

## 한국연안의 *Cochlodinium polykrikoides* 적조 발생과 변천

김학균\* · 정창수 · 임월애 · 이창규 · 김숙양 · 윤성화 · 조용철\* · 이삼근  
국립수산진흥원 어장환경부, \*청평내수면연구소

### The Spatio-Temporal Progress of *Cochlodinium polykrikoides* Blooms in the Coastal Waters of Korea

Hak-Gyoon KIM<sup>+</sup>, Chang-Su JUNG, Wol-Ae LIM, Chang-Kyu LEE, Sook-Yang KIM,  
Sung-Hwa YOUN, Yong-Chul CHO\* and Sam-Geun LEE

Dept. of Marine Environment, Oceanography and Harmful Algal Blooms, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Korea

\*Chongpppyong Inland Fisheries Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Gyeonggi 477-815, Korea

The first bloom of *Cochlodinium polykrikoides* was observed in the estuary of Nak-dong river near Pusan in Korea in 1982. Since then, there have been irregular blooms, sometimes spread over the adjoining to Jinhae Bay even though it was confined to the bay and its vicinities until 1988. It had been outbreak frequently in the adjacent to Tongyeong, Geoje, Namhae and Yeosu coast since 1989. It became widespread along the coast of the South Sea to the East Sea of Korea in 1995. And in October in 1998 and 1999, the bloom had been taken place in Kunsan coast of Yellow Sea. According to the observations *in situ*, the frequency of occurrence has been increased year by year. The prevailing bloom season was from July to October with peak in September. The duration of the bloom became longer with the year, and sometimes lasted more than one month. The density of the bloom did not exceed 5,000 cells mL<sup>-1</sup> until 1991, but it increased year by year to the highest of 43,000 cells mL<sup>-1</sup> in 1999. With respect to the assemblages of species in dinoflagellate blooms, *C. polykrikoides* was one of the important species with diatoms and the other dinoflagellates in 1980s. But since then, *C. polykrikoides* made an almost monospecific bloom. Based on two decadal observations of *C. polykrikoides* blooms, it became widespread throughout whole coast of the Korea, persistent for about one or two month long in some year, and monospecific high density blooms. It was reported that significant fish mortalities were caused by this harmful dinoflagellate blooms especially in the fishfarms accomodating intensive fish cages such as Tongyeong, Namhae-do, Geoje, Yeosu and Geomun-do fishfarming yards. This widespread and persistent harmful algal blooms impede the development of marine aquaculture industries.

Key words: *Cochlodinium polykrikoides*, Dinoflagellate bloom, Monospecific

## 서 론

와편모조류에 속하는 *Cochlodinium polykrikoides*종은 Puerto Rico 연안에서 처음 발견 되었으며 (Margalef, 1961), 이 후 북미 대서양 연안의 뉴저지주 Barnegat만과 미국 캘리포니아 연안에서 적조를 일으킨 *C. heterolobatum* (Silva, 1967)과 같은 종으로 간주되고 있다. 이 종은 일본의 Harima Nada와 구주의 Yatsushiro 만에서 적조를 일으켜 수산피해를 일으킨 이래 (Yuki and Yoshimatsu, 1989), 일본 중부와 서부연안에서도 적조를 일으키고 있으며 (Fukuyo et al., 1990), 최근에는 캐나다 (Whyte et al., 2000), 멕시코의 Gulf of California (Garate Lizarraga et al., 2000) 및 중남미의 Guatemala의 태평양 연안에서도 적조를 일으키고, 또한 이종의 포자로 여겨지는 cyst (*Cochlodinium* sp. Type F.)도 발견되었다 (Kim et al., 1996, Rosales-Loessener et al., 1996). 한편, 같은 속에 속하는 *Cochlodinium* sp.는 인도양 마다가스칼 동측에 위치한 프랑스령 Reunion Island (Turquet et al., 1998), 호주의 퀸스랜드주의 Brisbane 동측에 있는 Moreton Bay (Hallaegraeff, 1991)에서 적조를 일으켰다는 보고가 있다. 그리고 *C. catenatum*은 코스타리카와 파나마 연안에서의 산호초 폐사와 관련이 있다는

보고가 있다 (Guzman et al., 1990). 이와 같이 이종은 최근에 여러나라에서 적조를 일으켜 수산생물에 피해를 일으키고 있는 종이다.

우리나라 연안에서 *C. polykrikoides* 적조는 1982년 최초로 발견된 이래 1983, 1986, 1987년도를 제외하고는 2000년까지 매년 발생하고 있으며, 특히 1995년도에 대규모로 발생하여 막대한 수산피해를 일으킨 바 있다 (Kim, 1998). 우리나라에서의 이 종에 관한 연구로는 적조발생 (Park et al., 1988; Kim, 1990, 1997, 1998 a, 1998b; Kim et al., 1994, 1997, 1999; Lee et al., 1999; Jung et al., 1999; 김, 1999; 김 등 1995), 적조발생시의 세포용적 (Kim et al., 1993), 분리와 성장 (Seo et al., 1998), 휴면포자에 관한 연구 (Kim et al., 1996), 적조발생과 피해대책 (Kim, 1997, 1998; Choi et al., 1998; Lee et al., 2000), 탐색기법 (Cho et al., 2000), 적조생물의 독성과 생리 (Kim et al., 1999a, 1999b, 2000; Lee, 1996), 및 적조생물의 구제와 살조세균 (Kim, 1998b; Park et al., 1998; Jeong et al., 2000)에 관한 연구 등 상당히 많은 연구결과가 보고되었다.

본 연구에서는 최초로 *C. polykrikoides* 적조가 발생한 1982년부터 2000년까지 우리나라 연안에서 발생한 *Cochlodinium polykrikoides* 적조변천상황의 시기별, 해역별 특성을 구명하고자 하였다.

\*Corresponding author: Hgkim@nfrdi.re.kr

재료 및 방법

분석에 사용한 적조생물시료는 전국연안에 설정된 정기조사정점에서 (Fig. 1) 1982년부터 현재까지 월 1~4회 채집한 시료와 적조발생시 수시로 채수채집한 시료를 이용하였다. 이 종의 세포막이 쉽게 파손되므로 현장채집 즉시 고정하지 않고 연구실로 옮겨 Sedgewick-Rafter Counting Chamber에서 검경, 계수하였다. 고밀도 단독적조의 경우에는 Coulter Counter를 이용하였다. 적조발생건수는 어떤 해역에서 *C. polykrikoides*종의 밀도가 300 cells mL<sup>-1</sup> 이상일 때 1건으로 하였으며 같은 해역에서 적조 우점생물이 다른종으로 바뀌면 다른 건수로 계수하였다.

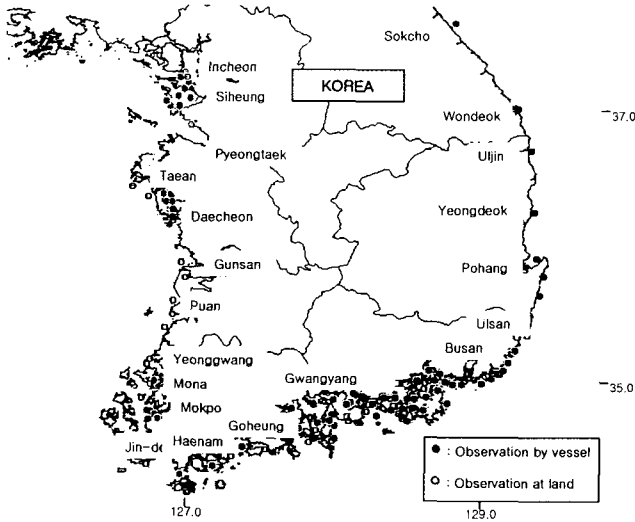


Fig. 1. A map showing the sampling stations in Korean coastal waters.

결 과

발생 시기와 지속기간

우리나라 연안에서 *C. polykrikoides* 적조는 7~10월 중에 발생하였다. 7월에는 2개년도 ('88, '90), 8월에는 7개년도 ('89, '92, '94, '95, '97, '98, '99, 2000), 9월에는 10개년도 ('82, '84, '85, '90, '91, '95, '96, '97, '98, '99) 그리고 10월에는 2개년도 ('93, '95)에 발생하였다. 적조 지속기간은 '92년도까지는 대부분 10일 이내였으나, '93년도과 '94년도에는 20일, '95년도에는 54일, '96, '97, '98년도에는 각각 27일, 29일, 34일 지속되었다. 그리고, '99년과 2000년도에는 각각 54일, 29일간 지속하였다 (Fig. 2).

이와 같이 최근 매년 우리나라연안에서 발생하는 *C. polykrikoides* 적조는 7~10월에 발생하며, 주생기는 8~9월이고, 지속기간은 점차 증가하여 최근에는 한달이상 지속하는 것으로 나타났다.

발생건수와 적조생물 밀도

우리나라에서 '82년 이후 '93년까지는 *C. polykrikoides* 적조발생건수가 10건 이내로 발생하였으며, 총 적조발생 건수에서 *C. poly-*

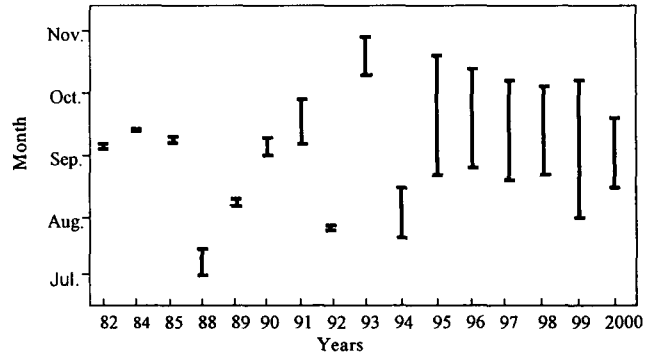


Fig. 2. Annual variation on the duration of *C. polykrikoides* blooms.

krikoides 적조발생 건수가 차지하는 비율도 평균 13.5%로 비교적 낮았다. 그러나, '94년에 접어들면서 '97년까지 *C. polykrikoides* 적조의 비중이 높아져 총 적조발생건수의 31~40%를 차지하게 되었으며, *C. polykrikoides* 적조의 발생건수는 '94년도에 9건, '95, '96, '97년도에는 각각 26, 24, 21건을 기록하였다. '97년까지는 이렇듯 *C. polykrikoides* 적조의 비중이 점차 증가하는 추세를 보였다. '98년도에는 *C. polykrikoides* 적조발생 건수가 다소 줄어들어 8건으로 총 적조발생 건 수의 6.7%를 차지하였으며, '99년도에는 17건 발생하여 총 적조발생 건 수의 20.5%를 차지하였으나 (Fig. 3), 대체로 적조발생 건수는 해가 거듭될수록 점차 증가하는 경향을 보였다.

한편 *C. polykrikoides* 적조는 '82년부터 '85년까지는 2,000 cells mL<sup>-1</sup> 이하의 저밀도로 발생하였다 (Fig. 4). 1988년도에 최고 8,700 cells mL<sup>-1</sup>로 예년에 비해 다소 높은 밀도의 적조가 발생되었으나, '88년도를 제외하고는 '91년까지는 최고 5,000 cells mL<sup>-1</sup>를 초과하지 않았다. '92년부터 고밀도의 적조가 발생하여 '92년도에는 최고 25,000 cells mL<sup>-1</sup>, '93년, '94년도에는 각각 9,800 cells mL<sup>-1</sup>, 15,000 cells mL<sup>-1</sup>를 기록하였다. '95년 이후 '98년까지는 최고밀도가 20,000 cells mL<sup>-1</sup>에서 30,000 cells mL<sup>-1</sup>의 범위를 보였으며, '99년도에는 43,000 cells mL<sup>-1</sup>로 최고 밀도를 기록하였다

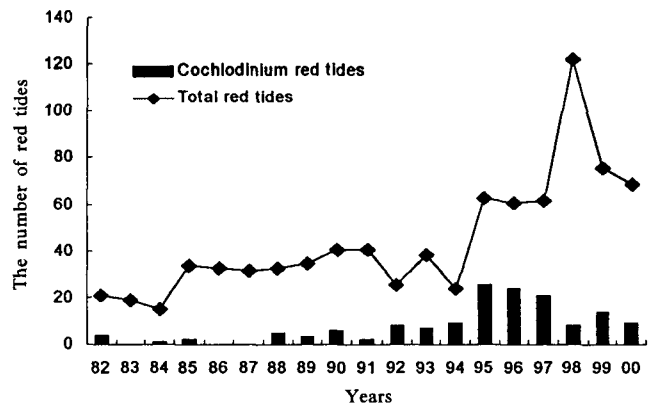


Fig. 3. The number of total red tides and that of *Cochloidium polykrikoides* red tides outbreaked in Korean coastal waters since 1982.

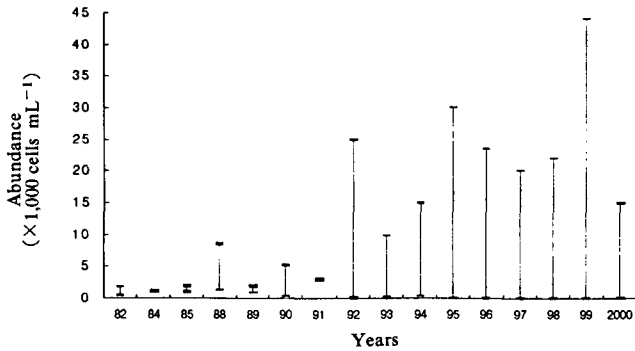


Fig. 4. Annual variation on the abundance of *Cochlodinium polykrikoides* red tides outbreaked in Korean coastal waters since 1982.

(Fig. 4). 그리고 2000년도의 최대 밀도는 15,000 cells mL<sup>-1</sup>이었다. 이와 같이 *C. polykrikoides* 적조 밀도는 최근에 10,000 cells mL<sup>-1</sup> 이상의 고밀도 적조로 진행되어가고 있다.

발생해역의 경년 변천

*C. polykrikoides* 적조는 '82년 9월 가덕도 동부와 낙동강 하구에서 최초로 발생한 이래 '84년 당동만, '85년 남해도 남면, '88년 여수·거제연안에서 발생하는 등 남해안에서 서쪽으로 이동해 가는 현상을 보였으나, '88년까지는 주로 진해만과 그 주변해역에서 발생하였다 (Fig. 5). '89년에 이르러서는 남해도와 사랑도 주변해역에서 발생하였고, '90년도에는 돌산동안에서 한산도 서측연안까지 적조발생 해역이 보다 넓어졌다. '91년과 '92년에는 소강상태를 나타내다가 '93년도에는 '90년과 마찬가지로 돌산동안에서 거제도 서측연안에 걸쳐 적조가 발생하였으나, '90년 적조보다는 규모가 컸다. 한편 '94년에는 여수 돌산도에서 부산광역시 기장군 연안까지 적조가 발생함으로써 동해남부의 극동해역에서도 적조가 발생하였고, 다음해인 '95년도에는 전남 장흥군 연안에서 강원도 동해 연안까지의 남해안과 동해안에서 적조가 발생함으로써 한반도의 서해안을 제외한 거의 전 연안에서 적조가 발생하였다.

1996, '97년도에는 '95년보다 그 세력이 다소 약화되어 남해안과 동해남부 연안에서 발생하였으며 '97년 적조세력은 '96년 대비 다소 컸다. 그리고 '98년도에는 완도 거제도 남단까지의 남해안에서만 발생하였으며, 특히 10월에는 서해 군산외측 해역에서 발생함으로써 이 종에 의한 적조가 서해안에서 최초로 출현하게 되었다. '99년도에는 전남 외나로도 해역에서 최초로 발생하였으며, 남해도 및 통영, 사랑도 주변해역까지 확대되면서 적조밀도가 증가하다가 동해 남부로 이동, 확산되어 경북 울진 죽변부근해역까지 북상하였으며, 동해안에서부터 수온하강으로 차츰 소멸되어가는 양상을 보였다. 그리고, '98년도에 이어 '99년도에도 10월 중순 서해연안에서 *C. polykrikoides* 적조가 발생하였다. 한편 2000년도에는 전남과 경남도 경계해역인 여수해만에서 8월 22일 최초로 발생하여 주로 남해안의 여수-통영간 해역과 부산광역시 기장연안에서 29일간 지속하다가 9월 20일 소멸하였다. 그러나 *C. polykrikoides* 적조는 10월 5일 진해만내의 고현만에서 발생하여 10월 18일까지 14일간 지속하므로서 진해만에서 다시 발생하는 특이한 현상을

나타냈다.

결론적으로 *C. polykrikoides* 적조는 '88년까지는 진해만과 그 주변 해역에서, '89년 이후부터는 여수연안에서부터 거제도 남단까지의 수역에서 주로 발생하였고, '94년 이후부터는 동해안까지 발생해역이 확대되었다. 그리고, '98년부터는 서해연안에서도 이 종에 의한 적조가 발생하였고, 2000년도에는 진해만에서도 다시 발생하므로서 *C. polykrikoides* 적조가 우리나라 전연안에서 발생하고 있음을 알 수 있다.

고 찰

우리나라 연안에서 *Cochlodinium polykrikoides* 적조가 발생하는 시기는 7~10월이나, 수온이 성장에 가장 적합한 25°C 내외로 유지되는 8월과 9월에 주로 집중 발생하므로서 고수온기에서 수온이 하강하는 시기에 주로 발생하며 캐나다와 멕시코연안 (Whyte et al., 2000; Garate Lizarraga et al., 2000)의 9~10월 발생보다는 다소 빠르고 일본 (사신)의 2000. 7월 발생보다는 늦게 발생하였다. 그리고, 적조 지속기간은 1994년까지는 10일 이내로 지속되었으나 최근에는 한달 이상의 지속기간을 보이고 있으며, 특히 '95와 '99년도에는 54일간 지속하므로서 적조발생기간이 장기화하는 경향을 나타냈다. 특히 대규모로 발생하고 발생기간이 가장 긴 1995년도에는 '94년 부산의 경우 장마기간이 6일로 짧고 강우량도 장마기간동안 34 mm에 그쳐 연안으로 유입되지 못한 유기물질이 1995년 장마기간이 15일로 길고 강우량이 257 mm로 육상의 유기물질이 대량으로 연안에 유입되었고 또한 남해안의 나로도와 소리로 유입되는 쿠로시오난류세력도 평년대비 (1965~1998) 강세를 나타내므로서 장기간 지속된 것으로 추정하고 있다. 그리고 1999년도에는 예년과 달리 적조소멸시기 전후에 연속적인 집중강우로 영양염류가 재공급되었으며, 또 25°C 내외의 성장 호적수온이 30일 이상 장기간 지속됨으로써 소멸기의 적조가 다시 활발히 증식하여 장기간 적조를 형성하게 된 것으로 추정된다.

*C. polykrikoides* 적조발생 건수는 1980년대까지는 10건 이내로 총 적조발생건수에 대한 비율이 평균 15% 이하로 비교적 낮았다. 그러나, '94년 이후 '97년까지 거의 매년 20건 이상 발생하여 총 적조발생건수의 30~40%를 차지하게 되었다. 그러나 적조규모가 대규모화하고 장기화되면서 적조발생건수는 감소하였으나 대체로 적조발생규모는 해가 거듭될수록 점차 증가하는 경향을 보였다.

적조발생 밀도는 '91년까지는 최고 5,000 cells mL<sup>-1</sup>를 초과하지 않았으나, '92년부터 '98년까지는 최고밀도가 20,000~30,000 cells mL<sup>-1</sup>의 범위로 증가하였으며, '99년도에는 43,000 cells mL<sup>-1</sup>의 최고밀도를 기록하기도 하였다. 그러나 2000년도의 최고밀도는 15,000 cells mL<sup>-1</sup>로서 적조발생 밀도는 해마다 다소의 차이는 있으나 해가 거듭될수록 밀도가 증가하는 경향을 보이고 있다.

또 하나 특징적인 것은 *C. polykrikoides* 적조가 최초로 발생한 '82년도에는 *Noctiluca*, *Gymnodinium*, *Skeletonema*, *Nitzschia* 등과 그리고 '84년도에는 *Prorocentrum*, *Heterosigma*와 함께 출현하는 혼합적조를 보였다. 그러나, '85년부터 '99년까지 단독적조로서 출현하였으며, '95년도에는 초기에 *Ceratium furca*종과 함께 적조

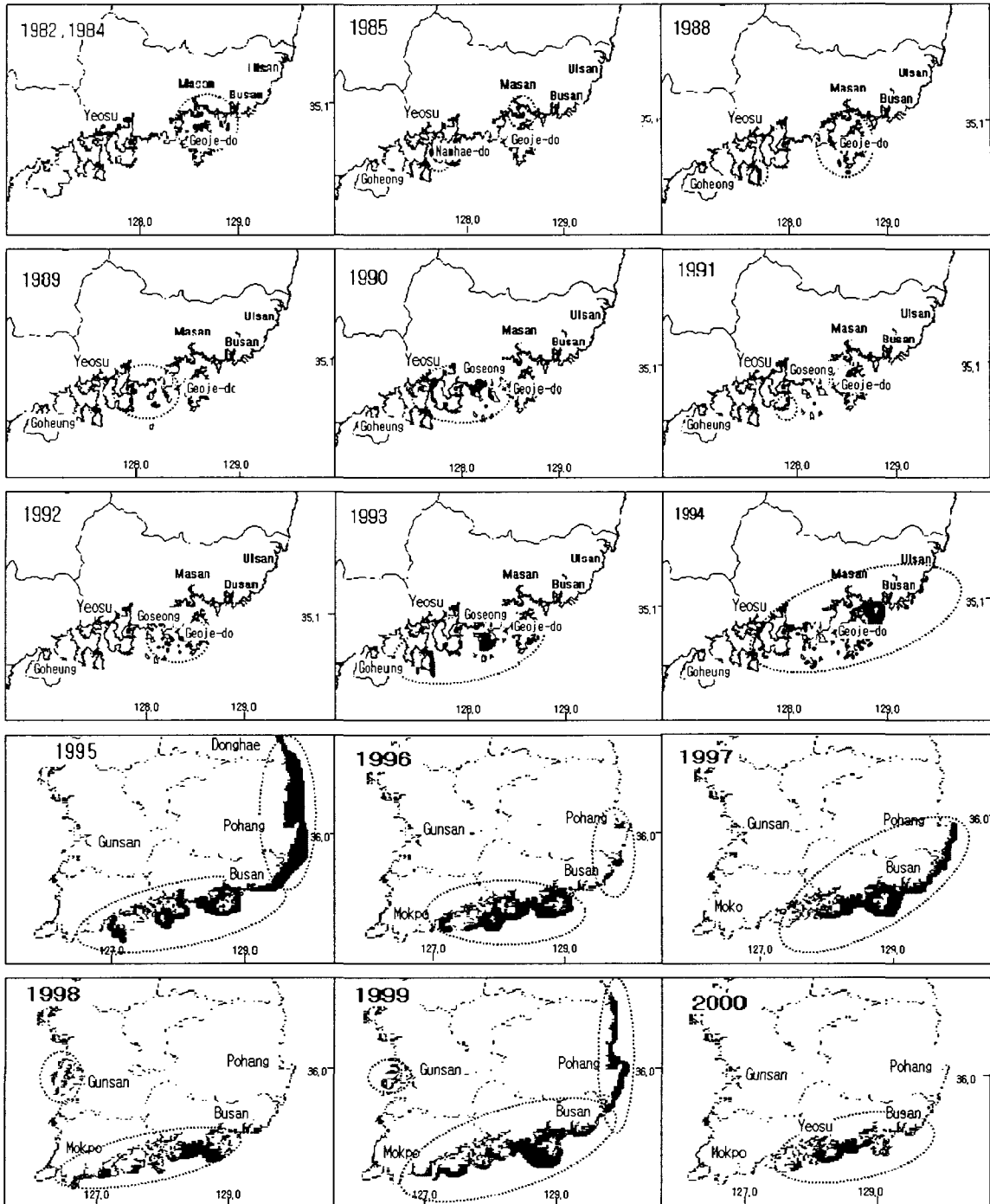


Fig. 5. Annual and spatial distribution of *Cochlodinium polykrikoides* blooms outbreaked in Korean coastal waters since 1982. The black denotes the area affected by *C. polykrikoides* blooms.

 , Outbreak area of *C. polykrikoides* blooms.

를 일으켰으나, 이후에는 단독적으로 출현하였다. 따라서, 우리나라에서 *C. polykrikoides* 적조는 초기에는 혼합적조로 발생하였으나, 점차 단독적으로 발전되어갔음을 알 수 있다.

이와 같이 *C. polykrikoides* 적조는 1982년 우리나라 연안에서 최초로 발생한 이래 '83, '86, '87년을 제외하고 2000년까지 매년 발생하고 있다. 특히 이 종은 어류치사증으로 우리나라에서는 '84

년까지는 큰 수산피해를 일으키지 않았다. 그러나 '89년 최초로 어류폐사를 일으켰으며, 양식생물폐사에 의한 수산피해는 '93년에는 84억원, '94년에는 5억원, *C. polykrikoides* 적조가 대규모로 발생한 '95년도에는 764억원의 막대한 피해를 일으킨 바 있다. 그 후 '96년도와 '97년도에는 각각 21억원, 15억원의 피해를 일으켰으며, '98년 1억 6천만원, '99년 3억 2천만원, 그리고 2000년 2억 6천만원의 수산피해를 일으켰다.

*C. polykrikoides* 적조 발생해역은 '94년까지는 여수, 남해, 통영, 마산 등 연안의 어류양식장에서 발생하였으나, '95년 이후부터는 나로도 인근해역에서 적조가 최초로 발생하여 여수연안, 남해도연안, 통영·거제연안, 부산연안 순서로 확산되는 경향을 보였으며, '95년도에는 동해 천곡까지 적조가 확산되었고, '96년도에는 경주시 연안까지, '97년도에는 포항 장기면 연안까지 확산되었다. '98년도에는 적조 규모가 다소 축소되어 나로도에서 최초로 발생하여 여수, 남해를 거쳐 통영까지 확산되었으며, 10월에 군산연안에서도 적조가 발생함으로써 서해에서도 최초로 적조가 출현하게 되었다. '99년도에는 나로도에서 동해 울진 죽변까지 적조가 확산되었으며, 10월 서해연안에서도 적조가 발생하였고 2000년도에는 진해만에서도 다시 발생하였다.

현장자료 및 실험실자료로부터 *C. polykrikoides* 적조는 25~26°C의 수온과 염분 33 psu 정도에서 증식속도가 빠른 것으로 나타나 비교적 고온과 고염을 좋아하는 종임을 알 수 있었다. 최근에 이종의 발생원인을 연구한 결과 부영양화된 남해연안수가 수온과 염분이 다소 높은 대마난류와 만나 수온약층이 소멸되는 전선역에서 가장 빨리 적조밀도에 이르는 것으로 나타났으며 이와 같은 해역은 외측 연안인 나로도, 남해도 연안으로 보고되었다 (Kim et al., 1999a).

이와 같이 *Cochlodinium polykrikoides* 적조는 최근에 발생해역이 광역화하고, 적조밀도가 높아지며, 지속기간이 장기화되고 거의 단독종에 의해 발생하는 경향을 보이고 있다.

요 약

우리나라 연안에서 *Cochlodinium polykrikoides* 적조는 1982년 낙동강하구에서 최초로 발생하였으며, 1988년까지는 진해만과 그 부근해역에서 발생하였다. 그러나 1989년 이후부터는 진해만에서는 거의 발생하지 않고 충무, 거제, 남해, 여수 등의 남해안의 중부해역에서 주로 발생하였고, 1995년부터는 동해연안까지 발생해역이 확대되었다. 그리고, 1998, 1999년도에는 서해연안에서도 이 종에 의한 적조가 발생하였다.

*C. polykrikoides* 적조 발생건수는 매년 증가하는 추세를 보였으며, 발생시기는 7~10월로 특히 9월에 집중 발생하는 것으로 나타났다. 적조지속기간도 매년 증가하여 최근에는 한달 이상 지속되는 양상을 보이고 있으며, 적조밀도 역시 '91년까지는 최고 5,000 cells mL<sup>-1</sup>를 초과하지 않았으나, '99년도에는 43,000 cells mL<sup>-1</sup>까지 나타나 매년 증가하는 추세를 보였다. 한편 *C. polykrikoides* 적조는 '82년과 '84년에는 다양한 구조류 및 편모조류와 함께 발생하는 혼합적조로 출현하였으나, 이후에는 주로 단독적조로 출현함으로써 *C. polykrikoides* 적조가 혼합적조에서 단독적조로 발전

해 갔음을 알 수 있었다.

이와 같이 *C. polykrikoides* 적조는 발생해역이 우리나라 전연안으로 확대되고, 적조밀도가 높아지며, 발생기간이 1~2개월로 장기간 지속하고 있는 양상을 나타내고 있으며 특히 양식산업이 성행하고 있는 충무, 남해도, 거제도, 여수 및 거문도 연안에서 8~9월에 자주 적조를 형성하므로써 양식산업 발전에 큰 위협이 되고 있다.

참 고 문 헌

Cho, E.S., H.G. Kim and Y.C. Cho. 2000. Sequence analysis *Cochlodinium polykrikoides* isolated from Korean coastal waters using sequences of internal transcribed spacers and 5.8S rDNA. J. Korean Soc. Ocean., 35, 158~160.

Choi, H.G., P.J. Kim, W.C. Lee, S.J. Yun, H.G. Kim and H.J. Lee. 1998. Removal efficiency of *Cochlodinium polykrikoides* by yellow loess. J. Korean Fish. Soc., 31, 109~113.

Fukuyo, Y.H., H. Takano, M. Chihara and K. Matsuoka. 1990. Red tide organisms in Japan. An Illustrated Taxonomic Guide, Uchida Rokakuho, Tokyo, Japan, pp. 407.

Garate Lizarraga, I., J.J. Bustillos-Guzmain, I. Morquecho and Lechuga Deveze. 2000. First outbreak of *Cochlodinium polykrikoides* in the Gulf of California. Harmful Algae News, November 2000. IOC/UNESCO, pp. 7.

Guzman, H.M., J. Cortes, P.W. Glynn and R.H. Richmond. 1990. Coral mortality associated with dinoflagellate blooms in the eastern Pacific (Costa Rica and Panama). Mar. Biol., 60, 299~303.

Hallaegraeff, G.M. 1991. Aquaculturists guide to harmful Australian microalgae. CSIRO, Fishing Industry Training Board of Tasmania Inc., 58, pp. 111.

Jeong, S.Y., Y.T. Park and W.J. Lee. 2000. Isolation of marine bacteria killing red tide microalgae. III. Algicidal effects of marine bacterium, *Micrococcus* sp. LG-5 against the harmful Dinoflagellate, *Cochlodinium polykrikoides*. J. Korean Fish. Soc., 33, 331~338.

Jung, C.S., W.J. Choi, H.G. Kim, Y.G. Jung, J.B. Kim and W.A. Lim. 1999. Interrelation between *Cochlodinium polykrikoides* blooms and community structure of zooplankton in the coastal waters around Namhaedo in the south sea of Korea, 1998. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korean, 57, 153~161.

Kim, C.S., H.M. Bae, S.J. Yun, Y.C. Cho and H.G. Kim. 2000. Ichthyotoxicity of a harmful dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*: Aspect of hematological responses of fish exposed to algal blooms. J. Fish. Sci. Tech., 3, 111~117.

Kim, H.G., W.J. Choi, Y.G. Jung, C.S. Jung, J.S. Park, K.H. An and C.I. Baek. 1999a. Initiation of *Cochlodinium polykrikoides* blooms and its environmental characteristics around the Narodo Island in the western part of south sea of Korea. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea, 57, 119~129.

Kim, C.S., S.G. Lee, C.K. Lee, H.G. Kim and J. Jung. 1999b. Reactive oxygen species as causative agents in the ichthyotoxicity of the red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*. J. Plankton Research, 21, 2105~2115.

Kim, C.S., S.G. Lee and H.G. Kim. 2000. Biochemical responses of fish

- exposed to a harmful dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*. J. Experimental Marine Biology and Ecology, 254, 131~141.
- Kim, H.G. 1990. Coastal algal blooms caused by the cyst-forming dinoflagellates. Bull. Korean Fish. Soc., 23, 468~474.
- Kim, H.G. 1997. Recent harmful algal blooms and mitigation strategies in Korea. Ocean Research, 19 special, 185~192.
- Kim, H.G. 1998a. Harmful algal blooms in Korean coastal waters focused on three fish killing dinoflagellates. In *Harmful algal blooms in Korea and China, Proceedings of Korea-China joint symposium on harmful algal blooms*, Busan, 5~7 December, 1997, 1~20.
- Kim, H.G. 1998b. *Cochlodinium polykrikoides* blooms in Korean coastal waters and their mitigation. In *Harmful Algae*, B. Reguera, J. Blanco, M.L. Fernandez and T. Wyatt, eds. Xunta de Galicia and IOC/UNESCO 1998, 227~228.
- Kim, H.G., K. Matsuoka, S.G. Lee and K.H. An. 1996. The occurrence of a dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* from Chinhae Bay, Korea. J. Korean Fish. Soc., 29, 837~842.
- Kim, H.G., S.G. Lee and K.H. An et al. 1997. Recent red tides in Korean coastal waters. Nat. Fish. Res. & Dev. Inst., pp. 280 (in Korean).
- Kim, H.G., J.S. Park and B.A. Kim et al. 1994. A study on red tide mechanisms and harmful algal blooms in Korean coastal waters. Technical Report of Nat. Fish. Res. & Dev. Agency., No. 117, pp. 130 (in Korean).
- Kim, H.G., J.S. Park, S.G. Lee and K.H. An. 1993. Population cell volume and carbon content in monospecific dinoflagellate blooms. In *Toxic phytoplankton Blooms in the Sea*, T.J. Smayda and Y. Shimizu, eds. Elsevier Science Publishers, New York, 769~773.
- Lee, C.K., S.G. Lee and H.G. Kim. 1999. Occurrence and abundance of three morphologically similar dinoflagellates, *Cochlodinium polykrikoides*, *Gyrodinium impudicum* and *Gymnodinium catenatum* in the southern coast of Korea. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korean, 57, 131~139.
- Lee, J.S. 1996. Bioactive components from red tide plankton, *Cochlodinium polykrikoides*. J. Korean Fish. Soc., 29, 165~173.
- Lee, S.J., Y. Kim, H.G. Kim, G.M. Seo, J.H. Jeong and Y.K. Hong. 2000. Algalytic of  $\alpha$ -mannosidase on harmful marine microalgae. J. Applied Phycology, 12, 191~193.
- Margalef, R. 1961. *Cochlodinium polykrikoides*, Hidrografia fitoplancton de un area marina de la costa meridional de Puerto Rico. Inv. Pesq., 18: 76, 78, fig. 27.
- Park, J.S. 1982. Studies on the characteristics of red tide and environmental conditions in Jinhae Bay. Bull. Fish. Res. Dev. Agency., 28, 55~88.
- Park, J.S., H.G. Kim and S.G. Lee. 1988. Red tide occurrence and succession of its causative organisms in Jinhae Bay. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 41, 1~26 (in Korean).
- Park, Y.T., J.B. Park, S.Y. Chung, B.C. Song, W.A. Lim, C.H. Kim and W.J. Lee. 1998. Isolation of marine bacteria killing red tide microalgae. I. Isolation and algicidal properties of *Micrococcus* sp. LG-1 possessing killing activity for harmful dinoflagellate, *Cochlodinium polykrikoides*. J. Korean Fish. Soc., 31, 767~773.
- Rosales-Loessener, F., K. Matsuoka, Y. Fukuyo and E.H. Sanchez. 1996. Cysts of harmful dinoflagellates found from Pacific coastal waters of Guatemala. In *Harmful and Toxic Algal Blooms*, T. Yasumoto, Y. Oshima and Y. Fukuyo, eds. IOC, UNE-SCO, 193~195.
- Seo, P.S., S.J. Lee, Y. Kim, J.H. Lee, H.G. Kim and J.D. Lee. 1998. Axenic culture production and growth of a dinoflagellate, *Cochlodinium polykrikoides*. J. Korean Fish. Soc., 31, 71~76.
- Silva, E.S. 1967. *Cochlodinium heterolobatum* n sp.: structure and some cytophy-siological aspects. J. Protozool., 14, 745~754.
- Suh, Y.S., J.H. Kim and H.G. Kim. 2000. NOAA Satellites and *Cochlodinium polykrikoides* red tide occurrence in Korean coastal waters. J. Korean Environmental Sciences Society, 9, 215~221.
- Turquet, J., J.P. Quod, A. Coute and Maria A. Faust. 1998. Assemblage of benthic dinoflagellates and monitoring of harmful species in Reunion Island, SW Indian Ocean, 1993~1996. In *Harmful Algae*, B. Reguera, J. Blanco, M.L. Fernandez and T. Wyatt, eds. Xunta de Galicia and IOC/UNESCO, 1998, 44~47.
- Whyte, J.N.C., Nicola Haigh, Norman G. Ginther and Laurie J. Keddy. 2000. First record of *Cochlodinium* sp. causing mortality of net-pen reared salmon on the west coast of Canada. Conference abstracts and participants. International Conference on Harmful Algal Blooms. Ninth Conference Tasmania 2000, pp. 66.
- Yuki, K. and S. Yoshimatsu. 1989. Two fish-killing species of *Cochlodinium* form Harima-Nada, Seto. Inland Sea, Japan. In *Red Tides: Biology, Environmental Science, and Toxicology*, T. Okaichi, D.M. Anderson and T. Nemoto, eds. Elsevier, New York, pp. 451~452.
- 김학균, 박주석, 이필용 등. 1995. 부영양화 및 적조현상 규명에 관한 연구. 환경부 · 과학기술처, 180~181.
- 김형철. 1999. 유해성 적조생물 *Cochlodinium polykrikoides*의 조류 성장 잠재력과 제한 영양염 추정, 석사학위논문, 부경대학교, 78pp.

---

2001년 8월 18일 접수

2001년 11월 27일 수리