

동남참게, *Eriocheir japonicus* (De Haan)의
種苗生産에 關한 生物學的 基礎研究

3. 幼生の 體液 滲透質 濃度 및 酸素 消費에
關한 生理學的 研究

李福奎 · 權晉洙

東義大學校 自然科學大學 生物學科

Studies on the Seedling Production of the Freshwater Crab,
Eriocheir japonicus (De Haan)

3. Physiological Study of Osmolarity of the Body Fluid
and Oxygen Consumption of the Larvae

Bok-Kyu LEE and Chin-Soo KWON

Department of Biology, College of Natural Science
Dong Eui University, Pusan, 614-714 Korea

ABSTRACT

Ion concentrations and osmolarities of the body fluid and oxygen consumption of the larvae of the freshwater crab, *Eriocheir japonicus* under the influence of various salinities and water temperatures were studied.

The levels of Na⁺ and Cl⁻ ions in the body fluid of the crab placed in the low salinities (freshwater and 30% seawater) were higher at the low temperature (16 °C) than high temperature (30 °C). However, the crab in the high salinity (90% seawater), those ions in the body fluid were higher at the high temperature (30 °C) than the low temperature (10 °C). When the zoea larvae were young (first and second stages), the ion concentrations of the body fluid were more affected by salinities and temperatures of the media.

The salinity levels of the media more influenced the levels of K⁺ ions of the body fluid of the larvae than the temperature. The osmolarities of the body fluid of the larvae were almost isotonic when they were placed at 70% seawater (24.5 ‰).

Oxygen consumption of individual larva was lower in zoea 1 and 2 stages than the other stage larvae. The high oxygen consumption of the larvae was observed at 70% seawater compared to the other salinity levels.

이 논문은 1991년도 학술진흥재단의 대학부설 연구소 연구 조성비에 의하여 연구되었음.

서 론

대부분의 광염성 갑각류는 일정 기간 동안 기수나 담수에서 서식할 수 있고, 효과적으로 외부 매질의 농도에 따라 그들 체액의 삼투질 농도를 조절한다 (Siebers *et al.* 1985). 세포 내외의 삼투질 농도는 외부 염분 농도의 변화에 따라 조절되고, 이러한 조절은 주로 아가미와 같이 특별히 분화된 기관에 의해 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 이온 등의 무기염류의 조절을 통하여 이루어 진다 (Potts and Parry 1964; Boone and Claybrook 1977).

동남참게, *Eriocheir japonicus* (De Haan)는 성장 단계에 따라 염분 농도의 변화가 심한 강 하구에서 상류까지 서식하므로 환경 변화에 적응하기 위해서는 체액 조성이 변할 것으로 생각된다.

갑각류에 대한 환경의 매질 농도별 체액 성분 연구로서는 아미노산 대사 (Vincent-Marique and Gilles 1970a, b; Moran and Pierce 1984), 혈중 단백질 (Gilles 1977; Pequeux *et al.* 1979; Henke 1985) 및 이온 농도 (Engel *et al.* 1974; Castille and Lawrence 1981; Siebers *et al.* 1982) 등과 같은 단편적인 보고는 많으나, 우리 나라에서는 이러한 연구 보고는 전혀 찾아볼 수 없었고, *E. japonicus*에 대한 연구는 외국에서도 거의 찾아볼 수 없었다.

본 연구는 동남참게의 형태와 환경 적응에 변화가 가장 많은 유생기의 발생 단계별 삼투 조절 기작을 이해하기 위하여 수온과 염분 농도의 변화에 따른 체액의 삼투질 농도, 이온 농도와 산소 소비의 변화를 알고자 하였다.

재료 및 방법

동남참게 (*E. japonicus*)는 낙동강 및 섬진강 하구에서 1990년 10월부터 1991년 3월까지 매월 1회 채집하여 동의대학교 생물 생산 연구소에서 부화, 사육하였다.

수온은 thermostat와 냉각기로써 16°C, 23°C 및 30°C로 조절하였고 염분 농도는 해수와 담수를 일정 비율로 혼합한 후 염분 측정기 (YSI model 33)로써 측정하여 35‰를 100‰ 해수 농도로 하여 담수, 30% 해수 농도 (10.5‰), 60% 해수 농도 (21.0‰), 70% 해수 농도 (24.5‰) 및 90% 해수 농도 (31.5‰)로 조절하였다.

Zoea 1기에서는 5기까지는 70% 해수 농도에서 사육하던 것을 각 실험 구역의 염분 농도로 옮겼고, megalopa와 juvenile은 50% 해수 농도에서 사육하던 것을 옮겨서 실험하였다.

1. 삼투질 농도 및 이온 측정

삼투질 및 이온 농도 측정은 각 유생의 령기(齡期)에 따라 500마리에서 30마리까지 각각 미리 조절된 농도의 시수 21에 넣어 5시간 동안 실온에 두었다. 그런 다음 꺼내어 여과지에 5분간 두어 체표 습기를 제거하고, Ultra-Sonicator (Sonics and Materials VC 250)와 tissue grinder (Tefron)로 유생을 마쇄하여 탈이온 증류수를 3ml를 넣어 균질화 하였다. 이것을 저온 원심분리기 (Hitachi model 20PR-52D)로써, 10,000 rpm으로 30분간 원심분리하여 상층액 2ml를 취하여 분석하였다. 삼투질 농도는 Osmometer (Fiske model OS)의 freezing point로써, Na^+ 및 K^+ 이온은 Na/K analyzer (Corning 902)로써, Cl^- 이온은 Chloride analyzer (Corning 925)로써 측정하였다. 삼투질 농도 및 전해질 농도는 각 유생의 령기별 “습중량-건중량”을 체액으로 하여 회석된 비율을 곱하여 주었다. 습중량은 여과지에 5분간 둔 후 측정하였고, 건중량은 70°C에 24시간 후 측정하였다.

2. 산소 소비 측정

산소 소비는 100ml 용기에 령기에 따라 100마리에서 4마리까지 넣고 60분 후 DO meter (UC-

12)와 Oxygen monitor (YSI 53)로써 실험 전과 실험 후의 O_2 를 측정하여 " O_2 농도차 \times 시수 (ml)"로 계산하였다. 모든 실험 결과는 같은 조건에서 5 실험 구역을 만들어 각각의 결과를 평균치로 나타내었다.

결 과

각 수온 및 염분 농도별 실험구에서 매질의 Na^+ 및 Cl^- 이온 농도를 측정하여 Fig. 1에 나타내었다. Na^+ 와 Cl^- 이온 농도는 매질의 염분 농도의 증가에 따라 거의 일정한 비율로 증가하였으며, Cl^- 이온 농도가 Na^+ 이온 농도보다 50~70 m mol/l 정도 더 높았다.

Fig. 1에서와 같은 방법으로 K^+ 이온 농도를 측정한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. K^+ 이온 농도는 양적으로 Na^+ 나 Cl^- 이온 농도보다 훨씬 적었으나 염분 농도에 따른 K^+ 이온 농도의 증가 경향은 Na^+ 나 Cl^- 이온 농도와 비슷하였다.

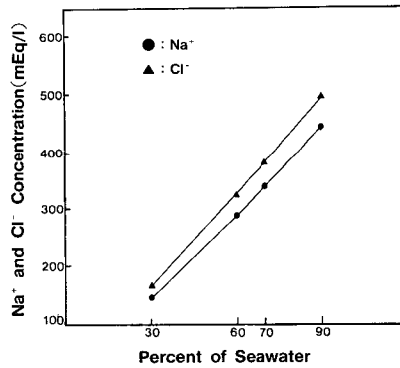


Fig. 1. Mean concentration of the Na^+ and Cl^- ions in the body fluid of the larvae of *Eriocheir japonicus* at various levels of salinities.

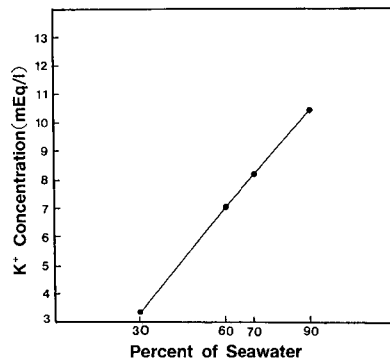


Fig. 2. Mean concentration of the K^+ ions in the body fluid of the larvae of *Eriocheir japonicus* at various levels of salinities.

Fig. 3에서는 각각 90% 해수 농도, 70% 해수 농도, 60% 해수 농도, 30% 해수 농도 및 담수에서 수온에 따른 각 유생 령기별에 대한 체액의 Na^+ 이온 농도를 나타낸 것이다. 수온 및 염분 농도에 대한 각 유생 령기별 체액의 Na^+ 이온 농도 변화는 고염분 농도인 90% 해수 농도에서는 고온인 수온 30°C에서 가장 높게 나타났고, 다음으로 저온인 16°C에서 높았으며, 수온 23°C에서 가장 낮게 나타났다. 모든 유생 령기들에서 매질보다 체액에서 Na^+ 이온 농도가 낮게 유지되었으며, 어린 유생 령기 일수록 다소 높게 나타났다.

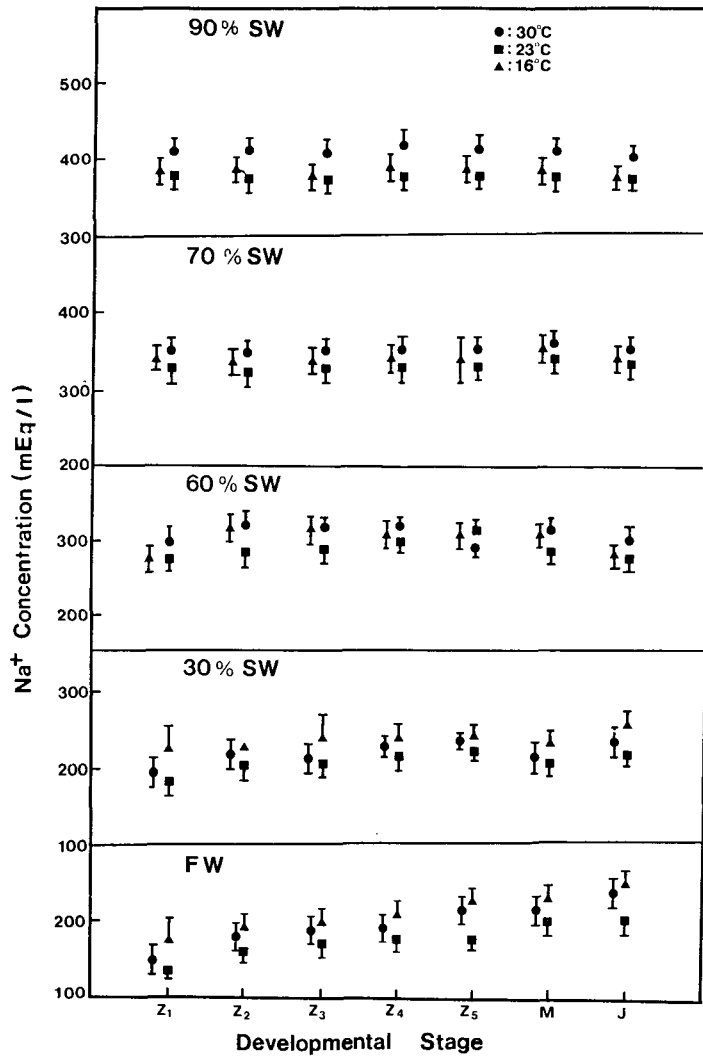


Fig. 3. Effect of temperatures on the Na^+ ion concentration in body fluid with the different developmental stages of *Eriocheir japonicus*, placed in various seawater concentrations. Z: zoea, M: megalopa, J: juvenile, FW: freshwater, SW: seawater

70% 해수 농도와 60% 해수 농도에서는 유생 령기별로 차이가 거의 없었으며, 수온 30℃와 16℃에서는 비슷하였고, 수온 23℃에서 약간 낮게 나타났다. 60% 해수 농도에서는 매질과 체액의 Na⁺ 이온 농도가 비슷하게 나타났다.

저염분 농도인 30% 해수 농도와 담수에서는 매질의 Na⁺ 이온 농도보다 체액의 Na⁺ 이온 농도가 훨씬 높게 나타났으며, 수온에 대한 영향은 오히려 저온인 수온 16℃에서 가장 높았고, 다음으로 수온 30℃였으며, 수온 23℃에서 가장 낮게 나타났다. 특히 담수에서는 수온에 따른 변화 폭이 더

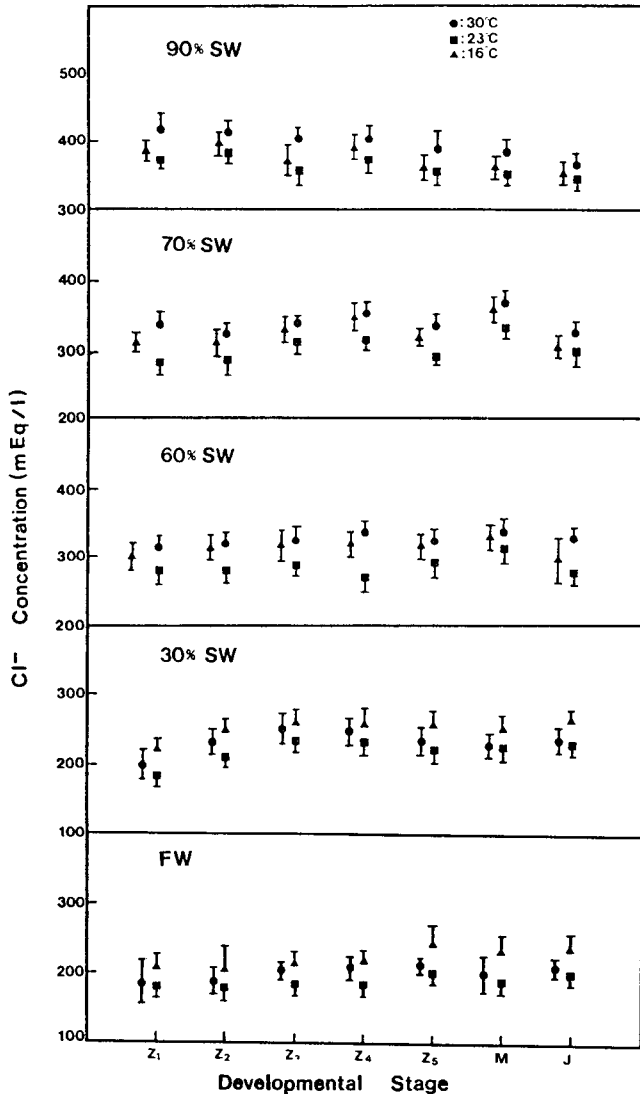


Fig. 4. Effect of on the Cl⁻ ion concentratin in the body fluid with the different developmental stages of *Eriocheir japonicus*, placed in various seawater concentrations. Z: zoea, M: megalopa, J: juvenile, FW: freshwater, SW: seawater

크게 나타났으며, 유생 령기가 어릴수록 체액 Na^+ 이온 농도가 낮게 유지되었으며 수온에 따른 변화폭도 크게 나타났다.

Fig. 4 에서는 각각 염분 농도 및 수온에 따른 각 령기에 대한 체액의 Cl^- 이온 농도를 나타낸 것이다. 염분 농도와 수온의 변화에 대한 각 유생 령기별 체액의 Cl^- 농도 변화는 체액의 Na^+ 이온 농도와 비슷한 경향을 보였으나, 같은 매질에서 Cl^- 이 Na^+ 이온 농도보다 60% 해수 농도 이상에서는 50~70 m mol/l 정도 높았는데 체액에서는 오히려 Na^+ 이온 농도보다 20~30 m mol/l 정도 낮게 나타났다. 그러나 저염분 농도인 30% 해수 농도와 담수에서는 체액의 Na^+ 이온 농도와 Cl^- 이온 농도가 비슷하게 나타났다.

염분 농도의 변화에 대한 각 유생 령기별 체액의 K^+ 이온 농도를 Fig. 5 에 나타내었다. 체액의 K^+ 이온 농도는 수온에 따른 변화는 거의 찾아 볼 수 없었고 염분 농도에 따라 크게 변화하였으며, Na^+ 이온이나 Cl^- 이온과 마찬가지로 저염분과 고염분에서 조절 능력이 다소 떨어지는 것으로 나타났다.

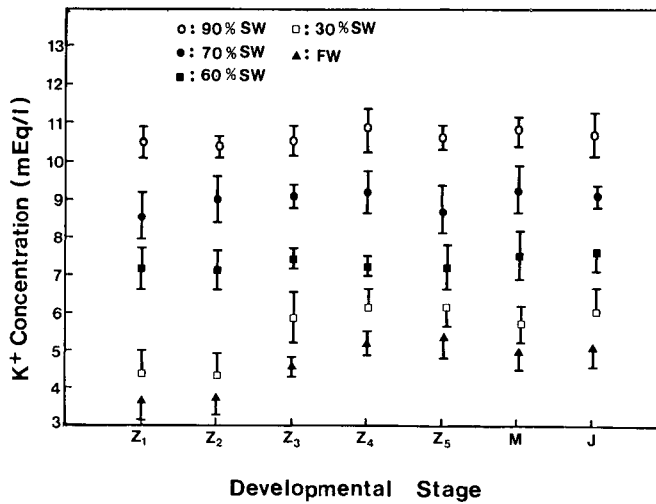


Fig. 5. Effect of salinities on the K^+ ion concentration in the body fluid with the different developmental stages of *Eriocheir japonicus*, placed in various seawater concentrations.

Z: zoea, M: megalopa, J: juvenile, FW: freshwater, SW: seawater.

해수 농도에 따른 각 유생 령기별 체액의 삼투질 농도와 매질의 삼투질 농도의 변화를 Fig. 6 에 나타내었다. 체액의 삼투질 농도는 외부 매질 농도에 따라 상당히 변화하였으나 체액의 삼투질 농도의 변화폭은 상당히 좁게 유지되었다.

70% 해수 농도에서 거의 모든 유생들의 체액 삼투질 농도가 매질과 거의 등장액으로 나타났고, 90% 해수 농도에서는 매질에 대해 체액이 저장액으로, 60% 해수 농도 이하에서는 매질에 대해 체액이 고장액으로 나타났다. 한편, megalopa와 치게는 저염분 농도인 30% 해수 농도와 담수에서도 470~510 m osmol 정도로 상당히 높게 나타났으며, zoea 1, 2 령기의 것들은 350~390 m osmol 정도로 낮게 나타났다. 전체적으로 유생 령기가 어릴수록 외부 매질 농도에 따른 체액의 삼투질 농도

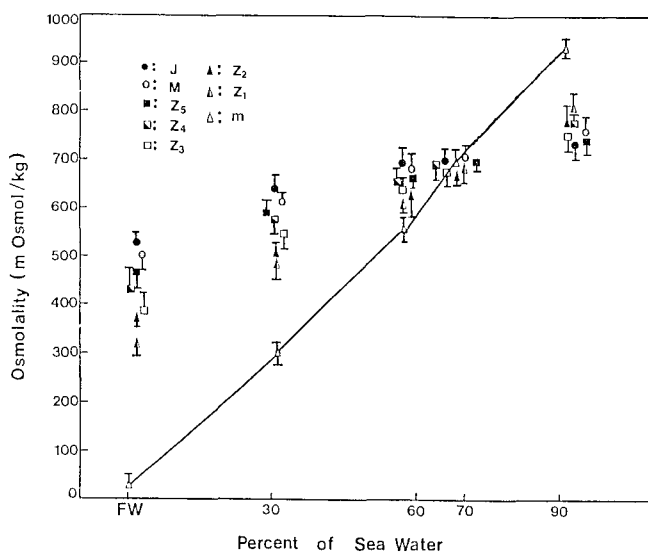


Fig. 6. Osmolalities of the media and the body fluid with different developmental stages of *Eriocheir japonicus*, placed at various seawater concentrations.
Z: zoea, M: megalopa, J: juvenile, M: media

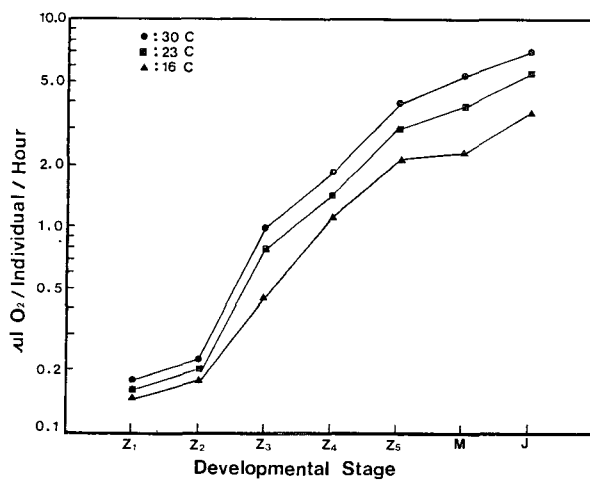


Fig. 7. Oxygen consumption of different developmental stages of *Eriocheir japonicus*, placed in 90% seawater.
Z: zoea, M: megalopa, J: juvenile

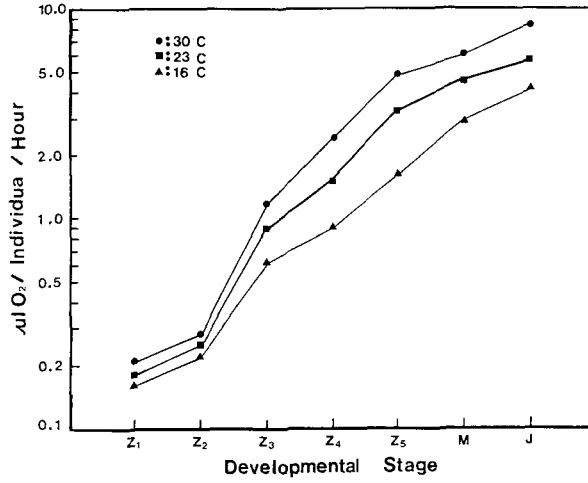


Fig. 8. Oxygen consumption of different developmental stages of *Eriocheir japonicus*, placed in 70% seawater.
Z: zoea, M: megalopa, J: juvenile

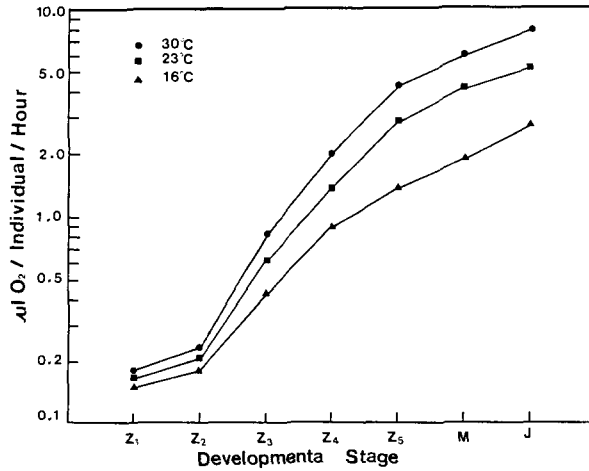


Fig. 9. Oxygen consumption of different developmental stages of *Eriocheir japonicus*, placed in 60% seawater.
Z: zoea, M: megalopa, J: juvenile

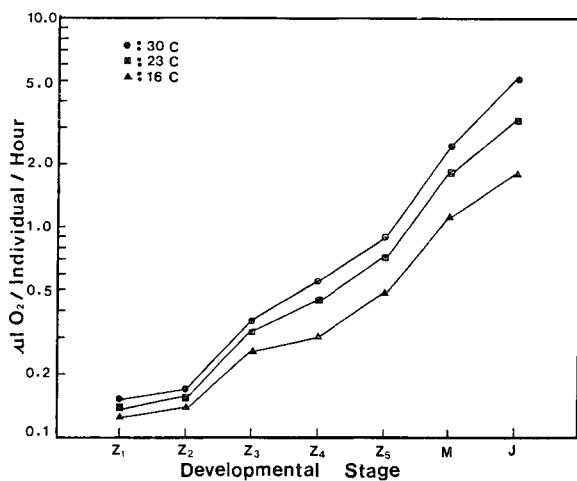


Fig. 10. Oxygen consumption of different developmental stages of *Eriocheir japonicus*, placed in 30% seawater.

Z: zoea, M: megalopa, J: juvenile

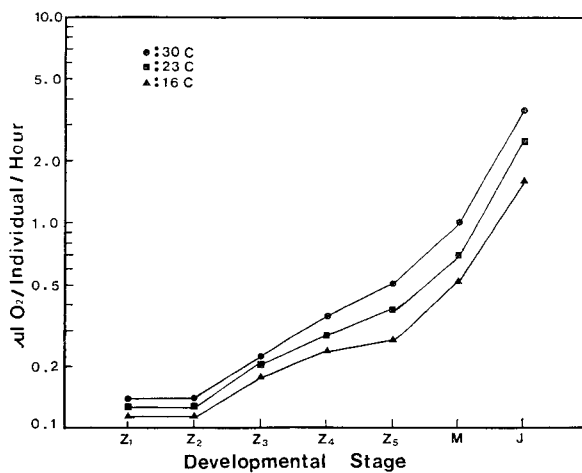


Fig. 11. Oxygen consumption of different developmental stages of *Eriocheir japonicus*, placed in freshwater.

Z: zoea, M: megalopa, J: juvenile

변화폭이 크게 나타났다.

Fig. 7에서 Fig. 11까지는 해수 농도와 수온에 따른 각 유생 령기에 대한 개체당 산소 소비를 나타낸 것이다. 70% 해수 농도에서 모든 령기에서 가장 활발한 산소 소비를 나타내었고, 수온에 대한 산소 소비의 영향은 발생 단계가 높아질 수록 차이가 뚜렷하게 높게 나타났다. 각 유생 령기에 따른 개체당 산소 소비는 70% 해수 농도와 수온 30°C에서 zoea 1 령기는 약 $0.2 \mu\text{l O}_2/\text{hr}$ 인데 비해 치계는 $8 \mu\text{l O}_2/\text{hr}$ 로 큰 차이가 있었으며, zoea 1, 2 령기는 모든 염분 농도에서 아주 낮게 나타났지만, 특히 저염분 농도인 30% 해수 농도와 담수에서 많이 떨어졌다. 한편 치계는 담수에서도 30°C에서 $3.5 \mu\text{l O}_2/\text{hr}$ 정도로 비교적 높게 나타났다.

고 찰

모든 갑각류들은 가스 교환이나 노폐물 배설을 위해 완전 불투과성이 될 수 없으므로 두 매질 사이에 삼투 현상이 일어나지만, 외부 매질과 체액 조성의 삼투질 농도와 이온 농도가 다르다는 것은 이미 잘 알려져 있다 (Mantel and Farmer 1983). 혈액 삼투질 농도는 혈중 Na^+ , Cl^- 및 K^+ 이온 등의 이온 농도가 큰 영향을 미치고 이들 이온 농도는 외부 매질의 염분 농도에 따라 크게 영향을 받을 것이다 (Siebers *et al.* 1982).

체액 Na^+ 이온의 농도는 외부 염분 농도에 많은 영향을 받지만 염분 농도에 대한 갑각류의 혈장 Na^+ 이온 농도는 수온의 영향도 받는다고 했는데 (Gifford 1962; Engel *et al.* 1974), 본 실험에서도 체액의 Na^+ 이온 농도는 고염분 농도 (90% 해수)일 때는 고온 (30°C)에서 저염분 농도 (30% 해수)와 담수)에서는 저온 (16°C)에서 각각 더 높았고, 중간 온도인 23°C에서는 다른 수온에서 보다 조금 낮게 유지되었다. 또한 유생 령기별 체액의 Na^+ 이온 농도는 령기가 어릴수록 매질의 영향을 많이 받아 매질에 따른 변화 폭이 컸는데 이것은 조절 능력이 약하기 때문인 것으로 생각된다. 한편 고염분 농도에서 보다 저염분 농도일 때가 매질보다 체액에서 훨씬 높은 이온 농도를 유지하는데 이것은 주로 아가미를 통하여 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 등의 이온을 능동적으로 흡수하고 희석된 뇨 (urine)를 배설하며 (Shaw 1961; Zanders 1980), 저장액에서는 고장액에서 보다 투과도를 변화시켜 느리게 투과되도록 하여 이온이 잘 빠져나가지 못하도록 하기 때문일 것이다 (Lucu *et al.* 1970; Hagerman 1971). 체액 Cl^- 이온 농도가 수온과 염분 농도에 따라 Na^+ 이온과는 다른 경향을 보인다고 했으나 (Engel *et al.* 1974), 본 실험에서 매질에 대한 유생 체액의 Cl^- 및 Na^+ 이온의 농도 변화는 비슷한 경향을 나타내었고, 양적으로 매질에서는 Cl^- 이온의 농도가 높는데 체액에서는 Na^+ 이온의 농도가 약간 높게 나타났다. 이것이 체액에는 단백질 등이 있어 Donnan 평형이 작용하기 때문일 것으로 생각된다. 광염성 갑각류들은 매질의 삼투질 농도가 다양한 환경과 접하게 되므로 이때 이온과 물의 확산을 줄이는 방법 중 하나는 체액과 외부 매질 간에 삼투질 농도 경사를 줄이는 것일 것이다 (Shaw 1961; Zanders 1980).

본 실험에서 희석된 매질에서도 삼투질 농도는 상당히 높게 유지하였으며, Na^+ , Cl^- 및 K^+ 이온의 매질에 대한 변화 폭보다 삼투질 농도가 훨씬 변화폭이 좁게 유지하므로써 이들 이온뿐 아니라 체액의 단백질, 유리 아미노산 등이 삼투질 농도 조절에 많은 영향을 미침을 알 수 있다 (Lynch and Webb 1973; Boone and Claybrook 1977; Gilles 1977; Henke 1985).

각 유생의 령기별 개체당 산소 소비는 저염분 농도에서 많이 떨어졌으며, 일반적으로 어릴수록 물질 대사가 활발하며 산소 소비가 많지만, 특히 동남참게의 zoea 유생 1, 2 령기의 것들은 모든 실험구에서 아주 낮게 나타났는데 이들은 거의 먹이를 먹지 않고도 zoea 2 령기까지는 갈수 있기 때

문인 것으로 생각된다 (Morioka *et al.* 1988).

기수성 및 광염성의 갑각류들은 매질에 대한 체액의 삼투 조절이 대단히 중요한 문제이고, 특히 동남참게와 같이 생활 환경에 따라 요구하는 최적 염분 농도가 다를 때 종묘 생산 및 자원 관리를 위해서 유생의 발생 단계별 삼투 조절 기작을 이해하는 것은 중요하므로 이러한 기작을 이해하기 위하여 앞으로 다양한 방법으로 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

요 약

동남참게, *Eriocheir japonicus* 유생의 수온 및 염분 농도에 따른 이온 농도, 삼투질 농도 및 산소 소비에 대한 실험 결과는 다음과 같다.

체액의 Na^+ 및 Cl^- 이온 농도는 저염분 농도 (30% 해수) 이하일 때는 저온 (16°C)에서 더 높았고, 고염분 농도 (90% 해수)일 때는 고온 (30°C)에서 더 높았다. 유생 령기가 어릴 수록 매질의 염분 농도와 수온에 따른 체액의 이온 농도 변화폭이 컸다. 체액의 K^+ 이온 농도는 매질의 염분 농도의 영향을 많이 받았으나 수온의 영향은 거의 없었다.

체액의 삼투질 농도는 모든 유생 령기들에서 매질이 70% (24.5‰) 해수 농도일 때 거의 등장액을 나타내었다. 개체당 산소 소비는 모든 실험구에서 zoea 1, 2 령기에서 특히 낮았고, 70% 해수 농도에서 모든 령기들의 산소 소비가 가장 높았다.

참 고 문 헌

- Boone, W. R. and D. L. Claybrook. 1977. The effect of low salinity on amino acid metabolism in tissues of the common mud crab, *Panopeus herbstii* (Milne Edwards). *Comp. Biochem. Physiol.* 57A:99~106.
- Castille, F. L. and A. L. Lawrence. 1981. A comparison of the osmotic, sodium, and chloride concentrations between the urine and hemolymph of *Penaeus setiferus* (L.) and *Penaeus stylirostris* Stimpson. *Comp. Biochem. Physiol.* 70A:525~528.
- Engel, D. W., E. M. Davis, D. E. Smith and J. W. Angelovic. 1974. The effect of salinity and temperature on the ion levels in the hemolymph of the blue crab, *Callinectes sapidus*, Rathbun. *Comp. Biochem. Physiol.* 49A:259~266.
- Gifford, C. A. 1962. Some aspects of osmotic regulation in the blue crab *Callinectes sapidus*, and the ghost crab *Ocypode albicans*. *Publ. Inst. Mar. Sci. Univ. Texas* 8:97~125.
- Gilles, R. 1977. Effect of osmotic stresses on the proteins and pattern of *Eriocheir sinensis* blood. *Comp. Biochem. Physiol.* 54A:109~114.
- Hargerman, L. 1971. Osmoregulation and sodium balance in *Crangon unlgaris* (Fabricius) (Crustacea, Natantia) in varying salinities. *Opelia* 9:21~30.
- Henke, G. A. 1985. Variations of hemolymph proteins of the common shore crab *Carcinus maenas* after a bacterial infection. *Mar. Biol.* 87:181~183.
- Lucu, C., O. Jelisaveic and I. Ruzic. 1970. Kinetic sodium analyses in the crab, *Carcinus mediterraneus*. *Mar. Biol.* 5:294~302.
- Lynch, M. P. and K. L. Webb. 1973. Variations in serum constituents of the blue crab.

- Callinectes sapidus*: free amino acids and total ninhydrin positive substances. Comp. Biochem. Physiol. 4B: 407~418.
- Mantel, L. H. and L. L. Farmer. 1983. Osmotic and ionic regulation. In Biology of Crustacea Vol. 5. D. E. Bliss, ed. Academic Press. New York. pp. 53~142.
- Moran, W. M. and S. K. Pierce. 1984. The mechanism of crustacean salinity tolerance: cell volume regulation by K^+ and glycine effluxes. Mar. Biol. 41: 41~46.
- Morioka, Y., C. Kitajima and G. Hayashida. 1988. Oxygen consumption, growth and calculated food requirement of the swimming crab, *Portunus trituberculatus* in its early developmental stage. Bull. Japan, Soc. Sci. Fish. 54(7): 1137~1141.
- Pequeux, A., A. C. Vallota and R. Gilles. 1979. Blood proteins as related to osmoregulation in crustacea. Comp. Biochem. Physiol. 64A: 433~435.
- Potts, W. T. W. and G. Parry. 1964. Sodium and chloride balance in the prawn, *Palaemonetes varians*. J. Exp. Biol. 41: 591~601.
- Shaw J. 1961. Studies on the ionic balance in *Carcinus maenas* (L.). I. Sodium balance. J. Exp. Biol. 38: 138~152.
- Siebers, D., K. Leweeck, H. Markus and A. Winkler. 1982. Sodium regulation in the shore crab *Carcinus maenas* as related to ambient salinity. Mar. Biol. 69: 37~43.
- Siebers, D., A. Winkler, C. Lucu, G. Thedens and D. Weichart. 1985. Na-K-ATPase generates an active transport potential in the gills of the hyperregulating shore crab *Carcinus maenas*. Mar. Biol. 87: 185~192.
- Vincent-Marique, C. and R. Gilles. 1970. Modification of the amino-acid pool in blood and muscle of *Eriocheir sinensis* during osmotic stress. Comp. Biochem. Physiol. 35: 479~485.
- _____ and _____. 1970. Changes in the amino-acid concentration in blood and muscle of *Eriocheir sinensis* during hypoosmotic stress. Life Sci. 9: 509~512.
- Zanders, I. P. 1980. Regulation of blood ions in *Carcinus maenas* (L.). Comp. Biochem. Physiol. 65A: 91~108.