

민들조개 (*Gomphina melanaegis*)의 생식소 발달과 생식주기

이정용 · 박영제 · 장영진*
국립수산진흥원 강릉수산종묘배양장, *부경대학교 양식학과

Gonadal Development and Reproductive Cycle of *Gomphina melanaegis* (Bivalvia; Veneridae)

Jeong Yong LEE, Young Je PARK and Young Jin CHANG*

Kangnung Hatchery, National Fisheries Research and Development Institute, Kangnung 210-800, Korea

*Department of Aquaculture, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

Gonadal development and reproductive cycle of *Gomphina melanaegis* collected in the coastal waters of Chumunjin, Korea were investigated monthly from April 1996 to April 1997. *G. melanaegis* was dioecious. The gonads were located between the digestive diverticula and muscle tissues of the foot. The ovary was composed of a number of ovarian sacs, and the testis was composed of several testicular tubules. The flesh weight rate was reached the maximum in August (23.0%), and then decreased to 19.8% in September. In March, the value was reached the minimum (17.8%) and then increased. The size of mature oocyte was ranged 50~60 μm in diameter and had a germinal vesicle with a nucleolus. Mature oocyte contained a large number of yolk granules and lipid granules in its cytoplasm. The spermatozoon was consisted of a conical nucleus with acrosome, a middle piece containing four mitochondria and proximal and distal centrioles, and a flagellum. Sex ratio (♂/♀) and minimum size for sexual maturation of *G. melanaegis* were 0.79 and about 25 mm in shell length, respectively. The reproductive cycle could be classified into five successive stages: multiplicative (December to March), growing (April and May), mature (June), spawning (July and August), and degenerative and resting (September to November) stages.

Key words: bivalvia, *Gomphina melanaegis*, gonadal development, reproductive cycle

서 론

동해안의 강원도 연안은 수질환경이 양호한 청정해역으로 연안의 저층은 거의 암반과 모래로 형성되어 있다. 암반 해역에는 다시마, 미역 등 해조류와 이들을 먹이로 하는 전복, 성게 등 고급 해산물이 서식하며, 모래 해역에는 참가리비 *Patinopecten yessoensis*, 북방대합 *Spisula sachalinensis*, 민들조개 *Gomphina melanaegis* 등 고급 패류가 서식한다. 이중 민들조개는 우리나라 전 연안의 사질에 서식하는 백합과 (Veneridae)의 비부착성 조개로서, 특히, 강원도 연안에서는 가장 많이 서식하는 종이다 (강원도, 1994). 수심 1~10 m의 청정해역에 서식하는 민들조개는 형망어업에 의한 어업인의 고소득원이었으나 최근 남획으로 자원량이 급격히 감소되고 있다. 자원 증대를 위해서는 채취금지 기간의 설정이나 인공 종묘생산에 의한 종패의 방류가 필요하며, 산란기의 파악이 필수적이다. 본종에 관하여는 지금까지 Hwang and Hwang (1981)의 연령과 성장에 대한 연구가 있으나, 자원 증대를 위한 기초 연구가 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 강원도 연안에 서식하는 민들조개의 자원 증대를 위한 기초 자료를 얻고자, 조직학적 방법에 의한 생식소의 발달과정과 생식주기를 조사하였다.

재료 및 방법

민들조개 재료는 1996년 4월부터 1997년 4월까지 매월 강원도 주문진 연안의 수심 2 m 수역에서 채집되었다. 모패집단의 성숙

과 관련한 부위별 크기변화를 조사하기 위하여 vernier caliper를 이용하여 각장 및 각고를 0.1 mm까지 계측하고, 전자저울을 이용하여 육중량 (flesh weight, FW)과 각중량 (shell weight, SW)을 0.1 g까지 측정 한 후, 다음 식에 의하여 육중량비 (flesh weight rate)를 구하였다.

$$\text{육중량비 (\%)} = \frac{\text{FW (g)}}{\text{FW (g)} + \text{SW (g)}} \times 100$$

육중량비의 월변화를 비교하기 위한 통계처리는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test로 평균간의 유의성을 SPSS program을 사용하여 검정하였다.

조직학적 변화를 관찰하기 위하여 5~8 mm 크기로 절단한 생식소 부위를 Bouin 용액에 24시간 고정 한 다음, paraffin 상법으로 5~6 μm 두께의 조직표본을 제작하였다. 표본은 Harris's haematoxylin과 0.5% eosin으로 이중염색한 다음 광학현미경으로 관찰하였다. 또한 성숙한 난모세포 및 정자의 미세구조를 관찰하기 위하여, 산란기의 민들조개 생식소를 2.5% glutaraldehyde와 1% osmium tetroxide로 고정한 후, 70 nm 두께로 박절 한 절편을 uranylacetate와 lead citrate 용액으로 이중염색하여 투과전자현미경 (JEM 1200 E-XII)으로 관찰하였다. 그리고 각장에 따른 성비 및 군성숙도를 알아보기 위하여 성숙 및 산란기로 추정되는 7~8월에 각장 18.6~59.7 mm 범위의 민들조개 120개체에 대하여 성숙한 난모세포 및 정자 유무를 조직학적으로 관찰하였다.

생식주기와 관련된 환경요인으로는 서식지 표층수의 수온과 염분을 조사하였다.

결 과

환경과 육중량비의 월변화

민들조개의 채집 기간 동안 주문진 연안의 월별 평균수온은 1996년 8월에 22.4°C로 가장 높았으며 1997년 2월에 6.1°C로 가장 낮았다. 염분은 1996년 9월에 집중호우로 가장 낮은 32.2‰이었으며, 이듬해 3월에 가장 높은 34.2‰이었다 (Fig. 1).

매월 채집된 개체들의 월별 육중량비의 변화는 Fig. 2와 같다. 육중량비는 1996년 4월에 17.8%이던 것이 수온 상승과 더불어 증가하여 8월에는 최고값으로 23.0%로 증가하였다. 이후 9월에는 급격히 감소하여 19.8%를 나타냈으며 (P<0.05), 수온 하강기 동안 큰 변화가 없다가 3월에 가장 낮은 17.8%를 보인 후 다시 증가하기 시작하였다 (P<0.05).

생식소의 구조

민들조개는 자웅이체로서, 생식소는 소화맹낭과 족부의 망상 결합조직 사이에 위치하였으며, 성숙함에 따라 소화맹낭을 둘러싸고 두껍게 발달하였다. 난소와 정소는 각각 난소소낭과 정소세관으로 이루어져 있었으며, 성숙기의 암수 생식소는 모두 유백색으로 육안적인 성구별이 어려웠다.

생식소 발달

민들조개 생식소의 발달과정을 조직학적으로 관찰한 결과, Chang and Lee (1982)의 방법에 따라 암수 각각 분열증식기, 성장기, 성숙기, 산란기 및 휴지기의 연속적인 5단계로 구분할 수 있었다 (Fig. 3).

분열증식기 (Mu): 소화맹낭에 인접하여 존재하는 발달초기의 난소는 결합조직 사이에 새로운 소낭을 형성하고, 소낭의 생식상피에서 난원세포가 활발히 분열하여 그 수가 증가하였다. 난원세포의 직경은 8µm 내외로, 중앙에 강한 호염기성 반응을 나타내는 인을 가진 핵이 세포질의 대부분을 차지하였다. 정소에는 새로운 세관이 형성되고, 이들의 생식상피에서 정원세포가 활발히 분열하여 그 수가 증가하며, 미분화 간충조직과 호산성 과립세포들이 나타났다.

성장기 (G): 난소에서는 성장을 시작한 난모세포들이 난병 (egg stalk)에 의해 생식상피에 부착하여 서양배 모양으로 내강을 향하여 발달하며, 난모세포에서는 핵의 중심부에 haematoxylin에 질계 염색되는 인이 뚜렷하게 관찰되었다. 핵과 더불어 세포질의 빠른 양적 증가를 관찰할 수 있었다. 정소에서는 분열증식을 마친 정원세포는 제1차 성숙분열을 거쳐 정모세포로 발달하는 조직상을 보였다. 성장기의 정소세관에는 생식상피위의 정원세포들이 대부분 감소하고 정세포로 충만되었다.

성숙기 (M): 난소에서는 난모세포가 성장을 거듭하여 서서히 구형으로 되며, 세포질에 난황물질을 축적하여 성숙란의 모양을 갖추었다. 완숙한 난모세포는 직경 50~60µm 크기였으며, 핵과 인이 뚜렷이 구분되었다. 성숙기의 정소에서는 성숙분열을 마친 정세포가 생식상피 주변에 충만하고 성숙 변태한 정자들이 세관의 내강을 채움으로써 물결모양의 흐름을 이루었다.

산란기 (S): 난소에서는 성숙한 난모세포가 체외로 방출되면서 난소소낭내에 빈 곳이 생겨나고 일부 방출중인 난모세포가 나타

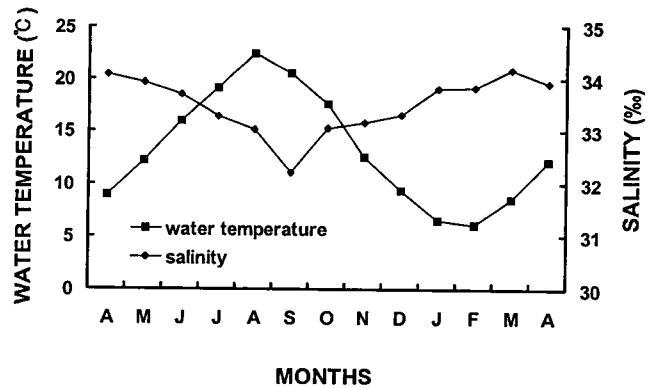


Fig. 1. Monthly variations in water temperature and salinity at the sampling area.

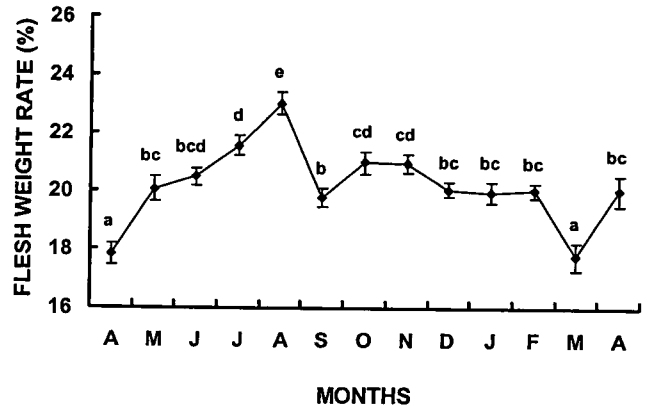


Fig. 2. Monthly changes in the flesh weight rate of *Gomphina melanaegis*. Values are mean ± SE.

났다. 정소에서는 정자들이 체외로 방출되면서 물결모양의 정자배열은 없어지고 세관내에 빈 곳이 생겨났으며, 일부 방출중인 정자가 관찰되는 방정기의 조직상을 보였다.

휴지기 (R): 산란·방정이 끝난 난소소낭 및 정소세관의 위축과 더불어 방출되지 않은 잔존 난모세포 및 정자가 퇴화 흡수되며, 일정기간 조직상의 변화없이 유지되는 상태를 나타냈다.

알과 정자의 미세구조

투과전자현미경 관찰에 의한 난황형성기 난모세포는 전자밀도가 높은 인 (NU)을 가진 핵 (N)이 이중의 단위막으로 둘러싸여 있으며, 세포질에는 전자밀도가 높은 다량의 난황과립 (YG)과 전자밀도가 낮은 지방과립 (LG) 및 미토콘드리아 (M)가 분포하였다 (Figs. 4A, 4B). 성숙난모세포 세포질의 바깥쪽은 0.5µm 두께의 난황막으로 둘러싸여 있으며, 난황막은 미용모가 분포하고, 난황막 바깥쪽에는 젤리층으로 덮여있었다 (Fig. 4C). 민들조개의 정자는 머리, 중편 및 꼬리로 구성되어 있었다 (Fig. 5A). 치밀한 핵질로 충만한 원추형 머리 (N)의 길이는 평균 3.5µm였으며, 그 선단에 첨체 (AC)가 존재하였다 (Fig. 5B) 중편부에는 4개의 미토콘드리아 (M)와 원단 중심소체가 편모와 연결되어 있었다 (Fig. 5C). 꼬리의 편모 (F)는 전형적인 9+2 구조를 나타냈다 (Fig. 5D).

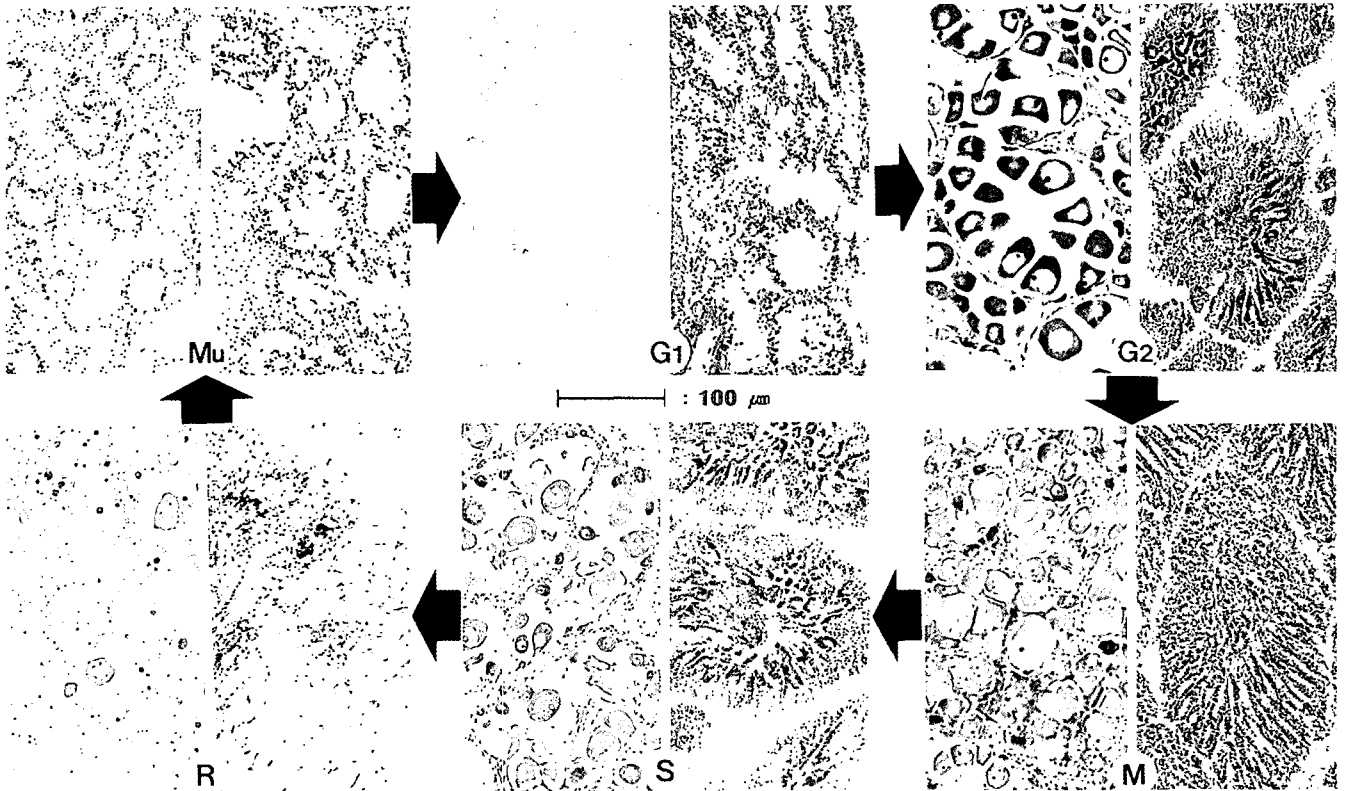


Fig. 3. Histological identification of the gonad developmental phases of *Gomphina melanaegis*. Right side of each photograph shows male gonad and left side female gonad. Mu, multiplicative stage; G, growing stage; M, mature stage; S, spawning stage; R, degenerative and resting stage.

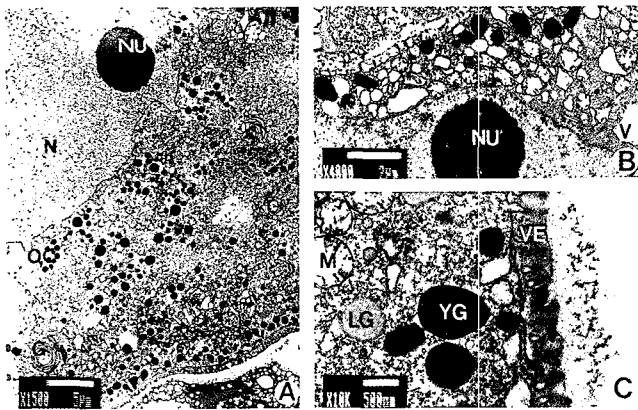


Fig. 4. Electron micrographs of vitellogenic and mature oocyte of *Gomphina melanaegis*. A, early vitellogenic oocyte; B, late vitellogenic oocyte; C, vitelline envelope of a mature oocyte; G, Golgi apparatus; LG, lipid granule; M, mitochondrion; N, nucleus; NU, nucleolus; OC, oocyte; V, vacuole; VE, vitelline envelope; YG, yolk granule.

성비 및 균성속도

각장 크기에 따른 성비와 균성속도를 조사한 결과는 Table 1과 같다. 성비에 있어서 암컷의 비율이 수컷에 비하여 높게 나타났다. 각장 크기에 따른 성비는 35.0~39.9 mm 그룹에서만 수컷이



Fig. 5. Electron micrographs of maturing sperm of *Gomphina melanaegis*. A, section of spermatozoon; B, acrosome formation; C, cross sectioned middle piece of a spermatozoon; AC, acrosome; M, mitochondrion; N, nucleus; F, flagellum.

많았으나 나머지 그룹에서는 암컷이 같거나 많은 것으로 나타나 각장 크기에 따른 성비의 차이는 없었다. 조사된 모든 개체의 암수 성비는 1:0.79였다. 각장 18.6~59.7 mm인 민들조개 120 개체의 생식소를 조직학적 조사 및 현미경 관찰한 결과, 각장 19.9 mm 이하 그룹에서는 성숙개체가 전혀 나타나지 않은 반면, 20.0~24.9 mm 그룹에서는 31.8% 개체가 성숙 상태를 보였다. 그러나 각장

Table 1. Occurrence of sex ratio and sexually matured individuals in various shell length groups of *Gomphina melanaegis* between July and August 1996

Shell length (mm)	Number of examined	Sex ratio (♂/♀)	Matured		Immatured	Maturity (%)
			♀	♂		
18.6~19.9	4	—	—	—	4	0
20.0~24.5	22	0.40	5	2	15	31.8
25.0~29.9	21	0.90	10	9	2	90.5
30.0~34.9	20	0.67	12	8	0	100
35.0~39.9	22	1.44	9	13	0	100
40.0~44.9	12	0.50	8	4	0	100
45.0~49.9	6	1.00	3	3	0	100
50.0~59.7	13	0.63	8	5	0	100
Total	120	0.79	55	44	21	

25.0~29.9 mm 그룹에서 90.5%와 30.0 mm 이상에서는 100%가 성숙함으로써, 민들조개의 균성숙도 50% 이상인 가장 크기는 25.0 mm 이었고, 가장 30.0 mm 이상에서는 암수 모두 100%가 재생산에 참여하였다.

생식주기

민들조개의 생식소 발달상황을 월별로 보면, 암컷의 경우 1996년 4월에 60%의 개체가 성장초기였으나 5월에 빠르게 성장하여 6월부터 성숙 산란하는 개체가 나타났다. 가장 많은 산란개체가 나타난 것은 7월이었으며 89%가 산란기 조직상을 보였다. 8월에는 50%의 개체가 산란에 가담하였으며, 성숙기와 산란후 휴지기의 개체는 각각 8%와 42%였다. 이후 9월에도 23%의 산란하는 개체가 나타났으며, 10월과 11월의 난소는 휴지기로 신생 난원세포가 거의 관찰되지 않은 단계였다. 12월부터 난원세포가 출현하여 수온이 가장 낮았던 3월까지 분열증식의 상태를 보였으며, 1997년 3월이후 수온 상승과 더불어 성장기의 조직상을 관찰할 수 있었다. 수컷에서는 암컷의 경우와 대체로 비슷한 경향으로, 1996년 5월에는 100% 성장기였으며, 6월에 82%가 성숙기로 나타났다. 또한 수컷의 주산란기는 7월이었으며 9월까지 일부 산란하는 개체가 나타났다. 이후 암컷과 동일하게 10월과 11월에는 100% 휴지기였으며, 12월부터 분열증식기, 4월부터 성장기의 조직상을 보였다 (Fig. 6).

이상의 결과에 따라 민들조개 비만도의 월변화와 조직학적 관찰 소견을 종합하여 보면, 주문진 연안산 민들조개의 생식주기는 분열증식기 12~3월, 성장기 4~5월, 성숙기 6월, 산란기 7~8월, 휴지기 9~11월인 것으로 판단된다.

고찰

해산 무척추 동물의 생식주기를 지배하는 환경요인으로 먹이, 수온, 광주기 및 염분을 들 수 있다 (Giese, 1959). 또한 조개류의 생식세포 형성과정은 종특이적으로 지형학적 위치에 따라 다르다 (Giovanni and Diana, 1994). 본 연구의 조사해역에서 수온과 염분은 연주기성을 보였는데, 특히 육중량비는 수온과 유사한 계절 변화가 인정됨으로써, 수온이 민들조개의 배우자 형성과정과

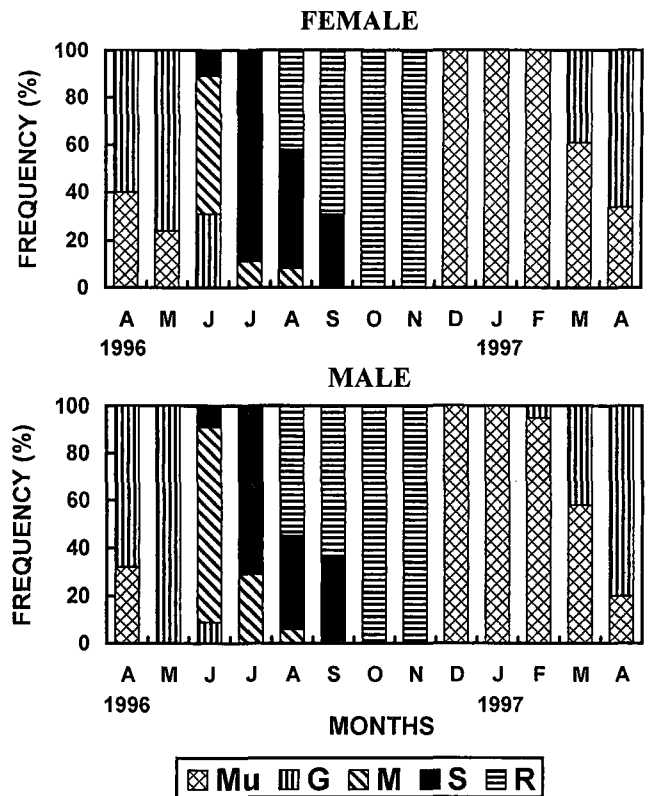


Fig. 6. Gonad developmental stages of *Gomphina melanaegis*. Mu, multiplicative stage; G, growing stage; M, mature stage; S, spawning stage; R, degenerative and resting stage.

밀접한 관련이 있는 것으로 추측된다. Loosanoff and Davis (1963)는 배우자 형성의 재개시는 촉발온도에 기인하며, 바지락 *Ruditapes philippinarum*은 휴지기동안 수온조건에 따라 결정된다고 하였다. 또한, 새조개 *Fulvia mutica*는 수온이 상승하는 3~4월 이후부터 성숙 난모세포가 관찰된 바 있고 (Chang and Lee, 1982), 북방대합에서도 4~5월의 수온상승과 관련하여 성숙 난모세포가 출현하였다 (Lee et al., 1997). 참가리비에서는 저수온기에 생식소의 성장이 개시되어 수온의 상승과 더불어 성숙과 산란이 이루어진다고 하여 (Chang et al., 1985), 조개류의 성숙과 수온은 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 조사된 강원도 주문진 연안의 민들조개는 수온이 10°C 이하로 낮아지는 10월 이후부터 난모세포의 분열증식이 관찰되었으며, 수온이 10°C 이상으로 상승하는 3월부터 난모세포의 성장이 빨라졌다.

조개류의 생식소는 소화맹낭과 족부 근육사이에 수 많은 관 (tube) 또는 주머니 모양의 기관으로 존재하는 것으로 알려져 있어 (Mackie, 1984; Chung et al., 1994; Lee et al., 1997), 민들조개도 조개류의 일반적인 생식소 구조를 가진 것으로 인정된다. 또한 암수 모두 유백색으로 생식소 색깔에 의한 육안적 암수 구별이 어려웠으나, 절개하여 현미경상에서 알과 정자를 확인함으로써 암수의 구분이 가능하였다.

산란기 추정을 위한 육중량비의 월변화 조사 결과, 산란기인 8월에 가장 높은 값을 보인 다음 급속히 감소하였다. 이는 산란

후에 육중량비가 떨어지는 북방대합 (Lee et al., 1997)의 연구결과와 일치하며, 생식소의 성숙과 더불어 비만도가 증가한다는 Chang and Lee (1982)의 연구와도 유사하였다.

본 연구에서는 민들조개 생식소의 비만도 및 조직학적 관찰 소견에 따라 분열증식기, 성장기, 성숙기, 산란기 및 휴지기의 연속적인 5단계로 구분할 수 있었다. 전복류는 휴지기가 없이 방출기 후 곧 회복기로 들어가 새로운 생식세포를 형성하지만 (Webber and Giese, 1969), 민들조개는 북방대합 (Lee et al., 1997), 참가리비 (Chang et al., 1997) 등에서의 같이, 방란 방정 후 생식소에 남아 있던 소수의 생식세포들이 퇴화 흡수되고, 이와 더불어 난소 소낭과 정소세관도 위축되어 일정기간 조직의 변화가 없는 휴지기가 관찰되었다.

조개류의 정자 구조는 종의 진화와 관계있으며, 분류학적 기준이 된다 (Popham, 1979). 일반적으로 정자는 선단부에 모자 모양의 첨체를 가지고 있으며 중편부에는 4~5개의 미토콘드리아를 가지고 있다 (Longo and Dornfield, 1967). 본 연구에서 민들조개의 정자는 약간 긴 머리의 앞부분에 첨체구조를 가지고 있으며, 중편부에는 4개의 미토콘드리아를 가지고 있었다. 또한 전진운동을 위한 꼬리부는 9+2의 전형적인 편모구조로 이루어져 있었다. 이러한 정자 구조는 참가리비 (張, 1986)의 정자와 유사하였으나, 난원형 머리에 5개의 미토콘드리아를 가진 진주담치 *Mytilus edulis* (Nijijima and Dan, 1965) 및 가무락조개 *Cyclina sinensis* (Chung et al., 1991)와는 차이가 있었다.

Mackie (1984)는 자웅이체 조개류의 성비(♀/♂)는 거의 1:1이지만 암컷이 수컷보다 약간 많은 종이 있다고 하였다. 또한 Naidu (1970)는 조개류는 종에 따라서 연령, 수온 및 계절적인 요인 등에 의하여 성전환이 일어나므로 성비가 달라진다고 하였다. 본 연구 결과 민들조개의 성비는 1:0.79로 암컷이 수컷보다 많았으나, 각장 크기에 따른 성비는 큰 차이를 보이지 않음으로써 연령에 따른 성전환의 가능성은 희박한 것으로 판단된다.

조개류의 생물학적 최소형에 대하여 Sakurai et al. (1992)은 개량조개 *Mactra chinensis*의 경우 고위도인 Tokyo만에서 각장 50 mm였으나 저위도인 Tomakomai에서는 각장 25 mm 이상의 개체에서 성숙이 이루어진다고 보고하였다. 이는 위도에 따른 환경 차이가 군성숙도에 영향을 미치는 것으로, 각장 보다는 연령에 의한 생물학적 최소형의 판정이 필요함을 암시해 주고 있다. 본 연구에서 조사된 민들조개는 각장 20.0~24.9 mm 개체에서는 군성숙도가 31.8%이었으나 25.0~29.9 mm 개체에서는 90.5%로 나타남으로써, 생물학적 최소형은 각장 25.0 mm인 것으로 판단된다. 또 이를 인접지역에서 조사한 Hwang and Hwang (1981)의 연구 결과와 종합하여 볼 때, 만 1년생인 것으로 추측된다.

Booolootian et al. (1962)은 연체동물의 산란습성을 연중 산란하는 종 (year-around breeder), 가을과 이듬해 이른 봄 사이에 걸쳐 산란하는 종 (winter breeder) 및 늦봄부터 이른 가을 사이에 걸쳐 산란하는 종 (summer breeder)으로 구분하였다. 민들조개의 산란기는 조사 년도에 따라 수온 등 해황이 다를 가능성이 있어 단정 짓기는 힘들지만, 본 연구에서 민들조개의 생식소를 조직학적으로 관찰한 결과, 주문진 연안산 민들조개는 수온이 상승하는 3월 이후 생식소내 난모세포와 정모세포가 빠르게 성장하여, 수온 18°C 이

상인 7~8월에 산란·방정을 하는 여름산란종 (summer breeder)인 것으로 판단된다.

요 약

1996년 4월부터 1997년 4월까지 강원도 주문진 연안에서 채집한 민들조개 (*Gomphina melanaegis*)의 생식소 발달과정과 생식주기를 조사하였다.

민들조개는 자웅이체로서, 생식소는 소화맹낭과 족부 근육 사이에 위치하였으며, 난소와 정소는 각각 수 많은 난소소낭과 정소세관으로 이루어져 있었다. 육중량비는 1994년 8월에 23.0%로 가장 높았으나 9월에 19.8%로 급격히 감소하였으며, 이후 이듬해 3월에 가장 낮은 값을 보인 후 다시 증가하였다. 성숙기의 난모세포 크기는 50~60 μm 로 전자밀도가 높은 인을 가진 핵이 이중의 단위막으로 둘러싸여 있으며 세포질에는 다량의 난황과립과 지방과립 및 미토콘드리아가 분포하였다. 민들조개의 정자는 머리, 중편 및 꼬리로 구성되어 있었다. 치밀한 핵질로 충만한 원추형 머리는 그 선단에 첨체구조를 가지고 있으며, 중편부에는 4개의 미토콘드리아와 원단중심소체가 편모와 연결되어 있었다. 꼬리의 편모는 전형적인 9+2 구조를 나타냈다. 암수의 성비는 1:0.79였고, 생물학적 최소형은 각장 25.0 mm였다. 생식주기는 분열증식기 (12~3월), 성장기 (4~5월), 성숙기 (6월), 산란기 (7~8월) 및 휴지기 (9~11월)의 연속적인 5단계로 구분되었다.

참 고 문 헌

- Booolootian, R.A., Farmanfarmaina, A. and A.C. Giese. 1962. On the reproductive cycle and breeding habits of two western species of *Haliotis*. Biol. Bull., 122, 183~192.
- Chang, Y.J. and T.Y. Lee. 1982. Gametogenesis and reproductive cycle of the cockle, *Fulvia mutica* (Reeve). Bull. Korean Fish. Soc., 15, 241~253.
- Chang, Y.J., H.K. Lim and Y.J. Park. 1997. Reproductive cycle of the cultured scallop, *Patinopecten yessoensis* in eastern waters of Korea. J. Aquaculture, 10, 133~141 (in Korean).
- Chang, Y.J., K. Mori and T. Nomura. 1985. Studies on the scallop, *Patinopecten yessoensis*, in sowing cultures in Abashiri waters -Reproductive periodicity. Tohoku J. Agr. Res., 35, 91~104.
- 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., 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. Korean J. Malacol., 10, 38~54.
- Giese, A.C. 1959. Comparative physiology. Annual reproductive cycles of marine invertebrates. Ann. Rev. Physiol., 21, 547~576.
- Glovani, S. and C. Diana. 1994. Gametogenic and spawning patterns of manila clams, *Tapes philippinarum* (Bivalvia: veneroida) in two lagoons of the river Po Delta, Italy. J. Shellfish Res., 13, 37~46.
- Hwang, K.Y. and Y.T. Hwang. 1981. Studies on the age and growth of the *Gomphina* (*macridiscus*) *melanaegis* (Roemer) in the

- eastern waters of Korea. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 27, 111~117 (in Korean).
- Lee, J.Y., Y.J. Chang and C.S. Lee. 1997. Reproductive cycle of surf clam, *Spisula sachalinensis*. Bull. Korean Fish. Soc., 30 (1), 132~138 (in Korean).
- Longo, J.C. and B.J. Dornfield. 1967. The fine structure of spermatid differentiation in the mussel, *Mytilus edulis*. J. Ultrastructure Res., 20, 462~480.
- Loosanoff, V.L. and H.C. Davis. 1963. Rearing of bivalve mollusks. Advances in Marine Biology, 1, 1~136.
- Mackie, G.L. 1984. In the Mollusca. Vol. 7 Reproduction. 5. Bivalves, Academic Press, London. pp. 351~418.
- 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.
- Niiijima, L. and J.C. Dan. 1965. The acrosome reaction in *Mytilus edulis*. 1. Fine structure of the intact acrosome. J. Cell Biol., 25, 243~248.
- Popham, J.D. 1979. Comparative spermatozoon morphology and bivalve phylogeny. Malacol. Rev., 12, 1~20.
- Sakurai, I., M. Kurata and T. Miyamoto. 1992. Breeding season of the sunray surf clam *Mactra chinensis* in Tomakomai, Southwest Hokkaido. Nippon Suisan Gakkaishi, 58, 1279~1283.
- Webber, H.H. and A.C. Giese. 1969. Reproductive cycle and gametogenesis in the black abalone, *Haliotis cracheroidii* (Gastropoda; Prosobranchiata). Mar. Biol., 4, 152~159.
- 강원도. 1994. 강원연안 주요패류 자원분포조사 보고서. pp. 157.
- 張榮振. 1986. 外海放流ホタテガイに関する生理生態學的研究, 特に生殖關連器官の細胞・組織化學的動態について. 東北大學 大學院 博士學位論文, pp. 218.

1998년 10월 9일 접수

1999년 3월 10일 수리