

아무르불가사리, *Asterias amurensis*의 생식소 발달과 생식주기

김현주 · 유명숙¹ · 백혜자^{1†}

부경대학교 교육대학원 생물교육전공, ¹부경대학교 수산과학대학 자원생물학과

Gonadal Development and Reproductive Cycle of the North Pacific Seastar, *Asterias amurensis*(Echinodermata: Asteroidea)

Hyun-Ju Kim, Myoung-Suk Yoo¹ and Hea-Ja Baek^{1†}

Graduate School of Education, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

¹Department of Marine Biology, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

ABSTRACT : Gonadal development and reproductive cycle of the North Pacific seastar, *Asterias amurensis* captured from the Gosung, Gyeongsangnamdo, between November 2003 and February 2005, was investigated monthly changes of gonadosomatic index(GSI), gonadal development and oocyte size-frequency distribution. Monthly changes of GSI values showed similar trends in female and male. GSI values were reached the maximum in March(3.88±3.04 in female, 0.87±0.57 in male), and then gradually decreased. Based on the monthly changes of GSI, histological observation of gonadal development, reproductive cycle was divided into following successive stage: growing stage(October to January), mature stage(February to March), spent stage(March to April), degeneration and resorption stage(April to May), recovery stage(July to September). based on these result, this species seemed to have a synchronous oocyte development and one spawning season a year.

Key words : Echinodermata, Reproductive cycle, *Asterias amurensis*, GSI.

요 약 : 아무르불가사리의 생식소 발달과 생식주기를 밝히기 위하여 2003년 11월부터 2005년 2월까지 경상남도 고성 연안 해역에서 채집된 개체들을 대상으로 생식소 속도지수 (GSI)의 월별변화, 생식소 발달과정 및 생식소 발달 단계별 난경 변화를 조사하였다. 생식소속도지수의 월별 변화는 암컷과 수컷이 유사한 경향을 보였으며 암컷은 3.88±3.04, 수컷은 0.87±0.57의 값으로 3월에 연중 최대값을 가지다가 이후 서서히 감소하였다. GSI의 월별 변화와 생식소 발달의 조직학적 관찰을 근거로 생식 주기는 회복기(6~9월), 성장기(10~1월), 성숙기(2~3월), 방출기(3~4월), 퇴화 및 흡수기(4~5월)의 연속적인 주기로 구분되었다. 아무르불가사리의 난발달 양상은 동시발달형이고 년 1회 산란하는 것으로 보인다.

서 론

불가사리는 극피동물문에 속하는 해양 저서 생물로, 북대평양 연안과 캐나다 북부 해역, 일본, 중국에 걸쳐 분포하고 있으며(Onguru & Okutani, 1991) 우리나라에서는 제주도, 울릉도, 독도 등 일부 지역을 제외한 전 연안에 분포하고 있다(Shin & Rho, 1996). 이들 불가사리 중 특히 우리나라에 대량으로 서식하는 아무르불가사리의 경우, 산란 시기에 연안에 집중되며, 전복, 바지락, 피조개, 가리비 등 패류를 그 먹이로 하고 있어 패류 양식 산업에 크게 피해를 주고 있다.

불가사리의 막대한 번식력과 섭식력, 그리고 높은 재생력

은 패류 양식에 대한 피해뿐 아니라 해양 생태계의 안정성을 파괴하기도 한다. 삼면이 바다로 둘러싸여 해양생물들이 중요한 자원으로 이용되는 우리나라에서는 이들 해양자원의 보호를 위해 각종 구제 방법 및 활용에 대한 모색이 시급한 실정이다.

현재 국내의 경우에는 양식 패류에 대한 섭식 선호도(Park & Kim, 1985)와 양식 패류에 대한 불가사리 종류별 포식 특성에 관한 연구(Kang *et al.*, 2000), 별불가사리의 성 성숙과 생식주기(Choi *et al.*, 2006), 초기 배 발생에 미치는 온도의 영향(Yu *et al.*, 1998), 아무르불가사리의 분포 특성과 서식처에 따른 먹이 선호도 비교(Paik *et al.*, 2004)등의 연구가 보고되고 있다. 한편 외국의 경우는 불가사리의 난질과 유생 사육 및 적응성에 관한 보고(George, 1999) 및 포식 행동(Allen, 1983), *Asterias rubens*의 염분 환경 내성(Tsuchimori

[†] 교신저자: 부경대학교 수산과학대학 자원생물학과. (우) 608-737, (전) 051-620-6261, (팩) 051-628-7430, E-mail: hjbaek@pknu.ac.kr

et al., 1987)에 관한 연구 등이 보고되고 있다.

본 연구는 산란기가 되면 특히 연안에 집중되어 해양 생물 자원에 막대한 피해를 미치고 있는 아무르불가사리의 번식 특성을 파악하고자 생식소속도지수(GSI, gonadosomatic index)의 월별 변화, 생식소 발달과정 그리고 생식소 발달 단계별 난경변화를 조사하였다

재료 및 방법

본 연구에 사용된 아무르불가사리, *Asterias amurensis*는 경상남도 고성군 동화리 연안에서 통발을 이용하여, 2003년 11월부터 2005년 2월까지 채집하였다.

채집된 개체들은 실험실로 옮긴 후, 해부하기 전 모든 개체들의 체장(Radius length)과 체중(body weight)을 측정하였다. 이때 체장은 각 개체의 5개 완(arm) 중에서 가장 긴 완을 대상으로 측정하였으며 불가사리의 입(mouth)에서부터 완의 가장 끝부분까지의 길이를 측정하였다. 체장은 Vernier caliper를 이용하여 0.01cm 범위까지, 체중은 전자 저울을 이용하여 0.01g까지 측정하였으며 이후 해부를 통하여 분리한 생식소는 0.0001g까지 측정하였다.

채집된 개체들은 월별로 20여 개체씩 총 273개체를 대상으로 생식소 속도의 변화를 조사하였으며, 생식소속도지수(Gonadosomatic index: GSI)는 gonad weight / body weight $\times 100$ 의 식을 사용하여 구하였다.

조직학적 관찰을 위해 해부를 통하여 분리된 생식소는 Bouin's solution에 24시간 고정시킨 뒤 washing과 dehydration 과정을 거쳐 paraffin으로 포매하였다. 포매된 조직은 파라핀 절편법에 의해 두께 5~6 μm 의 절편으로 제작한 후, Mayer's hematoxylin과 0.5% eosin을 사용하여 핵과 세포질을 비교 염색하였다.

월별 난경조성 변화는 Image analyzer를 이용하여 조직표본에서 정상적으로 핵이 절편된 난의 (장경+단경)/2로 측정하여 이들의 상대적 출현율로 나타내었다.

결 과

1. 생식소의 외부 형태

아무르불가사리는 자웅이체이며 생식소는 5개의 완(arm) 내부에 각각 1쌍씩 포도송이 모양의 소낭 구조로 구성되어 있다(Fig. 1).

아무르불가사리의 생식소는 미성숙 상태에서는 외형적으로 난소와 정소의 구분이 어려우나 성숙 시기에 이르면 난소

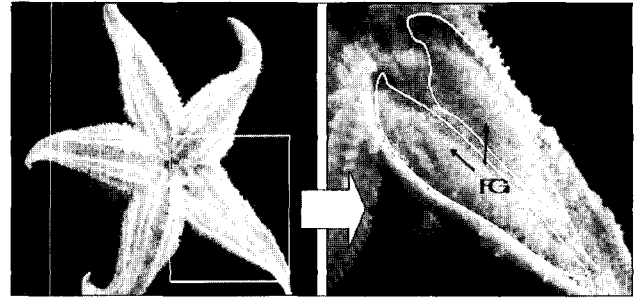


Fig. 1. The morphology of ovary in the *Asteria amurensis* was photographed. FG; Female gonad.

는 주황색을 띠면서 완 내부의 분포 면적을 증가시켜 완을 가득 채울 만큼 비후해지고, 정소는 연한 우유빛을 띠므로 암수 구분이 가능하였다.

2. 생식소속도지수(GSI, Gonadosomatic index)의 월 변화

아무르불가사리의 생식소속도지수(GSI) 월 변화는 Fig. 2와 같다.

암컷의 월별 GSI 변화는 10월부터 서서히 증가하기 시작하여 3월에 3.88 ± 3.04 로 연중 최대값을 보였다. 이후 4월부터 감소하기 시작하여 6월에서 9월까지 $0.27 \pm 0.15 \sim 0.32 \pm 0.25$ 로 연중 가장 낮은 값을 유지하였다.

수컷의 GSI 월 변화 역시 암컷의 GSI 변화 양상과 유사하게 나타났다. 수컷은 11월부터 증가하기 시작하여 3월에 0.87 ± 0.57 로 연중 최대값을 가진다. 이후 4월부터 감소하다가 6~10월에 $0.16 \pm 0.12 \sim 0.29 \pm 0.28$ 로 연중 최저값을 나타내었다.

3. 생식소의 조직학적 변화

1) 난소

회복기에는 난소내 소낭상피 조직이 재구성되면서 소낭상피벽을 따라 새로운 난원세포와 초기 난모세포들이 배열하고 있는 모습을 볼 수 있으며 이때 난모세포들의 크기는 직경 5~15 μm 정도로 아주 작았다(Fig. 3A, B).

초기 성장기에는 난원세포가 활발하게 분열 증식하여 직경 15~30 μm 의 초기 난모세포들이 난소 소낭 상피를 따라 배열하기 시작하였다. 이들 난모세포는 점점 한쪽 끝이 뾰족한 배 모양을 형성하여 내강을 향해 발달하고 있었으며(Fig. 3C, D) 이후 본격적인 성장기에 접어들면, 배 모양을 하고 있던 난모세포들은 점점 구형으로 변하였다. 난소소낭 상피는 점점 얇아지고 난모세포들은 상피로부터 분리되어 내강을 향해 확장되어가며 난의 크기도 50~60 μm 로 증가하였다. 이 때

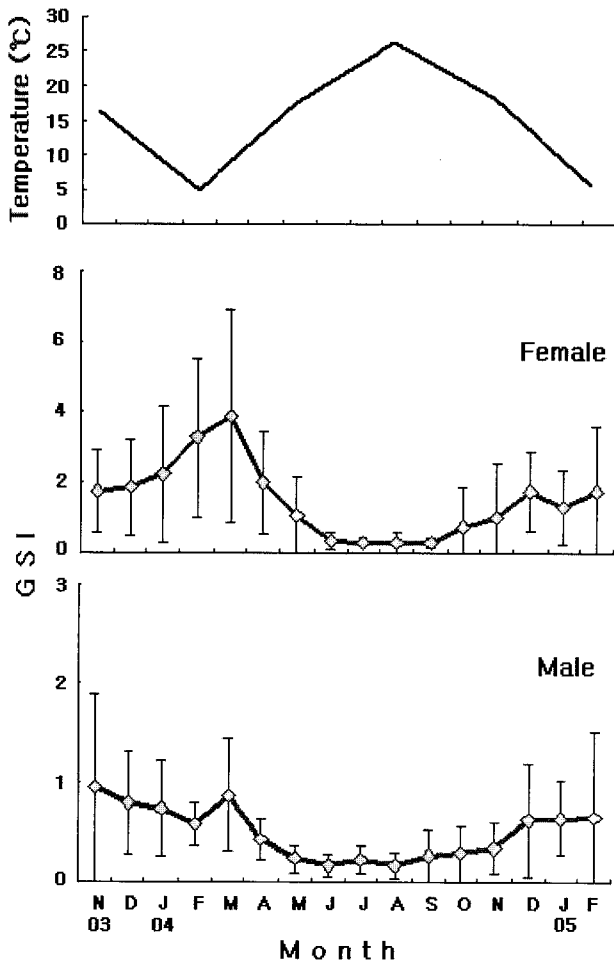


Fig. 2. Monthly changes in water temperature and gonadosomatic index(GSI) in female and male of *Asterias amurensis*. Vertical bars indicate \pm SD.

는 난세포질에 대한 핵의 비율이 높아지며 핵 내에는 강한 호염기성 반응을 나타내는 한 개의 뚜렷한 인이 관찰되었다 (Fig. 3E). 세포질에는 난황을 형성중이거나 난소소낭 상피를 따라 난황축적 이전의 난모세포들도 여전히 존재하였다.

성숙기에 접어들면 난모세포들은 난소소낭 상피 외막으로부터 유리되어 난소소낭 내강을 가득 채우고 있었으며(Fig. 3F) 난핵의 이동도 관찰되었다(Fig. 3G, H). 성숙한 개체의 난소소낭 상피상에는 일부 초기 성장 중인 난모세포와 난황 형성 중인 난모세포도 존재하지만 대부분의 소낭내에는 세포질에 난황이 다량 축적된 직경 70~90 μ m의 성숙 난모세포들로 가득 채워져 있는 것을 관찰할 수 있었다.

성숙란으로 가득 채워져 있던 내강은 방란기에 접어들면서 난의 방출로 인해 내강 내에 빈 공간이 관찰되었으며 난소소낭은 위축되기 시작하였다(Fig. 3I).

퇴화흡수기에는 일부 잔존하는 성장기 난모세포와 방출

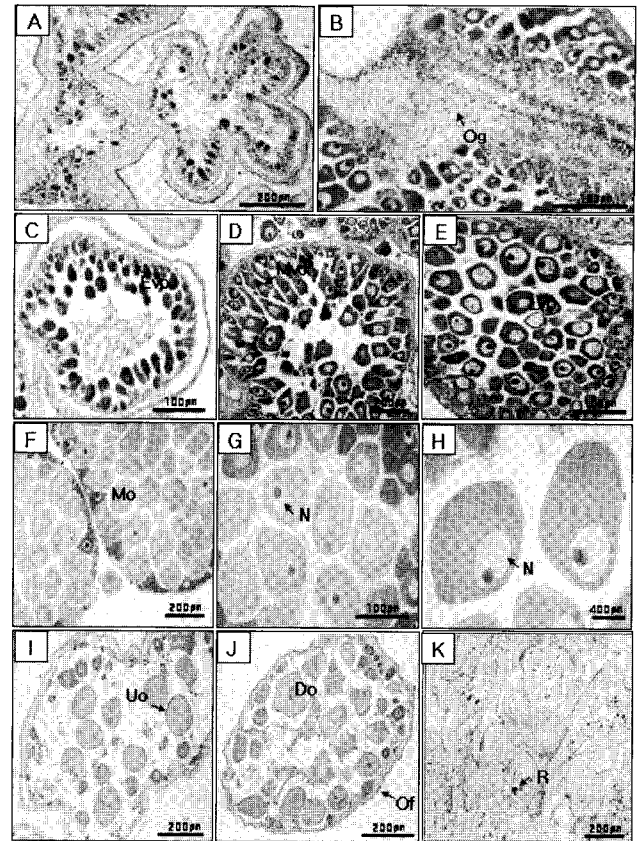


Fig. 3. Photomicrographs of the ovarian development of *Asterias amurensis*. A and B: recovery stage, C and D: early growing stage, E: Late growing stage, F, G and H: Mature stage, I: spent stage, J and K: degeneration and resorption stage (Evo : Early vitellogenic oocyte, Mvo: Middle vitellogenic oocyte, Lvo: Late vitellogenic oocyte, Og: Oogonium, Mo: Mature oocyte, N: Nucleus, Uo: Unspawned oocyte, Do: Degenerative oocyte, R: Resorption, Of: oogenic follicle).

되지 못한 성숙 난모세포들이 퇴화 흡수되는 것을 관찰할 수 있었으며 퇴화 흡수가 진행될수록 난소소낭은 점차 위축되면서 소낭 상피조직은 두터워지기 시작하였다(Fig. 3J, K).

2) 정소

회복기 상태의 정소소낭은 상피 조직층이 두꺼워지면서 재정비된 소낭상피 벽을 따라 정원세포가 관찰되기 시작하였다(Fig. 4A).

성장기에는 정소소낭 상피를 따라 정원세포가 활발하게 분열 증식하는 모습이 관찰되었으며, 정원세포는 정모세포로 발달해가고 점점 내강을 향해 확장되어 갔다(Fig. 4B, C). 성숙 초기에 접어들면서 일부 정모세포는 성숙 분열을 마치고 정세포로 되며 이때 정소소낭 상피막에서 부터 내강을 향하

여 정원세포군과 정모세포군, 그리고 정세포들이 층상 배열을 나타내고 있었다. 내강에는 일부 변태중인 정자도 관찰되었다(Fig. 4D, E).

성숙기의 소낭 내강은 정자들로 가득 차 있었으며 성숙이 진행됨에 따라 정소소낭 상피막은 점점 얇아졌다(Fig. 4F, G). 이 후, 방정기에 접어들면서 정자로 가득 차 있던 내강은 정자가 방출되면서 빈 공간이 관찰되었다(Fig. 4H). 퇴화 흡수기에는 정자가 거의 방출되어 내강은 대부분 비어 있었으며 방정 후 내강 속에 존재하고 있던 미 방출된 정자는 퇴화 흡수되었다. 정소 소낭 상피는 두터워지나 소낭 자체의 크기는 위축되어 주름진 모양을 하고 있었으며 외막과 내막으로 구분되었다(Fig. 4I).

4. 생식주기

매월 채집된 개체의 GSI와 생식소 조직상의 발달 단계를

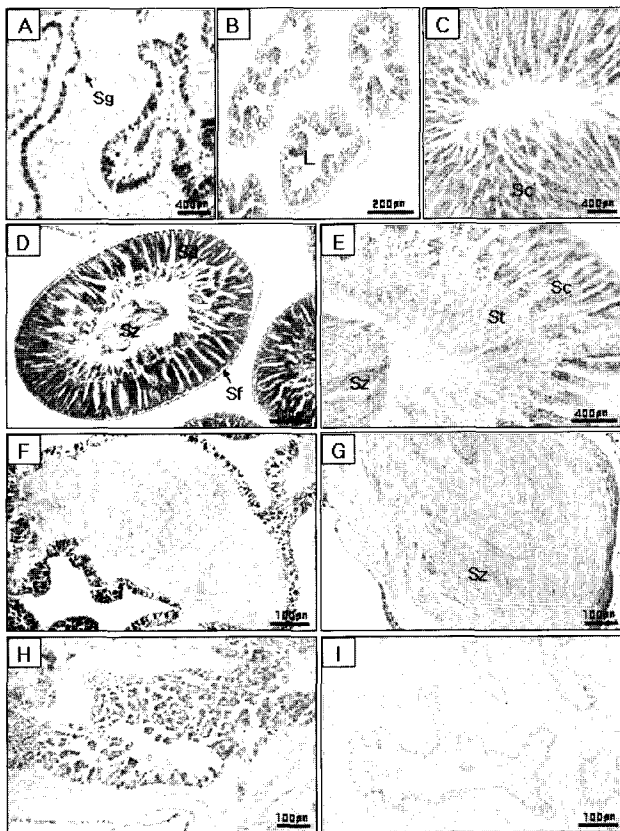


Fig. 4. Photomicrographs of the testicular development of *Asterias amurensis*. A: recovery stage; B and C: growing stage; D: early mature stage; E: detail of Fig. D; F and G: mature stage; H: spent stage; I: degeneration and resorption stage(L: lumen; Sc: spermatocyte; Sg: spermatogonium; Sd: spermatocyte columns; Sr: spermatid; Sz: spermatozoa Sf spermatogenic follicle).

관찰한 결과, 아무르불가사리의 생식 주기는 Fig. 5와 같았으며 회복기(6~9월), 성장기(10~1월), 성숙기(2~3월), 방출기(3~4월), 퇴화 및 흡수기(4~5월)로 구분되었다.

암컷의 경우, 회복기 개체가 6월에 66.7%, 7~8월에는 100%의 비율을 차지하고 있으며 10월까지 높은 비율을 나타내고 있었다. 성장기 개체는 9월부터 나타나기 시작하여 2003년 11~12월에 각각 60%와 50%를 나타내고, 2004년 11~12월에는 50%와 64%를 나타내었다. 성숙 개체는 11월부터 일부 관찰되기 시작하여 2월에 80%, 3월에 50%의 비율을 보였다. 방란기는 4월에 50%로 가장 높은 값을 나타냈으며 퇴화 및 흡수기도 4~5월에 각각 50%와 57%를 나타내었다.

수컷의 경우도 암컷과 유사한 경향을 보였다. 회복기의 개체는 6월에 88%, 8~9월에 100%의 비율을 차지하다가 10월에 접어들면서 줄어들었다. 성장기 개체는 11월 86%, 12월 75%, 1월 78%의 비율을 나타내었다. 성숙 개체는 2월에 44%, 3월에 20% 비율을 나타내었으며 방정기는 3월에 60%를 나타내다가 4월에 30%, 5월에 8%로 서서히 감소하였다. 퇴화 및 흡수기는 3월(20%)부터 나타나지만 4월(70%)과 5월 (62%)에 가장 높게 나타났다.

5. 월별 난경 조성 변화

아무르불가사리의 난소 내 월별 난경 조성 변화를 조사한 결과는 Fig. 6과 같다.

아무르불가사리의 난경은 성숙 시기인 2월의 개체에서 70

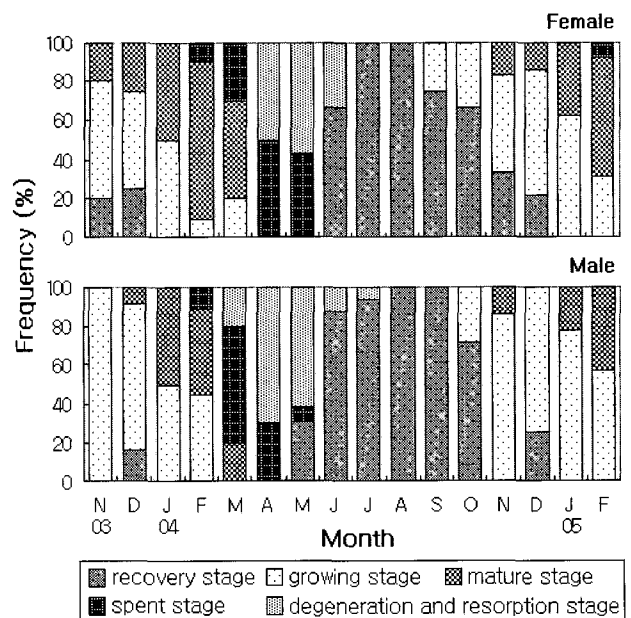


Fig. 5. Frequency of gonadal development phase of *Asterias amurensis* from November 2003 to February 2005.

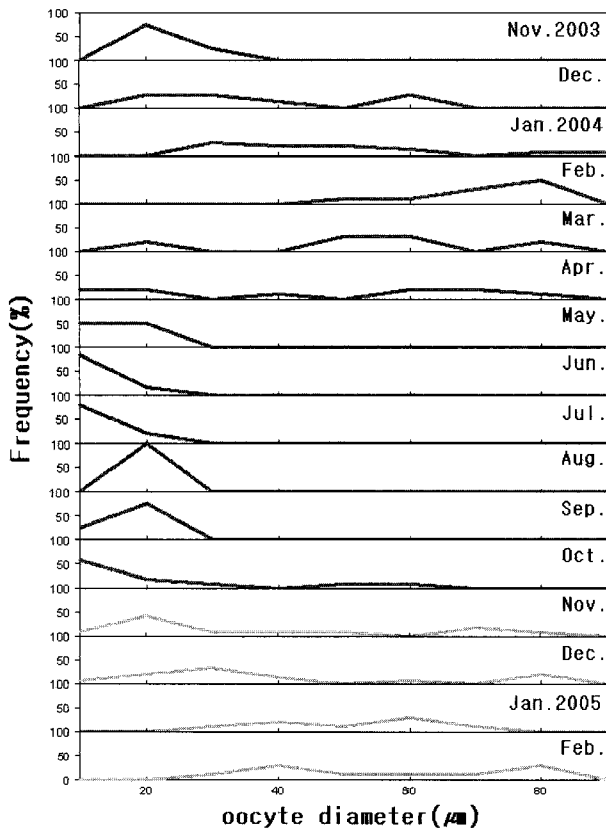


Fig. 6. Monthly change of oocytes diameter in the ovary of *Asterias amurensis* from November 2003 to February 2005.

μm 이상의 성숙란들이 나타나고 있으며 $70\sim 80\mu\text{m}$ 의 난모세포가 30%, $80\sim 90\mu\text{m}$ 의 난모세포가 50% 이상을 차지하고 있었다. 산란이 시작되는 3월이 되면 $70\sim 90\mu\text{m}$ 크기의 성숙 난모세포들은 현저히 감소하고 $40\sim 60\mu\text{m}$ 크기의 난모세포가 60%로 대부분을 차지하고 있으며 $20\mu\text{m}$ 이하의 어린 난모세포군(20%)도 일부 관찰되었다. 5월 이후 성숙 난모세포군들은 대부분 방란되어 보이지 않았으며, 9월까지 $30\mu\text{m}$ 이하의 난모세포군으로 구성되어 있었다. 이후, 초기 성장기인 10월에 이르러 여전히 어린 난모세포군들이 우점하고는 있으나 $30\mu\text{m}$ 이상의 난모세포군이(25%) 출현하기 시작하였으며 11월 이후가 되면 $60\mu\text{m}$ 이상의 난모세포군도(25%) 관찰되었다.

고 찰

해양 무척추동물 중 불가사리는 분류학적으로 극피동물문, 불가사리아문, 불가사리강으로 분류되며 불가사리의 생식주기 및 성 성숙에 관여하는 외부 환경요인으로 광주기,

월주기, 염분, 해수, 온도, 먹이의 이용 등이 있다고 알려져 있다(Pearse *et al.*, 1986; Bouland & Jangoux, 1988).

일반적으로 해양 무척추동물의 생식 시기는 먹이의 조성 및 풍부 정도에 따라 생식력이 결정되기도 하며(Jara-millo & Navarro, 1995), 종의 지리적 위치에도 관계가 있어서 열대 지역의 종은 생식 시기가 길고 한대 지역의 종은 생식 시기가 짧아 위도에 따른 빛이나 수온의 차이가 생식 특성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Fretter, 1984). Brousseau (1995)는 산란의 첫 번째 자극 요인은 수온이라고 보고하였으며 수온에 따라 수중 생물의 산란 유형을 변화시키거나 산란에 영향을 가져올 수 있다고 하였다. 광주기도 생식 주기에 관여하는 것으로 알려져 있는데 *Coscinasterias tenuispina* (Alves *et al.*, 2002), *Sclerasterias mollis*^v (Xu & Barker, 1990a)는 연중 광주기가 짧은 시기에 성장을 하여 광주기가 길어지는 시기에 산란을 하며 Tasmanian 지역의 *Asterias amurensis*는 이와는 대조적인 주기를 가진다고 보고되어 있다(Byrne *et al.*, 1997).

본 연구에서 사용된 고성 지역 아무르불가사리의 GSI는 수온이 하강하고 연중 일장 주기가 짧아지는 10월경부터 증가하기 시작하며 3월에 최고값을 보이고 있다. 이 시기의 암컷의 난소 내에서는 난황형성기 난모세포와 성숙란들이 활발하게 분포하고 있으며 수컷에는 정소 내에 정세포 및 정자가 내강을 가득 채우고 있다. 수온이 서서히 증가하기 시작하는 3~4월경부터 난소를 가득 채우고 있던 성숙란들은 방출되기 시작하여 GSI는 감소하고 정소에서는 정자의 방정 흔적이 관찰된다. 수온이 높고 광주기가 긴 여름동안 GSI는 최저값을 유지하는 특성을 보임으로써 아무르불가사리는 수온과 일장에 의한 산란의 계절적 주기를 보이는 것으로 관찰되었다.

Booolootian *et al.* (1962)는 연체 동물의 산란 습성을 연중 산란하는 종(year-around breeder), 늦봄과 초가을 사이에 산란하는 하계 산란종(summer breeder), 늦가을과 다음해 이른 봄 사이에 산란하는 동계 산란종(winter breeder)으로 구분하고 있다. 이러한 구분을 기준으로 브라질에 서식하는 *Coscinasterias tenuispina*의 경우, 늦은 겨울에서 이른 봄 사이에 산란기를 가지는 동계 산란형(Alves *et al.*, 2002)으로, 늦봄과 이른 여름 사이에 주 산란기를 가지는 *Asterina stellifera*는 하계 산란형(Carvalho & Ventura, 2002)으로 보고되고 있다.

본 연구에서의 경남 고성 지역 아무르불가사리는 3~5월에 산란을 함으로써 산란 시기가 봄철로 보고되는 *Allostichaster capensis*(Rubilar *et al.*, 2005)의 경우와 유사하게 나타났다.

불가사리류의 난모세포 발달 단계에 따른 난모세포의 발달 형태는 *Astropecten brasiliensis*(Ventura *et al.*, 1997), *A. ca-*

pensis(Rubilar *et al.*, 2005)는 동시 발달형의 특성을 가지고 있고, Brazil의 *Astropecten cingulatus*는 비동시 발달형의 특성을 가지고 있다고 보고되었다(Ventura *et al.*, 1998). 또한 *A. stellifera*는 동시 발달형이면서 Australia의 *Coscinasterias muricata*(Georgiades *et al.*, 2005; Crump & Barker 1985)와 같이 다회 산란의 특성을 가지고 있다. 아무르불가사리 성숙시기의 난모세포발달 단계를 보면 성숙기 난소 내에는 일부 미발달된 난모세포도 분포하고 있지만, 성숙난모세포가 대부분을 차지하여 *A. brasiliensis*, *A. stellifera*와 같이 난모세포가 한꺼번에 배란되는 동시 발달형(synchronous pattern)에 가까운 것으로 추정할 수 있었다.

본 연구에서 아무르불가사리의 난군발달 양상을 보면, 성숙 시기인 2월이 되면 70~90 μm 크기의 난모세포들이 대다수를 차지하고 있으며 3월부터 산란이 시작되면서 70~90 μm 크기의 난모세포들의 수는 현저히 감소하고 40~60 μm 크기의 난모세포가 대부분을 차지하고 있다. 5월 이후 20 μm 이하 작은 크기의 난모세포들이 유지되면서 방란기가 지난 후 생식소 내에 잔존하던 미방출 생식세포들은 퇴화, 흡수되고 회복기에 접어들게 된다. 경남 고성 해역의 아무르불가사리는 회복기, 성장기, 성숙기, 방란기, 퇴화 및 흡수기를 주기적으로 거치면서 산란 시기에 연 1회의 산란을 하는 것으로 생각된다.

본 연구에서 경남 고성 해역의 아무르불가사리는 생식소 속도지수의 월별 변화(GSI), 생식소 발달 과정, 생식소 발달 단계별 난경 변화의 결과를 토대로 생식년 주기를 5단계, 즉 6~9월은 회복기, 10~1월은 성장기, 2~3월은 성숙기, 3~4월은 방출기, 4~5월은 퇴화 및 흡수기로 구분할 수 있었으며, 아무르불가사리의 산란 시기는 3월에서 5월 사이인 것으로 조사되었다.

인용문헌

- Allen PL (1983) Feeding behavior of *Asterias rubens* (L.) on soft bottom bivalves: a study in selective predation. *J Exp Mar Biol Ecol* 70:79-90.
- Alves SLS, Pereira AD, Ventura CRR (2002) Sexual and asexual reproduction of *Coscinasterias tenuispina* (Echinodermata: Asteroidea) from Rio de Janeiro, Brazil. *Mar Biol* 140:95-101.
- Booolootian RA, Farmanfarmaian A, Giese AC (1962) On the reproductive cycle and breeding habits of two western species of *Haliotis*. *Biol Bull* 122:183-193.
- Bouland C, Jangoux M (1988) Investigation of the gonadal cycle of the asteroid *Asterias rubens* under static condition. In: Burke RD, Mladenov PV, Lambert P, Parsley RL (Eds.), *Echinoderm Biology*. Balkema, Rotterdam, pp 169-175.
- Brousseau DJ (1995) Gametogenesis and spawning in intertidal oysters(*Crassostrea virginica*) from western Long Island Sound. *J Shellfish Res* 14: 483-487.
- Byrne M, Morrice MG, Wolf B (1997) Introduction of the northern Pacific asteroid *Asterias amurensis* to Tasmania; reproduction and current distribution. *Mar Biol* 127:673-685.
- Carvalho ALPS, Ventura CRR (2002) The reproductive cycle of *Asterina stellifera*(Moebius)(Echinodermata: Asteroidea) in the Cabo Frio region, southeastern Brazil. *Mar Biol* 141:947-954.
- Choi IY, Lee JS, Yoo MS (2006) Sexual maturation and reproduction cycle of the Bat star, *Asterina pectinifera* (Echinodermata: Asteroidea). *J Kor Fish Soc* 39:27-34.
- Crump RG, Barker MF (1985) Sexual and asexual reproduction in geographically separated populations of the fissiparous asteroid *Coscinasterias calamaria*(Gray). *J Exp Mar Biol Ecol* 88:109-127.
- Fretter R (1984) Preosobranchs. In: Tompa AS, Verdonk NH, Van Den Biggelaar JAM (eds.), *The Mollusca* Vol 7. Academic Press, New York, pp 1-45.
- George SB (1999) Egg quality, larval growth and phenotypic plasticity in a forcipulate seastar. *J Exp Mar Biol Ecol* 237:203-224.
- Georgiades ET, Temara A, Holdway DA (2006) The reproductive cycle of the asteroid *Coscinasterias muricata* in Port Phillip Bay, Victoria, Australia. *J Exp Mar Biol Ecol* 332:188-197.
- Hatanaka M, Kosaka M (1958) Biological studies on the population of the starfish, *Asterias amurensis*, in Sendai Bay. *Tohoku J Agric Res* 9:159-178.
- Jara-millo R, Navarro J (1995) Reproductive cycle of the Chilean ribbed mussel *Aulacomya ater* (Molina, 1782). *J Shellfish Res* 14:165-171.
- Kang KH, Kim JM, Oh ST (2000) Predation of *Asterias amurensis* and *Asterina pectinifera* on valuable bivalves at different water temperature. *Kor J Malacol* 16:17-20.

- Kim YS (1968) Histological observations of the annual change in the gonad of the starfish *Asterias amurensis* lutken. Bull Fac Fish Hokkaido Univ 19:97-108.
- Kim YS (1969) Selective feeding on the several bivalve molluscs by starfish, *Asterias amurensis* Lutken. Bull Fac Fish Hokkaido Univ 19:244-249.
- Onguru C, Okutani T (1991) Echinoderms from continental shelf and slope around Japan. Vol. II. Japan Fish Res Con Ass Tokyo, 204 pp.
- Paik SG, Park HS, Yun SG, Yi SY (2004) Distribution pattern and feeding preference of *Asterias amurensis* (Echinodermata: Asteroidea) in Tongyeong, Korea. J Kor Fish Soc 37:469-477.
- Park MS, Kim BY (1985) Feeding behaviour of the starfish, *Asterias amurensis*(Lutken). Bull Fish Res Dev Agency, Busan 34:171-174.
- Pearse JS, Eernisse DJ, Pearse VB, Beauchamp KA (1986) Photoperiodic regulation of gametogenesis in sea stars, with evidence of an annual calendar independent of fixed daylength. Am Zool 26:417-431.
- Pearse JS, Walker CW (1986) Photoperiodic regulation of gametogenesis in a North Atlantic sea star *Asterias vulgaris*. Int J Invert Reprod Dev 9:71-77.
- Rubilar T, Pastor de Ward CT, Diaz de Vivar ME (2005) sexual and asexual reproduction of *Allostichaster capensis*(Echinodermata: Asteroidea) in Golfo Nuevo. Mar Biol 146:1083-1090.
- Sarantchova OL (2001) Research into tolerance for the environment salinity in sea starfish *Asterias rubens* L. from populations of the White Sea and Barentz Sea. J Exp Mar Biol Ecol 264:15-28.
- Shin S, Rho BJ (1996) Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea. Vol. 36. Echinodermata. Ministry of Education. 780 pp.
- Tsuchimori N, Miyashiro S, Shibai H, Ikegami S (1987) Isolation and identification of a specific and reversible inhibitor of starfish development. Federation of European Biochemical societies 218:205-208.
- Ventura CRR, Falcao APC, Santos JS, Fiori CS (1997) Reproductive cycle and feeding periodicity in the starfish *Astropecten brasiliensis* in the Cabo Frio upwelling ecosystem (Brazil). Invert Reprod Dev 31:135-141.
- Ventura CRR, Santos JS, Falcao APC, Fiori CS (1998) Reproduction and food intake in *Astropecten cingulatus* (Asteroidea: Paxillosida) in the upwelling environment of Cabo Frio (Brazil). In: Mooi R, Telford M (eds.), Proceedings of the 9th International Echinoderms Conference, San Francisco August 1996. Balkema, Rotterdam, pp 313-318.
- Xu RA, Barker MF (1990a) Photoperiodic regulation of oogenesis in the starfish *Sclerasterias mollis*(Hutton 1872) (Echinodermata: Asteroidea). J Exp Mar Biol Ecol 141: 159-168.
- Yu CM, Chol BS, Kook SW (1998) Temperature Effects on Early Development of Two Starfishes, *Asterina pectinifera* and *Asterias amurensis*. Korean J Environ Biol 16:223-228.