

도화새우, *Pandalus hypsinotus*의 유생발생 단계별 에너지 수치

김대현 · 이정재* · 박기영**

국립수산진흥원 울진수산종묘배양장

*제주대학교 증식학과

**강릉대학교 수산자원개발학과

Energy Budget for Larval Development of *Pandalus hypsinotus* BRANDT

Dae-Hyun Kim, Jeong-Jae Lee and Kie-Young Park

Ulchin Hatchery, National Fisheries Research and Development Agency, Ulchin 767-860, Korea

*Department of Aquaculture, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea

**Department of Fisheries Resources Development, Kangnung National University, Kangnung 210-70, Korea

Zoeal stage's larvae of pandalid shrimp *Pandalus hypsinotus*, is distributed off the East sea and esteemed as a valuable shrimp resource in Korea, were reared in 10°C temperature-controlled chambers and investigated the energy budget.

The total energy intake per larva of zoea I to VI stages fed on *Artemia nauplii* was 140.88 J. The energy loss by respiration, molting, and excretion were 16.22 J, 1.19 J, and 106.40 J, respectively. The amount of energy used by growth was 17.07 J.

Pandalid larvae assimilated 24.47% of the ingested food. The gross efficiency (K_1) calculated by the equation of $(\text{growth} + \text{exuviae}) / \text{ingestion rate} \times 100$ was 12.96%, and the net growth rate (K_2) calculated by the equation of $(\text{growth rate} + \text{exuviae}) / (\text{growth rate} + \text{exuviae} + \text{respiration rate}) \times 100$ was 52.96%. The percentage used for somatic growth and maintenance among the assimilated energy were 49.51% and 47.04% respectively.

Key words : Energy budget, Larval development, *Pandalus hypsinotus*

서 론

Pandalus hypsinotus BRANDT는 도화새우과 (Family Pandalidae)에 속하는 한류계의 종으로 캘리포니아 연안, 베링해, 알래스카, 일본의 홋카이도 및 우리나라의 동해 등에 널리 분포하고 있다(Butler, 1964; 尾身, 1979). 우리나라에 서식하는 *Pandalus* 속에는 도화새우를 비롯하여 북쪽분홍새우(*P. borealis*), 줄무늬도화새우(*P.*

kessleri), *P. gracilis* 등이 있다. 그 중 도화새우는 북쪽분홍새우와 *Pandalopsis* 속의 물렁가시붉은새우(*P. japonica*)등과 함께 동해에 서식하는 주요 새우 자원의 하나이다. 또한 도화새우과의 새우류는 몇몇 종을 제외하고 거의 모든 종이 수컷에서 암컷으로 성전환 하는 것으로 알려져 있다(Carlisle, 1959a, b).

도화새우속(Genus *Pandalus*)에 관한 연구는 Berkeley (1930)가 유생발생에 따른 형태학적

특징을 기술하였고, 그 후 생활사, 분포, 외부형태, 성전환 등에 관해 연구되어 왔다(Igarashi, 1951; Kurada, 1962; Butler 1964; Haynes, 1976; Rothlisberg, 1979; Mikulich and Ivanov, 1983; Hayashi, 1988). 또한, 尾身(1979)에 의해 종묘생산 실험이 실시된 바 있고, 村上(1992)에 의해 어미사육에 관해 연구되었다.

우리나라 연안에 서식하는 도화새우 속에 관한 연구로는 鄭 등(1965)의 동해에서 도화새우와 분쪽분홍새우의 자원 동태 및 어업 생물학적 연구와 金과 曹(1985)에 의한 북쪽분홍새우 자원 추정에 관한 보고가 있을 뿐 유생을 대상으로 수행된 연구는 이루어져있지 않다.

갑각류에 대한 에너지수지는 개체 및 개체군의 성장, 탈피, 생식, 호흡, 배설, 체물질 조성 및 에너지 함량에 대한 실험적 연구에 의해서 많은 진전을 보이고 있다(Clutter and Theilacker, 1971; Crisp, 1974; Daborn, 1975; Levine and Sulkin, 1979; Emmerson, 1984; Harms, 1987; Willow, 1987; 신·진, 1995). 개체 및 개체군의 에너지 흐름을 파악하는 것은 환경에 대한 그 동물의 대사적 적응유형과 다른 영양단계간의 에너지 전이유형을 이해하는 총체적인 자료가 될 수 있으며, 생산성을 추측하는데 유용하다(Vernberg and Vernberg, 1981).

따라서 본 연구는 도화새우 zoea 유생의 성장, 탈피, 호흡, 섭식 및 에너지함량을 측정하여 유생 발생 단계별 에너지 수지를 분석하여 향후 종묘 생산의 기초자료로 활용코자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료

유생의 에너지 수지를 조사하기 위하여 1994년 2월 26일 강원도 삼척시 정라진항에서 새우통발에 의해 어획된 암컷 중 발안된 알을 가진 어미 11마리를 실험실의 1 m³ polycarbonate 수조에 수용하고 5 μm의 cartridge filter로 여과한 해수를 유수시키면서 알을 부화시켰다. 부화된 유

생은 다른 1 m³ polycarbonate 수조에 옮겨 10°C 전후로 조절하면서 사육하였고, 먹이로는 *Artemia*의 갓 부화된 nauplius를 주었다.

2. 측정 방법

1) 성장

유생의 개체 성장을 조사하기 위하여 300 ml 용기 80개에 zoea I 기 유생을 각각 1마리씩 넣고 *Artemia nauplius*를 먹이로 주면서 매일 아침 탈피체를 수거한 후, 유생 발생단계별 지속시간, 탈피전후의 체장, 생존률 등을 조사하였다. 체장은 마지막 복부체절의 말단에서 두흉갑의 앞쪽 끝까지의 직선거리로 하였고, 건중량은 유생을 담수에 가볍게 헹군 후 drying oven (Model KPI-5500 MO)으로 70°C에서 24시간 건조시켜 측정하였다. 유생 및 탈피체의 에너지함량을 측정하기 위해 유생과 탈피체를 매일 10~20 마리를 무작위 샘플하여 5% 중성포르말린에 고정한 후 Haynes(1976)의 기재에 따라 유생발생 단계를 분류한 후 자동열량계(Shimadzu Seisakusho, Model CA-3)로 측정하였다.

2) 산소소비량

대사열 생산에 의한 소비에너지를 측정하기 위하여 여과해수를 채운 용량 100~200 ml의 산소병에 유생의 크기에 따라 10~20 마리의 유생을 넣은 후, 10°C에서 2~3시간 동안의 산소소비량을 산소검량기(YSI Co., Model 58)에 의해 실험 전후의 용존산소량 차이로 측정하였다. 각 측정결과는 3회 반복 실험한 평균치로서 유생 1 마리당 시간당 소비한 산소소비량을 μ로 표시하였다. 측정된 산소 소비량은 Gnaiger (1983)의 방정식(1 mg O₂ = 14.06 J)에 따라 대사열 생산에 의해 소비된 에너지로 전환하였다. 각 동물의 호흡은 산소분압에 영향을 받기 때문에 (Belman and Childress, 1973; Dawirs, 1983), 산소소비 측정이 끝났을 때의 용존산소량이 처음 산소량의 70~80% 이하로 떨어지지 않게 조절하였다.

3) 섭식량

여과해수가 채워져있는 300~500 ml 산소병에 5~10 마리의 유생을 넣고, 먹이로서 *Artemia nauplius* 유생을 ml 당 10 개체가 되도록 하여 24시간 동안의 섭식량을 조사하였다. 각 조사 결과는 5회 반복 실험한 평균치로서 유생 1 마리당 일간 섭식량 (nauplii/zoea/day)으로 나타내었다.

섭식 에너지는 유생 1 마리가 하루에 먹은 *Artemia nauplius* 수를 조사하여 열량으로 환산하였다. *Artemia nauplius* 1 마리는 건조중량이 1.97 µg, 열량계에 의한 에너지함량이 37.9 mJ 이라는 박(1989)의 보고에 따라 섭식 에너지로 환산하였다.

4) 에너지 수치

각 유생단계 및 전체 유생발생에 대한 에너지 수치는 다음의 관계식으로 표시하였다(Kurmaly et al., 1989).

$$I = G + Ex + M + E$$

여기서 G는 성장으로 전환된 에너지, Ex는 탈피에 사용된 에너지이며 M은 대사율로서 산소소비율로 나타내었다. 요와 분의 배출량(E)은 조사하지 않고 Dawirs (1983)가 제시한 동화 에너지(A)와 섭식에너지(I)의 차이(E = I - A)로 환산하였다.

5) 생태효율

도화새우 유생에 대해 섭식, 성장, 탈피 및 호흡을 측정된 자료를 사용하여 각각의 생태효율은 아래와 같은 관계식으로 구하였다(Kurmaly et al., 1989).

$$\text{동화효율}(A) = (G + Ex + M) / I \times 100$$

$$\text{총성장효율}(K_1) = (G + Ex) / I \times 100$$

$$\text{순성장효율}(K_2) = (G + Ex) / (G + Ex + M) \times 100$$

결 과

1. 성장의 일반적 경향

부화 후 경과시간에 따른 유생의 체장과 건중

량 그리고 유생과 탈피체의 에너지 함량을 Table 1과 Fig. 1에 나타냈다. 갓 부화된 zoea I기는 평균체장 5.97 mm였고, 건중량은 0.14 mg이었으며 미절(telson)은 분리되지 않았다. zoea II기로 성장하는 데에는 평균 4.11일 소요되었고 평균체장은 7.10 mm이었으며 아직 미절이 분리되지 않았다. 부화 후 10.70일만에 평균체장 8.04 mm의 zoea III기로 되었으며, 이 단계에서부터 미절이 분리되었다. zoea IV기는 16.83일이 소요되었고 평균체장은 10.51 mm였다. zoea V기는 26.95일 소요되었고, 평균체장은 11.41 mm였다. 그리고 부화후 33.88일이 경과되었을 때 zoea의 마지막 유생단계인 zoea VI기로 발생하였고, 그 때의 체장은 평균 12.66 mm였으며, 생존률은 82.5%였다. zoea I기에서 zoea IV기까지의 부화후 경과일수(T)에 대한 체장(BL, mm)성장은 $BL = 5.9042 + 0.2662T - 0.0020T^2$ ($r^2 = 0.9613$)의 2차함수적 증가를 보였다.

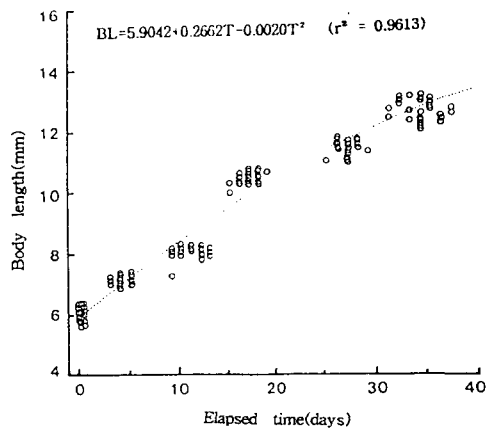


Fig. 1. Growth in body length during the larval development of *Pandalus hypsinotus* larvae.

zoea I기에서 zoea VI기까지 성장하는 동안 성장으로 전환된 에너지는 zoea VI기의 생체에너지 즉, 17.07 J가 체성장에 사용되었다. 그리고 zoea I기부터 zoea VI기까지 성장에 수반되어 탈피체로 손실된 에너지량은 1.19 J이었다.

유생기의 각 탈피간 체장 성장의 백분률인 성

Table 1. Mean values of elapsed time and biomass for the stages of *P. hypsinotus* larvae

Larval stages	Elapsed time (days)	Body length (mm)	Dry weight (mg)	J/ind.	J/molt
Zoea I	0.00	5.97	0.14		
Zoea II	4.11	7.10	0.24		
Zoea III	10.70	8.04	0.32		
Zoea IV	16.83	10.51	0.48		
Zoea V	26.95	11.41	0.71		
Zoea VI	33.88	12.66	0.88	17.07	1.19
Post larva	41.20	13.87			

장계수(growth factor, %)는 체장이 증가할수록 감소하였으나, zoea III기(평균체장 8.04 mm)에서 zoea IV기(평균체장 10.51 mm)로 될 때 특이하게 증가된 것이 주목된다(Fig. 2).

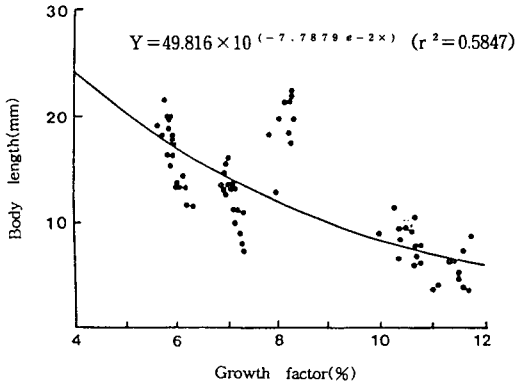


Fig. 2. Relationship between body length and growth factor of *Pandalus hypsinotus* larvae.

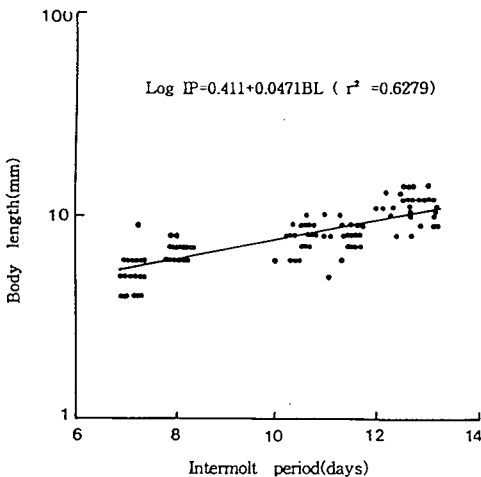


Fig. 3. Relationship between body length and intermolt period of *Pandalus hypsinotus* larvae.

한편, 탈피간기(intermolt period, IP, 일수)는 체장(BL)증가와 함께 반대수좌표상에서 직선적으로 증가하여 $\log IP = 0.411 + 0.0471TL$ ($r^2 = 0.6279$)로 나타났다(Fig. 3). zoea I기의 4일에서부터 zoea VI기의 13일의 범위에 걸쳐 체장이 증가할수록 탈피간기는 서서히 증가하였다.

2. 산소소비

각 유생단계별 산소소비량은 Table 2에 나타내었다. zoea 유생기의 산소소비량은 zoea I기의 $0.434 \mu\text{O}_2/\text{ind.}/\text{hr}$ 에서 zoea VI기의 $2.621 \mu\text{O}_2/\text{ind.}/\text{hr}$ 로 유생발생이 진행됨에 따라 급격히 증가하였다. 반면, 체중에 따른 산소소비율은 zoea I기의 $3.100 \mu\text{O}_2/\text{mg}/\text{hr}$ 에서 zoea IV기 $4.094 \mu\text{O}_2/\text{mg}/\text{hr}$ 의 범위에 걸쳐 점차 증가하였으나, zoea V기 $3.146 \mu\text{O}_2/\text{mg}/\text{hr}$, zoea VI기 $2.968 \mu\text{O}_2/\text{mg}/\text{hr}$ 로 감소하였다.

산소소비량 측정자료로부터 일간 호흡에 쓰인 에너지를 계산하여 Table 3에 나타내었다. 개체당 1일에 소비된 에너지는 zoea I기에서 $0.103 \text{ J}/\text{ind.}/\text{day}$ 였고, zoea VI기에서 $0.617 \text{ J}/\text{ind.}/\text{day}$ 로 유생발생이 진행될수록 급격히 증가하였다. 한편 유생단계별 건중량당 1일 소비된 에너지는 zoea IV기 유생에서가 $0.967 \text{ J}/\text{mg}/\text{dry wt.}/\text{day}$ 로 가장 높았고 zoea VI유생에서가 $0.701 \text{ J}/\text{mg}/\text{dry wt.}/\text{day}$ 로 가장 낮았다. Table 3에 나타난 대사에너지를 사용하여 Table 1에 표시된 각 유생단계별 경과시간에 따른 총대사에너지를 계산하여 보면 zoea I기부터 zoea VI기까지 사용된 대사에너지는 16.22 J 이었다.

Table 2. Oxygen consumption and respiratory energy requirement of *P. hypsinotus* larvae

Larval stage	Mean dry wt. (mg)	Oxygen consumption	
		mlO ₂ /ind./hr	mlO ₂ /mg/hr
Zoea I	0.14	0.434	3.100
Zoea II	0.24	0.796	3.317
Zoea III	0.32	1.228	3.838
Zoea IV	0.48	1.965	4.094
Zoea V	0.71	2.234	3.146
Zoea VI	0.88	2.612	2.968

Table 3. Estimated metabolic energy requirements of larvae of *P. hypsinotus*

Larval stage	Daily respiratory energy expenditure	
	J/ind./day	J/mg dry wt./day
Zoea I	0.103	0.736
Zoea II	0.188	0.783
Zoea III	0.290	0.906
Zoea IV	0.464	0.967
Zoea V	0.528	0.744
Zoea VI	0.617	0.701

3. 섭식량

zoea 유생의 일간 섭식량과 일간 섭식에너지를 Table 4에 나타내었다. *Artemia nauplius* 유생에 대한 각 유생의 일간섭식량은 zoea I기부터 zoea VI기에 걸쳐 51 nauplii/zoea/day에서 121 nauplii/zoea/day의 범위로 유생발생의 진행과 함께 증가하였다. 먹이생물인 *Artemia nauplius* 1 마리의 평균 건중량은 1.97 µg이고 에너지 함량은 4.619 cal/mg dry wt. (박 1989)으로 계산된 유생단계의 섭식에너지는 zoea I기는 1.93 J/day였고, 유생발생이 진행됨에 따라 섭식에너지는 증가하여 zoea VI기는 4.59 J/day 였다.

Table 4. Mean daily food intake of *P. hypsinotus* larvae fed on *Artemia nauplii*

Stage	No./day	µg/day	J/day
Zoea I	51	100.47	1.93
Zoea II	64	126.08	2.43
Zoea III	81	159.57	3.07
Zoea IV	93	183.21	3.52
Zoea V	110	216.70	4.17
Zoea VI	121	238.37	4.59

이상의 자료로 부터 Table 1에 나타낸 각 유생단계별 경과시간에 따른 총 섭식에너지는 140.88 J이었다.

4. 에너지 수치 및 생태효율

섭식에너지(I)는 일간 섭식량과 일간 섭식에너지로 부터 평가하여 Table 4에 나타냈다. Table 1에서 Table 4까지의 결과를 토대로하여 도화새우 zoea기 유생에 대한 에너지수치 및 생태효율을 Table 5에 나타냈다. zoea I기에서 zoea VI기까지의 총 누적 섭식에너지는 140.88 J이었으며, 요와 분으로 106.40 J의 에너지가 사용되었다. 각 에너지 수치 구성요소들의 섭식에너지에 대한 백분률을 살펴보면 성장이 12.12 %, 탈피체가 0.84 %, 대사에너지가 11.51 % 그리고 요와 분으로 75.53 % 였다. zoea I기부터 zoea VI기까지의 총동화에너지는 전체 섭식에너지의 24.47 %인 34.48 J이었으며, 각 에너지 수치 구성요소들의 동화에너지에 대한 백분률은 성장이 49.51 %, 탈피체가 3.45 % 그리고 대사에너지가 47.04 % 였다. 또한, zoea I기에서 zoea VI기까지의 총생산에너지는 총동화에너지의 52.96 %,

Table 5. Cumulative energy budget for the development zoea stages of *P. hypsinotus*

Parameter	Total energy (J)	% P	% A	% I
Molting	1.19	6.52	3.45	0.84
Growth	17.07	93.48	49.51	12.12
Total production	18.26	100.00	52.96	12.96
Respiration	16.22		47.04	11.51
Total assimilation	34.48		100.00	24.47
Excretion & egestion	106.40			75.53
Ingestion	140.88			100.00

P : total production, A : total assimilation, I : ingestion

총섭식에너 지의 12.96 %인 18.26 J로 성장으로 전환된 에너지는 93.48 %, 탈피체로 소모된 에너지는 6.52 %였다. 유생의 섭식, 성장, 탈피 및 호흡을 측정된 자료로부터 생태효율을 구하였다. 유생의 동화효율은 24.47 %였으며, 총성장효율(K_1)은 12.96 %, 순성장효율(K_2)은 52.96 %로 나타났다.

고 찰

해산동물의 에너지 흐름을 파악하기 위해서는 에너지 수지를 구명하기 전에 그 생물의 생활사를 정확하게 조사하는 것이 대단히 중요하다(박, 1989). 십각목 갑각류 유생의 성장은 일반적으로 지수적 성장을 나타낸다(Mootz and Epifanio, 1974; Logan and Epifanio, 1978; Dawirs, 1980; Johns and Pechenik, 1980; Stephenson and Knight, 1980). 실험실내에서 사육시킨 도화새우의 유생성장은 2차 함수적 성장을 보여 자연개체군의 경우와 대체로 비슷하였으며, 다른 갑각류의 유생성장(Dawirs, 1983; Jacobi and Anger, 1985; Willow, 1987; Harms, 1987)과도 대체로 일치하였다.

도화새우 zoea 유생의 탈피간 체장 성장의 백분율인 성장계수(growth factor)는 체장 증가와 더불어 대체로 감소하는 경향을 보였으나, zoea III기에서 zoea IV기로 될 때 특이하게 증가하였다. 이러한 성장률의 차이는 사육조건이나 종에 따라 차이가 많다는 것이 보고되었다(Leffer, 1972). 이러한 일정치 않은 성장률의 변화는 다른 종에서도 보고된 바 있다(Crother, 1967; Horganth 1975).

도화새우 zoea 유생의 호흡률은 체중이 증가할수록 비례적으로 증가하였는데 이러한 결과는 다른 갑각류의 유생(Dawirs, 1983; Jacobi and Anger, 1985)과 유사하였다.

도화새우 zoea 유생의 섭식량은 박(1989)이 보고한 보리새우의 mysis 유생의 일일 섭식량인

3.70 J과 비슷한 섭식량을 나타내었다. 그러나, *Penaeus indicus*의 protozoa 유생에서의 보고(Emmerson, 1984)보다는 훨씬 낮게 나타났다.

도화새우 zoea 유생의 평균 동화효율인 24.47 %는 보리새우의 17.62%(박, 1989)보다는 높게 나타났으며, *Carcinus maenas*의 22.2%(Dawirs 1983)와 비슷한 경향을 보였으나, *Rhithropanopeus harrisi*의 45.0%(Levine and Sulkin, 1987), *Menippe mercenaria*의 63.2%(Mootz and Epifanio, 1974) 및 *Cancer irroratus*의 77.0%(Johns, 1982)에 비해서는 훨씬 낮은 값을 보였다. 또한 총성장효율(K_1)은 12.96%로서 *Penaeus monodon*의 11.1%(Kurmaly et al., 1989)와 비슷한 경향을 보였고, *Carcinus maenas*의 3.3%(Dawirs, 1983)보다는 훨씬 높게 나타났으며 *R. harrisi*, *M. mercenaria* 및 *C. irroratus*의 총성장효율 23~39% 보다는 훨씬 낮은 값을 나타냈다. 이러한 효율의 차이는 각각의 유생의 종별, 발생단계별, 공급된 먹이의 종류, 사육조건 등에 영향을 받기 때문인 것으로 생각된다.

요 약

실험실에서 부화시킨 도화새우의 zoea 유생발달에 따른 섭식, 성장, 탈피 및 대사에 관한 에너지수지를 분석하였다.

도화새우의 zoea 전 유생기간중 섭식에 의한 총에너지는 140.88 J이었다. 이중 체성장에 사용된 에너지는 17.07 J이었고 호흡, 탈피 및 배설에 사용된 에너지는 각각 16.22 J, 1.19 J 및 106.40 J이었다.

섭식한 먹이에 대한 동화효율(assimilation efficiency, A/I)은 24.47%였다. 성장으로 전환된 에너지의 총섭식에너지에 대한 백분율인 총성장효율(gross growth efficiency, K_1)과 성장으로 전환된 동화에너지에 대한 백분율인 순성장효율(net growth efficiency, K_2)은 각각 12.96%와 52.96%였다. 동화에너지가 체성장과 대사에너지

에 사용된 것은 각각 49.51%와 47.04%였다.

참 고 문 헌

- Belman, B. W. and J. J. Childress, 1973. Oxygen consumption of the larvae of the lobster *Panulirus interruptus* (Randall) and the crab *Cancer produtus* Randall. Comp. Biochem. Physiol., 44A : 821-828.
- Berkeley, A. A., 1930. The post-embryonic development of the common pandalids of British Columbia. Contrib. Canada Biol. N. S., 6 : 79-163.
- Butler, T. H., 1964. Growth, reproduction, and distribution of pandalid shrimps in British Columbia. J. Fish. Res. Bd. Can., 21 : 1403-1432.
- Carlisle, D. B., 1959a. On the sexual biology of *Pandalus borealis*. II. The termination of the male phase. J. Mar. Biol. Assoc. U. K., 38 : 381-395.
- Carlisle, D. B., 1959b. On the sexual biology of *Pandalus borealis*. III. The initiation of the female phase. J. Mar. Biol. Assoc. U. K., 38 : 481-492.
- Clutter, R. I. and G. H. Theilacker, 1971. Ecological efficiency of a pelagic mysid shrimp : Estimates from growth, energy budget and mortality studies. Fish. Bull. U. S., 69 : 93-115.
- Crisp, D. J., 1974. Energy relations of marine invertebrate larvae. Thalassia Jugosl., 10 : 103-120.
- Crothers, J. H., 1967. The biology of the shore crab *Carcinus maenas* (L.). The background anatomy, growth, and life history. Field Study : 407-434.
- Daborn, G. R., 1975. Life history and ecology relations of the giant fairy shrimp, *Branchinecta gigas* Lynch (Crustacea : Anostraca). Ecology, 56 : 1023-1039.
- Dawirs, R. R., 1980. Elemental composition (CNH) in larval and crab-I stages of *Pagurus bernhardus* (Decapoda, Paguridae) and *Carcinus maenas* (Decapoda, Portunidae). Mar. Biol., 57 : 17-23.
- Dawirs, R. R., 1983. Respiration, energy balance and developmental pattern in growing and starving larvae of *Carcinus maenas* L. (Decapoda, Portunidae). J. Exp. Mar. Biol., 69 : 105-128.
- Emmerson, W. D., 1984. Predation and energetics of *Penaeus indicus* (Decapoda, Penaeidae) larvae feeding on *Brachionus plicatilis* and *Artemia* nauplii. Aquaculture, 38 : 201-210.
- Gnaiger, E., 1983. Calculation on energetic and biochemical equivalents of respiratory oxygen consumption. In : Polarographic oxygen sensors. Ed. by E. Gnaiger & H. Forstner. Springer, Berlin, 337-345.
- Harms, J., 1987. Energy budget for the larval development of *Eliminius midestus* (Crustacea : Cirripedia). Helgolander wiss Meeresunters., 41, 45-67.
- Hayashi, K. I., 1988. Specific status of *Pandalus gracilis* (Decapoda, Caridea, Pandalidae), Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 54 : 73.
- Haynes, E., 1976. Description of zoeae of *Pandalus hypsinotus*, reared in the laboratory. Fish. Bull. 74 : 323-342.
- Hogarth, P. J., 1975. Instar number and growth of juvenile *Carcinus maenas* (L.) (Decapoda, Branchyura). Crustaceana, 29 : 299-300.
- Igarashi, T., 1951. Studies on *Pandalus hypsinotus* Brandt in Funka Bay. Hokkaido Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 2 : 1-9.
- Jacobi, C. C. and K. Anger, 1985. Growth and respiration during the larval development of *Hyas coarctatus* (Decapoda : Majidae). Mar. Biol. 87 : 173-180.
- Johns, D. M. and J. A. Pechenik, 1980. Influence of the accommodated fraction of No. 6 fuel oil on energetics of *Cancer irroratus* larvae. Mar. Biol., 55 : 247-254.
- Johns, D. M., 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.
- Kurada, H., 1962. Studies on the age and growth of Crustacea. Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab., 24 : 1-115.
- Kurmaly, K., A. B. Yule and D. A. Jones, 1989. An energy budget for the larva of *Penaeus monodon* (Fabricius). Aquaculture,

- 81 : 13-25
- Leffer, C. W., 1972. Some effects of temperature on the growth and metabolic rate of juvenile blue crab, *Callinectes sapidus*, Mar. Biol., 14 : 104-111.
- Levine, D. M. and S. D. Sulkin., 1979. Partitioning and utilization of energy during developments of the xanthid crab, *Rhithropanopeus harrisi* (Gould). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 40 : 247-257.
- Logan, D. T. and C. E. Epifanio, 1978. A laboratory energy balance for the larvae and juveniles of the American lobster *Homarus americanus*, Mar. Biol., 47 : 381-389.
- Mikulich, L. V. and B. G. Ivanov, 1983. The Far-eastern shrimp *Pandalus pensor* Stimpson (Decapoda, Pandalidae) : Description of laboratory reared larvae. Crustaceana, 44 : 61-75.
- Mootz, C. A. and C. E. Epifanio, 1974. An energy budget for *Menippe mercenaria* larvae fed *Artemia* nauplii. Biol. Bull., 146 : 44-55.
- Rothlisberg, P. C., 1979. Combined effects of temperature and salinity on the survival and growth of the larvae of *Pandalus jordani* (Decapoda : Pandalidae) Mar. Biol., 54 : 125-134.
- Stephenson, M. J. and A. W. Knight, 1980. Growth, respiration and caloric content of larvae of the prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, Comp. Biochem. Physiol. 66A : 386-391.
- Vernberg, F. J. and W. B. Vernberg, 1981. Functional adaption of marine organisms. Academic Press, New York, pp. 1-347.
- Willow, R. I., 1987. Population and individual energetics of *Ligia oceanica* (L.) in the rocky supralittoral (Crustacea : Isopoda). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 105 : 253-274.
- 金奉岸 · 曹台鉉, 1985. 東海 東南部 새우트롤 漁業의 북쪽분홍새우 資源에 관한 研究. 水振院 研究報告, 36 : 29-39.
- 尾身東美, 1979. トヤマエビの種苗生産. 栽培技研, 8 : 77-84.
- 박기영, 1989. 실내사육한 보리새우, *Penaeus japonicus* BATE의 생활사에 따른 에너지흐름. 부산수대 박사학위 논문 : pp. 49.
- 신윤경 · 진 평, 1995. 징거미새우, *Macrobrachium nipponense* (De Haan) 유생의 탈피 주기별 탄소수지. 한국수산학회지, 28 : 237-246.
- 鄭富寬 · 俞成在, 1965. 韓國東海의 새우漁業과 그 資源에 對하여. 水振院. 水產 資源調查報, 6 : 1-12.
- 村上惠祐, 1992. 養成したトヤマエビの成熟周期と交尾および産卵行動. 栽培技研, 20 : 65-72.