연안내만해역에서 우점하는 주요적조생물의 성장과 세포체적의 관계

백 승 호*·주 혜 미 한국해양연구원 남해특성연구부

Relationships between Cell Bio-volume and Growth Rate of Dominant Red Tide Organisms in the Coastal Water

Seung Ho Baek* and Hae Mi Joo

South Sea Environment Research Department, Korea Ocean Research and Development Institute

Abstract – To understand growth characteristics of eight dominant red tide species (*Prorocentrum minimum*, *Heterocapsa triquetra*, *Scrippsiella trochoidea*, *Akashiwo sanguinea*, *Chattonella marina*, *Heterosigma akashiwo*, *Amphidinium carterae* and *Rhodomonas salina*) in the Korean coastal water, the growth rates were examined in relation with the impacts of water temperature and bio-volume. Of these, *P. minimum*, *C. marina*, *H. akashiwo*, *A. carterae* and *R. salina* were eurythermal species with relatively high growth rates in a borad ranges (15 to 25° C) of water temperature. On the other hand, the growth rate of *H. triquetra*, *S. trochoidea* and *A. sanguinea* were high in relatively mid temperature (optimum: 25° C) condition. In particular, *H. triquetra* was well adapted in low temperature of 5 to 15° C, implying that the species can survive and grows even at very low temperature. Based on results of our experiment, the growth characterestics of five eurythermal species and three mid temperature species may have dominated in Korean coastal water during summer season and fall season, respectively. Contrastively, the growth characteristics of *H. triquetra* make a consistently dominant during the cold winter season. In addition, the growth rates of large bio- volume species were lower than those of small bio-volume species, indicates that growth of single cells of several flagellates might be depended on the cells sizes.

Key words : Harmful algal bloom species, Temperature, Chl.a, Cell bio-volume

서 론

한국 연안의 적조발생은 1970년대에는 연간 10건 내 외였으나, 1980년대에는 연간 30여건 이상으로 급격히 증가하였다(김 2005). 1990년대 이후에는 적조발생건수 는 물론 발생해역의 광범위화로 매년 수십억원 이상의 피해를 입혔다(김 2005; 이 등 2005). 유독성 식물플랑크 톤은 해수의 수색을 변화시키지 않은 낮은 개체수 밀도 에서도 어패류를 독화시킬 수 있다. 반면 독성을 생성하 지 않는 일부 식물플랑크톤은 고밀도로 발생하여 어패 류의 질식사와 2차적인 빈산소수괴 형성 등 해양생태계 에 막대한 피해를 입히는 것은 물론 수상레저활동에도 부정적인 영향을 미치고 있다(임 등 1993; 김 2005).

식물플랑크톤의 이상 증식에 영향을 주는 대표적인 환 경요인은 수온, 염분, 광 조건 및 해수유동 등의 물리·

^{*} Corresponding author: Seung Ho Baek, Tel. 055-639-8513,

Fax. 055-639-8509, E-mail. baeksh@kordi.re.kr

광학적 요인 등이 있다. 또한, 적조생물의 대증식은 그들 의 생활사에서 씨앗종의 가입에 중요한 역할을 미치는 휴면포자의 형성여부와 발아특성 등과 같은 생물자체의 종 특유의 생리학적 특성과 더불어, 상위 생물에 의한 포 식, 그리고 영양염 농도 등과 같은 화학적 요인 등이 복 잡하게 얽혀 있다. 그 중에서도 수온은 식물플랑크톤의 효소활성에 영향을 주어서 성장율을 변화시키고(유 등 2002; 노 등 2010; 오 등 2010), 종에 따라 세포의 형태변 형과 더불어 시스트(cyst) 형성 및 발아에도 직접적으로 영향을 미친다. 또한 수온은 식물플랑크톤의 계절적 종 천이 및 생존전략에 있어 중요한 요인으로 보고되고 있 다(Imai and Itoh 1987; 노 등 2010; 오 등 2010). 해양식 물플랑크톤은 종 특이적으로 증식에 적합한 최적온도를 가지고 있으며, 이것은 적조와 같은 특정종의 우점현상 과 대발생에 중요한 영향을 미칠 수 있다(양 등 1999; 김 2005). 결과적으로 연안 내만에 상습적으로 적조를 유 발시키는 종을 대상으로 생리 · 생태학적 특성을 파악하 는 것은 각각의 종에 대한 적조발생 시기를 예측하는데 유용하게 활용된다.

지금까지 적조 형성 미세조류의 종별 생리·생태에 관한 연구는 많이 수행되어 왔으나(임 등 1993; 이 등 2001; 노 등 2006), 대다수는 현장 조사를 통한 적조생물 종의 분포(이 등 2005) 및 환경인자간의 해석 등으로 적 조발생기작을 설명하려고 하였다(임 등 1993; 이 등 2005; 노 등 2006; 노 등 2010). 또한 적조생물을 분리배 양하여 실험실에서 그들의 최적환경조건을 찾는 것은 현장에서 대발생기작을 유추하는데 많은 도움이 된다. 하지만, 실질적으로 우리나라에서는 심각한 수산피해를 입힌 특정종 Cochlodinium polykrikoides에 관해서는 많은 연구가 진행되어왔으나, 다른 대다수의 적조생물에 관해 서는 극히 간헐적으로 연구가 수행되었을 뿐이다(노 등 2006; 노 등 2010; 오 등 2010). 따라서, 본 연구에서는 한 국연안 내만에서 우점하면서 상습적으로 적조를 유발하 는 8종의 편모류 (Prorocentrum minimum, Heterocapsa triquetra, Scrippsiella trochoidea, Akashiwo sanguinea, Chattonella marina, Heterosigma akashiwo, Amphidinium carterae, Rhodomonas salina)를 대상으로 수온 변화에 따 른 그들의 성장특성과 최적의 성장 조건에서 세포체적을 산출하여 성장율과의 관계를 검토하였다.

재료 및 방법

한국해양연구원(KORDI) 남해분원 seedbank에서 배양 하고 있는 적조생물 6종과 부경대학교 미세조류은행에 서 분양받은 A. carterae와 R. salina를 이용하였다. 실험 용 배지는 규산염이 제외된 f/2 배지를 사용하였으며, 은 도조건은 5°C 간격으로 5~25°C 범위내에서 진행되었다. 적조생물 배양실험은 대한해협 해수를 pore size가 0.2 µm membrane filter를 이용하여 여과한 후, 고압멸균 기(15 min, 121°C)로 멸균하여 사용하였다. 배양튜브는 ø22 mm × 200 mm (PYREX®)을 이용하였고, 배양기는 multi-incubator (Wise Cube)를 이용하였고, 배양기는 multi-incubator (Wise Cube)를 이용하였다. 본 실험에서 대상종이 성장을 하는데 있어 영양염농도가 제한 인자로 작용 하는 것을 배제하기 위해서 과영양(enrich nutrient; f/2 medium) 상태에서 실험을 실시하였으며, 염분 30 psu, 광량 60 µmol m⁻² s⁻¹, 광주기 (photo period) 12L:12D로 수행하였다.

각 생물의 초기 접종밀도는 세포체적을 고려하여 세 포크기에 따라 접종밀도를 약간씩 달리하였다. 세포체적 이 작은 A. carterae와 R. salina는 2,000 cells mL⁻¹로 하 였고, 세포의 크기가 비교적 큰 A. sanguinea와 Chattonella marina는 100 cells mL⁻¹, S. trochoidea는 200 cells mL⁻¹, 그 밖의 종은 500 cells mL⁻¹로 하였다. 실험은 반 복구(duplicate)를 두어 수행하였으며, 성장속도와 성장곡 선은 두 값의 평균으로 나타내었다. 모든 실험은 14일 동 안 형광측정기(Turner Designs 10-AU Fluorometer)를 이용 하여 2일 간격으로 형광값(FSU; fluorescence unit)을 측 정하였고, 배양 종료 시점에서 모든 온도조건에서 Chl.a 농도(yield Chl.a)를 측정하였다.

성장율(Specific growth rate, SGR)은 세포의 최초 접종 일로부터 세포밀도가 정체기에 도달했을 때까지의 세포 밀도를 계산하여 아래의 식에 대입시켜 구하였다.

 $\mu^2 = (\log_2 N_2 - \log_2 N_0)/T$

여기서, T: 배양일수, No: 실험초기세포밀도의 FSU 값,

volume		
Species	Simulated shape	Vilume (V) model
Prorocentrum minimum	Sphere Cross section	$V = \frac{\pi}{6} \cdot a^3$
Scripsiella trochoidea Akashiwo sanguinea Heterosigma akashiwo Amphidinium carterae Rhodomonas salina Heterocapsa triquetra	Cone+half Cross section sphere transpical section	$V = \frac{\pi}{4} \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{b}^2$
Chattonella marina	Prolate spheroid Cross section b a b b a a	$V = \frac{\pi}{6} \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{b}^2$

 Table 1. Geometric shapes and equations for the calculation of biovolume

N₁: 실험종료시 세포밀도의 FSU 값으로 나타내었다.

Chl.a 농도는 각 종별로 최대밀도에 도달하였을 때, GF/F필터(Ø25 mm Whatman glass fiber filters)로 여과하 였다. 여과지는 90% 아세톤에 넣고 24시간 냉암소에서 엽록소를 추출한 후 형광측정기(Turner Designs 10-AU Fluorometer)로 분석하였다.

세포체적은 각 생물이 최대성장을 하는 온도조건의 실 험군에서 각 세포의 폭과 길이를 측정하여 평균값을 얻 었다(n=30). 각 세포의 체적을 구하는 방법은 Table 1에 나타내었고, 관련식은 Sun and Liu (2003)에서 제시한 방 법을 이용하였다.

결과 및 고찰

우리나라의 적조발생은 1990년대 이후부터 규조류보다 는 편모조류에 의한 발생빈도가 점차적으로 높아지고 있 으며(김 2005; 이 등 2005), 본 연구 대상종 *P. minimum*, *H. triquetra*, *S. trochoidea*, *A. sanguinea*, *Chattonella marina*, *H. akashiwo*, *A. carterae*, *R. salina*은 남·동해 연안내 만에서 빈번하게 출현하고, 때때로 높은 밀도를 유지하 는 잠재적 위해종으로 구분될 수 있다(Kim *et al.* 1996; 김 2005).

P. minimum은 5℃를 제외한 모든 실험구에서 성장하 였고, 20℃ 이상의 조건에서 0.54~0.58d⁻¹의 높은 성장 율을 보였다. 또한 최대성장율(µmax)은 25℃ 조건에서 관 찰되었다. 본 종은 전반적으로 저수온에서 고수온으로 갈수록 성장율이 증가하는 것으로 보아 고온성 종의 특 징을 갖는 것으로 판단된다(Figs. 1a and 2). P. minimum은 전세계적으로 널리 분포하는 종으로, 국외에서는 미국과 일본, 멕시코만, 지중해 등에서, 우리나라에서는 진해만, 제주도 근해, 통영항 등에서 때때로 적조가 관찰되었다 (심 1994; Grzebyk and Berland 1996; 김 2005; Heil et al. 2005; Tango et al. 2005). 또한 P. minimum은 주로 영양염 농도가 매우 높은 부영양화 해역에서 주로 적조가 관찰 되었고, 고수온기에 적조를 자주 형성하는 경향이 강하다 (Grzebyk and Berland 1996; Fan et al. 2003). 본 실험에서 도 P. minimum은 저수온 조건보다는 20℃ 이상의 고수 온 조건에서 비교적 빠르게 증식하였으며, 이는 Grzebyk and Berland (1996)가 언급한 P. minimum의 최적 수온 (18~26.5°℃)의 연구결과와 비교적 잘 일치하였다.

*H. triquetra*의 수온 범위에 따른 성장율은 0.14~ 0.38d⁻¹이며, 조사대상종 중 유일하게 5°C의 낮은 수온 조건에서 일정의 성장율이 관찰되었다(Figs. 1b and 2). 최 대성장율은 20°C에서 관찰되었고, 25°C에서는 성장이 둔 화되어 15℃ 조건보다 더 낮은 성장율이 관찰되었다. H. triquetra는 연안역, 하구역, 기수역에 분포하는 광염성 연 안종으로 우리나라에서는 주로 동계의 저수온 조건에서 높은 밀도를 보였다(김 2005; 이와 한 2007; Baek et al. 2011). 최근 Baek et al. (2011)의 보고에 의하면, 시화호에 서 H. triquetra의 대발생은 결빙된 수주(water column) 환 경의 극히 낮은 수온에서 관찰되는 특이한 양상을 보였 다. 본 연구에서 제시한 5°C의 성장율로 그들의 대발생 기작을 이해할 수 없는 부분이지만, 낮은 수온에서 충분 하게 성장할 수 있는 잠재력이 높은 종으로 판단된다. 또한 이 등(2005)의 연구 결과에 따르면, 우리나라에서 H. triquetra 적조는 수온이 17°C 이하인 1~5월 사이에 빈번하게 대발생 하였으며, 특히 10°C 내외의 저수온기 인 3월에 적조 발생빈도가 높다고 보고하였다. 본 실험 에서도 H. triquetra는 실험대상종 중 유일하게 모든 수 온조건에서 성장이 관찰되었으며, 특히 저수온 조건인 5°C와 10°C의 배양 최종일 Chl.a 농도는 각각 10.50 μg L⁻¹과 27.36 µg L⁻¹으로 관찰되었으며 (Table 2), 이 값은 25℃ 조건 (13.99µg L⁻¹) 보다 유사하거나 높은 농도를 보 여 저온성 종의 증식특성을 보이는 것으로 판단되었다.

S. trochoidea의 성장율은 모든 수온조건에서 -0.25 (5°C)에서 0.59 d⁻¹ (20°C)로 변동하였으며, 실험기간 동 안 P. minimum과 H. triquetra보다 낮은 생물량(Chl.a 농 도)을 보였다(Figs. 1c and 2). S. trochoidea의 Chl.a 농도 는 20°C에서 가장 높았으며, 음(-)의 성장을 보인 5℃ 와 10°C 조건에서 각각 0과 1.79 µg L⁻¹로 낮게 관찰되 었다. S. trochoidea는 영국, 아라비아, 일본, 중국, 인도양 에서 분포를 하며(Wall et al. 1970; Adachi 1972; Qin et al. 1997), 우리나라에서는 춘계 진해만에서 적조를 일으 키는 종으로 보고되었다(임 등 1993; Kim and Han 2000). 본 실험에서 S. trochoidea는 20℃ 수온 조건에서만 높은 성장률을 보였고, 저수온 조건인 5°C와 10°C에서는 거 의 성장이 관찰되지 않았다. 이는 이 등(2005)이 보고한 S. trochoidea는 광온성 종으로 넓은 수온 범위에서 출현 하며, 최적수온은 20℃ 이상의 고수온기인 7~9월 사이 에만 적조를 형성한다는 결과와는 조금 다른 성장특성 을 보였다. 하지만 임 등(1993)이 보고한 춘계 적조를 형성하며, 20℃ 전후의 수온조건에서 빠른 증식속도를 보인다는 결과와 일부분 일치하였다.

A. sanguinea의 성장율은 최저 -0.5 d⁻¹에서 최고치 0.54 d⁻¹의 범위로 관찰되었으며, 20°C에서 최대 성장률 을 보였다. 전반적으로 저수온 조건에서는 성장을 하지 못하였고, 15°C와 20°C 구간에서 성장이 비교적 빠른 것 으로 나타났다(Figs. 1d and 2). A. sanguinea는 주로 온대 역에서 열대역의 연안까지 분포 범위가 넓으며, 우리나



Fig. 1. Changes in the growth curves of eight red tide oraganisms at a salinity of 30 under a 12L: 12D (light: dark) cycle and 60 μmol m⁻² s⁻¹ for a 2-days interval under different temperature conditions. (a) *Prorocentrum minimum*, (b) *Heterocapsa triquetra*, (c) *Scripsiella trochiodea*, (d) *Akashiwo sanguinea*, (e) *Chattonella marina*, (f) *Heterosigma akashiwo*, (g) *Amphidinium carterae*, (h) *Rhodomonas salina*.

라 연안의 모든 해역에서 출현을 한다(Bockstahler and Coats 1993; Botes *et al.* 2000; Wu *et al.* 2000; 김 2005). 이 종의 적조 발생은 춘계에서 추계에 이르는 기간이며, 담

수 유입에 따른 영양염 공급, 수괴 안정 및 광도가 높을 경우 적조를 형성하는 종으로 보고되었다(Robichaux *et al.* 1998). 본 실험에서도 이 종은 15~25℃ 구간에서 높



Fig. 2. Changes in the growth rates of eight red tide oraganisms at a salinity of 30 under a 12L: 12D (light: dark) cycle and 60 µmol m⁻² s⁻¹.

은 성장율을 보였으며, 20°C에서 최대 성장율을 보여, 춘계나 추계의 담수 유입이 많은 연안역에서 적조가 발 생할 가능성이 높을 것으로 판단된다. 특히 A. sanguinea 는 H. triquetra과 같이 수온이 낮은 환경에서도 적응능 이 우수하며 (Matsubara et al. 2007), 때때로 동계 낮은 수온 (5~10℃)에서도 적조를 발생하는 것으로 나타났 다(백 미공개 자료). 본 연구에서 A. sanguinea는 5°C와 10°C의 낮은 수온에서도 유영세포가 존재하였으나, 세 포분열을 하지않아 성장율이 관찰되지 않았다. 이와 같 은 낮은 성장율로 현장의 저수온 조건에서 대발생한 그 들의 대발생기작을 설명하기는 많은 한계가 있다. 하지 만, 실험실에서 낮은 수온에서 생존하고 있었다는 것은 낮은 수온의 적응능이 다른 적조생물보다 우수하다는 것을 간접적으로 시사할 수 있다. 아울러 동계의 적조는 생물자체의 성장율보다는 실험실에서 재현할 수 없는 조류와 조석의 차이에 의한 집적과 확산의 영향이 보다 높을 것으로 사료된다.

C. marina는 가장 고수온 조건인 25°C에서 최대 성장 율을 보였으며, 15°C 이하의 수온조건에서 잘 성장하지 않았다(Figs. 1e and 2). C. marina는 열대, 아열대 및 온대 해역에 출현하여 대발생시 수산자원생물의 집단 폐사를 야기하는 대표적인 유해적조생물로(Imai et al. 1987, 1998; Barraza-Guardado et al. 1995; Vrieling et al. 1987, 1998; Barraza-Guardado et al. 1995; Vrieling et al. 1995; Zhang et al. 2006), 최근 우리나라에서도 출현하고 있으나, 피혜 사례는 보고되지 않았다(국립수산과학원 2005, 2007, 2008; 노 등 2010). 우리나라에서 Chattonella속은 서남 해역의 가막만, 장흥, 완도 및 고흥 연안등지에서 약 23~ 30.5°C 사이의 고수온에서 대발생이 일어났으며(국립수 산과학원 2007, 2008), 이는 25°C의 고수온 조건에서 최



Fig. 3. Bio volume of single cells of several flagellate taxa dominant in the Korean coastal water. The eauations of bio volume was proposed by Sun and Liu (2003).

대 성장률을 보인 본 실험 결과와 잘 일치하였다.

H. akashiwo는 전세계적으로 적조를 일으키며 연안내 만의 부영양화가 심한 온난해역에서 수산피해가 보고되 고 있다(Watanabe and Nakamura 1984; Hosaka 1992; 이 등 2005). H. akashiwo는 -0.3 d⁻¹에서 0.72 d⁻¹의 성장율 을 보였으며, 25°C 조건에서 본 연구 대상종 중 가장 빠 른 성장율을 보였다(Figs. 1f and 3). 우리나라에서 본 종 의 적조발생 해역은 주로 반폐쇄성 내만해역인 진해만 에서 현저하게 나타났다(이와 한 2007). 이 등(2005)의 배양시험에 의하면, 16~18°C에서 높은 성장율을 보였 고, 이는 본 연구결과와도 비슷하였고, 이러한 결과는 우

Table 2. Variation	on of yield Chl.a	a concentration	for each	species in
differer	nt temperature co	ondition of cult	ure final	day (Chl.a
unit: µg	$z L^{-1}$)			

	Temperature				
Species	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C
Prorocentrum minimum	1.58	5.44	86.34	198.26	206.26
Heterocapsa triquetra	10.50	27.36	123.91	230.24	13.99
Scripsiella trochoidea	0.00	1.79	25.76	138.30	60.36
Akashiwo sanguinea	0.00	2.15	73.95	99.13	50.36
Chattonella marina	0.00	1.37	15.74	361.35	810.63
Heterosigma akashiwo	0.00	11.03	402.12	663.54	997.70
Amphidinium carterae	0.17	0.38	42.77	270.21	571.60
Rhodomonas salina	0.53	4.54	60.96	229.44	277.41

리나라의 적조발생시기의 연안수온과 잘 일치하였다. 또 한 Watanabe and Nakamura (1984) 및 Yan *et al.* (2002)등 이 보고한 최적수온범위 (15~20°C)와도 유사하였다. 결 과적으로 본 종의 생리적 특성은 6~7월 (마산만 평균수 온 20~25°C)의 장마기간 동안 강우에 의해 육상으로부 터 풍부한 영양염류의 유입이 빈번하게 일어나는 반폐 쇄적인 내만수역에서 빈번한 적조가 발생되는 것과도 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다(이와 한 2007).

A. carterae와 R. salina는 각각 -0.5~0.56 d⁻¹와 -0.2~ 0.63 d⁻¹의 성장율 범위를 보였으며, 두 종 모두 20°C 이 상의 수온조건에서 비교적 빠르게 성장하는 것으로 나타 났다(Figs. 1g, 1h and 2). A. carterae와 R. salina는 저수 온 조건에서 성장율 및 Chl.a 농도가 가장 낮았고, 수온 이 증가할수록 Chl.a 농도뿐만 아니라 성장율도 높게 나 타났다(Table 2). A. carterae는 세계 각지의 연안해역에 분포하는 것으로 알려져 있다(Klut et al. 1984; Licea et al. 2004). 하지만 우리나라를 비롯하여 적조발생 기록은 거의 없다. 본 종은 모래해변 착색현상의 원인종으로 알 려져 있으나, 연안역의 피해사례가 없어 연구가 거의 진 행되지 않았다(양 등 1999). R. salina도 마찬가지로 범 세계적으로 분포하고 있으나, 적조를 형성하지 않고 피 해사례가 없어 연구가 미흡한 실정이다. 본 종은 은편모 조류(Cryptophyceae)로서 한대해역에서도 출현하여 북 해 (North Sea)에서는 춘계에 대발생하고 온대 및 고위도 해역의 해수와 담수에서도 성장한다고 알려져 있다(김 2005). 우리나라에서는 아직 이 종에 대해서 많은 연구가 이루어지지 않았지만(김 2005), Hammer et al. (2002)의 연구결과에 따르면 R. salina는 5℃에서는 성장하지 않 으나 10~15°C에서는 낮은 성장율을, 20°C에서 최적의 성장율을 보였다. 본 실험에서도 R. salina는 5℃에서 성 장하지 않았으며, 10~15℃에서는 낮은 성장률을 보인 반면, 20~25℃에서 높은 성장율을 보여 선행연구결과와 비교적 잘 일치하였다.



Fig. 4. Relationships between growth rate and bio-volume in the laboratory experiments. *Pm: Prorocentrum minimum, Ht: Heterocapsa triquetra, St: Scripsiella trochiodea, As: Akashiwo sanguinea, Cm: Chattonella marina, Ha: Heterosigma akashiwo, Ac: Amphidinium carterae* and *Rs: Rhodomonas salina.*

실험 대상종들의 세포 체적을 보면, A. sanguinea 22606 ±1937μm³으로 타 대상종들에 비해 월등히 컸으며, S. *trochoidea* ($2186 \pm 262 \,\mu m^3$), *C. marina* ($1762 \pm 376 \,\mu m^3$), *P. minimum* (701 \pm 104 μ m³), *H. akashiwo* (319 \pm 101 μ m³), *H. triquetra* $(279 \pm 144 \,\mu\text{m}^3)$, *A. carterae* $(218 \pm 17 \,\mu\text{m}^3)$, *R.* salina (51±10 μm³) 순으로 나타났다(Fig. 3). 가장 세포 체적이 컸던 A. sanguinea는 두 번째로 체적이 컸던 S. trochoidea보다 약 10배, 가장 작았던 R. salina보다는 약 430배 정도 큰 세포체적을 가졌다. 실험한 8종을 대상으 로 세포체적과 성장율과의 관계를 살펴본 결과 세포의 사이즈가 작을수록 성장율이 높아지는 경향을 관찰 할 수 있었다(Fig. 4). 아울러 H. akashiwo와 같이 세포사이 즈가 작은 무각 식물플랑크톤이 유각종(H. triquetra)보 다 성장율이 조금 빠른 것으로 나타났다. 같은 무각종이 지만 세포체적 (H. akashiwo < C. marina < A. sanguinea) 이 크면 성장율(H. akashiwo>C. marina>A. sanguinea)이 낮은 경향을 관찰 할 수 있었다. 또한 같은 유각종중에 서도 세포체적과 성장율의 관계가 무각종과 유사한 경향 을 관찰할 수 있었다(세포체적: R. salina < H. triquetra < P. minimum < S. trochoidea, 성장율: R. salina > H. triquetra > P. minimum > S. trochoidea). 결과적으로 세포가 분열하여 성장하는 과정은 세포내의 신진대사과정과 연 관성이 있고(Rivkin 1989), 사이즈가 작고 각을 형성하는 않는 종이 보다 빠른 증식을 하는 것으로 나타났다. 해

양 식물플랑크톤에서 사이즈와 성장율에 관한 보고 사례 가 극히 제한적이기 때문에 이와 같은 흥미로운 결과가 다른 유사종에서도 나타나는지 신중하게 재검토가 요구 되다.

본 대상종들의 성장 특성을 간단히 정리하면, P. minimum, Chattonella marina, H. akashiwo, A. carterae, R. salina는 10°C 이하의 저수온 조건에서 잘 성장을 하지 못하였고, 수온이 증가할수록 Chl.a 농도가 증가하였다. 반면, H. triquetra는 모든 수온 조건에서 성장이 관찰되 었지만 25°C 조건에서의 낮은 성장율과 생체량(Chl.a)을 나타내 저온성 종의 생리특성을 가졌다. S. trochoidea와 A. sanguinea는 10°C 이하의 저수온 조건과 25°C 이상의 고수온 조건에서 원활한 성장을 하지 못하는 것으로 나 타나 성장 가능한 수온 폭이 극히 좁게 나타났다.

사 사

본 연구는 남해특별관리해역의 관리를 위한 해양생태 계 건강지수 개발의 사업으로 수행되었습니다(PE98745).

참 고 문 헌

- 국립수산과학원. 2005. 2005년도 한국연안의 적조발생 상황. 149pp.
- 국립수산과학원 2007. 2007년도 한국연안의 적조발생 상황. 97pp.
- 국립수산과학원 2008. 2008년도 한국연안의 적조발생 상황. 127pp.
- 김학균. 2005. 해양적조. 다솜출판사. 467pp.
- 노일현, 윤양호, 김대일, 오석진, 김종덕. 2010. 한국 남해에서 분리한 유해 침편모조류 *Chattonella ovata* Yvatea et Chihara의 수온, 염분 및 광량에 대한 성장특성. 한국해양학 회지「바다」15:140-147.
- 노일현, 윤양호, 김대일, 오석진. 2006. 가막만에서 분리한 유 해성 침편모조류 *Chattonella marina* (Subrahmanyn) Hara et Chihara (Raphidophyceae)의 성장에 미치는 수온, 염분 및 빛의 영향. 한국수산과학회지. 39:487-494.
- 심재형. 1994. 한국동식물도감 제34권 식물편(해양식물플랑 크톤). 교육부.
- 양한섭, 김창훈, 강주찬, 김무상. 1999. 적조의 과학. 경상대학 교 출판부. 68-85pp.
- 오석진, 김창훈, 권형규, 양한섭. 2010. 2008년 한국 남해안에 서 분리한 유해 와편모조류 *Cochlodinium polykrikoides* Margelef의 성장에 미치는 수온, 염분 그리고 광조건의 영향. 한국수산과학회지. 43:715-722.
- 유영두, 정해진, 심재형, 박재연, 이경재, 이원호, 권효근, 배세

진, 박종규.2002. 전북 새만금 남쪽 해역의 유해성 적조 발생연구 1.1999년도 여름-가을 식물플랑크톤의 시공 간적 변화.한국해양학회지「바다」7:129-139.

- 이창규, 김형철, 이삼근, 정창수, 김학균, 임월애. 2001. 남해안 연안에서 적조생물, Cochlodinium polykrikoides, Gyrodinium impudicum, Gymnodinium catenatum의 출현상황과 온도, 염분, 조도 및 영양염류에 따른 성장특성. J. Korean Fish. Soc. 34:536-544.
- 이창규, 이옥희, 이삼근. 2005. 한국연안에서 분리한 적조형 성 미세조류 10종의 성장에 미치는 온도, 염분, 광도의 영향. 한국해양학회지 「바다」 10:79-91.
- 임월애, 김학균, 이원재, 이삼석. 1993. 적조와편모조 Scrippsiella trochoidea 군증식에 미치는 환경요인과 지방산 조성. Bull. Korean. Fish. Soc. 26:198-203.
- Adachi R. 1972. A toxonomical study of the red tide organisms. J. Fac. Fish. Pref. Uni. Mie-Tsu. 9:9-145.
- Baek SH, JS Ki, T Katano, K You, BS Park, HH Shin, KS Shin, YO Kim and MS Han. 2011. Dense winter bloom of the dinoflagellate *Heterocapsa triquetra* below the thick surface ice of brackish Lake Shihwa, Korea. Phycological Res. 59: 273-285.
- Barraza-Guardado R, R Cortes-Altamirano and A Siérra-Beltrán. 2004. Marine die-offs from *Chattonella marina* and *Chattonella ovata* in Kun Kaak Bay, Sonora in the Gulf of California. Harmful Algae News 25:7-8.
- Bockstahler KR and DW Coats. 1993. Grazing of the mixotrophic dinoflagellate *Gymnodinium sanguineum* on ciliate population of Chesapeake Bay. Mar. Biol. 116:477-487.
- Botes L, GC Pitcher and PA Cook. 2000. The potential risk of harmful algae to abalone farming the south coast of South Africa. J. Shellfish Res.19:502.
- Fan C, PM Glibert and J Burkholder. 2003. Characterization of the affinity for nitrogen, uptake kinetics, and environmental relationships for *Prorocentrum minimum* in natural blooms and laboratory cultures. Harmful Algae 2:283-299.
- Grzebyk D and B Berland. 1996. Influences of temperature, salinity and irradiance on growth of *Prorocentrum minimum* (Dinophyceae) from the Mediteranean Sea. J. Plankton Res. 18:1827-1849.
- Hammer A, R Schumann and H Schubert. 2002. Light and temperature acclimation of *Rhodomonas salina* (Cryptophyceae): photosynthetic performance. Aqual. Microb. Ecol. 29:287-296.
- Heil CA, PM Glibert and C Fan. 2005. Prorocentrum minimum (Pavillard) Schiller: A review of a harmful algal bloom species of growing worldwide importance. Harmful Algae 4: 449-470.
- Hosaka M. 1992. Growth characteristics of a strain of *Heterosigma akashiwo* HADA isolated from Tokyo Bay, Japan. Bull Plankton Soc. Jpn. 39:49-58.

- Imai I and K Itoh. 1987. Annual life cycle of *Chattonella* spp., causative flagellates of noxious red tides in the Inland Sea of Japan. Mar. Biol. 94:287-292.
- Imai I, M Yamaguchi and M Watanabe. 1998. Ecophysiology, life cycle, and bloom dynamics of Chattonella in the Seto Inland Sea, Japan. pp. 95-112. In Physiological Ecology of Hamful Algal blooms (Anderson, D.M., Cembella and G.M. Hallegraeff eds.). Springer-Verlag, Berlin.
- Kim YO and MS Han. 2000. Seasonal relationships between cyst germination and vegetative population of *Scrippsiella trochoidea* (Dinophyceae). Mar. Ecol. Prog. Ser. 204:111-118.
- Klut ME, NJ Antia and T Blsalputra. 1984. Some properties of a fluoride-resistant mutant of the marine dinoflagellate *Amphidinium carterae*. Phycologia 23:301-310.
- Licea S, EM Zamudio, R Luna and J Soto. 2004. Free-living dinoflagellates in the southern Gulf of Mexico: Report of data (1979-2002). Phycological Res. 52:419-428.
- Matsubara T, S Nagasoe, Y Yamasaki, T Shikata, Y Shimasaki, Y Oshima and T Honjo. 2007. Effects of temperature, salinity, and irradiance on the growth of the dinoflagellate *Aka-shiwo sanguinea*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 342:226-230.
- Qin XM, JZ Zhou and PY Qian. 1997. Effects of Fe and Mn on the growth of a red tide dinoflagellate *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich III. Chinese J. Oceanol. Limnol. 15: 173-180.
- Rivkin RB. 1989. Influence of irradiance and spectral quality on the carbon metabolism of phytoplankton. I. Photosynthesis, chemical composition and growth. Mar. Ecol. Prog. Ser. 55:291-304.
- Robichaux RJ, Q Dortch and JH Wrenn. 1998. Occurrence of *Gymnodinium sanguineum* in Louisiana and Texas coastal waters, 1989-1994. NOAA Technical Report NMFS. 143: 19-26.
- Sun J and D Liu. 2003. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. J. Plankton

Res. 25:1331-1346.

- Tango PJ, R Magnien, W Butler, C Luckett, M Luckenbach, R Lacouture and C Poukish. 2005. Impacts and potential effects due to *Prorocentrum minimum* blooms in Chesapeake Bay. Harmful Algae 4:525-531.
- Vrieling EG, RPT Koeman, K Nagasaki, Y Ishida, L Peperzak, WWC Gieskes and M Veenhuis. 1995. *Chattonella* and *Fibrocapsa* (Raphidophyceae): First observation of potentially harmful red tide organisms in Dutch coastal waters. Netherlands J. Sea Res. 33:183-191.
- Wall D, RRL Guillard, B Dale, E Swift and N Watabe. 1970. Calcitic resting cysts in *Peridinium trochoideum* (Stein) Lemmerann, an autitrophic marine dinoflagellate. Phycologia 9:151-156.
- Watanabe MM and Y Nakamura. 1984. Growth characteristics of a red tide flagellate, *Heterosigma akashiwo* HADA. I. The effect of temperature, salinity, light intensity and pH on growth. Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud. Jpn. 63:51-58.
- Wu Y, C Zhou, Y Zhang, X Pu and W Li. 2000. Evolution and causes of formation of *Gymnodinium sanguineum* bloom in Yantai Sishili Bay. Oceanol. Limnol. Sin. Haiyang. Yu Huzhao. 32:159-167.
- Yan T, M Zhou and P Qian. 2002. Growth of fish-killing red tide species raphidophyte *Heterosigma akashiwo*. Oceanol. Limnol. Sin. Haiyang. Yu Huzhao. 33:209-214.
- Zhang Y, FX Fu, E Whereat, KJ Coyne and DA Hutchins. 2006. Bottom-up controls on a mixed-species HAB assemblage: A comparison of sympatric *Chattonella subsalsa* and *Heterosigma akashiwo* (Raphidophyceae) isolates from the Delaware Inland Bays, U.S.A. Harmful Algae 5:310-320.

Received: 13 December 2011 Revised: 2 February 2012 Revision accepted: 10 February 2012