

한국 서해안 백합 *Meretrix lusoria*의 생물학적 활성요인의 계절성

송재희*, 김치홍¹, 박성우², 유진하², 조영조

서해수산연구소 갯벌연구센터, ¹국립수산과학원 중부내수면연구소, ²군산대학교 수산생명의학과

Seasonality of the Biological Activity Factors of the hard clam *Meretrix lusoria* in the Western Coast of Korea

Jae-Hee Song*, Chi-Hong Kim¹, Sung-Woo Park², Jin-Ha Yu² and Yeong-Jo Jo

Tidal Flat Research Center, West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gunsan 573-882, Korea

¹Central Inland Fisheries Research Institute, NFRDI, Gapyung 477-815, Korea

²Department of the Medicine of Aquatic Life, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

This study was conducted to assess the usefulness of the temperature characteristics of the tidal flat sediments during low tide as an environmental factor, and burrowing behaviour, fatness, total hemocyte counts (THCs) and differential hemocyte counts (DHCs) of hard clam *Meretrix lusoria* as biological activity indices for the management of hard clam farms located in Taean (Chungnam province) and Gimje (Jeonbuk province) tidal flat in Korea. Temperature ranges of the sediment at 1cm depth during spring (March to May) and summer (June to August) in Taean (where the exposure time was about 5.5~6 hours during low tide) were 8.7~26.8°C and 27.6~32.8°C, respectively. Even though there was no significant difference ($P>0.05$), temperatures of the surface sediment where submerged with remained seawater were generally higher than that of uncovered with seawater. Burrowing depths of normally digged hard clams were 0.9~3.6cm from March to October, 2002. In the field experiment performed at Taean farming ground covered with seawater, burrowing times of the clams under natural water temperatures were 41.6±10 minutes in February and 5.4±1.3 minutes in August, respectively, and these were influenced by water temperatures. Fatness of hard clams began to decrease from May (at Taean tidal flat) and June (at Gimje tidal flat), showed the lowest level in August and increased again from September. Total hemocytes counts in the hemolymph of the hard clams were decreased to the lowest level in July (24.7×10^4 cells/mL, at Taean tidal flat) and August (28.2×10^4 cells/mL, at Gimje tidal flat), and significantly increased again from September (at Taean tidal flat, $P<0.01$) and October (at Gimje tidal flat, $P<0.001$), respectively. We observed three types of hemocytes from the hemolymph of hard clams according to whether hemocytes retain the granules or not and the size of the granules. As a result, we could find that periodical monitoring of the sediment temperatures, clam burrowing behaviour and hemocyte parameters were very helpful for the management of hard clam farming.

Keywords: hard clam, *Meretrix lusoria*, burrowing behaviour, fatness, hemocyte

서론

백합은 갯벌의 수많은 수산자원 중에서도 식품으로서의 우수성과 고부가가치 창출효과가 매우 높은 고급 패류로서 1966년부터 서해안과 남해안에서 조위양식 양식이 시작되어 1971년에 8,521톤, 1972년에 약 8,000톤을 생산하여 일본으로 수출하는 수산물로서는 단일품목으로는 1위를 차지한 바도 있었다. 1973년에 전북 부안에서 시작된 백합의 폐사가 1976년에는 서해안

과 남해안의 전 어장에 확대되어 백합양식은 크게 위축되었고 어장면적도 1977년에 6,726 ha에서 2001년에는 서해안 지역에 150 ha로 줄어들게 되었다(김, 2003). 1970년대 대량폐사 당시에는 양식어업인의 가장 큰 관심사가 폐사원인 구멍이었으므로 백합에서 검출되는 기생충(김과 전, 1984), 니질과 염분의 영향(장 등, 1976), 원유성분의 영향(이 등, 1975), 양식장 저질회복(현 등, 1979) 등 폐사원인 구멍을 위하여 질병과 환경에 관한 다양한 연구들이 수행된 바 있다. 최근에도 새만금 방조제 내측에 백합자원이 크게 증가하면서 종패 이식시험과 더불어 백합의 간체장에 기생하는 Rickettsia-like organism의 감염특성(Cho et al., 2001) 등이

*Corresponding author: choic@hhu.ac.kr

보고되는 등 백합의 양식과 폐사에 대한 관심은 여전히 높다.

백합의 폐사에 대한 충분한 원인규명과 예방대책이 없는 현재의 상황에서는 백합의 생태적 특성을 고려하여 갯벌의 노출 시간, 퇴적물의 입도, 지반의 안정성 등 서식에 적합한 환경을 갖춘 갯벌을 양식장으로 선정하여 적정밀도의 종패를 살포하는 것이 폐사를 줄이고 양식 생산성을 높이는 가장 좋은 방법이 될 수 있다. 또, 성장과정에서는 시기별로 백합의 생물학적 활성 요인들이 제대로 유지될 수 있도록 환경이나 서식밀도를 조절해 주어야 한다. 판매가 가능할 정도로 자란 성패의 경우에는 번식활동 등으로 인해 백합 자체의 생물학적 활성이나, 상품으로서의 가치가 낮아지는 시기에 이르기 전에 채취하여 판매하는 것이 대량폐사의 피해를 줄이고 소득을 높일 수 있는 방안이 될 수 있다. 이러한 관점에서 백합의 주요 폐사 시기를 전후하여 환경요인과 생물학적 활성을 잘 반영해 줄 수 있는 요인들에 대하여 검토할 필요성이 있다.

갯벌에 서식하는 생물의 환경으로서 가장 중요한 요인 중의 하나는 온도이다. 갯벌의 온도환경은 조석주기에 따라 기온, 수온, 지온 등이 연속적으로 이어지면서 서식하는 생물체의 대사활동, 번식생리 및 생체 방어기능 등에 영향을 주게 된다. 조개류(Bivalves)의 생체 방어기능에 대한 온도의 영향에 관한 연구로는, 바지락의 방어인자에 대한 영향(Paillard et al., 2004), 온도와 염분이 참굴의 혈구 활성에 미치는 영향(Gagnaire et al., 2006), 온도와 먹이공급 유무가 버지니아굴 혈구의 종류별 조성 및 혈구 활성에 대한 영향(Ashton-Alcox and Ford 1998), 버지니아굴 혈구에 대한 온도와 카드뮴 복합 노출의 영향(Cherkasov et al. 2007) 등 다양하다.

조개류 중에서도 서식하는 연성 기질(soft substrate)에 잠입하는 종류들은 갯벌이 해수에 잠겨있는 동안에는 지표면 가까이 있으며 먹이 섭취 행동을 하지만 갯벌이 공기 중에 노출되기 시작하면 좀 더 깊이 잠입하게 된다. 이 패류들의 잠입행동(burrowing behaviour)은 그 지역의 조석주기에 맞게 잘 적응되어 있고 저조(low tide) 때엔 가장 깊게 잠입하는 것이 일반적이다(Roberts et al., 1989). 백합 *M. lusoria*은 갯벌이 공기 중에 노출시에는 5~10cm 깊이에 항상 존재하는 저서생물로서, 잠입해 있는 퇴적물 중의 산소량이 낮아지면 표층쪽으로 올라오게 되며 바닥으로부터 올라온 후 수중에 여분의 산소가 없으면 짧은 시간내에 사망하게 된다(Lee et al 2007).

조개류의 혈림프(haemolymph) 중에 존재하는 혈구(hemocyte)는 생체내로 들어온 이물질을 제거하기 위하여 혈구세포 안으로 끌어들이는 작용(encapsulation), 식작용(phagocytosis), 염증반응(inflammation), 상처의 치유(wound healing) 등에 참여하여 패류의 내부방어를 위한 중요한 역할을 담당한다. 이러한 혈구의 역할 중에서 응집(aggregation), 퍼져나가는 운동(spreading and locomotion), 이물질과의 결합(foreign-particle) 등은 온도와 염분의 짧은 기간내 급격한 변화 뿐 아니라 서식지와 계절에 따라서도 영향을 받는 것으로 보고된 바 있다(Fisher, 1988).

해산 조개류들의 혈림프 중에 들어있는 혈구의 종류별 조성 및 혈구의 수는 서식지에서는 계절, 채집장소, 질병감염 등 특정 대사 상태에 따라 변할 수 있으며, 분석하기 전에 실험실에서 관리상태(영양, 온도, 염분 조건)도 혈구조성에 영향을 줄 수 있다(Ashton-Alcox and Ford 1998). 혈구의 활성은 서식하는 환경의 온도에 강한 영향을 받으며(Cherkasov et al. 2007), 바지락은 유해한 적조생물(e.g. *Karenia selliformis*)에 노출시 총 혈구수는 증가하지만 죽은 혈구의 수와 혈구의 크기는 감소하며, 더구나 *Perkinsus olseni* 같은 기생충 감염이 심한 경우 이러한 영향은 더욱 증가한다(Hégaret et al., 2007). 조개류에서 밝혀진 혈구는 세포질내에 입자(granules)를 갖고 있는 정도에 따라 다량의 과립을 갖고 있는 과립구(Granulocytes)와, 과립이 거의 없거나 전혀 갖지 않는 무과립구(agranulocytes or hyalinocytes)로 나뉘어진다. 혈구중에 들어있는 과립에는 일종의 리소좀으로 여겨지는 산성 가수분해효소를 가지며, 특히 이 과립들은 세균, 미세조류, 세포 부스러기, 기생성 원생동물 등을 탐식하거나 미생물들을 죽일 수 있는 산소 라디칼 등을 발생시킬 수 있어 생체방어에 중요한 기능을 수행한다. 과립구에 비해 무과립구는 탐식기능이 없거나 과립구에 비해 그 기능이 덜하고 과산화물 음이온도 덜 생산하는 것으로 알려지고 있지만, 이러한 탐식작용의 차이는 탐식능력의 차이라기보다는 탐식대상의 차이에서 비롯된 것으로 알려진 바 있다(Hine, 1999). 이러한 관점에서, 어느 특정 패류의 혈구의 수나, 기능이 다른 혈구의 종류별 조성의 변화는 질병이나 환경 등 스트레스 요인과 함께 폐사현상의 이해에 도움을 줄 수 있으며, 시기별 또는 다양한 조건별 자료를 외관상으로 나타나는 행동이나 건강상태와 관련시켜 해석할 수 있다면 폐사의 예측이나 양식관리 등에 매우 유용하게 활용될 가능성이 있을 것이다.

본 연구는 하절기를 전후하여 나타나는 백합의 폐사 현상에 대한 이해도를 높이고 폐사로 인한 피해를 줄이기 위한 양식관리 기술의 향상을 목적으로 백합의 생물학적 활성에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 환경요인으로서 백합 서식 갯벌의 온도, 백합의 생존과 가장 밀접하게 관련되어 나타나는 잠입행동, 건강상태를 반영해 줄 것으로 기대되는 생물학적 활성요인으로서 비만도, 백합의 내부방어기능 및 대사작용에 관여하는 혈림프 특성 등의 총혈구수 및 혈구의 종류별 조성비율을 분석하였다.

재료 및 방법

백합양식장 갯벌의 지온

충남 태안군 남면 진산리 남해포 갯벌에 위치하는 백합양식장에서 2002년 2월부터 12월까지 매월 대조 기간 중에 간조시 노출시간이 5.5~6시간인 곳에서 1개 지점을 선정하고 남아있는 해수에 잠긴 지점과 공기 중에 노출된 지점으로 구분하여 표층으로부터 깊이별 지온을 조사하였다. 지온은 봉상온도계(눈금 0.1°C)를 갯벌의 표층으로부터 1 cm와 5 cm 깊이까지 수직으로

삽입하고 약 5분이 경과하여 온도가 일정하게 유지될 때 퇴적물의 온도를 0.1°C까지 측정하여 표층으로부터 깊이별, 시기별 지온특성을 분석하였다.

백합의 잠입특성

일반적으로 백합은 간조시에 밀려나가는 해수를 따라 내려가다가 도피방지시설인 조위망에 걸리면 지표면 아래로 잠입하게 된다. 이러한 생태적 특성을 고려하여 백합의 잠입깊이는 2002년 2월부터 10월까지 충남 태안군 남면에 위치하는 남해포 갯벌 백합양식장에서 매 조사일의 최간조 시각 무렵에 썰물 방향의 조위망 바로 밑의 퇴적물을 삽으로 20~25 cm 깊이까지 부스르리지 않도록 파낸 후 퇴적물 속에 잠입해 있는 백합 패각의 최상부와 지표면과의 최단거리를 잠입깊이로 하여 매월 50 마리씩 잠입깊이는 0.1 cm까지, 각장은 0.01 mm까지 측정하고 시기별 잠입깊이, 각장과 잠입깊이와의 상관성, 서식지의 온도(기온, 지온, 유수의 온도)와 잠입깊이 사이의 상관성을 검증하였다. 백합의 잠입시간과 잠입률은 2002년 2월부터 2003년 1월까지 잠입깊이 조사시에 채집한 백합을 해수에 약 5 cm 깊이로 잠긴 양식장 표층에 1칸의 크기가 약 7×7 cm인 사각구멍이 사방으로 연결된 철망을 이용하여 백합을 일정 간격으로 배열한 후 퇴적물 속으로 완전히 잠입하여 보이지 않게 되는 순간까지의 경과 시간을 잠입시간으로 하였고, 잠입률은 전체 시험마리수 중 몸체의 2/3 이상이 지면 아래로 들어간 개체수의 비율로 하였다.

비만도(Fatness)

백합의 비만도 측정을 위하여 2002년 2월부터 10월까지 김제산 백합은 어업인들이 전북 김제시 진봉면 거전리 갯벌에서 채취한 것을 당일에 구입하였고, 충남 태안산은 양식장에서 직접 채취하여 얼음을 채운 아이스박스를 이용하여 실험실로 냉장 운반하고 4시간 정도 상온의 해수에서 토사를 배출시킨 것을 사용하였다. 지역별로 매월 30마리씩을 무작위로 취하여 각 장, 각고, 각폭은 버어니어 캘리퍼스를 이용하여 mm 단위로 소수점 둘째 자리까지 측정하였고, 무게는 전자저울을 이용하여 g 단위로 습육중량, 건육중량, 건패각중량 등을 소수점 둘째 자리까지 측정하였다. 육질부와 패각의 건조중량은 해부한 바지락을 85°C의 드라이오븐에서 24시간 건조시키고 다시 상온으로 냉각시킨 다음 측정하였다. 비만도(Fatness)는 다음의 식(1)~(4)를 이용하여 계산하였고, 백합의 생물학적 건강상태를 가장 적절하게 반영해 줄 수 있는 계산식으로서 어느 것이 적절할지를 검토하였다.

$$\text{Fatness 1} = (\text{Wet meat weight}/\text{Total wet weight}) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Fatness 2} = (\text{Dry meat weight}/\text{Total dry weight}) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Fatness 3} = (\text{Wet meat weight}/(\text{Shell length} \times \text{Shell height} \times \text{Shell width})) \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Fatness 4} = (\text{Dry meat weight}/(\text{Shell Length} \times \text{Shell Height} \times \text{Shell Width})) \times 100 \quad (4)$$

혈액학적 특성

1) 총혈구수

총혈구수 및 혈구의 종류별 조성 비율을 분석하기 위한 시료는 2002년 3월부터 11월까지 매월 김제시 진봉면 거전리 앞 갯벌과 태안군 남면 진산리 앞 백합양식장에서 채집한 평균 각장 4.5~5.5 cm인 백합 중에서 외관상 건강한 것을 15마리씩 임의로 각각 추출하여 사용하였다. 총혈구수 계수를 위하여 일회용 1 mL 주사기 (23G needle)에 혈액응고방지액(Modified Antiaggregant Solution, Glucose 20.80 g, Sodium citrate 8.00 g, EDTA 3.36 g, Sodium chloride 22.50 g, 증류수 1L, pH 7.5, Bachere et al., 1991)을 미리 넣은 후, 후폐각근 근처에서 양쪽 패각이 만나는 부분에 전동드릴로 구멍을 뚫고 주사침을 후폐각근에 삽입하여 혈액 응고 방지액과 혈림프의 비율이 1:1이 되도록 채혈하였다. 각각의 백합에서 0.3~0.5 mL 씩 3마리에서 채혈한 혈림프를 1 pool로 하여 매월 각 지역마다 3~5반복으로 혈구계수관(Haemacytometer)을 이용하여 100~200 배율에서 총혈구수를 계수하였다.

2) 혈구조성

채혈은 총혈구수 계수를 위해 1차 채혈 후에 동일 시료로부터 곧바로 혈구의 종류별 조성 분석을 위한 혈액을 채취하였다. 혈액시료는 고정액(Baker's formol calcium; Formaldehyde 40% 액 10 mL, 10% Calcium chloride (Anhydrous) 10 mL, NaCl 2.0 g, 증류수 100 mL; Pipe, 1985)을 주사기에 미리 채우고 혈림프와의 비율이 1:1이 되도록 하여 백합 1 마리당 0.2~0.4 mL를 채혈하고, 총혈구수 계수 때와 마찬가지로 3마리의 혈액을 1 pool로 하였다. 혈구가 서로 응집되거나 변질되지 않도록 채혈 후 10분간 얼음물 속에 혈액 시료가 든 튜브를 방치한 후 세포수집기(cell spin, 한일과학)를 이용하여 1 pool의 시료당 50 μl를 취하여 800 rpm으로 2분간 원심분리하여 슬라이드글라스에 혈구를 부착시켰다. 혈구를 부착시킨 슬라이드글라스는 상온의 공기 중에서 30분이상 건조시키고 May-Grnwald Giemsa 염색 또는 Hemacolor (Merck) 염색을 하였다. 각 슬라이드글라스마다 광학현미경(Olympus BX 50)을 이용하여 200~400배율에서 무작위로 총 200개의 혈구를 관찰하며 세포질내 과립의 유무, 과립의 크기, 핵과 세포질의 염색 특성에 따라 혈구의 종류를 구분하여 계수하고 200개 중의 각 혈구별 비율을 계산하였다.

통계처리

백합의 잠입깊이와 서식지의 온도와의 상관성 여부는 Pearson's correlation coefficient를, 각 조사항목의 두 비교 그룹간의 유의차 유무는 F-검정 및 t-검정을 실시하였다(α=0.05).

결 과

백합양식장 갯벌의 지온

2002년 2월부터 12월까지 충남 태안군 남면 진산리 앞의 남

Table 1. Sediment temperature variations at Namhaepo hard clam farm (1cm- and 5cm depth) in Taean (Chungnam province) from February to December, 2002.

Date	Temperatures of the sediment seawater-submerged(°C)			Temperatures of the sediment exposed to air(°C)		
	1 cm-depth	5cm-depth	Temperature differences between two depths	1cm-depth	5cm-depth	Temperature differences between two depths
19/Feb.2002	7.6	5.0	2.6	5.7	4.4	1.3
21/Mar.	12.5	11.1	1.4	8.7	10.8	-2.1
18/Apr.	18.9	16.8	2.1	18.5	15.8	2.7
17/May	17.3	16.5	0.8	17.2	16.3	0.9
28/May	26.8	24.3	2.5	24.6	23.0	1.6
17/Jun.	30.7	27.1	3.6	28.6	26.7	1.9
18/Jul.	32.8	30.2	2.6	30.7	28.8	1.9
14/Aug.	28.7	27.0	1.7	27.6	26.5	1.1
13/Sep.	26.1	26.0	0.1	24.5	25.0	-0.5
10/Oct.	25.8	23.0	2.8	23.8	22.5	1.3
7/Nov.	18.4	16.0	2.4	17.0	15.0	1.5
10/Dec.	7.6	7.4	0.2	7.3	7.2	0.1

해포 갯벌에 위치하는 백합양식장에서 매일 대조기간 중에 간조시 노출시간이 약 5.5~6시간인 지점에서 갯벌의 지온을 조사한 결과는 Table 1과 같다.

1 cm 깊이의 지온은 해수에 잠긴 지점과 공기 중에 노출된 지점에서 각각 7.6~32.8°C, 5.7~30.7°C의 범위로 해수에 잠긴 지점에서 높은 결과를 보였다. 시기별로는, 해수에 잠긴 곳과 노출된 지점에서 1cm 깊이의 지온이 봄철(3~5월)에는 각각 12.5~26.8°C, 8.7~24.6°C, 여름철(6~8월)에는 각각 28.7~32.8°C, 27.6~30.7°C, 가을철(9~11월)에는 각각 18.4~26.1°C, 17.0~24.5°C, 겨울철(12월, 2월)에는 각각 7.6°C, 5.7~7.3°C의 범위였다.

5 cm 깊이의 지온은 해수에 잠긴 지점과 공기 중에 노출된 지점에서 각각 5.0~30.2°C, 4.4~28.8°C로 1 cm 깊이의 지온과 유사하게 해수에 잠긴 지점에서 다소 높은 결과를 보였다(Fig. 1). 시기별로는, 해수에 잠긴 곳과 노출된 지점에서 5 cm 깊이의 지온은 봄철(3~5월)에는 각각 11.1~24.3°C, 10.8~23.0°C,

여름철(6~8월)에는 각각 27.0~30.2°C, 26.5~28.8°C, 가을철(9~11월)에는 각각 16.0~26.0°C, 15.0~25.0°C, 겨울철(12월, 2월)에는 각각 5.0~7.4°C, 4.4~7.2°C의 범위였다.

같은 깊이에서 저조시에 해수에 잠겨있는 지점과 공기 중에 노출된 지점의 지온을 비교한 결과, 1 cm 깊이에서는 0.1~3.8°C, 5 cm 깊이에서는 0.2~1.0°C 만큼 해수에 잠긴 지점의 온도가 더 높았다. 그러나 해수에 잠김 여부가 동일 깊이에서의 지온에 유의적인 차이로 나타나지는 않았다 ($P>0.1$). 시기별로는 1 cm 깊이에서는 5월에 0.1°C로 가장 차이가 작고 3월에 3.8°C로 차이가 가장 컸으며, 5 cm 깊이에서는 5월과 12월에 0.2°C로 가장 차이가 작았고 7월에 1.4°C로 차이가 가장 컸다(Fig. 1).

또, 동일 지점에서 1 cm 깊이와 5 cm 깊이의 지온 차이는 해수에 잠긴 곳에서는 0.1(9월)~3.6°C(6월), 공기 중에 노출된 지점에서는 0.1(12월)~2.7°C(3월)로 해수에 잠긴 곳에서 온도 차이가 좀 더 컸다. 그러나, 갯벌이 해수에 잠김 여부로 인하여 1 cm 깊이와 5 cm 깊이의 지온에 유의적인 차이는 없었다(Fig. 2., $P>0.1$).

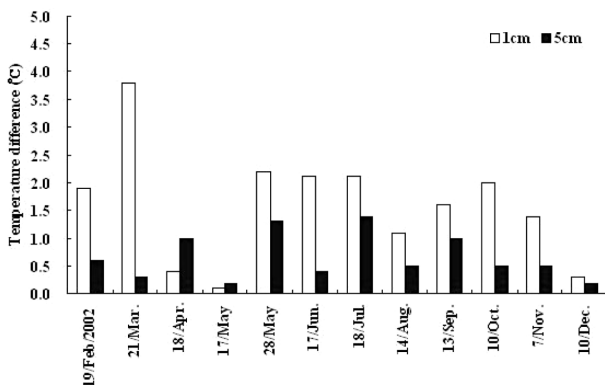


Fig. 1. Sediment temperature differences in terms of depths (1 cm, 5 cm) between the seawater-submerged and the air-exposed points during low tide at Namhaepo tidal flat in Taean from February to December, 2002. Where, exposure time of the temperature recording points during low tide was about 5.5~6.0 hours.

백합의 잠입특성

1) 백합의 잠입깊이

충남 태안의 백합양식장에서 2002년 2월부터 10월까지 잠입 깊이를 조사한 백합의 월별 평균 각장은 3.6~4.5 cm 였다(Fig. 3). 현장 조사일의 최간조 시각을 전후하여 측정된 백합의 잠입 깊이는 3월부터 10월 중에는 0.9~3.6 cm 였지만 동절기인 2월에는 평균 8 cm(± 2.0 cm)까지 좀 더 깊게 잠입해 있었다(Fig. 4).

백합의 잠입깊이와 각장과의 상관성을 알아보기 위하여 Pearson 상관계수를 구하여 본 결과 9월(-0.276)과 10월(-0.257)에만 낮은 수준의 상관 관계를 보였고 나머지 기간에는 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다(Table 1). 서식환경의 온도와

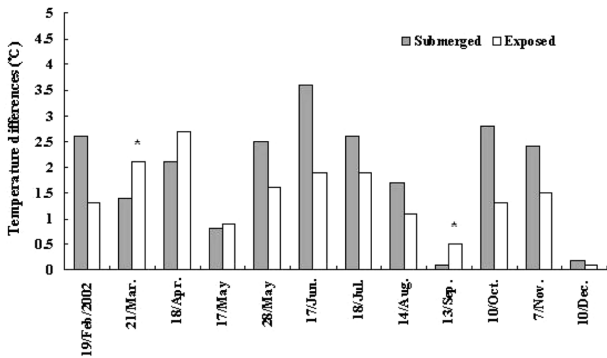


Fig. 2. Sediment temperature differences in terms of seawater-covered or exposed to air between two depth(1cm and 5cm) at Namhaepo tidal flat in Taean from February to December, 2002. At March and September, sediment temperatures at 5cm depth were higher than 1cm depth(*).

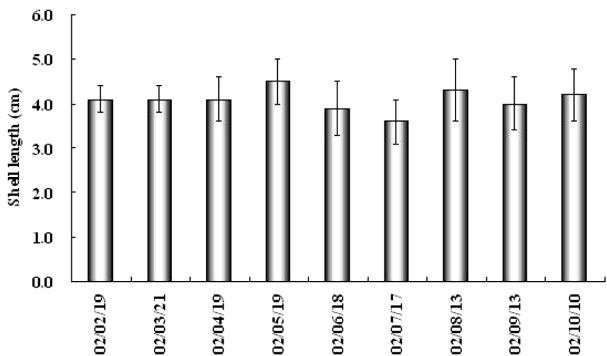


Fig. 3. Shell length of hard clams used for burrowing depth measurement at Namhaepo tidal flat in Taean farm in 2002.

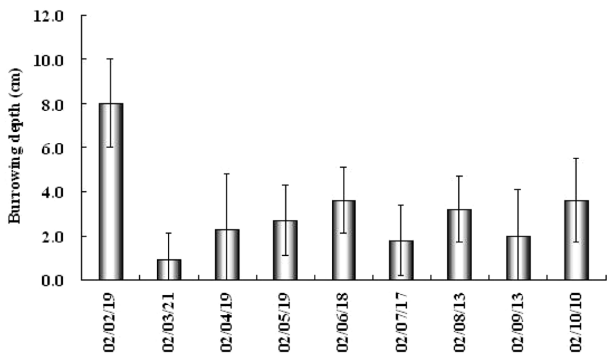


Fig. 4. Burrowing depth(Average±SD) of hard clams at Taean farm in 2002.

백합의 잠입깊이와의 관련성을 알아보기 위하여 조사일의 기온(AT), 고여있는 해수의 온도(Remained water Temperature, RWT) 및 공기중에 노출되어 있는 갯벌과 간조시 고여있는 해수에 갯벌이 잠겨있는 곳에서 5cm 깊이의 지온(ST-5)을 측정하여 백합의 잠입깊이(BT)와의 Pearson 상관계수를 구한 값은 각각 -0.54(AT:BD), -0.55(RWT:BD), -0.56(ST-5:BD)로서, 백합의 잠입깊이는 서식지의 온도환경과 높은 상관관계가 있음을 알 수 있었다(Table 2).

Table 2. Pearson's correlation coefficient between the shell length and burrowing depth of hard clam, *Meretrix lusoria* at Taean farm in 2002

Month	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
Correlation coefficient	0.034	0.097	0.011	0.084	0.172
Month	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	
Correlation	0.051	0.063	0.276	0.257	

Table 3. Pearson's correlation coefficients between the burrowing depth (BD) and air temperature (AT), burrowing depth and remained water temperature(RWT), and burrowing depth and 5cm-depth sediment temperature (ST-5) at Taean hard clam farm in 2002

	BD:AT	BD:RWT	BD:ST-5cm
Correlation Coefficient	-0.54	-0.55	-0.66

2) 백합의 잠입시간

정상적으로 갯벌에 잠입한 상태의 백합이 갯벌 표층에 노출될 경우 다시 퇴적물 속으로 완전히 다시 잠입하는데 걸리는 시간을 알아보기 위하여 태안지역의 백합 양식장에서 정상적으로 잠입한 백합의 잠입깊이를 측정한 다음, 해수에 잠겨있는 갯벌에서 백합이 완전히 퇴적물 속으로 잠입하여 보이지 않게 될 때까지 걸리는 시간(BT, min)과 잠입률(전체 실험 마리수 중 퇴적물속으로 2/3 이상 잠입한 마리수의 비율, %)을 조사한 결과는 Fig. 5와 같다.

백합의 잠입깊이에 서식지의 온도환경의 영향이 크게 작용하였음을 감안하여 매월의 잠입실험마다 현장의 기온, 간조시에 고여 있는 해수의 온도, 공기 중 노출된 곳과 해수 중에 잠겨있는 곳에서 5 cm 깊이의 지온 등을 측정된 결과는 Table 4와 같았다. 기온은 2월에 3.0°C로 가장 낮았고 7월에 27.5°C로 가장 높았으며, 매월 조사시에 양식장에 고여 있는 해수의 온도는 기온에 비해 4월과 10월에는 10.0~10.2°C 이상, 5월부터 9월까지의 2.3~5.7°C 이상 더 높았다. 표층으로부터 5 cm 깊이의 지온은 공기 중에 노출된 곳에 비해 해수가 고여 있는 곳에

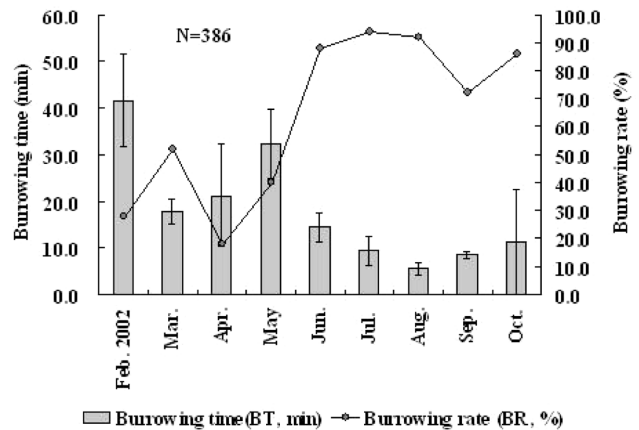


Fig. 5. Burrowing times(Average±SD, min) and burrowing rates(%) of hard clams in 2002. Burrowing experiments in every month were conducted in 1 hours after clams were collected and measured their shell lengths and burrowing depths at Taean hard clam farms.

Table 4. Experimental environments for hard clam burrowing time measurement at Taean hard clam farm from Feb. 2002 to Jan. 2003

Month	Air Temp. (°C)	Temp. of remained water (°C)	Sediment temperature at 5cm-depth		Salinity
			Exposed to air	Submerged	
Feb.2002	3.0	7.6	4.4	5.0	32.5
Mar.	8.5	12.5	10.8	11.1	32.5
Apr.	12.5	22.7	15.8	16.8	31.5
May	17.7	20.1	15.5	16.5	30.0
Jun.	25.6	30.2	25.0	26.8	33.0
Jul.	27.5	33.2	28.8	30.2	30.5
Aug.	27.1	29.4	26.5	27.0	31.5
Sep.	22.4	25.5	25.0	26.0	32.5
Oct.	17.0	27.0	22.5	23.0	31.0

서 6~7월 중에는 1.4~1.8°C 이상, 나머지 기간에도 0.3~1.0°C 이상 더 높게 나타났다(Table 3).

갯벌 현장에서 백합의 평균잠입시간은 2월에 41.6±10.0 min 으로 가장 길었고, 8월에 5.4±1.3 min으로 가장 짧았다. 백합의 잠입률은 4월에 18.0%로 가장 낮았고, 6월부터 12월까지 72.0% 이상을 유지하였으며 6~7월에는 92.0~94.0%로 연중 가장 높았다. 2002년 2월부터 10월까지 조사한 백합의 평균잠입 시간과 잠입률 사이의 Pearson 상관계수는 -0.799 이었고, 이와 같은 결과로 볼 때 적정 범위내에서는 온도가 높을 때 잠입률도 높고 잠입에 소요되는 시간도 단축됨을 알 수 있었다.

비만도(Fatness)

2003년에 충남 태안군 남면의 남해포 갯벌의 양식장과 전북 김제시 진봉면 거전리 앞의 새만금 갯벌에서 채집한 백합의 비

만도를 분석한 결과는 Fig. 6과 같다. 양식어업인들이 흔히 수율이라고 일컫는 fatness 1(습건중량에 대한 습육중량의 비율, %)의 경우, 태안산은 19.9~26.8% 범위로, 4월에 가장 높은 값을 보인 후 5월에서 6월로 가며 비교적 큰 폭(4.01%)으로 감소하여 9월에는 19.9%까지 낮아졌다가 10월에 21.7%로 다시 증가하는 경향을 보였다.

김제산 백합의 fatness 1은 6월까지 25.9%를 유지하다가 7월에 23.9%, 8월에 21.9%로 급경사를 이루며 감소하는 현상을 보였다. 두 지역 백합의 5월부터 10월까지의 fatness 1을 비교해 보면 5월과 10월에는 별 차이가 없었으나 여름철인 6~8월 중에는 김제산이 약 1.8%(8월)~4.0%(6월) 더 높은 결과를 보였다(Fig. 6.).

Fatness 2(건전중량에 대한 건 육중량의 비율, %)는 Fatness 1에서 습중량을 측정할 때 실험자마다 육질부에서 수분 제거량

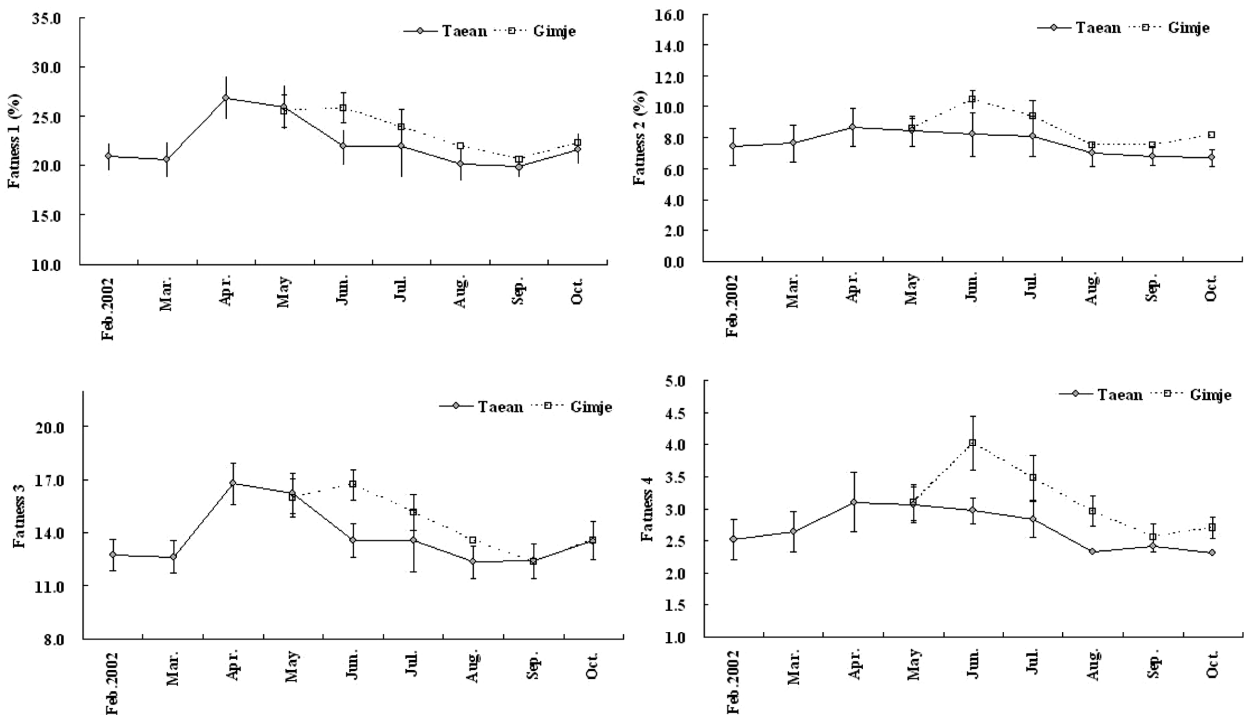


Fig. 6. Fatnesses of hard clam, *M. lusoria*, caught from Taean (Chungnam province) and Gimje (Jeonbuk province) tidal flat in 2002. Where, Fig. 6-1, Fig. 6-2, Fig. 6-3 and Fig. 6-4 represent Fatness ①, Fatness ②, Fatness ③ and Fatness ④, respectively.

에 차이가 있음으로서 발생할 수 있는 오차를 최소로 줄여보기 위하여 분석하였다. 태안산 백합의 Fatness 2는 6.7~8.7%의 범위로 4월과 10월에 각각 최고와 최저값을 기록하였고, 4월에서 7월까지의 완만한 감소 경향을 나타내다가 7월에서 8월로 가며 감소 폭이 커지는 특성을 보였다. 김제산 백합의 fatness 2는 5월에서 6월로 가며 8.6%에서 10.4%로 1.8%가 증가하여 최고값을 기록한 후 6월부터 다시 감소하기 시작하여 8~9월에 7.5%로 낮아진 후 10월에 다시 증가하는 경향을 나타내었다.

Fatness 3은 백합의 부피(각장×각고×각폭)와 습육중량의 관계를 나타내주는 지표로서 습육중량을 이용하여 계산되기 때문에 fatness 1과 거의 유사한 변화특성을 보였다. 태안산 백합은 2~3월에 12.6~12.8 이었으나 4~5월에 각각 16.8, 16.2까지 상승하였다가 6~7월에는 13.6, 8~9월에는 12.3~12.4 까지 낮아지는 결과를 보였다. 김제산 백합의 fatness 3은 6월에 16.7까지 유지되다가 9월에 12.3 까지 계속 감소하는 경향을 보이고, 9월에서 10월로 가면서는 김제산과 비슷하게 다시 상승하였다. Fatness 4는 백합의 부피에 대한 건육중량의 관계를 나타내주는 지표로서 fatness 2와 유사한 변화특성을 나타내었다. 태안산 백합에서는 2~3월에 2.5~2.6에서 4~5월에 3.1까지 상승한 후 7월까지의 완만하게 감소하다가 7월에서 8월로 가며 2.8에서 2.3으로 좀 더 큰 폭으로 낮아지는 결과를 보였다. 김제산 백합에서는 5월에 3.1로서 태안산과 비슷하지만 6월에 4.0으로 상승함으로써 peak의 시기가 1개월 정도 차이가 있었고 비만도 값도 약 1.0이 더 높은 결과를 보였다.

결론적으로, 5월부터 10월까지 태안과 김제산 백합의 비만도 지수들을 비교해 본 결과 1)여름기간 중에는 김제산의 백합의 비만도 지수들이 더 높았으며, 2) 태안산 백합은 5월 이후에, 김제산은 6월 이후에 비만도 지수들의 감소가 나타났고, 3) 9월 이후의 비만도는 김제산은 다시 증가하는 경향이었으나 건육중량을 이용한 태안산의 비만도 지수는 감소하는 경향을 나타내고 있어서, 백합 자체의 요인 또는 환경요인 등에 의해 두 지역의 백합의 생물학적 활성에 약간의 차이가 있음을 추측할 수 있었다.

혈액학적 특성

1) 총혈구수(Total hemocyte count)

정상적으로 잠입된 상태에서 채집된 태안산과 김제산 백합의 혈림프 중 총혈구수를 조사한 결과는 Fig. 7과 같다. 태안산 백합에서는 3월에 $89.5 \times 10^4 \text{ cells/mL}$ 에서 6월에 $213.2 \times 10^4 \text{ cells/mL}$ 로 증가한 후 7월에는 연중 최저치인 $24.7 \times 10^4 \text{ cells/mL}$ 로 감소하였다가 다시 4개월 후인 11월에 $237.0 \times 10^4 \text{ cells/mL}$ 로 약 10배 정도 증가하는 결과를 보였다. 시기별로는 3월부터 5월까지 ($P > 0.1$), 8월과 9월 ($P > 0.05$) 사이에는 혈구수의 유의차가 없었지만, 5월부터 8월까지의 매월마다 혈구수에 유의적인 차이 ($P < 0.05$)를 보이며 큰 폭의 증감을 나타내었고, 특히 6월에서 7월로 가면서는 혈구수가 약 1/9의 수준으로 급격히

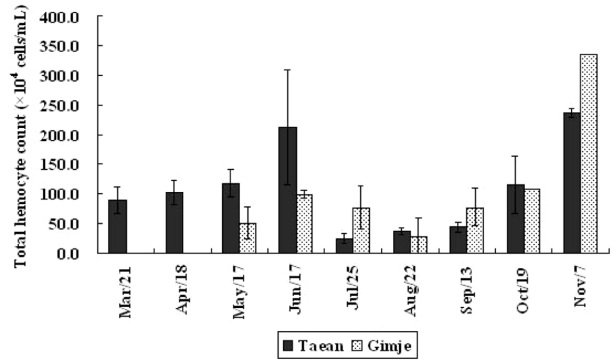


Fig. 7. Total Hemocyte counts of hard clam, *M. lusoria*, at Taean and Gimje Tidal flat in 2002.

감소하여 연중 최저수준을 보였다. 5월부터 조사하기 시작한 김제산에서는 6월까지 총혈구수가 증가하다가 여름(7~8월)에 최저수준으로 낮아진 후 가을에 다시 증가하는 변화는 태안산과 유사하였다. 태안산 백합이 7월에 총혈구수의 최저치를 나타낸 반면 김제산에서는 8월에 최저치($28.2 \times 10^4 \text{ cells/mL}$)를 나타내었고, 11월에는 $336.5 \times 10^4 \text{ cells/mL}$ 로서 태안산보다 더 많은 혈구수를 나타내었다. 여름 이후에 총혈구수의 증가 시기를 보면, 태안산에서는 9월부터 매월 유의차를 나타내며 크게 증가하지만 ($P < 0.01$), 김제산에서는 10월 이후에 유의차를 보이며 큰 폭으로 증가하는 차이를 나타내었다 ($P < 0.001$).

2) 혈구구성

백합의 혈구는 Giemsa 또는 Hemacolor 염색을 하였을 때 세포질내 과립의 존재유무와 과립의 크기, 염색성 등에 의하여, Giemsa 염색시 진한 자주색(red purple)으로 염색되는 커다란 과립들이 세포질의 대부분을 채우고 있는 대형과립구(Large Eosinophilic Granulocyte, LEG), 세포질내에 다량의 호산성의 미세한 과립이 산재하는 소형과립구(SEG, Small Eosinophilic Granulocyte), 핵과 세포질이 호염성으로 염색되며 세포질내에 과립을 소량 가지고 있거나 또는 거의 없고 과립구들보다는 세포의 크기가 약간 작은 무과립구(HYC, Hyalinocyte)의 3종류

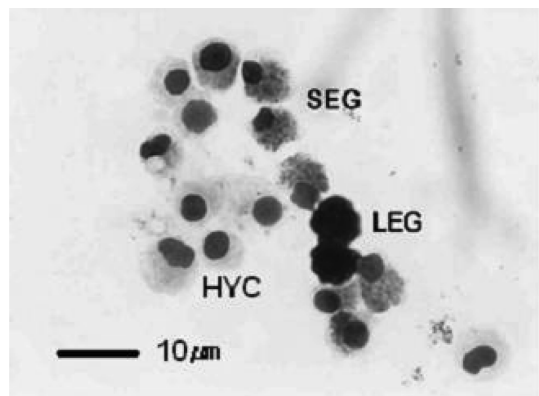


Fig. 8. Photographs of three hemocyte types of hard clam, *M. lusoria*. Hemocytes were stained with May-Grünwald Giemsa staining solution.

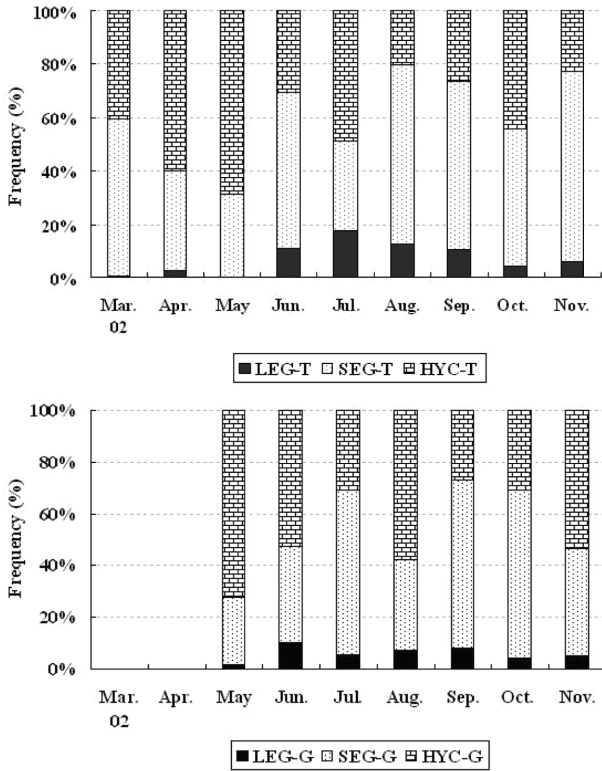


Fig. 9. Relative proportions of each hemocyte type of hard clams from Taean (Up, T : Taean) and Gimje (Down, G : Gimje) in 2002.

로 구분하였다(Fig. 8). 한국 서해안 백합에서는 과립구와 무과립구의 크기가 각각 $13.1 \pm 2.6 \mu\text{m}$ ~ $16.2 \pm 3.3 \mu\text{m}$, $11.3 \pm 2.8 \mu\text{m}$ 이며, 과립구는 다시 세포질 안에 들어있는 과립알갱이의 크기와 세포화학적 특성에 따라 LEG와 SEG로 세분하여 보고(Park et al., 2002)된 바 있으나 본 연구에서는 일정량의 혈구 중 종류별 구성비율만 조사하였다.

대형과립구(LEG)의 비율은 태안산 백합에서는 2002년 3월부터 5월까지 0.6~2.8%의 범위였으나 6월부터 급증하여 7월에 17.3%로 최고치에 이른 후 9월까지 10% 이상을 유지하다가 10월에 4.4%로 낮아지는 경향을 보였다. 김제산 백합에서는 5월에서 6월로 가며 1.5%에서 10.1%로 급격한 증가를 나타낸 후, 8월(8.3%)을 정점으로 하여 4.5~8.3% 사이에서 증감하였다.

소형과립구(SEG)의 비율은 태안산 백합에서는 4~5월과 7월에 31.0~37.2%의 범위로 다소 낮은 편이었지만 나머지 기간에는 51.1~71.2%로 3종류의 혈구 중에서 가장 많은 비율을 차지하였다. 김제산 백합에서는 5월에서 7월로 가며 26.3%에서 63.5%로 크게 증가한 후 8월에는 7월의 약 1/2 수준인 35.0%로 감소하였다가 9월과 10월에 다시 64.4%까지 증가하였다.

무과립구 (HYC)의 비율은 태안산 백합에서는 5월에 68.6%로 가장 높은 값을 나타낸 후 8월에 20.2%로 가장 낮아졌다가 10월로 가며 다시 증가하는 경향을 보였다. 김제산 백합에서는 5월에 72.2%로 가장 높았고 7월에 30.6%까지 낮아지다가 8

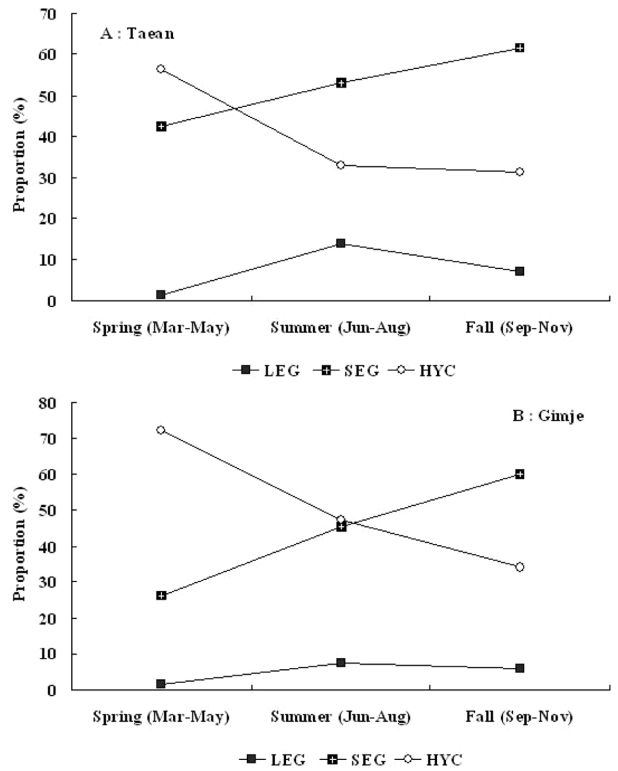


Fig. 10. Seasonal variation of differential hemocyte counts of hard clam in Taean (A) and Gimje (B).

월에 일시적으로 높아진 후 9월에 27.3%로 가장 낮은 비율을 나타내었다. 혈구의 종류별 조성비율을 요약하면, 대형과립구는 전체 혈구수 중 차지하는 비율이 가장 낮았고, 두 지역 모두 6월부터 9월까지 온도가 높은 시기에 그 비율이 증가하는 경향을 보였다. 전체 혈구수의 80% 이상을 차지하는 소형과립구와 무과립구는 전체 혈구수 중에서 차지하는 비율이 서로 상반되게 변화하는 특징을 뚜렷하게 나타내었다 (Fig. 10).

고찰

환경요인 중 온도는 생물의 번식과 성장 및 영양대사와 같은 생리적 과정을 좌우하는 중요한 요인이며, 온도 변화에 수동적으로 순응하는 변온동물은 체내대사를 뿐 아니라 행동 수준과 에너지 평형에도 영향을 받는다(Wilson and Elkaim, 1991). 갯벌 환경에 서식하는 생물들은 조석 주기에 따라 그 지역의 기온, 수온 및 지온에 연속적으로 노출되어 영향을 받게 되며, 특히 우리나라와 같은 온대지방의 갯벌에서는 여름과 겨울철 저조시에 갯벌이 공기 중에 노출되는 동안 폭염이나 결빙상태 같은 온도의 극한 상황을 경험하기 쉽다. 서해안의 백합양식장은 양식 관리상의 편리함, 큰구슬우렁이와 피빨고동불가사리 등의 해적생물로부터의 피해 예방, 성패의 채취 작업 등을 위해 대개 저조시에 약 4~6시간 노출되는 지점에 위치한다. 백합양식장에 설치한 도피방지를 위한 조위망은, 봄과 가을에 조석에

따라 자연스럽게 이동하는 백합의 생태적 습성과는 상반되는 장애물이다. 조위망 아래에 밀집된 백합은 자연스럽게 잠입을 하지 못하고 지표 근처에 몰려 있거나 지표에 노출된 상태에서 밀려 나가기 전 연안의 수온, 햇빛을 받아 가열된 지온, 가열된 지면을 지나오면서 상승된 수온, 밖에서 밀려오는 연안의 좀 더 낮은 수온 등에 노출되어 불과 7~8시간 동안에 10°C 이상의 온도변화를 겪게 된다. 2005년 6월 하순에 노출시간이 약 4시간인 새만금 갯벌에서 해수의 온도가 21.1°C였고, 갯벌 노출 후 40분이 경과할 무렵에 3 cm 깊이에서 23.8°C 였던 지온이 약 4시간이 경과하여 다시 해수가 들어오기 직전에는 32.4°C까지 높아져 지온 상승률이 0.49°C/10 min를 기록한 바 있다. 한편, 같은 시간에 새만금 외측 고군산군도의 하나인 횡경도 앞에서 관측된 수온은 17.8~19.5°C 였던 결과(NFRDI., 2007)를 보면 백합의 양식관리에 있어서 연안의 수온 뿐 아니라 갯벌의 지온 관측이 매우 필요하다고 생각된다.

충남 태안군 남면 진산리 백합 양식장은 저조시 5.5시간 이상 노출되는 세립사질의 전형적인 백합양식장이다. 2002년에 관찰된 1 cm 깊이에서의 최고 지온은 32.8°C로서 2001년 7월 하순에 저조 후 다시 해수가 밀려오기 직전에 어장에 고인 해수의 온도 38.5°C와, 이 때 5 cm 깊이에서의 지온 36.5°C 보다는 낮았다. 2000년과 2001년에 이 양식장에서 백합의 폐사가 시작되는 시기는 7월 하순부터였으며, 2000년에는 8월에 2001년에는 9월에 집중적으로 폐사가 일어난 바 있다(김 등, 2002). 이와 같은 결과로 보면, 태안 백합양식장에서는 적어도 6월부터 9월 하순까지의 갯벌온도가 백합의 양식관리에 있어 매우 중요함을 추정할 수 있다. 본 연구에서 관측된 6~8월 중의 지온은 27.6~32.8°C로서 2001년 보다는 낮은 결과를 나타내었다. 그러나, 우리나라의 기온은 일반적으로 7월 하순과 8월 초순에 기온이 가장 높기 때문에 이 시기에 양식장의 백합은 관측된 온도 이상의 고온에 노출되었을 개연성이 있다. 또, 같은 지점에서도 공기 중에 노출된 곳에 비해 해수 중에 잠겨 있는 곳의 지온이 유의 차는 없지만 좀 더 높게 관측되었는데, 이러한 결과는 갯벌에서 지속적으로 부는 바람에 의한 열 손실이 공기 중에 노출된 곳에서 더 컸기 때문으로 추정된다.

태안 백합양식장에서 2002년부터 3월부터 10월까지 각장 3.6~4.5 cm인 백합은 지표면으로부터 평균 0.9~3.6 cm 범위내에 잠입해 있었고, 동절기인 2월에만 평균 8 cm 까지 잠입해 있었다. 백합의 수관은 성패일지라도 1 cm 이하로서 바지락 등에 비해 매우 짧기 때문에 갯벌이 잠겨있는 동안에는 지표 근처에 잠입하여 여과섭식을 하게 된다. 칠레 남부의 *Coihun* 갯벌에 서식하는 잠입성 이매패류인 *Tagelus dombeii* (Tellinacea)와 *Venus antiqua* (Veneracea)에 대한 조사 결과, *T. dombeii*의 경우에는 조개의 크기와 수관의 무게에 비례하여 잠입깊이가 유의적으로 증가하였으며, 조사한 두 종류 모두 잠입 깊이가 수중의 먹이 가용성과 강한 상관성을 나타내었고, 퇴적물 표층의 먹이농도는 잠입깊이에 영향을 주지 않는 것으로 보고된 바 있

다(Lardies et. al., 2001). 또, 잠입성 조개류인 *Mercenaria mercenaria*가 수직으로 잠입하는 깊이도 모래질(sand)과 펄질(mud)에서 모두 조개의 크기와는 관련성이 없었고, 잠입주기도 그 지역의 조석주기에 맞추어 주기적으로 반복되는 것으로 보고된 바 있다(Roberts et al., 1989). 그러나, Stefanieand Ydenberg(1997)는 잠입성 패류인 *Mya arenaria*에 대한 보고에서, 같은 종류의 infaunal organism에서는 큰 개체가 더 깊게 잠입하며, 1)깊게 잠입함으로써 생존율이 증가되고, 2) 잠입깊이가 증가함으로써 먹이를 섭취할 수 있는 여과속도는 감소하고, 3) 동일한 깊이로 잠입한 상태에서는 큰 개체일수록 더 빨리 여과할 수 있음을 주장한 바 있다. 본 연구결과에서는 백합의 잠입깊이와 각장 사이의 Pearson 상관계수가 9월과 10월에만 낮은 음의 상관관계(-0.26~-0.28)를 보여 백합의 잠입깊이가 크기에 크게 관련되지는 않는 것으로 나타났다(Table 2). 한편, 잠입깊이와 현장실험 당시의 온도(기온, 고여있는 해수의 온도, 5 cm 깊이에서의 지온) 사이에서는 Pearson 상관계수가 0.5 이상인 음의 상관관계를 나타내고 있어 서식지의 온도가 백합의 잠입깊이에 영향을 주고 있음을 확인할 수 있었다(Table 3). 본 연구에서는 잠입깊이와 백합의 크기, 잠입깊이와 온도환경 사이의 상관성만 검토하였지만, 단순히 온도요인만이 백합의 잠입깊이를 결정하리라는 생각되지 않으며, 다른 비생물학적생물학적 요인들과 백합의 잠입깊이와의 관련성에 대하여 추가로 검토해 볼 필요성이 있는 것으로 생각된다.

갯벌 양식장에 뿌린 종패가 신속하게 잠입하게 되면, 1)해류와 파도에 의한 수동적인 확산, 2)온도의 극단적인 변화에 노출, 3) 개, 넙치류, 조류(birds) 등에 의한 포식 등을 감소시킬 수 있어서 손실을 줄이고 수확시의 이익에도 유리하게 된다(Pariseau et al., 2007). Pariseau 등(2007)은 종패의 크기와 밀도, 종패뿌리기 전 공기 중 경과시간, 종패를 뿌릴 저질의 굳기, 종패 살포시기 등이 softshell clam *Mya arenaria*의 잠입속도에 미치는 영향에 관한 현장실험을 실시하여, 종패의 크기(각장 15~40 mm)는 역의 상관관계가 있고, 수온이 23°C인 8월 하순에 잠입속도가 빠르고 온도가 7°C로 낮아지는 10월 초순까지 지속적으로 잠입속도가 느려짐으로써 유의적인 관계가 있음을 보고한 바 있다. 또, 종패를 채취하여 4시간 이내에 다시 뿌릴 경우와, 종패를 뿌릴 바닥을 부드럽게 해주는 조치 등은 잠입속도에 영향을 주지 않음도 확인하였다. 본 연구에서 백합의 평균 잠입시간은 현장수온이 7.6°C인 2월과 현장수온이 29.4°C인 8월에, 각각 41.6±10.0min, 5.4±1.3 min 으로 환경의 온도조건에 따라 약 8배의 차이가 났다. 또, 잠입물도 실험장소에 고여 있던 해수의 온도가 30.2~33.2°C인 6~7월에 92.0~94.0%로 연중 가장 높은 결과를 나타낸 바 있어, 백합의 잠입능력이 온도에 밀접하게 관련됨을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과로 보면, 잠입속도와 잠입물은 현장에서 백합의 생물학적 활성을 가능할 수 있는 유용한 척도로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서 백합의 비만도(fatness)는 습중량을 이용하여 계

산하는 방법(식 (1), (3))과 건중량을 이용하여 계산하는 방법(식 (2), (4))을 비교하며 검토하였다. 습중량을 이용한 *fatness* 1, 3의 분석결과에서는 태안산 백합의 경우 3월에서 4월로 가면서 비만도가 급상승하고, 5월에서 6월로 가며 비만도가 급격히 감소한 후, 8월에 최저로 낮아진 후에 9~10월로 가며 회복되는 계절적 경향이 비교적 뚜렷하게 구분되었다. 그러나, 건중량을 이용하여 계산한 비만도 *fatness* 2와 4에서는, *fatness* 1과 3에서 뚜렷하게 볼 수 있었던 5월에서 6월로의 급격한 감소현상이 구분되지 않고 4월부터 7월까지 일정한 기울기로 감소하는 결과를 나타내었다(Fig. 6). *fatness* 1, 3의 변화로부터 태안 양식장의 백합은 5월부터 8월 사이에 적어도 2회 정도의 산란행동이 이루어지는 것으로 추측되었다. *fatness* 2와 4에서는 4월에서 7월까지 같은 기울기로 비만도가 감소하고 7월에서 8월로 가며 다소 큰 폭의 감소가 있어 이 시기에 뚜렷하게 산란행동이 있었음을 추측할 수 있었으나 *fatness* 1과 3에서 볼 수 있었던 5~6월 사이의 큰 폭의 비만도 감소는 확인하기 어려웠다. 이러한 결과로 볼 때, 백합의 산란기를 추정하기 위한 비만도 지표로서는 *fatness* 1과 3이 좀 더 유용할 것으로 생각되었다. 김제산 백합의 비만도는 태안산에 비해 약 1개월이 늦은 6월에 최고값을 기록한 후 9월까지 계속해서 감소하고 10월부터 회복되는 경향을 보였다. 비만도 변화만으로 볼 때, 김제산 백합은 6월부터 시작하여 9월 초순까지 간헐적으로 산란행동이 이루어지는 것으로 추정되었다. 한편, 김(2003)은 김제산 백합의 비만도가 7월 초순까지 연중 최고치를 기록하며 계속 증가하다가 그 이후부터 감소하기 시작하는 것으로 보고한 바 있어, 본 연구결과와는 백합의 최초 산란 시기가 약 1개월 정도 차이가 있었다. 김제 갯벌은 새만금 방조제 내측에 속하는 갯벌로서 여전히 백합 자원량이 국내에서는 가장 많이 발생하고 있는 곳이므로 시기별 백합의 비만도 변화 패턴에 대하여는 추가로 분석할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

이때패류(bivalves)에 있어서 혈구는 손상된 패각의 치유, 영양물질의 소화와 운반, 배설, 면역에 의한 방어 등 다양한 기능을 수행한다(Hine, 1999). 이때패류 혈구의 종류별 분류나 분화 경로 등에 대하여는 논란이 많았는데, 그 이유는 패류의 대상종마다 혈구분류를 위한 생화학적 특성, 형태, 생물학적 기능, 혈구관찰 기법 등 분류를 위한 기준이 다르기 때문이다(Hine, 1999). 현재는 형태기능학적 특성을 기준으로 Cheng(1981)과 Hine(1999)이 이때패의 혈림프 중에 존재하는 혈구들을 과립구(*granulocytes*)와 무과립구(*hyalinocytes* 또는 *agranulocytes*)로 분류해 놓은 것이 중요하게 받아들여지고 있다(Francesca et al., 2000). 과립구는 위족(*pseudopodia*) 형성, 응집작용(*aggregation*), 식작용(*phagocytic activity*) 등의 기능과 더불어, 가수분해효소(*hydrolytic enzymes*)를 보유하고, 세포외배출작용(*exocytosis*)를 통하여 *peroxidase*를 방출하는 역할을 하며, 호중구(*neutrophils*), 호산구(*acidophils*) 및 호염구(*basophils*) 등으로 더 세분화되기도 한다(Hine, 1999). 무과립구(*Hyalinocytes*)는 일반적으로 과

립구보다는 크기가 작고, 핵:세포질의 비율이 높으며, 형태는 둥글고 패류 종류에 따라 *subtypes* I, II 및 III 유형으로 더 구분한 경우도 있다(Francesca et al., 2000).

혈구들의 다양한 기능들을 생각하면, 혈액상(hemogram) 즉, 혈구의 수와 혈구의 종류별 조성은 그 패류의 면역능(*immune capacity*)을 특징짓는 필수적인 요인으로 서 검토할 필요성이 충분한 것으로 생각된다.

고창 줄포만산 바지락에서 혈구의 종류는 과립구로서 호염기성과립구, 호산성과립구, 노쇠한 상태의 *fibrocyte* 등의 3종과, 무과립구 1종이 있으며 혈림프 중의 총혈구수는 $1.2\sim 2.1 \times 10^6$ cells/mL로서 계절별로는 4~7월에 혈구수가 많고 10~12월에 적어지는 경향이 보고된 바 있다(강 등, 2000). 한편, 담치류인 *Mytilus galloprovincialis*에서는 체내에서 순환하는 혈구의 농도(총혈구수)가 $1\sim 5 \times 10^6$ cells/mL 범위내에서 계절적인 패턴에 따라 온도에 양의 상관관계를 보이며 변화였고, 담치의 크기나 연령에 따른 혈구농도에는 차이가 없었다. 그러나, 원생동물인 *Marteilia refringens*에 감염된 담치에서는 혈구수가 유의적으로 증가하였다는 보고도 있다(Mara et al., 1999). 본 연구에서 백합의 혈구수는 태안산과 김제산이 모두 각각 6월에 1차 최고치를, 11월에 2차 최고치를 기록함으로써 산란기 전(6~7월)까지 증가하는 현상은 강 등(2000)이 보고한 바지락과 유사하였다. 그러나 고창산 바지락의 총혈구수가 7월 이후 11월까지 지속적으로 감소한 경향과는 달리 태안산과 김제산 백합의 총혈구수는 각각 6월과 7월에 연중 최고수준을 기록한 후에 태안산은 7월에, 김제산은 8월에 각각 최저로 낮아졌다가 9월에서 11월로 가며 급격히 상승하는 계절적인 변동 패턴에 차이가 있었다(Fig. 7). 참굴 *Crassostrea gigas*의 경우 먹이의 지질 함량이 높아질 경우 총혈구수가 유의적으로 증가할 수가 있으며(Delaporte et al., 2007), 바지락 *Tapes philippinarum*에서는 *Perkinsus* 감염과 유해성 조류(algae)에 노출되는 상호작용에 의해서도 순환하는 혈구수가 유의적으로 영향을 받는 것으로 보고된 바(Hgaret et al., 2007)도 있는 것처럼 먹이의 질과 기생충 등 병원생물의 감염도 총혈구수에 영향을 주는 것으로 알려지고 있다.

백합의 주 산란시기이며 연중 가장 더운 시기인 7~8월에 혈구수가 산란 초기(6월), 또는 11월의 약 1/9~1/10의 수준으로 낮아졌으며, 이 시기에 백합의 폐사가 시작되었던 사실(김 등, 2001)은 연중 온도변화가 백합의 번식생태 뿐 아니라 생리활성에도 직접적으로 반영되고 있음을 시사한다.

백합 혈구의 종류와 형태, 세포화학적 특성 등에 대하여는 이미 보고된 바(Park et al., 2002; Chang et al., 2005) 있으므로 향후에는 이러한 연구결과를 활용하여 개체수준에서 외관적으로 나타나는 행동특성이나 다른 생리지표들과 연계하여 좀 더 분석해 볼 필요성이 있을 것이다.

서해안산 백합의 혈구조성의 시기별 변동 특성을 알아보기 위하여 본 연구에서도 과립구는 LEG와 SEG로 구분하였으나, 무과립구는 Chang 등(2005)과 같이 H, BLC, EG로 세분화하

지 않고 HYC(hyalinocyte)로 통합하여 비율을 구하였다. 태안산 백합의 계절별 혈구조성의 변화를 보면, LEG는 여름>가을>봄의 순서로 비율이 높았고, SEG는 봄에서 가을로 가며 지속적으로 증가하였으며, HYC는 봄에서 가을로 가며 지속적으로 비율이 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 10-A). 김제산 백합에서도 각 혈구의 계절별 비율의 변화패턴은 태안산과 유사하였으나 여름철에 LEG의 비율은 김제산에 비해 약 1/2 수준이었고, 전체적으로는 여름과 가을에 SEG의 비율은 태안산에 비하여 낮은 반면, HYC의 비율은 태안산보다 높은 경향을 보였다(Fig. 10-B). 한편, 대만산 백합에 대한 Chang 등(2005)의 보고에서는 과립구 중의 LEG와 SEG가 각각 3%, 63%였으며, 무과립구(agranulocyte) 3종을 합한 비율은 44%를 차지하여, LEG의 비율은 태안산(평균 7.3%)과 김제산(6.0%)에서 좀 더 비율이 높았지만, SEG의 비율은 태안산(52.2%)이나 김제산(47.4%)의 비율이 다소 낮았지만 HYC는 비슷한 수준이었다. 대만산과 한국 서해산(김제, 태안) 백합은 서식환경이나 조사 시기가 동일하지 않아 직접적인 비교에 어려움이 있지만 혈구조성에 큰 차이는 없는 것으로 생각되었다. 패류의 모든 혈구가 생체방어와 관련되는 이물질 탐식능이 있지만 무과립구보다는 과립구에서 탁월한 점과, 태안산이나 김제산 백합에서 봄에서 가을로 가며 지속적으로 소과립구(SEG)의 비율이 증가하고 무과립구(HYC)의 비율이 여름이 되면서 급격히 떨어지며, 전체 혈구수 중의 비율은 가장 적지만 대과립구(LEG)의 비율이 여름철에 연중 가장 높게 나타난 점은, 여름철의 온도여건 및 백합 자체의 산란생태 등을 생각할 때 내부방어기능 수행과 대사활동면에서 중요한 의미를 갖는 것으로 생각된다.

요 약

서해안 갯벌에 서식하는 양식대상 패류 중에서 백합 *Meretrix lusoria*은 가장 고급 품종으로서 각광받고 있지만, 수많은 연구에도 불구하고 하절기부터 가을까지 지속적으로 발생하는 폐사로 인하여 생산성은 낮은 편이다. 본 연구에서는 갯벌에 서식하는 백합의 환경요인 중에서는 수온 및 염분과 더불어 가장 중요한 요인이 갯벌의 지온일 수 있다는 가정하에 갯벌의 지온을 시기별, 깊이별로 조사하였다. 백합의 내부방어기능을 이해하기 위한 지표로서는 혈림프 중에 존재하는 혈구의 밀도와 혈구의 종류별 조성비율을 조사하였다. 표층으로부터 1cm 깊이의 지온은 봄철에는 8.7~26.8°C, 여름철에는 27.6~32.8°C였으며, 유의차는 없었지만 공기 중에 노출된 곳보다는 해수가 고인 지점의 지온이 더 높았다. 백합의 성장기인 봄(3월)부터 가을(10월)까지 정상적인 백합의 잠입깊이는 평균 0.9~3.6 cm였으며 겨울철(2월)에는 평균 8.0 cm 까지 잠입하였고, 서식지의 기온, 수온, 지온 등이 잠입깊이와 높은 상관관계가 있었다. 백합의 잠입소요시간은 2월에 약 40분, 8월에 약 5분으로서 시기별 차이가 컸고 서식지의 온도환경의 영향이 매우 컸다. 백합

의 비만도는 습중량과 건조중량을 이용하여 4가지 방법으로 조사해 본 결과, 여름기간 중에는 김제산 백합의 비만도가 더 높았으며, 태안산 백합은 5월 이후에 김제산 백합에서는 6월 이후에 비만도 감소가 나타났다. 백합 혈중의 총혈구수는 태안산의 경우 6월에서 7월로 가며 급격한 감소를 보였고, 김제산은 태안산과 변화패턴은 비슷하였으나 최저치를 나타내는 시기는 태안산보다 1개월 늦은 8월이었고, 9월부터 11월 사이에는 급격한 증가를 보였다. 백합의 혈구는 대과립구, 소과립구, 무과립구로 나뉘며, 봄에서 가을로 가며 소과립구는 지속적으로 증가하는 반면, 무과립구의 비율은 감소하는 특성을 나타내었다.

본 연구결과, 백합 양식장의 폐사로 인한 피해감소와 생산성 향상을 위한 과학적 관리를 위하여는, 연안의 수온 뿐 아니라 갯벌의 지온이 환경요인으로서 매우 중요하게 지속적으로 모니터링할 필요성이 있었다. 백합의 행동학적 특성으로서 노출직후 다시 잠입하는 데 소요되는 시간, 생물학적 지표로서 비만도, 총혈구수 및 혈구의 종류별 조성 등을 개체 수준에서 각 지표들간의 상호 관련성을 밝힐 수 있다면 자연산 및 양식 백합의 건강상태를 예측할 수 있는 지표로서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 생각한다.

감사의 글

본 연구는 국립수산과학원의 지원(간석지 유용생물의 질병에 관한 연구, RP-2007- AQ-073)으로 수행되었으며, 논문을 세심하게 검토하여 주신 심사위원님께도 깊이 감사드립니다.

참고문헌

- Ashton-Alcox K. A. and S. E. Ford, 1998. Variability in molluscan hemocytes: a flow cytometric study. *Tissue and Cell*, 30(2), 195-204.
- Bachere, E., D. Hervio and E. Mialhe, 1991. Luminol-dependent chemiluminescence by hemocytes of two marine bivalves, *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas*. *Dis. Aquat. Org.*, 11, 173-180.
- Chang S. J., S. M. Tseng and H. Y. Chou, 2005. Morphological characterization via light and electron microscopy of the hemocytes of two cultured bivalves: A comparison study between the hard clam (*Meretrix lusoria*) and Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Zoological studies*, 44(1), 144-153.
- Cheng, T. C., 1981. Bivalves. (in) N. A. Ratcliffe & A. F. Rowley (ed), *Invertebrate Blood Cells*. Academic Press, London, pp. 233-300.
- Cherkasov, A. S., S. Grewal and I. M. Sokolova, 2007. Combined effects of temperature and cadmium exposure on haemocyte apoptosis and cadmium accumulation in the eastern oyster, *Crassostrea virginica* (Gmelin). *Journal of Thermal Biology*, 32(3), 162-170.
- Cho, M. Y., S. I. Park, J. H. Song and W. S. Yang, 2001. The study on rickettsia-like organisms infecting the hard clam, *Meretrix*

- lusoria* Röding. J. Fish Pathol., 14(3), 145–154. (in Korean)
- Delaporte M., F. L. Chu, C. Langdon, J. Moal., C. Lambert, J. F. Samain and P. Soudant, 2007. Changee in biochemical and hemocyte parameters of the Pacific oysters *Crassostrea gigas* fed T-Iso supplemented with lipid emulsion rich in eicosapentaenoic acid. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 342(2), 261–275.
- Fisher W. S., 1988. Environmental influence on bivalve hemocyte function. American Fisheries Society Special Publication, 18, 225–237.
- Francesca C, V. Matozzo, M. G. Marin and L. Ballarin, 2000. Haemocytes of the clam *Tapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850): morphofunctional characterisation. Fish & Shellfish Immunology, 10, 677–693.
- Gagnaire B., Heloise F., Kebin M., Helene T. G. and Tristan R., 2006. Effects of temperature and salinity on hemocyte activities of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg). Fish & Shellfish Immunology, 20, 536–547.
- Hélène Hégaret, Patricia Mirella da Silva, Gary H. Wikfors, Christophe Lambert, Thibaut De Bettignies, Sandra E. Shumway and Philippe Soudant, 2007. Hemocyte responses of manila clam, *Ruditapes philippinarum*, with varying parasite, *Perkinsus olseni*, severity to toxic-algal exposures. Aquatic Toxicology, 84, 469–479.
- Hine, P. M., 1999. The inter-relationships of bivalve hemocytes. Fish & Shellfish Immunology, 9, 367–385.
- Lardies A. M., E. Clasing, J. M. Navarro and R. A. Stead, 2001. Effects of environmental variables on burial depth of two infaunal bivalves inhabiting a tidal flat in southern Chile. Journal of the Marine Biological Association of the UK, 81, 809–816.
- Lee, A. C., Y. H. Lin, C. R. Lin, M. C. Lee and Y. P. Chen, 2007. Effects of components in seawater on the digging behavior of the hard clam (*Meretrix lusoria*). Aquaculture, 272, 636–643.
- María J. C., A. Villalba and C. López, 1999. Seasonal variation and effect of age, food availability, size, gonadal development and parasitism on hemogram of *Mytilus galloprovincialis*. Invert. Pathol., 72, 304–312.
- NFRDI, 2007. Studies on the management of the tidal flat aquaculture animals. Report of a National Fisheries Research & Development Institute, 112 pp. (in Korean)
- Paillard C., Allam B. and Oubella R., 2004. Effect of temperature on defense parameters in Manila clam, *Ruditapes philippinarum* challenged with *Vibrio tapes*. Dis. Aquat. Org., 59, 249–262.
- Pariseau J., B. Myrand, G. Desrosiers, L. Chevarie and M. Giguere, 2007. Influences of physical and biological variables on softshell clam (*Mya arenaria* Linnaeus 1758) burial. Journal of Shellfish Research, 26(2), 391–400
- Park, S. W., K. S. Lee and E. Y. Chung, 2002. Morphological and cytochemical characteristics of hemocytes of *Meretrix lusoria* (Bivalvia : Veneridae). Malacologia, 44(2), 325–331.
- Pipe R. K., 1985. Seasonal cycles in and effects of starvation on egg development in *Mytilus edulis*. MARINE ECOLOGY - PROGRESS SERIES, 24, 121–128.
- Roberts D., D. Rittschof, D. J. Gerhart, A. R. Schmidt and L. G. Hill, 1989. Vertical migration of the clam *Mercenaria mercenaria* (L.) (Mollusca : Bivalvia) : environmental correlates and ecological significance. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 126, 271–280.
- Stefanie D. Z., R. Ydenberg, 1997. The body size-burial depth relationship in the infaunal clam *Mya arenaria*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 215, 1–17.
- Wilson, J. G. and B. Elkaim, 1991. Tolerances to high temperature of infaunal bivalves and the effect of geographical distribution, position on the shore and season. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 71, 169–177.
- 강선구, 박성우, 김영길. 2000. 한국산 바지락(*Ruditapes philippinarum*) 혈구의 분류. J. Fish Pathol., 13(2), 129–136.
- 김영길, 전세규, 1984. *Bacciger harengulae*의 생활사에 관한 연구. 한국수산학회지 17, 449–470.
- 김용호, 2003. 우리나라 백합양식의 역사적 고찰과 현황. 서해안 갯벌 백합 되살리기 심포지엄 자료집, 96pp.
- 김치홍, 송재희, 조미영, 양원석, 이삼근, 권정노, 김종식, 황선도, 최용규, 2002. 서해안 양식장의 지속적 이용 및 관리 기술개발, III. 백합 생산을 위한 서식장 특성 연구. 2001년도 서해수산연구소사업보고서, 152–176.
- 김태익, 2003. 백합 인공종묘생산. 서해안 갯벌 백합 되살리기 심포지엄 자료집. 41–54.
- 이병철, 이택렬, 진 평, 1975. 백합의 발생 및 호흡에 미치는 원유성분의 영향. 부산수대해양수산연보 8, 31–38.
- 장선덕, 진 평, 성병은, 1976. 니질과 염분이 백합의 폐사에 미치는 영향. 한국수산학회지 9, 69–73.
- 현봉개, 정영균, 고태승, 김선웅, 김은자, 1979. 백합양식장 저질회복시험. 수진사업보고, 49, 43–77.

원고접수 : 2008년 2월 26일

심사완료 : 2008년 5월 6일

수정본 수리 : 2008년 5월 19일