

대형 담수산새우, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man)의 생식생리에 관한 연구

1. 탈피행동과 수온이 탈피에 미치는 영향

권진수 · 이복규 · 한창희 · 김병기
동의대학교 자연과학대학 생물학과

Study on the Reproductive Biology of the Giant Freshwater Prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) 1. Molting Behavior and Effect of Rearing Temperature on Molt

Chin-Soo Kwon, Bok-Kyu Lee, Chang-Hee Han and Byung-Ki Kim

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

ABSTRACT

This study has been conducted to investigate the molting behavior and the effects of rearing temperature and day length on molting in the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* reared in the laboratory. The results obtained were summarized as follow:

1. After pre-spawning molting, the protopodites of 1st, 2nd, 3rd, and 4th except 5th pleopod bore new breeding setae which conserve eggs in the brooding chamber and the basis of 3rd, 4th, and 5th pereopods bore new breeding dresses which transport the ovulated eggs into the brooding chamber.
2. Adult females reared in 27.5~29.4°C molted 10~12 times per year at interval of 27~35 days, of which four or six moltings were common molting for growth and another four or five moltings were pre-spawning molting for spawning and brooding. In winter season, pre-spawning molting did not happen to most of adult females in spite of the same temperature.
3. Duration of intermolt cycle was 31~38 days and 26~30 days at 25.3~26.5°C and 28.7~30.4°C of rearing temperature, respectively.

Key words: *Macrobrachium rosenbergii*, Common Molt, Pre-spawning molt.

서론

생명체의 성장이 부피의 증가에 한정되어 있다면, 단단한 외골격을 갖고 있는 갑각류는 탈피전, 탈피 또는 탈피후의 어느 특이한 단계에서 성장에 제한을 받는다. 그러므로 탈피는 갑각류의 생리를 지배하는 기본적인

성장과정으로서 대사, 행동, 생식 그리고 감각등에 직간접적으로 영향을 미친다. 탈피는 내분비에 의하여 조절되어지는 것으로 탈피를 유발하는 호르몬인 Ecdysone은 갑각류의 Y-organ에서 분비되며, X-organ에서 분비되는 Molt-inhibiting hormone (MIH)이 Y-organ에서 Ecdysone의 분비를 억제하여 탈피가 일어나지 않는다. 어떤 자극에 의하여 MIH분비가 감소하면 억제되고

있던 Y-organ에서 Ecdysone의 대량 방출로 탈피가 일어난다 (Bliss & Mantel, 1985).

담수산새우, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man)는 갑각류 중의 십각목 징거미새우과 (Palaemonidae)에 속하며 동남 아시아를 중심으로 열대 아시아 일대로부터 남태평양 군도 수역에 분포하며 그 체장은 30cm 이상에 달한다. 본종의 성체는 원산지인 Malaysia에서는 대체로 저지의 하천, 호수에 서식하며 특히 해수의 영향을 받는 강 하류에 많이 서식하나, 일부 개체군은 하구에서 수 10km 떨어진 내륙의 수계에서도 서식한다 (Ling, 1961 ; Ling, 1967). 다른 새우류에 비하여 성장이 빨라서 원산지에서는 포란후 8개월 미만에서 체장 16cm의 성체로 성장하며, 수명은 대체로 2년 전후이나 (Ling, 1967), 자연 서식지역인 동남 아시아 일대에서도 본종에 대한 생활사에 관해서는 아직도 잘 알려져 있지 않다. 담수산 새우인 *M. rosenbergii*는 세계 최대형일 뿐만 아니라 기초성이 우수한 동물성 단백질원이므로 본종의 효율적인 인공종묘생산은 경제적 가치가 매우 높다.

본 연구는 *M. rosenbergii*의 탈피행동과 탈피에 자연 자극이 미치는 영향을 조사하여 갑각류의 생활사 규명과 인공종묘생산을 위한 기초 생물학적 자료를 제공하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 실험동물

실험에 사용되어진 *M. rosenbergii*는 Malaysia에서 도입하였다.

2. 실험동물사육

*M. rosenbergii*의 생식 및 발생 생태를 조사하기 위하여 1990년 6월부터 1996년 5월 까지 6년 동안 동의대학교 생물생산연구소에서 실험동물을 높이 4.5cm, 가로 120cm, 세로 32cm 크기의 초자로 된 순환식 여과수조에 표준해수 (19.38‰ Cl.) 5%를 혼합시킨 사육수에서

평균체장 11.6cm의 성숙한 암새우를 각각 한마리씩 개별로 사육하였다.

사육기간동안 수온은 27.8~29.6℃로 유지하였고, 먹이는 반 정도 익힌 바지락 (*Tapes philippinainm*)육질에 잘게 분쇄한 달걀 껍질을 소량 첨가하여 매일 오후 6시경에 1회 급여하고 다음날 오전 9시경에 섭취하지 않은 사료 잔존물을 제거하여 사육수의 오탁 (汚濁)을 억제하였다. 사육조의 물갈이는 매일 1회 여과모래와 함께 전량을 교환하여 사육조건을 양호한 상태로 유지하였다. 암새우의 연간 탈피횟수 및 포란횟수를 조사하고 탈피 행동을 자세히 관찰하여 형태적 특징을 Camera-lucida를 통하여 도시하였다.

3. 실험설계

실험1-탈피에 소요되는 시간, 탈피주기 동안 일어나는 새우개체의 변화와 먹이 섭취량 등을 관찰하여 전반적인 탈피 행동을 조사하였다.

실험2-성숙 암새우를 성장단계별로 배치하여 탈피주기를 조사하여 성장단계에 따른 연간 탈피회수를 규명하였다.

실험3-사육온도가 탈피에 미치는 영향을 조사하기 위하여 성숙 암새우를 25.3~26.6, 27.5~29.2, 28.7~30.4, 28.5~29.5℃에서 사육하였다.

실험4-계절이 탈피에 미치는 영향을 조사하기 위하여 사육온도는 일정하게 유지시키면서 자연 일장 조건하에서 성숙 암새우를 사육하였다.

결과 및 고찰

1. 탈피행동

탈피는 일반적으로 밤중이나 한밤중을 지난 시각에 주로 일어났으며, 탈피기일이 가까워짐에 따라 체색도 점차로 담록갈색에서 담등갈색으로 변색하였고, Fig. 4에서 표시한 바 처럼 탈피를 전후하여 먹이의 섭취량이 변하여 탈피 2~3일 전부터 먹이의 섭취량은 급격히 감소하여 탈피 당일에는 먹이를 전혀 섭취하지 않았다. 탈

피후 1일 부터 먹이 섭취량은 급격히 증가하기 시작하여 3~5일 후 최대 섭취량을 나타냈으므로 먹이 섭취량의 변화로 탈피를 예측할 수 있다.

탈피 행동은 일정한 장소에 정지하여 간헐적으로 배측부를 구형(鉤形)으로 구부리는 굴신동작을 반복함으로써 두흉갑과 복갑 사이의 간막면에 파열이 생겨 그 파열틈을 통하여 일시에 탈출하게 되며, 탈출과정은 먼저 액각기부의 배면을 양쪽 보각으로 두흉갑을 감싼 후 두흉갑을 아래로 끌어 내리듯이 벗은 후 뒤따라 복갑을 급격히 굴곡시키며 미절부로서 구각을 도약하여 그 반동력으로서 흉갑부의 구각을 탈출한다. 이 같은 동작은 Table 1에서 보는 바와 같이 순간적으로 일어났으며, 탈피직후 신생 외골격은 연약한 상태로 3~9시간 유지하는데 이때 외골격이 얇고 투과성이 높기 때문에 주위 환경으로 부터 물을 흡수하여 혈장(hemoceol)이 확장하여(Mykles, 1980) 탈피후 동물을 성장하도록 한다. 탈피시 근육(Yamaoka & Skinner, 1975)과 중장선(Yamamoto, 1960)의 광범한 파손이 일어나서 탈피직전과 직후에 운동성이 극히 저하하여 거의 동작이 불가능하여 약 20~30분간은 일정한 장소에 옆으로 누운 상태로 정지하고 있다. 그 후 외골격은 석회화와 경화과정으로 굳어져 자세는 정상상태로 회복되나, 탈피후 약 3~4시간 까지는 동작이 불안정하여 수조내 은폐물 속에서 은거한 후 은폐물 밖으로 나와서 정상적인 활동을

하게 된다. 이 시기에 있어서도 신생 외각은 아직 유연한 상태이며 탈피 후 약 20여시간이 지나야 외각은 탈피전의 상태로 경화하게 된다.

성숙한 암새우의 탈피는 성장을 위한 성장탈피와 교미와 산란을 위한 교미전탈피로 구분할 수 있으며, 교미전탈피는 두흉복부에 위치하는 난소의 발달상황을 외부로부터 관찰할 수가 있기 때문에 교미전탈피와 성장탈피를 용이하게 구별할 수가 있다. 교미전탈피는 Fig. 1에서 표시한 바 처럼 암 새우 액각의 배측상연부에 색소가 퇴색되어 백색대가 출현하는 것이 특징이다. 교미전탈피후 암 새우는 Fig. 2과 Fig. 3에서 보는 바와 같이 제5유영지를 제외한 제1, 2, 3, 4유영지의 기부에는 특수한 섬모인 breeding setae가 생성되어 포란시 포란실내의 난립들을 포란실 밖으로 탈락되지 않게 보존하는 역할을 하며, 제3, 4, 5보각의 기부 특히 제3보각의 암컷생식공주변부와 제5보각의 후방에 breeding dress가 생성되어 생식공에서 배출되는 난자를 포란실로 이동시키는 보조역할을 담당한다. 이러한 breeding setae 와 breeding dress는 *Crangon vulgaris* (Yonge, 1955)와 *Palaemonetes varians* (Antheunisse et al, 1964)에서도 보고되었지만 형태는 다르게 나타난다.

Table 1. Time sequence of molting and crust-shell formation in female *Macrobrachium rosenbergii* reared at 27.5~28.6°C in temperature and 3.21~4.57‰ in chlorinity

Time after start of molting	Remarks
0	Start of molting
10~15 seconds	Finishing of molting behavior
20~30 minutes	Recovery from contraction of body surface and lying down
3~9 hours	New crust-shell in soft state
15~20 hours	Crust-shell somewhat hardened
24 hours	New crust-shell almost completely hardened

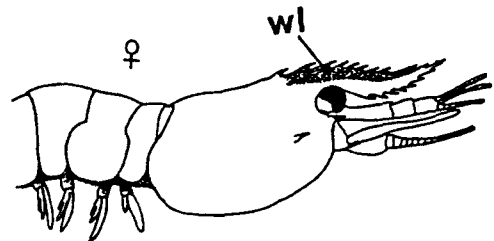


Fig. 1. White belt on the dorsal margin of rostrum before molting. wl: molting white belt.

2. 성장단계에 따른 암새우의 탈피 간격일수

수온 27.5~29.4°C와 염분 3.45~4.23‰ Cl에서 사육한 암수 새우의 탈피 간격일수는 Table 2에서 보는 바와 같이 체장 13~15 cm의 성체 암컷은 26~32일 이었으며, 같은 체장의 수컷은 26~55일이 소요되었다. 그

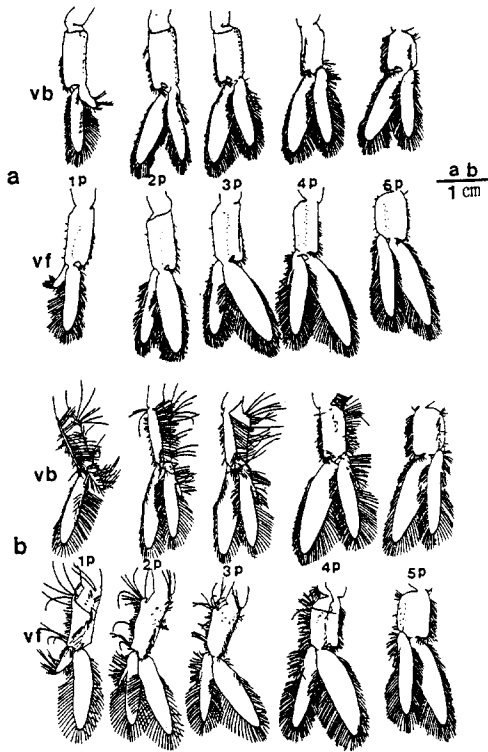


Fig. 2. A comparison of breeding setae between the pleopods of normal female(a) and those of ovigerous female(b) in *Macrobrachium rosenbergii*.

1p~5p, 1~5 pleopods; vb, view from behind; vf, view from front.

리고 성장단계에 따른 탈피간격은 체장 13~15 cm와 14~17 cm의 성숙 암새우의 탈피간격은 각각 26~32 일과 30~35 일이었다고, 체장 7~9 cm와 4~6 cm의 미성숙 암컷은 각각 13~15 일과 9~11 일이었다.

사육개체의 탈피 간격일수는 암컷보다도 수컷에서 더 큰 차이가 있었으며, 성장단계에 따른 탈피간격일수는 성숙하여 노화됨에 따라 길어지며, 연간탈피 횟수는 탈피간격 일수에 따라서 결정되어지므로 연간탈피 횟수는 성숙하여 노화할수록 줄어진다. 같은 체장을 갖는 암새우의 탈피간격은 연령에 따라서는 차이가 없는 것으로 보아 같은 사육조건 하에서의 탈피간격은 체장에 의하

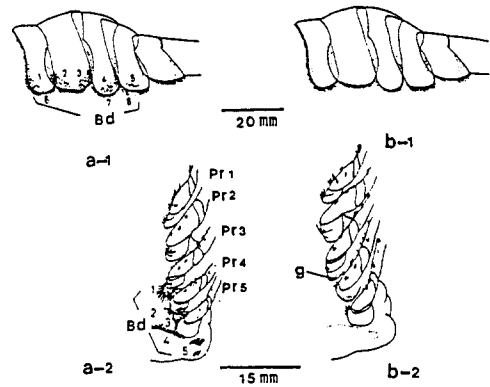


Fig. 3. A comparison of breeding dress of abdominal epimera and thoracic region of female *Macrobrachium rosenbergii*.

a, ovigerous female; b, normal females; pr, pereopods; bd, breeding dress; g, genital pore; arabic numerals, comparative portions; a-1,b-1, lateral view of abdominal epimera; a-2,b-2, ventral view of thoracic region.

여 결정되어지는 것으로 보고되었다 (Skinner, 1962).

갑각류의 탈피주기는 갑각류의 종에 따라 차이가 많아서 단각류 (*Traskorchestia traskiana*)는 최초 7회 탈피는 탈피간격이 2~3 일에 불과하며 (Soyez & Kleinholtz, 1977), 미성숙 대형갑각류 (*Callinectes sapidus*)

Table 2. Intermolt periods in adults and juveniles *Macrobrachium rosenbergii* reared at 27.5~29.4°C in temperature and 3.45~4.23‰ in chlorinity

Body length (cm)	Intermolt period (days)	No. of specimens
Adult females		
13~15	26~32	15
14~17	30~35	5
Youngs		
7~9	13~15	8
Juveniles		
4~6	9~11	11
Adult males		
14~16	26~55	6
17~20	35~93	5

는 탈피주기가 짧고 성체가 되면 길어지므로 (Costlow, 1966) 본종과 비슷하였다.

3. 온도의 영향

사육온도에 따른 탈피 간격일수는 Table 3에서 보는 바와 같이 체장 13~17 cm의 성숙한 암 새우를 염분 3.38~4.26‰ Cl과 pH 8.0~8.2에서 사육온도를 25.3~26.5℃로 낮추어 사육하면 31~38 일이었고, 27.5~29.2℃에서는 28.5~29.5℃의 사육온도에서도 탈피간격이 35~45 일이 소요되었다.

따라서 사육온도가 낮으면 탈피간격일수가 길어졌고, 사육온도를 상승 시키면 탈피간격은 짧아졌다. 이러한 경향은 다른 갑각류에서도 비슷하여 징거미새우, *Macrobrachium nipponense* (De Hann)는 22.6℃에서는 탈피 간격이 25.5±1.21 일이었고, 30.5℃에서는 16.7±1.15 일로서 본 실험과 일치하였다 (권·김, 1992). 성숙한 바다가재를 22~24℃의 수온에 유지하면 년 8 회의 탈피가 있었으나 한겨울 최저 수온인 10℃ 이하에서는 탈피가 억제되었고 (Hughes *et al*, 1972), *Pachygrapsus crassipes*는 14℃에서 탈피가 억제되었다 (Roberts, 1957).

높은 온도에서 갑각류의 탈피능력 즉 탈피시작과 탈피주기 등이 촉진되는 것은 대부분의 대사과정이 온도가 상승할수록 증가하는 원인으로 보고되었으나 (Travis, 1954; Chang & Bruce, 1980), 징거미새우 (*M. nipponense*)에서 사육 수온이 34.6℃ 이상에서 탈피가 일어나지 않았다 (권·김, 1992). 본실험의 결과로서는 본 종이 생존을 유지하면서 탈피를 억제 시키는 하한 및 상한 온도를 알 수 없었으므로 계속적인 연구가 기대된다.

4. 계절의 영향

년간 사육수온 27.8~29.6℃, 염도 3.57~4.48‰ Cl., pH 8.0~8.2 조건하에서 평균체장 11.6 cm의 성숙한 암새우에게 일간 급이량을 충분히 급여하였을 때의 탈피간격일수는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 일정하지는 않으나 대체로 27~35 일의 간격이었으며, 다른 유영류 (Natantia)의 새우류와 마찬가지로 성장탈피와 교미전탈피가 주기적으로 일어나며 교미전탈피가 성장탈피보다 더 많은 시간이 소요되었다. 양호한 사육조건하에서 연간 탈피횟수는 Table 5에서 보는바와 같이 10~12 회이었으며, 개체에 따라 차이가 있지만 그 중 6~7 회는 성장탈피이었고 교미전탈피는 4~5 회이었다. 연간 포란횟수는 Table 4에서 보는 바와 같이 교미전탈피의 횟수에 따라 결정되므로 연간 포란횟수도 4~5 회가 보통이었으나 드물게 연간 7 회의 포란을 하는 개체도 있었으며, 포란한 난을 부화까지 계속 포란하지 못하는 개체도 있었다. 특히 유의하여야 할 현상은 사육조건을 년중 일정하게 유지하여도 Table 4과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 교미와 산란을 위하여 일어나는 교미전탈피의 출현빈도가 계절에 따라 상이하여 4~5월 사이와 8~10월 사이에서 빈도가 높았고, 동절기인 12~2월 사이에서는 교미전탈피를 거의 일어나지 않음을 알 수 있었다.

조명의 강도와 시간이 갑각류의 탈피에 영향을 미쳐서 *Gecarcinus*는 10 Lux에서 일정하게 유지하면 탈피가 억제되며 (Bliss, 1954), 징거미새우 (*M. nipponense*)에서는 교미전 탈피 간격이 일장에 의하여 영향을 받지 않으나 일반탈피는 일장이 길수록 탈피간격이 길어진다 (한과 권, 1989). 가재류인 *Orconectes*는 겨울보다 긴

Table 3. Effects of temperatures and ages on the intermolt period in the adult female *Macrobrachium rosenbergii* reared at 3.38~4.26‰ in chlorinity and pH 8.0~8.2

Body length (cm)	Age (years)	Temperature (°C)	Intermolt period (days)	No. of specimens
14~16	with 1-year	25.3~26.6	31~38	4
13~17	-	27.5~29.2	26~32	15
13~17	in 1-year	28.7~30.4	26~30	5
15~19	2-year	28.5~29.5	35~45	9

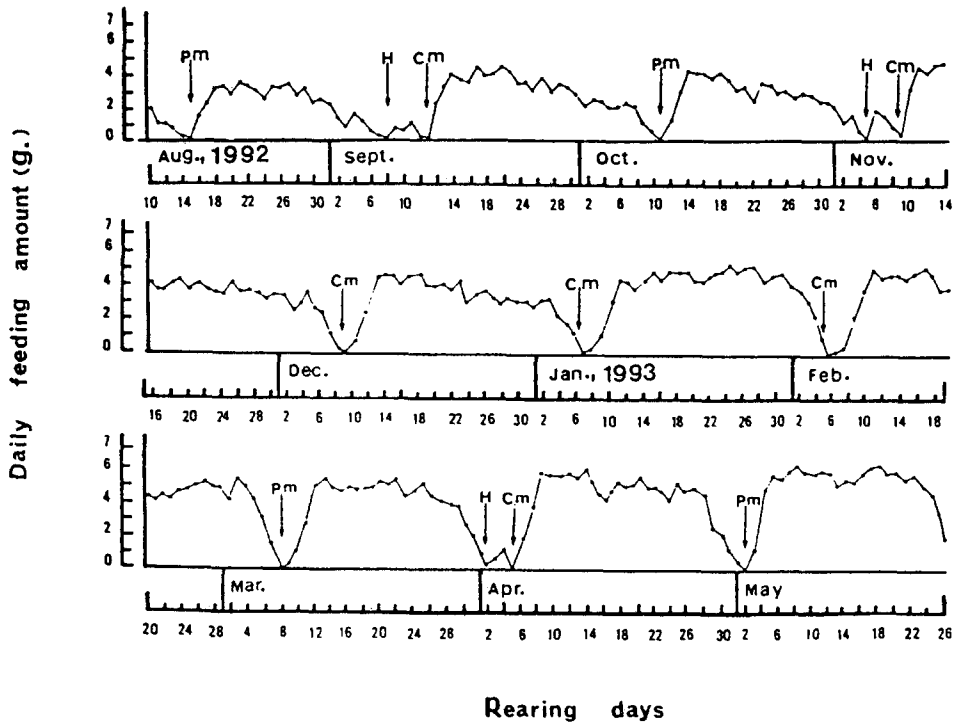


Fig. 4. Daily feeding amount during a molting period of female *Macrobrachium rosenbergii* at $28.6 \pm 0.8^\circ\text{C}$ in temperature and $3.57 \sim 4.48\%$ in chlorinity. Cm, Common molting; H, Hatching out; Pm, Pre-spawning molting.

Table 4. Frequency in the occurrence of pre-spawning molt and brooding on the mature female *Macrobrachium rosenbergii* during one year rearing at $27.5 \sim 29.4^\circ\text{C}$ in temperature and $3.38 \sim 4.25\%$ in chlorinity and pH $8.0 \sim 8.2$

Year / individual No.	Prespawning times	Month														
		Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct
1991~1992																
1	4(2)	(+)		+								+				(+)
2	4(1)	+				(+)				+						+
3	5(2)	+		(+)						+		+				(+)
1993-1994																
4	6	+		+	+					+		+		+		
5	5(1)		+	(+)						+		+		+		
6	3			+								+				+
7	5(1)		+		+					(+)		+			+	
8	4				+							+		+		+
1995-1996																
9	3(1)			+								+				(+)
10	7		+	+	+					+		+		+		+
11	5(1)		+		+					+		(+)				+
Total pre-spawning times		4(1)	4	7(2)	5	1(1)	0	3(1)	3	5	6(1)	2	2	6(2)	2(1)	1

Parentheses show the cases of fallen eggs during brooding.

Table 5. Frequency of moltings and spawnings in adult females *Macrobrachium rosenbergii* during one year rearing at 27.5~29.4°C, 3.38~4.26‰ Cl. and pH 8.0~8.2

Individual No.	No. of moltings	No. of spawnings
1	10	4
2	9	4
3	10	5
4	9	3
5	9	4
6	8	3
7	10	7
8	9	4
9	8	2
10	11	4
11	10	6
12	10	5

봄철 광선자극에 의하여 동면에서 깨어나 정상적인 탈피가 일어난다 (Scudamore, 1948).

본종의 성숙탈피는 년중에 걸쳐 일어났으나 교미전 탈피는 동절기에 일어나지 않은 것은 본종의 원산지가 아열대이므로 일장이 짧은 동절기에는 성숙 암컷의 복안으로 흡수된 겨울의 광선자극이 탈피 보다는 난소의 기능에 더 큰 영향을 미쳐 난소를 흡수하거나 난자를 성숙시키지 못하는 것 (Stephens, 1952)으로 사료된다.

요 약

본 실험은 대형 담수산 새우, *Macrobrachium rosenbergii*를 실험실에서 사육하여 탈피행동과 성장단계별 개체군의 탈피간격일수 및 사육온도와 일장이 탈피에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실시하였으며 그 결과를 다음과 같이 요약한다.

1. 교미전 탈피후 제1, 2, 3, 4 유영지의 기부에는 Breeding setae가 생성되어 포란실내의 난립을 탈락으로부터 보존하고, 제3, 4, 5보각의 기부 특히 제3보각의 암컷 생식공 주변부와 제5보각의 후방에 Breeding dress가 생성되어 배란된 난자를 포란실로 수송하였다.

2. 성숙한 암새우의 탈피는 사육수온 27.5~29.4°C에서 27~35일의 간격으로 연간탈피횟수는 10~12회이었으며, 6~7회는 성장을 위한 성장탈피였고 산란과 포란을 위한 교미전탈피의 횟수는 4~5회였다. 빈도가 계절에 따라 상이하여 동절기인 12, 1, 2월에는 같은 사육수온에서도 교미전탈피는 거의 일어나지 않았다.

3. 사육온도 25.3~26.5°C에서의 탈피간격은 31~38일이었고, 28.7~30.4°C에서는 26~30일이었다.

인용문헌

- Antheunisse LJ, Van Den Hoven NP, Jefferies DJ (1964): The breeding characters of *Palaeomonetes varians* (Leach) (Decapoda, Palaemonidae). *Crustaceana* 14 (3):259-270.
- Bliss DE (1954): Light inhibition of regeneration and growth in the crab, *Gecarcinus lateralis*. *Anat Record* 120:742-743.
- Bliss DE, Mantel LH (1985): The biology of crustacea, Vol 9 Integument, Pigment, and Hormonal Processes. In: Skinner DM (ed), *Molting and Regeneration* New York: Academic Press, p 56.
- Chang ES, Bruce MJ (1980): Ecdysteroid titer of juvenile lobsters following molt induction. *J Exp Zool* 214:157-160.
- Costlow JD Jr (1966): The effect of eyestalk extirpation on metamorphosis of megalops of the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. *Gen Comp Endocrinol* 7:255-274.
- Hughes JT, Sullivan JJ, Schleser R (1972): Enhancement of lobster growth. *Science* 177:1110-1111.
- Kwon CH, Lee JH (1989): Basic study on the reproductive ecology of the freshwater prawn,

- Macrobrachium nipponense* (De Hann) reared in the laboratory. J Inst Bio-Prod Res Dong Eui Univ 4, 5, 6:25-68.
- Ling SW (1967): The general biology and development of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man). Indo-Pacific Counc Curr Aff Bull, 35:1-11.
- Ling SW (1961): Note on the life and habitats of the adult and larval stages of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man). Indo-Pacific Counc Curr Aff Bull, 9 (5):55-61.
- Mykles DL (1980): The mechanism of fluid absorption at ecdysis in the American lobster, *Homarus americanus*. J Exp Bio 84:89-101.
- Roberts JL (1957): Thermal acclimation of metabolism in the crab *Pachygrapsus crassipes* Randall. The influence of body size, starvation and molting. Physiol Zool 30:232-242.
- Scudamore HH (1948): Factor influencing molting and the sexual cycles in the cray fish. Biol Bull 95:229-237).
- Skinner DM (1962): The structure and metabolism of crustacean integumentary tissue during a molt cycle. Bio Bull 148:440-447.
- Soyez D, Kleinholz LH (1977): Molt-inhibiting factor from the crustacean eyestalk. Gen Comp Endocrinol 31:233-242.
- Stephens GJ (1952): Mechanisms regulating the reproductive cycle in the crayfish, *Cambarus*. I The female cycle. Physiol Zool 25:70-84.
- Travis DF (1954): The molting cycle of the spiny lobster *Panulidrus argus* Latreille. I. Molting and growth in laboratory-maintained individuals. Biol Bull 107:433-450.
- Yamamoto Y (1960): Effect of central nervous tissues on involution of midgut gland following removal of eyestalk in the crayfish, *Procambarus clarkii*. J Coll Arts Sci Chiba Univ 3: 151-155.
- Yamaoka LH, Skinner DM (1975): Cytolytic enzymes in relation to the breakdown of the chelae muscle of the land crab, *Gecarcinus lateralis*. Com Biochem Physiol 52B: 499-502.
- Yonge CM (1955): Egg attachment in *Crangon vulgaris* and other Caridea. Proc Roy Soc Edinb 65:369-400.
- 권진수 · 김석용 (1992): 담수산새우, *Macrobrachium nipponense* (De Hann)의 생활사 및 종묘 생산에 관한 연구. 동의대 생물생산연구지 7, 8, 9:79-115.
- 한창희 · 권진수 (1989): 담수산 징거미새우, *Macrobrachium nipponense* (De Hann)에 대한 탈피주기의 특징과 탈피주기에 미치는 수온과 일장의 영향. 동의대 생물생산연구지 4, 5, 6:1-14.