

섬진강 서식 동남참게(*Eriocheir japonicus*)의 생식년주기와 암컷 생식소의 성숙과 포란에 미치는 환경적 요인

이현기^{1,2} · 임상구³ · 김대중³ · 김대현³ · 이재용¹ · 김명희¹ · 김병기¹ · 한창희^{1,*}

¹동의대학교 분자생물학과, ²동의종묘배양장, ³국립수산과학원

Reproductive Cycle and Environmental Factors on the Gonadal Maturation and Egg Breeding of the Freshwater Mitten Crab, *Eriocheir japonicus* Living in Sumjin River

Hyun-Kee Lee^{1,2}, Sang-Koo Lim³, Dae-Jung Kim³, Dae-Hyun Kim³, Je-Yong Lee¹,
Myung-Hee Kim¹, Byung Ki Kim¹ and Chang-Hee Han^{1,*}

¹Dept. of Molecular Biology, Dong-eui University, Busan 614-714, Korea

²Dong-eui Fisheries Hatchery Co., Incheon 417-840, Korea

³National Fisheries Research and Development Institute, Busan 626-990, Korea

ABSTRACT : The present study was designed to clarify aspects of the annual reproductive cycle of the fresh water mitten crab, *Eriocheir japonicus* inhabiting Sumjin river, and to determine the adequate conditions of temperature, photoperiod and salinity on the gonadal maturation and breeding of adult female crabs. Based on the seasonal changes of GSIs and gonadal histology of adult crabs, the annual reproductive cycle could be divided into 4 periods as follows: previtellogenesis period (from September to October) when GSIs were low value and ovaries had oocytes in previtellogenesis stage and meiotic prophase stage; maturing period (from November to March of the next year) when GSIs increased gradually and ovarian oocytes accumulated yolk globules; spawning period (from April to June) when high value of GSI of female was kept and ovigerous female appeared; resting period (from July to August) when GSIs decreased rapidly, and vitellogenic oocytes degenerated. Gonadal maturation was influenced by water temperature, but not photoperiod and salinity. GSI more increased in experimental regime of 18°C than that of 10°C regardless of photoperiod conditions (12L12D and 15L9D). However, in 26°C regime of both photoperiod conditions, the value of GSI was not changed, and vitellogenic oocytes were not observed. Spawning was considerably influenced by water temperatures and salinities regardless of photoperiods. Vitellogenic female crabs did not spawn at 10°C in any salinity conditions. However, at 18°C and 26°C, over a half of rearing female crabs spawned in condition of 30% sea water (salinity 9.6‰) and 60% sea water (salinity 19.2‰), while no female spawned in freshwater condition (salinity 0.0‰).

Key words : Freshwater mitten crab, *Eriocheir japonicus*, Reproductive cycle, Gonadal maturation, Breeding, Temperature, Salinity, Day length.

요 약 : 본 실험은 동남참게, *Eriocheir japonicus*의 명확한 생식년주기를 밝히기 위하여, 그들의 자연 서식처인 섬진강에서 채집한 성체 참게의 생식소 조직의 계절적인 변화 그리고, 암 참게 생식소의 성숙과 산란에 미치는 환경요인 즉, 온도, 광주기 그리고, 염분 농도에 대하여 조사하였다. 암 참게의 생식소 발달과 GSI의 계절적 변화를 기초로하여 생식년주기를 다음과 같이 4단계로 구분하였다. 난황형성전기(9~10월), GSI는 낮았으며, 난소내에는 난황형성전기와 감수분열전기의 난모세포들을 가지고 있었다; 성숙기(11월~다음해 3월), GSI는 점차적으로 증가하여 난모세포내에는 난황구들이 축적되었다;

산란기(4~6월), 암 참게의 GSI는 최고치를 나타내며, 포란한 암 참게들이 나타난다; 휴지기(7~8월), GSI가 급격하게 감소하며, 난황형성기의 난모세포들은 퇴화한다. 암컷 생식소의 성숙은 수온에 의한 영향을 받으나, 광주기

* 교신저자: 부산시 부산진구 가야동 엄광로 995, 동의대학교 자연과학대학 분자생물학과, (우) 614-714, (전) +82-51-890-1524, (팩) +82-51-890-1521, E-mail: chhan@deu.ac.kr

에는 영향을 받지 않았다. 광주기 조건(12L12D, 9L15D)에 관계없이, 10°C 실험군의 암 참게보다, 18°C 실험군의 암 참게의 GSI가 더욱더 증가하였다. 그리고, 26°C 실험군에서 두 개의 광주기 조건(12L12D, 9L15D)에서 암 참게의 GSI는 변화하지 않았으며, 난소내에는 난황이 축적되고 있는 난모세포들은 없었다. 산란은 수온과 염분 농도에 의하여 많은 영향을 받으며, 난황형성중인 암 참게는 두 달간 사육하여도, 10°C에서는 전혀 산란을 하지 않았으며, 18°C와 26°C에서 사육한 암 참게의 반 이상은 염분 농도 9.6‰와 19.2‰의 조건하에서 산란하였다. 그러나, 염분 농도 0.0‰의 조건에서는 산란한 암 참게가 한 마리도 없었다.

서론

참게류는 우리나라 전 연안의 기수역을 비롯하여 담수역에 널리 분포 서식하고 있는 담수산 갑각류로서, 오래 전부터 토속적인 기호식품으로 많은 사람들이 선호해온 종이다. 우리나라에 서식 분포하고 있는 참게류는 지금까지 4종으로, 동남참게(*Eriocheir japonicus*), 참게(*E. sinensis*), 남방참게(*E. rectus*), 애기참게(*E. leptognathus*)가 알려져 있다(Kim, 1973; Kil et al., 2005). 이들 중 동남참게(*E. japonicus*)는 남해안과 동해안에 서식하며, 갑장이 5~6 cm, 갑폭이 6~7 cm 정도로 비교적 대형 종에 속하고, 서해안에 서식하는 참게(*E. sinensis*)와 더불어 산업적으로 매우 유용한 종이다.

동남참게는 염분 농도가 높은 하구 유역에서 부화하여 유생기를 이곳에서 지내고 점차로 성장하면서 담수역으로 이동해 올라가 2~3년간 머물면서 성체로 성장한 다음 성숙과 산란을 위해 다시 하구역으로 내려가는 생식생태학적 특성을 가지고 있다(Kobayashi et al., 1990, 1995). 이러한 특성 때문에 우리나라에서는 낙동강을 비롯한 하구연이 건설된 강에서는 참게류들의 자원은 거의 멸종된 상태에 이르렀으며(Jang & Kim, 1992), 또한 도시 및 공장폐수의 방류, 그리고 농약의 남용 등으로 하천이 오염되면서 하구연이 개발되지 않은 강과 하천에서도 동남참게는 쉽게 채집되지 않아 참게 자원이 많이 감소한 것으로 추정되고 있다.

동남참게와 서식생태나 생식생태가 매우 유사한 참게에 대해서는 중국에서 산업적으로 유용한 종으로 취급되고 있기 때문에 양식과 관련된 연구들이 수행되고 있다(Li et al., 2007; Wu et al., 2007). 또한, 1912년에 참게가 중국에서 독일로 도입된 이후 참게의 서식 영역이 영국을 포함한 유럽 전역으로 확산되어 생태계에 많은 영향을 미치게 되면서 “세계 100대 최악의 침입자”로 낙인이 찍히게 되었고(Lowe et al., 2000), 이로 인해 오래전부터 분포와 습성에 대한 생태학적 연구(Ingle, 1986; Cabral & Costa, 1999; Herborg et

al., 2002, 2003, 2006)와 기수역에서의 삼투조절 기능에 대한 연구들이 많이 이루어져왔다(Onken 1995, 1996; Onken et al., 1995; Riestenpatt et al., 1995; Onken & Riestenpatt, 1998; Torres et al., 2007). 이처럼 참게의 확산을 제어할 수 있는 대책을 마련하기 위해 다양하고 많은 연구들을 해왔음에도 불구하고 번식기구에 중요한 정보를 제공해줄 수 있는 생식주기나 이를 조절하는 환경적인 요인을 구명한 연구는 거의 찾아볼 수가 없었다. 동남참게에 대해서도 양식을 위한 부화와 유생의 생장에 미치는 수온과 염분 농도의 영향(Kwon et al., 1993a; 1993b), 노지양식에서 성체의 성장(Oh & Kim, 1998)과 초기유생의 먹이(Heo et al., 2002)에 대한 연구와 그 외에 유생발생(Kim & Hwang, 1990), 난황단백전구체 합성부위(Han & Bae 1992), 산란회유시 삼투조절을 위한 아미노산의 역할(Abe et al., 1999)과 중금속 영향(Lee & Hur, 2004)에 대한 연구들만 있을 뿐 생식소의 발달이나 산란에 대한 환경조건에 대해 조사한 연구는 찾아볼 수 없었다.

양식뿐만 아니라 자원을 인위적으로 조절하기 위한 대책을 수립하기 위해서는 분포나 습성에 대한 생태학적 연구뿐만 아니라 성 성숙과 산란에 대한 생리학적 조절 기구도 연구되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 참게류의 생식선 성숙과 산란에 영향을 미치는 환경적 요인을 구명하기 위해 우리나라 남해안에 위치한 섬진강에서 서식하는 동남참게를 대상으로 자연 생태계로부터 정기적으로 채집하여 생식 연주기를 조사하고, 생식선 성숙과 산란에 대한 수온, 광주기 및 염분 농도의 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 시료 채집

생식년주기를 조사하기 위해 2003년 9월부터 2004년 9월 까지 매월 정기적으로 경남 하동군 하저구의 섬진강 하구 유

역에서 통발을 이용하여 암수 참게를 각각 20~28마리 채집하였다. 이때 채집현장의 수온을 온도계로 측정하였으며, 광주기의 길이는 기상대에서 발표한 일출, 일몰시간을 참조하였다. 채집된 개체들은 포란상태를 관찰한 후 갑장과 갑폭 그리고 체중을 정량한 후 해부하여 암수의 생식소를 절취하였다. 생식소 발달 상태의 변동을 추정하기 위하여 생식소를 정량하여, 생식소중량지수(GSI: gonadosomatic index=생식소 중량/체중×100(%))를 산출하여 연간 변동을 조사하였다.

생식소 성숙에 대한 환경적인 영향과 포란에 대한 실험을 하는데 필요한 동남참게는 2004년 9월 6일과 10월 10일, 그리고 2월 1일에 상기한 장소에서 동일한 방법으로 채집하였다.

2. 조직학적 조사

생식소의 조직학적인 발달 상태를 조사하기 위하여 생식소의 일부를 Bouin's액에 고정한 후, 탈수하여 상법인 Paraffin 절편법에 의하여 5~7 μm 의 두께로 절편하여 Hematoxylin-eosin 염색을 한 후 검경하였다. 그리고 난세포의 발달 단계는 단각류인 *Orchestia gammarillus*(Charniaux-Cotton, 1981), 징거미 새우류인 *Macrobrachium rosenbergii*(O'Donovan et al., 1984)와 *M. nipponense*(Han, 1988)에서 구분한 것을 기초로 하여 나누었으며, 정세포의 발달단계와 특성 구분은 계류인 *Chionoecetes opilio*(Kon & Honma, 1970)의 결과를 참고로 하였다.

3. 사육 실험

1) 생식소 성숙에 대한 수온, 광주기 및 염분 농도의 영향

2004년 9월 10일 섬진강 하구 일대에서 채집한 암수 성체를 동의대학교 동물 사육실에 설치한 FRP수조($^W120 \times ^L250 \times ^H70$ cm)에 담수를 넣어 수용한 후, 난소 성숙에 대한 수온과 광주기의 영향을 조사하기 위해 9월 17일부터 광주기 12L-12D와 15L9D의 조건과 수온 10°C, 18°C 및 26°C의 조건을 서로 조합한 6개의 실험군에서 70일간 사육하였다. 또한, 염분 농도가 난소 성숙에 미치는 영향을 조사하기 위해 해수(salinity 32.0‰)를 이용하여 사육수의 해수 농도비를 0%(salinity 0.0‰), 15%(salinity 4.8‰), 30%(salinity 9.6‰)로 한 세 실험조건을 설정하고, 수온 18°C와 광주기 12L12D 조

건에서 10월 25일부터 한 달간 사육실험을 하였다. 이때 사육수조(60×35×35 cm)는 모래에 의한 저면 여과장치를 설치하여 사용하였으며, 한 수조에 암 참게 4마리와 수 참게 2마리를 수용하였다. 먹이로는 바지락과 보리새우용 pellet을 하루에 2회에 나누어 급이하였다. 수온은 히터와 온도조절기를 이용하여 조절하였으며, 광주기는 수조 상단에 부착한 형광등에 시간 조절 장치를 설치하여 조절하였다.

각 실험군의 생식선 성숙 상태를 조사하기 위하여 수온과 광주기에 대한 영향은 35일 후와 70일 후에 각 실험군으로부터 6마리씩 채집하였으며, 염분 농도에 대한 영향은 30일 후에 사육중인 실험군으로부터 채집하였다. 각 개체들에 대하여 생식소를 절취하여 GSI를 구하였으며, 절취된 생식소에 대해서는 조직학적 관찰을 하였다.

2) 포란에 대한 수온, 광주기 및 염분 농도의 영향

암 참게의 평균 GSI가 6.57%, 수 참게의 평균 GSI가 0.87%인 성숙 중인 개체군으로부터 암수를 취하여, 모래에 의한 저면여과장치를 설치한 24개의 수조(60×35×35 cm)에 암컷 3마리, 수컷 1마리씩 수용하였다. 실험군은 단일조건 12L12D에서 수온 10°C, 18°C, 26°C의 세 조건으로 나누고, 각 온도 조건에 대해 해수(salinity 32.0‰)를 이용하여 사육수의 해수 농도비를 0%(salinity 0.0‰), 30%(salinity 9.6‰), 60%(salinity 19.2‰)로 한 세 조건을 나누어 총 9개의 실험군을 설정하였다. 또한, 장일조건(15L9D)에서는 수온 18°C 조건에서 상기한 3개의 염분 농도 실험군으로 나누어 상기한 동일한 방법으로 사육하였다. 사육기간은 2개월간 하였으며 각 실험군의 산란빈도를 조사하였다. 사육실험이 종료된 후에는 각 개체의 생식소에 대하여 조직학적 관찰을 하였다.

결 론

1. GSI와 생식소의 조직학적 변화

1) 암컷

동남참게를 채집한 섬진강의 월별 수온 변화와 광주기의 변화는 Fig. 1에 나타내었으며, 암 참게 GSI의 월별 변화와 포란한 암컷의 월별 출현 빈도는 Fig. 2에 나타내었다. 그리고 난소내 생식세포들의 조직학적인 변화와 발달 상태는 Fig. 3에

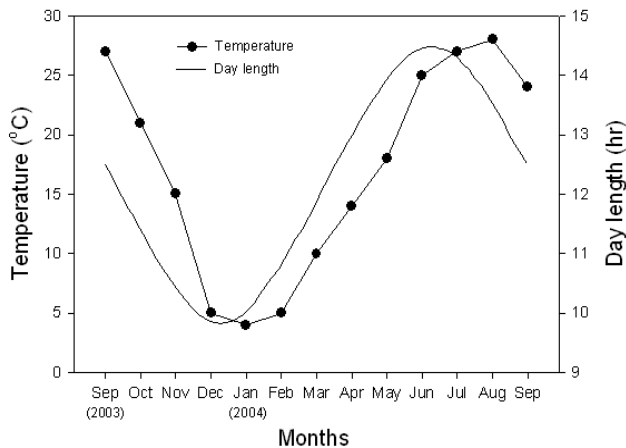


Fig. 1. Monthly changes of water temperature and day-length in estuary of Sunjin river.

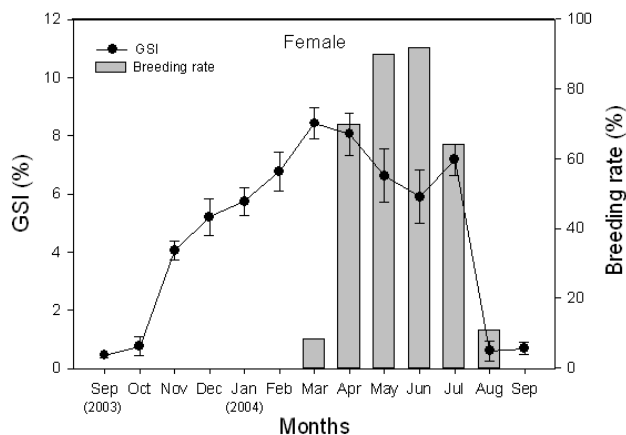


Fig. 2. Monthly changes of GSI and breeding rate on female mitten crabs, *E. japonicus* collected in estuary of Sunjin river. Values are expressed as means±SE.

나타내었다.

9월 중순 채집 시 수온은 27°C로 높은 상태였으며, 광주기는 12.5L로 단일 상태로 들어가는 시점이었다. 이때 채집한 암 참게들의 평균 GSI는 0.45±0.07%로 낮은 상태이었으며, 포란한 개체는 한 마리도 없었다. 대부분 개체들의 난소 내에는 주로 난황형성 전기의 난모세포들로 이루어졌으며, 난소 내에 남아 있는 난황형성 후기의 난모세포들은 거의 퇴화, 흡수되고 있는 상태이었다. 그리고 부위에 따라 조금씩 다르지만 생식상피 부근에는 분열, 증식하고 있는 많은 난원세포 (oogonium)와 감수분열전기(meiotic prophase stage), 전난황형성기(previtellogenesis stage)의 초기 난모세포들이 관

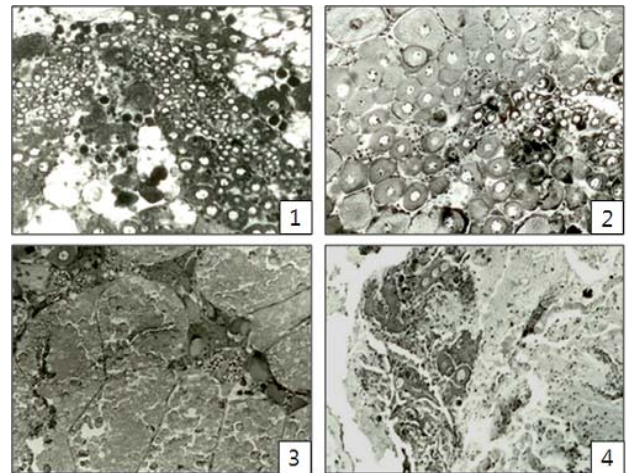


Fig. 3. Seasonal variation in ovarian histology of female mitten crabs, *E. japonicus* collected in estuary of Sunjin river. Hematoxyrin-eosin staining. 1: A lot of oogonium and meiotic prophase stages's oocytes shown in reproductive epithelium located near the central region (September, ×200). 2: Oocytes in previtellogenesis stage and early vitellogenic oocytes are observed (October, ×200). 3: Ovary occupied with most of vitellogenic oocytes (November to June, ×50). 4: Ovary was regressed (July to August, ×200).

찰되었다(Fig. 3-1). 10월에 접어들면, 수온은 20.5°C로 떨어지고 광주기는 11.5L로 단일 상태가 되며, GSI는 0.76±0.32%로 약간 상승하는 경향을 보였다. 이때 대부분 개체의 난소 내에는 초기 난황형성기(primary vitellogenesis stage)에 있는 난모세포들이 관찰되었다(Fig. 3-2). 일부 개체에서는 난황구를 축적하고 있는 후기 난황형성기(secondary vitellogenesis stage)의 난모세포들이 관찰되었다. 11월이 되면서 수온은 15°C로 더욱 내려갔으며, 반면 GSI는 4.15±0.31%로 급격히 상승하였다. 이러한 GSI의 상승은 다음해 2월까지 서서히 진행되었으며, 대부분 개체의 난소들은 난황구의 축적이 활발하게 일어나 난황형성중인 후기 난황형성기의 난모세포로 대부분 채워져 있었다(Fig. 3-3). 3월에 이르러 수온이 10°C 이상으로 상승하면서 GSI도 8.45±0.53%로 최고치에 이르며, 채집된 개체 12마리 중 한 마리가 포란하고 있어서 산란기가 시작되고 있었다. 4월이 되면서 수온은 14°C로 상승하고, 많은 개체들의 난소 내에는 핵이 난막 쪽으로 이동하는 완숙상태의 난모세포들이 관찰되었고, 채집된 암컷의 70%는 포란한 개체들이었다. 5월이 되면, 수온

은 18℃로 상승하고 채집된 개체들 중 90%가 포란한 상태이었으며, 이들 개체들의 평균 GSI는 $6.96 \pm 0.93\%$ 로 나타났다. 포란하고 있는 개체들의 난소의 발달 상태는 성숙 초기의 난소에서부터 완숙상태의 난소에 이르기까지 개체에 따라 다양하게 나타났다. 6월에는 수온이 25℃로 더욱 상승하면서 95%가 포란하고 있었으며, 평균 GSI는 $5.90 \pm 0.1\%$ 로 내려갔지만 난소의 발달 상태는 5월과 차이가 없었다. 수온이 27℃ 이상으로 상승하는 7월에 평균 GSI가 $7.18 \pm 0.55\%$ 로 다소 상승하였지만, 대부분 개체들의 난소 내에는 난황구가 축적된 후기 난황형성기의 난모세포가 퇴화되어 가는 현상들이 관찰되었다. 그리고 포란한 개체들의 출현 빈도도 64%로 다소 줄어들었다. 이어 8월에는 포란한 개체들의 출현 빈도는 급격히 떨어져 11%에 불과하였으며, 이들의 평균 GSI는 $0.84 \pm 0.34\%$ 로 급격히 하락하였고, 난소의 조직학적 양상은 대부분 퇴화 상태에 있었다(Fig. 3-4).

2) 수컷

수 참게의 평균 GSI의 월별 변화는 Fig. 4에 나타내었으며, 정소내의 생식세포 발달 상태는 Fig. 5에 나타내었다. 정소의 외부형태나 조직학적인 내부구조에 있어서 계절적 차이는 암컷과 같이 현저한 차이는 찾아볼 수 없지만, 평균 GSI의 월별 변화는 암 참게의 변화와 거의 같은 양상을 보여주고 있다. 10월부터 다음해 3월까지 GSI가 점진적으로 상승하여, 3월에는 평균 GSI가 $0.89 \pm 0.07\%$ 로 최고치를 이루었으며, 그 이후부터 GSI가 내려가기 시작하여 8월에 평균 GSI가 $0.28 \pm 0.03\%$ 로 최저치에 이르렀다.

조직학적인 관찰에 의하면, 정소내에는 정자(spermatozoa)들이 연중 존재하고 있었으나, 이들의 양에 있어서는 계절적인 변화를 보였다(Fig. 5). 9월에는 일부 개체에서 정원세포(spermatogonium)(Fig. 4-1)가 분열, 증식하고 있는 것을 관찰할 수 있었다. 10월이 되면서 몇몇 개체에서 1차 및 2차 정모세포(primary & secondary spermatocytes)들을 관찰할 수 있었으며(Fig. 5-1), 11월부터 대부분 개체에서 정자형성이 왕성하게 일어나기 시작하였다(Fig. 5-2). 다음해 1월부터는 정원세포에서 정세포(spermatid)(Fig. 5-3)에 이르기까지 정자형성 전 과정이 관찰되었다. 3월에는 모든 개체들이 활발하게 정자형성을 하고 있었으며, 정세포관내에는 정자괴(sperm mass)들이 충만해 있는 것을 관찰할 수 있었

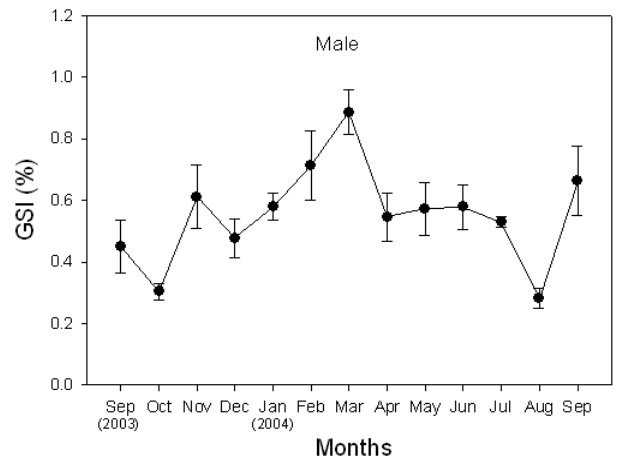


Fig. 4. Monthly changes of GSI on male mitten crabs, *E. japonicus* collected in estuary of Sumjin river. Values are expressed as means±SE.

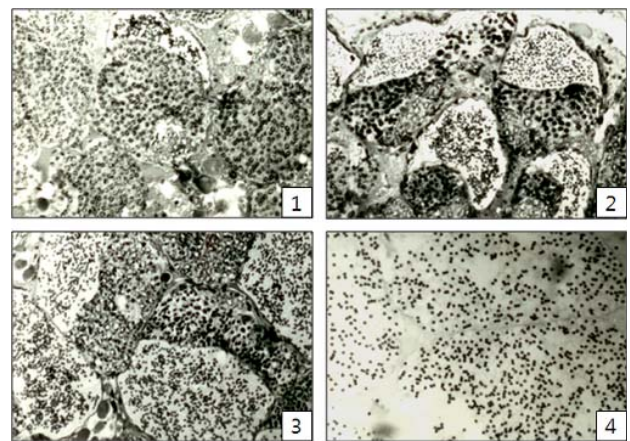


Fig. 5. Seasonal variation in testicular histology of male mitten crabs, *E. japonicus* collected in estuary of Sumjin river. Hematoxylin-eosin staining. 1: Rest spermatozoa were seen, and spermatocytes were divided actively (September, ×100). 2: Sperms and multiplication of spermatocytes were observed (October, ×100). 3: Various stages of germ cells were observed (November to June, ×100). 4: Division of spermatocytes were not observed, sperms were seen only (July to August, ×200).

다. 그러나 6월부터 정자형성이 활발하게 일어나지 않는 개체들이 나타나기 시작하여, 7월과 8월에는 대부분 개체에서 정자형성이 중지되어 정소 내에는 일부 정자들만 존재하고 정자형성의 과정을 거의 관찰할 수가 없었다(Fig. 5-4).

2. 난소 성숙에 미치는 수온, 광주기의 영향

암 참게의 난소 성숙에 미치는 수온, 광주기 조건을 밝히기 위해 2004년 9월 17일부터 11월 26일까지 수온 10°C, 18°C, 26°C와 광주기 12L12D, 15L9D의 조건을 서로 조합한 6개의 실험군과 자연조건하의 실내 수조에서 사육한 1개의 실험군을 설정하여 70일간 사육실험을 하였다. 자연조건 실험군 수조의 수온과 광주기의 변화, 그리고 평균 GSI 변화는 Fig. 6에 나타내었으며, 수온과 광주기를 조절한 6개 실험군들에서 암컷의 평균 GSI 변화는 Fig. 7과 8에 나타내었다.

사육초기의 평균 GSI는 0.69±0.20%로 낮은 상태를 나타내었으며, 대부분 개체의 난소는 미성숙한 상태에서 난소 내에 남아 있는 후기난황형성기 난모세포들의 퇴행과 난황구의 흡수가 활발하게 일어나는 휴지기 상태에 있었다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 자연상태에서는 사육 35일 후(10월 22일), 수온은 25.4°C에서 15.4°C로 내려가고, 광주기는 13L에서 11L로 짧아졌으나 GSI의 큰 변화는 없었으며, 대부분 개체의 난소에는 전 난황형성기 난모세포들이 대부분이었으며, 난황형성이 일어나기 시작하는 초기 난황형성기 난모세포들도 관찰할 수 있었다. 그러나 사육 70일 후(11월 26일) 수온은 7.3°C로 하강하였지만, 평균 GSI는 2.46±0.31%로

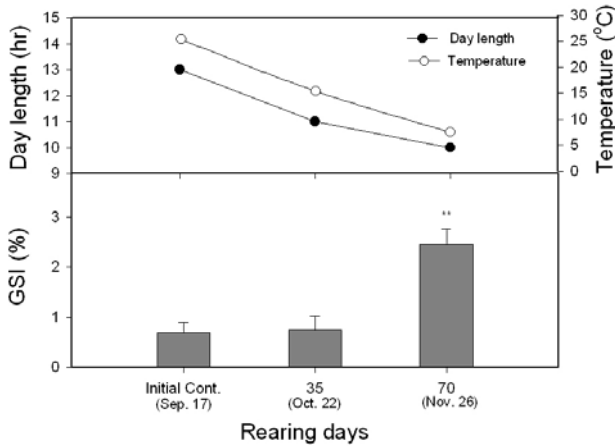


Fig. 6. Changes of GSIs on female mitten crabs, *E. japonicus* reared for 70 days (September 17 to November 26), kept at natural condition. Upside graph show changes of temperature and day-length in natural condition during experiment. Values are expressed as means±SE. ** Indicated the levels of significant differences ($P<0.01$) compared with initial control.

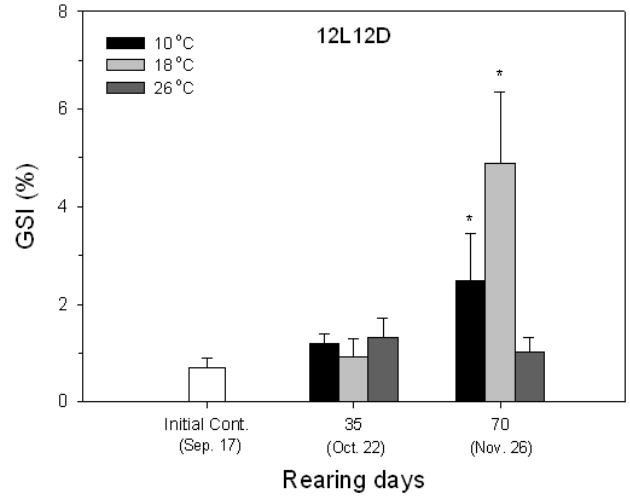


Fig. 7. Effects of temperatures on gonadal maturation of female mitten crabs, *E. japonicus* reared for 70 days (September 17 to November 26), kept at 12L12D photoperiod condition. Values are expressed as means±SE. * Indicated the levels of significant differences ($P<0.05$) compared with initial control.

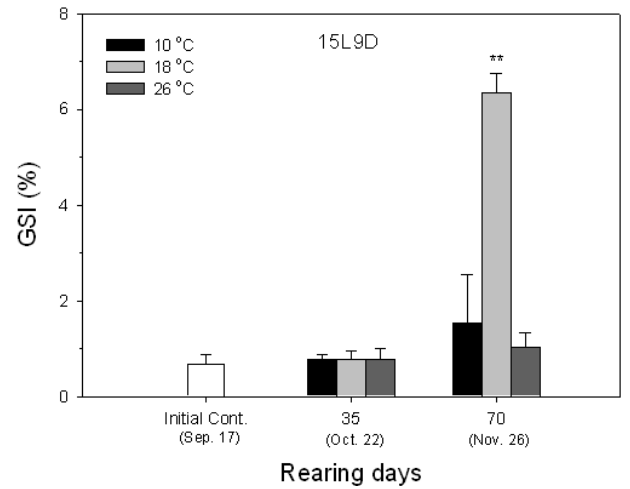


Fig. 8. Effects of temperatures on gonadal maturation of female mitten crabs, *E. japonicus* reared for 70 days (September 17 to November 26), kept at 15L9D photoperiod condition. Values are expressed as means±SE. ** Indicated the levels of significant differences ($P<0.01$) compared with initial control.

유의하게 상승하였다. 조직학적 관찰에서도 난소 내 난모세포들의 발달 상태는 개체들마다 차이는 있으나, 대부분 난황을 축적하는 난황형성기에 있었다.

12L12D의 광주기 조건에서는 Fig. 7에서 나타낸 바와 같이 모든 수온조건에서 GSI는 실험 개시 때와 비교하여 유의한 변화는 볼 수 없었다. 그러나 10°C와 18°C 실험군에서는 난황형성이 일어나기 시작하는 난모세포로 형성되어진 난소들을 관찰할 수 있었지만, 26°C의 실험군에서는 몇몇 개체들에서 난황구기의 난모세포들이 퇴행 및 흡수하는 것을 관찰할 수가 있었다. 사육 70일 후에는 10°C와 18°C 실험군에서는 평균 GSI가 각각 2.48±0.95%, 4.89±1.45%로 상승하는 반면, 26°C 실험군에서는 평균 GSI가 1.01±0.31%로 거의 변화가 없었다.

그리고 Fig. 8에서 나타낸 바와 같이 15L9D의 광주기 조건에서도 Fig. 7에서 나타낸 12L12D 조건에서의 실험 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 단지 사육 70일째에 18°C 실험군에서는 평균 GSI가 6.34±0.41%로 크게 상승하는 반면, 10°C와 26°C의 실험군에서는 평균 GSI가 각각 1.55±1.00%, 1.02±0.31%로 거의 상승하지 않았다. 그러나 난소에 대한 조직학적인 변화를 관찰한 결과, 10°C, 18°C의 실험군들에서는 거의 모든 개체들에 있어서 난소 내에 난모세포들의 발달 정도는 개체들마다 차이는 있으나, 대부분 난황을 축적하는 후기 난황형성기에 들어 있었다. 그러나 26°C 실험군에서는 일부 개체들에서 난황축적이 일어나는 경우도 보이지만, 대부분 미성숙한 상태로 일부 성숙중인 난모세포들이 퇴화, 흡수되는 상태들이 관찰되었다.

3. 난소 성숙에 미치는 염분 농도의 영향

암 참게의 난소 성숙에 대한 염분 농도의 영향을 조사하기 위해 2004년 10월 25일부터 11월 24일까지 수온 18°C, 광주기 12L12D의 조건하에서 염분 농도의 조건을 달리한 3개 (0‰, 4.8‰, 9.6‰)의 실험군을 설정하여 30일간 사육실험을 하여 GSI의 변화를 Fig. 9에 나타내었다. 실험 종료 시점에서 각 실험군의 GSI를 조사한 결과, 염분 농도 0‰인 담수 실험군은 6.50±1.00%, 염분 농도 4.8‰ 실험군은 5.85±0.71%, 그리고 염분 농도 9.6‰ 실험군은 5.02±1.11%로 통계학적 유의성은 없지만 사육수의 염분 농도가 높을수록 GSI는 낮은 경향을 나타내었다. 그러나 염분 농도 조건에 관계없이 모두 GSI의 상승을 보였다. 조직학적 관찰에서도 모든 개체들의 난소 대부분은 난황을 축적하는 후기 난황형성기에 있었다.

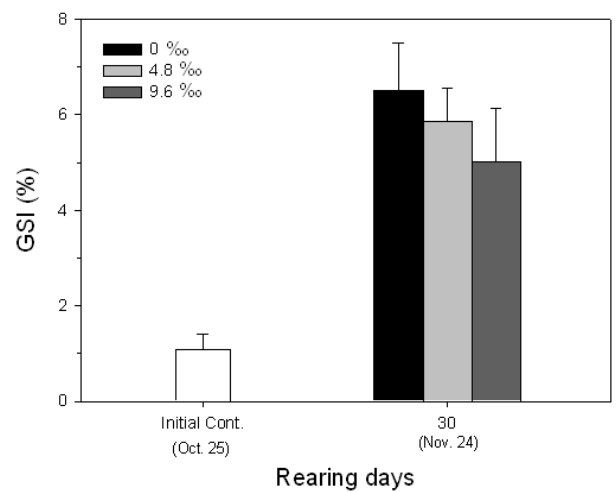


Fig. 9. Effects of salinity on gonadal maturation of female mitten crabs, *E. japonicus* reared for 70 days (September 17 to November 26), kept at 18°C and 12L12D photoperiod experimental regime. Values are expressed as means±SE.

4. 산란에 미치는 수온, 광주기 및 염분 농도의 영향

난경이 250 μm 이상의 난황구기 난모세포를 형성하는 성숙중인 암 참게와 정자형성이 활발하게 일어나고 있는 숫 참게를 2월 6일부터 4월 6일까지 2개월간 단일조건인 12L12D 조건하에서 수온과 염분 농도를 각각 달리한 9개 실험군에서 포란한 개체의 출현빈도로 산란율을 조사하였다. 또한, 광주기 조건 산란에 영향을 미칠 수 있는지를 확인하기 위해 장일 조건인 15L9D와 수온 18°C 조건하에서 위에 기술한 3개의 염분 농도 실험군을 설정하여 포란한 개체들의 출현 빈도를 조사하였다. 이들 실험 결과는 Table 1에 나타내었다.

수온 10°C에서는 2개월간 사육하여도 염분 농도에 상관없이 산란한 개체는 한 마리도 나타나지 않았다. 그러나 18°C 실험군에서 담수상태인 염분 농도 0.0‰에서는 산란한 개체가 한 마리도 없었으나, 해수가 30%와 60%가 들어있는 염분 농도 9.6‰, 19.2‰에서는 6마리 중 각각 3마리가 포란하여 50%의 산란율을 나타내었다. 또한, 26°C의 실험군에서도 담수상태인 염분 농도 0.0‰에서는 포란한 개체가 한 마리도 없었다. 그러나 염분 농도 9.6‰에서는 6마리 중 3마리가 포란하였으며, 염분 농도 19.2‰에서는 6마리 중 5마리가 포란하여 83%의 산란율을 나타내었다.

또한, 광주기 15L9D, 수온 18°C하에서도 담수조건인 염분 농도 0.0‰에서는 한 마리도 산란하지 않았으며, 염분 농도

Table 1. Effects of temperatures and salinities on the spawning in female *E. japonicus* reared for two months (February 6th to April 6th), kept at 12L12D and 15L9D photoperiod experimental regimes. Mean GSIs in initial state was 6.57%

Photoperiod regime	Temperature (°C)	Salinity (‰)	Breeding rate (%)	Carapace length (mm)	No. of individuals	
12L12D		0.0	0	48.6±1.0	6	
		10	10.5	0	51.2±1.3	6
		21.0	0	50.1±1.1	6	
	18	0.0	0	47.8±1.0	6	
		10.5	50	52.0±1.2	6	
		21.0	50	49.2±0.9	6	
	26	0.0	0	52.1±1.1	6	
		10.5	50	50.8±1.2	6	
21.0		100	50.6±1.1	6		
15L9D	18	0.0	0	48.9±1.0	6	
		10.5	50	51.3±1.2	6	
		21.0	33	50.0±1.2	6	

9.63%, 19.2%에서는 6마리 중 각각 3마리, 2마리가 포란하여 각각 산란율 50%와 33%를 나타내었다.

실험기간중 산란하지 않은 암컷 중 10°C의 실험군에서 사육한 암컷들의 난소는 염분 농도에 관계없이 모두 정상 난황구기 난모세포를 형성하고 있었으며, 완숙한 상태의 난모세포는 전혀 관찰되지 않았다. 그러나 18°C와 26°C의 담수상태인 염분 농도 0.0‰의 실험군에서는 암컷들의 난소는 거의 위축되어 있는 상태였으며, 난황구기 난모세포들은 대부분 퇴화, 흡수되고 있는 상태이거나 흡수되어 버린 상태였다.

고찰

본 연구에서 섬진강에 서식하는 동남참게의 GSI의 월 변화와 생식소의 조직학적 발달 상태, 그리고 포란한 개체들의 출현 빈도 등을 기초로 하여 생식년주기를 난황형성전기(9~10월), 성숙기(11월~다음해 3월), 산란기(4~6월) 그리고 휴지기(7~8월)의 4기로 나눌 수가 있었다. 3월부터 포란한 개체들이 12마리 중에서 한 마리가 채집될 정도로 그 출현 빈도가 8.3%로 미약하지만, 4월부터는 70% 이상의 포란 개

체들이 출현하여 이러한 현상은 7월까지 지속되었으나, 7월에 채집된 개체들의 난소 내에는 난황구기의 난모세포들이 퇴행, 흡수하는 현상들이 나타나고, 수컷의 정소 내에서도 활발한 정자 형성과정은 관찰할 수가 없었다. 이러한 현상은 8월까지 계속되었다. 이러한 결과로 산란기를 4월부터 6월로 추정하였으며, 7월부터 8월 사이의 기간을 휴지기로 추정할 수 있었다. 수온이 약 21°C 이하로 하강하는 9월부터는 생식상피에서 생식세포의 분열 증식이 활발하게 일어나며, 초기 난모세포인 전난황형성기의 난모세포들이 관찰되기 시작하고, 이러한 현상이 10월까지 지속되고 있어서 이 시기를 난황형성전기로 구분하였다. 11월부터 다음해 3월까지 난소의 난모세포에서는 난황축적이 활발하게 일어나고, 정소에서도 정자형성과정이 활발하게 이루어져 성숙기로 구분하였다.

동남참게의 생식년주기와 수온, 광주기의 관계에서 보면 수온이 25°C 이상으로 상승하는 7월부터 난황형성과 정자형성이 억제되기 시작하고, 20°C 이하로 수온이 하강하기 시작하는 9~10월부터 난형성과정이나 정자의 형성과정이 시작되는 것으로 보아, 본 종에 있어서 생식소의 발달과 억제는 광주기와 수온 등의 변화에 의하여 조절되어진다고 추정할 수 있다.

Sastry(1988)은 갑각류의 생식년주기에 영향을 주는 환경적인 요인으로는 주로 온도, 광주기, 먹이 이용도 등이 있으며, 온도는 변화율과 정도, 광주기는 기간과 광도, 먹이 이용도는 질과 양이 중요하게 영향을 미치며, 특히 강 하구나 연안에 서식하는 종은 염분 농도가 중요한 요인으로 작용한다고 설명하고 있다. 갑각류의 십각류(Decapoda)중, 생식소의 발달에 미치는 수온과 광주기에 대해 조사한 연구보고는 계류에서는 찾아보기 힘들으나, 새우류의 몇 종에 대해서는 단편적인 연구보고들이 있다. Rao et al.(1984)은 담수산 새우류인 *Macrobrachium lanchesteri*에서 생식소의 발달에 대한 수온과 광주기의 영향을 조사한 결과, 광주기는 생식소 발달에 명료한 효과가 없었지만, 고수온(22°C, 26°C)보다 저수온(10°C)의 경우가 생식소의 발달을 촉진시킨다고 보고하였다. 이러한 연구 결과는 본 연구의 동남참게에서 광주기에 관계없이 26°C의 고수온보다 10°C의 저수온이 오히려 생식소 발달을 촉진시킨다는 결과(Fig. 7과 8)를 보여주고 있어서 거의 동일한 현상을 보여주고 있다. 또한, American lobster, *Homarus americanus*(Aiken & Weddy, 1986)에서도 암컷의 생식소 성숙에는 광주기보다는 수온이 중요한 요인이라

고 하고 있다.

그러나 다른 새우류 *Macrobrachium australiense*(Lee & Fielder, 1982)와 *Palaemonetes pugio*(Little, 1968), 그리고 가재류 *Orconectes virilis*(Aiken, 1969)에서 생식소의 성숙 및 산란을 촉진하기 위해서는 수온의 상승과 광주기의 증가가 필요하다고 보고되고 있다. 또한, 동남참게와 같은 장소에 서식하고 산란기가 거의 같은 징거미 새우(*Macrobrachium nipponense*)의 경우는 자연상태에서 산란기의 종료는 광주기가 13L11D 이하로 짧아짐으로써 일어나고, 생식소의 발달 및 산란기의 시작은 10°C 이상의 수온 상승에 의하여 일어나며, 28°C의 고수온에서가 난소가 더 빨리 성숙한다고 보고하고 있다(Han & Kim, 1993). 이처럼, 같은 십각류에 속하고 서식환경과 산란기가 거의 비슷할지라도, 생식소의 발달에 대한 수온과 광주기의 영향은 종에 따라 다르게 나타날 수 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 생식내분비에 관여하는 수온과 광주기의 환경요인은 종에 따라 특이성이 있을 것이라고 생각된다.

한편, 생식소 발달에 영향을 미치는 염분 농도에 대한 연구는 수온이나 광주기에 대한 연구보다 매우 빈약하다. 동남참게와 같이 산란을 위해 하구역이나 연안으로 이동하는 갑각류들 중 일부 새우류들은 적당한 염분 농도가 되지 않으면 성숙하지 않는다고 보고하고 있다(Wickins, 1976). 그러나 본 연구에서 동남참게는 생식소 발달에는 염분 농도가 크게 영향을 받지 않고 있음을 알 수 있었으며(Fig. 9), Kobayashi et al.(1990, 1995)도 동남참게는 담수지역에서 생식소가 성숙한 후 산란을 하기 위해 염분 농도가 높은 하구로 이동한다고 설명하고 있다.

참게류의 산란에 대한 염분 농도의 영향에 대해서 상세하게 조사된 연구는 없으나, 참게류의 유생의 서식과 성장에는 적당한 염분 농도를 필요하다고 알려져 있어서(Kobayashi, 2001; Kwon et al., 1993a, 1993b), 종묘생산을 위해 성숙한 어미 참게를 염분 농도가 비교적 높은 사육 수에서 사육하고 있다. 동남참게의 산란에 미치는 수온, 광주기 및 염분 농도의 영향에 대한 조사에서(Table 1), 난경이 250 μm 이상으로 난황축적이 거의 이루어진 상태의 난모세포들을 가지고 있어도, 난소내 난모세포가 완숙되어 산란으로 이행되어 나가는 데는 10°C 이상의 수온의 상승이 필요함을 알 수 있었다. 또한, 산란을 유도하기 위해서는 사육수내 일정량 이상의 염분 농도가 필요로 하고 있음을 알 수가 있었다. 이러한 난세

포의 완숙이나 산란에 일정량의 염분 농도가 필요로 한다는 것은 난모세포의 완숙이나 산란에 관여하는 내분비학적인 조절 기구는 삼투조절 기구와 매우 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. 따라서 동남참게에 있어서 난모세포의 완숙 및 산란에 필요로 하는 수온의 범위나 염분 농도의 범위에 대하여 더 자세히 연구되어야 하며, 또한 삼투조절 기구와 연관시켜 생식에 대한 생리학적 조사가 더 많이 이루어져야 한다고 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 동의대학교 학술연구비지원(2006-AA090)에 의해서 이루어졌다. 본 실험을 수행하는데 사육 시설과 장치의 일부를 제공해준 국립수산물과학원 남부내수면 연구소에 감사드린다.

인용문헌

- Abe H, Okuma E, Amano H, Noda H, Watanabe K (1999) Role of free D- and L-alanine in the Japanese mitten crab *Eriocheir japonicus* to intracellular osmoregulation during downstream spawning migration. *Comp Biochem Physiol Part A* 123:55-59.
- Aiken DE (1969) Ovarian maturation and egg laying in the cryfish *Orconecyces virilis*: influence. *Can J Zoo* 47: 931-935.
- Aiken DE, Weddy SL (1986) Oocyte maturation and spawning in wild American lobsters(*Homarus americanus*) lack of evidence for significant regulation by photoperiod. *Can J Fish Aquat Sci* 43:1451-1453.
- Cabral, HN, Costa, MJ (1999) On the occurrence of the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*, in Portugal (Decapoda, Brachyura). *Crustaceana* 72:55-58.
- Charniaus-Cotton H (1981) Experimental studies of the reproduction in Maracosteracan Crustaceans. Description of vitellogenesis and its endocrine control. In "Advances in Invertebrate Reproduction" (W.H. Clark Jr. and T.s. Adams, ed) pp.177-186. Elsevier, Amsterdam.
- Han CH (1988) "Physiological studies on the reproductive

- cycle of a freshwater prawn, *Macrobrachium nipponense* (De Haan)" Ph. D. thesis, Faculty of Agriculture, Univ. Tokyo.
- Han CH, Bae HH (1992) Purification of vitellin and the identification of site of vitellogenin synthesis in *Eriocheir japonicus* (Decapoda, Brachyura). Bull Korean Fish Soc 25:432-442.
- Han CH, Kim DJ (1993) Studies on the X-organ of eye-stalk and the photoperiod for the control of gonadal maturation in a freshwater prawn, *Macrobrachium nipponense* (De Haan). Bull Korean Fish Soc 26:76-90.
- Heo YS, Kwon CS, Lee BK, Kim HK, Kim BK, Choi JS, Kim YW (2002) Survival of the early larvae of the freshwater crab, *Eriocheir japonicus* (De Haan) fed on different diets in the laboratory. Korean J Life Sci, 12:407-415.
- Herborg LM, Bentley MG, Clare AS (2002) First confirmed record of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) from the River Tyne, United Kingdom. J Mar Biol Ass UK 82:921-922.
- Herborg LM, Rushton SP, Clare AS, Bentley MG (2003) Spread of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis* H. Milne Edwards) in Continental Europe: analysis of a historical data set. Hydrobiologia 503:21-28.
- Herborg LM, Bentley MG, Clare AS, Last KS (2006) Mating behaviour and chemical communication in the invasive Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*. J Exp Mar Biol Ecol 329:1-10.
- Ingle RW (1986) The Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* a continuous immigrant. London Naturalist 65: 101-105.
- Jang IK, Kim CH (1992) A study on the changes of the molluscan and crustacean fauna after the construction of the Naktong estuary barrage. Bull Korean Fish Soc 25:265-281.
- Kil HJ, Rho HS, Paik SG, Song SJ, Choe BL, Kim W (2005) Benthic fauna on the Hangang estuary. Korean J Environ Biol 23:250-256.
- Kim HS (1973) Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea Vol. 14. (Anomura. Brachyura). pp.467-469.
- Kim CH, Hwang SG (1990) The complete larval development of *Eriocheir japonicus* (De Haan) (Crustacea, Brachyura, Grapsidae) reared in the laboratory. Korea J Zool 33:41-427.
- Kobayashi S (2001) Fecundity of the Japanese mitten crab *Eriocheir japonica* (de Haan). Benthos Res 56:1-7.
- Kobayashi S, Matsuura S (1990) Longitudinal distribution of the Japanese mitten crab in the Kaminokawa River, Kagoshima. Nippon Suisan Gakkaishi 57:1029-1034.
- Kobayashi S, Matsuura S (1995) Maturation and oviposition in the Japanese mitten crab *Eriocheir japonicus* (De Haan) in relation to their downstream migration. Fish Sci 61:766-775.
- Kon T, Honma Y (1970) Studies on the maturity of the gonad in some marine invertebrates-IV, seasonal changes in the testes of tanner crab. Bull Japan Soc Sci Fish 36:1028-1033.
- Kwon CS, Lee BK, Lee CS (1993a) Studies on the seedling production of the freshwater crab, *Eriocheir japonicus* (De Haan). 1. Reproduction ecology. J Aquaculture 6(4): 235-253.
- Kwon CS, Lee BK, Moon TS (1993b) Studies on the seedling production of the freshwater crab, *Eriocheir japonicus* (De Haan). 2. Influence of temperature and salinity on the growth of larvae. J Aquaculture 6(4):255-271.
- Lee BK, Huh MK (2004) Death rate and bioaccumulation on the early development of mitten crab by treatment of cadmium and mercury. Korean J Environ Biol 22(3): 369-375.
- Li X, Dong S, Lei Y, Li Y (2007) The effect of stocking density of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* on rice and crab seed yields in rice. crab culture systems. Aquaculture 273:487-493.
- Little G (1968) Induced winter breeding and larval development in the shrimp, *Palaemonetes pugio* (Caridea, Palaemonida). Crustacea suppl. 2:19-26.
- Lee CL, Fielder DR (1982) Induced spawning in the freshwater prawn, *Macrobrachium australiense* 1950 (Crustacea,

- Decapoda, Palaemonidae). *Aquaculture* 29:45-52.
- Lowe S, Browne M, Boudjelas S (2000) 100 of the world's worst invasive alien species. *Aliens* 12 (Suppl.).
- O'Donovan P, Abraham M, Cohen D (1984) The ovarian cycle during the intermolt in ovigerous *Macrobrachium rogenbergii*. *Aquaculture* 6:347-358.
- Oh BS, Km SY (1998) Experimental culture of the Korean mitten crabs 1. Growth of Korean mitten crabs, *Eriocheir japonicus* at different outdoor culture methods. *J Aquaculture* 11(2):125-132.
- Onken H (1996) Active and electrogenic absorption of Na and Cl across posterior gills of *Eriocheir sinensis*: Influence of shortterm osmotic variations. *J Exp Biol* 199: 901-910.
- Onken H (1995) NaCl absorption across the gill epithelium of the Chinese crab (*Eriocheir sinensis*): Approaching *in vivo* conditions. *Verh Dtsch Zool Ges* 88:1-70.
- Onken H, Graszynski K, Johannsen A, Putzenlechner M, Riestenpatt S, Schirmer C, Siebers D, Zeiske W (1995) How to overcome osmotic stress? Marine crabs conquer freshwater. New insights from modern electrophysiology. *Helgol Meeresunters* 49:715-725.
- Onken H, Riestenpatt S (1998) NaCl absorption across split gill lamellae of hyperregulating crabs: Transport mechanisms and their regulation. *Comp Biochem Physiol Part A* 119:883-893.
- Rao CN, Shakuntala K, Reddy R (1984) Effects of environmental factors on development. *Int J Exp Biol* 22:471-474.
- Riestenpatt S, Onken H, Siebers D (1995) Active absorption of Na and Cl across the gill epithelium of the shore crab *Carcinus maenas*: Voltage-clamp and ion-flux studies. *J Exp Biol* 199:1545-1554.
- Sastry AN (1988) Ecological aspects of reproduction. In "The Biology of Crustacea, Vol. 8, Environmental adaptations" (D. E. Bliss ed) pp.179-270. Academic press, New York.
- Torres G, Charmantier-Daures M, Chifflet S, Anger K (2007) Effects of long-term exposure to different salinities on the location and activity of Na⁺-K⁺-ATPase in the gills of juvenile mitten crab, *Eriocheir sinensis*. *Comp Biochem Physiol Part A* 147:460-465.
- Wickins, JF (1976) Prawn biology and culture. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 14:435-507.
- Wu X, Cheng Y, Sui L, Zeng C, Southgate PC, Yang X (2007) Effect of dietary supplementation of phospholipids and highly unsaturated fatty acids on reproductive performance and offspring quality of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne- Edwards), female broodstock. *Aquaculture* 273:602-613.

(received 10 October 2008, received in revised form 11 November 2008; accepted 12 November 2008)