

치어기 조피볼락의 사료내 에너지와 단백질함량에 따른 성장, 호흡 및 생태효율에 미치는 영향

김강웅* · 박기영¹ · 임영순¹ · 김태우¹ · 양재형¹ · 박헌우¹ · 배승철²

국립수산과학원, ¹강릉대학교 해양생명공학부, ²부경대학교 양식학과

Effects of Dietary Energy and Protein Levels on Growth, Respiration and Growth Efficiency of Juvenile Rockfish (*Sebastes schlegeli*)

Kang-Woong Kim, Kie-Young Park¹, Yeoung-Sun Lim¹, Tae-Woo Kim¹, Jae-Hyoung Yang¹, Heon-Woo Park¹ and Sungchul C. Bai²

East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Pohang 791-802, Korea

¹Faculty of Marine Bioscience and Technology, Kangnung National University, Kangnung 210-702, Korea

²Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Diets containing 3000 kcal/kg at the crude protein (CP) level of 40% (Diet 1) and 4000 kcal/kg at the CP level of 50% (Diet 2) were fed to the juvenile rockfish, *Sebastes schlegeli* (35.6 g) at 3-4% body weight for a period of 28 days. Diet 2 promoted significantly higher growth and feed efficiency than Diet 1. Oxygen uptake increased with increasing body weight. The oxygen uptake-body weight relationship of diets 1 and 2 were best expressed by $y=0.3218e^{0.0592x}$ ($R^2=0.8494$) and $y=0.3612e^{0.0532x}$ ($R^2=0.8805$), respectively. Assimilation efficiency (AE), gross growth efficiency (K_1) and net growth efficiency (K_2) of the fish fed on Diet 2 were 73.8, 16.0 and 22.6%, respectively. Fish fed on Diet 2 showed significantly higher AE, K_1 and K_2 than those fed on Diet 1. Hence Diet 2 containing 4000 kcal/kg with crude protein of 50% is recommended for the Korean rockfish.

Keywords: Synthetic diets, Protein-energy, Growth, Respiration, Ecological efficiency, *Sebastes schlegeli*

서 론

에너지는 생명체의 생존에 가장 기본적으로 요구되며, 동물체 대사의 모든 과정에 필요하다. 또한, 에너지는 탄수화물, 지질과 아미노산의 산화대사 과정 중에 방출되는데, 동물의 종류, 먹이섭취, 나이, 크기, 생리적 상태와 동물체의 활동량에 따라 차이가 있다. 그리고 음식이나 사료에 있어서 각 영양소들의 적정 섭취량은 음식과 사료중의 에너지 함량과 밀접한 상관관계가 있다. 그러므로, 사료 원료에 함유된 유용 에너지량에 관한 정보는 각 사료 원료의 전체적인 가치를 평가하는데 중요할 뿐만 아니라, 사료 배합시 영양소와 에너지의 적정 비율을 제공할 수 있도록 함으로써 중요한 의미를 부여한다(NRC, 1993).

특히, 본 연구에 있어서 동물의 성장, 호흡 및 동화효율 등의 생리적 및 생태적 연구는 에너지 흐름의 역학적 구조를 이해하고 생태계의 기능을 파악하는데 있어 유용한 수단이 된다. 생태계는 복잡한 먹이사슬과 같은 영양학적 구조와 집단간 에너지 흐름의 양에 밀접하게 관련되어 있으며, 이러한 복잡한 먹이망

속에서 그 물질의 전환에 따른 에너지 흐름을 파악하기 위해서 에너지 수지를 분석하는 것이 매우 중요하다(Klekowski and Ducan, 1975). 이와 같이, 어류가 먹이를 통하여 획득한 모든 에너지는 체내에 축적되거나 대사과정을 통한 상실 및 배설질소와 분의 형태로 배출됨으로써 에너지 수지의 균형을 나타내게 되는데, 이는 동물의 생활사에 관한 전반적인 양상을 설명해주는 중요한 요인이다. 특히 에너지 대사에 관한 연구는 수온, 염분 및 먹이 등의 환경에 대한 동물의 대사적 유형과 다른 영양 단계간의 에너지 적응유형을 이해하는 총체적인 지표가 될 수 있으며, 그 동물의 생산성을 추측하는데 유용하다(Vernberg and Vernberg, 1981).

어류의 생리 생태적인 연구의 중요한 자료인 에너지 수지에 관한 연구는 타 어종에 있어서 많이 보고되었으며(Kitchell et al., 1977; Mills and Fomey, 1981; Eldridge et al., 1982; Dabrowski et al., 1988), 환경요인과 관련한 양식어류의 생리적 변화 및 에너지 수지에 관한 연구는 주로 틸라피아(Caulton, 1977; Jauncey, 1982)와 무지개송어(Staples and Nomura, 1976) 등에서 볼 수 있는 반면에 치어기 조피볼락에 관한 생리 생태적인 기초연구들은 보고된 바가 없는 실정이다.

*Corresponding author: kwkim@momaf.go.kr

따라서, 본 연구는 조피볼락 치어를 대상으로 성장, 호흡 및 생태효율을 조사하여 에너지 흐름에 대한 생리적 기초자료를 얻는 데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

실험어 및 사육관리

실험어는 2001년 12월 경상북도 수산자원 개발 연구소에서 생산된 조피볼락 치어를 강원도 주문진에 위치한 강릉시 수산종묘배양장에 운반하여 1000 L 수조에서 실험환경에 적응할 수 있도록 상품사료(넙치용)를 주면서 2 주간 예비 사육하였다. 실험에 들어가기 전에 실험사료를 적응시키기 위하여 실험사료를 1주간 동일하게 공급하였으며, 사육 실험시간은 28 일간 실시하였다. 예비사육 후, 평균 체중 35.6 ± 0.4 g(평균 \pm SD)의 조피볼락 치어를 40 L FRP 사각수조에 10마리씩 2가지 사료구(사료구 1과 2)로 나누어 각 사료구 당 4반복으로 무작위 배치하였다. 각 실험 수조는 유수식으로 유수량은 1 L/min까지 조절하였으며, 실험기간동안의 수온은 16°C로 유지하기 위해 대형 콘크리트수조에 히터기를 설치하여 수온을 상승시켰다. 일일 사료공급량은 어체중의 3-4%로 1일 2회로 사료공급을 하였다.

실험사료

실험에 사용된 실험사료의 조성 및 일반성분은 Table 1에 나타내었다. 실험사료의 단백질원으로 북양어분(white fish meal)과 카제인(casein)을, 탄수화물원으로 덱스트린(dextrin)과 밀가루(wheat flour)를, 지질원으로 오징어간유(squid liver oil)를 사용하였다. 실험사료의 설계는 P/E ratio를 근거로 사료배합표가 작성되었으며, 두가지 사료구는 각각 에너지 함량 3000 kcal에 단백질함량 40%(사료구 1)와 에너지 함량 4000 kcal에 단백질함량 50%(사료구 2)로 설계하였다. 모든 실험사료는 Kim and Bai(1997) 방법에 의거하여 제조하였다.

성장측정 및 성분분석

어체 측정은 9일 간격으로 MS-222로 마취시켜 전체 어류를 각 수조 마리 당 체장 및 체중에 대해 전부 실시하였으며, 실험 종료 후, 증체율(weight gain, WG)과 사료효율(feed efficiency, FE) 그리고 전어체의 일반성분을 조사하였다. 실험사료와 각 수조별로 3마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체의 일반성분 분석은 AOAC(1984)방법에 따라 수분은 상압가열건조법, 조단백질은 Kjeldahl 질소정량법($N \times 6.25$), 조회분은 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시간 동결건조한 후 Soxtec system 1046(Tacator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다.

산소소비

Table 1. Composition and proximate analysis of two experimental diets (% of dry matter basis)

Ingredient	Diet	
	1	2
White fish meal ¹	46.80	60.40
Casein ²	5.00	5.00
Wheat flour ³	5.00	5.00
Dextrin ²	9.50	13.80
Squid liver oil ⁴	4.40	7.70
Vitamin premix ⁵	3.00	3.00
Mineral premix ⁵	3.00	3.00
Carboxymethylcellulose ²	2.00	2.00
Vitamin C	0.05	0.05
Cellulose	21.25	0.00
<i>Proximate analysis</i>		
Moisture	28.2	29.5
Crude protein	40.7	50.5
Crude fat	8.1	12.2
Ash	8.5	11.8
P/E ratio	133	125

¹Kum Sung Feed Co., Busan, Korea.

²United States Biochemical, Cleveland, Ohio 44122.

³Young Nam Flourmills Co., Busan, Korea.

⁴E-Wha Oil & Fat Ind. Co., Ltd., Busan, Korea.

⁵Refer to Kim et al. (2000).

산소소비량의 측정은 사료공급 후 각 수조 당 한 마리씩 무작위 추출하여 사각수조(40 L)에 실험어류를 수용하고 밀폐한 후 3시간 동안 산소소비량을 산소검량기(YSI model 610)로 측정하였다(Graire, 1983). 실험어류는 성장함에 따라 사육중인 어류를 사용하였으며, 개체의 산소소비량은 환경수의 산소 분압에 영향을 받기 때문에(Ikeda, 1974) 산소소비 측정이 끝날 때 실험 용기내 용존산소량이 처음 산소량의 80%이하로 떨어지지 않게 조절하였다.

생태효율

수산동물의 동화효율(assimilation efficiency)을 측정하는 방법은 크게 두 가지가 있다. 그 중 한가지는 먹이 섭취량과 분배출량을 측정하여 먹이 섭취량에 대한 동화량을 백분율로서 구하는 방법이고, 다른 한가지는 먹이와 배출분에 함유되어 있는 유기물의 비로서 측정하는 것이다. 본 실험의 경우 후자를 택하여 실험기간 동안 대사에 의해 배설된 배설물을 매일 2회씩 사이폰으로 수거한 후에 Conover(1966)의 방법에 따라 섭취한 양에 대한 동화된 양의 백분율로서 동화효율을 구하였다. 사료 및 분의 유기물 측정은 열량측정기를 이용하여 산출된 에너지 값을 적용하였다. 총성장효율(Gross growth efficiency, K_1)은 섭취한 에너지에 대하여 성장으로 전환된 양을 백분율화 하였으며, 순성장효율(Net growth efficiency, K_2)은 동화에너지에 대하여 성장으로 전환된 양의 백분율화 하였다. 이것에 대한 관계식은 아래와 같이 적용하였다.

- Assimilation efficiency(%)=(Feeda-Fecesb)×100/(1-Feces)×Feed
- ^aFeed(g)=Ash-free dry weight(g)/dry weight ratio in the feed
- ^bFeces(g)=Ash-free dry weight(g)/dry weight ratio in the feces
- Gross growth efficiency(%)=Growth energy/Consumption energy×100
- Net growth efficiency(%)=Growth energy/Assimilation energy×100

통계처리

모든 자료의 통계처리는 Computer Program Statistics 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.

결 과

조피볼락 치어의 증체율과 사료효율은 Table 2에 나타내었다. 사육실험 결과, 증체율과 사료효율에 있어서는 사료구 2가 사료구 1 보다 유의적으로 높게 나타났으며(P<0.05), 폐사율은 전 사료구에서 나타나지 않았다(P>0.05). 실험사료를 섭취한 조피볼락 치어의 전어체 성분은 Table 3에 나타났으며, 전어체내 단백질함량과 지질함량은 사료구 2가 사료구 1보다 유의적으로 높은 경향을 보인(P<0.05) 반면에 수분과 회분함량은 유의적인 차이를 보이지 않았다(P>0.05). 경과 일수에 대한 사료구 1의 각 조피볼락에 대한 체중(TW, total weight)과 체장(TL, total length)의 경향은 각각 TW=35.457e^{0.0083t}(R²=0.4532)와 TL=12.781e^{0.0031t}(R²=0.5969)로서 지수적인 경향을 보였다. 아울러, 경과 일수에 대한 사료구 2(4000/50)의 각 조피볼락에 대한 체중(TW)과 체장(TL)의 경향은 각각 TW=35.928e^{0.012t}(R²=0.6399)와 TL=12.796e^{0.004t}(R²=0.7661)로서 사료구 1과 비슷한 경향을

보였다. 상기 관계식을 이용하면, 사료구 1은 일일 평균 체중과 체장 증가가 각각 35.7 mg 및 12.8 mm로 나타났으며, 사료구 2는 각각 36.4 mg 및 12.9 mm로 나타났다.

조피볼락 치어의 에너지 수준별 개체 중량과 산소소비량의 관계는 어체중이 증가할수록 지수적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 사료구 1에 대한 관계식은 y=0.3218e^{0.0592x}(R²=0.8494)이며, 사료구 2에 대한 관계식은 y=0.3612e^{0.0532x}(R²=0.8805)로 나타났다.

조피볼락 치어의 에너지 수준에 따른 동화효율, 총성장효율(K₁) 및 순성장효율(K₂)은 Table 4에 나타내었다. 사료구 1의 사료내 유기물 함량은 84.5%, 배설물의 유기물 함량은 63.9%로서 동화효율은 67.4%로 나타났으며, 사료구 2의 동화효율에 있어서 사료내 유기물 함량은 88.3%, 배설물의 유기물 함량은 66.4%로서 동화효율은 73.8%로 보임으로써 사료구 2가 사료구 1보다 높은 동화효율을 보였다. 총성장효율과 순성장효율에 있어서 사료구 1은 각각 14.5% 및 21.4%로 나타났으며, 사료구 2는 각각 16.0% 및 22.6%로 나타났다. 이와 같은 경향은 동화효율과 비슷한 경향을 나타내었다.

고 찰

성장에 있어서 두 사료구의 체장과 체중에 있어서 지수적으로 증가하는 경향을 보였으며, 4000 kcal에 대한 단백질 함량 50% 사료구가 3000 kcal에 대한 단백질 함량 40% 사료구 보다 유의적으로 높은 경향을 나타내었다(Table 1). 조피볼락에 있어서 사료내 에너지에 대한 적정 단백질 함량에 있어서는 어종의 크기가 다른 조피볼락(7.3 g)의 결과와 비슷한 경향을 나타내었으며(Kim, 2001), 증체율과 사료효율에 있어서는 본 실험과 비교하여 두 사료구 모두 낮은 경향을 나타내었다. 동일한 어종에 있어서도 사료조성, 실험디자인, 사육방법 및 환경적 요인(수온 등)에 의해 달라질 수 있다고 보고되었으며(Gatlin, 1994; Keembiyehetty and Wilson, 1998), 상기 실험에 있어서 환경적인 요인인 낮은 수온(16°C)에 의한 영향이 크게 좌우된 것으로 사료된다. Jin et al.(1998)은 자치어기 조피볼락에 있어서 수온별(16°C와 20°C)로 실험을 수행한 결과, 높은 수온에서 유의적으로 높은 체장과 체장이 나타났다고 보고하였으며, Almatar(1984)은 어류의 자치어의 대사율은 수온, 염분 등의 환경요인에 의해 많은 영향을 받는다고 보고하였다. 이와 같은 수온의 영향은 본 실험의 사료구 2가 높은 것으로 보아(Table 2) 사료 섭취율에 있어서도 영향을 받았을 것으로 사료된다. Tyler and Calow(1985)는 온대지역의 어류보다 열대지역의 어류가 사료 섭취량이 높았다 것은 수온의 영향이 가장 큰 요인으로 보고하였으며, 아울러, Wienberg(1982)는 갑각류, *Pandalus borealis*에 있어서 마찬가지로 사료 섭취율이 온도에 의존한다는 보고가 있었다. 다른 연구들과 마찬가지로 본 연구의 체장과 체중에 나타난 지수적인 관계식은 생태효율과 연관된 자료로 사용

Table 2. Growth and feed efficiency of the Korean rockfish, *Sebastes schlegeli* fed on experimental diets¹

Parameter	Diet	
	1	2
Initial weight (g)	35.6±0.4	35.5±0.4
Final weight (g)	44.1±2.6 ^b	49.1±1.9 ^a
Weight gain (g)	8.5±0.8 ^b	13.6±0.6 ^a
Feed efficiency (%)	35.2±3.4 ^b	51.6±2.9 ^a

¹Values given under column designated with 1 and 2 are the means of triplicate groups. Values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

Table 3. Proximate analysis of whole-body of Korean rockfish fed the experimental diets¹

Diet	Parameter	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Ash (%)
1		73.5±1.6	16.9±0.4 ^b	4.5±0.2 ^b	3.7±0.2
2		73.1±1.0	17.6±0.1 ^a	5.0±0.2 ^a	3.4±0.2

¹Values given in the same rows of 1 and 2 are the means of triplicate groups. Values in the same columns with different superscripts are significantly different (P<0.05).

Table 4. Assimilation efficiency of the Korean rockfish fed the experimental diets

Diet	Feed (A) ¹	Feces (B) ²	Assimilation efficiency ³	Gross growth efficiency (K ₁) ⁴	Net growth efficiency (K ₂) ⁵
1	0.845	0.639	67.4%	14.5%	21.4%
2	0.883	0.664	73.8%	16.0%	22.6%

¹Feed (g)=Ash-free dry weight/dry weight ratio in the feed.

²Feces (g)=Ash-free dry weight/dry weight ratio in the feces.

³Assimilation efficiency (%)=(A-B)×100/(1-B)×A (Conover, 1966).

⁴K₁ (%)=Growth energy/Consumption energy×100.

⁵K₂ (%)=Growth energy/Assimilation energy×100.

하였으며, Zhang et al.(1995)은 연어 자치어의 전장에 대한 전 중의 상대성장에 관한 연구에서 1차 지수함수 관계(0.95)를 나타낸 반면 성어의 관계에서는 지수가 3승 관계를 나타내었다.

전어체 성분에 있어서 동일한 종간 계통 차이, 수온, 증체량, 사료공급 및 사료배합에 영향을 받는다고 보고하였다(Nandeesh et al., 1995). 본 실험에서 어체내 단백질 함량과 지방 함량은 사료의 단백질 및 에너지 수준이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이와 같이 유사한 경향은 많은 연구자들에 의해 보고되었다(Shiau and Lan, 1996; Peres and Oliva-Teles, 1999).

조피볼락 치어의 에너지 수준에 따른 개체 중량과 산소소비량의 관계는 어체중이 증가할수록 지수적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 아울러 개체의 체중과 체장이 증가할 수록 더 많은 산소소비를 나타내었다. 이와 같은 경향은 체중이 증가할수록 다른 갑각류의 유생에서와 마찬가지로 비례적으로 증가하였다(Dawirs, 1983; Jacobi and Anger, 1985; 김, 2002). Lee et al.(2001)이 보고한 연어 치어에 있어서 산소소비량은 0.84 μl O₂/ind/hr로 나타난 결과와 비교하여 낮은 경향을 나타내었으며, 아울러 Almatar(1984)가 보고한 가자미류, *Pleuronectes platessa* 유생에 있어서 산소소비량은 0.60-2.74 μl로 나타났다. 이와 같이 산소소비량은 어종 및 어종의 크기에 따라 다르게 나타나거나 저서성 어류의 생태적인 특징(생활사)에 따라 다소 차이가 있는 것으로 사료되며, 아울러 어류 자치어의 대사율은 수온, 염분 및 먹이의 농도 등의 환경요인에 영향을 받는다(Almatar, 1984).

생태효율에 있어서 동화효율은 에너지 4000 kcal에 대한 단백질 함량 50% 사료구가 에너지 3000 kcal에 대한 단백질 함량 40% 사료구보다 다소 높은 값(6.4%)을 나타내었다(Table 4). Tayler and Calow(1985)은 먹이의 동화효율, 먹이의 농도와 질 및 동물의 크기는 치어기 어류의 에너지 이용하는데 영향을 끼친다고 보고하였다. Lee et al.(2001)은 무지개용 사료를 공급한 연어 치어의 동화효율은 84.5%로 나타났으며, 이것은 상기 실험과 비교하여 높은 경향을 보인 것은 자치어기의 초기생활사 동안 섭취한 에너지를 체성장에 더욱 효율적으로 이용한 것으로 사료되며, 특히 이러한 에너지의 이용 유형은 양식생물의 중요생산에 중요한 특성이 될 것이다. 총성장 효율 및 순성장 효율에 있어서도 에너지 4000 kcal에 대한 단백질 함량 50% 사

료가 다소 높은 값을 나타내었다. 동일한 어종의 자어가 치어로 성장하는 동안 총성장 효율은 43-47%로 나타나 본 실험과 비교하여 어종의 크기에 따른 차이를 나타내었다(Jin et al., 1998). 아울러, Stepien(1976)은 돔종류, *Achosargus rhomboidalis* 자치어의 총성장 효율이 11-43%로 보고하였다. 일반적으로 초식성 어류는 섭취한 먹이의 동화효율이 낮아 배출분을 통한 에너지의 상실이 많으므로 총성장효율이 낮게 나타나는 반면에 육식성 어류는 단백질 함량이 높은 먹이를 섭취하므로 질소 배설을 통한 에너지의 상실량이 초식성 어류에 비해 많으므로 동화효율이 높게 나타난다고 보고되었다(Tayler and Calow, 1985).

따라서, 상기 결과를 토대로 조피볼락에 있어서 4000 kcal에 대한 단백질 함량 50% 사료구는 성장, 호흡 및 생태효율에 좋은 결과를 나타내었으며, 이것은 경제적이고 환경친화적인 배합사료를 제조할 때 좋은 기초자료로 사용 될 것이다. 더 나아가서는 환경에 대한 동물의 대사적 유형을 이해하는 총체적인 지표로서 생산성을 추측하는데 유용하게 이용될 것이며, 고밀도 양식업에 대한 양식장의 효율적인 관리와 보전에 대비하는데 중요한 자료로 사용될 것이다.

요 약

본 연구는 조피볼락 치어를 대상으로 성장, 호흡 및 생태효율을 조사하여 에너지 흐름에 대한 생리적 기초자료를 얻고자 수행하였다. 실험사료는 2가지 에너지 수준인 3000 및 4000 kcal에 대한 각각의 단백질 함량인 40%와 50%로 적용하여 설계되었으며, 실험어는 평균 체중 35.6±0.4 g의 조피볼락 치어를 40 L FRP 사각수조에 10마리씩 2가지 사료구(사료구 1과 2)로 나누어 각 사료구 당 4반복으로 무작위 배치하였다.

실험 종료후, 증체율과 사료효율에 있어서는 사료구 2가 사료구 1 보다 유의적으로 높게 나타났다. 산소소비(호흡)는 두 사료구에 있어서 어체중이 증가할수록 지수적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 사료구 1과 2는 $y=0.3218e^{0.0592x}$ ($R^2=0.8494$)와 $y=0.3612e^{0.0532x}$ ($R^2=0.8805$)로 각각 나타났다. 사료구 1의 동화효율, 총성장효율 및 순성장효율은 각각 67.4%, 14.5% 및 21.4%로 나타났으며, 사료구 2는 각각 73.8%, 16.0% 및 22.6%로 나타났다.

따라서, 상기 결과를 토대로 조피볼락에 있어서 4000 kcal에 대한 단백질 함량 50% 사료구는 성장, 호흡 및 생태효율에 좋은 결과를 도출하였다.

감사의 글

본 이 논문은 2001년 한국학술진흥재단의 박사후연수과정(Post-doc.) 연구지원(KRF-2001-037)에 의하여 연구된 결과로 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- Almatar, S. M., 1984. Effects of acute changes in temperature and salinity on the oxygen uptake of larvae of herring (*Cleupea harengus*) and plaice (*Pleuronectes platessa*). *Mar. Biol.*, **80**: 117-124.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist.), 1984. Official methods of analysis, 16th edition. AOAC International, Arlington, VA.
- Caulton, M. S., 1977. The effect of temperature on routine metabolism in *Tilapia rendalli* Boulenger. *J. Fish Biol.*, **11**: 549
- Conover, R. J., 1966. Assimilation of organic matter by zooplankton. *Limnol. Oceanog.*, **11**: 338-345.
- Dabrowski, K., F. Kakashima and Y. K. Law, 1988. Bioenergetic model of planktivorous fish feeding, growth and metabolism: theoretical optimum swimming speed of fish larvae. *J. Fish Biol.*, **32**: 443-458.
- Dawirs, R. R., 1983. Respiration, energy balance and developmental pattern in growing and starving larvae of *Carcinus means* L. (Decapoda, Portunidae). *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **69**: 105-128.
- Eldridge, M. B., J. A. Whipple and M. J. Bowers, 1982. Bioenergetics and growth of striped bass, *Morone saxatilis*, embryos and larvae. *Fish. Bull.*, **80**: 461-474.
- Gatlin, D. M., 1994. Advancements in nutrition of hybrid striped bass. *Aquaculture Magazine*, **20**(3): 95-98.
- Graire, E., 1983. Calculation on energetic and biochemical equivalents of respiratory oxygen consumption. In *Polarographic oxygen sensors* (eds. E. Gnaiger and H. Forstner). Springer Verlag, Berlin, 337-345.
- Ikeda, T., 1974. Nutritional ecology of marine zooplankton. *Mem. Soc. Fish Hokkaido Univ.*, **23**: 1-97.
- Jacobi, C. C. and K. Anger, 1985. Growth and respiration during the larval development of *Hyas coarctatus* (Decapoda: Majidae). *Mar. Biol.*, **87**: 173-180.
- Jauncey, K., 1982. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*). *Aquaculture*, **27**: 43-54.
- Jin, P., Y. K. Shin, J. S. Lee and H. G. Kim, 1998. Biological study on the increment of survival rate during early life cycle in the rockfish, *Sebastes schlegeli* (Teleostei: Scorpaenidae) II. Energy budget of the larvae and juvenile stages. *The Korean J. of Ichthyology*, **10**: 106-114 (in Korean).
- 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. of Aquaculture*, **10**(2): 143-151 (in Korean).
- Kim, K. W., 2001. Evaluation of the optimum dietary protein to energy ratio of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*), Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) and parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*). Doctor thesis, Pukyong National University, Busan, 123 pp (in Korean).
- Kim, K. W., J. Y. Choi and S. C. Bai, 2000. Evaluation of a newly developed fish meal analogue (BAIFA-M) in young adult Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*, reared in the sea cage culture system. *J. of Aquaculture*, **13**(3): 259-265 (in Korean).
- Kim, W. G., 2002. Growth and energy budget of the *Lebbeus groenlandicus* larvae. M. S. thesis, Gangnung national university, 34 pp (in Korean).
- Kitchell, J. F., D. J. Stewart and D. Weininger, 1977. Applications of a bioenergetics model to yellow perch (*Perca flavescens*) and walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **34**: 1922-1935.
- Klekowski, R. Z. and A. Duncan, 1975. Physiological approach to ecological energetics. (in) *Methods for ecological bioenergetics* (eds W. Grodzinski, R. Z. Klekowski and A. Duncan). Blackwell Scientific. London, pp. 15-64.
- Lee, C. S., C. H. Kim, K. Y. Park, K. E. Hong and K. K. Baik, 2001. Growth, Respiration and Assimilation Efficiency of Fingerling of Chum salmon, *Oncorhynchus keta*. *Bull. Nat'l Fish. Res. Devel. Inst.*, **59**: 140-145 (in Korean).
- Mills, E. L. and J. L. Forney, 1981. Energetics, food consumption and growth of young yellow perch in Oneida lake, *Trans. Am. Fish. Soc.*, New York, **110**: 479-488.
- Nandeesh, M. C., S. S. De Silva and D. S. Murthy, 1995. Use of mixed feeding schedules in fish culture: performance of common carp, *Cyprinus carpio* L., on plant and animal protein based diets. *Aquacult. Res.*, **26**: 161-166.
- NRC (National Research Council), 1993. *Nutrient Requirements of Warmwater Fishes and Shellfishes*. National Academic Press, Washington, D. C., 102 pp.
- 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.
- 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.
- Staples, J. and N. Nomura, 1976. Influence of body size and food ration on the energy budget of rainbow trout, *Salmon gairdneri* Richardson. *J. Fish Biol.*, **9**: 29-43.
- Stepien, W. P., 1976. Feeding of laboratory-reared larvae of the sea bream, *Archosargus rhomboidalis* (Sparidae). *Mar. Biol.*, **38**: 1-16.
- Tyler, P. and P. Calow, 1985. *Fish energetics : New perspectives*.

- Croom Helm, London and Sydney. 349 pp.
- Vernberg, F. J. and W. B. Vernberg, 1981. Functional adaption of marine organisms. Academic Press, New York, 347 pp.
- Wienberg, R., 1982. Studies on the influence of temperature, salinity, light and feeding rate on laboratory reared larvae of deep sea shrimp, *Pandalus borealis* (Kroyer). *Meeresforschung*, **29**: 136–153.
- Zhang, C. I., H. S. Myoung, K. B. Sung and I. S. Park, 1995. Yolk absorption and growth of chum salmon, *Oncorhynchus keta* alevin. *J. Korean Fish. Soc.*, **28**(5): 539–548 (in Korean).
-

원고접수 : 2003년 1월 16일

수정본 수리 : 2003년 3월 11일

책임편집위원 : 강용진