

## 전북 새만금 남쪽 해역의 유해성 적조 발생연구 2. 1999년도 여름-가을 종속영양성 외편모류와 섬모충류의 시간적 변화

정해진\* · 유영두<sup>1</sup> · 김재성<sup>2</sup>

군산대학교 해양과학대학 해양정보과학과  
<sup>1</sup>군산대학교 새만금환경연구센터 (RRC)  
<sup>2</sup>군산대학교 적조연구센터

### Outbreak of red tides in the coastal waters off the southern Saemankeum areas, Jeonbuk, Korea

### 2. Temporal variations in the heterotrophic dinoflagellates and ciliates in the summer-fall of 1999

HAE JIN JEONG<sup>1</sup>, YEONG DU YOO<sup>2</sup>, JAE SEONG KIM<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Oceanography, College of Ocean Sciences and Technology, Kunsan National University, , Korea  
<sup>2</sup>Saemankeum Environmental Research Center, Kunsan National University, Korea  
<sup>3</sup>Red Tide Research Center, Kunsan National University, 573-701, R.O. Korea

전북 새만금 해역에서 1998년에 처음으로 유해성 적조생물인 *Cochlodinium polykrikoides*/*Gymnodinium impudicum*이 우점하는 대규모 적조가 발생한 뒤 유해성 적조의 반복적인 발생에 대한 우려가 증폭되고 있으므로, 이 해역의 적조생물을 비롯한 식물플랑크톤 동향과 이에 영향을 줄 수 있는 상위포식자인 원생동물에 대한 연구가 절실히 필요한 시점이다. 이 해역에서의 원생동물의 시간적 변화에 대한 연구를 하기 위하여, 1999년 8월 10일부터 11월 11일까지 모두 5차례에 걸쳐 매번 4개 정점의 2-5개 수층에서 시료를 채집하였다. 원생동물인 종속영양성 외편모류와 섬모충류(ciliates)의 종조성과 풍도를 조사하고, 본 연구와 동시에 조사된 유해성 적조생물을 포함한 식물플랑크톤과의 상관관계를 연구하였다. 조사기간 중 종속영양성 외편모류, 종피성 섬모충류 및 무피성 섬모충류의 출현 종 수와 풍도 모두 규조류가 우점한 시기에 최대값(풍도: 종속영양성 외편모류는 11, 종피성 섬모충류는 10, 무피성 섬모충류는 12 cells ml<sup>-1</sup>)을 기록한 반면, *C. polykrikoides*/*G. impudicum*가 우점하는 유해성 적조 발생 시기에는 낮은 풍도(풍도: 종속영양성 외편모류는 1, 종피성 섬모충류는 0.5, 무피성 섬모충류는 2.4 cells ml<sup>-1</sup>)을 나타냈다. 또한 규조류가 우점한 시기인 8월 10일과 11월 11일에 종피성 섬모충류와 무피성 섬모충류가 규조류와 비교적 높은 양의 상관관계를 나타내 이들이 규조류의 중요한 포식자로 작용했을 가능성이 높고, 동시에 규조류의 양적변화가 종피성 섬모충류와 무피성 섬모충류 풍도 변화에 큰 영향을 주었을 가능성이 높다. 독립-혼합영양성 외편모류가 우점한 9월 16일과 10월 18일에는 종속영양성 외편모류가 독립-혼합영양성 외편모류와 높은 상관관계를 나타냈는데, 10월 18일에 최고 우점종인 *Noctiluca scintillans*는 *C. polykrikoides*/*G. impudicum*의 유영속도가 현저히 떨어졌을 때 효과적으로 포식할 수 있는 능력을 가지고 있어, 당시에 운동성이 적은 *C. polykrikoides*/*G. impudicum* 개체들의 포식자였을 가능성이 높다. 본 연구해역에서 조사된 종속영양성 외편모류, 종피성 섬모충류, 무피성 섬모충류의 최대풍도는 *C. polykrikoides*/*G. impudicum*이 우점하는 적조가 가장 먼저 연례적으로 발생하는 전남 고흥-여수 해역에서 1997년 8-9월 적조발생 전후에 조사된 최대풍도보다 상당히 낮게 나타났다. 본 연구의 결과는 연구해역의 우점 식물플랑크톤과 종속영양성 외편모류, 종피성 섬모충류, 무피성 섬모충류 간의 포식자-피식자 관계 규명을 위한 기초 자료가 될 뿐 아니라, 나아가 서해안의 유해성 적조발생기작 연구에 있어서 원생동물성 포식자들의 역할 연구를 위한 유용한 자료로 활용될 것이다.

We investigated the temporal variations in the heterotrophic dinoflagellates (hereafter HTD), tintinnid ciliates (TC), and naked ciliates (NC) from August to November 1999 in the coastal waters off the southern Saemankeum areas where a huge red tide dominated by *Cochlodinium polykrikoides*/*Gymnodinium impudicum* was first observed in 1998. We took water samples from 2-5 depths of 4 stations in each of the 5 cruises and then measured the species composition and abundances of HTD, TC, and NC. The maximum species numbers and

\*Corresponding author: hjjeong@kunsan.ac.kr

densities of HTD, TC, and NC (11, 12, and 10 cells ml<sup>-1</sup>, respectively) were observed when the density of diatoms was highest (August 10), while the lowest values (1.0, 0.5, and 2.4 cells ml<sup>-1</sup>, respectively) were found when the red tide dominated by *C. polykrikoides*/*G. impudicum* took place (October 18). On August 10 and November 11 when diatoms dominated the abundance of phytoplankton, the correlation coefficients between TC, NC and diatoms were relatively high. However, On September 16 and October 18 when autotrophic+mixotrophic dinoflagellates(ATD+MTD) were abundant, the correlation coefficients between HTD and ATD+MTD were relatively high. The large HTD *Noctiluca scintillans* was the most dominant heterotrophic protists during the *C. polykrikoides*/*G. impudicum* red tide on October 18. *N. scintillans* has been known to feed on the prey cells when the swimming speeds of *C. polykrikoides*/*G. impudicum* markedly reduced at the decline stage of the red tide. Therefore, *N. scintillans* could be effective grazers on *C. polykrikoides*/*G. impudicum*. The maximum densities of HTD, TC, and NC in the study area were fairly lower than those obtained in the waters off Kohung-Yeosu areas in the summer-fall, 1997. The results of the present study provide the basis of understanding predator-prey relationships between dominant phytoplankton and heterotrophic protists and the roles of the protist grazers in bloom dynamics in the waters off the western Korea.

**Key words:** *Cochlodinium polykrikoides*, Harmful algal bloom, *Noctiluca*, Predator, Protist, Protozoa, Tintinnid

## 서론

원생동물은 해양생태계 플랑크톤 군집 내 주요 구성 요소 중 하나이다. 이들 중 종속영양성 와편모류와 섬모충류(ciliates)는 전 세계 거의 모든 해역에 존재하고, 가끔 풍도나 생체량에서 가장 우점하는 원생동물이다(Lessard, 1991; Pierce and Turner, 1992; Jeong, 1995). 이들은 해양생태계에서 매우 다양한 역할을 수행하는데, 해양세균, 식물플랑크톤(Fenchel and Jonsson, 1988; Jeong and Latz, 1994; Naustvoll, 1988; Jeong 1999; Jeong *et al.*, 1999a, 1999b, 2001a, 2001b, 2002), 다른 동물플랑크톤의 알이나 유생(Kimor, 1979; Jeong, 1994b)의 포식자 역할을 하는 동시에 상위 영양단계에 있는 후생동물플랑크톤이나 치어의 좋은 먹이가 되는 것으로 알려져 있다(Stoecker and Sanders, 1985; Jeong, 1994a; Jeong *et al.*, 2001b). 또한 이들은 동종의 다른 개체를 포식하기도 하고(cannibalism) (Jeong and Latz, 1994; Latz and Jeong, 1996), 다른 종에 속하는 원생동물을 잡아먹는 동시에, 그 종의 다른 개체에 의하여 잡아먹히기도 한다(상호포식, reciprocal predation) (Jeong *et al.*, 1997). 1990년대에 들어 본격화된 종속영양성 와편모류와 섬모충류의 생태학적 역할에 대한 이러한 새로운 발견들은 고전적인 선형적 먹이망을 매우 복잡한 먹이망으로 변형시켰고, 이 분야의 연구에 더욱 박차를 가하게 하였다 (Jeong, 1999).

종속영양성 와편모류와 섬모충류의 해양생태계 내 주요 역할 중 식물플랑크톤과의 관계 연구는 유해성 적조를 포함한 조류 대번식 역학(microbial bloom dynamics)을 이해하는데 필수적이다. 그 동안 많은 연구들은 종속영양성 와편모류와 섬모충류들이 식물플랑크톤, 특히 와편모류성 적조생물을 효과적으로 포식하므로써 적조발생을 막거나 지체시키고(Watras *et al.*, 1985), 적조가 일단 발생한 후에도 적조생물 개체군 감소에 상당한 영향을 줄 수 있음이 많은 연구를 통하여 입증되었다(Eppely and Harrison, 1975; Nakamura *et al.*, 1995; Jeong *et al.*, 1999b, 2001a, 2002). 그러므로 종속영양성 와편모류와 섬모충류가 적조생물의 개체군 역학에 미치는 영향을 규명하기 위하여 먼저 적조가 발생하는 해역에서 적조생물 종류 및 적조발생과정에 따른 종속영양성 와편모류

와 섬모충류의 변동을 알아보고, 이들과 적조생물과의 상관관계를 연구하였다. 앞으로 높은 상관관계를 갖는 종속영양성 와편모류와 섬모충류를 해당 적조생물 종에 대한 잠재적 포식자로 선정하고, 이들의 실내 단종배양체를 이용한 포식실험을 실시하여 포식율 및 포식압을 구하는 심화 연구가 필요하다.

서해안 전북해역 중 북부해역(군산-변산반도)은 1990년 이래로 새만금 개발 사업이 진행되고 있는 해역으로 2002년 현재 방조제 공사가 70% 가량 완성된 상태인데, 방조제가 완공되면 고군산군도 - 새만금 방조제 - 변산반도를 잇는 “ㄷ” 자형 인공만이 형성되어(Fig. 1) 해수의 흐름이 제한되고 난류(turbulence)의 강도가 약화되어, 와편모성 적조생물의 성장률을 증가시킬 수 있다(Thomas and Gibson, 1990; Tynan, 1993). 더욱이 인공담수호 내의 유수가 해양으로 유통되는 2개의 배수 갑문이 모두 “ㄷ” 자형 인공만에 위치하여 배수 시 고농도의 영양염류를 포함한 담수가 갑자기 유입되어 대규모 적조 발생 가능성이 있다. 특히 1998년 새만금 해역에서 유해성 *C. polykrikoides*/*G. impudicum* 적조 띠가 처음으로 광범위하게 형성되었던 점을 감안할 때, 앞으로도 적조생물의 성장률(specific growth rate, k)에 유리하고, 포식자의 포식에 의한 사망률(mortality due to predation, g)이 낮은 경우 계속 이러한 유해성 적조가 발생할 수 있다(ECOHAB, 1995).

본 연구에서는 적조생물을 포함한 식물플랑크톤 개체군 역학에 가장 중요한 생물학적 환경요인 중 하나인 원생동물의 종조성 및 풍도의 시간적 변화를 구조류 대번식, 유해성 적조발생 전후, 적조소멸 시기 등에 조사하여, 본 연구와 동시에 수행된 적조생물들을 포함한 식물플랑크톤의 시공간적 변화 연구(유 등, 2002) 결과와 비교 분석하였다. 더 나아가 새만금 해역에서 식물플랑크톤의 풍도와 우점종 변화에 따른 잠재적 원생동물성 포식자를 찾아내어, 새만금 해역에서의 식물플랑크톤 동향과 유해성 적조발생에 대한 이들의 생태학적 역할을 규명하기 위한 기초적인 자료를 제공하고, 차후의 연구방향을 제시하고자 하였다. 또한 본 연구 결과를 해마다 *C. polykrikoides*/*G. impudicum* 적조가 가장 먼저 발생하는 전남 고흥-여수 해역에서의 적조발생상황에 따른 종속영양성 와편모류와 섬모충류의 시간적 변화 연구 결과와 비교하여

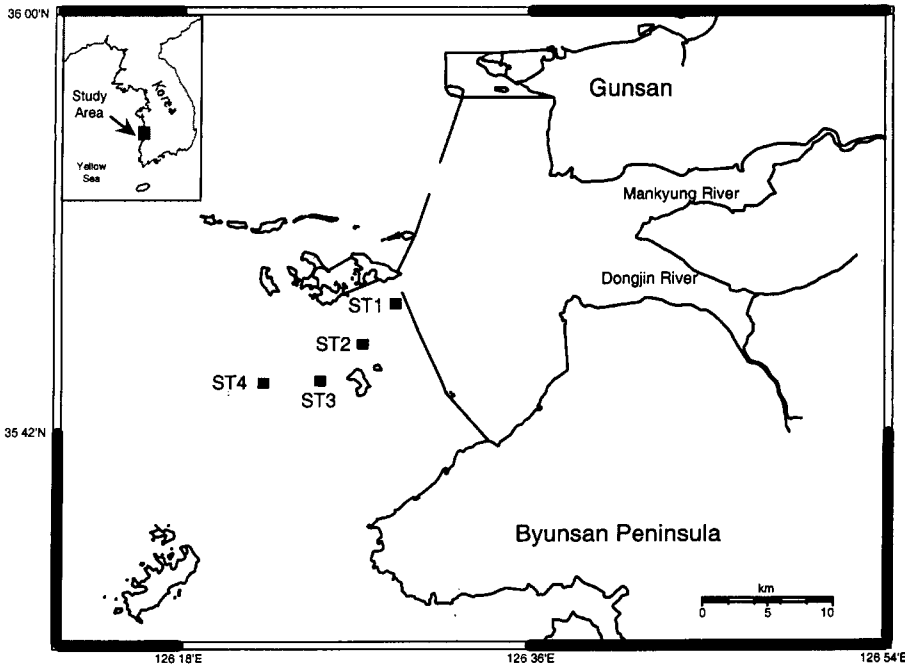


Fig. 1. A map showing the sampling stations off southern Saemangeum Areas.

(정 등 2000a and b), 우리나라에서 매년 여름-가을에 반복되는 *C. polykrikoides*/*G. impudicum* 적조의 발생, 유지, 소멸 기작에 있어서 원생동물의 역할을 밝히는데 기초적인 자료를 제공하고자 한다. 또한 원생동물의 주요 상위 포식자인 후생동물플랑크톤 (metazooplankton)과의 관계는 본 연구와 동시에 시료를 채집, 분석한 연구에서 밝히고자 한다(김 등, unpublished data).

## 재료 및 방법

### 시료채집 및 분석 방법

전북 새만금 해역에서 원생동물플랑크톤인 종속영양성 외편모류(heterotrophic dinoflagellates), 종피성 섬모충류(tintinnid ciliates), 무피성 섬모충류(naked ciliates)의 시간적 변화 연구를 위하여 유해성 *Cochlodinium polykrikoides*/*Gymnodinium impudicum* 적조 발생 이전인 1999년 8월 10일, 9월 16일, 10월 7일, 적조발생 후인 10월 18일, 적조 소멸 직후인 11월 11일에 4개의 정점(Fig. 1)에서 시료를 채집하였다. 각 정점에서의 해수 시료는 수층 내의 2~5개 깊이에서 3 L Niskin 채수기를 이용하여 채집하였다. 시료 중 원생동물플랑크톤 정량 분석용 시료는 500 ml 폴리에틸렌 병에 넣은 후 Lugol 용액과 Bouin 용액으로 각각 즉시 고정하였고, Lugol 용액을 첨가한 병은 iodine의 광산화를 막기 위하여 알루미늄 판지로 씌워 암소에 보관하여 실험실로 운반하였다. 정성시료는 표층부근에서 플랑크톤 네트(망목 20  $\mu$ m)로 채집하여 100 ml 폴리에틸렌 병에 넣은 후 Glutaraldehyde 용액으로 즉시 고정하였다.

원생동물플랑크톤의 정성분석은 종속영양성 외편모류에 속하는 *Amphidinium* spp., *Gyrodinium* spp., *Gymnodinium* spp.와 같이 일반 광학현미경에서는 종속영양성인지, 독립영양성인지를 구분하기 어려운 경우에는 Glutaraldehyde 용액으로 고정한 시료를 이용, 형광현미경(Olympus BX 50)하에서 색깔을 관찰하여 동정하였다. 또한 주요 종속영양성 외편모류인 *Protoperdinium* spp.와 같이 plate

pattern을 이용하여 종 동정을 해야하는 경우 Calcofluor-용액(Skovgaard, 1996)을 첨가한 뒤 형광현미경 하에서 plate의 모양을 관찰 후 동정하였다. 정량분석을 위해서는 고정된 시료를 100회 이상 천천히 흔들어 준 후 1 ml를 Sedgwick-Rafter counting chamber에 넣었으며, 세포수가 많은 시료는 그 중 48~64%만을, 세포수가 적은 시료에서는 100% 모두 광학현미경(Olympus model BX50)으로 검경, 계수하였다. 종속영양성 외편모류와 종피성 섬모충류는 종 수준까지 동정하여 정량화를 하였으나 무피성 섬모충류는 *Tiarina fusus*를 제외하고는 세포 크기를 기준으로 5개 분류군으로 나눈 뒤 정량화 하였다.

연구기간동안 섬모충류인 *Mesodinium rubrum*이 출현하였으나 이 종은 순수한 종속영양성이 아닌 혼합영양성 섬모충류이므로 본 연구논문에서는 제외하였다.

### 자료분석

본 조사해역은 조석간만의 차가 크므로 수평적인 분포보다는 각 정점에서 실측한 값들을 평균한 값을 이용하는 것이 타당하다고 판단하여 다음과 같은 풍도와 농도를 정의하여 이용하였다. 먼저 한 종 또는 한 분류학적 그룹의 시기별 최대풍도(Maximum Abundance at All Stations in each sampling time; 이하 MAAS)는 한 조사시기에 채집한 모든 시료(모든 정점과 모든 깊이) 각각에서 해당 종 또는 분류학적 그룹의 풍도를 구한 뒤 그 중 가장 높은 값을 택한 것이고, 모든 정점의 평균풍도(Averaged Abundance at All Stations; 이하 AAAS)는 한 시기 모든 시료에서 구한 해당 종의 풍도 값을 평균한 값이다.

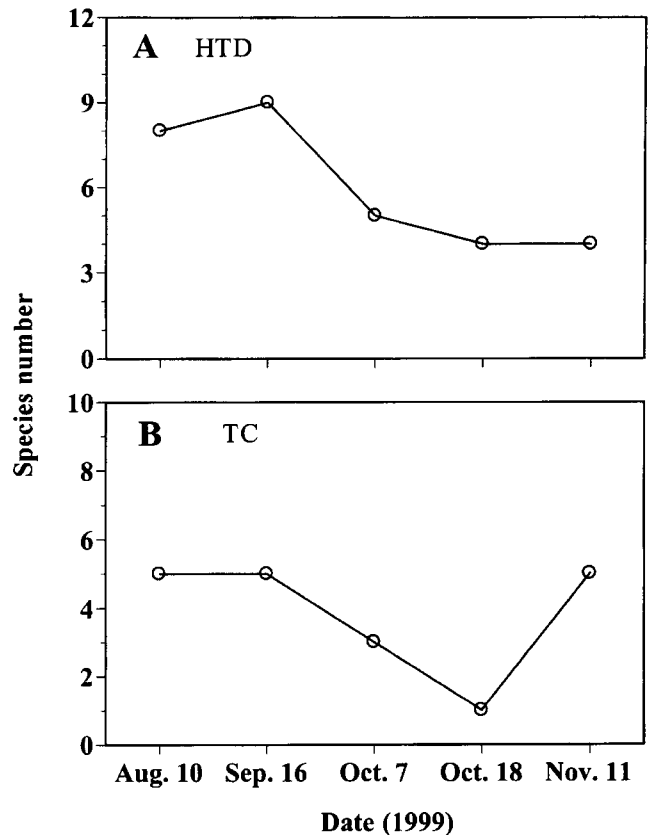
## 결 과

종속영양성 외편모류와 섬모충류의 출현 종 수의 시간적 변화 조사기간 동안 조사해역에서 0.1 cells ml<sup>-1</sup> 이상의 풍도를 나타

**Table 1.** The list of heterotrophic dinoflagellates and ciliates  $\geq 0.1$  cells  $ml^{-1}$ , present in the waters off Saemankeum, Korea from August 10 to November 11, 1999.

species name date	Aug. 10	Sep. 16	Oct. 7	Oct. 18	Nov. 11
<b>Heterotrophic dinoflagellates</b>					
<i>Amphidinium crassum</i>	+	+	+	+	+
<i>Gyrodinium spirale</i>	+	+	+		+
<i>Gyrodinium</i> sp.	+				
<i>Noctiluca scintillans</i>		+		+	
<i>Polykrikos kofoidii</i>		+	+		+
<i>Protoperdinium bipes</i>	+				
<i>Protoperdinium brevipes</i>				+	
<i>Protoperdinium cerasus</i>		+		+	
<i>Protoperdinium conicum</i>		+			
<i>Protoperdinium crassipes</i>			+		+
<i>Protoperdinium depressum</i>			+		
<i>Protoperdinium minutum</i>		+			
<i>Protoperdinium ovatum</i>		+			
<i>Protoperdinium ovum</i>	+				
<i>Protoperdinium pellucidum</i>	+				
<i>Protoperdinium pentagonum</i>	+				
<i>Protoperdinium steinii</i>	+				
<i>Protoperdinium</i> spp.		+			
<b>Tintinnids ciliates</b>					
<i>Codonellopsis morchella</i>		+	+		
<i>Helicostomella</i> sp.		+			
<i>Leprotintinnus neriticus</i>		+			
<i>Leprotintinnus norqvisti</i>	+	+			
<i>Leprotintinnus simplex</i>	+				
<i>Stenosemella pacifica</i>			+	+	+
<i>Tintinnopsis angustior</i>	+				
<i>Tintinnopsis gracialis</i>	+				
<i>Tintinnopsis kofoidii</i>		+			+
<i>Tintinnopsis lohamanni</i>					+
<i>Tintinnopsis radix</i>					+
<i>Tintinnopsis tocantinensis</i>					+
<i>Tintinnopsis tubulosoides</i>	+	+	+		
<i>Tintinnopsis</i> sp.			+		
<b>Naked Ciliates</b>					
<i>Tiarina fusus</i>				+	
Unidentified naked ciliates(<30 $\mu m$ )	+	+	+	+	+
Unidentified naked ciliates(30–50 $\mu m$ )	+				
Unidentified naked ciliates(50–70 $\mu m$ )	+	+		+	+
Unidentified naked ciliates(70–100 $\mu m$ )	+		+	+	
Unidentified naked ciliates(>100 $\mu m$ )	+		+		

넌 종속영양성 와편모류와 종피성 섬모충류의 총 출현 종수는 각각 18종과 14종이었으며, 다수의 무피성 섬모충류가 출현하였다 (Table 1). 종속영양성 와편모류의 경우 *Protoperdinium* 속에 속하는 종이 13종으로 전체 종속영양성 와편모류 중 72%를 차지하였고, 종피성 섬모충류의 경우 *Tintinnopsis* 속에 속하는 종이 8종으로 57%를 차지하였다.



**Fig. 2.** The temporal variations in the species number of heterotrophic dinoflagellates (HTD, A) and tintinnid ciliates (TC, B) present from August 10 to November 11, 1999.

종속영양성 와편모류와 종피성 섬모충류의 출현 종 수의 경우 시간적 변화가 뚜렷하였다(Fig. 2). 종속영양성 와편모류의 종수는 8월 10일에 8종, 9월 16일에는 9종으로 비교적 높게 유지되었으나, 10월 7일에는 5종으로 감소한 뒤 10월 18일과 11월 11일에 4종만이 출현하였다. 종피성 섬모충류의 종수는 8월 10일과 9월 16일에 5종이었으나 10월 7일에는 3종으로 감소하였고 유해성 *Cochlodinium polykrikoides*/*Gymnodinium impudicum* 적조발생 시기인 10월 18일에는 1종으로 가장 적은 종 수를 기록하였으나 11월 11일에는 다시 5종으로 증가하였다.

**종속영양성 와편모류와 섬모충류의 풍도의 시간적 변화**

종속영양성 와편모류의 MAAS(시기별 최대풍도)는 규조류의 풍도가 가장 높았던 8월 10일에 11.0 cells  $ml^{-1}$ 으로 최대값을 나타냈으나, 9월 16일에 7.4 cells  $ml^{-1}$ 로 감소하기 시작하여, 10월 7일에 1.1 cells  $ml^{-1}$ , 유해성 적조발생 시기인 10월 18일에 1.0 cells  $ml^{-1}$ 로 최저값을 나타냈다(Fig. 3A). 적조가 소멸된 11월 11일에 1.7 cells  $ml^{-1}$ 로 약간 증가하였다. 또한 우점 종속영양성 와편모류인 *Protoperdinium* spp.의 MAAS도 비슷한 양상을 나타냈다(Fig. 3B). 종피성 섬모충류의 MAAS 역시 종속영양성 와편모류의 MAAS와 비슷한 양상을 나타냈는데 8월 10일에 11.6 cells  $ml^{-1}$ 로 최대값을 나타내다가, 9월 16일에 2.7 cells  $ml^{-1}$ , 10월 7일에 2.3 cells  $ml^{-1}$

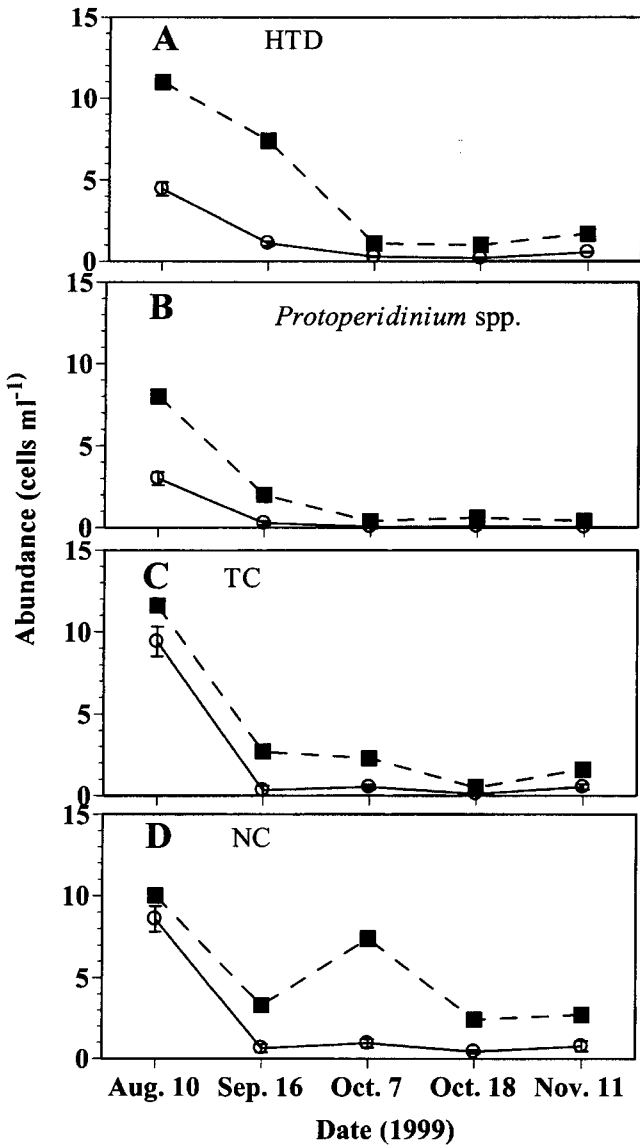


Fig. 3. The temporal variations in the maximum (closed squares) and mean (open circles) abundances of heterotrophic dinoflagellates (HTD, A), *Protoperidinium* spp. (B), tintinnid ciliates (TC, C), and naked ciliates (NC, D) present from August 10 to November 11, 1999. The symbols represent mean+standrad error. Means are calculated by averaging the values measured from all depths and stations at each sampling time.

로 크게 감소하다가, 10월 18일에 0.5 cells ml<sup>-1</sup>로 최저값을 기록한 뒤 11월 11일에 1.6 cells ml<sup>-1</sup>로 약간 증가하였다(Fig. 3C). 무피성 섬모충류의 MAAS는 8월 10일에 10.0 cells ml<sup>-1</sup>로 최대값을 나타내 종속영양성 외편모류와 종피성 섬모충류와 비슷하였으나, 그 외 시기에서는 9월 16일에 3.3 cells ml<sup>-1</sup>, 10월 7일에 4.2 cells ml<sup>-1</sup>, 10월 18일에 2.4 cells ml<sup>-1</sup>, 11월 11일에 2.7 cells ml<sup>-1</sup>로 큰 변화가 없었다(Fig. 3D). 무피성 섬모충류의 MAAS는 유해성 적조 발생 시기인 10월 18일 종속영양성 외편모류나 종피성 섬모충류의 MAAS보다 약 2~5배 가량 높게 나타났다.

평균 풍도 값인 AAAS의 경우 종속영양성 외편모류는 규조류

의 최대풍도가 나타난 8월 10일에 4.8 cells ml<sup>-1</sup>으로 최대값을 나타냈으나, 9월 16일에 1.1 cells ml<sup>-1</sup>, 10월 7일에 0.3 cells ml<sup>-1</sup>로 감소하다가, 유해성 적조발생시기인 10월 18일에 0.2 cells ml<sup>-1</sup>로 최저값을 기록하였고 적조소멸후인 11월 11일에는 0.6 cells ml<sup>-1</sup>로 약간 증가하였다(Fig. 3A and B). 종피성 섬모충류의 AAAS도 종속영양성 외편모류의 경우와 비슷한 양상을 나타냈는데 8월 10일에 9.4 cells ml<sup>-1</sup>로 최대값을 나타냈고, 9월 16일에 0.4 cells ml<sup>-1</sup>, 10월 7일에 0.5 cells ml<sup>-1</sup>로 급감하다가, 10월 18일에 0.1 cells ml<sup>-1</sup>로 최저값을 기록하였다. 그 후 11월 11일에는 0.5 cells ml<sup>-1</sup>로 약간 증가하였다(Fig. 3C). 무피성 섬모충류의 AAAS는 8월 10일에 8.6 cells ml<sup>-1</sup>으로 최대값을 나타냈으나, 9월 16일에 0.7 cells ml<sup>-1</sup>, 10월 7일에 1.0 cells ml<sup>-1</sup>, 10월 18일에 0.5 cells ml<sup>-1</sup>, 11월 11일에 0.7 cells ml<sup>-1</sup>로 비슷하게 유지되었다(Fig. 3D). 무피성 섬모충류의 AAAS도 역시 유해성 적조 발생 시기에 종속영양성 외편모류나 종피성 섬모충류의 AAAS보다 약 2~5배 가량 높게 나타났다.

종속영양성 외편모류와 섬모충류 우점종의 변화

관측시기별 최고 우점종(most dominant species)에 있어서 종속영양성 외편모류 경우 8월 10일에 *Protoperidinium bipes*, 9월 16일에는 *Amphidinium crassum*, 10월 7일에는 *Gyrodinium spirale*, 10월 18일에는 *Noctiluca scintillans*, 11월 11일에는 *Polykrikos kofoidii*로 나타나 조사시기 마다 우점종이 바뀌었다(Fig. 4). 종피성 섬모충류의 경우도 마찬가지로 8월 10일에는 *Tintinnopsis tubulosoides*, 9월 16일과 10월 7일에는 *Codonellopsis morchella*, 10월 18일에는 *Stenosemella pacifica*, 11월 11일에는 *Tintinnopsis*

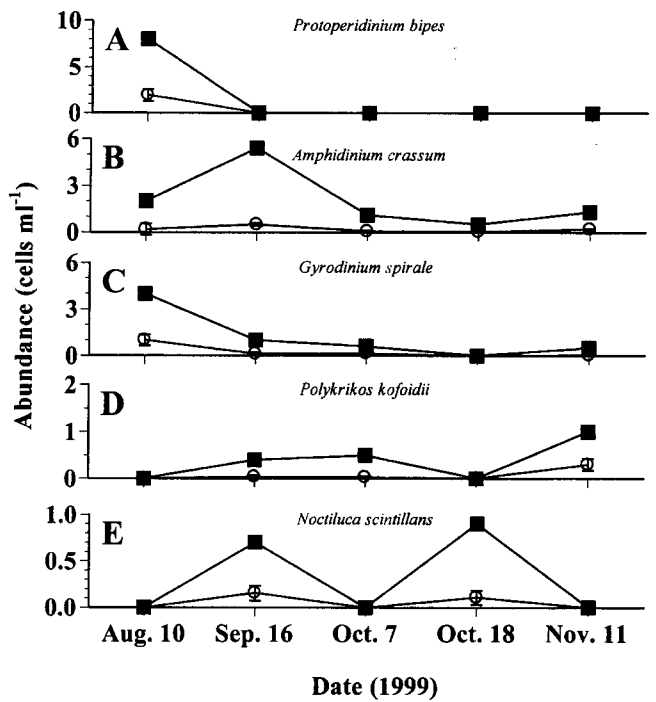


Fig. 4. The temporal variations in the maximum (closed squares) and mean (open circles) of the dominant heterotrophic dinoflagellates present from August 10 to November 11, 1999. The symbols represent mean+standrad error. Means are calculated by averaging the values measured from all depths and stations at each sampling time.

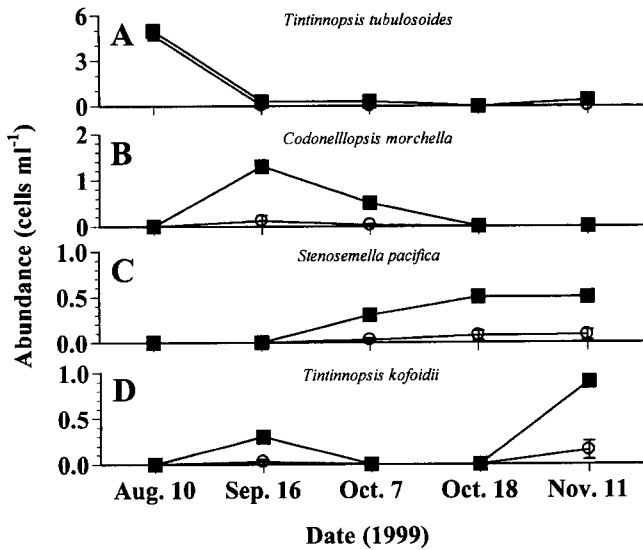


Fig. 5. The temporal variations of the maximum (closed squares) and mean (open circles) of the dominant tintinnid ciliates present from August 10 to November 11, 1999. The symbols represent mean+standrad error. Means are calculated by averaging the values measured from all depths and stations at each sampling time.

kofoidii로 우점종이 9월 16일과 10월 7일을 제외하고는 매 조사 시기마다 바뀌었다(Fig. 5).

종속영양성 와편모류에 속하는 *Amphidinium crassum*은 모든 조사시기에 출현하였고, *Gyrodinium spirale*은 4번, *Polykrikos kofoidii*는 3번의 조사시기에 출현하였다. 종피성 섬모충류의 경우 *Stenosemella pacifica*는 3번의 조사시기에 출현하였으나, 나머지 종들은 1-2회만 출현하였다(Table 1).

주요 플랑크톤 그룹간의 상관관계

각 조사시기별 모든 정점, 깊이에서 측정된 규조류, 독립-혼합 영양성 와편모류, 종속영양성 와편모류, 종피성 섬모충류, 무피성 섬모충류의 풍도를 이용하여 각 요소간의 상관관계를 조사한 결과, 규조류가 우점한 시기인 8월 10일과 11월 11일에는 종피성 섬모충류와 무피성 섬모충류가 규조류와 양의 상관관계를 나타냈으나, 독립-혼합영양성 와편모류가 우점한 9월 16일과 10월 18일에는 종속영양성 와편모류가 독립-혼합영양성 와편모류와 상관관계를 가지는 것으로 나타났다(Table 2). 또한 11월 11일에 종피성 섬모충류, 무피성 섬모충류, 종속영양성 와편모류는 서로 양의 상관관계를 나타냈다.

토 의

종속영양성 와편모류와 섬모충류의 출현 종 수

조사기간 동안 조사해역에서 0.1 cells ml<sup>-1</sup> 이상의 풍도를 나타낸 종속영양성 와편모류와 종피성 섬모충류가 각각 18종과 14종이 출현했는데 이는 해마다 *Cochlodinium polykrikoides*/*Gymnodinium impudicum*이 우점하는 적조가 가장 먼저 발생하는 전남 고흥-여수 해역에서 *C. polykrikoides*/*G. impudicum*의 적조발생 전, 후,

Table 2. Correlations (r) among diatoms, autotrophic+mixotrophic dinoflagellates(ATD+MTD), heterotrophic dinoflagellates (HTD), tintinnids ciliates (TC), and naked ciliates (NC) in the coastal waters off southern Saemankeum Areas at each sampling time between August 10 and November 11, 1999. There were no significant correlated components on October 7.

(1) August 10

Components	Diatoms	ATD+MTD	HTD	TC	NC
Diatoms					
ATD+MTD	-0.091				
HTD	0.209	0.091			
TC	0.644**	-0.275	0.364		
NC	0.420	0.028	0.114	0.423	

(2) September 16

Components	Diatoms	ATD+MTD	HTD	TC	NC
Diatoms					
ATD+MTD	0.327				
HTD	0.074	0.842**			
TC	0.219	-0.094	0.038		
NC	0.252	-0.070	-0.088	0.209	

(3) October 7

Components	Diatoms	ATD+MTD	HTD	TC	NC
Diatoms					
ATD+MTD	-0.139				
HTD	-0.142	0.011			
TC	0.275	-0.177	-0.129		
NC	-0.125	0.325	0.372	-0.175	

(4) October 18

Components	Diatoms	ATD+MTD	HTD	TC	NC
Diatoms					
ATD+MTD	-0.505				
HTD	-0.262	0.577*			
TC	0.171	0.057	0.278		
NC	0.352	0.060	-0.015	-0.062	

(5) November 11

Components	Diatoms	ATD+MTD	HTD	TC	NC
Diatoms					
ATD+MTD	0.434				
HTD	0.357	0.360			
TC	0.593*	0.393	0.718**		
NC	0.707**	0.078	0.687*	0.732**	

\*p<0.05, \*\*p<0.01

소멸 시기인 1997년 8월-9월에 출현한 종속영양성 와편모류와 종피성 섬모충류의 종 수인 17종과 15종과 비슷하였다(정 등, 2000b). 그러나 종속영양성 와편모류의 경우 약 50%, 종피성 섬모충류의 경우 약 25%만이 두 조사해역의 공통 종이였다. 동시 조사된 식물플랑크톤의 경우 규조류는 85%, 와편모류는 76%, silicoflagellate는 75%가 중복되어 두 해역에서의 식물플랑크톤 종조성 및 서식 환경은 비슷하다고 판단되나(유 등, 2002), 종속영양성 와편모류와 종피성 섬모충류의 경우는 상당히 다름을 알 수 있다. 이는 두

해역에서 먹이의 종류(식물플랑크톤 종조성)가 유사함에도 불구하고 다른 종속영양성 외편모류와 종피성 섬모충류 종이 많이 나타난 결과이므로 염분, 무기성 입자 농도, 난류의 세기 등 다른 물리, 지질학적 요인에 의하여 영향을 받을 수 있음을 의미한다. 즉 새만금 해역은 담수의 유입이 많고 무기성 입자 농도가 매우 높고 낮은 수심과 강한 조류에 의한 난류의 발생도 높으나, 고히-여수 해역은 담수의 유입이 적고, 무기성 입자 농도가 매우 낮고, 수심이 깊어 난류발생이 적은 특성을 가지고 있다. 특히 종피성 섬모충류의 경우 새만금 해역에서는 약 60%가 *Tintinnopsis*속의 속하는 종이었으나 고히-여수의 경우 약 35%만 *Tintinnopsis*속의 속하는 종이였다. *Tintinnopsis* spp.의 외피(lorica)에 입자들이 많이 붙어 있는 것을 감안하여 앞으로 무기성 입자 농도와 *Tintinnopsis* spp. 종 수 및 성장과의 관계를 연구해 볼 필요가 있다. 새만금 해역에서 종속영양성 외편모류 중 *Protoperdinium* 속의 속하는 종이 72%를 차지하였는데, 이는 고히-여수에서의 65%와 비슷한 수로 *Protoperdinium*이 두 해역 모두에서 가장 우점하는 종속영양성 외편모류임을 알 수 있었다.

#### 종속영양성 외편모류와 섬모충류의 풍도

본 연구해역에서 연구기간 동안 나타난 종속영양성 외편모류의 최대풍도인 11 cells ml<sup>-1</sup>은 고히-여수 해역에서 1997년 8월-9월에 기록된 45 cells ml<sup>-1</sup>(정 등, 2000b), Kattegat만(Denmark)의 200 cells ml<sup>-1</sup>(Hansen, 1991), Seto Inland Sea(Japan)의 90 cells ml<sup>-1</sup>(Nakamura et al., 1995), Northeast Atlantic Ocean의 67 cells ml<sup>-1</sup>(Verity et al., 1993), Dogger Bank, North Sea의 27 cells ml<sup>-1</sup>(Nielsen et al., 1993) 등 보다 낮았으나, 극지방인 Polar Front Region(Klass, 1997)과는 같았다. 이는 일반적으로 조사해역이 다른 해역에 비하여 종속영양성 외편모류에게 좋지 않은 여건이 형성되어 있음을 알 수 있다. 조사해역에서 종 수와 풍도에 있어서 최우점 속(genus)인 *Protoperdinium*은 유영하다가 적절한 먹이를 발견하면 먹이 주위를 돌다가 tow filament를 내 먹이에 붙여 먹이가 도망가지 못하도록 한 뒤, 유기물을 분비하여 먹이 전체를 싸고(pallium), 소화효소를 pallium안으로 투입하여 먹이를 녹인 뒤, 먹이의 물질을 자신의 몸 안으로 흡수하는 섭식방법을 택하고 있다(Gaines and Taylor, 1984; Jacobson, 1987; Jeong and Latz, 1994). 새만금 해역은 조수간만의 차가 크고 조류가 세며 깊이가 얕아 mixing이 잘 일어나고 난류의 세기가 강할 것으로 판단되는데(이 등, 2000), 이러한 환경에서 먹이에 tow filament를 붙여 먹이를 효과적으로 잡는데 큰 어려운 점이 있고 에너지 비용도 훨씬 많이 들어 고히-여수 등 상대적으로 수심이 깊고 난류발생이 빈번하지 않은 해역들에 비하여 최대 풍도 값이 낮았을 가능성이 높다.

종피성 섬모충류와 무피성 섬모충류의 최대풍도인 12와 10 cells ml<sup>-1</sup>은 고히-여수 해역에서 1997년 8월-9월에 기록된 39와 57 cells ml<sup>-1</sup>(정 등, 2000b)보다 훨씬 낮았는데, 이는 (1) 앞서 언급한 새만금 해역의 물리적 환경이 고히-여수에서보다 이들 섬모충류 성장에 불리하게 작용하였거나, (2) 조사기간동안 새만금 해역에서의 먹이인 식물플랑크톤 풍도(규조류와 외편모류의 최대풍도: 각각 1,753과 474 cells ml<sup>-1</sup>)가 고히-여수 해역에서 1997년 8월-9월에 기록된 풍도(규조류와 외편모류의 최대풍도: 각각 13,900과 31,700 cells ml<sup>-1</sup>)에 비하여 훨씬 낮았기 때문이라고 해석할 수 있

다. 그러나 종피성 섬모충류의 경우 Southern California의 18 cells ml<sup>-1</sup>(Heinbokel and Beers, 1979), North Adriatic Sea의 16 cells ml<sup>-1</sup>(Revelante and Gilmartin, 1983), Narragansett Bay(USA)의 14 cells ml<sup>-1</sup>(Hargraves, 1981), Long Island Sound(USA)의 13 cells ml<sup>-1</sup>(Capriulo and Carpenter, 1983)과는 비슷하였다.

#### 주요 플랑크톤 그룹간의 상관관계 및 잠재적 포식자-피식자 관계

각 조사시기별 모든 정점, 깊이에서 측정된 규조류, 독립-혼합영양성 외편모류, 종속영양성 외편모류, 종피성 섬모충류, 무피성 섬모충류 값을 이용하여 각 요소간의 상관관계를 조사한 결과, 규조류가 우점한 시기인 8월 10일과 11월 11일에 종피성 섬모충류와 무피성 섬모충류가 규조류와 비교적 높은 양의 상관관계를 나타내 이들이 규조류의 중요한 포식자로 작용했을 가능성이 높고, 동시에 규조류의 양적변화가 종피성 섬모충류와 무피성 섬모충류 풍도 변화에 큰 영향을 주었을 가능성이 높다. 독립-혼합영양성 외편모류가 우점한 9월 16일과 10월 18일에는 종속영양성 외편모류가 독립-혼합영양성 외편모류와 높은 상관관계를 나타냈는데, 10월 18일에 최고 우점종인 *Noctiluca scintillans*는 *C. polykrioides*/*G. impudicum*의 유영속도(최대속도: 1.4 mm s<sup>-1</sup>)가 현저히 떨어졌을 때 효과적으로 포식할 수 있는 능력을 가지고 있어(정 등 2000b), 당시에 운동성이 적은 *C. polykrioides*/*G. impudicum* 개체들의 포식자였을 가능성이 높다.

11월 11일 종피성 섬모충류, 무피성 섬모충류, 종속영양성 외편모류는 서로 높은 양의 상관관계를 나타냈는데 이는 이들이 공통 먹이를 대상으로 심한 경쟁을 할 가능성과 중첩되는 물리, 지질학적 환경에 대한 선호성에 기인한다고 판단되어 앞으로 좀 더 자세한 실내의 실험을 통하여 이를 증명할 필요가 있다.

## 사 사

본 연구를 수행하는데 있어서 현장에서 시료채취를 도와준 군산대학교 김성택, 윤주이, 양동진, 박재연, 이경재, 김태훈 대학원 학생들에게 감사의 말씀을 드립니다. 본 연구는 과학기술부/과학재단 지역협력센터(RRC)와 2000년도 해양수산부/해양수산개발원 수산특정과제 연구비 지원을 받아 수행하였다.

## 참고문헌

- 유영두, 정해진, 심재형, 박재연, 이경재, 이원호, 권효근, 배세진, 박종규, 2002. 전북 새만금 남쪽 해역의 유해성 적조 발생연구. 1. 1999년도 여름-가을 식물플랑크톤의 시공간적 변화. 한국해양학회지 '바다', 인쇄중.
- 이상호, 최현용, 양재삼, 2000. 새만금 연안역의 해수순환. 한국해양학회 추계 학술발표회 요약집. pp. 5-6.
- 정해진, 박종규, 최현용, 양재삼, 심재형, 신윤근, 이원호, 김형섭, 조경재. 2000a. 전남고흥해역의 유해성 적조의 발생연구. 2. 1997년도 식물플랑크톤의 시공간적 변화. 한국해양학회지 '바다', 5: 27-36.
- 정해진, 박종규, 김재성, 김성택, 윤주이, 김수경, 박용민, 2000b. 전남고흥해역의 유해성 적조의 발생연구. 3. 1997년도 종속영양성 외편모류와 섬모충류의 시공간적 변화. 한국해양학회지 '바다', 5: 37-46.

- ECOHAB, 1995. A National Research Agenda. Woods Hole Oceanographic Institution. pp. 66.
- Eppley, R.W. and W.G. Harrison, 1975. Physiological ecology of *Gonyaulax polyedra*, a red tide water dinoflagellate of southern California. In: Proceedings First International Conference on Toxic Dinoflagellate Blooms. by Locicero, V.R., Wakefield, Massachusetts, Massachusetts Science and Technology Foundation. pp. 11–22.
- Eppley, R.W., J.N. Rogers, J.J. McCarthy, 1969. Half-saturation constants for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, **14**: 912–920.
- Fermin, E.G., F.G. Figueras, B. Arbones and M.L. Villarino, 1996. Short-time scale development of a *Gymnodinium catenatum* population in the Ria de Vigo (NW Spain). *J. Phycol.* **32**: 212–221.
- Jeong, H.J., 1995. The interactions between microzooplanktonic grazers and dinoflagellates causing red tides in the open coastal waters off southern California. Ph.D. thesis. Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego.
- Jeong, H.J. and M.I. Latz, 1994. Growth and grazing rates of the heterotrophic dinoflagellates *Protoperdinium* spp. on red tide dinoflagellates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **106**: 173–185.
- Jeong, H.J., J.H. Shim, J.S. Kim, J.Y. Park, C.W. Lee, Y. Lee, 1999a. The feeding by the thecate mixotrophic dinoflagellate *Fragilidium* cf. *mexicanum* on red tide and toxic dinoflagellate. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **176**: 263–277.
- Jeong, H.J., J.H. Shim, C.W. Lee, J.S. Kim and S.M. Koh, 1999b. Growth and grazing rates of the marine planktonic ciliate *Strombidinopsis* sp. on red-tide and toxic dinoflagellate. *J. Euk. Microb.*, **46**: 69–76.
- Jeong, H.J., S.K. Kim, J.S. Kim, S.T. Kim, Y.D. You, and J.Y. Yoon, 2001a. Growth and Grazing Rates of The Heterotrophic Dinoflagellate *Polykrikos kofoidii* on Red-Tide and Toxic Dinoflagellates. *J. Euk. Microb.*, **48**: 298–308.
- Jeong, H.J., H.J. Kang, J.H. Shim, J.K. Park, J.S. Kim, J.Y. Song and H.J. Choi, 2001b. The interactions among a toxic dinoflagellate *Amphidinium carterae*, the heterotrophic dinoflagellate *Oxyrrhis marina*, and the calanoid copepods *Acartia* spp. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **218**: 77–86.
- Jeong, H.J., J.Y. Yoon, J.S. Kim, Y.D. Yoo, K.A. Seong. 2002. Growth and grazing rates of the prostomatid ciliate *Tiarina fusus* on red-tide and toxic algae. *Aquat. Microb. Ecol.*, (In press).
- Juhl, A.R., V. Velazquez, and M. Latz, 2000. Effect of growth conditions on flow-induced inhibition of population growth of a red tide dinoflagellate. *Limnol. Oceanogr.*, **45**: 905–915.
- Kamykowski, D., 1974. Possible interactions between phytoplankton and semidiurnal internal tides. *J. Mar. Res.* **32**: 65–87.
- Montagnes, D.J.S., J.D. Berger and F.J.R. Taylor, 1996. Growth rate of the marine planktonic ciliate *Strombidinopsis cheshiri* Snyder and Ohman as a function of food concentration and interclonal variability. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **206**: 121–132.
- Smayda, T.J., 1997. Harmful algal blooms: their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnol. Oceanogr.*, **42**: 1137–1153.
- Thomas, W.H., Gibson, C.H. (1990). Quantified small-scale turbulence inhibits a red tide dinoflagellate, *Gonyaulax polyedra* Stein. *Deep Sea Res.*, **37**: 1583–1593.
- Tyler, M.A. and H.H. Seliger, 1978. Annual subsurface transport of a red tide dinoflagellate to its bloom area: Water circulation patterns and organism distributions in the Chesapeake Bay. *Limnol. Oceanogr.*, **23**: 227–246.
- Tynan, C.T., 1993. The effects of small-scale turbulence on dinoflagellates. Ph.D. Thesis dissertation. University of California, San Diego. San Diego. pp. 227.
- Watras, C.J., V.C. Garcon, R.J. Olson, S.W. Chisholm and D.M. Anderson, 1985. The effect of zooplankton grazing on estuarine blooms of the toxic dinoflagellate *Gonyaulax tamarensis*. *J. Plankton Res.*, **7**: 891–908.

---

2002년 6월 10일 원고접수

2002년 8월 5일 수정본 채택

담당편집위원: 서해립