Korean Journal of Malacology, Vol. 23(2): 165-172, December 30, 2007

강진만 개조개, *Saxidomus purpuratus*의 생식소 발달과 생식주기

신윤경, 최낙중, 오봉세[1], 정애진[2], 김성연[3]

국립수산과학원 남해특성화연구센터, [1]종보존연구센터
[2]전남대학교 수산생명의학과, [3]국립수산과학원 양식연구팀

Gonad Development and Reproductive Cycle of the Purplish Washington Clam, *Saxidomus purpuratus* (Bivalvia: Veneridae) from Gangjin Bay

Yun Kyung Shin, Nack Joong Choi, Bong Se Oh[1], Ae Jin Jung[2] and Sung Yeon Kim[3]

South Sea Mariculture Research Center, National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI), Namhae 668-821, Korea
[1]Marine Species Conservation Center, NFRDI, Jeju-do, 690-192, Korea
[2]Department of Aqualife Medicine, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea
[3]Aquaculture Research Team, NFRDI, Busan 619-920, Korea

ABSTRACT

Gonadal development, reproductive cycle and sex ratio of the purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* were investigated monthly by histological observations. Samples were collected from May 2006 to April 2007 in the Gangjin Bay of Namhea, Gyeongsangnam-do, Korea. The clams are dioecious. The gonads consist of a number of oogenic follicle and acinus. Monthly changes in the gonad index reached a maximum in April and a minimum in July. Monthly changes in the condition index reached a maximum in June and a minimum in November. The reproductive cycle of this species can be divided into five successive stages: the recovery and resting stage (June to December), early active stage (January to April), late active stage (February to July), ripe stage (March to October), spent stage (April to October). The main spawning of the clam occurred in July and September in Gangjin Bay. The sex ratio of female to male was not significantly different from 1:1.

Received July 5, 2007; Accepted November 8, 2007
Corresponding author: Kim, Sung Yeon
Tel: +82 (51) 720-2433 e-mail: sykim@nfrdi.re.kr
1225-3480/23202
Ⓒ The Malacological Society of Korea

Keywords: *Saxidomus purpuratus*, Gonad development, Gametogenic cycle.

서 론

개조개, *Saxidomus purpuratus*는 이매패 강 (Bivalvia) 백합 목 (Veneroida) 백합 과 (Veneridae) 에 속하는 이매패류로서 한국, 일본 및 중국 연안까지 넓게 분포한다. 이들은 조간대로부터 수심 40 m의 모래나 자갈이 섞인 진흙에 서식하며 (Yoo, 1976), 한국에서는 고가의 식용 조개류로 주로 잠수기 어업에 의해 어획된다.

조개류의 생식주기에 관한 연구는 주로 기초 생물학적 연구와 자원증대 및 양식기술 개발을 위한 기초자료를 제공하기 위하여 수행되어 왔다. 그 가운데 우리나라에 서식하는 조개류의 생식에 관한 연구로는 바지락, *Ruditapes philippinarum*의 생식소 발달과 연령 및 성장 (Chung *et al.,* 1994), 민들조개, *Gomphina melanaegis*의 생식주기 (Lee *et al.,* 1999), 대복, *Gomphina veneriformis*의 생식소 발달과 생식주기 (Park *et al.,* 2003), 백합, *Meretrix lusoria*의 성 성숙과 배우자 형성 (Chung and Kim, 2000), 바지락의 생식소 성숙과 인위적 산란 (Chung *et al.,* 2001)에 관한 보고가 있다. 또한, 지금까지 개조개에 관해 연구, 보고된 것은 생식세포 형성 및 산란시기 등에 관한 연구 (Chung *et al.,* 1999; Kim *et al.,* 2001) 가 있고, 생식세포 발달 중 난황형성과 생식주

기, 성비 등에 관한 연구 (Ahn, 2001; Kim, 2001) 가 있다.

이매패류의 성 성숙 및 생식주기에 미치는 영향요인들 가운데 수온은 외인성 요인으로 여러 요인들 가운데 가장 중요하게 작용하는 요인이며 (Mackie, 1984), 수온은 주로 위도와 지리적 조건에 따라 달라진다고 하였는데, 비록 본 종에 관한 생식주기가 단편적으로 보고되어 있을 지라도 지역마다 차이를 보여 좀 더 상세한 연구가 요망되는 실정이다.

따라서, 본 연구는 조직학적 방법을 이용하여 우리나라 남해안의 강진만에 서식하는 개조개를 대상으로 생식생태학적 기초자료인 생식소 발달 및 생식주기, 생식소지수와 비만도지수의 월 변화 그리고 성비를 조사하여 기존의 우리나라에서 보고된 개조개의 생식과 관련된 다른 자료들과 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 채집

본 연구에 사용한 개조개는 2006년 5월부터 2007년 4월까지 경남 남해군 강진만 해역 (34° 54'20"N, 127° 57'20"E) 에서 잠수부를 통하여 매월 30-40 개체씩 채집하였다.

2. 조직학적 방법

채집한 개체는 각장, 각고, 전중량 및 육중량 등의 측정형질을 계측한 후, 생식소가 포함된 내장낭의 일부를 Bouin's solution에 일정시간 고정 한 후 파라핀 절편법으로 두께 4 μm의 조직표본을 제작하였다. 염색은 Mayer's hematoxylin 과 0.5% eosin 비교염색을 시행하였다.

3. 생식소 발달단계

개조개의 생식소 조직상을 광학현미경으로 관찰하여 회복 및 휴지기 (Re: recovery & resting stage), 초기활성기 (Ea: early active stage), 후기활성기 (La: late active stage), 완숙기 (R: ripe stage), 방출기 (spent stage) 의 5단계로 나누었다 (Fig. 4, 5).

4. 생식소지수 (GI: Gonad index)

생식소가 내장낭 내에 섞여 있어 뚜렷한 생식소의 무게를 잴 수 없는 경우, 통상생식소의 성장, 발달, 성숙 및 퇴화 등의 생식소 발달단계 별 상수를 적용하여 지수값을 구해 산란기를 간접적으로 추정하는데 사용되고 있다.

생식소지수 (GI) 는 Fig. 1과 같이 Eversole (1997) 과 Mann (1979) 의 방법을 일부 수정하여 계산하였다. 조직표본 관찰 후, 매월 각 개체에 대하여 단계별로 상수 (Re = 1, Ea = 2, La = 3, R = 4, S = 0) 를 곱한 전체의 합을 매월 암수 별 전체 개체수로 나누었다.

$$GI = \frac{(\text{Re 개체수} \times 1) + (\text{Ea 개체수} \times 2) + (\text{La 개체수} \times 3) + (\text{R 개체수} \times 4) + (\text{S 개체수} \times 0)}{\text{월 조사 개체수}}$$

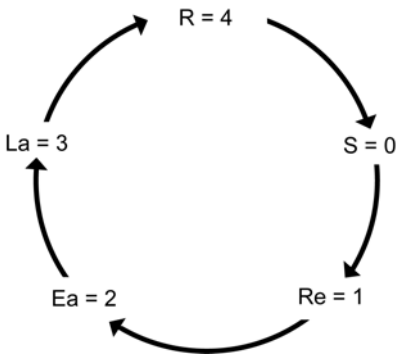

Fig. 1. Scoring system used to rank different stage of gonadal development of the purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus.*

5. 비만도지수 (Condition index, CI)

생식소 발달로 인해 증감되는 생식소 중량이 육중량에 어느 정도 영향을 미치는지 알기 위해 통상 비만도지수를 조사한다. 본 조사에서는 산란기를 간접적으로 추정하기 위하여 비만도지수를 구하였다.

비만도지수 (CI) 는 [육중량 (g) / 각장^3 (mm)] × 1,000 의 식으로 계산하였다.

6. 성비 (Sex ratio)

2006년 5월부터 2007년 4월까지 경남 남해군 강진만 해역에서 잠수부를 통하여 매월 30-40 개체씩 채집한 개체 중 성숙한 어미개체 총 367 개체 (암컷 169 개체, 수컷 198 개체) 를 대상으로 각 개체의 조직표본을 제작하여 암, 수의 성별 총 개체수를 광학현미경하에서 월별로 먼저 판정하였다. 그리고 Chi square test를 실시하여 암, 수의 성비가 1:1이라는 가설과 일치하는지 또는 유의한 차를 보이는지 판정하였다. 판정은 95% 신뢰구간에서 Chi square goodnees-of-fit test의 기준값이 3.84이므로 이를 기준으로 하여 유의한 차를 보였는지 판정하였다.

결 과

1. 생식소 구조와 생식소 발달단계

광학현미경을 이용한 조직표본 분석 결과, 개조개는 암수가 뚜렷하게 구분되는 자웅이체이었으며, 난소와 정소는 모두 수

많은 소낭구조로 구성되어 있었고, 소낭 내에서 생식세포들이 성장 발달 및 성숙하는 것을 관찰할 수 있었다.

생식소 발달단계는 암, 수 모두 회복 및 휴지기, 초기 활성기, 후기 활성기, 완숙기 그리고 방출기의 연속적인 5 단계로 나눌 수 있었다.

1) 회복 및 휴지기 (Recovery & resting stage)

이 시기의 생식소 면적은 비교적 작았고 생식소 소낭 벽은 두터웠다. 암컷의 경우, 방출되지 못하고 퇴화흡수되는 난모세포들이 관찰됨과 동시에 난소소낭의 벽을 따라 새롭게 형성된 소수의 난원세포들이 관찰되었다 (Fig. 2A). 수컷의 경우도 퇴화흡수되는 정자들이 관찰됨과 동시에 정소소낭의 벽을 따라 정원세포들이 관찰되었다 (Fig. 3A). 회복 및 휴지기의 암, 수 개체들은 6월부터 12월까지 장기간에 걸쳐 나타났다.

2) 초기 활성기 (Early active stage)

회복 및 휴지기에 비해 소낭 벽의 두께는 조금 얇아졌으나 비교적 두터웠으며, 소수의 생식세포만이 출현하고 있어 난소소낭의 내강은 비어 있는 상태다. 암컷의 경우, 난소소낭 벽을 따라 난원세포들과 초기발달 중인 난모세포들이 출현하였다. 이 시기의 난모세포 직경은 대략 30 μm 내외의 크기로 핵과 인이 뚜렷하게 관찰되는데, 세포질 보다 핵이 차지하는 비율이

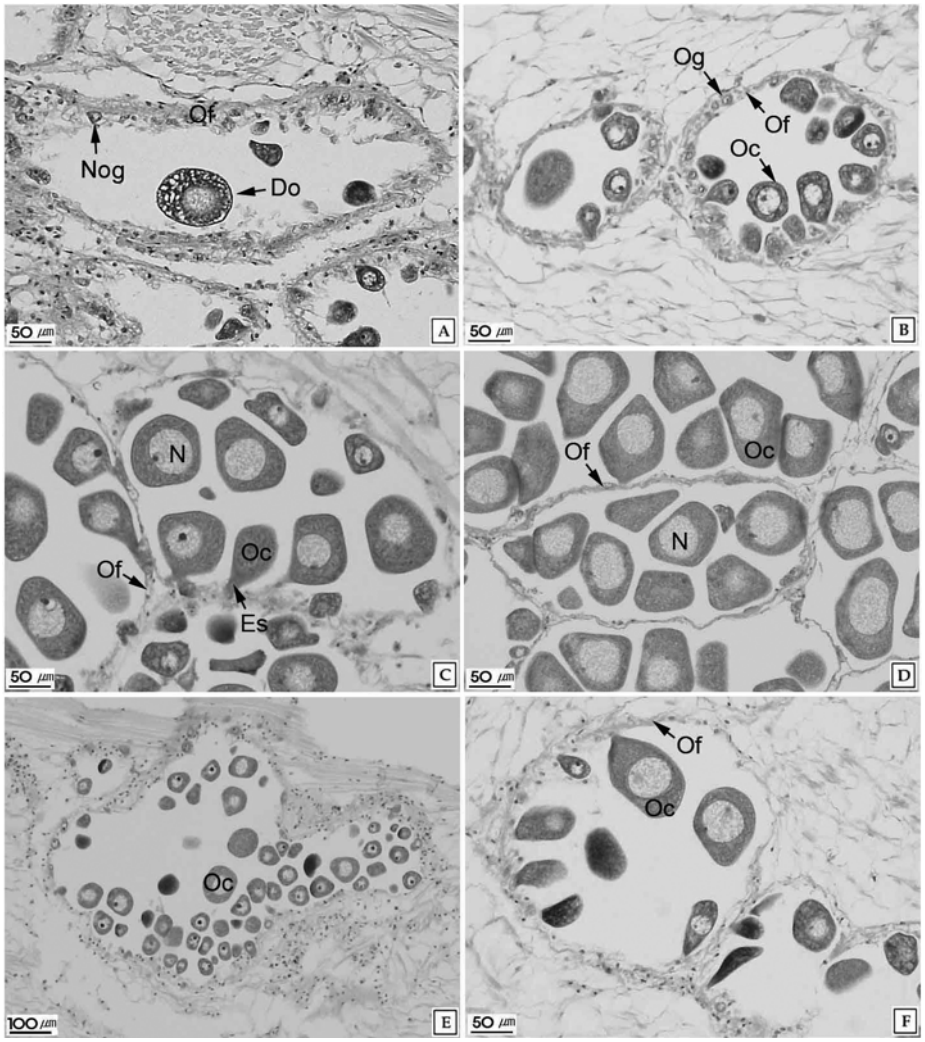

Fig. 2. Photomicrographs of gonadal phases in female, *Saxidomus purpuratus* as seen by light microscopy. A, recovery and resting stage; B, early active stage; C, late active stage; D, ripe stage; E, F, partially spawned stage. Abbreviations: Do, degenerated oocyte; Es, egg stalk; N, nucleus; Nog, newly formed oogonium; Oc, oocyte; Of, oogenic follicle; Og, oogonium.

높았다 (Fig. 2B). 수컷의 경우도 정소소낭의 벽 근처에서 정원세포가 관찰되고, 소낭의 내강에서는 다수의 정모세포가 관찰되었다 (Fig. 3B). 초기활성기의 암, 수 개체들은 1-4월까지 출현하였다.

3) 후기활성기 (Late active stage)

암컷의 경우, 난소소낭 벽의 두께는 초기활성기에 비해 아주 얇아졌으나 전체 난소의 면적은 크게 증가되었다. 이 시기에는 주로 직경 50-60 μm 크기의 난모세포들이 난병을 생식상피에 부착하고 발달하는 양상을 보였다 (Fig. 2C). 수컷의 경우도 정소소낭 벽이 아주 얇아졌으나 정소의 면적은 크게 증가되었다. 정소소낭 벽 근처에서는 일부 정원세포들 보다 크기가 좀 더 작은 정모세포와 정세포들이 차지하고 있었으며 일부 변태 중인 정자들이 내강 중앙 부위에서 관찰되었다 (Fig. 3C). 후기활성기의 암, 수 개체들은 2-7월까지 나타났다.

4) 완숙기 (Ripe stage)

암컷의 경우에는 난소소낭 벽이 아주 얇게 관찰되었고, 호산성 난황과립으로 채워진 직경 80 μm 내외의 완숙 난모세포들은 분리되어 난소소낭의 중앙 내강을 가득 채웠다 (Fig. 2D). 정소의 경우도 정소소낭 벽 근처에서 정세포들을 관찰할 수 있으나, 정소소낭 중앙 내강의 대부분은 헤마톡실린에 농염된 정자속 (다발)을 형성하는 정자들로 가득 채워졌다 (Fig. 3D). 완숙기의 암, 수 개체들은 3월부터 10월까지 출현하였다.

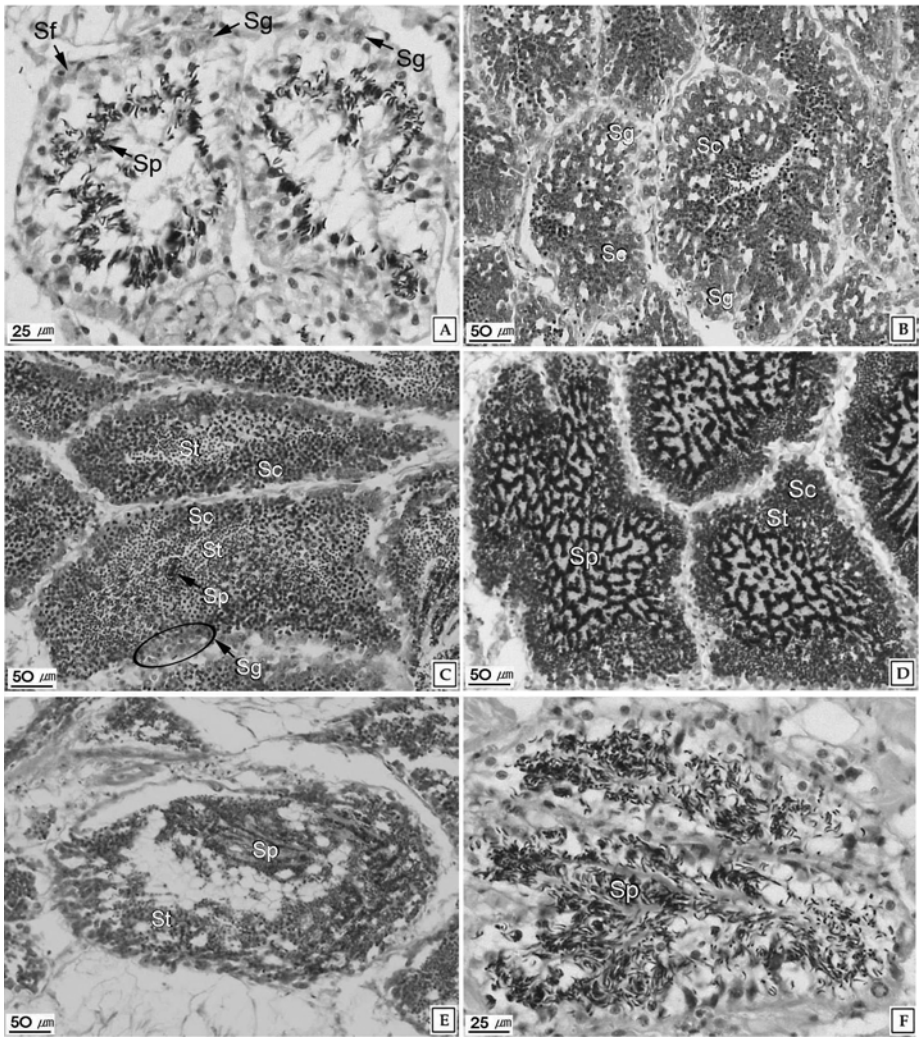

Fig. 3. Photomicrographs of gonadal phases in male, *Saxidomus purpuratus* as seen by light microscopy. A, recovery and resting stage; B, early active stage; C, late active stage; D, ripe stage; E, F, partially spawned stage; Abbreviations: Sc: spermatocyte, Sg: spermatogonium; Sp, spermatozoon; St, spermatid.

5) 방출기 (Spent stage)

암컷의 경우 완숙난모세포가 방란되어 난소소낭의 내강 중앙부는 크게 비워졌으나, 난소소낭 내에는 미방란된 소수의 난모세포가 관찰되었다 (Fig. 2E, F). 정소의 경우도 수 많은 정자들이 방정되면서 그 수가 줄어들었으나, 정소소낭 벽 근처에는 미방정된 정자들과 정세포들이 일부 관찰되었다 (Fig. 3E, F). 방출기의 암, 수 개체들은 4월부터 10월까지 장기간에 걸쳐 나타났다.

2. 생식주기

생식소의 조직학적 발달단계를 월 별로 조사한 결과, 강진만 개조개의 생식주기는 다음과 같다. 암컷의 경우 회복 및 휴지기는 6월부터 1월까지, 초기활성기는 1월부터 4월까지, 후기활성기는 1월부터 6월까지 관찰되었다. 완숙기는 3월부터 10월까지 나타났으며, 방출기 개체는 4월부터 10월까지 나타났다 (Fig. 4).

수컷도 암컷과 유사한 경향의 변화를 보여, 회복기는 6월부터 12월까지, 초기활성기는 1월부터 4월까지, 후기활성기는 1월부터 7월까지 관찰되었다. 완숙기는 3월부터 10월까지, 방출기는 4월부터 10월까지 나타났다 (Fig. 5).

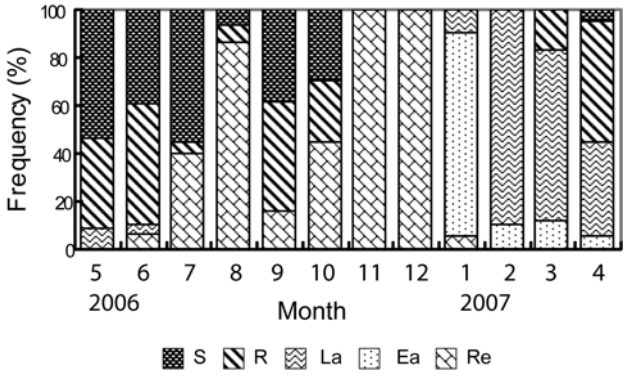

Fig. 4. Frequency of ovarian development stage of the purplish Washington clam, Saxidomus purpuratus. Re: recovery & resting stage; Ea, early active stage; La, late active stage; R, ripe stage; S, spent stage.

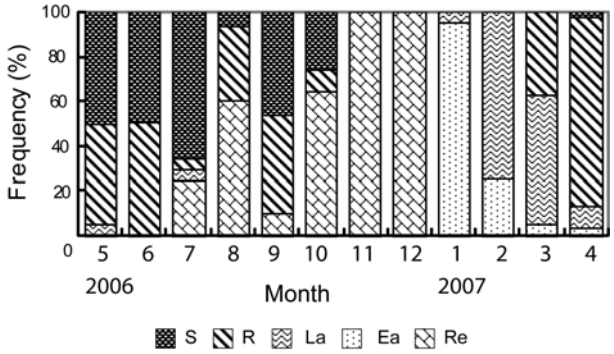

Fig. 5. Frequency of testicular development stage of the purplish Washington clam, Saxidomus purpuratus. Re: recovery & resting stage; Ea, early active stage; La, late active stage; R, ripe stage; S, spent stage.

3. 생식소지수의 월별 변화

산란기를 간접적으로 추정하기 위해 암, 수의 월별 생식소지수 (GI) 를 구하였다. GI 값은 조사가 시작된 5월에 암컷 1.77, 수컷 1.75를 나타내었고, 6월에는 암컷 2.06, 수컷 2.00으로 높은 값을 보이다가 7월에 급격히 감소하여 암수 각각 0.44, 0.29로 연중 최소값을 나타내었으며, 9월에 암수 모두 증가하다 10월부터 12월까지 감소하였다. 이 후, 1월에 급격하게 증가하여 4월에는 암수 각각 3.81, 3.37로 연중 가장 높은 값을 보였다 (Fig. 6).

4. 비만도지수의 월별 변화

산란기를 간접적으로 추정하기 위해 암, 수의 월별 비만도지수 (CI) 를 구하였다. CI는 암컷과 수컷 모두 6월에 0.10으로

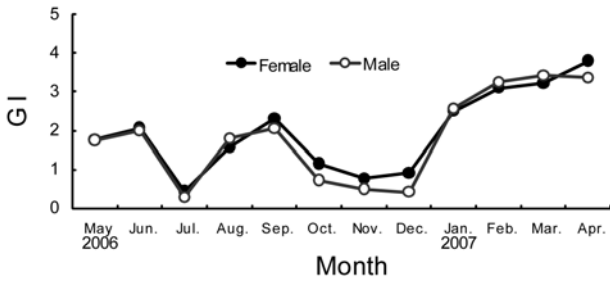

Fig. 6. Monthly variation in the Gonad index (GI) of *Saxidomus purpuratus.*

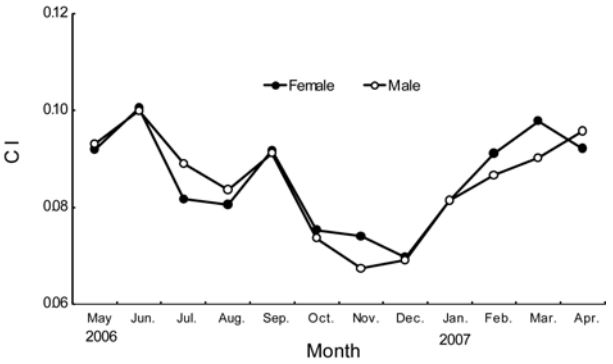

Fig. 7. Monthly variation in the condition index (CI) of *Saxidomus purpuratus.*

가장 높은 값을 나타내었다. 암컷의 경우 12월에 0.07로 가장 낮은 값을 나타냈으며, 수컷의 경우에는 11월에 0.067로 가장 낮은 값을 나타냈다 (Fig. 7).

5. 성 비 (Sex ratio)

암, 수 총 367 개체 (암컷 169 개체, 수컷 198 개체) 를 대상으로 암컷:수컷의 성비가 1:1이라는 가정 아래, 암컷 개체수에 대한 수컷 개체수의 성비를 12개월간 조사한 결과, 성비는 1:1.17 이었고, $\chi^2 = 2.29$, $p > 0.05$로 나타나 암, 수 성비는 1:1로 유의한 차를 보이지 않았다. 전반적으로 12 개월 중 1 개월만 (2007년 3월) 1:1이 아닌 것으로 나타났을 뿐 11 개월 모두 1:1이었고, 유의한 차를 보이지 않았다 (Table 1).

고 찰

이매패류의 생식주기는 주로 생식소지수의 월별 변화, 비만도지수의 월별 변화, 생식세포의 발달 및 생식소 발달단계 빈도의 월별 변화 등의 자료를 바탕으로 구분되어 왔다 (Behzadi *et al.,* 1997; Villalejo-Fuerte and García-Domínguez, 1998; Marsden, 1999; Chung and Kim, 2000; Chung *et al.,* 2001; Park *et al.,* 2003).

대복, *Gomphina veneriformis* (Park *et al.,* 2003) 을 비롯한 많은 종류의 이매패류는 생식주기 가운데 어느 한 시기에는 조직학적으로 생식소 소낭 내에서 생식세포가 구분되지 않는 비활성기 (inactive stage) 가 존재하여 암·수의 구분이 불가능하다. 하지만 개조개의 경우에는 생식세포의 방출 후 잔존 세포들이 퇴화되는 과정 동안 다시 발달되는 초기의 생식세포들의 관찰이 가능하여 조직학적으로 연중 암·수의 구분이 가능하였는데, 이러한 결과는 Chung *et al.* (1999) 이 개조개에 관하여 보고한 결과와 일치한다.

해산 이매패류의 생식주기 및 성 성숙은 외인성 요인과 내인성 요인의 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 외인성 요인은 수온, 먹이, 빛, 조석주기, 수심, 밀도, 기생충 및 질병, 염분도 및 기질 등이며, 내인성 요인으로는 유전학적 요인과 내분비성 요인 등을 들 수 있는데, Mackie (1984) 는 특히, 수온과 먹이는 상기 여러 요인들 가운데 가장 중요하게 작용하는 요인이라고 보고하였다.

백합 과 (Veneridae) 에 속하는 red clam, *Megapitaria aurantiaca*의 경우에는 수온과 성 성숙과의 관계는 뚜렷하지 않지만 (García-Domínguez *et al.,* 1994), 새조개, *Fulvia mutica* (Chang and Lee, 1982), 가무락, *Cyclina sinensis* (Chung *et al.,* 1991), 바지락, *Ruditapes philippinarum* (Chung *et al.,* 1994), 북방대합, *Spisula sachalinensis* (Lee *et al.,* 1997) 에서는 수온이 성 성숙에 가장 큰 영향을 미친다.

본 조사에서 개조개의 산란기는 4-10월이었고 주 산란기는 7, 8월이었다. 전반적으로 국내에서 조사된 개조개의 산란기들은 대략 6개월로 매우 긴 편이며, 지역별로 다소 차이가 있는 것으로 보고되었다. 부산 영도 주변 해역에서 채집된 개조개의 산란기는 5-11월이고 주 산란기는 8-10월 (Kim, 1969) 이었다. 부산 다대포와 전남 순천만에서 산란기는 5-10월이며 주

Table 1. Specimen number for analysis of gonadal development and sex ratio of the purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* .

Month	No. of Females	No. of Males	Total No.	Sex ratio (F/(F+M))	χ^2*
May 2006	13	16	29	1:1.23	0.31
Jun. 2006	16	14	30	1:0.88	0.13
Jul. 2006	16	14	30	1:0.88	0.13
Aug. 2006	14	15	29	1:1.07	0.03
Sep. 2006	13	17	30	1:1.31	0.53
Oct. 2006	19	11	30	1:0.58	2.13
Nov. 2006	13	16	29	1:1.23	0.31
Dec. 2006	11	19	30	1:1.73	2.13
Jan. 2007	14	16	30	1:1.14	0.13
Feb. 2007	10	20	30	1:2.00	3.33
Mar. 2007	9	21	30	1:2.33	4.80
Apr. 2007	21	19	40	1:0.90	0.10
Total	169	198	367	1:1.17	2.29

* The critical value for χ^2 goodness-of-fit test of equal numbers of females and males (1 df) at 95% significance is 3.84.

산란기는 8-9월이었다 (Chung *et al.,* 1999). 경남 사천만의 산란기는 5-8월이며 주 산란기는 8-9월이었다 (Ahn, 2001), 그리고 태안 연안에서의 산란기는 5-11월로 보고되어 있다 (Kim *et al.,* 2001). 따라서 본 조사 결과와 상기 연구, 보고와는 유사하나 지역에 따라 약간의 차이를 보이고 있는데, 이것은 지리적 서식환경 차이로 인해 나타날 수 있는 것으로 사료된다.

일반적으로 무척추동물의 생식시기는 종의 지리적 위치 및 생식전략과 밀접한 관계가 있는데, 저위도 지역의 종은 생식시기가 길며 고위도 지역의 종은 생식시기가 짧은데 (Fretter, 1984), 이러한 특성은 위도에 따른 빛이나 수온의 차이가 종의 생식특성에 영향을 주는 것으로 생각된다.

연체동물의 산란 습성은 연중 1회 산란하는 종과 연중 다회 산란하는 종으로 구분할 수 있으며, 계절에 따라 연중산란형 (year-round breeders), 늦봄부터 초가을 사이에 산란하는 하계산란형 (summer breeders)과 늦가을부터 이듬해 초봄 사이에 산란하는 동계산란형 (winter breeders) 으로 구분된다 (Boolootian *et al.,* 1962).

본 연구결과, 강진만에서 채집된 개조개의 생식소지수 (GI)는 연중 두 번 (4월과 9월) 의 높은 값을 보였는데, 이러한 원인은 GI를 평가하는데, 생식세포의 발달에 기준을 두었기 때문이다. 4월의 생식소 부위의 대부분은 발달된 생식세포를 가지는 생식소 소낭들로 채워진데 반하여 9월의 생식소 부위는 이러한 생식소 소낭이 차지하는 비율이 50% 내외이었다. 만일, 생식소 표본의 면적에 대한 생식소 소낭이 차지하는 비율을 반영한다면 이와는 다소 다른 결과가 도출될 것으로 판단된다. 생식소지수 및 비만도지수의 월별 변화는 생식소 발달단계 및 생식주기와 밀접한 관련을 가지며 변화하였다. 생식소 발달단계 빈도의 월 변화를 기초로 개조개의 생식주기는 6-12월의 회복 및 휴지기, 1-4월의 초기활성기, 2-7월의 후기활성기, 3-10월의 완숙기, 4-10월의 산란기로 구분할 수 있었고, 주 산란기는 7-9월로 판단된다. 이러한 결과로부터 개조개는 하계산란종으로 방출기 동안 다회 산란하는 것으로 판단되었다.

이매패류에서 비만도지수의 변화는 생식소 발달주기와 연관성을 보이는데, 새조개 (Chang and Lee, 1982), 북방대합 (Lee *et al.,* 1997), 꼬막, Tegillarca granosa (Lee, 1997), 대복 (Park et al., 2003), 키조개, Artina pectinata (Lee *et al.,* 2006) 의 비만도지수는 생식소지수의 월 변화 및 생식소 발달과 유사한 형태로 변화는 경향을 보였다. 본 연구에서도 비만도지수의 연중 변화는 앞에서 언급된 다른 종과 마찬가지로 생식소 발달과 유사한 경향을 나타내었다.

개조개의 군성숙도를 분석한 결과, 성숙 및 산란시기에 채집된 각장 75.0mm 이상의 개체들 모두에서 94.2% 이상의 성숙도를 보이고 있어, 암·수 모두 각장 75.0 mm 이상의 개체들은 생식에 참여하는 것으로 나타났다.

요 약

우리나라 남해안 강진만에서 2006년 5월부터 2007년 4월까지 채집된 개조개의 생식소 발달과 생식주기를 조직학적으로 조사하였다. 개조개는 자웅이체로 난소는 수많은 난소소낭 (oogenic follicle) 으로 이루어져 있으며, 정소는 다수의 정소소낭 (acinus) 으로 구성되어 있다. 생식소지수는 4월에 최고값을 나타내었고, 그 후 감소되어 7월에 최저값를 나타내었다. 비만도지수는 6월에 최고값을 보였고, 그 후 감소되어 11월에 최저값을 보였다. 개조개의 생식주기는 회복 및 휴지기 (6-12월), 초기활성기 (1-4월), 후기활성기 (2-7월), 완숙기 (3-10월), 방출기 (4-10월)로 구분되었다. 강진만에서 개조개의 주 산란기는 7-9월이었다. 암, 수 성비는 1:1로 유의한 차를 보이지 않았다.

사 사

이 연구는 국립수산과학원 (패류종보존 및 재생산 연구, RP-2007-AQ-028)의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Ahan, S.H. (2001) Annual reproductive cycle of *Saxidomus purpuratus* (Sowerby) (Bivalvia: Veneridae) in Sacheon Bay, Korea. MS Thesis, Pukyeong National University. 35 pp.

Behzadi, S., Parivar, K. and Roustaian, P. (1997) Gonadal cycle of pearl oyster, *Pinctada fucata* (Gould) in northeast Persian Gulf, Iran. *Journal of Shellfish Research*, **16**: 129-135.

Boolootian, R.A., Farmanfarmaian, A. and Giese, A.C. (1962) On the reproductive cycle and breeding habits of two western species of *Haliotis. Biological Bulletin*, **122**: 183-193.

Chang, Y.J. and Lee, T.Y. (1982) Gametogenesis and reproductive cycle of the cockle, *Fulvia mutica* (Reeve). *Journal of Korean Fisheries Society*, **15**: 241-253. [in Korean]

Chung, E.Y. and Kim, Y.M. (2000) Ultrastructural study of germ cell development and sexual maturation of the hard clam, *Meretrix lusoria* (Bivalvia: Veneridae), on the west coast of Korea. *Journal of Medical and Applied Malacology*, **10**: 181-202.

Chung, E.Y. and Kim, B.S. (1994) Histological and ultrastructural studies on gonadal development and germ cell development of the purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* (Sowerby). Bulletin of Coastal Reseach, Kunsan National University, **6**(1): 1-15. [in Korean]

Chung, E.Y., Hur, S.B., Hur, Y.B. and Lee, J.S. (2001) Gonadal maturation and artificial spawning of the

Manila clam, *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae), in Komso Bay, Korea. *Journal of Fishery Science and Technology*, **4**: 208-218. [in Korean]

Chung, E.Y., Kim, Y.M. and Lee, S.G. (1999) Ultrastructural study of germ cell development and reproductive cycle of the purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* (Sowerby). *Yellow Sea*, **5**: 51-58.

Chung, E.Y., Lee, T.Y. and An, C.M. (1991) Sexual maturation of the venus clam, *Cyclina sinensis* on the west coast of Korea. *Journal of Medical and Applied Malacology*, 3: 125-136.

Chung, E.Y., Ryou, D.K. and Lee, J.H. (1994) Gonadal development, age and growth of the shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum* (Pelecypoda: Veneridae), on the coast of Kimje, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **10**(1): 38-54. [in Korean]

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

Fretter, T. (1984) Prosobranchs. *In*: The Mollusca, Vol. 7. Reproduction. (ed. by Tompa, A.S., Verdonk, N.H. and Van Den Biggelaar, J.A.M.) pp. 1-45. Academic Press, New York.

García-Domínguez, F., García-Gasca, S.A. and Castro-Ortiz, J.L. (1994) Spawning cycle of the red clam, *Megapitaria aurantiaca* (Sowerby, 1831) (Veneridae) at Isla Espiritu Santo, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Shellfish Research*, **13**: 417-423.

Kim, A.Y. (1969) Studies on the gametogenesis and breeding season of *Saxidomus purpuratus* (Sowerby). *Publicaton of Marine Laboratory, Pusan Fishery College*, **2**: 27-36.

Kim, S.K., Park, K.Y., Jang, C.N., Kim, D.J. and Seo, H.C. (2001) Studies on the ecological aspect and gametogensis of *Saxidomus purpuratus* (Sowerby) in the Yellow Sea Area. *Bulletin of National Fishery Research and Development Institute, Korea*, **59**: 152-158. [in Korean]

Lee, J.H. (1997) Studies on the gonadal development and gametogenesis of the granulated ark, *Tegillarca granosa* (Linné). *Korean Journal of Malacology*, **13**: 55-64. [in Korean]

Lee, J.Y., Chang, Y.J. and Lee, C.S. (1997) Reproductive cycle of surf clam, *Spisula sachalinensis*. *Journal of Korean Fisheries Society*, 30: 132-138. [in Korean]

Lee, J.Y., Park, Y.J. and Chang, Y.J. (1999) Gonadal development and reproductive cycle of *Gomphina melanaegis* (Bivalvia: Veneridae). *Journal of Korean Fisheries Society*, **32**: 198-203. [in Korean]

Lee, S.J., Min, K.S., Kim, B.G., An, C.M., Ju, S.M. and Lee, J.S. (2006) Gonadal development and gametogenic cycle of the pen shell, *Atrina pectinata* (Bivalvia: Pinnidae). *Journal of Korean Fisheries Society*, **39**: 398-403. [in Korean]

Mackie, G.L. (1984) Bivalves. *In*: The Mollusca, Vol. 7. Reproduction. (ed. by Tompa, A.S., Verdonk, N.H. and Van Den Biggelaar, J.A.M.) pp. 351-418, Academic Press, New York.

Marsden, I.D. (1999) Reproductive cycle of the surf beach clam, *Paphies donacina* (Spengler, 1973) from New Zealand. *Journal of Shellfish Research*, **18**: 539-546.

Park, J.J., Lee, J.Y., Lee, J.S. and Chang, Y.J. (2003) Gonadal development and gametogenic cycle of the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae). *Journal of Korean Fisheries Society*, **36**: 352-357. [in Korean]

Villalejo-Fuerte, M. and García-Domínguez, F. (1998) Reproductive cycle of *Spondylus leucacanthus* (Broderip, 1833) (Bivalvia: Spondylidae) at Isla Danzante, Gulf California. *Journal of Shellfish Research*, **17**: 1037-1042.

Yoo, J.S. (1976) Korean Shells in Colour. 196 pp. Iljisa, Seoul. [in Korean]