

사료의 단백질 및 에너지 함량이 쥐노래미 성장에 미치는 영향

이종관 · 이상민
국립수산진흥원

Effects of the Dietary Protein and Energy Levels on Growth in Fat Cod (*Hexagrammos otakii* Jordan et Starks)

Jong Kwan LEE and Sang-Min LEE

National Fisheries Research and Development Agency, Kijang-gun, Pusan 619-900, Korea

Two-month feeding experiment was conducted to investigate the optimum dietary protein level and energy to protein ratio in fat cod (*Hexagrammos otakii* Jordan et STARKS). The fish averaging 29 g were fed with one of the isocaloric diets containing 30, 40, 50 or 60% of protein, or with one of the isoproteic diets containing 9, 10, 11 or 12 of available energy/protein (E/P) ratio.

Weight gain and feed efficiency increased significantly with dietary protein level up to 50%, then decreased with 60% protein diet ($P<0.05$). Daily protein intake increased significantly with dietary protein level, whereas protein efficiency ratio decreased with dietary protein level ($P<0.05$). Second order polynomial regression analyses of percent weight gain and daily protein intake may indicate that the adequate dietary protein level is 45% and daily protein requirement per 100 g fish is 1.5 g for maximal growth. Weight gain, feed efficiency and protein efficiency from fish fed the diet containing 12 of E/P ratio were significantly higher than those from fish fed the other diets ($P<0.05$). Daily feed or protein intake from fish fed the diet containing 12 of E/P ratio was significantly lower than those from fish fed the other diets ($P<0.05$). Daily lipid intake increased significantly with dietary E/P ratio ($P<0.05$).

Key words : protein requirement, energy to protein ratio, fat cod

서 론

쥐노래미과 (Hexagrammidae)에 속하는 쥐노래미 (*Hexagrammos otakii* Jordan et Starks)는 우리나라의 전 연안에 서식하고 있으며 (국립수산진흥원, 1994), 아직까지는 이 종이 우리나라의 주요 양식 대상종은 아니지만, 앞으로 양식 가능성이 높은 것으로 간주되고 있다. 쥐노래미 양식에 관한 양어가들의 관심이 높아짐에 따라 이 종에 대한 양식 기술 개발의 필요성이 대두되기 시작하여 Lee et al. (1996)이 실내 사육 수조에서의 적정 사육 밀도에 대해 연구한 바 있다.

어류 양식에 있어서 사료는 양식 경영에 매우 중요하게 고려되어야 할 요소이나, 최근까지 우리나라

서는 해산어 양식시 주로 생사료가 사용되고 있어 사료 수급의 불안정, 취급 및 보관 경비의 과다 소요, 영양 성분의 유실 및 어장의 노후화 등 많은 문제점이 발생되고 있다. 뿐만 아니라, 어류 양식 산업의 급속한 발전으로 인해 최근에는 양식에 필요한 생사료가 절대적으로 부족하여 생사료 가격이 급등하게 되었다. 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 것은 양식 대상 어종에 적합한 배합 사료를 이용하는 것이다. 이를 위해서는 대상 어종이 요구하는 필수영양소의 종류와 요구량을 구명하는 연구가 가장 먼저 연구되어야 하며, 영양 요구에 관한 연구를 바탕으로 영양소가 골고루 배합된 질 좋고 경제적인 배합 사료가 개발될 수 있을 것이다. 따라서 쥐노래미의 본격적인 양식을 위해서는 이 종에 적합한 양질의 배합사료가 개발되어

사료의 단백질 및 에너지 함량이 쥐노래미 성장에 미치는 영향

체계적인 양식 경영에 대비하여야 할 것이다.

어류가 활동하고 성장하는 데는 수십 가지의 필수 영양소와 에너지가 필요하다. 이 중에서도 단백질은 어류의 성장에 가장 큰 영향을 미치는 필수 영양소이다. 또한, 사료의 영양 성분 중 단백질이 차지하는 비율이 매우 높고, 사료에 배합되는 단백질원의 가격이 매우 비싸기 때문에, 양식 대상어종의 적정 사료 단백질 함량을 구명하는 것은 경제적인 배합사료 개발에 필수적이다. 단백질 뿐 아니라 에너지 함량은 양어 사료 설계시 다음과 같은 면에서 매우 중요한 역할을

담당하고 있다. 즉, 사료의 에너지 함량이 낮으면 어체 내에서 단백질을 분해하여 에너지원으로 사용하기 때문에 단백질효율이 낮아지고, 사료중의 단백질원 차지 단가가 높기 때문에 그 만큼 양식 생산비용이 높아지는 셈이 된다. 반대로 사료의 에너지가 높으면, 사료 섭취량이 줄어들어 최적 성장에 필요한 영양소, 즉, 단백질, 필수아미노산, 필수 미량영양소 등의 섭취가 상대적으로 줄어들어 성장이 저해되고 어체에 지방 축적이 높아져 품질이 저해된다 (NRC, 1983; Lee et al., 1993b; Page and Andrews, 1973). 이와 같이 사료

Table 1. Composition (%) of diet for protein requirement

Ingredients	Protein level(%)			
	30	40	50	60
Vitamin-free casein		1	3	5
White fish meal	38	50	62	74
Dextrin	28	19	10	2
Wheat flour	10	8	6	4
Yeast	2	2	2	2
Squid liver oil	5	4.1	3.2	2.3
Vitamin mix. ¹	3	3	3	3
Mineral mix. ²	5	4.5	4	3
Carboxymethyl cellulose	3	3	3	4
α -Cellulose	6	5.4	3.8	0.7
Nutrient content (% , dry basis)				
Crude protein	29.5	39.3	48.6	57.6
Crude lipid	7.8	8.3	8.2	7.7
Crude ash	11.7	14.0	15.9	18.3
Crude fiber	8.2	7.5	5.8	2.5
Nitrogen-free extract ³	42.8	30.9	21.4	13.9
Available energy (kcal/100 g) ⁴	381	382	384	389
n-3HUFA ⁵	1.8	1.9	1.9	2.0

¹ Vitamin mix. contained the following diluted in cellulose (g/kg mix): ascorbic acid, 92.7; α -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 benjoic acid, 13.9; K₃, 1.4; A, 0.6; D₃, 0.002; choline chloride, 278.3; cyanocobalamin, 0.003.

² Mineral mix. contained the following ingredients (g/kg mix): MgSO₄ · 7H₂O, 80; NaH₂PO₄ · 2H₂O, 370; KCl, 130; Ferric citrate, 40; ZnSO₄ · 7H₂O, 20; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl₃ · 6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄ · H₂O, 2; CoCl₂ · 6H₂O, 1.

³ Calculated by difference.

⁴ Based on 4.5 kcal/g protein, 9 kcal/g lipid and 3 kcal/g NFE.

⁵ Highly unsaturated fatty acids (C_≥20).

의 단백질과 에너지의 함량이 양식 대상 어종의 요구에 맞지 않으면 경제적으로 손실이 초래될 뿐 아니라 수질 오염을 유발시키는 요인을 증가시킬 수 있기 때문에 사료의 단백질 및 에너지의 균형은 사료 설계시 매우 중요하게 고려되어야 한다. 그래서 본 연구에서는 쥐노래미 배합사료 개발에 필요한 자료를 제공하기 위해 쥐노래미 사료의 적정 단백질 및 에너지 함량을 조사하였다.

재료 및 방법

실험사료

사료의 적정 단백질 함량을 구명하기 위한 실험에서는 casein과 북양어분을 단백질원으로 하여, 사료의 단백질 함량이 30, 40, 50, 60%가 되도록 4종의 실험사료를 설계하였다 (Table 1). 에너지원으로 dextrin과 오징어 간유를 사용하여, 모든 실험사료 100 g 당 가용에너지가 385 kcal 전후가 되도록 조정하였는데, 사료의 단백질, 지질 및 탄수화물 (NFE: nitrogen-free extract)을 각각 4.5, 9.0 및 3.0 kcal/g (Lee and Lee, 1994)로 에너지를 계산하였다. 사료의 적정 에너지 함량을 조사하기 위한 실험에서는 북양어분을 단백질원으로 하여 모든 실험사료의 단백질 함량이 42% 전후가 되도록 하고, dextrin과 대두유를 각각 다른 비율로 첨가하여 가용에너지/단백질 (E/P) 비가 9, 10, 11, 12가 되도록 조정된 4종의 실험사료를 설계하였다 (Table 2).

이와 같이 설계된 원료들을 잘 혼합한 후 원료 100 g 당 물 40 g을 첨가하여 펠렛 제조기로 실험사료를 성형하였다. 제조된 실험사료를 -30°C 에 보관하면서, 오전 (09:00)과 오후 (17:00)로 나누어 하루에 2회 실험어가 먹을 때까지 손으로 던져주었다.

실험어 및 사육관리

경남 사천만의 낭장망에 채포된 4 cm 전후의 치어를 구입하여 해상가두리에서 약 7 cm까지 사육한 후 국립수산진흥원 울진수산종묘배양장 사육실로 수송하였다. 사육실험에 사용된 실험어는 29 g 전후로, 250 l FRP 수조 (수용적: 200 l)에 각각 2반복으로 15마리씩 수용하여 1995년 11월 1일부터 2개월간 사육하였

다. 실험어 크기에 따라 pellet 크기를 조정하였고, 사육수의 주수량은 각 실험수조마다 분당 5l로 조정하여 흘려주었으며, 실험수조마다 산소를 공급하여 주었다. 실험어는 1개월 간격으로 측정 전일 1~2일간 절식시킨 후 실험어를 MS222 100 ppm에 마취시켜 각 실험수조에 수용된 실험어 전체 무게를 측정하였다. 그 외 사육관리 방법은 Lee et al. (1996)의 실험에서와 같았으며, 사육기간 동안 수온은 $12\sim 16^{\circ}\text{C}$ 였다.

최초 어체의 성분분석용으로 20마리를 무작위로 표본 추출하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조마다 5마리씩 sample하여 냉동보관 (-70°C)하다가 성분 분석하였다.

성분분석

분석용으로 냉동 보관하던 어체의 성분분석을 위해 각 실험수조별로 냉동된 상태의 어체를 각각 masscolloider (Masuko Co., Ltd., Japan)에서 분쇄하였다. 실험사료 및 어체의 일반성분은 AOAC (1984)의 방법에 따라 분석하였는데, 조단백질 (N \times 6.25)은 Automatic analyzer (Vapodest 5/6, Gerhardt)를 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C 의 dry oven에서 4시간 동안 건조 후 함량을 구해 측정하였다. 또한, 조섬유는 Automatic analyzer (Fibertec, Tecator)를 이용하였고, 조회분은 550°C 의 회화로에서 4시간 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., 1993) program을 사용하여 검정하였다. 단백질 요구량은 증체율을 지표로 이차회귀곡선 (Cowey et al., 1972)을 이용하여 추정하였다.

결과 및 고찰

단백질 요구량

28.7 g 전후의 쥐노래미를 2개월간 사료의 단백질

Table 2. Composition (%) of diet for optimum available energy/protein (E/P) ratio

Ingredients	E/P ratio			
	9	10	11	12
White fish meal	58	58	58	58
Dextrin	20	14	8	2
Wheat flour	8	8	8	8
Yeast	2	2	2	2
Squid liver oil	2	2	2	2
Soybean oil		6	12	18
Vitamin mix. ¹	3	3	3	3
Mineral mix. ²	4	4	4	4
Carboxymethyl cellulose	3	3	3	3
Nutrient content (% , dry basis)				
Crude protein	43.7	42.1	42.5	41.2
Crude lipid	6.5	12.7	19.0	27.3
Crude ash	15.2	14.8	14.9	15.1
Crude fiber	1.7	1.7	1.7	1.7
Nitrogen-free extract ³	32.9	28.6	21.9	14.7
Available energy (kcal/100 g) ⁴	392	427	459	502
Energy/protein ratio	9.0	10.1	10.8	12.2
n-3HUFA ⁵	1.6	1.6	1.6	1.6

1, 2, 3, 4, 5 Refer to Table 1.

함량별로 2반복으로 사육 실험한 결과 (Table 3), 증체를 및 사료효율은 모두 단백질 50% 사료에서 가장 좋았고, 단백질 60% 사료에서 성장효과는 오히려 감소하여 4개 실험구 중에서 가장 낮은 값을 나타내었다 ($P < 0.05$). 일반적으로 타 어종의 경우, 요구량 이상의 단백질 함량이 섭취되면 성장이 더 이상 개선되지 않은 선에서 유지되거나 최대 성장점보다 다소 낮아지는 경향을 보이고 있으며 (Barrows et al., 1988; Cowey et al., 1972; El-Sayed and Teshima, 1992; Hidalgo and Alliot, 1988; Lee et al., 1993a; Parazo, 1990), 성장이 낮아졌다 하더라도 본 실험에서와 같이 사료의 단백질 함량이 증가됨에 따라 성장 및 사료효율이 증가되다가 단백질 60% 사료에서 급격히 낮아져 단백질 30% 사료보다 더 낮아진 것은 예상하지 못했던 현상이다. 반면에 적정 단백질 이상의 실험구에서도 본 실험에서와 같이 성장이 급격히 낮아진 연구 결과도 보고 (Santiago and Reyes, 1991; Siddiqui et al., 1988)되어 있어, 이러한 차이에 대해서는 앞으

로 어종, 어체 크기, 사료 에너지원의 종류와 량, 사육 환경 등을 고려하여 상세한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

단백질 요구량은 여러 가지 방법으로 추정되는데, 사료의 단백질 함량에 따른 어떤 성장인자를 지표로 하여 수학적인 방법이 사용되기도 하며, 사용 지표에 따라 추정 값이 달라질 수 있다 (Tacon and Cowey, 1985; Baker, 1986). 본 실험에서는 증체를을 지표로 이차회귀곡선상에서 단백질 요구량을 도출해 본 결과 (Fig. 1), 쥐노래미의 최대성장에 필요한 사료의 단백질 함량이 45%로 나타났다. 이와 같이 이차회귀곡선으로 추정한 단백질 요구량은 이차회귀곡선에서 최대 성장점, 즉, 생물학적 최대성장을 위한 요구량 (Moore et al., 1988)을 구하는 것인데, 다른 방법으로 추정한 요구량보다 수치가 높은 것이 특징이며 (Zeitoun et al., 1976), 사료 단가면에서 경제적이라고 할 수는 없고, 최소 요구량으로 간주하기 어렵다고 지적되고 있다 (Baker, 1986). 본 실험에서 이차회귀곡선식으로

Table 3. Performance of fish fed the different dietary protein levels after 2 months feeding trial¹

	Dietary protein level (%)			
	30	40	50	60
Weight gain (%)	147.7± 3.04 ^a	166.1± 2.61 ^c	191.5± 4.52 ^d	136.7± 0.70 ^a
Feed efficiency (%)	42.1± 0.84 ^b	45.0± 1.27 ^c	51.6± 0.35 ^d	37.6± 1.34 ^a
Daily feed intake ²	3.444± 0.072 ^a	3.386± 0.039 ^a	3.511± 0.069 ^a	3.282± 0.199 ^a
Daily protein intake ²	1.015± 0.021 ^a	1.331± 0.015 ^b	1.707± 0.033 ^c	1.890± 0.114 ^d
Daily lipid intake ²	0.268± 0.005 ^{ab}	0.281± 0.003 ^b	0.289± 0.005 ^b	0.253± 0.015 ^a
Protein efficiency ratio ³	1.43± 0.028 ^d	1.14± 0.035 ^c	1.06± 0.007 ^b	0.65± 0.021 ^a
Proximate analysis (%) of whole body				
Moisture	73.6± 0.63 ^a	76.2± 0.56 ^b	74.2± 0.77 ^{ab}	74.7± 1.06 ^{ab}
Crude protein	17.4± 1.06 ^a	15.8± 0.70 ^a	17.1± 0.35 ^a	17.4± 0.77 ^a
Crude lipid	3.4± 0.21 ^c	1.6± 0.21 ^a	2.9± 0.42 ^{bc}	2.1± 0.42 ^{ab}
Crude ash	3.9± 0.21 ^a	4.4± 0.14 ^a	3.9± 0.21 ^a	4.3± 0.28 ^a

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

² % of body wt.

³ Body wet wt. gain/Protein intake.

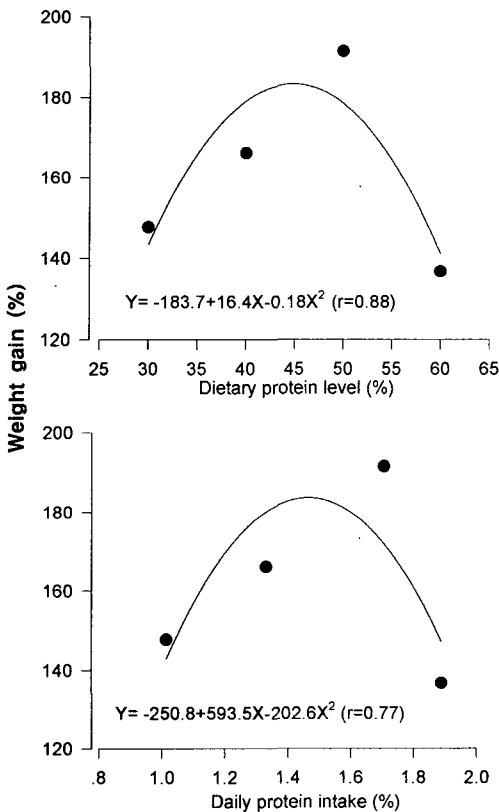


Fig. 1. Second order polynomial fitting of weight gain to dietary protein level or daily protein intake (g protein/100 g fish).

추정된 단백질 요구량 45%은 단백질 50% 사료를 먹은 실험어의 성장 값보다는 다소 낮은 수준이었다. 영양소 요구량 설정은 연구의 목적에 따라 최대 혹은 최소로 추정될 수 있으며, 단백질의 요구량은 사료가격이나, 수질 오염 면에서 최소 요구량을 설정하는 것이 타당하다고 생각된다. 최소 요구량 설정에 사용되는 방법의 한 가지로 broken line model (Robbins et al., 1979)이 이용되고 있는데 (Lee et al., 1993a), 본 실험에서 이 방법을 이용하여 증체율을 지표로 단백질 요구량을 추정된 결과 39%로 상당히 낮게 추정되었다. 이와 같이 최소 요구량이 성장 결과에서 나타난 실제 값보다 낮아진 것은 단백질 60% 사료의 성장 반응점이 매우 낮아진 것에 그 원인이 있는 것으로 판단된다. 즉, 수학적 방법으로 요구량 추정시 반응점의 범위나 값이 요구량에 쉽게 영향을 미칠 수 있다는 것이다. 따라서 요구량 이상에서 성장 반응점이 더 이상 증가되거나 감소되지 않음을 가정하고 있는 broken line model로 단백질 요구량 추정은 본 실험에서는 적용하기 어려울 것으로 생각된다. 위의 결과로 미루어 보아 쥐노래미 사료의 단백질 함량은 45~50%가 적정할 것으로 판단된다.

어류의 단백질 요구량은 어종에 따라서 달라질 뿐 아니라, 어체의 크기, 수온, 사료 급여방법, 사료 단백질의 질 및 에너지 함량 등 여러 요인에 영향을 받을 수 있다고 알려져 있다 (NRC, 1983). 타어종의 단백질

요구량을 살펴보면, 송어는 40% 내외 (Satia, 1974; Zeitoun et al., 1973; Ogino et al., 1976; Beamish and Medland, 1986), 조피볼락은 40% (Lee et al., 1993a), 방어, 참돔 및 넙치는 55% (Takeda et al., 1975; Yone, 1976), 자주복과 plaice (*Pleuronectes platessa*)는 50% (Kanazawa et al., 1980; Cowey et al., 1972), 돌돔과 striped bass (*Morone saxatilis*)는 45% 및 47% (Ikeda et al., 1988; 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. 이러한 연구 결과들과 서로 비교하여 보면, 본 실험에서 추정된 쥐노래미의 단백질 요구량 45~50%는 해산어 중에서는 중간정도에 속한다고 생각된다. 또한, 담수어류의 경우, 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 대체적으로 본 실험의 쥐노래미 요구량보다 낮은 수준이다.

일일사료섭취율은 실험구간에 서로 차이가 없었으나, 단백질섭취율은 사료의 단백질 함량이 증가됨에 따라 증가되는 경향을 보였다 ($P<0.05$). 단백질효율은 사료 단백질 함량이 증가될수록 유의하게 감소되었다 ($P<0.05$). 단백질 요구량 설정은 주로 사료중의 단백질 함량으로 표시하여 왔으나 백분율로 표시되는 단백질 요구량은 상대적인 값이기 때문에 단백질 이외의 영양소 함량이나 사료 급여율에 따라 달라진다 (Bowen, 1987; Tacon and Cowey, 1985). 단백질 요구량을 상대적인 값으로 표시하는 데 따르는 단점을 보완하기 위해, Tacon and Cowey (1985)와 Bowen (1987)은 단백질 요구량을 단위 어체중 당 하루에 필요한 단백질의 양인 일일단백질 요구량으로 표시할 것을 제안하고 있다. 본 실험에서는 가장 성장이 좋았던 실험구의 일일단백질섭취율이 어체중 100g 당 1.7g 이었으며, 이차회귀곡선상에서는 일일단백질 요구량이 어체중 100g 당 1.5g (Fig. 1)으로 나타났다.

전어체의 수분 함량은 사료 단백질 함량 40~60% 구간에서는 차이가 없었으나, 사료 단백질 30%구는 40%구보다 유의하게 낮은 값을 보였다 ($P<0.05$). 단

백질과 회분 함량은 실험구간에 차이가 없었으며, 지질 함량은 단백질 30% 실험구가 가장 높았고, 40% 실험구가 가장 낮았지만 ($P<0.05$), 사료의 단백질 함량 증감에 따른 특별한 경향은 없었다.

본 실험 결과로부터 100g 이하의 성장기 쥐노래미의 단백질 요구량은 45~50%, 일일단백질 요구량은 어체중 100g 당 1.5~1.7g으로 추정된다.

에너지/단백질 비

사료의 단백질 함량을 42% 전후로 고정하고 에너지 함량을 달리한 4종의 실험사료로 28.8g 전후의 쥐노래미를 2개월간 2반복으로 사육 실험한 결과, 69~74g까지 성장하였으며, Table 4에 표시한 바와 같이 증체율은 E/P 비 12인 실험구가 E/P 비 9와 10인 실험구보다 유의하게 높았고, 사료효율은 E/P 비 12인 실험구가 E/P 비가 11인 실험구보다 높았으며 ($P<0.05$), 그 외 실험구들은 서로 유의차가 없었다. 에너지 함량이 제일 높은 E/P 비 12인 실험구의 일일사료섭취율 및 단백질섭취율이 가장 낮았으나, 지질섭취율 및 단백질효율은 가장 높았다 ($P<0.05$). 이와 같은 성장 결과로부터 쥐노래미 사료의 적정 E/P 비는 12정도가 적당할 것으로 생각된다.

이와 같이 에너지 값이 높은 사료에서 성장효과가 좋은 것으로 보아 쥐노래미의 에너지 요구량을 사료 설계시 다소 낮게 예상했던 것 같다. 조피볼락의 적정 DE/P 비가 단백질 함량 40%와 45% 사료에서 모두 8 kcal/g protein (본 실험에서 사용된 가용에너지 계산값으로 환산시, E/P 비 7 전후)으로 보고 (Lee et al., 1993b)되어, 본 실험의 쥐노래미보다 훨씬 낮은 수준이었다. 여러 어종의 적정 에너지/단백질 비에 대해 연구된 결과들을 보면, 틸라피아 8~15, 송어 13, 차넬메기와 잉어 10 전후, 방어 및 대구 7~8 (Wang et al., 1985; Takeuchi et al., 1978; Page and Andrews, 1973; Garling and Wilson, 1976; Murai et al., 1985; Winfree and Stickney, 1981; Lie et al., 1988; Takeda et al., 1975; Shimeno et al., 1980)로 나타나 쥐노래미의 적정 E/P 비 12는 다른 어종에서 보다 다소 높은 수준에 해당된다.

사료의 적정 에너지 함량을 구명하는 것은 어류가 사료의 영양소를 효율적으로 이용할 수 있고, 즉, 사료의 단백질 및 에너지 함량이 균형을 이루므로서

Table 4. Performance of fish fed the diets with different available energy/protein (E/P) ratios after 2 months feeding trial¹

	E/P ratio			
	9	10	11	12
Weight gain (%)	139.3± 3.60 ^a	142.1± 4.52 ^a	148.1± 2.40 ^{ab}	156.4± 3.81 ^b
Feed efficiency (%)	38.2± 0.07 ^{ab}	37.7± 2.12 ^{ab}	34.4± 1.06 ^a	40.4± 1.69 ^b
Daily feed intake ²	3.901± 0.060 ^b	3.975± 0.060 ^b	3.956± 0.001 ^b	3.640± 0.009 ^a
Daily protein intake ²	1.703± 0.026 ^b	1.675± 0.025 ^b	1.681± 0.000 ^b	1.500± 0.004 ^a
Daily lipid intake ²	0.253± 0.003 ^a	0.505± 0.007 ^b	0.751± 0.001 ^c	0.994± 0.002 ^d
Protein efficiency ratio ³	0.87± 0.007 ^a	0.89± 0.049 ^{ab}	0.81± 0.028 ^a	0.98± 0.042 ^b
Proximate analysis (%) of whole body				
Moisture	75.1± 0.56 ^a	74.6± 0.91 ^a	74.9± 0.42 ^a	74.4± 0.28 ^a
Crude protein	16.9± 0.98 ^a	17.6± 0.28 ^a	16.3± 0.00 ^a	17.0± 0.07 ^a
Crude lipid	2.2± 0.21 ^a	2.1± 0.00 ^a	3.1± 0.35 ^b	3.0± 0.21 ^b
Crude ash	4.0± 0.07 ^a	4.1± 0.35 ^a	3.9± 0.28 ^a	4.1± 0.28 ^a

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

² % of body wt.

³ Body wet wt. gain/Protein intake.

단백질이 에너지원으로 사용되는 것을 최소화시켜 사료의 단백질이 성장에 최대한 이용되므로서 사료 비용을 감소시킬 수 있다. 이러한 단백질 절약효과 차원에서의 연구는 주로 에너지원으로 지질이나 탄수화물 함량을 조정하여 연구되어 있다 (Beamish and Medland, 1986; De Silva et al., 1991; Degani and Viola, 1987).

전어체의 수분, 단백질 및 회분 함량은 사료의 에너지 함량에 영향을 받지 않았으나, 지질 함량은 에너지가 높은 사료인 E/P 비 11과 12 사료에서 유의적으로 높은 값을 보였다 (P<0.05). 사료의 에너지 함량이 증가됨에 따라 여분의 에너지가 어체 지질 함량을 증가시켜 양식어의 품질이 저하된다는 보고 (Lee et al., 1993b; Page and Andrews, 1973)도 있다. 본 실험에서도 사료의 에너지 함량이 높아짐에 따라 전어체의 지질 함량이 증가하여 DE/P 비 11과 12 실험구가 타 실험구보다 유의적으로 증가되기는 하였으나 (P<0.05), 수치적으로 큰 차이는 없었다.

요 약

쥐노래미의 단백질 요구량을 조사하기 위해 카제인

과 북양어분을 단백질원으로 하여, 사료의 단백질 함량이 30, 40, 50, 60%가 되도록 조정한 4종의 실험사료와 사료의 적정 에너지 함량을 조사하기 위해 가용 에너지/단백질 (E/P) 비가 9, 10, 11, 12인 4종의 실험사료를 각각 설계하여 사육실험을 실시하였다.

29g 전후의 쥐노래미를 2개월간 사료의 단백질 함량별로 2반복으로 사육 실험한 결과, 증체율 및 사료 효율은 모두 단백질 50% 사료에서 가장 좋았고, 단백질 60% 사료에서 성장효과는 오히려 감소하여 4개 실험구 중에서 가장 낮은 값을 나타내었다 (P<0.05). 수학적 방법으로 이차회귀곡선상에서 증체율을 지표로 하여 단백질요구량을 추정한 결과 최대 단백질 요구량이 45%로 나타났다. 일일사료섭취율은 실험구간에 서로 차이가 없었으나, 단백질섭취율은 사료의 단백질 함량이 증가됨에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 단백질효율은 사료 단백질 함량이 증가될수록 유의하게 감소하였다 (P<0.05). 가장 성장이 좋았던 실험구의 일일단백질섭취율이 어체중 100g 당 1.7g이었으며, 이차회귀곡선상에서는 일일단백질 요구량이 어체중 100g 당 1.5g으로 나타났다. 전어체의 수분 함량은 사료 단백질 함량 40~60%구간에서는 차이가 없었으나, 사료 단백질 30%구는 40%구보다 유의하게 낮은 값을 보였다 (P<0.05). 단백질과 회분 함량은

실험구간에 차이가 없었으며, 지질 함량은 단백질 30% 실험구가 가장 높았고, 40% 실험구가 가장 낮았다 ($P < 0.05$). E/P 비가 다른 사료로 사육 실험한 결과, 증체율, 사료효율 및 단백질효율이 E/P 비가 12인 실험구가 다른 실험구보다 높은 값을 보였다. 전어체의 수분, 단백질 및 회분 함량은 사료의 에너지 함량에 영향을 받지 않았으나, 지질 함량은 에너지가 높은 사료인 E/P 비 11과 12 사료에서 유의적으로 높은 값을 보였다.

본 실험 결과로부터 평균체중 100g 이하의 성장기 쥐노래미의 단백질 요구량은 45~50%, 일일단백질 요구량은 어체중 100g 당 1.5~1.7g으로 추정되며, 쥐노래미 사료의 적정 E/P 비는 12 전후가 적당할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemicals, 14th edition. Arlington. AV. 1141 pp.
- 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. *Progressive Fish-Culturist*, 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.
- De Silva, S.S., R.M. Gunasekera and K.F. Shim. 1991. Interactions of varying dietary protein and lipid levels in young red tilapia: evidence of protein sparing. *Aquaculture*, 95, 305~318.
- Degani, G. and S. Viola. 1987. The protein sparing effect of carbohydrates in the diet of eels (*Anguilla anguilla*). *Aquaculture*, 64, 283~291.
- 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.
- Carling, 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.
- Ikedo, 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.
- Lee, J. Y., Y. J. Kang, S. M. Lee and I.B. Kim. 1993a. Protein requirements of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *J. Aquacult.*, 6, 13~27 (in Korean with English abstract).
- Lee, J. Y., Y. J. Kang, S. M. Lee and I. B. Kim. 1993b. Optimum digestible energy to protein ratio in diets for the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *J. Aquacult.*, 6, 29~46 (in Korean with English abstract).
- Lee, S. M., J. Y. Lee and S. B. Hur. 1994. Essential

- lity of dietary EPA (eicosapentaenoic acid) and DHA (docosahexaenoic acid), and importance of dietary EPA/DHA ratio in the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. Bull. Korean Fish. Soc., 26, 477~492.
- Lee, S. M., and J. Y. Lee 1994. Effects of dietary α -cellulose levels on the growth, feed efficiency and body compositions of Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. J. Aquacult., 7, 97~107 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.K., S.C. Kim and S.M. Lee. 1996. Influence of stocking density on growth, feed efficiency and body composition of juvenile fat cod (*Hexagrammos otakii* Jordan et STARKS) in the indoor culture system. J. Aquacult., 9, in press.
- Lie, ϕ , E. Lied and G. Lambertsen. 1988. Feed optimization in Atlantic cod (*Gadus morhua*) : fat versus protein content in the feed. Aquaculture, 69, 333~341.
- 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.
- Moore, B. J., S.S.O. Hung and J.F. Medranno. 1988. Protein requirement of hatchery produced juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). Aquaculture, 71, 235~245.
- Murai, T., T. Akiyama, T. Takeuchi. 1985. Effect of dietary protein and lipid levels on performance and carcass composition of fingerling carp. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 51, 605~608.
- Nose, T. 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). 1983. Nutrient Requirements of Warmwater Fishes and Shellfishes. National Acad. Press, Washington, D.C. 102 pp.
- 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 IV. 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, *Chrysophrys 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.
- Satia, B.P. 1974. Quantitative protein requirements of rainbow trout. Prog. Fish Cult., 36, 80~85.
- Shimeno, S., H. Hosokawa, M. Takeda, and H. Kajiyama. 1980. Effect of calorie to protein ratios in formulated diet on the growth feed conversion and body composition of young yellowtail. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 46, 1083~1087.
- 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.
- SPSS for Window. 1993. Base System User's

- Guide, Release 6.0, SPSS Inc., 444N. Michigan Avenue, Chicago, IL, 60611.
- Tacon, A.G.J. and C.B. Cowey. 1985. Protein and amino acid requirements. In Peter Tytler and Peter 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., M. Yokoyama and T. Watanabe. 1978. Optimum ratio of dietary energy to protein for rainbow trout. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 44, 729~732.
- 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.
- 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.
- 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.
- Winfree 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.
- 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. Board 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. Board Can., 31, 1145~1148.
- Zeitoun, I.H., D.E. Ullery, D.E. Magae, J.L. Gill and W.G. Bergen. 1976. Quantifying nutrient requirements of fish. J. Fish. Res. Board Can., 33, 167~172.
- 국립수산진흥원. 1994. 유용어류도감. 299pp.

1996년 4월 15일 접수

1996년 7월 5일 수리