Article

여름철 장목만의 환경요인과 중형동물플랑크톤 단주기 변동과의 상관성

장민철 · 신경순* · 장풍국 · 이우진

한국해양연구원 남해연구소
(656-830) 경상남도 거제시 장목면 장목리 391

Relationship between Environmental Factors and Short-term Variations of
Mesozooplankton During Summer in Jangmok Bay,
South Coast of Korea

Min-Chul Jang, Kyoungsoon Shin*, Pung-Guk Jang, and Woo-Jin Lee

South Sea Research Institute, KORDI
Geoje 656-830, Korea

Abstract : Daily samples were collected during summer in order to analyse changes in the mesozooplankton community and to identify the major environmental factors that may influence mesozooplankton abundance in Jangmok Bay. A single site in the bay was sampled 47 times from July to September 2003. Mesozooplankton community, hydrographic (watertemperature, salinity, dissolvedoxygen) and biological (chlorophyll-*a*, ciliates densities, *Noctiluca scintillans* densities) factors were determined. The mesozooplankton abundance varied remarkably from 954 to 14,816 inds. m⁻³. The six taxa of *Evadne tergestina*, barnacle nauplii and cypris, *Paracalanus parvus* s.l., *Acartia omorii*, *Penilia avirostris* and *Sagitta crassa* dominated numerically, contributing 86% of total mesozooplankton abundance. Stepwise multiple linear regression analysis was applied to find correlation between environmental factors and fluctuation in the abundance of dominant species and mesozooplankton. *A. omorii* was significantly correlated with temperature and *N. scintillans* densities. *E. tergestina* was correlated with temperature, salinity, and ciliate densities, whereas *P. avirostris* was correlated with temperature and dissolved oxygen. Among the environmental factors, mesozooplankton abundance correlated most strongly with *N. scintillans* densities. Accordingly, *N. scintillans* may be a key player in controlling the fluctuation of mesozooplankton abundance as a strong competitor for same food resources.

Keywords : mesozooplankton, *Noctiluca scintillans*, Jangmok Bay

1. 서 론

동물플랑크톤의 종들은 해양생태계에서 일어나는 많은 물리적, 화학적 그리고 생물적 요인에 직접적이고 민감하게 반응하기 때문에 환경조건의 변화를 나타내는 지시자(indicators) 역할을 한다(Beaugrand 2004; Bonnet and

Frid 2004). 여름철 장목만은 잦은 강우로 인해 육상에서 다량의 담수와 유기물질이 유입되면서 매우 불안정한 환경이 조성된다. 즉, 유입된 담수의 영향으로 표층 염분은 크게 낮아지고(18.0~27.8 psu), 영양염류의 조성비가 변화되면서 식물플랑크톤의 개체수와 종조성은 큰 변동을 나타낸다(Lee et al. 2005b).

급격한 염분의 변화는 동물플랑크톤의 일부 종들을 사망에 이르게 하는 생리적 스트레스를 유발하며, 개체의 성

*Corresponding author. E-mail : ksshin@kordi.re.kr

장과 먹이 섭취율을 저해하여 궁극적으로는 먹이망의 기능을 변화시키는 것으로 알려져 있다(Kaartvedt and Aksnes, 1992; Soetaert and Herman 1994; Attrill 2002, Calliari et al. 2008). 담수 유입에 의해 형성된 성층은 동물플랑크톤의 번식 활동에 영향을 주어 개체수와 종 구성에 변화를 야기시킨다(Greenwood et al. 2001). 또한, 영양염 유입에 따른 식물플랑크톤의 변동은 주 섭식자인 동물플랑크톤의 군집구조의 변화에 영향을 줄 수 있다.

염분과 함께 여름철 장목만에서 동물플랑크톤 변동의 주요한 생물학적 요인으로 *Noctiluca scintillans*와 섬모충류의 밀도를 고려할 수 있다. 종속영양 와편모류 *N. scintillans*는 적조생물로 장목만에서 연중 출현하며 여름철인 7월과 8월에 집중적으로 출현한다(장 등 2002; 한국해양연구원 2004). 기존 연구에서 *N. scintillans*는 요각류의 알을 포식하거나 먹이 경쟁을 통해 동물플랑크톤의 개체수 변동에 크게 관여하고 있음을 보고하였다(Quevedo et al. 1999; Yilmaz et al. 2005; 유 등 2006). 최근 20년간의 연구를 통해 동물플랑크톤(주로 요각류)은 식물플랑크톤보다는 섬모충류를 먹이로서 때때로 선호하여 포식하는 것으로 잘 알려져 있으며(Stoecker and Capuzzo 1990; Atkinson 1996; Gifford et al. 2007), 이러한 포식 행위는 높은 난 생산력과 밀접한 관련성이 있는 것으로 밝혀졌다(Ohman and Runge 1994). 장목만에서 섬모충류가 여름철에 고밀도를 보인다는 점(김과 장 2008)에서 동물플랑크톤의 군집구조에 변화를 야기할 가능성이 있다.

장목만에서 여름철에 *Evadne tergestina*와 *Penilia avirostris*의 지각류가 우점하는 것으로 보고되고 있다(장 등 2002; 한국해양연구원 2004). 지각류는 처녀생식(parthenogenetic reproduction)을 통하여 짧은 기간에 폭발적으로 개체군이 증가하며 환경에 따라 큰 폭의 변동을 보인다(Egloff 1997; Onbé 1974). 환경변화에 따른 지각류의 개체군 변동을 좀 더 정확히 파악하기 위해서는 단주기 채집이 요구된다. 실제로 Omorii and Ikeda (1984)는 지각류와 요각류의 생활사를 고려한 연구에서 개체수의 변화를 정량적으로 기술하기 위해서는 일주일에 최소한 한두 번은 채집이 필요하다고 하였다. 따라서 여름철 장목만의 복잡한 환경에서 중형동물플랑크톤의 변화를 이해하기 위해서는 매우 짧은 주기의 샘플링을 통한 분석이 필요하다. 우리나라 연안의 고정된 정점에서 환경과 관련된 동물플랑크톤의 단주기 변화에 관한 연구로는 인천연안에서 동물플랑크톤의 계절 변동을 이해하기 위해 10~15일 간격으로 2년 동안 조사한 자료가 유일하게 보고되고 있으며(Yoon and Choi 2003), 일년 중 가장 복잡한 환경이 조성되는 여름철에 동물플랑크톤의 변동을 이해하기 위한 단주기 연구는 아직 보고되지 않았다.

이 연구의 목적은 장목만에서 여름철의 중형동물플랑크

톤 군집구조가 어떠한 환경요인에 의해서 조절되고 있는지를 밝히는 것이다. 이를 위해 장목만의 고정된 정점에서 2003년 여름철 동안에 중형동물플랑크톤의 개체수와 종조성의 변화를 매일 조사하였다. 또한, 각각 3가지의 물리적 요인(수온, 염분, 용존산소)과 생물적 요인(염록소 *a*, 섬모충류 개체수, *N. scintillans* 개체수)을 선별하여 측정하였다. 이 요인들은 중형동물플랑크톤의 단주기 변동을 이해하기 위한 환경요인으로 사용하였다.

2. 재료 및 방법

조사지역 및 채집

연구는 남해의 거제도 북쪽에 위치한 장목만에서 2003년 7월 14일부터 2003년 9월 4일까지 실시하였다. 장목만은 약 1 km의 폭(입구 0.5 km)과 1.5 km의 길이를 가진 작은 만으로 여름철 우기에 소하천과 주변의 산으로부터 담수와 부유물질이 유입된다(Lee et al. 2005a, 2005b). 고정된 채집 정점(34°59'N, 128°40'E)은 한국해양연구원(KORDI)의 남해연구소 부두에 위치하였고(Fig. 1), 채집

Fig. 1. A map showing the sampling site.

Fig. 2. Rainfall in Geoje region during the study period in 2003.

정점의 평균 수심은 8.5 m이며 최대 조차(tidal range)는 2.2 m이다. 조사 하루전인 7월 13일에 118 mm의 강우가 있었으며 채집 기간 동안에 21회의 강우가 발생하였다(Fig. 2).

채집시간은 조석에 의한 영향을 최소화하기 위하여 만 조 시에 진행하였고, 채집 간격은 1일 간격에 가깝게(near-daily) 실시하였다($n=47$). 엽록소 a , 섬모충류, 와편모류인 *N. scintillans*의 분석을 위한 20 l의 해수는 표층과 저층에서 채수하였다. 표층과 저층의 해수 채집은 각각 polyethylene bucket과 Niskin 채수기를 이용하였다.

물리 및 생물학적 환경요인

물리 및 생물학적 요인에 대한 조사는 표층과 저층을 대상으로 실시하였다. 수온과 염분의 측정은 현장에서 Ocean Seven 319 CTD(Idronaut)를 이용하였고, 용존산소는 DO meter(YSI, Model 58)를 이용하여 측정하였다. 엽록소 a 농도를 측정하기 위하여 채수된 20 l의 해수에서 500-1000 ml를 GF/F 여과지(Whatman)로 여과하여 15 ml tube에 넣어 냉동 보관하였고, 실험실에서 90% 아세트산 13 ml를 주입하여 24시간 동안 냉암소에서 색소를 추출한 후에 1500 rpm으로 5분간 원심분리시켜 상등액을 UV spectrophotometer(HP 8354)를 사용하여 측정하였다(Parsons et al. 1984).

섬모충류의 개체수를 파악하기 위하여 20 l의 해수 시료에서 500 ml를 취하여 Lugol 용액으로 최종농도 1% 되게 고정하였고, 농축과정을 거친 후 Sedgewick-Rafter chamber를 사용하여 광학현미경(Zeiss Axioplan)으로 개체수를 계수하였다. *N. scintillans*는 채수된 20 l의 해수에서 10 l를 60 μ m seive에 통과시켜 걸러진 시료를 회수하여 채집하였고, 50 ml tube에 담아 증성포르말린으로 최종농도 1% 되도록 고정 한 후, 해부현미경(Zeiss Stemi SV11) 하에서 계수하여 단위체적(m^3) 당 개체수로 환산하였다. 섬모충류와 *N. scintillans*의 개체수는 표층과 저층의 평균값을 이용하였다.

중형동물플랑크톤

중형동물플랑크톤 시료는 원추형 네트(구경 45 cm, 망목 200 μ m)를 이용하여 저층에서 표층까지 3회 반복 수직 채집하였다. 채집된 시료는 현장에서 즉시 중성포르말린으로 5%가 되도록 고정하여 실험실로 운반하였다. 정량 분석을 위하여 네트 입구에 유속계(Hydro-Bios model 438115)를 부착하여 여과된 해수량을 측정하였고, 실험실에서 우점종의 개체수가 100개체 이상 계수될 정도의 시료를 취하여 Bogorove 계수판에서 해부현미경(Zeiss Stemi SV11)과 광학현미경(Zeiss Axioskop) 하에서 동정 및 계수하여 단위체적 당 개체수(inds. m^{-3})로 환산하였다.

중형동물플랑크톤의 최종 개체수는 3회 반복 채집된 시료의 평균값을 사용하였다.

자료분석

조사시기에 따른 중형동물플랑크톤 출현양상의 유사도를 파악하기 위해 Bary-Curtis의 유사도지수를 근거로 비가중 산술평균(UPGMA)에 의한 dendrogram을 작성한 후, 계층적 군집방법(Hierarchical clustering)으로 집괴분석(CA: cluster analysis)을 하였다. 집괴분석에 이용된 출현종의 개체수 자료는 정규분포를 위해 $\log_e(x+1)$ 로 변환하여 분석하였다. 집괴분석의 결과를 40%의 유사도 수준에서 MDS(non-metric multidimensional scaling) 배열법으로 나타내어 조사시기의 구분을 결정하는데 사용하였다. 집괴분석에 의해 구분된 각 시기간에 유의한 차이가 있는가를 알아보기 위해 ANOSIM(analysis of similarity) 평가를 실시하였다. 또한 각 시기의 구분에 영향을 미친 중형동물플랑크톤 종들의 기여 정도를 파악하기 위해 80%의 기여 수준에서 SIMPER(similarity percentages) 분석을 하였다. CA, MDS, ANOSIM, SIMPER 분석은 Clarke and Gorley (2006)의 매뉴얼을 참고하여 PRIMER(version 6.1.6) 프로그램을 이용하여 수행하였다.

환경요인이 중형동물플랑크톤 군집의 단주기 변동에 미치는 영향을 분석하기 위해 통계 패키지 SPSS(version 12.0)를 이용하여 전진 선택에 의한 다중회귀분석(forward stepwise multiple regression analysis)을 수행하였다(p 진입조건=0.01, p 제거조건=0.05). 6종류의 환경요인들(수온, 염분, 용존산소, 엽록소 a , 섬모충류 개체수, *N. scintillans* 개체수)은 표, 저층 자료의 평균값을 사용하였다. 상관분석과 다중회귀분석을 위해 사용된 모든 데이터는 자연로그($\log_e$)로 변환하여 분석하였다.

3. 결 과

물리적 환경요인

조사기간의 수온은 표층과 저층에서 각각 20.3~28.8°C와 18.2~23.1°C의 범위를 나타내었다(Fig. 3). 8월 5일에 표·저층간의 수온 차이가 10.2°C로 최대를 보였으며, 7월 하순부터 8월 하순사이에 표·저층간에 5°C 이상의 수온 약층 형성이 자주 관찰되었다. 염분은 표층에서 18.0~27.9 psu 범위였으며, 저층은 23.8~30.3 psu 범위로 나타났다(Fig. 3). 잦은 강우의 영향으로 인하여 표·저층간에 최소 0.9에서 최대 11.3 psu의 차이를 보였으며, 대부분의 시기에서 표·저층간에 3 psu 이상의 차이를 보여 강한 염분성층이 형성되었다. 용존산소는 표층에서 5.1~13.1 $mg\ l^{-1}$ 의 범위를, 저층에서는 0.8~6.7 $mg\ l^{-1}$ 의 범위를 나타내었고(Fig. 3), 빈산소 수위에 해당되는 2 $mg\ l^{-1}$ 이하의

Fig. 3. Daily variation of hydrographic factors measured during the study period in 2003.

용존산소 농도가 조사기간 동안에 저층에서 자주 목격되었다.

생물적 환경요인

엽록소 *a* 농도는 표층에서 $1.2\sim 23.4\ \mu\text{g}\ l^{-1}$ 의 범위를 보였고 조사기간 중 $10\ \mu\text{g}\ l^{-1}$ 이상의 대증식이 9회에 걸쳐 발생하였다(Fig. 4). 저층의 엽록소 *a*의 농도 범위는 $0.9\sim 10.5\ \mu\text{g}\ l^{-1}$ 로 표층에 비하여 낮은 농도 범위를 나타내었다. 빈섬모충류와 유중섬모충류를 포함한 전체 섬모충류의 개체수는 $0.7\sim 28.8\times 10^3\ \text{cells}\ l^{-1}$ 범위로 출현하였고, $1\times 10^3\ \text{cells}\ l^{-1}$ 이하의 저밀도는 조사기간 동안 단지 3회만 관찰되었다(Fig. 4). 섬모충류는 시기에 따른 특징적인 변화 양상을 보이지는 않았으며 큰 폭으로 감소와 증

Fig. 4. Daily variation of biological factors observed during the study period in 2003.

가가 반복되는 양상을 조사기간 내내 나타내었다. 종속영양 와편모류 *N. scintillans*는 $0.1\sim 98.7\times 10^3\ \text{cells}\ m^{-3}$ 의 개체수 범위로 출현하였고, 대증식을 지시하는 피크가 2회 관찰되었다(Fig. 4). *N. scintillans*는 조사 시점인 7월 14일부터 7월 21일까지 $5\times 10^3\ \text{cells}\ m^{-3}$ 이하의 낮은 개체수를 유지한 후 점차 증가하기 시작하여 7월 31일에서 8월 3일 사이에 $50\times 10^3\ \text{cells}\ m^{-3}$ 이상의 첫 번째 피크가 관찰되었으며, 이후에 증감을 반복하다 8월 29일에서 9월 1일 사이에 두 번째 피크가 감지된 후 급격히 감소하는 양상을 보였다.

중형동물플랑크톤 군집의 단주기 변동

조사기간 동안에 출현한 중형동물플랑크톤은 지각류 3

Fig. 5. Daily variation in abundance of mesozooplankton in Jangmok Bay in 2003.

Fig. 6. Daily variation in composition of mesozooplankton major taxa in Jangmok Bay in 2003.

중, 모악류 1종, 요각류 9종, 유생 9종류, 기타 분류군 8종류 등의 총 30개 분류군으로 동정되었다. 중형동물플랑크톤의 출현 개체수는 $954 \sim 14,816 \text{ inds. m}^{-3}$ 범위로 큰 폭의 변동을 보였으며, 평균 개체수는 $7,587 \text{ inds. m}^{-3}$ 이었다(Fig. 5). $10,000 \text{ inds. m}^{-3}$ 이상의 높은 개체수는 조사기간 동안에 13회 관찰되었고, 조사 시점인 7월 14일부터 8월 25일까지 큰 폭의 증가와 감소를 반복 하였으며 이후 조사 종료일인 9월 4일까지는 $5,000 \text{ inds. m}^{-3}$ 이하의 개체수를 유지하였다. 조사기간 동안 중형동물플랑크톤의 평균 개체수는 $7,587 \text{ inds. m}^{-3}$ 를 나타내었는데 분류군 중 지각류의 평균 개체수가 $3,128 \text{ inds. m}^{-3}$ 로 전체 개체수의 41.2%를 점유하였고, 다음으로 요각류와 유생군이 각각 25.7%와 23.9%를 차지하였다(Fig. 6). 지각류는 7월 하순부터 8월 하순까지 약 30일에 걸쳐 지속적으로 높은 점유율을 유지하여 우점하였고, 요각류는 조사 초반부인 7월 중순에 분류군 중 가장 높은 점유율을 차지하였다.

지각류 *Evadne tergestina*와 *Penilia avirostris*, 요각류 *Acartia omorii*와 *Paracalanus parvus* s.l., 모악류 *Sagitta crassa*, 그리고 따개비류 유생(barnacle nauplii and cypris) 등이 전체 중형동물플랑크톤 개체수의 85% 이상을 차지하는 우점종으로 분류되었다(Fig. 7). *E. tergestina*의 평균 개체수는 $2,182 \text{ inds. m}^{-3}$ 로 분류군 가운데 가장 높았고, 주로 7월 하순에서 8월 하순 사이에 집중적으로 출현하였으며 이 시기 동안 $7,000 \text{ inds. m}^{-3}$ 이상의 고밀도가 4회 관찰되었다. *P. avirostris*는 $0 \sim 4,823$ (평균 808) inds. m^{-3} 의 변동을 보였고, 8월 초순부터 개체수가 증가하기 시작하여 8월 15일부터 8월 25일까지 $1,000 \text{ inds. m}^{-3}$ 이상의

Fig. 7. Daily variation in abundance of dominant mesozooplankton in Jangmok Bay in 2003.

개체수를 지속적으로 유지한 후 점차 감소하는 양상을 나타내었다. *A. omorii*의 평균 개체수는 808 inds. m^{-3} 였고, 조사 초반부인 7월 14일에서 7월 18일 사이에 3,000 inds. m^{-3} 이상의 높은 개체수를 보인 후 수층의 수온이 21°C 이상의 환경이 조성되면서 개체수가 급격히 감소하는 양상을 나타내었다. *P. parvus* s.l.는 13~2,906(평균 1,014) inds. m^{-3} 의 범위로 출현하였고 8월 중순(8월 12일~8월 22일)에 높은 개체수가 관찰되었다. 따개비류 유생과 *S. crassa*의 평균 개체수는 각각 1,385 inds. m^{-3} 와 325 inds. m^{-3} 였고, 이 두 분류군의 개체수는 조사기간 내내 큰 폭의 증가와 감소를 반복하는 양상을 나타내었다.

군집분석

중형동물플랑크톤의 출현 개체수에 근거하여 Bary-Curtis 유사도 지수 자료를 이용하여 MDS 배열법으로 군집분석을 실시한 결과 조사 시기는 초반부(7월 14일~19일)의 Group I과 중반부(7월 20일~8월 27일)의 Group II, 그리고 후반부(8월 28일~9월 4일)의 Group III으로 크게 3 시기로 구분되었다(Fig. 8). 구분된 3 시기는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($R=0.73$, $p<0.001$, ANOSIM). 3 시기 구분에 영향을 미친 중형동물플랑크톤을 SIMPER 분석을 통해 살펴본 결과, 초반부인 Group I 구분에는 *A. omorii*가 59.0%로 가장 높은 기여율을 나타내었고 이외에 따개비류 유생과 *P. parvus* s.l.가 기여한 것으로 분석되었다(Table 1). *E. tergestina*, *P. avirostris*, 따개비류 유생, *P. parvus* s.l. 등이 중반부의 Group II와 후반부의 Group III 구분에 관여한 것으로 나타났다. Group II와 Group III에서는 각각 *E. tergestina*와 *P. avirostris*의 기여율이 가장 높았다. 따개비류 유생은 3 시기에서 모두 두 번째로 높은

Table 1. Results of SIMPER analysis for zooplankton taxa from three groups: similarity percentages and species contribution based on $\log_e(x+1)$ transformed data

Taxa	Av. Ab.	Av. Sim.	Contrib. %	Cum. %
Group I (Av. Sim. 62.12)				
<i>Acartia omorii</i>	4292.00	36.65	59.00	59.00
barnacle nauplii and cypris	896.33	7.92	12.76	71.75
<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	619.17	5.65	9.09	80.84
Group II (Av. Sim. 52.80)				
<i>Evadne tergestina</i>	2902.00	16.58	31.40	31.40
barnacle nauplii and cypris	1696.74	11.67	22.10	53.49
<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	1210.56	8.75	16.57	70.06
<i>Penilia avirostris</i>	989.94	5.00	9.48	79.54
<i>Sagitta crassa</i>	376.09	2.55	4.84	84.38
Group III (Av. Sim. 53.60)				
<i>Penilia avirostris</i>	596.71	17.89	33.38	33.38
barnacle nauplii and cypris	291.86	8.21	15.32	48.70
<i>Evadne tergestina</i>	255.14	8.08	15.07	63.77
<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	401.00	7.43	13.86	77.63
<i>Acartia omorii</i>	144.29	4.20	7.84	85.47

Av. Ab.=Average abundance(inds. m^{-3}). Av. Sim.=Average similarity.

Contrib. %=Percentage contribution. Cum. %=Cumulative contribution.

기여도를 나타내어 각 시기 구분에 큰 영향을 미친 것으로 나타났다.

Fig. 8. Two-dimensional non-metric MDS ordination plot of mesozooplankton abundance during the study period in 2003. Each plot was described by month (J: July, A: August, S: Setember) and date (1 to 31). Solid lines group represent samples with more than 40% similarity.

다중회귀분석

물리, 생물적 환경요인들이 우점종(군집분석에 의해 구분된 3 시기의 최우점종)과 중형동물플랑크톤의 개체수 변동에 미치는 영향 정도를 파악하기 위한 다중회귀분석의 결과를 Table 2에 나타내었다. 전체 중형동물플랑크톤의 개체수(Ma; inds. m^{-3})에 대한 회귀 방정식은 $Ma = 2.494T - 0.384Na - 0.208Ca + 3.521$ 로 분석되었고, 여기서 T는 수온(°C)을, Na는 *N. scintillans*의 개체수(cells m^{-3})를, 그리고 Ca는 섬모충류의 개체수(cells l^{-1})를 의미한다. 수온은 중형동물플랑크톤의 개체수 변동에 대해 양(positive; +)의 영향을 나타낸 반면에 섬모충류와 *N. scintillans*의 개체수는 음(negative; -)의 영향을 나타내었고, 가장 유의하게($p<0.001$) 영향을 미친 요인은 *N. scintillans*의 개체수였다. 위 3 요인은 중형동물플랑크톤 개체수 변동의 50.9%를 설명하였으며, 유의수준은 0.048이었다.

Table 2. Results of multiple linear regression (forward selection) analysis applied for hydrographic and biological factors against the abundance of dominant species and mesozooplankton

Independent variable	Dependent variable			
	Abundance (inds. m ⁻³)			
	<i>Acartia omorii</i>	<i>Evadne tergestina</i>	<i>Penilia avirostris</i>	Mesozooplankton
Intercept	49.762*** (7.072)	15.478 (10.885)	-59.222*** (10.506)	3.521 (3.748)
Temp (°C)	-13.662*** (2.267)	10.665*** (2.222)	22.886*** (3.439)	2.494* (1.134)
Salinity (psu)		-11.700*** (2.344)		
Coefficients DO (mg l ⁻¹)			-3.853*** (0.976)	
Chl- <i>a</i> (µg l ⁻¹)				
Ciliates (cells l ⁻¹)		-0.456* (0.211)		-0.208* (0.102)
<i>Noctiluca</i> (cells m ⁻³)	-0.385** (0.112)			-0.384*** (0.055)
r ²	0.584	0.516	0.507	0.509
Regression F	11.893	4.683	15.578	4.153
statistics <i>p</i>	0.001	0.036	<0.001	0.048
<i>n</i>	47	47	47	47

n: number of observations; parentheses: standard error; significance level: **p*<0.05, ***p*<0.01, ****p*<0.001

우점종에 대한 다중회귀분석의 결과, 초반부의 우점종인 *A. omorii*의 개체수 변동에는 수온과 *N. sinuillans*의 개체수가 음의 유의한 영향을 미친 것으로 분석되었다. 중반부의 우점종인 *E. tergestina*의 개체수 변동에는 수온이 양의 영향을, 염분과 섬모충류의 개체수가 음의 영향을 나타내었다. 후반부의 우점종인 *P. avirostris*의 개체수 변동에는 수온이 양의 영향을, 용존산소는 음의 영향을 보였다. 분석된 회귀 계수에 의하면 생물학적 요인보다는 수온 및 염분 등의 물리적 요인이 각 우점종의 개체수 변동에 더 큰 영향을 미친 것으로 분석되었다.

4. 토 의

염분은 해양생물의 분포에 영향을 미치는 가장 중요한 요인 중의 하나다(Rippingale and Hodgkin 1977). 강우에 의해 희석된 연안의 해수는 염분의 변화에 민감한 협염성(stenohaline) 동물플랑크톤의 분포를 제한하며 생존에 영향을 미친다(Calliari et al. 2006). 이는 동물플랑크톤 종의 삼투조절 능력의 생태적인 허용한계와 관련이 있다(Mauchline 1998). 2000년부터 2003년까지의 기상청 자료(http://www.kma.go.kr/sfc/sfc_03_02.jsp)에 의하면 거제지역에서는 연중 강수량의 33~51%가 7월과 8월에 집중된다. 따라서 이 기간은 강우에 대한 동물플랑크톤의 생태적인 연구를 위한 좋은 기회를 제공한다.

우점종의 단주기 변동

2003년 장목만에서 우기를 제외한 시기의 염분은 30.2~

32.7 psu의 범위를 보인다(장 등 미발표 자료). 그러나 이번 조사 기간 내내 빈번한 강우로 인해 표·저층에서 저염의 환경(평균 22.2~28.4 psu)이 유지되었다. 이에 따라 우점 중형동물플랑크톤 가운데 염분의 변화에 내성이 강한 즉, 광염성(euryhaline)의 특성을 가진 지각류 *E. tergestina*와 *P. avirostris*(Da Rocha 1985), 요각류 *P. parvus* s.l.와 *A. omorii* (Islam et al. 2006), 따개비류 유생(Lang and Ackenhusen-Johns 1981), 모악류 *Sagitta crassa*(Lee and Choi 2008) 등이 출현하였고, 이 우점종들은 전체 중형동물플랑크톤의 85% 이상을 차지하였다. 출현종의 개체수에 근거한 MDS 배열법에 의해 조사 시기는 초반부(7월 14일~19일), 중반부(7월 20일~8월 27일), 후반부(8월 28일~9월 4일)로 크게 3 시기로 구분되었으며, SIMPER 분석의 결과에서 초반부에는 *A. omorii*, 중반부에는 *E. tergestina*, 후반부에는 *P. avirostris*가 중형동물플랑크톤 군집의 변화를 주도한 것으로 나타났다.

*A. omorii*는 조사기간 내내 지속적으로 출현하여 염분 변화에 대한 내성 폭이 넓었으며, 개체수의 변화에 있어서 수온이 20°C 내외를 보인 조사 초반부에는 3,000 inds. m⁻³ 이상의 높은 개체수를 보였으나 이후 수온이 상승함에 따라 크게 감소하는 양상을 보여 염분보다는 수온에 의해 개체수가 조절되는 양상이 뚜렷하였다(Fig. 9). 이러한 결과는 가막만에서 *A. omorii*는 수온이 15°C 이하에는 개체수가 증가하지만 수온이 증가함에 따라 감소하다 24°C 이상이 되면 개체수가 급감한다고 보고한 문 등(2006)의 결과와 대체로 일치한다. 수온 상승에 따른 *A. omorii* 개체수의 급감 현상은 *A. omorii*의 개체 가입량을

Fig. 9. Temperature-salinity plots for abundance of dominant mesozooplankton species.

결정하는 난 생산력이 수온 상승과 더불어 크게 저하되어 개체수가 감소한다는 연구결과와 관련이 있는 것으로 판단된다(Uye 1981).

장목만의 경우 여름철에는 지각류가 가장 우점하여 출현하는 것으로 알려져 있다(장 등 2002). 이번 조사에서도 *E. tergestina*와 *P. avirostris*는 조사 초반부(7월 14~19일)와 후반부(9월 1일~4일)를 제외한 대부분의 조사일에서 가장 우점하였다. 위 두 종은 22°C 이상의 수온에서 상대적으로 높은 개체수를 보였으며, 염분 변화에 대해서는 전형적인 광염성의 출현양상을 보였다. 다만 *E. tergestina*가 주로 22~26 psu 범위에서 높은 개체수를 보인 반면에 *P. avirostris*의 경우에는 25~28 psu 범위로 나타나 두 종 사이에 선호하는 염분 범위가 차이를 암시하였다(Fig. 9). 일반적으로 지각류는 번식하기에 알맞은 환경이 조성되면 처녀생식(parthenogenetic reproduction)을 통해 단기간에 개체수를 폭발적으로 증가시키며, 반대로 선호하지 않은 환경에서는 양성생식(gamogenetic reproduction)으로 개체군을 유지하여 휴면란을 생성한다(Egloff et al. 1997). 이번 조사에서 5,000 inds. m⁻³ 이상의 개체수가 7월 하순부터 8월 하순 사이에 지속적으로 관찰되었다는 점에서 지각류가 번식하기에 알맞은 환경이 장목만에 조성된 것으로 판단된다. 여름철 장목만에서 *E. tergestina*와 *P. avirostris*가 우점한 것은 지각류의 다른 종(*Podon leuckarti*, *E. nordmanni*)에 비해 고수온을 선호한다는 점(Vinas et al. 2007)과 급격한 염분 변화에 대한 삼투조절 능력이 탁월

한 지각류에 포함된 점(Aladin and Potts 1995), 그리고 먹이가 되는 식물플랑크톤의 농도(엽록소 *a*)가 조사 기간 동안에 지속적으로 높게 유지된 점이 주요한 요인으로 작용한 것으로 사료된다.

일시성 플랑크톤(meroplankton)에 속하는 따개비류 유생은 조사기간 동안의 평균 개체수가 1,385 inds. m⁻³로 *E. tergestina* 다음으로 높았으며, SIMPER 분석에서도 3 시기를 구분함에 있어 높은 기여율을 보였다. 또한, 수온과 염분의 변화에 영향을 받지 않고 지속적으로 출현하였고, 오히려 26 psu 이하의 환경에서 높은 개체수를 나타내었다(Fig. 9). 먹이망 내에서 따개비류 유생은 치어의 주요한 먹이로 제공되며, 또한 박테리아를 포식함으로써 미소생물 먹이망(microbial food web)과 후생동물 먹이망(metazoan food web) 사이를 연결하는 매개자의 역할을 수행하는 것으로 알려져 있다(Turner and Roff 1993). 따개비류 유생은 3~9 μm의 작은 크기의 식물플랑크톤을 주로 섭식하는 것으로 알려져 있으며(Bouvy et al. 2006), 본 조사와 동일한 Lee et al. (2005b)의 결과에 의하면 조사기간 동안에 미소 식물플랑크톤(nanophytoplankton, 3~20 μm)이 식물플랑크톤 가운데 가장 높은 생물량(chl-*a*)을 보인 것으로 보고하였다. 따라서 따개비류 유생이 조사기간 동안에 지속적으로 높은 개체수를 유지할 수 있었던 주요한 요인은 섭식 가능한 미소 식물플랑크톤의 높은 생물량에 기인한 것으로 판단된다. 하지만 국내외적으로 따개비류 유생의 섭식에 관한 자료가 부족한 점과 장목만에서의

생태학적인 위치를 고려해 볼 때 추후에 섭식 실험을 통한 면밀한 검증 작업이 필요하다.

S. crassa 해양에서 가장 풍부한 육식성 동물플랑크톤인 모악류(chaetognaths)에 포함되어 있다(Bone et al. 1991). *S. crassa*는 한강 하구에서 7.8~30.7 psu의 매우 넓은 염분 범위에서 출현함이 이미 보고되어 있으며(Lee and Choi 2008), 이번 조사기간에 증가와 감소가 반복되는 양상을 보였으나 325 inds. m⁻³의 비교적 높은 평균 개체수를 유지하였다. *S. crassa*는 위 내용물 조사에서 자기 체장의 1.4~6.0% 범위에 속하는 소형종의 요각류와 유생들을 주로 섭식하는 것으로 보고되고 있다(Nomura et al. 2007). 따라서 이번 조사기간 동안에 출현한 *S. crassa*가 수적으로 우세하였고 먹이가 될 수 있는 소형 요각류(*A. omorii*, *P. parvus* s.l.)와 따개비류 유생이 풍부하였다는 점에서 *S. crassa*는 여름철 장목만의 먹이망 내에서 2차 소비자로서 중요한 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

중형동물플랑크톤 개체수 변동과 환경요인

다중회귀분석을 실시한 결과(Table 2), 수온은 구분된 3 시기 중 초반부에 우점한 요각류 *A. omorii*의 개체수에 대해서는 음의 영향을, 중반부와 후반부에 각각 우점한 지각류 *E. tergestina*와 *P. avirostris*의 개체수에 대해서는 양의 영향을 미친 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 장목만에서 *A. omorii*는 저수온기인 겨울철과 봄철에 우점하는 반면에 *E. tergestina*와 *P. avirostris*는 고수온기인 여름철에 우점한다는 기존의 보고(장 등 2002)에 비추어 볼 때 타당한 결과로 받아들여진다. 전체 중형동물플랑크톤 개체수 변동에 대해 수온은 양의 영향을 보였는데($p < 0.05$), 이는 수적으로 우세한 지각류의 영향이 다른 종들에 비해 더 많이 반영된 결과로 여겨진다.

염분은 음의 영향으로 *E. tergestina*의 개체수 변동에 관여한 환경요인이었다. 따라서 이 종의 경우 저염분의 환경을 더 선호하여 출현한 것으로 해석할 수 있다. 하지만 염분의 경우에는 전체 중형동물플랑크톤의 개체수 변화에 유의한 영향을 미친 요인으로 분석되지 않았는데, 조사기간 동안의 변동 범위(22.2~28.4 psu)를 고려해 볼 때 다소 의외의 결과로 받아들일 수 있다. 이러한 분석 결과의 주된 원인은 염분 변화에 민감하게 반응하지 않는 광염성의 종들이 주로 우점하여 출현한데서 찾을 수 있다. 이번 결과는 우기(雨季)를 대상으로 조사한 것에 국한되어 있으므로 염분 변화에 대한 중형동물플랑크톤의 반응을 좀 더 정확히 비교 분석하기 위해서는 건기(乾期)의 자료가 보강되어야 할 것으로 판단된다.

*N. scintillans*는 전체 중형동물플랑크톤 개체수 변동에 대해 가장 유의하게($p < 0.001$) 영향을 미친 요인이었으며, 이러한 결과에 가장 크게 기여한 종은 조사 초반부에 우

점하여 *N. scintillans*와 유의한($p < 0.01$) 음의 상관성을 보인 요각류 *A. omorii*였다. 종속영양 와편모류 *N. scintillans*는 적조생물로 전 세계의 온대 연안에 출현하며 주로 봄철부터 여름철까지 대량 번식하는 것으로 알려져 있다(Miyaguchi et al. 2006). 우리나라에서는 동물플랑크톤의 개체수를 훨씬 초과하는 경우가 여름철에 자주 발생한다(강 등 1996; 장과 김 1998; 장 등 2004). *N. scintillans*는 잡식성으로 식물플랑크톤뿐만 아니라 요각류의 알과 유생, 원생동물, 그리고 박테리아까지 다양한 종류의 먹이를 섭식하는 것으로 보고되어 있다(Elbrachter and Qi 1998; Kirchner et al. 1996; Nakamura 1998; Quevedo et al. 1999; Strom 2001). 요각류의 알과 유생에 대한 포식(Top-down control)과 식물플랑크톤에 대한 먹이경쟁(Bottom-up control)은 동물플랑크톤의 개체수 변동의 직, 간접적인 요인으로 작용할 수 있다. Quevedo et al. (1999)는 스페인 Cantabria 연안에서 *Acartia clausi* 알의 73%가 *N. scintillans*에 의해 포식되어 유생(nauplii) 단계로의 가입이 제한되어 개체군 변동에 큰 영향을 미쳤음을 보고한 바 있다. 반면에 Daan (1987)은 요각류가 하루에 생산하는 알의 50% 이상이 *N. scintillans*에 의해 제거되지만 요각류 개체군 변화에는 큰 영향을 미치지 않음을 보고하였다. 또한 Marmara Sea에서 진행된 연구에서도 *N. scintillans*의 세포내에서 요각류의 알이 발견되었지만 이러한 결과가 개체군 변동과의 유의한 상관성이 없음을 확인하였다(Yilmaz et al. 2005). 이와같이 *N. scintillans*가 요각류의 알을 포식하는 것은 명백하지만 동물플랑크톤(주로 요각류)의 개체군 변화에 미치는 영향 정도는 선행 연구자들에 상반된 결과를 제시하고 있어 아직 논쟁의 여지로 남아있다. 이번 연구에서 *N. scintillans*를 현미경을 통해 면밀히 관찰한 결과, 요각류의 알을 포식한 흔적이 발견되지 않았다. 따라서 요각류 *A. omorii*의 개체수 변동이 *N. scintillans*의 알과 유생에 대한 포식에 의해 좌우되었을 가능성은 매우 낮은 것으로 판단되며, 다른 요인 즉, 먹이 경쟁의 영향을 강하게 암시한다. 먹이생물에 대한 *N. scintillans*의 여과율(clearance rate)은 같은 크기의 동물플랑크톤보다 낮지만(Nakamura 1998) 높은 성장률(0.5 day^{-1} ; Buskey 1995)로 단기간에 개체수를 증가시켜 동물플랑크톤의 먹이를 상당히 감소시킬 수 있다. 이번 연구기간에 *N. scintillans*의 평균 개체수($35,035 \text{ inds m}^{-3}$)는 *A. omorii* 평균 개체수의 42배에 달해 *A. omorii*와의 먹이 경쟁이 충분히 가능했을 것으로 판단된다.

미소플랑크톤(2~20 μm)을 주로 섭식하는 것으로 알려진(Sherr and Sherr 2002) 섬모충류는 3 시기 중 조사 중반부에 우점한 지각류 *E. tergestina*에 대해 음의 영향을 보였으며, 이러한 *E. tergestina*의 분석 결과가 반영되어 전체 중형동물플랑크톤의 개체수 변동에 대해서도 유의한

($p < 0.05$) 상관성을 나타내었다. 장목만에서 요각류 군집을 대상으로 식물플랑크톤의 크기(pico, nano, micro)에 대한 섭식 실험에서 요각류 군집은 소형 식물플랑크톤(micro-phytoplankton; $> 20 \mu\text{m}$)을 선호하여 섭식하는 것으로 나타났다(장 등 미발표자료). 반면에 지각류는 크기가 2~20 μm 에 속하는 미소플랑크톤을 주로 섭식한다고 기존 연구들은 보고하고 있다(Turner et al. 1988; Marazzo and Valentin 2001). 이러한 관점에서 섬모충류는 요각류보다는 선호하는 먹이생물의 크기가 겹치는 지각류(주로 *E. tergestina*)와의 먹이경쟁을 통해 영향을 미친 것으로 해석할 수 있으며 그 영향 정도는 조사 중반부에 강했던 것으로 판단된다.

이상의 연구 결과들을 요약하면, 여름철 장목만에서 잦은 강우로 인해 저염분(22.2~28.4 psu)의 환경이 조성되었고, 이에 따라 염분 변화에 내성이 강한 광염성의 종들이 우점하는 양상을 보였다. 물리·생물적 환경요인 가운데 수온, *N. scintillans*, 섬모충류가 전체 중형동물플랑크톤 개체수 변동에 유의한 영향을 미친 요인으로 분석되었다. 이 가운데 *N. scintillans*는 먹이경쟁을 통해 가장 유의하게($p < 0.001$) 영향을 미친 요인이었으며, 요각류 *A. omorii*는 *N. scintillans*와 중형동물플랑크톤의 분석 결과에 가장 기여하였다. 이러한 해석의 신뢰성을 좀 더 높이기 위해서는 *N. scintillans*의 섭식물과 성장률 실험을 병행한 조사가 향후 실시되어야 할 것이다.

사 사

현장 시료채집과 분석에 도움 준 한국해양연구원 남해 연구소 부유생물팀원들과 미흡한 논문을 세밀히 교정해주신 심사위원님들께 깊이 감사드립니다. 본 연구는 한국해양연구원 연구사업인 “남해안 빈산소 해역의 관리를 위한 생태계 반응 연구(PE98521)”와 “남해연구소 시험어장 운영(E401080)”의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

강영실, 박주석, 이삼석, 김학균, 이필용 (1996) 진해만 수질 환경과 동물플랑크톤 군집 및 요각류 분포 특성. 한국수산학회지 **29**:415-430

김영옥, 장민철 (2008) 남해 거제도 장목만에서 부유성 섬모충의 시기별 분포 특성. Ocean and Polar Res **30**:419-426

문성용, 윤호섭, 서호영, 최상덕 (2006) 가막만 동물플랑크톤 군집의 변동특성과 환경요인. Ocean and Polar Res **28**:79-94

유정규, 윤석현, 최중기 (2006) 인천 연안에서 요각류 *Acartia hongii* 춘계 개체군 형성의 영향 요인. 한국해양학회지

「바다」 **11**:108-116

장민철, 김웅서 (1998) 1996년 춘계 황해의 동물플랑크톤 분포와 환경특성. Ocean Res **20**:19-28

장민철, 장풍국, 신경순, 박동원, 장만 (2004) 광양만 동물플랑크톤 군집의 계절 변화. 한국환경생물학회지 **22**:11-29

장민철, 장풍국, 이재도, 신경순 (2002) 거제 장목 marine station에서 단주기 관측을 통한 동물플랑크톤 군집의 천이과정 연구. 한국해양학회 2002년도 추계 학술발표대회 요약집, 132 p

한국해양연구원 (2004) 단주기 관측을 이용한 해양 환경변화에 따른 부유생태계 변화 연구. 한국해양연구원, BSPE88600-1698-3, 66 p

Aladin NV, Potts WTW (1995) Osmoregulatory capacity of the Cladocera. J Comp Physiol B **164**:671-683

Atkinson A (1996) Subarctic copepods in an oceanic, low chlorophyll environment: ciliate predation, food selectivity and impact on prey populations. Mar Ecol Prog Ser **130**:85-96

Attrill MJ (2002) A testable linear model for diversity trends in estuaries. J Animal Ecol **71**:262-269

Beaugrand G (2004) The North Sea regime shift: evidence, causes, mechanisms and consequences. Prog Oceanogr **60**:245-262

Bone Q, Kapp H, Pierrot-Bults AC (1991) Introduction and relationships of the group. In: Bone Q, Kapp H, Pierrot-Bults AC (eds) The biology of chaetognaths. Oxford University Press, New York, pp 1-4

Bonnet D, Frid CLJ (2004) Seven copepod species considered as indicators of water-mass influence and changes: results from a Northumberland coastal station. ICES J Mar Sci **61**:485-491

Bouvy M, Pagano MM, Boup M, Gop P, Troussellier M (2006) Functional structure of microbial food web in the Senegal River Estuary (West Africa): impact of metazooplankton J Plankton Res **28**:195-207

Buskey EJ (1995) Growth and bioluminescence of *Noctiluca scintillans* on varying algal diets. J Plankton Res **17**:29-40

Calliari D, Andersen Borg MC, Thor P, Gorokhova E, Tiselius P (2008) Instantaneous salinity reductions affect the survival and feeding rates of the co-occurring copepods *Acartia tonsa* Dana and *A. clausi* Giesbrecht differently. J Exp Mar Ecol **362**:18-25

Calliari D, Andersen MC, Thor P, Gorokhova E, Tiselius P (2006) Salinity modulates the energy balance and reproductive success of co-occurring copepods *Acartia tonsa* and *A. clausi* in different ways. Mar Ecol Prog Ser **312**:177-188

Clarke KR, Gorley RN (2006) PRIMER v6: User manual/

- tutorial, PRIMER-E, Plymouth UK
- Da Rocha CEF (1985) The occurrence of *Pleopis schmackeri* (Poppe) in the southern Atlantic and other marine cladocerans on the Brazilian coast. *Crustaceana* **49**:202-204
- Daan R (1987) Impact of egg predation by *Noctiluca miliaris* on the summer development of copepod populations in the southern North Sea. *Mar Ecol Prog Ser* **37**:9-17
- Egloff DA, Fofanoff PW, Onbé T (1997) Reproductive biology of marine cladocerans. *Adv Mar Biol* **31**:79-167
- Elbrachter M, Qi ZY (1998) Aspect of *Noctiluca* (Dinophyceae) population dynamics. In: Anderson DM, Cembella AD, Hallegraeff MG (eds) *Physiological ecology of harmful algal blooms*, NATO ASI Series, vol G41. Springer-Verlag, Berlin, pp 315-335
- Gifford SM, Rollwagen-Bollens GC, Bollens SM (2007) Mesozooplankton omnivory in the upper San Francisco Estuary. *Mar Ecol Prog Ser* **348**:33-46
- Greenwood A, O'Riordan RM, Barnes DKA (2001) Seasonality and vertical zonation of zooplankton in a semi-enclosed sea lough. *J Mar Biol Assoc UK* **81**:213-220
- Islam MS, Hibino M, Tanaka M (2006) Distribution and diets of larval and juvenile fishes: influence of salinity gradient and turbidity maximum in a temperate estuary in upper Ariake Bay, Japan. *Estuar Coast Shelf Sci* **68**:62-74
- Kaartvedt S, Aksnes DL (1992) Does freshwater discharge cause mortality of fjord-living zooplankton? *Estuar Coast Shelf Sci* **34**:305-313
- Kirchner M, Sahling G, Uhlig G, Gunkel W, Klings KW (1996) Does the red tide-forming dinoflagellate *Noctiluca scintillans* feed on bacteria? *Sarsia* **81**:45-55
- Lang WH, Ackenhusen-Johns A (1981) Seasonal species composition of barnacle larvae (Cirripedia: Thoracica) in Rhode Island waters, 1977-1978. *J Plankton Res* **3**:567-575
- Lee SH, Choi JK (2008) Distribution pattern of zooplankton in the Han River estuary with respect to tidal cycle. *Ocean Sci J* **43**:135-146
- Lee SY, Choi CI, Suh Y, Mukai H (2005a) Seasonal variation in morphology, growth and reproduction of *Zostera caespitosa* on the southern coast of Korea. *Aquat Bot* **83**:250-262
- Lee WJ, Shin K, Jang PG, Jang MC, Chang M, Park NJ (2005b) Summer pattern of phytoplankton distribution at a station in Jangmok Bay. *Ocean Sci J* **40**:109-117
- Marazzo A, Valentin JL (2001) Spatial and temporal variations of *Penilia avirostris* and *Pseudevadne tergestina* (Crustacea, Branchiopoda) in a Tropical Bay, Brazil. *Hydrobiologia* **445**:133-139
- Mauchline J (1998) The biology of calanoid copepods. *Adv Mar Biol* **33**:1701
- Miyaguchi H, Fujiki T, Kikuchi T, Kuwahara VS, Toda T (2006) Relationship between the bloom of *Noctiluca scintillans* and environmental factors in the coastal waters of Sagami Bay, Japan. *J Plankton Res* **28**:313-324
- Nakamura Y (1998) Biomass, feeding and production of *Noctiluca scintillans* in the Seto Inland Sea, Japan. *J Plankton Res* **20**:2213-2222
- Nomura H, Aihara K, Ishimaru T (2007) Feeding of the chaetognath *Sagitta crassa* Tokioka in heavily eutrophicated Tokyo Bay, Japan. *Plankton Benthos Res* **2**:120-127
- Ohman MD, Runge JA (1994) Sustained fecundity when phytoplankton resources are in short supply: omnivory by *Calanus finmarchicus* in the Gulf of St. Lawrence. *Limnol Oceanogr* **39**:21-36
- Omorii M, Ikeda T (1984) *Methods in marine zooplankton ecology*. John Wiley & Sons, New York, 25 p
- Onbé T (1974) Studies on the ecology of marine cladocerans. *J Fac Fish Anim Husb, Hiroshima Univ* **13**:83-179
- Parsons TR, Maita Y, Lalli CM (1984) *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press, Oxford, 173 p
- Quevedo M, Gonzalez-Quiros R, Anadon R (1999) Evidence of heavy predation by *Noctiluca scintillans* on *Acartia clausi* (Copepoda) eggs off the central Cantabrian coast (NW Spain). *Oceanol Acta* **22**:127-31
- Rippingale RJ, Hodgkin EP (1977) Food availability and salinity tolerance in a brackish water copepod. *Aust J Mar Freshwater Res* **28**:1-7
- Sherr EB, Sherr BF (2002) Significance of predation by protists in aquatic microbial food webs. *Antonie Van Leeuwenhoek* **81**:293-308
- Soetaert K, Herman PMJ (1994) One foot in the grave: zooplankton drift into the Westerschelde estuary (The Netherlands). *Mar Ecol Prog Ser* **105**:19-29
- Stoecker DK, Capuzzo JM (1990) Predation on protozoa: its importance to zooplankton. *J Plankton Res* **12**:891-908
- Strom SL (2001) Light-aided digestion, grazing and growth in herbivorous protists. *Aquat Microb Ecol* **23**:253-261
- Turner JT, Roff JC (1993) Trophic levels and trophospecies in marine plankton: lessons from the microbial food web. *Mar Microb Food Webs* **7**:225-248
- Turner JT, Tester PA, Ferguson RL (1988) The marine cladoceran *Penilia avirostris* and the microbial loop of pelagic food webs. *Limnol Oceanogr* **33**:245-255

- Uye S (1981) Fecundity studies of neritic calanoid copepods *Acartia clausi* Giesbrecht and *A. steueri* Smimov: a simple empirical model of daily egg production. J Exp Mar Biol Ecol **50**:255-271
- Vinas MD, Ramírez FC, Santos BA, Marrari M (2007) Spatial and temporal distribution patterns of Cladocera in the Argentine Sea. Hydrobiologia **594**:59-68
- Yilmaz IN, Okus E, Yuksek A (2005) Evidences for influence of a heterotrophic dinoflagellate (*Noctiluca scintillans*) on zooplankton community structure in a highly stratified basin. Estuar Coast Shelf Sci **64**:475-485
- Yoon SH, Choi JK (2003) Seasonal changes in zooplankton community in the coastal waters off Incheon. J Korean Soc Oceanogr **38**:111-121
-
- Received Nov. 23, 2009
Revised Jan. 13, 2010
Accepted Feb. 20, 2010