

*Palaemon macrodactylus*의 생활사에 따른 에너지 수치

진 평 · 김흥윤 · 신윤경  
부산수산대학교 해양생물학과

## Energy Budgets for the Developmental Stages of *Palaemon macrodactylus*

Pyung CHIN · Heung-Yun KIM and Yun-Kyong SIN  
Department of Marine Biology, National Fisheries University of Pusan,  
Pusan 608-737, Korea

In order to estimate energy budgets of *Palaemon macrodactylus*, larvae of the shrimp were reared in the laboratory at constant conditions (25°C; 31~32‰), and then juvenile to adult of the shrimp were reared at 15°C and 25°C in the laboratory.

Energy used by the reared shrimps were calculated from estimates of data on feeding, growth, molting, metabolism, nitrogen excretion, and energy content.

Juveniles and adults reared in the laboratory, which fed on *Artemia* nauplii, had an average daily growth rates of 0.079 mm/day at 15°C and of 0.122 mm/day at 25°C. The average growth factor\* of *P. macrodactylus* males and females ranged from 3.2% for adult to 13.2% for juveniles individuals, respectively. Intermolt periods were related to body size of the shrimp and to temperature. Average laboratory growth curves were calculated from data on growth factors and intermolt periods to body size of the shrimp at 15°C and 25°C.

The calorie contents of the shrimp, their molts, eggs and larvae were determined by biochemical composition and oxygen bomb calorimetry. The average amount of energy used in growth for larvae and juvenile to adult were 4.94 cal and 4.55 cal per dry weight in milligram, respectively. The amount of oxygen used in metabolism was calculated from size, temperature-specific respiration rate. To convert the amount of oxygen used in respiration into the equivalent energy lost heat was estimated from the data on chemical composition for the larvae and adult, the values was 4.58 cal/ml O<sub>2</sub>. The energy content per egg was 0.078 cal.

The assimilation efficiency estimated by nitrogen content of food and egested faeces gave 61.5% for the larvae. The efficiencies for juvenile to adult ranged between 79.4% and 90.1%

The gross growth efficiencies (K<sub>1</sub>) and net growth efficiencies (K<sub>2</sub>) of *P. macrodactylus* showed 18.33% and 32.63% for total larval stages, ranged from 21.30% to 31.04% and from 30.03% to 39.34% for juvenile to adult, respectively.

\*Growth factor is the percentage increase in body length at each molt.

이 논문은 1990년도 문교부지원 학술진흥재단의 지방대육성 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

## 緒 論

붉은줄참새우 (*Palaemon macrodactylus*)는 갑각강 (Crustacea), 정거미새우과 (Palaemonidae)에 속하는 종으로 동해, 서해 그리고 남해에 널리 분포한다 (Kim, 1977).

이들의 서식처는 주로 조석작용이 강한 하구지역이나 내해 또는 내만의 얕은 바다이고, 천해의 해조류 군집사이에 밀집 서식한다. 낙동강 하구지역에서 붉은줄참새우는 대형동물군중의 풍부한 무리의 하나이며, 이들은 유생이나 성체의 형태로 각종 어류 및 철새의 먹이로 이용될 수 있다.

어느 한 생물의 개체에 전입되는 모든 에너지는 열로서 상실하거나 다른 영양단계로 전이되며 먹이사슬 또는 먹이그물과 같은 영양적 구조는 집단의 에너지 흐름의 양에 밀접하게 관련되어 있다. 그러므로 에너지 흐름의 파악은 자연집단의 에너지 수지를 분석하는 것이 필요하지만 우선 개체의 생활사에 따른 에너지 수지를 정확하게 분석하는 것이 매우 중요하다 (Park, 1989).

동물의 에너지 수지에 관한 연구는 다른 영양단계간의 에너지 전이유형을 이해하는 총체적 지표가 되며, 그 동물의 생산성과 생태적 효율을 예측하는 자료로서 유용하다 (Vernberg and Vernberg, 1981).

갑각류의 에너지 수지에 관하여는 자연 및 실험실 집단을 대상으로 최근 많이 연구되고 있으며 (Clutter and Theilacker, 1971; Sameoto, 1976; Emmerson, 1984; Harms, 1987; Willows, 1987; Kim and Chin, 1991), 성장, 탈피, 생식, 호흡, 배설, 체물질 조성 및 에너지 함량에 대한 실험적 연구에 의해서 에너지 수지를 파악하고 에너지의 영양적 이용체계를 구성해 보이고 있는데, 특히 갑각류에 대해서는 유생의 단기 에너지 수지에 관한 연구가 많이 보고되어 있다 (Marian and Knight, 1980; Dawirs, 1983; Anger and Dietrich, 1984; Anger et al., 1989; Anger, 1990).

한편, 해산 Palaemonidae에 관한 연구로는 유생의 성장과 에너지 전환 (Reeve, 1969), 성장과 포란수 (Emmerson, 1985) 및 먹이농도에 따른 섭이율 (Yúfera and Rodríguez, 1985), 그리고 산소소비에 미치는 수온 및 염분의 영향 (Hiroko et al., 1990) 등 다양한 보고를 찾아 볼 수 있으나, 붉은줄참새우에 대해서는 Little (1969)의 유생발생에 관한 보고외에는 거의 희소하다.

본 연구는 낙동강 하구역에 서식하는 붉은줄참

새우를 대상으로 성장, 탈피, 생식, 호흡, 질소배설, 체물질의 화학적 조성 및 에너지 함량을 측정하여 전생활사를 통한 에너지 수지를 분석하고, 에너지 흐름의 동태를 파악함으로써 개체군의 에너지 흐름에 대한 생태생리적 기초자료를 얻는데 그 목적이 있다.

## 材料 및 方法

### 1. 材 料

실험동물인 붉은줄참새우는 1990년 9월부터 1991년 11월에 걸쳐 부산시 강서구 신호동 연안의 낙동강 하구일대에서 매일 간조시에 채집망 (망목, 1mm)을 사용하여 포획하였다. 채집한 동물은 채집장소의 해수와 함께 PVC 수조에 알맞은 밀도로 넣어서 2시간내에 실험실로 운반하여 순환여과식 사육조 (용량, 200l)에 두고 실험에 사용하였다. 사육 및 측정에서 사용한 해수의 염분은 31~32‰의 범위였다.

붉은줄참새우 유생은 포란한 암컷을 25℃의 일정 수온에 유지시키면서 부화발생한 개체를 수거하여 일령별로 대량 사육하였으며, 유생과 먹이생물의 분포가 균등하도록 약간의 폭기를 가하였다. 대량 사육수조내 zoea 유생의 먹이로는 갯 부화시킨 *Artemia nauplii* (Sanfrancisco Bay strain)를 약 10 개체/ml의 농도로 투이하였고, 유생의 사육 및 모든 측정은 25℃에서 실시하였다. 유생기 이후부터 성체까지는 brine shrimp, *Artemia nauplii* 및 마쇄한 바지락, *Tapes japonicus* 육질을 먹이로 공급하면서 사육중인 개체를 실험에 사용하였다.

### 2. 測定方法

#### 1) 成長과 脫皮

##### ① 幼 生

사육중인 부화유생을 매일 20~100마리씩 무작위 추출하여 유생발생의 단계를 Little (1969)의 기재에 따라 입체현미경하에서 분류하여 발생단계별 지속시간을 조사하고, 동일단계의 유생 15개체의 체장을 안병의 기부에서 미절의 말단까지 측정하였다. 건중은 유생단계별로 약 20~80마리를 70℃에서 24시간 건조시킨 다음 칭량하여 개체의 평균 건중으로 표시하였다.

##### ② 稚蝦, 未成熟體 및 成體

해수 (염분, 31~32‰) 1.5l가 들어 있는 40개의 실험구에 치하 (평균체장, 5.82mm) 및 다양한 크

기의 실험동물을 각각 1마리씩 투입하고, 수온 15℃와 25℃로 각각 조절하여 사육하면서 매일 아침 탈피체 및 사망개체가 있는지 관찰하였다. 수거한 탈피체는 5% 포르말린 용액으로 고정하여 두었다가 입체현미경으로 미각장을 측정하였다.

치하에서 성체의 체장은 안병의 기부에서 마지막 복절의 말단까지, 미각장은 마지막 복절의 말단에서 강모를 제외한 미각의 외지 끝까지 마이크로미터 또는 버니야 캘리퍼로 측정하였다.

한편, 갑각류의 성장은 반드시 탈피를 수반하므로 각 탈피간의 시간간격 및 각 탈피간의 체장증가 백분율 (growth factor)을 수거한 탈피체로 부터 측정하였다. 탈피기간과 각 탈피간 체장증가백분율은 동물의 체장에 대한 함수로서 표현할 수 있고 (Mauchline, 1976, 1977; Astthorsson and Ralph, 1984), 붉은줄참새우의 치하에서 성체의 성장은 수온 15℃와 25℃에서 측정한 동물의 체장별 탈피기간과 체장증가율의 회귀식으로서 평균성장으로 나타내었다.

#### 2) 抱卵數

채집한 실험동물중 포란한 암컷을 곧 선발하여 체장을 측정한 뒤 난의 수를 현미경하에서 계수하였다.

#### 3) 酸素消費

유생의 발생단계별 산소소비율은 측정전 유생의 취급을 가능한한 줄이기 위하여 부화 후 경과일수별로 산소검량기 (YSI 53형)를 사용하여 측정하였다. 산소검량장치의 수조내 온도는 항온순환수조 (SK 55형)를 사용하여 실험온도로 맞추어진 물을 순환시켜 실험온도의  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  이내로 조절하였다.

측정은 산소검량병에 시수를 12ml 넣은 다음 실험동물을 일정수 투입하여 약 5분간 온도평형을 유지시킨 뒤 매 20분 간격으로 산소측정기의 눈금을 읽어서 3회 반복측정한 다음 산소소비량을 산출하였다.

치하 및 성체의 산소소비율은 수온 10℃, 15℃, 20℃ 및 25℃에서 측정하였다. 측정은 개체크기별로 용량 150~500ml의 산소측정병에 일정 크기별로 실험동물을 투입한 다음 2시간 동안 방치한 뒤 실험전후의 용존산소의 차이로써 산소소비량을 정량하였다. 동물의 호흡은 산소분압에 영향을 받기 때문에 (Prosser, 1973; Ikeda, 1974), 산소소비 측정이 끝났을 때의 산소병내의 용존산소량은 초기의 60% 이하로 떨어지지 않게 조절하였고, 시수는 미리 미공여과 (공경,  $0.45\ \mu\text{m}$ )시킨 것을 사용하였다.

#### 4) 窒素排泄

유생의 암모니아질소 배설량은 용량 약 100ml의 산소병에 부화 후 경과일수별로, 치하에서 성체는 수온 15℃와 25℃에서 용량 150~500ml의 측정병에 개체크기별로 투입하여 6시간 동안 방치한 다음 실험전후 각 용존질소량의 차이를 비색정량하여 개체당 또는 건중 mg당 하루의 질소배설량으로 표시하였다.

암모니아 배설질소는 Solorzano (1969)의 Phenolhypochlorite법으로 분석하였으며, 아미노질소 및 총질소는 Corner and Newell (1967)의 방법으로 고정하여 암모니아 분석방법과 동일하게 하였다.

#### 5) 攝餌

유생, 치하 및 성체의 섭이율은 일간 섭이한 brine shrimp, *Artemia nauplii*의 개체수로부터 개체의 일간섭이량을 측정하였다.

유생의 섭이율 측정은 용량 200ml의 실험병에 갓 부화한 *Artemia* 유생을 10개체/ml로 넣고 부화 후 경과일수별로 실험동물을 3~10마리 투입한 다음 소량의 폭기와 함께 24시간 섭이시킨 뒤 실험병내에 남아 있는 *Artemia* 유생을 밀러가야제 (망목,  $100\ \mu\text{m}$ )로 걸러서 5% 포르말린으로 고정하여 두었다가 이후 입체현미경으로 계수하여 실험전후의 먹이생물 개체수의 차로써 섭이량을 산출하였다.

치하 및 성체의 섭이율은 용량 2l의 비이커를 사용하여 개체크기별로 1마리씩 투입하여 유생의 섭이 측정과 같은 방법으로 실시하였다.

#### 6) 乾 重

전실험을 통하여 항목별 측정이 끝난 후 실험병에서 동물을 끄집어 낸 즉시 증류수로 한번 씻고 항온건조기에 넣어 70℃에서 24시간 건조시킨 다음 건조 desiccator에 일정시간 두었다가 칭량하였다. 한편, 체물질의 조성 및 에너지 함량의 측정에도 상기한 방법으로 건조한 건조시료를 사용하였다.

#### 7) 體物質의 化學的 組成 및 에너지 含量

실험동물을 미공여과 해수에 12시간 두어 장내 용물을 배출시킨 다음 조성분 함량을 측정하고 5~8회의 측정결과를 평균하여 건조에 대한 백분율로 나타내었다.

수소, 유기탄소 및 총질소량은 CHN분석기 (Yanagimoto MT-2형) 및 micro-Kjeldahl장치를 사용하여 정량하였다. 단백질은 총질소량에 환산계수 6.25를 곱하여 조단백질함량으로 나타내었다. 지질 및 chitin의 함량은 Kim and Chin (1991)이 상술한 방법으로 측정하였다. 회분은 상법으로 측정하여 정량하였고, 탄수화물은 Dubois 등 (1956)의 방법으

로 정량하였다.

에너지 함량은 분석한 각각의 체물질에 대하여 Morowitz (1968)가 제시한 단백질 5.5, 지질 9.3, 탄수화물 및 chitin 4.1cal/mg의 환산계수를 사용 (Clutter and Theilacker, 1971; Smith et al., 1975)한 열량 환산치 및 oxygen bomb calorimeter (OSK 150형)를 사용하여 열량 표준물질 (benzoic acid, 6,322cal/g)과 대비 측정된 값을 건중 mg당 에너지 함량으로 나타내었다.

8) 同化效率

유생 및 치하를 포함한 다양한 크기의 실험동물 을 미공여과한 해수에 12시간 두어 장내용물을 배 출시킨 다음, 여과해수 10l에 갓 부화한 *Artemia* 유 생 (10개체/ml)이 들어 있는 실험구에 실험동물을 각 각 50~100마리씩 투입하여 암소에서 2시간 섭 이시킨 뒤 실험동물들 수거하여 여과 해수가 들어 있는 다른 수조에 옮겨 6시간 동안 장내용물을 배 출시켰다. 배출된 faeces는 스포이드로 비이커에 옮 긴 후 미공여과하여 여과지위의 faeces를 다시 증 류수로 행구고 70℃의 항온건조기에 넣어 24시간 건조시켰다. 다음 건조된 배설물을 칭량하여 질소 함량을 CHN 분석기 및 micro-Kjedahl 장치를 사용 하여 질소함량을 측정하여 건중에 대한 비율을 구 한 것과 먹이로 제공한 *Artemia* 유생의 건중에 대 한 질소함량의 비율로 부터 Durbin and Durbin (1981)의 방법으로 동화효율을 산출하였다.

$$\% \text{ assimilation} = \frac{\text{Food}_N - \text{Faeces}_N}{\text{Food}_N} \times 100$$

9) 에너지 收支

붉은줄참새우의 생육단계별 에너지 수지는 표준 IBF방정식 (Klekowski and Duncan, 1975)으로 나 타내었다.

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

(1)식에서 P를 세분하면

$$C = P_g + P_e + P_r + R + F + U \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

로서 표시된다. 여기서 C는 섭이 에너지, P<sub>g</sub>는 체 성장에 사용된 에너지, P<sub>e</sub>는 탈피에너지, P<sub>r</sub>은 생식 에너지, R은 호흡 에너지 및 F는 faeces 배출 에너 지이며, U는 尿로서 배설된 에너지를 나타낸다.

유생 및 치하에서 성체의 섭이, 성장, 탈피, 생식, 호흡 및 질소배설의 측정자료를 사용하여 총성장 효율 (K<sub>1</sub>) 및 순성장효율 (K<sub>2</sub>)을 계산하였다.

(1) 총성장효율 (K<sub>1</sub>); (P<sub>g</sub> + P<sub>e</sub>) ÷ C × 100으로서 총섭이량에 대한 성장으로 전환된 양을 나타낸다.

(2) 순성장효율 (K<sub>2</sub>); 수컷은 (P<sub>g</sub> + P<sub>e</sub>) ÷ (P<sub>g</sub> + P<sub>e</sub> + R + U) × 100이며, 암컷은 (P<sub>g</sub> + P<sub>e</sub>) ÷ (P<sub>g</sub> + P<sub>e</sub> +

P<sub>r</sub> + R + U) × 100으로 나타내었다.

結 果

1. 幼生の 成長

수온 25℃에서 사육한 붉은줄참새우 유생의 발생 단계별 부화 후 평균 경과시간, 체장 및 건중을 Table 1에 나타내었다.

모하에서 갓 부화한 zoea I 기의 유생은 평균체 장이 2.31mm이었고, 부화 후 경과시간은 평균 1.90 일로서 약 2일이었다. zoea II기는 체장 2.72mm, 부화 후 경과시간은 3.96일로서 zoea I에서 zoea II기로 이행하는 데는 평균 2.06일이 소요되었다. zoea III기에서 IV기로 이행하는 동안 평균 소요기 간은 약 3일이었다. zoea VII기로 이행한 유생의 체 장은 평균 5.38mm, zoea I기에서 zoea VII기로 이 행하기 까지는 부화 후 약 14.85일이 소요되었으며, 부화 18일후에는 모두 post-larva로 변태하였다.

수온 25℃에서 사육한 붉은줄참새우의 발생단계 별 경과시간에 따른 건중의 관계는 Fig. 1과 같다.

난에서 부화한 zoea I 기의 유생은 평균건중 12.95 μg, zoea II기는 16.85 μg으로 성장하였고, zoea VII기로 이행한 개체는 건중이 276.93 μg으로 증가하였다 (Table 1). 그리고 zoea 유생의 부화 후 경과시간에 따른 건중의 관계는 W=5.6794 T<sup>1.3589</sup> (r<sup>2</sup>=0.9667)으로 나타났다 (Fig. 1).

2. 稚蝦, 未成熟體 및 成體의 成長

1) 成長과 脫皮

붉은줄참새우의 치하, 미성체 및 성체의 암수별

Table 1. Mean values of the elapsed time and biomass for the zoea stages of *Palaemon macrodactylus* at 25 °C.

Developmental stage	Parameter		
	Elapsed time (days)	Body length (mm)	Dry weight (μg)
Z - I	0	2.31 ± 0.12	12.95 ± 0.45
Z - II	1.90	2.72 ± 0.18	16.85 ± 0.15
Z - III	3.96	3.45 ± 0.23	29.40 ± 2.12
Z - IV	6.60	4.16 ± 0.32	67.33 ± 5.62
Z - V	9.46	4.55 ± 0.26	100.63 ± 4.81
Z - VI	12.34	5.07 ± 0.18	183.60 ± 7.21
Z - VII	14.85	5.38 ± 0.23	276.93 ± 5.14

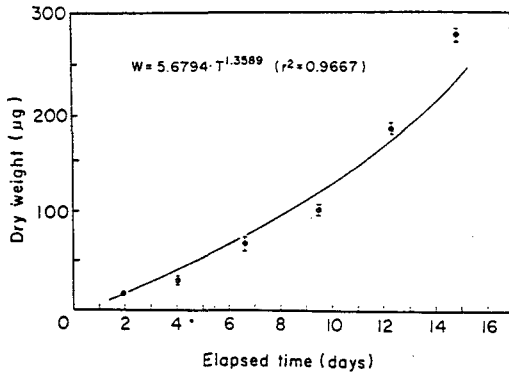


Fig. 1. Mean growth in dry weight of *Palaemon macrodactylus* larvae (Zoea I to zoea VII) at 25°C.

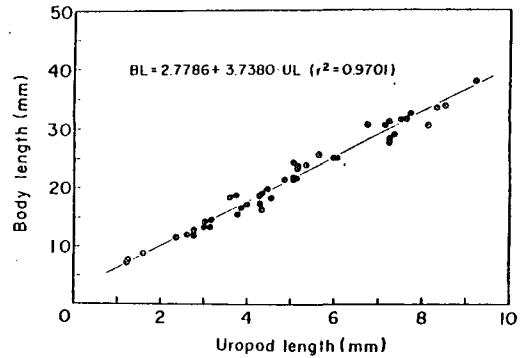


Fig. 2. Relationships between uropod length and body length of *P. macrodactylus*.

성장은 수온 15°C와 25°C에서 개별사육중인 동물의 탈피체를 수거하여 미각장을 측정된 뒤 체장을 추정하였다. 다양한 크기의 암컷과 수컷 46개체의 미각장과 체장간의 관계를 보면 (Fig. 2), 체장 (mm) = 2.7786 + 3.7380 × 미각장 (mm)이고, 성에 따른 차이는 없었다.

수온 15°C와 25°C에서 측정된 치하 및 다양한 크기의 붉은줄참새우 암수 각 개체의 체장증가, 탈피횟수 및 체장성장율을 Table 2와 3에 나타내었다.

두 수온구에서 모두 초기 체장이 작은 개체가 큰 개체에 비하여 성장율이 높았고, 암수별로는 15°C군의 암컷과 수컷의 평균 체장성장율은 각각 0.086 mm/day 및 0.070 mm/day, 25°C에서 자웅의 체장성장율은 각각 0.135 mm/day 및 0.109 mm/day로서 암컷의 성장율이 수컷에 비하여 다소 높았다. 또한 15°C 실험군의 암컷과 수컷의 총평균 체장성장율은 0.079 mm/day, 25°C의 실험군은 0.122 mm/day로서 15°C와 비교하여 높은 체장성장율을 보였다.

수온 15°C와 25°C에서 사육한 동물의 각 탈피간 체장증가 백분율 (growth factor)을 자웅을 조합하여 Fig. 3에 나타내었다.

각 탈피간 체장증가율은 암수 모두 체장이 증가함에 따라 점차 감소하였는데 치하 (평균체장, 5.82 mm)에서 체장 35.0 mm의 성체로 성장하는 동안 각 탈피간의 체장증가율은 평균 3.2% ~ 13.2%의 범위에서 감소하였다. 그리고 15°C군과 25°C군간의 체장에 대한 각 탈피간 체장증가율의 회귀계수사이에는 공분산분석의 결과 95% 신뢰한계에서 유의한 차이가 없었다 (Table 4).

*P. macrodactylus* 암컷과 수컷의 체장별 각 탈피간 체장증가율 (Fig. 4)은 두 수온구 모두 암컷의 체장증가율이 수컷에 비하여 다소 높은 값을 보였

는데, 15°C군의 치하에서 성체까지 암컷의 각 탈피간 체장증가율은 3.6% ~ 11.9%, 수컷은 2.7% ~ 10.6%, 25°C군의 암컷과 수컷은 각각 3.4% ~ 16.3% 및 2.2% ~ 13.0%의 범위였다. 그러나 자웅 및 수온에 대한 각 탈피간 체장증가율의 회귀계수간에는 유의한 차가 없었다 (Table 4).

Table 2. Mean growth rates of body length of *P. macrodactylus* females and males at 15°C.

Sex	Initial length (mm)	Final length (mm)	Time (days)	No. of molts	Growth rate (mm/day)
Female	7.30	16.15	85	9	0.104
	7.84	15.52	70	8	0.110
	8.12	17.23	69	8	0.132
	9.46	22.73	137	10	0.097
	14.06	28.89	156	10	0.101
	15.91	21.82	88	6	0.067
	18.43	27.00	106	8	0.081
	22.56	32.07	146	7	0.065
	27.61	34.70	150	7	0.047
	28.16	36.65	148	6	0.057
					Mean = 0.086
Male	7.75	19.04	122	11	0.093
	8.15	19.39	117	12	0.096
	8.86	15.93	91	9	0.078
	12.30	17.81	49	6	0.112
	15.38	21.38	84	7	0.071
	19.71	28.03	139	8	0.060
	21.34	27.32	117	7	0.051
	27.43	33.81	160	7	0.040
	28.08	32.75	145	5	0.032
Gross mean					0.079

Table 3. Mean growth rates of body length of *P. macrodactylus* females and males at 25°C.

Sex	Initial length (mm)	Final length (mm)	Time (days)	No. of molts	Growth rate (mm/day)
Female	6.27	26.37	134	15	0.150
	6.55	23.40	92	12	0.183
	6.91	17.47	60	10	0.176
	7.52	20.31	77	10	0.166
	13.58	22.77	65	9	0.137
	16.71	31.84	90	11	0.168
	19.10	25.89	48	6	0.141
	25.40	34.00	85	6	0.101
	26.90	36.10	133	7	0.069
	30.55	37.13	111	6	0.059
			Mean =	0.135	
Male	6.61	20.39	95	13	0.145
	7.23	16.98	68	10	0.143
	10.07	14.55	41	6	0.109
	14.51	22.62	85	10	0.095
	16.05	24.01	84	8	0.095
	19.16	26.61	72	8	0.103
	20.19	27.20	55	6	0.127
	23.04	33.47	134	9	0.107
	24.45	31.69	121	9	0.061
			Mean =	0.109	
Gross mean					0.122

한편, 탈피기간은 동물이 성장하여 체장이 증가함에 따라 증가하였고, 수온별로는 25°C군의 자웅의 체장별 탈피기간이 15°C군에 비하여 유의하게 짧았다 (Fig. 5 및 Table 4).

붉은줄참새우의 개체크기별로 탈피체를 수거하여 건조한 다음 탈피체의 건중을 측정하여 체장별로 양대수좌표상에 표시하였다 (Fig. 6).

탈피체 중량은 암수 모두 건중이 증가할수록 증가하였는데, 치하 (건중, 약 0.492mg)에서 성체로 성장하는 동안 동물의 건중에 대한 탈피체 중량의 백분율은 8.9%~14.2% 범위였다. 한편, zoea IV~VI기의 유생에서 수거한 탈피체의 건중은 건조체중의 평균 7.8%였다.

### 2) 平均成長

하계에 포란한 암컷을 채집하여 수온 25°C에서 부화발생한 zoea 유생을 대량 사육하면서 post-larva로 변태한 치하의 평균 체장은 5.82 ± 0.36mm였고, 이것을 평균성장의 초기체장으로 표시하였다.

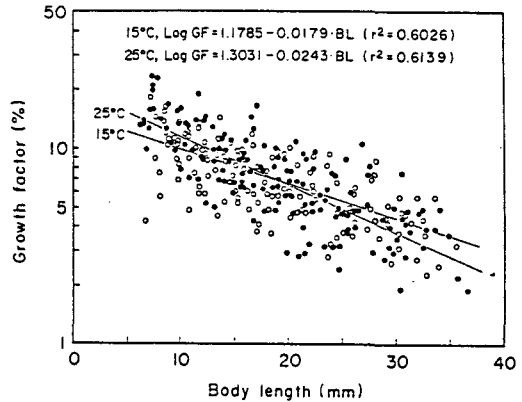


Fig. 3. Relationships between body length and growth factor of *P. macrodactylus* combined females and males at 15°C and 25°C.

Table 4. Statistical analysis of the slope of growth and intermolt period between each group maintained at 15°C and 25°C in the laboratory

Source	Temp. (°C)	F	F <sub>0.95</sub>	d.f
Combined males and females growth factor	15~25	0.54	3.84	1, 271
Combined males and females intermolt period	15~25	8.06	3.84	1, 271
Males and females growth factor	15	1.12	3.92	1, 120
Males and females growth factor	25	1.63	3.84	1, 150
Females growth factor	15~25	0.12	3.84	1, 136
Males growth factor	15~25	0.21	3.84	1, 134
Males and females intermolt period	15	0.22	3.92	1, 120
Males and females intermolt period	25	0.70	3.84	1, 150

F: variance ratio, F<sub>0.95</sub>: F-value for 95% confidence limits, d.f.: degree of freedom

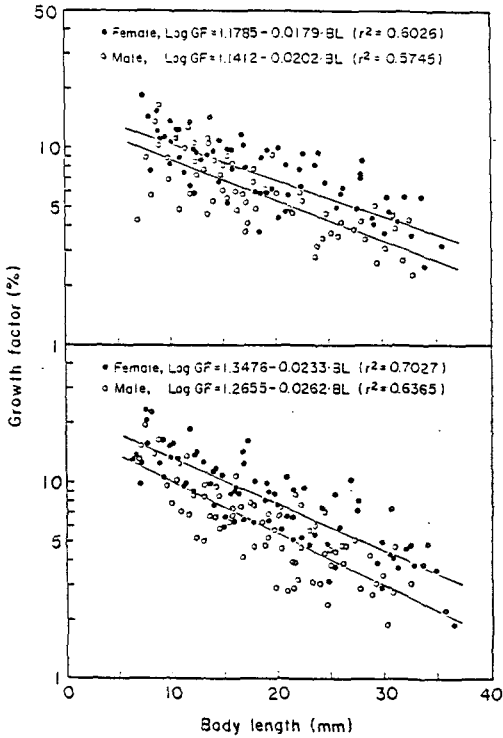


Fig. 4. Relationships between body length and growth factor of *P. macrodactylus* females and males at 15°C (upper) and 25°C (lower).

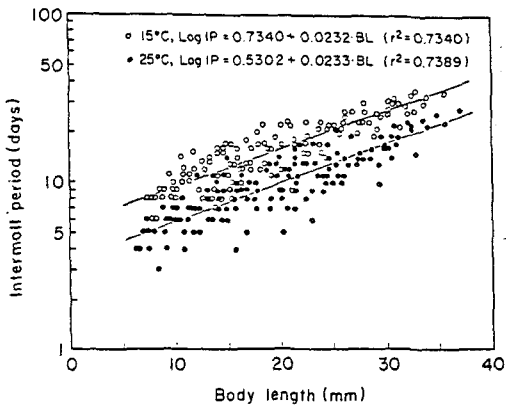


Fig. 5. Relationships between body length and intermolt period of *P. macrodactylus* combined females and males at 15°C and 25°C.

붉은줄참새우의 치하에서 성체의 평균성장은 탈피기간과 각 탈피간 체장증가율 (growth factor)로부터 계산하였다 (Mauchline, 1976, 1977; Kim and Chin, 1991).

수온 15°C와 25°C에서 측정된 붉은줄참새우 암컷과 수컷의 체장별 각 탈피간 체장증가율의 회귀식 (Fig. 4)과 탈피기간의 회귀식 (Fig. 5)으로부터 치하에서 성체에 이르기까지 자웅의 평균 체장성장을 계산하여 연속 성장곡선으로 나타내었다 (Fig. 7).

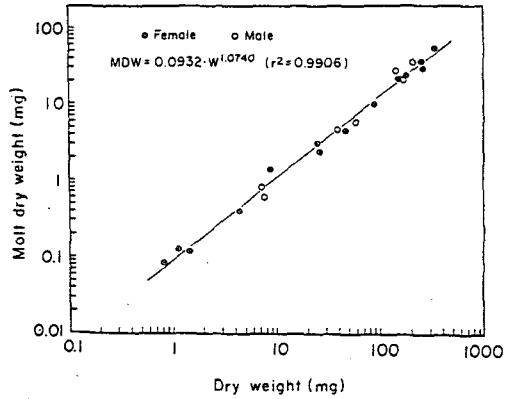


Fig. 6. Relationships between dry weight and molt dry weight of *P. macrodactylus*.

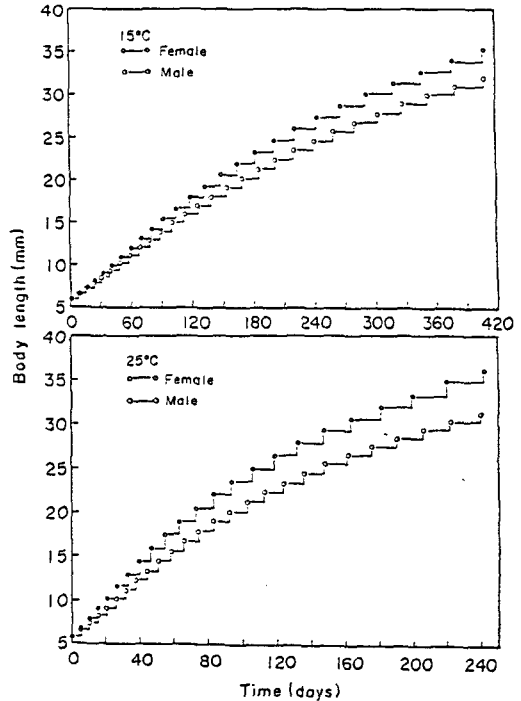


Fig. 7. Average growth in body length of *P. macrodactylus* females and males at 15°C and 25°C. Data points indicate molting.

수는 15℃에서 치하는 일령 약 406일에 이르면 암컷은 체장 5.82mm에서 33.84mm의 성체로 성장하였고, 수컷의 체장은 30.94mm였다. 25℃에서는 치하가 일령 약 225일이 경과하면 암컷은 34.79mm의 성체로 성장하였으며, 수컷의 체장은 30.28mm였다.

성장을 에너지 단위로 환산하기 위해서는 체장 성장을 체중성장으로 전환시켜야 하는데, 동물의 체중성장은 체장과 건중간의 회귀식으로 부터 구하였다.

붉은줄참새우의 체장별 건조중량을 측정한 결과는 Fig. 8에 나타내었다. 체장과 건중의 관계식은

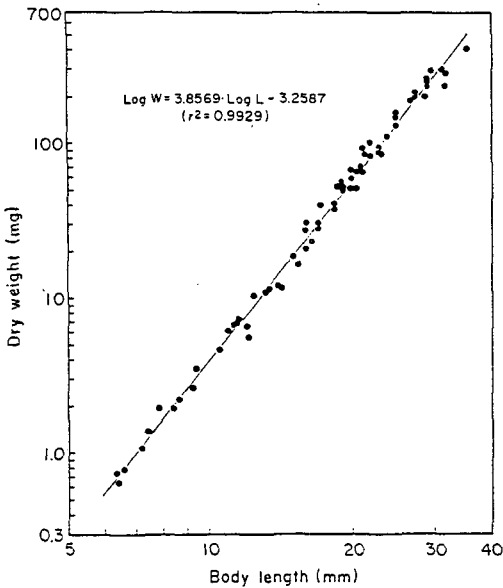


Fig. 8. Relationships between body length and dry weight of *P. macrodactylus*.

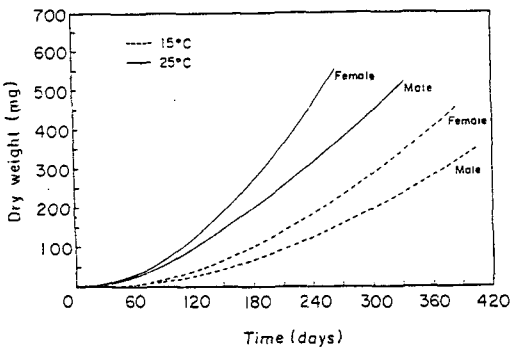


Fig. 9. Average growth in dry weight of *P. macrodactylus* females and males at 15℃ and 25℃.

$\text{Log } W \text{ (mg)} = 3.8569 \cdot \text{Log } L \text{ (mm)} - 3.2587$ 이고, 이 관계식을 적용하여 체장성장에 대한 체중성장을 산출한 결과는 Fig. 9와 같다. 체장 5.82mm인 치하의 건중은 0.492mg이고, 이후 일령별 체중은 수온 및 자웅에 따라 다르게 나타난다.

### 3. 抱卵數

하계에 채집한 포란한 암컷을 대상으로 이들의 난의 수를 측정하여 체장별로 포란수를 표시하였다 (Fig. 10).

체장과 포란수간에는 개체간 많은 차이를 가지면서 직선적인 상관을 나타내었고, 평균체장 약 24mm에서 포란한 개체가 출현하기 시작하여 체장에 따라 난의 수는 평균 480~990개로서 개체의 크기가 증가할수록 난의 수는 많았다.

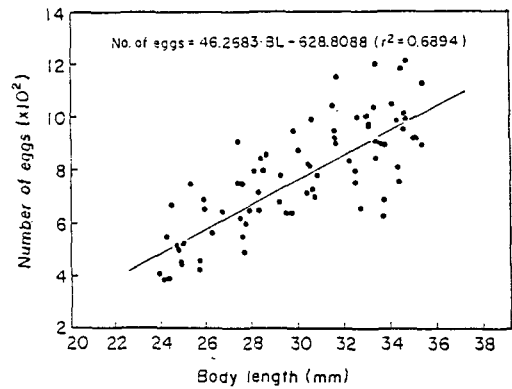


Fig. 10. Relationships between body length and number of eggs of preserved animals that were collected in the field.

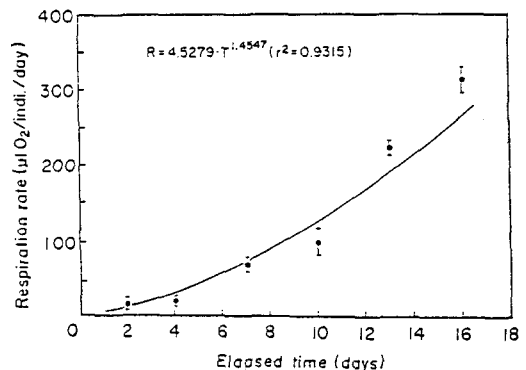


Fig. 11. Individual respiration rate in relation to elapsed time of *P. macrodactylus* larvae at 25℃.



4. 酸素消費

Zoea 유생의 산소소비량을 수온 25℃에서 측정하고, 부화 후 경과시간에 따라 개체당 하루의 산소소비량 ( $\mu\text{O}_2/\text{indi./day}$ )으로 표시하였다 (Fig. 11). 유생단계의 진행에 따라서 산소소비량은 현저히 증가하여  $R=4.5279 \cdot T^{1.4547}$  ( $r^2=0.9315$ )으로 표시할 수 있었으며, 여기서 R은 산소소비량 ( $\mu\text{O}_2/\text{indi./day}$ ), T는 부화 후 경과시간이다.

붉은줄참새우의 치하에서 성체의 산소소비율은 수온 10℃, 15℃, 20℃ 및 25℃에서 측정하여 양대수 좌표상에 비체중 산소소비율의 회귀직선으로 Fig. 12에 나타내었다.

붉은줄참새우의 비체중 산소소비율은 개체의 크기가 클수록 직선적으로 감소하였다. 수온 10℃와 20℃군 및 15℃와 25℃군간의  $Q_{10}$ 값은 각각 2.85 및 2.66이고 수온이 증가함에 따라 산소소비율은 현저하게 증가하였다.

동물의 호흡율 (R,  $\mu\text{O}_2/\text{hr}/\text{indi.}$ )은 건조중량 (DW,  $\text{mg}/\text{indi.}$ )의 누승에 비례하여,  $R=a(DW)^b$ 로 표현할 수 있다. 이 관계식의 양변에 대수를 취하면,

$$\text{Log } R = \text{Log } a + b \text{ Log } W \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

이다. 호흡율 (R)을 단위체중당 호흡율 ( $R/W$ ,  $\mu\text{O}_2/\text{mg}, \text{W}/\text{hr}$ )로 변경하면  $R/DW=a(DW)^{b-1}$ 이 되고, 이 식은

$$\text{Log}(R/DW) = \text{Log } a + (b-1) \cdot \text{Log } DW \dots \textcircled{2}$$

의 식으로 바꾸어 진다.

붉은줄참새우의 산소소비율 (R,  $\mu\text{O}_2/\text{mg}, \text{W}/\text{hr}$ )과 건조 (DW,  $\text{mg}/\text{indi.}$ )의 관계는 Fig. 12에 나타낸 바와 같으며, 식 ②에 의한 수온별 회귀직선의 경사값 b-1과 절편값 Log a의 상관관계는 Fig. 13에 표시하였

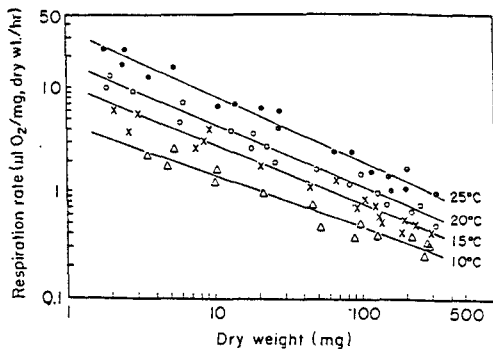


Fig. 12. Relationships between weight specific respiration rate (R) and dry weight of *P. macrodactylus* at 10℃, 15℃, 20℃ and 25℃.

고, 그 각각의 회귀선에 대한 식은

$$b-1 = -0.0096 \cdot T - 0.3976$$

$$b = 0.6024 - 0.0096 \cdot T \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

$$\text{Log } a = 0.0604 \cdot T + 0.0376 \dots\dots\dots \textcircled{4}$$

이다. 식 ③과 ④를 식 ①에 대입하면,

$$\text{Log } R = (0.0604 \cdot T + 0.0376) + (0.6024 - 0.0096 \cdot T) \cdot \text{Log } DW \dots\dots\dots \textcircled{5}$$

가 된다. 이 식은 수온 T℃에서 건조중량 DW인 개체

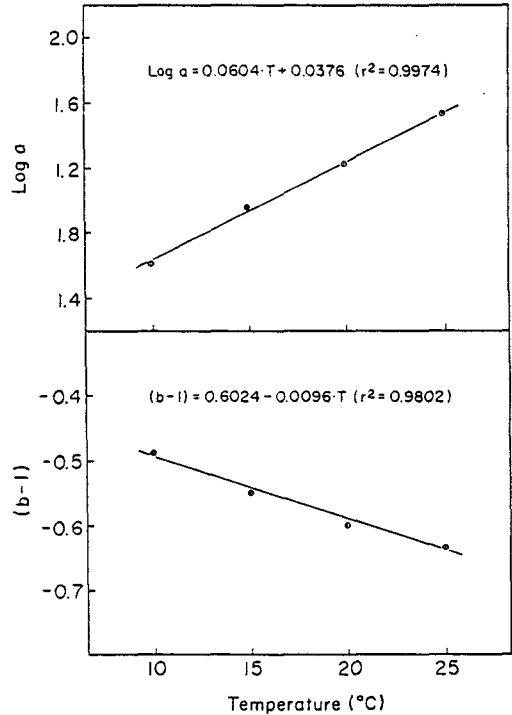


Fig. 13. Relationships between log a and water temperature (upper), and between b-1 and water temperature (lower) in respiration-dry weight relationship of *P. macrodactylus*.

Table 5. Regression statistics of log weight specific respiration rate (R,  $\mu\text{O}_2/\text{mg}$  dry weight/hr) on log dry weight (W,  $\text{mg}/\text{indi.}$ ) of *P. macrodactylus*.

Temperature T (°C)	n	Equation of regression line $\text{Log } R = \text{Log } a + (b-1) \cdot \text{Log } W$		$r^2$
		Log a	b-1	
25	18	1.5482	-0.6326	0.9704
20	19	1.2295	-0.5956	0.9774
15	18	0.9705	-0.5477	0.9601
10	15	0.6282	-0.4882	0.9487

의 산소소비량 ( $\mu\text{l O}_2/\text{mg, DW/hr}$ )을 나타낸다. 이 관계식을 적용하여 에너지 수지의 계산에 있어 수온 15°C와 25°C에서 붉은줄참새우 치하 및 성체가 소비한 산소량을 계산하였다.

5. 窒素排泄

수온 25°C에서 측정한 유생의 암모니아질소 배설율을 보면 (Fig. 15), 유생이 성장함에 따라 배설량 ( $\mu\text{g N}/\text{indi./day}$ )은 증가하여 건중 약 17  $\mu\text{g}$ 의 유생은 하루에 3  $\mu\text{g}$ , 건중이 184  $\mu\text{g}$ 인 zoea VI기 유생은 23.8  $\mu\text{g}$ 의 암모니아 질소를 배설하였다.

붉은줄참새우 치하에서 성체의 총배설질소량은 수온이 증가함에 따라 현저히 증가하였다. 수온 15°C와 25°C에서 건중에 대한 질소배설율 회귀직선의 절편은 각각 -0.4667과 -0.1319, 그리고 경사값은 -0.4639와 -0.4781로 표시되었고, 수온 15°C와 25°C 간에 질소배설율의  $Q_{10}$ 값은 2.08이었다 (Fig. 15).

수온 16°C와 25°C에서 평균 건중 각각 142.6mg 및 145.0mg인 개체의 총배설질소량과 암모니아 및 아미노질소의 배설량을 측정한 결과는 Fig. 16과 같다.

수온 15°C에서 배설물질의 형태별 일간 배설량은 총질소가 4.915  $\mu\text{g}$ , 암모니아 및 아미노질소가 각각 3.110  $\mu\text{g}$  및 1.377  $\mu\text{g}$ 이었고, 25°C에서는 각각 9.771  $\mu\text{g}$ , 6.574  $\mu\text{g}$  및 2.741  $\mu\text{g}$ 으로서 어느 수온에서나 암모니아 및 아미노질소의 배설량이 91%를 능가하여 배설질소의 거의가 암모니아 및 아미노산이었다. 총배설질소중에서 암모니아질소는 15°C에서 63.3%, 25°C에서는 67.3%로서 붉은줄참새우는 배설질소의 거의 2/3를 암모니아의 형태로 배설하였다.

6. 攝餌

유생의 섭이율은 유생 1개체가 하루에 섭이한

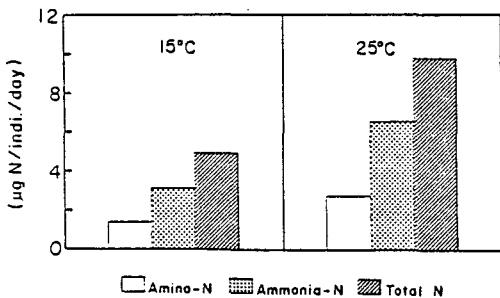


Fig. 14. The rate of ammonia nitrogen excretion of *P. macrodactylus* larvae at 25°C.

*Artemia* nauplii를 건중으로 표시하여 Fig. 17에 나타내었으며, 치하 및 성체의 섭이율은 Fig. 18과 같다.

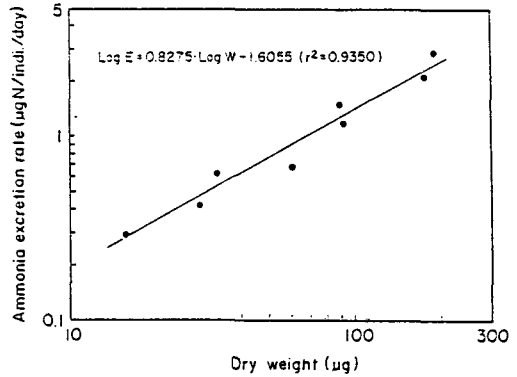


Fig. 15. The rate of total nitrogen excretion of *P. macrodactylus* at 15°C and 25°C.

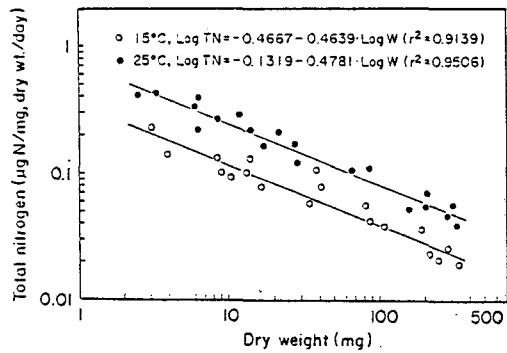


Fig. 16. The rates of nitrogen excretion in the form of ammonia, amino acids and total nitrogen for *P. macrodactylus* at 15°C and 25°C.

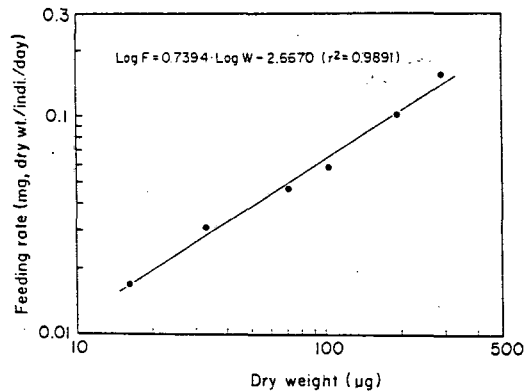


Fig. 17. Daily feeding rate of *P. macrodactylus* larvae fed *Artemia* nauplii at 25°C.

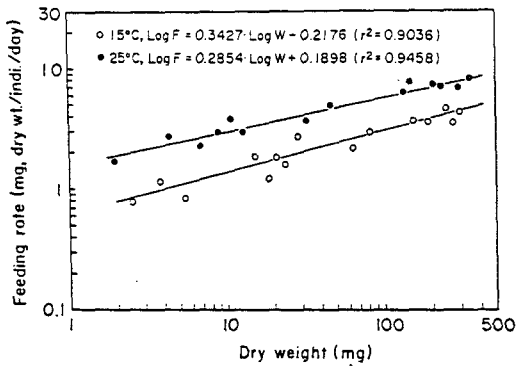


Fig. 18. Daily feeding rate of *P. macrodactylus* juvenile and adult fed *Artemia* nauplii at 15°C and 25°C.

부화직후에서 24시간이 경과하는 동안 먹이생물인 *Artemia* nauplii 한마리의 평균 건조중량은 2.2 μg이었다.

zoea I기 (건중, 13 μg) 유생은 하루에 1.2 μg을 섭취하였고, 유생이 성장함에 따라 섭취량은 증가하여 zoea VII기 (건중, 277 μg) 유생의 하루당 섭취량은 110.2 μg으로 증가하였다.

수온 15°C와 25°C에서 측정된 치하 및 성체의 섭취율을 보면 (Fig. 18), 25°C 실험군의 섭취율이 15°C군에 비하여 현저하게 높았으며, 개체의 크기가 증가할수록 일간 섭취량은 증가하였다.

치하에서 성체로 성장하는 동안 수온 및 자용별 누적 섭취량과 누적 섭취에너지는 평균 체중성장 (Fig. 9) 및 수온별 일간 섭취율 회귀식 (Fig. 18)을 적용하여 계산하였다.

### 7. 同化效率

붉은줄참새우의 유생, 치하 및 성체의 동화효율을 먹이 및 배출분의 건조 mg당 질소함량을 지표로 하여 동화효율을 산출한 결과는 Table 6에 요약하였다.

먹이로 제공한 *Artemia* nauplii의 건조 mg당 질소함량은 10.22%, zoea IV~zoea VII기 유생이 배출한 faeces의 질소량은 3.94%였다. 따라서 질소를 지표로 측정된 zoea 유생의 동화효율은 61.5%로 나타났다. 치하 및 성체의 수온별 동화효율은 수온에 따라 다소 차이를 보였는데, 15°C에서 치하 및 성체의 평균 동화효율은 81.4%, 수온 25°C에서 붉은줄참새우의 동화효율은 89.6%였다.

### 8. 體物質의 化學的 組成 및 에너지 含量

성장, 탈피, 호흡 및 생식에 사용한 에너지를 산

Table 6. Assimilation efficiency of *P. macrodactylus* larvae, juveniles and adults fed *Artemia* nauplii in the laboratory at 15°C and 25°C.

Temp. (°C)	Expt. No.	Food N content (%)	Faeces N content (%)	Assimilation efficiency (%)
15	1	10.41	2.14	79.4
	2	10.06	1.69	83.2
	3	10.18	1.87	81.6
	Mean			81.4
25	1	10.36	1.03	90.1
	2	10.17	1.08	89.4
	3	10.21	1.10	89.2
	Mean			89.6
25 (Larva)		10.22	3.94	61.5

출하기 위하여 붉은줄참새우의 몸체, 탈피체, 난 및 유생의 체물질 조성과 에너지 함량을 측정된 결과를 Table 7에 나타내었다.

동물의 자용별 체물질 조성은 건조에 대한 백분율과 건조 mg당 열량으로 나타낼 때 그 차이가 없었으므로, 몸체의 화학적 조성은 치하를 포함한 다양한 크기의 실험동물 자용을 혼합하여 측정된 결과이다.

몸체의 단백질량은 65.6%, 난과 유생은 각각 53.8% 및 67.5%였다. 난은 다량의 지질을 함유하였으며, 몸체는 8.5%의 낮은 함지질량과 16%의 높은 회분함량을 보였는데, 탈피체는 chitin이 35.5%이고 조성분의 46.6%는 회분이었다. 몸체, 탈피체, 난 및 유생에 대한 체물질조성의 열량환산치와 열량 측정치의 평균은 건조 mg당 각각 4.55, 2.28, 6.71 및 4.94cal였다.

### 9. 에너지 收支

붉은줄참새우의 생활사에 따른 에너지 수치는 성장, 탈피, 호흡, 배설, 섭이 및 에너지 함량 측정치로써 계산하였다.

유생의 건조 mg당 에너지 함량은 4.94cal이다. 그러므로 유생이 성장에 사용하는 평균 에너지량은 4.94cal/mg × (건중, mg)이고, 치하 및 성체는 4.55 cal/mg × (건중, mg)를 체 성장에 이용하였다.

Zoea IV~VI期の 유생으로 부터 수거한 탈피체의 건조중량은 건조체중의 평균 7.8%였으며, 이 값을 붉은줄참새우의 전유생기에 적용하였다. 유생 탈피체의 건조 mg당 유기물질은 53.6%, 회분을 제거한 유기물질 mg당 평균열량은 4.25cal이다.

Table 7. Biochemical composition and energy content of dry *P. macrodactylus* bodies, molts, eggs and larva. Tabulated values for composition are %, and for energy content are cal/mg. The sums of % ash, protein, lipid, chitin and carbohydrate=100%. ND; non-detected

Specimen	Hydrogen	Carbon	Nitrogen	Crude protein	Lipid	Chitin	Carbo-hydrate	Ash	Energy
Body	5.8	37.3	10.5	65.6	8.5	7.6	2.3	16.0	4.80 (4.29)*
Molt	2.0	17.3	2.9	18.1	ND	35.5	ND	46.4	2.45 (2.10)*
Egg	8.3	51.8	8.6	53.8	38.3	ND	ND	7.9	6.52 (6.90)*
Larva	6.3	40.7	10.8	67.5	9.6	7.4	2.7	12.8	5.02 (4.87)*

\* The values were determined by use of oxygen bomb calorimeter.

유생이 탈피에 사용하는 평균 에너지는  $(0.078) \times (0.536) \times (4.25 \text{ cal/mg}) \times (\text{건중, mg})$ 이었다. 치하 및 성체는 건중에 대한 탈피체 중량의 비율 및 건중의 증가에 따라 탈피에 사용하는 에너지는 변동한다.

난 1개의 건조중량은  $11.6 \mu\text{g}$ 이었다. 난은 건중 mg당  $6.71 \text{ cal}$ 의 열량을 함유한다. 난 1개의 에너지 함량은  $0.078 \text{ cal}$ 이고, 성체 암컷이 생식에 사용하는 에너지는 체장별 포란수에 따라 달라진다.

호흡에 사용하는 에너지를 산출하기 위하여 호흡에 사용된 산소량을 열로서 상실한 동량의 에너지로 변경시키는데 Prosser (1973)가 제시한 산소 ml당 단백질  $4.5 \text{ cal}$ , 지질  $4.7 \text{ cal}$ , 탄수화물 및 chitin  $5.0 \text{ cal}$ 의 변환계수를 체물질조성의 측정치에서 회분을 제거한 유기물질의 비율로 부터 계산한 결과, 유생, 치하 및 성체의 호흡계수는 모두  $4.58 \text{ cal/ml O}_2$ 였다.

한편, 배설로서 상실되는 에너지는 배설질소 mg당  $4.06 \text{ cal}$  (Brafield and Solomon, 1972)의 변환치를 적용하여 유생은 Fig. 15의 건중에 대한 암모니아질소 배설율의 회귀식을 적용하였고, 치하 및 성체는 수온별 총질소배설율의 회귀식 (Fig. 16)으로서 체중성장에 따른 배설 에너지량을 계산하였다.

유생, 치하 및 성체의 섭이에너지는 먹이생물로 제공한 *Artemia* nauplii의 에너지함량 측정치로서 환산하였다. 부화 후 24시간이 경과하는 동안 *Artemia* nauplii 개체 한마리의 평균건중은  $2.2 \mu\text{g}$ , 건중 mg당 에너지함량은  $7.08 \text{ cal}$ 였다. 따라서 *Artemia* nauplii 한마리는  $0.0156 \text{ cal}$ 의 에너지를 함유하였다.

#### 1) 幼生の 에너지 收支

붉은줄참새우 유생이 zoea I 기에서 zoea VII기로

발생이 진행되는 동안 성장, 탈피, 호흡 및 배설에 사용한 누적에너지는 Table 8에 나타내었다.

Zoea I 기에서 zoea VII기까지의 총 섭이에너지는  $8.136 \text{ cal}$ 이고, 이것은 성장과 탈피에 각각  $1.368 \text{ cal}$  및  $0.123 \text{ cal}$ , 호흡에 쓰인 에너지가  $2.975 \text{ cal}$ 를 차지하였으며, 배설로서 상실한 에너지는  $0.103 \text{ cal}$ 였다. 총 섭이에너지에 대한 에너지 수지 구성요소별 사용 에너지의 백분율을 살펴보면, 성장과 탈피에 사용한 에너지가 각각 21.9% 및 2.0%, 호흡과 배설에 사용한 에너지는 47.5% 및 1.6%였다.

한편, zoea IV기~VII기 유생의 동화효율은 61.5%였다. 따라서 유생은 총 섭이에너지중  $5.004 \text{ cal}$ 가 총

Table 8. Energy used by individual *P. macrodactylus* larva at  $25^\circ\text{C}$ .

Parameter	Symbol	Total energy (cal)	% A	% C
Molting	P <sub>e</sub>	0.123	2.46	1.51
Growth	P <sub>g</sub>	1.368	27.34	16.81
Total production	P	1.491	29.80	18.33
Respiration	R	2.975	59.45	36.57
Excretion	U	0.103	2.06	1.27
Not used	NU	0.435	8.69	5.35
Total assimilation	A	5.004	100.00	61.50
Egestion	F	3.132		38.50
Consumption	C	8.136		100.00

동화에너지에 상당하며, 에너지 수치 구성 요소별 사용 에너지의 백분을 분포는 Table 8과 같다.

유생이 체성장에 사용한 에너지는 동화에너지의 27.34%, 호흡열로 상실한 에너지는 59.45%였고, 탈피 및 배설에 이용한 에너지는 2% 정도였다.

2) 稚蝦 및 成體의 에너지 收支

수은 15℃와 25℃에서 치하가 성체로 성장하는 동안 총 섭이에너지 및 총 동화에너지에 대한 각 부분별 사용 에너지의 백분을 분포를 자용별로 Table 9와 10에 각각 나타내었다.

수은 15℃에서 치하가 성체 암컷 (체장, 33.84 mm)으로 성장하는 406일 동안 섭이에너지는 총 9.734Kcal였으며, 이 가운데 동물이 동화흡수한 에너지는 7.924Kcal였다. 동화에너지는 성장, 탈피 및 생식에 각각 27.35%, 12.87% 및 0.98%를 이용하였고, 호흡 및 배설을 통하여 상실한 에너지는 54.54% 및 0.11%였다.

25℃ 실험군의 치하는 225일에 걸쳐 총 10.330 Kcal의 먹이를 섭취하면서 체장 34.79mm의 성체 암컷으로 성장하였는데, 총 섭이에너지중에서 9.256Kcal의 에너지를 동화하여 동물의 체성장에 24.71%를 이용하였고, 61.3%를 대사에너지로 상실하였다.

수컷이 성체로 성장하는 동안 사용한 누적에너지를 살펴보면 (Table 10), 15℃군의 치하는 406일 동안 총 6.750Kcal의 에너지를 섭이하였는데, 이 때의 체장은 30.94mm였고, 섭이에너지중 5.495Kcal를 동화하였다. 15℃ 실험군의 수컷이 호흡에 사용하는 에너지는 3.197Kcal로서 총 동화량의 58.18%, 섭이에너지의 47.36%에 상당하여 자용 및 어느 수온에서나 호흡에 사용하는 에너지가 가장 많았다. 그리고, 수컷은 암컷에 비하여 탈피에 사용하는 에너지의 비율이 높았으며, 25℃의 개체는 15℃에 비하여 호흡열로 상실되는 에너지가 많았다.

Table 9. Cumulative energy budgets of *P. macrodactylus* females at 15℃ and 25℃.

Parameter	Symbol	Total energy (cal)	% A	% C
Reproduction	P <sub>r</sub>	0.078 (0.076)	0.98 (0.82)	0.80 (0.74)
Molting	P <sub>e</sub>	1.020 (0.919)	12.87 (9.93)	10.48 (8.90)
Growth	P <sub>g</sub>	2.210 (2.287)	27.35 (24.71)	22.26 (22.14)
Toatal production	P	3.308 (3.282)	41.20 (35.46)	33.54 (31.77)
Respiration	R	4.322 (5.704)	54.54 (61.63)	44.40 (55.22)
Excretion	U	0.0087 (0.0091)	0.11 (0.10)	0.09 (0.09)
Not used	NU	0.328 (0.261)	3.60 (2.82)	2.93 (2.53)
Total assimilation	A	7.924 (9.256)	100.00 (100.00)	81.41 (89.60)
Egestion	F	1.810 (1.134)		18.59 (10.98)
Consumption	C	9.734 (10.330)		100.00 (100.00)

\* The values in parenthesis are energy used by the female at 25℃

Table 10. Cumulative energy budgets of *P. macrodactylus* males at 15℃ and 25℃.

Parameter	Symbol	Total energy (cal)	% A	% C
Molting	P <sub>e</sub>	0.671 (0.525)	12.21 (7.48)	9.94 (6.70)
Growth	P <sub>g</sub>	1.406 (1.294)	25.59 (18.44)	20.83 (16.52)
Toatal production	P	2.077 (1.819)	37.80 (25.92)	30.77 (23.22)
Respiration	R	3.197 (4.231)	58.18 (60.30)	47.36 (54.02)
Excretion	U	0.0062 (0.0064)	0.11 (0.09)	0.09 (0.08)
Not used	NU	0.215 (0.961)	3.91 (13.70)	3.19 (12.27)
Total assimilation	A	5.495 (7.017)	100.00 (100.00)	81.41 (89.59)
Egestion	F	1.255 (0.815)		18.59 (10.41)
Consumption	C	6.750 (7.832)		100.00 (100.00)

\* The values in parenthesis are energy used by the male at 25℃

Table 11. Use of assimilated food by *P. macrodactylus* females compared with the shrimp, *Penaus japonicus*, the mysid, *Neomysis awatschensis* and *Metamysidopsis elongata*, the copepod, *Calanus finmarchicus*, and the euphausiid, *Euphausia pacifica*

Specimen	Percentage in use of assimilated food					Source
	Growth	Molts	Eggs	Metabolism	Excretion	
Assimilated energy used by <i>Palaemon</i>	24.7	9.9	0.8	61.6	0.1	Present study
Assimilated energy used by <i>Penaus</i>	21.7	3.2	10.0	63.9	1.7	Park (1989)
Assimilated energy used by <i>Neomysis</i>	28.4	5.8	4.3	61.5	-	Kim & Chin (1991)
Assimilated energy used by <i>Metamysidopsis</i>	19	7	19	55	-	Clutter & Theilacker (1971)
Assimilated N used by <i>Calanus</i>	25.3	0.9	12.4	61.4	-	Corner & Cowey (1967)
Assimilated C used by <i>Euphausia</i>	10.1	16.6	1.0	72.3	-	Lasker (1966)

## 考 察

갑각류의 생리적 반응은 나이, 크기 및 생활사를 포함한 여러가지 요인에 의하여 영향을 받으며 (Marian and Knight, 1980), 특히 섭이, 성장 및 대사율은 생육단계별로 많은 변동을 보이는 것으로 알려져 있다 (Reeve, 1969; Hiroko *et al.*, 1990).

십각목 갑각류의 유생은 일반적으로 지수성장을 나타내며 (Dawirs, 1980; Johns and Pechenik, 1980; Marian and Knight, 1980) 특히, 수온에 따라 생육단계별로 instars의 크기를 조절하는 현상을 보이기도 한다 (Hartnoll and Dalley, 1981).

수온 25°C에서 사육한 붉은줄참새우 유생은 지수성장을 보여 다른 갑각류의 유생성장 유형과 잘 일치되었다 (Dawirs, 1983; Jacobi and Anger, 1985; Harms, 1987). 치하 및 성체는 초기의 빠른 성장과 더불어 성장이 진행됨에 따라 느린 성장을 보였고, 체장성장과 탈피기간에 미치는 수온의 영향 또한 갑각류의 다른 종과 유사하였다 (Clutter and Theilacker, 1971; Astthorsson and Ralph, 1984; Kim and Chin, 1991).

Emmerson (1985)은 연평균수온 12.5°C~24.5°C에

서 서식지의 일정 cohort내에서 측정된 *Palaemon pacificus*의 일간 체장성장율은 0.099mm~0.0167mm/day, Alon and Stancyk (1982)는 south Carolina 연안에 서식하는 *Palaemonetes pugio*는 0.086mm~0.09mm/day로 성장한다고 보고하였다. 수온 15°C와 25°C에서 측정된 붉은줄참새우 자용의 평균성장율 0.079mm/day 및 0.122mm/day는 *P. pacificus*와 *P. pugio*의 성장을 범위와 대체로 유사하였다. 그러나 실내사육시 개체의 크기가 다소 큰 갑각류는 광조건 및 공간적 제한에 기인하여 성장제한이 유발된다는 사실 (Kinne, 1977)을 감안하면 서식지에서 붉은줄참새우의 성장율은 다소 높을 것으로 생각되어진다.

붉은줄참새우 치하 및 성체의 각 탈피간 체장증가율은 자용평균 3.2%~13.2%로서 동물이 성장함에 따라 탈피간 체장증가율은 점차 감소하였다. 이 값은 소형갑각류인 mysid류의 3%~17% (Mauchline, 1976)와는 대체로 유사하였으나 대형 갑각류인 보리새우, *Penaus japonicus*의 1.8%~24% (Park, 1989)보다는 치하기에 다소 높은 체장증가율을 보였다.

수온 16°C와 25°C에서 붉은줄참새우의 체장에 대

한 각 탈피간 체장증가율의 회귀계수간에는 유의한 차가 없었지만, 탈피기간은 온도와 직접적인 관련을 보여, 수온 25°C군의 체장별 탈피기간이 15°C에 비하여 유의하게 짧았다. 25°C에서의 빠른 성장은 고온에 의해 탈피가 더욱 빈번히 일어난데 기인한 결과로 생각되며 (Astthorsson and Ralph, 1984; Kim and Chin, 1991), 이는 십각류의 성장연구에서 탈피간의 체장증가보다는 탈피빈도에 영향을 미치는 환경요인을 강조하는 점과 부합된다 (Omori, 1979).

한편, 치하에서 성체의 체장에 대한 각 탈피간 체장증가율 및 탈피기간은 자웅별로 유의한 차이가 없었다 (Table 4). 그러나 갑각류의 성장율은 작은 개체가 큰 개체에 비하여 높으며 (Astthorsson and Ralph, 1984; Kim and Chin, 1991), 자웅별 성장의 차이는 많은 종에 있어서 지적되고 있을 뿐만 아니라 일반적으로 극한체장은 암컷이 수컷에 비하여 크다 (Clutter, 1967, 1969; Lasenby and Langford, 1972; Hartnoll, 1974; Park, 1989). 따라서 붉은줄참새우의 치하에서 성체의 평균성장은 15°C와 25°C에서 자웅별로 측정된 각 탈피간 체장증가율 회귀식을 적용하였다.

유생의 탈피체 건중은 탈피한 동물의 평균 7.8%, 치하 및 다양한 크기의 붉은줄참새우 자웅의 탈피체 중량은 건조체중의 평균 8.9~14.2% 범위로 동물이 성장함에 따라 체중에 대한 탈피체의 비율이 높게 나타났다. 이 값은 Krill의 10% (Lasker, 1966) 보다는 다소 높고 특히, 성체의 경우에는 매우 높은 값을 보였다. 이러한 점으로 보아 갑각류의 생육단계별 에너지 수치 작성시 탈피에너지는 동물의 체중별 탈피체의 비율을 적용하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

붉은줄참새우 유생의 호흡은 발생단계의 진행에 따라 다른 갑각류의 유생에서와 마찬가지로 지수적으로 증가하였으며, 유생이 치하로 이행한 직후에는 산소소비율의 증가는 현저하였다. 일반적으로 수서무척추동물은 동화에너지의 거의 2/3를 호흡에 사용하는 것으로 알려져 있고 (Lasker, 1966; Clutter and Theilacker, 1971). 특히 갑각류는 탈피의 주기성과 관련하여 많은 변동을 보일 뿐만 아니라 (Anger *et al.*, 1989), 일정 수온하에서도 개체간 상당한 차이를 보였다 (Fig. 10). 그러므로 호흡에 사용된 에너지는 에너지 수치 구성요소에 대한 각 부분별 사용에너지의 백분율 분포에 많은 변동을 야기할 수 있다. 따라서 호흡열 상실에 따른 에너지 계산은 동물이 서식지에서 경험하는 범위의

여러 수온구에서 산소소비율을 측정하고 이 결과치로 부터 구한 수온-체중상관 산소소비율 회귀식을 적용하는 것이 바람직할 것으로 여겨지고, 더 나아가서는 자연계체군의 에너지흐름을 추정하는 유용한 기초자료가 된다.

붉은줄참새우의 질소배설량을 배설 질소의 형태별로 나타낼 때 총 배설질소중 암모니아 및 아미노질소가 91%를 증가하였고, 암모니아는 총질소의 2/3 이상이었다. 일반적으로 해산무척추 동물들은 암모니아 배설군으로서 암모니아가 주된 배설물로 알려져 있고, 붉은줄참새우에서도 배설물질의 50% 이상이 암모니아로 배설하는 점은 갑각류에서 보이는 전형적인 암모니아 배설군으로 나타났다.

유생은 총성장효율 ( $K_1$ )은 18.33%였다. 이 값은 *Menippe mercenaria* (Moots and Epifanio, 1974), *Rhithropanopeus harrisi* (Levine and Sulkin, 1979) 및 *Cancer irroratus* (Johns, 1982)의 유생에서 보이는 23~39% 보다는 다소 낮았다. 그러나 Dawirs (1983)가 *Carcinus maenas*에 대해 보고한 3.3% 보다는 6배 정도 높았으며, 순성장효율 ( $K_2$ ) 또한 32.63%로서 *C. maenas*의 14.8%와는 2배 이상 높은 효율을 보였다.

수온 25°C에서 붉은줄참새우의 부화유생이 성체 암컷 (체장, 34.8mm)으로 성장하는 동안 총 동화 에너지에 대한 각 부분별 사용에너지의 백분율 분포를 *Penaeus japonicus*, *Neomysis awatschensis*, *Metamysidopsis elongata*, *Calanus finmarchicus* 및 *Euphausia pacifica*와 비교한 바 (Table 11), 호흡에 사용한 에너지는 대부분의 갑각류에서 약 60%를 전후하여 사용하는 것으로 나타난 반면에 성장, 탈피 및 생식에 사용한 에너지는 많은 차이를 보였다. 붉은줄참새우는 탈피에 많은 양의 에너지를 상실하는 편이었고, 체내에 축적하는 에너지 비율 또한 대체로 높았다.

## 要 約

낙동강 하구지역에 서식하는 대형동물군중의 풍부한 무리의 하나인 붉은줄참새우, *Palaemon macrodactylus*를 대상으로 수온 15°C와 25°C에서 *Artemia nauplii*를 먹이로 공급하며 사육하면서 성장, 탈피, 생식, 산소소비 및 질소배설과 에너지 함량을 측정된 자료로 부터 전 생활사를 통한 개체의 에너지 수치를 분석하여 에너지 흐름의 동태 및 생태적 효율을 파악하였다.

수는 25℃에서 부화발생한 zoea I 기 유생이 치하로 성장하는 데는 18일이 소요되었다. 치하에서 성체의 총평균 체장성장율은 15℃에서 0.079mm/day, 25℃에서는 0.122mm/day였다. 치하 및 성체 자웅의 각 탈피간 체장증가율은 3.2%~13.2% 범위로서 성장함에 따라 점차 감소하였으며, 자웅 및 수온에 따른 차이는 없었다. 25℃에서의 체장별 탈피기간은 15℃에 비하여 유의하게 짧았고, 성에 따른 차이는 없었다.

유생이 성장에 사용하는 에너지는 (4.94cal/mg) × (건중, mg), 치하 및 성체는 (4.55cal/mg) × (건중, mg)이었다. 유생이 탈피로서 상실하는 에너지는 (0.178cal/mg) × (건중, mg), 치하 및 성체 자웅의 건중에 대한 탈피체 중량은 8.9%~14.2%로서 성장함에 따라 탈피 에너지의 사용량은 현저히 증가하였다. 체물질 조성에서 계산한 호흡열 계수는 유생, 치하 및 성체 모두 4.58cal/ml O<sub>2</sub>였다. 동화효율은 유생이 평균 61.5%, 치하 및 성체의 동화효율은 약 80%~90%로 추정되었다.

전유생기간 동안의 총성장효율 (K<sub>1</sub>) 및 순성장효율 (K<sub>2</sub>)은 각각 18.33% 및 32.63%, 성체는 각각 21.30%~31.04% 및 30.03%~39.34로 나타났다.

## 參 考 文 獻

- Along, N. C. and S. E. Stancyk. 1982. Variation in life history patterns of the grass shrimp *Palaemonetes pugio* in two South Carolina estuarine systems. *Mar. Biol.*, 68, 265~276.
- Anger, K. 1990. Modelling developmental changes in the carbon and nitrogen budgets of larval brachyuran crabs. *Helgolönder wiss Meeresunters*, 44, 53~80.
- Anger, K. and A. Dietrich. 1984. Feeding rates and gross growth efficiencies in *Hyas araneus* L. larvae (Decapoda: Majidae) reared in the laboratory. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 77, 169~181.
- Anger, K., J. Harms, C. Püschel, and B. Seeger. 1989. Physiological and biological changes during the larval development of a brachyuran crab reared under constant conditions in the laboratory. *Helgolönder wiss Meeresunters*, 43, 225~244.
- Asthorsson, O. S. and R. Ralph. 1984. Growth and moulting of *Neomysis integer* (Crustacea: Mysidacea). *Mar. Biol.*, 79, 55~61.
- Brafield, A. E. and D. J. Solomon. 1972. Oxy-caloric coefficients for animals respiring nitrogenous substances. *Comp. Biochem. Physiol.*, 43, 837~841.
- Clutter, R. I. 1967. Zonation of nearshore mysid. *Ecology*, 48, 200~208.
- Clutter, R. I. 1969. The microdistribution and social behaviour of some pelagic mysid shrimp. *J. Expt. Mar. Ecol.*, 3, 125~155.
- 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.*, 69, 93~115.
- Corner, E. D. S. and B. S. Newell. 1967. On the nutrition and metabolism of zooplankton. IV. The forms of nitrogen excreted by *Calanus*. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 47, 113~120.
- Dawirs, R. R. 1980. Elemental composition (CNH) in larval and crab-1 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. Ecol.*, 69, 105~128.
- Dubois, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28, 350~356.
- Durbin, E. G. and A. G. Durbin. 1981. Assimilation efficiency and nitrogen excretion of a filter-feeding planktivore, the Atlantic menhaden, *Brevoortia tyrannus* (Pisces: Clupeidae). *Fish. Bull.*, 79, 601~616.
- Emmerson, W. D. 1984. Predation and energetics of *Penaeus indicus* (Decapoda, Penaeidae) larvae feeding on *Brachionus plicatilis* and *Artemia* nauplii. *Aquaculture*, 38, 201~210.
- Emmerson, W. D. 1985. Fecundity, larval rearing and laboratory growth of *Palaemon pacificus* (Stimpson) (Decapoda, Palaemonidae). *Crustaceana*, 49, 277~289.
- Harms, J. 1987. Energy budget for the larval development of *Eliminius midestus* (Crustacea: Ci-



- ripedia). Helgolönder wiss Meeresunters, 41, 45~67.
- Hartnoll, R. G. 1974. Variation in growth pattern between some secondary sexual characters in crabs (Decapoda Brachyura). Crustaceana, 27, 131~136.
- Hartnoll, R. G. and R. Dalley. 1981. The control of size variation within instars of a crustacean. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 53, 235~239.
- Hiroko, Y., H. J. Ceccaldi and R. Gaudy. 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.
- Ikeda, T. 1974. Nutritional ecology of marine zooplankton. Mem. Soc. 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.
- 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.
- Johns, D. M. and J. A. Pechenik. 1980. Influence of the accommodated fraction of No. sfuel oil on energetics of *Cancer irroratus* larvae. Mar. Biol., 55, 247~254.
- Kim, H. S. 1977. Illustrated Flora and Fauna of Korea. Vol. 19 (Macrura), Ministry of Education of Korea. pp. 195~198.
- Kim, H. Y. and P. Chin. 1991. Growth and energy budget of opossum shrimp, *Neomysis awatschensis*. Kor. J. Zool., 34, 594~609.
- Kinne, O. 1977. Cultivation of animals: research cultivation. In: O. Kinne, Marine ecology, Cultivation. 3, 579~1293 (Wiley, London).
- 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). pp. 15~64, Blackwell Scientific, London.
- Lasker, R. 1966. Feeding, growth, respiration, and carbon utilization of a euphausiid crustacean. J. Fish. Res. Bd. Can., 23, 1291~1317.
- Lasenby, D. C. and R. R. Langford. 1972. Growth, life history, and respiration of *Mysis relicta* in a arctic and temperate lake. J. Fish. Res. Bd. Can., 29, 1701~1708.
- 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.
- Little, G. 1969. The larval development of the shrimp, *Palaemon macrodactylus* Rathbum, reared in the laboratory, and the effect of eyestalk extirpation on development. Crustaceana, 17, 69~87.
- Marian, J. S. and A. W. Knight. 1980. Growth, respiration and caloric content of larvae of the prawn *Macrobrachium rosenbergii*. Comp. Biochem. Physiol., 66, 385~391.
- Mauchline, J. 1976. The Hiatt growth diagram of crustacea. Mar. Biol., 35, 79~84.
- Mauchline, J. 1977. Growth of shrimps, crabs, and lobsters - an assesment. J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer., 37, 162~169.
- Mootz, C. A. and C. E. Epifanio. 1974. An energy budget for *Menippe mercenaria* larvae fed *Artemia* nauplii. Biol. Bull., 146, 44~55.
- Morwitz, H. J. 1968. Energy flow in biology. Academic Press, New York, pp. 1~179.
- Omori, M. 1979. Growth, feeding, and mortality of larvae and early postlarval stages of the oceanic shrimp *Sergestes similis* (Hansen). Limnol. Oceanogr., 24, 273~288.
- Park, K. Y. 1989. Energy flow of the oriental brown shrimp, *Penaeus japonicus* reared in the laboratory. Nat. Fish. Univ. Pusan. Ph. D. Thesis. 65 pp.
- Prosser, C. L. 1973. Comparative animal physiology. Saunders Company, Philadelphia. pp. XV~966.
- Reeve, M. R. 1969. Growth, metamorphosis and energy conversion in the larvae of the prawn, *Palaemon serratus*. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 49, 77~96.
- Sameoto, D. D. 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.
- Smith, K. L., G. R. Harbison, G. T. Rowe and C. H. Clifford, 1975. Respiration and chemical composition of *Pleuroncodes planipes* (Decapoda: Galatheidae): Energetic significance in an upwelling system. J. Fish. Res. Bd. Can., 32, 1607~1612.
- Solozano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. Limnol. Oceanogr., 14, 799~801.
- Vernberg, F. J. and W. B. Vernberg. 1981. Functional adaption of marine organisms. Academic Press, New York. i~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.
- Yúfera, M. and A. Rodriguez. 1985. Effect of prey density on feeding rate during larval rearing of *Palaemon serratus* Pennant (Crustacea: Palaemonidae). Aquaculture, 50, 31~38.

---

1992년 8월 7일 접수

1992년 9월 5일 수리