

大型 淡水産새우, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man)의  
生殖 生理에 관한 研究  
IV. 산란, 수정 및 포란 과정

권진수 · 이복규 · 김병기\*

동의대학교 자연과학대학 생물학과

Study on the Reproductive Biology of the Giant Freshwater Prawn,  
*Macrobrachium rosenbergii*(De Man)  
IV. Oviposition, Fertilization and Brooding

Chin-Soo Kwon, Bok-Kyu Lee and Byung-Ki KIM\*

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

Abstract

Timing of oviposition, nuclear maturation of oocytes, egg-sperm contact and brooding were observed in the giant fresh-water prawn *Macrobrachium rosenbergii* reared in the laboratory. When a pre-spawning molted female was transferred to the male, the female oviposited commonly at 5 to 10 hr after mating. The first polar body were extruded within 2-3 min after spawning. The egg chromosome progressed to release second polar body by 30 min and mitotic nuclear division occurred in 8 hr after spawning. Thumbtack-shaped spermatozoa were seen penetrating egg membrane with their spike directed forward. Transformation of spermatozoa and fertilization membrane could not be observed by light microscopy. The elapsed hours from oviposition to the end of brooding were taken in 5-7 hr. Brood size for female 9 cm and 18 cm in body length was estimated to be 10,000~15,000 and 100,000 eggs, respectively and is proportional to the total length of the berried females. The ovigerous females reared at chlorinity of 2.21~4.25‰Cl. showed a normal egg development up to hatching.

**Key words** – Oviposition, Fertilization, Brooding, *Macrobrachium rosenbergii*

서 론

갑각류의 번식은 탈피, 교미, 산란, 수정과 포란을 통하여 이루어지며 그 과정은 종에 따라 다양하다. 수염새우아강, 새미아강, 만각아강등에서는 정자가 편모를 갖고 운동

성을 나타내며, 다른 갑각류인 새각아강, 두관아강, 패충아강, 요각아강, 연갑아강 등에서는 편모가 없고 운동성이 없는 정자를 갖고 있다[16]. 따라서 정자의 전달 양상도 차이가 있어 대다수 갑각류는 정자를 포함하고 있는 정포를 특이한 부속지에 의하여 암컷으로 전이하여 체외에서 수

\*Corresponding author

정이 이루어지며, 일부에서는 정자가 암컷의 저장낭에 일시 저장되었다가 수정이 이루어진다. 일부 갑각류는 편모를 갖는 정자를 교접기에 의하여 암컷으로 전달하여 운동성을 갖는 정자가 난자에 접근하여 수정이 이루어지며 일부는 체내에서 수정이 이루어지는 것도 있다.

갑각류 26,000여종 중 6%에 해당하는 1,650종만이 직접 난을 수중으로 산란하고 나머지 갑각류는 난의 지속적인 발생을 위하여 방출된 난을 어미가 수송하면서 난의 방어, 환기 그리고 영양공급 등이 이루어져 보호되어진다. 십각목에서는 부속지, 등각목[17]은 육아낭, 대부분 요각목[13]은 돌출된 난낭, 지각류는 배측 폐쇄낭, 그리고 만각류는 외투강에 난을 운반한다[14]. 십각류에서 포란은 유영지의 강모(setae)에 의하여 이루어지며 강모는 부착할 표면적을 증가시킨다[19]. 포란동안 가스교환은 유영지가 전방으로 이동할 때 생산되는 물의 흐름으로 이루어진다[15].

징거미새우과(Palaemonidae)에 속하는 담수산새우, *M. rosenbergii* (De Man)는 동남 아시아를 중심으로 분포하고 있으며 체장은 30cm에 달하는 대형 새우일 뿐만 아니라 기호성이 우수한 동물성 단백질이므로 본종의 인공종묘생산은 경제적 가치가 매우 높다. 본 종의 성체는 원산지인 말레이시아에서는 해수의 영향을 받는 강 하구에 주로 서식하나, 일부 개체군은 하구에서 수 십 km 떨어진 내륙의 수계에서도 서식하는 것[11]으로 알려져 있으며 생활사에 관하여서는 잘 알려져 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 대형 담수산 새우 *M. rosenbergii*의 교미 후 산란시간, 포란 형태와 수정과정을 규명하고, 포란에 염도가 미치는 영향을 조사하여 종묘생산을 위한 기초연구를 제공하고자 본 연구를 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 실험동물

실험에 사용되어진 *M. rosenbergii*는 말레이시아에서 도입하였다.

### 실험동물사육

*M. rosenbergii*의 생식 및 발생 생태를 조사하기 위하여 1990년 6월부터 1996년 5월까지 6년 동안 동의대학교 생물생산연구소에서 권 등[19]의 방법으로 사육하였다.

### 실험설계

실험 1. 교미 전 탈피 후 3시간을 경과한 암 새우에 수 새우를 이전하여 교미 후 산란시작까지 소요되는 시간을 조사하기 위하여 교미 후 1시간에서 12시간까지는 교미가 일어난 새우 중에서 시간대별 산란이 일어난 개체를 조사하고 그 이후는 교미가 일어나지 않은 개체가 포함된 새우에서 시간대별 산란 개체를 조사한다.

실험 2. 수정과정을 조사하기 위하여 난의 핵성숙과 정자가 난막을 통과하는 과정을 조사한다.

실험 3. 포란이 일어나는 시간과 포란 용량을 개체의 크기와 탈피 연령에 따라 조사한다.

실험 4. 수온 27.5~29.2°C 및 pH 8.0~8.3로 유지시킨 순환식 여과조에서 포란한 어미 새우를 개별로 격리하여 염도가 포란 동안 난립의 생존에 미치는 영향을 조사한다.

## 결 과

### 산란시간

교미 전 탈피 후 교미를 마친 암 새우는 제3 보각 기절에 개구되어 있는 생식공을 통하여 성숙난자를 배란하며 배란 시간은 일정하지 않았으나 대부분 일몰로부터 일출까지 야간에 일어났다.

교미 전 탈피 후 3시간을 경과한 암 새우에 수 새우를 이전하여 교미 후 산란시작 까지 소요되는 시간은 Table 1에서 보는 바와 같이 2시간까지는 산란한 개체는 없었으며, 3-5시간에 산란을 시작하여 6-10시간 사이에 대부분의 암 새우에서 산란을 하였으며, 교미 후 20시간 이내에 산란을 종료되었다. 그러나 교미가 이루어지지 않은 암 새우에서의 산란은 교미 전 탈피 후 20시간 이상 소요되었다.

### 수정과정

교미 시 수 새우로부터 전이된 정포의 haematoxylin에 잘 염색되는 부분이 산란하기 30~60분 전부터 점차로 용해되어 그 속에 포장되어 있는 정자가 방출하여 외부환경에 노출되었다. 산란한 난자의 핵 성숙과 정자 침입은 Table 2에서 보는 바와 같이 산란 2~3분 후 제1극체가 나타나며, 산란 후 5~6분 이내에 난막에 정자가 부착되어 있으며, 산란 후 30분에는 제2극체가 출현하고 수정이 일어나며 교미 후 8시간에 유사 핵분열이 일어난다. 수정은 Fig. 1

Table 1. Time sequence of the oviposition in *M. rosenbergii*, which is occurred from copulation in the laboratory condition at 27.5~28.6°C and 3.21~4.57‰ Cl

Elapsed hours after copulation	No of oviposition individuals	No. of specimens
1	0	3
2	0	5
3~ 5	1	5
6~ 8	4	4
8~10	6	6
10~12	3	5
14~17	3	5(1)
18~20	1	5(3)
21~23	0	3

\*mark represents number of individuals occurred even not mating. Copulation of each specimen was carried out after 3 hours from pre-spawning moult.

Table 2. Time sequence in egg-nuclear maturation from the copulation of *M. rosenbergii* reared in the laboratory conditions at 27.8±0.4°C and 3.45~4.13‰Cl

Elapsed hours from copulation	Developmental grade
-	Copulation
5 hs. 20 minutes	Beginning of oviposition
" 23 "	First polar body appeared
26	Spermatozoa attach on egg-surface
56	Second polar body appeared and fertilization
8 00	Egg-nuclear devided

에서 보는 바와 같이 정자는 압침 형태로서 정자의 spike 부분이 먼저 난자를 침입하였고, 난막을 통과하기 위하여 정자의 변형은 없었으며 광학현미경하에서 수정막은 관찰할 수 없었다.

포란 과정과 포란 난의 형태

고미 종류 후 암새우의 제3보가 기부에 위치한 산란기관인 생식공에서 제1,2,3,4유영지에 걸친 포난실까지 난립이 이동하여 축적에 소요되는 시간은 Table 3에서 보는 바와 같이 수온 27.6~0.3°C, 염도 3.45~4.32‰Cl의 사육조건하에서 산란 후 5시간이내에 14마리중 4마리가 포란이 완료되었고, 6-7시간 사이에서는 8마리가 포란하여 포란완

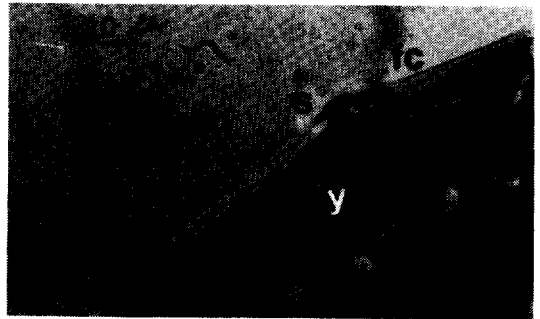


Fig. 1. Section of egg in the brood chamber of *M. rosenbergii* showing penetrating spermatozoon. em: egg membrane, s: spermatozoon, y: yolk granule, fc: fertilization cone.

Table 3. Time sequence in the brooding finished from the oviposition of *M. rosenbergii* reared in the laboratory conditions at 27.6±0.3°C, 3.45~4.32‰Cl. and pH 8.0~8.2

Elapsed hours from the beginning of oviposition	Number of brooding-finishing individuals
1 hour	0
3 hours	0
5 "	4
6~7	8
8~9	2

Number of specimens: 14 individuals

료에는 5~7시간이 소요되었다. 포란이 진행되면서 암새우의 유영지는 포란실의 격벽역할을 하며 각 유영지(제5유영지 제외)의 기부에 산재하고 있는 피선으로 부터 분비되는 투명한 점액물질이 분비하여 Fig. 2에서 보는 바와 같이 난립에 부착하는 난병을 형성하여 전체 난립을 서로 결속하고 있다.

포란 용량

체장과 체중에 따른 각 개체의 포란수는 Table 4에서 보는 바와 같이 개체의 크기에 따라 상이하여 체중 20g에 달하는 체장 9cm의 암새우는 포란수가 10,000~15,000이였으며, 체중 100g 체장 18cm의 암새우는 약 100,000이였다. 체중과 체장이 거의 비슷한 암 새우가 산란기별 포란수는 1회포란 시 포란수는 개체에 따라 약간의 차이가 있으나 12,000-20,000이였으며, 제2, 3회포란 시는 20,000-30,000으

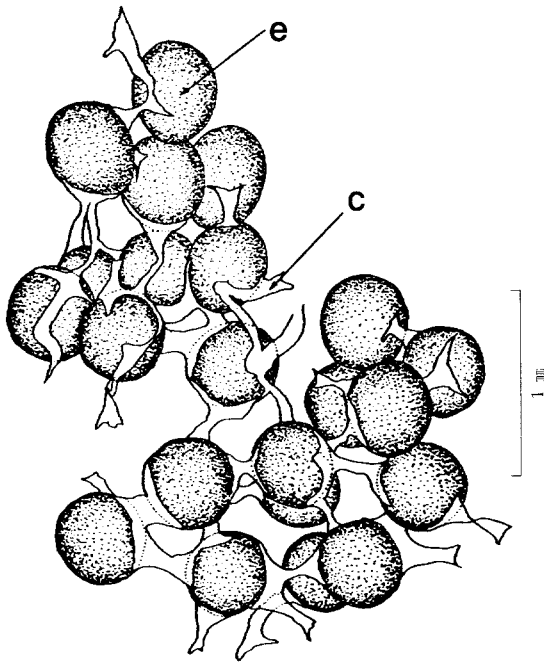


Fig. 2. Eggs are attached to each other by mean of egg stalk.  
e: egg, c: connective egg-stalk.

로서 1회 보다 현저히 증가하였다(Table 5).

포란에 미치는 염도의 영향

수온 27.5~29.2℃ 및 pH 8.0~8.3로 유지시킨 순환식여과조에서 포란한 어미새우를 개별로 격리하여 염도가 포란 동안 난립의 생존에 미치는 영향을 Table 6에서 보는 바와 같이 염도의 농도 별로 포란 시작부터 부화 시까지 20일 동안 조사하였다. 순담수에서는 포란한 5마리 어미 새우 중 포란 8일째와 15일째에 각각 1마리가 포란된 난립이 탈락

Table 4. Fecundity (number of eggs) based on the size of the females *M. rosenbergii* (De Man)

Specimen No.	Body length (cm)	Body weight (g)	No. of eggs
1	9	20	10,000~15,000
2	12	30	20,000~30,000
3	16	80	about 60,000
4	18	100	about 100,000

되어 부화에 성공한 개체는 3마리였으나, 염소량 2.21~4.25‰Cl.에서는 포란한 어미 새우 전 개체가 난립의 탈락 없이 부화에 성공하였다. 염소량 7.08‰Cl. 이상에서는 염분농도가 높아질수록 난의 탈락현상은 현저히 증가하여 염소량 8.72‰Cl. 이상이 되면 부화에 이르지 않고 도중에서 모두 탈락하게 되었다

고찰

본 종은 교미 후 6-10시간 사이에 산란을 하였다. 교미 전 탈피 후 3시간을 경과하여 교미를 시킨 암 새우에서는 교미 후 6-10시간에 산란을 하였으므로 교미 전 탈피 후 산란이 일어나는 시간은 9-13시간 이었다. 교미가 이루어지지 않은 개체에서는 교미 전 탈피 후 배란 시까지 20시간 이상이 경과하여도 산란이 일어나지 않았다. 본 연구는 교미가 산란에 미치는 영향에 대한 기전은 확실하지 않으나 교미가 산란을 촉진함을 나타내고 있다. 만각류(cirripedes)인 주걱따개비(*Balanus amphitrite*)와 *Semibalanus balanoides*의 난소에는 미성숙난자를 방출을 억제하는 인자가 존재하여 교미 전에 미성숙난자의 배란을 억제하며 교미는 억제인자의 활성을 차단한다[2]. 동남참게, *Eriocheir japonicus* (De Haan)[21]에서는 교미 후 4-8시간에서 대부분 산란을 종료하여 본 종과 비슷하였고, 징거미 새우 *Macrobrachium nipponense* (De Haan)[20]는 교미 후 8-9시간 사이에 주로 산란이 일어나며 종료는 13-17시간이 소요되어 본 종에 비하여 오래 걸렸다. 교미 후 산란시간이 가까워질수록 암 새우는 거의 일정한 위치에 정지한 자세에서 때때로 복절부를 내측으로 굴신시키는 동작을 관찰할 수 있었다. 연갑류는 수란관이 짧고 단순하여 난자는 수란관에서 거의 정체하지 않는다. 즉 배란은 곧 산란으로 이어지며 난발생도 산란 후에 일어난다. 십각목의 배란기전은 난소벽을 덮고 있는 근육층의 수축으로 난소로부터 난자가 방출되고, 산란은 두흉갑과 복부의 근육의 조절된 수축에 의하여 형성된 압력으로 산란한다[1]. 고농도의 정장액은 난소가 수축하도록 근육을 자극하여 성숙난자가 방출한다[2].

본 종에서 포란 용량은 체장이 증가할수록 증가하였다. 포란된 난립수는 산란된 난자의 수에 의하여 결정된다. 일반적으로 산란용량도 개체의 크기가 증가할수록 증가된다[1]. 해산 갑각류의 포란용량은 체적에 대하여 거의 일정하

Table 5. Fecundity (No. of berried eggs) of the ovigerous females in size at different spawning age of *M. rosenbergii* (De Man)

Trial No.	Body size		No. of berried eggs/female	No. of specimens
	Length(cm)	Weight(g)		
First spawning age				
1	12.5	42	15,000~20,000	3
2	12.0	40	15,000~20,000	3
3	11.8	38	12,000~15,000	4
Second spawning age				
4	12.0	40	20,000~30,000	3
Third spawning age				
5	12.5	42	25,000~30,000	4
6	12.0	45	25,000~30,000	2

Table 6. Response to chlorinity on the berried individuals of *M. rosenbergii* reared at different chlorinity levels, at 27.5~29.2°C in temperature and pH 8.0~8.3

Days elapsed	Chlorinity(‰Cl.)						
	Fresh water	2.21~2.46	3.42~4.25	5.38~6.02	7.08~7.75	8.72~9.55	10.52~11.18
0 day	5	5	5	5	5		
2 days	5	5	5	5	5		
5 "	5	5	5	5	4	5	
8	4	5	5	5	4	3	5
10	4	5	5	5	3	2	2
15	3	5	5	4	2	2	0
18	3	5	5	4	2	1	
20	3	5	5	4	2		
Hatching	3	5	5	4	1(1)		
Hatching individuals rate(%)	60%	100%	100%	80%	37%	0	0

\*Deformed larvae were hatched.

Initial number of individuals : 5 each

여 체적의 10-15%를 유지한다[12]. 본 연구에서는 용적을 조사하지 않았으므로 확인할 수 없다. 십각류 *Panulirus homarus*의 난소는 rostral carapace length가 38-47mm에 도달한 후 성숙하고 rostral carapace length가 59.5mm일 때 산란이 시작하여 십각류에서는 성성숙과 포란은 개체의 크기에 영향을 받는다[9]. 단미류 *Ranina ranina*에서 개체의 크기와 배란된 난자의 수는 상관관계가 있어 두흉갑 길이의 20% 증가로 배란된 난자수는 200%가 증가할 뿐만 아니라 번식계절에서 체형이 큰 개체는 산란횟수도 증가한다[7]. 포란형태에 따라 포란용량이 차이가 크다. 부속지에 포란하는 십각목 *Callinectes spidus*[8]는 2,750,000개의 난을 포란 하였으나, 육아낭에 포란하는 등각목 *Asellus intermedius*

[6]은 불과 230개의 난을 포란한다.

본종은 수온 27.8~29.6°C, 염도3.57~4.48‰Cl.의 사육조건하에서 산란 후 포란완료에 소요되는 시간은 5~7시간이었으며 피선으로부터 분비되는 투명한 점액물질에 의하여 난립에 부착하는 난병을 형성하여 전체 난립을 서로 결속하고 있다. 동남참게, *Eriocheir japonicus*(de Haan)[21]와 담수산새우, *Macrobrachium nipponinse*(de Haan)[20]의 포란 종료시간은 각각 5-9시간과 6-9시간으로서 본종과 비슷하였고, 동남참게와 담수산새우에서도 난립을 서로 결속하는 난병을 보고하였다. 교미전 탈피 후 제5유영지와 제5복절을 제외한 각 유영지 기절과 제1,2,3, 및 4腹節의 측판부에는 각각 breeding setae와 breeding dress가 풍부하다[3,

19]. 난봉은 breeding setae와 breeding dress와도 결합하여 포란실내에 도입된 난립을 확실히 축적하여 난의 탈락을 방지하는 역할을 하는 것으로 사료된다.

수온 27.5~29.7°C 및 pH 8.0~8.2에서 포란한 어미새우에서 순수담수 보다는 염소량이 2.21~4.25‰Cl.에서 부화 성공율이 높았다. 본종이 자연상태하에서 포란동안 제공되는 환경의 염소량은 거의 보고되어 있지 않으며, 담수산인 본종의 자연 서식지역이 해수의 영향을 많이 받는 강 하류이므로[11] 포란은 적절한 염도를 요구하는 것으로 사료된다. 포란동안 염도는 삼투압에 영향을 미쳐 염도가 낮을수록 난립의 크기가 증가하므로 포란동안 난내 발생은 적절한 삼투압유지가 필수적이다[8,21]. 동남참게, *Eriocheir japonicus*(de Haan)는 본종 보다도 더 높은 염도를 요구하여 적절 염도는 14.0-31.5‰이고 염도 7.0‰이하에서는 포란 2-3이내에 난립이 탈락되었다[21].

대형 담수산 새우 *Macrobrachium rosenbergii*의 핵성숙은 산란 후 2분 이내에 난자핵은 제2 감수분열 중기이며, 10-15분에 제2감수분열 후기이고 20분후에 감수분열이 종료되며 산란후 1시간에 응성 전핵 보다 큰 자성전핵을 구별할 수 있으며, 3시간에 양 전핵은 같은 크기로 확장되어 접근하여 산란 후 4시간에 전핵의 융합이 일어난다[5]. 본 연구에서 산란 2~3분 후 제1극체가 출현하였으므로 제1감수분열이 완료한 후 제2차감수분열로 진행하였고 산란후 30분에는 제2극체가 출현하여 제2감수분열이 종료되어 위의 보고와 일치하고 있다.

본종의 수정시기 및 장소는 산란전에 정포가 암새우 두 흉갑 복부표면에 부착한 후 암새우 제3 보각 기부에 위치한 생식공을 통하여 산란된 난자가 제1,2,3 및 4유영지에 걸친 포란실로 이동하는 과정에서 수정이 이루어지는 것으로 사료된다. 산란 후 1시간에는 제2극체 출현과 응성 전핵과 자성전핵을 구별할 수 있으므로[5], 수정은 산란후 1시간 이내에 이루어짐을 알 수 있다. 그리고 포란완료는 산란후 3시간 이전에는 이루어지지 않으며, 빠른 개체에서 산란 후 5시간이었으므로 포란실로 이동하기 전에 수정이 일어난다. 집게, *Emerita asitica*는 본종과 같이 저장낭이 없으며 체외에서 수정이 일어났으나, 정포부착 전에 산란이 일어나서 본종과 차이가 있었다[18]. 정자는 다른 십각류[4,10]와 같이 압침 형태로서 난막을 통과하면서 형태적 변화가 없

었다. 난막을 먼저 통과하는 spike가 형태적 변화 없이 난막을 통과에 대한 기전은 본 연구에서 밝히지 못하였을 뿐만 아니라 거의 보고되어 있지 않으므로 앞으로 이에 대한 연구가 있어야 할 것으로 생각한다.

## 요 약

대형 담수산 징거미새우류의 1종인 *Macrobrachium rosenbergii*의 산란시간, 난자의 핵성숙과 수정, 포란에 대하여 조사하였다. 교미전 탈피 후 3시간을 경과한 암새우에 수새우를 이전하여 교미 후 산란시작 까지 소요되는 시간은 교미 후 6-10시간 사이에 대부분의 암새우에서 산란이 일어났다. 산란 2~3분 후 제1극체가 나타나며, 산란후 30분에는 제2극체가 출현하고 교미후 8시간에 유사 핵분열이 일어났다. 정자는 압침 형태로서 정자의 spike부분이 먼저 난자를 침입하였고, 침입시 난자의 외형적인 변화와 수정막은 광학현미경하에서는 관찰할 수 없었다. 산란으로부터 포란실 까지 난립이 이동하여 축적에 소요되는 시간은 5~7시간이었다. 체장이 9cm의 암새우는 포란수가 10,000~15,000이었으며, 18cm의 암새우는 약 100,000이어서 체장이 증가할수록 포란수도 증가하였다. 염소량 2.21~4.25‰Cl.에서 포란한 어미새우에서 정상적인 발생이 진행되어 부화에 성공하였다.

## 참 고 문 헌

1. Adiyodi, R. G. and T. Subramoniam. 1983. Arthropoda-Crustacea, pp.483-486, In Adiyodi, K. G. and R. G. Adiyodi(ed.), Reproductive Biology of Invertebrates, Vol. I, John Wiley & Sons, New York.
2. Barnes, H., M. Barnes and W. Klepal. 1977. Studies on the reproduction of cirripedes. I. Introduction: copulation, release of oocytes, and formation of the egg lamellae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **27**, 195-218.
3. Cheung, T. S. 1966. The development of egg membrane and egg attachment in the snow crab *Carcinus maenas* and some related decapods. *J. Mar. Biol. Ass.*, **46**, 373-400.
4. Chow, S., Y. Ogasawara, and Y. Takai. 1982. Male reproductive system and fertilization of the palaemonid shrimp *Macrobrachium rosenbergii*. *Bull. Jpn. Soc. Sci.*

- Fish.*, **48**, 177-183.
5. Damronphol, P., N. Eangchuan and B. Poolsanguan. 1991. Chromosome behaviour upon fertilization in eggs of the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Invertebr Reprod Dev* **19**, 45-49.
  6. Ellis, H. J. 1961. A life history of *Asellus intermedius* The development of egg membrane and egg attachment in the shore crab *Carcinus maena* Forbes. *Trans Am. Microsc. Soc.*, **80**, 80-102.
  7. Fielding, A. and S. R. Haley. 1976. Sex ratio, size at reproductive maturity and reproduction of the Hawaiian Kona crab, *Ranina ranina* (Linnaeus) (Brachyura, Gummopieura Raninidae). *Pac. Sci.*, **30**, 131-146
  8. Hines, A. H. 1982 Allometric constraints and variables of reproductive effort in Brachyuran crabs. *Mar. Biol.*, **69**, 309-320.
  9. Jayakody, D. S. 1989 Size at onset of sexual maturity and onset of spawning in female *Panulirus homarus* (Crustacea: Decapoda: Palinuridae) in Sri Lanka. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **57**, 83-87
  10. Koehler, L. D. 1979. A unique case of cytodifferentiation: spermiogenesis of the prawn *Palaemonetes paludosus*. *J. Ultrastr. Res.*, **69**, 109-120.
  11. Ling, S. W. 1961 Note on the life and habitats of the adults and larval stages of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man). *Indo-Pacific Counc. Curr. Aff. Bull.*, **9**, 55-61
  12. Mauchline, J. 1988 Egg and brood sizes of oceanic pelagic crustaceans. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **43**, 251-258
  13. Nemoto, J., K. Kamada and K. Hara. 1972. Fecundity of a euphausiid crustacean *Nematoscelis difficilis* in the Pacific Ocean. *Mar. Biol.*, **14**, 41-47
  14. Pandian, T. J. 1983 Arthropoda-Crustacea, pp.42-107, In Adiyodi K. G. and R. G. Adiyodi (ed.), Reproductive biology of invertebrates, Vol. VI(part A), John Wiley & Sons, New York.
  15. Pandian, T. J. and C. Ballsundaram. 1980. Contribution to the reproductive biology and aquaculture of *Macrobrachium nobilii*. Proc Sym Inv Reprod, Madras University. Madras **1**, 183-193
  16. Pochon-Masson, J. 1983 Arthropoda-Crustacea, pp.407-426, In Adiyodi, K. G. and R. G. Adiyodi(ed.), Reproductive Biology of Invertebrates, Vol. II, John Wiley & Sons, New York.
  17. Sheader, M. 1977. Breeding marsupial development in laboratory maintained *Parathemisto gaudichandi* (Amphipoda). *J. Mar. Biol. Ass.*, **57**, 943-954
  18. Subramoniam, T. 1977. Aspects of sexual biology of amomuran crab, *Emerita asitica*. *Mar. Biol.*, **43**, 369-377
  19. 권진수 · 이복규 · 한창희 · 김병기. 1997. 대형 담수산 새우, *Macrobrachium rosenbergii*(De Man)의 생식생리에 관한 연구. I. 탈피행동과 수온이 탈피에 미치는 영향. 발생과 생식 **1**, 173-180
  20. 권진수 · 이장희. 1989. 담수산새우, *Macrobrachium nipponense*(de Haan)의 생식생태에 관한 생물학적 기초연구. 동의대 생물생산연구지 **4,5,6**, 25-68.
  21. 권진수 · 이채성. 1992. 동남 참게, *Eriocheir japonicus* (de Haan)의 번식생태에 관한 생물학적 기초연구. 동의대 생물생산연구지 **7,8,9**, 117-138