

해양적조생물제어를 위한 살조물질 Thiazolidinedione 유도체(TD49) 평가

백승호 · 장민철 · 주혜미 · 손문호 · 조 훈¹ · 김영옥*

한국해양연구원 남해특성연구부

¹조선대학교 응용화학소재공학과

Assessment of New Algicide Thiazolidinedione (TD49) for the Control of Marine Red Tide Organisms

SEUNG HO BAEK, MIN-CHUL JANG, MOONHO SON, HAE MI JOO, HOON CHO¹ AND YOUNG OK KIM*

South Sea Environment Research Department, KORDI, Geoje 656-830, Korea

¹Department of Polymer Science & Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

전세계적으로 연안해역에서 확산되고 있는 유해유독성 식물플랑크톤의 대발생은 수산자원생물자원에 심각한 피해를 입힌다. 본 연구에서는 유해성 미세조류 대발생을 제어하기 위해 개발된 신물질 Thiazolidinedione 유도체(TD49)의 살조능을 유해성 미세조류 성장단계(초기성장기, 대수증식기, 안정기)에 따라 조사하였다. TD49는 *Heterosigma akashiwo*, *Chattonella marina* 그리고 *Chattonella* sp.의 세포를 사멸시켰으며, 특히 낮은 농도(0.02 μ M)의 TD49는 대수증식기와 안정기보다 초기 성장기에서 우수한 살조효과를 보였다. 또한 모든 성장단계에서 유해생물을 제어할 수 있는 TD49의 농도는 2 μ M로 측정되었다. 무각 편모조류인 *Heterosigma akashiwo*, *Chattonella marina* 그리고 *Chattonella* sp.은 세포벽이 약하여 TD49물질에 의해 세포가 쉽게 파괴되어 우수한 살조효과를 보였다. 결과적으로 본 연구에서 개발된 Thiazolidinedione 유도체(TD49)는 유해적조생물 *H. akashiwo*, *C. marina* 그리고 *Chattonella* sp.를 제어할 수 있는 우수한 물질로 판단되었으나, 추후 현장 실용을 위해 메소코즘과 같은 인공생태계를 이용한 해양생태계 위해성 평가가 체계적으로 추진되어야 한다.

Worldwide development of harmful algal blooms causes serious problem for public health and fisheries industries. To evaluate the algicidal impact on the harmful algae bloom species in aquatic ecosystems of coast, a new algicide thiazolidinedione derivative (TD49) were tentatively examined in the growth stages (i.e., lag, logarithmic and stationary phase) of rapidophyceae *Heterosigma akashiwo*, *Chattonella marina* and *Chattonella* sp.. Three strains could easily destroy in the lag phase due to relatively weak cell walls than those of the logarithmic and stationary phase. It is thought that inoculation of TD49 substances into initial or developmental natural blooms with a threshold concentration (2 μ M) can maximize the algicidal activity. Also, bio-chemical assays revealed that the algicidal substances from all culture strains were likely to be extracellular substances because those cells have easily destroyed in cell walls. On the other hand, natural zooplankton communities were influenced within the exposure experiments of 2 μ M, which is showed the maximum algicidal activity of tested organisms. These results indicate that although the TD49 substance is potential agents for the control of *H. akashiwo*, *C. marina* and *Chattonella* sp. in the enclosed eutrophic bay and coastal water, more detailed research of acute toxicity effect on high trophic organism in marine ecosystems need to be conducted.

Key words: *Heterosigma akashiwo*, *Chattonella* genus, Algicidal effect, Thiazolidinedione, Ecosystem

서 론

도시에 인접한 대부분의 연안해역은 각종 오염물질의 유입으로 수질의 부영양화현상이 가속화되고 있다. 특히 연안 내만이나 하구지역은 해수의 이동이나 순환이 극히 제한되어 적조가 빈번하게 발생한다. 적조발생은 해마다 수서생태계의 교란은 물론 수산

업에 심각한 문제를 초래하고 있다. 이러한 적조생물을 제어하기 위해서 물리학적, 생물학적인 연구가 진행되었고, 황토나 점토, 살조세균으로 적조생물을 제어하려고 시도되고 있다(박과 이, 1998; 이와 박, 1998 Imai *et al.*, 1991, 2001). 그러나 이러한 방법은 적조생물만 타겟으로 하는 것이 아니기 때문에 또다른 2차적인 문제를 일으킬 수 있었다. 유해성 적조가 발생하였을 경우 적조생물을 효과적으로 제거하면서 해양생태계에 미치는 부정적인(-) 영향

*Corresponding author: yokim@kordi.re.kr

을 최소화하고 2차 문제를 유발하지 않는 친환경적인 살조물질을 개발하기 위해서 다양한 각도로 연구를 수행하였다(임 등, 2010, 2011). 결과적으로 당 연구팀은 해양생태계에 미치는 영향을 최소화하면서 적조생물에 특이적인 살조능을 보이는 신규물질(TD49)을 개발하였다.

Raphidophyceae(침편모조류) *Heterosigma akashiwo*는 온난해역에서 전세계적으로 적조현상이 관찰되고 있고, 연어와 방어외의 수산피해가 보고되고 있다(Okaichi, 1989; Honjo, 1993; Smayda 1997; 김, 2005). 이 종은 영양염이 풍부하고 해류의 유속이 비교적 낮은 연안 내만에서 빈번하게 적조를 일으키며, 강우직후 낮은 염분농도에서 기하급수적으로 성장하는 것으로 알려져 있다(Watanabe *et al.*, 1982; Honjo, 1993; Kim *et al.*, 1996). 한국에서 *H. akashiwo*의 적조발생 시기는 수온이 20 °C 이상인 5월에서 9월 사이에 적조가 빈번하게 발생하고, 주로 반폐쇄성 내만해역인 진해만, 마산만, 진주만 등에서 적조를 형성한다(김, 2005).

침편모조류 *Chattonella* 속은 열대, 아열대 및 온대해역에서 광범위하게 출현하며 대발생시 해양생물 및 수산자원생물에 막대한 경제적 손실과 사회문제를 유발시키는 대표적인 적조생물이다(Imai *et al.*, 1998; Mikhail, 2001; Zhang *et al.*, 2006). 그 중에서도 온난해역에 해당되는 가까운 일본의 세토내해에서 1972년부터 최근까지 방어의 폐사를 일으켜 수산업에 막대한 피해를 주어 사회적으로 큰 화두가 된 적조생물이다 (Okaichi, 1989; Imai *et al.*, 1998). 이들 속중 *Chattonella antiqua*, *C. ovata*, *C. globosa* 및 *C. marina*는 한국내만에서 출현하고 있으나(노 등, 2009, 2010), 아직까지는 수산업에 직접적인 피해사례는 보고되지 않았다. 하지만, 일본에서 30여년동안 적조를 일으켜 막대한 피해를 입힌 적조생물이며 우리나라에서도 주의 깊게 *Chattonella*속의 생리생태적인 특성을 살펴보아야 한다. 결과적으로 이들 침편모조가 우리나라해역에서 대발생하여 수산업 피해를 일으킬 경우를 대비하여 적조생물을 제어할 수 있는 대책이 필요하다고 판단되고, 그 중에서도 살조물질의 개발이 중요하다.

Kim *et al.* (2010)의 연구에서 살조물질 Thiazolidinedione 유도체는 해양 유해 적조생물의 살조능이 우수하다고 언급하였다. 임 등 (2010)에 의하면, 신규살조물질 TD49의 생태독성을 평가하기 위해서 OECD의 표준방법으로 먹이사슬의 주요 3가지 생물종을 대상으로 급성독성평가를 시행한 결과, 해양생태계의 먹이망에 미치는 부정적 영향은 그다지 높지 않다고 평가하였다. 하지만 신규로 개발된 TD49을 이용하여 적조생물의 성장단계별 살조효과와 더불어 다른 생물군에게 미치는 영향을 동시에 평가한 사례는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 개발된 물질 TD49을 이용하여 1) 적조생물(침편모조류 *Heterosigma*속과 *Chattonella*속)의 성장단계별로 어떠한 살조효과를 나타내는 지와 더불어, 2) 농도별로 살조특이성을 평가하는 것, 3) 자연상태의 동물플랑크톤 군집에 어떠한 영향을 미치는가 등을 평가하였다.

재료 및 방법

살조물질준비

Thiazolidinedione유도체 TD49의 구조는 Fig. 1에 나타내었으며,

조선대학교 조훈교수로부터 신규로 합성한 물질을 제공받았다. TD49(MW: 337.8)의 용해는 동국대학교 한효경교수가 개발한 방법에 따라 TD49와 분산제 Solutol® RHS15(MW: 960)(BASF, Ludwigshafen, Germany)를 함께 100% 에탄올에 완전히 용해시킨 용매를 상온에서 진공펌프를 이용하여 제거시켰다. 얻어진 고체 분산제는 spatula를 이용해 긁어내고 12시간 동안 진공하에서 완전히 건조시켰다. 이와 같이 얻어진 건조물을 증류수를 넣고 초음파를 이용하여 재용해한 후 stock solution(296)으로 사용하였다. TD49물질은 해수에 잘 녹지 않기 때문에 7% 메탄올에 녹여 TD49 stock solution을 만들어 살조능 실험에 사용하였다.

적조생물살조능 평가

본 실험에 사용한 적조생물 *Heterosigma akashiwo*, *Chattonella marina*는 한국해양연구원 남해분원에서 보유하고 있는 분리주를 이용하였고, *Chattonella sp.*는 조선대학교에서 분양받았다. 3종의 적조생물은 F/2배지에서 수온 20 °C, 광량 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 광주기 12L:12D로 조절하여, 고농도의 밀도가 유지 될 때까지 배양하였다. 각각의 배지에 사용된 배양수는 대한해협(염분 34 psu)에서 채수한 해수를 3-6개월간 암조건에 보관해 둔 후 0.2- μm membrane 필터로 여과 멸균하여 사용하였다. 적조생물에 대한 살조능을 파악하기 위해서 대조구를 포함하여 살조물질 TD49에 대한 농도구배(0.02, 0.2, 2 μM) 실험을 수행하였다. 적조생물 *H. akashiwo*에 관해서는 각각의 성장단계에 따른 살조능을 평가하기 위해서 초기(initial growth phase), 대수증식기(lag and logarithmic growth phase), 안정기(stationary growth phase)에서 TD 49물질을 각각 농도별로 주입하였다. 본 실험은 1일 간격으로 22일간 수행하여 살조능을 평가하였다. 한편, *Chattonella marina*와 *Chattonella sp.*에 관해서는 *H. akashiwo*의 실험과 동일한 방법으로 초기, 대수증식기에 관해서 9일간 평가하였다. 모든 실험은 두께가 달린 70 mL의 시험관($\phi 22 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$; PYREX®)에 50 mL 배양수를 넣고, 각각의 실험구에 농축시킨 적조생물을 일정량(3 FSU) 균일하게 접종 한 후 20 °C의 배양조건에서 각 실험구마다 3개의 반복구(triplicate)로 수행하였다. 배양은 광량 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 광주기 12L:12D로 조절하여, 1일 간격으로 Turner Designs 10-AU Fluorometer로 형광값(*in vivo* fluorescence)을 측정하였다. 아울러 모든 실험에서 형광광도계로 측정된 값과 각 종의 세포밀도와의 관계식으로 FSU값에 대한 각 종에 대한 개체수밀도를 파악하였다(Fig. 2). 또한 살조물질에 대한 생물의 활성반응 정도를 파악하기 위해서 모든 실험구에서 TD49 접종 후 곧바로 Phyto PAM(phytoplankton analyzer; PHYTO-ED, S/N: EDEF0139, Germany)장비로 적조생물 활성 엽록소(Activity Chlorophyll)를 측정하였다.

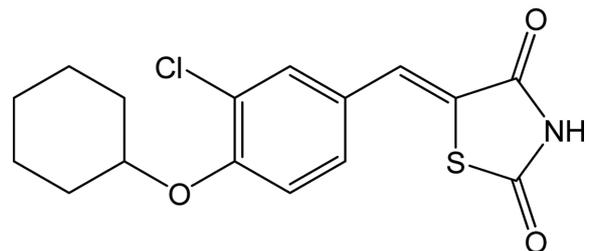


Fig. 1. Chemical structure of TD49.

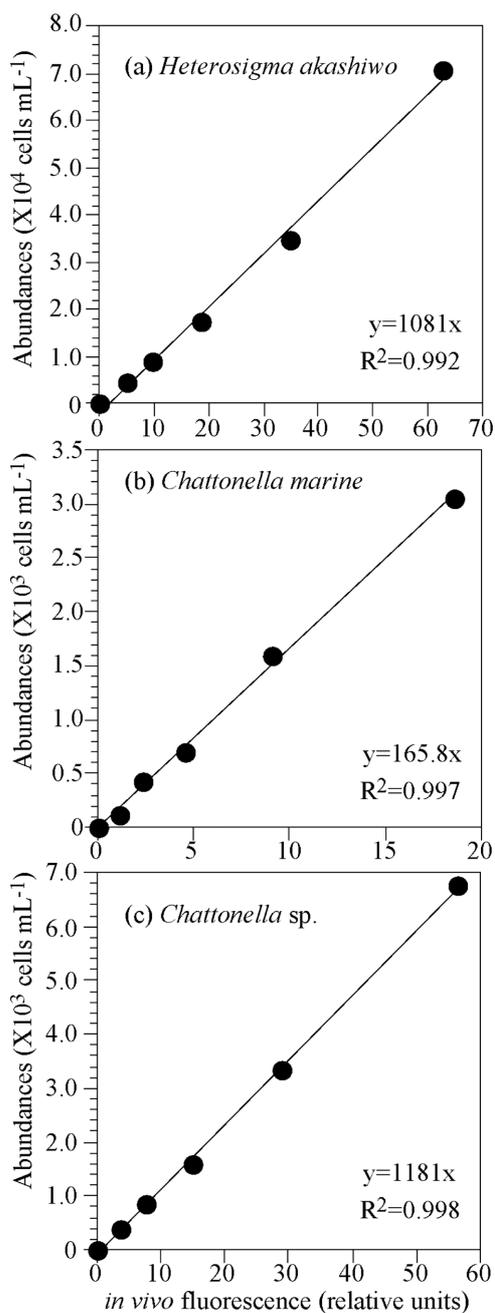


Fig. 2. Relationship between cell density and *in vivo* chlorophyll fluorescence of *Heterosigma akashiwo*, *Chattonella marina* and *Chattonella sp.*.

살조물질에 대한 동물플랑크톤 적응능 평가

살조물질 TD49가 적조생물 이외의 상위영양단계의 생물의 생태계에 미치는 영향을 파악하기 위해서 자연상태의 동물플랑크톤 군집과 적조생물과 혼합배양하여 평가 하였다. 동물플랑크톤 시료는 장목만(한국해양연구원 남해분원; 34°59'N, 128°40'E)에서 원추형 네트(망구 45 cm, 망목 200 μm)채집하여 실험실로 운반하여 6-well tissue culture testplate에 동물플랑크톤을 20 ind. 10 mL⁻¹ 넣고, TD49 살조물질을 농도별(0, 2, 5, 10, 20, 40, 100 μM)로 접종한 후 20 °C 암조건하에서 48시간 배양하여 동물플랑크톤의

생존율을 구하였다. 또한 위에서 언급한 *H. akashiwo*의 살조능 평가시 별도의 동물플랑크톤 실험구를 두어 안정적인 성장단계에 도달하였을 때(15일째) TD49 물질 2 μM과 더불어 동물플랑크톤을 50 ind. 50 mL⁻¹ 넣고, 연속적으로 배양하여 적조생물(*H. akashiwo*)의 살조능 평가와 동물플랑크톤의 생존율을 구하였다. 동물플랑크톤의 생존율을 구하기 위한 생사판별은 해부현미경하에서 부속지의 운동성 여부와 뾰족한 침으로 자극하여 그들의 반응성 여부로 평가하였다.

결과 및 토의

살조물질 TD49을 이용하여 해양적조생물 침편모조류 *Heterosigma akashiwo*, *Chattonella marina*, *Chattonella sp.*를 대상으로 살조능을 평가하였다. 살조물질 TD49 물질은 해수에 녹지 않기 때문에 메탄올에 녹였고, 메탄올용매에 대한 대상생물의 생존율 평가가 반드시 이루어져야 한다. 따라서 예비 실험에서 메탄올에 대한 상기 3종의 생존율을 구하기 위해서 본 실험에 사용한 TD49 물질의 2 μM 농도에 준하는 실험구와 10배 높은 농도의 메탄올 실험구에서 3종을 평가한 결과 두 실험구에서 대상생물이 사멸하지 않았기 때문에 본 실험에서는 메탄올에 대한 평가는 하지 않았고 살조물질에 대한 평가를 대상생물의 성장단계별로 수행하였다.

*Heterosigma akashiwo*의 성장단계별로 TD49에 대한 살조평가를 Fig. 3에 나타내었다. 초기성장단계(initial growth phase)에서 주입한 살조물질의 반응은 대조구와 0.02 μM의 두 실험구에서는 나타나지 않았으나, 0.2와 2.0 μM에서 *H. akashiwo*가 성장하지 않은 것으로 보아 살조효과를 나타낸 것으로 판단된다. 하지만 살조물질 투입 14일후 0.2 μM에서는 일정한 형광값이 지속적으로 증가하였고, 현미경으로 검경한 결과 *H. akashiwo*의 성장이 확인된 것으로 보아 TD49 물질농도가 0.2 μM에서는 살조효과가 미약한 것으로 판단되었다. 대수증식기(logarithmic growth phase)에는 2.0 μM의 TD49 물질에서만 *H. akashiwo*의 살조효과를 보였고, 대조구를 포함한 0.02, 0.2 μM 실험구에서는 지속적인 성장을 보였다. 또한 안정적인 성장기(stationary growth phase)에서는 2 μM 실험구에서만 *H. akashiwo*살조효과를 보였다. 결과적으로 내만폐쇄지역에서 빈번하게 적조를 유발하는 *H. akashiwo*를 제어하려면 발생초기단계에 TD49 물질을 살포하면 낮은 농도(0.2 μM)의 살조물질로 일시적으로 그들의 성장을 제어할 수 있는 기능을 가질 수 있다고 판단된다.

*Chattonella marina*와 *Chattonella sp.*에 대한 TD49 물질의 살조능을 Fig. 4와 5에 나타내었다. *Chattonella*의 두 종 모두 초기 성장단계에서는 0.2와 2.0 μM에서 살조효과를 나타내었다. 하지만 대수증식기에는 *H. akashiwo*에서 보인 살조효과와 비슷하게도 0.2 μM에서 살조능을 관찰할 수 없었다. 본 실험에서 사용된 침편모조류 3종 모두 유사한 살조물질의 농도에서 살조능을 보였고, 성장단계별로는 초기에 0.2 μM 농도에서는 살조효과를 관찰할 수 있었으나, 대수증식기와 안정기의 높은 개체수가 유지 되었을 경우에는 최종농도가 2 μM 전후의 살조물질로 침편모조류를 제어할 필요가 있다고 생각된다.

살조물질에 대한 적조대상생물의 생존여부는 독립영양생물일 경우 광합성에 의하여 생성되는 고유엽록소의 활성정도로 평가할

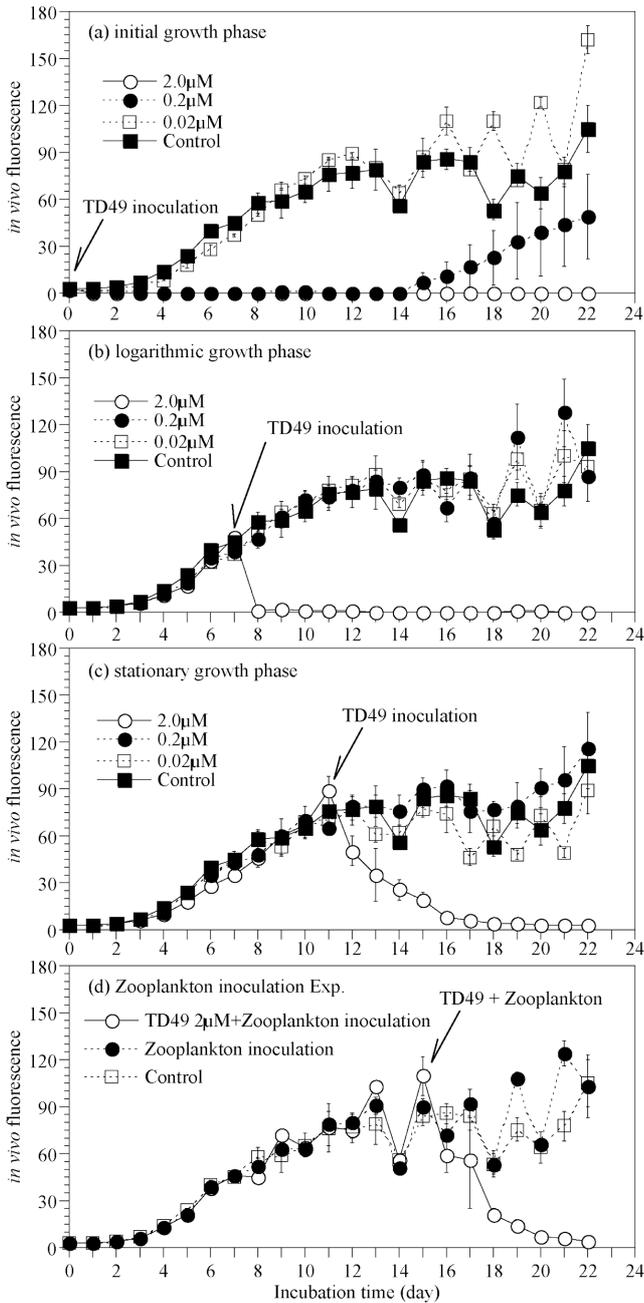


Fig. 3. Growth of *Heterosigma akashiwo* at lag, logarithmic and stationary growth phase in cultures inoculated with concentration levels (0.02, 0.2 and 2 μM) of TD 49 substance. Controls were algal cultures without TD 49 substance. Error bars represent the standard deviation of triplicate samples.

수 있다. 본 연구에서 TD49 물질을 접종 후 곧바로 대상 침편모조류 3종에 관해서 성장단계별로 활성엽록소(Active Chlorophyll-*a*)를 측정하였다(Fig. 6). *H. akashiwo*의 경우 살조효과가 좋지 않은 0.02 μM 농도에서 Active Chl. *a*는 성장단계별로 대조군과 거의 차이없이 높은 값을 유지하였으나, 0.2 μM에서는 초기성장단계에서는 Active Chl. *a*이 관찰되지 않았고, 대수증식기와 안정기에 높게 나타났다. 반면 2 μM 농도에서는 초기와 대수증식기에는

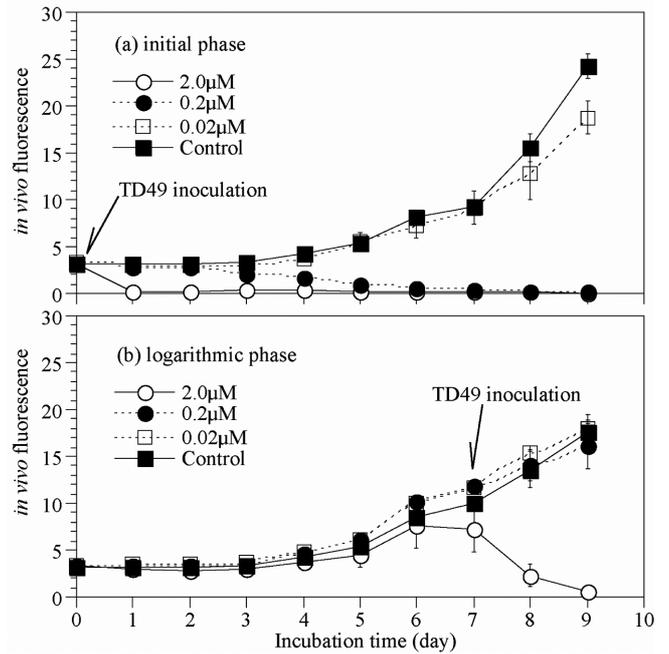


Fig. 4. Growth of *Chattonella marina* at lag and logarithmic growth phase in cultures inoculated with concentration levels (0.02, 0.2 and 2 μM) of TD 49 substance. Controls were algal cultures without TD 49 substance. Error bars represent the standard deviation of triplicate samples.

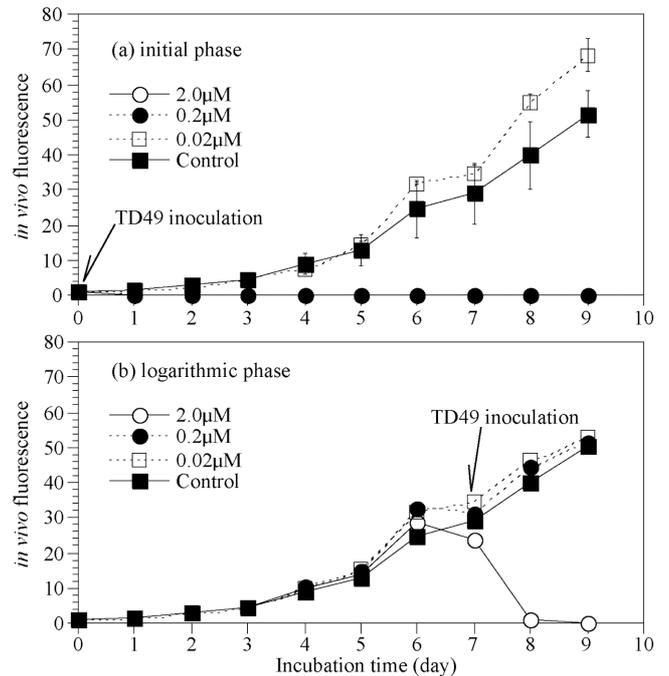


Fig. 5. Growth of *Chattonella sp.* at lag and logarithmic growth phase in cultures inoculated with concentration levels (0.02, 0.2 and 2 μM) of TD 49 substance. Controls were algal cultures without TD 49 substance. Error bars represent the standard deviation of triplicate samples.

Active Chl. *a*이 관찰되지 않았고 안정적인 성장단계에서만 상대적으로 낮은 값(19.59 μg L⁻¹)을 보였다. 이 값은 대조군과 5.5배의

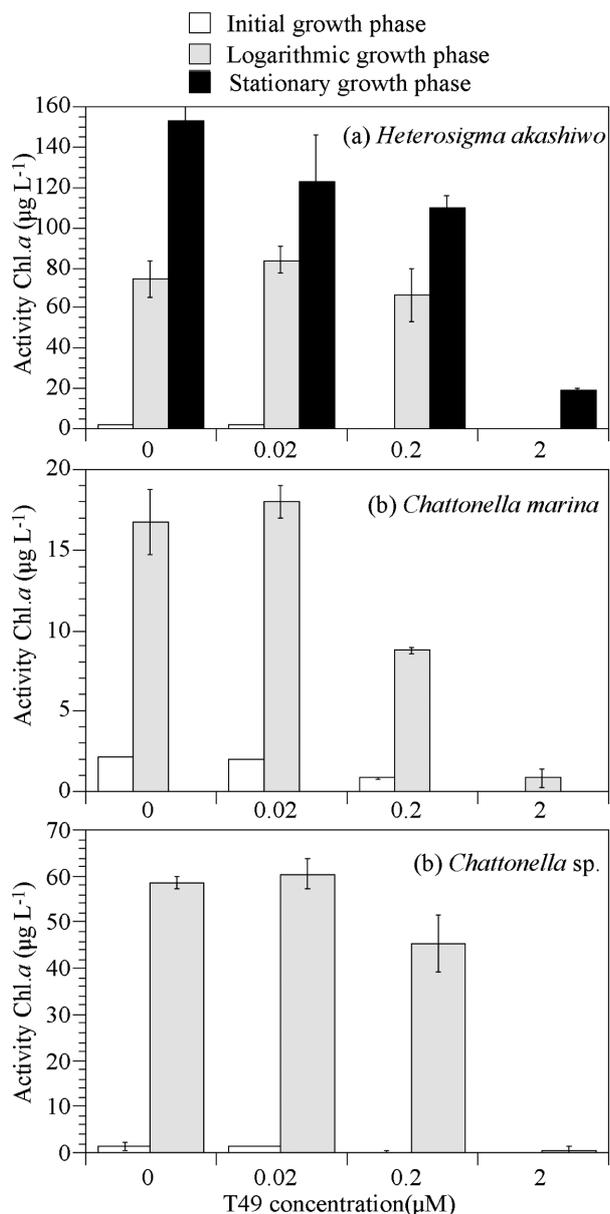


Fig. 6. Changes in active Chl.a concentration of *Heterosigma akashiwo* (a), *Chattonella marina* (b) and *Chattonella sp.* (c) after TD 49 substance inoculation in three (lag, logarithmic and stationary) growth phases. Error bars represent the standard deviation of triplicate samples.

차이를 보인 것으로, TD49 물질 투입후 곧바로 살조물질의 영향을 받아 Active Chl.a가 급격히 감소하였다는 것을 의미한다. 나머지 *Chattonella*의 두 종의 성장단계별 Active Chl.a의 값은 *H. akashiwo*의 경향과 유사하게 나타났다. 특히 살조물질 TD49는 대상 침편모조류 3종의 세포벽을 파괴하여 엽록소를 분산 분해시키는 살조특이성을 관찰하였다(Fig. 7). 다시말하면 TD49 물질 접종 1일 후 형광값(FSU)은 대조군대비 절반이상을 유지한 반면, PhytoPAM에 의한 Active Chl.a는 1/5 수준에도 미치지 못하는 극히 낮은 값이 관찰된 것은 세포의 분해과정과 연관성이 있다고 하겠다. 이것은 세포의 분해과정에서 살조물질이 세포벽을 파괴시켜 잔여 엽

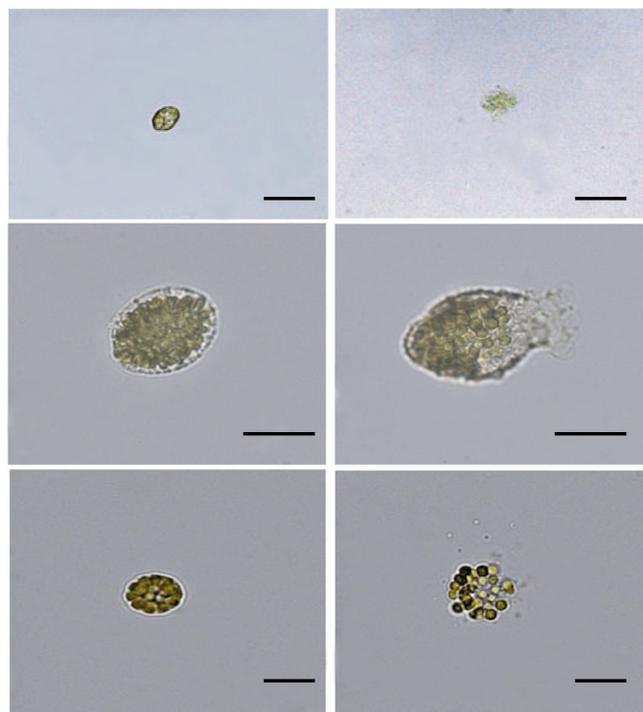


Fig. 7. Light microscopic observation of *Heterosigma akashiwo* (above), *Chattonella marina* (middle) and *Chattonella sp.* (below) in cultures with the absence (left) and presence of algicidal substance (right). Scale bar: 50 µm.

록소를 배양용기내 분산되었기 때문에 형광값(FSU)은 지속적으로 일정한 값을 유지되었으나, 실제로 그들의 성장에 영향을 미치는 Active Chl.a는 세포분해로 인하여 거의 관찰되지 않았다고 판단된다.

현장에서 황토나 점토, 살조세균 등으로 적조생물을 제어하려고 시도되고 있고(이와 박, 1998; Imai *et al.*, 1991; 박 등, 1998), 그 중 적조생물과 살조세균의 동태에 관한 연구는 Fukami *et al.*(1991)과 Yoshinaga *et al.*(1995, 1997)와 같이 일본에서 많이 수행되었다. 살조세균에 의한 제어는 살조세균이 생산한 대사산물로 살조시키는 기작(Fukami *et al.* 1992)과 살조세균이 대상생물 직접적으로 세포벽에 접촉하여 살조시키는 기작등이 있다(Sawayama *et al.* 1990, 1993). 박 등(1998)은 살조세균 *Micrococcus sp.*을 분리배양하여 유해적조생물 5종(*Alexandrium tamarense*, *Prorocentrum micans*, *Scrippsiella trochoidea*, *Akashiwo sanguinea*, *Cochlodinium polykrikoides*)을 대상으로 검토한 결과 *C. polykrikoides*에서만 살조효과를 관찰하였다. 이와 같이 살조세균을 이용한 적조생물은 어떤 특정종에 한하여 살조특이성을 나타내지만, 본 연구팀이 개발한 TD49 물질은 연안에서 적조를 유발하는 외편모조류, 침편모조류의 다양한 생물군을 살조하는 것으로 파악되어(Fig. 6; 미공개 자료) 세균을 이용한 방법보다 효과적으로 유해적조생물을 제어할 수 있다고 판단된다.

살조물질이 해양생태계 상위영양단계의 생물에게 어떠한 영향을 미치는 지를 평가하기 위해서 동물플랑크톤 군집에 TD49 물질을 주입하고 48시간 후 그들의 생존율을 구하였다(Fig. 8). TD49 물질의 농도가 높을 수록 동물플랑크톤의 생존율은 급격히 떨어

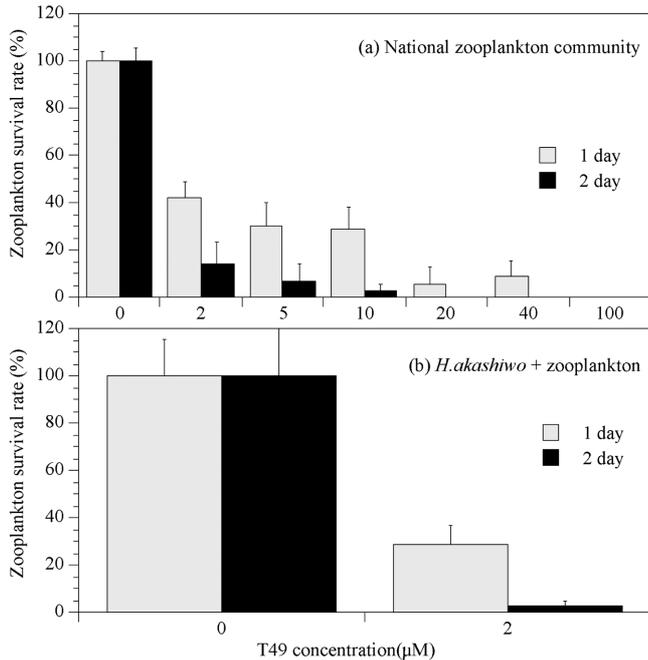


Fig. 8. Survival rates of zooplankton in various concentration of TD 49 at 24h and 48h. Error bars represent the standard deviation of triplicate samples.

졌고, 48시간후 20 μM이상의 농도에서는 생존을 관찰 할 수 없었다. TD49 물질이 적조생물을 살조할 수 있는 최적의 효과를 발휘하는 농도 중 가장 낮은 2 μM에서 동물플랑크톤의 생존율(24h: 40%, 48h: 15%)또한 그다지 높지 않았다. TD49 물질과 유사한 구조로 형성된 유도체 물질 TD53을 평가한 임 등(2010)의 보고에 의하면, 연안에서 우점하는 규조류 *Skeletonema costatum*과 동물플랑크톤 *Daphnia magna*에 대해서는 전혀 독성을 나타내지 않았고, 오히려 *S. costatum*의 성장을 촉진하는 것으로 나타났다. 그들의 연구는 어떤 특정 생물을 대상으로 평가하여 독성영향이 없는 것으로 나타났으나, 본 연구에서는 하계에 출현하는 현장 동물플랑크톤 군집을 대상으로 평가한 결과 TD49 물질이 동물플랑크톤의 생존에 직, 간접적으로 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 하지만, 본 연구는 실험실 내에서 좁은 공간의 폐쇄적인 상태에서 동물플랑크톤의 독성을 평가한 결과로서 개방상태의 현장에서는 해류에 의한 희석 등의 다양한 저감 변수가 존재하기 때문에 동물플랑크톤이나 상위단계의 생태독성은 우려할 만큼의 영향을 미치지 않을 것으로 생각되지만, 추후 그들의 생태독성여부의 평가를 메스코즘(대용량)실험에서 세심하게 이루어져야 한다고 판단된다.

요약하면, 연안내만에서 빈번하게 발생하는 유해적조생물에 대해 선택적으로 살조능력을 향상시키기 위해 신규로 합성된 Thiazolidinedione 유도체 TD49 물질로 침편모조류 3종의 살조능 평가를 하였다. 침편모조류 3종 모두 성장단계별로 약간의 살조특이성을 관찰하였다. 즉 초기성장단계에서는 0.2 μM 농도에서 살조효과를 보였으나, 대수증식기와 안정적인 성장단계에서는 같은 농도에서 살조효과를 관찰할 수 없었다. 모든 성장단계에서 확실한 살조능을 보인 농도는 2 μM 이었다. 만약 현장에 적용할 경우 침편모조류의 적조발생초기에 TD49 물질을 살포한다면 보다 낮

은 농도에서 효과적으로 제어 할 수 있을 것이다. 또한 TD49의 현장 살조농도를 2 μM전후로 실시한다면 해양생태계에 대한 독성영향이 클 것으로 단순 예측되지만, 실제 연안해역은 개방 구조의 희석효과가 상당히 높기 때문에 연안생태계에 대한 독성은 그다지 높지 않을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 한국연구재단을 통해 “교육과학기술부의 미래유망 융합기술 파이오니어 사업(과제번호 M1071118001=08M1118-00110)”과 “남해특별관리해역의 관리를 위한 해양생태계 건강지수 개발(PE98745)”의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 김학균, 2005. 해양적조 다습출판사. p 1-449.
- 노일현, 오석진, 박종식, 신현호, 윤양호, 2009. 한국 남해산 유해조류 *Chattonella marina*와 *C. ovata*(Raphidophyceae)의 영양염에 대한 성장동력학. 한국수산과학회지, **42**: 674-682.
- 노일현, 오석진, 신현호, 강인석, 윤양호, 2010. 여수 여안해역에서 침편모조류 *Chattonella*속 출현환경 및 영양염에 대한 성장특성. 한국수산과학회지, **43**: 362-372.
- 박영태, 박지빈, 정성운, 송병철, 임월에, 김창훈, 이원재, 1998. 적조생물 살조세균 탐색. I. 유해 적조생물 *Cochlodinium polykrikoides* 살조세균 *Micrococcus* sp. LG-1의 분리와 살조특성. 한국수산과학회지, **31**: 767-773.
- 박영태, 이원재, 1998. 황도첨가 해양퇴적물에서 적조생물 *Cochlodinium polykrikoides* 분해중 세균군집의 변동. 한국수산과학회지, **31**: 920-926.
- 이원재, 박영태, 1998. 적조생물 살조세균 탐색. II. 적조생물 *Prorocentrum micans* 살조세균 *Pseudomonas* sp. LG-2의 분리와 살조특성. 한국수산과학회지, **31**: 852-858.
- 임은채, 신준재, 박인택, 한효경, 김시욱, 조훈, 김성준, 2010. 신규 살조물질인 Thiazolidinedione 유도체(TD49)의 해양생태계에 대한 급성독성평가. Kor. Soc. Biotechnol.Bioengin. J., **25**: 527-532.
- 임은채, 신준재, 박인택, 한효경, 김시욱, 조 훈, 김성준, 2011. 신규 살조물질인 Thiazolidinedione 유도체(TD53)의 해양생태계에 대한 급성독성평가. Kor. Soc. Biotechnol.Bioengin. J., **26**: 7-12.
- Fukami, K., T. Nishijima, S. Murata, Doi S. and Y. Hata, 1991. Distribution of bacteria influential on the development and the decay of *Gymnodinium nagasakiense* red tide and their effects on algal growth. Nippon Suisan Gakkaishi, **57**: 2321-2326.
- Fukami, K., A. Yuzawa, Nishijima, T. and Y. Hata, 1992. Isolation and properties of a bacterium inhibiting the growth of *Gymnodinium nagasakiense*. Nippon Suisan Gakkaishi, **58**: 1073-1077.
- Honjo, T., 1993. Overview on bloom dynamics and physiological ecology of *Heterosigma akashiwo*. In: Toxic phytoplankton blooms in the sea. Smayda, T.J. and Y. Shimizu, eds. Amsterdam Netherlands Elsevier, **3**: 33-42.
- Imai, I., Y. Ishida, Sawayama, S. and Y. Hata, 1991. Isolation of a marine gliding bacterium that kills *Chattonella antiqua* (Raphi-

- dophyceae). Nippon Suisan Gakkaishi, **57**: 1409.
- Imai, I., M.C. Kim, K. Nagasaki, Itakura, S. and Y. Ishida, 1998. Detection and enumeration of microorganisms that are lethal to harmful phytoplankton in coastal waters. Plankton Biol. Ecol., **45**: 15–25.
- Imai, I., T. Sunahara, T. Nishikawa, Y. Hori, Kondo, R. and S. Hiroishi, 2001. Fluctuations of the red tide flagellates *Chattonella* spp.(Raphidophyceae) and the algicidal bacterium *Cytophaga* sp. in the Seto Inland Sea, Japan. Mar. Biol., **138**: 1043–1049.
- Kim, H.G, S.G Lee and K.H. An, 1996. Interannual changes in *Heterosigma akashiwo* blooms. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, **52**: 1–14.
- Kim, Y.M., Y. Wu, T.U. Duong, G.S. Ghodake, S.W. Kim, E.S. Jin and H. Cho, 2010. Thiazolidinediones as a novel class of algicides against red tide harmful algal species. Appl.Biochem. Biotechnol., **162**: 2273–2283.
- Mikhail, S.K. 2001. Toxic red tide species are on rise in Alexandria waters (Egypt). Harmful Algae News 22, 5.
- Okaichi, T. 1989. Red tide problems in the Seto Inland Sea, Japan. In: Red Tide Biology, Environmental Science, and Toxicology. (eds.), T. Okaichi, Anderson D.M. and T. Nemoto, Elsevier N Y. pp. 137–142.
- Smayda, T.J. 1997. Harmful algal blooms: Their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. Limnol. Oceanogr., **42**: 1137–1153.
- Watanabe, M.M., Nakamura, Y. and S. Mori, 1982. Effects of physico-chemical factors and nutrients on the growth of *Heterosigma akashiwo* HADA from Osaka Bay, Japan. Jpa. J. Phycol., **30**: 279–288.
- Yoshinaga, I., Kawai, T. and Y. Ishida, 1997. Analysis of algicidal ranges of the bacteria killing the marine dinoflagellate *Gymnodinium mikimotoi* isolated from Tanabe Bay. Fisher. Sci., **63**: 94–98.
- Yoshinaga, I., T. Kawai, Takeuchi, T. and Y. Ishida, 1995. Distribution and fluctuation of bacteria inhibiting the growth of a marine red tide phytoplankton *Gymnodinium mikimotoi* in Tanabe Bay. Fisher. Sci., **61**: 780–786.
- Zhang, Y., F.X Fu, E. Whereat, Coyne, K.J. and D.A. 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, USA. Harmful Algae **5**: 310–320.

2011년 12월 12일 원고접수

2011년 12월 27일 수정본 접수

2011년 12월 29일 수정본 채택

담당편집위원: 이준백