

수평망식 양식 굴, *Crassostrea gigas*의 산란기 이후 생태·생리학적 특성 변화

김수경, 최은희, 한현섭, 임현정

국립수산과학원 서해수산연구소

Ecophysiological Characteristics Changes in the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*, after Spawning Season in Off-bottom Culture

Kim Su Kyoung, Choi Eun Hee, Han Hyun Seob and Lim Hyun Jeong

West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Incheon 400-420, Korea

ABSTRACT

The ecophysiological characteristics of the oyster *Crassostrea gigas* in Taean area, west coast of Korea, were investigated after main spawning season from September 2011 to January 2012 to confirm the recovery process of condition. The cupped oysters, from 4 different off-bottom culture areas were compared the gonad indices, histological analysis combined with measurement of RNA/DNA contents and ratios in gonad of each sex were undertaken. To evaluate the health condition of oyster after spawning, the RNA/DNA ratio in adductor muscle, fatness and condition index (CI) were used. The results showed that cupped oysters cultured in Uihang coastal area were different physiological aspects than other experiment areas, namely continuously decreasing RNA/DNA content and ratio in adductor muscle, lowest CI and fatness. Oysters cultured in Iwon Station 1 and 2 showed fast recovery in RNA/DNA, increase in fatness and CI during post-spawning stage until October rapidly and there after it decreased. Oysters in Shinduri showed rapidly decrease in fatness and CI until October. On the contrary to this factors, RNA/DNA ratio in adductor muscle increased as like protein until October. Partially spawning season could be observed until December in Shinduri and Iwon Station 1.

Key words: oyster, *Crassostrea gigas*, RNA/DNA ratio, Off-bottom culture, Condition indices

서론

세계적으로 양식이 되고 있는 패류 중 참굴, *Crassostrea gigas*은 생산량과 가격에 있어서 가장 중요한 양식 품종의 하나로 자리 잡고 있다 (FAO, 2010). 한국에서도 굴은 경제성이 높은 품종으로 2010년 국내 총 생산량이 267,776 MT이었다. 국내 대부분의 굴 양식 생산은 남해안에서 이루어져 경북과 전남에서만 262,707 MT으로 총 생산량의 98%를 생산하고 있으며, 서해안 굴 생산량은 4,116 MT으로 1.5%를 차지하고 있다 (MIFAFF, 2010). 2007년 이전 서해안의 굴 생산량은 국내 총 생산의 약 5%를 차지하였으나 2007년 허베이

스피리트호의 유류 유출 사고로 인하여 생산량이 1% 미만으로 급감하여 서해안 지역의 참굴 양식 산업이 큰 타격을 받았다 (Lim *et al.*, 2011). 그 후 2008년부터 서해안 참굴 산업의 복원을 위하여 다각적인 노력이 시도되고 있는데 그 중 하나가 남해안의 우량 모패를 서해안 수평망식 양식 시설에 이식하여 참굴 자원의 회복을 꾀하고자 하는 것이다. 따라서 본 실험에서는 유류 사고 전 굴 양식이 성행했던 서해안 지역에 참굴 자원을 증강시키기 위하여 남해안의 우량 모패를 이식하여 산란 활동을 관찰하였다.

국내에서 굴의 소비가 가장 많은 시기는 산란이 끝난 10월에서 이듬해 2-3월 사이로 이 시기에 굴 생체는 산란에서 회복이 되고 체내에 글리코젠을 축적하여 상품성이 높아지게 된다. 그러나 현재 전 세계적인 기후변화 현상과 우리나라 연안의 수온 상승으로 인하여 생식주기의 변화를 보이며 산란기간이 점차 길어지는 경향을 보이고 있다 (Kim *et al.*, 2009). 그러므로 동절기에 주로 판매가 되는 굴은 산란 이후의 생리·생화학적 회복과정이 상품의 품질을 결정하는 중요한 요인이 되고 있다.

Received: August 21, 2012 ; Accepted: September 15, 2012
Corresponding author: Hyun Jeong Lim
Tel: +82 (32) 745-0720 e-mail: hylim@nfrdi.go.kr
1225-3480/24443

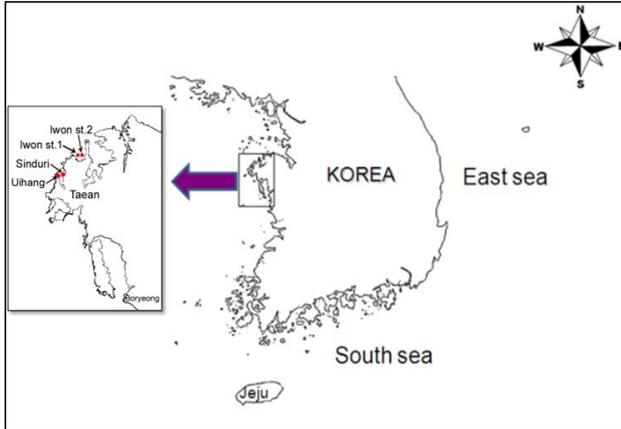


Fig. 1. Sampling positions of oysters in Taean area.

일반적으로 굴은 생식소 발달과 더불어 저장되어 있는 에너지를 5-8월까지 소비하고 가을과 겨울에 에너지를 다시 저장하는 것으로 알려져 있다 (Delaporte *et al.*, 2006; Malet *et al.*, 2006). 굴의 성숙주기와 관련하여 조직 내 생화학적 조성 변화에 관한 연구는 많이 이루어져 있으나 (Urrutia *et al.*, 2001; Saucedo *et al.*, 2002; Ngo *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2006) 핵산비와 같은 건강도 지표를 이용한 산란 후 수온 하강기의 집중적 연구는 부족한 실정이다 (Li *et al.*, 2009, Wright and Hetzel, 1985).

본 연구는 남해안의 우량 모패를 하루 3-5시간씩 공기 중에 노출되는 서해안 태안 지역의 수평망식 양식시설로 이식하여 정상적 산란 활동 여부를 파악하고 산란 이후 생태·생리학적 지표인 연체부지수, condition index, RNA/DNA, protein 등을 조사하여 서해안 양식 환경에 따른 참굴의 생식주기와 관련된 동절기 회복과정을 파악하였다.

재료 및 방법

1. 시료처리

본 연구에 사용한 모패는 2011년 8월에 통영에서 태안으로 이식된 2년산 참굴을 대상으로 하였다. 조사기간은 2011년 9월부터 2012년 1월까지 6개월이었으며, 시험양식장은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 태안군 원북면 신두리, 소원면 의항리, 이원면 관리 이원방조제의 3개 지역이었으며, 이원 방조제의 경우 방조제 인근 지역 담수 방류에 따른 영향을 우려하여 수평망식 양식 시설 중 가장 방조제에 가까운 St. 1과 방조제에서 가장 먼 지점인 St. 2로 구분하여 조사하였다.

참굴 모패의 생리학적 변화를 모니터링하기 위하여 매일 50개체씩 각장, 각고, 각폭, 전중량 및 육중량 등을 측정 후 연체부지수 (fatness) = (육중량/전중량) × 100를 측정하였으며 20마리는 육중량과 패각을 건조하여 condition index

(CI) = (건조 육중량×100) / (전중량-패각중량) 를 계산하였다. 30마리의 굴은 부위별로 분리하고 생식소 조직검사와 생화학적 분석을 위한 시료로 처리하였다. 생화학적 분석을 위해서는 생식소 및 패각근을 분리하여 분석시까지 -70℃ 초저온 냉동고에 보관하였으며 조직 검사를 위하여 생식소 한쪽을 10% 포르말린 용액에 고정하여 흐르는 물에 수세한 후 70% 알코올에 보관하였다.

2. 생식소 조직검사

알코올 70%에 보관된 생식소 조직을 자동포매기 (tissue processor Leika, Germany) 로 탈수과정을 거쳐 파라핀에 고정 후 5-6 μm 절편을 만들고 Hematoxylin-eosin 염색을 하여 생식소 발달단계, 난모세포 크기의 측정을 하였고 아울러 기생충 감염유무를 확인하였다.

생식소 발달 단계는 총 5단계로 생식세포의 수, 크기와 형태를 고려하여 stage I: 초기 활성기 (early active stage), stage II: 후기 활성기 (late active stage), stage III: 완숙기 (ripe stage), stage IV: 부분 방출기 (partially spawned stage), stage V: 회복기와 휴지기 (recovery and inactive stage)로 구분하였다 (Kim *et al.*, 2005).

생식소지수 (GI) 는 Mann (1976) 의 방법에 의하여 아래와 같이 계산하였다.

$$GI = (\text{number of stage I} \times 3) + (\text{stage II} \times 4) + (\text{stage III} \times 5) + (\text{stage IV} \times 2) + (\text{stage V} \times 1) / \text{월 측정 마리수}$$

3. RNA/DNA 및 단백질 함량 정량분석

핵산 함량의 측정은 Clemmesen (1994) 과 Belchier *et al.* (2004) 의 분석법을 변형하여 형광광도법으로 Microplate reader (Varioskan flash, Thermo Sci.) 를 사용하여 측정하였다 (Kim *et al.*, 2005). 각 지역 굴의 생식소와 패각근을 분리하여 동결건조한 후 (-50℃, 24 hr), 무게를 측정하여 Tris-ethylenediaminetetraacetic acid (TE; 5mM Tris-HCl, 0.5 mM EDTA, pH 8) + 0.01% SDA (Sodium dodecyl acrylamide, Merck, Germany) 용액을 500 μL에 넣어 진동마쇄기 (Tissue lyser, Qiagen) 로 15분간 분쇄하고 원심분리 (4℃, 6000 rpm, 20분) 후 상등액을 취하여 emission 355 excitation 590 nm에서 RNA, DNA 양을 분석하였다. 핵산측정 후 시료 10 μL에 50 μL Coomassie Brilliant Blue (G-250) 를 혼합하고 증류수로 총량이 250 μL가 되게 microplate (Varioskan FL, Thermo electronic) 에 분주하고 595 nm에서 흡광도를 측정하여 근육과 생식소 내 단백질 함량을 조사하였다.

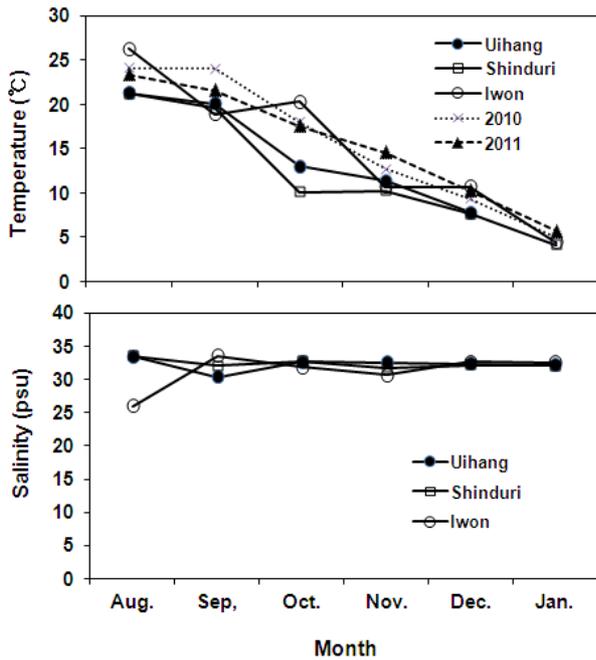


Fig. 2. Monthly variations of seawater temperature and salinity of Taeon experiment area.

결 과

1. 조사지역의 해수 특성

본 연구가 수행된 수평망식 굴 양식장의 조사기간 내 수온 및 염분의 변화는 Fig. 2와 같다. 조사 기간 내 이원 지역이 신두리나 의항 지역에 비하여 다소 높았으며, 신두리와 의항 지역의 수온은 2010년, 2011년 수온 평균 측정치보다 전반적으로 낮은 값을 보였다. 염분의 변화는 8월에 이원지역이 급격히 낮은 26.0 psu를 보였으며, 의항과 신두리 지역이 모두 33.5 psu를 보인 것을 제외하고 큰 변화 없이 30.4-32.7 psu를 유지하였다. 이원 지역의 8월 염분이 낮은 값을 나타낸 것은 방조제 인접 지역으로 집중 강우 시기의 담수 방류와 연관이 있는 것으로 판단된다. 조사 기간 동안 세 지역의 수온과 염분은 굴 양식에 적합한 범위로 조사되었다.

2. 연체부지수 및 condition index

태안 각 지역별 참굴의 2011년 8월부터 2012년 1월까지의 연체부지수를 보면 신두리 지역이 8월에 가장 높은 값인 20.7%를 보인 후 점차 감소하였으며 의항, 이원의 St. 1과 St. 2는 모두 10월까지 점차 증가하여 조사기간 중 가장 높은 연체부지수인 17.4%, 21.3%, 17.4%를 각각 보였고 그 이후 감소하였다 (Fig. 3). Condition indices (CI) 는 신두리에서 다른 세 지역의 변화 양상과는 차이를 보였다. 신두리는 8월에 가장 높은 CI 값인 11.9%를 나타내었고 점차 감소하여 1월에

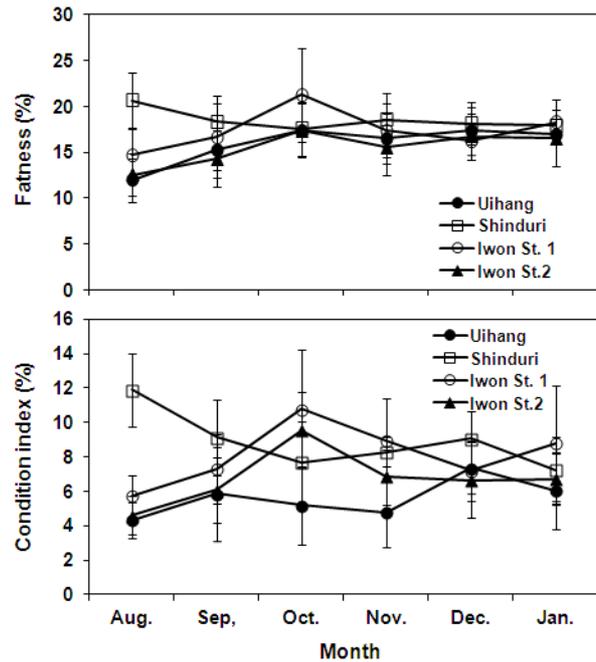


Fig. 3. Monthly variations of fatness and condition indices of Pacific oysters cultured in Taeon area. Error bars mean standard deviations.

는 7.2%였다. 의항은 9월 5.9%, 이원 St. 1과 2는 연체부지수와 같이 10월에 가장 높은 CI 값인 10.8%와 9.6%로 조사되었다.

3. Gonad index (GI, 생식소지수)

각 지역별 생식소지수의 변화는 Fig. 4와 같다. 의항 지역의 수컷은 9월과 10월에 대부분 산란이 이루어져 낮은 생식소지수인 1.0-1.2였고 암컷은 9월과 10월에 2.1 -2.0 이었으며 11월에 1.2로 감소하였다. 신두리 지역은 수컷의 GI가 9월부터 11월까지 의항보다 높은 값인 1.95, 1.67, 1.77을 보였고 12월에 일시적으로 감소하였으나 1월에 1.5로 다시 증가하였다. 암컷도 수컷과 동일한 양상으로 변화하여 1.92, 1.63, 1.8의 GI 값을 보인 후 12월에 1.25로 감소, 1월에 1.4로 증가하였다. 이원 St. 1의 경우는 수컷이 9월과 10월에 가장 높은 값인 2.68, 2.42였으나 11월에 급격히 감소하여 1.0으로 나타났다. 암컷의 경우는 9월에 1.91에서 일시적으로 2.4로 증가하였으나 그 후 서서히 이듬해 1월까지 1.1로 감소하였다.

4. 생식주기

2011년 9월부터 2012년 1월까지 지역별 굴 생식소 조직검사 결과, 월별 생식주기의 출현 빈도를 Fig. 5에 요약하였다. 9월에 의항과 신두리에서는 부분방출기와 휴지기의 개체들이 존재하였으나 이원 St. 1과 2에는 일부 성숙기의 굴이 존재하

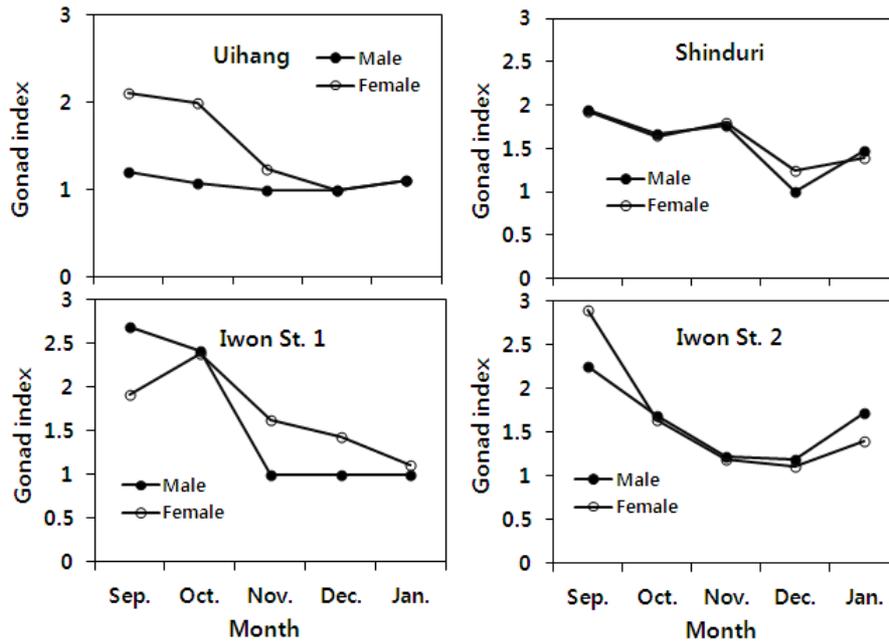


Fig. 4. Changes of gonad indices of Pacific oysters cultured in Taean area.

는 것으로 나타났다. 10월에는 모든 지역에서 대부분의 수컷이 휴지기였으며 일부 초기성장기의 개체들이 소수 존재하였으나 암컷의 경우는 대부분이 부분방출기와 휴지기에 이르렀다. 특이한 점은 11월에는 신두리 지역에서 후기 성장기의 수컷이 15.3%로 조사되어 생식소 발달이 진행이 되었으나 다른 지역에서는 10월에 존재하였던 초기성장기의 개체가 생식소 발달이 지속되지 이루어지지 않은 것으로 보였다. 12월에는 대부분의 굴이 휴지기에 이르렀으며 이듬해 1월에 초기성장기 개체들이 다시 출현하였다.

5. 생식소 내 핵산변화

각 지역별 수평망식 굴 양식 모패의 생식소 내 핵산의 함량과 비의 변화는 Fig. 6과 같다. 의항 지역의 굴 생식소 내 RNA, DNA의 양과 비를 보면 DNA의 양이 9월에 수컷 0.41 $\mu\text{g}/\text{mg}$, 암컷 0.51 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 이었으며 그 후 서서히 감소하였으나 12월에 일시적인 증가 (수컷 0.77 $\mu\text{g}/\text{mg}$, 암컷 0.68 $\mu\text{g}/\text{mg}$) 를 보였다. RNA도 9월 수컷은 1.23 $\mu\text{g}/\text{mg}$, 암컷 2.18 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 였고 점차 감소하였으나 12월에 각각 1.85 $\mu\text{g}/\text{mg}$, 1.63 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 로 일시적인 증가를 보였다. RNA/DNA 비는 2.56-3.53의 값으로 변화하였다.

신두리 지역의 굴은 수컷의 경우 9월에도 DNA양이 0.97 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 으로 매우 높았으며 11월까지 점차 감소하여 0.23 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 에 이르렀다. RNA는 10월에 가장 높은 값인 1.35 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 을 보였다. 암컷의 경우는 RNA와 DNA 농도가 시기에 따라 증감을 반복하였으나 각각 1.12-2.08, 0.26-0.39 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 을 유지하였다. RNA/DNA 비는 9월에 8.13으로 다른 조사지역보다 매우 높은 값을 보였으며 10월에 3.8로 급격히 감소한 이후 3.15-4.29를 유지하였다.

이원 St. 1의 굴 수컷은 9월에 DNA 농도가 1.49로 최고값을 보인 후 11월에 0.11 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 으로 감소하였다. 산란이 완료된 이후 RNA/DNA 비는 점차 증가하여 12월에 최고값인 6.44로 조사되었다. 암컷의 경우도 난의 크기를 추정할 수 있는 RNA/DNA 비가 9월과 10월에 7.4와 6.8이었다. 이원 St. 2에서도 9월에 수컷은 DNA가 1.00 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 암컷은 RNA/DNA 비가 5.46으로 조사되었다. DNA변화는 이듬해

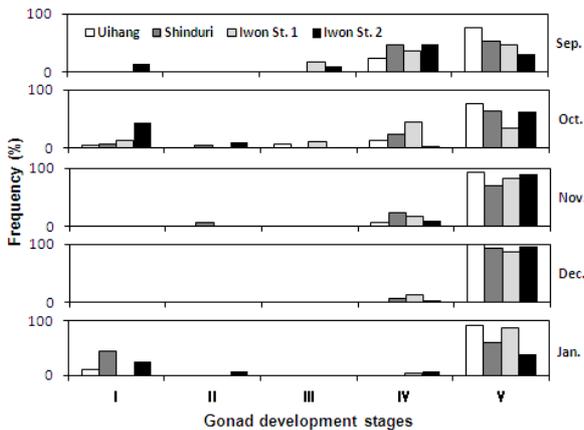


Fig. 5. Appearance of gonadal development stages of Pacific oysters cultured in Taean area. III; mature stage, IV; partially spawning stage, V; recovery and inactive

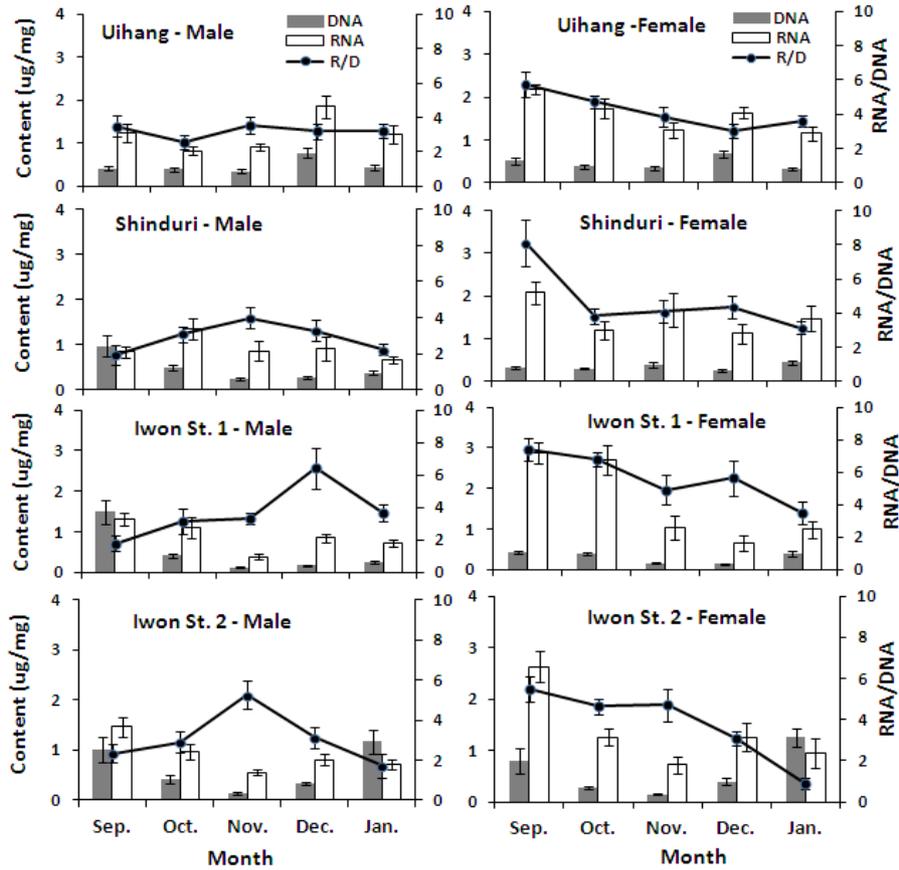


Fig. 6. Monthly variation of RNA, DNA concentrations and ratios in gonads of cultured Pacific oysters in Taean area. Error bars mean standard deviations.

1월에 수컷 1.17 $\mu\text{g}/\text{mg}$, 암컷 1.25 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 로 증가하였고 그에 따라 RNA/DNA 비는 암수가 각각 0.88과 1.72로 매우 낮아졌다.

6. 폐각근 내 핵산 변화

각 지역별 폐각근 내 핵산함량 및 비의 변화는 Fig. 7과 같다. 의항 지역 굴 폐각근 내 핵산함량의 변화는 암수 모두 동일한 변화양상을 보였다. DNA는 수컷 0.16-0.20 $\mu\text{g}/\text{mg}$, 암컷 0.12-0.20 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 으로 비교적 일정한 농도를 유지하였다. RNA는 9월 (0.71 $\mu\text{g}/\text{mg}$) 부터 11월 (0.20 $\mu\text{g}/\text{mg}$)으로 감소하였다. 암컷은 RNA농도와 RNA/DNA 비가 9월 (0.59 $\mu\text{g}/\text{mg}$, 4.00)에서 11월 (0.23 $\mu\text{g}/\text{mg}$, 2.18)까지 감소한 후 이듬해 1월에 다시 증가하였다.

신두리 굴 폐각근 내 핵산의 변화는 산란이 이루어지는 시기에도 RNA/DNA 비가 증가하였다. 암컷은 10월까지 3.0으로 증가하였으나 그 이후 11월에 2.16으로 감소하였다. RNA는 수컷이 9월 (0.35 $\mu\text{g}/\text{mg}$)부터 지속적으로 증가하여 1월 (0.52 $\mu\text{g}/\text{mg}$)에 최대값을 보였다. 암컷의 경우는 9월 0.36

$\mu\text{g}/\text{mg}$ 의 최소값을 보이고 12월까지 증감을 반복하였으며 이듬해 1월에는 0.57 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 로 급격히 증가하였다.

이원의 St. 1은 수컷의 DNA가 9월 0.27 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 으로 높은 값을 보였고 그 이후는 점차 감소하여 1월에 0.13 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 에 달하였다. 그와는 반대로 RNA가 9월에서 이듬해 1월까지 0.39-0.46 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 로 큰 변화를 보이지 않았다. RNA/DNA 비는 1월에 5.0으로 상승하였다. 암컷은 DNA 양은 0.13-0.20 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 을 유지하였으며 RNA 또한 0.42-0.49 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 로 큰 변화를 보이지 않았고 RNA/DNA 비는 점차 증가하여 11월에 최대 4.0으로 조사되었다. 이원의 St. 2의 경우 수컷은 RNA/DNA 비가 2.2에서 점차 증가하여 1월에 4.3까지 도달하였고, 암컷은 10월에 가장 높은 값인 6.6을 보였다. DNA 농도는 수컷이 0.10-0.26 $\mu\text{g}/\text{mg}$, 암컷이 0.10-0.21 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 으로 큰 변화를 보이지 않았다.

7. 폐각근 내 단백질 함량

지역별 굴 폐각근 내 단백질 함량의 변화는 산란이 이루어지는 시기에도 큰 폭으로 변화를 보이지는 않았지만 증감을 받

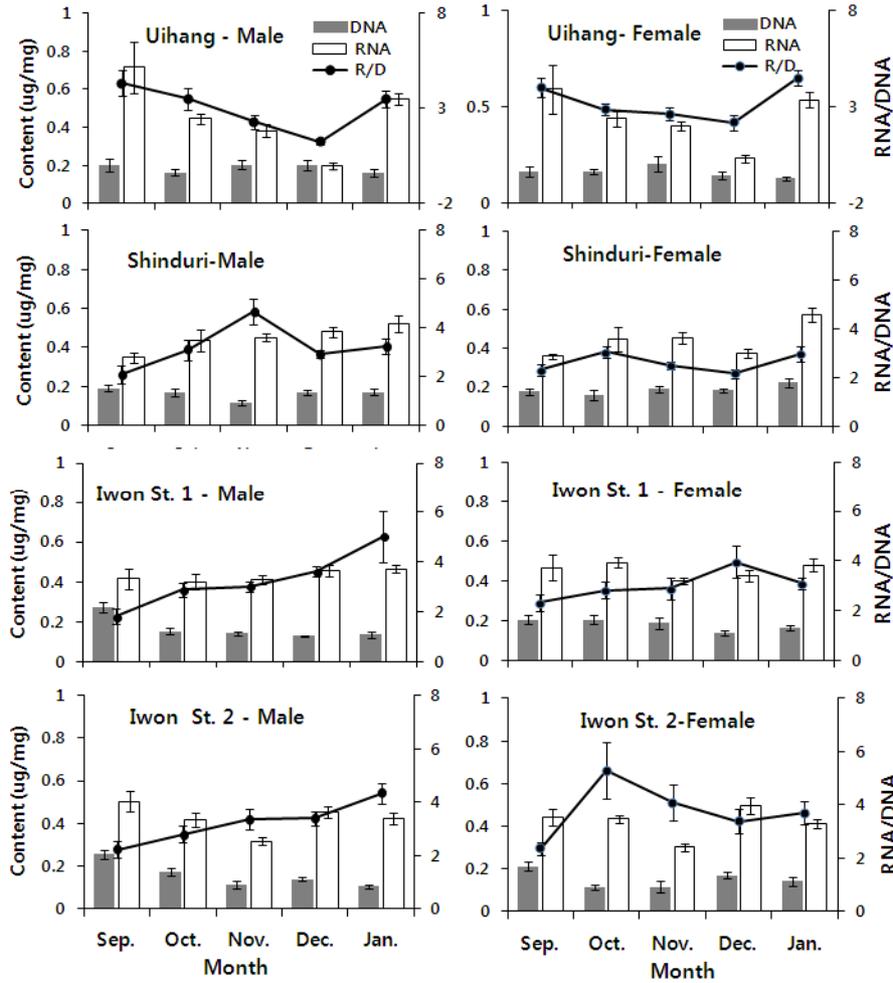


Fig. 7 Monthly variations of RNA, DNA concentrations and ratios in adductor muscles of cultured Pacific oysters in Taean area. Error bars mean standard deviation.

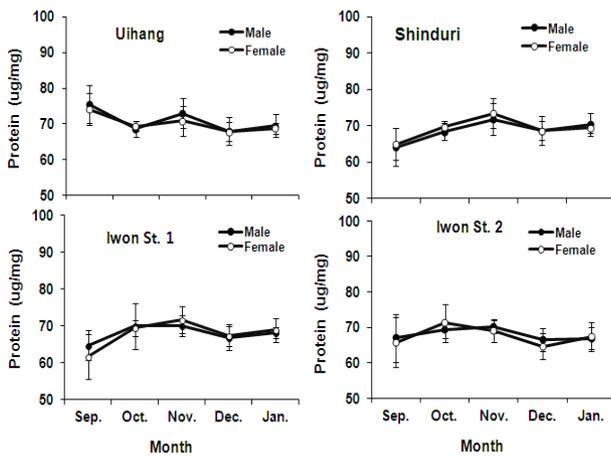


Fig. 8. Changes of protein contents in adductor muscles of Pacific oysters cultured in tidal flat zone in Taean area. Error bars mean standard deviations.

복하면서 변화하였다 (Fig. 8). 의항은 9월에 다른 지역보다 암수 모두 가장 높은 단백질 함량인 $74.1 \mu\text{g/mg}$ 과 $75.5 \mu\text{g/mg}$ 이었으나 1월에 $68.8 \mu\text{g/mg}$ 과 $69.5 \mu\text{g/mg}$ 로 감소하였다. 그 이외의 조사지역은 9월에 낮은 값을 보이다 10월과 11월까지 점차 증가하였으나 다시 감소하는 것으로 분석되었다. 조사기간 평균 단백질 함량은 의항의 수컷이 $70.9 \mu\text{g/mg}$ 으로 가장 높은 값을 보였으며 암컷 또한 $70.2 \mu\text{g/mg}$ 으로 평균적인 단백질 함량이 모든 지역보다 높은 것으로 분석되었다. 이원의 St. 1은 수컷과 암컷이 각각 $67.9 \mu\text{g/mg}$ 과 $67.8 \mu\text{g/mg}$ 으로 나타났고 이원의 St. 2는 수컷 68.0 , 암컷 $67.7 \mu\text{g/mg}$, 신두리는 수컷 68.7 , 암컷 $69.2 \mu\text{g/mg}$ 로 암수 모두 큰 차이를 보이지 않았다.

토 론

수평망식 굴 양식은 프랑스, 미국, 캐나다, 호주 등의 나라

에서 많이 이용되고 있다. 특히 이 양식 방법은 폐각의 손상이 없고 일반 굴에 비하여 연체부지수가 높아 상품가치가 높아 굴 양식 어업인에게 선호되고 있다 (Parsons, 1974; Mallet *et al.*, 2006; Bouchet and Sauriau, 2008; Manley *et al.*, 2009). 수평양식의 특징 중 하나는 연안에 간출이 일어나는 지역에 설치되어 양식 굴이 매일 일정 시간 공기 중에 노출됨으로 자연적으로 단련이 되는 반면 생리생태학적인 측면에서 외부환경에 큰 영향을 받는 것이다. 본 연구에서 참굴 양식지역의 환경 변화를 보면 최근 2년간에 비하여 월별 수온변화가 급격하였으며, 특히 전년 2개년에 비하여 수온이 낮은 경향을 나타내었다. 이러한 환경적인 요인과 생식소 성숙과 산란과정이 양식굴의 건강상태에 미치는 영향을 생식소와 에너지 저장소인 폐각근의 핵산의 함량과 비로 조사하였다. DNA는 체세포 속의 핵이 비교적 일정하며 RNA가 단백질 합성에 관여하므로 RNA/DNA 비를 통하여 해양생물의 단백질 합성능력 평가가 가능하므로 건강도 판정을 위한 방법으로도 응용되어진다 (Li *et al.*, 2000; Brachet, 1961, Kim *et al.*, 2005).

본 연구에서 조사한 지역의 굴 생식소 내 핵산의 함량 및 비의 변화를 생식소지수(GI)와 관련하여 보면 전 조사기간 동안 의항의 수컷의 GI가 일정하게 1.2-1.3의 낮은 값을 유지하고 그 이외의 지역은 9월 모두 2 이상에서 점차적으로 또는 급격히 감소하는 것으로 나타나 수컷의 방정이 가장 먼저 완료되어 휴지기에 이른 지역은 의항으로 조사되었다. 생식소 내 핵산변화와 비교하여 보면 DNA의 농도가 신두리, 이원의 St. 1, 2에서 의항의 0.4 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 보다 2-3배 높은 0.8-1.5 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 으로 분석된 것과 일치한다고 할 수 있다. 또한 핵산의 변화와 관련하여 볼 때 수컷은 RNA/DNA 비와 GI가 일치하지 않았으며 오히려 DNA 농도 변화와 동일한 패턴으로 변화하였다. 암컷의 경우는 GI가 RNA 농도 및 RNA/DNA 비의 변화와 동일하게 변화하여 생식주기와 관련하여 정확한 정보 제공이 가능하였다 (Kim *et al.*, 2005). 본 조사에서 특이한 점은 이원의 St. 2에서 암컷과 수컷이 모두 1월에 높은 DNA 농도를 보인 것으로 다른 지역보다 일찍 생식소가 발달하는 것으로 조사되었으며 Fig. 5에서와 같이 생식소 발달단계에서 초기와 후기 활성기의 개체가 함께 출현한 것과 일치하였다.

본 연구에서 산란 이후 굴은 일시적인 재 성숙이 단기간 일어났으나 수온이 급강하는 11월에 초기발생단계의 생식소가 관찰되지 않아 지속적인 발달이 되지 않고 이듬해 1월부터 다시 생식주기에서 초기 활성화 단계를 거치는 것으로 파악되었으며 방출기의 개체가 소수이지만 12월까지 관찰이 가능하였다. 이는 일부 개체에서 난소에 기생하는 원충성 난소기생충인 *Marteilioides chungmuensis*의 감염이 관찰된 것과 관련된 것으로 난소기생충의 감염으로 방란이 지연되어 성숙된 난이 배출되지 않은 것으로 판단되었다.

굴 *Crassostrea virginica*에서 아가미와 폐각근 등의 조직 속 핵산 비 (RNA/DNA)는 먹이를 잘 섭취하지 못하거나 건강이 저하된 굴은 정상적으로 성장한 굴에 비하여 급격히 떨어지는 것으로 알려져 있어 개체군 또는 개체의 건강상태를 파악할 수 있는 지표로 사용되어 왔다 (Okumura *et al.*, 2002; Heilmayer *et al.*, 2008). 또한 생식소 성숙이나 산란 과정에 필요한 에너지를 실시간의 먹이섭취로 충당하기 보다는 이미 폐각근 또는 다른 조직에 저장된 에너지를 우선적으로 사용한다고 알려져 있어 (Liu *et al.*, 2010) 본 연구에서는 산란이후의 건강상태 회복과정에 대한 지표로 핵산함량 및 비, 연체부지수, CI 등의 지표를 사용하였다. 지역별 굴 건강도 조사결과 의항지역을 제외하고 폐각근 내 핵산함량 및 비, 단백질 함량이 큰 감소를 보이지 않고 11월까지 증가하여 서식하는 환경요인(먹이, 수온, 부유물, 산소 등)에 의하여 재충전이 빠르게 일어났으며 폐각근 내 저장 에너지의 소비가 크지 않았던 것으로 추정되었다. 그러나 의항지역은 9월에 높은 단백질 함량을 보였음에도 불구하고 시간이 경과할수록 점차 감소하는 경향을 보였다.

핵산의 비로 파악한 지역별 건강상태의 변화는 의항지역은 폐각근 내 RNA 양과 비가 암수 모두 9월에 다른 지역의 굴보다 가장 높아 단백질 합성 가능성과 성장 가능성이 높은 상태였으나 그 이후에는 RNA/DNA 비가 다른 지역에서 증가한 것과는 달리 의항 지역만 12월까지 지속적으로 감소하였고 1월에 급격히 증가하여 지역적인 환경에 의한 영향으로 추정되었다.

연체부지수 및 CI와 종합하여 보면 두 지표에서 의항지역이 다른 지역보다 가장 낮은 값을 보였다. 생식주기와, GI, 핵산의 농도 (DNA양)와 관련하여 볼 때 9월에 수컷의 방정이 가장 빠르게 완료되었고 암컷은 산란이 일부 진행 중으로 파악되었다. 따라서 의항 지역은 산란기 이후 환경요인이 에너지 섭취 및 저장에 가장 취약한 환경이었던 것으로 판단되었다. 반면에 신두리와 이원의 St. 1은 9월 암컷의 RNA/DNA 비가 각각 8.1과 7.4로 매우 높게 나타나 성숙란이 다수 존재하는 것으로 파악되었는데 생식주기 출현빈도수로 본 부분방출기의 개체가 12월까지 존재하는 것으로 확인되어 산란기가 다른 지역보다 더 오래 지속됨을 알 수 있었다. 그러나 일반적으로 알려진 것과는 달리 연체부지수, CI와 폐각근 내 단백질 함량이 산란 이후 증가하는 경향을 보이거나 이 지역에서는 10월까지 오히려 증가하는 특이한 현상을 보였다. 이러한 이유로 이 지역들에서는 먹이생물 조성, 수온 등의 환경요인으로 인하여 에너지가 충족되어 회복이 빠르게 일어나는 것으로 추정하였다.

요 약

한국 서해안 해역에서 2011년 9월부터 2012년 1월까지

수평망식으로 양성한 굴의 산란기 이후 생태·생리학적 변화를 조사하였다. 조사 지역은 충남 태안 연안의 의항, 신두리, 이원의 두 곳을 선정하여 생식소지수, 조직학적 분석, 생식소와 폐각근 내의 RNA/DNA의 양과 비, condition index (CI), 연체부지수 등을 분석하여 건강도를 판정하였다.

연구결과 의항에서 수평망식으로 양식한 굴은 다른 지역의 굴과 생리학적 차이를 보였다. 즉, 폐각근 내 RNA/DNA의 양 및 비가 조사기간 동안 지속적으로 감소하였고 가장 낮은 CI와 연체부지수를 보였다. 이원지역의 St. 1과 2에서 양식한 굴은 산란기 이후 빠른 회복력을 보여 RNN/DNA가 증가하였고, 연체부지수와 CI 또한 10월까지 급격히 증가한 이후 감소하는 것으로 나타났다. 신두리 지역의 굴은 연체부지수와 CI가 10월까지 급격하게 감소하였다. 그러나 이러한 건강도 판정요소와는 다르게 폐각근 내 RNA/DNA 비는 단백질의 증가양상처럼 10월까지 지속적으로 증가하는 것으로 조사되었다. 특이한 점은 신두리와 이원의 St. 1에서는 12월까지도 부분방출기의 개체가 관찰이 되었다.

모든 결과를 종합하여 볼 때 본 연구에서 사용된 RNA/DNA 양과 비의 변화, 연체부지수, CI 등의 간단한 지표만으로도 양식 굴의 건강상태, 산란 후 회복과정에 관한 정보 취득이 가능하였다. 따라서 이와 같은 자료를 통하여 우량종패 생산을 위한 굴 어미판리가 가능하고, 또한 소비자들이 선호할 수 있는 양질의 굴 생산이 가능할 것으로 판단되므로 향후에도 다년간 연구조사가 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

이 연구는 국립수산물과학원 경상과제인 갯벌참굴 양식생산성 향상연구 (RP-2012-AQ-082) 에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- Belchier, M., Clemmesen, C., Cortes, L., Doan, T., Folkvord, A., Garcia, A., Geffen, A., Hoie, H., Johannessen, A., Moksness, E., de Pontual, H., Schnack, D., Sveinsbo, B., (2004) Recruitment studies: manual on precision and accuracy of tools. ICES Techniques in Marine Environmental Sciences, No. 33, Copenhagen, Denmark, 35 pp.
- Brachet, J., (1961) Nucleocytoplasmic interactions in unicellular organism. In: The Cell, Brachet, J. and A.E. Mirsky, eds. Academic Press, New York, USA. 771-841.
- Bouchet, V.M.P and Sauriau, P.G., (2008) Influence of oyster culture practices and environmental conditions on the ecological status of intertidal mudflats in the *Pertuis Charentais* (SW France): A multi-index approach. *Marine Pollution Bulletin*, **56**: 1898-1912.
- Clemmesen, C., (1994) Improvements in the fluorimetric determination of the RNA and DNA content of individual marine fish larvae. *Marine Ecology Progress Series*, **100**: 177-183.
- Delaporte, M., Soudant, P., Lambert, C., Moal, J., Pouvreau, S. and Samain, J.F., (2006) Impact of food availability on energy storage and defense related hemocyte parameters of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* during an experimental reproductive cycle. *Aquaculture*, **254**: 571-582.
- FAO, (2010) Yearbook of fishery statistics, Fish Stat Plus program, available at: <http://www.fao.org/fi/statist/summtab/default.asp>.
- Heilmayer, O., Digialleonardo, J., Qian L. and Roesijadi, G., (2008) Stress tolerance of a subtropical *Crassostrea virginica* population to the combined effects of temperature and salinity, *Estuarine, Coastal and Shelf Science.*, **79**: 179-185.
- Kim, S.K., Rosenthal, H., Clemmesen, C., Park, K.Y., Kim, D.H., Choi, Y.S. and Seo, H.C., (2005) Various methods to determine the gonadal development and spawning season of the purplish washington clam, *Saxidomus purpuratus* (Sowerby). *Journal of Applied Ichthyology*, **21**: 101-106.
- Kim, S.K., Lee, C., Kim, Y.D., Qtae, J., Lee, J.H., Park, M.W., Kim, J.W. and Gong, Y.G., (2009) Histological and Biochemical analyses on reproductive cycle of *Gomphina melanaegis*. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **42**(1): 41-47.
- Li, Qi, Osada M. and Mori, K., (2000) Seasonal biochemical variations in Pacific oyster gonadal tissue during sexual maturation. *Fisheries Science*, **66**: 502-508.
- Li, Qi, Liu, W., Shirasu, K., Chen, W. and Jiang, S., (2006) Reproductive cycle and biochemical composition of the Zhe oyster *Crassostrea plicatula* Gmelin in an easter coastal bay of China, *Aquaculture*, **261**: 752-759.
- Li, Y., Qin, J.G., Li, X. and Benkendorff, K., (2009) Spawning-dependent stress response to food deprivation in Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, 309-319.
- Lim, H.J, Lee, T.S., Cho, P.G., Back, S.H., Byun, S.G. and Choi, E.H., (2011) The production efficiency of cupped oyster *Crassostrea gigas* sprat according to clutch and growth comparing diploid and triploid oysters in off-bottom culture for tidal flat utilization. *Korean journal of fisheries and aquatic sciences*, **44**(3): 259-266.
- Liu, W., Li, Q., Gao, F. and Kong, L., (2010) Effect of starvation on biochemical composition and gametogenesis in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Fisheries Science*, **76**: 737-745.
- Mallet, A.L, Carve, C.E. and Landry, T., (2006) Impact of suspended and off-bottom Eastern oyster culture on the benthic environment in eastern Canada. *Aquaculture*, **255**: 362-373.
- Manley, J., Power, A. and Walker, R., (2009) Comparison of techniques for off-bottom culture of the eastern oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin),

- 1791) in Georgia. *Occasional papers of the University of Georgia Marine Extension Service*, **6**: 1-18.
- Mann, R., (1979) Some biochemical physiological aspects of growth and gametogenesis in *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis* grown at sustained elevated temperature. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **59**: 95-100.
- MIFAFF, (2010) Food, agriculture, forestry and fisheries statistical yearbook, MIFAFF. 319p
- Okumura, T., Nagasawa, T., Hayashi, I. and Sato, Y., (2002) Effects of starvation on RNA:DNA ratio, glycogen content and C:N ratio in columellar muscle of the Japanese turban shell Turbo (Batillus) cornutus (Gastropoda). *Fisheries Science*, **68**: 306-312.
- Parsons, J. (1974) Advantages in tray cultivation of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) in Strangford Lough, N. Ireland. *Aquaculture*, **3**: 221-229
- Saucedo, P., Racotta, I., Villarreal, H. and Monteforte, M., (2002) Seasonal changes in the histological and biochemical profile of the gonad, digestive gland and muscle of the calafia mother-of-pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* associated with gametogenesis. *Journal of Shellfish Research*, **21**: 127-135.
- Ngo, T.T., Kang, S.G., Kang, D.H, Sorgeloos, P. and Kwang, S.C., (2006) Effect of culture depth on the proximate composition and reproduction of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* from Gosung Bay, Korea. *Aquaculture*, **253**: 712-720.
- Urrutia, G.X., Navarro, J.M., Clasing, E., Stead, R.A., (2001) The effects of environment factors on the biochemical composition of the bivalve *Tagelus dombell* (Lamarck, 1818) from the intertidal flat of Coihuin, Puerto Montt. Chile. *Journal of Shellfish Research*, **20**: 1077-1087.
- Wright, D.A. and Hetzel, E.W., (1985) Use of RNA:DNA ratios as an indicator of nutritional stress in the American oyster *Crassostrea virginica*. *Marine Biology Progress Series*, **25**: 199-206.