

남해안 연안에서 적조생물, *Cochlodinium polykrikoides*, *Gyrodinium impudicum*, *Gymnodinium catenatum*의 출현상황과 온도, 염분, 조도 및 영양염류에 따른 성장특성

이창규⁺ · 김형철* · 이삼근 · 정창수 · 김학균** · 임월애
국립수산진흥원 적조연구과, *부경대학교 환경공학과, **국립수산진흥원 어장환경부

Abundance of Harmful Algae, *Cochlodinium polykrikoides*, *Gyrodinium impudicum* and *Gymnodinium catenatum* in the Coastal Area of South Sea of Korea and Their Effects of Temperature, Salinity, Irradiance and Nutrient on the Growth in Culture

Chang Kyu LEE⁺, Hyung Chul KIM*, Sam-Geun LEE, Chang Su JUNG,
Hak Gyoon KIM** and Wol Ae LIM

Harmful Algal Blooms Research Division, NFRDI, Pusan 619-902

*Dept. of Environmental Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737

**Marine Environment, Oceanography and Harmful Algal Blooms Department,
NFRDI, Pusan 619-902

Three harmful algal bloom species with similar morphology, *Cochlodinium polykrikoides*, *Gyrodinium impudicum* and *Gymnodinium catenatum* have damaged to aquatic animals or human health by either making massive blooms or intoxication of shellfishes in a food chain. Eco-physiological and hydrodynamic studies on the harmful algae offer useful informations in the understanding their bloom mechanism by giving promising data for the prediction and modelling of harmful algal blooms event. Thus, we studied the abundance of these species in the coastal area of South Sea of Korea and their effects of temperature, salinity, irradiance and nutrient on the growth for the isolates. The timing for initial appearance of the three species around the coastal area of Namhaedo, Narodo and Wando was between late July and late August in 1999 when water temperature ranged from 22.8°C to 26.5°C. Vegetative cells of *C. polykrikoides* and *G. impudicum* were abundant until late September when water temperature had been dropped to less than 23°C. By contrast, vegetative cell of *G. catenatum* disappeared before early September, showing shorter period of abundance than the other two species in the South Sea. Both *G. impudicum* and *G. catenatum* revealed comparatively low density with a maximal cell density of 3,460 cells/L and 440 cells/L, respectively without making any bloom, while *C. polykrikoides* made massive blooms with a maximal cell density more than 40×10^6 cells/L. The three species showed a better growth at the relatively higher water temperature ranging from 22 to 28°C with their maximal growth rate at 25°C in culture, which almost corresponded with the water temperature during the outbreak of *C. polykrikoides* in the coastal area of South Sea. Also, they all showed a relatively higher growth at the salinity from 30 to 35‰. Specially, *G. impudicum* showed the euryhalic characteristics among the species. On the other hand, growth rate of *G. catenatum* decreased sharply with the increase of water temperature at the experimental ranges more than 35‰. The higher of light intensities showed the better growth rates for the three species. Moreover, *C. polykrikoides* and *G. impudicum* continued their exponential growth even at 7,500 lux, the highest level of light intensity in the experiment. Therefore, It is assumed that *C. polykrikoides* has a physiological capability to adapt and utilize higher irradiance resulting in the higher growth rate without any photo inhibition response at the sea surface where there is usually strong irradiance during its blooming season. Although *C. polykrikoides* and *G. impudicum* continued their linear growth with the increase of nitrate (NO_3^-) and ammonium (NH_4^-) concentrations at less than the 40 μM , they didn't show any significant differences in growth rates with the increase of nitrate and ammonium concentrations at more than 40 μM , signifying that the nitrogen critical point for the growth of the two species stands between 13.5 and 40 μM . Also, even though both of the two species continued their linear growth with the increase of phosphate (PO_4^{2-}) concentrations at less than the 4.05 μM , there were no any significant differences in growth rates with the increase of phosphate concentrations at more than 4.05 μM , signifying that the phosphate critical point for the growth of the two species stands between 1.35 and 4.05 μM . On the other hand, *C. polykrikoides* has made blooms at the oligotrophic environment near Narodo and Namhaedo where the concentration of DIN and DIP are less than 1.2 and 0.3 μM , respectively. We attributed this phenomenon to its own ecological characteristics of diel vertical migration through which *C. polykrikoides* could uptake enough nutrients from the deep sea water near bottom during the night time irrespective of the lower nutrient pools in the surface water.

Key words: Abundance, Growth rate, Water temperature, Salinity, Light intensity, Inorganic nutrient,
Cochlodinium polykrikoides, *Gyrodinium impudicum*, *Gymnodinium catenatum*

⁺Corresponding author: cklee@nfrdi.re.kr

서 론

재료 및 방법

적조생물, *Cochlodinium polykrikoides* Margareff와 *Gyrodinium impudicum* Fraga et Bravo, 그리고 *Gymnodinium catenatum* Graham은 다량의 점액질 또는 패류독을 가지면서 수산생물을 치사시키거나 유독화시키는 종으로 알려져 있다 (Morey-Gaines, 1982; Estrada et al., 1984; Mee et al., 1986; Yuki and Yoshimatsu, 1987; Anderson et al., 1989; Bravo and Anderson, 1994; Fraga et al., 1995; Kim, 1998).

우리나라에서 *C. polykrikoides*는 90년 이후 여름철부터 초가을 사이에 남해안 연안 등지에서 매년 적조를 일으키고 있으며, 1998년도와 1999년도에는 충남 및 전북연안에서도 적조를 일으킨 바 있다 (Kim et al., 2000). 이종에 의한 수산피해는 1995년도 어류 등의 양식생물에 약 764억원의 수산피해를 야기시켰으며, 그 후에도 매년 수억원내지 수십억원의 수산피해를 야기시키고 있는 실정이다.

*G. catenatum*은 마비성 패류독을 갖는 종으로써 유럽 연안 등지에서 빈번히 적조를 일으키고 수산생물을 독화시킴으로써 식품위생상의 안전문제를 야기시키는 종이다 (Anderson et al., 1989; Franca and Almeida, 1989; Fraga et al., 1990; Fraga et al., 1995). 우리나라에서는 아직까지 적조를 일으킨 보고는 없으나, 고수온기 동안 남해안 연안에서 소량씩 출현하고 있는 실정이고 (Kim, 1996; Kim and Shin, 1997; Kim, 1998; Lee et al., 1999), 향후 적조를 발생시킬 수 있는 잠재적인 종으로써 앞으로 지속적인 모니터링이 요구되는 종이다.

*G. impudicum*은 우리나라에서 단독적조가 보고된 바는 없으나, 남해안의 *C. polykrikoides* 적조발생시 혼재하여 출현하는 종이다 (Lee et al., 1999). 특히, 이종은 *C. polykrikoides*과 마찬가지로 다량의 점액질을 함유함으로써 적조발생시 어류를 질식사시킬 수 있는 가능성이 있기 때문에 (Kim et al., 1999a) 주의가 요구되는 종이다.

이들 3종은 모두 형태적으로 유사할 뿐만아니라 출현시기에 있어서도 거의 일치되는 경향이 있다. 따라서, 이 종들의 적조발생기작을 이해하고, 적조발생시기 등을 예측하기 위해서는 현장에서의 출현상황과 관련한 종별 생태생리 (eco-physiology)의 특성 등을 파악할 필요가 있다. 본 실험에서는 1999년도 우리나라 남해안 연안에서 이들 3종의 유영세포 출현상황을 조사하였다. 또한 동해역에서 분리한 종을 대상으로 하여 온도, 염분, 조도 및 영양염류 등과 같은 환경요인에 따른 성장도를 조사함으로써 이 종들의 출현과 관련한 생리적 특성을 파악하고자 하였다.

이들 3종에 관한 분류 및 생태적 특성 등에 관한 보고는 다수 있으나 (Moray-Gaines, 1982; Estrada et al., 1984; Fraga et al., 1995; Lee et al., 1999; Jung et al., 1999; Kim et al., 1999b; Jeong et al., 2000), 환경요인에 따른 성장특성에 관한 보고는 비교적 미미한 편이고 특히, 유사한 시기에 동반 출현하는 이들 3종의 특성을 동일조건 하에서 비교, 분석한 자료는 거의 없다.

출현량 조사

1999년도 한국 남해안 연안에서 3종의 출현량 조사는 부산~완도 연안까지 총 21개 정점을 대상으로 하여 7~10월에 실시하였다. 조사 주기는 3종 유영세포의 출현이 확인되기 전까지는 월 2~4회 실시하였으며, 그 후부터는 월 1~2회 실시하였다 (Fig. 1).

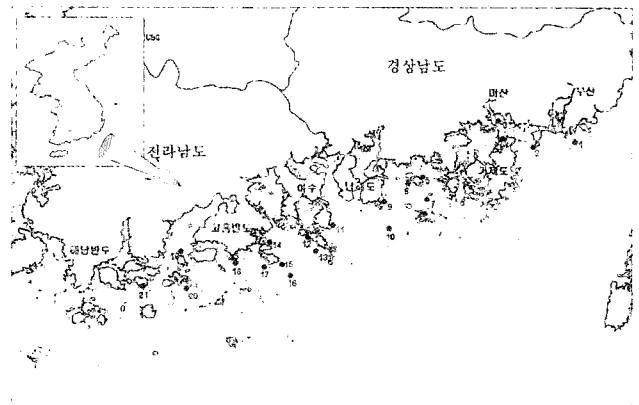


Fig. 1. Map showing the study area and sampling sites.

시료의 채집은 오전 10시부터 오후 5시 사이에 표층수 1~2L를 채수하였다. 채수한 시료는 고정액을 쓰지 않고 채집 당일 분석하였다. 시료의 분석방법은 생시료 중 250~2,000 mL를 공극 100 μm와 15 μm의 망지를 이용하여 1~1.5 mL로 농축한 후 광학현미경 하에서 정량 및 정성분석을 실시하였다. 시료를 채집한 모든 정점에 대해서는 CTD (Seabird Electronics, SBE 25)를 이용하여 수온과 염분 등을 측정하였다.

C. polykrikoides 적조발생기간 중의 최대 세포밀도는 본 조사 결과와 국립수산진흥원에서 발행하는 적조속보에 기재된 것 중 큰 값을 기준으로 하였다.

실내 실험

환경요인에 따른 성장특성 조사에 이용된 종은 *C. polykrikoides*의 경우 1998년도 9월 통영연안의 적조발생시기에 capillary pipette를 이용하여 유영세포로부터 분리한 것이었고, *G. impudicum*과 *G. catenatum*은 1998년도 8월 여수연안에서 채집한 저질층의 휴면포자를 받아서킨 것을 이용하였다. 3종의 strain은 분리 후 규산염이 제외된 1/2 배지에서 2~6개월 정도 계대 배양한 것이었다.

수온에 따른 성장실험은 21°C에서 배양된 종을 10~31°C 범위 내에서 3°C 간격으로 구분하여 실시하였다. 염분에 따른 성장실험은 33‰에서 배양된 종을 15~50‰ 범위 내에서 5‰ 간격으로 하여 실시하였다. 염분의 조절은 30‰ 이하는 증류수를 이용하여, 35‰ 이상은 NaCl을 이용하여 조절하였고, 염분의 측정은 salinometer (T.S-digital Lab. Salinometer Model 3-G)를 사용하였다. 염분실험용 배지제조에 있어서는 증류수 희석에 따른 영양염류 농

도의 감소를 고려하여 최종 영양염류의 농도가 기본 실험구인 33‰와 동일하도록 f/2 stock solution 첨가량을 조절하였다.

조도에 따른 실험은 3,000 lux 내외에서 배양된 종을 100~7,500 lux에서 6개 구간으로 구분하여 실시하였다. 광원으로는 형광램프를 이용하였으며, 조도는 shield screen을 이용하여 조절하였다. 조도의 측정은 light meter (LI-COR, LI-250)을 이용하였다.

영양염류 농도에 따른 성장도 실험은 질소원으로는 NaNO₃, NH₄Cl을 사용하였는데, 연안의 빈영양수를 최종 질소농도 1.5, 4.5, 13.5, 40.5, 121.5, 364.5 μM/L로 조정하여 실험을 실시하였다. 인산원으로써는 K₂HPO₄를 사용하였는데, 실험구간은 0.15, 0.45, 1.35, 12.15, 36.45 μM로 하였다. 배양실험용 세포는 실험개시 직후 영양염류의 농도변화에 따른 유도기를 최소화시키기 위해 실험구간과 동일한 농도에서 약 2~3세대 정도를 전 배양한 후 본실험을 실시하였고, 세포의 초기접종농도는 200 cells/mL로 하였다.

적조생물 배양실험은 부산시 기장군 연안 해수를 0.45 μm membrane filter로 여과하여 고압멸균기로 멸균한 다음 영양염류의 농도와 염분도 등을 측정후, 이것을 실험조건에 맞게 조정하여 사용하였다. 배양기로는 multi-incubator (EYELA MTI-201)을 이용하였고, 실험용기로는 screw cap test tube (15×130 mm)를 사용하였다. 광원으로는 형광등을 이용하였는데, 명암주기는 14L:10D, 수온, 염분 및 조도는 각각 25°C, 33‰ 및 5,000 lux로 하여 배양하였다. 세포의 초기 접종밀도는 영양염류실험을 제외하고는 *C. polykrikoides*, *G. impudicum* 및 *G. catenatum*를 각각 150, 150, 80 cells/mL로 하였다. 세포의 계수는 접종일로부터 최대밀도에 도달할 때까지 격일간격으로 조사하였다. 모든 실험결과는 3회 반복한 것을 평균하여 구하였으며, 일간 성장률은 (Specific Growth Rate, SGR) 세포밀도가 정체기에 도달했을 때의 세포밀도를 계산하여 Stein (1973)의 방식으로 구하였다.

$$SGR \text{ (division/day)} = \ln(N_1 - N_0) / (T_1 - T_0) \ln 2$$

(T₁ - T₀: 실험종료시까지의 소요일수,
N₀: 실험개시시의 세포밀도,
N₁: 실험종료시의 세포밀도)

결 과

유형세포의 출현량

1999년도 우리나라 남해안 연안에서 *C. polykrikoides* 유형세포가 처음으로 출현된 시기는 7월 하순~8월 중순이었는데, 해역별 최초출현시기와 최대밀도는 Fig. 2 및 Table 1과 같다. 완도연안에서 *C. polykrikoides* 유형세포가 최초로 출현된 시기는 7월 20일로서 남해안 연안 중 가장 먼저 출현된 것으로 확인되었고, 그때의 밀도는 10 cells/L였다. 나로도 연안에서의 최초출현시기는 이보다 다소 늦은 7월 29일이었고, 밀도는 40 cells/L였다. 남해도 연안에서의 최초 출현시기는 조사해역 중 가장 늦은 8월 중순이었고, 그때의 밀도는 1,510 cells/L이었다.

적조가 최초로 발생한 해역은 나로도 주변해역이었고, 발생일자는 유형세포가 나로도 연안에서 처음으로 출현된 지 12일 만인

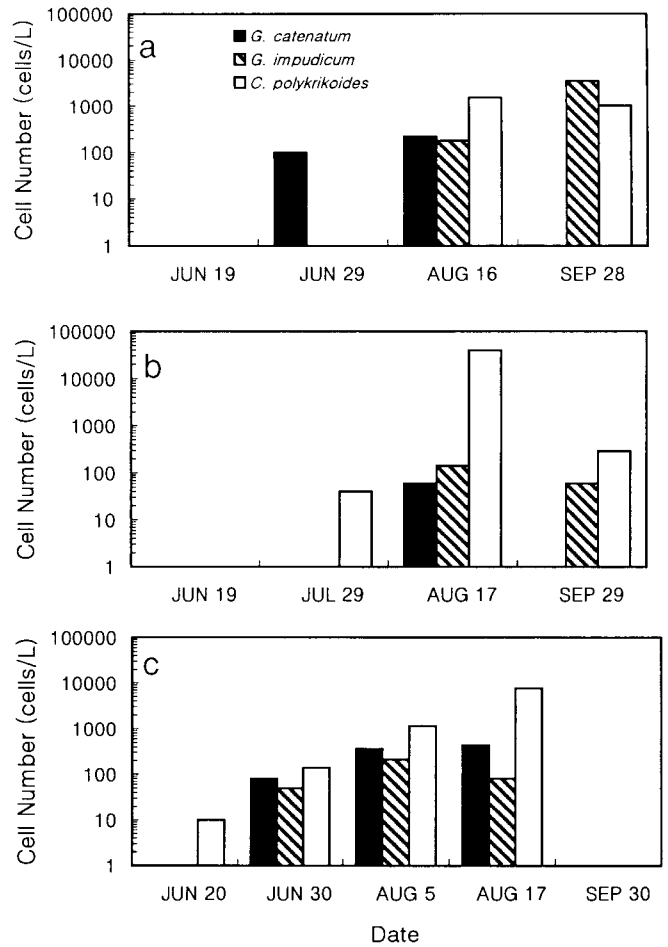


Fig. 2. Abundance of *Gymnodinium catenatum*, *Gyrodinium impudicum* and *Cochlodinium polykrikoides* in the coastal area of Namhaedo (a), Narodo (b) and Wando (c) in 1999.

Table 1. Maximal cell densities of three harmful algal bloom species observed in the coastal area of South Sea of Korea in 1999 (Unit: cells/mL)

Species	July	August	September	October
<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	0.2	18,000	35,000	550
<i>Gyrodinium impudicum</i>	0.02	0.3	3.5	—
<i>Gymnodinium catenatum</i>	0.1	0.5	0.2	—
Surface water temperature (°C)	23.2	25.4	24.7	19.6

8월 10일이었다. 8월 중순 이후부터는 남해안 전역에 점차 확산되면서 9월초까지 남해안과 동해안에서 고밀도 적조를 지속하였고, 최대밀도는 4,300×10⁴ cells/L이었다. 적조는 9월 중순부터 점차 쇠퇴기에 접어들어 10월초에는 모든 연안에서 유형세포가 출현되

지 않았다.

남해안 연안에서 *G. impudicum*이 최초로 출현한 해역은 완도 연안으로써 출현밀도는 7월 30일에 50 cells/L을 보였다. 나로도 및 남해도 연안에서의 최초출현시기는 이보다 늦은 8월 중순경이었고, 최초 출현시의 밀도는 각각 140 cells/L와 180 cells/L이었다. 남해안에서 이종의 출현 기간은 해역에 따라 다소 차이는 있으나 7월 하순부터 9월 하순사이에 약 1개월 정도 출현하였고, *C. polykrikoides*의 출현시기와 대체로 일치하였다. 출현기간 중 완도, 나로도, 남해도 연안에서 세포의 최대밀도는 각각 210, 140, 3,460 cells/L로써 남해도 연안에서의 세포밀도가 비교적 높게 나타났으나, 적조를 형성할 정도로까지 고밀도 증식은 하지 못하고 저밀도로 존재하다가 소멸되었다.

남해안 연안에서 *G. catenatum*이 가장 먼저 출현한 해역은 완도와 남해도 연안으로써, 출현밀도는 7월 29~30일에 각각 80 cells/L와 100 cells/L이었다. 나로도 연안에서의 최초 출현시기는 이보다 늦은 8월 중순경이었고, 밀도는 60 cells/L이었다. 남해안에서 이 종의 출현기간은 7월 하순에서 8월 중순사이로 대체로 1개월 미만의 짧은 기간동안에만 출현하였다. 출현기간 중 완도, 나로도, 남해도 연안에서 세포의 최대밀도는 각각 440, 60, 220 cells/L로써 해역별로는 완도 연안에서 다소 높은 것으로 나타났으나, 전반적으로 아주 낮은 밀도였다.

조사기간 중 완도, 나로도, 남해도 주변해역의 평균 표층수온과 염분은 Fig. 3과 같다. 완도~남해도 연안에서 7월 중순, 7월 하순, 8월 초순, 8월 중순, 9월 하순의 평균 표층수온은 각각 22.8~23.2, 23.9~24.2, 25.1~25.7, 25.6~26.5, 22.4~22.9°C로써 8월 중순까지는 수온이 상승하였으나, 9월 하순에는 수온이 23°C 이하로 하강하였다. 해역별 수온에 있어서는 대체로 비슷한 값을 보였으나, 8월 중순경에는 남해도와 나로도 연안보다는 완도 연안에서 약간 높은 것으로 나타났다.

완도~남해도 연안에서 7월 중순, 7월 하순, 8월 초순, 8월 중순, 9월 하순의 평균 표층염분은 각각 32.2~32.8, 31.8~32.1, 31.4~31.7, 30.8~31.7, 32~32.3‰로 나타났다. 염분은 전반적으로 연안의 외해역보다는 육수의 영향을 많이 받는 연안의 내측에서 다소 낮았고, 특히 강후 직후 연안내측에서 낮은 것으로 나타났다. 시기별로는 8월에 가장 낮았고, 해역별로는 남해도 연안보다는 완도와 나로도 연안에서 비교적 낮은 것으로 나타났다.

수온에 따른 성장

수온 10~31°C에서 *C. polykrikoides*의 일간 성장률은 0.09~0.43을 보였는데, 19°C까지는 수온이 높을수록 성장률도 급격히 증가되는 것으로 나타났다 (Fig. 4). 수온 22~28°C에서의 성장률은 0.38~0.43으로 대체로 높은 성장률을 보였으나, 31°C에서는 성장률이 0.26으로 급격히 감소되었다. 최대 성장률과 최대 세포밀도는 25°C에서 각각 0.43 및 7,000 cells/mL로 나타났다.

10~31°C에서 *G. impudicum*의 일간 성장률은 0.15~0.48로 나타났다. 19°C까지는 수온이 높을수록 성장률도 급격히 증가되었다. 19~28°C에서의 성장률은 0.44~0.48로써 양호한 성장을 보였으나, 31°C에서는 0.39로 성장률이 현저히 감소되었다. 최대 성장

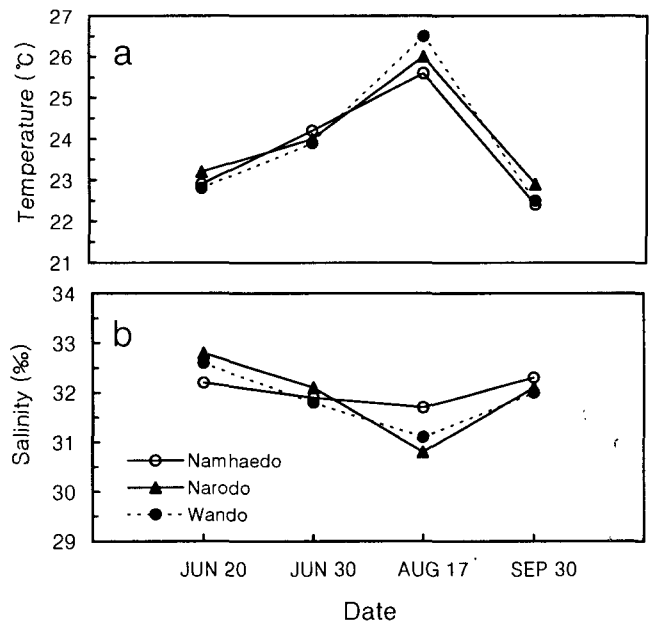


Fig. 3. Variation of surface water temperature (a) and salinity (b) in the coastal area of Namhaedo, Narodo and Wando in 1999.

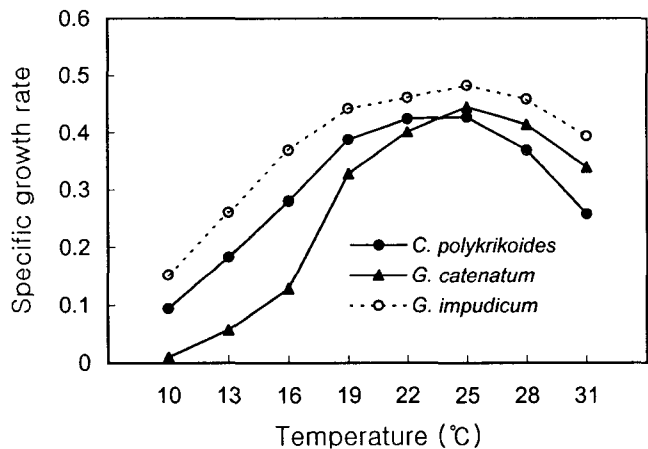


Fig. 4. Growth rates of *Cochlodinium polykrikoides*, *Gymnodinium catenatum* and *Gyrodinium impudicum* depend on the different water temperatures.

률과 최대 세포밀도는 25°C에서 각각 0.48 및 11,600 cells/mL로 나타났다.

10~31°C에서 *G. catenatum*의 일간 성장률은 0.01~0.45를 보였는데, 22°C까지는 수온이 높을수록 성장률도 증가하는 것으로 나타났다. 22~28°C에서의 성장률은 0.40~0.45로써 비교적 높게 나타났으나, 31°C에서는 0.34로 성장률이 현저히 감소하였다. 최대 성장률은 25°C에서 0.45였고, 최대세포밀도는 22°C에서 5,200 cells/mL로 최대값을 보였다.

전반적으로 *C. polykrikoides*, *G. impudicum*, *G. catenatum* 3종은 22~28°C에서 양호한 성장을 보였는데 특히, 25°C 내외의 고수

온에서 공통적으로 가장 왕성한 증식을 하는 것으로 나타났다. 특히, *G. impudicum*은 성장도 및 성장 적수온 범위가 다른 두 종보다 다소 높은 것으로 나타났다.

염분에 따른 성장

염분 15~50‰에서 *C. polykrikoides*의 일간 성장률은 0.05~0.37로 나타났는데, 15~25‰의 저염분과 45~50‰의 고염분에서는 성장률이 각각 0.14~0.28 및 0.05~0.16으로서 비교적 저조한 성장률을 보였다 (Fig. 5). 35‰까지는 염분이 높을수록 성장률도 증가하였으나 그 이상에서는 그 반대 현상을 보였고 특히, 45‰ 이상의 고염분에서는 성장률이 급격히 저하되었다. 30~40‰에서는 0.32~0.37의 비교적 양호한 성장률을 보였고, 최대성장률 및 최대세포밀도는 35‰에서 각각 0.37 및 6,700 cells/mL로 나타났다.

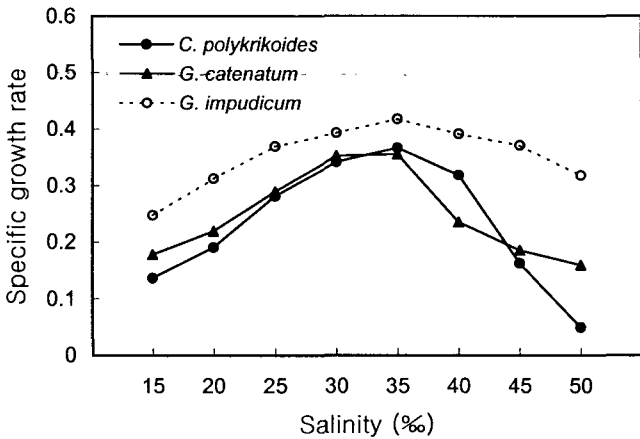


Fig. 5. Growth rates of *Cochlodinium polykrikoides*, *Gymnodinium catenatum* and *Gyrodinium impudicum* on the different salinities.

15~50‰의 염분에서 *G. impudicum*의 일간 성장률은 0.25~0.42로 나타났는데, 15~20‰의 저염분과 50‰의 고염분에서는 성장률이 각각 0.25~0.31과 0.32로써 비교적 저조한 성장률을 보였다. 35‰까지는 염분이 높을수록 성장률도 증가하였으나 그 이상에서는 그 반대로 나타났다. 25~45‰에서의 성장률은 0.37~0.42로써 양호한 성장을 보였고, 최대성장률과 최대세포밀도는 35‰에서 각각 0.42 및 11,400 cells/mL로 나타났다.

염분 15~50‰에서 *G. catenatum*의 일간 성장률은 0.16~0.36로 나타났는데, 15~20‰의 저염분과 40~50‰의 고염분에서는 성장률이 각각 0.18~0.22와 0.16~0.23로써 저조한 성장률을 보였다. 35‰까지는 염분이 높을수록 성장률도 증가하였으나 그 이상에서는 반대로 나타났다. 25~35‰에서의 성장률은 0.29~0.36으로써 비교적 양호한 성장을 보였다. 40‰에서부터는 성장률이 0.23 이하로 급격히 저하됨으로써 *G. catenatum*은 40‰ 이상의 고염분보다는 오히려 25~30‰의 저염분에서 상대적으로 성장이 좋은 것으로 나타났다. 최대성장률과 최대세포밀도는 30~35‰에서 각각 0.35~0.36 및 4,000~4,100 cells/mL로써 서로 유사한 값을 보였다.

3종 중 특히, *G. impudicum*은 염분 20~40‰에서 성장이 가장 양호한 것으로 나타났다.

조도에 따른 성장

조도 100~7,500 lux에서 *C. polykrikoides*의 일간 성장률은 0.0~0.48로 나타났다 (Fig. 6). 조도 500, 1,000, 2,500, 5,000, 7,500 lux에서의 성장률은 각각 0.06, 0.26, 0.39, 0.44 및 0.48로써 조도가 높을수록 성장률도 증가되었다. 특히, 5,000~7,500 lux의 고조도에서는 0.44 이상의 높은 성장률을 보였다. 최대세포밀도는 조도가 가장 높았던 7,500 lux에서 11,800 cells/mL로 나타났다.

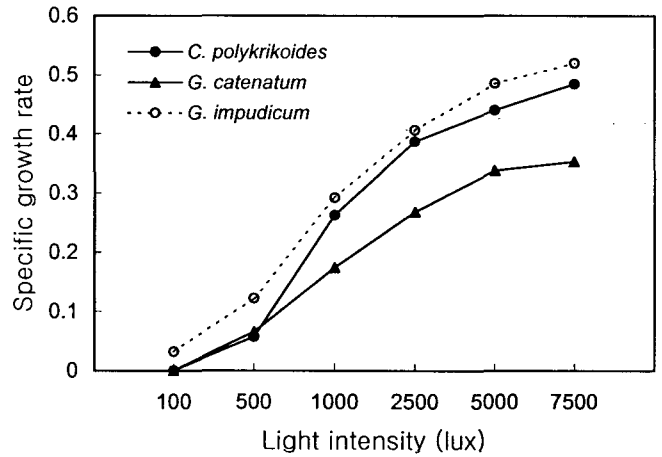


Fig. 6. Growth rates of *Cochlodinium polykrikoides*, *Gymnodinium catenatum* and *Gyrodinium impudicum* depend on the different light intensities.

조도 100~7,500 lux에서 *G. impudicum*의 일간 성장률은 0~0.52로 나타났다. 조도 500, 1,000, 2,500, 5,000, 7,500 lux에서의 성장률은 각각 0.12, 0.29, 0.41, 0.49 및 0.52로써 조도가 높을수록 성장률도 증가하는 것으로 나타났다. 고조도인 5,000~7,500 lux에서는 성장률이 0.41 이상으로써 높은 성장률을 보였다. 최대세포밀도는 조도가 가장 높았던 7,500 lux에서 16,200 cells/mL로 나타났다.

조도 100~7,500 lux에서 *G. catenatum*의 일간 성장률은 0~0.35로 나타났다. 조도 500, 1,000, 2,500, 5,000, 7,500 lux에서의 성장률은 각각 0.07, 0.17, 0.27, 0.34 및 0.35로써 전반적으로 조도가 높을수록 성장률도 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 5,000 lux까지는 조도에 따른 성장률의 증가폭이 큰 것으로 나타났으며, 가장 조도가 높았던 7,500 lux에서의 성장률은 5,000 lux에서와 비슷한 결과를 보였다. 최대세포밀도는 5,000~7,500 lux에서 3,700~3,900 cells/mL로 서로 비슷한 값을 보였다.

영양염류의 농도에 따른 성장

질산질소 (NO₃⁻), 암모니아질소 (NH₄⁻), 및 인산인 (PO₄²⁻) 농도에 따른 *C. polykrikoides* 및 *G. impudicum*의 성장도는 Table 2 및 Table 3과 같다. 질산질소의 농도가 1.5~40.5 μM 일 때 *C. polykrikoides* 및 *G. impudicum*의 일간성장률은 각각 0.20~0.33

Table 2. Specific growth rate and maximum cell density of *Cochlodinium polykrikoides* at different nutrient concentrations

Nutrient	Concentration (μM)	SGR (divisions/day)	Maximum cell density (cells/mL)
Nitrate	1.5	0.197	895
	4.5	0.219	1,370
	13.5	0.201	1,165
	40.5	0.334	2,545
	121.5	0.339	2,660
	364.5	0.351	2,905
Ammonium	1.5	0.217	1,050
	4.5	0.315	2,210
	13.5	0.320	2,295
	40.5	0.385	3,765
	121.5	0.323	2,345
	364.5	0.148	620
Phosphate	0.15	0.084	380
	0.45	0.109	460
	1.35	0.238	1,225
	4.05	0.378	3,575
	12.15	0.377	3,540
	36.45	0.376	3,520

Table 3. Specific growth rate and maximum cell density of *Gyrodinium impudicum* at different nutrient concentrations

Nutrient	Concentration (μM)	SGR (divisions/day)	Maximum cell density (cells/mL)
Nitrate	1.5	0.147	1,080
	4.5	0.164	1,230
	13.5	0.132	1,020
	40.5	0.250	3,210
	121.5	0.243	2,950
	364.5	0.262	3,640
Ammonium	1.5	0.149	1,105
	4.5	0.165	1,280
	13.5	0.227	2,490
	40.5	0.256	3,420
	121.5	0.259	3,540
	364.5	0.069	445
Phosphate	0.15	0.105	640
	0.45	0.103	785
	1.35	0.207	1,980
	4.05	0.276	4,260
	12.15	0.287	4,820
	36.45	0.287	4,830

및 0.15~0.25였는데, 전반적으로 질산질소의 농도가 증가할수록 성장률도 증가하는 것으로 나타났다. 질산질소의 농도가 40.5~364.5 μM 일 때의 성장률은 각각 0.33~0.35 및 0.25~0.26으로써

농도에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 또한, 세포가 최대밀도에 도달하는 시간은 40.5 μM 이하에서는 질산질소의 농도가 낮을수록 짧았으나, 그 이상에서는 농도가 높을수록 길어지는 것으로 나타났다.

암모니아질소의 농도가 1.5~40.5 μM 일 때 *C. polykrikoides*의 성장률은 0.22~0.39였는데, 암모니아질소의 농도가 높을수록 성장률도 증가하는 것으로 나타났다. 그러나, 농도가 높았던 121.5 및 364.5 μM 에서의 성장률은 각각 0.32 및 0.15로써 암모니아질소의 농도가 높을수록 성장률은 급격히 저하되었다. *G. impudicum*의 경우 1.5~40.5 μM 에서는 0.15~0.26로 나타나 암모니아질소의 농도가 높을수록 성장률도 점차 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 암모니아의 농도가 높은 121.5 및 364.5 μM 에서의 성장률은 각각 0.27 및 0.08로써 *C. polykrikoides*와 마찬가지로 암모니아질소의 농도가 높을수록 성장률은 급격히 감소되는 것으로 나타났다.

인산의 농도가 0.45 이하일 때 *C. polykrikoides* 및 *G. impudicum*의 일간 성장률은 각각 0.08~0.11 및 0.10~0.11로써 성장률이 매우 저조하였다. 그러나, 1.35~4.05 μM 에서 두 종의 성장률은 각각 0.24~0.38 및 0.21~0.28로써 성장률이 급격히 높아지는 것으로 나타났다. 한편, 고농도인 12.15 μM 이상에서의 성장률은 각각 0.37 및 0.29 내외로써 농도의 차이에 따라 큰 차이는 없었다.

고 찰

적조생물 *G. impudicum*, *G. catenatum*, *C. polykrikoides*은 휴면포자를 형성하고, 포자로부터 발아되어 가입된 유영세포는 호적 환경 하에서 대수증식을 하면서 적조를 형성하는 것으로 알려져 있다 (Nehring, 1977; Figueiras and Pazos, 1991; Ellegaard et al., 1993; Bravo and Anderson, 1994; Fraga et al., 1995; Sonneman and Hill, 1997; An, 1998). 우리나라에서 이들 3종의 유영세포 출현시기는 고수온기인 7~10월로써 비슷한 시기에 서로 혼재하여 출현되는 것으로 보고되고 있다 (Lee et al., 1999). 본 실험결과 1999년도 남해안연안에서 3종 유영세포는 조사해역인 남해도, 나로도, 완도연안 모두 7~9월에 혼재하여 출현되었고, 최초 출현시기인 7월말의 수온은 22.8~24.2°C였다. Lee et al. (1999)의 결과에 따르면 1998년도 통영시, 남해도 및 나로도 연안에서 3종 출현시기는 7~9월이었는데, 3종이 최초로 출현할 때의 수온은 23~25°C로써 본 실험의 결과와 대체로 비슷한 수준이었다.

*G. impudicum*의 최초 출현시기는 완도 연안의 경우 7월 30일이었고 남해도와 나로도에서는 8월 17일로써 2주 이상 차이가 있는 것으로 나타났다. 그러나, 8월 초순에는 남해도와 나로도에서 조사가 이루어지지 않았고, 또한 8월 17일 최초 출현시의 밀도도 140~180 cells/L로써 비교적 높았던 것을 감안하면 8월 초순경에 최초 출현되었을 가능성이 높다. 따라서, 남해안 연안에서 이들 3종의 최초 출현시기는 대체로 7월 하순에서 8월 중순경으로 추정된다. 또한, 본 실험에서 3종의 소멸시기는 전반적으로 8하순에서 9월 하순경이었고, 이 때는 26°C 내외의 고수온에서 23°C 이하로 급격히 하강되는 시기였다. 따라서, 이들 3종이 한국 남해안연안에 출현하여 증식하는 수온은 대체로 23~26°C의 고수온기에 해당되

는 것으로 판단되었다. 실내실험 결과에 있어서도 *C. polykrioides*의 성장 적수온은 25°C 내외로 나타났고 또한, 남해안 연안에서 이 종의 적조발생 가능 수온은 대체로 20~28°C였으나 적조발생시기의 수온은 대체로 24~26°C로써 (Kim et al., 1999b) 본 실험의 결과와 잘 일치하였다.

염분에 따른 3종의 성장은 *C. polykrioides*의 경우 30~35‰에서 성장률과 최대 세포농도가 가장 높은 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 남해안 연안에서 *C. polykrioides* 적조발생시의 염분인 30~33‰와 대체로 일치하는 결과였다. *G. catenatum*은 30‰에서 가장 양호한 성장률을 보였고 또한, 40‰에서의 성장률은 20‰에서보다 낮은 것으로 나타나, 고염분에서 보다는 오히려 저염분에서 성장이 양호한 것으로 나타났다. Labib (1998)는 이집트 지중해 연안에서 이 종의 적조발생에 영향을 미치는 인자는 30‰ 이하의 저염분 하에서 수온과 인산의 양이 증가되는 것과 밀접한 관련이 있는 것으로 보고하였는데, 이러한 결과는 본 실험의 경우와 일치하였다. *G. impudicum*은 저염분인 20‰와 고염분인 45‰에서도 0.3 이상의 비교적 양호한 성장률을 보임으로써 3종 중 가장 광염성인 것으로 판단되었다.

한편, 염분실험용 배양액 제조시 증류수 사용으로 인한 양양염 농도의 감소를 최소화하기 위해 f/2 배지용 stock solution 량을 대조구인 33‰ 농도와 같게 조절하였으나, f/2 배지 성분에서 제외된 미량원소까지는 조절할 수 없었다. 따라서, 이러한 미량원소가 본 실험에 미치는 영향을 알아보기 위해 인공 합성배지인 ASP 배지를 이용하여 예비실험을 해본 결과 비록, 인공합성배지에서의 성장도 절대값은 다소 낮았으나 염분농도별 상대 성장도는 대체로 본 실험과 유사한 결과를 보여, f/2 배지에서 제외된 미량원소가 본 실험의 결과에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

일반적으로 조류 (algae)의 경우 고조도 하에서는 PSII (photo system II)에서 광저해 반응 (photo inhibitory response)이 나타나, O₂의 생성 및 CO₂ 흡수율이 감소되고, 성장률도 저하된다 (Falk and Samuelsson, 1992; Vonshak et al., 1996). 본 실험에서 조도에 따른 *C. polykrioides*와 *G. impudicum*의 성장은 가장 조도가 높았던 실험구인 7,500 lux에서도 계속 성장률이 증가되는 것으로 나타났다. 따라서, 이들 두 종의 경우 7,500 lux까지는 광저해 현상을 보이지 않는 것으로 판단되었다. 그러나, *G. catenatum* 경우는 최고 조도에서의 성장률이 7,500 lux에서와 큰 차이를 보이지 않음으로써, 최대성장을 위한 적정 조도는 5,000 lux 내외로 추정되었으며, 7,500 lux 이상의 고조도에서는 오히려 광저해를 받을 가능성이 있을 것으로 추정되었다.

한편, *C. polykrioides*의 성장률은 7,500 lux의 고조도에서 양호한 성장을 보였는데, 이것은 이 종의 적조발생 시기가 광량이 많은 늦여름에 주로 발생되고 또한, 주간에는 광의 이용률을 극대화시키기 유리한 표층으로부터 3 m 이내에 강한 집적현상을 보이는 것 (Na et al., 1998) 등과 밀접한 관련이 있는 것으로 추정된다.

영양염류의 농도에 따른 *C. polykrioides* 및 *G. impudicum*의 성장에 있어서 질산질소의 농도가 40.5~364.5 μM일 때의 성장률은 각각 0.33~0.35 및 0.25~0.26으로써 농도에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서, 40.5 μM 이상의 질산질소 농도에서는 두

종 모두 이것이 성장제한인자 (growth limiting factor)로 작용하지는 않는 것으로 추정되었다. 또한, 40 μM 이하에서는 영양염류 농도가 낮을수록 최대 세포밀도에 도달하는 시간이 짧았고, 그 이상에서는 농도가 높을수록 길어지는 것으로 나타났는데, 이러한 원인은 낮은 영양염류 농도에서는 세포가 영양염류를 빨리 소모했고, 영양염류의 농도가 충분할 경우에는 세포가 영양염류를 천천히 소모했기 때문으로 사료된다.

한편, 암모니아 질소의 농도에 따른 성장실험에 있어서는 120 μM 이상의 고농도에서는 *C. polykrioides* 및 *G. impudicum* 두 종 모두 성장률이 급격히 저하되었는데, 이러한 원인은 Watanabe et al. (1982)와 Yamaguchi (1994)의 보고에서와 마찬가지로, 과도한 암모니아 농도의 독성으로 인해 성장 저해를 받았기 때문으로 풀이되었다. 또한, 암모니아 질소의 농도에 따른 두 종의 성장은 *C. polykrioides*의 경우 5 μM 이하의 저농도에서도 암모니아 질소의 농도가 증가할수록 성장률이 급격히 증가되었으나, *G. impudicum*의 경우는 같은 조건에서도 뚜렷한 성장차이를 보이지 않았고 이것은 암모니아 질소의 이용능력에 있어 *C. polykrioides*이 *G. impudicum*보다 우수하기 때문으로 추정되었다.

현장 조사기간 중 용존무기질소 (DIN) 및 용존무기인 (DIP)은 각각 0.8~96.7 μM 및 0.14~9.52 μM로서 변화가 큰 것으로 나타났는데, 전반적으로 연안의 내측과 강후 직후에 높게 나타났다. 한편, 3종 모두는 비교적 영양염류의 농도가 낮았던 연안의 외측 정점에서 출현하였는데 특히, *C. polykrioides*는 DIN과 DIP가 각각 1.2 μM 및 0.3 μM 정도로 낮았던 나로도와 남해도 연안의 외측에서도 적조를 형성하였다. 이러한 결과는 용존 무기질소 및 용존 무기인의 농도가 각각 5 μM 및 0.5 μM 이하의 낮은 농도에서는 성장률이 매우 낮았던 실내 실험 결과와는 많은 차이를 보였다. *Chattonella antiqua*, *Ceratium* spp. *Eutreptiella* sp. 등과 같은 외편모조류는 저층에 풍부한 영양염류를 흡수하기 위해 야간에 저층으로 이동하고 주간에는 광을 효율적으로 이용하기 위해 다시 표층으로 이동한다 (Watanabe et al., 1991; Villarino et al., 1995; Macintyre et al., 1997; Amano et al., 1998). *C. polykrioides*의 경우도 이와 마찬가지로 주간 일주운동을 하는 종으로 알려져 있다 (Na et al., 1998). 따라서, *C. polykrioides*의 대발생에 필요한 에너지원은 Watanabe et al. (1991)의 보고에서와 같이 야간에 저층으로 이동시 저층에 다량 존재하는 영양염류를 이용할 수 있을 것으로 추정되고, 그러므로 연안 외측의 낮은 영양염류의 농도에서도 성장이 가능했던 것으로 생각된다.

Yang et al. (2000)은 매년 여름철 동중국해에서 형성된 양자강수의 일부가 남해안 고히연안에 접근하고, 이것이 *C. polykrioides*의 초기 증식과 관련이 있다고 하였다. 본 실험결과 남해안연안에서의 염분농도는 시기적으로는 8월에 다소 낮았고 특히, 남해도와 통영 연안보다는 나로도 와 완도 연안에서 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 1999년도 여수 및 완도연안의 평균강수량은 7월은 각각 546 mm 및 698 mm였고 8월 조사기간인 8월 중순까지는 각각 110 mm 및 180 mm 이하로써 비교적 적은 양이었는데 비하여 염분은 8월 중순에 오히려 낮았다. 따라서, Yang et al. (2000)이 주장했던 것처럼 양자강수의 영향에 의한 가능성도 배제할 수

었다. 그러나, 인접해역인 남해도와 통영시연안의 염분은 이와 상이하였던 점과 또한, 본 조사에서는 완도연안을 제외하고는 조사 주기가 월 1~2회로서 적었고, 조사해역이 연안쪽으로 국한되어 같은 시기 외해측의 자료가 없었기 때문에 이러한 원인을 정확하게 해석하기는 어려웠다.

3종의 최초 출현시기는 대체로 비슷하였으나 *G. impudicum*과 *G. catenatum*은 4 cells/mL 이상 증식하지 못한 반면, *C. polykrikoides*만이 30,000 cells/mL 이상의 고밀도 증식을 하였다. 이러한 원인은 환경에 따른 중간 생리·생태적 특성과 중간 경쟁력의 차이 때문으로 추측된다.

한편, Doblin et al. (1999)은 *G. catenatum*의 배양시 용존 유기물질 (dissolved organic substance)의 첨가가 이 종의 증식을 더욱 촉진시킨다고 보고하였는데, 본 실험에서 무기영양염류 하에서 3종을 배양했을 때 *G. impudicum*보다는 *C. polykrikoides*와 *G. catenatum*의 성장률이 특히 낮은 것으로 나타났다. 이러한 사실은 *C. polykrikoides*와 *G. catenatum*의 폭발적인 증식에는 유기영양염류가 일정한 증식 촉매제로써의 역할을 할 가능성이 높은 것으로 사료된다. 따라서, 앞으로 남해안 연안에서 *C. polykrikoides* 적조발생원인을 이해하기 위해서는 적조발생해역에서 용존유기물질의 변화 및 이와 관련한 종의 성장관계를 조사할 필요성이 있을 것으로 생각된다.

요 약

적조생물 *Cochlodinium polykrikoides*, *Gyrodinium impudicum*, *Gymnodinium catenatum*은 독성을 지니거나, 적조를 일으킴으로써 수산피해 및 보건위생상의 문제를 야기시키는 종이다. 이 종들의 적조발생 환경과 기작을 이해하기 위해서는 종별 생태생리 (eco-physiology) 특성 등을 파악할 필요가 있다. 본 실험에서는 한국 남해안 연안에서 이들 3종의 출현상황과 성장특성을 파악하기 위해 이 해역에서 분리한 종을 대상으로 온도, 염분, 조도 및 영양염류에 따른 성장도를 조사하였다.

1999년도 남해안 남해도, 나로도, 완도 연안에서 이들 3종의 최초출현시기는 수온이 22.8~26.5°C인 7월 중순에서 8월 중순으로써 서로 비슷한 시기에 동반 출현하였다. 유영세포의 소멸시기는 *G. catenatum*의 경우 8월 중, 하순이었고, *C. polykrikoides*와 *G. impudicum*은 수온이 23°C 이하로 하강하는 9월 하순이었다. 출현기간 중의 최대밀도는 *C. polykrikoides*의 경우 40×10^6 cells/L 이상으로써 고밀도 증식을 하였으나, *G. impudicum*과 *G. catenatum*은 각각 3,460 cells/L 및 440 cells/L로써 매우 낮은 밀도로 존재하였다.

배양실험에서 *C. polykrikoides*, *G. impudicum*, *G. catenatum*은 22~28°C에서 양호한 성장을 보였고, 최적수온은 25°C 내외로 판단되었는데, 이러한 결과는 적조발생시의 수온과 대체로 일치하였다. 염분에 따른 성장률은 3종 모두 30~35‰에서 양호한 성장을 보였다. 3종 중 *G. impudicum*은 비교적 광염성의 특징을 보였고, *G. catenatum*은 35‰ 이상의 고염분에서 특히, 저조한 성장을 보였다. 조도에 따른 성장은 *C. polykrikoides*와 *G. impudicum*의 경우 특히 7,500 lux 이상의 고조도에서 성장률이 현저히

높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 *C. polykrikoides*의 경우 조도가 높은 하계에 표층에서 강한 집적현상을 보이면서도 광저해현상을 받지 않고 양호한 증식을 할 수 있는 특성과 관련이 있을 것으로 추정되었다.

*C. polykrikoides*와 *G. impudicum*의 질산 및 암모니아 질소 농도에 따른 성장은 40 μM까지는 농도가 높을수록 성장률도 증가하였으나 그 이상에서는 큰 차이를 보이지 않아, 두 종의 질소 임계농도는 13.5~40 μM로 판단되었다. 또한, 인산인은 4.05 μM 까지는 농도가 높을수록 성장률도 증가하였으나 그 이상에서는 큰 성장차를 보이지 않아, 두 종 모두 인산인의 임계농도는 1.35~4.05 μM로 판단되었다.

한편, *C. polykrikoides*는 DIN과 DIP 농도가 각각 1.2 μM 및 0.3 μM 이하로 낮았던 나로도 및 남해도 외측해역에서도 적조를 형성하였다. 이와 같이 낮은 영양염류 하에서 왕성하게 증식할 수 있었던 이유는 이 종의 경우 일간 수직이동을 통해 야간에 저층에서 풍부한 영양염류를 흡수할 수 있었기 때문으로 해석되었다.

참 고 문 헌

- Amano, K., M. Watanabe, K. Kohata and S. Harada. 1998. Conditions necessary for *Chattonella antiqua* red tide outbreaks. *Limnol. Oceanogr.*, 43, 117~128.
- An, K.H. 1998. Distribution of dinoflagellate cysts and growth characteristics of some harmful dinoflagellates in Korea. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Korea, 123pp (in Korean).
- Anderson, D.M., J.J. Sullivan and B. Reguera. 1989. Paralytic shellfish poisoning in northwest Spain: The toxicity of the dinoflagellate, *Gymnodinium catenatum*. *Toxicol.*, 27, 665~674.
- Bravo, I. and D.M. Anderson. 1994. The effect of temperature, growth medium and darkness on excystment and growth of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* from northwest Spain. *J. Plankton Res.*, 16, 513~525.
- Doblin, M.A., S.I. Blackburn and G.M. Hallegraeff. 1999. Growth and biomass stimulation of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* (Graham) by dissolved organic substance. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 236, 33~47.
- Ellegaard, M., N.F. Christensen and O. Moestrup. 1993. Temperature and salinity effects on growth of a non-chain forming strain of *Gymnodinium catenatum* (Dinophyceae) established from a cyst from recent sediments in the Sound (Oresund), Denmark. *Jour. Phycol.*, 29, 418~426.
- Estrada, M., F.J. Sanchez and S. Fraga. 1984. *Gymnodinium catenatum* Graham en las rias gallegas (NO de Espana). *Inves. Pesq.*, 48, 31~40.
- Falk, S. and G. Samuelsson. 1992. Recovery of photosynthesis and photosystem II fluorescence in *Clamydomonas reinhardtii* after exposure to three levels of high light. *Physiologia Plantarum*, 85, 61~68.
- Figueiras, F.G. and Y. Pazos. 1991. Hydrography and phytoplankton of the Ria de Vigo before and during a red tide of *Gymnodinium catenatum* Graham. *J. Plankton Res.*, 13, 589~608.
- Fraga, S., B. Reguera and I. Bravo. 1990. *Gymnodinium catenatum* Bloom formation in the spanish rias. In: Toxic Marine Phyto-

- plankton, edited by Graneli, E., B. Sundstrom, L. Edler and D. M. Anderson, Elsevier, New York, pp. 149~154.
- Fraga, S., I. Bravo, M. Delgado, J. M. Franco and M. Zapata. 1995. *Gyrodinium impudicum* sp. nov. (Dinophyceae), a non toxic, chain forming, red tide dinoflagellate. *Phycologia*, 34, 514~521.
- Franca, S. and J.F. Almeida. 1989. Paralytic shellfish poisons in bivalve molluscs on the Portuguese coast caused by a bloom of the dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*. In: Red tides: Biology, Environmental Science and Toxicology, edited by Okaichi, T., D.M. Anderson and T. Nemoto. Elsevier, New York, pp. 93~96.
- Jeong, H.J., J.K. Park, H.Y. Choi, J.S. Yang, J.H. Shim, Y.K. Shin, W. H. Yih, H.S. Kim and K.J. Cho. 2000. The outbreak of red tides in the coastal waters off Kohung, Chonnam, Korea. 2. The temperal and spatial variations in the phytoplanktonic community in 1997. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 5, 27~36 (in Korean).
- Jung, C.S., W.J. Choi, H.K. Kim, Y.G. Jung, J.B. Kim and W.A. Lim. 1999. Interrelation between *Cochlodinium polykrioides* 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. Korea*, 57, 153~161 (in Korean).
- Stein, J.R. 1973. *Handbook of Phycological Methods*. Cambridge University Press, London, pp. 289~311.
- Kim, C.H. and J.B. Shin. 1997. Harmful and toxic red tide algal development and toxins production in Korean coastal waters. *Algae*, 12, 269~276 (in Korean).
- Kim, C.H. 1998. Development of PSP toxigenic dinoflagellates and toxin production in Korean coastal waters. In: *Harmful algal blooms in Korea and China*, edited by Kim, H.G., S.G. Lee and C.K. Lee, National Fisheries Research and Development Institute, Pusan, pp. 1~20.
- Kim, C.S., S.G. Lee, C.K. Lee, H.K. Kim and J. Jin. 1999a. Reactive oxygen species as causative agents in the ichthyotoxicity of red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrioides*. *J. Plankton Research*, 2, 2105~2115.
- Kim, H.G. 1998. Harmful algal blooms in Korean coastal waters focused on three fish killing dinoflagellates. In: *Harmful algal blooms in Korea and China*, edited by Kim, H.G., S.G. Lee and C.K. Lee, National Fisheries Research and Development Institute, Pusan, pp. 1~20.
- 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., W.J. Choi, Y.G. Jung, C.S. Jung, J.S. Park, K.H. An and C.I. Baek. 1999b. Initiation of *Cochlodinium polykrioides* 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 (in Korean).
- Kim, H.G., Y.C. Cho, C.S. Jeong, H.M. Bae, B.C. Oh, C.K. Lee, E.S. Cho, C.S. Kim, W.A. Lim, S.H. Youn and J.B. Kim. 2000. Harmful Algal Blooms in Korean coastal waters in 1999. NFRDI HAB 2nd report. NFRDI, 206pp (in Korean).
- Labib, G.W. 1998. Occurrence of the dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*. (Graham) along the mediterranean coast of Alexandria (Egypt). *Chem. Ecol.*, 14, 133~141.
- Lee, C.K., S.G. Lee and H.G. Kim. 1999. Occurrence and abundance of three morphologically similar dinoflagellates, *Cochlodinium polykrioides*, *Gyrodinium impudicum*, *Gymnodinium catenatum* in the southern coast of Korea. *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*, 57, 131~139 (in Korean).
- Macintyre, J.G., J.J. Cullen and A.D. Cembella. 1997. Vertical migration, nutrition and toxicity in the dinoflagellate *Alexandrium tamarense*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 148, 201~216.
- Mee, L.D., M. Espinosa and G. Diaz. 1986. Paralytic shellfish poisoning with a *Gymnodinium catenatum* red tide on the Pacific coast of Mexico. *Mar. Envir. Res.*, 19, 77~92.
- Moray-Gaines, G. 1982. *Gymnodinium catenatum* Graham (Dinophyceae): Morphology and affinities with armoured forms. *Phycologia*, 19, 230~232.
- Na, G.H., K.D. Park, S.H. Lee, G.H. Kim and J.B. Nam. 1997. Diel migration of Dinoflagellates, *Cochlodinium polykrioides* in situ. *Korean J. of Aquaculture*, 10, 457~462 (in Korean).
- Nehring, S. 1977. Dinoflagellate resting cysts from recent German coastal sediments. *Botanica Marina* 40, 307~324.
- Sonneman, J.A. and D.R.A. Hill. 1997. A taxonomic survey of cyst-producing dinoflagellates from recent sediments of Victorian coastal waters, Australia. *Bot. Mar.*, 40, 149~177.
- Villarino, M.L., F.G. Figueiras, K.J. Jones, X.A. Alvarez-Salgado, J. Richard and A. Edwards. 1995. Evidence in diel vertical migration of a red-tide microplankton species in Ria de Vigo. *Mar. Biol.*, 123, 607~617.
- Vonshak, A., L. Chanawongse, B. Bunnag and M. Tanticharoen. 1996. Light acclimation and photoinhibition in three *Spirulina platensis* (cyanobacteria) isolates. *Journal of Applied phycology*, 8, 35~40.
- Watanabe, M., K. Kohata and T. Kimura. 1991. Diel vertical migration and nocturnal uptake of nutrients by *Chattonella antiqua* under stable stratification. *Limnol. Oceanogr.*, 36, 593~602.
- Watanabe, M.M., Y. Nakamura and S. Mori. 1982. Effects of physico-chemical factors and nutrients on the growth of *Heterosigma akashiwo* HADA from Osaka Bay, Japan. *Jap. J. Phycol.*, 30, 279~288 (in Japanese).
- Yamaguchi, M. 1994. Physiological ecology of the red tide flagellate *Gymnodinium nagasakiensis* (Dinophyceae) - Mechanism of the red tide occurrence and its prediction. *Bull. Nansei Natl. Fish. Res. Inst.*, 27, 251~394 (in Japanese).
- Yang, J.S., H.Y. Choi, H.J. Jeong, J.Y. Jeong and J.K. Park. 2000. The outbreak of red tides in the coastal waters off Kohung, Chonnam, Korea: 1. Physical and chemical characteristics in 1997. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 5, 16~26 (in Korean).
- Yuki, K. and S. Yoshimatsu. 1987. Morphology of the athecate dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* in culture. *Bull. Plankton Soc. Jap.*, 34, 109~117.

2001년 6월 13일 접수

2001년 9월 18일 수리