

키조개 (*Atrina pectinata*)의 생식소 발달과 생식주기

이승주 · 민광식 · 김병균¹ · 안철민² · 주선미³ · 이정식^{3*}

국립수산과학원 패류연구센터, ¹국립수산과학원 서해수산연구소

²국립수산과학원 수산생명과학본부, ³전남대학교 수산해양대학 수산생명의학과

Gonad Development and Gametogenic Cycle of the Pen Shell, *Atrina pectinata* (Bivalvia: Pinnidae)

Seung Ju LEE, Kwang Sik MIN, Byung Gyun KIM¹,

Cheul Min AN², Sun Mi JU³ and Jung Sick LEE^{3*}

Shellfish Research Center, National Fisheries Research and Development Institute, Gyeongsangnam-do 668-821, Korea

¹West Sea Fisheries Research Institute, Incheon 400-420, Korea

²Headquarters for Bioscience and Technology, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-920, Korea

³Department of Aqualife Medicine, College of Fisheries and Ocean Science, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

Gonad development and the gametogenic cycle of pen shells, *Atrina pectinata*, collected from November 2004 to October 2005 in the coastal waters of Jangheung, Jeollanam-do, Korea were investigated histologically. The clams are dioecious. The gonads consist of a number of gametogenic follicles. The sex ratio (♀:♂) was 1:1.2. The gonad index (GI) reached a maximum in May and a minimum in July. The condition index (CI) reached a maximum in April and a minimum in June. The gonadosomatic index (GSI), GI and CI all increased with gonad development. The gametogenic cycle of the clam could be divided into five stages: the degenerative/inactive (August to October), early active (November to March), late active (December to April), ripe (May to June) and spent (June to July) stage.

Key words: *Atrina pectinata*, Gonad development, Gametogenic cycle

서 론

키조개 (*Atrina pectinata*)는 이매패강 (Bivalvia) 홍합목 (Mytiloida) 키조개과 (Pinnidae)에 속하는 식용 조개류로서 인도 태평양, 필리핀, 남동중국해, 한국, 일본 등에 분포하며, 수심 약 5 m 이상의 깊은 펄 바닥에 무리지어 서식한다고 알려져 있으며, 폐각근은 식용으로 애용 된다 (NFRDI, 1999).

조개류의 생식주기에 관한 보고는 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), 개조개, *Saxidomus purpuratus* (Chung et al., 1999), 민들조개, *Gomphina melanaegis* (Lee et al., 1999), 대복, *Gomphina veneriformis* (Park et al., 2003)의 생식소 발달과 생식주기, 백합, *Meretrix lusoria*의 성 성숙과 배우자형성 (Chung and Kim, 2000), 바지락의 생식소 성숙과 인위적 산란 (Chung et al., 2001)에 관한 보고가 있다.

키조개의 생식생태에 관한 국내 연구로는 여자만산 키조개의 번식생태 (Yoo and Yoo, 1984)와 서해연안 키조개의 자원

생태학적 연구 (Hong et al., 2002)가 있으나 생식소 발달과정과 생식주기 등의 생식생태학적 보고는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 조직학적 방법으로 키조개의 생식생태학적 기초 자료인 성비, 생식소 발달, 생식소지수와 생식소중량지수, 비만도, 폐각근지수의 월 변화 그리고 생식주기를 조사하였다.

재료 및 방법

채 집

본 연구에 사용한 키조개는 2004년 11월부터 2005년 10월까지 전남 장흥군 득량만 연안의 수심 40 m 해역에서 다이버에 의해 매월 약 50개체씩 채집하였다.

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 5 μ m의 조직표본을 제작하였다. 염색은 Mayer's hematoxylin과 0.5% eosin으로 비교염색을 시행하였다.

생식소중량지수 (GSI: Gonadosomatic index)

GSI는 아래의 방법을 이용하여 계산하였다.

*Corresponding author: ljs@chonnam.ac.kr

$$GSI = \frac{\text{생식소와 간체장 무게 (g)}}{\text{육중량 (g)}} \times 100$$

생식소 발달단계

키조개의 생식소 조직상을 광학현미경으로 관찰하여 비활성기 (In: inactive stage), 초기활성기 (Ea: early active stage), 후기활성기 (La: late active stage), 완숙기 (Re: ripe stage), 방출 및 퇴화기 (SD: spent and degenerative stage)의 5단계로 나누었다 (Fig. 2).

생식소지수 (GI: Gonad index)

GI는 아래와 같이 Eversole (1997)의 방법을 일부 수정하여 이용하였다. 조직표본 관찰 결과 생식소 발달단계를 비활성기 (In), 초기활성기 (Ea), 후기활성기 (La), 완숙기 (Re), 방출 및 퇴화기 (SD)의 5단계로 나누고 매월 각 개체에 대하여 단계별로 상수 (In=1, Ea=2, La=3, Re=4, SD=0)를 곱한 전체의 합을 매월 암·수 별 전체 개체수로 나누었다.

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

비만도 (CI: Condition index)

CI는 아래의 방법을 이용하여 계산하였다.

$$CI = \frac{\text{육중량 (g)}}{\text{각장}^3 \text{ (mm)}} \times 1,000$$

폐각근지수 (AMI: Adductor muscle index)

AMI는 아래의 방법을 이용하여 계산하였다.

$$AMI = \frac{\text{폐각근 무게 (g)}}{\text{육중량 (g)}} \times 100$$

결 과

성 비

조사에 사용된 594개체 중에서 생식소의 발달상태가 비활성

기와 퇴화기로 나타나 암·수 구별이 어려운 114개체를 제외한 480개체 가운데 암컷은 218개체, 수컷은 262개체로 암컷에 대한 수컷의 비율은 평균 1:1.20으로 나타났다 (Table 1).

GSI의 월 변화

GSI는 암컷의 경우 5월에 25.47로 가장 높았지만 이후 급격히 감소하여 8월에는 5.02로 가장 낮은 값을 나타냈고, 수컷의 경우에도 5월에 24.5로 가장 높았으며, 8월에 4.62로 가장 낮은 값을 나타냈다 (Fig. 1).

생식소 조직의 계절적 변화

키조개는 자용이체로서 조직표본을 이용한 광학현미경 관찰 결과, 난소와 정소는 모두 다수의 소낭구조로 구성되어 있었으며, 소낭 내에서 생식세포의 발달과정을 관찰할 수 있었다.

생식소 발달단계는 조직학적인 방법으로 관찰한 결과, 비활성기, 초기활성기, 후기활성기, 완숙기, 방출 및 퇴화기로 구분할 수 있었다.

비활성기에 생식소 소낭은 크기와 수적으로 매우 감소된 상태로 암·수의 구분이 어렵고, 소낭과 소낭 사이는 결합조직으로 채워져 있었다 (Fig. 2A).

초기활성기에 생식소 소낭의 면적은 작지만 소낭 사이의 결합조직이 점차 감소하면서 소낭의 수는 비활성기에 비해 증가되었으며, 광학현미경 조직표본에서 암·수의 구분이 가능하였다. 암컷의 경우에는 난자형성소낭 (oogenic follicle) 벽을 따라 난원세포들과 초기난모세포들이 배열하고 있었는데, 이 시기에 주로 관찰되는 난모세포들은 직경 20 μm 내외의 크기로 호염기성의 세포질내에 뚜렷한 인을 가진 핵이 대부분을 차지하였다. 수컷의 경우에는 정자형성소낭 (spermatogenic follicle) 벽에서 대부분의 정원세포들과 일부 정모세포들의 불규칙한 배열상을 관찰할 수 있었다 (Fig. 2B).

후기활성기에 암컷의 난자형성소낭벽은 초기활성기에 비해 얇아져 있었으며, 소낭의 면적은 증가되어 나타났다.

Table 1. Specimen number for analysis and sex ratio of the pen shell, *Atrina pectinata*

Month	Total individuals	Females	Males	Sex ratio	Number of nonsexualization (SD II/In)
25 Nov. 2004	50	18	32	1:1.78	-
23 Dec.	50	16	34	1:2.13	-
27 Jan. 2005	49	23	26	1:1.13	-
28 Feb.	49	20	29	1:1.45	-
25 Mar	50	19	31	1:1.63	-
28 Apr.	50	29	21	1:0.72	-
27 May	50	24	26	1:1.08	-
27 June	50	26	24	1:0.92	-
22 July	50	24	26	1:1.08	-
19 Aug.	46	19	13	1:0.68	0/14
15 Sep.	50	-	-	-	32/18
20 Oct.	50	-	-	-	34/16
Total	594	218	252	1:1.20	114

*In, Inactive stage; SD II, Spent and degenerative stage II.

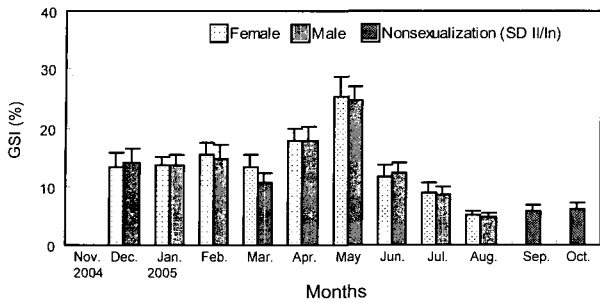


Fig. 1. Monthly variation in gonadosomatic index (GSI) of the pen shell, *Atrina pectinata*. In, inactive stage; SD II, spent and degenerative stage II. Vertical bar: SD.

이 시기에는 주로 직경 50-60 μm 크기의 호산성의 세포질을 가지는 난모세포들이 난병으로 연결되어 내강쪽으로 발달된 양상을 보였다. 정소의 경우에 정자형성소낭벽은 난소에서와 마찬가지로 얇아진 상태였으며, 소낭벽 근처에서는 일부 정원세포들이 관찰되었고, 소낭의 내강쪽은 대부분 정원세포보다 크기가 작은 호염기성의 정모세포와 정세포들이 차지하고 있었다 (Fig. 2C).

완숙기의 난소에서는 호산성의 난황과립으로 채워진 난모세포들이 난병에서 분리되어 소낭 안쪽까지 분포하며, 소낭 내강에는 직경 100-120 μm 크기의 완숙난모세포들로 가득 차 있었다. 이들 완숙난모세포들의 핵은 세포질의 절반을 차

지하고 있었다. 정소의 경우에는 정자형성소낭벽 근처에서 일부 정모세포와 정세포를 관찰할 수 있었으나, 소낭 내강의 대부분은 다발을 형성한 호염기성의 정자들이 가득 차 있었다 (Fig. 2D).

방출 및 퇴화기의 난소에는 완숙난모세포의 방출로 소낭 내강은 비워졌으나 난병을 가진 일부 후기활성기의 난모세포들이 남아 있었다. 그리고 주로 소낭 내강에서는 미 방출된 잔존 난모세포들의 퇴화과정을 관찰할 수 있었다. 정소에서는 정자들이 방출된 흔적이 관찰되며, 정자형성소낭벽 근처에서 잔존 정원세포와 정모세포들을 관찰할 수 있었다 (Fig. 2E).

생식소 발달단계의 월 변화

생식소의 발달단계를 월별로 보면 암컷의 경우 비활성기의 조직상을 보이는 개체들은 주로 8월 (42%), 9월 (36%), 10월 (32%)에 높은 비율을 보였으며, 초기활성기는 11월부터 이듬해 3월 사이에 관찰되는데 11월 (100%)에 가장 높게 나타났다. 후기활성기는 12월부터 이듬해 4월까지 관찰되었는데 주로 4월 (69%)에 높은 비율로 나타났다. 완숙기는 5월에 주로 관찰되었으며, 방란 및 퇴화기는 7월 (92%)에 가장 높은 비율을 보였다. 수컷의 경우에는 비활성기로 보이는 조직상들이 8월부터 10월 (52-32%) 사이에 나타났으며, 초기활성기는 11월부터 이듬해 3월까지 관찰되었는데 3월 (81%)에 가장 높은 비율로 나타났다. 후기활성기는 11월부터 이듬해 4월까지 관찰되

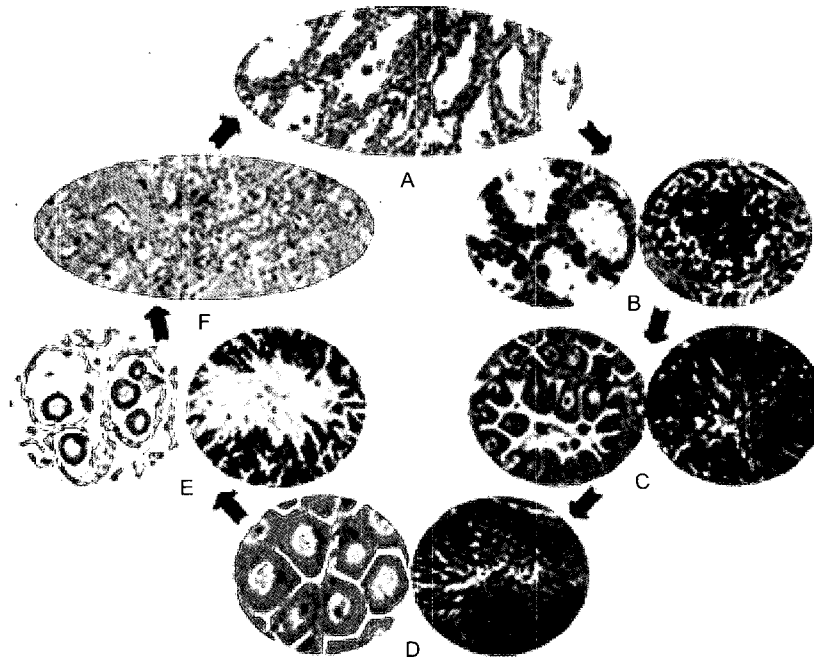


Fig. 2. Photomicrographs on gonad development of the pen shell, *Atrina pectinata*. A, Inactive stage; B, Early active stage. Oogonia and previtellogenic oocytes appear along the oogenic follicle wall in the ovary. And notice spermatogonia near the follicle wall in the testis; C, Late active stage. Vitellogenic oocytes with egg stalk attached to the follicle wall. A number of spermatocytes and spermatids identified near the lumen; D, Ripe stage. Notice round or oval oocytes in the lumen. Basophilic sperm bundles occupied in the lumen; E, Spent and degenerative stage I; F, Spent and degenerative stage II; Gf, gametogenic follicle.

Table 2. Monthly variation in gonad development stage of the pen shell, *Atrina pectinata*. Ea, early active stage; In, inactive stage; La, late active stage; Re, ripe stage; SD I, spent and degenerative stage I; SD II, spent and degenerative stage II

Month	Sex	Female (%)					Male (%)						
		In	Ea	La	Re	SD I	SD II	In	Ea	La	Re	SD I	SD II
Nov. 2004			100						71	29			
Dec.			44	56					56	44			
Jan. 2005			70	30					68	32			
Feb.			35	65					62	38			
Mar			53	47					81	19			
Apr.				69	31					95	5		
May					100						100		
June					65	35					54	46	
July					8	92					4	96	
Aug.		42				58		52				48	
Sep.		36					64	36					64
Oct.		32					68	32					68

있는데 4월 (95%)에 가장 높은 비율로 나타났으며, 완숙기는 5월에 주로 관찰되었으며, 방정 및 퇴화기는 7월 (96%)에 가장 높은 비율로 나타났다 (Table 2).

GI의 월 변화

GI는 조사가 시작된 11월부터 점차적으로 증가하여 5월에는 암·수 모두 4.0으로 연중 가장 높은 값을 보였으며, 6월에 급격히 감소하여 7월에는 각각 0.33과 0.16으로 연중 가장 낮은 값을 보이고, 이후 소폭으로 증가하는 경향을 보였다 (Fig. 3).

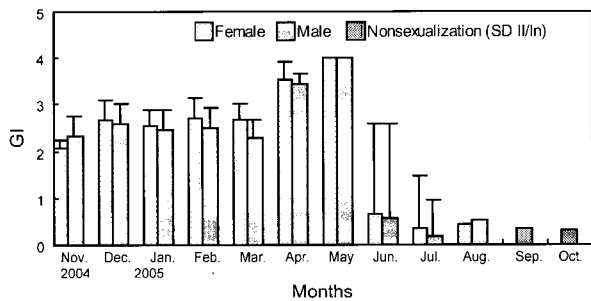


Fig. 3. Monthly variation in gonad index (GI) of the pen shell, *Atrina pectinata*. In, inactive stage; SD II, spent and degenerative stage II; Vertical bar, SD.

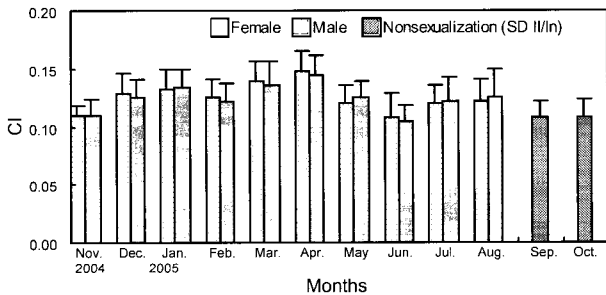


Fig. 4. Monthly variation in condition index (CI) of the pen shell, *Atrina pectinata*. In, inactive stage; SD II, spent and degenerative stage II; Vertical bar, SD.

CI의 월 변화

CI는 암컷의 경우에는 4월에 0.15로 가장 높은 값을 나타냈으며, 9월에 0.10으로 가장 낮은 값을 나타냈다. 수컷의 경우에는 4월에 0.15로 가장 높은 값을 나타냈고, 6월에 0.10로 가장 낮은 값을 나타냈다 (Fig. 4).

AMI의 월 변화

AMI는 암컷의 경우에는 12월에 42.63으로 가장 높은 값을 나타냈으며, 7월에 31.47로 가장 낮은 값을 나타냈다. 수컷의 경우에는 2월에 45.25로 가장 높은 값을 나타냈으며, 7월에 32.66으로 가장 낮은 값을 나타냈다 (Fig. 5).

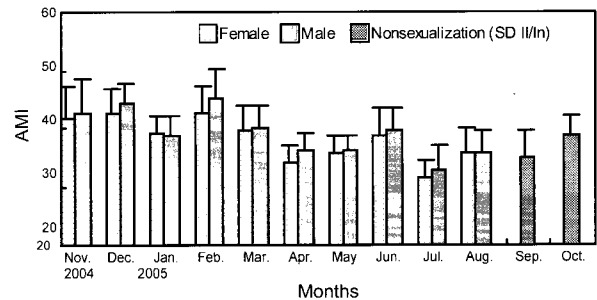


Fig. 5. Monthly variation of adductor muscle index (AMI) of the pen shell, *Atrina pectinata*. In, inactive stage; SD II, spent and degenerative stage II; Vertical bar, SD.

고 찰

이매패류에서 생식주기의 구분은 주로 생식소지수의 월 변화, 비만도의 월 변화, 생식세포의 발달 및 생식소 발달 단계 빈도의 월 변화 등의 자료가 이용되어 왔다 (García-Domínguez et al., 1994; Behzadi et al., 1997; Villalejo-Fuerte and García-Domínguez, 1998; Marsden, 1999; Chung and Kim, 2000; Chung et al., 2001; Park et al., 2003).

해산 이매패류의 생식주기 및 성 성숙은 외인성 요인과 내인성 요인의 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 외인성 요인으로는 수온, 빛, 조석주기, 수심, 먹이, 밀도, 기생충 및 질병,

염분도 및 기질 등이 있으며, 내인성 요인으로는 유전학적 요인과 내분비성 요인 등을 들 수 있는데, 수온은 이러한 여러 요인들 가운데 가장 중요하게 작용하는 요인이다 (Mackie, 1984).

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

백합과 (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), 북방대합, *Spisula sachalinensis* (Lee et al., 1997), 바지락, *Ruditapes philippinarum* (Chung et al., 2001)에서는 수온이 성 성숙에 중요한 요인으로 작용한다.

본 연구결과 키조개는 연중 1회 산란기를 가지는 하계 산란종으로 판단되었으며, 생식주기는 생식소지수의 월 변화와 생식소 발달단계 빈도의 월 변화를 기초로 8-10월의 퇴화·흡수 및 비활성기, 11-3월의 초기활성기, 12-4월의 후기활성기, 5-6월의 완숙기, 6-7월의 주 방출기로 구분할 수 있었다.

대부분의 이매패류는 자웅이체이며, 성비는 보통 1:1 정도이지만 연령, 수온 및 계절적 요인 등에 의해 종에 따라서는 성전환이 일어나므로 성비가 달라진다 (Naidu, 1970). 굴, *Crassatrea virginica* (Brousseau, 1995)과 *Spisula solidissima* (Chintala and Grassle, 1995) 등에서도 자웅동체 현상이 알려져 있다. 본 연구에서도 1월에 1개체에서 자웅동체 현상이 나타나고 있는데, 이는 수온, 염분도 등의 환경요인에 의한 일시적인 현상인지는 좀 더 연구해야 될 과제라고 생각된다.

이매패류에서 비만도의 변화는 생식소 발달주기와 연관성을 보이는데, 새조개 (Chang and Lee, 1982), 북방대합 (Lee et al., 1997), 꼬막, *Tegillarca granosa* (Lee, 1997), 대북, *Gomphina veneriformis* (Park et al., 2003)의 비만도는 생식소의 발달과 함께 증가하며, 생식세포의 방출 후에는 감소한다.

본 연구에서 키조개의 비만도는 암·수 모두 4월에 가장 높은 값을 나타냈고 6월과 9월에 가장 낮은 값을 나타냈다. 약 1개월 정도의 차이는 있었으나 생식소지수의 월 변화 및 생식소 발달과 유사한 형태로 변화는 경향을 보였다. 폐각근지수의 변화는 생식주기 및 비만도의 변화와 연관성을 보이는데, 비만도가 가장 높은 4월과 가장 낮은 6월에 폐각근지수를 조사한 결과, 비만도와 폐각근지수의 변화양상이 서로 역상관계였다.

일반적으로 무척추동물의 생식시기는 종의 지리적 위치 및 생식전략과 밀접한 관계가 있는데, 저위도 지역의 종은 생식시기가 길며 고위도 지역의 종은 생식시기가 짧는데 (Fretter, 1984), 이러한 특성은 위도에 따른 빛이나 수온의

차이가 종의 생식특성에 영향을 주는 것으로 생각된다.

대북의 경우 제주도에 서식하는 개체군의 주 산란기는 6월 말에서 7월초로 보고되고 있으나 (Lee, 1976) 강원도 주문진 연안의 대북의 주 산란기는 7월말에서 8월초로 조사되었는데, 이러한 결과는 위도에 따른 빛이나 수온과 같은 물리적인 외부환경요인의 지리적 차이에 의한 것으로 보고되었다 (Park et al., 2003). 키조개의 경우 여자만 키조개의 주 산란기는 5월로 보고되고 있으며 (Yoo and Yoo, 1984), 본 연구에서는 6-7월로 조사되었다. 이러한 결과의 차이는 조사지역의 위도가 큰 차이가 없다는 점에서 수온과 같은 환경요인 보다는 본 연구의 GSI, GI, CI, 생식소 발달단계 및 AMI에 의한 분석과 Yoo and Yoo (1984)의 생식소 발달단계 및 부유유생 출현량에 의한 분석방법의 차이로 판단된다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 패류연구센터의 경상과제인 “양식패류 품종개량 및 특화 품종개발 (RP-2006-AQ-018)을 위한 연구” 결과의 일부입니다.

참 고 문 헌

- Behzadi, S., K. Parivar and P. Roustaiian. 1997. Gonadal cycle of pearl oyster, *Pinctada fucata* (Gould) in northeast Persian Gulf, Iran. *J. Shellfish Res.*, 16, 129-135.
- 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.
- Brousseau, D.J. 1995. Gametogenesis and spawning in intertidal oyster, *Crassostrea virginica* from western Long Island Sound. *J. Shellfish Res.*, 14, 483-487.
- Chang, Y.J. and T.Y. Lee. 1982. Gametogenesis and reproductive cycle of the cockle, *Fulvia mutica* (Reeve). *J. Kor. Fish. Soc.*, 15, 241-253.
- Chintala, M.M. and J.P. Grassle. 1995. Early gametogenesis and spawning in juvenile Atlantic surfclams, *Spisula solidissima* (Dillwyn, 1819). *J. Shellfish Res.*, 14, 301-306.
- Chung, E.Y. and Y.M. Kim. 2000. Ultrastructural study of germ cell development and sexual maturation of the hard clam, *Meretrix lusoria* (Bivalvia: Veneridae), on the west coast of Korea. *J. Med. Appl. Malacol.*, 10, 181-202.
- Chung, E.Y., D.K. Ryou and J.H. Lee. 1994. Gonadal development, age and growth of the shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum* (Pelecypoda: Veneridae), on the coast of Kimje, Korea. *Kor. J. Malacol.*, 42, 38-54.
- Chung, E.Y., S.B. Hur, Y.B. Hur and J.S. Lee. 2001.

- Gonadal maturation and artificial spawning of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae), in Komso Bay, Korea. *J. Fish. Sci. Technol.*, 4, 208-218.
- Chung, E.Y., T.Y. Lee and C.M. An. 1991. Sexual maturation of the venus clam, *Cyclina sinensis* on the west coast of Korea. *J. Med. Appl. Malacol.*, 3, 125-136.
- Chung, E.Y., Y.M. Kim and S.G. Lee. 1999. Ultrastructural study of germ cell development and reproductive cycle of the purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* (Sowerby). *Yellow Sea*, 5, 51-58.
- 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, A.S. Tompa, N.H. Verdonk and J.A.M. Van Den Biggelaar, eds. Academic Press, New York, pp. 1-45.
- García-Domínguez, F., S.A. García-Gasca and J.L. Castro-Ortiz. 1994. Spawning cycle of the red clam, *Megapitaria aurantiaca* (Sowerby, 1831) (Veneridae) at Isla Espiritu Santo, Baja California Sur, Mexico. *J. Shellfish Res.*, 13, 417-423.
- Hong, S.H., J.B. Lee, Y.J. Im, H.J. Hwang, I.J. Yeon, Y.C. Park, T.S. Ko, C.W. Ma and K.Y. Park. 2002. Population ecology of pen shell, *Atrina pectinata* in the western waters of Korea. I. Geographic distribution and biomass. *J. Kor. Soc. Fish. Res.*, 5, 12-23.
- Lee, J.H. 1997. Studies on the gonadal development and gametogenesis of the granulated ark, *Tegillarca granosa* (Linne). *Kor. J. Malacol.*, 13, 55-64.
- Lee, J.J. 1976. Ecological studies for the culture of the clam, *Gomphina veneriformis* I. Studies on the spawning season, artificial fertilization and egg development. *Bull. Mar. Biol. Stat. Je Ju Nat'l Univ.*, 1, 11-20.
- Lee, J.Y., Y.J. Chang and C.S. Lee. 1997. Reproductive cycle of surf clam, *Spisula sachalinensis*. *J. Kor. Fish. Soc.*, 30, 132-138.
- Lee, J.Y., Y.J. Park and Y.J. Chang. 1999. Gonadal development and reproductive cycle of *Gomphina melanaegis* (Bivalvia: Veneridae). *J. Kor. Fish. Soc.*, 32, 198-203.
- Mackie, G.L. 1984. Bivaves. In: *The Mollusca*, Vol. 7. Reproduction, A.S. Tompa, N.H. Verdonk and J.A.M. Van Den Biggelaar, eds. Academic Press, New York, 351-418.
- Marsden, I.D. 1999. Reproductive cycle of the surf beach clam, *Paphies donacina* (Spengler, 1973) from New Zealand. *J. Shellfish Res.*, 18, 539-546.
- Naidu, K.S. 1970. Reproduction and breeding cycle of the giant scallop, *Placopecten magellanicus* (Gmelin) in Port Bay, Newfoundland. *Can. J. Zool.*, 48, 1003-1012.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development). 1999. Commercial Molluscs from the Freshwater and Continental Shelf in Korea. Kooduk, Busan, 1-197.
- Park, J.J., J.Y. Lee, J.S. Lee and Y.J. Chang. 2003. Gonadal development and gametogenic cycle of the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae). *J. Kor. Fish. Soc.*, 36, 352-357.
- Villalejo-Fuerte, M. and F. García-Domínguez. 1998. Reproductive cycle of *Spondylus leucacanthus* (Broderip, 1833) (Bivalvia: Spondylidae) at Isla Danzante, Gulf California. *J. Shellfish Res.*, 17, 1037-1042.
- Yoo, S.K. and M.S. Yoo. 1984. Studies on the pen shell culture development (I). Reproductive ecology of pen shell in Yoja Bay. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 21, 206-216.

2006년 6월 7일 접수
2006년 10월 20일 수리