

물렁가시붉은새우(*Pandalopsis japonica*)의 유생 단계에 따른 에너지수지

김진각 · 권오남¹ · 박기영^{2*}

경상북도수산자원개발연구소, ¹강릉원주대학교 해양생물연구교육센터, ²강릉원주대학교 해양자원육성학과

Energy Budgets of Pandalid Shrimp *Pandalopsis japonica* Larvae in the Different Larval Stages

Jin Gak Kim, O-Nam Kwon¹ and Kie-Young Park^{2*}

Gyeongsangbuk-do Fishery Resources Development Institute, Yeongdeok 766-850, Korea

¹Marine Biology Center for Research and Education, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-853, Korea

²Department of Marine Bioscience, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-702, Korea

The energy budget of the larvae of pandalid shrimp, *Pandalopsis japonica*, reared in the laboratory from zoea to post-larva was investigated. Energy used during the growth of the shrimp larvae was calculated daily for feeding, growth, molting, and metabolism. The total energy used was 16.2 J for the entire larval stage. Molting energy loss was estimated at a total 1.03 J. Energy used for respiration was estimated at a total of 1.85 J. The intake energy by feeding reached a total of 77.69 J. The total sum of energies used by excretion and egestion was 58.61 J. Larvae assimilated 24.57% of ingested food and used 84.91% for somatic growth. The gross growth efficiency (K_1) was 22.19% for the entire larval stage, and the net growth efficiency (K_2) was 90.31%. Maintenance costs were estimated at 9.69% of assimilated energy for the entire larval stage.

Key words: Metabolism, Energy budget, Pandalid shrimp, Assimilation Efficiency, Growth Efficiency

서론

동물의 에너지수지에 관한 연구는 에너지 흐름을 이해하고 동물생태계의 기능을 파악하는데 있어 유용한 수단이 된다. 생태계는 복잡한 먹이사슬 또는 먹이그물과 같은 영양적 구조로 집단 간의 에너지흐름의 양에 밀접하게 관련되어 있다. 이러한 복잡한 먹이망 속에서 물질을 통한 에너지 흐름을 파악하기 위해서 에너지수지 분석은 각 생물의 영양대사 파악에 매우 중요하다(Klekowski and Duncan, 1975). 어느 한 생물의 개체에 유입되는 모든 에너지는 열로서 상실하거나, 다른 영양 단계로 전이된다. 생물학적 물질계는 물질전환에 따른 에너지 흐름에 의해서 체계화되고, 물질의 량과 질에 밀접하게 관련된다. 그러므로 에너지 흐름의 파악은 자연집단의 에너지수지를 분석하는 것이 필요하지만, 우선 개체의 생활사에 따른 에너지수지를 정확하게 분석하는 것이 매우 중요하다(Park, 1989).

갑각류의 에너지수지에 관해서는 자연과 실험실 내 집단을

대상으로 많은 연구가 진행되어 있으며(Crisp, 1974; Levine and Sulkin, 1979; Emmerson, 1984; Harms, 1987; Willows, 1987; Kim and Chin, 1991), 성장, 산소소비, 질소배설 및 섭식에 대한 에너지 함량을 파악하여 에너지수지 방식을 통해서 그 영양적 체계를 구성해 볼 수 있다(Clutter and Theilacker, 1971; Sameoto, 1976). 동물의 에너지수지에 관한 연구는 다른 영양 단계 간의 에너지 전이유형을 이해하는 총체적 지표가 되며, 그 동물의 생산성과 생태적 효율을 예측하는 자료로서 유용하다(Vernberg and Vernberg, 1981).

물렁가시붉은새우(*Pandalopsis japonica*)는 십각목(Order Decapoda) 도화새우과(Family Pandalidae)에 속하는 종으로 우리나라 동해와 오힌크해 연안에 분포하며 주로 깊이 60-650 m에 주로 서식한다. 한해성 종으로 작은 갑각류를 먹이로 하며 자라면서 응성 성숙 자용동체의 성전환을 하는 것으로 다산(多産)이 특징이다. 몸 표면은 털이 없고 매끈하며 두 눈 사이로 뺨은 이마뿔은 곡선을 그리며 위로 솟구쳐 있는데 그 끝은 2개로 갈라

Article history;

Received 16 April 2013; Revised 19 July 2013; Accepted 1 August 2013

*Corresponding author: Tel: +82. 33. 640. 2342 Fax: +82. 33. 640. 2340

E-mail address: parkky@gwnu.ac.kr

Kor J Fish Aquat Sci 46(6) 807-812, December 2013

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0807>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

© The Korean Society of Fishereis and Aquatic Science. All rights reserved

져 있다. 몸 색깔은 전체적으로 붉은색을 띠며 몸 옆으로 몇 개의 불규칙한 흰줄무늬가 있다(NFRDI, 2007).

본 연구는 물렁가시붉은새우 유생을 대상으로 성장, 탈피, 호흡, 섭취 및 에너지 함량을 측정하여 유생발달 동안 에너지수지를 분석하고 섭식과 성장에 따른 유생의 에너지 흐름의 경향을 파악함으로써 개체 및 개체군에 대한 생리적 기초 자료를 얻는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

성장 및 에너지함량

초기 유생의 개체별 성장을 측정하기 위하여 수온 $8 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 하에서, 250 mL 용기(사육수, 200 mL)를 수용한 후 부화 직후 유생을 1마리씩 수용하여 *Artemia nauplii* (이하 *Artemia*)를 약 10 inds./mL의 농도로 공급하면서 매일 아침 탈피체를 수거하여 크기를 측정하였다. 성장 측정은 유생의 손상을 방지하기 위해 실험 중인 유생의 탈피체로 측정하고, 유생 탈피체의 에너지 함량 및 건조중량은 열량계의 측정 한계를 고려하여 단계를 구분하지 않고 대형사육(1 ton) 수조에서 모아서 전체를 증량단위로 측정하였다. 실험유생의 체장은 마지막 복부 체절의 말단에서 두흉갑의 앞쪽 끝까지의 직선거리를 광학현미경(OLYMPUS IX70)을 이용하여 0.01 mm 단위로 측정하였다. 또한 초기 유생 단계별 유생 및 탈피체에 에너지 함량은 자동폭발열량계(PARR 1315, USA)로 측정하여 'J' 로 표시하였다.

산소소비

유생의 산소소비량은 250 mL 산소병에 물렁가시붉은새우 단계별 유생을 5마리씩 수용하였고 수용직후와 24시간 후의 용존 산소측정기(YSI 556 MPS, USA)로 용존산소를 측정하여 그 차이 값으로 정량하였다. 산소소비량 실험은 오전시간에 8°C 사육수에 산소병을 담겨서 5회 반복으로 실시하여, 평균치로 개체당 단위시간당 산소소비량을 $\mu\text{LO}_2/\text{ind}/\text{day}$ 으로 표시하였다. 산소소비량은 Gnaiger (1983)가 이용한 산소분자의 에너지 전환계수를 이용하였다($1 \text{ mgO}_2=3.38 \text{ cal}$). 대사에 쓰인 에너지는 $4.71 \times 10^{-3} \text{ cal}/\mu\text{LO}_2$ 의 변환계수를 사용하여 계산하였다(Crisp, 1974). 개체의 산소소비량은 환경수의 산소 분압에 영향을 받기 때문에(Ghiretti, 1966; McLusky, 1973; Ikeda, 1974) 산소소비 측정이 끝날 때의 실험용기 내 용존산소량이 실험시작 시 산소량의 60.0% 이하로 떨어지지 않게 조절하였다.

섭취

유생의 섭취량 측정 시에는 250 mL의 용기에 물렁가시붉은새우 유생을 1마리씩 수용한 후 일정량의 계수된 *Artemia nauplius*를 투여하여 24시간 동안의 섭취량을 측정하였다. 그리고 1개체당 일간 *Artemia* 섭취량은 $\text{No}/\text{ind}/\text{day}$ 으로 나타내었다.

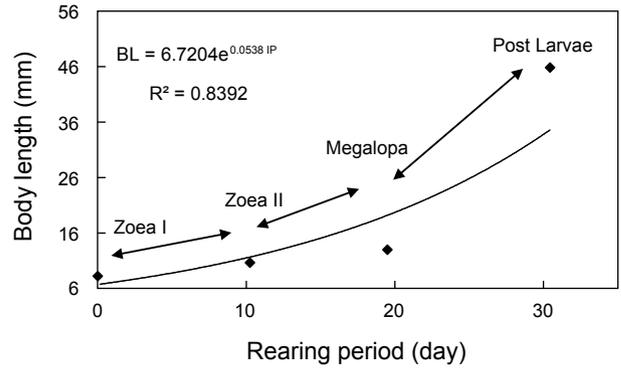


Fig. 1. Relationship between intermolt periods (day) and body length (mm) of *Pandalopsis japonica* larvae by rearing period after hatching to zoea larvae.

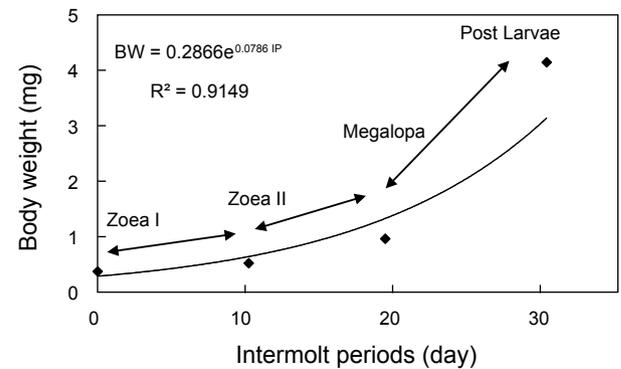


Fig. 2. Relationship between intermolt periods (day) and dry weight (mg) of *Pandalopsis japonica* larvae by rearing period after hatching to zoea larvae.

섭취에너지는 1마리가 1일 섭취한 *Artemia* (Dry weight 1.97 ug/nauplius, 4,619 cal/mg)를 측정하였다(Emmerson, 1980). *Artemia* 1마리의 에너지함량은 Park (1989)에 따라 37.9 mJ을 사용하였다.

에너지 수지

각 유생단계 및 전체 유생발생에 대한 에너지 수지는 Standard IBP 방정식(Klekowski and Duncan, 1975)으로 나타내었다.

$$C = Pg + Pe + R + U + F \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

에 C는 섭취에너지, Pg는 체 성장에 쓰인 에너지, Pe는 탈피체에 쓰인 에너지, R은 호흡에 쓰인 대사에너지, 그리고 U (노배설) 및 F (분배출) 에너지는 섭취에너지(C)와 동화에너지(A = Pg + Pe + R)간의 차로서 나타내었다(Dawirs, 1983).

생태효율

수산동물의 동화효율 측정은 먹이섭취량에 대한 동화량을 백

Table 1. The intermolt periods (day), body length (mm), body weight (mg) and total energy contents (J/ind. and J/molt) up to post larvae stage of *Pandalopsis japonica* larvae for different larval stages

Larval stage	Intermolt periods (day)	Body length (mm)	Dry weight (mg)	J/ind.	J/molt
Zoea I	0	8.22	0.37	18.47	1.72
Zoea II	10.24	10.64	0.52		
Megalopa	9.45	12.98	0.96		
Post larvae	10.94	45.81	4.14		

분율로 하여 구하였다. 물렁가시붉은새우의 유생에 대한 섭취, 성장, 탈피 및 호흡을 측정된 자료를 사용하여 다음 효율들을 계산하였다.

동화효율; $(Pg + Pe + R) / C \times 100$ ②

②식은 섭취량 중 동화된 양의 백분율을 나타낸다.

총 성장효율(K1); $(Pg + Pe) / C \times 100$ ③

③식은 섭취량 중 성장으로 전환된 양의 백분율을 나타낸다.

순 성장효율(K2); $(Pg + Pe) / (Pg + Pe + R) \times 100$ ④

④식은 동화량 중 성장으로 전환된 양의 백분율을 나타낸다.

결 과

성장 및 에너지함량

물렁가시붉은새우의 부화 후 경과시간에 따른 유생의 체장, 건조중량 및 유생과 탈피체의 에너지함량은 Table 1에 나타내었다. Zoea I 기에서 post larvae기까지의 체장성장과 체중성장은 지수적인 증가를 보였으며, 각각 $BL=6.7204e^{0.0538 IP}$ ($R^2=0.8392$)와 $BW=0.2866e^{0.0786 IP}$ ($R^2=0.9149$) 으로 나타났 다(Fig. 1과 2).

성장에 사용된 에너지 즉, 생체 에너지 함량은 J/ind.로 산출하였다. Zoea I 기에서 post larvae기까지 변태하는 동안 megalopa기의 생체에너지는 18.47 J의 에너지를 체성장에 사용하였으며, 성장에 수반되어 zoea I 기에서 post larvae기까지 탈피하는 동안 탈피체 에너지로 사용한 것은 1.72 J이었다(Table 1).

산소소비

물렁가시붉은새우 유생기의 산소소비량은 zoea I 기의 1.524 $uLO_2/ind./day$ 에서 megalopa기의 4.308 $uLO_2/ind./day$ 로 유생 발달에 따라 증가하였다(Table 2).

Table 2에 나타난 일간대사에너지를 사용하여 Table 1에 표시된 각 유생단계별 경과시간에 따른 대사에너지를 계산한 결과 zoea I 기 기간 동안에는 0.358 J, zoea II 기는 0.520 J, megalopa

Table 2. Individual oxygen consumption rate and respiratory energy expenditure of *Pandalopsis japonica* larvae on the different larval stages

Larval stage	Oxygen consumption rate	Respiratory energy expenditure	
	$uLO_2/ind./day$	J/ind./day	J/accumulation of each stage
Zoea I	1.524	0.035	0.358
Zoea II	2.395	0.055	0.520
Megalopa	4.308	0.098	1.072
Zoea I - Megalopa	8.227	0.187	1.950

1 $mgO_2 = 3.38 cal$ (Gnaiger, 1983)

1 $cal = 4.71 \times 10^{-3} J$

Table 3. Consumption rate and consumption energy of *Pandalopsis japonica* larvae on the different larval stages

Larval stage	Consumption rate		Consumption energy	
	<i>Artemia</i> ind./ind./day	<i>Artemia</i> ug/ind./day	J/ind./day	J/accumulation of each stage
Zoea I	36.9	72.69	1.40	14.34
Zoea II	71.0	139.87	2.69	25.42
Megalopa	169.4	333.72	6.42	70.24
Zoea I - Megalopa	277.3	546.28	10.51	110.00

37.9 $mJ/Artemia$ nauplius (Park, 1989)

lopa기 기간 동안에는 1.072 J을 각각 소비하여 유생기간 동안 소비된 총 산소소비에너지는 1.950 J이었다 (Table 2).

섭취

물렁가시붉은새우의 zoea 유생들에 의해 섭취된 일간섭취량과 일간섭취에너지를 Table 3에 나타내었다. Zoea I 기의 36.9 *Artemia/ind./day*에서 megalopa기의 169.4 *Artemia/ind./day* 까지 유생발달의 진행과 함께 먹이섭취량은 급격히 증가하였다. Zoea I 기는 1.40 J/inds./day의 에너지를 섭취하였고, 성장함에 따라 증가하여 megalopa기는 6.42 J/inds./day의 에너지를 섭취하였다. Table 1에 나타난 각 유생단계별 경과시간에 따른 각 유생단계의 섭취에너지를 바탕으로 전 유생기 동안 섭취 에너지는 110.00 J이었다(Table 3).

에너지수지

성장에 따른 전 유생기 동안의 유생의 에너지함량(Pg) 및 탈피체의 에너지함량(Pe)은 Table 1에서 제시한 결과를 사용하여

Table 4. Energy budgets of *Pandalopsis japonica* larvae on the different larval stages

Larval stage	C	Pg	Pe	R	E
Energy budget per hour (mJ/larvae)					
Zoea I	58.33	9.80	0.91	1.42	46.2
Zoea II	112.08	18.82	1.75	2.21	89.3
Megalopa	267.50	44.92	4.18	4.00	214.4
Energy budget for the each larval stage (J/larvae)					
Zoea I	14.34	2.41	0.22	0.35	11.35
Zoea II	25.42	4.27	0.40	0.50	20.25
Megalopa	70.23	11.79	1.10	1.05	56.29
Zoea I - Megalopa	109.99	18.47	1.72	1.90	87.90

으며, 호흡 대사에너지(R)는 Table 2의 자료로부터 계산하였다. 그리고 섭취에너지(C)는 Table 3의 일간 섭취량과 일간 섭취에너지로부터 계산하였다. 노배설(U) 및 분배출(F) 에너지는 섭취에너지(C)와 동화에너지(A)의 차이로서 계산하였다. 전 유생기 동안의 누적에너지수치를 Table 4에 나타내었다. Zoea I 기에서 megalopa기까지의 총 누적섭취에너지는 109.99 J이었으며, 이것은 성장에 18.47 J, 탈피체 손실에 1.72 J 그리고 호흡에 1.90 J의 에너지를 사용하며 노와 분으로 87.90 J의 에너지가 배설과 배출이 이루어지는 것으로 조사되었다.

생태효율

물렁가시붉은새우 유생의 섭취, 성장, 탈피 및 호흡을 측정 한 자료로부터 생태효율을 Table 5에 나타내었다. 유생의 동화효율은 20.08%이었으며, 총 성장효율(K₁)은 18.35%, 순 성장효율(K₂)은 91.39%로 나타났다. 각 에너지수치 구성요소들의 섭취에너지에 대한 백분율은 성장이 18.36%, 탈피체가 1.56%, 대사에너지가 1.73% 그리고 노와 분으로 79.92%이었다. Zoea I 기부터 megalopa기까지의 총 동화에너지는 22.09 J이었으며, 각 에너지수치 구성 요소들의 동화에너지에 대한 백

분율은 성장이 83.61%, 탈피체가 7.79% 그리고 대사에너지가 8.60%이었다. 또한 zoea I 기에서 megalopa기까지의 총 생장 에너지는 총 동화에너지의 91.40%, 총섭취에너지의 18.36%인 20.19 J이었다.

고 찰

해산동물의 에너지 흐름을 파악하기 위해서는 그 생물의 생활사를 정확하게 조사하는 것이 선행되어야 한다. 갑각류의 성장은 환경에 따라 다양한 반응을 보이지만(Hartnoll and Dalley, 1981), 특히 섭취, 성장 및 대사율은 생육단계별로 많은 변동을 보이는 것으로 알려져 있다(Reeve, 1969; Hiroko et al., 1990). 십각목 갑각류 유생의 성장은 일반적으로 체장성장에 따른 체중성장이 지수적으로 나타낸다(Mootz and Epifanio, 1974; Logan and Epifanio, 1978; Johns and Pechenik, 1980; Stephenson and Knight, 1980; Dawirs, 1983; Park, 1989). 본 연구에서도 물렁가시붉은새우의 유생은 타 어종과 동일한 지수적 체성장을 보였다. 이와 같은 결과는 Decapoda의 *Carcinus means* (Dawirs, 1983), *Hyas coarctatus* (Jacobi and Anger, 1985), Isopoda의 *Ligia oceanic* (Willow, 1987) 및 Cirripedia의 *Elminius midestus* (Harms, 1987)에서도 같은 성장양상을 보인다.

물렁가시붉은새우 유생의 산소소비율은 유생발육이 진행될 수록 개체당 소비율의 증가를 보인다. 이는 *C. maenas* (Dawirs, 1983)와 *H. coarctatus* (Jacobi and Anger, 1985)에서도 유사한 결과로 체중 증가에 따른 산소소비율의 증가는 절지동물문 새우류에 있어서 일반적인 경향이다(Beamish, 1964; Fry, 1971; Dabrowski, 1986; Degani et al., 1989; Cai and Summerfelt, 1992). 하지만 산소소비율은 동화에너지의 2/3를 차지하는 유지에너지에 해당하는 것으로(Clutter and Theilacker, 1971), 본 연구에서와 같이 유생성장발달에 따른 관계뿐만 아니라 수온 상승에 따른 증가와 개체의 성장에 따른 단위 체중 당 산소 소비율 감소의 상관관계를 일정하게 갖는 것으로 알려져 있다(Chin et al., 1992). 물렁가시붉은새우 유생의 섭취량은 Park (1989)이 보고한 *Penaeus japonicus*의 zoea 유생보다는 훨씬

Table 5. Accumulative energy budget of *Pandalopsis japonica* larvae for whole larval stages

	Symbol	Total energy (J)	%P*	%A*	%C*
Molting (Production)	Pe	1.72	8.52	7.79	1.56
Growth (Production)	Pg	18.47	91.48	83.61	16.79
Total production	P	20.19	100.00	91.39	18.35
Respiration	R	1.90		8.61	1.73
Total assimilation	A	22.09		100.00	20.08
Excretion & Egestion	E	87.90			79.92
Consumption	C	109.99			100.00

* %P, Total production rate; %A, Total assimilation rate; %C, Consumption rate.

높았으며, mysis 유생과 비슷한 섭취량으로 나타내었다. 그러나, *P. indicus*의 proto-zoea 유생은 높게 보고되었다(Emmerson, 1984). 이와 같은 양적 차이는 한해성새우인 본 연구 대상 종은 다른 종에 비해서 큰 zoea기를 갖기 때문인 것으로 판단되며, 단위 중량당으로 환산한다면 큰 차이는 없을 것으로 판단되지만, 비교되지는 않았다.

물렁가시붉은새우 유생의 동화효율은 20.08%로, 본 연구와 같은 유생의 동화효율은 새우류인 *Penaeus japonicus*의 17.62% (Park, 1989)와 비슷한 효율을 보였다. 하지만 계류인 *Carcinus maenas*의 22.2% (Dawirs, 1983), *Rhithropanopeus harrisi*의 45.0% (Levine and Sulkin, 1979), *Menippe mercenaria*의 63.2% (Mootz and Epifanio, 1974) 및 *Cancer irroratus*의 77.0% (Johns, 1982)와 비교하였을 때는 비교적 낮은 동화효율을 보이는 것으로 조사되었다. 반면 *Neomysis intermedia* 성체 암컷과 수컷에서 각각 85.65%와 81.99%로 Choi et al. (1997)에서 높게 보고되었다. 동화효율이 높게 보고된 Choi et al. (1997)의 결과에서와 같이 미성체와 성체에서 매우 높은 동화효율이 나왔기 때문에 계류와 새우류의 근본적인 에너지 대사의 차이로 인해 보리새우과의 *P. japonicus*와 본 연구 대상 종의 유생에서 낮은 동화효율이 나왔던 것으로 판단된다.

물렁가시붉은새우의 총 성장효율(K_p)은 18.35%로서 본 연구 종과 비슷한 크기의 새우류인 보리새우과의 *Penaeus japonicus*를 포함한 대형 계류인 *Menippe mercenaria* (Mootz and Epifanio, 1974)와 *Cancer irroratus* (Johns, 1982)에서 23.2-39.5%의 범위로 비슷하게 보고되었지만, 대형 새우류(*Pandalus hypsinotus*) (Kim, 1995)와 중형 계류(*Carcinus maenas*) (Dawirs, 1983) 및 곤쟁이 *Neomysis intermedia* 치하와 성체(Choi 1997)에서는 3.3-12.9%의 본 연구 종보다 낮은 총 성장효율이 보고되었다. 순 성장효율(K_s)는 본 연구 종과 같은 새우류를 대상으로 한 Park (1989)와 Kim (2000)은 각각 65.00%와 91.39%로 나와서 본 연구에서는 중간 정도의 효율을 보였다. 또한 Choi et al. (1997)의 부유성 갑각류인 *Neomysis intermedia* 치하와 성체에서도 85.76%로 보고되었고, 계류에서는 사육온도에 따라 다르기는 하지만 57-83% 사이의 순성장효율이 조사되었다 (Harms, 1987). 결국 환경과 생리적인 특징 그리고 종류에 따라서 동화효율 및 총성장효율의 차이는 크지만 순성장효율에서는 극단적인 차이는 보이지 않는 것으로 보아 종류별 호흡을 통한 대사에너지가 비슷하기 때문에 비교적 일정한 순성장효율을 보이는 것으로 판단된다.

결과적으로 생태생리학적 생태효율의 차이는 개체의 크기와 갑각류 내 종류에 따라 많은 차이를 보이는 것으로 판단된다. 또한 환경인자들의 변화는 따른 생물적응은 각기 다른 생화학적, 생리학적 그리고 행동 정도에 따라 다르게 나타나는 중 특이적 항상성(homeostasis) 조절 메카니즘에 의한 복합적인 반응(Spanopoulos-Hernandez et al. 2005)에서 오는 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농림축산식품부 수산실용화기술개발사업에 의해 이루어진 것임

References

- Beamish FWH. 1964. Respiration of fishes with special emphasis on standard oxygen consumption. II. Influence of weight and temperature on respiration of several species. *Can J Zool* 42, 177-188.
- Cai Y and Summerfelt RC. 1992. Effects of temperature and size on oxygen consumption and ammonia excretion by walleye. *Aquaculture* 104, 127-138.
- Chin P, Kim HY and Sin YK. 1992. Energy budgets for the development stages of *Palaemon macrodactylus*. *Bull Korean Fish Soc* 25, 341-358.
- Choi YG, No S, JU SD and Park KY. 1997. Energy budget of the Mysis shrimp, *Neomysis intermedia* reared in the Laboratory. *J Aquaculture* 289-300.
- Clutter RI and Theilacker GH. 1971. Ecological efficiency of a pelagic mysid shrimp: Estimates from growth, energy budget and mortality studies. *Fish Bull US* 69, 93-115.
- Crisp DJ. 1974. Energy relations of marine invertebrate larvae. *Thalassia jugosl* 10, 103-120.
- Dabrowski KR. 1986. Active metabolism in larval and juvenile fish: ontogenetic changes, effect of water temperature and fasting. *Fish Physiol Biochem* 1, 125-144.
- Dawirs RR. 1983. Respiration, energy balance and developmental pattern in growing and starving larvae of *Carcinus means* L. (Decapoda, Portunidae). *J Exp Mar Ecol* 69, 105-128.
- Degani G, Gallagher ML and Meltzer A. 1989. The influence of body size and temperature on oxygen consumption of the European eel, *Anguilla anguilla*. *J Fish Biol* 34, 19-24.
- Emmerson WD. 1980. Ingestion, growth and development of *Penaeus indicus* larvae as a function of *Thalassiosira weissflogii* cell concentration. *Mar Bio* 58, 65-73.
- Emmerson WD. 1984. Predation and energetics of *Penaeus indicus* (Decapoda, Penaeidae) larvae feeding on *Brachionus plicatilis* and *Artemia* nauplii. *Aquaculture* 38, 201-210.
- Fry FEJ. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. In: *Fish Physiology*. Hoar WS and Randall DJ, eds. Academic Press, New York, U.S.A., 1-98.
- Ghiretti F. 1966. Respiration. In: *Physiology of mollusca* VOL II. Wilbur KM and Yonge CM, eds. Academic Press, London, U.K., 175-208.
- Gnaiger E. 1983. Calculation on energetic and biochemical equivalents of respiratory oxygen consumption. In: *Polarographic oxygen sensors*. Gnaiger E. and Forstner H, eds. Springer, Berlin, 337-345.
- Harms J. 1987. Energy budget for the larval development of *Elminius midestus* (Crustacea, Cirripedia). *Helgolander wiss*

- Meeresunters 41, 45-67.
- Hartnoll RG and Dalley R. 1981. The control of size variation within instars of a crustacean. *J Exp Mar Biol Ecol* 53, 235-239.
- Hiroko Y, Ceccaldi HJ and Gaudy R. 1990. Combined influence of temperature and salinity on oxygen consumption of the larvae of the pink shrimp, *Palaemon serratus* (Pennant) (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae). *Aquaculture* 86, 77-92.
- Ikedo T. 1974. Nutritional ecology of marine zooplankton. *Mem Soc Fish Hokkaido Univ* 23, 1-97.
- Jacobi CC and Anger K. 1985. Growth and respiration during the larval development of *Hyas coarctatus* (Decapoda, Majidae). *Mar Biol* 87, 173-180.
- Johns DM and Pechenik JA. 1980. Influence of the accommodated fraction of No. 2 fuel oil on energetics of *Cancer irroratus* larvae. *Mar Biol* 55, 247-254.
- Johns DW. 1982. Physiological studies on *Cancer irroratus* larvae. III. Effects of temperature and salinity on the partitioning of energy resources during development. *Mar Ecol Prog Ser* 8, 112-121.
- Kim DH. 1995. Growth, Reproduction and Zoea larval Energy Budget of *Pandalus hypsinotus*. M.S. Thesis, Cheju National University, Jeju, Korea.
- Kim HY and Chin P. 1991. Growth and energy budget of opossum shrimp, *Neomysis awatchensis*. *Kor J Zool* 34, 594-609.
- Kim JK. 2000. Growth and energy budget of *Pandalopsis japonica* larvae. M.S. Thesis, Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Korea.
- Klekowski RZ and Duncan A. 1975. Physiological approach to ecological energetics. In: *Methods for ecological bioenergetics*. Grodzinski W, Klekowski RZ and Duncan A, eds. Blackwell Scientific, London, U.K., 15-64.
- Levine DM and Sulkin SD. 1979. Partitioning and utilization of energy during developments of the xanthid crab, *Rhithropanopeus harrisi* (Gould). *J Exp Mar Biol Ecol* 40, 247-257.
- Logan DT and Epifanio C. 1978. A laboratory energy balance for the larvae and juveniles of the American lobster, *Homarus americanus*. *Mar Biol* 47, 381-389.
- NFRDI. 2007. A Guide to identification of similar species. Vol 42, No 5. Busan, Korea, 1-71.
- McLusky DS. 1973. The effects of temperature on the oxygen consumption and filtration rate of *Chlamys (Aequipectem) opercularis* (L.) (Bivalvia). *Ophelia* 10, 141-154.
- Mootz CA and Epifanio CE. 1974. An energy budget for *Menippe mercenaria* larvae fed *Artemia* nauplii. *Biol Bull Woods Hole Mass* 146, 44-55.
- Park KY. 1989. Energy flow of the oriental brown shrimp, *Penaeus japonicus* reared in the laboratory. Ph. D. Thesis, Pusan National Fisheries University, Busan, Korea.
- Reeve MR. 1969. Growth, metamorphosis and energy conversion in the larvae of the prawn, *Palaemon serratus*. *J Mar Biol Ass UK* 49, 77-96.
- Sameoto DD. 1976. Respiration rates, energy budget, and moulting frequency of three species of euphausiids found in the Gulf of St. Lawrence. *J Fish Res Bd Can* 23, 2568-2576.
- Spanopoulos-Hernandez M, Martine-Palacios CA, Vanegas-Perez RC, Rosas C, and Ross LG. 2005. The combined effects of salinity and temperature on the oxygen consumption of juvenile shrimps *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874). *Aquaculture* 244, 341-348.
- Stephenson MJ and Knight AW. 1980. Growth, respiration and caloric content of larvae of the prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Comp Biochem Physiol* 66A, 386-391.
- Vernberg FJ and Vernberg WB. 1981. Functional adaption of marine organisms. Academic Press, New York, U.S.A., 1-347.
- Willows RI. 1987. Population and individual energetics of *Ligia oceanica* (L.) in the rocky supralittoral (Crustacea, Isopoda). *J exp Mar Biol Ecol* 105, 253-274.