

민들조개 (*Gomphina melanaegis*) 생식주기에 관한 조직·생화학적 연구

김수경·이 주*·김영대·조규태·이종하·박민우·김재원¹·공용근²
 국립수산물과학원 동해수산연구소, ¹강원도립대학교 생명과학부, ²영동내수면연구소

Histological and Biochemical Analyses on Reproductive Cycle of *Gomphina melanaegis* (Bivalvia; Veneridae)

Su Kyoung KIM, Chu LEE*, Yong Dae KIM, Qtae Jo, Jong Ha LEE, Min Woo PARK, Jae Won KIM¹ and Yong Geun GONG²
 East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangneung 210-861, Korea
¹Dept. of Marine Bio-resources, Gangwon Provincial University, Gangneung 210-804, Korea
²Youngdong Inland Fisheries Research Institute, Yang yang 215-821, Korea

The seasonal reproductive cycle of *Gomphina melanaegis* collected in the coastal area of Jumunjin, between April 2006 and March 2007, was analyzed. Maturation cycle parameters such as the gonad index (GI), ovarian egg diameter, frequency of developmental stages, protein content, and RNA/DNA variation in the gonads were analyzed monthly for the 40 samples. According to the indices from histological sections, the frequency of gonad developmental stages, and the oocyte diameter, this clam has a long-term partial spawning pattern from March to October. However, GI and nucleic acid values showed that the mature stage is from March to July and that the main spawning season is August. The peak RNA and DNA contents were good indicators of sexual maturation in females and males, respectively. The variation in protein content corresponded with the RNA/DNA ratios.

Key words: *Gomphina melanaegis*, Gonad, Reproductive cycle, RNA/DNA

서론

백합과 (Veneridae)의 민들조개는 우리나라 전연안의 사질에 분포하며, 특히 동해안 해역의 수심 2-10 m에 가장 많이 서식하고 있는 한해성 패류로 지방에서는 대합, 대복, 제복 등의 방언이 있으며 최대 성장시 각장이 약 5 cm에 이르기까지도 한다. 동해안 특산품종이라 할 수 있는 이 조개는 강원연안의 총 패류 자원량의 21.2%를 차지하였고 90년대까지만 해도 연간 생산량이 약 200여 톤으로 어민들의 주요 소득원이었다 (Gangwondo, 1994). 그러나 최근 동해안 해양환경변화, 태풍, 남획 등 여러 가지 요인들에 의해 2006년도에는 약 20톤으로 생산량이 줄어 자원감소 위기에 처하고 있으며 자원관리측면에서 좀 더 정확한 생식주기 파악과 자원량의 산정이 필요한 실정이다. 본 종에 관한 연구로는 연령과 성장 (Hwang and Hwang, 1981)과 생식소 발달과 생식주기 (Lee et al., 1999)에 관한 연구가 있으며 자원증대를 위한 기초 연구는 부족한 실정이다.

일반적으로 해양생물의 생식주기와 특성을 파악하는 방법으로 아래와 같은 분석법이 사용되고 있는데 첫째, 생식소지수 (GI; gonad index) 또는 생식소숙도지수 (GSI; gonadoso-

matic index)이며 전자는 생식소가 별도의 기관으로 존재하지 않는 패류에서 조직학적 검사에 의하여 생식소발달단계를 구별하고 수치화 하는 방법이며 (Mann, 1979), 후자는 생식소가 생식기관으로 분리되어 전체 체중에 대한 생식소의 중량을 계산하여 산란패턴을 파악하는 방법이다. 둘째, 조직학적 검사로 각 생식발달단계별 빈도수를 산출하여 성숙시기를 판단하기도 하며 (Barber and Blake, 1991), 셋째, 생식소낭내의 난경의 변화로 암컷의 성숙상태를 나타내는 지표로 사용하기도 한다 (Sastry, 1970; Barber and Blake, 1981; Lauren, 1982; Barber et al., 1988).

본 연구에서는 위와 같은 성숙지표 이외에 생식주기를 판별하는 분석방법으로 백합과의 개조개에서 가장 좋은 지표로 제시된 RNA/DNA 정량과 비율분석 (Kim et al., 2005)을 접목하여 다른 분석법들과 비교분석하였으며, 장기간 산란 또는 다회 산란으로 추정되는 민들조개의 정확한 생식주기와 산란패턴을 조사하여 인공종묘생산을 위한 기초자료로 사용하고자 하였다.

재료 및 방법

수온변화측정

생식주기와 관련된 환경요인으로 서식지 표층수의 수온

*Corresponding author: chulee@nfrdi.go.kr

변화를 동해수산연구소 어장정보시스템을 통하여 시간별 측정을 하였고 2006년 4월부터 2007년 3월까지 매월 평균과 표준편차로 계산하였다.

조직학적 분석

2006년 4월부터 2007년 3월까지 매월 중순경 강원도 강릉시 주문진 연안에서 40마리의 샘플을 채집하여 형태학적 측정(각장, 각고, 각폭, 전중, 육중, 각중)을 한 후 핵산 분석을 위해 생식소부위를 분리하여 초저온 냉동고 (-68°C)에 보관하였다. 조직학적 분석 시료로는 생식소부위를 절개하여 Bouin's solution에 고정한 후 자동포매기(tissue processor, Leika, Germany)로 탈수과정을 거쳐 파라핀에 고정 한 후 5-6 μm 절편을 만들고 Hematoxylin-eosin 염색을 하여 생식소 발달단계 및 난모세포의 크기를 측정하였다. 생식소 발달 단계는 총 5단계로 생식세포의 수, 크기와 형태를 고려하여 stage I: 초기 활성화기(early active stage), stage II; 후기 활성화기(late active stage), stage III; 완숙기(ripe stage), stage IV; 부분 방출기(partially spawned stage), stage V; 회복기와 휴지기(recovery and inactive stage)로 구분하였으며(Kim et al., 2005), 생식소지수(GI)는 Mann (1979)의 방법에 의하여 아래와 같이 계산하였다.

$$\text{GI} = \frac{(\text{number of stage I} \times 3) + (\text{stage II} \times 4) + (\text{stage III} \times 5) + (\text{stage IV} \times 2) + (\text{stage V} \times 1)}{\text{total Number observed by month.}}$$

난모세포의 크기는 절편상에서 핵이 중앙에 절단된 것을 측정하였으며 월별 최소 100개 이상의 난모세포를 측정하였다.

생화학적 분석

핵산 분석은 Clemmesen (1994) 과 Belchier et al. (2004)의 분석법을 변형하여 형광광도법으로 Microplate reader (Ascent FL, Thermo Fisher, Germany)를 사용하여 측정하였다(Kim et al., 2005). 생식소의 일부를 동결건조한 후 (-50°C, 24 h), 무게를 측정하여 Tris-ethylenediaminetetraacetic acid (TE; 5 mM Tris-HCl, 0.5 mM EDTA, pH 7.5)+0.01% SDA (Sodium dodecyl acrylamide, Merck, Germany) 용액 400 μL 에 넣고 수동 마쇄기(hand pestle; Retsch Qiagen, USA)로 얼음위에서 30초 동안 분쇄를 하였다. 그 후 4°C, 6,000 rpm에서 8분간 원심분리(Centri-Micro 17 TR, 한일, 한국)를 하였고 상등액으로 핵산 분석을 하였다. 형광염색액으로는 ethidium bromide (EtBr, Sigma)을 사용하였으며 20 μL RNase를 첨가하여 분해한 후 형광량의 차이를 DNA 그리고 감소량을 RNA로 추정하였다.

단백질 측정

생식소내 단백질 농도의 측정은 Bio-Rad protein assay kit II (Bio-Rad, Hercules, CA, USA)를 사용하여 핵산분석을 위해 마쇄한 용액으로부터 10 μL 를 취하고 290 μL 의 증류수와 50 μL Coomassie Brilliant Blue (G-250)을 혼합하여 595 nm

에서 microplate reader (Multiskan Spectrum, Thermo Fisher, Germany)로 측정하였으며 표준농도는 2 mM sodium azide를 포함한 BSA (Bovine serum albumin, Sigma, Germany)를 2 mg/mL로 용해한 후 1-32 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 농도범위로 희석하여 흡광도를 측정하였다.

결 과

생식소발달

암컷생식소의 초기 활성화기(Fig. 1A)에는 결합조직 사이에 소낭이 형성되어 있었고 생식상피에서 난원세포의 분열 증식이 관찰되었으며, 후기 활성화기에는 생식소낭을 따라 작은 크기의 난원세포, 난모세포들이 다양하게 존재하였다. 후기 활성화기에 달한 암컷의 생식소는 성숙중인 난모세포들이 생식소 내강으로 점차 이동하는 것을 볼 수 있다(Fig. 1B). 완숙기의 생식소는 점차 난황이 축적되어 성숙란의 형태를 갖추었으며 소낭을 가득 메우고 있었다(Fig. 1C). 완숙된 난모세포의 크기는 50-70 μm 였다. 산란기에는 완숙된 난모세포들이 다량으로 방출되어 내강이 비워져 있었으며 소량의 크기가 작은 난모세포들이 잔존하고 있었다(Fig. 1D). 회복기 또는 휴지기의 암컷의 난소소낭은 방란으로 비워진 난소내강이 간충질세포로 채워지는 것을 볼 수 있었다(Fig. 1E).

수컷 생식소는 초기 활성화기에(Fig. 1F) 소화맹낭에 인접하여 존재하는 발달초기의 정소에는 새로운 세관이 형성되고, 이들의 생식상피위에서 정원세포가 활발히 분열하며 호산성 과립세포들이 보였다. 후기 활성화기(late active stage)에 정모세포가 출현하였고 정모세포가 가득찬 정소에선 이미 변태가 일어난 정자가 작은 물결을 이루며 정소낭 중앙에 일부 퍼져 있는 것이 보였다(Fig. 1G). 완숙기의 생식소는 성숙분열을 마친 정세포가 생식상피 주변에 가득하였으며 일부소낭에서는 정자의 방출 흔적이 관찰되었으나 대부분의 소낭에서는 변태한 정자들이 세관내강에 가득 차 있는 것을 볼 수 있었다(Fig. 1H). 산란기에는 정자들이 체외로 방출되면서 정소세관의 내강이 비워져있었고 일부 잔존하고 있는 정자들이 존재하였다(Fig. 1G). 회복기 또는 휴지기의 정소는 간충질 세포로 채워지는 것이 관찰되었다(Fig. 1J).

생식소지수

생식소 조직 검사에 의한 생식소지수(GI)의 변화를 Fig. 2에서 보면 암컷의 경우 5월, 6월과 7월에 각각 4.8 ± 0.06 , 4.3 ± 0.16 , 4.6 ± 0.08 의 값을 보였고, 수컷 또한 4 ± 0.20 , 4.3 ± 0.17 , 4.2 ± 0.08 로 가장 높은 값을 보였다. 그 후 생식소 지수는 급격히 감소하여 8월에 2.4 ± 0.08 (암컷), 1.7 ± 0.15 (수컷)로 감소하였으며 10월부터 12월까지의 비교적 낮은 값인 1.5-1.7 (암컷)과 1.5-1.6 (수컷)을 유지하였다. 암컷은 1월부터 GI값이 증가하여 이듬해 3월에는 3.8 ± 0.21 로 높은 값을 보였고 수컷은 3.2 ± 0.22 로 나타났다. 생식소 지수는 수온이

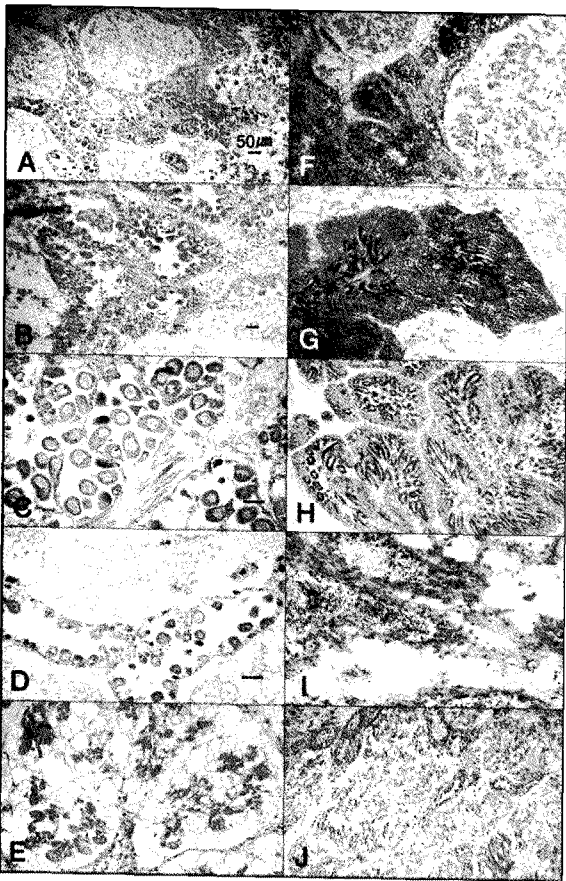


Fig. 1. Gonadal development of females and males of *Gomphina melanaegis*. Female (left), male (right). A, F; early active stage, B, G; late active stage, C, H; ripe stage, D, I; partially spawned stage, E, J; spent and inactive stage. Bars = 50 μ m.

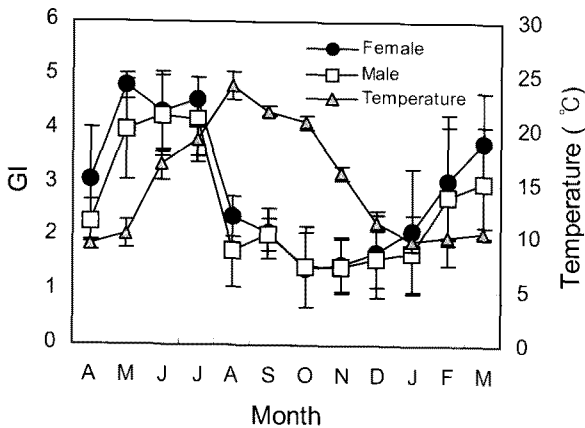


Fig. 2. Monthly change in GI of *Gomphina melanaegis* and seawater temperature. Error bars indicate standard error.

4월 9.2°C에서 7월 18.9°C까지 상승하는 시기에 증가하였고 24°C로 최고의 수온이 기록된 8월에 급격히 감소하였으며 수온이 가장 낮은 1월-3월에 생식소 지수가 다시 증가하는 것을 볼 수 있었다.

난모세포 크기 변화

생식소내 난경을 측정된 결과 4월부터 일부 성숙된 난들이 출현하였고, 약 80% 정도가 20-40 μ m의 범위였다 (Fig. 3). 5월에는 가장 높은 출현빈도수를 나타낸 난경의 범위는 30-40 μ m였고, 7월경에는 20-60 μ m까지 모든 크기의 난모세포 및 완숙난들이 존재하여 다양한 생식소 발달단계를 갖는 것으로 나타났다. 8월 이후 암컷의 생식소내 난들은 대부분이 방출이 일어났으며 소량의 잔존란들은 장경 20-50 μ m까지 다양한 분포를 이루고 있었다.

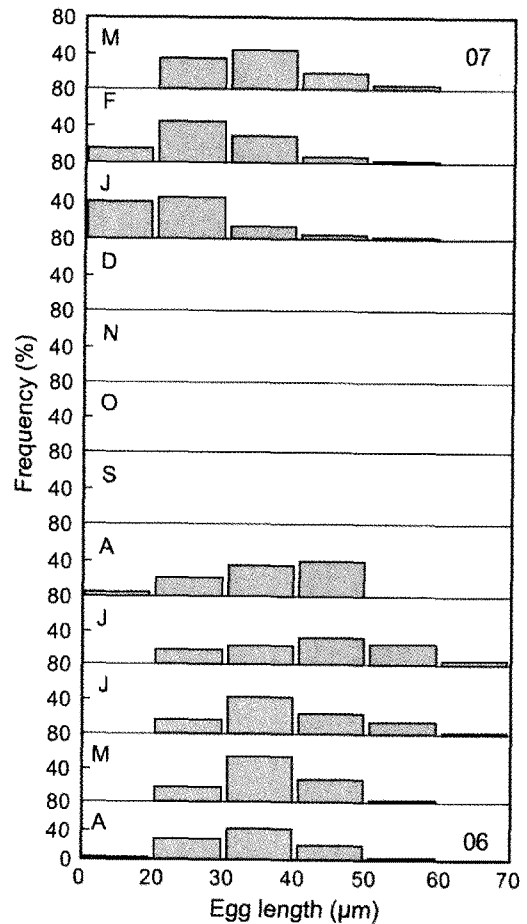


Fig. 3. Relative frequency distribution of the ovarian egg diameter. Total N = 731.

생식주기

월별 암컷과 수컷의 각 생식소 발달단계의 출현율을 보면 (Fig. 4), 수컷의 경우 4월에 80%가 초기 활성기 이었고 5-7월은 각각 45%, 57%, 41%로 완숙기의 개체들이 나타났다. 부분방출기의 개체들은 5월부터 일부 시작되어 10월까지 계속 출현하였다. 휴지기 및 회복기의 개체들은 8월부터 이듬해 2월까지 장기간 존재하는 것이 확인되었으며, 초기 활성기는 6월 한 달을 제외하고 모든 시기에 관찰이 되었다 (Fig. 4 top). 암컷의 생식세포의 발달은 4월에 난원세포와 난모세포가 성장하기

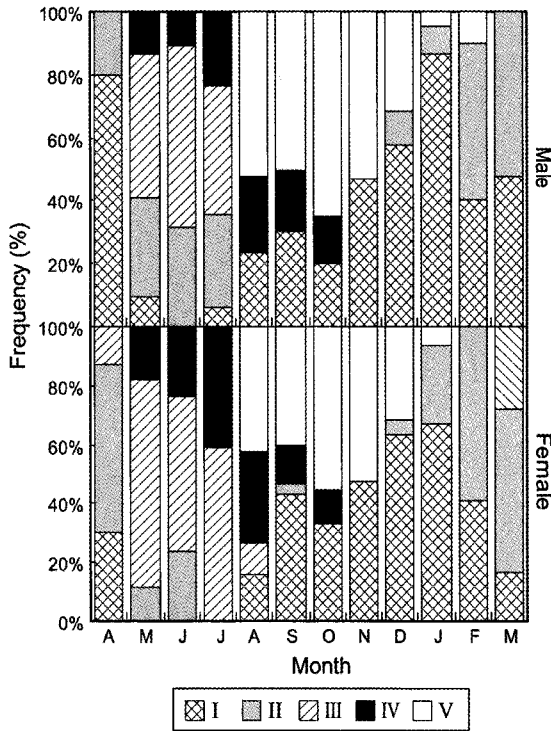


Fig. 4. Monthly change in frequency of gonadal development stages of *Gomphina melanaegis*. Female (top), male (bottom). I, early active stage; II, late active stage; III, ripe stage; IV, partially spawned stage; V, recovery and inactive stage. Total N=360.

시작하는 초기, 후기 활성기의 개체들이 주로 관찰되었으며 4월부터 일부 성숙된 난이 보이기 시작하여 7월에는 59%가 완숙기, 41%가 부분방출기로 나타났다. 부분 방출기의 개체는 5월부터 나타나 10월에도 약 11%의 개체들이 부분방출기로 나타났다. 휴지기는 8월부터 이듬해 1월까지였으며 수컷과 동일하게 초기 활성기가 8월부터 이듬해 4월까지 장기간에 걸쳐 관찰되었다. 후기 활성기는 1월부터 출현빈도가 증가하여 2-3월에 걸쳐 50% 이상으로 나타났다 (Fig. 4, bottom).

핵산함량의 변화

암컷의 경우 RNA 농도는 7월에 가장 높은 값인 $8.3 \pm 0.5 \mu\text{g}/\text{mg}$ 에서 8월에 $1.94 \pm 0.3 \mu\text{g}/\text{mg}$ 로 급격히 감소하였고 그 이후는 점차적으로 증가하였다. DNA 농도는 4월에 가장 높은 값인 $1.2 \pm 0.2 \mu\text{g}/\text{mg}$ 7월까지의 일시적인 증가를 보였으며 11월에 가장 낮은 농도인 $0.2 \pm 0.01 \mu\text{g}/\text{mg}$ 으로 나타났다. RNA/DNA 비율은 RNA와 같은 양상으로 변화를 하였으며 4월에 RNA/DNA 비가 3.6에서 급격히 증가하여 5월에 가장 높은 값인 11.2로 나타났고 6월에는 일시적으로 감소하였다. 그리고 7월에 다시 증가하여 8.0으로 나타났으며 그 후 지속적으로 감소하여 10월에 가장 낮은 값인 2.9로 나타났다 (Fig. 5). 수컷 생식소내의 RNA의 농도는 4월에 $4.2 \pm 0.2 \mu\text{g}/\text{mg}$ 에서 5월에 $6.8 \pm 0.5 \mu\text{g}/\text{mg}$ 으로 증가하였으며 그 후 감소하여 10월에 가장 낮은 값인 $0.5 \pm 0.03 \mu\text{g}/\text{mg}$ 의 농도를 나타냈다.

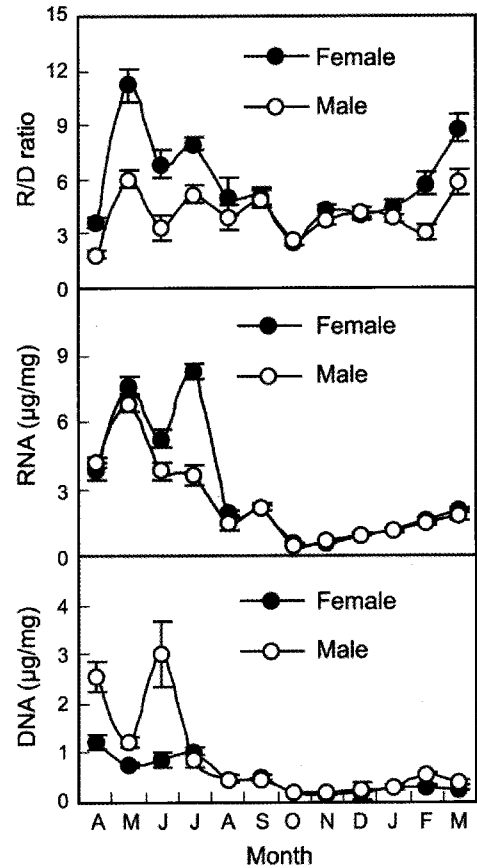


Fig. 5. Monthly variation of R/D ratio, RNA and DNA content in gonad of *Gomphina melanaegis* from April 2006 to March 2007. Female (top), male (bottom). Error bars indicate standard error.

그 후 점차 증가하기 시작하여 이듬해 3월에 $1.8 \pm 0.1 \mu\text{g}/\text{mg}$ 의 값을 보였다. DNA 농도는 4월에 $2.6 \pm 0.3 \mu\text{g}/\text{mg}$ 에서 일시적으로 감소하여 5월 $1.2 \pm 0.1 \mu\text{g}/\text{mg}$ 로 나타났으며 6월에 가장 높은 농도인 $3.0 \pm 0.7 \mu\text{g}/\text{mg}$ 을 보였다. 그 후 7월부터 농도가 급격히 감소하여 11월에 $0.2 \pm 0.03 \mu\text{g}/\text{mg}$ 의 가장 낮은 값을 보였고 점차 서서히 증가하여 이듬해 3월에 $0.4 \pm 0.05 \mu\text{g}/\text{mg}$ 로 나타났다. RNA/DNA 비는 암컷의 경우와 같이 RNA 변화양상과 동일함을 보여 4월에 1.8 ± 0.2 에서 5월에 6.0 ± 0.5 로 증가하였고 이듬해 3월까지 계속 증감이 반복되었다.

단백질 함량의 변화

암컷의 생식소내 단백질 함량의 변화는 단백질 합성에 관여하는 RNA 함량 변화와 일치하는 변화 양상을 보여 5월과 7월에 각각 $112.3 \pm 11.7 \mu\text{g}/\text{mg}$, $111.1 \pm 17.7 \mu\text{g}/\text{mg}$ 의 높은 값을 보였으며 그 후 점차 감소하여 9월에 $26.4 \pm 10.4 \mu\text{g}/\text{mg}$ 의 최소값을 보였다 (Fig. 6). 10월부터 다시 증가한 단백질은 지속적으로 $83.3-96.6 \mu\text{g}/\text{mg}$ 의 값을 유지하는 것으로 나타났다. 수컷의 경우 월별 변화는 암컷의 생식소와 같은 변화양상을 보였으며 5월에 $123.4 \pm 14.1 \mu\text{g}/\text{mg}$ 의 최대농도를 보인 후 지속적으로 감소하여 9월에 $36.5 \pm 16.6 \mu\text{g}/\text{mg}$ 을 나타냈다. 그

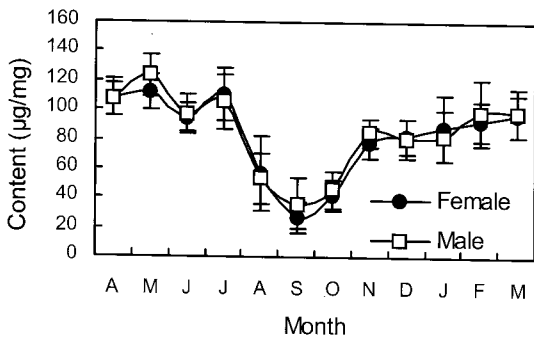


Fig. 6. Monthly variation of protein content in gonad of *Gomphina melanaegis*. Error bars indicate standard error.

후 10월에 다시 급격한 증가를 보였으며 이듬해 3월까지 91.5-98.6 µg/mg의 유사한 농도를 유지하였다.

고 찰

해산패류의 계절에 따른 생식주기와 빈도는 지형학적인 분포에 따라 영향을 받아 다른 특성을 나타냄으로 각 개체군마다 고유의 생식리듬과 산란기를 결정하는 것이 필요하다. 분리된 기관으로 존재하지 않는 대다수의 백합과 패류는 생식소가 소화맹낭과 근육사이에 위치하며 가장 성숙된 시기에는 족부의 섬유성 망상결체조직까지 확장이 되는 것을 볼 수 있다 (Chung et al., 1999). 암수모두 유백색의 난과 정자를 갖고 있어 육안으로 판정하기는 어려우나 성숙기에 이르면 난은 과일모양의 알갱이가 보이고 정자는 우유빛 점액질 성분을 갖기에 구별이 가능하다.

해산 무척추동물의 생식주기를 지배하는 주요 환경요인으로는 수온을 들 수 있다. 강원도 주문진 연안의 민들조개 산란주기를 연구한 Lee et al. (1999)의 결과를 보면 최고 수온이 1996년 8월에 22.4°C, 가장 낮은 수온은 97년 2월에 6.1°C이었고, 생식주기를 보면 4월에 60%의 암컷이 초기 활성화, 5월에 난모세포들이 빠르게 성장하여 6월부터 산란하는 개체가 출현하였으며 10월에는 암수 모두 회복기 와 휴지기로 조사되었다. 그러나 본 연구에서는 가장 높은 수온이 8월 24.0°C, 낮은 수온이 3월에 8.3°C로 기록됨에 따라 10년간 해수의 온도가 약 1.6-1.8°C 정도 상승된 것으로 나타났으며 최초 산란이 일어난 시기 또한 암수 모두 5월로 10년 전보다 생식소 성숙이 빠르게 진행되었고 10월까지 일부개체가 부분 방출기로 나타나 개체간의 차이가 큰 것으로 나타났다. 민들조개의 생식소 지수로 성숙 과정을 파악해보면 위의 연구와 같이 표층 수온의 상승과 더불어 생식소의 성숙이 이루어지며 8월에 약 24°C로 최고수온을 보이는 시기에 대부분의 개체가 산란이 이루어진 것으로 볼 수 있다. 암컷의 생식소내 난모세포의 변화를 보면 산란이 이루어진 8월에 40-50 µm의 잔존란이 다량 존재하고 다양한 크기 및 발달단계의 난모세포들이 개조개의 생식소 (Kim et al., 2005)와 같이 생식소내 남아있는 것이 관찰되었으며, 산란에 의하여 급속하게 크기가 큰 난모세포가

대량 방출되는 *Argopecten irradians concentricus* (Sastry, 1970; Barber and Blake, 1981), *Hinnites giganteus* (Lauren, 1982) 등과 다르게 나타났다. 이와 같은 이유로 9월 이후부터는 방출되지 않고 남아있는 난모세포를 측정함으로써 성숙에 관한 오류를 범할 수 있으므로 측정을 하지 않았다 (Fig. 3).

장기간 또는 다회 산란을 하는 백합과의 패류는 한 생식소내에 여러 단계의 생식소 발달단계가 존재하여 정확한 산란과정을 이해하기 어렵다. 그러나 해산 어류, 패류, 식물성플랑크톤 등 다양한 생물의 건강상태와 성장에 관한 지표로 사용이 되는 RNA와 DNA의 농도 및 비 (Bulow, 1970; Clemmesen, 1993, 1994; Kim et al., 2006)는 생식소 발달에 따라 변화함으로써 양적인 개념의 정확한 산란패턴을 연구하는데 많은 정보를 제공하여 조직학적 검사와 상호 보완적으로 사용이 가능하다 (Robbins et al., 1990; Li et al., 2000, Kim et al., 2005). R/D의 비를 지표로 이용하는 기본 원리는 핵산이 단백질 합성에 관여하며 그로 인한 성장과 연결 지을 수 있기 때문이다. 세포 분화에 의한 생물내의 세포수의 변화는 핵 속에 존재하는 DNA의 양이 체세포에서 비교적 일정하다는 전제하에 추정이 가능하며, RNA는 DNA로부터 리보솜에 유전정보를 운반하여 단백질합성을 가능하게 하는데 세포내 단백질 합성능력에 따라 그 양이 변화하기 때문에 그 비를 지표로 사용하여 왔다 (Brachet, 1961).

생식소내 핵산의 변화로 난 및 정자의 성숙 및 방출과정을 살펴보면 암컷의 경우 4월에 낮은 RNA/DNA 비를 보임으로 난모세포의 크기가 작았고, 5월에 RNA/DNA 비가 증가함으로써 난모세포의 성숙이 진행되는 것으로 나타났다. 생식소 조직검사결과 5-7월에 생식세포의 성숙이 일어난다고 판정이 되지만 가장 높은 RNA/DNA의 비가 5월로 나타나 한 세포가 난황축적으로 인하여 가장 커지는 시기이며 성숙된 난이 존재하는 것으로 추정 가능하였다. 이후 일시적인 감소는 일부 생식소에서 부분산란에 따른 결과로 추정되었다. 7월에 RNA 증가로 난모세포의 또 한번의 성장이 관찰되었으며 8월에 급격한 감소를 보임으로 성숙된 난들의 대량 산란이 이루어졌음을 알 수 있다. 위와는 반대로 수컷의 경우 4월에 높은 DNA, 낮은 RNA 농도는 이미 생식소내의 정모세포가 정자로 변태를 완료한 개체가 증가하였으며 표준오차의 범위가 큰 것으로 미루어 다양한 시기의 정원세포, 정모세포 및 정자를 갖고 있으며 5월경에 DNA의 급격한 감소로 변태를 완료한 정자의 방출이 일어난 것으로 추정되었다. 암컷의 경우 RNA 농도의 변화는 성숙기 동안에 다른 기간보다 약 4-5배의 증가를 보여 난모세포의 성장과 더불어 생식주기 변화를 파악할 수 있는 지표가 되었으나 RNA/DNA의 비율은 개조개의 생식주기를 파악한 Kim et al. (2005)의 연구에서 RNA/DNA 비율과 RNA 농도변화가 좋은 지표로 제시된 것과는 달리 방출이 일어난 후 이듬해 3월에 낮은 DNA농도에 의하여 RNA 농도가 낮음에도 불구하고 상대적인 RNA/DNA 비가 급격하게 증가함을 보여 민들조개의 경우 RNA 농도 변화를

성숙과 관련된 지표로 사용할 수 있었다. 수컷의 생식소내 핵산비율은 짧은 휴지기과 조기의 정원세포의 발달로 인하여 RNA/DNA 비가 GI의 변화와는 일치하지 않았으며 RNA, DNA의 농도 변화와는 일치하는 경향을 보여 성숙과 관련된 지표로 사용할 수 있음을 보였다. 주목할 점은 생식주기의 출현빈도수로는 파악하기 힘들었던 양적인 개념의 산란 패턴이 RNA, DNA 농도 분석결과 쉽게 파악이 가능하다는 점이며, Kim et al. (2005)의 개조개의 연구에서와 같이 수컷의 성숙이 암컷의 성숙보다 한 달 전에 이루어지는 것을 볼 수 있었다.

생식소내 단백질 함량의 변화는 암컷과 수컷 모두 동일한 연간 변화 양상을 보였는데 암컷의 경우 RNA/DNA와 RNA 농도와 동일한 패턴으로 변화하고 산란이 끝난 시기인 9-10월에 가장 낮은 값을 보임으로 단백질 함성과 관련된 핵산의 변화와 일치함을 보였다. 민들조개 암수간의 연간 단백질 함량의 변화는 기존의 다양한 패류의 연구에서 생식세포 성장기와 성숙기에 난황 단백질에 의해 암컷에서 수컷보다 더 높은 단백질량을 보이는 것과는 달리 민들조개의 경우는 연간 단백질 함량의 변화가 모두 동일한 양상으로 변화하였다.

민들조개 암수의 생식세포의 변화, 생식주기의 각 발달단계별 출현비율에 의하면 5-7월에 성숙기, 7-10월까지 산란기 개체가 나타났으며, 생식소지수(GI)와 핵산의 비(RNA/DNA)는 월별로 유사하게 변화하여 5월에 모두 가장 높은 값을 보였고 6월에 일시적으로 감소하였으며 7월에 다소 상승한 후 8월에 이르러 다시 감소하는 양상을 보임으로 일부 부분방출이 일어났지만 모든 요인을 종합하여 보면, 주 산란기는 8월이라는 결론에 이르게 되었다.

사 사

본 연구는 국립수산물품질관리원 동해안 특산품종 개발연구(RP-2008-AQ-031)에 의해 수행이 되었으며 분석에 도움을 주신 안명모, 강상훈, 이숙희씨와 고 박세규 선생님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

Barber, B.J. and N.J. Blake. 1981. Energy storage and utilization in relation to gametogenesis in *Argopecten irradians concentricus* (Say). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 66, 247-256.

Barber, B.J. and N.J. Blake. 1991. Reproductive physiology. In: S. Shumway (ed), *Scallops; Biology, Ecology and Aquaculture*. Elsevier, Amsterdam, 41, 377-428.

Barber, B.J., R. Getchell, S. Shumway and D. Shick. 1988. Reduced fecundity in a deep-water population of the giant scallop, *Placopecten magellanicus* in the Gulf of Maine, U.S.A. Mar. Ecol. Prog. Ser., 42, 207-212.

Belchier, M., C. Clemmesen, L. Cortes, T. Doan, A. Folkvord, A. Garcia, A. Geffen, H. Hoie, A. Johannessen, E. Moksness, H. de Pontual, T. Ramirez, D. Schnack and B. Sveinsbo. 2004. Recruitment studies: manual on precision and accuracy of tools. ICES Techniques in Marine Environmental Sciences, No. 33, Copenhagen, Denmark, 35pp.

Brachet, J. 1961. Nucleocytoplasmic interactions in unicellular organism. In: The Cell. Brachet, J., Mirsky, A.E. ed., Academic Press, New York, 771-841.

Bulow, F.J. 1970. RNA-DNA ratios as indicators of recent growth in the sea. Mar. Bio., 80, 291-298.

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), The Yellow Sea, vol. 5, 51-58.

Clemmesen, C. 1993. Improvements in the fluorimetric determination of the RNA and DNA content of individual marine fish larvae. Mar. Ecol. Prog. Ser., 100, 177-183.

Clemmesen, C. 1994. The effect of food availability, age or size on the RNA and DNA content in individual measured herring larvae: laboratory calibration. Mar. Biol., 118, 377-382.

Gangwondo. 1994. Report of bivalve resources distribution in Gangwon coastal waters, 1-157.

Hwang, K.Y. and Y.T. Hwang. 1981. Studies on the age and growth of the *Gomphina* (macridiscus) *melanagis* (Roemer) in the eastern waters of Korea. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 27, 111-117.

Kim, S.K., H. Rosenthal, C. Clemmesen, K.Y. Park, D.H. Kim, Y.S. Choi and H.C. Seo. 2005. Various methods to determine the gonadal development and spawning season of the purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* (Sowerby). J. Appl. Ichthyol., 21, 101-106.

Kim, S.K., J.S. Kim, B.R. Kim, D.H. Kim, Y.R. Cho, H.C. Seo, Y.H. Lee and J. H. Kim. 2006. Comparison of nucleic acid levels, ratio and ecophysiological aspects among three population of the fleshy prawn, *Fenneropenaeus chinensis* in Korea. J. Fish. Sci. Technol., 9, 7-13.

Lauren, D.J. 1982. Oogenesis and protandry in the puple-hinge rock scallop, *Hinnites giganteus* in upper Puget Sound, Washington, U.S.A. Can. J. Zool., 60, 2333-2336.

Lee, J.Y., Y.J. Park and Y.J. Chang. 1999. Gonadal development and reproductive cycle of *Gomphina melanagis* (Bivalvia; Veneridae). J. Korean Fish. Soc.,

- 32, 198-203.
- Li Qi, M. Osada and K. Mori. 2000. Seasonal biochemical variations in Pacific oyster gonadal tissue during sexual maturation. *Fisheries Science*, 66, 502-508.
- Mann, R. 1979. Some biochemical physiological aspects of growth and gametogenesis in *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis* grown at sustained elevated temperature. *J. Mar. Bio. Assoc. U.K.*, 59, 95-100.
- Robbins I., P. Lubet and J.Y. Besnard. 1990. Seasonal variation in the nucleic acid content and RNA/DNA ratio of the gonad of the scallop *Pecten maximus*. *Mar. Biol.*, 105, 191-195.
- Sastry, A.N. 1970. Reproductive physiological variation in latitudinally separated populations of the bay scallop, *Argopecten irradians concentricus* Say, reared in the laboratory. *Bull. Mar. Sci. Gulf Carib.*, 15, 417-435.
-
- 2008년 7월 31일 접수
2009년 2월 23일 수리