J. Kor. Soc. Fish. Tech., 47 (2), 128 – 138, 2011
DOI:10.3796/KSFT.2011.47.2.128

FISHERIES TECHNOLOGY
www.fishtech.or.kr

수온과 먹이에 따른 도루묵 (*Arctoscopus japonicus*) 치어의 에너지수지

양재형 · 이성일[1*] · 윤상철 · 김종빈[2] · 전영열[3] · 박기영[4]
국립수산과학원 동해수산연구소, [1]국립수산과학원 자원관리과,
[2]국립수산과학원 대외협력과, [3]국립수산과학원 동해수산연구소 독도수산연구센터,
[4]강릉원주대학교 해양자원육성학과

Energy budget of sandfish juvenile, *Arctoscopus japonicus* reared at different diet conditions and water temperature

Jae-Hyeong YANG, Sung-Il LEE[1*], Sang-Chul YOON, Jong-Bin KIM[2], Young-Yull CHUN[3] and Kie-Young PARK[4]

Fisheries Resources and Environment Division, East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangnung 210-861, Korea
[1]Fisheries Resources Management Division, NFRDI, Pusan 619-705, Korea
[2]External Research Cooperation Division, NFRDI, Pusan 619-705, Korea
[3]Dokdo Fisheries Research Center, NFRDI, Pohang 791-119, Korea
[4]Faculty of Marine Bioscience and Technology, Kangnung-Wonju National University, Gangnung 210-702, Korea

In this study, energy budget was estimated to produce an efficient artificial seed. And it needs to enhance fisheries productivity of sandfish, *A. japonicus*. In order to estimate energy budget of the sandfish, *A. japonicus* juvenile fed on nonriched *Artemia* nauplii (NA) and the enriched *Artemia* nauplii (EA), of sandfish were reared at constant condition of seawater temperature of natural temperature (NT) and heated temperature (HT). During the reared period, energy used by the reared juveniles were calculated from estimates of data on ingestion, growth, oxygen consumption, nitrogen excretion and energy content. Energy budget of NT-NA, NT-EA, HT-NA and HT-EA were represented as 100C＝66.49G＋21.28M＋0.78F＋1.44U, 100C＝67.54G＋21.40M＋9.39F＋1.67U, 100C＝66.86G＋22.66M＋8.01F＋2.47U and 100C＝67.06G＋22.96M＋7.70F＋2.28U. The assimilation efficiency estimated NT-NA, NT-EA, HT-NA and HT-EA were represented as 87.78%, 88.94%, 89.52% and 90.02%. Gross growth efficiency estimated NT-NA, NT-EA, HT-NA and HT-EA were represented as 66.49%, 67.54%, 66.86% and 67.06%. Net growth

*Corresponding author: silee@nfrdi.go.kr, Tel: 82-51-720-2325, Fax: 82-51-720-2337

efficiency estimated NT-NA, NT-EA, HT-NA and HT-EA were represented as 75.75%, 75.94%, 74.68% and 74.49%. In this results, two ways could be considered to produce an efficient artificial seed of sandfish. To hasten the growth of sandfish juvenile, heated seawater (HT) and enriched *Artemia* nauplii (EA) should be inputted to reared condition. And to increase the energy efficiency, natural seawater (NT) and enriched *Artemia* nauplii (EA) should be inputted to reared condition.

Keywords: Sandfish, Sandfish juvenile, *Arctoscopus japonicus*, Energy budget

서 론

도루묵 (*Arctoscopus japonicus*)은 농어목 (Order Perciformes) 도루묵과 (Family Trichodontidae)에 속하는 어종으로 우리나라 동해, 일본 중부 이북, 캄차카반도, 사할린, 알라스카 등에 분포하며 (NFRDI, 2004), 등지느러미는 두개로 앞쪽 것은 삼각형태이고 옆줄과 비늘이 없는 것이 특징이다 (Myoung et al., 2002). 도루묵은 주로 수심 100－200m의 대륙붕에 저질이 모래 또는 펄로 구성되어 있는 지역에 주로 서식하며 (Kim et al., 2005), 겨울철이면 산란을 위하여 수심 2－10m의 얕은 연안으로 회유하여 해조류 줄기에 둥근 알 덩어리를 붙인다 (NFRDI, 2004; Myoung et al., 2002). 도루묵의 서식수온은 2－13°C이고 (NFRDI, 2000), 산란수온은 6－10.5°C로 알려져 있다 (Chyung, 1977).

해산어류의 자원량 감소는 어획에 의한 인위적인 영향뿐만 아니라 자연적인 영향인 물리화학적 및 생리학적 요인에 의해서도 많은 영향을 받는다. 특히, 해산어류의 자치어기에는 물리화학적 및 생리학적 요인에 의하여 초기 감모가 높게 나타나는 것으로 알려져 있다 (Chin et al., 1998). 자치어기의 초기 감모는 차후 성어자원에 중요한 영향을 미치므로 수산자원을 합리적으로 이용·관리하기 위해서는 자치어의 성장, 호흡 및 동화효율 등과 같은 생태, 생리적 연구를 통해 에너지 흐름의 역학적 구조를 이해해야 한다. 또한 도루묵 자원회복을 위해서는 인위적인 자원조성 방안으로 종묘생산에 의한 방류사업을 고려한다면, 해양생태계 내에서 적정한 종묘방류는 대상생물의 가입자원량을 증대시켜 감소된 자원을 단기간에 회복시킬 수 있다. 따라서 도루묵 자원의 초기 감모 원인을 규명하고 어업생산력을 증대시키기 위해서는 도루묵의 치어 단계에서의 에너지수지를 파악하여 효과적인 종묘생산을 하는 것이 매우 중요하다.

도루묵은 우리나라와 더불어 일본에서 자원의 이용도가 높아 일본에서는 과거부터 많은 연구가 수행되었다. 일본에서 도루묵에 대해 수행된 연구로 연령과 성장 및 성숙 (Mio, 1967), 개체군 분석 (Okiyama, 1970), 이석미세구조를 통한 초기성장 추정 (Tsukamoto et al., 1991), 일본 나나오만과 토야만에서 부화 방류된 도루묵의 성장, 성숙과 회유 (Tomoda et al., 2006) 등 많은 연구가 꾸준히 진행되어 있으며, 우리나라에서는 도루묵의 연령·성장과 성숙 (Choi et al., 1983, Yang et al., 2008), 인공종묘 초기사육 (Baik et al., 1989), 난발생 및 치어의 형태 (Myoung et al., 1989), 성성숙과 산란 (Lee et al., 2006), 산란용 조림초 개발 (Yang et al., 2009) 등이 수행되었다. 또한 에너지수지에 관한 연구로 국내에서는 조피볼락 자치어 (Chin et al., 1998), 물가자미 (Lee et al., 2003), 참가자미 (Park, 2007) 등이 있고, 국외에서는 브라운송어, *Salmo trutta* (Elliott, 1976), 틸라피아 (Moronova, 1976), 무지개송어 (Staples and Nomura, 1976), 명태 (Kitchell et al., 1977), 노란농어, *Perca flavescens* (Mills and Forney, 1981)등이 수행되었으나, 도

루묵에 대한 에너지수지 연구는 국내외적으로 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 도루묵의 어업생산력 증대에 영향을 미치는 효율적인 종묘생산을 하기 위해서 도루묵의 치어기 동안 섭식, 호흡, 배설 및 동화효율 등의 대사변화를 토대로 에너지수지를 분석하였다.

재료 및 방법

도루묵 치어에 대한 에너지수지를 알아보기 위해 이용된 수정난은 강원도 고성군 오호리 연안의 정치망내에 부착된 것을 2008년 12월 8일에 채집하였다. 채집된 난은 국립수산과학원 동해수산연구소 어류사육동으로 즉시 운반하여 250L 유수식 원형 틀망에 수용하였고, 60여일동안 관리하여 부화시켰다. 부화된 자어의 환경조건은 광주기를 12L(light):12D(dark)로 실시하였고, 사육수는 cartridge filter (10μm)로 여과하여 공급하였다. 사육수온은 자연해수 수온과 최적 서식수온의 최고수온 13°C로 구분하였고, 총용량 200L의 FRP 수조안에 20L (수용적:18L)용량의 수조를 고정하여 200마리씩 3개의 수조에 나누어 수용하였다. 실험기간 동안 수온은 자연해수 실험구에서 수조를 유수식으로 설치한 결과 9.4 – 12.2°C로 나타났고, 가온해수 실험구는 수조에 가온장치를 설치하여 13 ± 0.5°C로 수온을 유지시켰다 (Fig. 1). 20L 실험구의 해수는 모두 지수식으로 하여 1일 1회 1/3가량 환수시켜 주었고, 환수할 때 수온은 실험구 내의 수온과 맞추어 주었다. 부화 자어의 먹이공급은 난황흡수 후 먹이를 섭이하기 시작한 날로부터 갓 부화한 *Artemia* nauplii와 영양강화한 *Artemia* nauplii를 공급하였다. 에너지수지를 분석하기 위한 실험은 부화 후 7일째 난황흡수가 끝난 후 섭식을 시작하는 시기부터 일주일 간격으로 실시하였고, 실험개체는 무작위로 추출하여 사용하였다.

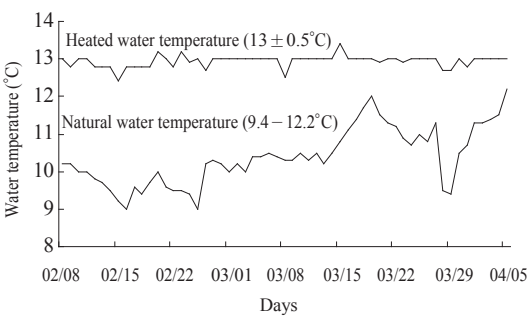

Fig. 1. Variations in daily means of water temperature during experiment time.

도루묵 치어의 성장을 알아보기 위하여 실험 개시일로부터 1주일 간격으로 15마리씩 실체현미경 (Zeiss, 2000c)에 연결된 영상분석장치 (iSolution Lite)로 PC 모니터상에서 체장을 0.001mm 단위까지 측정하였고, 건중량은 열풍건조기 (IB – 05G, JEIO TECH)를 이용하여 60°C에서 24시간동안 건조하여 전자저울 (GB204, METTLER TOLEDO)을 이용하여 0.0001g 단위까지 측정하였다. 각 실험구에 대한 치어의 성장은 전 실험 개체에 대한 평균값으로 나타내었고 8주 동안의 치어에 대한 성장에너지는 실험 종료시의 에너지 값과 실험 시작시의 에너지 값의 차이를 이용하여 추정하였다.

산소소비율을 측정하기 위하여 1주일 간격으로 각 수조별로 먹이를 섭이한 실험어를 무작위로 추출하여 여과해수가 담긴 밀폐용기 (250mL)에 수용하여 12시간 동안 안정시킨 후 6시간마다 용존산소를 수질측정기 (YSI 556MPS)로 측정하고, 실험 전후의 용존산소차로서 정량화하였으며, 개체 1마리당 일간 산소소비율 (mg/day for inds.)으로 나타내었다. 각 개체의 산소소비는 환경수의 산소분압에 영향을 받기 때문에 (Ghiretti, 1966), 용존산소측정이 끝날 시점의 실험용기내 용존산소량이 처음 용존산소량의 80% 이하로 떨어지지 않은 값만을 사용하였다. 실험 기간 동안 산소소비에 이용된 에너지 값을 구하기 위하여 산소소비율을 대사열 생산에 의해 소비된 에너지로 전환시켰다 (Gnaiger, 1983; 1mgO_2 = 14.06J).

실험 기간 동안 도루묵 치어의 분배출율은 극

히 소량이었기 때문에 먹이급여 후 24시간 동안 방치하여도 분의 수거가 불가능하였다. 따라서, 분배출 에너지 함량은 에너지수지 방정식을 사용하여 섭이와 성장, 호흡, 뇨배설 에너지 함량 차로 구하였다.

질소배설율을 구하기 위해 각 수조에서 먹이를 충분히 섭식한 실험어를 추출하여 산소병에 24시간 수용하였다. 암모니아농도는 Solorzano (1969)에서 제시된 Phenol-Hypochlorite 방법을 이용하여 분석하였다. 정량된 암모니아질소는 개체 1 마리당 일간 질소배설량 (μg atoms-N/day for inds.)으로 표시하였으며, 뇨배설로 소비된 에너지량은 질소 1mg당 에너지를 4.06cal로 전환하여 계산하였다 (Brafield and Solomon, 1972).

도루묵 치어의 섭이율을 알아보기 위하여 실험어는 1주일 간격으로 무작위로 추출한 후 여과해수가 담긴 밀폐용기 (250mL)에 수용하였고, 갓 부화한 *Artemia* nauplii와 영양강화한 *Artemia* nauplii 2종을 직접 계수하여 공급하였다. 24시간 후 남은 먹이량을 해부현미경하에서 직접 계수하여 최초 공급한 양에서 남은 먹이량을 제하여 총 섭이량을 구하였고, 개체 1마리당 일간 섭이량 (mg/day for inds.)로 나타내었다. 치어가 섭이한 먹이의 에너지 값을 얻기 위하여 *Artemia* nauplii와 영양강화한 *Artemia* nauplii의 에너지 함량을 측정하였다.

도루묵 치어에 대한 성장에너지는 Elliott (1976)의 식을 통해 추정하였다.

$$C = G + M + F + U \quad (1)$$

여기서 C는 섭이 에너지 (gross energy intake), G는 성장 에너지 (growth energy), M은 대사에너지 (metabolized energy), F는 분배출 에너지 (fecal energy), U는 질소배설 에너지 (egestion energy)를 나타낸다. 그러나 본 연구에서 분배출 에너지 함량은 분석이 불가하였으므로, 성장에너지에서 섭이와 대사, 질소배설, 성장에너지 함량의 차에 의해 구하였다.

도루묵 치어의 생태효율은 섭이, 성장, 호흡, 뇨배설 및 분배출에 대한 분석 자료를 이용하여 구하였다.

동화효율 (A, assimilation efficiency)은 섭이 에너지가 체내에서 이용되지 않고 버려지는 에너지인 분배출을 제외하고 체내에서 성장과 대사에 이용되는 효율을 나타낸다.

$$A = (C - F)/C \times 100 \quad (2)$$

여기서 C는 섭이 에너지 (gross energy intake), F는 분배출 에너지 (fecal energy)이다.

총성장효율 (K_1, gross growth efficiency)은 섭이 에너지에서 성장에 이용되는 효율을 나타낸다.

$$K_1 = G/C \times 100 \quad (3)$$

여기서 C는 섭이 에너지 (gross energy intake), G는 성장 에너지 (growth energy)이다.

순성장효율 (K_2, net growth efficiency)은 동화에너지에 대하여 성장으로 이용되는 에너지 효율을 나타낸다.

$$K_2 = G/(G + M) \times 100 \quad (4)$$

여기서 C는 섭이 에너지 (gross energy intake), G는 성장 에너지 (growth energy), M은 대사에너지 (metabolized energy)이다.

도루묵 치어의 수온과 영양강화한 먹이의 차이에 따른 섭이, 성장, 호흡 및 뇨배설 차이를 알아보기 위해서 SPSS (statistical package for the social science 12.0 for window)프로그램을 이용하여 유의수준 5% 수준에서 ANOVA test로 유의성을 검정하였다. 또한, 각 조건별 차이를 분석하기 위하여 Duncan′s multiple range test를 사용하여 사후검정을 실시하였다.

결 과

자연해수와 가온해수에서 56일간 성장한 도루묵의 평균전장을 살펴보면 (Table 1), 실험개시일의 평균전장은 10.0±1.1mm이었다. 실험종

Table 1. The average daily growth rate and total length during 56 days of *A. japonicus* juvenile reared at different temperature and diet conditions (NT: Natural temperature, HT: Heated temperature, EA: Enriched *Artemia* nauplii, NA: Nonriched *Artemia* nauplii)

Conditions	Initial total length (mm)		Final total length (mm)		Age (day)	Growth rate (mm/day)
	Range	Mean	Range	Mean[1]		
NT-NA	8.3 – 11.8	10.0 ± 1.1	19.2 – 24.6	21.9 ± 1.7[a]	56	0.21
NT-EA	8.3 – 11.8	10.0 ± 1.1	21.3 – 24.9	23.5 ± 1.5[a]	56	0.24
HT-NA	8.3 – 11.8	10.0 ± 1.1	22.0 – 25.0	23.1 ± 1.0[a]	56	0.23
HT-EA	8.3 – 11.8	10.0 ± 1.1	24.4 – 27.4	25.8 ± 1.0[b]	56	0.28

[1]Values(mean ± SE) in the same columns with different superscripts are significantly different (P<0.05)

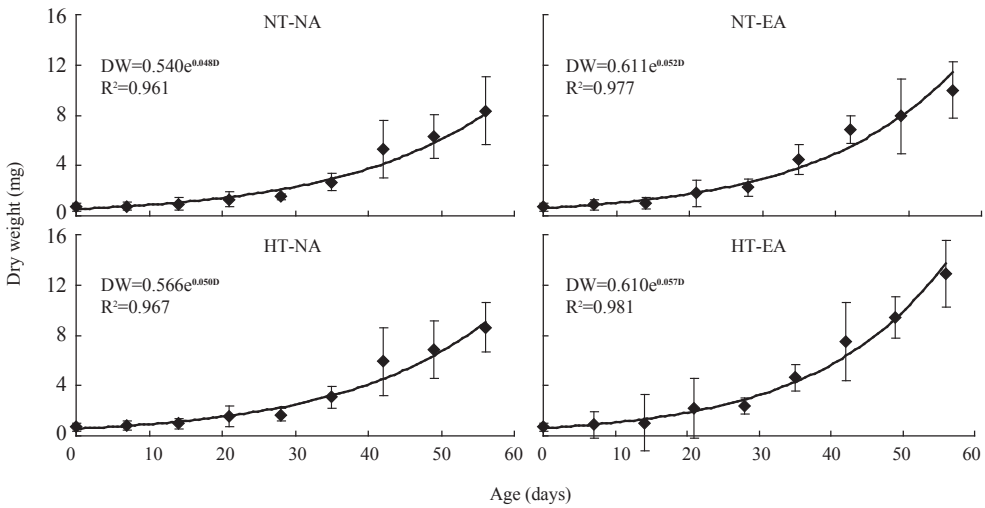

Fig. 2. Daily variations of dry weight of *A. japonicus* juvenile reared at different temperature and feeding conditions during 56 days(NT: Natural temperature, HT: Heated temperature, EA: Enriched *Artemia* nauplii, NA: Nonriched *Artemia* nauplii).

료시의 자연해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구 (NT – NA)의 평균전장은 21.9 ± 1.7mm로, 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구 (NT – EA)는 23.5 ± 1.5mm였고, 가온해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구 (HT – NA)의 평균전장은 23.1 ± 1.0mm로, 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구 (HT – EA)는 25.8 ± 1.0mm로 나타났다. 도루묵 치어의 자연해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구의 일간성장률은 0.21mm/day로 나타났고, 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구는 0.24mm/day로 나타났다. 가온해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구의 일간성장률은 0.23mm/day로 나타났고, 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구는 0.28mm/day로 나타났다. 가온해수의 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 타 실험구에 비해 성장이 좋은 것으로 나타났다 (P<0.05).

도루묵 치어의 체성장은 자연해수의 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 $DW = 0.540e^{0.048D}$ ($R^2 = 0.961$), 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 $DW = 0.611e^{0.052D}$ ($R^2 = 0.977$), 가온해수의 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 $DW = 0.566e^{0.050D}$ ($R^2 = 0.967$), 영양강화한 *Artemia* naupli 실험구에서 $DW = 0.610e^{0.057D}$ ($R^2 = 0.981$)로 나타났다 (Fig. 2).

도루묵 치어의 성장에 사용되는 에너지값을

알아보기 위해 실험시작시의 에너지값과 실험 종료시의 에너지값을 측정하였다 (Table 2). 자연해수에서 사육기간 동안에 사용된 에너지는 갓 부화한 *Artemia* nauplii를 공급한 경우는 15.83cal, 영양강화한 *Artemia* nauplii를 공급한 경우는 22.16cal로 나타났고, 가온해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii를 공급한 경우는 16.50cal, 영양강화한 *Artemia* nauplii를 공급한 경우는 26.07cal로 나타났다.

자연해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii와 영양강화한 *Artemia* nauplii를 공급한 도루묵 치어는 각각 0.026±0.003mg/day, 0.037±0.004mg/day로 산소를 소비하였고, 가온해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii와 영양강화한 *Artemia* nauplii를 공급한 치어는 각각 0.030±0.003mg/day, 0.047±0.005mg/day로 산소를 소비하였다 (Table 3). 가온해수에서 먹이조건에 따른 산소소비는 유의한 차이를 보였다 (P<0.05).

자연해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii와 영양강화한 *Artemia* nauplii를 공급한 도루묵 치어는 각각 1.454±0.098μg/day, 2.413±0.190μg/day으로 질소를 배설하였고, 가온해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii와 영양강화한 *Artemia* nauplii를 공급한 도루묵 치어는 각각 2.677±0.123μg/day, 3.900±0.218μg/day로 질소를 배설하였다 (Table 3). 수온과 먹이 모두의 조건을 달리 했을 경우에 질소배설이 가장 높게 나타났다 (P<0.05).

자연해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii와 영양강화한 *Artemia* nauplii를 공급한 도루묵 치어은 각각 0.058±0.004mg/day, 0.082±0.007mg/day로 섭이하였고, 가온해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii와 영양강화한 *Artemia* nauplii를 공급한 도루묵 치어는 각각 0.062±0.005mg/day, 0.097±0.009mg/day로 섭이하였다 (Table 3). 가온해수에서 먹이조건에 따른 섭이가 유의한 차이를 보였지만 (P<0.05), 수온조건에 따른 섭이는 유의한 차이를 보이지 않았다 (P>0.05).

실험기간동안 도루묵 치어에 대한 수온 및 먹이의 차이에 따른 누적 에너지수지를 살펴보면 (Table 4), 자연해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구의 도루묵 치어는 성장에너지 15.23cal, 대사에너지 4.87cal, 섭이에너지 22.90cal로서 총 섭이에너지 중에서 성장에너지가 66.51%, 호흡에너지가 21.27%를 차지하였다. 또한 뇨배설 및 분배출에너지는 각각 2.47cal, 0.33cal로서 총 섭이에너지에 대해 각각 10.79%, 1.44%를 차지하였다.

자연해수에서 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구의 도루묵 치어는 성장에너지 22.16cal, 대사에너지 7.02cal, 섭이에너지 32.81cal로서 총 섭이에너지 중에서 성장에너지 67.54%, 호흡에너지

Table 2. Energy contents of *A. japonicus* juvenile reared at different temperature and diet conditions (NT: Natural temperature, HT: Heated temperature, EA: Enriched *Artemia* nauplii, NA: Nonriched *Artemia* nauplii)

Conditions	Energy contents (cal/g dry w.)		
	Initial content	Final content	Growth energy
NT-NA	4079.31	4095.14	15.83
NT-EA	4079.31	4101.47	22.16
HT-NA	4079.31	4095.81	16.50
HT-EA	4079.31	4105.38	26.07

Table 3. The average daily rate of various factors of *A. japonicus* juvenile reared at different temperature and diet conditions (NT: Natural temperature, HT: Heated temperature, EA: Enriched *Artemia* nauplii, NA: Nonriched *Artemia* nauplii)

Factor	Conditions			
	NT-NA	NT-EA	HT-NA	HT-EA
oxygen(mg/day)	0.026 ± 0.003^{a}	0.037 ± 0.004^{ab}	0.030 ± 0.003^{a}	0.047 ± 0.005^{b}
NH_3 excretion(μg/day)	1.454 ± 0.098^{a}	2.413 ± 0.190^{ab}	2.677 ± 0.123^{b}	3.900 ± 0.218^{c}
ingestion(mg/day)	0.058 ± 0.004^{a}	0.082 ± 0.007^{ab}	0.062 ± 0.005^{a}	0.097 ± 0.009^{b}

Values (mean±SE) in the same rows with different superscripts are significantly different (P<0.05)

Table 4. Cumulative energy budget of *A. japonicus* juvenile reared at different temperature and diet conditions (NT: Natural temperature, HT: Heated temperature, EA: Enriched *Artemia* nauplii, NA: Nonriched *Artemia* nauplii)

Parameter	Symbol	Conditions			
		NT-NA	NT-EA	HT-NA	HT-EA
Gross energy intake(cal)	C	22.90 (100%)	32.81 (100%)	24.67 (100%)	38.87 (100%)
Growth energy(cal)	G	15.23 (66.51%)	22.16 (67.54%)	16.50 (66.86%)	26.70 (67.06%)
Metabolized energy(cal)	M	4.87 (21.27%)	7.02 (21.40%)	5.59 (22.66%)	8.93 (22.96%)
Fecal energy(cal)	F	2.47 (10.79%)	3.08 (9.39%)	1.98 (8.01%)	2.99 (7.70%)
Nitrogen excretory energy(cal)	U	0.33 (1.44%)	0.55 (1.67%)	0.61 (2.47%)	0.89 (2.28%)

Table 5. Ecological efficiencies of *A. japonicus* juvenile reared at different temperature and diet conditions (NT: Natural temperature, HT: Heated temperature, EA: Enriched *Artemia* nauplii, NA: Nonriched *Artemia* nauplii)

Ecological efficiencies(%)	Conditions			
	NT-NA	NT-EA	HT-NA	HT-EA
Assimilation efficiency	87.78	88.94	89.52	90.02
Gross growth efficiency	66.49	67.54	66.86	67.06
Net growth efficiency	75.75	75.94	74.68	74.49

21.40%를 차지하였다. 또한 뇨배설 및 분배출 에너지는 각각 3.08 cal, 0.55 cal로서 총 섭이에너지에 대해 각각 9.39%, 1.67%를 차지하였다.

가온해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구의 도루묵 치어는 성장에너지 16.50cal, 호흡에너지 5.59cal, 섭이에너지 24.67cal로서 총 섭이에너지 중에서 성장에너지가 66.86%, 호흡에너지가 22.66%를 차지하였다. 또한 뇨배설 및 분배출 에너지는 각각 1.98cal, 0.61cal로서 총 섭이에너지에 대해 각각 8.01%, 2.47%를 차지하였다.

가온해수에서 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구의 도루묵 치어는 성장에너지 26.07cal, 호흡에너지 8.93cal, 섭이에너지 38.87cal로서 총 섭이에너지 중에서 성장에너지 67.06%, 호흡에너지 22.96%를 차지하였다. 또한 뇨배설 및 분배출 에너지는 각각 2.99cal, 0.89cal로서 총 섭이에너지에 대해 각각 7.70%, 2.28%를 차지하였다.

실험기간동안 도루묵 치어에 대한 수온 및 먹이의 차이에 따른 생태효율을 살펴보면, 자연해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구와 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 도루묵 치어의 동화효율은 각각 87.78%, 88.94%로 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구가 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구에 비해 다소 높은 값으로 나타났으며, 총성장효율 (K_1)은 각각 66.49%, 67.54%, 순성장효율 (K_2)은 75.75%, 75.94%로 나타났다 (Table 5).

가온해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구와 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구에 대한 도루묵 치어의 동화효율은 각각 89.52%, 90.02%로 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구가 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구에 비해 다소 높은 값으로 나타났으며, 총성장효율 (K_1)은 각각 66.86%, 67.06%, 순성장효율 (K_2)은 74.68%, 74.49%로 나타났다 (Table 5).

고 찰

본 연구에서는 도루묵 치어의 수온과 먹이에 따른 에너지 흐름을 알아보기 위해 실험구를 자연해수와 가온해수를 나누었고, 먹이는 갓 부화한 *Artemia* nauplii와 영양강화한 *Artemia* nauplii를 공급하여 실험을 수행하였다. 도루묵 치어의 수온 및 먹이조건에 따른 성장은 두가지 요인 모두의 변화를 주었을 때 성장에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 조피볼락의 치어도 영양강화한 *Artemia* nauplii를 먹이로 공급하였을 경우가 영양강화 시키지 않은 채 *Artemia* nauplii를 먹이로 공급한 경우보다 성장에서 보다 향상된 결과를 나타내었다 (Cho and Hur, 1998). 또한 Baik et al. (1989)에 의한 도루묵의 인공종묘 초기사육에 관한 연구에서 부화 60일 후의 전장(18.0 – 22.5mm)과 비교해보면, 본 연구에서 전장(19.0 – 27.4mm)이 좀 더 성장이 좋은 것으로 보인다. Myoung et al. (1989)에 의한 난발생 및 치어의 형태에 관한 연구에서는 부화 후 56일째 전장은 29.0mm로 본 연구결과보다 성장이 좋았던 것으로 나타났다. Baik et al. (1989)의 사육수온은 1.0 – 5.0°C이었고, Myoung et al. (1989)의 사육수온은 9.9 – 14.5°C였으며, 본 연구에서의 사육수온은 9.4 – 12.2°C, 13 ± 0.5°C로 수온에 따른 도루묵 치어의 성장에 차이가 있는 것으로 사료된다.

도루묵 종묘생산에 있어 치어 단계에 대량폐사를 막기 위해서는 *Artemia* nauplii를 고도불포화 지방산 또는 필수 아미노산을 다량으로 함유하고 있는 것으로 영양강화하여 도루묵 치어의 먹이로 공급하고, 또한 자연에서의 도루묵 치어의 먹이생물을 채집 · 배양하여 기존의 먹이 생물들과 비교분석함으로써 먹이생물들의 영양학적 가치를 구체적으로 평가할 수 있는 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

치어의 산소소비율은 어종 및 크기에 따라 다르게 나타나거나 어류의 생태적인 특징(생활사) 등에 따라 다소 차이가 있고, 대사에너지는 생물의 체내에서 이용되는 에너지를 생산하기 위한 모든 반응들을 뜻하며 (Fry, 1971), 치어의 대사율은 수온, 염분 및 먹이의 밀도 등과 같은 환경요인에 따라 영향을 받는다 (Almatar, 1984). 본 연구결과의 도루묵 치어의 산소소비는 수온조건 보다는 먹이조건에 따른 영향이 더 큰 것으로 나나타났다.

도루묵 치어의 질소배설율은 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 배설율이 높게 나타났고, 가온해수의 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 가장 높게 나타났다. 어류의 질소 배설율은 먹이 내 단백질이 풍부한 경우이거나 아미노산 성분이 단백질 합성과 성장 촉진에 적합하지 않은 경우에 증가하는 것으로 알려져 있다 (Rychly, 1980). 본 연구에서 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구에 질소 배설율이 높게 나타난 것은 영양강화한 *Artemia* nauplii의 일반성분에 단백질 함량이 더 높은 것이 원인으로 생각된다.

해양생물에 있어 암모니아 분비는 단백질 이화작용에 의한 배설의 마지막 산물이며, 생물의 영양학적인 상태, 재생산적인 상태와 함께 다양한 단백질 이화작용의 지시자로 간주되고 있다 (McAllan and Griffith, 1987). 그러나 도루묵 치어의 뇨배설과 분배출율의 변화는 다른 생리작용의 에너지보다 낮은 비중을 차지하고 있기 때문에 에너지수지에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 생각된다.

도루룩 치어에 대한 에너지수지를 분석한 결과, 모든 실험구에서 성장에 가장 많은 에너지를 소비하였으며, 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 성장에 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. Brett and Groves (1979)가 제시한 일반적인 에너지수지인 100C = 44M + 20F + 7U + 39G (C: 섭이에너지, M: 대사에너지 (호흡), F: 분배출에너지, U: 뇨배설에너지, G: 체성장에너지)에 비해 도루묵 치어의 경우는 대사 · 질소배설 및 분배출 에너지는 낮았고, 성장에너지는 높았다. 또한 조피볼락 (*Sebastes schlegeli*) 자치어

기 (Chin et al., 1998), 물가자미 (*Eopsetta grigoriewi*) 치어 (Lee et al., 2003)의 에너지수지 연구에서도 높은 성장에너지 값이 나타나 본 연구결과와 유사하였다. 이런한 결과는 성장에 많은 에너지를 소요하는 치어기의 특징 때문인 것으로 사료된다.

Elliott (1976)는 동화효율이 급이 상태와 온도에 따라 영향을 받는다고 보고하였고, 본 연구결과에서도 동화효율이 먹이와 온도에 따라 영향이 있는 것으로 나타났다. Brett and Groves (1979)는 총성장효율이 대상생물의 적합한 먹이 종류, 급이량 및 환경을 선택하는데 사용될 수 있다고 하였는데, 본 연구결과에서 보면 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 총성장효율값이 높은 값을 나타내어 영양강화한 *Artemia* nauplii가 먹이로써 보다 적합한 것으로 나타났다. 순성장효율은 자연해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 75.75%로 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 75.95%로 나타났고, 가온해수에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구 74.68%로 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 74.49%로 나타났다. 이상의 결과를 종합해보면 도루묵 치어는 가온해수에서 영양강화한 *Artemia* nauplii를 급이하면 최대 성장은 가능하나 성장률에 비해 생존율은 낮아졌고, 자연해수에서 영양강화한 *Artemia* nauplii를 급이하면 성장은 가온해수에 비해 낮으나 성장효율에 있어 에너지 효율이 높게 나타나 도루묵의 종묘생산시 종묘생산의 목적을 명확히 설정하고 이러한 특성을 고려하여 생산환경을 구축해야 할 것이다.

따라서, 본 연구결과는 도루묵 치어에 대해 수온과 먹이의 사육환경에 따른 발육단계의 총성장효율값의 변화를 파악할 수 있었고, 도루묵의 어업생산력증가에 영향을 미칠 수 있는 종묘생산개발에 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

결 론

본 연구에서는 도루묵의 어업생산력 증가에 영향을 미치는 효율적인 종묘를 생산하기 위해서 도루묵의 치어기 동안에 에너지수지와 동화효율, 총성장효율, 순성장효율의 생태효율을 추정하였다. 에너지수지는 자연 해수의 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 100C＝66.49G＋21.28M＋10.78F＋1.44U, 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 100C＝67.54G＋21.40M＋9.39F＋1.67U, 가온해수의 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 100C＝66.86G＋22.66M＋8.01F＋2.47U, 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 100C＝67.06G＋22.96M＋7.70F＋2.28U로 나타났다. 생태효율의 동화효율, 총성장효율, 순성장효율은 자연수온에서 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 각각 87.78%, 66.49%, 75.75%로 나타났고, 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 각각 88.94%, 67.54%, 75.94%로 나타났다. 가온해수(13±0.5° C)에서의 동화효율, 총성장효율, 순성장효율은 갓 부화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 각각 89.52%, 66.86%, 74.68%로 나타났고, 영양강화한 *Artemia* nauplii 실험구에서 각각 90.02%, 67.06%, 74.49%로 나타났다. 따라서, 도루묵 치어의 성장을 촉진시키기 위해서는 가온해수에서 영양강화한 *Artemia* nauplii를 급이하는 것이 효과적이고, 종묘생산에 있어서는 에너지효율이 가장 높게 나타난 자연해수에서 영양강화한 *Artemia* nauplii를 급이하는 것이 효과적으로 생각된다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 (동해 연안어업 및 환경생태 조사, RP-2010-FR-043)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

Almatar, S.M., 1984. Effects of acute changes in temperature and salinity on the oxygen uptake of

juvenile of herring (*Cleupea harengus*) and plaice (*Pleuronrctes platessa*). Mar. Biol., 80, 117 – 124.

Baik, K.K., Y.I. Rho, Y.S. Chung, Y.T. Hwang and G.E. Hong, 1989. The artificial seed production of sandfish, *Arctoscopus japonicus* (Steindachner). Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 43, 145 – 156.

Brafield, A.E. and D.J. Solomon, 1972. Oxy-calorific coefficients for animals respiring nitrogenous substances. Comp. Biochem. Physiol., 43, 837 – 841.

Brett, J.R. and T.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.

Chin, 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* (Teleotei : Scorpaenidae). Ⅱ. Energy budget of the juvenile and juveniles stages. Korean J. Ichthyol., 10 (1), 106 – 114.

Cho, S.H. and S.B. Hur, 1998. Effects of enrichment of rotifers and Artemia on juvenile mass production of rockfish, *Sebastes schlegeli*. Journal of Aquaculture, 11 (4), 437 – 447.

Choi, S.H., Y.Y. Chun, S.J. Son and H.K. Suh, 1983. Age, growth and maturity of sandfish, *Arctoscopus japonicus* (Steindachner) in the eastern sea of Korea. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 31, 7 – 19.

Chyung, M.K., 1977. The fishes of Korea. Il – Ji Sa Publishing Co., Seoul, pp. 1 – 727.

Eldridge, M.B., J.A. Whipple and M.J. Bowers, 1982. Bioenergetics and growth of striped bass, Morone saxatilis, embryos and juvenile. Fish. Bull., 80, 461 – 474.

Elliott, J.M., 1976. 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.

Fry, F.E.J., 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. Environmental relations and behavior, ed. by W.S. Hoar and D.J. Randall. New York, Academic Press, 1 – 98.

Ghiretti, F., 1966. Respiration. In physiology of mollusca(eds. K. M. Wilbur and C. M. Yonge). Academic Press, London, 2, 175 – 208.

Gnaiger, E., 1983. Calculation on energetic and biochemical equivalents of respiratory oxygen consumption. in : Polarographic oxygen sensors (eds. E. Gnaiger and H. Forstner), Springer, Berlin, pp. 337 – 345.

Kim, C.K. and C.I. Zhang, 1998. Estimation of energy budget from food consumption and growth of *Hexagrammos agrammus*. J. Kor. Fish. Soc., 31 (1), 121 – 126.

Kim, I.S., Y. Choi, C.Y. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim, 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyohak Press, Seoul, pp. 1 – 615.

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. Board Can, 34, 1922 – 1935.

Lee, H.W., J.H. Lim and Y.J. Kang, 2006. Sexual maturation and spawning in the sandfish *Arctoscopus japonicus* in the east sea of Korea. J. Kor. Fish. Soc. Res., 39 (4), 349 – 356.

Lee, S.S., N.H. Kyoung and W.D. Yoon, 2003. Energy budget of snotted halibut juvenile, *Eopsetta grigorjewi* with two different prey items. J. Kor. Fish. Soc. Res, 36 (4), 358 – 364.

McAllan, A.B. and E.S. Griffith, 1987. The effect of different sources of nitrogen supplementation on the digestion of fiber components in the rumen of steers. Anim. Feed Sci. Techn., 17, 1 – 65.

Mills, E.L. and J.L. Forney, 1981. Energetics, food consumption and growth of young yellow perch in Oneida lake, New York. Trans. Am. Fish. Soc., 110, 479 – 488.

Mio, S., 1967. Studies on the population biology of the sandfish *Arctoscopus japonicus* I. Age, growth and maturity. Bull. Jap. Sea Reg. Fish. Res. Lab., 18, 23 – 37.

Moronova, N.V., 1976. Changes in the energy balance of *Tilapia mossambica* in realtion to temperature and ration size. J. Ichthyol., 16, 120.

Myoung, J.G., J.M. Kim and Y.U. Kim, 1989. Egg development and morphology of sandfish, *Arctoscopus japonicus* larvae and juveniles reared in the laboratory. J. Kor. Fish. Soc., 22(3), 129 – 137.

Myoung, J.G., B.I. Kim, S.M. Lee and G.B. Jeon, 2002. The sea fishes of Korea. Darakwon press, Seoul, pp. 1 – 287.

NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute), 2000. Ecology and fishing ground of fishery stock in EEZ (exclusive economic zone). Ye mun co., Busan, pp. 1 – 317.

NFRDI, 2004. Commercial fishes of the coastal and offshore waters in Korea. 2nd ed. Hangul Press, Busan, pp. 1 – 333.

Okiyama, M., 1970. Studies on the population biology of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* (STEINDACHNER). Ⅱ. Population analysis (preliminary report). Bull. Jap. Sea Reg. Fish. Lab., 22, 59 – 69.

Park, H.W., 2007. Studies on the fisheries ecology and aquacultural biology of the brown sole, *Pleuronectes herzensteini* in the East sea. Ph. D. Thesis, Kangnung National University, Gangneung, Korea. pp. 1 – 134.

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.

Solorzano, L., 1969, Determination of ammonia in natural waters by the Phenol-Hypochlorite method, Liminology and Oceanography, 14, 799 – 801.

Staples, J. and N. Nomura, 1976. Influence of body size and food ration of the energy budget of rainbow trout, *Salmon gairdneri* Richardson. J. Fish Biol., 9, 29 – 43.

Tomoda, T., K. Hotta and T. Morioka, 2006. Growth, spawning and migration of hatchery-reared Japanese sandfish *Arctoscopus japonicus* released in Nanao Bay and Toyama Bay. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 72 (6), 1039 – 1045.

Tsukamoto, K., Y. Shima and J. Hirokawa, 1991. Estimation of early growth history in the Japanese sandfish with otolith microstructure. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 57 (4), 585 – 589.

Yang, J.H., S.I. Lee, H.K. Cha, S.C. Yoon, D.S. Chang and Y.Y. Chun. 2008. Age and growth of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea. J. Kor . Soc. Fish. Tech., 44 (4), 312 – 322.

Yang, J.H., S.I. Lee, B.S. Bae, H.K. Cha, S.C. Yoon, Y.Y. Chun, J.B. Kim, and D.S. Chang, 2009. Development of artificial spawning seaweeds of sandfish, *Arctoscopus japonicus*. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 45 (4), 234 – 242.

2011년 1월 13일 접수
2011년 3월 8일 1차 수정
2011년 4월 7일 2차 수정
2011년 4월 18일 수리