

이른 여름 동중국해 남서해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 분포특성

윤양호[†] · 박종식 · 박영균 · 서호영 · 황두진

여수대학교

A Characteristics of Thermohaline Structure and Phytoplankton Community from Southwestern Parts of the East China Sea during Early Summer, 2004

Yang Ho YOON[†], Jong-Sick PARK, Yeong Gyun PARK, Ho Young SOH
and Doo Jin HWANG
Yosu National University

We investigated the characteristics of the thermohaline structure and phytoplankton community from the southwestern areas of Jeju to the northern areas of Taiwan in the East China Sea, in June 2004. According to the analysis of a T-S diagram, three characteristic of water masses were identified. We classified them into the mixed water mass by the Chinese continental coastal waters and Yellow Sea cold water (Region A), Chinese continental coastal waters (Region B) and Taiwan warm current (Region C). Region A was characterized by low temperature, low salinity, high density and high Chl-*a* concentration. Region B was characterized by high temperature, low salinity, low density and high Chl-*a* and the Region C was characterized high temperature, high salinity, low density and low Chl-*a* concentration.

The phytoplankton community identified a total of 56 species belonging to 31 genera. The dominant species was mainly dinoflagellates, *Gymnodinium breve*, *Scrippsiella trochoidea*, *Ceratium fusus*, *Prorocentrum triestinum*, centric diatoms, *Chaetoceros lorenzianus*, *Leptocylindrus danicus*, *Proboscia alata*, *Skeletonema costatum* and pennate diatoms, *Pseudonitzschia pungens*, *Cylindrotheca closterium*. Standing crops of phytoplankton fluctuated between 0.1×10^2 cells/L and 5.7×10^4 cells/L by dominance of dinoflagellates. In the phytoplankton community, the Region A was characterized by the various species composition in 39 species, the dominant species with diatoms, *Pn. pungen*, *Ch. lorenzianus* and standing crops from 6.9 cells/ml to 56.6 cells/ml, Region B by the various species composition in 37 species, the dominant species with dinoflagellates, *G. breve*, *S. trochoidea* and standing crops from 4.6 cells/ml to 26.7 cells/ml, and the Region C by

[†]Corresponding author : yhyoon@yosu.ac.kr

low species number with 28 species, the dominant species with one dinoflagellate, *S. trochoidea* and one diatom, *L. danicus* and very low standing crops from 0.1cells/ml to 5.7cells/ml.

Phytoplankton productivity in the East China Sea was controlled by Chinese continental coastal waters which include a high concentrations of nutrients.

Key words : water mass(수괴), phytoplankton community(식물플랑크톤 군집), dinoflagellates(와편모조류), East China Sea(동중국해), Tsushima and Taiwan warm current(쓰시마 및 타이완 난류), Chinese continental coastal waters(중국대륙연안수)

서 론

동중국해는 중국대륙과 한국 및 일본열도에 둘러싸인 해역으로 필리핀 서방에서 일본열도의 남방을 북동방향으로 진행하다 동측으로 사행하는 Kuroshio(黒潮)해류의 지류인 Taiwan 난류와 Tsushima 난류(對馬暖流)에 의해 해양환경이 크게 지배되는 해역이다. 그러나 동중국해는 중국대륙의 양자강 등 대형하천으로부터 풍부한 영양염류를 포함하는 육수가 다량으로 유입되어 높은 생물생산을 나타내며, 해역의 생물생산은 중국연안수에 의해 지배되는 하구역(estuarine)의 특성을 나타낸다. 또한 지형적으로는 수심의 차가 심하고, 주변해역의 복잡한 지형특성으로 대마난류, 중국대륙 연안수 및 황해냉수괴 등 다양한 수괴가 서로 계절에 따라 세력권을 달리하면서 해역에 따라 이질적이면서 복잡한 환경특성을 나타낸다.

이러한 다양한 해양환경과 높은 생물생산을 나타내는 동중국해는 오래 전부터 한국, 일본 및 중국 3국의 풍요로운 어장으로 이용되고 있어, 수산해양학(宇田와 大坪, 1958; 曹, 1981; 三尾 등 1984; 近藤, 1985; 宮地, 1991) 및 물리해양학적 연구(Huh, 1982; 依, 1985; Hu, 1986), 그리고 중국대륙의 대형 하천으로부터 물질 수지관계에 관한 연구(Shi et al., 1985; Milliman and Qingming, 1985) 등, 비교적 다양한 연구들이 있다. 그러나 동중국해의 지형 및 해양학적으로 개방된 특성을 보이고 있어 수산자원학 및 수산해양학적 연구보고가 다양한 것에 비하여, 생물 또는 화학해양학적 연구는 아직 미비한 실정이다(Aoyama and Hayashi, 1988; Matsuda et al., 1989; Lu, 1991; Lu et al., 2002). 특히, 동중국해는 우리나라 근해어업자원의 어획 및 관리 면에서도 매우 중요한 위치를 점유하고 있으나, 본 해역을 대상으로 한 체계적이면

서 지속적인 국내의 연구 성과는 매우 빈약하며, 부분적인 연구 성과를 보이고 있을 뿐이다(윤과 김, 1994; 윤 등 2002, 2003; 황 등 2002, 2003).

따라서 본 연구는 한시기이지만 우리나라에서 자료집권이 용이하지 않은 동중국해 남서해역인 대륙연안부의 표층해수를 대상으로 해역에 따른 수괴 변화와 식물플랑크톤 군집의 변화 및 출현 특성을 고찰하여 동중국해의 수산자원이용에 필요한 기초 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

제주 서남방 해역에서 중국대륙을 따라 대만 북부해역에 이르는 동중국해 남서 표층해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 분포특성을 파악하기 위한 현장조사는 2004년 6월 27일에서 동년 6월 29일까지 여수대학교 실습선 동백호 (GT 1,057tons)를 이용하여 Fig. 1의 관측라인을 따라 실시하였다. 실험은 선박의 해수펌프를 이용하여 항주하면서 연속적으로 해수(약 해수면에서 5m 수심)가 공급되도록 선상에 대형플라스틱용기(약 500L)를 설치하였다. 측정은 수온, 염분 및 형광센서에 의해 엽록소(Chl-*a*)가 측정되는 Submersible Fluorometer (Alec Co., ACL 1151-D)를 고정하고, 관측기에 연결된 모니터에 Note Book computer를 연결하여 연속적인 기록을 실시하였다. 자료해석은 얻어진 자료를 5분 단위로 산술평균하여 측정값으로 사용하였다.

식물플랑크톤 군집과 식물플랑크톤 생물량인 Chlorophyll *a*(Chl-*a*) 농도 파악을 위한 시료는 3시간에서 4시간 간격으로 공급되는 해수를 채수하였다. 식물플랑크톤 검경을 위한 시료는 해수 500 ml를 폴리에틸렌 표본병에 채집하여 중성포르마린

으로 최종농도가 0.4%되도록 고정하였다(Thronsdon 1978). 고정한 해수는 실험실에서 500ml를 취해 공경(pore size)이 5.0 μ m, 직경이 47mm인 박막여과지가 장착된 여과기를 이용하여, 자연낙하방법에 의하여 최종농도가 5ml되도록 농축하여 검경시료로 제공하였다(飯塚, 1986). 검경은 농축된 시료 0.1ml를 마이크로피펫을 이용하여 정확히 계수관에 취하고, 광학 현미경(Olympus, BX 50)을 이용하여 100X~400X하에서 중의 동정과 출현 세포수에 의한 식물플랑크톤의 현존량을 파악하였다(千原와 村野 1997; Tomas 1997). 그리고 Chl-*a* 농도의 보정은 채수된 해수 500ml를 현장에서 박막여과지(pore size; 0.45 μ m, diameter; 47mm)가 장착된 여과기를 이용하여 흡인 여과 시킨 후, 여과 포집된 박막여과지를 -20 $^{\circ}$ C에서 냉동보관 시킨 후에 실험실에서 90% (v/v)의 아세톤을 용매로 추출시킨 다음, 원심분리기로 분리(3,000rpm, 15min)된 상등액을 UV Spectrophotometer (Mecasys Co., Optizen 2120UV)에 의해 비색 측정하는 분광광도법(SCOR-unesco, 1966)에 의해 얻어진 값으로 보정하여 측정값으로 하였다.

결과 및 고찰

수괴분포

2004년 하계 동중국해 제주서남방에서 대만북부 해역까지 연속적으로 관측된 수온의 분포는 20.9 $^{\circ}$ C에서 29.9 $^{\circ}$ C의 범위를 보였으며, 해역별로는 양자강 하류의 50m 이내의 등심선을 나타내는 A 해역에서 20.9 $^{\circ}$ C에서 24.8 $^{\circ}$ C로 22.4 \pm 1.16 $^{\circ}$ C(평균 \pm 표준편차로 이하 동일한 표현)의 수온 변화를 보였다. 양자강 하구역을 지나면서 수온은 계속 상승하지만 B 해역에서는 24.1 $^{\circ}$ C에서 28.1 $^{\circ}$ C로 26.2 \pm 1.07 $^{\circ}$ C의 수온 변화를, C 해역에서는 27.4 $^{\circ}$ C에서 28.9 $^{\circ}$ C로 28.2 \pm 0.31 $^{\circ}$ C로 변화하여 타이완 연안으로 접근할수록 수온의 공간적 변동은 매우 낮게 나타났다(Fig. 2). 단, 연속 관측된 그림의 표현은 광역해역의 변동범위가 해역에 따라 매우 크게 나타나기에, 하나의 통일된 색인으로 표현하면 변동 양상을 정확히 표현할 수 없어 전체조사 영역을 3개로 구분하여 표현하였으며, 그림마다 세로 색인 범위가 달라지는 것에 주의가 필요하다. 그리고 염분, 현장밀도 및 엽록소량의 그림에 대해서도 동일하다.

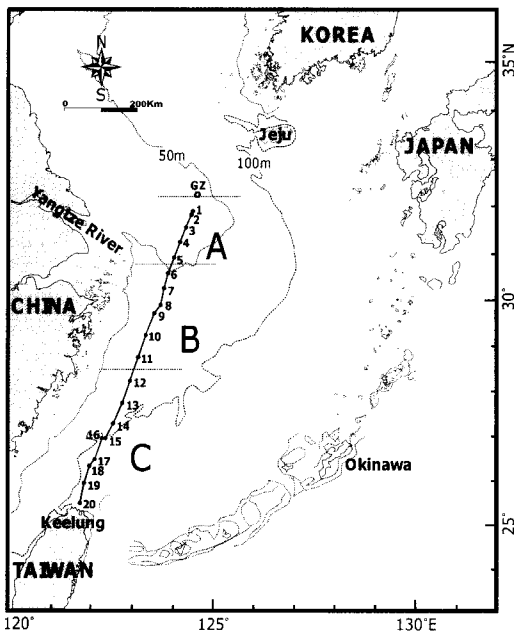


Fig. 1. Map showing bathymetry, sampling stations and survey line in the East China Sea, June 2004.

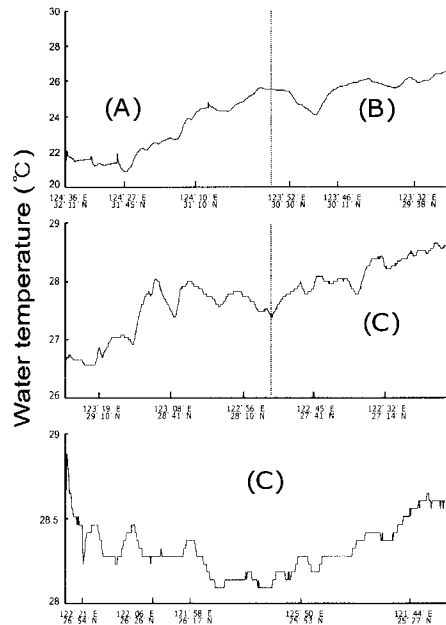


Fig. 2. Fluctuation of water temperature at survey line in the East China Sea, June 2004.

염분은 29.79psu에서 34.26psu 범위로 변화하여 변동 폭이 매우 크며, 해역별로는 A 해역에서 30.03psu에서 31.95psu로 31.39 ± 0.44 psu로 매우 낮으나, 공간적으로는 균일한 분포양상을 나타내었다. B 해역에서는 29.79psu에서 33.13psu로 31.26 ± 0.72 psu의 염분 변화를 보여 A 해역보다도 낮으나 공간적 차는 크게 나타났다. 그러나 C 해역에서는 33.03psu에서 34.26psu로 33.90 ± 0.41 psu로 변화하여 고염으로 A, B 해역에 비해 균일한 분포특성을 보였다(Fig. 3).

현장밀도는 19.20에서 22.20범위로 변화하여 표층해수는 매우 가벼운 특성을 보였다. 즉, 여름 제주 서남해역에서 타이완북부해역의 해수밀도는 해역에 따라 변동요인을 달리하여 양자강 하구역에서는 염분, Kuroshio 해역에서는 수온에 의해 현장밀도가 지배되어 전체적인 표층해수는 매우 낮은 밀도를 나타내었다. 해역별로는 A 해역에서 19.68에서 22.20으로 21.32 ± 0.61 로 상대적으로 높은 밀도수가 존재하였고, B 해역에서는 19.20에서 21.20으로

20.04 ± 0.50 의 밀도변화를, C 해역에서는 20.92에서 21.70으로 21.41 ± 0.23 으로 변화하여 저수온 해역에서 가장 높은 밀도를 나타내었다(Fig. 4).

수온, 염분 및 현장밀도에 의한 T-S diagram 해석으로부터 조사해역은 크게 3개의 해역으로 구분할 수 있었다. 즉, 24°C이하의 저수온에 32.0psu 이하의 저염 특성으로 약 22 이상의 현장밀도를 나타내는 대부분의 A해역과 24°C 이상의 고수온에 29.8psu에서 33.0psu의 넓은 염분범위로 19.2에서 21.2범위의 현장밀도를 보이는 B해역과 일부 A해역, 그리고 27.4°C 이상의 고수온에 34psu 이상의 고염분을 보이거나, 21.5 내외의 현장밀도로 가벼운 해수로 채워진 C 해역이다(Fig. 5). 즉, T-S diagram에 의한 수괴해석으로부터 A수괴는 양자강 유출수와 황해에서 남하하는 대륙연안수 또는 황해 냉수괴의 영향을 받고 있는 것으로(Huh, 1982; Hu et al., 1991; 윤 등 2002), B 해역은 양자강 유출수, 그리고 C 해역은 Taiwan 난류에 의해 지배된다고 할 수 있다.

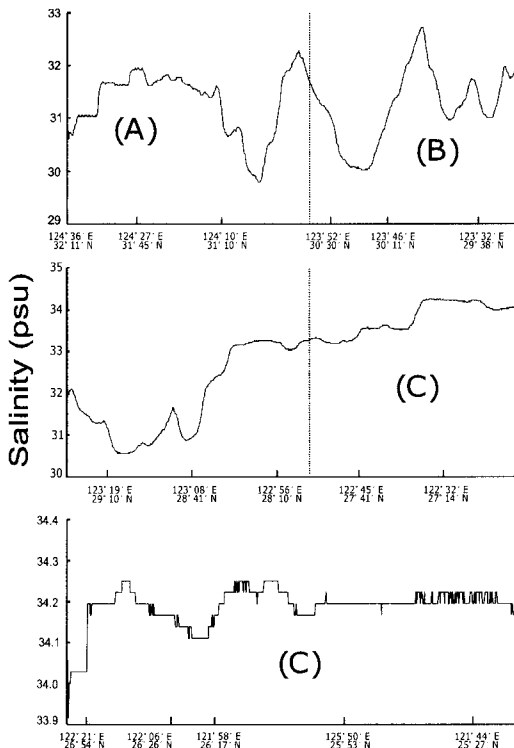


Fig. 3. Fluctuation of salinity at survey line in the East China Sea, June 2004.

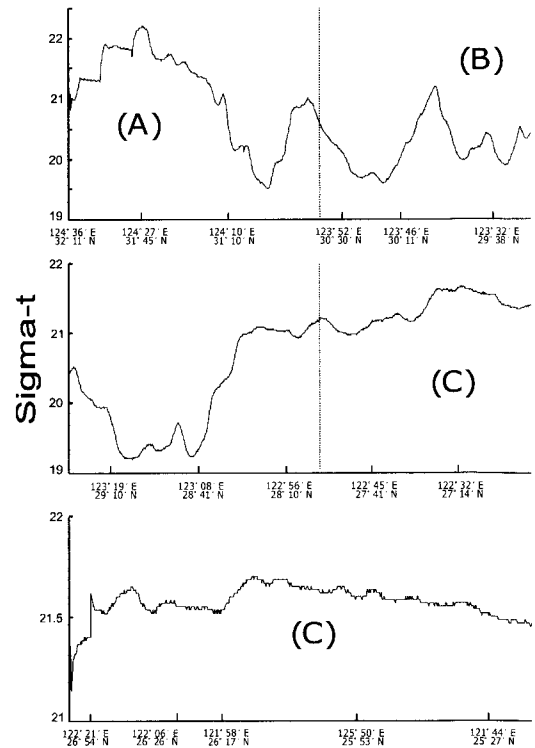


Fig. 4. Fluctuation of density at survey line in the East China Sea, June 2004.

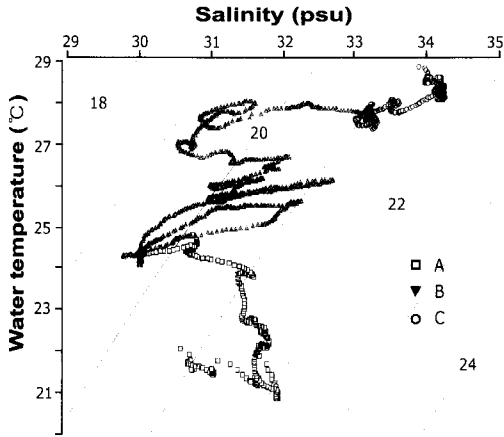


Fig. 5. Change of water mass on survey areas in the East China Sea, June 2004.

近藤(1985)는 여름철 동중국해에서 Kuroshio 해류는 Taiwan 북단에서 Taiwan 난류로 분기하여 중국대륙을 따라 북상하면서 남하하는 중국대륙연안수를 연안으로 압박하기도 하고, 일부는 남하의 형태를 굴곡 시켜 대륙연안수를 동중국해의 중앙부로 유출하게 하는 역할을 담당한다. 또한 Kuroshio 해류는 일본열도를 따라 북동진 하다 규슈서안의 대륙사면을 따라 북상하는 Tsushima 난류로 분기하여 한국 남해를 통해 동해는 물론 서해로 유입되어 한국 연안해역의 해황구조에 막대한 영향을 미치게 된다. 즉, 동중국해는 북상하는 난류세력과 중국대륙에서 배출되는 연안수에 의해 해황과 생물생산이 지배되는 특성을 나타낸다(Huh, 1982; Beardsley et al., 1985; Milliman et al., 1985; Edmond et al., 1985; Aoyama and Hayashi, 1988).

2004년 이른 여름 동중국해 남서해역의 중국대륙 연안을 남하하면서 보이는 수온의 변동 양상도 양자강 하구해역에서 낮은 수온을 보이며, Taiwan 난류해역에서 고수온을 나타내는 것으로, 여름 동중국해의 해류 및 수괴분포 특성을 잘 반영하는 것으로 판단되었다(近藤, 1985). 염분 또한 양자강 유역수의 배출과 확산 양상을 반영하여(近藤, 1985), 저염수는 중국대륙연안수(Huh, 1982; Beardsley et al., 1985; Milliman et al., 1985)에 의해, 고염수는 Kuroshio해류에서 분기된 Taiwan 난류 해역에서 보여, 타이완 북부의 34.0 psu 이상의 고염수는 Kuroshio 본류의 확장 세력이라 판단할 수 있다(依, 1985). 그리고 수온과 염분의 함수로 표현되는 현장밀도의 분포가 남하하면서 불규칙한 변화를 나타

내는 것도 양자강 유역수의 확장이 북상하는 Taiwan 난류의 영향으로 굴곡되어 나타나는 중국대륙연변부의 복잡한 수괴특성을 잘 반영해주는 것으로 판단되었다(Beardsley et al., 1985; 近藤, 1985, Milliman and Qingming, 1985).

식물플랑크톤 생물량(Chl-a)

식물플랑크톤 생물량은 수괴분포에 따라 다르게 나타나며, 전체적으로는 0.94 $\mu\text{g/L}$ 에서 1.72 $\mu\text{g/L}$ 의 범위로 비교적 높은 Chl-a 농도를 나타내었다. 해역별로는 A 해역에서 1.11 $\mu\text{g/L}$ 에서 1.72 $\mu\text{g/L}$ 의 범위에서 1.28 \pm 0.14 $\mu\text{g/L}$ 로 변동하여 가장 높았고(윤 등., 2002), B 해역에서는 1.00 $\mu\text{g/L}$ 에서 1.52 $\mu\text{g/L}$ 의 범위에서 1.26 \pm 0.12 $\mu\text{g/L}$ 로 변동하였으며, C 해역에서는 0.94 $\mu\text{g/L}$ 에서 1.21 $\mu\text{g/L}$ 에서 0.99 \pm 0.05 $\mu\text{g/L}$ 로 변동하여 Kuroshio 해역으로 접어들수록 Chl-a 농도는 낮고 표준편차에 의한 공간적인 분포는 매우 균일하였다(Fig. 6).

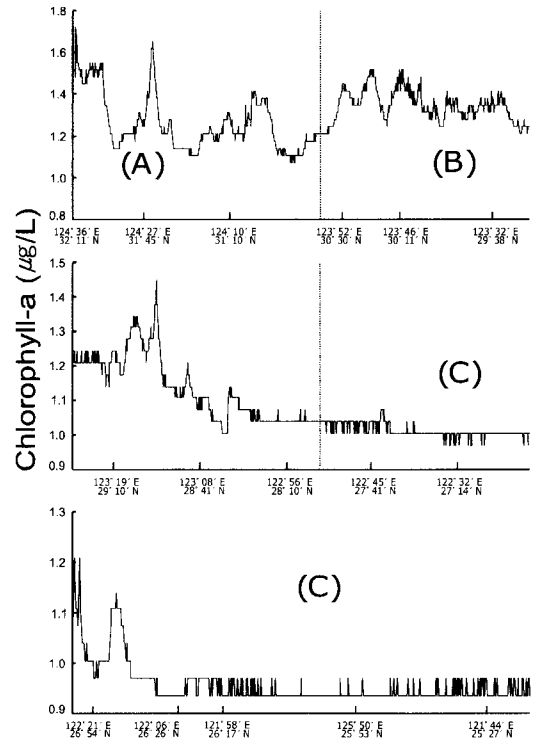


Fig. 6. Fluctuation of Chlorophyll a concentration at survey line in the East China Sea, June 2004.

일반적으로 Kuroshio 해류의 영향을 받는 동중국해는 빈영양 조건으로 Chl-*a* 농도가 0.5 $\mu\text{g/L}$ 이하의 매우 낮은 값을 보인다(Matsuda et al., 1989, 윤과 김, 1994). 그러나 본 연구에서는 Chl-*a* 농도가 1.0 $\mu\text{g/L}$ 이상으로 높게 나타났다. 즉, 본 연구해역은 중국대륙연안수의 영향을 강하게 받는 해역으로 양자강 유역에서 배출되는 풍부한 영양염류에 의해 동중국해역 중에 비교적 높은 식물플랑크톤 생물량을 나타내는 것으로 판단할 수 있다(Edmond et al., 1985; Aoyama and Hayashi, 1988; 윤과 김, 1994; 윤 등, 2002).

식물플랑크톤 군집

종조성

2004년 6월 제주남서해역에서 타이완 북부 연안까지의 표층해수에서 관찰이 확인된 식물플랑크톤 종을 Tomas(1997)의 분류체계에 따라 정리하면 31속 56종으로 비교적 단순하였다. 분류군별로는 규조류가 16속 20종, 와편모조류가 13속 33종, 규질편모조류가 1속 2종 및 유글레나조류가 1속 1종이었다. 해역별로는 A 해역에서 39종(규조류 16종, 와편모조류 21종 및 규질편모조류 2종), B 해역에서 37종(규조류 12종, 와편모조류 23종 및 규질편모조류와 유글레나조류가 각각 1종), 그리고 C 해역에서 28종(규조류 11종, 와편모조류 17종 및 규질편모조류 1종)으로 남쪽으로 갈수록 종다양성 및 규조류에 의한 점유율은 감소하지만, 와편모조류에 의한 점유율은 다소 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 7). 그러나 전체적으로 양자강 유역의 영향이 가장 강한 B 해역에서만 유글레나조류 출현이 보여지는 것을 제외하고는 해역에 따른 종 출현 특성은 크게 차이가 없었다.

출현종의 공간적 분포는 A와 B 해역에서는 정점에 따라 다소 차이는 있으나, 비교적 다양한 종조성을 보였으며, C 해역에서는 출현종수가 매우 낮게 나타났다. 분류군별로도 정점에 따라 다소 차이는 있지만 전체적으로 와편모조류 등 식물성 편모조류에 의한 점유율이 매우 높게 나타났다(Fig. 8)

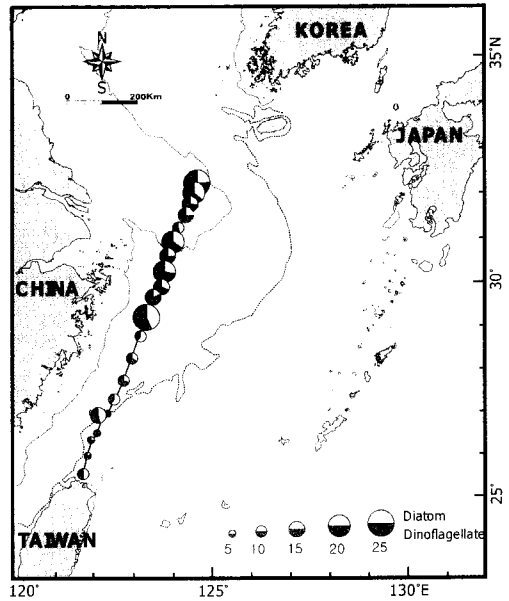


Fig. 8. Horizontal distribution of phytoplankton species number in the East China Sea, June 2004.

연안해역의 식물플랑크톤 군집은 주년 규조류에 지배되나, 2004년 이른 여름 동중국해 남서해역은 와편모조류에 의해 지배되었다. 즉, Parsons et al.(1984)은 고수온기 온대 및 아열대 해역의 식물

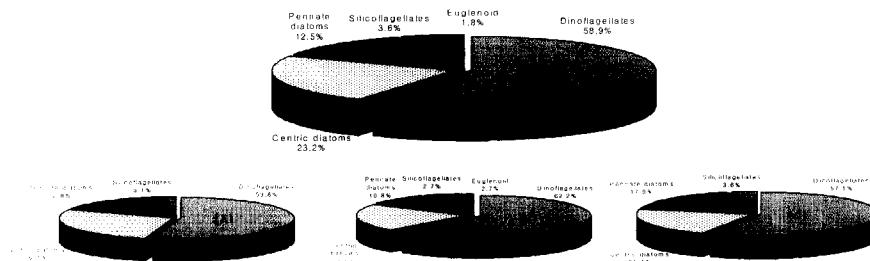


Fig. 7. Changes of phytoplankton species composition on survey areas in the East China Sea, June 2004.

플랑크톤 군집은 식물성 편모조류에 의해 우점 된다는 내용이나 연안해역에서도 고수온기에는 외편모조류 출현점유율이 높다는 결과(윤 등, 1992)와는 유사하나, 윤 등(2003)에 의한 여름 양자강 하구해역은 규조류에 의해 지배된다는 내용과는 다른 결과를 보였다. 그러나 Lu(1991)는 여름 중국 연변부 해역의 식물플랑크톤 군집은 외편모조류에 의한 지배되는 것으로 보고하는 등, 동중국해의 외편모조류 출현이 높은 것은 일시적인 이례적 현상이라기보다 여름철 생물해양학적 특성으로 판단되었다.

현존량

식물플랑크톤 현존량은 0.1cells/ml에서 56.6cells/ml범위로 변화하여 매우 큰 공간적 차이를 나타내었다. 해역별로는 A 해역에서 6.9cells/ml에서 56.6 cells/ml로 $20.4 \pm 17.96\text{cells/ml}$ 의 변동 폭을, B 해역은 4.6cells/ml에서 26.7cells/ml범위로 $12.2 \pm 7.28\text{cells/ml}$ 의 변동 폭, 그리고 C 해역은 0.1 cells/ml에서 5.7cells/ml범위로 $3.0 \pm 2.97 \text{ cells/ml}$ 의 변동 폭을 나타내었다(Table 1).

공간적으로 A 해역에서 B의 상단부 해역에서

Table 1. The species composition and standing crops of phytoplankton at sampling stations in the East China Sea, June 2004 (unit : cells/ml)

Phytoplankton name	Station No. A						B						C									
	GZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
DINOFLLAGELLATES	32.2	5.1	3.7	10.7	6.0	5.2	1.6	10.2	23.5	7.3	2.7	1.2	0.6	2.0	2.2	0.7	1.6	0.1	0.4	0.5	0.7	
<i>Alexandrium</i> sp.	0.2	0.1																				
<i>Ceratium furca</i>	0.8	0.2					0.2	0.2	0.2	0.3	0.1		0.1								0.1	
<i>C. fusus</i>	6.9	0.7	0.1	0.1	1.9	0.1				0.1	0.1											
<i>C. kofoidii</i>	0.2		0.7	1.1	3.0	0.3		1.7	0.8	0.4	0.1		0.1									
<i>C. paradoxides</i>							0.2															
<i>C. symmetricum</i>					0.4	2.8		0.1														
<i>C. tripos</i>	0.3		0.1			0.2	0.2															
<i>Corythodinium tesselatum</i>																				0.1	0.1	
<i>Dinophysis acuminata</i>											0.1											
<i>D. caudata</i>						0.4	0.2															
<i>Diplopsalis</i> sp.								0.1	0.1													
<i>Gonyaulax polygramma</i>	0.1			0.4	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	0.3		0.3		0.2						0.1	0.1	
<i>G. spinifera</i>											0.2											
<i>G.</i> sp.								0.4		0.3	0.2		0.1	0.4								
<i>Gymnodinium breve</i>	3.6	0.8	0.4					4.6	20.2	1.0	0.1											
<i>Gy. mikimotoi</i>	3.6	1.6	0.4																			
<i>Gy.</i> sp.	13.2																				0.2	
<i>Gyrodinium</i> spp.																					0.1	
<i>Heterocapsa triquetra</i>	0.1			0.3				0.1	0.1							0.1	0.1					
<i>Noctiluca scintillans</i>		0.2																				
<i>Prorocentrum donghaiense</i>	0.3	0.3	0.1		0.5	0.1	0.1			0.6	0.2		0.3	0.3	0.1	0.1						
<i>Pr. micans</i>								0.1			0.1									0.1		
<i>Pr. triestinum</i>	0.4	0.4	1.0	6.2									0.1				0.1					
<i>Protoperdinium bipes</i>	0.1	0.2	0.1	0.1																	0.2	
<i>Pt. inflatum</i>							0.1			0.1	0.1											
<i>Pt. minutum</i>								0.4	0.5													
<i>Pt. obtusum</i>								0.1														
<i>Pt. oceanicum</i>										0.1												
<i>Pt. pellucidum</i>					0.2		0.1	0.4	0.4	0.3	0.2		0.1		0.1	0.1					0.1	
<i>Pt.</i> spp.		0.1	0.1			0.1			0.4	0.7	0.1			0.1								
<i>Pyrophacus steinii</i>	0.2	0.2		0.2		0.1																
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	2.2	0.3	0.7	2.1	0.1	0.6	0.4	1.8	0.3	3.1	1.2	0.8	0.3	1.2	1.4	0.4	0.6		0.2	0.1	0.5	
Others																					0.4	
PHYTOFLAGELLATE	0.4	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Dictyocha fibura</i>		0.1									0.1	0.1		0.1								
<i>D. speculum</i> var. <i>octopers</i>	0.4	0.3	0.3																			
<i>Eutreptiella gymnastica</i>								0.1	1.1													

Table 1. to be continued

Phytoplankton name	Station No. A					B						C										
	GZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
DIATOMS	24.0	1.9	2.9	4.4	1.4	23.9	3.7	2.7	3.1	4.5	8.1	3.3	0.3	0.9	3.5	0.0	4.4	0.0	0.2	0.1	0.9	
Centric diatoms	1.1	1.2	2.0	3.6	0.2	23.6	3.7	1.8	2.6	2.0	7.6	3.3	0.2	0.3	3.2	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.8	
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>											1.5											
<i>Chaetoceros lacinius</i>											0.4	0.7										
<i>Ch. lorenzianus</i>						20.8	3.3	0.8	1.3	0.5		0.7			1.4							
<i>Ch. spp.</i>		0.4					0.2	0.4	0.2		4.3	0.8		0.9		0.5					0.6	
<i>Coscinodiscus gigas</i>		0.1				1.6	0.2	0.1			0.4	0.2										
<i>Leptocylindrus danicus</i>		0.2	0.3										0.2				3.4					
<i>Odontella aurita</i>		0.2		0.1													0.1					
<i>Paralia sulcata</i>						0.6						0.6										
<i>Proboscia alata</i>						0.2		0.5	1.1	1.5	0.4	0.3					0.2					0.2
<i>Rhizosolenia setigera</i>	0.3				0.1																	
<i>Skeletonema costatum</i>	0.8	0.3	1.6	3.5		0.4					0.6			0.3	0.9							
<i>Thalassiosira rotula</i>						0.1																
<i>Th. sp.</i>			0.1																			
Pennate diatoms	22.9	0.7	0.9	0.8	1.2	0.3	0.0	0.9	0.5	2.5	0.5	0.0	0.1	0.6	0.3	0.0	0.2	0.0	0.2	0.1	0.1	
<i>Cylindrotheca closterium</i>		0.1			0.3			0.9	0.4	2.5	0.1			0.2	0.1		0.1				0.1	
<i>Fragilaria striatula</i>														0.4								
<i>Navicula spp.</i>									0.1		0.1		0.1		0.1		0.1					0.1
<i>Pleurosigma sp.</i>		0.1									0.1				0.1							
<i>Pseudo-nitzschia multiseriis</i>	3.7	0.3																				
<i>Pn. pungens</i>	19.1	0.3	0.9	0.8	0.6	0.3																
<i>Thalassionema sp.</i>					0.3						0.2											0.2
Total cell number	56.6	7.4	6.9	15.1	7.4	29.1	5.3	12.9	26.7	12.9	10.9	4.6	0.9	3.0	5.7	0.7	6.0	0.1	0.6	0.6	1.6	
Mean ± Standard deviation				20.4 ± 17.96				12.2 ± 7.28						3.0 ± 2.97								
No. of species	21	20	15	12	11	17	12	18	16	16	23	10	6	10	10	4	13	1	4	5	6	

10^4 cells/L 이상의 높은 현존량을 보이고 있지만, B의 하단부와 C 해역에서는 10^3 cells/L 이하의 매우 낮은 식물플랑크톤 현존량을 나타내었다. 분류군별로도 정점 GZ와 정점 5에서 규조류에 의한 높은 점유율을 나타내는 것을 제외하면, 대부분의 정점에서 와편모조류에 의한 출현 점유율이 높게 나타났다 (Fig. 9).

이름 여름 동중국해에서 관찰된 식물플랑크톤 현존량은 매우 낮았으며, 특히 Taiwan 난류역의 10^2 cells/L 단위의 현존량은 대상해역의 빈영양 상태를 표현하는 것으로 보인다. 그러나 동중국해와 같이 개방되고 투명도 조건이 좋은 해역의 최대 생물량이나 현존량은 표층보다 성장 광 조건이 좋은 아표층인 수온약층 부근에서 보여 진다는 사실(윤과 김, 1994; 윤 등, 2002, 2003)과 여름 동중국해 식물플랑크톤 대부분이 미약하나마, 운동력을 가진 와편모조류에 의해 점유되고 있어, 와편모조류의 일주연직이동(Kamykowski 1981)의 영향에 의해 표층해수 중의 식물플랑크톤 현존량 및 출현 종조성에 차이에 차이를 나타낼 수도 있지만 환경요인 등의 미비로 정확한 고찰은 이루어질 수 없었다.

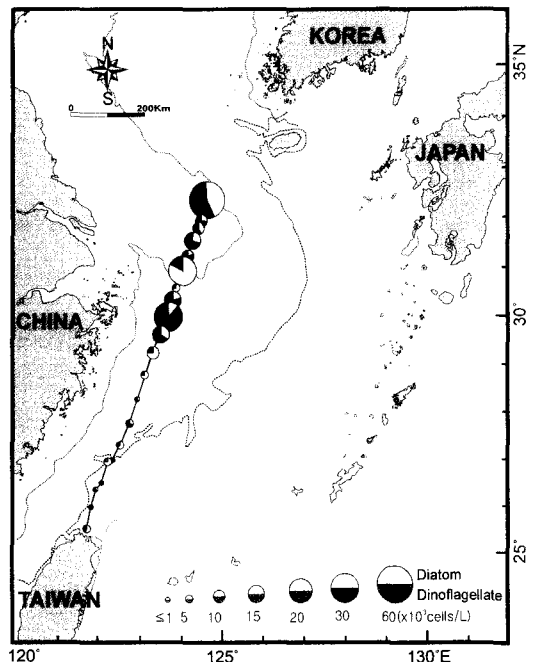


Fig. 9. Horizontal distribution of phytoplankton standing crops in the East China Sea, June 2004.

우점종

식물플랑크톤 군집에서 각 해역별 정점 평균으로 5%이상의 우점율로 출현하는 종을 Table 2에 나타내었다. 결과 전체적으로 내만해역과 같이 극우점하는 종은 없었으나, 해역에 따라 우점하는 종과 순위는 매우 다르게 나타났다. 즉, A 해역에서는 우상목 규조류와 중심목 규조류인 *Pseudonitzschia pungens*와 *Chaetoceros lorenzianus*가 18.0%와 17.0%로 우점하고 있으며, 다음으로는 외편모조류인 *Gymnodinium* sp., *Ceratium fusus* 및 *Prorocentrum triestinum*이 우점하였다. B 해역은 외편모조류인 *Gymnodinium breve*와 *Scrippsiella trochoidea*에 의해 45.7%가 점유되었으며, C 해역도 외편모조류인 *S. trochoidea*에 의해 24.5%, 다음으로 중심목 규조류인 *Leptocylindrus danicus*에 의해 18.8%의 우점율을 나타내었다(Table 2). 이른 여름 동중국해 남서해역의 표층에서 관찰된 식물플랑크톤 우점종은 한국내만이나 연안에서 일반적으로 관찰되거나, 우점종을 출현하는 종 들이나, 부영양화 해역의 대표적인 규조류인 *Skeletonema costatum*이 Taiwan 난류해역에서 우점종으로 출현하였다. 그리고 휴면포자를 형성하는 외편모조류, *Scrippsiella trochoidea*에 의한 우점은 본 해역의 대표종으로서 seed population의 역할을 수행하고 있다고 할 수 있다. 특히 미대륙 동안인 Gulf of Mexico 등에서 해류를 타고 유입되어 대규모의 유해적조를 발생시키는 외편모조류, *Gymnodinium breve*(Geesey and Tester, 1993)의 우점종 출현은 매우 이례적이며, 향후 한국 연안해역으로의 유입 등에 대해서도 관심을 필요로 하는 내용이다. 그러나 2002년 양자강 하구의 광활한 해역에서 적조를 발생했던 외편모조류, *Prorocentrum donghaiense* (Lu et al., 2002, 유 등 2003)나 동중국해 여름철 대표종으로 보고되는 남조류 *Trichodesmium* (永澤와

丸茂, 1967) 등의 대규모 출현은 관찰되지 않았다. 이와 같은 우점종 출현의 변화 및 연구자에 의한 차이는 대상해역의 장기적인 해양환경변화에서 유래하는 것인지 또는 조사시점의 이례적 환경차이에 의한 것인지 등에 대해서는 비교할만한 환경자료들이 충분하지 않아 정확한 고찰은 어렵지만 앞으로 동중국해의 장기적인 해황변동과 함께 검토해야 할 과제라 할 수 있다.

동중국해 식물플랑크톤 분포에 영향을 미치는 환경요인

수온, 염분 및 Chl-*a* 농도의 자료를 이용하여 동중국해 표층해수 중의 식물플랑크톤 생물량의 분포에 영향을 미치는 환경요인을 파악하기 위해 회귀 분석을 실시하였다. 결과 Chl-*a* 농도에 대한 수온, 염분의 회귀식에서 모두 완만한 기울기로 음의 상관관계를 나타내었다(Fig. 10). Fig. 10에서 사용된 데이터 수는 2,549이며, Chl-*a*와 수온 사이에는 매우 완만한 기울기(-0.057)로 음의 높은 상관($r=-0.730$)을 나타내어 수온의 낮은 북쪽 수역에서 높은 생물량을 나타내는 것을 의미하였다. 그리고 Chl-*a*와 염분 사이에는 수온보다는 다소 급하지만 완만한 기울기(-0.101)로 더욱 높은 음의 상관($r=-0.857$)을 보였다.

즉, 동중국해는 다양한 수괴특성에 의해 해역의 식물플랑크톤 분포와 성장을 지배하는 환경요인은 수괴특성에 따라 다소 차이는 있지만, 식물플랑크톤의 성장에 중요한 영양염류의 공급은 중국대륙연안수에 의존하는 비율이 매우 높다고 할 수 있다 (Edmond et al., 1985; Aoyama and Hayashi, 1988 Matsuda et al., 1989; 윤과 김, 1994). 특히 윤과 김(1994)은 동중국해의 Chl-*a*와 영양염류의 관계로부터, 성층상부 수역의 Chl-*a*농도는 중국대륙연안수에서 공급되는 무기질소원의 공급량에

Table 2. Dominant species of phytoplankton and dominance in the East China Sea, June 2004

A		B		C	
Dominant species	Dominance	Dominant species	Dominance	Dominant species	Dominance
<i>Pseudonitzschia pungens</i>	18.0 %	<i>Gymnodinium breve</i>	35.3 %	<i>Scrippsiella trochoidea</i>	24.5 %
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	17.0	<i>Scrippsiella trochoidea</i>	10.4	<i>Leptocylindrus danicus</i>	18.8
<i>Gymnodinium</i> sp.	10.8	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	9.0	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	7.3
<i>Ceratium fusus</i>	8.0	<i>Cylindrotheca closterium</i>	5.3	<i>Skeletonema costatum</i>	6.3
<i>Prorocentrum triestinum</i>	6.5	<i>Proboscia alata</i>	5.2		

의해 절대적인 영향을 받는 것으로 보고하고 있어, 이와 같은 결과를 잘 뒷받침 해주고 있다.

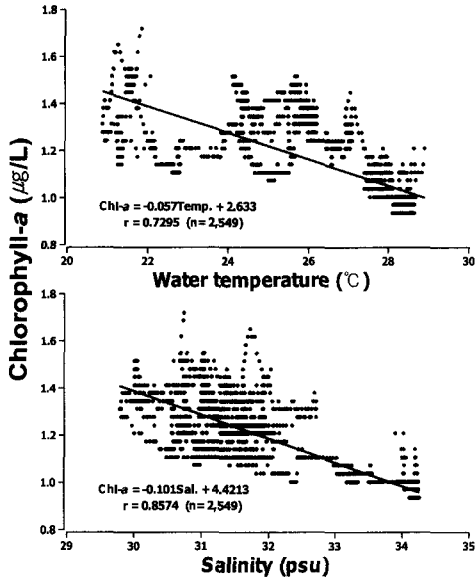


Fig. 10. Linear regression equations of chlorophyll a concentration on water temperature and salinity in the East China Sea, June 2004.

사 사

본 연구는 한국과학재단 특정목적기초연구(과제번호 R01-2002-000-00222-0) 지원 및 2004년도 여수대학교 수산과학연구소의 한국남해 및 동중국해 해양환경 및 생태계 조사 일환으로 수행되었으며, 현장조사와 자료정리에 도움을 준 여수대학교 실습선 동백호 김용주선장 이하 승무원 및 여수대학교 해양시스템학부 연안환경생태학 연구실 학생들에게 고마움을 표한다.

참고문헌

승영호(1992) : 한반도 주변의 수괴와 해수순환. 한국해양학회지 27, 324-331.
 윤양호·김동수(1994) : 여름철 동중국해의 해양구조와 식물색소량 분포특성. 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고지 3, 1-10.
 윤양호·노홍길·김영기(1992) : 주 북방, 함덕연안

해역에 있어서 식물플랑크톤 군집의 계절변동 특성. 제주대학교 해양연구소 연구보고지 16, 27-42.

윤양호 · 박종식 · 서호영 · 황두진(2003) : 동중국해 식물플랑크톤 군집의 공간분포와 외편모조류 적조. 환경생물 21(2), 132-141.

윤양호 · 최임호 · 서호영 · 황두진(2002) : 하계 동중국해 해양구조 및 식물플랑크톤 생물량의 공간적 분포특성. 여수대학교 수산과학연구소 논문집 11, 36-46.

황두진 · 강동혁 · 김용주 · 신형호 · 윤양호(2003) : 2002년 하계 동중국해에 있어서 음향을 이용한 어족자원분포에 관한 연구. 여수대학교 수산과학연구소 논문집 12, 110-117.

황두진 · 김용주 · 신형호 · 윤양호 · 손창환(2002) : 음향을 이용한 동중국해의 어족자원분포에 관한 연구. 여수대학교 수산과학연구소 논문집 11, 76-82.

宮地邦明(1991) : 九州南西海域における黒潮小蛇行に伴う渦流の變動およびその魚卵稚子輸送への影響. 西海區水産研究所研究報告 69, 1-77.

近藤正人(1985) : 東シナ海・黄海漁場の海況におけるに関する研究-I. 50m深及び底層における平均水溫鹽分の分布. 西海區水産研究所研究報告 62, 19-66.

飯塚昭二(1986) : 植物プランクトンの調査-試料採取, 固定, 濃縮, 計数, 同定. in "沿岸環境マニュアル(底質生物編), 恒星社厚生閣, 東京", 144-147.

三尾眞一 · 田川勝 · 藤原富美子 · 山田梅芳(1984) : 東シナ海・黄海における底魚類の食物關係に基づく群集生態學的研究. 西海區水産研究所研究報告 61, 1-142.

宇田道隆 · 大坪久泰(1958) : 東シナ海潮境漁場の海洋學報告. 対馬暖流開發調査報告書 4(海況, 漁況編), 535-539.

曹圭大(1981) : 東シナ海における海況とまき網漁場の分布,變動に關する研究. 東京大學 博士學位論文, 124pp.

千原光雄 · 村野正昭(1997) : 日本産海洋プランクトン檢索圖説. 東海大學出版會, 東京, 1574pp.

永澤祥子 · 丸茂隆三(1967) : 黒潮の藍藻, *Thrichodesmium*の分類及び分布. 日本プランクトン學會報松江吉行博士還曆記念號, 139-144.

- 依倍(1985) : 東シナ海陸棚域の特性. 海洋科学 17 (10), 611-620.
- Aoyama, T. and Hayashi, K.(1988) : An analysis of potential yield from the viewpoint of primary production in the East China Sea. In "Go, Y.B.(eds), On development of marine resources and international cooperation in the Yellow Sea and the East China Sea. Marine Res. Inst., Cheju Natl Univ.", 97-111.
- Beardsley, R.C., Limeburner, R., Yu, H. and Cannon, G.A.(1985) : Discharge of the Changjiang (Yangtze river) into the East China Sea. Continental Shelf Research 4, 57-76.
- Edmond, J.M., Spivack, A., Grant, B.C., Hu, M.H., Chen, Z., Chen, S. and Zeng, X. (1985) : Chemical dynamics of the Changjiang estuary. Continental Shelf Research 4, 17-36.
- Geesey, M.E. and Tester, P.A.(1993) : Gymnodinium breve ubiquitous in Gulf of Mexico waters. In "Smayda TJ and Y Shimizu(eds). Toxic phytoplankton blooms in the Sea. Elsevier, Amsterdam, 251-255.
- Hu, D.(1986) : Signature of *El Nino* in the East China Sea. IOC Tech. Ser., Time Series of Ocean Measurements 3(31), 43-50.
- Hu, D. Cui, M., Li, Y. and Qu, T.(1991) : On the Yellow Sea cold water mass-related circulation. Yellow Sea Research 4, 17-36.
- Huh, O.K.(1982) : Satellite observations and the annual cycle of surface circulation in Yellow Sea, East China Sea and Korea strait. La mer 20, 210-222.
- Kamikowski, D.(1981) : Laboratory experiments on the diurnal vertical migration of marine dinoflagellates through temperature gradients. Mar. Biol. 62, 57-64.
- Lu, D.(1991) : Distribution of indicator dinoflagellates in the East China Sea. Acta Oceanologica Sinica 11, 109-122.
- Lu, D. Goebel, J., Qi, Y., Zou, J. and Gao, Y.(2002) : *Prorocentrum donghaiense* - a high biomass bloom-forming species in the East China Sea. Harmful Algae News 23, 1-5.
- Matsuda, I., Nishii, Y., Yoon, Y.H. and Endo, T.(1989) : Observation of thermohaline structure and phytoplankton biomass in the shelf front of East China Sea during early summer. J. Fac. Applied Biol. Sci., Hiroshima Univ. 28, 27-35.
- Milliman, J.D. and Qingming, J.(1985) : Introduction on sediment dynamics of the Changjiang estuary and adjacent East China Sea. Continental Shelf Research 4, 1-4.
- Milliman, J.D., Shen, H.T., Yang, Z.S. and Meade, R.H.(1985) : Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf. Continental Shelf Research 4, 37-45.
- Parsons, T.R., Takahashi, M. and Hargrave, B.(1984) : Biological oceanographic processes (3rd ed.). Pergamon Press, Oxford, 330pp.
- SCOR-Unesco(1966) : Determination of photosynthetic pigments. In "Unesco(eds), Determination of photosynthetic pigments in the sea-water. Paris", 10-18.
- Shi, Y.L., Yang, W. and Ren, M.(1985) : Hydrological characteristics of the Changjiang and its relation to sediment transport to the sea. Continental Shelf Research 4, 5-15.
- Thronsen, J.(1978) : Preservation and storage. In "Sournia, A.(eds). Phytoplankton manual. Unesco, Paris", 69-74.
- Tomas, C.R.(1997). Identifying marine phytoplankton. Academic Press, London, 858pp.

2005년 1월 26일 접수

2005년 5월 3일 수리