

가막만 피조개 *Scapharca broughtonii*의 생식소 발달과 체성분의 계절적 변화

신윤경, 임재현, 손맹현, 김응오

국립수산과학원 전략양식연구소 양식관리과

Seasonal variation in biochemical composition and gonadal development of ark shell, *Scapharca broughtonii* (Bivalvia: Arcidae) from Gamag bay of Southern coast, Korea

Yun Kyung Shin, Je Hyun Im, Maeng Hyun Son and Eung Oh Kim

Aquaculture Management Division, NFRDI, 619-705, Republic of Korea

ABSTRACT

Seasonal changes in biochemical composition of muscle, gonad-visceral, mass and whole body of the cultured ark shell, *Scapharca broughtonii* in the Gamag bay of Yeosu city were studied from December 2008 to November 2009 in relation to environmental condition and reproductive cycles. Average monthly water temperature in the winter was in the range of 7-12°C and 20-25°C in the summer, while the salinity fluctuated in the range of 30.1%-33.8‰ on the average. Seasonal fluctuation of the concentration of nutrient salt was the highest in September (13.04 µg/L) with average annual concentration of 4.6µg/L. The main spawning season of the ark shell was during the months of July and August, and the gonads were in inactive stage during the winter. The gonad-visceral mass contained lower amounts of proteins than the other body parts. The most marked changes in body composition were lipids and carbohydrates within the gonad-visceral mass, and protein for each of the organs was relatively consistent throughout the year. All the parts in the visceral sac displayed the highest changes during the gametogenic cycle while the contents of moisture and lipid within the visceral act displayed somewhat inverse relations with each other. Moisture content was the lowest during the inactive stage during which the lipid content is the highest. The lipid content was the lowest immediately following spawning with increase in the moisture content as the lipid is being consumed. Protein mass within the visceral sac was low in comparison to the muscle mass. It is deemed that carbohydrates, lipids and proteins in the visceral sac play the major role as the source of energy during the development process of the gonads, and used for maintenance of base metabolism when available food is scarce.

Keywords: *Scapharca broughtonii*, Biochemical composition, Gonadal development

서론

피조개, *Scapharca broughtonii*는 연체동물문 (Mollusca), 부족강 (Pelecypoda), 돌조개과 (Arcidae)에 속하는 종으로 일본, 중국을 비롯하여 한국과 위도가 비슷한 나

라에서 분포서식하고 있으며, 상업적으로 양식하는 나라는 한국, 일본 및 중국 등이다. 한국에서는 주로 남해안의 진해만, 거제만, 고성만 및 가막만 등지에서 많이 생산된다. 피조개는 육질이 연하고 성장이 비교적 빨라 양식 대상종으로 각광을 받아온 중요한 상업 종의 하나로 국내 생산량의 대부분이 수출되고 있다. 한국에서 피조개의 생산량은 1970년대 양식기술의 개발과 더불어 생산량이 점차 증가하기 시작하여 1986년에는 58,000M/T의 최고치를 나타내었으나, 1989년 이후 계속 감소하여 생산량이 9,357M/T으로 격감하였다. 이렇게 생산량이 감소하게 된 원인으로는 장기간의 연작과 과밀양식으로 인한 양식장의 저질악화, 종패의 수급 불균형 및 양식기간 내 대량

Received: 2012 ; Accepted: 2012
Corresponding author: Yun Kyung Shin
Tel: +82 (51) 720-2423 e-mail: ykshin@nfrdi.go.kr
1225-3480/24428



Fig. 1. External morphology of ark shell, *Scapharca broughtonii*.

폐사 등을 원인으로 들고 있다. 특히 이 가운데 가장 큰 문제점은 채묘부진 현상이다. 피조개의 집단 폐사의 발생을 줄이고, 양식방법을 개선하기 위하여 지역적인 환경조건을 고려하여 피조개의 생식주기와 관련한 에너지 물질대사에 관한 연구는 필요하다. 패류에서 계절에 따른 물질대사의 변동은 먹이, 환경조건, 성장 및 생식 등 여러 가지 복합적인 상호작용의 결과로 나타난다 (Gabbot, 1983). 연안에 서식하는 패류의 에너지의 저장이나 이용은 계절적인 변화를 보이며, 이는 생식활동과 밀접하게 관련된다 (Giese, 1969; Bayne, 1976; Gabbot, 1976; Sastry, 1979; Barber and Blake, 1981, 1985).

일반적으로 에너지는 먹이가 풍부할 때 글리코젠, 지방, 단백질의 형태로 생식소가 발달하기 전에 저장되며, 이러한 저장물질이 저장되는 장소나 이용 시기는 종과 개체군에 따라 다르며 (Giese, 1969; Bayne, 1976; Sastry, 1979), 수온, 염분과 같은 환경적인 요인은 저장에너지의 순환을 결정하는 주요한 역할을 한다 (Mackie and Ansell, 1993).

조직내 단백질, 탄수화물 및 지방 함량은 계절적인 변화를 나타내며, 주로 생식소 발달과정 및 주변의 먹이량에 의해 좌우된다 (Gabbott, 1983). 따라서 체성분 물질의 변동에 관한 연구는 생식소발달시기 또는 먹이가 부족한시기 동안 주로 기관별 이용되는 영양소가 무엇인지를 알 수 있다.

본 연구는 피조개의 생리적 활성도가 감소하는 시기동안 체내 이용되는 체성분 물질을 구명하고, 체성분의 변화와 생식소 발달과정과의 관련성을 찾기 위하여 2008년 12월부터 2009년 11월까지 여수시 가막만에서 양식되고 있는 피조개를 대상으로 생식소발달과 관련하여 근육과 내장낭의 체성분을 조사하였다. 기관별 체성분의 이용성 및 계절별 변화와 저장에 관한 연구는 인공종묘생산을 위한 어미관리 및 양식장에서 발생하는 집단폐사의 원인을 추정하는데 중요한 자료로 활용될 것이다.

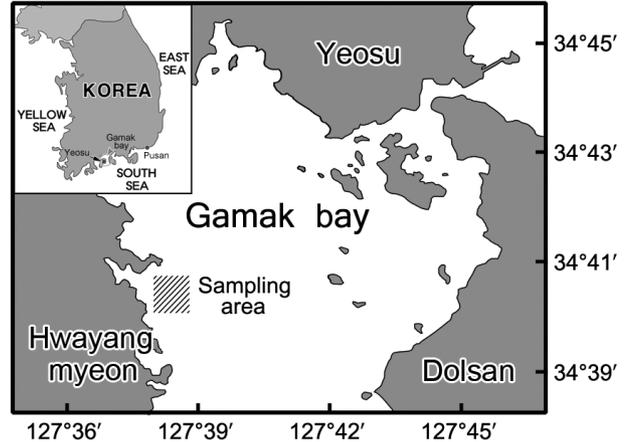


Fig. 2. Map showing the sampling area of ark shell, *Scapharca broughtonii*.

재료 및 방법

1. 재료 및 채집지역

실험동물인 피조개 (Fig. 1) 는 2008년 12월부터 2009년 12월동안 전남 여수시 가막만 해역 양식장 (Fig 2) 에서 형망을 이용하여 매일 채취하여 실험에 이용하였다. 실험에 사용된 피조개는 각장 69.8 ± 2.9 mm, 전중 34.2 ± 4.5 SE (g) 였다.

2. 환경요인

채집지역 (Fig.2) 의 수온과 염분은 매일 수심 5-6m에서 수질분석기 (YSI, 5000) 를 이용하여 측정하였으며, 클로로필 a의 함량은 GF/C 여과지로 ($\varnothing 0.45 \mu\text{m}$) 로 여과하여 90% 아세톤으로 추출한 후 Talling and Driver (1963) 의 방법으로 분석하였다.

3. 비만도 (CI: Condition index)

피조개의 비만도는 매일 30마리씩 채취하여 Akashige and Fushimi (1992) 의 방법에 의해 측정하였다. $CI = [\text{육중량 (g)} / \text{각장 (mm)} \times \text{각고 (mm)} \times \text{각폭 (mm)}] \times 1,000$ 으로 계산하였다.

4. 생식소 발달단계

피조개의 생식소 생식소 발달단계를 조사하기 위하여 매일 30마리씩 샘플하였으며, 조직학적 변화를 관찰하기 위하여 각 시료는 패각을 제거하고 Bouin's 용액에 고정한 후 paraffin 절편법에 의해 조직표본을 제작하였다. 피조개 생식소의 조직상은 광학현미경으로 관찰하여 Walker and Power (2004) 의 방법에 따라 inactive stage (In), early active stage (Ea), late active stage (La), ripe stage (R), partially

spent (Ps), spent and degenerative stage (Sd)의 6단계로 나누었다.

5. 생식소지수 (GI: Gonad index)

GI는 Eversole (1997)의 방법을 일부 수정하여 이용하였다. 조직표본 관찰 후, 매월 각 개체에 대하여 단계별로 상수 (In=1, Ea=2, La=3, R=4, Ps=3, Sd=2)를 곱하여 계산하였다.

$$GI = \frac{(In \text{ 개체수} \times 1) + (Ea \text{ 개체수} \times 2) + (La \text{ 개체수} \times 3) + (R \text{ 개체수} \times 4) + (Ps \text{ 개체수} \times 3) + (Sd \text{ 개체수} \times 2)}{\text{월 조사 개체수}}$$

6. 생화학적 체성분

생화학적 체성분은 건중과 진중에 대한 백분율로 나타내었다. 수분은 시료의 무게가 항량이 이를 때까지 수온 100℃에서 건조하여 측정하였다. 총탄수화물은 phenol-sulphuric acid 방법을 이용하였으며 (Gerhardt, 1981), 조단백질함량은 micro-Kjeldahl (Lang, 1958) 방법에 따라 분석하였으며, 전환계수 6.25를 곱하여 산출하였다. 총지방함량은 chloroform: methanol (2:1)으로 추출하여 Beninger and Lucas (1984)의 방법을 변환하여 분석하였으며, 모든 시료 분석 결과는 3회 반복으로 평균하여 사용하였으며 실험결과 유의성은 SPSS software-program (P < 0.05)을 이용하여 검정하였다.

결 과

1. 피조개 양식장 환경변화

Fig. 3은 2008년 12월부터 2009년 11월 동안 가막만 피조개 양식장의 환경변화를 나타낸 것이다. 월별 평균 수온은 겨울에 7-12℃, 여름에 20-25℃였으며, 염분은 평균 30.1-33.8‰에서 변화하였다. 영양염의 계절적 변화는 수온의 변화와 유사하였다. 9월에 최대(13.04 μg/L)를 보였으며, 연 평균농도는 4.6 μg/L였다.

2. 비만도(CI) 및 생식소 발달

Fig. 4는 피조개의 월별 CI를 나타낸 것이다. 월별 CI의 양상은 5월, 42.5 ± 13.2으로 가장 높았으며, 10월의 11.9 ± 0.74으로 최저를 나타내며 연중 변화를 보였다. 이는 배우자형성기 동안 CI는 높게 나타났으며 (42.5 ± 13.2), 생식소 성숙에 따라 차츰 감소하였다 (13.7 ± 4.2). CI는 완숙기 이후 11월부터 차츰 회복하기 시작하여 불활성기에는 증가 (35.1 ± 14.6) 하였다.

Fig. 5는 피조개의 생식소 발달과정을 나타낸 것으로, 생식

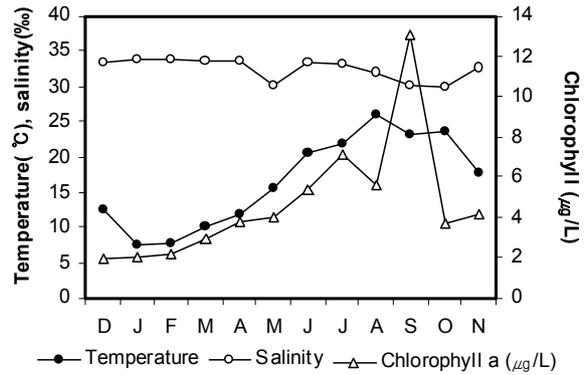


Fig. 3. Monthly variations of water temperature, salinity and chlorophyll a in the sampling area.

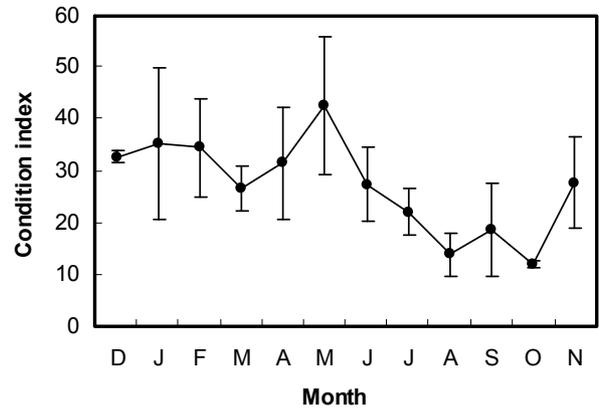


Fig. 4. Monthly variations of condition index (CI) of ark shell, *Scapharca broughtonii* from December 2008 to November 2009.

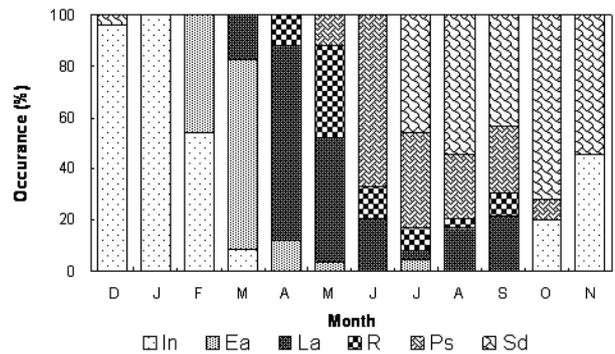


Fig. 5. Monthly variations of gonad development of ark shell, *Scapharca broughtonii* from December 2008 to November 2009. In=inactive stage, Ea=early active stage, La=late active stage, R=ripe stage, Ps=partially spent stage, Sd=fully spent stage.

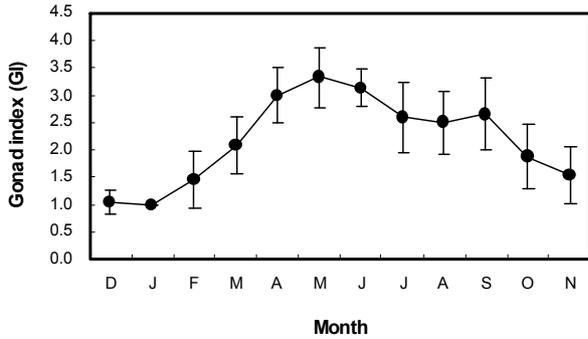


Fig. 6. Monthly variations of gonad index of ark shell, *Scapharca broughtonii* from December 2008 to November 2009.

소의 초기발달은 2월과 3월에 시작하였고 (Fig. 5), 3월에 70%이상이 초기활성기였다. 후기활성기는 4-9월에 나타났으며, 4월에 80%이상이 후기활성기였다. 또한 7월에 감소한 후 9월에 다시 증가하였다. 주산란기는 6-7월에 (40-70%) 관찰되었으며, 11월까지 부분 방출되었다. 12월-2월까지 불활성기였다.

생식소지수 (GI) 는 4월부터 6월 동안 가장 높았으며, 9월에 다시 peak를 보인 후 12월과 1월에 최저를 나타내었다 (Fig. 6). 생식소지수의 감소는 산란시기인 7-8월에 일어났으며, 10-11월에 다시 감소가 있었다 (Fig. 6).

3. 체조성물질의 변화

전남 여수시 가막만에서 양식되고 있는 피조개의 수분함량 및 체성분의 월별 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 수분함량의 높은 값은 주로 CI값이 감소하는 7-10월에서 보였으며, 반면 2-5월에는 낮은 값을 보였다. 2009년 7-10월까지 산란시기 동안 모든 조직에서 수분의 증가가 있었으며, 평균 함량은 77.3-79.7%였다 (Fig. 7).

Fig. 8은 피조개의 기관별 체성분의 계절별 변화를 나타낸 것이다. 몸체와 근육내 탄수화물은 5월-7월 (완숙기)까지 증가한 후 산란시기 동안 감소하였다. 반면 내장낭 내 탄수화물은 환경 내 먹이가 증가하는 3월부터 9월 동안 높게 유지되었으며, 산란 후 감소하였다.

몸체와 내장 내 월별지질함량 변화는 뚜렷하였다. 주로 2008년 12월-2009년 6월까지 높은 값에 유지되었으며, 2009년 7월부터 감소하여 2009년 10월까지 산란 시기동안 최저로 감소하였으며, 11월부터 차츰 증가하기 시작하였다. 그러나 근육의 경우, 6-7월 증가를 제외하고 연중 일정하게 유지되었다. 몸체 및 근육의 조단백질 함량은 2008년 12월부터 2009년 4월까지 꽤 일정하게 높은 값으로 유지되었으며, 5-7월 동안 최소를 보인 후 8월에 다시 증가하였다. 그러나 내장낭의 경우에

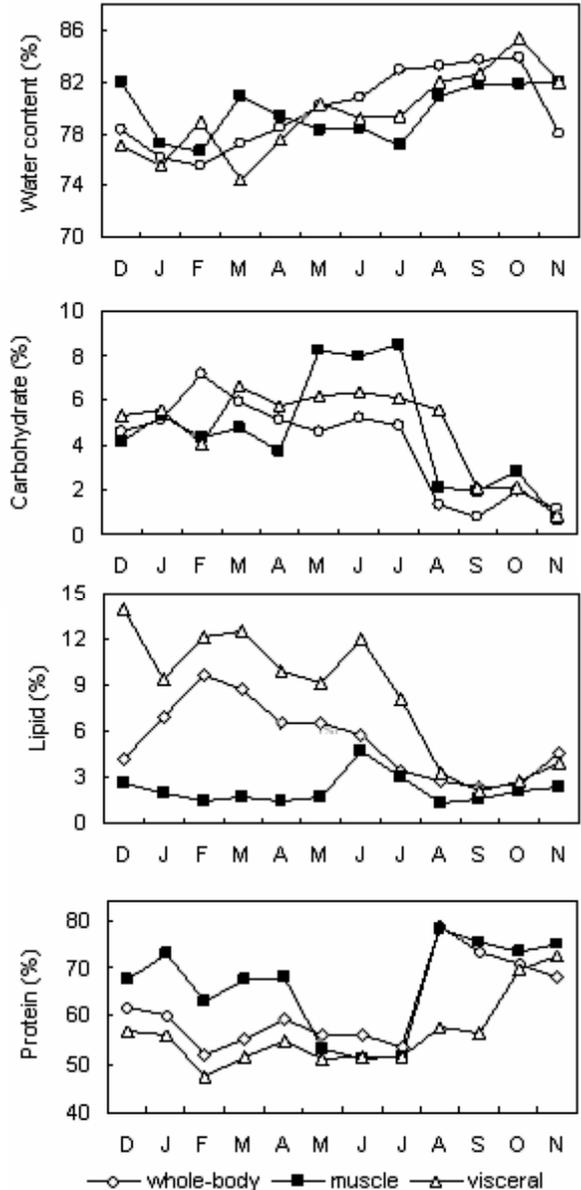


Fig. 7. Monthly variations of biochemical composition of ark shell, *Scapharca broughtonii* from December 2008 to November 2009.

는 연중 거의 일정하였으며, 10월에 다소 증가를 보였다. 한편 조단백질의 함량은 내장낭에 비해 근육에서 높았다.

월별 체성분의 계절별 변화를 알아보기 위하여 계절별로 분류하여 유의성을 검정하였다 (Fig. 8). 근육의 수분함량은 산란이 끝난 가을에 다소 높았으나 유의성은 없었으며 ($p > 0.05$), 4계절 동안 비슷한 양상이었다. 내장낭의 수분함량은 겨울과 봄 동안 낮았으며, 여름부터 증가하여 가을동안 유의하

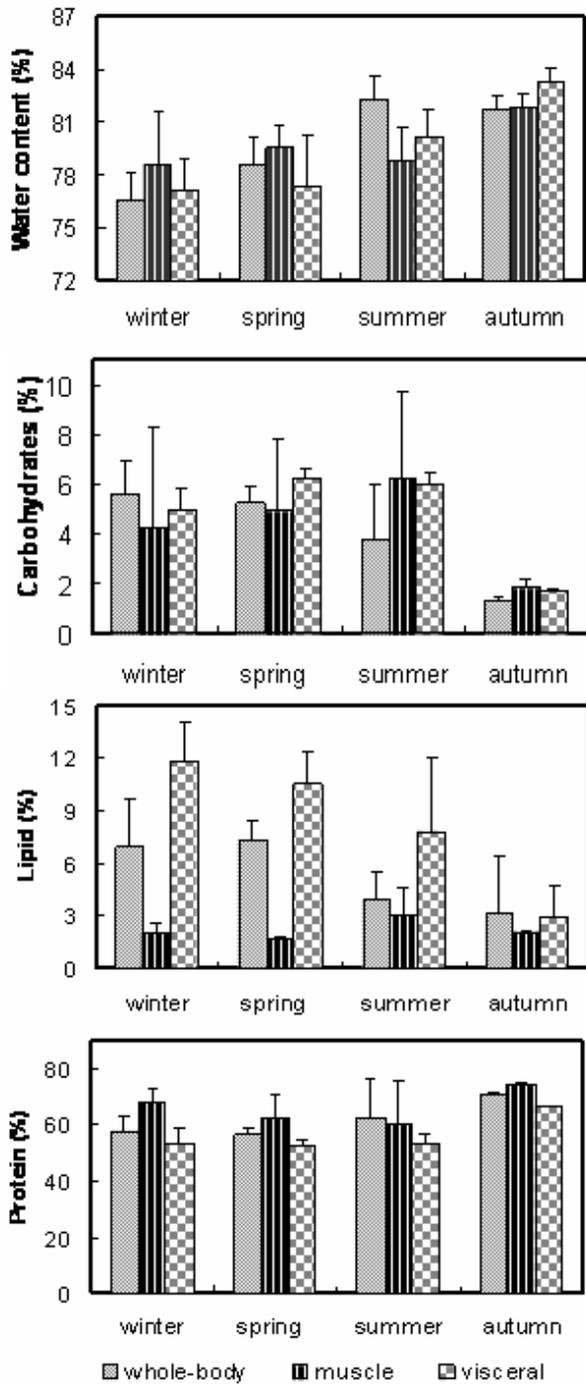


Fig. 8. Seasonal variations of biochemical composition of ark shell, *Scapharca broughtonii* from December 2008 to November 2009.

게 높았다 ($p < 0.05$). 근육내 지질함량은 연중 유사하였으며, 내장낭의 지질함량은 겨울에서 봄 동안 높았다가 산란시기와 산란후인 여름과 가을동안 낮았으며, 산란 직후인 가을에 가장

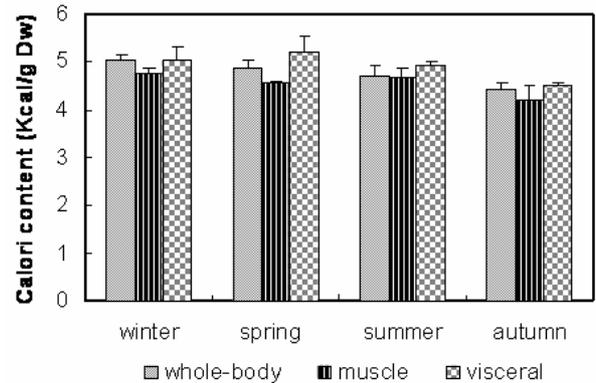


Fig. 9. Seasonal variations of calorific content of the tissues (Kcal/g dry weight) of ark shell, *Scapharca broughtonii* from December 2008 to November 2009.

낮았다. 모든 기관 내 조단백질 함량은 가을에 가장 높았다.

피조개의 기관별 열량의 변화를 Fig. 9에 나타내었다. 계절별 열량은 몸체의 경우 겨울에 가장 높았으며 (5.04 ± 0.1), 산란직 후인 가을에 감소하였다. 근육은 연중 유사하였으며, 평균함량은 4.54 ± 0.25 Kcal 였다. 반면 내장낭은 봄에 가장 높았으며 (5.2 kcal), 산란 후인 가을에 가장 낮았다 (4.49 Kcal). 몸체의 연중 칼로리 함량은 평균 4.76 kcal였으며, 기관별로는 근육에 비해 내장낭에서 높았다.

고 찰

전남 여수시 가막만 해역에서 피조개의 양식은 주로 5월에 종묘를 살포하여 이듬해 가을에 수확한다. 그러나 수확하기 전 피조개의 산란시기를 전후하여 주로 폐사가 발생하므로, 이 시기를 지체적인 환경조건을 고려하여 피조개의 생식주기와 관련한 에너지원의 물질대사에 관한 연구는 피조개의 양식시기를 조절하고 양식방법을 개선하기위하여 필요하다.

연안에 서식하는 종들의 생식주기는 수온 (Sastry, 1966, 1970; Newell *et al.*, 1982) 과 먹이 (Sastry 1968; Batne 1975, 1976) 등에 의해 영향을 받는다. 특히 무척추동물의 생식주기는 저장에너지원, 배우자 생성시기 및 산란 등 여러 요인과 관련되어 있다는 것은 잘 알려져 있다. 특히 글리코젠은 부유성 섭이종이나, 조간대 서식하는 종 혹은 퇴적물을 섭식하는 종을 포함한 해양 연체동물의 생식에 이용되는 주요 에너지 보유물이다 (Gabbot, 1997). *Crassostrea virginica* (Thompson *et al.*, 1996)와 Pectinidae (Mathieu and Lubet, 1993) 의 배우자생성을 위한 에너지는 폐각근에 저장된 글리코젠과 단백질의 보유물이며, *Argopecten irradians* (Epp *et al.*, 1988) 은 폐각근의 protein과 lipid로 보고하고 있다. 또한 *Chlamys septemradiata*와 *Mytilus edulis*

(Ansell, 1974; kautsky, 1982) 은 섭취한 먹이로부터, *Placopecten magellanicus* (Thompson, 1977) 은 저장된 에너지와 섭취한 먹이로부터 에너지를 이용한다. 그러므로 에너지 이용은 생물이 서식하고 있는 환경에 대한 적응현상으로 보인다. 따라서 어떤 종이든 생식을 위한 에너지는 저장된 에너지와 먹이공급에 의존하는 것으로 보인다. 여수시 가막만에서 양식되고 있는 피조개의 기관별 체성분의 함량은 생식소의 발달과정과 관련하여 뚜렷하게 변화하였다. 대부분의 돌조개과에 속하는 종들은 비록 종내 및 중간 변이를 가진다 할지라도 여름에 산란하는 산란군이다 (Broom, 1983; Ting *et al.*, 1972). 피조개 체물질 변화와 생식소 발달과 관련된 특징은 *Anadara granosa* (Broom, 1983) 과 유사하였는데, 이는 겨울동안 짧은 불활성기를 가지며, 이 시기동안 성은 구별되지 않았다. 또한 생식소의 발달에 따라 봄동안 생식소와 내장낭 내 지방의 축적과 함께 비만도의 증가가 있었다. 또한 생식소의 성숙기와 완숙기가 이루어 지는 여름동안 체성장, 생식세포 형성 및 산란 등의 모든 과정이 일어나며, 가을 후기에서 겨울 동안 생식소가 퇴화하며, 불활성기를 나타내었다.

패류양식의 중요성은 식물플랑크톤의 공급 및 먹이의 소비에 의해 체내조직으로 전환되는 효율에 달려있다. 예를 들면 저서성 패류의 생산은 클로로필과 해역 내 1차 생산과 관련이 있으며, 해역 내 영양염의 변동과도 관련이 있으며 (van Stralen and Dijkema, 1994), 해역내 먹이생물의 조성은 선호하는 먹이와 관련하여 패류의 성장에 영향을 미친다 (Brown, 1988). 또한 에너지의 저장과 이용주기에는 종 내외 종간에 차이가 있으며, 환경요인에 대한 영향을 받는다 (Mackie and Ansell, 1993). Pazo *et al.*, (1997) 에 따르면, 패류의 체내 보유물은 먹이의 질과 종류, 그리고 선호하는 먹이에 따라 계절적 변화가 일어난다기보다는 먹이가 고갈되어 있는 시기 동안 대사유지를 위하여 사용되며, 생식소 발달을 위해 체내에서 체성분이 서로 각 기관간의 이동 및 전환되는 양상을 보이는 것으로 보고하였다.

내장낭의 탄수화물과 지질은 산란시기동안 감소하기 시작하여 산란이 끝날 무렵 최저로 감소하였으며, 생식소가 불활성기인 겨울 동안 다시 증가하였다. 반면 단백질은 계절별로 유의한 변화없이 ($p < 0.05$) 연중 일정하게 유지되었으며, 산란이 일어난 후 지질과 탄수화물이 감소한 가을에 근육과 내장낭에서 단백질의 축적이 있었으며, 이시기에 chlorophyll a의 증가가 있었으며, 또한 축적된 단백질은 먹이가 부족한 겨울 동안 다소 감소하였다. 이점으로 미루어보아 연중 유지되는 단백질은 먹이가 고갈되는 겨울동안 물질대사의 유지를 위해 주요한 역할을 하며, 생식은 내장낭내 지방의 변화와 깊은 관련이 있으므로 패류에서 생식소내 지방함량의 변화는 생식소의 성숙도를 알 수 있는 좋은 지표 (Holland, 1978) 로 활용될 수

있을 것으로 여겨진다. 단백질은 계절별로 유의한 변화없이 ($p > 0.05$) 연중 일정하게 유지되었으며, 산란이 일어난 후 지질과 탄수화물이 감소한 가을에 근육과 내장낭에서 단백질의 축적이 다소 있었으며, 이시기에 chlorophyll a 함량의 증가를 나타내었다. 이점으로 미루어보아 연중 유지되는 단백질은 산란으로 인해 탄수화물과 지질이 소모되는 시기에 에너지보유물의 유지를 위해 단백질이 주요한 역할을 할 것으로 여겨진다. 에너지 함량변화는 주로 내장낭에서 나타났으며, 봄과 여름 동안 생식소 성장기 동안 증가하여 산란 후 감소하였으며, 생식소 발달에 따라 유의한 차이를 보였다.

결과적으로 내장낭의 탄수화물, 지방 단백질은 생식소 발달과정동안 에너지원으로서 주요한 역할을 하며, 먹이가 부족한 시기에 기초대사유지를 위해 이용될 것으로 여겨진다. 따라서 체조성물질의 계절적 변화는 피조개의 생식주기와 관련되며, 1차 생산자로서 수증의 용존하는 chlorophyll a 농도와 관련이 있는 것으로 보인다.

요 약

전남 여수시 가막만에서 양식되고 있는 피조개를 대상으로 2008년 12월부터 2009년 11월 동안 근육, 내장낭 및 몸체의 생화학적 체성분의 변동과 생식주기간의 관계를 계절적인 변동과 관련하여 조사하였다. 피조개 양식장의 월별 평균 수온은 겨울에 7-12℃, 여름에 20-25℃였으며, 염분은 평균 30.1-33.8‰에서 변화하였다. 영양염의 계절적 변화는 9월에 최대 (13.04 μg/L) 를 보였으며, 연 평균농도는 4.6 μg/L였다. 피조개의 주산란기는 7-8월이었으며, 겨울동안 생식소는 불활성기를 나타내었다. 단백질함량은 내장낭에서 낮았다. 체성분 가운데 가장 큰 변화는 내장낭내 지질과 탄수화물이었으며, 기관별 단백질은 연중 비교적 일정하였다. 내장낭은 생식주기 동안 가장 큰 변화를 보였으며, 내장낭내 수분과 지방의 함량은 다소 역관계를 보였다. 지방함량의 최대시기인 불활성기에 수분이 최소였으며, 산란 직후 지방함량은 가장 낮았으며, 지방이 소모되면서 수분함량이 증가하였다. 내장낭내 단백질 량은 근육에 비해 낮았다. 내장낭의 탄수화물, 지방 단백질은 생식소 발달과정동안 에너지원으로서 주요한 역할을 하며, 먹이가 부족한 시기에 기초대사유지를 위해 이용될 것으로 여겨진다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 (전략양식연구소 양식관리과, RP-2012-AQ-021) 의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

Ansell, A.D. (1974) Seasonal change in biochemical composition of the bivalve *Chlamys septemradiata*

- from the Clyde Sea Area. *Marine Biology*, 26, 85-99.
- Epp, J., Monica Bricej, V. and Malouf, R.E. (1988) Seasonal partitioning and utilization of energy reserves in two age classes of the bay scallop *Argopecten irradians irradians* (Lamarck). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 121, 113-136.
- Gabbott, P.A. (1975) Storage cycle in marine bivalve molluscs: a hypothesis concerning the relationship between glycogen metabolism and gametogenesis. In: Barnes, H. (Ed.), *Proceedings of the 9th European Marine Biology Symposium*. Aberdeen University Press, p. 191-211.
- Holland, D.L. (1978) Lipid reserves and energy metabolism in the larvae of benthic marine invertebrates. In: Malins, D.C., Sargent, J.R. (Eds.), *Biochemical and Biophysical Perspectives in Marine Biology*, vol. 4. Academic Press, New York, p. 85-123.
- Kautsky, N. (1982) Growth and size structure in a Baltic *Mytilus edulis* population. *Marine Biology*, 68, 117-133.
- Mathieu, M. and Lubet, P. (1993) Storage tissue metabolism and reproduction in marine bivalves-a brief review. *Invertebrate Reproduction and Development*, 23, 123-129.
- Newell, R.I.E., Hilbish, T.J., Koehn, R.K. and Newell, C.J. (1982) Temporal variation in the reproductive cycle of *Mytilus edulis* L. (Bivalvia, Mytilidae) from localities on the east coast of the United States. *Biological Bulletin* (Woods Hole, Mass.), 130, p. 118-134.
- Pazos, A.J., Roman, G., Acosta, C.P., Sanchez, J.L. and Abad, M. (1997) Lipid classes and fatty acid composition in the female gonad of *Pecten maximus* in relation to reproductive cycle and environmental variables. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B Biochemistry*. 117, 393-402.
- Sastry, A.N. (1966) Temperature effects in reproduction of the bay scallop, *Argopecten irradians* Lamarck. *Biological Bulletin. Marine Biological Laboratory. Woods Hole*, 130, 118-134.
- Sastry, A.N. (1968) Relationships among food, temperature and gonadal development of the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamarck. *Physiological Zoölogy*, 41, p. 44-53.
- Sastry, A.N., 1970. Reproductive physiological variation in latitudinally separated populations of the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamarck. *Biological Bulletin. Marine Biological Laboratory. Woods Hole*, 138, p. 56-65.
- Thompson, R.J. (1977) Blood chemistry, biochemical composition and the annual reproductive cycle in the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, from the Southeast Newfoundland, *Journal of Fisheries. Research Board Canada*, 34, p. 2104-2116.
- Thompson, P.A., Guo, M.X. and Harrison, P.J. (1996) Nutritional value of diets that vary in fatty acid composition for larval Pacific oysters (*Crassostrea gigas*). *Aquaculture*, 143, p. 379-391.