험어는 반죽사료로 사육한 전남 나주의 개인 양만장으로

부터 2003년 10월 27일에 본 대학 양어장으로 수송하여 10톤 콘크리트 수조에 수용하였으며, 실험 전 4주간 상업용 펠릿사료를 공급하면서 펠릿사료에 적응시키는 예비사육을 실시하였다. 예비사육 후, 평균 체중 15.0 ± 3 g (mean \pm SD)의 치어기 Japanese eel (*A. japonica*)를 순환여과식 사육시스템에 각 실험 수조(60리터 사각수조)당 20마리씩 3반복으로 무작위 배치하였으며, 유수량은 4.5 L/min, 사육수온은 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하였다. 일일 사료공급량은 어체중의 2~3%(건물량)를 일일 2회(9:00, 18:00)공급하였으며, 사료공급 시, 유수는 중단했다.

실험기간은 2004년 2월 6일부터 2004년 6월 5일까지로 16주간 사육실험을 실시하였고, 8주째에 성장을 확인하기 위하여 Ethylene glycol phenyl ether 90% (200 ppm)에 실험어를 마취시켜 스트레스를 최소화하고 각 수조의 실험어를 계측하였으며 사료공급량 역시 어체중의 증가에 따라 보정하였다.

실험사료 및 실험설계

본 실험의 디자인은 Table 1, 그리고 실험에 사용된 실험사료의 조성표와 이에 대한 일반성분은 Table 2에 각각 나타내었다. 실험사료의 단백질원으로는 갈색어분(brownfish meal) 및 혈분(blood meal)을 사용하여 조단백질 함량은 에너지에 대해 각각 45%와 50%로 설계하였으며, 지질원으로는 ω -6와 ω -3 지방산이 다량 함유된 어유(fish oil)와 옥수수유(corn oil)를 사용하였다. 그리고 탄수화물원으로는 옥수수전분(corn starch)과 밀가루(wheat meal)를 사용하였으며, 실험사료의 조단백질함량과 에너지를 맞추기 위하여 셀룰로스를 이용하여 반정제사료(semi-purified) 형태로 제조하였고, 실험사료는 원료를 혼합한 후 펠릿제조기로 압출성형하여 밀봉상태로 -20°C 에 냉동보관 후 필요에 따라서 사용하였다.

실험사료는 조단백질 함량 각각 45% 및 50%의 반정제사료에 대해 단백질/에너지비(P/E ratio) (45/3800, 45/4150, 45/4500, 50/3800, 50/4150 및 50/4500)로 총 6개의 실험구($_{120}P_{45}$, $_{110}P_{45}$, $_{100}P_{45}$, $_{130}P_{50}$, $_{120}P_{50}$ 및 $_{110}P_{50}$)를 설정하였으며 3반복으로 실험을 수행하였다. 주단백질원으로 brown fish meal을 사용하였고, 사료 내 가용성 에너지(available energy)는 사료의 단백질, 지질

Table 1. Estimated and actual values of crude protein, P/E ratio and energy for the six experimental diets

Diets ¹	Crude protein (%)		P/E ratio (mg/kcal)		Energy (kcal/kg)	
	EV ²	AV ³	EV	AV	EV	AV
$_{120}P_{45}$	45	44.7	120	113.3	3800	3941
$_{110}P_{45}$	45	44.1	110	107.0	4150	4122
$_{100}P_{45}$	45	44.3	100	100.4	4500	4410
$_{130}P_{50}$	50	49.2	130	125.1	3800	3933
$_{120}P_{50}$	50	49.3	120	117.7	4150	4189
$_{110}P_{50}$	50	50.2	110	111.3	4500	4508

¹Three energy levels of 3800, 4150 and 4500 kcal per kg diets were included at 45 and 50% crude protein levels, respectively ($_{120}P_{45}$, $_{110}P_{45}$, $_{100}P_{45}$, $_{130}P_{50}$, $_{120}P_{50}$ and $_{110}P_{50}$).

²EV: estimated values

³AV: actual values as determined by analyses

Table 2. Composition of the six experimental diets (% of dry matter basis)¹

Ingredients	Diets ²					
	120P ₄₅	110P ₄₅	100P ₄₅	130P ₅₀	120P ₅₀	110P ₅₀
Brown fish meal ³	51.0	51.0	51.0	57.5	57.5	57.5
Blood meal ⁴	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Corn starch ⁵	17.0	17.0	12.7	10.0	10.0	6.0
Wheat meal ⁶	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.1
Fish oil ⁷	1.9	3.2	5.1	2.0	3.2	5.1
Corn oil ⁸	3.8	6.4	10.2	4.0	6.4	10.3
Vitamin mixture ⁹	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Mineral mixture ¹⁰	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Cellulose	5.4	1.5	0.1	5.6	1.8	0.1
Proximate analysis						
Moisture	7.91	7.71	7.30	7.74	7.61	7.91
Ash	8.48	8.43	8.55	9.40	9.15	9.38
Crude protein	44.7	44.1	44.3	49.2	49.3	50.2

¹Ingredients information and formulation method are explained in Kim and Bai (1997).

²See Table 1. Estimated and actual values of crude protein, P/E ratio and energy for the six experimental diets.

³Imported from Chile, provided by Su Hyup Feed Co., Uiryeong, Korea.

⁴Provided by Il Shin feed Co., Hampyeong, Korea.

⁵Provided by Su Hyup Feed Co., Uiryeong, Korea.

⁶Provided by Young Nam Flour Mills Co., Busan, Korea.

⁷Provided by E-Wha oil and Fat Industry Co., Ltd., Pusan, Korea.

⁸Provided by Dong Suh Oil & Fats Co., Changwon, Korea.

⁹Contains (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- α -Tocopherol acetate, 201; Retinyl acetate, 6; Biotin, 1.5; Folic acid, 5.4; B₁₂, 0.06.

¹⁰Contains (as mg/kg in diets): NaCl, 437.4; MgSO₄·7H₂O, 1379.8; NaH₂P₄·2H₂O, 877.8; Ca(H₂PO₄)₂·2H₂O, 1366.7; KH₂PO₄, 2414; ZnSO₄·7H₂O, 226.4; Fe-Citrate, 299; Ca-lactate, 3004; MnSO₄, 0.016; FeSO₄, 0.0378; CuSO₄, 0.00033; Calcium iodate, 0.0006; MgO, 0.00135; NaSeO₃, 0.00025.

및 탄수화물을 각 4, 9 및 4 kcal/g으로 계산하였다(NRC, 1993).

어체측정

실험종료 후, 실험어를 24시간 절식시킨 후 ethylene glycol phenyl ether 90% (200 ppm)로 마취시켜 어체중을 측정하여 % 증체율(weight gain, WG), 사료효율(feed efficiency, FE), 일간 성장률(specific growth rate, SGR) 및 단백질전환효율(protein efficiency ratio, PER)을 확인하였으며 어체 내 일반성분 및 지방산 조성을 분석하였다.

성분분석

일반성분은 실험사료와 전어체에 대해서 실시하였으며, 전어체 분석을 위해서 각 수조별로 6마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체를 사용하였다. AOAC (1995)에 의해 수분은 상압 가열건조법(125, 3시간), 조단백질은 Kjeldahl 질소정량법(N×6.25), 조회분은 직접회화법으로 각각 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시간 동결건조한 후 Soxtec system 1046 (Tator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다.

실험 종료 후, 증체율 측정과 함께 혈액성분 분석을 위하여 채혈하기 전까지 실험어를 약 24시간 동안 절식시켰다. 실험어를 각 수조당 4마리씩 무작위로 추출하여 일회용 주사기를 이

용하여 실험어의 미부정맥에서 혈액을 채혈한 후 micro-hematocrit 법(Micro Hematocrit Reader, Hawksley)에 의해 헤마토크리트(hematocrit, PCV)를 측정하였으며, 헤모글로빈 함량(Hb, g/dl)은 cyan-methemoglobin 법(Yokoyama, 1960)에 의하여 측정하였다. 이후 남은 혈액을 상온에서 10분 방치하였다가 원심분리(12,000 rpm, 5 min)하여 얻은 혈청을 분석 전까지 -76°C에 보관하였다. 혈청 글루코즈(mg/dl), 혈청 콜레스테롤(mg/dl), GOT (IU/L), GPT (IU/L), total protein (TP, g/dl)의 측정에는 혈액 분석기(Vtros DT 60 II, Korea)를 사용하였다.

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

16주간의 성장결과를 Table 3에 나타내었다. 증체율(WG)에 있어서 100P₄₅실험구가 다른 실험구들에 비해서 유의적으로 높게 나타났다(P<0.05). 110P₄₅실험구는 130P₅₀, 110P₅₀실험구보다 유

Table 3. Effects of the different dietary protein to energy ratio (P/E ratio)

	Diets ¹						Pooled SEM ¹¹
	¹²⁰ P ₄₅	¹¹⁰ P ₄₅	¹⁰⁰ P ₄₅	¹³⁰ P ₅₀	¹²⁰ P ₅₀	¹¹⁰ P ₅₀	
Growth performance							
WG ²	79.9 ^{bc}	92.8 ^b	108.7 ^a	67.5 ^c	92.0 ^{bc}	68.1 ^c	6.56
FE ³	44.1 ^c	58.0 ^{ab}	61.4 ^a	48.6 ^{bc}	53.1 ^b	47.7 ^{bc}	2.69
SGR ⁴	0.52 ^{bc}	0.58 ^b	0.66 ^a	0.46 ^c	0.58 ^b	0.46 ^c	0.03
PER ⁵	0.98 ^b	1.29 ^{ab}	1.36 ^a	0.93 ^b	1.06 ^b	0.95 ^b	0.08
Serological characteristics							
PCV ⁶	31 ^{cd}	34 ^{bc}	37 ^{ab}	38 ^a	30 ^d	31 ^{cd}	1.38
Hb ⁷	9.9	11.9	12.5	13.2	10.3	10.1	0.57
GOT ⁸	139 ^a	53 ^b	73 ^b	54 ^b	87 ^b	72 ^b	12.9
GPT ⁹	8 ^b	6 ^{bc}	7 ^{bc}	5 ^c	6 ^{bc}	11 ^a	0.87
TP ¹⁰	3.0	2.9	2.8	3.0	2.8	3.1	0.05
Glucose	93 ^b	140 ^a	129 ^a	145 ^a	155 ^a	131 ^a	8.74

Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

¹See Table 1. Design and actual values of crude protein, P/E ratio and energy for the six experimental diets.

²Weight gain (%): [(final wt. - initial wt.) / initial wt.] × 100.

³Feed efficiency (%): (wet wt. gain / dry feed intake) × 100.

⁴Specific growth rate (%): [(log_e final wt. - log_e initial wt.) / days] × 100.

⁵Protein efficiency ratio (%): wet wt. gain / protein intake.

⁶Hematocrit (%).

⁷Hemoglobin (g/100ml).

⁸Glutamate oxaloacetate tran-saminase (IU/L).

⁹Glutamate pyruvate transaminase (IU/L).

¹⁰Total protein (g/dl).

¹¹Pooled standard error of mean: SD/√n.

의적으로 높게 나타났지만, ¹²⁰P₄₅, ¹²⁰P₅₀실험구와는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P < 0.05$). 일간성장률(SGR)에 있어서 ¹⁰⁰P₄₅ 실험구가 다른 실험구들에 비해 유의하게 높았다($P < 0.05$). 한편, ¹¹⁰P₄₅실험구와 ¹²⁰P₅₀실험구 및 ¹²⁰P₄₅실험구는 ¹³⁰P₅₀실험구와 ¹¹⁰P₅₀ 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났으나, 이들 간의 유의한 차이는 없었다($P < 0.05$). 사료효율(FE)에 있어서 ¹⁰⁰P₄₅실험구가 ¹¹⁰P₄₅실험구를 제외한 다른 실험구들에 비해서 유의하게 높은 것으로 나타났으며, ¹²⁰P₄₅실험구를 제외한 나머지 실험구들간의 유의한 차이는 나타나지 않았다($P < 0.05$). 단백질전환효율(SGR)에 있어서 ¹⁰⁰P₄₅실험구가 다른 실험구들에 비하여 유의적으로 높게 나타났는데 ¹¹⁰P₄₅실험구와는 유의적인 차이가 없었으며, 이들을 제외한 나머지 실험구들간에 있어서 유의한 차이는 나타나지 않았다($P < 0.05$).

혈액성상학적 평가에 관한 결과는 Table 3에 나타내었다. 본 실험에서 PCV는 30~38%로 나타났는데 ¹⁰⁰P₄₅실험구가 다른 실험구들에 비해서 유의적으로 높게 나타났으며, ¹²⁰P₅₀실험구는 ¹³⁰P₅₀, ¹⁰⁰P₅₀실험구보다 유의적으로 높았지만 ¹²⁰P₄₅, ¹¹⁰P₄₅실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다($P < 0.05$). 이는 무지개송어(Alexis et al., 1985)에 있어서 측정된 32~42%와 유사하게 나타났으며, 잉어(Song, 1995)와 채널메기(Bai et al., 1994)에서 확인된 44%보다는 낮은 값을 나타내었다. 혈청 내 Hb은 9.9~13.2 (g/dl)로 나타났으며, 전 실험구간 유의적인 차이는 없었다($P < 0.05$). 일반적으로 건강한 어류의 Hb함량은 10g/dl 정도로 보고하고 있으며(Post, 1983), 아직도 어종별 정확한 정상치는 구

명되지 않고 있다. 그러나 필수영양소의 결핍 및 어종에 따른 환경조건과 성장상태에 따라서 변할 수 있다고 여러 연구자들은 밝히고 있다(Babin, 1987; Garrido et al., 1990). 혈청 내 GOT는 ¹²⁰P₄₅실험구가 다른 모든 실험구들에 비해 유의적으로 높았으며($P < 0.05$), GPT는 ¹⁰⁰P₅₀실험구가 나머지 실험구들에 비해 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). TP (혈청 내 총단백질 함량)는 모든 실험구에서 유의적인 차이를 보이지 않았다($P < 0.05$). 혈청 내 글루코스(Glucose)는 다른 실험구들에 비해 ¹²⁰P₄₅실험구가 유의적으로 낮았다($P < 0.05$). 그리고 혈청 내 콜레스테롤(Cholesterol)은 ¹⁰⁰P₅₀실험구가 다른 실험구들에 비해 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 실험사료를 섭취한 치어기 뱀장어의 전어체 조성에 대한 결과는 Table 4에 나타내었다. 전어체내 수분(80.9~83.3%), 조지방 함량(1.4~2.3%), 조단백질 함량(45.8~51.0%), 조지방 함량(7.6~9.4%)과 에너지(4,328~4,668 kcal/g)는 이와 같은 범위를 나타내었다.

본 연구에 따르면 Japanese eel (*A. japonica*)의 사료내 단백질과 에너지의 비율에 있어서 단백질 함량 45%의 실험구에서는 단백질과 에너지의 비가 증가함에 따라 성장률 및 사료효율이 증가하는 경향이 있었고, 단백질 함량 50% 실험구에서는 단백질과 에너지비가 120까지 증가하다가 130이후로는 감소하는 경향이 있었는데, 단백질 함량 45%에 단백질 에너지의 비율(P/E ratio)이 100인 ¹⁰⁰P₄₅실험구에서 최적의 결과를 나타내었다. 이는 P/E ratio가 22.1 MJ로 보고된 American eel (*A. rostrata*)에 비해 낮은 것으로 확인되었으며, 이러한 차이는 실

Table 4. Whole body proximate composition of juvenile Japanese eel fed the six different experimental diets for 16 weeks (% of dry matter)

Diets	Moisture (%)	Ash	Crude Protein	Crude Lipid	Energy (kcal/g)
120P ₄₅	83.3	2.1	45.8	7.6	4328
110P ₄₅	81.9	1.4	46.5	7.9	4413
100P ₄₅	80.9	2.3	46.9	8.2	4522
130P ₅₀	82.4	1.6	49.2	8.3	4609
120P ₅₀	81.7	1.4	49.8	8.9	4573
110P ₅₀	80.3	1.9	51.0	9.4	4668
Pooled SEM ¹	0.44	0.15	0.85	0.27	51.9

¹Pooled standard error of mean: SD/√n.

협어의 종류, 크기, 수온, 사육밀도 등에 기인한 것으로 추측된다(Tibbetts et al., 2001).

한편 성장률과 사료효율에 있어서 단백질 함량이 50% 실험구에 비해 단백질 함량이 45%인 실험구가 유의하게 높은 것으로 나타났는데, 이는 이전의 연구에 있어서 Nose and Arai (1973)에 의한 Japanese eel (*A. japonica*)의 적정 단백질 요구량 45%, 그리고 Degani et al. (1985)에 의한 European eel (*A. anguilla*)의 적정 단백질 요구량 45%와 동일한 결과를 보였으나, 적정 단백질 요구량(Tibbetts et al., 2000)이 48.3%인 American eel (*A. rostrata*)과 50%인 Australian eel (*A. austaralus*)에 비해서는 그 요구량이 낮은 것으로 확인되었다(De Silva, 2001). 이러한 종에 따른 단백질과 에너지 비의 차이는 사료의 조성, 먹이습성, 실험디자인, 사육방법, 수온, 그리고 염분과 같은 환경적 요인 등에 의해 달라질 수 있다(Tuncer et al., 1990; Gatlin, 1994; Keembiyehetty and Wilson, 1998).

따라서, 본 결과를 통하여 치어기 Japanese eel (*A. japonica*)의 사료내 적정 P/E ratio를 살펴보면, 성장률과 사료효율 등을 고려한 에너지 수준별 사료내 적정 단백질 함량은 에너지 4500 kcal 수준에서 단백질 함량 45%실험구에서 최적의 성장을 나타내었으며, 이를 토대로 사료내 적정 P/E ratio는 100 mg protein/kcal가 적합한 것으로 판단된다. 상기의 결과를 바탕으로 소화율 평가를 통한 가소화 단백질에 대한 가소화 에너지의 비율에 관한 연구를 수행함으로써 어체내에서 일어나는 단백질과 에너지에 대한 생화학적인 메커니즘을 확인할 수 있는 연구가 수반되어야 될 것으로 생각된다. 이를 통해 향후 체계적이고 경제성 있는 실용적인 배합사료 개발에 대한 기초를 확립함과 동시에 적정 P/E ratio에 의한 사료를 제작함으로써 양식어류의 단백질 대사산물인 질소와 황의 배출을 최소화시키고 영양학적 환경적 측면에 있어서도 도움이 될 것으로 기대된다.

요 약

본 실험은 치어기 Japanese eel (*A. japonica*)의 에너지 수준에 대한 사료내 적정 단백질 비를 평가하기 위하여 갈색어분(Brownfish meal)과 혈분(Blood meal)을 사용하여 조단백질

함량은 에너지에 대해 각각 45%와 50%, 그리고 총에너지 함량은 각각 3800, 4150, 4500 kcal/kg의 반정제사료(semipurified)를 제조하여 16주간 사육실험을 실시하였다. 본 연구는 사료내 에너지 수준에 따라 단백질 함량을 달리 조절하여 사육 실험을 실시하여 에너지 수준에 따른 적정 단백질 함량을 규명하는데, %증체율(WG), 일간성장률(SGR) 등의 성장평가와 사료효율(FE), 단백질효율(PER) 등의 사료영양학적 평가 및 혈액 성장학적 평가와 연관해서 수행하였으며 실험 종료 후 어체내 일반성분 및 혈청 내 생화학적 조성을 비교 조사하였다. WG과 SGR에 있어서 100P₄₅실험구가 다른 실험구들에 비해서 유의적으로 높게 나타났다(P<0.05). FE에 있어서 100P₄₅실험구가 110P₄₅ 실험구를 제외한 다른 실험구들에 비해서 유의하게 높은 것으로 나타났으며(P<0.05), SGR 역시 100P₄₅실험구가 다른 실험구들에 비하여 유의적으로 높게 나타났는데 110P₄₅실험구와는 유의적인 차이가 없었으며, 이들을 제외한 나머지 실험구들간에 있어서 유의한 차이는 나타나지 않았다(P<0.05). 따라서, 본 결과를 통하여 치어기 Japanese eel (*A. japonica*)에 있어서 사료내 단백질 함량 45%, 에너지 4500 kcal/g가 최적의 성장을 나타낼 것으로 예측되며, 이때 단백질과 에너지 비율(P/E ratio)은 100mg protein/kcal가 적합한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2002년 한국학술진흥재단의 중점연구소 지원과제에 의하여 수행된 결과로 이에 감사드립니다(KRF-2002-005-F00001). 본 연구를 수행함에 있어서 많은 도움을 준 부경대학교 양식학과 어류영양학 실험실원과 사료영양연구소 연구원들과 원활한 실험진행을 위해 실험장소를 제공해 주신 부경대학교 양식학과 조재윤 교수님, 그리고 실험어를 지원해 주신 양만수산업협동조합 관계자 여러분께 깊은 감사를 표합니다.

참고문헌

Alexis, M. N., E. Papaparaskeva-Papoutsoglou and V. Theochari, 1985. Formulation of paractical diets for rainbow trout (*Salmo*

- gairdneri*) made by partial or complete substitution of fishmeal by poultry by-products and certain plant by-products. *Aquaculture*, 50, 61–73.
- AOAC, 1995. Official methods of analysis of the association of official analysis chemicals, 14th edition. Arlington. AV, 1141 pp.
- Babin, P. J., 1987. Apolipoproteins and the association of egg yolk proteins with plasma high density lipoproteins after ovulation and follicular atresia in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Biol. Chem.*, 262, 4290–4296.
- Bai, S. C. and D. M. Gatlin, 1994. Effects of L-lysine supplementation of diets with different protein levels and sources on channel catfish (*Ictalurus Punctatus*). *Aquaculture and Fish. Man.*, 25, 465–474.
- Ballestrazzi, R., D. Lanari, E. D. Agaro and A. Mion, 1994. The effect of dietary protein level and source on growth, body composition, total ammonia and reactive phosphate excretion of growing sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 127, 197–206.
- Cai, Y. and J. Wermerskirchen, 1996. Ammonia excretion indicates protein adequacy for fish. *Prog. Fish cult.*, 58, 124–127.
- Cowey, C. B., 1993. Some effect of nutrition and flesh quality of cultured fish. In: Kaushik, S. J. and P. Luquet (Eds), *Fish Nutrition in Practice*, Proc. of the IV Int. Symp. on Fish Nutrition and Feedings., Les Colloques INRA 6, pp. 227–236.
- De Silva S. S., R. M. Gunasekera, G. Gooley and B. A. Ingram. 2001. Growth of Australian shortfin eel, *Anguilla australis* elvers given different dietary protein and lipid levels. *Aquacult. Nutr.*, 7, 53–57.
- Degani, G., A. Horowitz and D. Levanon, 1985. Effect of protein level in purified diet and of density, ammonia and O₂ levels on growth of juvenile european eels, *anguilla anguilla*. *Aquaculture*, 46, 193–200.
- El-Sayed, A. M. and S. Teshima, 1992. Protein and energy requirements of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fry. *Aquaculture*, 103, 55–63.
- Galing, D. L. and R. P. Wilson. 1976. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *J. Nutr.*, 106, 1368–1375.
- Garrido, L. G., R. M. Chapuli and A. V. Adres, 1990. Serum cholesterol and triglyceride levels in (*Scyliorhinus canicula*) during sexual maturation. *J. Fish Biol.*, 36, 499–509.
- Gatlin, D. M., 1994. Advancements in nutrition of hybrid striped bass. *Aquacult. Mag.*, 20, 95–98.
- Hillestrad, M. and F. Johnsen, 1994. High energy/low protein diets for Atlantic salmon: effects on growth, nutrient retention and slaughter quality. *Aquaculture*, 124, 109–116.
- Kaushik, S. J., 1994. Nutritional strategies for the reduction of aquaculture wastes. Proc. of the Fisheries and Ocean Industrial Development, Research Center for Ocean Industrial Development, Pusan, Korea, pp. 115–132.
- Keembiyehetty, C. N. and R. P. Wilson. 1998. Effect of water temperature on growth and nutrient utilization of sunshine bass fed diets containing different energy/protein ratios. *Aquaculture*, 166, 151–162.
- Kim, K. W. and S. C. Bai, 1997. Fish meal analog as a dietary protein source in Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. *J. Aquacult.*, 10, 143–151.
- Kim, C. H. and P. Chin, 1995. The effects of dietary energy protein ratio on oxygen consumption, ammonia nitrogen excretion and body composition in juvenile rockfish, *Sebastes schlegeli*. *J. Korean Fish. Soc.*, 28, 412–420.
- McGoogan B. B. and D. M. Gatlin III, 1999. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus*. I. Effects of dietary protein and energy levels. *Aquaculture*, 178, 333–348.
- National Research Council, 1981. *Nutritional Energetics of Domestic Animals and Glossary of Energy Terms*. National Acad. Press, Washington, DC.
- National Research Council, 1993. *Nutrient Requirements of Warm water Fishes and Shellfishes*. National Acad. Press, Washington, DC.
- Nematipour, G. R., M. L. Brown and D. M. Gatlin, 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, 1973. Optimum level of protein in purified diet for eel, *Anguilla japonica*. *Bull. Freshwater Fish. Res. Lab.*, 22, 145–154.
- Peres, H. and A. Oliva-Teles, 1999. Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European sea bass juvenile (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 179, 325–334.
- Post, G., 1983. Nutrition and nutritional diseases of fish In: *Textbook of fish health*. T.F.H. Publications, Inc., Ltd., pp. 199–207.
- Reinitz, G. L., L. E. Orme, C. A. Lemm and F. N. Hitzel, 1978. Influence of varying lipid concentration with two protein concentrations in diets for rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Trans. Am. Fish. Soc.*, 107, 751–754.
- Samantaray, K. and S. S. Mohanty, 1999. Interactions of dietary levels of protein and energy on fingerling snakehead, *Channa striata*, *Aquaculture*, 156, 241–249.
- Shiau, S. Y. and C. W. Lan, 1996. Optimum dietary protein level and protein to energy ratio for growth of grouper (*Epinephelus malabaricus*). *Aquaculture*, 145, 259–266.
- Shiau, S. Y. and S. L. Huang, 1990. Influence of varying energy levels with two protein concentrations in diets for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) reared in seawater. *Aquaculture*, 91, 143–152.
- Song, M. H., 1995. Studies on utilization of blood meal as a source of dietary protein in growing common carp (*Cyprinus carpio*). MS. thesis, Pukyong National University, Busan, Korea, 34 pp.
- Stickney, R. R., 1977. Lipids in catfish nutrition. In: R. R. Stickney and R. T. Lovell (editors), *Nutrition and Feeding of Channel Catfish*, Southern cooperative Series Bulletin, 218, pp. 14–18.
- Takeuchi, T., Y. Shiina, T. Watanabe, S. Sekiya and K. Imaizumi, 1992. Suitable protein and lipid levels in diet for fingerlings of yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 1333–1339.
- Tibbetts S. M., S.P. Lall and D. M. Anderson, 2000. Dietary protein requirement of juvenile American eel, *Anguilla rostrata*

- fed practical diets. *Aquaculture*, 186, 145–155.
- Tibbetts S. M., S. P. Lall and D. M. Anderson, 2001. Optimum dietary ratio of digestible protein and energy for juvenile American eel, *Anguilla anguilla*, fed practical diets. *Aquacult. Nutr.*, 7, 213–220.
- Tuncer, H., R. M. Harrell and E. D. Houde, 1990. Comparative energetics of striped bass (*Morone saxatilis*) and hybrid (*M. Saxatilis*×*M. chrysops*) juveniles. *Aquaculture*, 86, 387–400.
- Wang, K. W., T. Takeuchi and T. Watanabe, 1985. Optimum protein and digestible energy level in diets for *Tilapia nilotica*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 51, 141–146.
- Winfrey, R. A. and R. R. Stickney, 1981. Effects of dietary protein and energy on growth, feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aurea*. *J. Nutr.*, 111, 1001–1012.
- Xianghua, L., 1988. Research on fish nutrition in China. In: S. de Silva (Ed), *Finfish Nutrition Research in Asia*. Proceedings of the Second Asian fish Nutrition Network Meeting, Singapore, pp. 92–95.
- Yokoyama, H. O., 1960. Studies on the origin, development and seasonal variation in the blood cells of perch, *Perca flavescens*. *J. Wild. Dis.*, 6, 1–202.

원고접수 : 2004년 10월 5일

수정본 수리 : 2005년 7월 15일