

먹이에 따른 물가자미 (*Eopsetta grigorjewi*) 치어의 에너지 수치

이선식* · 한경남 · 윤원득¹
인하대학교 해양학과, ¹서해수산연구소 해양생태실

Energy Budget of Snotted Halibut Juvenile, *Eopsetta grigorjewi* with Two Different Prey Items

Seon-Sik LEE*, Kyoung-Nam HAN and Won-Duk YOON¹

Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

¹West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, San 66-3, Ulwang-dong, Jung-gu, Incheon, 400-420

Gross energy intake, fecal, nitrogen excretory and metabolized energy of snotted halibut juvenile, *Eopsetta grigorjewi*, fed on *Tigriopus japonicus* (Group A) and the enriched *Artemia nauplii* (Group B), were quantitatively investigated and represented as balance equations of energy and material. Absorption efficiency (AE), gross conversion efficiency (K_1) and net conversion efficiency (K_2) were also estimated to understand the changes in efficiency by the prey. Gross energy intake, fecal, nitrogen excretory, metabolized and growth energy of Group A were 2.790 ± 0.247 , 0.495 ± 0.046 , 0.018 ± 0.003 , 0.214 ± 0.047 cal mg^{-1} day⁻¹ and 2.063 cal mg^{-1} day⁻¹, respectively. The same parameters of Group B were 4.801 ± 0.165 , 0.579 ± 0.031 , 0.055 ± 0.010 , 0.306 ± 0.048 cal mg^{-1} day⁻¹ and 3.861 cal mg^{-1} day⁻¹, respectively. Energy budget of Group A and B were represented as $100 C = 7.67 M + 17.7 F + 0.65 U + 73.94 G$ and $100 C = 6.37 M + 12.1 F + 1.15 U + 80.42 G$, respectively, where C, M, F, U, and G represent gross energy intake, metabolized energy, fecal energy, nitrogen excretory (non-fecal) energy and growth energy, respectively. AEs of Group A and B were 81.52 ± 1.89 , $86.79 \pm 0.70\%$, respectively, with significant difference at $p=0.01$ level. However, K_1 and K_2 of Group A and B showed no significant difference at $p=0.01$ level, with 74.21 ± 6.57 , $80.48 \pm 2.76\%$ and 91.17 ± 7.26 , $92.74 \pm 2.69\%$, respectively. These results suggest that *T. japonicus* is a possible substitute for *Artemia* nauplii for the snotted halibut juvenile.

Key words: Snotted halibut, *Eopsetta grigorjewi*, *Tigriopus japonicus*, Enriched *Artemia nauplii*, Energy budget

서론

자치어 시기의 먹이 생물의 종류, 질 그리고 상태는 가장 중요한 성장요인으로 작용하며, 효율적인 먹이는 섭이된 에너지를 최대한 흡수하여 가장 큰 부분을 성장에 이용하는 것이라고 할 수 있다. 자치어 시기의 성장률과 생존율의 저하는 부족하거나 적합하지 않은 먹이 공급에 기인하며 (O'Connell, 1976; Theilacker, 1978; Raciborski, 1987; Han, 1998), 먹이 종류에 따라 소화관 및 기관의 형태 발달 차이가 발생하기도 한다 (Durante, 1986). 이러한 차이는 결과적으로 수산자원량 증감에 크게 작용한다 (Leitritz and Lewis, 1976). 현재 해산 어류의 중요 생산에 이용하는 초기 먹이생물로서 rotifer와 *Artemia nauplii*가 있다 (Watanabe, 1988). 이들은 크기가 비교적 작고 취급이 용이하며 대량 배양이 가능하다는 장점으로 해산어류의 초기 먹이생물로 이용되고 있으나, 산지와 연도에 따라 지방산 함량의 차이가 크므로 (Watanabe et al., 1978a), 인위적인 영양강화를 통하여 먹이 효율을 높여야 하는 단점이 있어 (Sargent et al., 1997) 경제적으로 많은 부담을 안겨줄 뿐 아니라 (Fujita, 1973) 수질 악화 등의 문제가 발생하며, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 대체먹이를 찾고자 하는 노력은 여러

연구자들에 의해 계속되고 있다. 대체 먹이 중 하나인 자연산 동물플랑크톤의 경우, 공급의 불안정성을 제외하면 자치어 먹이로 공급했을 때 높은 성장률과 생존율을 보인다. 이러한 동물플랑크톤 중에서 부유성 요각류인 *Acartia clausi* (Zillionx, 1969), *Gladioferens imparipes* (Payne and Rippingale, 2000; Payne et al., 2001), 저서성 요각류인 *Tisbe holothuriae* (Uhling, 1984)와 *Tigriopus japonicus* (Lee and Hu, 1981)를 이용한 *Artemia* 대체 먹이에 대한 연구가 보고된 바 있다. 이 중, *T. japonicus*는 연안역에서 쉽게 관찰, 채집이 가능하고 (Takano, 1971), 온도와 염분에 대한 내성이 강한 특성을 가지고 있어 (Lee and Hu, 1981) 대량 배양이 용이하며, 다른 먹이 생물에 비하여 높은 영양학적 특성에 기인하여 (Watanabe et al., 1978b) 해산어의 중요 생산 과정에서 자치어기의 먹이 생물로 이용하기 위하여 대량, 안정 배양하기 위한 연구가 진행되고 있다 (Fukusho et al., 1977).

어류 자치어 단계의 먹이효율에 대한 연구는 자치어의 영양 상태를 평가할 수 있는 지표로써 사용될 수 있으므로 이 분야의 기초연구는 중요하다고 할 수 있다. 이러한 먹이효율을 나타내는데 이용되는 흡수효율 (Absorption efficiency), 총성장효율 (Gross conversion efficiency)은 에너지·물질 평형 관계식 (Balance equation of energy and material)을 통해 얻을 수 있다

*Corresponding author: sslee75@metro.incheon.kr

(Warren and Davis, 1967; Kitchell, 1983).

본 연구는 에너지 평형 관계식을 이용하여 불가자미 (*Eopsetta grigorjewi*) 치어기에 저서성 요각류인 *T. japonicus*와 일반적인 먹이로 사용되고 있는 영양강화된 *Artemia nauplii*를 먹이생물로 하여 각각의 생태·생리적 효율을 알아봄으로써 먹이 종류에 따른 효율의 변화 및 *T. japonicus*의 불가자미 치어기 대체먹이로서 가능성을 살펴보고자 한다.

재료 및 방법

실험어

실험에 사용한 불가자미는 2001년 4월 10일 충남 태안군 몽산포 연안에서 채포된 친어(암컷: 평균체중 395.0±61.9 g WWt, 평균체장 317.5±17.3 mm; 수컷: 평균체중 250.0±14.1 g WWt, 평균체장 277.5±15.0 mm)를 인공수정에 이용하였다.

수정된 난은 즉시 인하대학교 태안배양장으로 옮겨 수온 12-15°C, 염분 32 psu, 폭기 200-300 mL min⁻¹, 광주기 12 L:12 D 조건에서 관리하였다. 사육수는 cartridge filter (공구경 10 µm)로 여과하여 공급하였고, 하루 3회전으로 환수하였다. 난은 수정 후 약 130-135시간 후에 부화가 완료되었다.

부화한 자어는 3 m³ FRP 원형 수조에서 수온 12-15°C, 염분 32 psu, 폭기 200-300 mL min⁻¹, 광주기 12 L:12 D에서 사육되었으며, 사육수는 cartridge filter로 여과하여 공급하였다.

먹이는 부화후 3일째부터 하루 2회 09:00, 14:00 급이하였고, 12일까지는 *Nanochloropsis* sp.로 배양한 rotifer, *Brachionus rotundiformis*를, 13-20일까지는 rotifer와 영양강화된 *Artemia nauplii*를 혼합 급이하였다. 부화 후 21일부터는 실험에 사용할 실험어를 항온실로 옮겨서 30 L 수조 2개에 각각 100마리씩 분양하여 *Artemia nauplii*와 *T. japonicus*를 나누어 급이하여 적응시켰다.

실험조건 및 측정항목

각각의 실험들에 사용된 치어들 (평균체장: 11.17±1.85 mm, 평균체중: 2.59±1.43 mg DW)은 실험에 앞서 24시간 동안 절식시켰으며, 모든 실험은 항온실 내에서 수온 20.0±0.5°C, 염분 32 psu, 폭기 100-200 mL min⁻¹, 광주기 12 L:12 D 조건으로 실시하였다.

섭이율

실험에 사용된 *Artemia nauplii*는 휴면상태의 *Artemia* 내구란 (INVE Aquaculture, Belgium)을 100 L polycarbonate 수조에 수용 후, 수온 28-30°C, 염분 32 psu, 6 L min⁻¹의 폭기 조건에서 24시간 동안 부화시켰다. 부화한 *Artemia nauplii*는 0.3 g L⁻¹ 농도의 chromist *Schizochytrium* (Algamac 2000, Aquafauna Biomarine, USA)으로 12시간 동안 영양강화한 후 50 µm 망에 걸러 세척하고, 20 inds. mL⁻¹의 먹이 농도가 유지되도록 실험어에게 공급하였다.

또한, *T. japonicus*를 포함한 동물플랑크톤들은 인하대학교 태안 배양장 주변 해역에서 네트 (망구: 60 cm, 망목: 190 µm)를

이용하여 채집하였고, 실험실로 운반 후 해부현미경 (OLYMPUS, SZ-60, Japan) 하에서 알을 달지 않은 700-800 µm 크기의 *T. japonicus* 성체만을 분리하여 20 inds. mL⁻¹가 유지되도록 실험어에게 공급하였다.

먹이 순치된 실험어 10마리씩을 GF/C (직경: 47 mm, 공구경: 1.33 µm)로 여과한 해수가 담긴 1 L 비이커에 넣고 24시간 동안 절식시킨 후 본 실험에 사용하였다. 먹이는 하루 2차례 (09:00, 16:00) 공급하였고, 24시간 후인 다음날 09:00에 1 mm 망에 걸러 실험어만을 걸러내고, 남은 먹이량은 해부현미경 하에서 직접 계수하여 단위개체당 섭이량 (prey no. ind⁻¹ day⁻¹)으로 나타내었다. 먹이량 계수시 죽은 먹이생물은 섭이량에서 제거하였고, 모든 실험은 2회 반복하였다.

먹이에 대한 열량값 전환을 위해 *T. japonicus*와 영양강화된 *Artemia nauplii*를 GF/C에 담아 증류수 세척후 dry oven에서 70°C의 온도로 24시간 동안 건조시킨 후 건조량을 측정하였다. 각각의 먹이 생물들은 oxygen bomb calorimeter (Parr, 1341EB, USA)에 태워서 cal ind.⁻¹로 전환하였고 각 먹이당 섭이량을 곱하여 실험어 단위무게당 일일 섭이에너지 (cal ind.⁻¹ day⁻¹)로 표현하였다.

대사율

먹이에 따른 대사율을 측정하기 위하여, 우선 실험 해수는 GF/C로 1차 여과후, membrane filter (직경: 47 mm, 공구경: 0.45 µm)로 2차 여과하여 최종적으로 고압멸균기 (DAEIL, DAC 822, Korea)에서 115°C, 0.5 kg f cm²에서 30분간 멸균 처리하였다. 멸균해수를 담은 3 L 용기에 먹이를 섭이한 실험어 20마리씩 넣고 밀폐 유수식 방법으로 DO-meter (YSI 600XL, USA)를 이용하여 24시간 동안 30분마다 용존산소를 측정하여 정량화하였다. 측정된 값들은 단위무게당 일일 산소소비량 (µL O₂ mg⁻¹ day⁻¹)으로 나타냈다.

개체의 산소소비량은 환경수의 산소 분압에 영향을 받으므로 (Ghiretti, 1966), 산소소비 측정이 끝났을 때의 실험용기내 산소 포화도가 80% 이상인 값을 취하였다. 산소 소비율은 대사열 생산에 의해 소비된 단위무게당 일일 대사에너지 (cal mg⁻¹ day⁻¹)로 표현하였으며 (Elliott and Davison, 1975; 1 mL-O₂ = 4.75 cal), 모든 실험은 2회 반복 실시하였다.

질소배설율

멸균해수가 담긴 1 L stoppered bottle에 각각의 먹이를 충분히 먹인 실험어 10마리씩을 넣고, 실험 시작시 (t₀)와 실험 종료시 (t₂₄) 50 µm 망이 달린 관을 통해 채수하여 Solorzano (1969)의 phenol-hypochlorite method를 이용하여 ammonia 농도를 분석하였다. 측정값들은 아래 식을 이용하여 단위무게당 일일 질소배설량 (µg·atoms-N ind.⁻¹ day⁻¹)으로 표시하였고, 1 mg NH₄⁺-N = 5.94 cal를 이용하여 단위무게당 일일 질소배설 에너지 (cal mg⁻¹ day⁻¹)로 표현하였으며 (Elliott and Davison, 1975), 실험은 2회 반복 실시하였다.

분배출율

분배출물의 침출 및 분해를 막기 위하여 하루 5-6차례 siphon으로 모든 분배출물을 수거하였고, 이것을 GF/C에 걸러서 증류수로 부드럽게 세척한 후 dry oven에서 70°C의 온도로 24시간 동안 건조시켰다. 건중량은 전자저울 (Mettler, MT5, USA)로 측정하였고, oxygen bomb calorimeter (Parr, 1341EB, USA)로 태워서 단위무게당 일일 분배출에너지 (cal mg⁻¹ day⁻¹)로 전환하였으며, 실험은 2회 반복 실시하였다.

에너지·물질 평형 관계식

아래 각 항목의 자료는 상기 실험에서 측정된 값들을 이용하였으며, 성장에너지는 Elliott (1976a)의 식을 통해 유추하였다.

$$C = M + F + U + G$$

- C: 섭취 에너지 (Gross energy intake)
- M: 대사 에너지 (Metabolized energy)
- F: 분배출 에너지 (Fecal energy)
- U: 질소배설 에너지 (Nitrogen excretory energy)
- G: 성장 에너지 (Growth energy)

생태효율

실험어에 대해 측정된 섭취, 호흡, 분배출, 질소 배설, 그리고 성장에 대한 자료를 이용하여 다음의 효율들을 계산하였다.

흡수효율 (absorption efficiency)은 섭취 에너지가 분배출로 버려지는 에너지를 제외하고 체내에서 성장과 대사에 이용되는 효율을 나타낸다 [AE=(C-F)/C×100]. 총성장효율 (gross conversion efficiency, K₁)은 섭취에너지에서 성장에 이용되는 에너지 효율을 나타낸다 [K₁=G/C×100]. 순성장효율 (net conversion efficiency, K₂)은 동화된 에너지에서 성장에 이용되는 에너지 효율을 나타낸다 [K₂=G/(G+M)×100].

통계처리

각각의 실험에서 먹이별 상호관계를 알아보기 위하여 t-test를 이용하여 유의성을 검정하였다 (p<0.01).

결과 및 고찰

섭이에너지 (Gross energy intake)

먹이생물로 사용된 *T. japonicus*와 영양강화한 *Artemia nauplii*의 건중량은 각각 47, 6 µg DW prey⁻¹이었으며, 1 mg 건중량에 대해 6.81±0.64, 38.33±1.67 cal의 열량을 나타냈다.

*T. japonicus*를 섭취한 물가자미는 하루동안 단위무게당 88.47±1.16 prey를 섭취하였다. 반면에, 영양강화한 *Artemia nauplii*를 섭취한 물가자미는 하루동안 단위무게당 211.00±0.56 prey를 섭취하였으며, 이것을 열량값으로 전환하면, 물가자미 치어는 *T. japonicus*와 영양강화한 *Artemia nauplii*로부터 각각 2.790±0.247, 4.801±0.165 cal mg⁻¹ day⁻¹의 에너지를 섭취하였으며 (Table 1), 두 실험구 간에 유의적인 차이를 보였다 (p<0.01). 이것은 영양강화한 *Artemia nauplii*의 월등한 열량에 기인하는 것으로 사료된다.

일반적으로 먹이의 형태, 영양능력 그리고 부속지의 발달상

Table 1. Energy budgets of snotted halibut, *Eopsetta grigorjewi* juvenile fed on *Tigriopus japonicus* (Group A) and the enriched *Artemia nauplii* (Group B). Values are means ± SD. Asterisk indicates significant difference at p=0.01 level between the two groups of snotted halibut.

	Group A	Group B
	cal mg ⁻¹ day ⁻¹	cal mg ⁻¹ day ⁻¹
Gross energy intake	2.790 ± 0.247	4.801 ± 0.165
Fecal energy	0.495 ± 0.046	0.579 ± 0.031
Excretory energy	0.018 ± 0.003	0.055 ± 0.010
Metabolized energy	0.214 ± 0.047	0.306 ± 0.048
Growth energy	2.063	3.861

태 등은 어류의 먹이 선택성에 영향을 준다 (Gulbrandsen, 1993). 따라서, 물가자미 치어의 단위 무게당 섭취량이 *T. japonicus*보다 *Artemia nauplii*가 높았던 것은 저서성 요각류인 *T. japonicus* (700-800 µm, 47 µg DW prey⁻¹)가 *Artemia nauplii* (500-600 µm, 6 µg DW prey⁻¹)에 비해 크고, 부속지가 발달하였으며 움직임이 빠르기 때문에 발생한 것으로 사료된다.

대사에너지 (Metabolized energy)

*T. japonicus*와 영양강화한 *Artemia nauplii*를 섭취한 실험어는 각각 44.72±3.75, 64.40±1.75 µL O₂ mg⁻¹ day⁻¹의 산소를 소비하였으며, 각각 0.214±0.047, 0.306±0.048 cal mg⁻¹ day⁻¹의 열량을 대사에너지로 이용하였다 (Table 1). 따라서, 영양강화한 *Artemia nauplii*를 섭취한 물가자미 치어가 *T. japonicus*를 섭취한 것보다 유의적으로 높은 에너지를 대사에 이용하는 것으로 나타났다 (p<0.01).

대사 (metabolism)는 생물의 체내에서 이용되는 에너지를 생산하기 위한 모든 반응들을 뜻한다 (Fry, 1971). 어류의 대사율은 온도 (Fry, 1971) 등의 환경요인, 크기 (Zeuthen, 1970), 먹이 급이량 (Muir and Niimi, 1972; Brett, 1976) 등에 의해 영향받는다. 특히, Jobling (1994)은 먹이 섭취후 대사율 증가의 원인은 영양분의 저장, 지질 합성과 연관된 단백질 합성 때문이라고 보고하였다. 따라서, 먹이에 함유된 단백질과 아미노산 양은 대사율 증감에 큰 역할을 하게 된다. Watanabe (1988)에 의하면, *T. japonicus*는 crude protein 중 75.8%의 아미노산을 함유한다고 보고하였고, Næss et al. (1995)는 영양강화하지 않은 *Artemia nauplii*는 45.9%를 함유하고, 영양강화를 통해 57.2%로 증가하는 결과를 보였다. 영양강화한 *Artemia nauplii*의 아미노산 함량이 *T. japonicus*보다 크지 않지만, 영양강화로 인한 지질 함량 증가로 영양분 저장이 증가함으로써 *Artemia nauplii*를 섭취한 물가자미가 *T. japonicus*를 섭취한 것보다 더 많은 비율의 에너지를 대사에 이용한 것이라고 사료된다.

질소배설에너지 (Nitrogen excretory energy)

*T. japonicus*와 영양강화한 *Artemia nauplii*를 섭취한 실험어는 각각 3.8±0.4, 9.3±1.8 µg mg⁻¹ day⁻¹의 암모니아를 배설하였으며, 각각 0.018±0.003, 0.055±0.010 cal mg⁻¹ day⁻¹를 질소배설

에너지로 이용하였다 (Table 1). 영양강화한 *Artemia nauplii*를 섭취한 물가자미 치어가 *T. japonicus*를 섭취한 것보다 유의적으로 높은 에너지를 질소배설에 이용하였다 ($p < 0.01$).

일반적으로 어류는 지질과 탄수화물이 호기성 대사에서 호흡기질로 사용될 때는 CO₂와 H₂O로 완전 산화되는 반면에, 단백질은 아미노산 성분이 되는 탄소고리만 에너지 생성에 이용되고, 이용되지 못하고 남겨진 아미노산을 배설한다 (Jobling, 1994). 많은 육식성 어류종들은 먹이 에너지의 40-60%를 단백질로 제공받는데, 먹이로부터 흡수한 질소의 30-50%는 배설의 형태로 배출된다 (Jobling, 1994). 주요 질소 배설물 형태는 암모니아이며, 이것은 간에서 생성되고 아가미에서 수동적으로 배설된다 (Forster and Goldstein, 1969; Payan and Matty, 1975). 또한, Rychly (1980)는 어류의 질소 배설율이 증가하는 요인이 먹이내 단백질이 풍부한 경우와 아미노산 성분이 단백질 합성과 성장 촉진에 적합하지 않은 경우라고 하였다.

본 실험에서 영양강화한 *Artemia nauplii*를 섭취한 물가자미가 *T. japonicus*를 섭취한 것보다 약 2배 이상의 에너지를 배설한 것은 영양강화한 *Artemia nauplii*가 *T. japonicus*보다 각 먹이의 아미노산 성분 차이로 인한 질소 흡수 차이가 발생했다고 추측할 수 있으며 (Watanabe, 1988; Naess et al., 1995), 차후 각각의 먹이에 대한 정확하고 총체적인 성분 조사가 필요하다고 사료된다.

분배출에너지 (Fecal energy)

*T. japonicus*와 영양강화한 *Artemia nauplii*를 섭취한 물가자미 치어는 각각 0.157±0.014, 0.270±0.014 mg DW mg⁻¹ day⁻¹을 배설하였으며, 이 배설물들은 각각 3.165±0.812, 2.124±0.201 cal mg⁻¹의 에너지를 갖는다. 또한, 물가자미 치어는 각각 0.495±0.046, 0.579±0.031 cal mg⁻¹ day⁻¹를 분배출에너지로 소모하였다 (Table 1). 따라서, 영양강화한 *Artemia nauplii*를 섭취한 물가자미 치어가 *T. japonicus*를 섭취한 것보다 유의적으로 많은 에너지를 분배출에 이용하였다 ($p < 0.01$).

에너지 수치 (Energy budget)

먹이에 따른 물가자미 치어의 에너지 수치 차이는 Fig. 1에 나타내었다. 성장에 이용되는 에너지는 개체 에너지 함량으로부터 계산되어졌다 ($G = C - M - F - U$). *T. japonicus*를 섭취한 실험어의 섭이에너지는 2.790±0.247 cal mg⁻¹ day⁻¹로써 이를 100%로 보았을 때, 분배출에 0.495±0.046 cal mg⁻¹ day⁻¹로 섭이에너지에 대해 17.7%, 질소 배설에 0.018±0.003 cal mg⁻¹ day⁻¹로 0.7%, 대사에 0.214±0.047 cal mg⁻¹ day⁻¹로 7.7%의 에너지를 소비하였으며, 2.063 cal mg⁻¹ day⁻¹를 성장에 이용하였고, 이는 섭이에너지에 대해 73.9%를 차지한다.

영양강화한 *Artemia nauplii*를 섭취한 실험어의 섭이에너지는 4.801±0.165 cal mg⁻¹ day⁻¹로써 이를 100%로 보았을 때, 분배출에 0.579±0.031 cal mg⁻¹ day⁻¹로 섭이에너지에 대해 12.0%, 질소 배설에 0.055±0.010 cal mg⁻¹ day⁻¹로 1.2%, 대사에

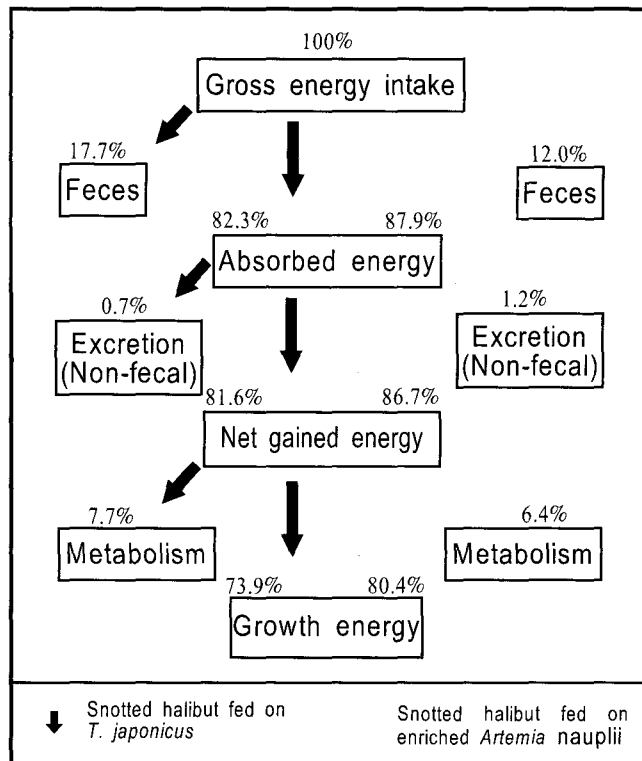


Fig. 1. Energy budgets of snottet halibut, *Eopsetta grigorjewi* juvenile fed on *Tigriopus japonicus* and the enriched *Artemia nauplii*.

0.306±0.048 cal mg⁻¹ day⁻¹로 6.4%의 에너지를 소비하였으며, 3.861 cal mg⁻¹ day⁻¹를 성장에 이용하였고, 이는 섭이에너지에 대해 80.4%를 차지한다.

본 연구에서 *T. japonicus*와 영양강화한 *Artemia nauplii*를 섭취한 물가자미 치어의 에너지 수치는 각각

$$Tigriopus japonicus: 100.0C = 7.7M + 17.7F + 0.7U + 73.9G$$

$$Enriched Artemia nauplii: 100.0C = 6.4M + 12.0F + 1.2U + 80.4G$$

였고, Brett and Groves (1979)가 제시한 일반적인 에너지 수치인 $100C = 44M + 20F + 7U + 39G$ 에 비해 낮은 대사·질소배설·분배출에너지와 높은 성장에너지를 보였다. 이러한 차이는 먹이종류의 차이와 성장에 많은 부분을 할당하는 치어기의 특징, 그리고 저서성 어류인 실험어의 종 특성에 의해 발생한 것으로 사료된다.

생태효율 (Ecological efficiency)

먹이에 따른 흡수효율, 총성장효율, 순성장효율의 차이는 Fig. 2에 나타내었다. *T. japonicus*와 영양강화한 *Artemia nauplii*를 섭취한 실험어의 흡수효율은 각각 81.52±1.89, 86.79±0.70%로 유의적인 차이를 보였다 ($p < 0.01$).

흡수효율 (Absorption efficiency)은 섭이한 에너지 중 성장, 대사 등과 같은 생리적 목적으로 사용되기 위해 체내로 흡수되

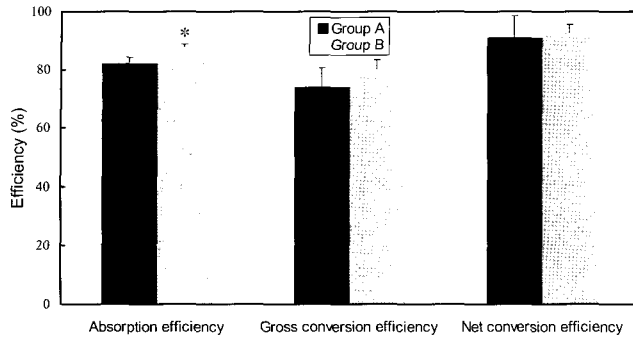


Fig. 2. Absorption efficiency, gross and net conversion efficiency of snotted halibut, *Eopsetta grigorjewi* juvenile fed on *Tigipopus japonicus* (Group A) and the enriched *Artemia* nauplii (Group B). Values are means \pm SD. Asterisk indicates significant difference at $p=0.01$ level between the two groups of snotted halibut juvenile.

는 효율이다. Pandian (1987)는 체중, 먹이량, 온도가 흡수효율에 많은 영향을 주지 않는다고 한 반면에, Allen and Wootton (1983)은 체중, Elliott (1976b)은 굵이 상태와 온도, 그리고 From and Rasmussen (1984)은 3가지 모두에 의해서 영향받는다 고 보고하였다. 흡수효율에 대한 보고는 68% (Mills and Fomey, 1981)에서 99% (Edwards et al., 1972)의 범위를 보이며, Brett and Groves (1979)는 80%, Pandian (1987)은 89%의 흡수효율을 보고하였으며 (30종, 60개의 결과값), 본 실험값은 범위 안에 들거나 유사한 값을 보였다.

한편, 총성장효율은 74.21 ± 6.57 , $80.48 \pm 2.76\%$, 순성장효율은 91.17 ± 7.26 , $92.74 \pm 2.69\%$ 로, 영양강화된 *Artemia* nauplii를 섭취한 실험어의 모든 효율에서 높게 나타났지만, 유의적인 차이는 보이지 않았다 ($p>0.01$).

Brett and Groves (1979)는 총성장효율 (Gross conversion efficiency)이 적합한 먹이 종류, 굵이량, 그리고 환경을 나타내는데 가장 적합하다고 보고하였다. 총성장효율에 대한 보고는 *Pneumatophorus japonicus*에서 60% (Hatanaka and Takahashi, 1956), Cichlid에서 52% (Warren and Davis, 1967)를 나타내었다. 본 실험에서는 *T. japonicus*와 영양강화된 *Artemia* nauplii를 먹인 실험어에서 각각 82.26, 87.94%로 높게 나타났는데, 이는 본실험의 대상어종인 물가자미 치어의 생리적 특성 (낮은 대사율·질소배설율, 높은 성장률) 및 생태적 특성 (저어류)에 기인한 것으로 보인다.

또한, 먹이별 총성장효율과 순성장효율이 유의적 차이가 없는 점에서 볼 때, 영양강화를 통한 *Artemia* nauplii와 *T. japonicus*의 먹이 효율은 거의 유사하므로 *T. japonicus*는 영양효율적인 면에서 먹이 생물로서의 충분한 가능성을 가지고 있다고 사료된다.

사 사

본 연구는 과학기술부 한국과학재단 지정 인하대학교 서해

연안환경연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- Han, K.N. 1998. Effect of starvation on growth, survival and feeding incidence of Tiger puffer (*Takifugu rubripes*) larvae. J. Kor. Aquacul. Soc., 11, 521-528 (in Korean).
- Allen, J.R.M. and R.J. Wootton. 1983. Rate of food consumption in a population of three spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* estimated from the fecal production. Environ. Biol. Fish., 8, 157-168.
- Brett, J.R. 1976. Feeding metabolic rates of sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka* in relation to ration level and temperature. Environ. Can. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep., 675, 1-18.
- Brett, J.R. and T.D.D. Groves. 1979. Physiological Energetics. In: Fish Physiology, Vol. VIII, Hoar, W.S., D.J. Randall and J.R. Brett, eds. Academic Press, London, pp. 279-352.
- Durante, H. 1986. Influence d'alimentation sur la croissance des larves de la carpe (*Cyprinus carpio*) et de coregone (*Coregonus shinzi palea*). Aspects morphologiques. Thèse de 3 cycle, Univ. Bordeaux, Bordeaux, France., 173 pp.
- Edwards, R.R.C., M. Finlayson and J.H. Steele. 1972. An experimental study of the oxygen consumption, growth and metabolism of the cod (*Gadus morhua* L.). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 8, 299-309.
- Elliott, J.M. and W. Davison. 1975. Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics. Oecologia, 19, 195-301.
- Elliott, J.M. 1976a. The energetics of feeding, metabolism and growth of brown trout (*Salmo trutta* L.) in relation to body weight, water temperature and ration size. J. Anim. Ecol., 45, 923-948.
- Elliott, J.M. 1976b. Energy losses in the waste products of brown trout (*Salmo trutta* L.). J. Anim. Ecol., 45, 561-580.
- Forster, R.P. and L. Goldstein. 1969. Formation of excretory products. In: Fish Physiology, Vol. I, Hoar, W.S. and D.J. Randall, eds. Academic Press, New York, pp. 313-350.
- From, J. and G. Rasmussen. 1984. A growth model, gastric evacuation and body composition in rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson. Dana, 3, 61-139.
- Fry, F.E.J. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. In: Fish Physiology, Vol. VI, Hoar, D.J., D.J. Randall and J.R. Brett, eds. Academic

- Press, New York, pp. 1-98.
- Fujita, S. 1973. Importance of zooplankton mass culture in producing marine fish seed for fish farming. *Bull. Plankton. Soc. Japan*, 20, 49-53.
- Fukusho, K., O. Hara, H. Iwamoto and C. Kitajima. 1977. Mass production of the copepod, *Tigriopus japonicus* in combination with the rotifer, *Brachionus plicatilis* feeding baking yeast and using large-scale outdoor tanks (April-August). *Bull. Nagasaki Pref. Inst. Fish*, 3, 33-40.
- Ghiretti, F. 1966. Respiration. In: *Physiology of Mollusca*, Vol. II, Wilbur, K.M. and C.M. Yonge, eds. Academic Press, London, pp. 175-208.
- Gulbrandsen, J. 1993. Prey consumption of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) larvae: selectivity or availability?. *Aquaculture*, 116, 159-170.
- Hatanaka, M. and M. Takahashi. 1956. Utilization of food by mackerel, *Pneumatophorus japonicus*. *Tohoku J. Agric. Res.*, 7, 51-57.
- Jobling, M. 1981. The influence of feeding on the metabolic rate of fishes: A short review. *J. Fish Biol.* 18, 385-400.
- Jobling, M. 1994. Physiological energetics: Feeding, metabolism and growth. In: *Fish bioenergetics*. Pitcher, T.J., ed. Chapman and Hall, New York, pp. 90-206.
- Kitchell, J.F. 1983. Energetics. In: *Fish biomechanics*, Webb, P. W. and D. Weihs, eds. New York, pp. 312-338.
- Lee, C.S. and F. Hu. 1981. Salinity tolerance and salinity effects on brood size of *Tigriopus japonicus* Mori. *Aquaculture*, 22, 377-379.
- Leitritz, E. and R.C. Lewis. 1976. Trout and salmon culture. State of California, Dept Fish Game, Fish. Bull., No. 164, 1-197.
- Mills, E.L. and J.L. Forney. 1981. Energetics, food consumption and growth of young yellow perch in Oneida Lake. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 110, 479-488.
- Muir, B.S. and A.J. Niimi. 1972. Oxygen consumption of the euryhaline fish aholehole (*Kuhlia sandvicensis*) with reference to salinity, swimming, and food consumption. *J. Fish. Res. Board Can.*, 29, 67-77.
- Næss, T., M. Germain-Henry and K.E. Naas. 1995. First feeding of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) using different combinations of Artemia and wild zooplankton. *Aquaculture*, 130, 235-250.
- O'Connell, C.P. 1976. Histological criteria for diagnosing the starving condition in early post yolk sac larvae of the northern anchovy, *Engraulis mordax* Girard. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 25, 285-312.
- Pandian, T.J. 1987. Fish. In: *Animal energetics*. Vol. II, Pandian, T.J. and F.J. Vernberg, eds. Academic Press, 357-465.
- Payan, P. and A.J. Matty. 1975. The characteristics of ammonia excretion by a perfused isolated head of trout (*Salmo gairdneri*): Effect of temperature and CO₂-free ringer. *J. Comp. Physiol.*, 96, 167-184.
- Payne, M.F. and R.J. Rippingale. 2000. Rearing West Australian seahorse, *Hippocampus subelongatus*, juveniles on copepod nauplii and enriched Artemia. *Aquaculture*, 188, 353-361.
- Payne, M.F., R.J. Rippingale and J.J. Cleary. 2001. Cultured copepods as food for West Australian dhufish (*Glaucosoma hebraicum*) and pink snapper (*Pagrus auratus*) larvae. *Aquaculture*, 194, 137-150.
- Raciborski, K. 1987. Energy and protein transformation in sea trout (*Salmo trutta* L.) larvae during transition from yolk to external food. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 34, 437-502.
- Rychly, J. 1980. Nitrogen balance in trout. II. Nitrogen excretion and retention after feeding diets with varying protein and carbohydrate levels. *Aquaculture*, 20, 243-350.
- Sargent, J.R., L.A. McEvory and J.G. Bell. 1997. Requirements, presentation and source of polyunsaturated fatty acids in marine fish larval feeds. *Aquaculture*, 155, 117-127.
- Solorzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.*, 14, 799-801.
- Takano, H. 1971. Breeding experiments of a marine littoral copepod *Tigriopus japonicus* Mori. *Tokai. Reg. Fish. Res. Lab.*, 64, 71-79.
- Theilacker, G.H. 1978. Effect of starvation on the histological and morphological characteristics of jack mackerel, *Trachurus symmetricus* larvae. *Fish. Bull. U.S.*, 76, 403-414.
- Uhling, G. 1984. Progress in mass cultivation of harpacticoid copepods for mariculture purpose. *J. Europ. Maricult. Soc.*, 8, 261-271.
- Warren, C.E. and G.E. Davis. 1967. Laboratory studies on the feeding, bioenergetics and growth of fish. In: *The biological basis of freshwater fish production*, S.D. Gerking, ed. Blackwell, Oxford, pp. 175-214.
- Watanabe, T., T. Arakawa, C. Kitajima, K. Fukusho and S. Fujita. 1978a. Proximate and mineral composition of living feeds used in seed production of fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 44, 973-984.
- Watanabe, T., T. Arakawa, C. Kitajima, K. Fukusho and S. Fujita. 1978b. Nutritional quality of living feed

- from the viewpoint of essential fatty acids for fish. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 44, 1223-1227.
- Watanabe, T. 1988. Larval diets. In: Fish nutrition and mariculture, Japan International Cooperation Agency, pp. 95-131.
- Wood, J.D. 1958. Nitrogen excretion in some marine fishes. Can. J. Biochem. Physiol., 36, 1237-1242.
- Zeuthen, E. 1970. Rate of living as related to body size in organism. Pol. Arch. Hydrobiol., 17, 21-30.
- Zillionx, E.J. 1969. A continuous recirculating culture system for planktonic copepods. Mar. Biol., 4, 215-218.
-
- 2003년 2월 15일 접수
2003년 7월 5일 수리