

가막만 양식 굴, *Crassostrea gigas*의 산란에 따른 체조성과 생존율 변화

김철원·김응오*·정희동·정춘구·박민우¹·손상규
국립수산과학원 남해수산연구소, ¹국립수산과학원 양식관리과

Variation of Body Composition and Survival Rate According to Spawning of Pacific Oyster, (*Crassostrea gigas*) in Gamak Bay

Chul Won Kim, Eung O Kim*, Hee Dong Jeong, Choon Goo Jung, Min Woo Park¹ and Sang Gyu Son

South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute(NFRDI), Yosu 556-906, Korea

¹Division of Aquaculture Management, NFRDI, Busan 619-901, Korea

In 2007, 43.5% mortality of the cultured oyster population occurred in Gamak Bay. Mortality rapidly increase in September and peak in October. To prevent future mass-mortality event, we investigated spawning and variation of oyster body composition. The main spawning period of culture oyster occurred from August to September. Condition index and body composition (protein and glycogen) appeared to be influenced by the spawning activity. Condition index and glycogen content in September were lowest (13.5% and 5.6 mg/g, respectively). However, protein, lipid and glycogen contents did not rapidly recover after the spawning activity. The data indicates that mass-mortality of cultured oysters in Gamak Bay may be due to deteriorated health, spawning activity, stress of the high water temperature and decreasing food resources.

Key words: *Crassostrea gigas*, Mass-mortality, Spawning, Body composition

서 론

가막만은 전남 여수에 위치하며 평균수심은 6.8 m 정도이고 남북방향은 15 km, 동서방향은 9 km, 전체면적은 147 km²으로 수심이 낮아 외부환경의 영향을 크게 받아 해황변동이 심한 반폐쇄적인 만이다 (Lee and Cho, 1990). 가막만에서 굴, *Crassostrea gigas* 양식은 1970년대 초반에 시작되어 현재 990 ha의 양식장에서 2007년 기준 23,000톤 정도 생산되고 있다. 일반적으로 양식 굴의 생산력은 어장환경과 먹이조건에 영향을 받으며 (Oh et al., 2002), 굴의 성장과 폐사가 수온, 염분, 용존산소, 영양염, 먹이생물, 해수의 유동 등 해양환경요인의 영향을 받는다고 보고하고 있다 (Lim et al., 1975). 최근 가막만의 굴 양식장은 지구온난화에 의한 수온상승, 밀식, 도시화 등에 의한 먹이부족 등과 같이 해양환경이 급변하고 있으며, 이에 따라 굴의 생산성도 크게 감소되고 있으며 굴의 생산성은 매년 발생하는 대량폐사와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 가막만에서의 굴의 대량폐사는 2004년에 54%, 2006년에 78%, 2008년에는 55%로 조사되어 굴 양식 산업의 안정적인 유지에 많은 어려움이 있는 것으로 나타났다. 이러한 굴의 대량폐사는 국내뿐 아니라 국외에서도 빈번하게 발생되고 있으며 특히 프랑스의 경우 굴의 폐사 원인을 구명하기 위하여 2001년부터 MOREST Program를 수행하고 있다.

한편 수하식 양식 굴의 성숙과 산란은 육질부의 비만과 성장 및 폐사와도 밀접한 관계가 있는 매우 중요한 요인이며, 특히 대량폐사는 굴 산란시기에 발생된다 (Perdue et al., 1981; Maurer and Borel, 1986)고 보고하고 있어 굴의 산란과 대량폐사에 대한 연구가 필요한 실정이다. 국내 양식 굴의 생식주기와 산란에 관한 연구는 많이 보고되어 있으며, 지역과 자연산과 양식산 및 양식방법에 의해 약간씩 차이가 있는 것으로 나타났다 (Min et al., 2004; Lee, 2001; Bae and Han, 1998). 굴의 성숙과 산란 및 폐사에 영향을 미치는 요인으로는 수온과 먹이생물 등과 같은 환경요인이 크게 작용하는데 특히 수온변동은 패류의 성숙 및 생식주기에 가장 중요하게 작용하는 요인으로 보고하고 있으며 (Mackie, 1984; Rodriguez-Moscoso and Arnaiz, 1988), 먹이의 량과 질도 생식소 발달과 산란이 직접 영향을 받는 것으로 보고하고 있다 (Bricelj et al., 1987). 따라서 최근 가막만 굴 양식장의 어장환경의 변화, 그 중 수온 상승은 굴의 성 성숙 및 산란주기에 영향을 미쳤을 것으로 추정되며, 먹이부족과 같은 어장환경의 변화에 따라 체성분 등도 변화하였을 것으로 생각된다. 굴의 생식주기와 관련한 체성분의 연주기 변화에 관한 연구 (Berthelin et al., 2000; Li-Qi et al., 2000)와 수심에 따른 성숙과 체조성에 관한 연구 (Thao et al., 2006)는 있으나, 대량폐사와 성숙주기 및 체조성의 변화에 관한 연구는 국내에서 매우 부족한 실정이다.

*Corresponding author: eung05@nfrdi.go.kr

본 연구는 가막만의 굴의 수하양식 기간동안에 양식 굴을 대상으로 성 성숙 및 산란주기를 조사하고 이와 관련된 체성분의 변화를 조사함으로써 번식생태와 양식 굴의 생존을 변화와의 관계를 알아보았다.

재료 및 방법

시료채집

본 연구는 전남 여수시 가막만의 굴 양식장에서 수행하였으며(Fig. 1), 연구에 사용된 양식 굴은 전남 광양시 초남 해역에서 2006년 6월에 채묘하여 2007년 5월까지 돌산 금천의 단련장에서 단련한 굴로서 2007년 6월 초에 본 양식을 들어간 개체로서 수하연 1줄을 매월 초순에 같은 양식장에서 채집하여 시료로 사용하였다.

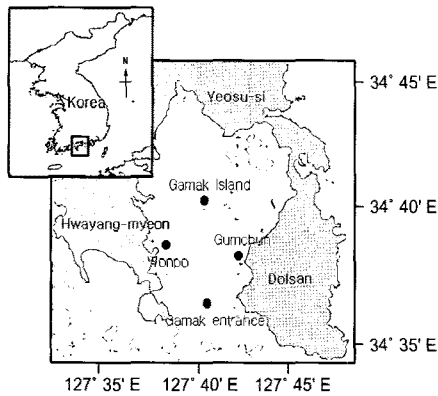


Fig. 1. Sampling station of oyster, *Crassostrea gigas* in Gamak Bay.

생존율과 비만도 조사

생존을 조사는 가막만 4개 해역에서 수하식으로 양식중인 수하연을 상·중·하로 구분한 후에 각각의 클러스터에서 생패(生貝)와 사패(死貝)로 구분하여 도출하였으며, 비만도(Condition Index)는 산란기의 간접적인 추정과 생식소 발달이 육중량에 미치는 영향을 알기 위해 아래와 같은 공식으로 계산하였다.

$$\text{Condition index (비만도)} = \frac{\text{육중 (g)} \times 100}{\text{육중 (g)} + \text{각중 (g)}}$$

생식주기 조사

양식 굴의 생식주기 조사는 성성숙과 성장 및 생존과의 관계를 구명하기 위하여 수행되었다. 채집한 굴의 개체는 각장, 각고, 전중량 및 육중량 등의 측정 형질을 계측한 후, 생식소가 포함된 육질부 중량을 횡으로 비스듬히 3mm 두께로 잘라 Bouin's solution에 24시간 고정 한 후 파라핀 절편법으로 5~6 μm의 연속 조직 절편을 만들어 Hematoxylin-Eosin 비교 염색을 실시하여 표본을 제작한 다음 대상생물의 월별 생식소 발달과정을 조사하였다

굴의 생식소 발달과정 구분은 Chang and Lee (1982)의 방법으로 염색된 생식소조직을 광학현미경으로 관찰하여 성장기

(G: growing stage), 성숙기 (M: mature stage), 산란기 (spawning stage) 그리고 회복 및 휴지기 (R: degenerative & resting stage)의 4단계로 나누었다.

체성분 분석

가막만 양식 굴의 일반성분을 분석하기 위하여 매월 100 g 이상의 육질부를 채취하여 AOAC (1995)의 방법에 의하여 분석하였다. 조단백질은 Auto Kjeldahi System을 사용하여 분석하였고 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C dry oven에서 24시간 건조 후 측정하였다. 조회분은 550°C 회화로서 4시간 태운 후 정량하였다. 글리코겐 함량은 Hagedorn-Gensen's (1984)방법으로 분석하였다.

통계처리는 SPSS program을 이용하여 one-way ANOVA-test를 실시한 후 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검증하였다.

결과

가막만 양식 굴을 채집하는 동안 양식어장의 6월~10월까지 18.5~28.7°C범위로 나타났다. 6월의 경우 평균 17.9°C로 나타났으며, 8월에 28.7°C로 가장 높게 나타났으며, 9월에는 25.0°C로 수온이 낮아지는 것으로 조사되었다. 또한 8월에는 24.6~31.3°C로 변동 폭이 비교적 큰 것으로 나타났다. 염분은 29.2 psu~33.5 psu의 범위로 나타났으며, 6월에 평균 33.4 psu로 가장 높게 나타났으며 10월에 29.9 psu로 가장 낮게 나타났다.

생존율과 비만도

굴 양식기간 중 매월 채집된 개체들의 월별 생존율과 비만도를 조사한 결과 생존율은 8월까지 81.0%로 양호하였으나 9월에 73.6%로 감소하기 시작하여 수확직전인 10월에 56.5%로 급격히 낮아지는 것으로 나타났다. 비만도는 6월에 15.4로부터 증가하기 시작하여 8월에 22.1로 가장 높게 나타났다가 9월에 13.5로 급격히 감소하였다가 10월에 16.3으로 증가하는 경향을 보였다 (Fig. 2).

생식소 발달

가막만 양식 굴의 생식소 발달과정은 조직학적 관찰조건에 따라 암수 각각 성장기, 성숙기, 산란기 및 휴지기의 연속적인 4단계로 구분하였다 (Fig. 3).

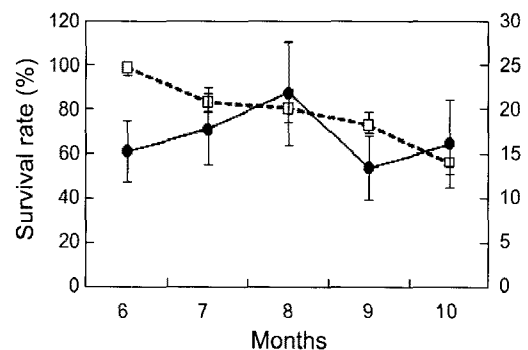


Fig. 2. Monthly variation of survival rate and condition index of oyster, *Crassostrea gigas* in Gamak Bay.

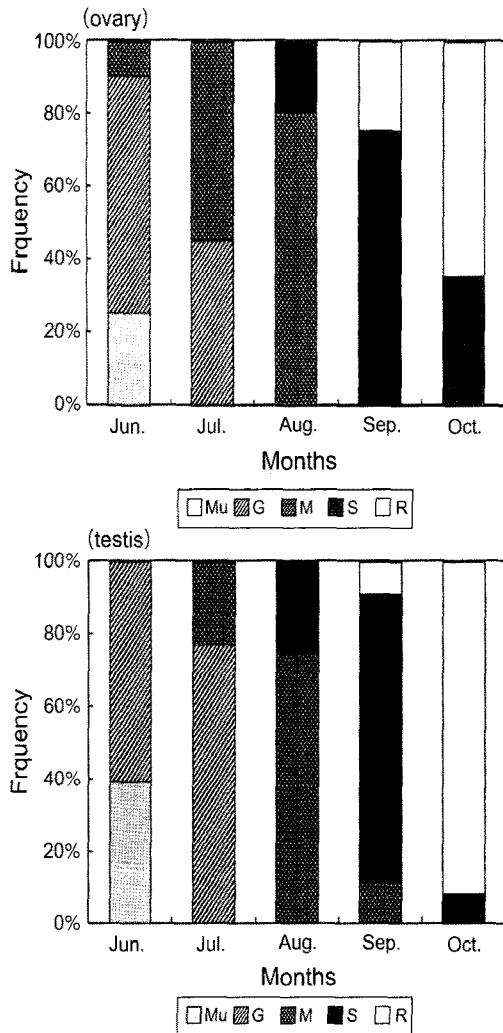


Fig. 3. Frequency of gonadal development stage of oyster, *Crassostrea gigas* in Gamak Bay. Mu, Multiplication stage; G, Growth stage; M, mature stage, S, spawning stage; R, degenerative and resting stage.

난소: 소화맹낭에 인접하여 발달하는 난소는 6월의 경우 소낭의 생식상피위에서 난원세포가 활발히 분열하여 난모세포로 발달하고 있는 초기성장기 형태를 보였으며 난원세포들이 난모세포에는 핵과 인이 선명하게 관찰되었고, 핵막은 불규칙하고 소낭에는 빈공간이 많이 존재 하는 것이 관찰되었다 (G). 7월은 후기성장기로 난낭에는 난모세포들이 계속 성장하고 있으며, 이 시기는 난원세포는 핵의 중심부에 haemotoxylin에 질게 염색되는 인이 뚜렷하게 관찰되었고 난병에 의해 생식상피에 부착된 난모세포들이 내강으로 발달하는 성장기가 주로 관찰되었다 (G). 8월은 난모세포의 세포질이 빠르게 증가한 것이 관찰되었으며 세포질에 난황물질을 축적하여 성숙란의 모양을 갖추었으며, 일부 방출중인 난모세포가 관찰되기도 하였다 (M). 9월은 성숙한 난모세포는 체외로 방출되는 것이 관찰되었으며 난낭내의 미방출된 난들이 일부 보이며 알들이 점차 염색성이 약해지는 경향을 볼 수 있다 (S). 10월은 퇴화기로 난소가 위축되면서 외부의 근육층이 서서히 두꺼워지고

난낭내의 미방출 되어진 난모세포들의 염색성이 소실되어가면서 퇴화 흡수되는 현상이 보이며, 일정기간 조직의 변화 없이 유지되며 휴지기의 상태를 나타냈다 (R).

정소: 정소는 소장맹낭에 인접하여 존재하며 6월에 정소세관 벽의 생식 상피상에 정원세포가 활발히 분열 증식하는 모습을 볼 수 있으며 각 정소사이에 많은 호산성과립세포군들이 보이는 것으로 나타났으며 (G), 7월에는 정원세포가 성숙 분열을 거쳐 정모세포로 발달하였으며 일부 정모세포가 정세포로 발달을 위해 진행되고 있는 것도 관찰되었다 (G). 8월은 성장기의 정소세관에는 생식상피 위에 정세포로 충만한 것으로 관찰되었으며, 성숙변태한 정자들이 정소세관의 내강을 채움으로써 물결모양의 흐름을 이루었다 (M). 9월은 성숙기의 정소의 생식상피 주변에 정세포가 충만하고 많은 양의 정자들이 체외로 방출되면서 정소세관이 많이 위축되는 것이 관찰되었으며, 세관내에는 빈곳이 생겨나고 방출중인 정자가 다수 관찰되었다 (S). 10월에는 정기를 지난 정소세관의 조직이 허물어져 가면서 방정된 정소 내에 방출되지 않은 잔존 정자는 퇴화 흡수되고 일정기간 조직의 변화 없이 유지되는 휴지기 모습을 나타냈다 (R).

생식소 발달단계

가막만 양식 굴의 생식소 발달상황을 월별로 조사한 결과 암컷의 경우 6월에 61.0% 정도의 개체가 성장기에 도달한 것으로 나타났으며, 7월에는 성장기가 77.5%로 나타났다. 8월 초에 주성숙기를 거쳐 8월 하순~9월 초순에 산란하는 것이 관찰되었으며 9월 하순 이후에 휴지기가 시작되어 10월에 난소가 완전한 휴지기로 접어드는 것이 관찰되었다.

수컷의 경우도 암컷과 비슷한 경향을 나타내었으나 성숙은 암컷에 비하여 조금 빨리 진행되고 있음을 알 수 있었다. 이상의 결과에 따라 가막만에서 양식되는 단련굴의 경우 수하식으로 양식되는 굴은 수온변화에 따라 약간의 차이를 보일 수 있으나 분열증식기는 단련하는 과정 중에 이미 진행되고 있었으며 본 양식에 들어감에 따라 성장기는 6-7월, 성숙기는 8월, 산란기는 8월 하순~9월 초순으로 나타났다(Fig. 4).

체성분

양식 굴의 체성분은 조사시기에 따라 차이를 보이는 것으로 나타났다 ($P < 0.05$). 양식기간동안에 단백질 함량은 7.5~10.4%의 범위로 나타났으며 6월부터 꾸준히 상승하다가 9월에 10.4%로 가장 높게 나타났으며 10월에 급격히 감소되어 7.5%로 나타나 유의적인 차이를 보였다 ($P < 0.05$). 지질 함량은 1.7~2.7%의 범위로 나타났으며 7월에 2.7%로 가장 높았으며 8월부터 감소하기 시작하여 10월에 1.7%로 가장 낮게 나타났다. 탄수화물은 6월에 3.9%로 가장 높게 나타났으나 이후 꾸준히 감소하는 경향을 보였으며 9월에 1.5%로 가장 낮게 나타났다. 그리고 10월에는 2.1%로 다시 증가하는 경향을 보였다. 글리코젠 함량은 5.6~13.3 mg/g의 범위로 나타났으며 6월~8월까지는 차이를 보이지 않았으나, 9월에 5.6 mg/g으로 가장 낮은 값을 보였고 10월에 6.4 mg/g으로 증가하는 것으로 나타났으나 빠른 회복은 보이지 않았다 (Table 1).

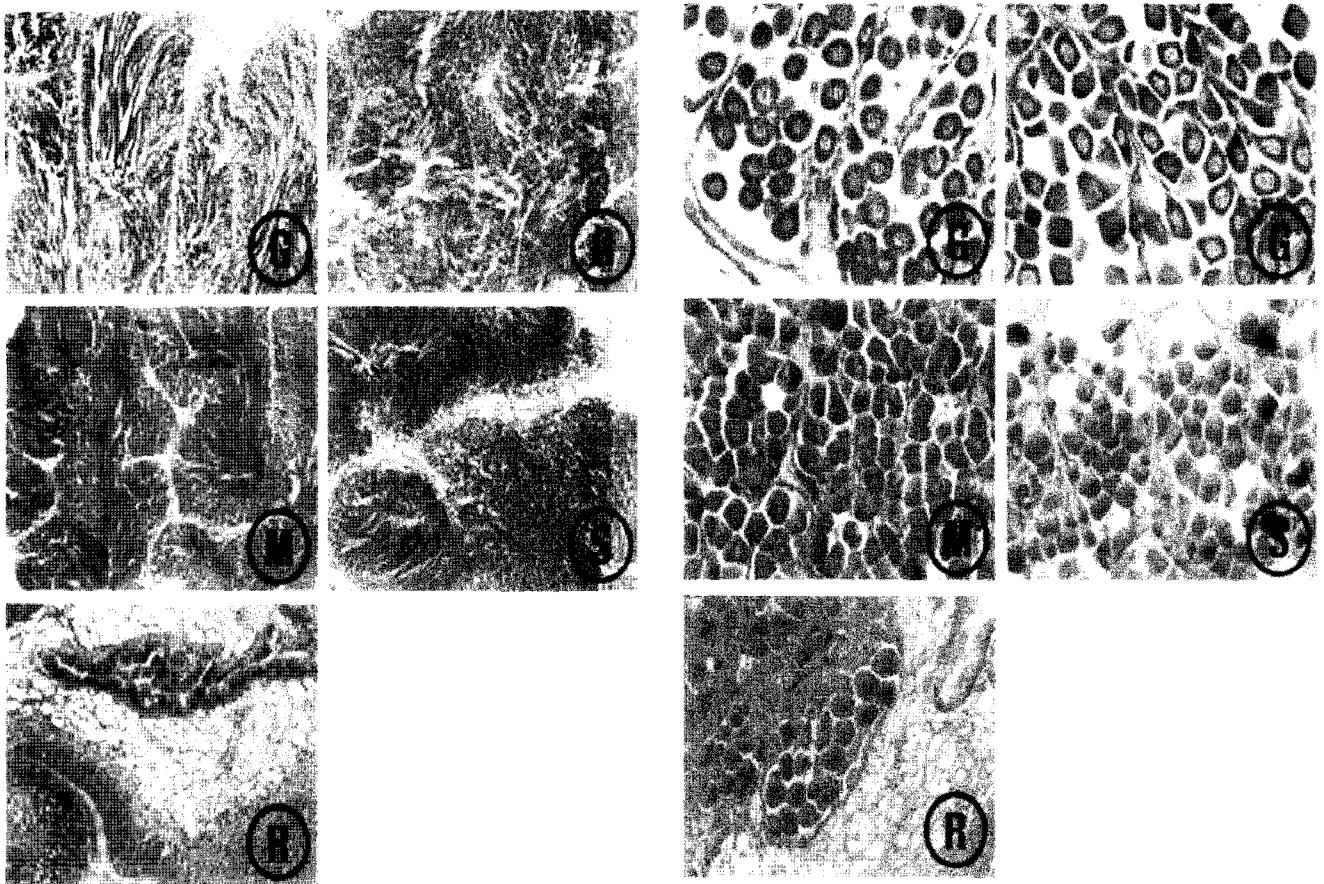


Fig. 4. Photomicrographs of the gonadal phases on Female and male of oyster, *Crassostrea gigas* in Gamak Bay. G, growing stage; M, mature stage; S, spawning stage; R, degenerative and resting stage

Table 1. Proximate (crude) composition (%) of the soft whole body of oyster, *Crassostrea gigas* in Gamak Bay

Month	Shell length (mm)	Shell height (mm)	Crude protein	Crude lipid	Crude Carbohydrate	Ash	glycogen (mg/g)
6	19.5±3.2	28.2±3.8	7.8±1.0 ^a	2.6±0.2 ^b	3.9±0.5 ^c	1.5±0.4 ^b	12.1±1.2 ^b
7	24.3±4.9	37.4±4.5	8.8±1.3 ^{ab}	2.7±0.2 ^b	3.3±0.7 ^b	1.7±0.7 ^b	13.3±0.8 ^b
8	30.6±3.8	45.7±4.1	8.1±1.5 ^{ab}	2.2±0.1 ^{ab}	3.1±0.5 ^b	1.5±1.1 ^b	11.4±1.0 ^b
9	34.1±5.2	51.8±5.8	10.4±1.8 ^b	2.0±0.2 ^{ab}	1.5±0.1 ^a	1.7±0.5 ^b	5.6±0.3 ^a
10	37.94±7.2	55.4±7.5	7.5±0.9 ^a	1.7±0.1 ^a	2.1±0.2 ^{ab}	1.0±0.8 ^a	6.4±0.5 ^a

Values in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

고찰

가막만의 굴 양식주기는 전년도 6월에 채묘를 하여 1년간 단련한 후에 당해년도 6월에 본 양성에 들어간 후 11월 초부터 수확에 들어가는 2년산 양식과 당해년도 6월에 채묘한 굴을 바로 본 양식으로 들어가 12월경부터 수확하는 1년산 양식이 수행되고 있다 (Fig. 5). 이러한 양식주기는 어장환경의 변화와 함께 굴의 성장과 생존에 직·간접적인 영향을 미치는 것으로

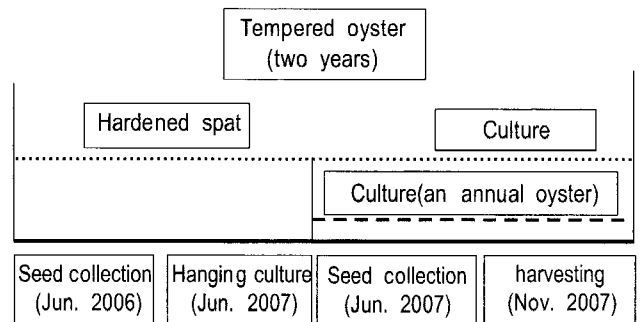


Fig. 5. The periods of culture oyster, *Crassostrea gigas* in Gamak Bay.

나타났는데 본 연구결과 2007년 가막만 양식 굴의 평균 폐사율은 43.5%로 나타났으며, 대량폐사는 9월부터 증가하기 시작하여 10월에 가장 높게 나타났다. 이와 같이 10월의 높은 폐사율은 수온과 먹이생물과 같은 환경요인과 생식주기와 체성분의 계절적 변동 등이 장기간에 걸쳐 종합적인 상호작용에 의해 발생하는 것으로 추정되며, 특히 굴이 산란 후에 급격히 체력이 감소되며 (Soletchnik et al., 2007), 이시기에 대량폐사가 동시에 발생하는 것으로 보고 (Beattie et al., 1980; Cheney et al., 2000)하고 있어 양식어장의 환경변화에 의한 산란과

체성분의 변동이 양식 굴의 대량폐사에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

본 연구결과 가막만 양식 굴의 생식주기는 6월~7월에 성장기, 성숙기는 7월~8월, 산란기는 8월 하순~9월 초순이며, 9월 중순~10월까지는 휴지기 단계로 나타났다. Coe (1936)는 굴의 생식소 발달은 South Carolina에서는 초기 발생 후 10~12주부터 성숙하며, Burkenroad (1931)은 North Carolina와 Gulf Mexico에서 3~4개월 만에 성숙한다고 보고하였고, Yoo et al. (1971)은 경남 통영의 수하식 양식 굴의 산란주기가 9월 상순~9월 하순이라고 보고하여 가막만에서 6월 초에 본 양식에 들어가는 양식 굴도 9월~10월이 산란기 일 것으로 추정하였으나 본 연구결과 8월 하순~9월 초순에 산란하는 것으로 나타났다. 또한 굴이 수온 17~20°C에서 성장 및 성숙, 22~23°C에서 산란이 일어난다는 보고와 달리 가막만에서는 수온이 가장 높은 시기인 8월말에서 9월 초순에 산란이 일어나는 것으로 나타나 가막만 양식 굴은 산란에 의한 급격한 체력감소와 산란기 전후의 고수온에 의한 스트레스가 대량폐사에 직접적인 영향을 주었을 것으로 이러한 현상은 굴의 폐사율이 9월 이후 높아지는 것과 관련이 있을 것으로 판단된다.

본 연구결과 가막만 양식 굴의 비만도는 매월 변화하는 것으로 나타났는데 비만도의 월별 변화는 체성분의 축적과 감소에 따라 나타나는 것으로 보고하고 있다 (Gabbott, 1983). 또한 양식 굴의 비만도가 8월에 22.1로 가장 높게 나타났다가 9월에 13.5로 급격히 감소하는 경향은 본 연구에서 조사된 생식주기와 일치하는 것으로 나타나 체성분 변화가 에너지 저장과 생식소 발달주기 및 산란에 의하여 크게 좌우된다는 보고와 일치하였다 (Gabbott, 1975; Costil et al., 2005). 따라서 산란기 직후 비만도 지수가 낮은 양식 굴은 환경내성이 매우 약해져 고수온과 먹이생물 부족과 같은 외부 스트레스에 직접적인 악영향을 받을 것으로 판단된다.

일반적으로 양식 굴의 경우 글리코젠과 지질은 겨울철에 증가하며, 봄과 여름에는 단백질이 증가하고 글리코젠 함량이 감소한다고 알려져 있다. 본 연구결과 가막만 양식 굴의 체성분은 조사 시기에 따라 차이를 보였는데 단백질 함량은 9월에 가장 높았고 10월에 급격히 감소하였으며 지질 함량은 7월에 가장 높았다가 10월에 가장 낮게 나타났다. 탄수화물 함량과 글리코젠 함량은 9월에 가장 낮은 값을 보였으나 10월에 빠른 회복은 보이지 않은 것으로 나타났다. Barber and Blake (1981)은 단백질이 굴의 성숙과정중에 에너지 저장 물질로 작용되며, 특히 산란이 일어나는 시기나 끝나는 시기에 증가되는 것으로 나타난다고 보고하였으며, Ruiz et al., (1992)는 배우자 형성 및 방출에 저장된 글리코젠이 이용된다고 보고하여 가막만 양식 굴의 성숙기인 7~8월에 단백질 함량이 증가하고, 산란기인 9월에 글리코젠 함량이 크게 감소하는 결과와 비슷하였다.

또한 양식 굴은 산란 후 생리적으로 매우 약해진 굴의 대사 작용을 원활하게 하기 위해서는 충분한 먹이생물이 공급되어야 하는데 Kim et al., (2009)은 가막만에서 9월과 10월에 먹이원이 매우 부족한 빈영양상태가 되는 것으로 보고하고 있다.

본 연구결과 산란기가 지난 10월의 경우에 단백질과 지질의 함량이 감소되고 탄수화물 및 글리코젠의 함량도 크게 증가되지 않으며 대량폐사가 발생된 것으로 나타났는데 이러한 원인은 이 시기에 가막만에서 먹이원의 공급이 원활하지 않았던 것으로 추정되며, 따라서 9월에 산란한 양식 굴이 체력회복에 필요한 충분한 먹이원을 제공받지 못한 것으로 나타났다. 산란 후 굴의 먹이가 부족할 경우 대사생리를 위하여 단백질을 에너지원으로 활용한다는(Whyte et al., 1990)보고와 일치한다.

결론적으로 가막만 양식 굴의 대량폐사는 수온상승으로 인하여 산란기가 수온이 가장 높은 시기와 일치하여 산란으로 인한 급격한 체력감소와 고수온에 의한 스트레스 및 체조성의 월간 변동에서 나타난 산란 이후 체력회복을 위한 충분한 에너지의 공급이 부족하였기 때문에 발생된 것으로 판단되며, 향후 가막만의 양식 굴의 생산성을 향상시키기 위한 양식방법의 개선에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

사 사

이 연구는 국립수산물연구원(남해중부연안 양식장생태환경 변화연구, RP-09-AQ-064)의 지원에 의해 수행되었으며, 연구수행과정 중 많은 도움을 주신 굴 수하식 양식 수협 여수지소의 정대신 과장님과 이현숙 연구원님께 감사의 말씀을 드리며, 또한 논문을 세심하게 검토해 주시고 조언해 주시 익명의 심사위원님들께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC., 69-74
- Bae PA and Han CH. 1998. Effects of Nursery Environmental Factors on the Growth of Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*. J Aquaculture 11, 391-400.
- Barber BJ and Black NJ. 1981. Energy storage and utilization in relation to gametogenesis in *Argopecten irradians concentricus*. J Exp Mar Biol Ecol 52, 121-134.
- Beattie JH, Chew KK and Hersberger WK. 1980. Differential survival of selected strains of pacific oysters, *Crassostrea gigas* during summer mortality. Proc Nat Shellfish Assoc 70, 184-189.
- Berthelin C, Kellner K and Mathieu M. 2000. Storage metabolism in the pacific oyster, *Crassostrea gigas* in relation to summer mortalities and reproductive cycle (West coast of France). Comp Biochem Physiol B 125, 359-369.
- Bricelj VM, Epp J and Malouf RE. 1987. Intraspecific variation in reproductive and somatic growth cycles of bay scallops, *Argopecten irradians*. Mar Ecol Prog Ser 36, 123-137.

- Burkenroad MD. 1931. Sex in the Louisiana oyster, *Ostrea virginica*. Science 74, 65-74.
- Chang YJ and Lee TY. 1982. Gametogenesis and reproductive cycle of the cockle, *Fulvia mutica* (Reeve). J Kor Fish Soc 15, 241-253.
- Cheney DP, Macdonald BF and Elston RA. 2000. Summer mortality of Pacific oysters, *Crassostrea gigas*: initial findings on multiple environmental stressors in Puget Sound, Washington, 1998. J Shellfish Res 19, 353-359.
- Coe WR. 1936. Environmental and sex in oviporous oyster, *Ostrea virginica*. Biol Bull 71, 353-359.
- Costil K, Royer J, Ropert M, Soletchnik P and Mathieu M. 2005. Spatio-temporal *Crassostrea gigas* in Normandy(France). Helgoland Mar Res 59, 286-300.
- Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics 11, 1-42.
- Gabbott PA. 1975. Storage cycles in marine bivalve molluscs: an hypothesis concerning the relation between glycogen and gametogenesis. In Proceeding of the Ninth European Marine Biology Symposium. H. Barnes, ed. Aberdeen University Press, Aberdeen, 191-211.
- Gabbott PA. 1983. Developmental and seasonal metabolic activities in marine molluscs. In The Mollusca. Vol. 2. Saleuddin ASM and Wilbur KM. eds. Academic press, New York, 165-217.
- Kim CW, Kim EO, Oh HJ, Jeong HD, Hwang HK and Son SG. 2009. Effects of Water Temperature and Food Organism on The Mass Mortality of Pacific Oyster, *Crassostrea gigas* in Gamak Bay. Korean J Environ Biol (in press).
- Lee KH and Cho KD. 1990. Distributions of the Temperature and Salinity in Kamak Bay. J Kor Fish Soc 23, 25-39.
- Lee PY. 2001. Particulate organic Matter and bivalve Production in the Southern Coastal Bay Systems of Korea. Ph.D. Thesis, University of pukyong, Pusan, Korea.
- Lim DB, Cho CH and Kwon WS. 1975. On the oceanographic conditions of oyster farming area near Chungmu. J Kor Fish Soc 8, 61-67.
- Li-Qi, Osada A and Mori K. 2000. Seasonal biochemical variation in pacific oyster gonadal tissue during sexual maturation. Fish Sci 66, 502-508.
- Mackie GL. 1984. Bivalves. (in) A.S. Tompa, N.H. Verdonk and J.A.M. Van Den Biggelaar (eds.), The Mollusca, Vol. 7. Reproduction. Academic Press, New York, 351-418.
- Maurer D and Borel M. 1986. Croissance, engraissement et cycle sexuel de *Crassostrea gigas* dans le Bassin d'Arcachon: Comparaison des huitres agees de 1 et 2 ans. Haliotis 15, 125-134.
- Min KS, Kim BS, Kim TI, Hur YB and Chung EY. 2004. Reproductive cycle and induced sexual maturation of Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. Korean J Malacol 20, 75-84.
- Oh KH, Pang IC, Hofmann EE, Kim Y, Kim SY, Park YJ and Choi KS. 2002. Modeling Oyster Populations Dynamics I. Effect of Available Food on Growth of the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas* in Goseong Bay. Korea J Kor Fish Soc 35, 327-335.
- Perdue JA, Beattie JH and Chew KK. 1981. some relationship between gametogenic cycle and symmer mortality phenomenon in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* in Washington State. J Shellfish Res 1, 9-16.
- Rodriguez-Moscoso E and Arnaiz R. 1988. Gametogenesis and energy storage in a population of the Grooved carpet-shell clam, *Tapes decussatus* in northwest spain. J Aquaculture 162, 125-139.
- Ruiz C, Abad M, Sedano F. Garcia-Martin LO and Sanchez Lopez JL. 1992. Influence of seasonal environmental changes on the gamete production and biochemical composition of *Crassostrea gigas* in suspended culture in El Grove, Galicia, Spain. J Exp Mar Biol Ecol 155, 249-262.
- Soletchnik P, Ropert M, Mazurie J, Fleury PF and Coz FLe. 2007. Relationships between oyster mortality patterns and environmental data from monitoring databases along the coasts of France. Aquaculture 271, 384-400.
- Thao, TTN, Kang SG. Kang DH, Sorgeloos P and Choi KS. 2006. Effect of cylture depth on the proximate composition and reproduction of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* from Gosung Bay, Korea. Aquaculture 253, 712-720.
- Whyte JNC, Englar JR and Carswell BL. 1990. Biochemical composition and energy reserves in *Crassostrea gigas* exposed to different levels of nutrition. J Aquaculture 90, 157-172.
- Yoo SK, Chun SK, Won CH and Choe WK. 1971. Salinary survey on oyster and shellfish growing areas in Keojedo, Kyungsang Namdo. Office of Fisheries, Republic of Korea, 1-43.

2009년 9월 2일 접수
2009년 10월 5일 수정
2009년 10월 16일 수리