Article

반 폐쇄된 무안만 중형동물플랑크톤 군집의 계절 변동

문성용^{1,2} · 서민호² · 신용식³ · 서호영^{2*}

¹강릉원주대학교 자연과학대학 생물학과
(210-702) 강원도 강릉시 강릉대학로 120

²전남대학교 수산해양대학 해양기술학부
(550-749) 전남 여수시 미평로 386

³목포해양대학교 해양공과대학 해양시스템공학부
(530-729) 전남 목포시 해양대학로 91

Seasonal Variation of Mesozooplankton Communities
in the Semi-enclosed Muan Bay, Korea

Seong Yong Moon^{1,2}, Min Ho Seo², Yongsik Shin³, and Ho Young Soh^{2*}

¹Department of Biology, College of Natural Science, Gangneung-Wonju National University
Gangneung 210-702, Korea

²Division of Marine Technology, College of Fisheries and Ocean Science, Chonnam National University
Yeosu 550-749, Korea

³Division of Ocean System Engineering, Mokpo National Marine University
Mokpo 530-729, Korea

Abstract : We investigated seasonal changes in the mesozooplankton community structure in November 2006 and February, May, and August 2007 at 12 stations in the semi-enclosed Muan Bay, Korea. Forty taxa were sampled, with an average abundance ranging from 1,459 to 20,078 indiv. m⁻³; the highest abundance was detected in August 2007, and the lowest in February 2007. *Acartia omorii*, *A. hudsonica*, *A. ohtsukai*, *Bestiolina coreana*, *Calanopia* sp., *Paracalanus parvus* s. l., Cirripedia larvae, Decapoda larvae, and Gastropoda larvae were the most abundant taxa detected. The species diversity of the mesozooplankton was high around the inner regions in August 2007 but it was relatively low in November 2006. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) revealed significant differences in the structure of mesozooplankton community among the seasons. Canonical correspondence analysis (CCA), performed to examine the relationships among dominant taxa, stations, and environmental variables, showed that most species of copepods were positively correlated with temperature, salinity, chlorophyll a, and COD concentration. Our results suggested that the mesozooplankton community structure observed in this study might be affected partly by the seasonal changes in environmental variables, such as the status of the sluice gates (i.e., open or closed) and the *in situ* production of resting eggs by major copepods.

Key words : Muan Bay, mesozooplankton community, nMDS, CCA, sluice gates

*Corresponding author. E-mail : hysoh@chonnam.ac.kr

1. 서 론

서해 남서부에 위치한 무안만은 무안반도와 압해도로 둘러싸인 좁고 규모가 작은 수로 형태의 반 폐쇄된 내만으로 조석은 만일주조와 일조부등을 나타내며(류 등 2000), 만 안쪽은 빠른 유속 때문에 지형적으로 와류가 발생하고 만 입구쪽은 영산강 방조제 수문 개방시 담수의 영향을 지속적으로 받고 있다(이 등 2003; Ryu et al. 2004). 무안만은 수심이 20 m 내외인 전형적인 천해역으로 김 양식, 패류 양식, 낙지 연승어업이 활발하게 이루어지고 있는 생물생산력이 높은 해역이지만(이 등 2003; 국토해양부 2008), 1970년대 이후부터 시작된 대규모 영산강유역 농업종합개발에 따라 영산강 하구둑 조성으로 크고 작은 방조제가 건설되면서 갯벌 면적의 감소와 함께 해양 환경이 지속적으로 변화하고 있다(류 등 2000; 이 등 2003; 지 등 2008). 특히 무안만 안쪽에는 3개의 방조제(창포, 복길, 구일)가 있어 풍수기에 수문이 일시적으로 개방되면 다량의 담수 유입으로 인한 일시적인 염분의 감소와 부유물질의 증가로 투명도 감소가 초래되어 일시적인 식물플랑크톤 성장을 저해시키고 담수에 포함된 다량의 영양염류 유입은 빈번한 식물플랑크톤 대발생(bloom)의 원인이 되기도 한다(이 등 2003; 지 등 2008). 아울러 장마기간 동안 많은 비가 내리면 영산강 하구둑을 일시적으로 개방하면서 많은 양의 담수가 무안만 남쪽 수로를 중심으로 유입되면 해역에 따라서 저염분화 현상과 다량의 영양염류가 일시적으로 유입되어 만 내에는 부영양화가 발생할 가능성을 배제할 수 없다(이 등 2003; 전 등 2011). 해역의 부유물질 증가와 식물플랑크톤의 빈번한 대발생은 빛의 흡수를 막아 식물플랑크톤 광합성과 성장을 제한하며(Kirk 1994; Nakamura and Hirata 2006), 결과적으로 식물플랑크톤의 종조성과 현존량에 영향을 주어 이를 주 먹이로 하는 중형동물플랑크톤 군집에도 영향을 줄 수 있다는 점은 익히 알려진 사실이다(Durbin and Durbin 1981; Ambler et al. 1985; Nakamura and Hirata 2006).

해양생태계에서 중형동물플랑크톤은 기초생산자로부터 얻어진 에너지를 고차소비자까지 연결하는 중간고리 역할을 담당하고 있어 해역의 생물생산 잠재력을 가늠하기 위해서는 중형동물플랑크톤 군집연구가 필수적이며, 이들 군집은 기초적으로 계절에 따른 수온과 염분, 그리고 식물플랑크톤 현존량(Calbet 2001; Badylak and Philips 2008)에 의해 조절된다. 그러나 반 폐쇄된 무안만과 같은 해역에서는 이들 환경과 함께 비가 많이 내리는 시기에는 주변에 건설된 방조제의 영향으로 일시적으로 표영생태계가 불안정하게 유지될 가능성이 높아 이 곳의 중형동물플랑크톤 군집에 대한 연구는 반드시 필요하다. 그럼에도 불구하고 현재까지 무안만을 대상으로 한 연구들은 생지화학

적 연구(류 등 2000; 이 등 2003; Ryu et al. 2004)와 식물플랑크톤 크기구조의 계절변동(지 등 2008)에 대해서만 제한적으로 수행되었다. 따라서 이번 연구에서는 반 폐쇄된 무안만에서 계절조사를 통하여 얻어진 중형동물플랑크톤에 대해서 종 조성, 계절별 군집구조, 그리고 군집에 영향을 주는 환경인자와 주요 분류군과의 상호연관성을 파악하여 무안만의 표영생태계를 이해하고자 한다. 이로부터 얻어진 자료들은 차후 무안만에서 진행되는 중형동물플랑크톤 연구의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 재료 및 방법

환경요인 조사 및 분석

현장조사는 무안만 모든 해역을 대상으로 12개 정점을 선정하여 2006년 11월, 2007년 2월, 5월, 8월에 걸쳐 계절조사를 실시하였다(Fig. 1). 수온과 염분은 각 정점에서 CTD (Alec Co., Acl 1151-DK)를 사용하여 측정하였다. 화학적산소요구량(COD)은 알칼리성 과망간산칼륨법으로 분석하였다(해양수산부 2002). 각 정점에서 채수한 시료 중 각각 200 ml를 GF/F 여과지(직경 25 mm, Whatman®, pore size 0.7 μ m)를 이용하여 거른 후 GF/F 여과지는 엽록소 a 농도 분석을 위해 냉동하였다. 엽록소 a 농도는 보관된 GF/F 여과지를 90% 아세톤 10 ml가 담긴 차광시험관에 넣고 12시간 지난 후 24시간 이내에 Fluorometer (Turner Designs® 10-AU)를 사용하여 측정하였다(Parsons et al. 1984).

중형동물플랑크톤 채집과 동정

중형동물플랑크톤 채집은 원추형 네트(망구 직경 45 cm, 망목 크기 200 μ m)를 이용하여 12개 정점에서 정점별 수심을 고려하여 경사 끌기와 수평 끌기를 병행하였다. 각 정점에서 채집된 시료는 최종 농도가 5%가 되게 중성 포르말린으로 고정하였다. 시료의 정량분석을 위하여 네트 입구에 유량계(General Oceanics Co. Model 2030)를 부착하여 여과 해수량을 산출하였다. 중형동물플랑크톤의 종 조성 및 출현 개체수 분석 시 시료의 분할이 필요할 때는 Folsom식 부차 시료기를 이용하여 시료를 분할 후, UNESCO식 계수판에 옮긴 후 계수하였다. 중형동물플랑크톤 중 동정은 해부현미경(Nikon SMZ 1000)과 광학현미경(Nikon ECLIPSE 80i)을 사용하여 주로 요각류를 중심으로 시행하였으며, 요각류, 모악류, 지각류, *Okiopleura dioica*(미충류)를 제외한 분류군은 목(order) 수준까지 분류 계수하였다. 요각류를 대상으로 종을 동정하는 과정에 더욱 세밀한 관찰이 필요한 경우는 동정에 필요한 부속지를 해부하여 고배율 광학현미경(Nikon ECLIPSE 80i) 하에서 관찰하였다. 계수된 시료는 유량계로 산출된 여과 해

Fig. 1. Map showing the sampling stations in the semi-enclosed Muan Bay

수량 값을 이용하여 단위체적 당 개체수(개체 m^{-3})로 환산하였다. 중형동물플랑크톤의 주요 분류군의 종 동정과 학명에 대한 분류체계는 Chihara and Murano (1997), Soh and Suh (2000), Boxshall and Halsey (2004), Ueda and Bucklin (2006), Moon et al. (2010), 그리고 Appeltans et al. (2010)을 따랐다. 중형동물플랑크톤 정량분석은 분류군별 개체수와 출현 빈도, 그리고 정점별 개체수로 표현하였다.

자료 분석

중형동물플랑크톤 군집의 계절별 종 다양성을 파악하기 위해 종 다양성 지수(H')를 구하였다(Shannon and Weaver 1963). 중형동물플랑크톤의 계절 군집을 파악하기 위해서 전체 출현 개체수를 바탕으로 순위를 정한 후 출현 빈도가 전체 상위 1% 이상 출현한 분류군을 선택 후 다변량 분석법인 분류법(classification)과 배열법(ordination)을 이용하여 군집분석을 수행하였다. 군집분석에 대한 분류군의 출현 개체수 자료는 조사시기와 종간의 심한 개체군 밀도 차이에 의한 자료의 편중을 피하고 대상자료의 분포를 정규화하기 위하여 로그($\log x + 1$) 지수로 변환한 자료

를 이용하였다. 중형동물플랑크톤 군집의 정점 간 유사도 측정을 위해 Bary-Curtis 유사도 지수를 토대로 비가중 산술평균(UPGMA)에 의하여 군집화하는 계보적 집괴분석(hierarchical cluster analysis)을 시행하여 nMDS(non-metric multidimensional scaling) 배열법으로 군집분석을 수행하였다. 군집분석의 결과로 구분된 각 군집 간의 유의한 차이를 확인하기 위해 one-way ANOSIM 분석과 각 군집에 영향을 미치는 분류군을 파악하기 위해 SIMPER(similarity-percentages procedure) 분석을 수행하였으며, 자료분석은 PRIMER(version 6.1.6) software를 이용하여 분석하였다(Clarke and Warwick 2001).

중형동물플랑크톤과 환경요인 사이에 상호관계를 파악하기 위하여 정준대응분석(Canonical correspondence analysis: CCA)을 CANOCO(version 4.5) software를 이용하여 분석하였다(ter Braak and Šmilauer 2002). 이 분석법은 대상 분류군의 출현 개체수 자료를 근거하여 유사성 거리를 계산하여 배열함으로써 각 분류군의 배열과 측정된 환경요인과의 상호관계를 모형을 도면화시켜 중형동물플랑크톤 주요 분류군들과 환경요인들과의 관계를 설명하

는데 효과적으로 사용되고 있는 다변량 통계분석 기법이 다(Ter Braak 1988; Soetaert and Rijswijk 1993; Albaina et al. 2009).

3. 결 과

환경요인

연구기간 동안 수온은 7.2-28.3의 범위였으며, 2007년 2월에 평균 7.4로 가장 낮았고 8월에 평균 27.3로 가장 높았다(Fig. 2). 공간적으로는 대부분 만의 중앙부에서 높게 나타났다(Fig. 3). 염분은 15.3-32.2 psu 범위로, 2007년 8월에 평균 25.9 psu로 가장 낮았고, 5월에 평균 32.1 psu로 가장 높았다(Fig. 2). 공간적으로는 만 북부에서 중앙부로 갈수록 높게 나타났다(Fig. 4). 화학적산소요구량은 평균 1.54-5.6 mg l⁻¹의 범위로 2007년 8월에 가장 높았다(Fig. 2). 공간적으로는 계절에 따라 큰 차이는 보이지 않았지만, 만 북부 해역과 중앙부 해역의 정점들에서 비교적 높게 관측되었다(Fig. 5). 엽록소 a 농도는 1.2-10.1 µg l⁻¹의 범위였으며, 계절별 평균 엽록소 a 농도는 2006년 11월에 1.5 µg l⁻¹로 가장 낮았고, 2월에 6.3 µg l⁻¹로 가장 높게 나타났다(Fig. 2). 공간적으로는 5월을 제외한 조사시기에 만의 북부 해역에서 높게 나타났다(Fig. 6).

출현 분류군 수, 출현 개체수 및 종 다양성 지수

연구기간에 출현한 중형동물플랑크톤은 지각류, 요각류, 모악류, 따개비류 유생, 미충류 등 모두 40개 분류군이었

다(Table 1). 출현 분류군 수는 16-40개 범위였으며, 전반적으로 2007년 8월에 높고 2월에 낮게 나타났다(Fig. 7). 이들 분류군 중 요각류는 모두 27종, 지각류, 모악류, 미충류가 각 1종씩 출현하였다. 출현 개체수는 352-52,267개체 m⁻³의 범위로 시공간적으로 큰 차이를 보였다. 평균 출현 개체수는 1,459-20,078개체 m⁻³의 범위였으며, 2007년 2월에 가장 낮았고 2007년 8월에 가장 높게 나타났다(Fig. 7). 종 다양성 지수는 0.51-2.02의 범위로 2007년 2월에 정점 3에서 가장 낮았고 2006년 11월에 정점 4에서 가장 높았다. 평균 종 다양성 지수는 1.01-1.69의 범위로 2007년 2월에 낮았고 8월에 높게 나타났다(Fig. 7).

계절별 출현 빈도와 공간 분포

중형동물플랑크톤 출현 개체수는 2006년 11월에 481-7,380개체 m⁻³의 범위로 정점 1에서 가장 높았으며, 정점 12에서 가장 낮았다. 출현 빈도에서는 요각류가 모든 정점에서 70% 이상으로 최상위 분류군이었으며, 미충류가 그 뒤를 이었다(Fig. 8a). 2007년 2월에는 352-6,374개체 m⁻³의 범위로 정점 3에서 가장 높았다. 이 시기의 출현 빈도는 11월에 출현하였던 미충류의 출현 빈도가 극히 낮아졌지만, 요각류의 출현 빈도가 모든 정점에서 90% 이상으로 극우점하였다(Fig. 8b). 5월에는 658-9,250개체 m⁻³의 범위로 정점 2에서 가장 높았고 일부 정점의 출현 개체수가 2월보다 소폭 상승하였다. 출현 빈도에서는 요각류의 출현 빈도가 다소 낮아지면서 따개비 유생의 출현 개체수와 연체류 유생의 출현 빈도가 높아졌다(Fig. 8c).

Fig. 2. Seasonal variation in environmental variables in the semi-enclosed Muan Bay. Data are expressed as means with the standard deviation indicated by error bars

Fig. 3. Spatial and seasonal distribution of temperature in the semi-enclosed Muan Bay: (a) November 2006, (b) February 2007, (c) May, and (d) August

Fig. 4. Spatial and seasonal distribution of salinity in the semi-enclosed Muan Bay: (a) November 2006, (b) February 2007, (c) May, and (d) August

Fig. 5. Spatial and seasonal distribution of chemical oxygen demand concentration in the semi-enclosed Muan Bay: (a) November 2006, (b) February 2007, (c) May, and (d) August

Fig. 6. Spatial and seasonal distribution of chlorophyll a concentration in the semi-enclosed Muan Bay: (a) November 2006, (b) February 2007, (c) May, and (d) August

Table 1. List of mesozooplankton occurred in the semi-enclosed Muan Bay

Hydrozoa	
unid. Trachymedusae	unid. Leptomedusae
Chaetognatha	
<i>Aidanosagitta crassa</i> (Tokioaka, 1938)	
Cladocera	
<i>Pseudevadne tergestina</i> (Claus, 1877)	
Copepoda	
<i>Acartia</i> (<i>Acartiura</i>) <i>hongii</i> Soh & Suh, 2000	<i>Acartia</i> (<i>Acartiura</i>) <i>hudsonica</i> Pinhey, 1926
<i>Acartia</i> (<i>Odontacartia</i>) <i>ohtsukai</i> Ueda & Bucklin, 2006	<i>Acartia</i> (<i>Acanthacartia</i>) <i>sinjiensis</i> Mori, 1940
<i>Bestiolina coreana</i> Moon, Lee & Soh, 2010	<i>Calanopia</i> sp.
<i>Calanus sinicus</i> Brodsky, 1962	<i>Centropages abdominalis</i> Sato, 1913
<i>Centropages dorsispinatus</i> Thompson & Scott, 1903	<i>Centropages tenuiremis</i> Thompson I.C. & Scott A., 1903
<i>Eurytemora pacifica</i> Sato, 1913	<i>Labidocera euchaeta</i> Giesbrecht, 1889
<i>Labidocera pavo</i> Giesbrecht, 1889	<i>Labidocera rotunda</i> Mori, 1929
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	<i>Parvocalanus crassirostris</i> (Dahl F., 1894)
<i>Paracalanus aculeatus</i> Giesbrecht, 1888	<i>Pseudodiaptomus inopinus</i> Burckhardt, 1913
<i>Tortanus dextrilobatus</i> Chen & Zhang, 1965	<i>Tortanus discaudatus</i> (Tompson & Scott, 1897)
<i>Corycaeus affinis</i> McMurrich, 1916	<i>Oithona</i> spp.
<i>Acartia</i> copepodites	Calanoids copepodites
<i>Hemicyclops</i> copepodite ^a	unid. Harpacticoids
Appendicularia	
<i>Oikopleura</i> (<i>Vexillaria</i>) <i>dioica</i> Fol, 1872	
Others	
Decapoda larvae	Euphausiid larvae
Cirripedia larvae	Squilla larvae
Isopoda larvae	Bivalvia larvae
Gastropoda larvae	Polychaeta larvae
Fish eggs & larvae	

^aPlanktonic copepodid stage of a symbiotic copepod

8월의 중형동물플랑크톤 출현 개체수는 5,716-52,267개체 m^{-3} 범위로 정점 3에서 가장 높았다. 출현 빈도는 요각류가 5월보다 다소 높아져 최우점하였고, 따개비 유생과 연체류 유생의 출현 개체수와 출현 빈도가 다소 높아졌다 (Fig. 8d).

군집 분석

연구기간에 각 정점에서 출현한 중형동물플랑크톤의 출현 개체수 자료를 바탕으로 nMDS 배열법으로 군집 분석을 수행한 결과 뚜렷한 계절 군집으로 구분되었으며 (Fig. 9), 각 군집간에 모두 유의한 차이를 나타냈다 ($r = 0.989$, $p < 0.001$). 중형동물플랑크톤의 계절 군집에 영향을 주는 분류군을 파악하기 위해 SIMPER 분석을 수행하여 각 군집의 기여율이 70% 이상인 분류군을 선별한 결과 계절 군집에 따라서 대부분 연안성과 기수성 요각류, 따개비 유

생, 연체류 유생이 주요 분류군이었다 (Table 2). 2006년 11월 군집에 영향을 미치는 주요 분류군으로는 *Acartia* (*Acartiura*) *hongii*, *Paracalanus parvus* s. l., *Oithona* spp., 따개비 유생, 미충류 순으로 나타났다. 2007년 2월에는 *Acartia* (*Acartiura*) *hudsonica*, *Eurytemora pacifica*, 저서성 요각류 순으로 군집에 대한 기여율이 높았으며, 5월에는 *A. hongii*, *A. hudsonica*, *E. pacifica*, 따개비 유생, 십각류 유생이 군집에 대한 기여율이 높았다. 8월에는 사계절 동안 가장 다양한 분류군이 이 시기의 군집에 영향을 주었으며, 특히 이 시기에는 요각류 *Acartia* (*Odontacartia*) *ohtsukai*, *Bestiolina coreana*와 함께 연체류와 이매패류의 유생이 만 안쪽에서 국한되어 출현하였다.

주요 분류군의 계절 및 공간 분포

연구기간 동안 우점한 주요 분류군의 계절 및 공간 분포

Fig. 7. Seasonal variation in the number, abundance, and species diversity (H') of taxa in the semi-enclosed Muan Bay. Data are expressed as means with the standard deviation indicated by error bars

를 살펴보았다(Fig. 10). *Acartia hongii*는 평균 141-1,336 개체 m^{-3} 의 범위로 연구기간 동안 모두 출현하였고 출현 개체수는 2007년 5월에 가장 높았으며(Fig. 10a), 공간적으로는 5월에 정점 10에서 가장 높게 나타났다(Fig. 10b). 8월에 출현하지 않은 *A. hudsonica*는 5월에 평균 1,567개체 m^{-3} 로 가장 높았고(Fig. 10c), 공간적으로는 2월(정점 2)과 5월(정점 3)에 높게 나타났다(Fig. 10d). 2월에 출현하지 않은 *A. ohtsukai*는 8월에 평균 4,046개체 m^{-3} 로 높은 출현 개체수를 보였다(Fig. 10e). 공간적으로는 8월에 정점 3에서 가장 높은 출현 개체수를 나타냈다(Fig. 10f). 2006년 11월과 2007년 8월에만 국한하여 출현하는 *Bestiolina coreana*는 8월에 평균 2,614개체 m^{-3} 로 *A. ohtsukai*와 함께 높은 출현 개체수를 나타냈다(Fig. 10g).

Fig. 8. Seasonal and spatial variation in mesozooplankton abundance and composition in the semi-enclosed Muan Bay: (a) November 2006, (b) February 2007, (c) May, and (d) August

공간적으로는 8월에 만 전체에 걸쳐 출현하였고, 만 중앙부에 있는 정점들에서 높은 출현 개체수를 보였다(Fig. 10h). *Eurytemora pacifica*는 5월에 평균 566개체 m^{-3} 의 출현 개체수를 보였으며(Fig. 10i), 공간적으로는 5월에 정점 4에서 가장 높은 출현 개체수를 나타냈다(Fig. 10j). *Calanopia* sp.는 주요 분류군 중 8월에 평균 721개체 m^{-3} 를 보였으며(Fig. 10k), 공간적으로는 8월에 정점 12에서

Fig. 9. Dendrogram for hierarchical clustering and nMDS ordination plot for mesozooplankton communities based on Bray-Curtis similarities of log (X+1)-transformed mesozooplankton abundance data obtained at 12 sampling sites in the semi-enclosed Muan Bay during the study period: (a) November 2006, (b) February 2007, (c) May, and (d) August

높게 나타났다(Fig. 10l). *Paracalanus parvus* s. l.은 8월에 평균 1,606개체 m^{-3} 의 출현 개체수를 보였으며(Fig. 10m), 공간적으로는 8월에 만 서쪽 수로에 있는 정점(정점 12)에서 높은 출현 개체수를 나타냈다(Fig. 10n). 사계절에 출현한 따개비 유생은 5월에 평균 1,891개체 m^{-3} 의 높은 출현 개체수를 보였으며(Fig. 10o), 공간적으로는 5월에 정점 1에서 가장 높은 출현 개체수를 나타냈다(Fig.

10p). 십각류 유생은 8월에 평균 769개체 m^{-3} 의 출현 개체수를 보였고(Fig. 10q), 공간적으로는 8월에 정점 3과 6에서 출현 개체수가 높게 나타났다(Fig. 10r). 연체류 유생은 5월과 8월에 출현하였으며, 8월에는 평균 6,598개체 m^{-3} 로 높은 출현 개체수를 보였고(Fig. 10s), 공간적으로는 8월에 십각류 유생과 비슷하게 만 중앙부 정점들에서 높은 출현 개체수를 보였다(Fig. 10t).

Table 2. Dominant taxa contributing >70% to the relative abundance of each cluster of the study period in semi-enclosed Muan Bay, with resulted from a hierarchical clustering and nMDS ordination plot

Dominant taxa	Cluster level Group			
	Group-A (Autumn)	Group-B (Winter)	Group-C (Spring)	Group-D (Summer)
<i>Acartia (Acartiura) hongii</i>	13.9		14.8	
<i>Acartia (Acartiura) hudsonica</i>		33.5	16.7	
<i>Acartia (Odontacartia) ohtsukai</i>				12.2
<i>Bestiolina coreana</i>				10.4
<i>Eurytemora pacifica</i>		21.9	13.4	
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	19.5			6.9
<i>Oithona</i> spp.	12.5			
<i>Acartia</i> copepodites				11.1
unid. Harpacticoids		29.1		
unid. Cirripedia larvae	10.7		20.5	4.6
unid. Decapoda larvae			11.5	8.9
unid. Euphausiid larvae	6.7			
unid. Gastropoda larvae				12.9
unid. Bivalvia larvae				6.9
<i>Oikopleura (Vexillaria) dioica</i>	13.1			
Cumulative contribution (%)	76.4	84.5	76.9	73.9

환경요인과 주요 분류군의 상관성

무안만에서 모든 연구기간 동안 측정된 환경요인과 주요 분류군과의 상호관계를 확인하기 위하여 CCA 분석을 실시하였다(Fig. 11). 주요 분류군에 대한 환경요인의 상관성은 제1축과 2축에서 89% 이상으로 나타났으며, 이들에 영향을 주는 환경요인들이 90% 이상을 설명하였다. 8월에 정점 12에서 극우점 한 *Calanopia* sp.의 출현 개체수 변동에는 COD와 강한 양(+)의 상관성을 보였고 엽록소 a 농도와는 음(-)의 상관성을 나타냈다. *A. ohtsukai*, 십각류 유생, 따개비 유생의 출현 개체수 변동에는 수온과 양의 상관성을 엽분과 음의 상관성을 나타냈다. *Acartia hongii*와 *A. hudsonica*의 출현 개체수 변동에는 엽분과 양의 상관성을 수온과는 음의 상관성을 나타냈다. 그러나 연중 출현하면서 무안만 중형동물플랑크톤의 2006년 11월과 8월 군집에 기여를 준 *P. parvus* s. l.은 환경요인과 뚜렷한 상관성을 보이지 않았으며, 2월과 5월 군집에 기여를 준 *E. pacifica*는 엽록소 a 농도와 양의 상관성을 나타냈다. 분석된 환경요인과 주요 분류군의 상관성을 살펴보면 계절적인 수온 변화를 바탕으로 생물학적인 요인인 엽록소 a 농도와 엽분과 같은 물리적 요인들에 의해서 주요 분류군의 출현 개체수 변동에 영향을 미친 것으로 분석되었다.

4. 고찰

반 폐쇄된 무안만 중형동물플랑크톤의 출현 분류군 수

는 지각류, 요각류, 유생류, 미충류를 포함하여 모두 40개 분류군이 출현하였고 출현 개체수는 352-52,267개체 m^{-3} 의 범위로 계절과 공간적으로 큰 차이를 보였다. 무안만의 중형동물플랑크톤의 출현 분류군과 출현 개체수를 채집 네트의 망목크기(200 μm)가 같은 해역을 대상으로 *Noctiluca scintillans*(야광충)를 제외한 후 비교하면 서해의 한강하구역(Youn and Choi 2008)보다 높았고 천수만(Shim and Yun 1990)보다는 낮았다. 종 다양성 지수는 0.51-2.02의 범위로 이 또한 시공간적으로 큰 차이를 보였다. 무안만의 중형동물플랑크톤 중 다양성 지수는 남해 연안해역의 종 다양성 지수(평균 0.87-1.48)와 대체로 비슷한 수준이었고(문 등 2010), 섬진강 기수역의 종 다양성 지수(평균 1.07-1.64)와는 다소 차이를 보였다(문 등 2010). 종 다양성 지수 변동은 복합적인 요인들이 영향을 주는데 특히 조사해역과 정점 수, 계절에 따른 수괴 변동을 들 수 있으며, 반 폐쇄된 해역에서 종 다양성 지수가 낮게 나타난다(Huntly and Boyd 1984). 그러나 무안만은 반 폐쇄된 해역임에도 불구하고 2월에 낮았고 8월에는 높게 나타났다. 이것은 비록 무안만이 반 폐쇄된 해역이긴 하나 2월에서 8월로 갈수록 출현 분류군 수가 증가함과 동시에 이들의 출현 빈도가 일부 우점 분류군에만 제한적이지 않고 비교적 균등하게 출현하고 있다는 점에서 무안만 중형동물플랑크톤의 종 다양성 지수 변동양상을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다.

중형동물플랑크톤 출현 양상은 대부분 연안성 요각류

Fig. 10. Seasonal and spatial variations in the abundance of the dominant taxa. Mean ($\pm$ SD) values represent the abundance data generated from seasonal samples collected from the semi-enclosed Muan Bay: (a, b) *Acartia hongii*, (c, d) *Acartia hudsonica*, (e, f) *Acartia ohtsukai*, (g, h) *Bestiolina coreana*, (i, j) *Eurytemora pacifica*

Acartia (*Acartiura*) *hongii*, *Bestiolina coreana*, *Eurytemora pacifica*, *Paracalanus parvus* s. l., *Oithona* spp., unid. Harpacticoida (미동정 저서성요각류)와 일부 기수성 요각류 *Acartia* (*Acartiura*) *hudsonica*, *Acartia* (*Odontacartia*) *ohtsukai*, 그리고 따개비 유생, 십각류 유생, 난바다곤쟁이 유생, 복족류 유생, 이매패류 유생, 미충류 *Oikopleura*

(*Vexillaria*) *dioica* 등이 출현하였고, 이들 분류군들이 무안만 중형동물플랑크톤 군집에 70% 이상을 차지하는 분류군이였다. 출현 개체수를 바탕으로 nMDS 배열법을 통한 군집분석 결과에서 2006년 11월, 2007년 2월, 5월, 8월으로 4 그룹으로 뚜렷하게 구분되었으며, SIMPER 분석을 실시한 결과에서 2006년 11월에는 *P. parvus* s. l.를 중심으로 *A.*

Fig. 10. (continued). (k, l) *Calanopia* sp., (m, n) *Paracalanus parvus* s. l., (o, p) Cirripedia larvae, (q, r) Decapoda larvae, and (s, t) Gastropods larvae. Data are expressed as means with the standard deviation indicated by error bars

hongii, *O. spp.*, 2월과 5월에는 *A. hudsonica*, *E. pacifica*, 2007년 8월에는 *A. ohtsukai*, *B. coreana*가 중형동물플랑크톤 군집에 기여하는 주요 분류군으로 나타나 계절 군집이 뚜렷하였다.

무안만에서 2월과 5월의 중형동물플랑크톤 군집에서 *E. pacifica*와 함께 기여율이 높은 *A. hudsonica*의 출현 개체수는 2월에 만의 북부 해역에서 높았고 5월에는 만의 북

부와 남쪽 수로 인근 해역에서 높게 나타났다. CCA 분석에서 낮은 염분과 엽록소 a 농도가 높아지면서 *A. hudsonica* 개체군 증가에 긍정적으로 작용하는 것으로 보였는데 특히 2월과 5월에 엽록소 a 농도가 높았던 북부 해역의 일부 정점들에서 대량 증식하는 양상을 보였다. *Acartia hudsonica*는 폐쇄적인 내만과 기수역에만 국한하여 출현하지만(Ueda 1987; 서 등 1991; Youn and Choi 2008), 해

Fig. 11. Relationship between environmental factors and dominant taxa abundance as determined by canonical correspondence analysis (CCA). Aho: *Acartia hongii*, Ahu: *A. hudsonica*, Aoh: *A. ohtsukai*, Bco: *Bestiolina coreana*, Csp: *Calanopia* sp., Epa: *Eurytemora pacifica*, Ppa: *Paracalanus parvus* s. l., Cl: Cirripedia larvae, Dl: Decapod larvae, Gl: Gastropod larvae

역에 따라서 시공간 분포 양상이 다르게 나타난다. 즉, 무안만의 중형동물플랑크톤 2월과 5월의 군집에서 *A. hudsonica*의 개체군이 이 시기에 지속적으로 유지될 수 있는 점은 북부 해역의 지형학적인 특성과 함께 인근의 방조제의 영향을 지속적으로 받고 있음을 시사한다.

2007년 5월과 2006년 11월의 중형동물플랑크톤 군집에서 주요 분류군으로 작용한 *Acartia hongii*는 연구기간 동안 지속적으로 출현하여 수온과 염분 변화의 내성범위가 컸으며, 5월에 만 입구와 북부 해역에서 1,500개체 m^{-3} 이상의 높은 출현 개체수를 보였다. 유 등 (2006)은 인천 연안에 출현하는 *A. hongii*가 봄에 대량 증식하는데 알맞은 수온, 높은 먹이 농도가 일정하게 유지될 때 지속적인 알 생산에 긍정적인 영향을 줄 가능성 있지만 같은 시기에 야광충이 대량 증식하게 되면서 알을 포식하게 되어 부정적인 영향을 줄 수 있음을 시사하였다. *Acartia hongii*가 반 폐쇄적인 무안만에서 5월에 대량 증식한다는 점은 인천 연안(윤과 최 2003; 유 등 2006)과 한강하구역(Youn and Choi 2008)의 연구 결과와 대체로 일치하며, CCA 분석에서도 수온과 염의 상관성을 염분과 염록소 a 농도와는 양의 상관성이 보인다는 점에서 무안만에 출현하는 *A. hongii*가 2월에는 만 입구의 정점에서 개체군이 유지되다가 5월로 넘어오면서 수온 상승과 함께 알맞은 먹이환경이 조성되어 만 입구와 북서부 해역으로 확장하여 개체군의 대량 증식이 이루어져 *A. hudsonica*와 함께 이 시기의 중형동물플랑크톤 군집에 미치는 주요 분류군으로 작용하

는 것으로 생각된다. 또한 5월에 *A. hongii*와 *A. hudsonica*와 함께 중형동물플랑크톤 군집에 기여가 높은 *Eurytemora pacifica*는 저수온기에 하구역과 내만의 부영양화된 해역에서 높은 개체군을 유지하며(박 등 2002; 문 등 2006), 섬진강 하구역에서는 수온 4.4-16.7°C 범위에서 출현하지만(박 등 2002), 시화호에서는 수온 10°C 이상에서는 극히 제한적으로 출현한다(유 등 2010). 그러나 무안만에서 출현하는 *E. pacifica*는 섬진강보다 수온 범위가 높았고 출현 양상은 2007년 2월과 5월에 분포 중심이 개방적인 해역보다는 비교적 폐쇄적인 해역(만 북부 해역)을 중심으로 출현하였고 CCA 분석에서는 염분과 염록소 a 농도와 양의 상관성을 보였다. 이것은 *E. pacifica*가 강내만성이고 휴면란 시기를 거친다는 점(Uye 1985)에서 지형학적으로 반 폐쇄적인 해역인 무안만에서 겨울과 봄에 이들의 휴면란이 부화하여 일시적으로 대량 증식할 수 있는 환경이 조성되면서 중형동물플랑크톤 군집에 기여할 수 있다는 점을 생각해볼 수 있지만 현장에서 이들의 휴면란에 대한 현장조사가 이루어지지 않아 쉽게 예측할 수 없다. 그러나 분명한 것은 *E. pacifica*가 연구기간 동안 방조제의 영향을 지속적으로 받고 있는 북부 해역을 중심으로 출현하였고 일부 정점에서만 대량 증식한다는 점은 휴면란의 일시적으로 부화했을 개연성과 환경이 조성되었음을 충분히 뒷받침해준다.

무안만의 중형동물플랑크톤 계절 군집에서 8월은 가장 다양한 분류군에 의해서 유지가 되었는데 5월에 대량 증

식한 *A. hongii*의 개체군이 급감하면서 북서부 해역(정점 3)을 중심으로 *A. ohtsukai*, 만 중앙부에는 *B. coreana*, 그리고 만 서쪽 수로에는 *P. parvus* s. l.가 높은 개체군이 형성되었다. 이 시기에는 시기적으로 지속된 강우로 인하여 인근 방조제의 수문 개방으로 담수가 유입되어 만 전체적으로 30 psu 이하의 낮은 염분을 보임으로서 고수온과 광염성인 기수성 요각류(주로 *A. ohtsukai*)들이 높은 기여율을 보였다. 서해안과 남해안의 하구역에 걸쳐서 여름에서 가을까지 출현하는 *A. ohtsukai*는 무안만에서 8월에 중형동물플랑크톤 군집에 영향을 주는 주요 분류군이였다. *Acartia ohtsukai*는 한강하구역에서 수온 16.5-25.7°C, 염분 4.4-30.7 psu 범위에서 출현하고 수온 24.6°C와 염분 15.5 psu에서 가장 높게 출현하며(Youn and Choi 2008), 광양만에서는 *A. ohtsukai*가 풍수기 때 염분이 32.0 psu로 낮아지는 2007년 8월에 섬진강의 영향권인 북부해역을 중심으로 출현하는 것으로 알려져 있다(Moon et al. 2008). 무안만에서 출현하는 *A. ohtsukai*는 8월에 수온 28.3°C, 염분 28.2 psu에서 가장 높은 출현 개체수를 보인다는 점에서 기존 연구들과 대체로 일치한다. 사계절 중 5월에는 북부 해역의 정점들에서 낮은 개체군이 유지되다가 8월로 접어들면서 만 전체로 분포 범위가 확장되는 것으로 나타났으며, 특히 정점 3에서 10,000개체 m^{-3} 이상으로 매우 높게 나타났다. 이것은 무안만의 지형학적인 특성을 고려할 때 *A. ohtsukai*가 8월에 높은 출현 빈도를 보이고 공간적으로는 북부 해역의 정점들에서 높은 출현 개체수를 보인다는 점에서 주변의 창포호 방조제의 수문이 개방되어 지속적 담수유입이 이루어짐으로서 결과적으로 상대적으로 낮은 염분이 주된 요인으로 작용함과 동시에 알맞은 수온과 먹이 농도(지 등 2008)가 복합적으로 *A. ohtsukai*의 개체군에 영향을 주는 것으로 판단된다.

*Bestiolina coreana*는 무안만의 8월 중형동물플랑크톤 군집에 *A. ohtsukai* 다음으로 높은 기여율을 보였다. 그러나 이 시기의 군집에서는 *B. coreana*와 *P. parvus* s. l.가 서로 혼재하며, 만 서쪽 수로에 있는 정점(정점 12)을 제외하면 *B. coreana*의 출현 빈도가 상대적으로 높았다. 무안만에서 출현하는 *B. coreana*의 수온과 염분 출현범위는 각각 12.7-28.3°C, 15.3-31.4 psu이었으며, 수온 26.4°C와 염분 17.3 psu에서 가장 높은 출현 개체수를 나타냈다. 이것은 서해 남부에 있는 영광 연안해역에서 두 종간의 수온과 염분 출현범위를 잘 반영하고 있지만(Moon et al. 2010), COD가 높은 정점에서 *B. coreana*의 출현 개체수가 유독 높다는 점은 주목된다. 무안만 내측에 위치하는 각 방조제로부터 유입되는 담수유입량을 직접 계측하여 확인할 수 없지만 염분의 변화를 통해 이 시기에 만 내에 담수 유입량이 가장 많다는 것을 간접적으로 확인이 가능하다. 즉, 8월에 집중된 강우로 인한 담수 유입에 의해서

염분이 일시적으로 낮아지고 식물플랑크톤 성장과 사멸이 빈번하게 발생하면서 여러 환경요인들을 변화시키면서(Gallegos et al. 1992; Malone et al. 1988; Boyer et al. 1993), 담수에 포함된 부유물질은 만 중앙부에 집적시켜 가라앉은 퇴적물들이 다시 재부유하여 해수의 COD 농도 증가에 기인함과 동시에 부유된 퇴적물에 포함된 *B. coreana*의 휴면란을 자극했을 가능성이 높을 것으로 사료되지만 이들의 휴면란에 대한 선행연구는 시도되지 않았다. 따라서 *B. coreana*가 무안만에서 연중 출현하지 않고 고수온기에 담수의 영향이 있는 내만을 중심으로 출현하는 것으로 보아 차후에 이들의 휴면란을 형성과 관련된 집중적인 연구가 필요할 것으로 본다.

난수성이자 수표성인 요각류 *Calanopia* sp.는 남해안에서 주로 내만을 중심으로 가을(9-11월)에 출현하며, 염분이 29 psu 이하일 때 우점하는 것으로 알려져 있다(Jeong 2009). 무안만에서는 8월 중형동물플랑크톤 군집에 기여율을 낮았지만 서쪽 수로에 위하는 정점 12에서 수온이 26.9°C, 염분이 26.9 psu일 때 7,000개체 m^{-3} 이상으로 높은 출현 개체수를 나타냈다. 이것은 Jeong (2009)이 제시한 *Calanopia* sp.가 우점하는 염분 범위를 잘 반영하고 있지만, 유독 한 정점에서 출현 개체수가 높게 나타난 점에서 주목된다. 수표성 요각류인 *Calanopia* sp.는 보트노벨레과(Pontellidae) 요각류 중 내만을 중심으로 출현하며(Jeong 2009), 생활사 중 서식환경이 악화되면 휴면란을 갖는 종이다(Jo 2002; Uye 1985). 서해 곰소만에서 조간대 퇴적물에 포함된 *Calanopia* sp. (= *Calanopia thompsoni*)의 휴면란의 연직분포를 확인한 결과에서 최대 5.1×10^4 eggs m^{-2} 의 개체가 출현하였다(Jo 2002). 일반적으로 휴면란을 생성하는 요각류들은 대부분 연안성들이고 이들의 휴면란 생성과 부화는 다양한 환경요인들에 의해서 좌우되며(Marcus 1986; Marcus and Lutz 1998; Uye 1985), 휴면란이 부화할 수 있는 알맞은 수온, 광 조건, 용존산소 농도 환경이 조성되면 일시적으로 부화가 되면서 개체군의 대량 증식으로 이어지게 된다(Grice and Marcus, 1981). 무안만에서 출현하는 *Calanopia* sp.가 일부 해역에서 출현 개체수가 높게 나타난다는 점은 이곳에 분포하는 *Calanopia* sp. 휴면란이 부화할 수 있는 수온, 광 조건, 용존산소농도가 휴면란을 자극하여 일시적으로 부화할 수 있는 조건이 조성되었거나 아니면 현장 알 생산력이 높다는 것을 의미하지만, 두 항목 모두 현장채집을 통한 분석이 이루어지지 못한 점에서 차후 무안만에서 *Calanopia* sp. 휴면란의 분포, 환경조건에 따른 부화실험, 현장 알 생산력 측정에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

무안만 중형동물플랑크톤 군집에서 주요 분류군 중 계절적 차이는 보이지만, 일시성 플랑크톤인 따개비 유생과 연체류 유생이 5월과 8월 군집에 영향을 주는 분류군으로

나타났다. 이들 중 따개비 유생은 연중 출현하며, 십각류 유생과 복족류 유생(Gastropoda larvae)은 5월과 8월에만 출현하였다. 특히 8월에 만 중앙부 해역을 중심으로 출현 개체수가 높았다. 남해안의 여자만과 득량만에서는 수온이 상승하는 여름에 비교적 높은 출현 개체수를 보이며, 따개비 유생은 봄과 여름에 남해안의 가막만, 여자만에서 비교적 높았고 득량만에서는 일부 해역에서 높게 출현하였다(한 등 1995; 문 등 2010). 무안만에서 출현하는 따개비 유생은 연중 출현하며, 5월에 출현 빈도가 높아지지만 8월에는 십각류 유생과 함께 복족류 유생의 출현 빈도가 월등히 높게 나타났다. 무안만에 출현하고 일생 중 일시성 플랑크톤 시기를 거치는 저서무척추동물은 사계절 중 8월에 가장 다양하게 출현하며, 이들 중 연체류와 십각류가 우점하게 된다(국토해양부 2008). 이것은 무안만의 중형 동물플랑크톤 군집이 5월과 8월에 요각류와 함께 일부 연체류와 십각류들의 생식활동에 의한 산란이 일시성플랑크톤 증가에 기인하여 조절될 수 있는 것으로 추정된다.

결과적으로 반 폐쇄된 무안만 중형동물플랑크톤 군집은 사계절 뚜렷하게 나타났으며, 군집에 미치는 요인은 지형학적인 특성과 만 내의 방조제의 수문 개방시 유입되는 담수로 인한 환경변화(주로 염분과 엽록소 a 농도)가 주된 요인으로 작용하였다. 계절 군집에 영향을 주는 주요 분류군은 대부분 내만성 요각류였었고 방조제들의 영향이 있는 일부 해역에서는 기수성 요각류, 그리고 따개비 유생과 같은 일시성 플랑크톤이었다. 그러나 요각류의 대부분은 환경이 악화되면 휴면란을 생성하는 종들로 구성되어 있어 무안만 중형동물플랑크톤 군집은 이들 분류군에 따라서 군집이 좌우될 가능성이 높다고 하겠다. 따라서 이를 명확히 하기 위해서는 퇴적물에 포함된 휴면란 분포연구와 더불어 휴면란 생성시기를 해당 분류군을 토대로 분명히 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

사 사

논문의 세세한 부분까지 심사를 해주신 익명의 심사위원께 진심으로 감사드립니다. 아울러 현장채집에 도움을 준 전남대학교 중 다양성 생태학 연구실의 부원들께 심심한 사의를 표합니다.

참고문헌

국토해양부 (2008) 연안습지 생태계조사. 국토해양부, 383 p
류상옥, 김주용, 유환수 (2000) 반 폐쇄된 무안만에서 부유물질의 계절적 변동 및 운반양상. 한국지구과학회지 21: 128-136
문성용, 오현주, 서호영 (2010) 남해 연안 동물플랑크톤 군집

의 계절변동. Ocean and Polar Res 32:411-426
문성용, 윤호섭, 서호영, 최상덕 (2006) 가막만 동물플랑크톤 군집의 변동특성과 환경요인. Ocean and Polar Res 28: 79-94
박 철, 이평강, 양성렬 (2002) 계절과 염분 변화에 따른 섬진강 하구역 동물플랑크톤의 분포변화. 한국해양학회지 「바다」 7:51-59
서해립, 서호영, 차성식 (1991) 만경 동진강 하구계의 동물플랑크톤 분포와 염분. 한국해양학회지 26:181-192
유정규, 명철수, 최중기, 홍현표, 김은수 (2010) 시화호 중형 동물플랑크톤 군집의 시공간적 변동. Ocean and Polar Res 32:187-201
유정규, 윤석현, 최중기 (2006) 인천 연안에서 요각류 *Acartia hongii* 춘계 개체군 형성의 영향요인. 한국해양학회지 「바다」 11:108-116
윤석현, 오광석, 정미희 (2010) 섬진강 하구역의 동물플랑크톤 군집구조와 요각류 생산력 연구. 해양환경안전학회지 16:369-379
윤석현, 최중기 (2003) 경기만 동물플랑크톤 군집의 시공간적 분포. 한국해양학회지 「바다」 8:243-250
이대인, 조현서, 이규형, 이문옥 (2003) 무안반도 연안수질의 시·공간적 변동과 소규모 방조제의 영향. 한국해양환경공학회지 6:24-36
전수경, 김중기, 김 윤 (2011) 통계분석기법을 이용한 전남 갯벌 해역 수질특성. 한국해양환경공학회지 14:1-10
지 성, 신용식, 서호영 (2008) 청계만 식물플랑크톤 크기구조의 계절적 변동. 한국해양학회지 「바다」 13:333-341
한동훈, 홍성운, 마채우 (1995) 득량만 동물플랑크톤의 분포. 한국수산학회지 28:517-532
해양수산부 (2002) 해양환경공정시험방법. 해양수산부, 330 p
Albaina A, Villate E, I Uriarte I (2009) Zooplankton communities in two contrasting Basque estuaries 1999-2001: reporting changes associated with ecosystem health. J Plankton Res 31:739-752
Ambler JW, Cloern JE, Huschinson A (1985) Seasonal cycles of zooplankton from San Francisco Bay. Hydrobiologia 129:177-197
Appeltans W, Bouchet P, Boxshall GA, Fauchald K, Gordon DP, Hoeksem BW, Poore GCB, Ven Soest RWM, Stöhr S, Walter TC, Costello MJ (2010) World Register of Marine Species. <http://www.marinespecies.org>. Accessed 07 Feb 2011
Badylak S, Philips EJ (2008) Spatial and temporal distributions of zooplankton in Tampa Bay, Florida, including observations during a HAB event. J Plankton Res 30: 449-465
Boxshall GA, Halsey SH (2004) An Introduction to Copepod Diversity. Ray Society, London, 421 p
Boyer JP, Christian RR, Stanley DW (1993) Patterns phyto-

- plankton primary productivity in the Neuse River estuary, North Carolina, USA. *Mar Ecol Prog Ser* **97**: 287-297
- Calbet A (2001) Mesozooplankton grazing impact on primary production: a global comparative analysis in marine ecosystems. *Limnol Oceanogr* **46**:1824-1830
- Chihara M, Murano M (1997) An illustrated guide to marine plankton in Japan. Tokai University Press, Tokyo, 1754 p
- Clarke KR, Warwick RM (2001) Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd ed. Primer-E Ltd, Plymouth, 171 p
- Durbin AG, Durbin EG (1981) Standing stock and estimated production rates of phytoplankton and zooplankton in Narragansett Bay, Rhode Island. *Estuaries* **4**:24-41
- Gallegos CL, Jordan TE, Correl DL (1992) Eventscale response of phytoplankton to watershed inputs in a subestuary: Timing, magnitude, and location of biomass. *Limnol Oceanogr* **37**:813-815
- Grice GD, Marcus NH (1981) Dormant eggs of marine copepods. *Oceanogr Mar Biol Ann Rev* **19**:125-140
- Huntly M, Boyd C (1984) Food limited growth of marine zooplankton. *Am Mat* **124**:455-478
- Jeong HG (2009) Morphology and phylogeny of the neustonic pontellids (Copepoda: Calanoida) and their distribution in the Jeju Strait. Ph.D. Thesis, Chonnam National University, 255 p
- Jo SG (2002) Resting eggs of copepods in the intertidal sediments of Gomso Bay. *J Korean Soc Oceanogr* **37**: 108-115
- Kirk JTO (1994) Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems. Cambridge Univ Press, Cambridge, England, 528 p
- Malone TC, Crocker LH, Pike SE, Wendler BW (1988) Influences of river flow on the dynamics of phytoplankton production in a partially stratified estuary. *Mar Ecol Prog Ser* **48**:235-249
- Marcus NH (1986) Recruitment of individuals into the plankton: importance of bioturbation. *Limnol Oceanogr* **31**: 206-210
- Marcus NH, Lutz RV (1998) Longevity of subitaneous and diapauses eggs of *Centropages hamatus* (Copepoda: Calanoida) from the northern Gulf of Mexico. *Mar Biol* **131**:249-257
- Moon SY, Lee W, Soh HY (2010) A new species of *Bestiolina* (Crustacea: Copepoda: Calanoida) from the Yellow Sea, with notes on the zoogeography of the genus. *Proc Biol Soc Wash* **123**:32-46
- Moon SY, Ohtsuka S, Ueda H, Soh HY (2008) *Acartia* (*Odontacartia*) *ohtsukai* Ueda and Bucklin, 2006 (Copepoda, Calanoida, Acartiidae): first record of its occurrence in Korean waters and habitat segregation from its sibling species *A. pacifica* Steuer, 1915. *Zootaxa* **1841**:61-64
- Nakamura Y, Hirata A (2006) Plankton community structure system, Ariake Sound, Japan. *Aqua Micro Eco* **44**: 45-57
- Parsons TR, Maita Y, Lalli GM (1984) A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, 173 p
- Ryu SO, Lee HJ, Chang JH (2004) Seasonal cycle of sedimentary process on mesotidal flats in the semienclosed Muan Bay, southern west coast of Korea: culminating summertime erosion. *Cont Shelf Res* **24**:137-147
- Shannon CE, Weaver W (1963) The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, 360 p
- Shim JH, Yun KH (1990) Seasonal variation and production of zooplankton in Chonsu Bay, Korea. *J Korean Soc Oceanogr* **25**:229-339
- Soetaert K, Rijswijk PV (1993) Spatial and temporal patterns of the zooplankton in Westerschelde estuary. *Mar Ecol Prog Ser* **97**:47-59
- Soh HY, Suh HL (2000) A new species of *Acartia* (Copepoda, Calanoida) from the Yellow Sea. *J Plankton Res* **22**:321-337
- Ter Braak CJF (1986) Cononical correspondence analysis: a new engenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* **67**:1167-1179
- Ter Braak CJF, Šmilauer P (2002) CANOCO reference manual and CanoDraw for windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5): section on permutation methods. Microcomputer Power Ithaca, 500 p
- Ueda H (1987) Temporal and spatial distribution of the two closely related *Acartia* species *A. omorii* and *A. hudsonica* (Copepoda, Calanoida) in a small inlet water of Japan. *Est Coast Shelf Sci* **24**:691-700
- Ueda H, Bucklin A (2006) *Acartia* (*Odontacartia*) *ohtsukai*, a new brackish-water calanoid copepod from Ariake Bay, Japan, with a redescription of the closely related *pacifica* from the Seto Inland Sea. *Hydrobiologia* **560**:77-91
- Uye S (1985) Resting egg production as lift history strategy of marine plankton copepods. *Bull Mar Sci* **37**:440-449
- Youn SH, Choi JK (2008) Distribution pattern of zooplankton in the Han River estuary with respect to tidal cycle. *Ocean Sci J* **43**:135-146

Received Apr. 25, 2011

Revised Aug. 2, 2011

Accepted Nov. 11, 2011