

사료내 단백질 수준이 해덕(*Melanogrammus aeglefinus*)의 성장과 사료이용효율에 미치는 영향*

김정대 · Santosh P. Lall**

강원대학교 동물자원과학대학 동물영양자원공학과

**Institute for Marine Biosciences, National Research Council, 1411 Oxford St.,
Halifax, N.S., Canada B3H 3Z1

Effects of Dietary Protein Concentration on Growth and Feed Utilization of Juvenile Haddock (*Melanogrammus aeglefinus*)

Jeong D. Kim and Santosh P. Lall*

Department of Feed Science and Technology, College of Animal Resources Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea,

*Institute for Marine Biosciences, National Research Council, 1411 Oxford St., Halifax, N.S., Canada B3H 3Z1

The effects of dietary protein level on growth, feed utilization and liver size were studied with juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) of 6.88 ± 0.54 g (mean \pm SD). Five isoeNERgetic diets containing 44.4 to 64.7% protein were fed to triplicate groups of 50 fish in a flow-through system for 6 weeks. All fish showed a relative increase of more than 300% in final weight. There were, however, no significant differences ($P > 0.05$) in weight gain (16.1 to 17.3 g) and specific growth rate (2.9 to 3.0) among fish groups. A higher protein diets resulted in a lower feed intake. Feed: gain ratio linearly improved ($P < 0.05$) when protein level increased from 44.4 to 59.7%. The lowest protein efficiency ratio was observed in fish fed the highest protein diet. Hepatosomatic index of fish significantly decreased from 10.7 to 7.3% with an increase in protein level. Results from this study suggest that haddock could grow well even when fed the diet with protein lower than 44.4%.

Key words : *Melanogrammus aeglefinus*, Protein level, Growth, Feed utilization, Liver size

서 론

해덕(haddock, *Melanogrammus aeglefinus*)은 Atlantic cod, silver hake 및 pollock등이 포함된 대구과 어류의 어종이다(Coad, 1995). 해덕는 냉수성으로 자연 서식지에서는 redfish, capelin 그리고 sandeel과 같은 어류를 포식하며 자란다(Jiang and Jorgensen, 1996). 연어류 양식에 국한된 캐

나다 대서양 지역에서는 어종의 다변화를 위해 냉수성의 해덕을 주요 전락어종으로 개발하기 위한 집중적인 연구를 시도하고 있다(Waiwood, 1994). 캐나다에서는 해덕에 관한 연구가 첫발을 내딛고 있는 반면, 지난 십여년간 같은 대구과 어종인 대구 (*Gadus morhua*)의 영양에 관하여는 상대적으로 많은 연구결과(Lied et al., 1982; Lie et al., 1986; Dos Santos and Jobling, 1988; Herme

*이 연구는 '97년도 강원대학교 기성회 교수 해외 연구지원에 의하여 이루어졌음.

et al., 1989; Foster et al., 1993; Herme and Kahrs, 1997)가 노르웨이 연구자들에 의해 보고되었다. 그러나, 사료단백질의 중요성에도 불구하고 단백질 요구량에 관한 연구결과는 지금까지 매우 드물게 보고되었다. Lie et al. (1988)은 사료내 단백질, 지방 및 탄수화물로부터의 이용 가능 에너지가 각각 60%, 25% 및 15%로 구성될 때 대구의 적정 성장이 이루어질 수 있다고 보고하였다. 후속적으로, Jobling et al. (1991)은 사료내 단백질 에너지와 총 에너지의 비율이 0.4에서 0.5일 때 육성 대구가 최적 성장을 보였다고 보고하였다. 그러나 이러한 결과는 적정 성장을 위한 단백질의 양적수준을 의미하는 것이 아니라 상대적 수준을 의미한다. 성장이란 체 단백질의 증가를 의미한다(Bondi, 1987). 단백질은 사료내 가장 값비싼 구성원소이기 때문에 대상어종의 총생산경비에 상당한 비중을 차지할 수 있다. 따라서, 사육 대상어종의 단백질 요구량은 총생산비의 절감을 위해 무엇보다 먼저 정확하게 측정되어야 한다.

한편, 여분의 지방을 소화기관 주위에 축적지방으로 저장하는 타어종과는 달리 대구과 어류는 간(liver)에 지방을 축적한다(Love, 1970). 사료내 지방의 수준이 높을수록 축적지방의 증가로 인한 간 무게의 유의적인 증가가 일어난다는 것은 여러 연구자들에 의해 보고되었다(Lie et al., 1986, 1988; Jobling et al., 1991; Grant et al., 1998). 그러나, 관행사료를 섭취한 해덕의 간내 지방축적 수준에 관한 연구는 지금까지 보고되지 않았다. 본 연구는 단백질 함량을 달리한 동 에너지 함량의 실험사료를 급여한 대구의 성장과 사료이용효율 및 간 중량지수를 조사하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

실험동물, 실험조건 및 실험사료

캐나다 해양연구소 시험사육장에서 부화되어 사육된 평균 어체중 $6.88 \pm 0.54\text{g}$ 의 해덕(*Melano-*

grammus aeglefinus) 치어를 사육실험에 이용하였다. 각 사육수조당 50마리의 어류를 15개 원형수조에 배치한 후 사육실험 개시시까지 3주간 적응시켰다. 이 기간중에는 5종의 실험사료를 동일한 양으로 혼합한 사료를 하루 세 번씩 급여하였다. 심해로부터 공급된 여과해수(염도, 30‰)는 자외선 살균을 거친후 유수식의 원형수조(수량, 250L)에 분당 4 L로 공급되었다. 실험개시시 각 수조의 어류에 대한 계량 및 마리수 측정을 수행하였으며, 실험사료는 6주간 하루 세 번씩 육안으로 보아 섭취도가 떨어질때까지 급여하였다. 사육실내 광주기는 12h dark : 12h light로 유지하였으며, 사육수 표층의 조도는 40에서 60 lux였다. 용존산소와 수온은 매일 조사하였으며 실험기간 동안의 평균치는 각각 11mg/ℓ 및 13°C 이었다.

원료사료에 대한 연어류의 가소화 에너지를 이용하여(NRC, 1993), kg당 가소화 에너지 약 16.7MJ을 함유하는 5종의 실험사료를 5%의 수준 등급으로 풍건물 기준 40~60% (건물기준 44.4~64.7%)의 단백질을 함유하도록 제조하였다(Table 1). 단백질 이용율의 개선을 위해 각 사료내 단백질 수준의 25%를 카제인(casein)으로 공급하였다. 어분과 분쇄소맥은 다시 분쇄기(Fitz mill, The Fitzpatrick Co., Ill., USA)를 이용하여 미세하게 분쇄(300 μm)한 후 사용하였다. 비타민과 미네랄 혼합물은 분쇄소맥과 혼합하여 소형 Hobart mixer를 이용하여 균질화한 후 콜린과 옥수수 전분을 추가하여 대형 Hobart mixer (Model H600T, Rapids Machinery Co., Iwoa, USA)로 혼합한 다음 타원료를 추가하였다. 각 혼합된 사료는 스틱 펠릿기(California Pellet Mills, San Francisco)를 이용하여 직경 1.5 mm 및 2.4 mm로 성형한 후 열풍순환 건조기로 30°C에서 24시간 건조시킨 후 사용시까지 냉동보관(-20 °C) 하였다.

분석방법

실험 개시시 마취제(tricane methanesulfonate)를 이용 10마리의 개시어를 샘플링하여 어체중과 간 무게를 측정하였다. 동일한 방법으로 실험 중

사료내 단백질 수준이 해덕(*Melanogrammus aeglefinus*)의 성장과 사료이용효율에 미치는 영향

Table 1. Ingredient composition (%) of the experimental diets

Ingredient	Dietary protein levels				
	40	45	50	55	60
Fish meal ¹	25.8	32.4	38.5	44.8	51.1
Krill meal ²	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
CPSP-G ³	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Casein ⁴	11.1	12.5	13.9	15.3	16.7
Fish oil ⁵	10.1	7.8	5.1	2.5	-
Ground wheat ⁶	31.1	24.5	19.8	14.5	9.0
Whey ⁷	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Vit. premix ⁸	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Min. premix ⁹	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Choline ⁴	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Corn starch ¹⁰	5.7	6.6	6.5	6.7	7.0

¹Composed of 75% of herring meal (Sea Life Fisheries Inc., Canada) and 25% of Norse-LT 94 (Silfas Karmsund AS, Norway).

²Special Marine Products Ltd., West Vancouver, Canada.

³Hydrolyzed fish meal, Sopropêche, France.

⁴US Biochemical, Cleveland, OH.

⁵Stabilized with 0.06% ethoxyquin, Commeau Seafood, Saulnierville, NS.

⁶Dover Mills Ltd., Canada.

⁷Farmers, Truro, Canada.

⁸Vitamin added to supply the following (per kg diet): vitamin A, 8000 IU; vitamin D₃, 4500 IU; vitamin E, 300 IU; vitamin K₃, 40 mg; thiamine HCl, 50 mg; riboflavin, 70 mg; D-Ca pantothenate, 200 mg; biotin, 1.5 mg; folic acid, 20 mg; vitamin B₁₂, 0.15 mg; niacin, 300 mg; pyridoxine HCl, 20 mg; ascorbic acid, 300 mg; inositol, 400 mg; BHT, 15 mg; BHA, 15 mg.

⁹Mineral added to supply the following (per kg diet): manganous sulfate (32.5% Mn), 61.5 mg; ferrous sulfate (20.1% Fe), 62.3 mg; copper sulfate (25.4% Cu), 19.8 mg; zinc sulfate (22.7% Zn), 165.2 mg; cobalt chloride (24.8% Co), 20.2 mg; sodium selenite (45.6% Se), 1.1 mg; sodium fluoride (45.2% F), 9.4 mg.

¹⁰Pregelatinized, National Starch and Chemical Co., USA.

료시 반복당 5마리의 어류를 무작위로 채취하여 어체중과 간 무게를 측정하였다. 사료의 일반성분(Table 2)은 AOAC(1990)의 방법에 따라 분석하였는데, 수분은 105°C의 오븐에서 24 시간 건조하였으며, 단백질(N×6.25)은 켈달 방법으로, 지방은 에테르추출법으로, 조섬유는 1.25% H₂SO₄ 용액과 1.25% NaOH 용액으로 소화시킨 후, 회분은 550°C에서 12시간 회화시켜 분석하였다. 칼슘 함량은 ammonium oxalate 용액으로 침전시킨 후 H₂SO₄ 용액과 반응시켜 KMnO₄로 적정하여 구하였으며, 인(P)은 vandate molybdate-yellow 법으로 470nm에서 spectrophotometer로 분석하

였다. 얻어진 결과의 통계적 분석은 분산분석과 Duncan (1955)의 multiple range test에 의하여 SAS statistics package (SAS Inst. Inc., 1985)를 이용하여 실시하였다.

결과 및 고찰

단백질의 함량을 달리한 실험사료를 개시어체 중 6.88g의 해덕 치어에 6주간 급여하여 측정된 성장률 및 사료이용효율은 Table 3에 나타난 바와 같다. 본 실험기간 동안 모든 처리구내 한 마리의 폐사어도 발생하지 않았으며, 모든 어류가

Table 2. Chemical composition (g/100 g) of the experimental diets given on as-fed basis

Composition	Protein level (%)				
	40	45	50	55	60
Moisture	9.8	9.4	8.6	8.2	8.1
C. protein	40.1	44.8	49.7	54.8	59.5
C. lipid	16.3	15.1	12.6	10.5	8.0
C. fiber	1.6	1.1	0.8	0.5	0.3
C. ash	5.2	5.7	6.3	6.8	7.5
NFE ¹	27.0	23.9	22.0	19.2	16.6
Ca	0.7	0.8	0.9	1.1	1.1
P	1.0	1.1	1.2	1.3	1.2

¹Nitrogen-free extracts = 100-(moisture + c. protein + c. lipid + c. fiber + c. ash).

Table 3. Growth and feed utilization of fish fed the diets with different protein levels for 6 weeks¹

Protein level in diet (%) ²	Initial wt. (g/fish)	Wt. gain (g/fish)	SGR ³	Feed intake (g DM/fish)	Feed:gain ratio ⁴
40 (44.4)	6.88 ± 0.42 ^{ns}	16.10 ± 0.20 ^{ns}	2.88 ± 0.08 ^{ns}	12.27 ± 0.23 ^a	0.76 ± 0.01 ^a
45 (49.4)	6.90 ± 0.41	16.73 ± 0.40	2.94 ± 0.08	11.80 ± 0.15 ^a	0.71 ± 0.01 ^b
50 (54.3)	6.87 ± 0.38	17.34 ± 0.83	3.00 ± 0.02	11.78 ± 0.43 ^a	0.68 ± 0.01 ^c
55 (59.7)	6.89 ± 0.33	17.30 ± 0.19	3.00 ± 0.09	10.85 ± 0.04 ^b	0.63 ± 0.01 ^d
60 (64.7)	6.87 ± 0.30	16.77 ± 0.41	2.95 ± 0.04	10.44 ± 0.18 ^b	0.62 ± 0.01 ^d

¹Values (means ± SE of three replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P > 0.05) from each other.

²Values within brackets are % of dietary protein on dry matter basis.

³Specific growth rate = [ln(final wt.) - ln(initial wt.)]/duration × 100.

⁴Feed intake, DM/wet wt. gain.

실험사료를 왕성하게 잘 섭취하였다. 증체량은 단백질 수준이 44.4%에서 59.7%로 증가함에 따라 16.1g에서 17.3g으로 증가하였으나 단백질 수준이 가장 높았던 사료 섭취구에서는 약간 떨어졌다. 그러나 전체적으로 유의성은 발견되지 않았다. 동일하게 특이성장율(SGR) 또한 2.88에서 3.00으로 유의성이 없었다(P > 0.05). 그러나 건물 사료 섭취량은 단백질 함량이 54.3%로 증가할때까지는 유의적인 차이를 보이지 않았으나 그 이상의 수준에서는 유의적으로 감소하였다. 사료계수(증체단위당 건물사료 섭취량)는 단백질 수준의 증가와 함께 유의적으로 증가하였으나 단백질 59.7% 및 64.7% 섭취구에서는 유의성이 없었다. 사양실험 6주간 한 마리의 어류가 섭취한 질소, 지방 및 가용무질소물(NFE)의 함량에 따른

단백질 이용효율(PER) 및 간 중량지수(HSI)는 Table 4에 나타난 바와 같다. 가장 높은 PER (2.95)은 단백질 함량이 가장 낮은 44.4% 섭취구에서 그리고 가장 낮은 PER(2.48)은 단백질 함량이 가장 높은 64.7% 섭취구에서 발견되었다. 한편, 간 중량지수 또한 PER과 유사한 경향으로 나타났다는데, 모든 처리구가 개시어의 HSI (6.8%)에 비해 증가하였다.

영양소 요구량은 일반적으로 등급화된 특정 영양소의 급여에 따른 성장반응곡선으로 결정된다 (Cowey and Luquet, 1983). 그러나 본 실험의 결과 사료내 단백질 수준의 차이에도 불구하고 증체량과 SGR은 유의적인 차이를 보이지 않았다. 자연환경내에서 해덕의 먹이습성은 육식성으로 알려져있기 때문에(Jiang and Jorgensen, 1996)

Table 4. Nutrient intake, protein efficiency ratio and hepatosomatic index of fish fed the diets with different protein levels for 6 weeks¹

Protein level in diet (%)	Nutrient intake (g/fish) ²			PER ⁴	HSI ⁵ (%)
	Nitrogen	Lipid	NFE ³		
40 (44.4)	0.87 ^b (44)	2.22 ^a (34)	3.69 ^a (21)	2.95 ^a	10.7 ^a
45 (49.4)	0.93 ^b (49)	1.97 ^b (32)	3.13 ^b (19)	2.87 ^a	10.3 ^a
50 (54.3)	1.02 ^a (55)	1.62 ^c (27)	2.84 ^c (18)	2.71 ^b	9.0 ^b
55 (59.7)	1.04 ^a (62)	1.24 ^d (23)	2.28 ^d (16)	2.67 ^b	8.7 ^b
60 (64.7)	1.08 ^a (69)	0.91 ^e (18)	1.90 ^e (14)	2.48 ^c	7.3 ^c

¹Values (means of three replicate groups) in the same column sharing a common superscript were not significantly different (P>0.05) from each other.

²Values in brackets are % relative to total energy intake (Lie et al., 1988).

³Nitrogen-free extracts.

⁴Protein efficiency ratio = wet wt. gain/protein (N × 6.25) intake.

⁵Hepatosomatic index = wet liver wt./body wt. × 100; that of the initial fish was 6.82.

본 실험사료의 단백질을 44.4%에서 64.7% 수준으로 조정하였으나, 본 실험의 결과 적정성장을 위한 건물사료내 단백질 요구량이 44.4% 이하로 떨어질 가능성도 있음을 시사한다. 한편, 고단백질 사료구의 경우 사료섭취량의 감소에 따른 사료계수의 유의적 개선현상이 발견되었는데, 이것은 총에너지에 대한 단백질 에너지의 비율이 상대적으로 타 처리구에 비해 높았기 때문인 것으로 보인다(Table 4). 아울러, 한 마리가 6주동안 섭취한 영양소의 상대적 에너지 비율을 고려할 때(Table 4), 59.7% 단백질 사료는 Lie et al. (1988)이 제시한 cod의 적정 성장을 위한 사료내 에너지 분포비율과 거의 일치한다.

단백질 이용효율(PER)은 사료내 단백질 수준이 증가하거나 단백질 섭취량이 증가할수록 감소한다(Pongmaneerat and Watanabe, 1991; Santinha et al., 1996; 김 등, 1997). 이러한 결과는 고수준의 사료가 공급될 경우 사료내 단백질이 에너지 목적으로 사용되어 암모니아로 배설되기 때문이다(Lied and Braaten, 1984). 따라서, 단백질 요구량을 PER에 의거하여 결정하는 것은 바람직하지 않다(Gurure et al., 1995). 한편, 간 중량지수(HSI)는 단백질 수준이 증가함에 따라 유의적으로(P<0.05) 감소하였는데, 이것은 총에너지에 대한 단백질 에너지의 상대적 비율 증가에

기인하고 있다. Jobling et al.(1991)은 1.5kg 이상의 대구에 있어 사료내 단백질 에너지의 상대적 비율이 0.4~0.45일 때 적정 성장이 이루어지며, 이와 함께 간내 과잉의 지방축적 현상이 유발되지 않는다고 하였다. 그러나 이러한 수치가 0.45 이하로 떨어질 경우 간내 지방축적량은 유의적으로 증가하는데, 이같은 현상을 피하기 위해서는 고단백-저지방 사료의 사용이 권장된다(Lie et al., 1986). 본 실험의 결과는 이러한 현상을 잘 입증하는데, 단백질 수준이 44.4%에서 64.7%로 증가함에 따라, 단백질 에너지의 상대적 섭취비율도 44%에서 69%로 증가하고 그 결과 HSI가 10.7%에서 7.3%로 감소하였다. 개시어의 수치(6.8)에 비교할 경우 최고수준의 단백질 섭취구는 거의 HSI에 있어 큰 차이를 보이지 않았다.

요 약

평균 어체중 6.88±0.54g의 해덕(*Melanogrammus aeglefinus*)를 사육수조당 50마리씩 15개 원형수조에 배치한 후 6주간 사육실험을 실시하였다. 우수식 수조내 수량은 250 ℓ였으며 유속은 분당 4 L, 실험기간 동안의 용존산소와 수온 평균치는 각각 11mg/ℓ 및 13°C 이었다. 건물기준으로 단백질 수준을 44.4-64.7%로 달리하고 가소화 에너

지를 공히 약 16.7MJ을 함유한 5종의 실험사료를 하루 세 번씩 섭취도가 떨어질때까지 급여하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

증체량은 단백질 수준이 증가함에 따라 16.1g에서 17.3g으로 증가하였으나 처리구간 유의성은 인정되지 않았다($P>0.05$). 그러나 건물사료 섭취량은 단백질 함량이 54.3% 이상의 수준에서는 유의적으로 감소하였다. 증체단위당 건물사료 섭취량은 단백질 수준의 증가와 함께 유의적으로 증가하였으나 단백질 59.7% 및 64.7% 섭취구에서는 유의성이 없었다. 가장 우수한 단백질 이용 효율(2.95)은 단백질 함량이 가장 낮은 44.4% 섭취구에서 나타났으며, 64.7% 섭취구는 가장 저조한 수치(2.48)를 보였다. 간 중량지수는 단백질 수준의 증가와 함께 10.7%에서 7.3%로 유의적으로 감소하였다. 본 실험의 결과 성장율에 기반할 경우 해당의 건물사료 적정 단백질 수준은 44.4% 이하로 유지될 가능성이 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1990. Official Methods of Analysis, 15th edn. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, 1094 pp.
- Bondi, A. A., 1987. Animal Nutrition. John Wiley & Sons Ltd., 540 pp.
- Coad, B. W., 1995. Encyclopedia of Canadian Fishes. Canadian Museum of Nature and Canadian Sportfishing Productions Inc., 928 pp.
- Cowey, C. B. and P. Luquet, 1983. Physiological basis of protein requirements of fish: Critical analysis of allowances. In: Proc. IVth International Symposium on Protein Metabolism and Nutrition, M. Arnal, R. Pion and D. Bonin (eds.). pp. 365-384. INRA, Paris.
- Dos Santos, J. and M. Jobling, 1988. Gastric emptying in cod, *Gadus morhua* L.: effects of food particle size and dietary energy content. J. Fish Biol., 33 : 511-516.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple range and multiple F tests. Biometrics, 11 : 1-42.
- Foster, A.R., D.F. Houlihan and S.J. Hall, 1993. Effects of nutritional regime on correlates of growth rate in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*): comparison of morphological and biochemical measurements. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 50 : 502-512.
- Grant, S. M., J. A. Brown and D. L. Boyce, 1998. Enlarged fatty livers of small juvenile cod: a composition of laboratory-cultured and wild juveniles. J. Fish Biol., 52 : 1105-1114.
- Gurure, R.M., R.D. Moccia and J.L. Atkinson, 1995. Optimal protein requirements of young Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) fed practical diets. Aquacult. Nutr., 1 : 227-234.
- Hemre, G.-I. and F. Kahrs. 1997. ^{14}C -glucose injection in Atlantic cod, *Gadus morhua*, metabolic responses and excretion via the gill membrane. Aquacult. Nutr., 3 : 3-8.
- Hemre, G.-I., O. Lie, E. Lied and G. Lambertsen. 1989. Starch as an energy source in feed for cod (*Gadus morhua*): digestibility and retention. Aquaculture, 80 : 261-270.
- Jiang, W. and T. Jorgensen. 1996. The diet of haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.) in the Barents sea during the period 1984-1991. ICES J. Mar. Sci., 53 : 11-21.
- Jobling, M., R. Knudsen, P. S. Pedersen and J. Dos Santos, 1991. Effects of dietary composition and energy content on the nutritional energetics of cod, *Gadus morhua*. Aquaculture, 92 : 243-257.
- Lie, O., E. Lied and G. Lambertsen, 1986. Liver retention of fat and fatty acids in cod (*Gadus morhua*) fed different oils. Aquaculture, 59 : 187-196.
- Lie, O., E. Lied and G. Lambertsen, 1988. Feed optimization in Atlantic cod (*Gadus morhua*): fat versus protein content in the feed. Aquaculture, 68 : 333-341.
- Lied, E. and B. Braaten. 1984. The effect of feeding and starving, and different ratios of protein energy to total energy in the feed on the excretion of ammonia in Atlantic cod (*Gadus morhua*). Comp. Biochem. Physiol., 78A : 49-52.
- Lied, E., K. Julshamn and O. R. Braekkan, 1982. Determination of protein digestibility in Atlantic cod (*Gadus morhua*) with internal and external indicators. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39 : 854-861.

- Love, R. M., 1970. The Chemical biology of Fishes. Academic Press, London, 943 pp.
- NRC (National Research Council, USA), 1993. Nutrient requirements of fish. National Academy Press, Washington, D.C., 114 pp.
- Pongmaneerat, J. and T. Watanabe, 1991. Nutritive value of protein of feed ingredients for carp. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57 : 503-510.
- 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 auratus* L. *Aquacult. Nutr.*, 2 : 81-87.
- SAS, 1985. SAS user's guide: statistic, SAS Inst., Cary. NC., USA.
- Waiwood, K. G., 1994. Haddock. *Bull. Aquacult. Assoc. Canada*, 1 : 16-21.
- 김정대, 김광석, 이승복, 정관식. 1997. 사료내 단백질과 지방의 수준이 잉어의 성장, 체조성 및 질소 배설량에 미치는 영향. *한영사지*, 21 : 399-406