

경기만 수역에서 미세생물 군집의 계절적 변동 연구 II. 미소형 및 소형 동물플랑크톤

양은진* · 최중기
인하대학교 해양학과

The Study on the Seasonal Variation of Microbial Community in Kyeonggi Bay, Korea II. Nano-and Microzooplankton

EUN JIN YANG* AND JOONG KI CHOI
Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

경기만 표영 생태계에서 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 군집구조와 생태학적 역할을 조사하기 위하여, 1997년 12월부터 1998년 11월까지 한달 간격으로 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 생물량 분포와 군집구조를 조사하였다. 본 조사에서 미소형 및 소형 동물플랑크톤은 2~200 μm 크기의 종속영양 미세생물로 정의 하였으며, 종속영양 미소 편모류, 빈 섬모충류와 유종 섬모충류를 포함하는 섬모충류, 종속영양 외편모류와 동물플랑크톤 유생으로 구분하였다. 종속영양 미소 편모류의 현존량과 탄소량은 각각 330~4,370 cells ml^{-1} (평균: 1,340 \pm 130 cells ml^{-1}), 0.63~12.4 $\mu\text{gC l}^{-1}$ (평균: 4.35 \pm 0.58 $\mu\text{gC l}^{-1}$)로 분포하였고, 부유 섬모충류의 현존량과 탄소량은 각각 338~44,571 cells l^{-1} (평균: 3,526 \pm 544 cells l^{-1}), 1.3~119.7 $\mu\text{gC l}^{-1}$ (평균: 13.7 \pm 3.0 $\mu\text{gC l}^{-1}$)로 분포하였고, 종속영양 외편모류의 현존량과 탄소량은 각각 88~47,461 cells l^{-1} (평균: 9,034 \pm 2,347 cells l^{-1}), 0.04~54.05 $\mu\text{gC l}^{-1}$ (평균: 6.9 \pm 2.4 $\mu\text{gC l}^{-1}$)로 분포하였고, 동물플랑크톤 유생의 현존량과 탄소량은 각각 5~546 indiv. l^{-1} (평균: 83 \pm 15 indiv. l^{-1}), 0.17~43.2 $\mu\text{gC l}^{-1}$ (평균: 6.3 \pm 1.2 $\mu\text{gC l}^{-1}$)로 분포하였다. 조사기간 동안 미소형 및 소형 동물플랑크톤 각 군집의 생물량은 유종 섬모충류를 제외하고는 조석에 의한 차이를 보이지 않았다. 표층부터 저층까지 합산한 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 탄소량은 124~1,635 mgC m^{-2} (평균: 585 \pm 110 mgC m^{-2})로 분포하였으며, 3월과 5월에 가장 높게 나타났다. 미소형 및 소형 동물플랑크톤 중에서 부유 섬모충류가 가장 우점하는 그룹으로 나타났으며, 전체 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 평균 42.3%를 기여 하였다. 미소형 및 소형 동물플랑크톤에 대한 각각의 그룹들의 상대적인 기여도는 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 군집구조와 계절에 따라 다르게 분포하는 것으로 나타났다. 경기만 표영 생태계에서 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 군집구조는 식물플랑크톤의 크기별 분포 양상과 유사한 경향을 보였으며, 이 결과는 미소형 및 소형 동물플랑크톤과 식물플랑크톤 간에 피식-포식자의 관계가 있음을 암시하며, 피식-포식의 관계가 미세생물 먹이망에서 중요한 조절 요인임을 보여준다.

To investigate seasonal variation and structure of the microbial community in Kyeonggi Bay, abundance and carbon biomass of nano-and microzooplankton were evaluated in relation to size fractionated chlorophyll-a concentration, through the monthly interval sampling from December 1997 to November 1998. Communities of nano- and microzooplankton were classified into 4 groups such as heterotrophic nanoflagellate(HNF), ciliates, heterotrophic dinoflagellates(HDF) and zooplankton nauplii. Abundance and carbon biomass of HNF ranged from 380 to 4,370 cells ml^{-1} (average 1,340 \pm 130 cells ml^{-1}) and from 0.63 to 12.4 $\mu\text{gC l}^{-1}$ (average 4.35 \pm 0.58 $\mu\text{gC l}^{-1}$), respectively. Abundance and carbon biomass of ciliates ranged from 331 to 44,571 cells l^{-1} (average 3,526 \pm 544 cells l^{-1}) and from 1.3 to 119.7 $\mu\text{gC l}^{-1}$ (average 13.7 \pm 3.0 $\mu\text{gC l}^{-1}$), respectively. Abundance and carbon biomass of HDF ranged from 88 to 47,461 cells l^{-1} (average 9,034 \pm 2,347 cells l^{-1}) and from 0.05 to 54.05 $\mu\text{gC l}^{-1}$ (average 6.9 \pm 2.4 $\mu\text{gC l}^{-1}$), respectively. Abundance and carbon biomass of zooplankton nauplii ranged from 5 to 546 indiv. l^{-1} (average 83 \pm 15 indiv. l^{-1}) and from 0.17 to 43.2 $\mu\text{gC l}^{-1}$ (average 6.3 \pm 1.2 $\mu\text{gC l}^{-1}$), respectively. Each component of microbial biomass was not different from tidal cycle except tintinnids group. Depth integrated nano-and microzooplankton biomass ranged from 124 to 1,635 mgC m^{-2} (average 585 \pm 110 mgC m^{-2}) and was highest in March and May. The relative contribution of each component to the nano-and microzooplankton showed difference according to seasons. Community structure of nano-and microzooplankton was dominated

*Corresponding author: Ciliate@hanmail.net

by planktonic ciliate group. During the study period, carbon biomass of nano-and microzooplankton was strongly positively correlated with size fractionated chlorophyll-a. It implied that prey-predator relationship between microzooplankton and phytoplankton was important in the pelagic ecosystem of Kyeonggi Bay.

Key words: Nano-and microzooplankton, Ciliates, Heterotrophic dinoflagellates, Zooplankton nauplii

서 론

미소형 및 소형 동물플랑크톤은 표영생태계에서 미세생물 군집의 중요한 구성자로서 분류 학적으로 다양한 그룹으로 구성되어 있다. 미소형 및 소형 동물플랑크톤 군집은 박테리아부터 미소 플랑크톤까지 다양한 크기의 먹이를 효과적으로 섭식하고, 중형 동물플랑크톤의 좋은 먹이원이 되기 때문에 해양 생태계의 기저부에 미세 생물 먹이망을 구성하는데 중요한 역할을 한다(Sieburth *et al.*, 1978; Azam *et al.*, 1983; Sherr *et al.*, 1986; Rassoulzadegan *et al.*, 1988; Pierce and Turner, 1992). 특히 미세생물 먹이망을 통한 탄소의 흐름은 그 해역의 영양상태와 플랑크톤 군집구조에 따라 변화하기 때문에(Pace *et al.*, 1990; Weisse *et al.*, 1990) 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 분포는 전반적인 플랑크톤 군집의 영양구조에 중요한 영향을 미칠 수 있다(Rassoulzadegan and Etienne, 1981).

온대 연안해역에서 식물플랑크톤의 크기별 분포의 계절적 변화는 일반적으로 춘계와 추계의 대증식 시기에 큰 크기의 식물플랑크톤에 의해 우점하며, 하계와 동계에는 작은 크기의 식물플랑크톤에 의해 우점하는 현상이다(Durban *et al.*, 1975; Claereboudt *et al.*, 1994). 계절별 식물플랑크톤의 크기별 분포 현상은 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 군집 구성에 영향을 미치며, 미세생물 먹이망의 전반적인 구조에도 영향을 미친다. 그러나 온대 연안해역에서 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 크기별 군집 구조에 대해 이용할 수 있는 정보는 거의 없는 편이다(Tamigneaux *et al.*, 1997). 이제까지 대부분의 미소형 및 소형 동물플랑크톤에 관한 연구는 주로 20~200 μm 크기의 소형 동물플랑크톤에 대하여 수행되어, 해양 생태계에서 20 μm 이하의 미소형 동물플랑크톤의 중요성에 대해서는 조사된 것은 드문 편이다(Pierce and Turner, 1992). 특히 종속영양 미소편모류, 섬모충류, 종속영양 외편모류와 동물 플랑크톤 유생을 포함한 미소형 및 소형 동물플랑크톤에 관한 전반적인 생태학적 연구는 보고된 바 없다.

해양의 미세생물 먹이망에서 미세생물 군집의 영양학적 구조와 그 군집들 사이의 높은 상관 관계는 더욱 복잡하며(Sherr and Sherr, 1994; Hwang and Heath, 1997), 해양 환경에서 플랑크톤 군집 구조를 전반적으로 이해하기는 아직도 부족하다. 그리고 연안 환경의 플랑크톤 군집에서 미소형 및 소형 동물플랑크톤 각 그룹의 현존량과 탄소량 구조와 이들 그룹들 사이의 역할 관계에 관한 연구도 아직까지는 부족한 편이다. 특히 우리나라 연안환경에서 미소형 및 소형 동물플랑크톤에 관한 생태학적 연구는 그 중요성에도 불구하고 소수의 연구자들에 의해 수행되었다(Jeong, 1988; 최 등, 1995; 박, 1995; 심 등, 1995; Lee and Choi, 2000; 정 등, 2000, 2002). 그러나 이들의 연구 역시 미소형 및 소형 동물플랑크톤 그룹 일부에 제한되어 있으므로, 해양 생태계내에서 에너지 흐름을 이해하기 위한 전반적인 미소형 및 소형 동물플랑크톤 군

집에 관한 연구는 전무한 실정이다.

본 조사는 경기만과 같은 복잡한 연안생태 환경에서 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 생태 특성을 이해하기 위하여 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 계절별 변동과 군집구조에 대하여 논의하였고, 각 그룹들의 생태학적 역할에 관하여 재고찰 하였다. 또한 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 크기별 군집구조와 그들의 잠재적 먹이원이 될 수 있는 식물플랑크톤의 크기별 군집 구조와의 관계에 대해서도 논의하였다.

재료 및 방법

조사수역 및 조사시기

조사수역은 경기만의 인천연안 수괴, 시화 수괴, 경기만 바깥수괴가 만나는 경기만의 중앙수역인 팔미도 수역 고정 정점으로 1997년 12월부터 1998년 11월 까지 매월 소조기(최저 344-최고 639 cm)에 조사가 수행되었고, 소조기와 대조기를 비교하기 위하여 4월, 8월, 10월의 대조기(최저 852-최고 918 cm)에 조사가 3차례 추가되어 총 15회 동안 만조(최고수위)와 간조시(최저수위)의 0 m, 2.5 m, 5 m, 10 m, 저층에서 각각 수행되었다. 조사수역은 만조시에는 평균 19 m의 수심을 보였고, 간조시에는 평균 17 m의 수심을 보여 간조와 만조에 따른 수심은 평균 2 m의 차이를 보였다.

크기별 엽록소-a 농도

조사수역의 엽록소-a 농도는 송(1999)의 값을 인용하였으며, 크기별 엽록소-a 농도를 측정하기 위하여 세척된 채수병에 채수된 해수를 net 크기(>20 μm), nano 크기(<20 μm), pico 크기(<3 μm)로 크기 구배를 한 후 Turner Design Field Fluorometer를 사용하여 측정하였다.

미소형 및 소형 동물플랑크톤의 현존량 분석

미소형 및 소형 동물플랑크톤의 생물량을 파악하기 위하여 고정점에서 해수를 1000 ml 채수하여 Lugol 용액과 포르말린 용액으로 각각 최종농도 1% 되게 고정하였다. Lugol로 고정된 시료는 실험실로 운반해 50 ml 까지 가라앉게 한후 Sedgewick-Rafter chamber와 Utermöhl chamber를 사용하여 광학 현미경(Nikon Type 104)과 진도 현미경(Olympus IX 70)으로 관찰하였다. 포르말린으로 고정된 시료는 미소형 및 소형 동물플랑크톤중 종속영양 외편모류와 혼합영양 섬모충류를 관찰하기 위해 냉장 상태에서 50 ml 까지 가라앉게 한후 Utermöhl chamber를 사용하여 형광 진도 현미경(Olympus IX 70)으로 관찰하였으며, redfluorescence의 유무로 영양방식을 구분하였다. 또한 미소형 종속영양 외편모류(<20 μm)를 관찰하기 위하여 포르말린으로 고정된 시료의 50 ml를 5 μm black filter로 여과하여 DAPI(Porter and Feig, 1980)로 염색한후

형광현미경(Nikon type 104)으로 관찰하였으며, redfluorescence의 유무로 영양방식을 구분하였다. 또한 중속영양 미소 편모류의 탄소량은 양 등(2003)의 값을 인용하였다.

미소형 및 소형 동물플랑크톤의 탄소량 전환 값

미소형 및 소형 동물플랑크톤은 현미경하에서 각 세포 크기를 측정후 세포 용적을 Edler(1979)의 방법에 따라 구하였다. 유종 섬모충류는 $carbon(pg)=44.5+0.053 \text{ lorica volum}(\mu m^3)$ (Verity and Langdon, 1984)의 식에 따라 구하였으며, 피각이 없는 빈 섬모충류와 전모 섬모충류는 $0.19 \text{ pgC } \mu m^{-3}$ (Putt and Stoecker, 1989)의 전환값을 사용하여 환산하였다. 중속영양 와편모류의 탄소량은 Edler(1979)의 방법에 따라 용적을 구한후 Strathmann(1967)의 실험식인 $\text{Log C}(pg)=0.866 \times (\text{Log V, } \mu m^3)-0.46$ 을 이용하여 각 세포의 탄소량을 구하였다. 동물플랑크톤 유생은 각 체장의 길이를 구한후, $\text{log C}=-4.188+1.451 \text{ log}(\text{body length})$ 을 이용하여 구하였다(Kang and Kang, 1997).

시료 분석 및 자료 처리

조사수역에서 부유 섬모충류는 크게 피각이 없는 빈 섬모충류(oligotrichs)와 피각을 갖고 있는 유종 섬모충류(tintinnids), 그리고 haptorids, holotrichs, prostomatids를 포함하는 전모 섬모충류 그룹으로 구분하여 분석하였고, 광합성을 하는 *Mesodinium rubrum*은 총 부유 섬모충류의 현존량에서 제외시켰다. 중속영양 와편모류는 크게 *Protoperdinium* sp. 같이 피각을 갖고 있는 유각(thecate) 와편모류와 *Gyrodinium* sp.와 *Gymnodinium* sp. 같은 피각을 갖

고 있지 않은 무각(athecate) 와편모류로 구분하였다. 또한 미소형 및 소형 동물플랑크톤 군집의 크기별 구조는 <10 μm , 10~20 μm , 20~50 μm , 50~100 μm , >100 μm 로 구분하였으며, 크기별 군집 구조에서 동물플랑크톤 유생은 제외시켰다. 미소형 및 소형동물플랑크톤 각 그룹별 현존량 및 탄소량의 범위는 조사기간 동안 최고치와 최저치를 사용하였고, 평균값은 간조시와 만조시를 모두 합하여 조사기간 동안 연평균한 값을 사용하였다. 또한 자료처리는 만조와 간조시의 수심 차이로 인하여 수심 적분한 값에 차이를 보일 수 있기 때문에 탄소량 자료는 월별 수심 평균한 값을 사용하였고, 단위면적당 탄소량은 만조와 간조에 각각 수직 적분하여 두 시기를 평균하였다.

결 과

엽록소-a의 크기별 구조

연 평균 크기별 엽록소-a 농도의 분포는 다음과 같다. 총 엽록소-a에 소형 식물플랑크톤 엽록소-a(>20 μm)는 만조에 30.8%, 간조에 32.7%를 차지해 평균 31.8%를 차지하였으며, 대증식이 발생한 3월과 9월에 각각 80.7%와 80.9%의 우점율을 보였다(Fig. 1). 총 엽록소-a 농도에 미소 식물플랑크톤 엽록소-a(3~20 μm)의 기여도는 만조에 39.5%, 간조에 47.1%를 차지하여 평균 43.3%를 차지하였으며 만조보다는 간조때 더 높은 기여도를 보였다. 미소 식물플랑크톤 엽록소-a는 소형 식물플랑크톤 엽록소-a가 높게 기여한 시기와 하계인 7월, 8월을 제외한 시기에 높은 기여도를 보였다(Fig. 1). 총 엽록소-a 농도에 극미소 식물플랑크톤 엽록소-

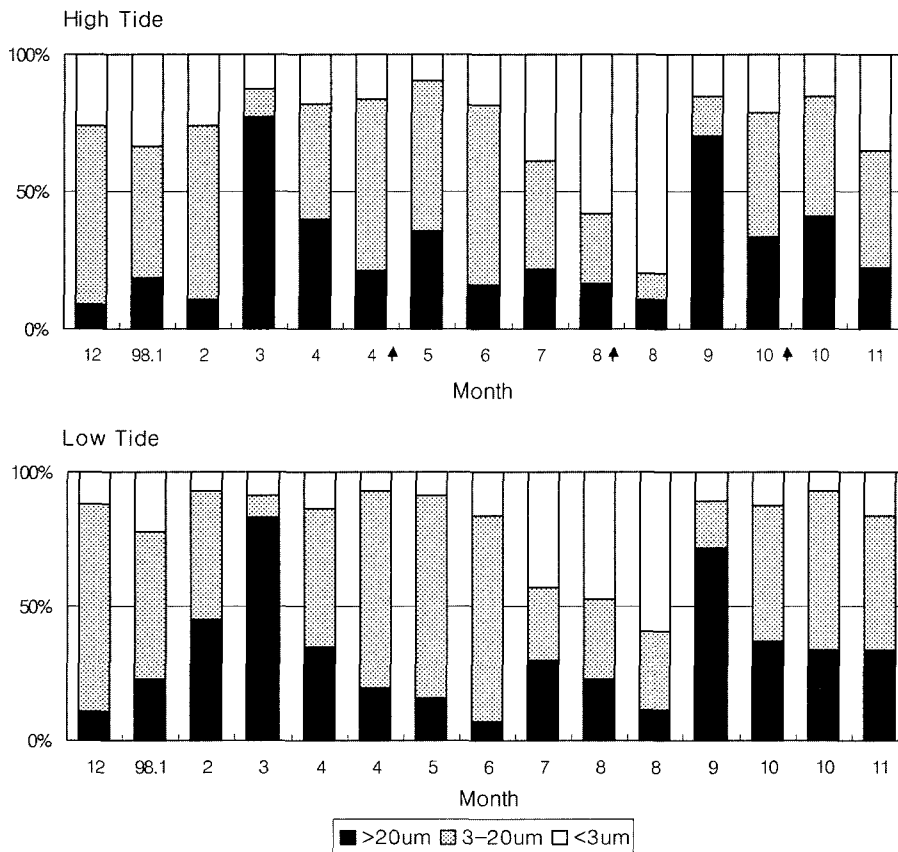


Fig. 1. Relative percentage of the size-fractionated chlorophyll-a ($\mu g \Gamma^{-1}$) by depth average in the study area. Arrow indicates spring tide.

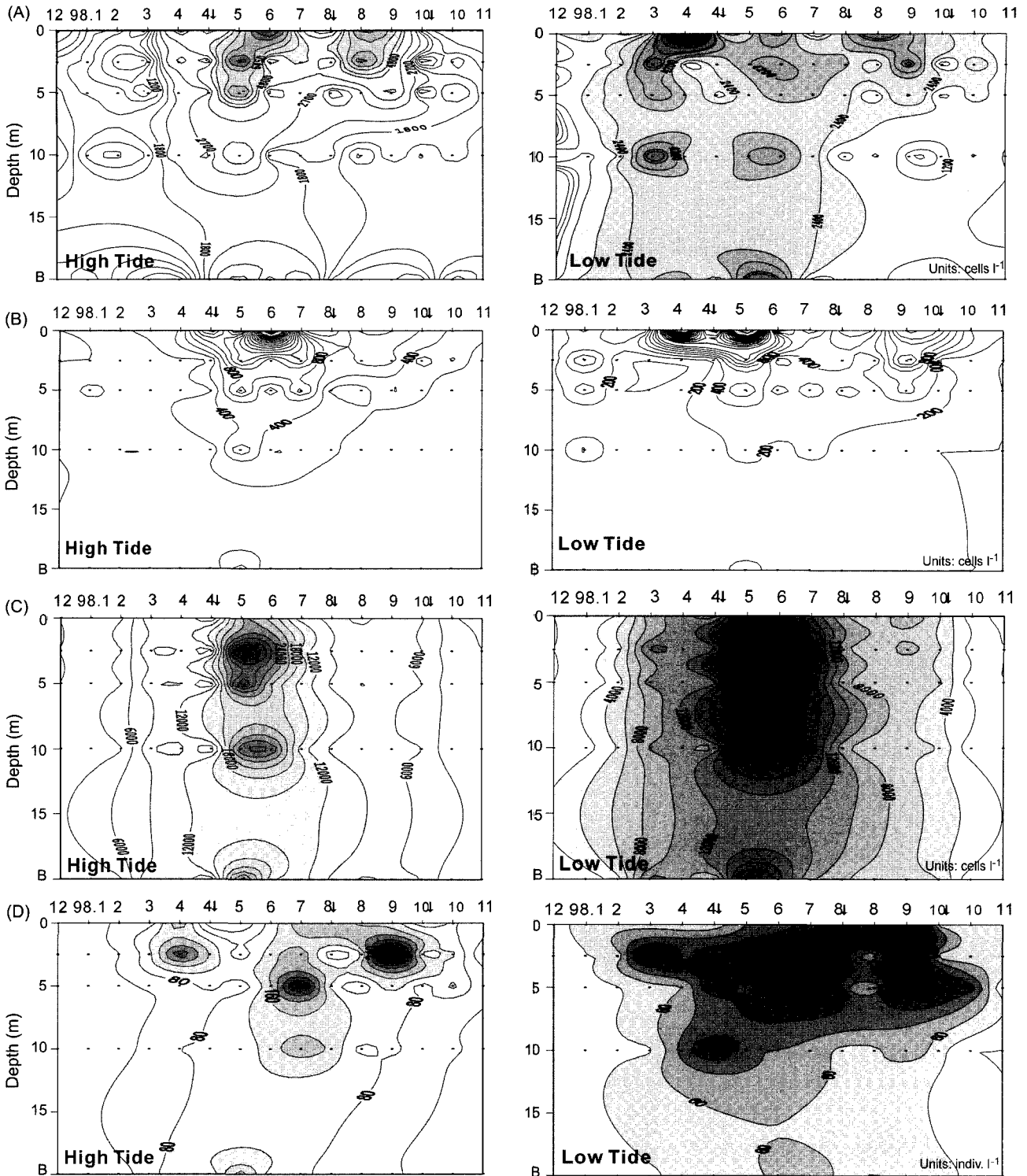


Fig. 2. Vertical distribution of total ciliates abundance(A), mixotrophic ciliates abundance(B), heterotrophic dinoflagellates abundance(C) and zooplankton nauplii abundance(D) in the study area. Arrow indicates spring tide.

$a < 3 \mu\text{m}$ 의 기여도는 만조에 28.0%, 간조에 19.4%를 차지해 평균 23.7%를 차지하였으며, 만조에 더 높은 기여도를 보였다. 극미소 식물플랑크톤 엽록소-a의 기여율은 연중 수온이 높고 수위가 다소 안

정된 8월에 50% 이상의 기여율을 보였다. 따라서 본 조사수역에서 크기에 따른 엽록소-a 농도는 대증식 시기가 발생한 시기를 제외한다면 주로 $20 \mu\text{m}$ 이하의 식물플랑크톤에 의해 높게 점유되었다.

Table 1. Abundance and carbon biomass of nano- and microzooplankton community in the study area. T-test compared with high tide and low tide data (ns: not significant).

Composition		High Tide	Low Tide	T-test (p-value)
Oligotrichs	abundance (avg. \pm SE)	93-13,473 1,983 \pm 308	93-13,275 1,581 \pm 234	ns
	carbon biomass (avg. \pm SE)	0.3-116.5 8.3 \pm 1.7	0.09-40.8 7.6 \pm 1.3	ns
Tintinnids	abundance (avg. \pm SE)	43-3,636 1,257 \pm 100	206-32,188 1,785 \pm 440	<0.05
	carbon biomass (avg. \pm SE)	0.2-34.7 4.4 \pm 0.6	0.7-67.6 7.1 \pm 1.4	<0.05
Total ciliates	abundance (avg. \pm SE)	331-14,414 3,175 \pm 326	661-44,571 3,676 \pm 654	ns
	carbon biomass (avg. \pm SE)	1.29-119.7 12.5 \pm 1.8	1.66-74.6 14.1 \pm 1.9	ns
Heterotrophic dinoflagellates	abundance (avg. \pm SE)	134-47,461 9,736 \pm 1120	88-36,674 8,985 \pm 910	ns
	carbon biomass (avg. \pm SE)	0.07-54.0 7.5 \pm 1.2	0.04-38.8 6.9 \pm 1.1	ns
Zooplankton nauplii	abundance (avg. \pm SE)	5-546 87 \pm 10	5-379 77 \pm 9	ns
	carbon biomass (avg. \pm SE)	0.18-43.2 7.7 \pm 0.9	0.17-22.9 5.5 \pm 0.7	ns

부유 섬모충류의 생물량 분포

조사기간 동안 부유 섬모충류의 수심에 따른 현존량은 331~44,571 cells l⁻¹로 분포하였으며, 평균 3,526 \pm 544 cells l⁻¹로 나타났다(Fig. 2; Table 1). 계절별 분포는 4월에 소조기의 간조시의 표층에서 유종 섬모충류의 높은 분포로 인해 4월에 높게 나타났으며, 12월부터 2월까지는 2,000 cells l⁻¹ 이하의 낮은 분포를 보였다. 수심별 평균한 부유 섬모충류의 탄소량은 3.45~49.2 μ gC l⁻¹로, 연 평균 13.7 \pm 3.0 μ gC l⁻¹로 나타났다(Fig. 3). 계절별 부유 섬모충류의 평균 탄소량은 현존량 분포와는 다르게 동계인 1월과 3월, 그리고 춘계인 5월에 100 μ m 이상의 섬모충류의 대량 출현으로 인해 높은 분포를 보였다. 조석에 따른 부유 섬모충류의 분포는 4월의 간조시와 5월과 6월의 만조시에 표층에서 높게 분포하였으며, 8월과 9월의 표층에서 높게 분포하여 일부 시기에 수직별 분포에 차이를 보였으나 간조와 만조에 따른 차이는 보이지 않았다(Table 1). 그러나 수심 평균한 부유 섬모충류의 생물량은 소조기에 비해 대조기에 낮게 나타났다. 부유 섬모충류 중 빈 섬모충류의 수심 평균 현존량과 탄소량은 각각 167~6,940 cells l⁻¹(평균 1,785 \pm 380 cells l⁻¹)와 0.17~37.4 μ gC l⁻¹(평균 7.8 \pm 1.2 μ gC l⁻¹)로 분포하였다(Fig. 4). 빈 섬모충류의 계절별 현존량 분포는 5월과 8월에 가장 높았고, 12월부터 2월까지 낮게 분포한 반면에 탄소량은 크기가 큰 *Strombidinopsis* spp.가 높게 나타난 1월과 3월에, 그리고 크기가 큰 *Laboea strobila*와 *Tontonia* spp.가 많이 출현한 9월에 높은 분포를 보였다. 조석에 따른 빈 섬모충류의 생물량 분포는 춘계와 하계의 만조시에 표층 부근에서 높은 분포를 보여 수직혼합이 활발한 계절(동계와 추계)에 비해 춘계와 하계에 수심별 빈 섬모충류의 차이는 크게 나타났다. 빈 섬모충류의 현존량은 간

조와 만조에 따른 차이는 보이지 않았으나 소조기에 비해 대조기에 낮게 분포하였다. 조사수역에서 유종 섬모충류의 대부분은 부유 입자들이 표면에 부착된 피각을 갖고 있는 *Tintinnopsis* spp.에 의해 높게 나타나고 있다. 유종 섬모충류의 수심 평균한 현존량과 탄소량은 각각 288~8,383 cells l⁻¹(평균 1,535 \pm 311 cells l⁻¹)와 1.06~37.9 μ gC l⁻¹(평균 5.8 \pm 1.5 μ gC l⁻¹)로 분포하였다(Fig. 5). 유종 섬모충류의 계절별 현존량은 4월 소조기에 *Tintinnopsis rapa*의 높은 출현으로 인해 가장 높게 분포하였고, 동계인 2월과 3월에는 비교적 낮게 분포하였다. 그러나 탄소량은 5월에 크기가 큰 *Stenosemella* sp.의 높은 출현과 6월에 *Favella ehrenbergii*, *Tintinnopsis baltica*의 출현, 9월에 *Leprotintinnus nordqvisti*와 *Leprotintinnus bottnicus*의 높은 출현으로 인해 5월, 6월과 9월에 비교적 높게 분포하였다. 조석에 따른 유종 섬모충류의 현존량 분포는 4월 소조기의 간조의 표층에서 30,000 cells l⁻¹ 이상으로 가장 높게 분포하였으며, 3월에서 6월까지 간조시에 높은 분포를 보였으며, 간조시에 높게 나타났다(Fig. 5; Table 1). 부유 섬모충류 중 혼합영양 섬모충류의 수심 평균한 현존량과 탄소량은 각각 53~6,499 cells l⁻¹(평균 385 \pm 98 cells l⁻¹)와 0.04~11.56 μ gC l⁻¹(평균 2.22 \pm 0.61 μ gC l⁻¹)로 나타났다(Fig. 2, 6). 혼합영양 섬모충류의 계절별 현존량 분포는 5월에 30~50 μ m 크기의 *Strombidium* sp.에 의해 가장 높았고, 탄소량 분포는 1월에 크기가 큰 *Strombidium capitatum*의 출현과 9월에 100 μ m 이상의 *Laboea strobila*와 *Tontonia* spp.의 출현으로 인해 높은 탄소량 분포를 보였다. 조석 변화에 의한 혼합영양 섬모충류의 분포는 만조시에는 5월과 6월의 표층에서 높게 분포하였으며, 간조시에는 1월, 4월, 5월, 9월의 표층에서 높게 분포하여 혼합영양 섬모충류의 분포는 광이 있는

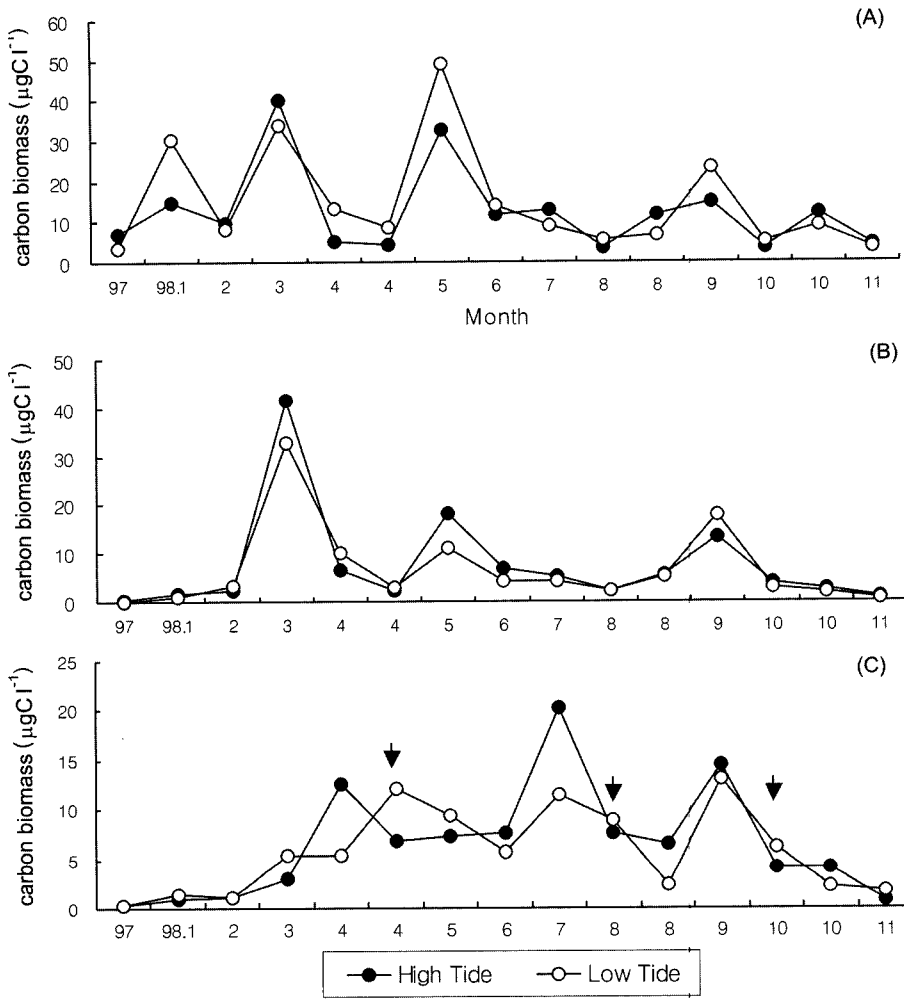


Fig. 3. Seasonal variation of total ciliates(A), heterotrophic dinoflagellates(B) and zooplankton nauplii(C) by depth average in the study area. Arrow indicates spring tide.

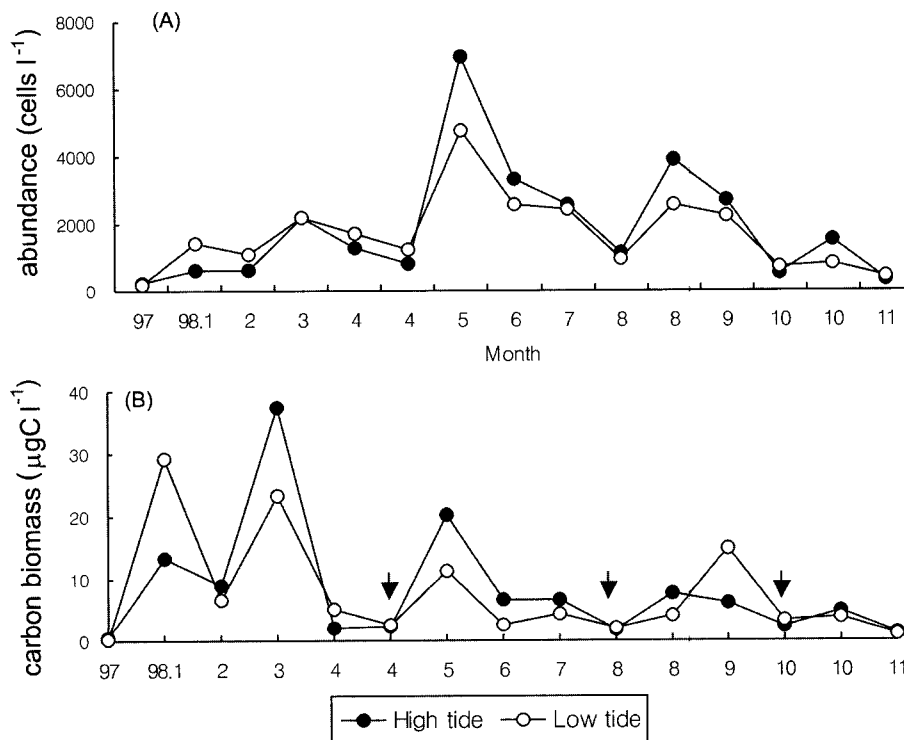


Fig. 4. Seasonal variation of oligotrichs abundance(A) and carbon biomass(B) by depth average in the study area. Arrow indicates spring tide.

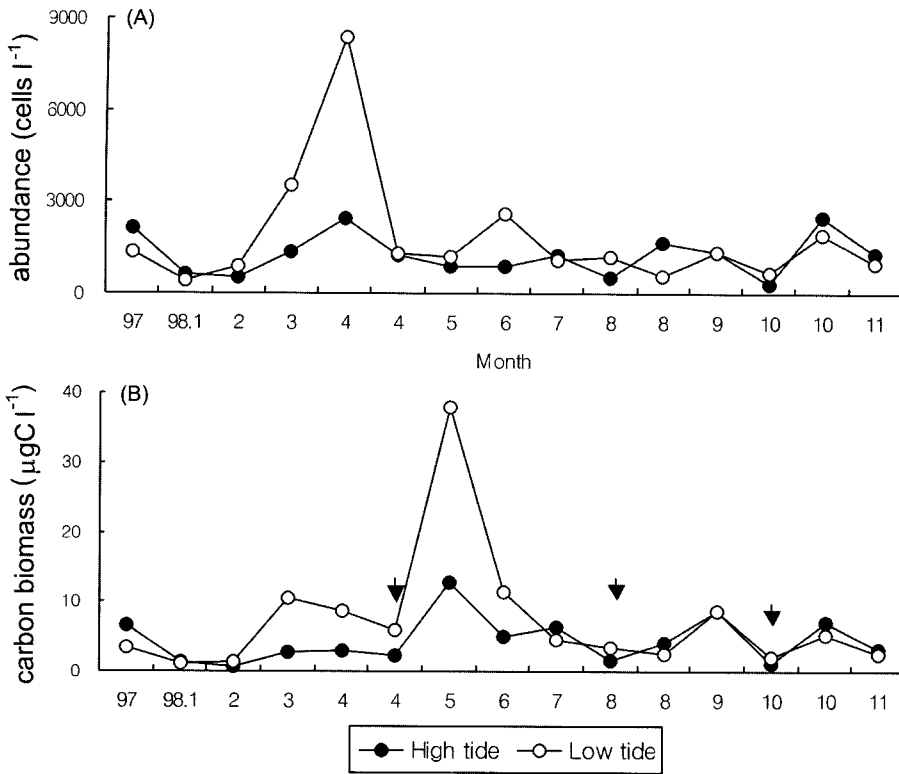


Fig. 5. Seasonal variation of tintinnids abundance(A) and carbon biomass(B) by depth average in the study area. Arrow indicates spring tide.

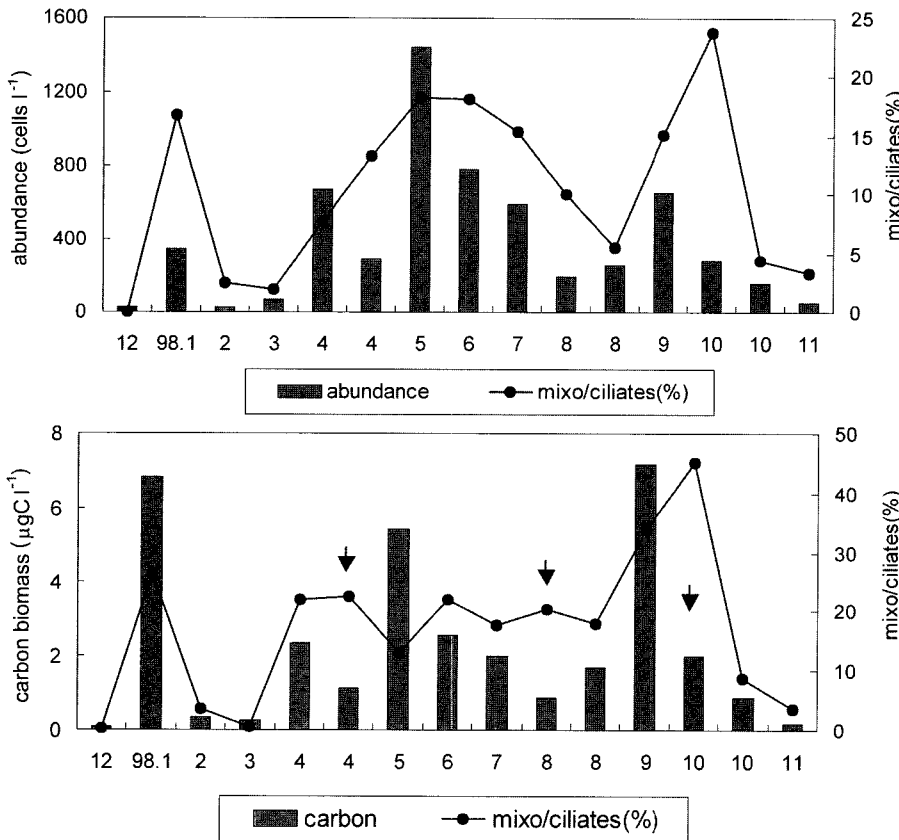


Fig. 6. Seasonal variation of mixotrophic ciliates abundance, carbon biomass by depth average and percent of mixotrophic ciliates to total ciliates in the study area. Arrow indicates spring tide.

표층에서 주로 분포하였다(Fig. 2). 그의 부유 섬모충류중 supticociliates와 hypotrichas를 포함하는 전모 섬모충류는 연 중

300 cells l⁻¹ 이하로 분포하였으며, 관찰되지 않은 계절이 많았기 때문에 중요하지 않은 그룹으로 분류하였다.

중속영양 와편모류의 생물량 분포

조사기간 동안 중속영양 와편모류의 수심에 따른 현존량은 88 ~ 47,461 cells l⁻¹로 분포하였으며, 연평균 9,034±2,347 cells l⁻¹로 나타났다(Fig. 2, Table 1). 계절별 현존량 분포는 5월에 가장 높게 나타났으며, 10월부터 1월까지 2,000 cells l⁻¹ 이하의 낮은 분포를 보였다. 중속영양 와편모류의 수심 평균 탄소량은 0.41 ~ 41.6 µgC l⁻¹로 분포하였으며, 연평균 6.9±2.4 µgC l⁻¹로 나타났다(Fig. 3). 계절별 중속영양 와편모류의 탄소량은 현존량 분포와는 다르게 3월에 큰 크기의 *Gyrodinium* spp.의 높은 출현으로 인해 가장 높은 탄소량 분포를 보였다. 조석에 따른 중속영양 와편모류의 생물량은 간조와 만조시에 그리고, 수심별로도 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 대조기에 비해 소조기에 더 높은 생물량 분포를 보였다(Fig. 2, Table 1). 조사기간 동안 중속영양 와편모류 중 피각을 갖고 있는 종들은 대부분이 *Protoperidinium* spp.로 나타났다. 간조와 만조를 수심 평균한 유각 중속영양 와편모류의 현존량과 탄소량은 각각 246~850 cells l⁻¹(평균 245±69 cells l⁻¹)와 0.01~4.89 µgC l⁻¹(평균 0.63±0.3 µgC l⁻¹)로 분포하였고, 3월과 9월에 높게 분포하였다(Fig. 7). 또한 중속영양 와편모류 중 피각을 갖고 있지 않은 종들은 대부분 *Gyrodinium* spp.와 *Gymnodinium* spp.로 나타났으며, 이중 *Gymnodinium* spp.는 대부분이 20 µm 이하로 나타났다. 무각 중속영양 와편모류의 수심 평균 현존량과 탄소량은 각각 480~34,030 cells l⁻¹(평균 8,789±2,348 cells l⁻¹)와 0.22~35.8 µgC l⁻¹(평균 6.6±0.9 µgC l⁻¹)로 분포하였다(Fig. 7). 무각 중속영양 와편모류의 계절별 현존량은 5월에 20 µm 이하의 *Gymnodinium* spp.의 높은 출현으로 인해 가장 높게 나타난 반면, 탄소량은 20 µm 이상의 *Gyrodinium* spp.에 의해 우점한 3월과 9월

에 가장 높게 분포하였다(Fig. 7). 이상과 같이 중속영양 와편모류의 생물량 분포는 식물플랑크톤의 대증식이 발생한 3월에서 5월에 가장 높게 나타났으며, 9월에도 높게 나타났으나, 추계와 동계에는 대부분 낮은 분포를 보였다.

동물플랑크톤 유생의 생물량 분포

조사기간 동안 동물플랑크톤 유생의 수심에 따른 현존량은 5 ~ 546 indiv. l⁻¹로 분포하였으며, 평균 83±15 indiv. l⁻¹로 나타났으며(Fig. 2, Table 1), 수심 평균 탄소량은 0.3~20.3 µgC l⁻¹로 분포하였고, 평균 6.3±1.2 µgC l⁻¹로 나타났다(Fig. 3). 계절별 동물플랑크톤 유생의 현존량은 6월, 7월, 9월에 높게 분포하였으며, 탄소량은 7월과 9월에 높은 분포를 보였다. 수심에 따른 동물플랑크톤 유생의 분포는 대부분이 표층보다는 2.5 m와 5 m 깊이에서 높게 나타났다. 조석에 따른 동물플랑크톤 유생의 생물량 분포는 4월, 6월, 7월의 만조에 높게 나타났으나 전반적으로 간조와 만조에 따른 차이는 보이지 않았으며, 소조기와 대조기에 따른 뚜렷한 차이도 나타나지 않았다(Fig. 3; Table 1). 조사기간 동안 동물플랑크톤 유생의 현존량과 탄소량은 일치하는 분포 양상을 보였으며, 계절별로는 춘계에서 하계에 이르는 시기에 높은 분포를 보였다.

미소형 및 소형 동물플랑크톤의 그룹별 군집 분포

표층부터 저층 까지 합산하여 간조와 만조를 평균한 월별 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 총 탄소량은 124~1,635 mgC m⁻²로 평균 585±110 mgC m⁻²로 분포하였으며(Fig. 8), 중속영양 와편모류와 빈 섬모충류에 의해 높은 분포를 보였던 3월과 유중 섬모충류에 의해 높은 분포를 나타낸 5월에 가장 높은 탄소량 분포를

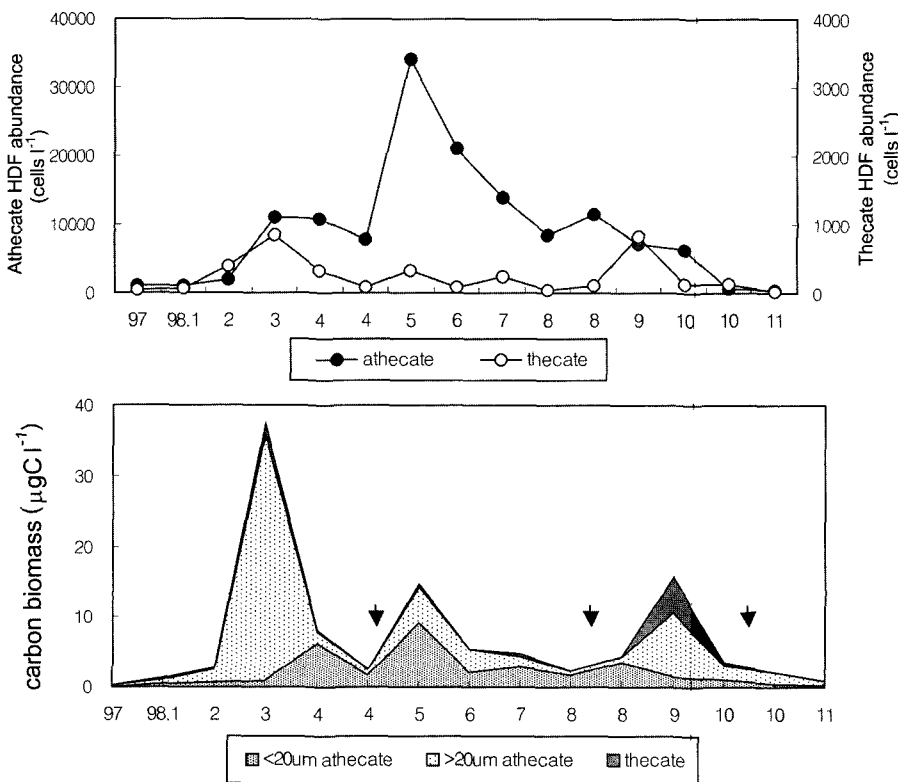


Fig. 7. Seasonal variation of abundance and carbon biomass of athecate and thecate heterotrophic dinoflagellates by depth average in the study area. Arrow indicates spring tide.

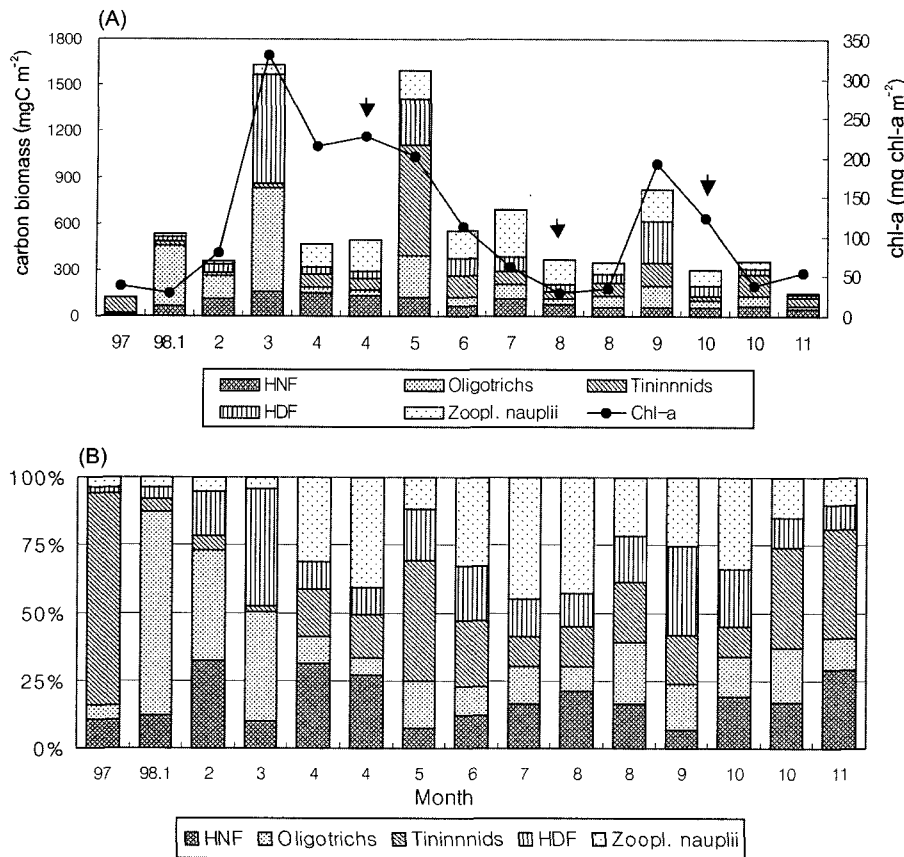


Fig. 8. Seasonal variation of nano- and microzooplankton carbon biomass in the study area. (A) is cumulative carbon biomass of nano- and microzooplankton; (B) is percent of nano- and microzooplankton community structure. HNF: heterotrophic nanoflagellates, HDF: heterotrophic dinoflagellates, Zoopl. nauplii: zooplankton nauplii. Arrow indicates spring tide.

보였다. 부유 섬모충류의 탄소량은 평균 $258.5 \pm 68.2 \text{ mgC m}^{-2}$ 으로 3월부터 5월까지 가장 높게 나타났다(Fig. 8). 미소형 및 소형 동물플랑크톤 군집 중에서 부유 섬모충류가 차지하는 비율은 23.1~83.5%로 평균 $41.7 \pm 4.9\%$ 를 차지하였다. 계절별로 미소형 및 소형 동물플랑크톤에 부유 섬모충류의 기여도는 유충 섬모충류에 의해 높은 기여도를 보인 12월과 5월, 그리고 빈 섬모충류에 의해 높은 기여도를 보이는 1월에 50% 이상의 높은 기여도를 보였다. 또한 연평균 빈 섬모충류와 유충 섬모충류의 평균 탄소량은 각각 $139.7 \pm 46.3 \text{ mgC m}^{-2}$, $117.6 \pm 43.8 \text{ mgC m}^{-2}$ 로 나타났으며, 미소형 및 소형 동물플랑크톤 중에서 빈 섬모충류와 유충 섬모충류가 차지하는 비율은 각각 $21.8 \pm 4.9\%$ 와 $19.6 \pm 4.6\%$ 를 차지하였다(Fig. 8). 이중 빈 섬모충류 그룹은 *Strombidinopsis* spp.에 의해 비교적 높은 출현을 보였던 1월부터 3월까지 가장 높은 기여도를 보였고, 유충 섬모충류는 *Leprotintinus* sp.에 의해 높은 출현을 보였던 10월 초조기부터 12월까지, 그리고 *Stenosemellas* sp.에 의해 높은 출현을 보였던 5월에 가장 높은 기여도를 보였다(Fig. 8). 따라서 조사기간 동안 부유 섬모충류는 미소형 및 소형 동물플랑크톤 군집 중에서 가장 우점하는 그룹으로 나타났으나 두 그룹이 우점하는 시기는 각각 다르게 나타났다. 종속영양 와편모류의 탄소량은 평균 $125.8 \pm 47.2 \text{ mgC m}^{-2}$ 로 나타났으며, 3월에 가장 높았으며, 5월과 9월에도 비교적 높게 나타났다(Fig. 8). 미소형 및 소형 동물플랑크톤 군집 중에서 종속영양 와편모류가 차지하는 비율은 2.9~38.3%로 평균 $15.3 \pm 2.6\%$ 를 차지였으며, 종속영양 와편모류가 높게 나타난 3월과 9월에 그리고 11월에 30% 이상으로

높게 기여하였다. 종속영양 와편모류가 미소형 및 소형 동물플랑크톤 군집에 기여하는 비율은 대증식이 발생한 3월, 4월, 9월에 비교적 높았다. 동물플랑크톤 유생의 탄소량은 평균 $116.0 \pm 23.2 \text{ mgC m}^{-2}$ 로 나타났으며, 7월에 가장 높게 분포하였다(Fig. 8). 미소형 및 소형 동물플랑크톤 군집중에서 동물플랑크톤 유생이 차지하는 비율은 3.4~43.6%로 평균 $20.9 \pm 3.9\%$ 를 차지였으며, 동물플랑크톤 유생이 높게 나타난 7월과 그외 4월, 8월에 40% 이상의 높은 기여도를 보였다(Fig. 8). 따라서 동물플랑크톤 유생이 미소형 및 소형 동물플랑크톤에 기여하는 비율은 춘계에서 하계 사이에 비교적 높게 나타났으며, 동물플랑크톤 유생의 현존량은 낮는데 비해 동물플랑크톤 유생의 탄소량은 비교적 높게 기여하였다.

미소형 및 소형 동물플랑크톤의 크기별 군집 구조

조사기간 동안 $<10 \mu\text{m}$ 이하의 미소형 동물플랑크톤은 종속영양 미소 편모류로 구성되어 있으며, 간조와 만조를 평균한 종속영양 미소 편모류의 탄소량은 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 평균 20%를 차지하는 것으로 나타났다(Fig. 9). $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 크기의 미소형 동물플랑크톤은 $20 \mu\text{m}$ 이하의 미소형 빈 섬모충류, 미소형 유충 섬모충류, 미소형 종속영양 와편모류를 포함하며, 전체 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 평균 11%를 차지하는 것으로 나타났다. $20 \sim 50 \mu\text{m}$ 크기의 소형 동물플랑크톤은 전체의 24%를 차지하였으며, 10월부터 12월 사이에 비교적 높은 기여율을 보였다. $50 \sim 100 \mu\text{m}$ 크기의 소형 동물플랑크톤은 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 평균 13%를 차지였으며 3월과 9월, 10월에 비교적 높게

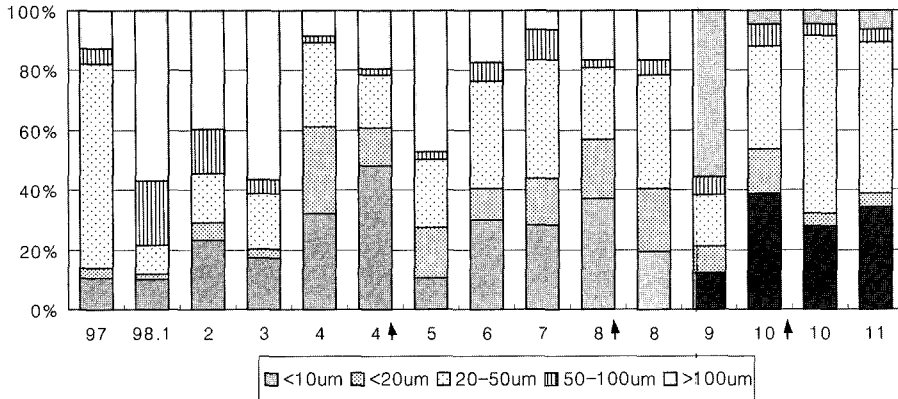


Fig. 9. Relative percentage of size-fractionated nano- and microzooplankton in terms of carbon biomass (mgC m^{-3}) in the study area. Arrow indicates spring tide.

기여하였다. 100 μm 크기 이상의 소형 동물플랑크톤은 전체 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 평균 31%를 차지하였다. 이들의 분포는 1월을 제외하고는 3월, 5월, 9월의 대증식이 발생한 시기에 가장 높은 기여율을 보였다. 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 크기별 군집구조는 현존량으로 구분 했을때, 종속영양 미소 편모류를 제외하고는 20~50 μm 크기의 종들이 가장 높게 기여하는 것으로 나타났다(양, 2001). 그러나 탄소량으로 구분했을 때는 100 μm 이상의 소형 동물플랑크톤에 의해 가장 높게 기여하였으며, 그외 20 μm 이하의 미소형 동물플랑크톤에 의해 우점하였다.

미소형 및 소형 동물플랑크톤 군집과 크기별 식물플랑크톤과의 관계

조사수역의 미세생물 그룹들간의 상호관계를 파악하기 위하여 월별 수심 평균한 간조와 만조시의 미소형 및 소형 동물플랑크톤과 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 크기별 그룹, 그리고 크기별 식물플랑크톤 생물량과의 상관 관계를 분석하였다(Table 2). 종속영양 미소 편모류(HNF)의 생물량은 극미소 식물플랑크톤과 상관성이 있는 것으로 나타났다. 부유 섬모충류(ciliates)는 소형 식물플랑크톤과 독립영양 미소 편모류와 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 엽록소-a와 높은 상관관계를 보였다. 종속영양 와편모류(HDF)는 소형 식물플랑크톤과 높은 상관관계를 보였으며($r=0.93$, $p<0.0001$), 극미소 식물플랑크톤과도 상관성이 있는 것으로 나타났다. 동물플랑크톤 유생은 극미소 식물플랑크톤과 독립영양 미소 편모류와 상관성이 있는 것으로 나타났다. 전체 미소형 및 소형

동물플랑크톤 군집(TNMZ)은 총 엽록소-a와 높은 상관관계를 보였으며, 특히 소형 식물플랑크톤 및 미소 식물플랑크톤과 높은 상관관계를 보였고($r=0.8$, $p<0.0005$), 극미소 식물플랑크톤과도 상관성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 조사수역의 미소형 및 소형 동물플랑크톤 군집은 크기별 식물플랑크톤 군집 구조와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 크기별 미소형 및 소형 동물플랑크톤 군집과 크기별 식물플랑크톤과의 관계는 Table 3에 제시하였다. <10 μm 이하의 미소형 동물플랑크톤은 극미소 식물플랑크톤과 상관성이 있는 것으로 나타났다. 10~20 μm 사이의 미소형 동물플랑크톤은 독립영양 미소 편모류와 높은 상관관계를 보였고($r=0.8$, $p<0.0005$), 미소 식물플랑크톤과 극미소 식물플랑크톤과 상관성이 있는 것으로 나타났다. 10~20 μm 사이의 미소형 동물플랑크톤중 미소형 섬모충류(nanociliates)는 극미소 식물플랑크톤과 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 미소형 종속영양 와편모류(nanoHDF)는 독립영양 미소편모류와 높은 상관관계를 보였고($r=0.8$, $p<0.0005$), 미소 식물플랑크톤 및 극미소 식물플랑크톤과 상관성이 있는 것으로 나타났다. 20~50 μm 크기의 소형 동물플랑크톤은 독립영양 미소편모류, 소형 식물플랑크톤, 미소 식물플랑크톤, 극미소 식물플랑크톤과 상관성이 있는 것으로 나타났다. 50~100 μm 크기의 소형 동물플랑크톤은 소형 식물플랑크톤과 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 100 μm 크기 이상의 소형 동물플랑크톤은 소형 식물플랑크톤과 높은 상관관계를 보였다($r=0.8$, $p<0.0005$). 이와 같이 크기별 미소형 및 소형 동물플랑크톤과 크기별 식물플랑크톤과의 관계는 극미소 식물플랑크톤이 우점하는

Table 2. Pearson's correlation coefficients between microbial communities biomass. NeC: Net chl.-a (>20 μm); NaC: Nano chl.-a (3-20 μm); PiC: Pico chl.-a (<3 μm); ANF: Autotrophic nanoflagellate; HNF: Heterotrophic nanoflagellates; HDF: Heterotrophic dinoflagellates; Znauplii: Zooplankton nauplii; TNMZ: total nano- and microzooplankton. Correlation were performed on the data of depth average of high tide and low tide ($n=30$). *** $P<0.0005$, ** $P<0.005$, * $P<0.05$.

	Chl.-a	NeC	NaC	PiC	ANF ^a	HNF ^b	Oligotrichs	Tintinnids	Ciliates	HDF	Znauplii
HNF	0.280	0.196	0.041	0.648*	0.209						
Oligotrichs	0.473	0.669**	-0.020	0.233	0.505*	0.181					
Tintinnids	0.445	0.211	0.522*	0.201	0.510*	0.071	0.276				
Ciliates	0.573*	0.597*	0.253	0.274	0.509*	0.168	0.871***	0.711**			
HDF	0.770**	0.938***	0.1567	0.538*	0.1595	0.2239	0.765**	0.3912	0.759**		
Znauplii	0.347	0.182	0.389	0.603*	0.576*	0.604*	-0.094	0.323	0.096	0.159	
TNMZ	0.778***	0.801***	0.649**	0.558*	0.388	0.373	0.805***	0.632*	0.911***	0.904***	0.352

^aANF^a data was quoted from Song (1999).

^bHNF^b data was quoted from Yang et al.(2003).

Table 3. Pearson's correlation coefficients between microbial communities biomass and size-fractionated nano- and microzooplankton. Correlation were performed on the data of monthly depth average of high and low tide (n=30). ***P<0.0005, **P<0.005, *P<0.05.

	Chl.-a	NeC	NaC	PiC	ANF	<10 μm	10-20 μm	Nanociliate	NanoHDF	20-50 μm	50-100 μm
<10 μm	0.278	0.346	0.041	0.648**	0.209						
10-20 μm	0.465	0.122	0.674**	0.542*	0.800***	0.426					
Nanociliate	0.255	0.338	0.007	0.602**	0.170	0.993***	0.391				
NanoHDF	0.451	0.087	0.695**	0.548*	0.808***	0.346	0.995***	0.309			
20-50 μm	0.640**	0.589*	0.638*	0.575*	0.672**	0.553*	0.650**	0.550*	0.615*		
50-100 μm	0.527*	0.829***	-0.131	0.366	-0.099	0.270	-0.142	0.283	-0.178	0.542*	
>100 μm	0.667**	0.801***	0.155	0.348	0.070	0.326	0.255	0.324	0.231	0.742**	0.829***

시기에는 20 μm 이하의 미소형 동물플랑크톤이 주로 높게 분포하였으며, 20~50 μm의 소형 동물플랑크톤은 주로 미소 식물플랑크톤이 우점하는 시기에 높게 분포하였다. 또한 50 μm 이상의 소형 동물플랑크톤이 높게 분포하는 시기에는 소형 식물플랑크톤과 높은 상관관계를 보였기 때문에 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 크기별 군집에 따라 미세생물의 크기별 군집구조들이 일치하는 결과를 보였다.

고찰

부유 섬모충류의 분포

부유 섬모충류는 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 가장 중요한 구성자로서 표영 생태계의 미세생물 먹이망에서 극미소 플랑크톤을 효과적으로 섭식할수 없는 중형 동물플랑크톤과 극미소 플랑크톤 사이의 연결자로서 중요한 역할을 한다(Sherr *et al.*, 1989; Verity, 1991; Pierce and Turner, 1992). 조사기간 동안 부유 섬모충류의 현존량은 다른 해양환경에서 보고된 부유 섬모충류의 현존량과 유사한 범위 내에 있다(Table 4). 우리나라에서 부유 섬모충류에 대한 연구는 경기만(Lee and Choi, 2000), 전남 고흥(정 등, 2000), 전북 새만금 수역(정 등, 2002)에서 섬모충류의 생물량 분포가 조사되었으며, 우리의 조사는 이와 유사한 현존량 분포를 보였다. 부유 섬모충류의 생물량 분포는 외해역에 비해 온대 연안해역에서 변화가 매우 크게 나타나므로, 온대 연안해역에서 부유 섬모충류의 변동을 조절하는 요인에 대해서는 아직 불명확하다

(Carlough and Meyer, 1989; Pierce and Turner, 1992). 이제 까지 많은 조사에서 부유 섬모충류의 분포는 일반적으로 식물 플랑크톤과 밀접한 관계가 있는 것으로 보고 되었다(Beers and Stewart, 1970; Lynn and Montagnes, 1991; Suzuki and Taniguchi, 1998). 본 조사수역에서도 부유 섬모충류의 생물량은 식물플랑크톤 분포와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다(Table 2). 이런 관계가 전반적으로 섬모충류와 식물플랑크톤 사이의 피식-포식자 관계를 나타내는데 필수적인 것은 아닐지라도 섬모충류의 계절 변화는 식물플랑크톤 현존량과 밀접한 관계를 갖는것 같다(Taylor, 1982).

부유 섬모충류 중 체내에 엽록체를 갖고 있어 혼합영양을 하는 섬모충류는 해양 생태계에서 부유 섬모충류 그룹의 평균 40~50%를 차지한다(Stoecker *et al.*, 1987; Laval-Peuto and Rassoulzadegan, 1988). 조사기간 동안 혼합영양 섬모충류는 부유 섬모충류 현존량의 1~23.5%를 차지하였고, 탄소량의 0.6~45%를 기여하는 것으로 나타났다(Fig. 6). 이들의 분포 특성은 주광성과 양의 상관관계를 보이며, 주로 해양의 표층에 분포하며(Laval-Peuto *et al.*, 1986), 수직혼합이 활발한 본 조사수역에서도 혼합영양 섬모충류는 주로 표층에서 높게 분포하였다(Fig. 2). 이와 같은 결과는 혼합영양 섬모충류의 기여도가 큰 시기에 부유 섬모충류가 주로 표층에 높게 분포하는 것과 관련이 있는 것으로 생각된다. 혼합영양 섬모충류는 종속영양 섬모충류에 비해 영양학적으로 더 높은 성장 효율을 가질 수 있으며(Putt, 1990; Stoecker and Michaels, 1991), 미세생물 먹이망에서 생산자와 소비자의 역할을 동시에 할 수 있기 때문에 플랑크톤 먹이망의 구조에 중요한 영향을 미칠수도 있다. 따

Table 4. Comparisons of ciliates abundance and biomass in various temperate coastal systems.

Study site	Abundance ($\times 10^3$ cells l^{-1})	Biomass ($\mu g C l^{-1}$)	References
Chesapeake bay	3.0-17.5	5.0-12.0	Dolan and Coats, 1990
Gulf of maine, U.S.A	0.35-6.0	<1-5.7	Montagnes <i>et al.</i> , 1988
Southampton, U.K.	0.7-16.0	1.4-219	Leaky <i>et al.</i> , 1992
Adriatic sea	0.3-2.9	0.3-41.0	Revelante and Gilmartin, 1983
Kiel bight, Germany	2-28	0.05-50	Smetacek, 1981
Lower Chesapeake bay	5	13.7	Park and Choi, 1997
Upper Chesapeake bay	0.4-78	7.-12.5	Dolan, 1991
N.W mediterranean	0.1-25	0.03-96.2	Vaqué <i>et al.</i> , 1997
Lawrence estuary	0.24-19.0	0.23-51.5	Sime-Ngando <i>et al.</i> , 1995
Disko bay, Greenland (summer)	2.3-8.2	4.7-24.1	Levinsen <i>et al.</i> , 1999
Saemankeum, Korea (summer-fall, 1999)	1-11	-	Jeong <i>et al.</i> , 2002
Kyeonggi Bay, Korea (1992-1993)	5.2±2.9	12.4±11.6	Lee and Choi, 2000
Kyeonggi Bay, Korea (1998)	0.3-44	1.8-119.7	This study

Table 5. Comparisons of heterotrophic dinoflagellates abundance and biomass in various temperate coastal systems.

Study site	Abundance ($\times 10^3$ cells l^{-1})	Biomass ($C\ l^{-1}$)	References
Kiel Bight, Germany	–	<1–25	Smetacek, 1981
Kattegat, Denmark	200*	162*	Hansen, 1991
Dogger Bank, North sea	0.4–27	>1	Nielsen <i>et al.</i> , 1993
Seto Inland Sea, Japan	4–90	–	Nakamura <i>et al.</i> , 1995
Coastal East Antarctica	4.5–33	10.6–114.5	Archer <i>et al.</i> , 1996
Disko Bay, Greenland (summer)	3.19–16.3	1.57–32.6	Levinsen <i>et al.</i> , 1999
Kohung, Korea(summer)	45*	–	Jeong <i>et al.</i> , 2000
Saemankeum, Korea (summer-fall, 1999)	0.5–11.6	–	Jeong <i>et al.</i> , 2002
Kyeonggi Bay (summer)	0.3–3.2	0.27–3.15	Park, 1995
Kyeonggi Bay (1998)	0.3–94	0.41–41.6	This study

*Maximum abundance

라서 외해의 빈영양 해역에서 중요시 연구되어 왔던 혼합영양 섬모충류에 대한 연구는 연안 생태계에서도 필수적인 것이라 사료된다.

중속영양 와편모류의 분포

중속영양 와편모류는 해양 생태계의 중요한 구성자로서, 미세생물 먹이망에서 중요한 역할을 하고 있음에도 불구하고 이들의 생태학적 지위를 밝히는 연구는 부유 섬모충류에 비해 드물게 연구되어왔다(Jacobson and Anderson, 1986; Hansen, 1991; Lessard, 1991). 조사수역에서 중속영양 와편모류의 현존량과 탄소량 범위는 기존에 연안해역에서 조사된 값과 유사한 범위내에 있다(Table 5). 우리나라에서 중속영양 와편모류의 생태에 관한 연구는 박(1995)과 정 등(2000, 2002)에 의해 보고 되었으며, 조사수역에서 중속영양 와편모류의 생물량 분포는 정 등(2000)에 의한 연구와 유사하게 식물플랑크톤의 분포와 밀접한 관계를 보였다. 중속영양 와편모류는 연안환경에서 규조류의 중요한 섭식자로서, 이들의 분포는 전형적으로 대증식이 발생한 시기 또는 대증식이 끝난 직후에 가장 높게 출현하기 때문에 식물플랑크톤의 섭식자로서 중요한 역할을 하는 것으로 밝혀졌다(Hansen, 1992; Levinsen *et al.*, 1999; 정 등, 2000). 조사기간 동안 중속영양 와편모류는 식물플랑크톤과 가장 높은 상관관계를 보였으며(Table 2), 식물플랑크톤의 대증식이 발생한 시기에 높게 나타났다. 조사수역에서 중속영양 와편모류는 정 등(2000)에 의한 연구 결과에서도 제시된 것과 같이 규조류 제거의 중요한 포식자임을 설명할 수 있다. 따라서 수괴의 혼합이 심한 연안 환경에서 무시되어 왔던 중속영양 와편모류에 대한 생태학적 역할과 피식-포식자에 관한 연구는 연안 생태계에서 플랑크톤 군집 변동과 미세생물 먹이망의 구조를 이해하는데 중요한 지표가 될 수 있을 것으로 사료된다.

동물플랑크톤 유생의 분포

동물플랑크톤 유생은 소형 동물플랑크톤의 중요한 구성자로서(Uye *et al.*, 1996; Park and Choi, 1997; Zhang and Wang, 2000), 해양 생태계에서 어류 유생의 중요한 먹이로서 제공되며(Monteleone, 1992), 미소형 플랑크톤의 소비자로서 중요한 역할을 한다(Pace, 1986). 그러나 동물플랑크톤 유생이 소형 동물플랑크톤 탄소량의 많은 부분을 차지하고 있음에도 불구하고 이제까지 동물플랑크톤 유생에 관한 연구는 단지 중형 동물플랑크톤에 포함시켜 왔고, 소

형 동물플랑크톤의 구성자로서 동물플랑크톤 유생에 관한 연구는 드문 편이었다. 조사기간 동안 출현한 동물플랑크톤 유생의 분포는 경기만에서 2주 간격으로 조사시에 2~338 indiv. l^{-1} 로 분포하였고(Shim and Choi, 1996), Chesapeake Bay에서 49~180 indiv. l^{-1} 로 분포하였으며(Park and Choi, 1997), Bohai Sea에서 0~140 indiv. l^{-1} 로 분포하여(Zhang and Wang, 2000), 조사기간 동안 출현한 동물플랑크톤 유생의 분포는 다른 해역에 비해 다소 높게 나타났다. 동물플랑크톤 유생의 계절적 분포는 춘계와 하계에 주로 높았으며, 특히 하계에 가장 높게 나타났다. 이 같은 분포 특성은 1994년의 조사결과(Shim and Choi, 1996)와도 계절적으로 유사한 결과이다. 또한 동물플랑크톤 유생은 극미소 식물플랑크톤, 독립영양 미소편모류와 높은 상관관계를 보여(Table 2), 극미소와 미소형 식물플랑크톤의 주요 소비자로서 하계에 중요한 역할을 할 것으로 사료된다.

미소형 및 소형 동물플랑크톤의 조석에 의한 분포

플랑크톤의 분포는 수괴의 환경특성에 많이 영향을 받으며, 특히 조석에 의한 영향을 많이 받는 연안수역에서 조석주기는 부유생물의 분포에 영향을 미친다. 소형 동물플랑크톤의 현존량 분포에 관한 많은 연구가 있어 왔지만 경기만과 같이 조석차이가 큰 수역에서 조석에 의한 소형 플랑크톤에 관한 연구는 드물게 보고되었다. 중국의 발해만에서 부유 섬모충류는 조석에 따른 뚜렷한 차이를 보이는 것으로 나타났다(Zang and Wang, 2000). 또한 서해 경기만의 한강수의 영향을 직접 받는 세어도 수역에서 대조기와 소조기에 각각 간조시와 만조시에 부유 섬모충류의 생물량에 대하여 조사하였다(미발표 자료). 세어도 수역은 간조시와 만조시에 염분도의 차이가 4~12 psu로 나타나는 수역이다. 조사결과 부유 섬모충류의 대조기와 소조기에 의한 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았으나 간조와 만조에 따른 뚜렷한 차이를 보였으며, 간조시와 만조시에 최대 10배까지 현존량 차이를 보였다. 특히 빈 섬모충류는 간조에서 만조로 갈수록 높게 나타났으며, 유종 섬모충류는 반대되는 결과를 보여 세어도 수역에서 소형 동물플랑크톤은 조석에 따른 큰 차이를 보였다. 그러나 본 조사수역인 팔미도 수역은 수온, 염분, 용존 유기탄소, 부유물질, 엽록소-a 및 박테리아 등이 조석에 따라 큰 차이를 보이지 않았으며(양 등, 2003), 유종 섬모충류를 제외하고 미소형 및 소형 동물플랑크톤 각각의 그룹들도

조석에 따른 차이를 보이지 않았다(Table 1). 또한 부유 섬모충류와 종속영양 와편모류는 소조기에 비해 대조기에 높은 분포를 보였으나 그의 그룹들은 두 시기에 따른 차이를 보이지 않았다. 이것은 대조기와 소조기의 차이 보다는 시료채집의 시간적 차이가 더욱 컸을 것으로 보인다. 따라서 본 조사수역에서 미소형 및 소형 동물플랑크톤 각각의 군집의 생물량은 조석에 의해 크게 영향을 받지 않은 것으로 사료된다.

미소형 및 소형 동물플랑크톤 군집구조의 특성

조사수역에 출현한 미소형 및 소형 동물플랑크톤 군집은 종류에 따라 종속영양 미소 편모류, 빈 섬모충류와 유충 섬모충류를 포함한 부유 섬모충류, 종속영양 와편모류, 동물플랑크톤 유생으로 구분하였다. 이제까지 우리나라에서 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 전반적인 조사에 관한 연구는 전무하지만, 그중 가장 우점하는 그룹으로 나타나는 원생동물에 관한 생태학적 연구가 일부 수행되었다(박, 1995; Lee and Choi, 2000; 정 등, 2000, 2002). 그러나 이들의 연구는 특정 그룹에 제한되어 있었기 때문에 전반적인 미소형 및 소형 동물플랑크톤 그룹에 대한 분포 특성과 군집구조를 이해하기는 어려웠다. 조사수역에서 미소형 및 소형 동물플랑크톤 중 가장 많은 부분을 차지한 그룹은 부유 섬모충류로 나타났다(Fig. 8). 부유 섬모충류가 미소형 및 소형 동물플랑크톤 그룹에서 높은 비율을 차지한 시기는 일정하지 않았으며, 유충 섬모충류와 빈 섬모충류가 우점하는 시기도 각기 다르게 나타났다. 빈 섬모충류 그룹중 1월부터 3월, 4월까지 크기가 큰 *Strombidinopsis* spp.에 의한 높은 분포는 경기관 해역에서 일반적인 현상이라 할 수 있다. 이시기에 관찰된 *Strombidinopsis* spp.의 내부에 체인형 구조체가 발견되는 것으로 보아 *Strombidinopsis* spp.는 다른 섬모충류에 비하여 높은 섭식능력을 갖고 있으며, 구조체가 우점하는 동계에 가장 중요한 포식자로서 대표될 수 있다(양, 2001). 그외에 추계 대증식기에 크기가 비교적 큰 *Laboea strobila*와 *Tontonia* spp.에 의해 우점하여 비교적 높은 기여도를 보였다. 유충 섬모충류는 11월과 12월 사이에 *Tintinnopsis* spp.에 의해 비교적 높은 기여도를 보였다. 또한 *Prorocentrum minimum*에 의해 높은 우점율을 보였던 5월에 *Stenosemella* sp.에 의한 높은 우점율은 이들 사이에 피식-포식자의 관계가 있음을 암시하였다. 이와 같이 부유 섬모충류의 각 그룹은 계절적으로 우점하는 시기가 다르게 나타났으며, 추계 대증식 시기를 제외하고는 대부분은 미소 식물플랑크톤이 높게 우점하는 시기에 높은 우점율을 보였다. 미소형 및 소형 동물플랑크톤 군집에서 부유 섬모충류 다음으로 많은 부분을 차지한 그룹인 종속영양 와편모류는 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 2.4~70.3%로 평균 18.9%를 차지하였으며 계절적으로 크게 변화하였다. 계절적으로 미소형 및 소형 동물플랑크톤에서 종속영양 와편모류가 차지하는 비율은 크기가 큰 구조류에 의해 우점하는 춘계 대증식 시기에 50% 이상의 기여도를 보여 종속영양 와편모류는 구조류의 대증식 시기와 관련이 있으며, 구조류의 중요한 포식자로 생각할 수 있다. 그 증거로 시료 분석시 현미경 관찰에서 *Gyrodinium* spp.의 내부에 자신의 몸체보다 큰 구조류를 섭식하고 있는 많은 종속영양 와편모류를 관찰하였으며(양, 2001), 구조류에 대한 *Gyrodinium* spp.의 engulfing 섭식 형태는 Gulf of Mexico 연안에서도 관찰되었다(Strom and Strom, 1996). 이제까

지 많은 연구들에 의해 종속영양 와편모류는 식물플랑크톤의 중요한 섭식자로서 나타났다(Hansen, 1991; Levinsen et al., 1999; 정 등, 2000). 본 조사기간 동안 일부 시기를 제외하고 종속영양 와편모류중 무각 종속영양 와편모류는 전체의 80% 이상 우점하여 조사수역의 종속영양 와편모류의 대부분은 무각 종속영양 와편모류로 구성되어 있음을 알 수 있다(Fig. 7). 그러나 9월의 대증식기에는 유각 종속영양 와편모류가 종속영양 와편모류의 평균 40%를 우점하는 것으로 나타났다. 따라서 *Protoperidinium* spp.로 주로 구성되어 있는 유각 종속영양 와편모류는 하계의 대증식 시기 동안 비교적 큰 기여를 하는 것으로 생각된다. 따라서 종속영양 와편모류 그룹은 춘계와 하계를 제외하고 주로 미소형 종속영양 와편모류로 구성되어 있으며, 이들의 분포는 이 시기에 미소형 및 소형 동물플랑크톤 그룹에 더 크게 기여하는 것으로 생각된다. 또한 미소형 및 소형 동물플랑크톤 그룹중 종속영양 미소 편모류는 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 0.8~57.1% 까지 차지하며 식물플랑크톤의 대증식이 발생하지 않은 시기에 비교적 높게 기여하였다(Fig. 8). 조사수역에서 미소형 및 소형 동물플랑크톤에 종속영양 미소 편모류가 차지하는 비율은 일부 시기를 제외하고 섬모충류와 종속영양 와편모류에 비해 낮은 것으로 나타났다. 동물플랑크톤 유생은 미소형 및 소형 동물플랑크톤 탄소량의 1.9~67.7%로, 평균 20.8%를 차지하여 다른 그룹에 비해 상대적인 기여도가 낮았다. 미소형 및 소형 동물플랑크톤에 동물플랑크톤 유생이 차지하는 비율은 5월과 7월~8월에 가장 높았으며, 계절적 분포 특성이 뚜렷하였다. 단지 섬모충류와 동물플랑크톤 유생만을 비교했을 때 동물플랑크톤 유생은 Seto Inland Sea에서 최대 60%까지 기여하며(Uye et al., 1996), Chesapeake Bay에서 77%까지(Park and Choi, 1997) 기여하여 미소형 및 소형 동물플랑크톤 군집에서 중요한 역할을 하는 것으로 보고 되었다. 본 조사에서도 비록 평균적으로 동물플랑크톤 유생이 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 생물량에 낮게 기여하는 것으로 나타났지만 동물플랑크톤 유생은 미소 식물플랑크톤과 극미소 식물플랑크톤이 우점하는 하계에 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 40% 이상을 차지하여, 이 시기에 식물플랑크톤에서 중형 동물플랑크톤을 연결하는 탄소의 중요한 전달자 역할을 할 수 있음을 시사한다.

이상과 같이 조사수역의 미소형 및 소형 동물플랑크톤 그룹의 군집구조는 계절적으로 많은 차이를 보였고, 시기적으로 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 우점 그룹이 각기 다르게 나타났다. 그러나 동물플랑크톤 유생이 가장 높게 기여하는 일부 시기를 제외한다면, 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 많은 부분은 부유 섬모충류와 종속영양 와편모류로 구성되어 있으며, 이런 군집구조의 특성은 식물플랑크톤의 크기별 군집구조와 일치하는 양상을 보였다. 따라서 미소형 및 소형동물플랑크톤 군집의 계절별 분포는 식물플랑크톤의 크기별 군집구조에 의해 영향을 받는 것으로 생각된다.

식물플랑크톤의 크기에 따른 미소형 및 소형 동물플랑크톤과의 관계

해양 생태계에서 크기에 따른 식물플랑크톤을 분석하는 것은 미세생물 먹이망을 통한 에너지 흐름을 파악하고 미세생물 먹이망의 구조를 이해하는데 중요하다(Riegman et al., 1993; Mousseau et al., 1996). 현장 조사에서 미세생물 군집 사이의 상관관계 분석

은 먹이와 포식자 사이에 어떤 양의 상관관계가 있음을 설명한다 (Hwang and Heath, 1997; James and Hall, 1995). 본 조사에서는 상관관계 분석을 통하여 식물플랑크톤의 크기별 구조와 미소형 및 소형 동물플랑크톤 사이에 피식-포식자의 관계를 설명하였다. 특히 먹이에 대한 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 영양학적 역할을 좀더 정확하게 설명하기 위해 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 크기를 구분하였다(Rassoulzadegan *et al.*, 1988; Tamigneaux *et al.*, 1997). 조사수역에 출현한 미소형 및 소형 동물플랑크톤 군집과 크기별 군집은 일차적으로 식물플랑크톤의 크기별 생물량과 높은 상관관계를 보여 미소형 및 소형 동물플랑크톤과 식물플랑크톤 생물량 사이에 밀접한 관계를 제시하였다(Table 2). 종속영양 미소편모류는 극미소 식물플랑크톤과 높은 상관관계를 보여 극미소 식물플랑크톤을 선호하는 것으로 생각된다. 부유 섬모충류는 소형 식물플랑크톤, 미소 식물플랑크톤, 독립영양 미소편모류와 높은 상관관계를 보였다. 많은 연구를 통해 부유 섬모충류는 박테리아, 미소형 및 소형 식물플랑크톤, 작은 미소 편모류등의 다양한 먹이를 섭식하는 것으로 보고되었으며(Sheldon *et al.*, 1986; Fenchel, 1987; Capriulo, 1990), 조사수역에 출현한 부유 섬모충류는 다양한 크기의 먹이를 섭식할 수 있는 다양한 크기로 구성되어 있음을 알 수 있다. 또한 종속영양 외편모류의 생물량은 소형 식물플랑크톤과 높은 상관관계를 보였으며, 20 μm 이하의 미소형 종속영양 외편모류는 미소 식물플랑크톤, 극미소 식물플랑크톤, 독립영양 미소편모류와 높은 상관관계를 보였다. 종속영양 외편모류는 '미세생물 고리'의 개념에서 예견했던 것보다 먹이에 관하여 다른 생태학적 지위를 차지하고 있는 것으로 나타났다(Levinsen *et al.*, 1999). 미소형 종속외편모류(<20 μm)는 미소 식물플랑크톤을 두고 섬모충류와 경쟁할 수 있으나 20 μm 이상의 종속영양 외편모류는 섬모충류의 먹이가 될 수 없는 큰 플랑크톤을 섭식할 수 있다(Hansen, 1992). 본 조사수역에서 종속영양 외편모류와 크기별 식물플랑크톤과의 높은 상관관계는 식물플랑크톤의 주요 소비자로서 종속영양 외편모류의 중요성을 암시한다. 또한 미소형 및 소형 동물플랑크톤 중 10~20 μm 사이의 미소형 동물플랑크톤의 많은 부분은 미소형 외편모류로 구성되어 있으며, 이들은 미소 식물플랑크톤과 독립영양 미소 편모류와 높은 상관관계를 제시하였다. 그러나 조사수역에서 미소형 섬모충류는 주로 극미소 식물플랑크톤과 연관이 있는 반면에 미소형 외편모류는 주로 미소 식물플랑크톤과 높은 상관관계를 보였다. 따라서 플랑크톤 군집에서 같은 미소형 플랑크톤이라도 미소형 외편모류와 미소형 섬모충류의 생태학적 역할은 서로 다를 것으로 보인다. 그 외 50 μm 이상의 소형 동물플랑크톤은 소형 식물플랑크톤과 높은 상관관계를 보여, 조사수역에서 소형 식물플랑크톤이 우점하는 대중식 시기에는 먹이의 크기에 따라 큰 크기의 소형 동물플랑크톤이 함께 분포하여 소형 식물플랑크톤의 많은 부분을 제거할 수 있으리라 사료된다.

사 사

본 논문을 세밀하게 심사해주신 두분의 심사위원께 진심으로 감사드립니다. 본 연구는 인하대학교 서해연안환경연구센터(RRC)의 연구비 지원과 인하대학교 박사후 과정의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- 박남주, 1995. 한국연안의 미세생물 먹이망내에서 종속영양 외편모류의 역할에 관한 연구. 인하대학교 이학석사 학위 논문, 129 pp.
- 송태운, 1999. 경기만에서 식물플랑크톤 군집구조와 색소의 월간 변동. 인하대학교 이학석사 학위 논문, 106 pp.
- 심재형, 윤성화, 조병철, 이원호, 1995. 만경·동진강 염하구에서 섬모충류에 의한 박테리아 섭식에 관하여. 한국해양학회지 '바다', **30**: 426-435.
- 양은진, 2001. 인천연안 미소형 및 소형 동물플랑크톤의 생태학적 연구. 인하대학교 이학박사 학위 논문, 286 pp.
- 양은진, 최중기, 현정호, 2003. 경기만 수역에서 미세생물 군집의 계절적 변동 연구. I. 박테리아와 종속영양 미소 편모류. 한국해양학회지 '바다', **8**: 44-57.
- 정해진, 박종규, 김재성, 김성택, 윤주이, 김수경, 박용민, 2000. 전남고흥해역의 유해성 적조의 발생연구. 3. 1997년도 종속영양 외편모류와 섬모충류의 시공간적 변화. 한국해양학회지 '바다', **5**: 37-46.
- 정해진, 유영두, 김재성, 2002. 전북 새만금 남쪽 해역의 유해성 적조 발생 연구. 2. 1999년도 여름-가을 종속영양 외편모류와 섬모충류의 시간적 변화. 한국해양학회지 '바다', **7**: 140-147.
- 최중기, 김시균, 노재훈, 박경철, 1995. 인천 연안 미세생물 먹이망 내에서 부유 원생동물의 포식율에 관한 연구. 한국해양학회지 '바다', **26**: 223-241.
- Archer, S.D., R.J.G. Leakey, P.H. Burkill and M.A. Sleight, 1996. Microbial dynamics in coastal waters of east Antarctica: herbivory by heterotrophic dinoflagellates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **139**: 239-255.
- Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, J.S. Gray, L.A. Meyer-Reil and F. Thingstad, 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **10**: 257-263.
- Beers, J.R. and G.L. Stewart, 1970. The ecology of the plankton off La Jolla, California, in the period April through September, 1969. Pt. IV. Numerical abundance and estimated biomass of microzooplankton. *Bull. Scripps Instn. Oceanogr.*, **17**: 67-87.
- Capriulo, G.M., 1990. Feeding-relative ecology of marine protozoa. In: *Ecology of marine Protozoa*. (G.M. Capriulo, Ed.) Oxford University Press, pp. 186-259.
- Carlough, L.A. and J.L. Meyer, 1989. Protozoans in two southeastern blackwater rivers and their importance to trophic transfer. *Limnol. Oceanogr.*, **34**: 163-177.
- Claereboudt, M., J. Côté, J. Bonardelli and J.H. Himmelman, 1994. Seasonal variation in abundance and size structure of phytoplankton in Baie des Chaleurs, southwestern gulf of St. Lawrence, in relation to physical oceanographic conditions. *Hydrobiologia*, **306**: 147-157.
- Dolan, J.R., 1991. Microphagous ciliates in mesohaline Chesapeake Bay waters: estimates of growth rates and consumption by copepods. *Mar. Biol.*, **111**: 303-309.
- Dolan, J.R. and D.W. Coats, 1990. Seasonal abundances of planktonic ciliates and microflagellates in mesohaline Chesapeake Bay waters. *Est. Coast. Shelf Sci.*, **31**: 558-565.
- Durban, E.G., R.W. Krawiec and T.J. Smayda, 1975. Seasonal stud-

- ies on the relative importance of different size fractions of phytoplankton in Narragansett Bay (USA). *Mar. Biol.*, **32**: 271–287.
- Edler, L., 1979. Phytoplankton and chlorophyll recommendations for biological studies in the Baltic Sea. *Baltic Marine Biologists*, pp. 13–25.
- Fenchel, T., 1987. Ecology of Protozoa. The Biology of Free-Living Phagotrophic Protists. Springer-Verlag, Berlin, 197 pp.
- Hansen, P.J., 1991. Quantitative importance and trophic role of heterotrophic dinoflagellates in a coastal pelagic food web. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **73**: 253–261.
- Hansen, P.J., 1992. Prey size selection, feeding rates and growth dynamics of heterotrophic dinoflagellates with special emphasis on *Gyrodinium spirale*. *Mar. Biol.*, **114**: 327–334.
- Hwang, S.J. and R.T. Heath, 1997. The distribution of protozoa across a trophic gradient, factors controlling their abundance and importance in the plankton food web. *J. Plankton Res.*, **19**: 491–518.
- Jacobson, D.M. and D.M. Anderson, 1986. Thecate heterotrophic dinoflagellates: Feeding behavior and mechanisms. *J. Phycol.*, **22**: 249–258.
- James, M.R. and J.A. Hall, 1995. Planktonic ciliated protozoa: their distribution and relationship to environmental variables in a marine coastal system. *J. Plankton Res.*, **17**: 659–683.
- Jeong, H.J., 1988. An ecological study on Marine Tintinnids (Ciliated Protozoa; Order Tintinnida) in Cheonsu Bay, Korea. Ms. thesis, Seoul Natl. Univ., Korea, 60 pp.
- Kang, H.K. and Y.J. Kang, 1997. Length and weight relationship of *Acartia steueri* (Copepoda: Calanoida) in Ilkwang Bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **30**: 906–908.
- Laval-Peuto, M. and F. Rassoulzadegan, 1988. Autofluorescence of marine planktonic Oligotrichina and other ciliates. *Hydrobiologia*, **159**: 99–110.
- Laval-Peuto, M., P. Salvano, P. Gayol and C. Gruet, 1986. Mixotrophy in marine planktonic ciliates: ultrastructural study of *Tontonia appendiculariformis* (Ciliophora, Oligotrichina). *Mar. Microb. Food Webs*, **1**: 81–104.
- Leakey, R.J.G., P.H. Burkill and M.A. Sleight, 1992. Planktonic ciliates in Southampton water: abundance, biomass, production, and role in pelagic carbon flow. *Mar. Biol.*, **114**: 67–83.
- Lee, W.J. and J.K. Choi, 2000. The roles of heterotrophic protists in the planktonic community of Kyeonggi Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **35**: 46–55.
- Lessard, E.J., 1991. The trophic role of heterotrophic dinoflagellates in diverse marine environments. *Mar. Microb. Food Webs*, **5**: 49–58.
- Levinsen, H., T.G. Nielsen and B.W. Hansen, 1999. Plankton community structure and carbon cycling on the western coast of Greenland during the stratified summer situation. II. Heterotrophic dinoflagellates and ciliates. *Aquat. Microb. Ecol.*, **16**: 217–232.
- Lynn D.H. and D.J.S. Montagnes, 1991. Global production of heterotrophic marine planktonic ciliates. In: Reid PC, Turley CM, Burkill PH (eds) *Protozoa and their role in marine processes*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp. 281–307.
- Montagnes, D.J.S., D.H. Lynn, J.C. Roff and W.D. Taylor, 1988. The annual cycle of the heterotrophic planktonic ciliates in the waters surrounding the Isles of Shoals, Gulf of Maine: an assessment of their trophic role. *Mar. Biol.*, **99**: 21–30.
- Monteleone, D.M., 1992. Seasonality and abundance of ichthyoplankton in Great South Bay, New York. *Estuaries*, **15**: 230–238.
- Mousseau, L., L. Legendre and L. Fortier, 1996. Dynamics of size-fractionated phytoplankton and trophic pathways on the Scotian Shelf and at the shelf break, Northwest Atlantic. *Aquat. Microb. Ecol.*, **10**: 149–163.
- Nakamura, Y., S. Suzuki and J. Hiromi, 1995. Population dynamics of heterotrophic dinoflagellates during a *Gymnodinium mikimotoi* red tide in the Seto Inland Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **125**: 269–277.
- Nielsen, T.G., B. Lokkegaard, K. Richardson, F.B. Pedersen and L. Hansen, 1993. Structure of plankton communities in the Dogger Bank area (North Sea) during a stratified situation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **95**: 115–131.
- Pace, M.L., 1986. An empirical analysis of zooplankton community size structure across lake trophic gradients. *Limnol. Oceanogr.*, **31**: 45–55.
- Pace, M.L., G.B. McManus and S.E.G. Findlay, 1990. Planktonic community structure determines the fate of bacterial production in a temperate lake. *Limnol. Oceanogr.*, **35**: 795–808.
- Park, G.S. and J.K. Choi, 1997. Microzooplankton assemblage: their distribution, trophic role and relationship to the environmental variable. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **32**: 145–155.
- Pierce, R.W. and J.T. Turner, 1992. Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. *Rev. Aquat. Sci.*, **6**: 139–181.
- Porter, K.G. and Y.S. Feig, 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.*, **25**: 943–948.
- Putt, M., 1990. Metabolism of photosynthate in the chloroplast-retaining ciliate *Laboea strobila*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **60**: 271–282.
- Putt, M. and D.K. Stoecker, 1989. An experimentally determined carbon: volume ratio for marine “oligotrichous” ciliates from estuarine and coastal waters. *Limnol. Oceanogr.*, **34**: 1097–1103.
- Rassoulzadegan, F. and M. Étienne, 1981. Grazing rate of the tintinnid *Stenosella ventricosa* (Clap. & Lachm.) Jörg. on the spectrum of the naturally occurring particulate matter from a Mediterranean neritic area. *Limnol. Oceanogr.*, **26**: 258–270.
- Rassoulzadegan, F., M. Laval-Peuto and R.W. Sheldon, 1988. Partitioning of the food ration of marine ciliates between pico- and nanoplankton. *Hydrobiologia*, **159**: 75–88.
- Revelante, N., and M. Gilmartin, 1983. Microzooplankton distribution in the Northern Adriatic Sea with emphasis on the relative abundance of ciliated protozoans. *Oceanol. Acta*, **6**: 407–415.
- Riegman, R., B.R. Kuipers, A.A.M. Noordeloos and H.J. Witte, 1993. Size-differential control of phytoplankton and the structure of plankton communities. *Neth. J. Sea Res.*, **31**: 255–265.
- Sheldon, R.W., P. Nival and F. Rassoulzadegan, 1986. An experimental investigation of a flagellate-ciliate-copepod food chain with some observations relevant to the linear biomass hypothesis. *Limnol. Oceanogr.*, **31**: 184–188.
- Sherr, E.B., F. Rassoulzadegan and B.F. Sherr, 1989. Bacterivory by pelagic choreotrichous ciliates in coastal waters of the NW Mediterranean Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **55**: 235–240.
- Sherr, E.B. and B.F. Sherr, 1994. Bacterivory and herbivory: key roles of phagotrophic protists in pelagic food webs. *Microb. Ecol.*, **28**: 223–235.
- Sherr, E.B., B.F. Sherr and G.A. Paffenhöfer, 1986. Phagotrophic

- protozoa as food for metazoans: a 'missing' trophic link in marine pelagic food webs?. *Mar. Microb. Food Webs*, **1**: 61–80.
- Shim, M.B. and J.K. Choi, 1996. A study on the seasonal succession of copepod community in Kyeonggi Bay, Yellow Sea through the short interval surveys. *The Yellow Sea*, **2**: 65–73.
- Sieburth, J.McN., V. Smetacek and J. Lenz, 1978. Pelagic ecosystem structure: heterotrophic components of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol. Oceanogr.*, **23**: 1256–1263.
- Sime-Ngando, T, M. Gosselin. S. Roy and J.P. Chanut, 1995. Significance of planktonic ciliated protozoa in the lower St. Lawrence Estuary: Comparison with bacterial, phytoplankton, and particulate organic carbon. *Aquat. Microb. Ecol.*, **9**: 243–258.
- Smetacek, V., 1981. The annual cycle of protozooplankton in the Kiel Bight. *Mar. Biol.*, **63**: 1–11.
- Stoecker, D.K. and A.E. Michaels, 1991. Respiration, photosynthesis and carbon metabolism in planktonic ciliates. *Mar. Biol.*, **108**: 441–447.
- Stoecker, D.K., A.E. Michaels and L.H. Davis, 1987. Large proportion of marine planktonic ciliates found to contain functional chloroplasts. *Nature*, **326**: 790–792.
- Strathmann, R.R., 1967. Estimation the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnol. Oceanogr.*, **12**: 411–418.
- Strom, S.L. and M.W. Strom, 1996. Microplankton growth, grazing, and community composition in the northern Gulf of Mexico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **130**: 229–240.
- Suzuki, T., and A. Taniguchi, 1998. Standing crops and vertical distribution of four groups of marine planktonic ciliates in relation to phytoplankton chlorophyll a. *Mar. Biol.*, **132**: 375–382.
- Tamigneaux, E., M. Mingelbier, B. Klein and L. Legendre, 1997. Grazing by protists and seasonal changes in the size structure of protozooplankton and phytoplankton in a temperate nearshore environment (western Gulf of St. Lawrence, Canada). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **146**: 231–247.
- Taylor, F.J.R., 1982. Symbioses in marine microplankton. *Ann. Inst. Oceanogr. Paris*, **58**: 61–90.
- Uye, S.I., N. Nagano and H. Tamaki, 1996. Geographical and seasonal variations in abundance, biomass and estimated production rates of microzooplankton in the Inland Sea of Japan. *J. Oceanogr.*, **52**: 689–703.
- Vaqu e, D., H.A. Blough and C.M. Duarte, 1997. Dynamics of ciliate abundance, biomass and community composition in an oligotrophic coastal environments(NW Mediterranean). *Aquat. Microb. Ecol.*, **12**: 71–83.
- Verity, P.G., 1991. Measurement of prey uptake by marine planktonic ciliates fed plastidic and aplastidic nanoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, **36**: 729–750.
- Verity, P.G. and C. Langdon, 1984. Relationships between lorica volume, carbon, nitrogen and ATP content of tintinnids in Narragansett Bay. *J. Plankton Res.*, **6**: 859–868.
- Weisse, T., H. Muller, R.M. Pinto-Ceolho, A. Schweizer, D. Springman and G. Baldringer, 1990. Response of the microbial loop to the phytoplankton bloom in a large prealpine lake. *Limnol. Oceanogr.*, **35**: 781–794.
- Zhang, W. and R. Wang, 2000. Summertime ciliate and copepod nauplii distributions and micro-zooplankton herbivorous activity in the Laizhou Bay, Bohai Sea, China. *Est. Coast. Shelf Sci.*, **51**: 103–114.

2002년 12월 20일 원고접수

2003년 3월 19일 수정본채택

담당편집위원: 서해립