

## 곰소만과 금강하구역에서 광합성 섬모류 *Mesodinium rubrum* (=*Myrionecta rubra*) 개체군의 변동 특성

김형섭<sup>1</sup> · 김영길<sup>2</sup> · 양재삼<sup>2</sup> · 이원호<sup>2\*</sup>  
<sup>1</sup>군산지방해양수산청, <sup>2</sup>군산대학교 해양정보과학과

### Comparative Population Dynamics of Photosynthetic Ciliate *Mesodinium rubrum* (= *Myrionecta rubra*) in Gomso Bay and the Geum River Estuary, Korea

HYUNG SEOP KIM<sup>1</sup>, YOUNG GEEL KIM<sup>2</sup>, JAE SAM YANG<sup>2</sup> AND WONHO YIH<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Kunsan Regional Maritime Affairs and Fisheries Office, MOMAF, Kunsan 573-030, Korea

<sup>2</sup>Department of Ocean Information Science, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

담수의 유입량 및 유입특성이 서로 다른 서해의 곰소만과 금강하구역에서 1999년 9월부터 2000년 12월까지 0.5-2 주 일 간격으로 수온, 염분, 식물플랑크톤 군집 및 *Mesodinium rubrum*(=*Myrionecta rubra*) 개체군의 변동 특성을 연구하였다. 두 해역에서 수온과 염분 환경의 차이에 의한 식물플랑크톤 군집과 *M. rubrum* 개체군의 시계열적 변동 양상의 상이성에 대하여 비교·분석하였다. 불규칙한 담수 방류에 의하여 상류 기원의 부영양물질의 유입이 많은 금강하구역에서는 곰소만에 비하여 평균 밀도가 더 높은 *M. rubrum* 개체군이 유지됨과 동시에, *M. rubrum* 대발생의 빈도와 규모가 더 크다는 사실이 확인되었다. 또한 보다 급격한 염분 변화를 보였던 금강하구역에서는 *Skeletonema costatum*을 비롯한 *Asterionellopsis glacialis*, *A. kariana*, *Chaetoceros debilis*, *Eucampia zodiacus*, *Paralia sulcata*, *Thalassiosira pacifica*, *T. nordenskiöldii* 등의 연안성 규조류의 우점도가 곰소만에서 보다 낮았던 반면, 염분 변화에 대한 내성이 강한 *M. rubrum*이 높은 우점율을 나타내었다. 향후 서해 연안에 새만금방조제와 같은 인공구조물이 건설되어 불규칙한 담수 방류의 빈도와 규모가 증가할 경우, 인근 해역에는 우점 규조류 대신 *M. rubrum*이 우점하게 될 가능성이 있다.

Water temperature, salinity, the phytoplankton community and population of a marine photosynthetic ciliate, *Mesodinium rubrum* (= *Myrionecta rubra*), were monitored every 0.5-2 weeks in Gomso Bay and the Geum River Estuary from September 1999 to December 2000. Patterns of temporal variation of the *M. rubrum* population and phytoplankton community were compared with each other in relation to the differences in temporal fluctuation patterns of the water temperature and salinity in the two study areas. Higher population densities and more frequent blooms of *M. rubrum* in the Geum River Estuary than those in Gomso Bay could be due to the relatively higher nutrient input by freshwater influx in the Geum River Estuary. In the Geum River Estuary which experience more abrupt and irregular fluctuations of salinity, *M. rubrum* with its greater tolerance to salinity change exhibited increased dominance while neritic diatoms such as *Skeletonema costatum*, *Asterionellopsis glacialis*, *A. kariana*, *Chaetoceros debilis*, *Eucampia zodiacus*, *Paralia sulcata*, *Thalassiosira pacifica*, *T. nordenskiöldii* showed decreased dominance compared with those in Gomso Bay. Thus, it is possible that *M. rubrum* replaces the dominant diatom species in coastal waters where artificial modification of coast lines as in the case of Saemankeum Reclamation Project should increase the frequency as well as the absolute scale of freshwater discharges.

**Key words:** Photosynthetic Ciliate, *Mesodinium rubrum*, *Myrionecta rubra*, Population Dynamics, Salinity, Freshwater Discharge

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

## 서론

최근 진행 중인 새만금간척사업 구역의 남·북 양단에 위치한 곰소만과 금강하구는 비교적 가까운 거리에 위치하고 있으면서도 해양생태학적 환경 요인이 서로 크게 다르다. 전북 부안과 고창 사이에 위치한 곰소만은 육지로부터의 담수 영향을 크게 받지 않을 뿐만 아니라, 육상기원의 유기물 및 중금속 유입이 적은 연안 해역이다(양 등, 2003). 또한, 곰소만은 2000년 이전까지 *Mesodinium rubrum*을 포함한 여타의 식물플랑크톤 중에 의한 적조발생의 기록이 없던 해역이었으나, 본 연구를 위한 현장조사 완료 다음 해인 2001년 7월 초순 *M. rubrum*에 의한 대발생 현상이 처음으로 관찰되었다. 금강하구역은 충남 장항과 전북 군산 사이에 위치하며, 폭은 약 2 km이고, 수심은 10 m 미만으로, 1994년 금강하구둑 배수갑문의 작동을 시작한 이래, 상류 측에는 금강호가 형성되었다. 금강호의 수위에 따라 매일 소량의 담수를 방류하고 있으며, 장마철에는 홍수조절을 위해 대량의 담수를 집중 방류한다. 금강하구역은 외측 해역에서 유입되는 해수와 금강호로부터 방출되는 담수와의 혼합이 지속적으로 이루어짐에 따라, 염분을 포함한 각종 해수 성분의 변화가 매우 심하게 나타나며, 하구둑의 배수갑문이 닫혀있는 기간 중에는 미소조류 및 부유물질의 양이 감소하는 반면 무기 영양염류의 농도 증가를 보이는 해역이다(이와 양, 1997). 곰소만과는 달리, 금강하구역은 1995년 5월 *M. rubrum*에 의한 적조발생(세포농도 6,950~8,650 cells ml<sup>-1</sup>)이 처음 보고된 해역이며, 이후부터 규칙적으로 매년 봄철에 *M. rubrum* 대발생 현상이 나타나고 있다(Yih *et al.*, 2000).

광합성 섬모류인 *M. rubrum*은 다양한 해역에서 빈번하게 적조를 형성하며(Lindholm, 1985; Laybourn-Parry and Perriss, 1995), 비교적 낮은 농도로 존재하더라도(Montagnes and Lynn, 1989) 식물플랑크톤의 주요 구성원이며(Crawford, 1989), 기능적인 일차생산자로서의 역할을 담당한다(Takahashi and Hoskins, 1978; Leppanen and Bruun, 1986; Stoecker *et al.*, 1989; Sanders, 1995). *M. rubrum*의 성장과 대발생을 제어하는 무생물적 인자는 인산염(Barber *et al.*, 1969) 및 용존 무기질소(Smith and Barber, 1979; Wilkerson and Grunseich, 1990; Kifle and Purdie, 1993)와 같은 용존 무기영양염, 입자성 질소(Holm-Hansen *et al.*, 1970; Packard *et al.*, 1978), 수온과 수괴의 안정(Crawford *et al.*, 1997) 등이라고 보고하였다. Lindholm(1985)은 내만에서는 육상기원 영양염과 생물학적 인자가 중요하다고 하였으며, Gustafson *et al.*(2000)은 새로운 세포기관 또는 영양원인 은편모조류의 가용성에 따라 *M. rubrum*의 성장이 부분적으로 좌우될 수 있음을 제시하였다.

본 연구에서는 위에 언급된 바와 같이, 담수 유입량 및 유입특성이 서로 크게 다른 곰소만과 금강하구역에서 수온과 염분의 환경특성 뿐만 아니라 식물플랑크톤과 주요한 일차생산자 중의 하나인 *M. rubrum*의 개체군 변동을 조사하고, 두 해역 간의 환경특성 차이에 따라 *M. rubrum* 개체군과 식물플랑크톤 군집의 시계열적 변동 특성이 어떻게 달라지는지를 비교·분석하고자 하였다.

## 재료 및 방법

곰소만과 금강하구역에서 *M. rubrum* 개체군의 시계열적 변동

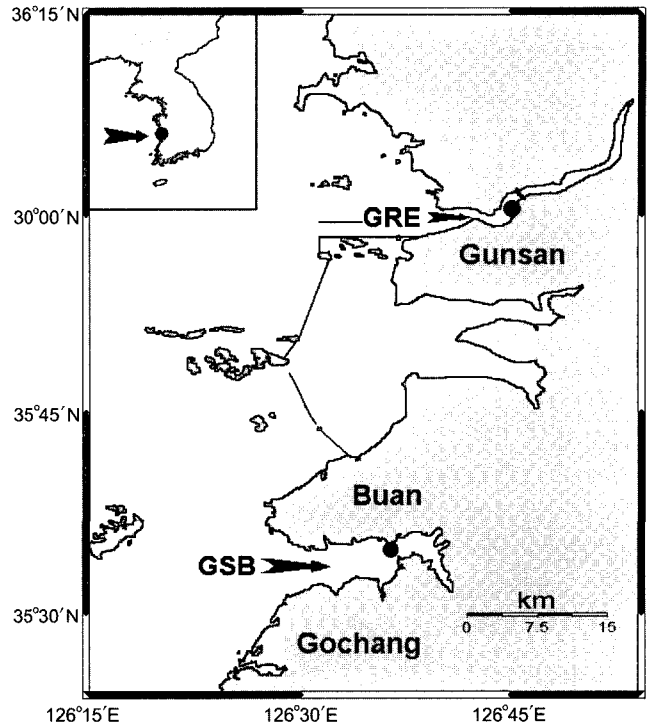


Fig. 1. Location of the two monitoring stations (GRE: Geum River Estuary, GSB: Gomso Bay).

특성을 연구하기 위해 각 해역에서 1개씩의 고정 관측 정점을 선정하였다(Fig. 1). 곰소만에서는 1999년 9월부터 2000년 9월까지 13개월간 3~10일 주기로 총 79회에 걸쳐, 금강하구역에서는 2000년 1월부터 2000년 12월까지 7~15일 간격으로 총 45회에 걸쳐만 조시에 시료를 채집하였다.

Van Dorn 채수기를 이용하여 0.5 m 수심에서 시료를 채집하였으며, 온도·염분계(YSI Model 35, USA)를 이용하여 수온 및 염분을 측정하였다. *M. rubrum* 세포의 손상을 최소화시키기 위해 채수 즉시 시료를 Lugol 용액으로 고정(최종농도 3%)하였다. 고정된 시료를 실험실로 운반하여 24시간 이상 암소에서 침전시킨 후, 일정량의 상등액을 미세 사이폰으로 제거하여 농축된 시료를 보관하였다. 현미경 관찰시 농축된 시료를 충분히 흔든 다음, Sedgwick-Rafter 계수판을 이용하여 광학현미경(Olympus BH-50) 하에서 식물플랑크톤 및 *M. rubrum*의 현존량을 계수하였다. 식물플랑크톤의 동정을 위해 최고 1,000 배율로 검경하였다.

수온 및 염분, *M. rubrum* 개체군 및 식물플랑크톤 현존량을 기초로 하여, *M. rubrum* 개체군의 시계열적 분포특성을 파악하고, 환경요인(수온, 염분)과의 상호관계를 분석하였다.

## 결과

### 곰소만에서 *M. rubrum* 개체군 동태

수온·염분의 변동: 곰소만 정점에서 수온은 1.6~30.2°C의 범위를 보였는데, 8월에 평균 27.5°C의 최고값을, 2월에 평균 3.1°C의 최저값을 나타내었다(Fig. 2). 수온의 연중 변화는 온대 연안의 전형적 유형인 하고동저의 변화를 보였다. 수온과 달리 염분은

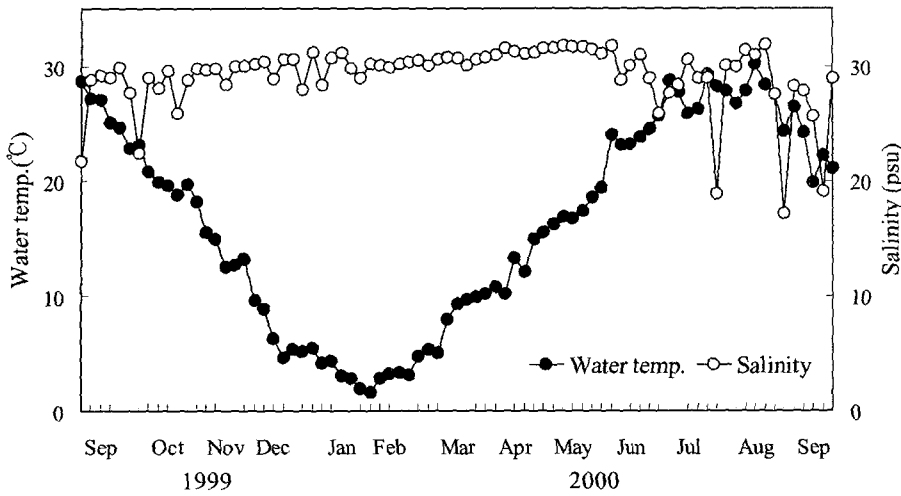


Fig. 2. Fluctuations of water temperature and salinity at a monitoring station in Gomso Bay.

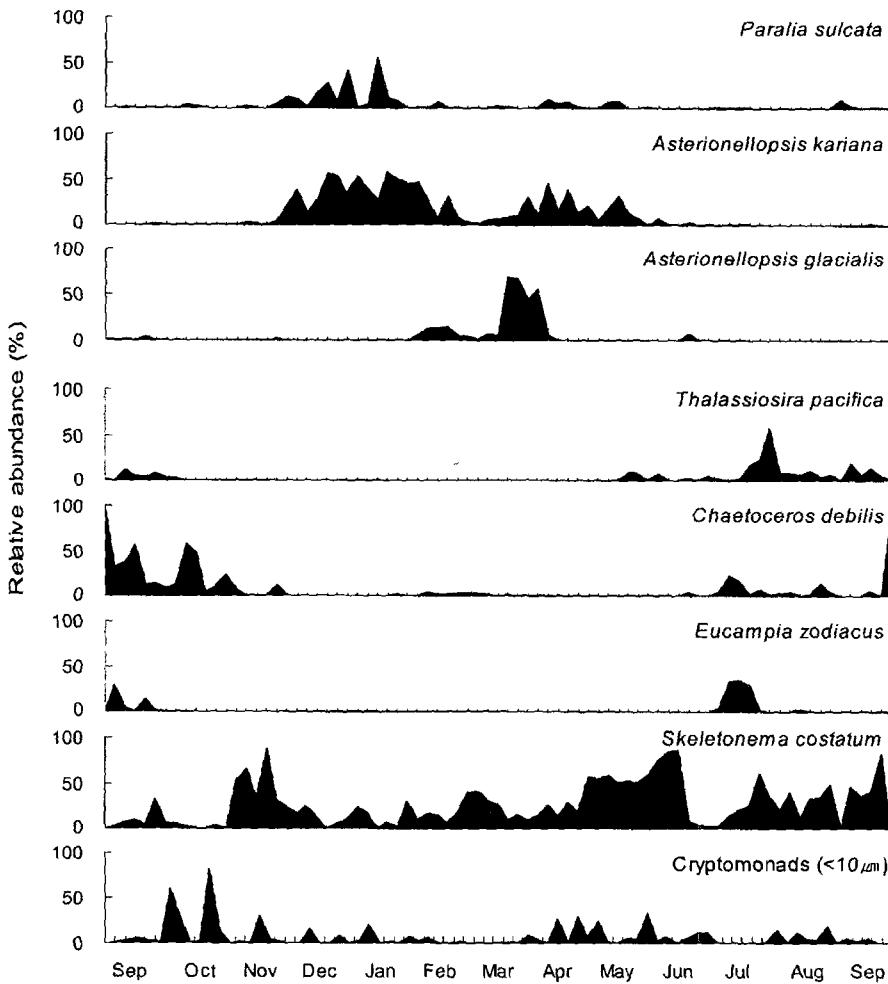


Fig. 3. Seasonal fluctuations of relative abundance of dominant phytoplankton species at a monitoring station in Gomso Bay.

17.1~31.9 psu의 범위에서 변화하였고, 여름과 가을에 단기적으로 큰 변화를 보이면서 평균적으로 낮은 값을 보였던 반면, 겨울과 봄에는 매우 작은 변화를 나타내며 상대적으로 높은 값을 기록하였다(Fig. 2).

**식물플랑크톤 우점종의 변동:** 주요 우점 식물플랑크톤 8종 가운데 6종(*Asterionellopsis glacialis*, *Asterionellopsis kariana*, *Chaetoceros*

*debilis*, *Eucampia zodiacus*, *Paralia sulcata*, *Thalassiosira pacifica*)은 연중 서로 다른 기간에 높은 생물량을 나타내어 우점종간의 계절적인 천이현상을 잘 보여주었다(Fig. 3). *A. glacialis*는 3월, *A. kariana*는 12~5월, *C. debilis*는 9~11월, *E. zodiacus*는 7월, *P. sulcata*는 12~1월, *T. pacifica*는 7~9월에 우점하였고, *S. costatum*과 *Cryptomonads*(<10 μm)는 연중 불규칙한 시점에서 빈번히 대

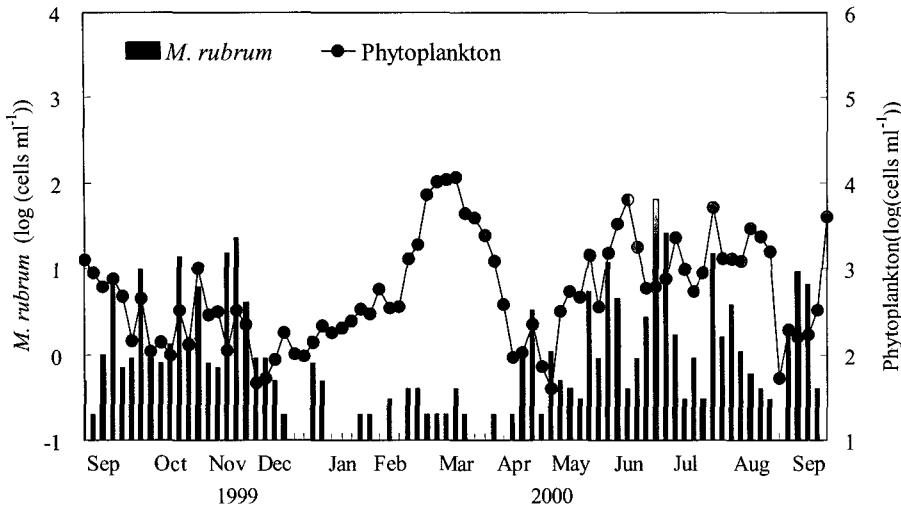


Fig. 4. Fluctuations of *M. rubrum* and phytoplankton abundance at a monitoring station in Gomso Bay.

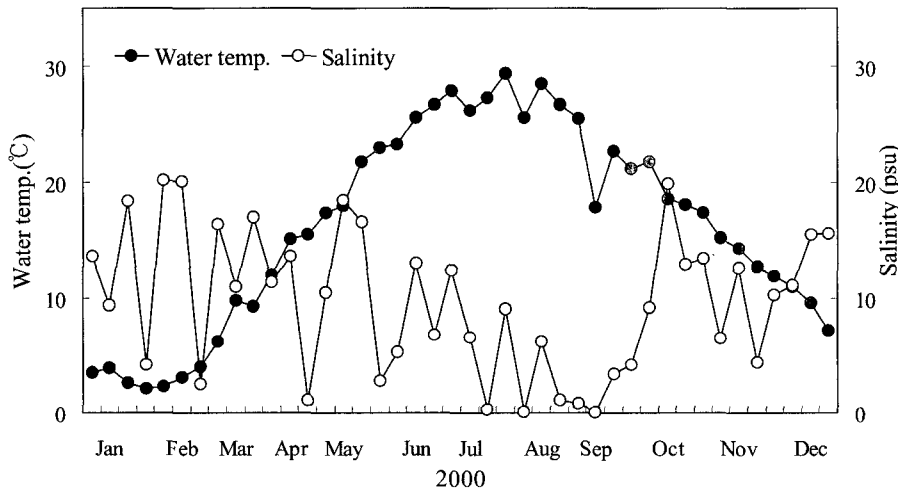


Fig. 5. Fluctuations of water temperature and salinity at a monitoring station in the Geum River Estuary.

규모로 증식하였다(Fig. 3).

***M. rubrum* 개체군의 변동:** *M. rubrum*의 현존량은 연중 2회의 최고값을 나타내는 시간적 변화를 보였는데, 6월 하순을 중심으로 하는 초여름의 높은 현존량(최대 64 cells ml<sup>-1</sup>)과 11월 중순을 중심으로 하는 늦가을의 높은 현존량(최대 23 cells ml<sup>-1</sup>)으로 세분되었고, 수온이 낮은 겨울철에는 현존량이 극히 미약하였다(Fig. 4). 총 식물플랑크톤 현존량의 연간 변동은 *M. rubrum*의 변동과 크게 다른 양상을 보여주었다. 즉, 3월을 중심으로 하는 연중 최대의 봄철 대발생(최대 11,670 cells ml<sup>-1</sup>)과 수온이 높은 6~9월 사이에 간헐적인 중규모 대발생을 나타내었으나, *M. rubrum* 개체군의 경우와 같이 가을철 대발생 현상은 확인되지 않았다(Fig. 4).

**금강하구역에서 *M. rubrum* 개체군 동태**

**수온·염분의 변동:** 금강 하구역 정점에서 수온의 변화는 2.1~29.4°C의 범위로, 여름철 30°C에 근접하는 고온과 겨울철 2°C 정도의 저온 사이에서 연중 uni-modal pattern을 나타내어, 온대 천해 연안역의 수온변화 양상을 잘 반영하였다(Fig. 5). 염분의 변화는 수온과는 달리 0.1~20.2 psu로 여름철에 낮고 겨울철에 높은 경향을 보였고, 하구둑 수문을 통한 간헐적인 담수의 방류에 따라

연중 극심한 단기적 변화를 보였다(Fig. 5). 금강하구역에서 염분의 단기적 변화는 곰소만에 비해 심하게 나타났는데, 이러한 극단적인 염분 스트레스 조건에서 *M. rubrum*의 단기적 변동 양상은 상대적으로 염분 스트레스가 작은 곰소만에서의 양상과 비교될 수 있다.

**식물플랑크톤 우점종의 변동:** 전체 식물플랑크톤 현존량 가운데 높은 점유율을 보인 우점종은 규조류의 *A. glacialis*, *S. costatum*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Thalassiosira nordenskioldii*, 은편모조류의 *Cryptomonads*(<10 μm), 녹조류의 *Pediastrum boryanum*, 유글레나조류의 *Euglena viridis*, 남조류의 *Anabaena* sp., *Oscillatoria* sp. 등이었다(Fig. 6). 우점종 중 *Cryptomonads*(<10 μm)는 불규칙한 시점에서 연중 높은 우점율을 나타내었고, 담수종인 *Anabaena* sp., *E. viridis*, *P. boryanum*, *Oscillatoria* sp.는 염분의 변화에 따라 뚜렷한 천이현상을 보여 주었다(Fig. 6).

***M. rubrum* 개체군의 변동:** *M. rubrum*의 최대 현존량은 1,655 cells ml<sup>-1</sup>로 대발생 현상이 관찰되었고, 다량의 담수방류가 있어 염분이 3 psu 이하로 매우 낮을 경우 전혀 출현하지 않았다(Fig. 7). 특히 봄철에 크게 대발생하였고, 가을철에 소규모의 대발생이 관찰되는 온대 연안역의 전형적인 현상을 보여주었다(Fig. 7). 식

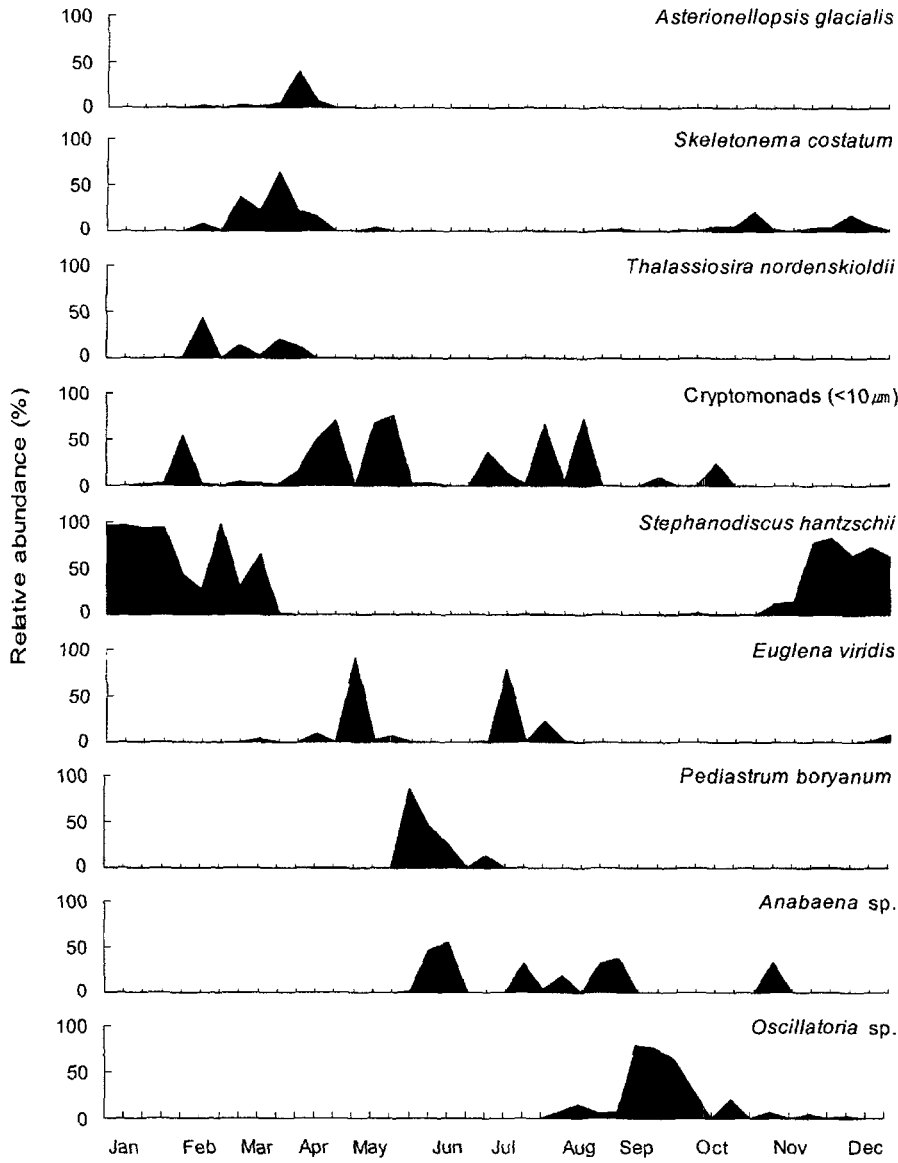


Fig. 6. Seasonal fluctuations of relative abundance of dominant phytoplankton species at a monitoring station in the Geum River Estuary.

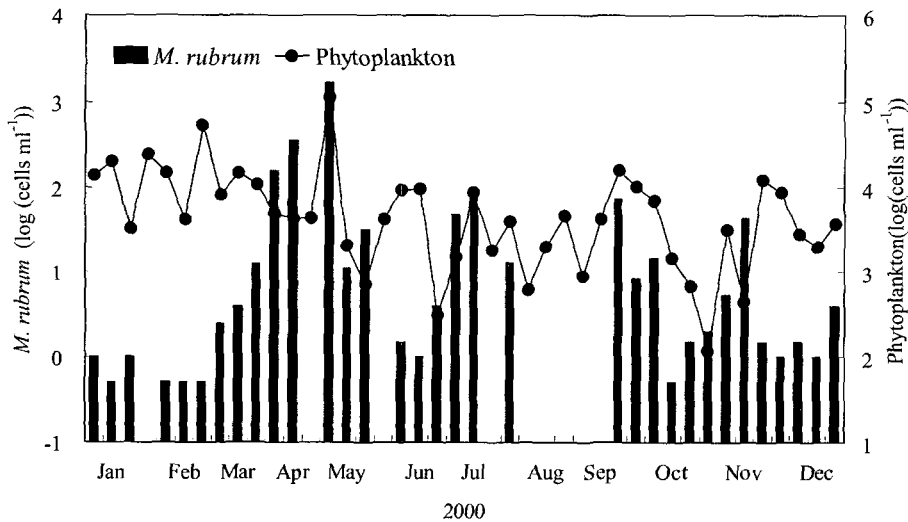


Fig. 7. Fluctuations of *M. rubrum* and phytoplankton abundance at a monitoring station in the Geum River Estuary.

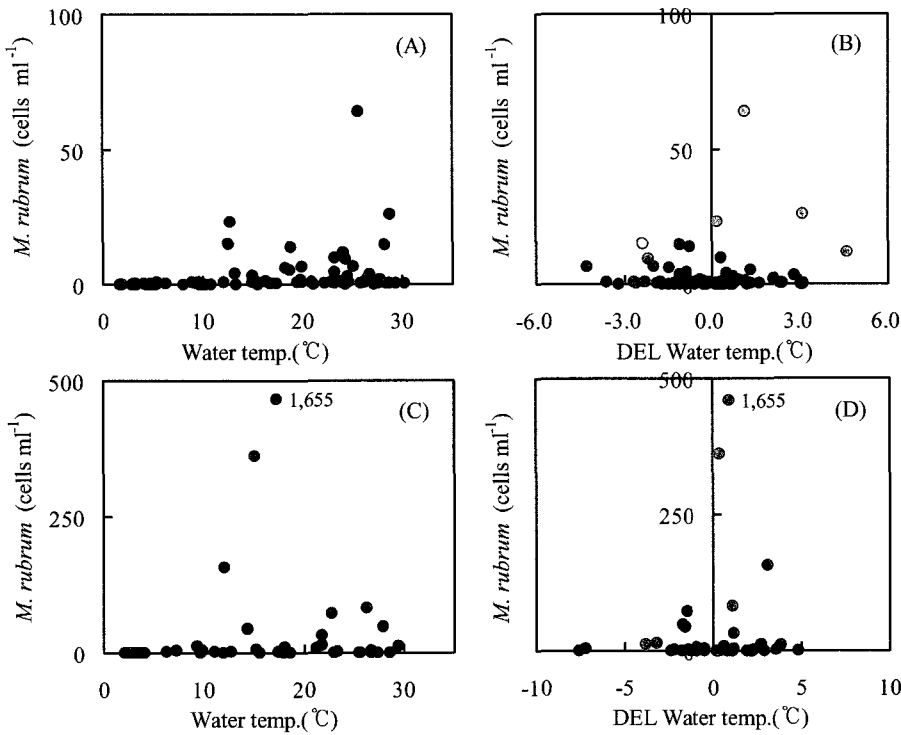


Fig. 8. Relationships between water temperature and *M. rubrum* abundance at a monitoring station in Gomso Bay (A & B) and the Geum River Estuary (C & D). "DEL" means the difference between the values of water temperature at time  $t_n$  ( $W_{t_n}$ ) and that at time  $t_{n-1}$  ( $W_{t_{n-1}}$ ).

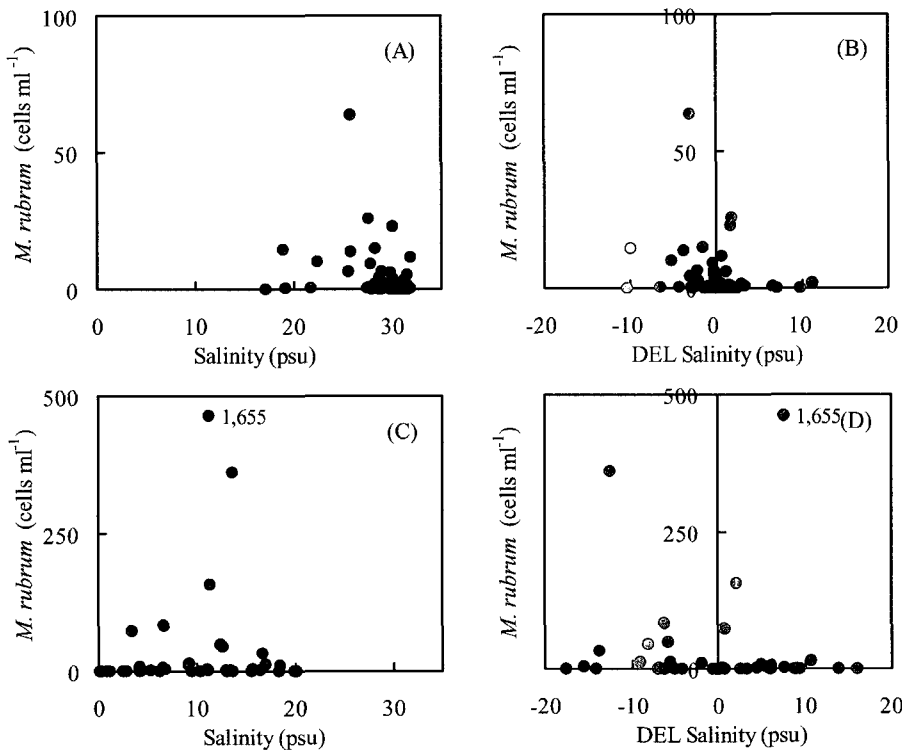


Fig. 9. Relationships between salinity and *M. rubrum* abundance at a monitoring station in Gomso Bay (A & B) and the Geum River Estuary (C & D). "DEL" means the difference between the values of salinity at time  $t_n$  ( $S_{t_n}$ ) and that at time  $t_{n-1}$  ( $S_{t_{n-1}}$ ).

불플랑크톤 현존량은 연중 116~112,000 cells ml<sup>-1</sup>의 범위를 나타내어 극단적인 변동성을 기록하였고, 특히 5월 초순 *E. viridis* 및 *M. rubrum*에 의한 대발생이 관찰되었다(Figs. 6, 7). 또한 식물플랑크톤 현존량은 봄철 및 가을철의 계절적인 증가 현상이 뚜렷하지 않고, 염분 변화(또는 담수방류) 주기에 상응하여 심한 양적 변

동을 보여주었다(Figs. 5, 7).

*M. rubrum* 개체군과 환경요인(수온, 염분) 간의 상관관계 두 해역에서 얻어진 전체 자료를 근거로 *M. rubrum* 개체군 변동에 직접적인 영향을 주는 요인을 파악하기 위해 *M. rubrum* 현

**Table 1.** Frequency ratios of being the first dominant species/group in the phytoplankton species by dominant neritic diatoms and others in Gomsu Estuary and the Geum River Estuary

Dominant species/group	Gomsu Bay		Geum River Estuary	
	Apr - Nov (High <i>Mesodinium</i> )	Other months (Low <i>Mesodinium</i> )	Apr - Nov (High <i>Mesodinium</i> )	Other months (Low <i>Mesodinium</i> )
Neritic diatoms*	+++***	++++	+	++
<i>Skeletonema costatum</i>	++++	+++	+	+++
Cryptomonads	++	+	+++	+++
Freshwater species**	N	N	++++	+

\*Neritic diatoms: *Asterionellopsis glacialis*, *Asterionellopsis kariana*, *Chaetoceros debilis*, *Eucampia zodiacus*, *Paralia sulcata*, *Thalassiosira pacifica*, *Thalassiosira nordenskiöldii*.

\*\*Freshwater species: *Anabaena* sp., *Euglena viridis*, *Oscillatoria* sp., *Pediastrum boryanum*.

\*\*\*Frequency ratios of being the 1st dominant species/group (+: <5%, ++: 5~10%, +++: 10~20%, ++++: >20%, N: Not observed).

존량과 수온 및 염분 간의 상관관계를 분석하였다. 수온과 *M. rubrum* 개체군 간의 상관관계를 분석한 결과, 곰소만에서는 수온 13~29°C의 범위에서 높은 현존량을 보였고(Fig. 8A), 금강하구역의 경우 12~28°C의 범위에서 현존량이 많아(Fig. 8C) 서로 유사한 경향을 나타내었다. *M. rubrum*의 현존량 최대치는 수온 15~20°C 사이에서 수온이 이전 시점보다 감소하지 않은(즉,  $\Delta T > 0$ ) 경우에 나타났다(Figs. 8B, D).

염분과 *M. rubrum* 현존량과의 관계를 보면, 상대적으로 염분변화가 심하지 않은 곰소만의 경우 염분 19~32 psu의 범위에서 높은 현존량을 보였으며, 특히 26 psu에서 가장 높은 현존량을 나타냈다(Fig. 9A). 염분변화가 매우 큰 금강하구역의 경우는 염분 3 psu 이상부터 *M. rubrum*이 출현하였고, 염분 11 psu에서 현존량의 최대치를 보였다(Fig. 9C). 염분의 조사 시점간 변화에 따른 *M. rubrum*의 현존량은 대체로 염분이 감소한 직후 증가하는 양상을 보였다(Figs. 9B, D). *M. rubrum*이 500 cells ml<sup>-1</sup>을 초과하여 대발생하였던 시기를 제외하면(Fig. 9D의 최고점), 금강하구역과 곰소만에서 이전 시점에 비해 염분이 3 psu 이상 증가한 직후에는 *M. rubrum* 현존량이 매우 낮게 나타났다(Figs. 9B, D).

## 고 찰

### 식물플랑크톤 현존량에 대한 *M. rubrum* 개체군의 점유율

*M. rubrum*은 분류학적으로는 섬모류에 속하나, 기능적으로는 광합성을 하는 일차생산자로, British Columbia 해역의 수심 10 m 이내에서 평균 8%의 점유율(Takahashi and Hoskins, 1978)과 발틱해에서 총 식물플랑크톤 생산력의 10%와 현존량의 2% 점유율(Leppanen and Bruun, 1986)을 보이고 있어 해양생태계의 주요 구성원이다(Crawford, 1989). 또한 Montagnes and Lynn(1989)은 *M. rubrum*이 연중 일차생산력의 약 0.3%를 기여한다고 하였다. 본 연구 해역에서 전체 식물플랑크톤 현존량에 대한 *M. rubrum* 개체군의 현존량 비율을 보면, 평균 점유율은 두 해역에서 모두 1% 전후로 비슷하였으나, 최대 점유율은 곰소만에서 13.4%(Fig. 3)로 금강하구역의 9.8%(Fig. 6)에 비해 높았다. 그러나 최대 현존량은 곰소만에서 64 cells ml<sup>-1</sup>이었고(Fig. 3), 금강하구역에서는 1,655 cells ml<sup>-1</sup>(Fig. 6)로 절대 현존량에서는 금강하구역이 월등히 높아 대조적이었다. 이처럼 금강하구역에서 *M. rubrum*의 절대 현존량은 높았으나 최대 점유율이 상대적으로 낮았던 것은 매우

높은 농도의 *Euglena viridis*와 혼재하여 *M. rubrum*이 적조를 일으켰기 때문이다. 따라서 곰소만과 금강하구역에서 *M. rubrum*이 대발생하지 않더라도 연중 출현하고 있어 연안역에서 일차생산자로서 상당한 기여를 하는 것으로 판단된다.

### *M. rubrum* 개체군 변동과 환경요인(수온, 염분) 간의 상관관계

*M. rubrum*은 세계의 여러 해역에서 적조를 일으키며, 수온과 염분 변화에 대한 내성이 큰 데, Lindholm(1985)은 수온 0~24°C 범위에서 적조가 관찰되었다고 하였고, 염분 3 psu(Lindholm, 1978)에서 36.9 psu(Sampayo and Cabecadas, 1981)까지도 적조를 일으킨 기록이 있다. 또한 Satoh and Watanabe(1991)는 남극의 수온 -1.6°C와 염분 7 psu의 극한 환경에서도 적조발생을 관찰하였고, Gibson *et al.*(1997)은 남극에서 염분 2~78 psu에서도 *M. rubrum*의 출현을 관찰한 바 있다. 우리나라에서 적조발생은 4월 하순부터 12월 초순까지 관측되었으며, 주로 6~7월에 집중되어 있다(국립수산진흥원, 1997).

곰소만과 금강하구역의 두 해역에서 연중 수온 범위는 2~30°C로(Figs. 2, 5), 겨울철의 낮은 수온 및 여름철의 높은 수온에서도 *M. rubrum*은 연중 출현하여 수온의 적응 범위가 매우 넓은 것으로 나타났다. 특히 수온 12°C 이상에서부터 *M. rubrum*의 생물량이 많았으나, 주로 봄과 가을에 대발생을 이루는 것으로 보아 너무 높거나 낮은 수온에서는 성장이 억제되는 것으로 사료된다(Figs. 8A, C). 두 해역에서 늦봄~초여름의 대발생 현상이 공통적으로 관측되었는데(Figs. 8B, D), 이러한 *M. rubrum*의 현존량 증가는 수온이 지속적으로 상승하는 시기에 나타남을 의미한다. 또한 연속한 두 조사 시점 간에 수온이 2°C 이상 감소할 경우 *M. rubrum*의 현존량이 거의 증가하지 않은 것으로 나타나(Figs. 8B, D), 급격한 수온 감소는 오히려 *M. rubrum*의 현존량을 억제하는 것으로 보이며, 이는 가을철 소규모 대발생과 관련될 것으로 판단된다. Crawford *et al.*(1997)은 영국의 Southampton 하구에서 *M. rubrum*의 현존량 증가는 수온의 증가와 수괴의 안정과 일치한다고 하였고, Perriss *et al.*(1995)은 남극 해역에서 수온과 염분이 *M. rubrum* 현존량을 조절하는 중요한 인자로 보고하였다. 따라서 *M. rubrum*은 해역에 따라 각기 일정한 수온의 범위 내에서 높은 현존량을 보일 수 있을 것으로 판단된다.

곰소만의 염분 변화는 17~32 psu로 강우에 의해 좌우(양 등, 2003)되었던 반면, 금강하구역의 염분은 20 psu 이하로 담수의 방

류(이와 양, 1997)에 의해 큰 영향을 받았던 것으로 판단된다(Figs. 2, 5). *M. rubrum*은 이러한 염분 변화에 영향을 받지 않고 두 해역에서 연중 출현하여 염분 적응 범위(3~32 psu)가 매우 넓음을 확인하였으며, 염분 3 psu 이하에서는 출현하지 않아(Fig. 9C), 극도의 저염 환경에서는 성장이 크게 제한됨을 알 수 있었다. 두 해역에서 *M. rubrum*의 성장은 염분이 감소하는 기간 중에 뚜렷하게 증가하였으나, 연속한 두 조사시점 간 염분의 증가 폭이 3 psu 이상일 경우에는 현존량 변화가 매우 미미하였다(Figs. 9B, D). Cloern *et al.*(1994)는 강우에 따른 낮은 염분에 의해 *M. rubrum*의 성장이 촉진된다고 하였으며, 본 연구에서도 *M. rubrum*은 적정 염분 범위 내에서 담수유입으로 인한 염분의 감소 시점에 집중적으로 현존량 증가를 보여 염분의 감소가 *M. rubrum*의 성장을 크게 촉진하였던 것으로 판단된다.

***M. rubrum* 개체군 변동과 식물플랑크톤 우점종과의 관계**

곰소만에서 식물플랑크톤 우점종은 주로 연안성 종이었던 반면, 금강하구역에서는 연안성, 기수성 및 담수성 종들이 우점하였다(Figs. 3, 6). *M. rubrum*의 현존량이 높았던 시기(4~11월)와 낮았던 시기(12~3월)에 출현했던 식물플랑크톤 우점종의 출현 양상을 Table 1에 제시하였다. 곰소만에서는 *Asterionellopsis glacialis*, *A. kariana*, *Chaetoceros debilis*, *Eucampia zodiacus*, *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira pacifica* 등의 연안성 규조류가 친이적으로 우점하였으나, 연안성 규조류 현존량의 총 상대비에 있어서는 *M. rubrum*의 현존량이 높았던 시기와 낮았던 시기 사이에 뚜렷한 차이가 없었다(Fig. 3, Table 1). 이와는 대조적으로, 금강하구역에서는 은편모조류인 *Cryptomonads*(<10 μm)와 담수종으로서 유글레나류인 *Euglena viridis*, 녹조류인 *Pediastrum boryanum*, 남조류인 *Anabaena* sp. 및 *Oscillatoria* sp. 등이 *M. rubrum*의 현존량이 높았던 시기인 4~11월에 친이를 나타내며 크게 우점하였다(Fig. 6, Table 1).

염분 변화 양상이 현저히 다른 곰소만과 금강하구역에서 연안성 식물플랑크톤의 양적 변동은 각 우점종에 따라 담수방류에 의한 불규칙한 염분 변화에 대한 적응 능력 차이에 의해 좌우된다고 판단된다. 한편, *M. rubrum*은 대규모의 담수방류가 있더라도, 단기간 내의 염분 급상승, 2°C의 저수온 또는 수온의 금강하 조건을 제외하면 두 해역에서 계속적으로 출현하였고, 금강하구역에서 *M. rubrum*의 연중 평균 현존량은 61 cells ml<sup>-1</sup>로 곰소만에서의 최대 현존량(64 cells ml<sup>-1</sup>)과 비슷하였으며, 대발생의 빈도와 규모도 염분 변화가 심한 금강하구역에서 더 크게 나타났다(Figs. 2, 4, 5, 7). 이처럼 *M. rubrum*은 염분 변화가 심한 환경에서도 때로는 적조를 형성하기도 하여, 저염분 및 상당한 염분의 감소 환경에도 잘 적응하는 섬모류라고 판단된다.

따라서, 연안성 규조류나 금강하구역에서 우점하였던 담수성 미소조류는 각기 대발생할 수 있는 염분과 수온의 범위가 *M. rubrum*의 경우에 비해 상대적으로 좁아, 제한된 생태학적 초공간(ecological hyperspace) 내에서만 우점하게 되는 것으로 사료된다(Figs. 2, 6). 그러므로 염분 변화가 심한 금강하구역에서는 *M. rubrum* 우점기에 연안성 규조류의 현존량이 감소하는 대신 담수 미소조류가 *M. rubrum*과 서로 다른 생태학적 초공간을 차지하며 공존하는 반면(Table 1), 상대적으로 염분의 변화가 적은 곰소만에서는

*M. rubrum*이 출현하는 시기에도 연안성 규조류가 우점종으로 출현하여(Table 1) 해양 일차생산자인 *M. rubrum*과 생태적인 경쟁 관계에 있는 것으로 해석된다.

Crawford and Purdie(1992)는 영국의 Southampton 하구에서 *M. rubrum*은 조석주기에 따라 집적과 분산을 반복한다고 보고하였고, 곰소만과 금강하구는 강한 조석현상으로 유입된 담수가 단 시간 내에 잘 혼합될 수 있는 해양물리적인 특성을 가지고 있다(권과 이, 1999). 그러므로 무해성 일차생산자인 *M. rubrum*과 연안성 규조류가 경쟁적 공존관계에 있는 이러한 해역에 인공구조물이 건설되어 불규칙한 담수 방류가 더욱 가속화 될 경우, 조석주기에 따라 겨울철 이외의 계절에 *M. rubrum*이 새로운 우점종으로서 나타날 가능성이 있고, 이러한 해역에 유입된 부영양 물질의 순환 및 미소생물 생태계의 구조 변화에 있어 *M. rubrum*이 매우 중요한 역할을 할 것으로 사료된다.

**사 사**

본 논문은 2002년도 학술진흥재단의 지원(KRF-2002-041-C00303)에 의해 연구되었음.

본 연구의 시료 채취에 도움을 준 군산대학교 대학원 해양학과 김영태 군에게 감사드리고, 논문의 세밀한 심사와 유익한 조언을 아낌없이 해주신 두 분의 심사위원(신만호 박사님, 이원제 박사님)과 편집위원(정익교 박사님)께 감사드립니다.

**참고문헌**

국립수산진흥원, 1997. 한국연안의 적조. 부산, 280 pp.  
 권효근, 이상호, 1997. 하구언 수문작용으로 인한 금강 하구역의 물리적 환경변화-1. 평균 해수면과 조석. 한국해양학회지 “바다”, 4: 93-100.  
 양재삼, 김기현, 김영태, 2003. 곰소만 조간대 해수 내 질소 성분의 시공간적인 분포. 한국해양학회지 “바다”, 8: 251-261.  
 이용혁, 양재삼, 1997. 금강하구역에서 영양염류, 엽록소, 부유물질과 염분변화에 대한 500일간의 연속관측. 한국해양학회지 “바다”, 2: 1-7.  
 Barber, R.T., A.W. White and H.W. Siegelman, 1969. Evidence for a cryptomonad symbiont in the ciliate *Cyclotrichium meunieri*. *J. Phycol.*, 5: 86-88.  
 Cloern, J.E., B.E. Cole and S.W. Hager, 1994. Notes on a *Mesodinium rubrum* red tide in San Francisco Bay (California, USA). *J. Plankton Res.*, 16: 1269-1276.  
 Crawford, D.W., 1989. *Mesodinium rubrum*: The phytoplankter that wasn't. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 58: 161-174.  
 Crawford, D.W. and D.A. Purdie, 1992. Evidence for avoidance of flushing from an estuary by a planktonic phototrophic ciliate. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 79: 259-265.  
 Crawford, D.W., D.A. Purdie, A.P.M. Lockwood and P. Weissman, 1997. Recurrent red-tides in the Southampton water estuary caused by the phototrophic ciliate *Mesodinium rubrum*. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 45: 799-812.  
 Gibson, J.A.E., K.M. Swadling, T.M. Pitman and H.R. Burton, 1997. Overwintering populations of *Mesodinium rubrum* (Ciliophora:



- Haptorida) in lakes of the Vestfold Hills, East Antarctica. *Polar Biol.*, **17**: 175–179.
- Gustafson, D.E., D.K. Stoecker, M.D. Johnson, W.F. Van Heukelem, and K. Sneider, 2000. Cryptophyte algae are robbed of their organelles by the marine ciliate *Mesodinium rubrum*. *Nature*, **405**: 1049–1052.
- Holm-Hansen, O., F.J.R. Taylor and R.J. Barsdate, 1970. A ciliate red tide at Barrow, Alaska. *Mar. Biol.*, **7**: 7–46.
- Kifle, D. and D.A. Purdie, 1993. The seasonal abundance of the phototrophic ciliate *Mesodinium rubrum* in Southampton Water, England. *J. Plankton Res.*, **15**: 823–833.
- Laybourn-Parry, J. and S.J. Perriss, 1995. The role and distribution of the autotrophic ciliate *Mesodinium rubrum* (*Myrionecta rubra*) in three Antarctic saline lakes. *Arch. Hydrobio.*, **135**: 179–194.
- Leppänen, J.M. and J.E. Bruun, 1986. The role of pelagic ciliates including the autotrophic ciliate *Mesodinium rubrum* during the spring bloom of 1982 in the open Northern Baltic proper. *Ophelia, Suppl.*, **4**: 147–157.
- Lindholm, T., 1978. Autumnal mass development of the “red water” ciliate *Mesodinium rubrum* in the Åland archipelago. *Memo-randa Soc. Fauna Flora Fennica*, **54**: 1–5.
- Lindholm, T., 1985. *Mesodinium rubrum*-a unique photosynthetic ciliate. *Adv. Aquat. Microbiol.*, **3**: 1–48.
- Montagnes, D.J.S. and D.H. Lynn, 1989. The annual cycle of *Mesodinium rubrum* in the waters surrounding the Isles of Shoals, Gulf of Maine. *J. Plankton Res.*, **11**: 193–201.
- Packard, T.T., D. Blasco and R.T. Barber, 1978. *Mesodinium rubrum* in the Baja California upwelling system. In: *Upwelling Ecosystems*, edited by Boje R. and M. Tomczak, Springer-Verlag, Berlin, pp. 73–89.
- Perriss, S.J., J. Laybourn-Parry and H.J. Marchant, 1995. Widespread occurrence of populations of the unique autotrophic ciliate *Mesodinium rubrum* (Ciliophora: Haptorida) in brackish and saline lakes of the Vestfold Hills (eastern Antarctica). *Polar Biol.*, **15**: 423–428.
- Sampayo, M.A., and G. Cabecadas, 1981. Occurrence of red water off Algarve. *Boletim Instituto Nacional de Investigacao das Pescas, Lisboa*, **5**: 63–87.
- Sanders, R.W., 1995. Seasonal distributions of the photosynthesizing ciliates *Laboea strobila* and *Myrionecta rubra* (= *Mesodinium rubrum*) in an estuary of the Gulf of Maine. *Aquat. Microb. Ecol.*, **9**: 237–242.
- Satoh, H. and K. Watanabe, 1991. A red water-bloom caused by the autotrophic ciliate, *Mesodinium rubrum*, in the austral summer in the fast ice area near Syowa Station, Antarctica with note on their photosynthetic rate. *J. Tokyo Univ. Fish.*, **78**: 11–17.
- Smith, W.O. and R.T. Barber, 1979. A carbon budget for the autotrophic ciliate *Mesodinium rubrum*. *J. Phycol.*, **15**: 27–33.
- Stoecker, D.K., A. Taniguchi and A.E. Michaels, 1989. Abundance of autotrophic mixotrophic and heterotrophic planktonic ciliates in shelf and slope waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **50**: 241–254.
- Takahashi, M. and K.D. Hoskins, 1978. Winter condition of marine plankton populations in Saanich Inlet, B. C. Canada-II. Microzooplankton. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **32**: 27–37.
- Wilkerson, F.R. and G. Grunseich, 1990. Formation of bloom by the symbiotic ciliate *Mesodinium rubrum*: the significance of nitrogen uptake. *J. Plankton Res.*, **12**: 973–989.
- Yih, W., K.A. Soung, H.S. Kim and Y.M. Park, 2000. Toward the establishment of routine laboratory culture of *Mesodinium rubrum*, a phototrophic marine ciliate. *Bull. Coastal Res., Kunsan National University*, **12**: 61–69.

2003년 12월 19일 원고접수

2004년 8월 15일 수정본 채택

담당편집위원: 정익교