

# 별불가사리, *Asterina pectinifera*의 성 성숙과 생식주기

최인영\* · 이정식<sup>1</sup> · 유명숙  
 부경대학교 자원생물학과, <sup>1</sup>여수대학교 수산생명의학과

## Sexual Maturation and Reproduction Cycle of the Bat Star, *Asterina pectinifera* (Echinodermata: Asteroidea)

In Young CHOI\*, Jung Sik LEE<sup>1</sup> and Myoung Suk YOO  
 Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 600-767, Korea  
<sup>1</sup>Department of Aqualife Medicine, Yosue National University, Yosue 550-749, Korea

Sexual maturation and reproductive cycle of the bat star *Asterina pectinifera* were investigated by histological method. Specimens were collected monthly in Donghwari, Gosunggun, Korea from January 2004 to February 2005. The bat star was dioecious. The gonads are composed of a number of gametogenic follicles. The gonadosomatic index (GSI) of female and male were reached the maximum in July (5.72, 4.54) and the minimum in December (0.89) and January, February (0.51), and the gonad index (GI) of female and male were reached the maximum in July (3.53, 3.91) and the minimum in August (0.95) and October to December (1.0), respectively. The main spawning was from August to September. The reproductive cycle of the bat star could be divided into five stages: in the female, inactive (November-February), early active (January-February), late active (March-June), ripe (July), spent and degenerative (August-November) and in the male, inactive (November-February), early active (January-March), late active (April-June), ripe (July), spent and degenerative (August-October), respectively.

Key words: *Asterina pectinifera*, GSI, GI, Reproductive cycle

### 서론

일반적으로 저서군집생활을 하는 불가사리는 매년 증가하여 다른 무척추동물 자원에 심각한 영향을 주기도 한다 (Christensen, 1970; Masse, 1975; Morin et al., 1985). 생태계의 군집구조에서 상위단계에 속하는 불가사리는 국내의 경우에도 패류양식장에서 포식자로 심각한 피해를 유발하기도 한다.

불가사리강에 속하는 여러 종들의 생식에 관한 연구는 많은 연구자들에 의해 보고되고 있지만 (Crump, 1971. Scheibling, 1981; Boivin et al., 1986; Barker and Xu, 1991; Byrne et al., 1997; Freeman et al., 2001; Carvalho and Ventura, 2002), 국내에 서식하는 별불가사리, *Asterina pectinifera*에 대한 생식생물학적인 연구는 난자형성 과정 중 난모세포 표면의 미세구조적 변화 (Lee and Han, 1994)를 제외하고는 찾아보기 힘든 실정이다.

본 연구는 조직학적인 방법을 통하여 별불가사리, *Asterina pectinifera*의 생식소 구조, 생식소숙도지수, 성 성숙, 생식소의 계절적 변화 및 군 성숙도를 조사하여 이들의 생식생물학적인 기초 자료를 파악하였다.

### 재료 및 방법

본 연구에 사용된 별불가사리, *Asterina pectinifera*는 2004년 1월부터 2005년 2월까지 경남 고성군 하일면 동화리 인근

해역 (Fig. 1)에서 채집된 개체들로서 암컷 209개체, 수컷 156개체를 분석에 이용하였다.

채집한 개체는 Vernier caliper를 이용하여 radius length (R)를 입(mouth)에서부터 가장 긴 완(arm)의 끝까지를 0.01 mm가

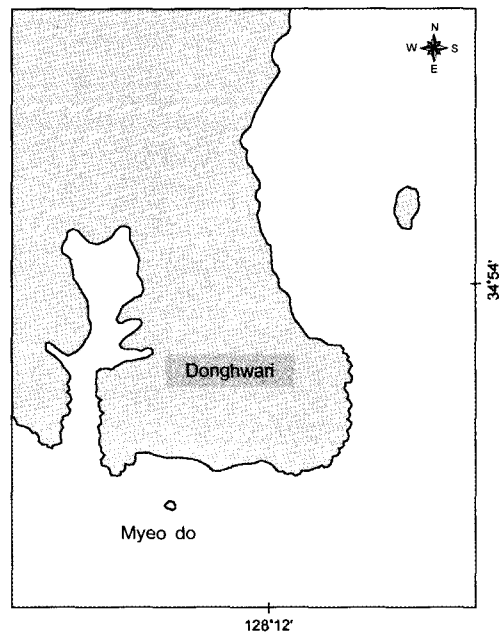


Fig. 1. Sampling area of the bat star, *Asterina pectinifera*.

\*Corresponding author: choi4689@hanmail.net

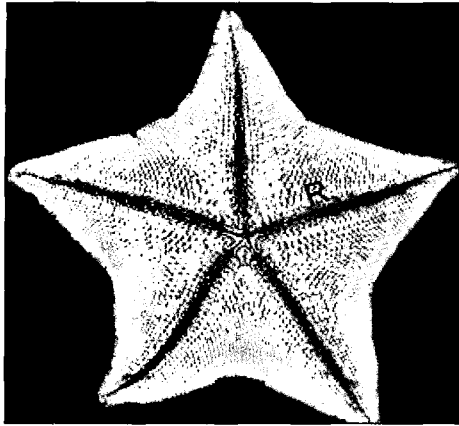


Fig. 2. Morphometric measurement of the bat star, *Asterina pectinifera*. R, radius length.

지 측정하고(Fig. 2), 전자저울을 이용하여 전중량(total weight)과 육중량(body weight) 그리고 생식소 중량(gonad weight)을 0.01 g까지 측정하였다. 그 후 적출한 실험개체들의 생식소 조직 일부는 Bouin's solution에 일정시간 고정 한 후 파라핀 절편법으로 두께 5 μm의 조직표본을 제작하였다. 염색은 Mayer's hematoxylin과 0.5% eosin으로 비교염색을 시행하였다.

생식소숙도지수(GSI, Gonadosomatic index)는 채집된 개체들을 해부하여 생식소를 적출하고, (생식소 중량(gonad weight) / 전중량(total weight) - 생식소 중량(gonad weight)) × 100으로 계산하였다.

생식소지수(GI, Gonard index)는 아래와 같이 Eversole (1997)의 방법을 일부 수정하여 이용하였다. 조직표본 관찰 결과 생식소 발달단계를 미발달기(In, inactive stage), 초기발

달기(Ea, early active stage), 후기발달기(La, late active stage), 성숙기(R, ripe stage), 방출 및 퇴화흡수기(Sp/de; spent and degenerative stage)의 5단계로 나누고 매월 각 개체에 대하여 단계별로 상수(In=1, Ea=2, La=3, R=4, Sp/de=1)를 곱한 전체의 합을 개체 수로 나누었다.

생식소지수(GI)=

$$\frac{(In \text{ 개체수} \times 1) + (Ea \text{ 개체수} \times 2) + (La \text{ 개체수} \times 3) + (R \text{ 개체수} \times 4) + (Sp/de \text{ 개체수} \times 1)}{\text{조사된 전체 개체수}}$$

군 성숙도(Sexual maturity)는 2004년 3월부터 8월까지 채집된 개체들의 크기를 radius length 5.0 mm 단위로 구분하여 생식소 조직표본에서 초기발달기, 후기발달기, 성숙기, 그리고 방출 및 퇴화흡수기의 생식소 조직상이 관찰되는 개체수를 전체 개체수에 대한 백분율(%)로 나타냈다.

**결 과**

**수온과 염분의 월 변화**

조사기간 동안 채집해역의 월별 평균수온은 2004년 1월에 5.6℃로 가장 낮았으며, 8월에 25.6℃로 가장 높았다. 염분은 2004년 1월에 30.8 psu로 가장 낮았으며, 2005년 2월에 35.4 psu로 가장 높았다(Fig. 5).

**생식소 구조**

별불가사리는 외부관찰에 의한 암수구별이 불가능하다. 성숙시기에는 배면(dorsal side)의 표피를 제거하면 5개의 완(arm)과 완 사이에 성숙한 생식소를 관찰할 수 있다. 성숙시기에 난소는 짙은 주황색을 띠며, 정소는 유백색을 띠므로 쉽게 암수를 구별할 수 있다(Fig. 3).

조직 관찰 결과 이들의 성은 암·수가 구분되는 자웅이체였

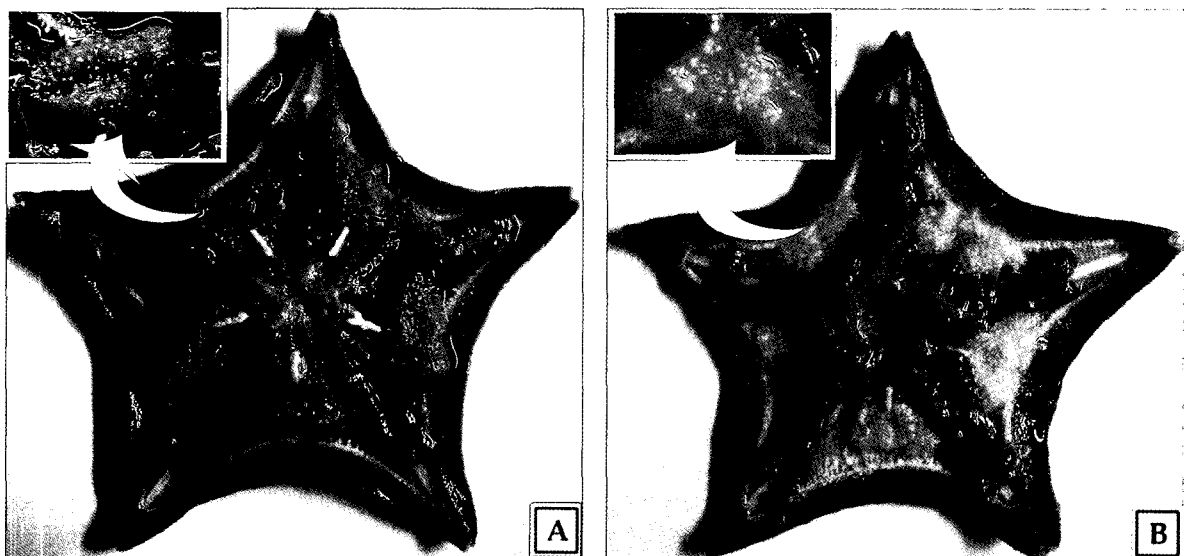


Fig. 3. Internal structure of the sampled gonad of the bat star, *Asterina pectinifera*. A, Female; B, Male.

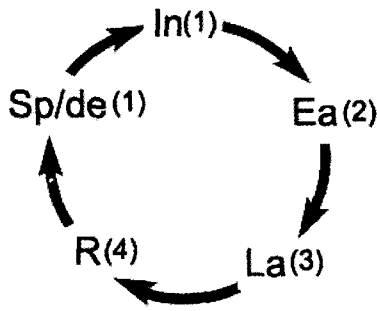


Fig 4. Scoring system used to rank different stages of gonadal development of the bat star, *Asterina pectinifera*.

다. 생식소는 난소와 정소 모두 다수의 소낭구조로 구성되어 있었고, 정소 내강은 다수의 정소 소엽구조를 가지고 있었다 (Figs. 6A,B). 각각의 소낭 내에서 생식세포의 발달과정을 관찰할 수 있었으며, 소낭 내에는 발달단계가 서로 다른 다수의 생식세포들이 존재하고 있었다. 이들 난소와 정소의 소낭외막은 각각 단층의 편평형 혹은 입방형 세포로 구성되어 있었고, 이들 세포층 아래는 소성 결합조직층으로 구성되어 있었다 (Fig. 6). 이들 소낭외막은 생식소가 성숙한 시기에는 두께가

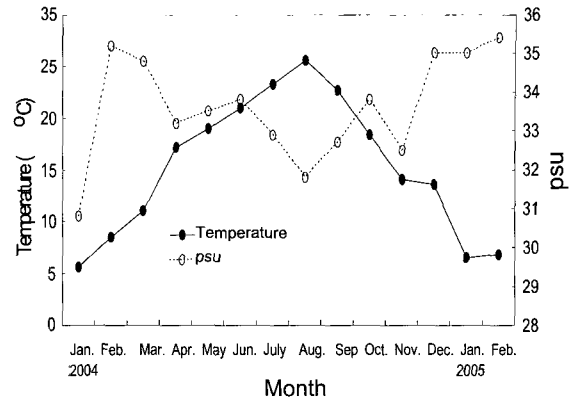


Fig. 5. Monthly variation in water temperature and salinity in the sampling area.

얇지만, 생식세포의 방출 후에는 두꺼워지고 소낭 내강의 가장자리부분에는 자용식별이 불가능한 다수의 시원생식세포들이 존재하고 있었다(Fig. 6C).

생식소 속도지수(GSI)의 월 변화

별불가사리의 GSI는 2004년 1월에는 암, 수 각각 1.54와

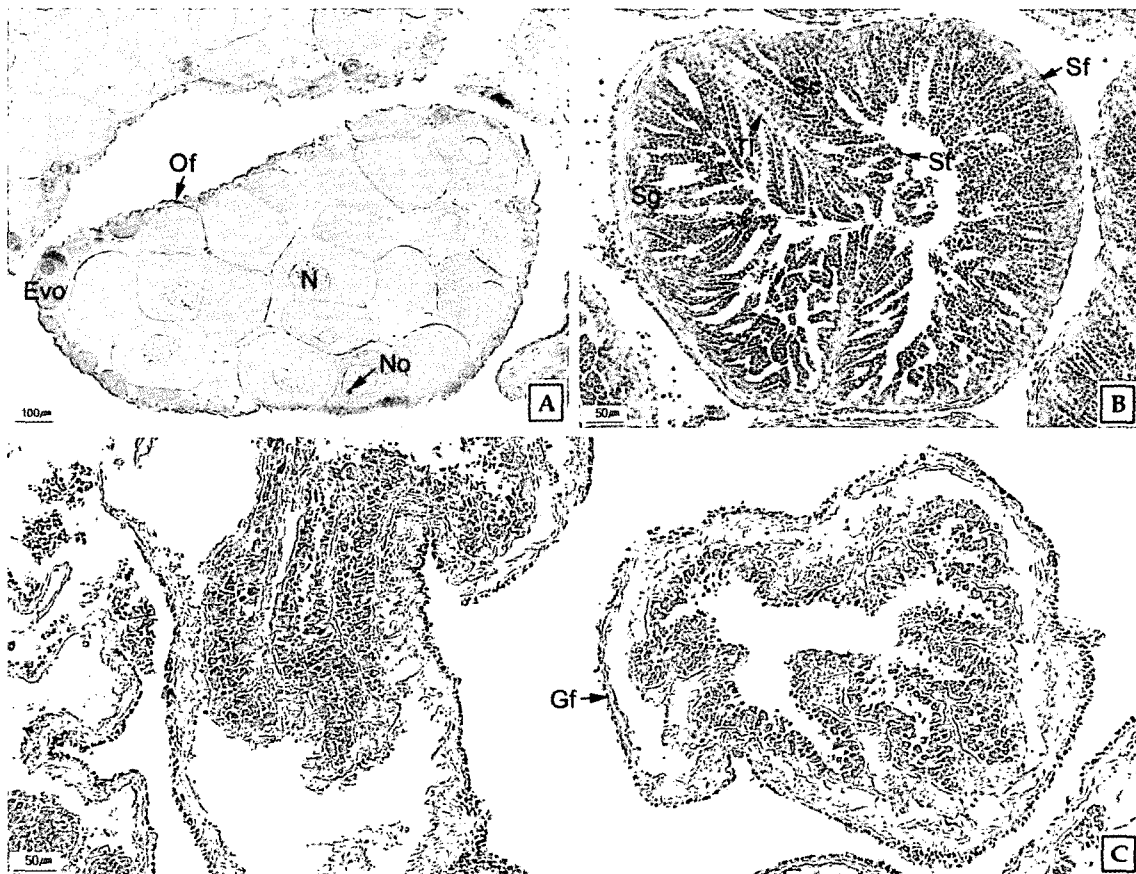


Fig. 6. Photomicrographs of the gonadal structure of the bat star, *Asterina pectinifera*. A, Ovary; B, Testis; C, Inactive stage; Evo, early vitellogenic oocyte; Gf, gametogenic follicle; N, nucleus; No, nucleolus; Of, oogenic follicle; Sc, spermatocyte; Sf, spermatogenic follicle; Sg, spermatogonium; St, spermatid; Tl, testicular lobule.

0.51로 측정되었는데, 4월 이후 지속적으로 증가하여 7월에는 암, 수 모두 5.72와 4.54로 최고값을 나타내었다. 8월부터는 급격하게 감소하여 9월에는 암, 수 각각 1.15와 0.83으로 감소하고, 이듬해 2월까지 거의 같은 값을 유지하였다. 2004년 1월, 2월과 2005년 1월, 2월을 비교해보면 같은 계절이면서도 년도에 따라 GSI값에 상당한 차이가 나타났다 (Fig. 7).

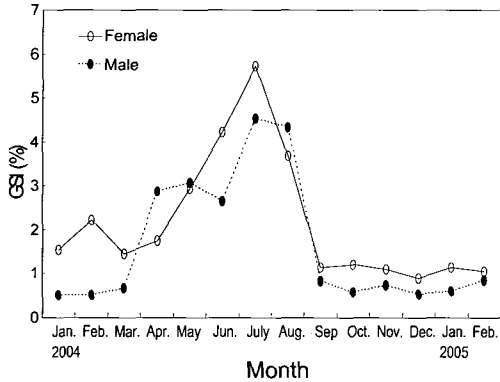


Fig. 7. Monthly variation of gonadosomatic index (GSI) of the bat star, *Asterina pectinifera*.

생식소의 조직상의 발달과정

별불가사리의 생식소 발달과정은 난소와 정소 모두 미발달기, 초기발달기, 후기발달기, 성숙기 그리고 방출 및 퇴화흡수기의 5단계로 구분하였다.

미발달기에는 난소와 정소의 구분이 어렵고, 생식소 소낭은 크기와 수가 감소된 상태이며, 두꺼운 결합조직층으로된 소낭 벽에는 다수의 시원생식세포들이 존재하고 있었다(Fig. 6C).

초기발달기가 되면 소낭 외막의 결합조직층이 점차 얇아지면서 소낭의 수는 휴지기에 비해 증가되었으며, 현미경상에서 암·수의 구분이 가능하였다. 난소에서는 난소소낭(oogenic follicle) 벽을 따라 난원세포들과 직경 약 30 μm 내외의 초기 난모세포들이 배열하고 있었는데, 이들 난모세포들은 세포질 내에 원형의 핵을 가지고 있었으며, 핵인이 관찰되었다(Fig. 8A). 정소의 경우에는 정소소낭(spermatogenic follicle) 벽에서 다수의 정원세포와 소수의 정모세포가 규칙적으로 배열된 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 9A).

후기발달기가 되면 난소내의 소낭 외막은 초기발달기에 비해 얇아지며, 소낭의 면적은 증가되었다. 이 시기에 난소 소낭에서는 다양한 크기의 난모세포들이 관찰되고 주로 직경

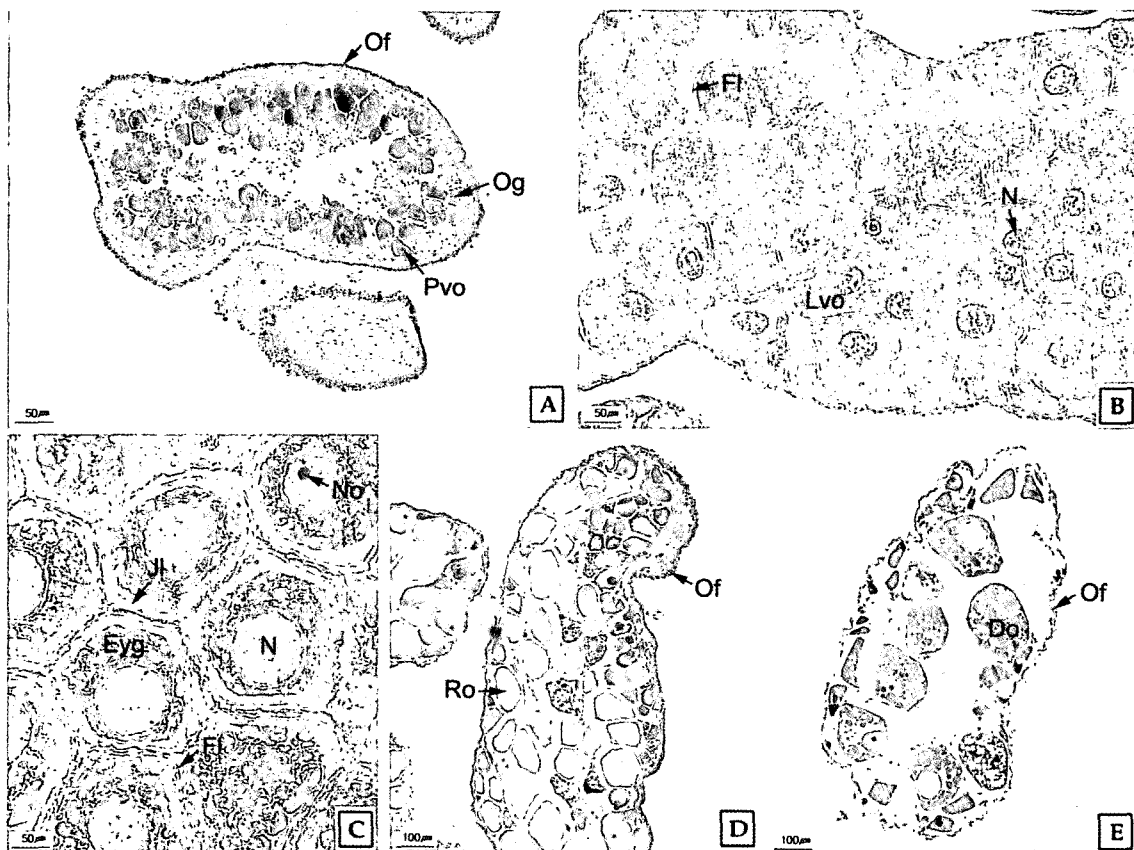


Fig. 8. Photomicrographs of the ovarian development phase of the bat star, *Asterina pectinifera*. A, Early active stage; B, Late active stage; C, Ripe stage; D, Partially spent and degenerative stage; E, Spent and degenerative stage; Do, degenerative oocyte; Evo, early vitellogenic oocyte; Fl, follicle layer; Jl, jelly layer; Lvo, late vitellogenic oocyte; N, nucleus; No, nucleolus; Of, oogenic follicle; Og, oogonium; Pvo, pre-vitellogenic oocyte; Ro, residual oocyte.

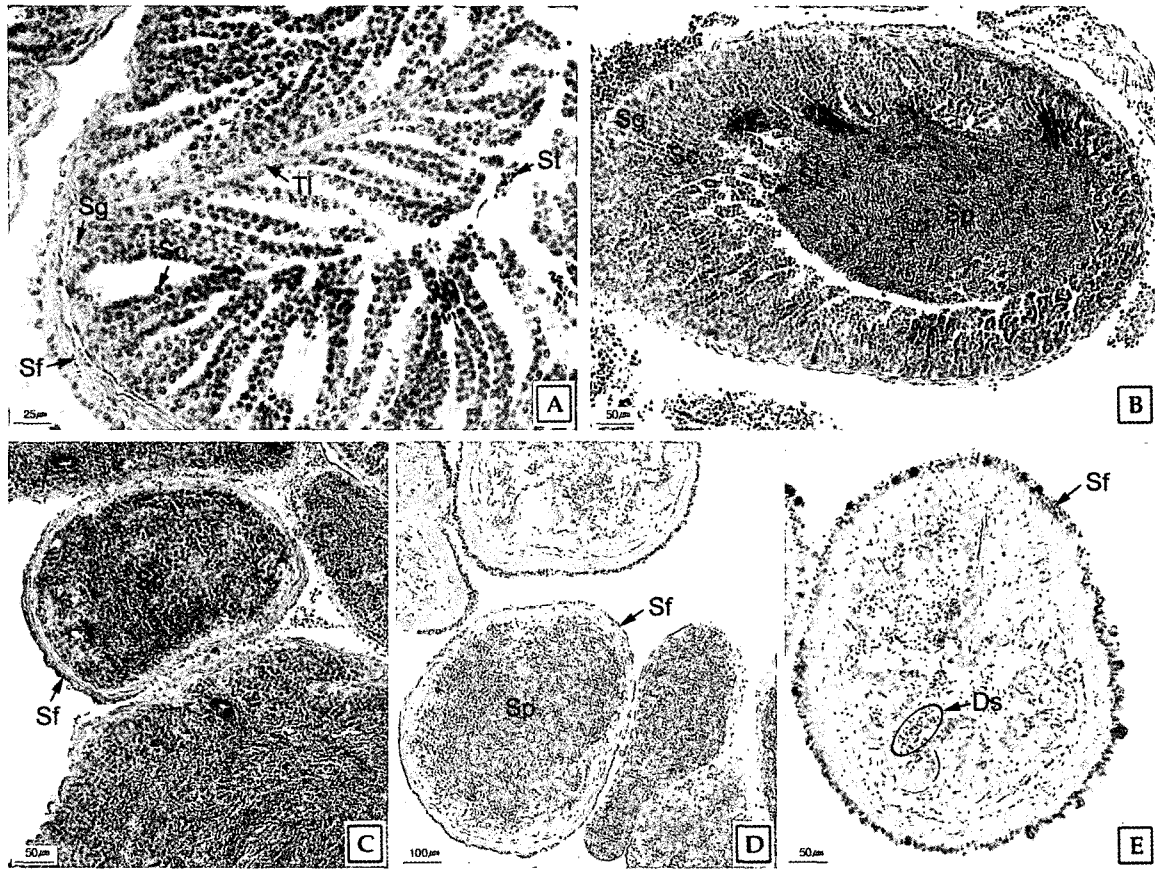


Fig. 9. Photomicrographs of the testicular development phase of the bat star, *Asterina pectinifera*. A, Early active stage; B, Late active stage; C, Ripe stage; D, Partially spent and degenerative stage; E, Spent and degenerative stage; Ds, degenerative sperm; Sc, spermatocyte; Sf, spermatogenic follicle; Sg, spermatogonium; Sp, sperm; St, spermatid; Tl, testicular layer.

80-100  $\mu\text{m}$  크기의 난모세포들이 소낭 내강을 가득 채우고 있었다(Fig. 8B). 한편으로 정소 소낭 외막은 난소와 마찬가지로 얇아진 상태였으며, 소낭 외막 근처의 정소소엽에서는 일부 정원세포들이 관찰되었으며, 소낭 내강에는 많은 정모세포와 일부 정세포들이 출현하였다(Fig. 9B).

성숙기 난소에서는 커다란 호산성 난황과립으로 채워진 직경 180-200  $\mu\text{m}$ 인 성장 난모세포들이 소낭 내강에 가득 차 있었고, 난모세포의 핵은 직경 약 100  $\mu\text{m}$  크기로 증가 하였으며, 난막은 잘 발달된 젤리층으로 덮이게 된다(Fig. 8C). 정소에서는 정소소엽 구조를 관찰하기 힘들며, 정소 소낭 외막에서는 정모세포와 정세포를 일부 관찰할 수 있었으나, 소낭 내강은 호염기성의 정자로 가득 차 있었다(Fig. 9C).

방출 및 퇴화흡수기의 난소는 완숙 난모세포의 방출로 인해 소낭 내강은 비워졌으나 일부 호염기성의 난황과립을 가지는 난모세포와 잔존 난모세포의 퇴화과정을 관찰할 수 있었으며, 퇴화흡수과정이 진행될수록 난소 소낭은 점차 위축되었다(Figs. 8D, E). 정소에서는 대부분의 정자가 방출되고 소량의 잔존정자를 관찰할 수 있으며, 난소에서와 마찬가지로 퇴화흡수과정이 진행될수록 점차적으로 내강의 빈 공간이 커지면서,

정소소낭은 점차 위축되었다(Figs. 9D, E).

#### 생식소지수(GI)의 월 변화

별불가사리의 생식소지수는 1월부터 지속적으로 증가하여 암, 수 모두 7월에 가장 높은 3.91과 3.53를 나타내었으며 이후 급속하게 감소하여 8월에는 암, 수 각각 1.10과 0.95로 최저치를 나타내었다. 그 후 11월까지 1.0 전후로 낮은 값을 유지하다가 12월부터 지속적으로 증가하는 양상을 보이고 있다(Fig. 10).

#### 생식소 발달단계의 월 변화

별불가사리 생식소의 발달정도를 월별로 정리하여 보면, 암컷의 경우 초기발달기의 난소를 가지는 개체의 비율은 1월과 2월에 50%로 나타났으며, 후기발달기의 난소를 가지는 개체는 1월부터 나타나기 시작해 2월 이후 큰 폭으로 증가하여 3월부터 6월 사이에는 약 70% 내외로 높은 비율을 보였다. 성숙기의 생식소를 가지는 개체는 7월에 76.5%로 가장 높은 비율을 나타냈으며, 방출 및 퇴화흡수기 개체는 8월에 95.2%로 가장 높은 비율로 나타나기 시작하여 12월까지 57.9%의 출현율을 보였다. 미발달기 개체는 11월에 38.9%로 본격적

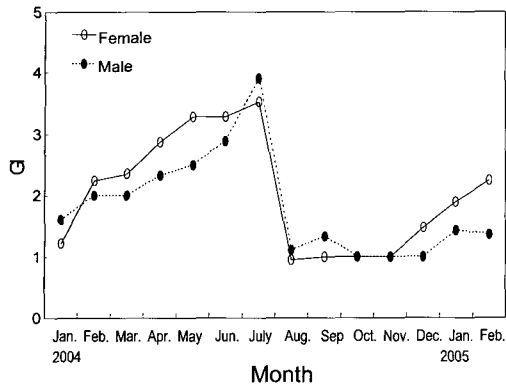


Fig. 10. Monthly variation of gonad index (GI) of the bat star, *Asterina pectinifera*.

으로 출현하기 시작하여 이듬해 1월에 55.6%로 높은 비율을 보였다(Fig. 11).

수컷의 경우 초기발달기는 2월을 최고로 하여 1월부터 5월 사이에 비교적 높은 비율(50% 전후)로 나타났으며, 후기발달기는 4월(50%)부터 시작해 6월에는 66.7%로 증가하였다. 성숙기 개체는 7월(91.3%)에 가장 많이 나타났으며, 방출 및 퇴화 흡수기 개체는 8월에 90.5%로 가장 높은 비율을 보였다. 미발달기 개체는 9월(22.2%) 이후 높은 비율로 나타나기 시작하여 12월에는 100%가 미발달기 단계였으며, 이듬해 2월까지 57.1%로 감소하였다(Fig. 11).

군 성숙도

크기에 따른 별불가사리의 성숙도를 암컷 77개체, 수컷 99개체를 대상으로 조사한 결과는 Table 1에 나타냈으며, 그 결과 radius length 40.0 mm 이상의 대부분 개체들은 생식에 참여할 수 있는 것으로 나타났다(Table 1).

고 찰

불가사리류의 성성숙과 생식소 구조에 대한 Carvalho and Ventura (2002)와 Ramirez-Liodra et al. (2002)는 *Asterina stellifera*와 *Hyphalaster inermis*, *Styracaster chuni*, *S. horridus*

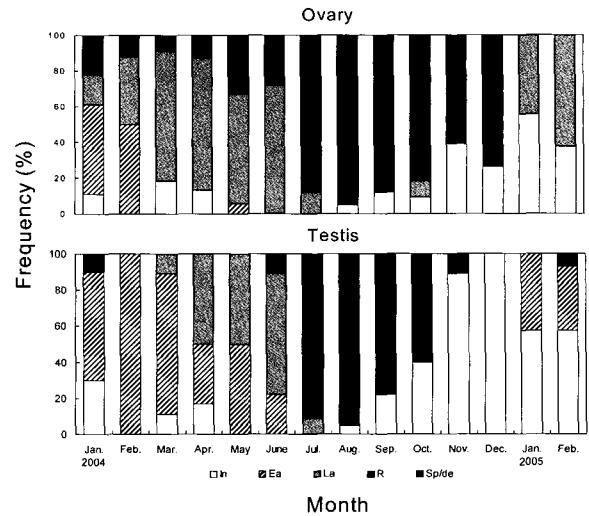


Fig. 11. Monthly variation in ovarian and testicular developmental stage of the bat star, *Asterina pectinifera*. Ea, early active stage; In, inactive stage; La, late active stage; R, ripe stage; Sp/de, spent and degenerative stage.

의 성은 자웅이체이고 난소와 정소는 각각 다수의 난소소낭과 정소소낭들로 구성되어 있으며, 각각의 소낭은 두꺼운 외막을 가지며, 정소소낭 내에서 생식세포들은 발달단계에 따른 층상 배열을 보인다고 했다. 본 연구에서도 별불가사리의 성과 생식소 구조는 이들과 유사한 것으로 나타났다.

일반적으로 무척추동물의 생식시기는 종의 서식 위도 및 생식전략과 밀접한 관계가 있다. 저위도 지역의 종은 생식시기가 길며 고위도 지역에 서식하는 종은 생식시기가 짧는데 (Fretter, 1984), 이러한 특성은 위도에 따른 빛이나 수온의 차이가 종의 생식특성에 영향을 주는 것으로 생각된다. 본 연구의 별불가사리 또한 중위도 지역에 속하는 종으로 생식시기는 1-2개월 정도로 비교적 짧은 것으로 나타났다.

해산 이매패류와 극피동물의 성 성숙과 배우자형성과정 등의 생식기능에는 여러 가지 환경요인 가운데 특히, 먹이와 수온 그리고 서식지 특성 등의 영향이 매우 중요하다 (Kasyanov, 2001).

Table 1. Sexual maturity with size of the bat star, *Asterina pectinifera*

| Radius length (mm) | Female         |               |              | Male           |               |              |
|--------------------|----------------|---------------|--------------|----------------|---------------|--------------|
|                    | Examined inds. | Matured inds. | Maturity (%) | Examined inds. | Matured inds. | Maturity (%) |
| < 40.0             | 6              | 4             | 66.67        | 8              | 6             | 75           |
| 40.1-44.9          | 13             | 12            | 92.31        | 20             | 19            | 95           |
| 45.0-49.9          | 16             | 16            | 100          | 19             | 19            | 100          |
| 50.0-54.9          | 23             | 23            | 100          | 25             | 25            | 100          |
| 55.0-59.9          | 8              | 8             | 100          | 11             | 11            | 100          |
| 60.0-64.9          | 8              | 8             | 100          | 10             | 9             | 90           |
| 65.0 <             | 3              | 3             | 100          | 6              | 6             | 100          |
|                    | 77             | 74            | 96.10        | 99             | 95            | 95.96        |

Booolootian et al. (1962)는 연체동물의 산란 습성을 계절에 따라 크게 세 종류로 연중산란형(year-around breeders), 늦가을부터 이듬해 초봄 사이에 산란하는 동계산란형(winter breeders) 그리고 늦봄부터 초가을 사이에 산란하는 하계산란형(summer breeders)으로 구분하였다. 이러한 구분을 기준으로 볼 때 브라질 남동부에 서식하는 *Asterina stellifera*는 8월에서 9월 사이의 늦겨울에 주산란기를 가지는 동계산란형으로 보고되었다(Carvalho and Ventura, 2002). 본 연구에서 별불가사리는 생식소지수의 변화와 생식소의 조직학적 변화 측면에서 주 방출기는 8-9월로 조사됨으로써 이들은 하계산란형으로 판단된다.

劉 등(1983)은 일본산 진주담치의 번식생태에 관한 연구에서 후기발달기 개체와 성숙기 개체의 출현비율의 합이 50%를 초과하는 시기를 번식성기로 규정하고 있다. 이에 따르면 별불가사리는 4월(68.3%)부터 7월(94.1%)까지가 번식성기에 해당되나, 생식소발달단계의 월별변화(Fig. 11)와 난모세포의 크기에서 추정할 때 산란성기는 7월 전후 한 비교적 짧은 기간으로 판단된다.

불가사리류의 난소 내 난모세포의 발달단계에 따른 난모세포의 발달형태는 *Asterina stellifera*는 동기발달형(synchronous pattern)으로 다회산란의 특징을 가지나(Carvalho and Ventura, 2002), 심해산 불가사리류인 *Hyphalaster inermis*, *Styracaster chuni*, *S. horridus*는 비동기발달형(asynchronous pattern)으로 보고되었다(Ramirez-Liodra et al., 2002). 본 연구의 별불가사리의 난모세포의 발달형태는 동기발달형에 가까우나, 동일한 산란기내에 다회산란하는가의 여부는 본 연구에서는 확인할 수 없었다.

일반적으로 난모세포의 난황축적 방법은 외재적인 방법과 내재적인 방법으로 구분된다. 본 연구 결과 별불가사리의 난모세포 발달에 따른 여포세포층의 발달이 확인되었는데, 이러한 결과는 전자현미경을 이용한 연구에서 여포세포로부터 발달된 돌기들이 결합복합체(junctional complex)를 형성하여 난모세포의 세포막을 통한 외재적 난황축적 방법과 연관되어 해석할 수 있다(Lee and Han, 1994). 그리고 인의 발달은 내재적 난황축적의 간접적인 증거로 생각되지만 이들의 내재적인 난황축적에 관해서는 추후 세부적으로 연구되어야 할 것으로 판단된다

### 참 고 문 헌

Barker, M.F. and R.A. Xu. 1991. Seasonal changes in biochemical composition of body walls, gonad and pyloric caeca in two population of *Sclerasterias mollis* (Echinodermata: Asteroidea) during the annual reproductive cycle. *Mar. Biol.*, 109, 27-34.

Boivin, Y., D. Larrivière, J.D. Himmelman. 1986. Reproductive cycle of the subarctic brooding asteroid *Leptasterias polaris*. *Mar. Biol.*, 92, 329-337.

Booolootian, R.A., A. Farmanfarmanian and A.C. Giese, 1962. On the reproductive cycle and breeding habits of two western species of *Haliotis*. *Biol. Bull.*, 122, 183-193.

Byrne, M. 1992. Reproduction of sympatric populations of *Patiriella gunnii*, *P. calcar*, and *P. exigua* in New South Wales, asterinid seastars with direct development. *Mar. Biol.*, 114, 297-316.

Carvalho, A.L.P.S. and C.R.R. Ventura. 2002. The reproductive cycle of *Asterina stellifera* (Möbius) (Echinodermata: Asteroidea) in the Cabo Frio region, southeastern Brazil. *Mar. Biol.*, 141, 947-954.

Christensen, A.M. 1970. Feeding biology of *Astropecten. Ophelia*, 8, 2-127.

Crump, R.G. 1971. Annual reproductive cycles in three geographically separated populations of *Patiriella regularis* (Verrill), a common New Zealand asteriod. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 7, 137-162.

Eversole, A.G. 1997. Gametogenesis of *Mercenaria mercenaria*, *M. campechiensis* and their hybrids. *Nautilus*, 110, 107-110.

Freeman, S.M., C.A. Richadson and R. Seed. 2001. Seasonal abundance, spatial distribution, spawning and growth of *Astropecten irregularis* (Echinodermata: Asteroidea). *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 53, 39-49.

Fretter, T. 1984. Prosobranchs. In: *The Mollusca*, Vol. 7. Reproduction, Tompa, A.S., N.H. Verdonk and J.A.M. eds. Van Den Biggelaar, Academic Press, New York, 351-418.

Kasyanov, V.L. 2001. Reproduction. In: *Reproductive Strategy of Marine Bivalves and Echinoderms*. Science Publishers, Inc., Plymouth, 122-155.

Lee, Y.R. and J.W. Han. 1994. Ultrastructural changes at the surfaces of oocytes during oogenesis of the starfish, *Asterina pectinifera* (Müller and Troschel). *Kor. J. Zool.*, 37, 203-212.

Masse, E.H. 1975. Ethologie alimentaire de *Astropecten aranciacus* L. In: *Proceedings of the 9th European Marine Biological Symposium*, Barnes, H. et al., eds Aberdeen University Press, Aberdeen., 343-355.

Morin, J.G., J.E. Kastendiek, A. Harrington and N. Davis. 1985. Organization and patterns of interactions in a subtidal community on an exposed coast. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 27, 163-185.

Ramirez-Liodra, E., P.A. Tyler and D.S.M. Billett. 2002. Reproductive biology of porcellanasterid asteroids from three abyssal sites in the northeast Atlantic with contrasting food input. *Mar. Biol.*, 140, 773-788.

Scheibling, R.E. 1981. The annual reproductive cycle of *Oreaster reitculatus* (L.) (Echinodermata: Asteroidea) and interpopulation differences in reproductive capacity. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 54, 39-54.

---

2005년 10월 25일 접수  
2006년 2월 20일 수리