

전남 고흥 해역의 유해성 적조의 발생연구 3. 1997년도 종속영양성 와편모류와 섬모류의 시공간적 변화

정해진 · 박종규¹ · 김재성 · 김성택 · 윤주이 · 김수경 · 박용민²
군산대학교 자연과학대학 해양학과, ¹인제대학교 환경연구소
²군산대학교 적조연구센터

The Outbreak of Red Tides in the Coastal Waters off Kohung, Chonnam, Korea

3. The Temporal and Spatial Variations in the Heterotrophic Dinoflagellates and Ciliates in 1997

HAE JIN JEONG, JONG KYU PARK¹, JAE SEONG KIM, SEONG TAEK KIM,
JOO EH YOON, SOO KYEONG KIM AND YONG MIN PARK²

Department of Oceanography, College of Natural Sciences, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

¹The Institution of Environmental Research, Inje University, Kimhae 621-749, Korea

²Red Tide Research Center, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

1995년 이후 해마다 8월부터 10월까지 남해안에서 대규모로 발생하는 유해성 적조가 가장 먼저 발견되는 전남 고흥군 나로도 해역에서 적조원인생물을 포함한 식물플랑크톤의 포식자로서 적조역학(red tide dynamics)에 큰 영향을 줄 수 있는 종속영양성 와편모류(heterotrophic dinoflagellate; 이하 HTD)와 섬모류의 시공간적 분포를 연구하기 위하여, 1997년 6월 20일부터 9월 22일까지 모두 5차례에 걸쳐 3개의 정점, 5~7개의 깊이에서 시료를 채집한 뒤 분석하였다. 연구기간 동안 총 17종의 HTD가 발견되었는데 그 중 *Protoperidinium* 속에 속하는 종이 11종으로 65% 정도를 차지하였다. 섬모류의 경우 종괴류(tintinnid; 이하 TIN)가 총 15종 출현하였으며, 다수의 무피성 섬모류(naked ciliate; 이하 NC)가 출현하였다. 출현 종 수의 시간적 변화를 볼 때 HTD와 TIN 모두 8월 1일과 21일 사이에 가장 많이 증가하였으나 최대 출현종 수는 *Gyrodinium impudicum*이 우점한 유해성 적조가 발생한 직후인 8월 27일에 나타났는데 각각 13종과 10종이었다. 9월 22일에는 출현종 수가 급감하였다. 연구기간 중 나타난 HTD, TIN, NC의 최대 밀도는 각각 45, 39, 57 cells ml⁻¹이었다. 한 시기에 채집한 모든 시료의 평균밀도(Average Density at All Station; 이하 ADAS)를 구한 결과 HTD의 ADAS는 출현종 수와 마찬가지로 8월 1일과 21일 사이에 가장 큰 폭으로 증가하다가 8월 27일에 약 6 cells ml⁻¹의 최대값에 도달하였으나, TIN의 ADAS는 8월 21일과 8월 27일 사이에 급증하여 최대값 7 cells ml⁻¹에 도달하였다. NC의 ADAS는 HTD나 TIN 처럼 뚜렷한 시간적 변화를 나타내지 않았으나 8월 27일에 최대값 8 cells ml⁻¹을 나타냈다. 이러한 출현 종 수와 평균밀도의 증가율을 볼 때 HTD의 경우 규조류의 변화 양상과 비슷하여 HTD가 규조류의 포식자일 가능성을 제시할 수 있는데, 특히 8월 27일의 경우 *Protoperidinium* 속의 수평, 수직적 분포는 규조류의 분포와 높은 상관관계를 가져 이들이 규조류의 주요 포식자임을 추측할 수 있다. 공간적 분포에 있어서 일반적으로 HTD와 섬모류 모두 내만에서 높은 값을 가졌으며 외만으로 갈수록 감소하였으므로, 본 연구는 HTD와 섬모류의 시공간적 분포가 연안으로부터의 거리 및 먹이인 식물플랑크톤의 시공간적 분포와 밀접한 관계를 갖고 있음을 제시할 수 있고, 본 연구결과는 앞으로 주요 원생동물들의 적조원인생물을 포함한 우점 식물플랑크톤에 대한 포식실험의 기초자료로 이용되어 적조발생시와 발생 전후의 허부 먹이망을 완성하는데 기여될 것이다.

We investigated the temporal and spatial variations in heterotrophic dinoflagellates (hereafter HTD) and ciliates from June to September 1997 in the waters off Kohung, Korea where red tides dominated by harmful dinoflagellates had occurred from August to October since 1995. We took water samples five times from 5–7 depths at 3 stations in this study period. A total of 17 HTD species were present and of these species in the genus *Protoperidinium* were 11. The species number of tintinnids (hereafter TIN) present totalled 15 and several naked ciliate (hereafter NC) species were observed. The species numbers of HTD and TIN rapidly increased between August 1st and 21st and then reached to the maximum numbers of 13 and 10, respectively,

on August 27 when red tides dominated by *Gyrodinium impudicum* were first observed in the study area. However the species numbers drastically decreased on September 22. The maximum densities of HTD, TIN, and NC were 45, 39, 57 cells ml⁻¹, respectively. ADAS, calculated by averaging the densities of a certain species in the all samples collected from all depths and stations at a sampling period, most increased between August 1st and 21st and then reached to the maximum density of 6 cells ml⁻¹ on August 27 for HTD, while did between August 21st and 27th and up to 7 cells ml⁻¹ for TIN. Unlike ADAS of HTD and TIN, that of NC did not change much with the maximum of 8 cells ml⁻¹ on August 27th. The pattern of the temporal variation in the species number and ADAS of HTD was similar to that of diatoms and the distributions of *Protoperdinium* spp. and diatoms had a strong positive correlation. This evidence suggests that HTD, in particular *Protoperdinium* spp. be a grazer on diatom. In general, the densities of HTD, TIN, and NC decreased with going to stations located in the outer bay. Therefore, the availability of suitable prey and distance from the coastal line might be responsible for the distribution of HTD, TIN, and NC. The results of the present study provide a basis for further experiments for the feeding by dominant HTD, TIN, and NC on dominant phytoplankton including red tide species and for understanding food webs in the planktonic community before, during, and after the red tide outbreak.

서 론

종속영양성 와편모류(이하 HTD)와 섬모류는 때때로 전 세계 거의 모든 해역에서 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, 1998; Jeong *et al.*, 1999a, 1999b), 다른 동물플랑크톤의 알이나 유생(Kimor, 1979; Jeong, 1994b)의 포식자 역할을 하는 동시에 상위영양단계에 있는 후생동물플랑크톤이나 치어의 좋은 먹이가 된다(Stoecker and Sanders, 1985; Jeong 1994a; Jeong, 1999). 또한 이들은 동종의 다른 개체를 포식하기도 하고(cannibalism)(Jeong and Latz 1994; Latz and Jeong, 1996), 다른 원생생물을 잡아먹는 동시에 그 종의 다른 개체에게 잡아 먹히기도 한다(상호포식, reciprocal predation)(Jeong *et al.*, 1997). 그 동안 발표된 플랑크톤 군집내 포식에 대한 많은 연구들은 이들이 적조를 포함한 식물플랑크톤의 대번식(phytoplankton blooms) 때 먹이생물을 활발히 포식하여 먹이생물의 개체군에 큰 영향을 줄 수 있음을 제시해 왔다(Eppley and Harrison 1975; Watras *et al.*, 1985; Nakamura *et al.*, 1995).

현장에서 HTD와 섬모류의 주요 식물플랑크톤 개체군들에 대한 포식영향(grazing impact)을 알아내기 위해서는 우점 식물플랑크톤에 대한 포식자를 찾아내는 것이 가장 중요한 일이다(Jeong, 1995). 이러한 포식자를 알아내기 위해서는 먼저 현장에서 우점 식물플랑크톤의 시공간적 변화를 측정하고 이 변화와 양의 상관관계를 갖는 HTD와 섬모류를 잠재적 포식자로 선정된 뒤, 이들을 실내배양하고 포식실험을 실시하여 포식을 등을 구해야 한다. 또한 이러한 현장 및 실험실 자료를 연계하여 포식영향을 구해야 한다.

전남 고흥군 나로도 해역은 1995년 이후 해마다 8월부터 10월까지 남해안에서 대규모로 발생하는 유해성 적조가 가장 먼저 발견되는 곳이다(김 등 1998). 군산대학교 적조연구센터는 본 해역에서 해양 물리, 화학, 생물학적 환경요인들 간의 상호관계를 연구하고 적조발생기작을 밝히기 위하여 유해성 적조의 발생 전과 후, 적조 소멸시 시료를 채집, 분석하였다. 이미 1997년도 수

은, 염분, 해수의 유동, 영양염류 분포 등 해양물리, 화학적 연구 결과(양 등, 2000)와 식물플랑크톤의 분포 연구결과(정 등, 2000)를 발표하였다. 본 연구의 목표는 본 해역에서 HTD와 섬모류의 시공간적 분포를 연구하고, 이를 바탕으로 유해성 적조 발생시 우점 식물플랑크톤에 대한 잠재적 포식자를 찾아내는 것이다.

본 연구의 결과는 연구해역의 플랑크톤 군집내 식물플랑크톤과 HTD 및 섬모류 간의 포식자-피식자 관계를 밝히기 위한 기초자료를 제공하고, 나아가 남해안의 유해성 적조발생기작연구에 있어서 포식자들의 역할을 연구하는데 기초적인 자료를 제공할 것이다.

재료 및 방법

시료채집 및 분석 방법

전남 고흥 나로도 해역에서 유해성 적조가 일어나기 전인 1997년 6월 20일, 8월 1일, 적조발생 직전인 8월 21일, 적조발생 직후인 8월 27일, 적조 소멸직후인 9월 22일에 정점 5, 9, 12(Fig. 1)에서 시료를 채집하였다. 각 정점에서의 시료는 수층내의 5~7개 깊이에서 채취하였다. 채취 깊이는 CTD(SeaBird, SBE-19)를 이용하여 수심, 수온, 염분, fluorescence 자료를 현장에서 분석한 뒤 결정하였고, 채취방법은 5 L Niskin 시료채수기를 이용하였다. 채취된 시료 중 2 L의 시료는 생물분석을 위해 한 개의 1 L와 여러 개의 250 ml 폴리에틸렌 병에 넣은 후 Lugol 용액으로 즉시 고정하였고, 500 ml는 영양염류 분석을 위하여 냉동보관 하였다. Lugol로 고정한 시료는 용액 내 iodine의 광산화를 막기 위하여 암소에 보관하여 실험실로 운반하였다.

실험실에서는 시료내 세포의 균일한 분포를 위하여 100회 이상 흔들어 준 후 1 ml를 Sedgwick-Rafter counting chamber에 넣었으며, 세포수가 많은 시료(8월 27일 시료)는 그 중 48~64%만을 광학현미경으로 관찰하였고 세포수가 적은 시료에서는 100% 모두 검경, 동정하였다. HTD와 섬모류의 현존량은 단위 체적당 개체수(cells ml⁻¹)로 환산하였으며, 광학현미경은 Olympus model AX70을 이용하였다.

연구기간동안 섬모류인 *Mesodinium rubrum*이 출현하였으나

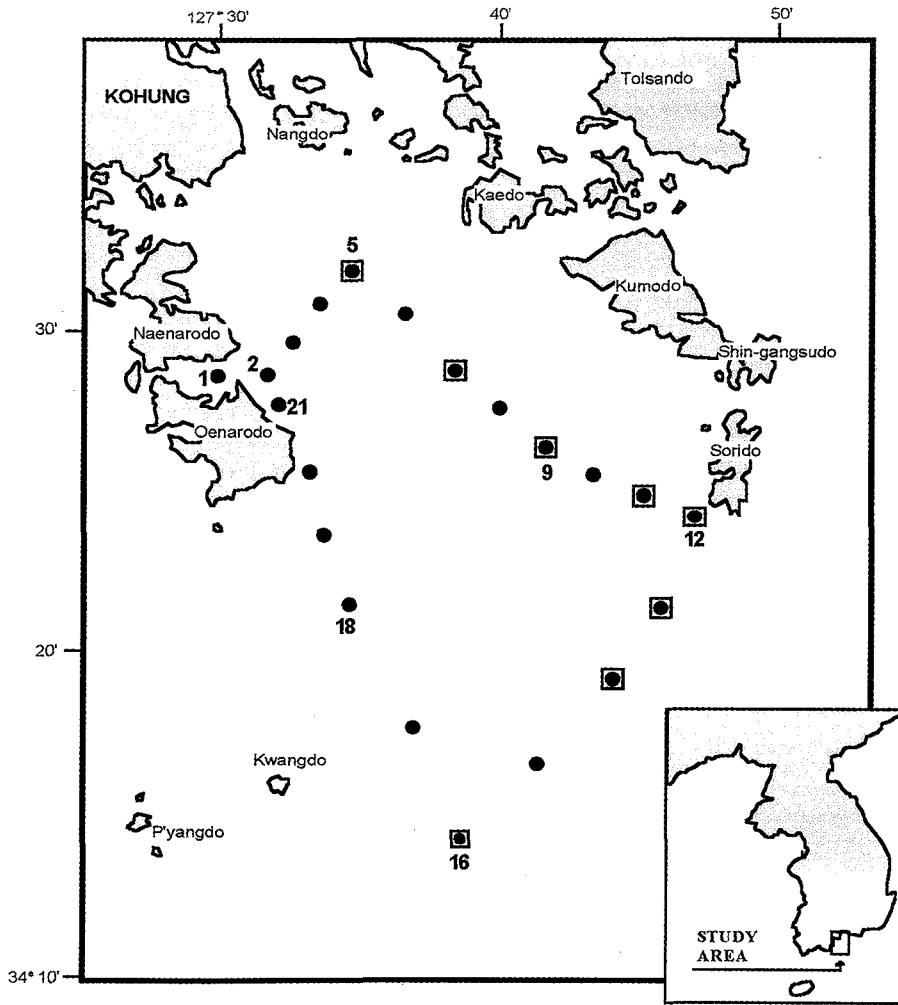


Fig. 1. Map showing the sampling locations off Naro-do, Kohung, Korea. ●, CTD casting; □, core and water sampling.

이 종은 순수한 종속영양성이 아닌 혼합영양성 섬모류이므로 본 논문에서는 제외하였다.

자료분석

본 논문에서 언급한 한 종의 시기별 최대밀도(Maximum Density at each sampling Time; 이하 MDT)는 한 연구시기에 채집한 모든 시료(모든 정점과 모든 깊이) 각각에서 해당 종의 밀도를 구한 뒤 그 중 가장 높은 값을 택한 것이고, 정점별 평균밀도(Averaged Density at Each Station; 이하 ADES)는 연구시기별로 한 정점의 모든 깊이에서 구한 밀도 값들을 평균한 것이며, 모든 정점의 평균밀도(Averaged Density at All Stations, 이하 ADAS)는 한 시기 모든 시료에서 구한 해당 종의 밀도값을 평균한 값이다. 양 등(2000)에 의하면 본 해역은 해수의 advection이 많이 일어나는 곳이므로 한 시기의 ADAS는 매우 중요한 의미를 갖는다.

결 과

Heterotrophic dinoflagellate와 섬모류의 출현 종의 수와 밀도의 시간적 변화

연구기간 동안 연구해역에서 1 cell ml⁻¹이 넘는 밀도를 가진 HTD와 종피성 섬모류(Tintinnids; 이하 TIN)의 총 출현종의 수가 각각 17종과 15종 출현했으며 다수의 무피성 섬모류(Naked ciliate; 이하 NC)가 출현하였다(Table 1). HTD의 경우 *Protoperidinium* 속에 속하는 종이 11종으로 65% 정도를 차지하였다. HTD와 TIN의 출현종은 시간적 변화가 뚜렷하였다. 한 시기에 시료를 채집한 모든 정점, 모든 깊이에서 출현한 HTD와 TIN의 총 종수는 6월 20일에 각각 2종과 1종, 8월 1일에는 4종과 1종이었으나 8월 21일에는 9종과 9종, 그리고 8월 27일에는 13종과 10종이 발견되어 HTD와 TIN 모두 8월 1일과 21일 사이에 종의 수가 크게 증가함을 알 수 있다(Fig. 2). 그러나 적조 소멸직후인 9월 22일에는 HTD와 TIN의 출현종수가 각각 2종과 1종으로 크게 감소하였다.

HTD, TIN, NC의 MDT(시기별 최대밀도)는 6월 20일에 2, 6, 6 cells ml⁻¹, 8월 1일에 11, 2, 23 cells ml⁻¹, 8월 21일에 45, 8, 15 cells ml⁻¹로 HTD가 급증하였고 8월 27일에 43, 39, 57 cells ml⁻¹로 TIN과 NC가 급증하였다. 그러나 9월 22일에 이들의 MDT는 6, 2, 22 cells ml⁻¹로 크게 감소하였다. 한 연구 시기에 연구된 모든 정점에서 HTD, TIN, NC의 ADAS(모든 정점의 평균밀도)는 6월 20일에 1.1, 1.3, 3.6 cells ml⁻¹, 8월 1

Table 1. The occurrence of heterotrophic dinoflagellates and ciliates ≥ 1 cells ml^{-1} in the waters off Kohung, Korea from June 20 to September 22, 1997.

SPECIES NAME	Date	20-Jun	1-Aug	21-Aug	27-Aug	22-Sep
DINOFLAGELLATES						
<i>Diplopsalis lenticula</i>					+	
<i>Diplopsalis asymetrica</i>				+	+	
<i>Gyrodinium dominans</i>			+	+	+	+
<i>Gyrodinium spirale</i>		+	+	+	+	+
<i>Noctiluca scintillans</i>				+		
<i>Polykrikos kofoidii</i>				+		
<i>Protoperidinium bipes</i>			+	+	+	
<i>Protoperidinium brevipes</i>					+	
<i>Protoperidinium divergens</i>					+	
<i>Protoperidinium leonis</i>				+		
<i>Protoperidinium oblongum</i>				+		
<i>Protoperidinium ovatum</i>					+	
<i>Protoperidinium pellucidum</i>		+		+	+	
<i>Protoperidinium pentagonum</i>					+	
<i>Protoperidinium quarmerense</i>					+	
<i>Protoperidinium steinii</i>			+		+	
<i>Protoperidinium sp.</i>					+	
CILIATES						
<i>Amphorella brandti</i>				+		
<i>Amphorellopsis acuta</i>					+	
<i>Amphorellopsis sp.</i>					+	
<i>Codonellopsis sp.</i>				+		
<i>Eutintinnus fraknoi</i>				+		
<i>Eutintinnus lusus-undae</i>		+		+	+	
<i>Helicostomella subulata</i>					+	
<i>Leprotintinnus nordqvisti</i>				+		+
<i>Leprotintinnus pellucidus</i>			+	+	+	
<i>Steenstrupiella gracialis</i>				+		
<i>Tintinnopsis angustior</i>				+	+	
<i>Tintinnopsis aperta</i>					+	
<i>Tintinnopsis directa</i>				+	+	
<i>Tintinnopsis tubulosoides</i>					+	
<i>Tintinnopsis sp. A</i>					+	
Naked ciliates < 20 μm		+	+	+	+	+
Naked ciliates 20 ~ 50 μm		+	+	+	+	+
Naked ciliates > 50 μm		+	+	+	+	+

일에 2.3, 0.2, 5.6 cells ml^{-1} 이었으나 8월 21일에 5.7, 1.0, 4.4 cells ml^{-1} 로 HTD의 ADAS의 증가폭이 크게 나타났으며 8월 27일에는 6.2, 7.7, 8.2 cells ml^{-1} 로 TIN과 NC의 ADAS의 증가폭이 크게 나타났다(Fig. 3). 9월 22일에 이들의 ADAS는 2.1, 0.5, 7.8 cells ml^{-1} 로 HTD와 TIN은 큰 폭으로 감소한 반면 NC는 크게 감소하지 않았다.

관측시기별 우점종은 TIN의 경우 6월 20일과 8월 1, 21, 27일에 *Leprotintinnus pellucidus*이었고, 9월 24일에는 *L. nordqvisti*로 시간적으로 큰 변화가 없었으나, HTD의 우점종은 6월 20일과 8월 1일에는 *Protoperidinium steinii*, 8월 21일에는 *P. bipes*, *Polykrikos kofoidii*, *Gyrodinium dominans*, 8월 27일에는 *P. kofoidii*, *Noctiluca scintillans*, 9월 22일에는 *G. dominans*과 *G. spirale*로 시간에 따른 우점종의 변화가 큰 편이었다.

HTD에 속하는 *Gyrodinium spirale*은 모든 시기에 출현하였고 *G. dominans*은 4번의 연구시기에, HTD인 *Protoperidinium bipes*와 TIN인 *Eutintinnus lusus-undae*는 3번의 연구시기에 출현하였으며 나머지 종들은 1-2회만 출현하였다(Table 1).

Heterotrophic dinoflagellate와 섬모류의 공간적 분포 및 잠재적 먹이관계

HTD와 TIN의 ADES(정점별 평균밀도)의 수평적 분포의 경우를 살펴보면 일반적으로 내만 정점인 정점 5에서 가장 높았으며 외만 정점인 정점 9와 12에서 낮았다(Fig. 3). 그러나 NC의 경우는 8월 21일과 27일에 정점 9에서의 ADES가 정점 5에서의 값보다 약간 높게 나타났다. 8월 27일의 경우 이들의 수직, 수평적 분포를 보면 이러한 경향이 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다(Fig. 4).

HTD, TIN, NC의 ADAS가 최대로 나타난 8월 27일에 각 정점에서의 HTD, *Protoperidinium*, TIN, NC의 수직적 분포를 볼 때 정점 5에서는 HTD와 *Protoperidinium*의 분포가 규조류의 분포와 비슷한 양상으로 나타났다(Fig. 5). 정점 9에서는 HTD의 분포가 규조류의 분포와, NC의 분포가 독립영양성 외편모류(Autotrophic dinoflagellate; 이하 ATD)와 비슷한 양상을 나타냈다(Fig. 6). 그러나 외만 정점인 정점 12의 경우는 뚜렷한 양상이 발견되지 않았다(Fig. 7).

8월 27일 모든 정점, 모든 깊이에서의 채집한 시료에서 구한 *Protoperidinium spp.*의 밀도들은 규조류의 밀도들과 높은 상관관계를 나타냈으나 독립영양성 외편모류의 밀도들과는 뚜렷한 상관관계가 없었다(Fig. 8).

8월 27일 *Noctiluca scintillans*의 경우 *Gyrodinium impudicum*

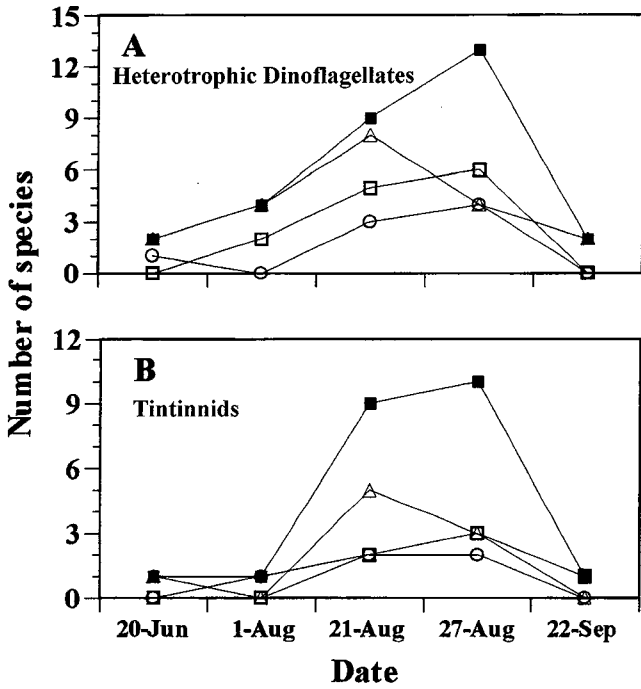


Fig. 2. The temporal variations in the species number of heterotrophic dinoflagellates (A) and tintinnids (B) at St 5 (open triangles), 9 (open circles), and 12 (open squares) off Naro-do, Kohung, Korea from June 20 to September 22, 1997. Water samples at each station were usually taken from 5 depths. Solid squares were the total species numbers at all sampling stations in each sampling time.

또는 *Cochlodinium polykrikoides*을 포식하여 원형질 안에 많이 있는 모습이 발견되었는데 *Noctiluca* 개체군이 *G. impudicum* 또는 *C. polykrikoides* 개체군의 최대 약 0.7%를 순간적으로 포식하고 있음이 발견되었다(Fig. 9).

토 의

본 연구의 결과는 (1) 연구해역에서 유해성 적조생물을 포함한 식물플랑크톤의 대번식 시기가 아닐 때도 HTD와 섬모류의 밀도는 비교적 높았고, 이들 밀도의 공간적 분포를 볼 때 외만에서 보다 내만에서 크게 높았으며, (2) 식물플랑크톤의 대번식 시기에 HTD와 섬모류의 밀도가 크게 증가하는 등 이들 밀도의 시간적 분포가 먹이생물의 분포와 상당히 일치하므로 이들의 분포는 먹이에 의해 크게 영향받음을 제시할 수 있으며, (3) 먹이의 종류를 고려할 때 우점 HTD인 *Protoperidinium* spp.의 분포는 규조류의 분포와 높은 상관관계를 가지며 NC의 분포는 ATD의 분포의 영향을 받을 수 있음을 제시한다.

HTD와 섬모류의 시공간적 분포

연구기간동안 최대밀도의 시간적 변화를 보면 HTD의 경우 유해성 적조 발생 시기가 아닐 경우 2~11 cells ml⁻¹이었으나 적조발생 시기는 45 cells ml⁻¹로 증가하였고, TIN의 경우 적조발생 시기가 아닐 경우 2~8 cells ml⁻¹이었으나 적조발생 시기는

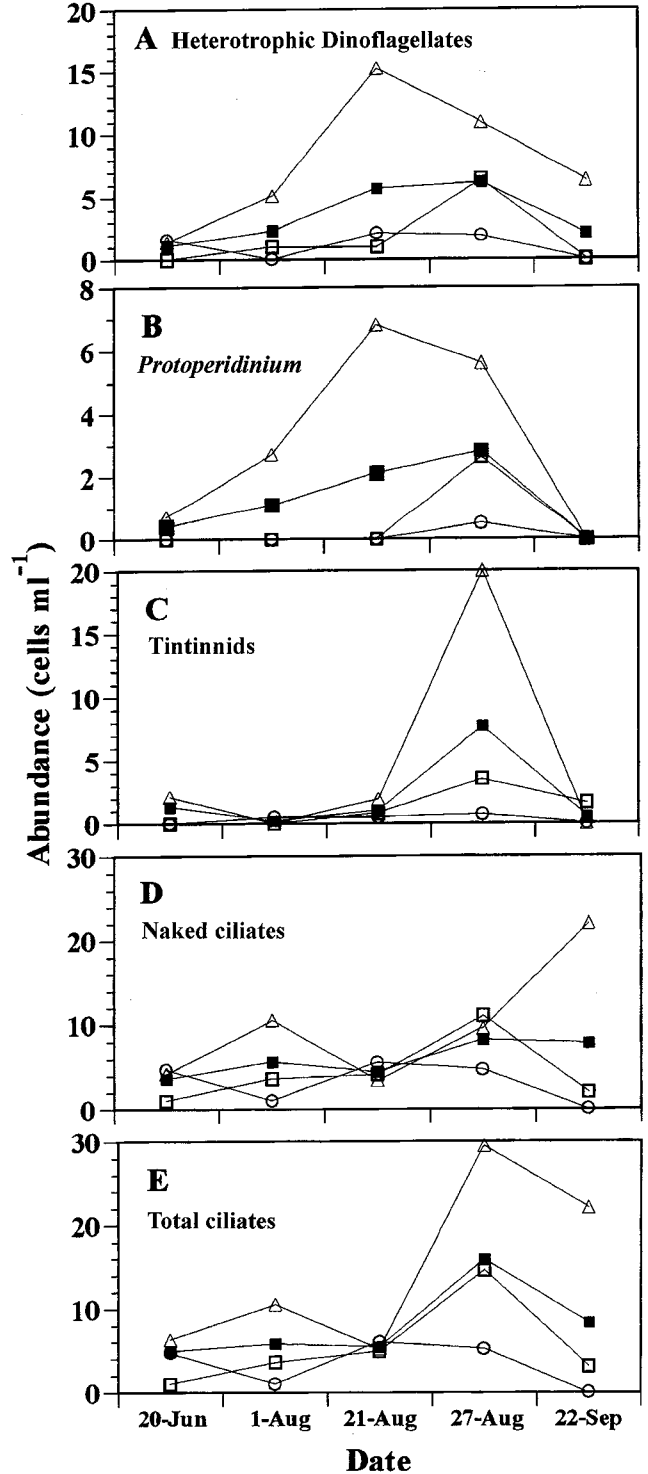


Fig. 3. The temporal variations in the abundances of total heterotrophic dinoflagellates (A), *Protoperidinium* spp. (B), tintinnids (C), naked ciliates (D), and total ciliates (E) at St 5 (open triangles), 9 (open circles), and 12 (open squares) off Naro-do, Kohung, Korea from June 20 to September 22, 1997. Solid squares were the values averaging the abundances of three sampling stations in each sampling time.

39 cells ml⁻¹이었다. NC의 경우 적조발생 시기가 아닐 경우에도 6~23 cells ml⁻¹로 비교적 높았고 적조발생 시기는 57 cells ml⁻¹

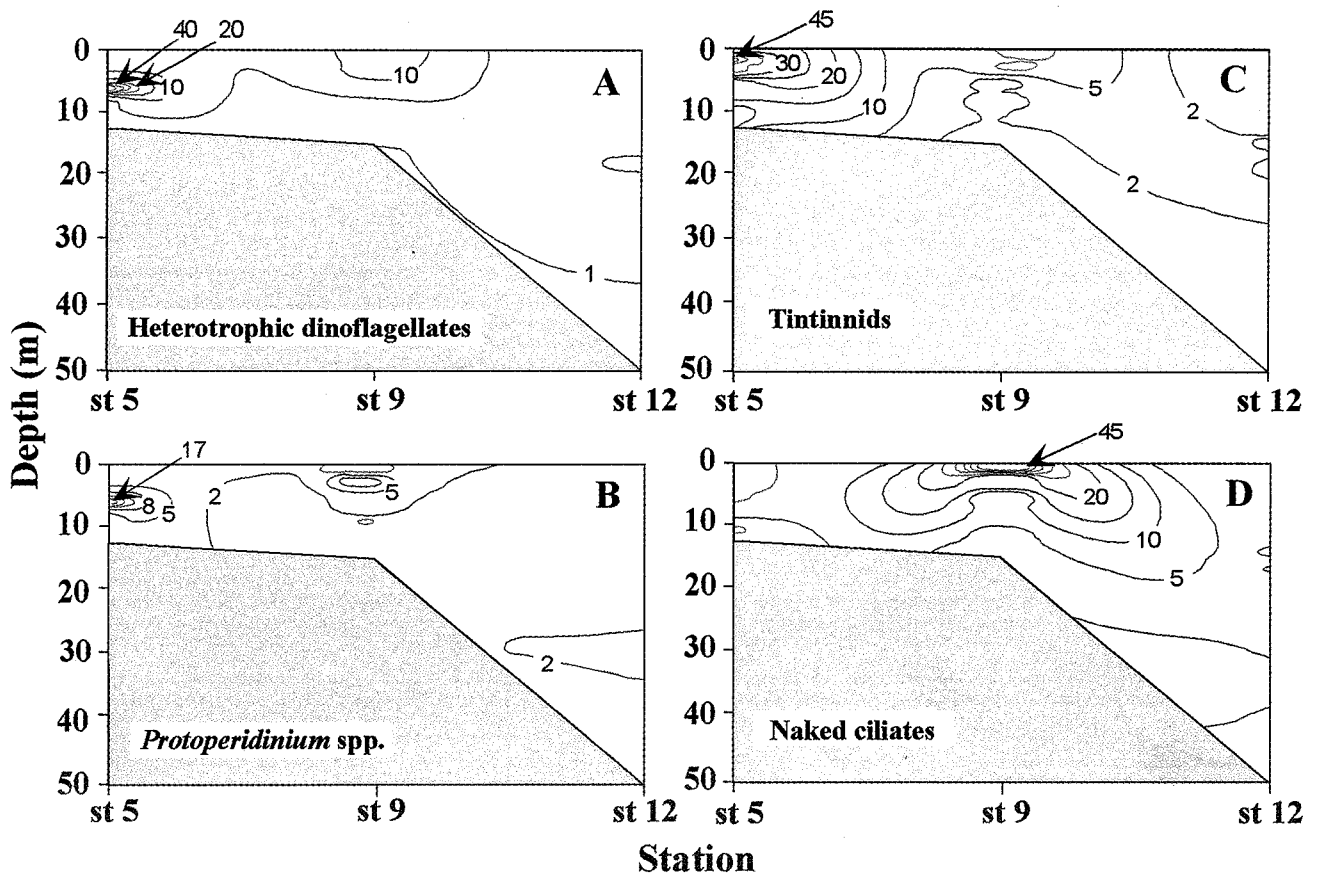


Fig. 4. The distributions of the abundances (cells ml⁻¹) of total heterotrophic dinoflagellates (A), *Protoperidinium* spp. (B), tintinnids (C), and naked ciliates (D) in the waters off Naro-do, Kohung, Korea on August 27, 1997. Sampling depths were 0, 2, 4, 6, 8, 10, and 12 m for St 5, 0, 3, 6, 9, 12, and, 15 m for St 9, and 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, and 50 m for St 12.

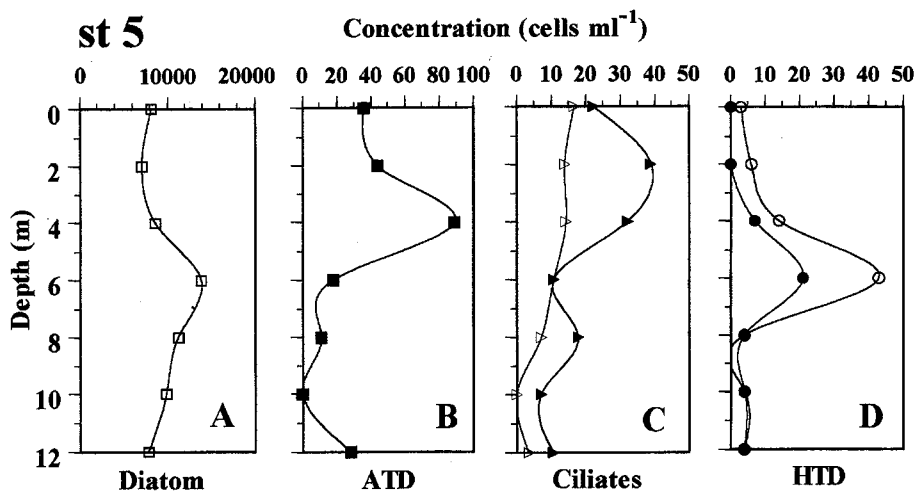


Fig. 5. The vertical distributions of the abundances of diatoms (A), autotrophic dinoflagellates (B), tintinnids (solid triangles in C), naked ciliates (open triangles in C), total heterotrophic dinoflagellates (open circles in D), and *Protoperidinium* spp. (solid circles in D) at St 5 on August 27, 1997.

이었다. 이는 식물플랑크톤의 대번식 시기가 아닐 경우에도 비교적 높은 농도를 유지하고 있음을 알 수 있는데(Jeong, 1999), HTD의 경우 먹이의 다양성과 먹이를 포식하지 않아도 오래 견딜 수 있는 능력이 있기 때문으로 생각되며(Jacobson, 1987; Jeong and Latz, 1994; Jeong 1999), TIN이나 NC는 식물플랑크톤 외에 종속영양성 세균이나 detritus를 이용하여 살아갈 수

있는 능력이 있기 때문으로 생각할 수 있다(Pierce and Turner, 1992).

연구기간 중 HTD의 최대밀도인 45 cells ml⁻¹는 Jeong(1999)이 review한 논문에서 Kattegat만(Denmark)의 200 cells ml⁻¹ (Hansen, 1991), Seto Inland Sea(Japan)의 90 cells ml⁻¹ (Nakamura *et al.*, 1995), Northeast Atlantic Ocean의 67 cells

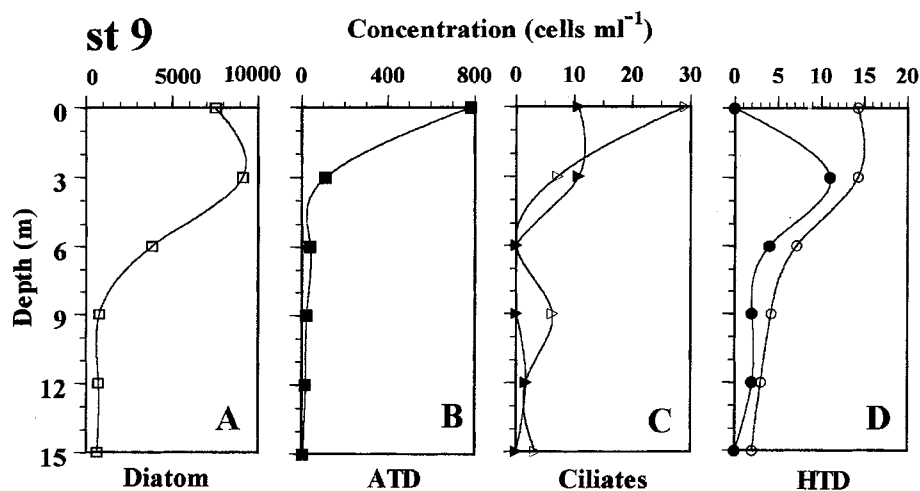


Fig. 6. The vertical distributions of the abundances of diatoms (A), autotrophic dinoflagellates (B), tintinnids (solid triangles in C), naked ciliates (open triangles in C), total heterotrophic dinoflagellates (open circles in D), and *Protoperidinium* spp. (solid circles in D) at St 9 on August 27, 1997.

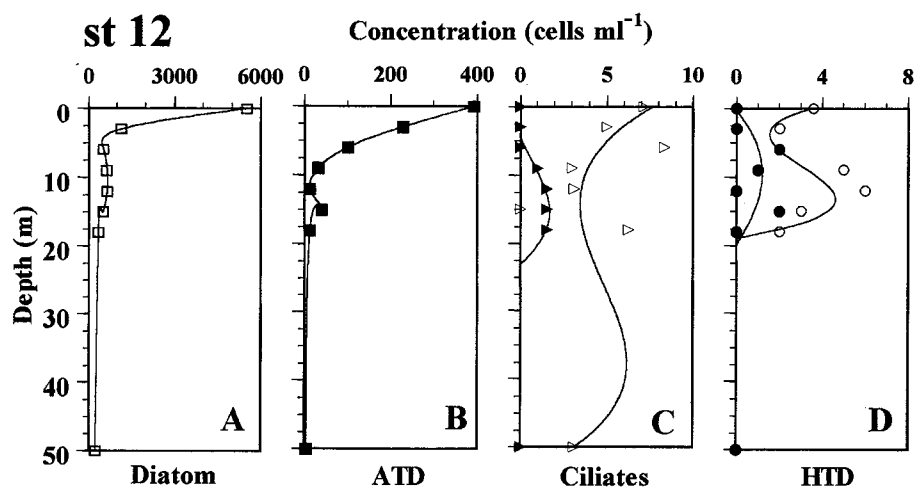


Fig. 7. The vertical distributions of the abundances of diatoms (A), autotrophic dinoflagellates (B), tintinnids (solid triangles in C), naked ciliates (open triangles in C), total heterotrophic dinoflagellates (open circles in D), and *Protoperidinium* spp. (solid circles in D) at St 12 on August 27, 1997.

ml⁻¹(Verity *et al.*, 1993) 보다 낮지만 다른 10군데 다른 해역에서의 최대밀도 값보다는 높거나 비슷하였다(Lessard, 1991; Stoecker *et al.*, 1993, 1996; Archer *et al.*, 1996; Klass, 1997; Grey *et al.*, 1997).

TIN의 최대밀도인 39 cells ml⁻¹는 Pierce and Turner(1992)의 review 논문에서 나타난 최대밀도인 Narragansett Bay(USA)의 14 cells ml⁻¹(Hargraves, 1981), Long Island Sound(USA)의 13 cells ml⁻¹(Capriulo and Carpenter, 1983), North Adriatic Sea의 16 cells ml⁻¹(Revelante and Gilmartin, 1983), Southern California의 18 cells ml⁻¹(Heinbokel and Beers, 1979) 보다 2~3배 가량 높았다. 이는 8월 21일 식물플랑크톤의 대번식 초기에 TIN에게 좋은 먹이 환경이 조성되었던 것으로 해석된다.

NC의 최대밀도인 57 cells ml⁻¹는 Pierce and Turner(1992)의 review 논문에서 나타난 최대밀도인 Point Barrow(USA)의 600 cells ml⁻¹(Holm-Hansen *et al.*, 1970), Limfjorden(Denmark)의 160 cells ml⁻¹(Andersen and Sørensen, 1986), River Tamer Estuary(Southwest England, 1982)의 230 cells ml⁻¹(Dale and Burkill, 1982) 보다 훨씬 낮으나 다른 8군데 다른 해역에서의 최대밀도 값보다는 높거나 비슷하였다(Sanders, 1987; Heinbokel

and Beers, 1979; Revelante and Gilmartin, 1983).

잠재적 포식자-피식자 관계

우점 HTD인 *Protoperidinium* spp.은 세포외부로 유기물을 내어 먹이를 둘러싼 뒤 소화효소를 분비하여 먹이를 녹이고 그 다음 먹이 내용물을 세포내로 흡수하는 pallium feeding을 하기 때문에 자신보다 큰 먹이 등 다양한 크기와 종류의 먹이를 섭식할 수 있다(Jacobson, 1987; Jeong and Latz, 1994; Jeong, 1999). 이들은 ATD와 규조류를 주로 포식하는데 이들 두 먹이 중 어느 것을 선호하는 지는 종에 따라 다르다(Jeong and Latz, 1994; Buskey, 1997). 본 연구에서의 결과를 보면 연구기간 중 출현한 *Protoperidinium* spp.의 분포와 규조류의 분포가 일치하지만 ATD와는 상관관계가 없는 것으로 보아 이들은 주로 규조류를 먹이로 선택할 가능성을 제시한다. *Protoperidinium* spp. 중 비교적 빠른 수영을 하는 *P. divergens*의 최대수영속도가 1 mm sec⁻¹로 1.4 mm sec⁻¹인 *Cochlodinium polykrikoides*나 *Gyrodinium impudicum*을 잡아 포식하기에는 어려움이 있었을 것이다(Jeong and Latz, 1994; Jeong *et al.*, 1999a). *Protoperidinium* spp.의 우점 규조류에 대한 포식압(grazing impact)을 구하기 위해서는

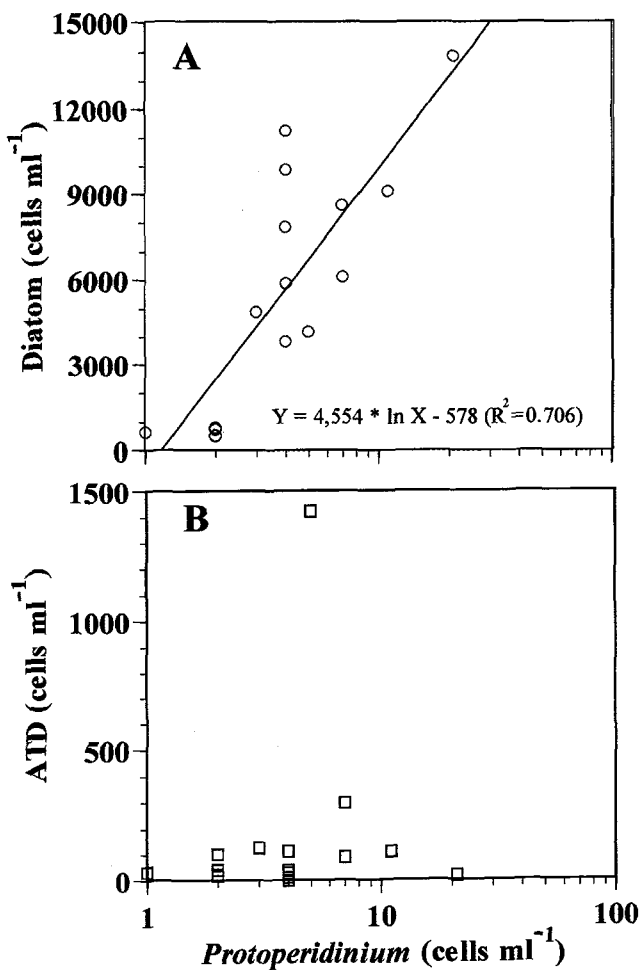


Fig. 8. The correlation between the abundances of *Protoperidinium* spp. and diatoms(A), autotrophic dinoflagellates (B).

앞으로 각 종의 우점 구조류에 대한 *Protoperidinium* spp.의 성장률과 포식률의 측정이 필요하다.

유해성 적조가 일어난 8월 27일에 HTD인 *Polykrikos* spp.의 밀도가 34 cells ml⁻¹로 매우 높게 나타났고 1998년 10월 서해안에서 발생한 *Cochlodinium polykrikoides* 적조때에도 6 cells ml⁻¹로 비교적 높은 밀도로 나타났다(Jeong, unpublished data). 그러나 이들의 *C. polykrikoides*나 *Gyrodinium impudicum*에 대한 포식 연구 결과 이 먹이들이 *Polykrikos* spp.의 성장을 뒷받침하지 못하는 것으로 나타나 다른 주요 먹이가 있었을 것으로 생각된다(Jeong, unpublished data).

*Noctiluca scintillans*의 원형질 안에서 많은 *Gyrodinium impudicum* 또는 *Cochlodinium polykrikoides* 세포들이 발견되어 이들의 포식이 중요할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 *N. scintillans*의 최대수영속도가 100 μm sec⁻¹밖에 되지 않아 빠르게 움직이는 건강한 *G. impudicum* 또는 *C. polykrikoides* 세포를 포획했을 가능성은 낮고 수영능력이 떨어진 세포들이 고밀도로 모여있는 patch내에서 이들 먹이를 포획했을 가능성이 높다.

본 연구에서 NC의 분포는 비교적 ATD 분포의 영향을 받는 것으로 나타났는데 *Strombidinopsis* spp. 등 큰 NC는 *Gyrodinium*

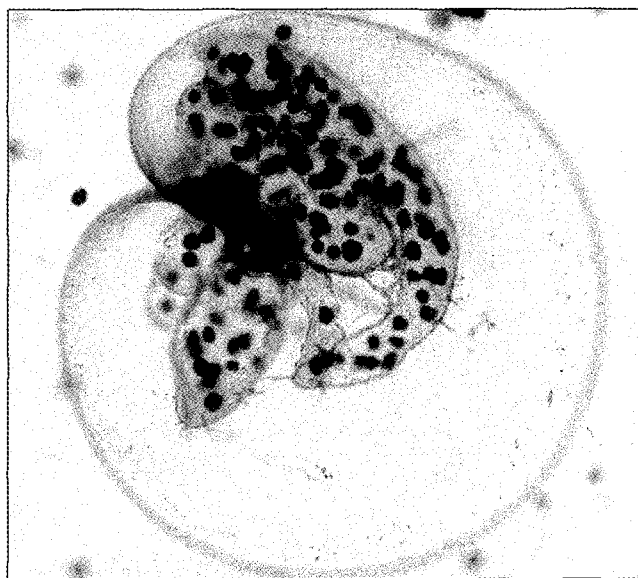


Fig. 9. *Noctiluca scintillans* containing several *Gyrodinium impudicum* and/or *Cochlodinium polykrikoides* cells in the protoplasm. *N. scintillans* was collected on August 27, 1997.

impudicum 또는 *Cochlodinium polykrikoides*보다 수영속도가 빨라 이들 먹이를 효과적으로 포식할 수 있고, 특히 *C. polykrikoides*가 *Strombidinopsis* sp.의 가장 좋은 먹이임이 밝혀져(Jeong et al. 1999b) 이들 간의 강한 포식자-피식자 관계가 있음을 제시할 수 있다. HTD, TIN, NC의 분포는 먹이인 식물플랑크톤의 분포 뿐만 아니라 이들의 포식자인 후생동물플랑크톤과 치어의 분포에 영향을 받을 가능성이 높으므로 앞으로 이에 대한 연구가 필요하다.

사 사

본 연구를 수행하는데 있어서 현장에서 시료채취를 도와준 이인근 전라남도 해양자원과장, 김영남 고흥어촌지도소장, 전북 부안 어촌지도소의 김형섭 연구사, 전라북도 도립배양장 이창원 연구사에게 깊은 감사를 드립니다. 본 연구는 1996년도 학술진흥재단 대학부설연구소과제 연구비에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- 양재삼, 최현용, 정해진, 정주영, 박종규, 2000. 전남 고흥 해역의 유해성 적조의 발생연구: 1. 물리, 화학적인 특성. 한국해양학회지, 5: 16-26.
- 정해진, 박종규, 최현용, 양재삼, 심재형, 신윤근, 이원호, 김형섭, 조경제, 2000. 전남 고흥 해역의 유해성 적조의 발생연구. 2. 1997년도 식물플랑크톤의 시공간적 변화. 한국해양학회지, 5: 27-36.
- Andersen, P. and H.M. Sørensen, 1986. Population dynamics and trophic couplings in the pelagic microorganisms in eutrophic coastal waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 33: 99-109.

- 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.
- Buskey, E.J., 1997. Behavioral components of feeding selectivity of the heterotrophic dinoflagellate *Protoperdinium pellucidum*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **153**: 77–89.
- Capriulo, G.M. and E.J. Carpenter, 1983. Abundance, species composition, and feeding impact of tintinnid micro-zooplankton in Central Long Island Sound. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **10**: 277–288.
- Dale, T. and P.H. Burkill, 1982. Living counting—a quick and sample technique for enumerating pelagic ciliates. *Ann. Inst. Oceanogr. Paris*, **58**: 267–276.
- 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, edited by Locicero, V.R., Wakefield, Massachusetts Science and Technology Foundation, Massachusetts. pp. 11–22.
- Fenchel, T. and P.R. Jonsson, 1988. The functional biology of *Strombidium sulcatum*, a marine oligotrich ciliate (Ciliophora, Oligotrichina). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **48**: 1–15.
- Grey, J., J. Laybourn-Parry, R.J.G. Leakey, and A. McMinn, 1997. Temporal patterns of protozooplankton abundance and their food in Ellis Fjord, Princess Elizabeth Land, eastern Antarctica. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **45**: 17–25.
- Hansen, P.J., 1991. Quantitative importance and trophic role of heterotrophic dinoflagellates in a coastal pelagial food web. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **73**: 253–261.
- Hargraves, P.E., 1981. Seasonal variations of tintinnids (Ciliophora, Oligotrichida) in Narragansett Bay, Rhode Island, U.S.A. *J. Plankton Res.*, **3**: 81–91.
- Heinbokel, J.F. and J.R. Beers, 1979. Studies in the functional role of tintinnids in the Southern California Bight. III. Grazing impact of natural assemblages. *Mar. Biol.*, **52**: 23–32.
- Holm-Hansen, O., F.J.R. Taylor, and R.J. Barsdate, 1970. A ciliate red tide at Barrow, Alaska. *Mar. Biol.*, **7**: 37–46.
- Jacobson, D.M., 1987. The ecology and feeding biology of thecate heterotrophic dinoflagellates. Ph.D. Thesis Woods Hole Oceanographic Institution/Massachusetts Institute of Technology Joint Program, Woods Hole, 210 pp.
- Jeong, H.J., 1994a. Predation effects of the calanoid copepod *Acartia tonsa* on a population of the heterotrophic dinoflagellate *Protoperdinium cf. divergens* in the presence of co-occurring red-tide dinoflagellate prey. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **111**: 87–97.
- Jeong, H.J., 1994b. Predation by the heterotrophic dinoflagellate *Protoperdinium cf. divergens* on copepod eggs and early naupliar stages. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **114**: 203–208.
- 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, University of California, San Diego, 139 pp.
- Jeong, H.J., 1999. The ecological roles of heterotrophic dinoflagellates in marine planktonic community. *J. Euk. Microb.*, **46**: 390–396.
- 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., C.W. Lee, W.H. Yih and J.S. Kim, 1997. *Fragilidium cf. mexicanum*, a thecate mixotrophic dinoflagellate which is prey for and a predator on co-occurring thecate heterotrophic dinoflagellate *Protoperdinium cf. divergens*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **151**: 299–305.
- Jeong, H.J., J.H. Shim, J.S. Kim, J.Y. Park, C.W. Lee and 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.
- Kimor, B., 1979. Predation by *Noctiluca miliaris* Souriray on *Acartia tonsa* Dana eggs in the inshore waters of southern California. *Limnol. Oceanogr.*, **24**: 568–572.
- Klass, C., 1997. Microprotozooplankton distribution and their potential grazing impact in the Antarctic Circumpolar current. *Deep Sea Res.*, **44**: 375–393.
- Latz, M.I. and H.J. Jeong, 1996. Effect of red tide dinoflagellate diet and cannibalism on the bioluminescence of the heterotrophic dinoflagellates *Protoperdinium* spp. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **132**: 275–285.
- Lessard, E.J., 1991. The trophic role of heterotrophic dinoflagellates in diverse marine environments. *Mar. Microb. Food Web*, **5**: 49–58.
- 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.
- Naustvoll, L.-J., 1998. Growth and grazing by the thecate heterotrophic dinoflagellate *Diplopsalis lenticula* (Diplopsalidaceae, Dinophyceae). *Phycologia*, **37**: 1–9.
- Pierce, R.W. and J.T. Turner, 1992. Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. *Rev. Aquat. Sci.*, **6**: 139–181.
- 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.
- Sanders, R.W., 1987. Tintinnids and other microzooplankton—seasonal distributions and relationships to resources and hydrography in a Maine estuary. *J. Plankton Res.*, **9**: 65–77.
- Stoecker, D.K., K.R. Buck and M. Putt, 1993. Changes in the sea-ice brine community during the spring-summer transition, McMurdo Sound, Antarctica. II. Phagotrophic protists. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **95**: 103–113.
- Stoecker, D.K., D.E. Gustafson, and P.G. Verity, 1996. Micro- and mesoprotozooplankton at 140° W in the equatorial Pacific: heterotrophs and mixotrophs. *Aquat. Microb. Ecol.*, **10**: 273–282.
- Stoecker, D.K. and N.K. Sanders, 1985. Differential grazing by *Acartia tonsa* on a dinoflagellate and a tintinnid. *J. Plankton Res.*, **7**: 85–100.
- Verity, P.G., D.K. Stoecker, M.E. Sieracki, P.H. Burkill, E.S. Edwards

- and C.R. Tronzo, 1993b. Abundance, biomass and distribution of heterotrophic dinoflagellates during the North Atlantic spring bloom. *Deep Sea Res. II.*, **40**: 227-244.
- 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.
-
- 1999년 5월 31일 원고 접수
1999년 11월 13일 수정본 채택