

## 해조류 추출물로부터의 Photosensitizing 효과를 지니는 항 적조물질 탐색

진형주\*·진덕희  
강릉대학교 해양생명공학부

### Screening of Seaweed Extracts for Algicidal Substances Using a Photosensitization Effect

Hyung-Joo JIN\* and Deuk-Hee JIN  
Faculty of Marine Bioscience and Technology, Kangnung National University,  
Gangneung 210-702, Korea

Photosensitized extracts of 28 seaweed species were tested *in vitro* to examine the variation in their algicidal activities against the toxic microalga *Cochlodinium polykrikoides*. When both seaweed extracts and microalgae were exposed to UV and visible light, methanol extracts of *Porphyra yezoensis* showed 5.7- and 4.4-fold increases in light-dependent algicidal activity, respectively. When only seaweed extracts were exposed to both UV (365 nm) and visible light (white lamp) at the same time, methanol extracts of *Enteromorpha linza* and *Carpopeltis affinis* showed 3.3- and 3.4-fold increases in algicidal activity, respectively. When UV-photosensitized extracts were left in the dark, the algicidal activity of *Ecklonia cava* increased 13-fold after 5 h. When visible light-photosensitized extracts were left in the dark, the algicidal activity of *Monostroma nitidum* increased by 3.3-fold in 1 h.

Key words: Photosensitizer, Red tide, Seaweed extract, *Cochlodinium polykrikoides*

#### 서 론

적조 (red tide) 현상은 주로 식물성 플랑크톤이 대량으로 번식하거나 집적함으로써 바다물의 색깔이 변색되는 현상을 말하며, 이러한 현상으로 생태계뿐만 아니라 어패류 양식장 및 인류의 건강에 심각한 문제를 야기하고 있다. 특히 어패류 양식장에는 경제적으로 큰 타격을 입고 있는 실정이다. 또한 일부 적조생물이 치니고 있는 독성물질이 축적된 어패류를 인간이 섭취하였을 경우 심각한 질병을 유발하거나 사망에 이르고 있다. 이러한 독성작용은 paralytic shellfish poisoning (PSP), diarrhetic shellfish poisoning (DSP), amnesic shellfish poisoning (ASP) 등이 있다 (Steidinger, 1983). 우리나라의 경우 1995년에 남해에서 발생한 *Cochlodinium polykrikoides*에 의해 서 76.4억달러의 피해를 보았으며, 그 이후 계속적으로 경제적인 손실을 일으키고 있다 (Kim et al., 1997; Kim, 1998). 이와 같은 적조발생에 대한 제거 대책으로는 물리화학적인 방법 즉 황산구리 (Steidinger, 1983), 과산화수소 (Ryu et al., 1998), 황토 살포 (Bae et al., 1999) 및 생물학적 방법 즉 바이러스 (Drewes-Milligan and Cosper, 1994), 세균 (Imai et al., 1995; Park et al., 1998) 들에 의한 제거방법들이 연구되었지만, 이 방법들은 직간접적으로 환경에 대한 잠재적인 부작용을 지나고 있다.

해조류는 일반적으로 해안가 지역에 널리 분포하고 있으며,

바다 환경에 있어서 주요한 역할을 하고 있다. 해조류는 육상식물과 같이 유사 생물 종들의 성장을 억제하는 물질 즉 allelopathic substance를 생성하는 것으로도 알려져 있다 (Kakisawa et al., 1998; Suzuki et al., 1998; Jin and Dong, 2003; Chiang et al., 2004). 이와같이 단세 조류인 적조생물종들을 억제 내지는 제거시키고자 다세포 조류인 해조류의 allelopathic substance를 이용하여 환경친화적으로 적조를 방제하고자 시도하기도 하였다 (Jeong et al., 2000; Alamsjah et al., 2005; Kim et al., 2006). Hudson과 Towers (1991)는 육상식물에 존재하는 많은 잠재적인 생리활성을 질들이 photosensitizer 즉, 그 생리활성작용이 특정 빛의 파장에 의존하거나 증가되는 물질이라는 것을 밝혔다. 한 예로 virus에 대한 사멸작용의 경우 빛에 의해서 그 활성이 빛을 처리하지 않은 것 보다 60배 증가하였다 (Hudson et al., 1998). 본 연구에서는 해조류의 photosensitizer 물질을 이용한 적조방제 연구의 일환으로서 우선 해조류 추출물에 빛 (장파장 자외선 및 가시광선)을 조사하여 그 활성이 나타나는 새로운 항 적조물질들을 탐색하고자 한다.

#### 재료 및 방법

##### 대상 해조류

한국 연안에 대량으로 서식하는 해조류들을 대상으로 녹조류 4종 [청각 (*Codium fragile*), 잎파래 (*Enteromorpha linza*), 흙파래 (*Monostroma nitidum*), 구멍갈파래 (*Ulva pertusa*)],

\*Corresponding author: hj-jin@kangnung.ac.kr

갈조류 14종 [긴불레기말 (*Colpomenia bulbosa*), 불레기말 (*C. sinuosa*), 감태 (*Ecklonia cava*), 미역쇠 (*Endarachne binghamiae*), 톳 (*Hizikia fusiformis*), 넓패 (*Ishige sinicola*), 다시마 (*Laminaria japonica*), 개다시마 (*Kjellmaniella crassifolia*), 알송이모자반 (*Sargassum confusum*), 팽생이모자반 (*S. horneri*), 비틀대모자반 (*S. sagamianum*), 지충이 (*S. thunbergii*), 고리매 (*Scytoniphon lomentaria*), 미역 (*Undaria pinnatifida*)] 과 홍조류 10종 [까막살 (*Carpopeltis affinis*), 진두발 (*Chondrus ocellatus*), 작은구슬산호말 (*Corallina pilulifera*), 애기돌가사리 (*Gigartina intermedia*), 개지누아리 (*Grateloupia prolongata*), 미끌도박 (*G. turuturu*), 가시우무 (*Hypnea charoides*), 도박 (*Pachymeniopsis elliptica*), 방사무늬김 (*Porphyra yezonensis*), 보라우무 (*Sympyocladia latiuscula*)]을 실험대상으로 하였다.

### 해조류 추출물

메탄올 추출물과 물추출물로 나누어 광 (photo)을 처리한 후 적조생물증식에 미치는 영향을 조사하였다. 우선 해조류들을 채집하여 분류한 뒤 수돗물로 세척한 후 2-3일간 충분히 응달에서 말린 후 분쇄하였다. 해조류 추출물은 Jin et al. (1997)의 방법을 이용하여 메탄올 추출물은 메탄올 1 L 당 해조류 분말 20 g를 빛이 차단된 곳에서 하루동안 추출하고 3회 반복하였다. 37°C에서 메탄올을 증발 제거시킨 추출물 40 g당 메탄올 1 L 비율로 녹인 후 0.22 μm 막으로 여과하여 사용전까지 -20°C에 보관하였다. 물추출물은 메탄올로 3회 추출된 해조류 분말을 메탄올추출물과 같은 동량의 살균된 3차 중류수를 넣어 빛이 차단된 곳에서 추출한 다음 상층액만을 모아 37°C에서 증발 제거시키고 추출물 40 g당 3차 중류수 1 L 비율로 녹인 다음 0.22 μm로 여과하여 사용전까지 -20°C에서 보관하였다. 메탄올추출물과 물추출물은 살균된 자연해수에 희석하여 본 실험에 사용하였다.

### 적조생물 및 배양조건

적조생물로서의 *Cochlodinium polykrikoides*는 국립수산과학원에서 분양받았고, 항생물질이 포함된 Provasoli's enriched seawater배지 (PES, Provasoli, 1968)에 무균적으로 배양하였다. 이때 사용된 항생물질은 Table 1의 실험과 같이 각종 항생물질들의 농도별로 적조생물의 생육도를 조사하여 정상적인 생육에 영향을 미치지 않은 농도들을 조사한 후 이들의 혼합항생물질 즉 Ampicillin (1,560 μg/mL) + Nystatin (6,250 μg/mL) + Neomycin (1,560 μg/mL) + Kanamycin (6,250 μg/mL)으로 구성하였다. 생육에 영향을 미치지 않은 각각의 항생제를 혼합하였을 경우 개별적인 항생제농도보다는 다소 낮은 농도에서 생육에 영향을 미치지 않았다 (data not shown). 배양은 20°C, 40 μmol/m<sup>2</sup>/s에 배양하고, 2주 간격으로 계대배양을 하였다.

### Bioassay 조건

96 well-plate의 한 well당 PES배지에 접종한 *C. polykrikoides* (5,000 cells/mL) 200 μL, 추출물 (40 mg/mL) 1 μL를 넣고

20°C, 40 μmol/m<sup>2</sup>/s에서 하루동안 배양한 후 현미경하에서 세포수를 계측하고, 메탄올 농도는 *C. polykrikoides*에 아무런 영향을 주지 않은 2% 이하로 조정하여 사용하였다 (data not shown). 적조생물에 대한 활성은 상대성장비 (Relative growth rate)로 나타내었으며, 상대성장비는 빛에 노출시킨 추출물을 포함한 배지에 배양된 세포수를 빛에 노출시키지 않은 추출물을 포함한 배지에 배양된 세포수로 나누어 계산하였으며, 5회 반복실험을 실시하였다.

### 빛 노출 방법

장파장 자외선 (365 nm; Spectroline ENF-24, NY, USA)과 가시광선 (coolwhite, TL-D super80, Philips)에 의한 해조류 추출물의 *C. polykrikoides*에 대한 활성변화는 3가지 방법으로 나누어 조사하였다. 제 1 방법: 96 well-plate의 각 well 당 해조류 추출물 (40 mg/mL) 1 μL와 적조생물 (5,000 cells/mL)을 넣고 최종부피가 200 μL되게 PES 배지로 조정한 후 자외선, 가시광선, 자외선+가시광선을 각각 4 Kjoule이 되도록 노출하였다. 제 2 방법: 해조류 추출물 (40 mg/mL) 1 μL와 PES 배지를 96 well-plate에 넣은 후, 자외선, 가시광선, 자외선+가시광선을 각각 4 KJoule이 되도록 노출한 다음, 적조생물 (5,000 cells/mL)을 접종하고 최종 부피가 200 μL가 되게 하였다. 제 3 방법: 자외선 및 가시광선에 의하여 활성이 증가된 해조류들만을 대상으로하여 그 추출물 (40 mg/mL) 1 μL 와 PES배지를 96 well-plate에 넣은 후, 자외선, 가시광선을 각각 4 Kjoule이 되도록 노출한 다음, 암흑의 상태에서 0, 1, 3, 5시간을 방치한 후, 적조생물 (5,000 cells/mL)을 접종하여 최종부피가 200 μL가 되게 하였다.

### 통계처리

실험결과는 one-way ANOVA test를 실시한 후 Duncan's multiple range test를 실시하여 평균 간의 유의성 ( $p < 0.05$ )을 SPSS program (Ver. 10.1)으로 검정하였다.

### 결과 및 고찰

빛 노출의 3가지 방법으로 해조류추출물에 빛을 주었을 때 적조생물에 대한 사멸효과를 조사한 결과, 제 1방법 (Table 2)인 해조류추출물과 적조생물을 동시에 자외선, 가시광선, 자외선+가시광선을 각각 노출하였을 때, 각종 해조류의 물 추출물 경우에는 빛에 의한 활성 변화가 없었다. 하지만, 메탄올 추출물의 경우에는 빛에 대한 영향으로 녹조류의 경우에는 청각, 잎파래, 흘파래에 빛을 주지 않은 경우 보다 빛 (가시광선)에 노출되었을 경우에 2배정도의 활성이 증가되었다. 갈조류의 경우 긴불레기말에 자외선을 노출되었을 경우에 2배의 효과증가가 있었으며, 가시광선에는 별 효과가 없었다. 불레기말은 자외선+가시광선에 노출되었을 때 약 2.5배의 활성이 증가하였다. 다시마는 가시광선에 노출되었을 때 약 5배의 활성이 증가하였고, 자외선에서는 2.5배의 활성이 증가되었다. 알송이모자반은 가시광선에서 2배 증가하였으며, 팽생이

Table 1. Relative growth of *Cochlodinium polykrikoides* in PES medium containing antibiotics. Approximately 5,000 cells /mL were cultured at 20°C under 40 μmol/m<sup>2</sup>/s for 1 day. Relative growth<sup>1</sup> was expressed as a ratio between number of cultured cells with antibiotics and number of cultured cells without antibiotics

Antibiotics (μg/mL)	Ampicillin	Kanamycin	Neomycin	Nystatin	Tetracyclin
190	1.0 ± 0.10	1.0 ± 0.04	1.0 ± 0.07	1.0 ± 0.01	0 ± 0.00
390	1.0 ± 0.03	1.0 ± 0.07	1.0 ± 0.06	1.0 ± 0.03	0 ± 0.00
780	1.0 ± 0.02	1.0 ± 0.09	1.0 ± 0.12	1.0 ± 0.02	0 ± 0.00
1,560	1.0 ± 0.08	1.0 ± 0.02	1.0 ± 0.05	1.0 ± 0.04	0 ± 0.00
3,120	0.8 ± 0.03	1.0 ± 0.01	1.0 ± 0.06	1.0 ± 0.02	0 ± 0.00
6,250	0.6 ± 0.05	1.0 ± 0.02	1.0 ± 0.08	1.0 ± 0.11	0 ± 0.00
12,500	0 ± 0.00	0.5 ± 0.09	0.3 ± 0.02	1.0 ± 0.07	0 ± 0.00
25,000	0 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00	1.0 ± 0.05	0 ± 0.00

<sup>1</sup>Data are expressed as mean ± SD.

Table 2. Effect of seaweed extracts on the algicidal activity determined by light irradiation according to the first protocol. Relative growth<sup>1</sup> was expressed as in Table 1

Species	No treatment	UV + VIS	UV	VIS
<b>CHLOROPHYTA</b>				
<i>Codium fragile</i>	1.14 ± 0.03	0.53 ± 0.03	0.69 ± 0.01	0.51 ± 0.03
<i>Enteromorpha linza</i>	0.53 ± 0.05	0.29 ± 0.01	0.68 ± 0.04	0.21 ± 0.00
<i>Monostroma nitidum</i>	1.19 ± 0.07	0.59 ± 0.02	0.40 ± 0.06	0.72 ± 0.02
<i>Ulva pertusa</i>	1.12 ± 0.09	0.9 ± 0.03	0.98 ± 0.06	0.65 ± 0.07
<b>PHAEOPHYTA</b>				
<i>Colpomenia bulbosa</i>	0.34 ± 0.01	0.57 ± 0.07	0.19 ± 0.01	0.29 ± 0.02
<i>Colpomenia sinuosa</i>	0.86 ± 0.07	0.28 ± 0.03	0.47 ± 0.04	0.56 ± 0.03
<i>Ecklonia cava</i>	0.40 ± 0.02	0.49 ± 0.10	0.46 ± 0.04	0.48 ± 0.09
<i>Endarachne binghamiae</i>	0.08 ± 0.01 <sup>de</sup>	0.13 ± 0.00	0.05 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>ab</sup>
<i>Hizikia fusiformis</i>	0.20 ± 0.01	0.27 ± 0.03	0.14 ± 0.01	0.15 ± 0.02
<i>Ishige sinicola</i>	0.15 ± 0.06	0.27 ± 0.03	0.21 ± 0.08	0.26 ± 0.01
<i>Laminaria japonica</i>	0.54 ± 0.10	0.21 ± 0.02	0.18 ± 0.01	0.11 ± 0.01
<i>Kjellmaniella crassifolia</i>	0.69 ± 0.04	0.13 ± 0.01	0.23 ± 0.05	0.16 ± 0.04
<i>Sargassum confusum</i>	0.46 ± 0.05	0.37 ± 0.07	0.35 ± 0.01	0.20 ± 0.03
<i>Sargassum horneri</i>	1.04 ± 0.09	0.54 ± 0.03	0.80 ± 0.04	0.66 ± 0.09
<i>Sargassum sagaminanum</i>	0.73 ± 0.03	0.66 ± 0.07	0.44 ± 0.01	0.36 ± 0.04
<i>Sargassum thunbergii</i>	1.03 ± 0.08	0.55 ± 0.07	0.57 ± 0.03	0.42 ± 0.08
<i>Scytoniphon lomentaria</i>	0.76 ± 0.10	0.63 ± 0.03	0.48 ± 0.02	0.34 ± 0.07
<i>Undaria pinnatifida</i>	0.28 ± 0.05	0.27 ± 0.01	0.21 ± 0.05	0.26 ± 0.05
<b>RHODOPHYTA</b>				
<i>Carpopeltis affinis</i>	0.93 ± 0.02	0.25 ± 0.01	0.56 ± 0.06	0.27 ± 0.00
<i>Chondrus ocellatus</i>	0.60 ± 0.01	0.43 ± 0.07	0.56 ± 0.01	0.37 ± 0.08
<i>Corallina pilulifera</i>	0.04 ± 0.01 <sup>bc</sup>	0.05 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.08 ± 0.00 <sup>def</sup>	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>
<i>Gigartina intermedia</i>	0.49 ± 0.01	0.85 ± 0.09	0.15 ± 0.02	0.22 ± 0.01
<i>Grateloupia prolongata</i>	0.72 ± 0.07	0.82 ± 0.02	0.80 ± 0.07	0.67 ± 0.02
<i>Gratedloupia turuturu</i>	0.55 ± 0.07	0.38 ± 0.03	0.56 ± 0.01	0.11 ± 0.01
<i>Hypnea charoides</i>	0.63 ± 0.03	0.57 ± 0.08	0.64 ± 0.08	0.45 ± 0.04
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>	0.29 ± 0.05	0.08 ± 0.01 <sup>def</sup>	0.14 ± 0.02	0.09 ± 0.01 <sup>f</sup>
<i>Porphyra yezoensis</i>	0.40 ± 0.06	0.07 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.29 ± 0.01	0.08 ± 0.01 <sup>ef</sup>
<i>Sympyocladia latiuscula</i>	0.77 ± 0.08	1.00 ± 0.03	0.98 ± 0.01	1.01 ± 0.07

<sup>1</sup>Data are expressed as mean ± SD, and different superscript letters indicate statistically significant difference ( $p < 0.05$ ).

모자반은 자외선+가시광선에 동시 노출되었을 경우에 2배 증가하였다. 비틀대모자반, 지총이 및 고리매는 가시광선에서 모두 2배의 활성이 증가하였다. 나머지 갈조류는 빛에 대한 효과가 없었고, 미역쇠는 빛에 관계없이 적조생물에 대하여 강한 살조효과를 나타내었다. 홍조류의 경우 까막살은 가시광선에 의해서 약 3배, 애기돌가사리는 자외선, 가시광선 모두 2배의 활성이 증가되었다. 미끌도박, 도박는 가시광선에서

약 3배의 활성이 증가하였으며, 방사무늬김의 경우에도 가시광선에 의해서 5배의 활성이 증가하였다. 작은구슬산호말은 빛과는 관계없이 적조생물에 대하여 아주 강한 살조효과를 나타내었다. 반면에 넓패의 경우에는 활성이 감소하였다.

제 2방법 (Table 3)인 해조류 추출물에 빛을 먼저 노출하고 적조생물을 접종하였을 때, 각종 물 추출물의 경우에는 아무런 활성변화가 없었다. 그러나 메탄을 추출물의 경우 녹조류

Table 3. Effect of seaweed extracts on the algicidal activity determined by light irradiation according to the second protocol. Relative growth<sup>1</sup> was expressed as in Table 1

Species	No treatment	UV + VIS	UV	VIS
<b>CHLOROPHYTA</b>				
<i>Codium fragile</i>	1.14 ± 0.03	0.81 ± 0.02	0.66 ± 0.09	0.65 ± 0.02
<i>Enteromorpha linza</i>	0.53 ± 0.05	0.16 ± 0.04 <sup>e</sup>	0.2 ± 0.05	0.3 ± 0.01
<i>Monostroma nitidum</i>	1.19 ± 0.07	0.63 ± 0.08	0.83 ± 0.02	0.59 ± 0.03
<i>Ulva pertusa</i>	1.12 ± 0.09	0.76 ± 0.03	1.0 ± 0.03	1.18 ± 0.10
<b>PHAEOPHYTA</b>				
<i>Colpomenia bulbosa</i>	0.34 ± 0.01	0.28 ± 0.02	0.53 ± 0.10	0.55 ± 0.03
<i>Colpomenia sinuosa</i>	0.86 ± 0.07	0.46 ± 0.08	0.15 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.42 ± 0.06
<i>Ecklonia cava</i>	0.40 ± 0.02	0.44 ± 0.07	0.66 ± 0.07	0.26 ± 0.04
<i>Endarachne binghamiae</i>	0.08 ± 0.01 <sup>bc</sup>	0.11 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.06 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.08 ± 0.03 <sup>c</sup>
<i>Hizikia fusiformis</i>	0.20 ± 0.01	0.31 ± 0.03	0.25 ± 0.01	0.25 ± 0.04
<i>Ishige sinicola</i>	0.15 ± 0.06	0.15 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.17 ± 0.01 <sup>ef</sup>	0.2 ± 0.08
<i>Laminaria japonica</i>	0.54 ± 0.10	0.28 ± 0.03	0.16 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.26 ± 0.06
<i>Kjellmaniella crassifolia</i>	0.69 ± 0.04	0.71 ± 0.05	0.22 ± 0.01	0.36 ± 0.08
<i>Sargassum confusum</i>	0.46 ± 0.05	1.09 ± 0.13	0.23 ± 0.07	0.31 ± 0.02
<i>Sargassum horneri</i>	1.04 ± 0.09	0.78 ± 0.09	0.5 ± 0.03	0.42 ± 0.07
<i>Sargassum sagamianum</i>	0.73 ± 0.03	0.37 ± 0.02	0.46 ± 0.07	0.70 ± 0.04
<i>Sargassum thunbergii</i>	1.03 ± 0.08	0.70 ± 0.05	0.54 ± 0.08	0.7 ± 0.03
<i>Scytoniphon lomentaria</i>	0.76 ± 0.10	0.87 ± 0.11	0.5 ± 0.07	1.06 ± 0.02
<i>Undaria pinnatifida</i>	0.28 ± 0.05	0.3 ± 0.07	0.46 ± 0.01	0.55 ± 0.07
<b>RHODOPHYTA</b>				
<i>Carpopeltis affinis</i>	0.93 ± 0.02	0.27 ± 0.01	0.33 ± 0.03	0.36 ± 0.02
<i>Chondrus ocellatus</i>	0.60 ± 0.01	0.62 ± 0.06	0.7 ± 0.02	0.92 ± 0.08
<i>Corallina pilulifera</i>	0.04 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.09 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.1 ± 0.02 <sup>cd</sup>	0.12 ± 0.01 <sup>d</sup>
<i>Gigartina intermedia</i>	0.49 ± 0.01	0.17 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.13 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.35 ± 0.01
<i>Grateloupia prolunga</i>	0.72 ± 0.07	0.64 ± 0.08	0.83 ± 0.01	1.00 ± 0.04
<i>Gratedloupia turuturu</i>	0.55 ± 0.07	0.62 ± 0.02	0.33 ± 0.07	0.76 ± 0.02
<i>Hypnea charoides</i>	0.63 ± 0.03	0.65 ± 0.03	0.70 ± 0.02	0.80 ± 0.07
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>	0.29 ± 0.05	0.13 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.05 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.16 ± 0.02 <sup>e</sup>
<i>Porphyra yezoensis</i>	0.40 ± 0.06	0.27 ± 0.01	0.12 ± 0.02 <sup>d</sup>	0.19 ± 0.01 <sup>f</sup>
<i>Sympyocladia latiuscula</i>	0.77 ± 0.08	0.99 ± 0.04	0.86 ± 0.09	0.98 ± 0.07

<sup>1</sup>Data are expressed as mean ± SD, and different superscript letters indicate statistically significant difference ( $p < 0.05$ ).

인 잎파래는 추출물에 자외선+가시광선에 노출할 때 3배 정도의 활성이 증가되었다. 갈조류에서는 불례기말 경우에 자외선에서 3배정도의 활성이 증가되었고, 감태는 가시광선에서 2배 정도의 활성이 증가한 반면, 자외선에서는 다소 활성이 감소하였다. 미역쇠는 빛에 노출되는 시기와는 관계없이 강한 활성을 보였다. 팽생이모자반은 자외선, 가시광선에 노출 후 2배 정도 활성이 증가되었다. 하지만 그 외의 갈조류와 홍조류의 경우에는 대체적으로 적조생물을 접종한 후 빛에 노출하는 것보다 활성이 감소하는 것으로 나타났다. 미끌도박은 빛에 노출하고 적조생물을 접종했을 경우가 적조생물을 접종하고 빛에 노출했을 경우보다 가시광선에서 7배정도의 활성이 감소하였다.

제 3방법인 자외선에 의하여 활성이 증가된 해조류들만을 대상으로 하여, 해조류 추출물을 자외선에 노출한 다음, 암흑의 상태에서 5시간동안 방치한 후 적조생물을 접종한 결과(Table 4), 녹조류 청각의 경우 2배정도 활성이 증가되었으며 자외선에 처리 후 암흑에 3시간동안 방치할 동안 활성이 점점 증가했지만 5시간 후에는 활성이 감소하였다. 흘파래 또한 자외선에 의하여 활성이 증가했지만, 암흑에 1시간 방치한 후 적조생물을 접종했을 경우에는 빛을 처리하고 바로 적조생

물을 접종한 것보다 3배정도 강한 활성을 띠었다. 그러나 암흑에 1시간이상 방치했을 경우는 활성이 점점 감소했다. 갈조류인 감태는 자외선에 노출했을 때가 노출하지 않을 때보다 적조생물에 대한 활성이 감소했지만, 노출 후 암흑에 3-5시간 방치 한 결과 10배정도 활성이 증가하여 작은구슬산호말과 거의 같은 활성을 가지는 것으로 나타났다. 넓꽝의 경우 자외선에 노출한 것과 하지 않은 것은 활성에 대한 변화가 없었지만 암흑에 1-5시간 방치 한 후에는 2-3배 더 강한 활성을 보였다. 지충이 역시 암흑에 방치 한 후에 더 강한 활성을 나타냈다. 반면에 미역쇠의 경우는 자외선에 노출한 후 바로 적조생물을 접종했을 경우가 가장 활성이 강하게 나타났고, 암흑에 방치했을 경우는 활성이 감소하는 것으로 나타났다. 홍조류인 작은구슬산호말은 자외선에 노출한 경우 다소 활성이 감소하는 것으로 나타났으며, 암흑에 방치했을 경우에도 3-4배 정도의 활성이 더 감소했다. 그리고, 해조류 추출물을 가시광선에 노출한 다음, 암흑의 상태에서 5시간동안 방치한 후 적조생물을 접종한 결과(Table 5), 녹조류인 흘파래에 빛 처리 후, 암흑에 1시간 방치 후 약 2배의 활성이 증가하였고, 암흑에 두는 시간이 지남에 따라 점점 활성은 감소했다. 갈조류인 감태의 경우도 암흑에 1시간 방치 한 후 2배정도의 강한 활성을 나타

Table 4. Effect of seaweed extracts on the algicidal activity determined by UV light irradiation according to the third protocol. Relative growth<sup>1</sup> was expressed as in Table 1

Species	Relative growth rate				
	No treatment	0 hr	1 hr	3 hr	5 hr
<b>CHLOROPHYTA</b>					
<i>Codium fragile</i>	1.14 ± 0.03	0.66 ± 0.09	0.57 ± 0.03	0.50 ± 0.07	0.73 ± 0.02
<i>Monostroma nitidum</i>	1.19 ± 0.07	0.83 ± 0.02	0.28 ± 0.04	0.33 ± 0.01	0.46 ± 0.02
<b>PHAEOPHYTA</b>					
<i>Ecklonia cava</i>	0.40 ± 0.02	0.66 ± 0.07	0.11 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.00 <sup>b</sup>
<i>Endarachne binghamiae</i>	0.08 ± 0.01 <sup>bcd</sup>	0.06 ± 0.02 <sup>bc</sup>	0.15 ± 0.01	0.20 ± 0.03	0.39 ± 0.02
<i>Ishige sinicola</i>	0.15 ± 0.06	0.17 ± 0.01	0.06 ± 0.01 <sup>bcd</sup>	0.04 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.06 ± 0.00
<i>Sargassum horneri</i>	1.04 ± 0.09	0.5 ± 0.03	0.67 ± 0.08	0.87 ± 0.06	0.85 ± 0.02
<i>Sargassum thunbergii</i>	1.03 ± 0.08	0.54 ± 0.08	0.45 ± 0.01	0.33 ± 0.02	0.40 ± 0.08
<b>RHODOPHYTA</b>					
<i>Corallina pilulifera</i>	0.04 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.1 ± 0.02 <sup>cd</sup>	0.15 ± 0.03	0.12 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.14 ± 0.01

<sup>1</sup>Data are expressed as mean ± SD, and different superscript letters indicate statistically significant difference ( $p < 0.05$ ).

Table 5. Effect of seaweed extracts on the algicidal activity determined by visible light irradiation according to the third protocol. Relative growth<sup>1</sup> was expressed as in Table 1

Species	Relative growth rate				
	No treatment	0 hr	1 hr	3 hr	5 hr
<b>CHLOROPHYTA</b>					
<i>Codium fragile</i>	1.14 ± 0.03	0.65 ± 0.02	0.75 ± 0.02	0.69 ± 0.03	0.74 ± 0.03
<i>Monostroma nitidum</i>	1.19 ± 0.07	0.59 ± 0.03	0.36 ± 0.02	0.61 ± 0.01	0.83 ± 0.02
<i>Enteromorpha linza</i>	0.53 ± 0.04	0.3 ± 0.01	0.73 ± 0.02	0.80 ± 0.03	1.00 ± 0.01
<b>PHAEOPHYTA</b>					
<i>Ecklonia cava</i>	0.40 ± 0.02	0.26 ± 0.04	0.14 ± 0.02	0.61 ± 0.02	0.48 ± 0.06
<i>Endarachne binghamiae</i>	0.08 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.08 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.25 ± 0.04	0.29 ± 0.04	0.76 ± 0.04
<i>Laminaria japonica</i>	0.54 ± 0.08	0.26 ± 0.06	0.59 ± 0.05	0.89 ± 0.05	1.00 ± 0.05
<i>Sargassum thunbergii</i>		0.7 ± 0.03	0.52 ± 0.04	0.66 ± 0.04	0.60 ± 0.03
<b>RHODOPHYTA</b>					
<i>Corallina pilulifera</i>	1.03 ± 0.08	0.12 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.22 ± 0.05	0.20 ± 0.05	0.38 ± 0.04

<sup>1</sup>Data are expressed as mean ± SD, and different superscript letters indicate statistically significant difference ( $p < 0.05$ ).

냈느. 반면 미역쇠는 빛 노출 후 암흑에 5시간 방치 후에 활성이 약 10배정도 감소하는 것으로 나타났고, 그 외의 해조류 경우는 빛 노출 후 암흑에 두었을 때 전반적으로 활성이 감소하였다.

일반적으로 각종 추출물로부터 생리활성물질의 탐색에 대한 방법은 단순히 유기용매추출에 의한 안정적인 활성 구조를 가지는 물질들만을 분리하였다. 하지만, 고등식물의 경우 빛에 의해서 항바이러스의 활성이 증가되는 물질들이 많이 보고(Hudson and Towers, 1991) 된 바와 같이, 본 연구에서도 해조류 추출물에 함유된 잠재적인 활성물질을 탐색하기 위하여 자외선 및 가시광선을 조사한 바, 본 연구에서 사용한 해조류의 약 30%정도에서 적조생물에 대하여 2-5배 정도 잠재적인 활성이 증가한 것으로 나타났으며, 감태 경우 자외선 노출 후 암흑에 3-5시간 방치 한 결과 최대 10배 정도 잠재적 활성이 증가하였다. 이는 Hudson et al. (1998)의 항 바이러스 활성이 60배 까지 증가하였는 것과는 차이가 있지만, 항 적조활성이 빛에 의하여 잠재적인 활성을 증가시킬 수가 있으며 이와 같은 활성물질을 해조류 추출물로 부터도 찾을 수가 있을 것으로 여겨진다. 활성의 증가는 빛 에너지를 받아들여 추출

물에 함유된 잠재적인 활성물질이 구조변화를 일으켜 적조에 대한 살조능력이 증가된 것으로 사료된다. 유효물질의 구조가 확인되면 활성에 대한 반응변화 메커니즘을 정확하게 알 수 있게 되겠지만, 고등식물의 경우는 Quinonoid, Thiophenes 화합물들이 가시광선에 의하여 활성이 증가되고, Dithiins, Polynes, Furyl 화합물, Alkaloid 들은 자외선에 의하여 주로 활성이 증가되었다(Hudson et al., 1995). 항 적조물질은 해양이라는 공간에 살포되어지므로 빛에 대한 안정성 또한 중요한 요소이며, 이 물질들이 빛에 의하여 그 활성이 증가되어지면 더욱 효과적이다. 따라서 적조방제를 위한 물질로서의 photosensitizer 물질 탐색은 새로운 유용 활성물질을 찾을 가능성이 높으며, 본 연구에서 항 적조활성 효과가 가장 높게 나타난 감태와 병사무늬김에 대한 연구가 더 진행되어 새로운 활성물질을 찾고자 한다.

## 사 사

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI05-01-02) 지원으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- Alamsjah, M.A., S. Hirao, F. Ishibashi and Y. Fujita. 2005. Isolation and structure determination of algicidal compounds from *Ulva fasciata*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 69, 2186-2192.
- Bae, H.M., S.J. Yoon and H.G. Kim. 1999. Control of HABs by yellow loess dispersion: Abstract of the 1st Annual Conference on Harmful Algal Management and Mitigation. 10-14 May, Subic Bay, Philippines. 1-28.
- Chiang, I.Z., W.Y. Huang and J.T. Wu. 2004. Allelochemicals of *Botryococcus braunii* (Chlorophyceae). *J. Phycol.*, 40, 474-480.
- Drewes-Milligan K.L. and E.M. Cosper. 1994. Isolation of virus capable of lysing the brown tide microalgae *Aureococcus anophagefferens*. *Science*, 266, 805-807.
- Hudson, J.B. and G.H.N. Towers. 1991. Therapeutic potential of plant photosensitizers. *Pharmacol. Ther.*, 49, 181-222.
- Hudson, J.B., R.J. Marles, J.T. Arnason and G.H.N. Towers. 1995. Plant photosensitizers active against viral pests. In: Downum K and J. Heita eds., Amer. Chem. Soc. Symp., Washington, D.C. 1-616.
- Hudson, J.B., J.H. Kim, M.K. Lee, R.E. Dewreede and Y.K. Hong. 1998. Antiviral compounds in extracts of Korea seaweed; Evidence for multiple activities. *J. Appl. Phycol.*, 10, 427-434.
- Imai I., Y. Ishida, K. Sakaguchi and Y. Hata. 1995. Algicidal marine bacteria isolated from northern Hiroshima bay, Japan. *Fish. Sci.*, 61, 628-636.
- Jin, H.J., J.H. Kim, C.H. Sohn, R.E. Dewreede, T.J. Choi, G.H.N. Towers, J.B. Hudson and Y.K. Hong. 1997. Inhibititon of Taq DNA polymerase by seaweed extracts from British Columbia, Canada and Korea. *J. Appl. Phycol.*, 9, 383-388.
- Jeong, J.H., H.J. Jin, C.H. Sohn, K.H. Suh and Y.K. Hong. 2000. Algicidal activity of the seaweed *Corallina pilulifera* against red tide microalgae. *J. Appl. Phycol.*, 12, 37-43.
- Jin, Q. and S. Dong. 2003. Comparative studies on the allelopathic effects of two different strains of *Ulva pertusa* on *Heterosigma akashiwo* and *Alexandrium tamarense*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 293, 41-55.
- Kakisawa, H., F. Asari, T. Kusumi, T. Toma, T. Sakurai, T. Oohusa, Y. Hara and M. Chihara. 1998. An allelopathic fatty acid from the brown alga *Cladophora okamuranus*. *Phytochemistry*, 27, 731-735.
- Kim, H.G., S.G. Lee, K.H. An, S.H. Youn, P.Y. Lee, C.K. Lee, E.S. Cho, J.B. Kim, H.G. Choi and P.J. Kim. 1997. Recent Red Tides in Korea Coastal Waters. Nation Fisheries Research and Development Institute, Republic of Korea.
- Kim, H.G., W.J. Choi, Y.G. Jung, C.S. Jung, J.S. Park, K.H. An and C.I. Baek. 1998. Initiation of *Cochlodinium polykrikoides* blooms and its environmental characteristics around the Narodo Island in the western part of South Sea of Korea. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*, 54, 119-129.
- Kim, J.Y., M.A. Alamshah and A. Hamada. 2006. Algicidal diterpenes from the brown alga *Dictyota dichotoma*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 70, 2571-2574.
- Park, Y.T., J.B. Park, S.Y. Chung, B.C. Song, W.A. Lim, C.H. Kim and W.J. Lee. 1998. Isolation of marine bacteria killing red tide microalgae. I. Isolation and algicidal properties of *Micrococcus sp.* LG-1 posessing killing activity for harmful Dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*. *J. Kor. Fish. Soc.*, 31, 767-773.
- Provasoli, L. 1968. Media and prospects for cultivation of marine algae. In: Watanabe A. and Hattori eds., *Cultures and Collections of Alage*. Jap. Soc. Plant Physiol., Univ. Tokyo Press, 63-75.
- Ryu, H.Y., J.M. Shim, J.D. Bang, C. Lee. 1998. Experimental chemical treatments for the control of dinoflagellate, *Cochlodinium polykrikoides* in the land-based culture of oliver flounder *Paralichthys olivaceus*. *Kor. J. Aquacult.*, 11, 285-294.
- Steidinger, K.A. 1983. A re-evaluion of toxic dinoflagellate biology and ecology. *Prog. Phycol. Res.*, 2, 147-188.
- Suzuki, Y., T. Takabayashi, T. Kawaguchi and K. Matsunaga. 1998. Isolation of an allelopathic substance from the crustose coralline algae, *Lithophyllum spp.*, and its effect on the brown alga, *Laminaria religiosa* Miyabe (Phaeophyta). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 225, 69-77.

2007년 3월 13일 접수

2007년 6월 7일 수리