

진해만의 유독 플랑크톤 *Alexandrium catenella*의 성장특성

이해옥 · 이나운¹ · Toshiya Katano · 한명수*

한양대학교 생명과학과, ¹한양대학교 환경과학과

Growth Characteristics for Toxic Marine Dinoflagellate *Alexandrium catenella* Isolated from Jinhae Bay, Korea

Hae-Ok Lee, Nawoon Lee¹, Toshiya Katano and Myung-Soo Han*

Department of Life Sciences, College of Natural Sciences, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

¹Department of Environmental Science, College of Natural Sciences, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

Abstract - Effects of water temperature, salinity and irradiance on the growth of toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella* (AICt-01) were investigated, which was isolated from Jinhae Bay, Korea. The maximum growth of *A. catenella* strain was obtained at 150 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The ranges of temperature and salinity for the growth of the strain were 15~25°C and 20~34 PSU. The maximum growth rate of *A. catenella* determined was 0.45 d^{-1} at 20°C, 30 PSU and 150 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$. We also examined the Se and Fe effects on the toxic dinoflagellate *A. catenella* in optimal growth conditions. As Fe concentration of medium increased from 0 to 11.7 μM , growth rate of *A. catenella* increased and the maximum growth rate ($k=0.48 \text{ d}^{-1}$) was obtained at 11.7 μM of Fe conc. Growth of *A. catenella* were stimulated at >1 nM of Se.

Key words : *Alexandrium catenella*, growth, environmental factors, Se, Fe

서 론

*Alexandrium catenella*는 미국에서 1920년대 대발생으로 인한 인명 피해를 보고한 이후로 북반구에 널리 분포하고 있는 것으로 알려져 있으며 최근에는 남반구인 남아프리카, 칠레 등지에서도 출현하여 문제가 되는 종이다 (Sommer and Meyer 1937; Steidinger 1983; Tayler 1984). 한편 *A. catenella*는 국내에서는 1980년대부터 출현하였으며 최근에 유독성을 확인하였다(한과 유 1983a, b; 이 등 1993; 김 등 1999). 국내에서 마비성 패독 원인종으로 알려진 *A. tamarense*에 대해서는 남해안을 중심으로 개

체군동태와 독성 연구를 활발하게 진행하였으나(전 등 1987, 1998; 전과 한 1998; Han *et al.* 1992, 1993; Jeon *et al.* 1996; Kim and Lee 1996; Choi *et al.* 1999), *A. catenella* 연구는 미비하다.

*Alexandrium*속 성장은 다른 식물플랑크톤처럼 광도(light intensity), 염분(salinity), 온도(temperature), 영양염(nutrient)과 그리고 수계 안정성(stability) 등 물리, 화학적 환경 요인들이 복합적으로 작용하여 발생하는 것으로 알려져 있으며, 세계 여러 해역에서 이에 대한 연구를 수행하였다(Prakash 1967; Prakash *et al.* 1971; Ouchi 1982; Watras *et al.* 1982; Boyer *et al.* 1985, 1987; Ogata *et al.* 1989; Anderson *et al.* 1993; Siu *et al.* 1997; John and Flynn 2000). 따라서 이런 유독 플랑크톤의 발생 기작을 올바르게 밝히기 위해서는 원인생물의 생리적 특성을

* Corresponding author: Myung-Soo Han, Tel. 02-2220-0956, Fax. 02-2291-1741, E-mail. hanms@hanyang.ac.kr

규명하는 연구를 선행하여야 한다.

한편 해양에서 미량으로 존재하고 있는 셀레늄(Se)은 유독 플랑크톤의 성장에 중요한 미량원소(trace elements)로 인식되고 있다. Pintner and Provasoli (1968)가 처음으로 식물 플랑크톤의 성장에 관여하는 셀레늄의 요구 특성을 밝힌 이후로 다양한 종들을 대상으로 많은 연구를 진행하였다 (Price *et al.* 1987; Imai *et al.* 1996; Boyer and Brand, 1998; Doblin *et al.* 1999a, b). 최근에는 호주 Tasmania만에서 강우에 의하여 해수로 유입된 영양염류(nutrient)중 셀레늄이 적조를 유발하는 중요한 요인이었음을 보고하였다 (Doblin *et al.* 1999b, 2000). 또한 해양에서 존재하는 대표적인 미량원소(Fe)은 그 농도가 낮을 때 식물 플랑크톤 성장에 제한 인자가 될 수 있으며, 철 농도 증가가 식물 플랑크톤 성장을 증진 시킬 수 있다는 연구가 보고되었다 (Anderson and Morel 1982; Brand *et al.* 1983; Hudson and Morel 1993).

본 연구에서는 국내에서 마비성 패독을 일으키는 원인 생물 중 하나인 *A. catenella* (AICt-01)를 대상으로 광도, 염분, 온도에 대한 최적 성장상태를 조사하고, 최적 성장 조건에서 미량원소인 셀레늄과 철의 다양한 농도가 유독 식물플랑크톤 *A. catenella* 성장에 어떤 영향을 주는지 조사하고자 한다.

재료 및 방법

1. *Alexandrium catenella* (AICt-01) 배양조건

A. catenella (AICt-01)은 1997년 4월 진해만에서 분리한 것이며 stock culture는 f/2-Si 배지 (Table 1, Guillard and Ryther 1962)를 사용하여 20°C, 30 PSU, 그리고 100 (120 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$), 12 : 12 LD cycle 조건에서 배양하였다. 이때 사용한 해수는 먼저 GF/C(Whatman)로 여과한 후 0.45 μm 막 여과지(whateman cellulose nitrate)로 여과하

Table 1. The medium composition of f/2-Si

Additiv	Concentration (μM)
NaNO ₃	880.00
NaH ₂ PO ₄	41.70
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.08
MnCl ₂ · 4H ₂ O	0.90
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	0.03
CoCl ₂ · 6H ₂ O	0.05
CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.04
FeCl ₃ · 6H ₂ O	11.70
Na ₂ -EDTA · 2H ₂ O	11.70
Cyanocobalamin	-
Biotin	-
Thiamine HCl	-

여 미생물을 제거하고 멸균하여 사용하였다. 대수증식기(exponential growth phase)를 유지하기 위하여 9일마다 계대 배양하였다.

2. *Alexandrium catenella* (AICt-01) 최적 환경 조건 실험

*A. catenella*의 최적 환경 조건을 조사하기 위하여 광도 50, 100, 150, 200, 250 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 염분 15, 20, 25, 30, 34 PSU, 온도 10, 15, 20, 25, 30°C 등을 구배하여 *A. catenella* 성장을 조사하였다. 배양은 대수 증식기 세포를 이용하였으며 50 mL tube에 배양액 30 mL를 넣고 초기 농도 $400 \pm 50 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 접종하여 실험하였다. 모든 실험은 각각 3번씩 반복하여 실행하였다.

3. *Alexandrium catenella* (AICt-01) 셀레늄과 철 실험

최적성장조건 20°C, 30 PSU, 150 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 12 : 12 LD cycle에서 셀레늄과 철실험을 수행하였다. 일정한 기간동안 셀레늄이 결핍된 배지에서 자란 *A. catenella*을 셀레늄(H₂SeO₃; Aldrich lot number 128.97)의 10⁻⁵, 10⁻⁴, 10⁻³, 10⁻², 10⁻¹ μM 의 다양한 농도에서 *A. catenella* 성장을 조사하였다. 철실험도 일정 기간동안 철이 결핍된 배지에서 자란 *A. catenella*를 1.17, 5.85, 11.7, 58.5 μM 로 구배한 조건에서 *A. catenella* 성장을 조사하였다.

4. 세포수와 *in vivo chl. a* 형광량의 관계 분석 그리고 성장률 측정

본 연구에 사용한 *A. catenella*의 세포수와 *in vivo chl. a* 형광량의 관계를 회귀 분석하였다. *In vivo chl. a* 형광량은 Fluorometer (Turner designs: Model 10AU)로 측정하고 세포수는 0.5% glutaraldehyde 용액으로 고정된 시료를 광학현미경 (Carl Zeiss: Axioplan, Germany)하에서 Sedgwick-Rafter Chamber를 이용하여 계수하였다.

각 실험에서 *A. catenella* 성장률은 Fluorometer (Turner Designs model 10AU)를 이용하여 *In vivo chl. a* 형광량을 구하여 간접적으로 측정하였는데, 매 2일마다 명기(light period) 시작 후 3~4시간 경과 후 실시하였다. 성장률은 다음식에 의하여 추정하였다 (Guillard 1979).

$$k (\text{day}^{-1}) = \ln(F_1/F_0) / ((t_1 - t_0) \ln 2)$$

$$k = \text{성장률 (growth rate)}$$

$$F_0 = \text{배양 시작 시기의 형광값}$$

$$F_1 = \text{일정 시간 후의 형광값}$$

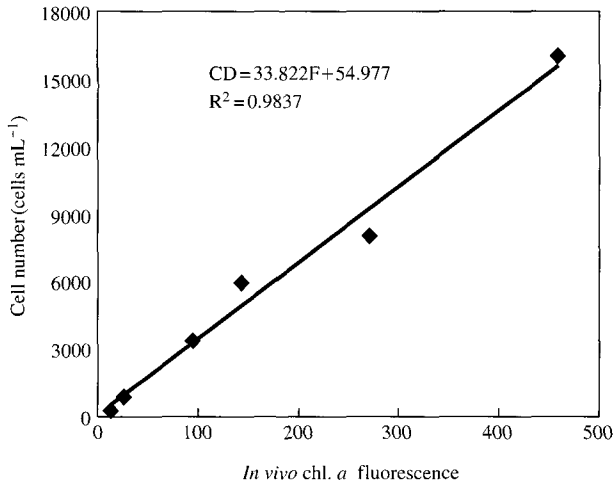


Fig. 1. Relationship between cell number (cells mL⁻¹) and *In vivo* chl. *a* fluorescence of *A. catenella* (AICt-01).

t₁, t₀=측정 시간

결과 및 고찰

1. 세포수와 *In vivo* chl. *a* 형광량 관계 분석

본 연구에 사용한 *A. catenella* (AICt-01) 세포수와 *In vivo* chl. *a* 형광량의 관계를 회귀 분석하였다(Fig. 1) 회귀식은 아래와 같다.

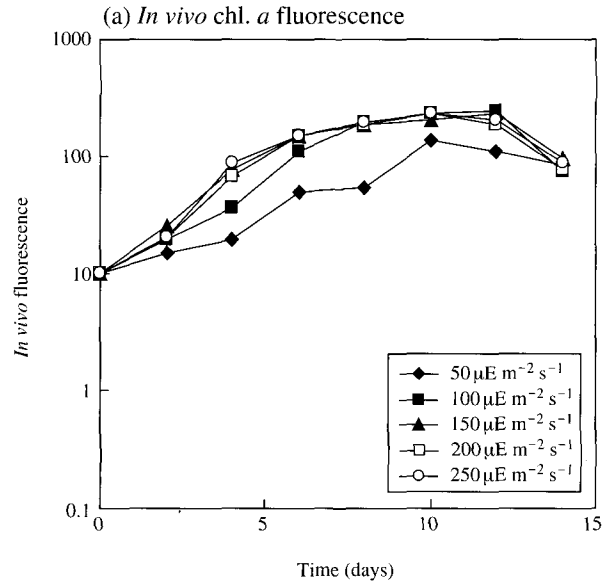
$$Y=33.82 X+54.97$$

Y=*A. catenella* 세포수

X=*In vivo* chl. *a* 형광량

2. 최적 환경 조건 결정

A. catenella 성장을 20°C, 30 PSU에서 5가지 광도 구배 조건 (50, 100, 150, 200, 250 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$)에서 관찰하였다(Fig. 2a). *A. catenella* 성장은 모든 광도에서 10~12일째 최고 값을 보여주었다. 50 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 150 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 까지는 광도가 증가함에 따라 *A. catenella* 성장률도 증가하였으나 150 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이상 광도에서는 *A. catenella* 성장률이 일정하게 유지되는 것을 관찰하였다(Fig. 2b). *A. catenella* 성장률은 150 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 일 때 0.45 d⁻¹로 가장 높게 나타났다(Fig. 2b). 한편 Chung and Hodgkiss (1993)이 보고한 홍콩산 *A. catenella*는 68 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 성장을 나타내었다. 같은 속이나 마비성패독을 일으키는 다른 종 *A. tamarense*도 150~200 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 최고의 성장률을 나타내었고(Anderson *et al.*



(b) Growth rate

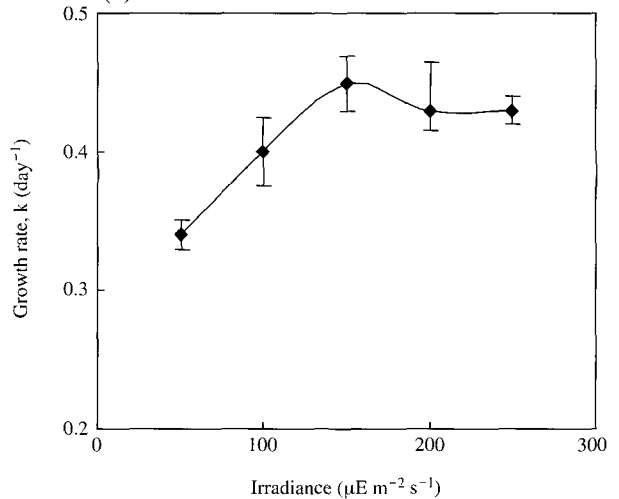


Fig. 2. Growth of *A. catenella* (AICt-01) determined by *in vivo* chl. *a* fluorescence at various irradiance (a), and the exponential growth rate (b) in 20°C, 30 PSU, 12:12 LD cycle.

1984), 북동캐나다에서 분리한 *A. tamarense*는 230 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 0.41 day⁻¹ 높은 성장률을 나타내기도 하였다(Parkhill and Cembella 1999).

30 PSU, 150 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 12:12 LD cycle 조건에서 배양한 *A. catenella*는 15~25°C에서 성장을 나타내었다. 가장 낮은 10°C에서는 2일부터 개체군 감소가 나타나 성장에 불리한 조건임을 알 수 있었고, 30°C에서는 6일까지 약간의 성장을 보여 주었지만 그 후로는 뚜렷하게 개체군이 감소하여 10°C와 30°C 수온은 *A. catenella* 개체군 성장에 불리한 조건으로 작용하고 있음을 관찰하였다(Fig. 3a). 대수성장기간(exponential growth phase) 동

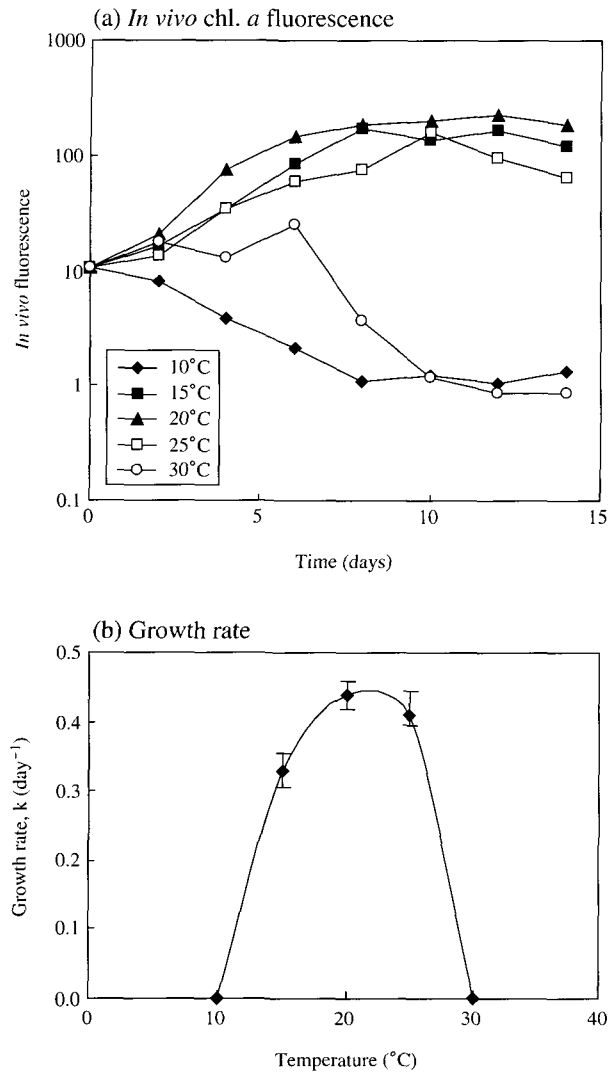


Fig. 3. Growth of *A. catenella* (AICt-01) determined by *in vivo* chl. *a* fluorescence at various temperature (a), and the exponential growth rate (b) in 30 PSU, 150 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 12 : 12 LD cycle.

안 20°C에서 가장 높은 성장률 $k=0.44 \text{ d}^{-1}$ 보였는데 (Fig. 3b), Chung and Hodgkiss (1993)이 보고한 *A. catenella*도 우리와 같은 20°C에서 최고 성장을 나타내었다. 또한 Siu *et al.* (1997)가 보고한 *A. catenella* 배양주도 20~25°C에서 잘 성장하였고 20°C에서 가장 높은 성장률 ($k=0.29 \text{ d}^{-1}$)을 나타내어 본 결과와 유사한 양상을 나타내었다.

20°C, 150 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 12 : 12 LD cycle에서 각각 다른 염분 조건 (15, 20, 25, 30, 34 PSU)으로 배양한 *A. catenella* 성장률을 관찰한 결과, 30 PSU 염분 조건에서 가장 높은 성장률 0.39 d^{-1} 을 관찰하였다 (Fig. 4). 15, 20, 25 PSU 조건에서는 각각 0.25, 0.33, 0.38 d^{-1} 로 염분이 증

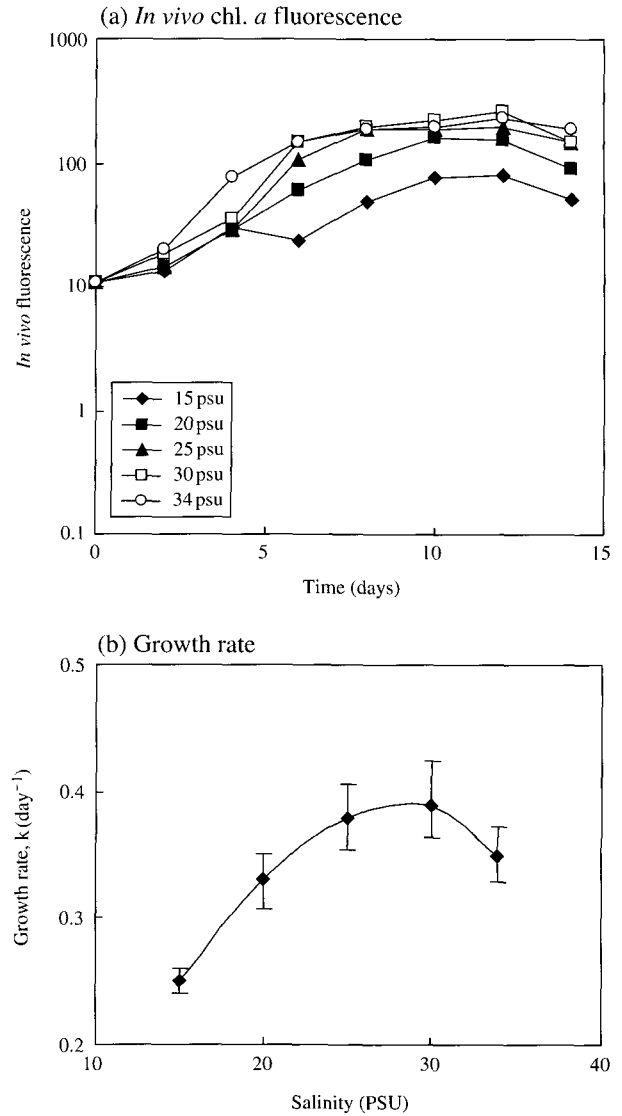


Fig. 4. Growth of *A. catenella* (AICt-01) determined by *in vivo* chl. *a* fluorescence at various salinity (a), and the exponential growth rate (b) in 20°C, 150 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 12 : 12 LD cycle.

가함에 따라 *A. catenella* 성장률도 증가하였으나 34 PSU에서는 성장률이 감소하였다 (Fig. 4b). *A. catenella*는 25 PSU까지는 염분이 증가함에 따라 성장률도 증가하였으나 30 PSU 이상의 염분에서는 성장률이 일정하거나 감소하였다. Siu *et al.* (1997)에 의한 Hong Kong *A. catenella*도 최적 염분이 30~35 PSU로 보고되어 유사한 경향을 나타내었다.

본 연구의 마비성 패독종 *A. catenella*는 마산만에서 9, 10월경에 주로 출현하고 이때 수온은 20°C 정도여서, 온도에 따른 최적 성장 조건이 현장과 일치함을 보여준다 (김 등 1999). 본 연구의 마비성 패독종 *A. catenella*는

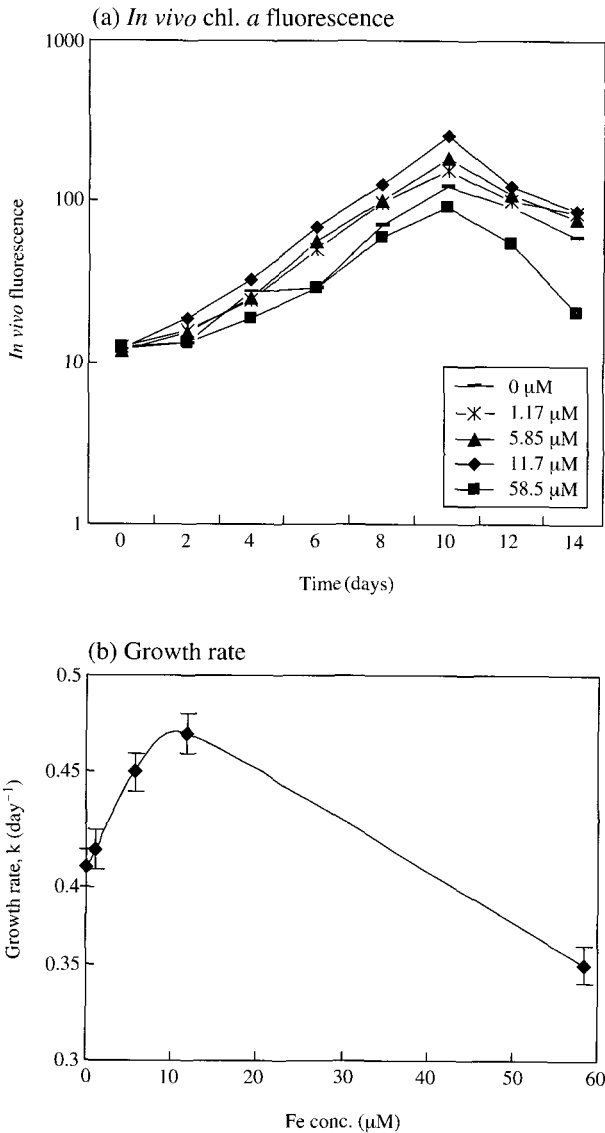


Fig. 5. Growth of *A. catenella* (AICt-01) determined by *in vivo* chl. *a* fluorescence at various Fe concentration (a), and the exponential growth rate (b) in 20°C, 30 PSU, 150 µE m⁻² s⁻¹, 12:12 LD cycle.

최적 조건에서 성장률이 0.45 d⁻¹로 나타나 높은 성장률을 나타내었다.

3. 다양한 철 (Fe) 과 셀레늄 (Se) 농도에서 *A. catenella* (AICt-01)의 성장 특성

다양한 철농도 1.17, 5.85, 11.7, 58.5 µM에서 *A. catenella* 성장을 보면 철농도가 11.7 µM에서 최대값을 나타냈다 ($k=0.48$ d⁻¹, Fig. 5b). 11.7 µM보다 낮은 농도에서는 철농도가 감소할수록 *A. catenella* 성장률도 감소하였다 (Fig. 5a). 철 58.5 µM에서 가장 낮은 성장을 보였다(58.5

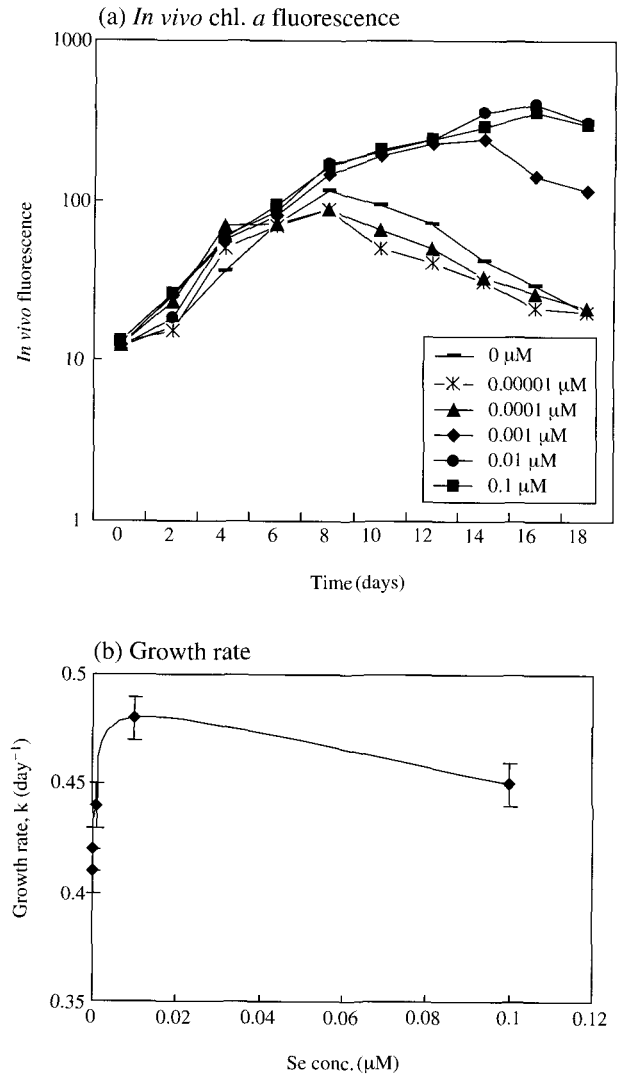


Fig. 6. Growth of *A. catenella* (AICt-01) determined by *in vivo* chl. *a* fluorescence at various Se concentration (a), and the exponential growth rate (b) in 20°C, 30 PSU, 150 µE m⁻² s⁻¹, 12:12 LD cycle.

µM, $k=0.35$ d⁻¹). Siu *et al.* (1997)에 의하면 *A. catenella* 성장에 관한 철 적정농도는 2.925~46.8 µM이라고 하였으며, 최고 세포 밀도는 23.4 µM에서 나타났고, 70.2~117 µM에서는 성장이 4일째 멈추었다고 보고하였는데 본 연구에서는 58.5 µM에서 철이 결핍된 배지(0 µM)보다 *A. catenella* 성장률이 감소하였기에 58.5 µM 이상의 농도에서는 성장이 둔화될 것으로 예상된다. 결국 적정 철 농도(11.7 µM)보다 낮거나 높으면 *A. catenella* 성장을 저하시키는 것을 볼 수 있다.

다양한 셀레늄 (10^{-5} ~0.1 µM H₂SeO₃) 농도에서 *A. catenella* 성장을 보면 10⁻² µM 셀레늄 농도까지는 셀레늄 농도가 증가할수록 *A. catenella* 성장률도 증가

하였다. 0.1 μM 에서는 성장이 둔화하였지만 그래도 높은 성장률을 나타내었다 ($k=0.45 \text{ d}^{-1}$, Fig. 6b). 높은 셀레니움 농도에서는 독성을 가질 수도 있기에 (Wheeler *et al.* 1982; Price *et al.* 1987), 본 연구에서는 0.1 μM 셀레니움 이하 범위에서 실험을 수행하였다. *A. catenella*는 $10^{-5} \sim 10^{-4} \mu\text{M}$ 셀레니움 농도에서는 셀레니움이 결핍된 배지조건과 유사한 성장을 나타내었고 $10^{-3} \sim 0.1 \mu\text{M}$ 농도에서는 *A. catenella* 성장에 제한을 받지 않고 세포밀도가 증가하며 대수성장기 후반 (the end of exponential phase)이 길어짐을 관찰하였다 (Fig. 6a). 이 결과는 셀레니움 농도 증가가 개체군 밀도와 그 지속시간에 영향을 줄 수 있음을 암시한다. Wrench and Measure (1982)도 셀레니움 농도 증가로 적조가 발생하였다고 보고하였다. Doblin *et al.* (1999)도 호주 Tasmania에서 봄철 셀레니움 농도가 $10^{-5} \mu\text{M}$ 이었을 때 *Gymnodinium catenatum*과 *Alexandrium minutum* 성장이 제한되었으나, 셀레니움 요구특성이 없는 *Chaetoceros cf. tenuissimus* 성장에는 아무런 변화가 없음을 관찰하여, 강우에 의한 셀레니움을 포함한 무기영양염류 유입이 식물플랑크톤 대발생을 일으키는 원인이 될 수 있다고 보고 하였다. 본 연구에서 셀레니움 1 nM 이상 농도는 세포밀도를 증가시키는데 영향을 줄 수 있는 미량원소이기에 지금까지는 국내에서 셀레니움과 적조생물에 대한 연구가 거의 이루어지지 않았지만 앞으로 셀레니움에 대한 모니터링이 적조생물연구에 중요하다고 사료된다.

적 요

한국 진해만에서 분리한 마비성폐독 원인종의 하나인 *Alexandrium catenella* (AlCt-01) 최적 성장특성을 규명하기 위해 온도, 염분, 광도의 다양한 조건에서 *A. catenella* 성장을 조사하였다. $50 \sim 150 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 까지는 광도가 증가함에 따라 *A. catenella* 성장도 증가하였으나 $150 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 이상의 광도에서는 *A. catenella* 성장이 일정하게 유지하였다. 온도는 $15 \sim 25^\circ\text{C}$ 에서 성장하였고 20°C 에서 가장 잘 성장하였다. *A. catenella*는 25 PSU까지는 염분이 증가함에 따라 성장률도 증가하였으나 그 이상의 염분 농도에서는 성장이 일정하거나 감소하였다. 본 연구를 통한 *A. catenella* 최적 성장조건은 $150 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 30 PSU, 20°C 에서 가장 높은 성장률 $k=0.45 \text{ d}^{-1}$ 을 나타내었다. 최적 성장조건에서 셀레니움과 철의 다양한 농도에 따라 *A. catenella* 성장특성을 조사하였는데 철농도는 $11.7 \mu\text{M}$ 에서 최대값을 나타내었고 ($k=0.48 \text{ d}^{-1}$), $11.7 \mu\text{M}$ 보다 낮은 농도에서는 철농도가 감소할수록 *A. catenella*

성장률도 감소하였다. *A. catenella*는 $10^{-3} \sim 0.1 \mu\text{M}$ 셀레니움 농도에서 *A. catenella* 세포밀도가 증가하고 대수성장기 후반 (the end of exponential phase)이 길어짐을 관찰하였다.

사 사

본 연구는 한국해양연구원 (KORDI)의 태안해양목장 화사업 (PM-330-02) 연구비 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김창훈, 김충재, 박철민. 1999. 한국연안에 출현하는 마비성 폐독 생산조류. 인제대 적조연구단 특별 심포지움 발표논문집. 54pp.
- 이삼근, 박주석, 김학균. 1993. 한국남해 연안해역에서 출현하는 유독편모조류의 분류. 수산진흥원연구보고. 48:1-23.
- 전중균, 野口玉雄, 黃登福, 荒川修, 長島裕二, 橋本周久, 허형택. 1987. 담치류의 유독 성분에 관한 연구. 한국해양학회지. 22:271-278.
- 전중균, 한명수. 1998. 1996년과 1997년의 거제연안 자연산 홍합의 독화양상과 마비성폐독 (PSP)의 모니터링. 한국수산학회지. 31:817-822.
- 전중균, 한명수, 박영제, 윤문영. 1998. 강릉 연안산 참가리비의 PSP 독화 및 독조성. 한국수산학회지. 31:813-816.
- 한명수, 유광일. 1983a. 진해만의 쌍편모조류에 관한 연구. I: 유각류와 무각류. 한국해양연구소보. 5:37-4
- 한명수, 유광일. 1983b. 진해만의 쌍편모조류에 관한 연구. II: 페리디니움목. 한국해양연구소보. 5:49-67.
- Anderson DM, DM Kulis, JJ Sullivan and C Lee. 1993. Dynamics and Physiology of saxitoxin production of the dinoflagellates *Alexandrium* spp. Mar. Biol. 104:511-524.
- Anderson MA and FMM Morel. 1980. Uptake of Fe by a diatom in oxic culture medium. Mar. Biol. Lett. 1:263-268.
- Boyer GL and LE Brand. 1998. Trace elements and harmful algal blooms. In Physiological Ecology of harmful Algal Blooms (Anderson DM, AD Cembella and GM Hallegraeff eds.). Nato-Advanced Study Institute Series, V. 41. Springer-Verlag, Heidelberg. 489pp.
- Boyer GL, JJ Sullivan, RJ Anderson, PJ Harrison and FJR Tayler. 1985. Toxin production in three isolates of *Prptogonyaulax* spp. In Toxic Dinoflagellate. Proceeding of the Third international Conference on Toxic Dinoflagellate. Elsevier, New York. 281pp.
- Boyer GL, JJ Sullivan, RJ Anderson, PJ Harrison and FJR

- Taylor. 1987. Effects of nutrient limitation on toxin production and composition in marine dinoflagellate *Protogonyaulax tamarensis*. Mar. Biol. 96:123-128.
- Brand LE, WG Sunda and RRL Guillard. 1983. Limitation of phytoplankton reproductive rates by zinc, manganese and iron. Limnol. Oceanogr. 28:1182-1198.
- Choi K-J, C-H Ha, M-S Han, K-T Kim, H-O Lee and M-Y Yoon. 1999. Identification and characterization of Nitrate reductase in a marine dinoflagellate, *Alexandrium tamarensis*. Algae 14:189-194.
- Chung HK and IJ Hodgkiss. 1993. Characteristics of red tides caused by *Alexandrium catenella* Balech in Hong Kong. In Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea. Elsevier, Amsterdam. 263pp.
- Doblin MA, SI Blackburn and GM Hallegraeff. 1999a. Comparative study on selenium requirements of three phytoplankton species: *Gymnodinium catenatum*, *Alexandrium minutum* (Dinophyta) and *Chaetoceros* cf. *tenuissimus* (Bacillariophyta). J. Plankton Res. 21:1153-1169.
- Doblin MA, SI Blackburn and GM Hallegraeff. 1999b. Growth of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* (Graham): interaction of humic substances with selenium and other nutrients. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 236:33-47.
- Doblin MA, SI Blackburn and GM Hallegraeff. 2000. Intraspecific variation in the selenium requirement of different geographic strains of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*. J. Plankton Res. 22:421-432.2000.
- Guillard RRL. 1979. Division rate. In Stein JR (ed). Handbook of phycological methods. Cambridge University Press. 289pp.
- Guillard RRL and JH Ryther. 1962. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. Can. J. Microbiol. 8:229-239.
- Han M-S, J-K Jeon and Y-O Kim. 1992. Occurrence of dinoflagellate *Alexandrium tamarensis*, A causative organism of paralytic shellfish poisoning in Chinhae Bay, Korea. J. Plankton Res. 14:1581-1592.
- Han M-S, J-K Jeon and Y-O Kim. 1993. Distribution and toxin profiles of *Alexandrium tamarensis* (Lebour) Balech (dinoflagellate) in the southeastern coastal waters, Korea. J. Phycol. Kor. 8:7-13.
- Han M-S, Y-O Kim and J-K Jeon. 1994. Changes in phytoplankton community structure in the two different hydrological conditions of semi-enclosed Chinhae Bay, Korea. Bull. Plankton Soc. Jpn. 41:43-55.
- Hudson RJM and FMM Morel. 1993. Trace metal transport by marine microorganisms: Implications of metal coordination kinetics. Deep-Sea Res. I. 40:129-150.
- Imai I, S Itakura, Y Matsuyama and M Yamaguchi. 1996. Selenium requirement for growth of a novel red tide flagellate *Chattonella verruculosa* (Raphidophyceae) in culture. Fish. Sci. 62:834-835.
- Jeon JK, M-S Han and H-O Lee. 1996. Paralytic shellfish toxins in the mussels and *Alexandrium tamarensis* (dinoflagellate) at Gamraepo, Korea in 1989. In Harmful and Toxic Algal Blooms, UNESCO, Paris. 57pp.
- John EH and KL Flynn. 2000. Growth dynamics and toxicity of *Alexandrium fundyense* (Dinophyceae): the effect of changing N : P supply on internal toxin and nutrient levels. Eur. J. Phycol. 35:11-23.
- Kim C-H and J-S Lee. 1996. Occurrence of toxic dinoflagellates and PSP toxin profiles in *Alexandrium* spp. from Chinhae Bay, Korea. In Harmful and Toxic Algal Blooms (Yasumoto T, Y Oshima and Y Fukuyo eds.). UNESCO, Paris. 61pp.
- Ogata T, M Kodama and T Ishimaru. 1989. Effect of water temperature and light intensity on growth rate and toxin production in toxic dinoflagellate. In Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology. Elsevier, New York. 423pp.
- Ouchi A. 1982. Simulation of red tide by means of multiple regression and Fourier analysis. Bull. Jpn Soc. Sci. Fish. 52:203-207.
- Parkhill JP and AD Cembella. 1999. Effects salinity, light and inorganic nitrogen on growth and toxigenicity of the marine dinoflagellate *Alexandrium tamarensis* from Northeastern Canada. J. Plankton Res. 21:939-955.
- Pintner I and L Provasoli. 1968. Heterotrophy in subdued light of 3 *Chroococcoides* species. Bull. Misaki Mar. Biol. Inst. Kyoto Univ. 12:25-31.
- Prakash A. 1967. Growth and toxicity of a marine dinoflagellate *Gonyaulax tamarensis*. J. Fish. Res. Board Can. Bull. 24:1589-1606.
- Prakash A, JC Medcof and AD Tennant. 1971. Paralytic shellfish poisoning in eastern Canada. J. Fish. Res. Board Can. Bull. 177, 87pp.
- Price NM, PA Thompson and PJ Harrison. 1987. Selenium: an essential element for growth of the coastal marine diatom *Thalassiosira Pseudonana*. Plant. Physiol. 86: 192-199.
- Sommer H and KF Meyer. 1937. Paralytic shellfish poisoning. Arch. Path. 24:560-598.
- Steidinger KA. 1983. A re-evaluation of toxic dinoflagellate biology and ecology. Progr. Phycol. Res. 2:147-188.
- Siu GKY, MLC Young and DKO Chan. 1997. Environmental and nutritional factors which regulate population dynamics and toxin production in the dinoflagellate *Alexandrium catenella*. Hydrobiologia 352:117-140.
- Taylor FJR. 1984. Toxic dinoflagellates: taxonomic and biogeographic aspects with emphasis on *Protogonyaulax*. In Seafood toxins. Am. Chem. Soc. Symposium Ser. 262:77-97.

Watras CJ, SW Chisholm and DM Anderson. 1982. Regulation of growth in an estuarine clone of *Gonyaulax tamarensis* Lebour: salinity-dependent temperature responses. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 62:25-37.

Wheeler AE, RA Zingaro, K Irgolic and NR Bottino. 1982. The effect of selenate, selenite and sulphate on the growth of six unicellular green algae. J. Exp. Mar. Biol. 57:181-194.

Wrench JJ and CI Measure. 1982. Temporal variations in dissolved selenium in a coastal ecosystem. Nature 299:431-433.

Manuscript Received: December 15, 2005

Revision Accepted: February 23, 2006

Responsible Editorial Member: Yeo, Hwan-Goo
(Hanseu Univ.)