

Research Article

## 구멍갈파래(*Ulva australis*) 생육제어 효과 증진을 위한 화합물 및 고온의 복합처리

김진석\*, 김보관, 곽화숙

한국화학연구원 의약바이오연구본부 친환경신물질연구센터

## Simultaneous Application of Chemicals and Temperature for the Effective Control of Trouble Seaweed *Ulva australis*

Jin-Seog Kim\*, Bo Gwan Kim, and Hwa Sook Kwak

Research Center for Eco-Friendly New Materials, Bio & Drug Discovery Division, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon 34114, Korea

### Abstract

The seaweed *Ulva* spp., which is frequently bloomed in coastal areas, have negatively affected on marine ecosystem and industrial activities. Therefore, many researches have been conducted to solve this problem in the worldwide. In this study, we carried out several experiments to develop the methods for effectively controlling *Ulva* growth through an alone or mixture application of chemical and temperature. Three chemical mixtures ( $H_2O_2$ +N-vanillynonanamide;  $H_2O_2$ +nonanoic acid;  $H_2O_2$ +sodium citrate), those had a synergistic effect to the death of *Ulva australis* (ULAUS), were found out. On the other hand, the death of ULAUS was significantly enhanced and accelerated as some chemicals were briefly treated with warm water of 40°C rather than 25°C, showing that peracetic acid 100 ppm, sodium percarbonate 100 ppm, and hydrogen peroxide 30 ppm has a better activity than that of sodium chlorite 200 ppm and menadione sodium bisulfite 4 ppm. In addition, a strong synergistic effect to the death of ULAUS thallus was also observed when the sodium citrate 1,000 ppm (pH 3.0) or acetic acid 200 ppm (pH 3.5) solution prepared in f/2 medium were treated in a short time at 40°C. However, an additive effect was only appeared as pH values of their solutions were increased to 8.0. Taken together, It seemed that our results could be developed as one of an eco-friendly practical measures useful for alleviating *Ulva* bloom in the future.

**Keywords:** Chemical control, Death of thallus, Synergistic effect, *Ulva pertusa (australis)*, Warm water treatment



 OPEN ACCESS

\*Corresponding author:

Phone. +82-42-860-7026

Fax. +82-42-861-4913

E-mail. jskim@kriict.re.kr

Received: January 19, 2018

Revised: February 6, 2018

Accepted: March 12, 2018

© 2018 The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서론

전 세계적으로 해양녹조 대발생(green tide)은 해양생태계에 큰 위협이 되고 있으며(Zhang et al., 2013) 주로 갈파래과의 거대조류(macro-alga)인 *Ulva* spp. 식물이 대부분을 차지하고 있는 것으로 알려지고 있다. 우리나라에 있어서도 녹조에 의한 해안오염의 주범은 연안지역의 기수(brackish water)에서 잘 자라며 번식 및 생육이 왕성한 *Ulva* 속 식물 [구멍갈파래(구학명 *Ulva pertusa*, 신학명 *Ulva australis*), 큰갈파래(*Ulva ohnoi*), 가시파래(*Ulva prolifera*), 참갈파래(*Ulva lactuca*), 잎파래(*Ulva linza*) 등]의 대량 발생 때문이다(Kim et al., 2017). 이들은 다양한 경로의 유·무성번식 방법을 가지고 있고 생장이 빠르며 폭넓은 온도와 염도조건에서 자랄 수 있다(Lin et al., 2008; Zhang et al., 2013). 그리고 유묘시기에는 대부분 부착성장하지만 어느 정도 성장하면 파도 등에 의해 엽상체가 분리 되고, 분리된 엽상체는 부유상태로 해류를 따라 이동되면서 성장한다. 생장이 왕성하여 집단을 이루면 다른 해조류를 비롯한 기타 생물의 서식을 방해하게 되어 생물다양성을 훼손시킬 뿐만 아니라 일부 마을 어장의 갯녹음화를 촉진시키기도 한다. 또한 해변으로 밀려올 경우, 해수욕장 사용에 지장을 초래할 뿐만 아니라 부패로 인한 악취 발생 및 주변 생태계 오염, 미관 손상 등의 여러 가지 피해를 유발시킨다. 이러한 현상은 그대로 방치될 경우 점차 야열대-열대화 되어가는 우리나라 기후 변화로 인해 더욱 악화될 것으로 판단된다(Gao et al., 2017; Kim et al., 2017).

*Ulva* spp.는 일반적으로 영양분이 많은 담수(축산 및 양어장 폐수, 하폐수, 농업용수, 용천수 등)가 유입되는 연안, 수심이 비교적 낮거나 모래톱이 형성되어 상대적으로 수온이 높게 유지되는 장소, 해류의 흐름이 낮은 정체수역 등에서 대발생되기 쉽고(Lin et al., 2011; Kang and Nam, 2016; Song et al., 2016), 이렇게 오염되었던 지역은 잔류 개체 및 포자들의 과잉 존재로 인해(Gao et al., 2010; Huo et al., 2014) 이후 상승적으로 대발생하게 된다. 따라서 대발생 경감을 위해서는 우선적으로 부영양화 조건을 만들지 않도록 노력할 뿐만 아니라, 이들의 발생밀도를 최대한 경감시키기 위해서는 대발생되었을 때 해조류를 신속히 수거하되 엽상체로부터의 포자 대량 유출을 효율적으로 차단하는 처리 방안이 무엇보다 필요하다(Kim et al., 2017).

대발생 경감과 관련한 사전 연구결과를 살펴보면, Yamochi (2013)는 *Ulva* 증식억제 기술 중의 하나로서 몇 시간 동안 저염도 상태에서 공기에 30-40% 노출시키면 다른 생물종 생육의 영향 없이 갈파래를 현저하게 경감시킬 수 있다고 보고하였다. Geng et al. (2015)은 *Ulva prolifera* 배우체 발아를 위한 기질로서 고무 재질이 가장 불량하였기 때문에 향후 갈파래 대발생의 초기 단계 억제책으로서 고무재질의 구조체를 이용하는 방안을 제시하였으며, 실리콘 방오제(silicone anti-fouling agents)를 도포하는 것도(Li et al., 2017) 하나의 방안으로 제시되었다. 한편 Kim et al. (2017)은 구멍갈파래[*Ulva pertusa* (*australis*)] 발생경감에 동원될 수 있는 유용한 방안으로서 저염화, 건조, 온도 및 화합물 처리 등을 검토하고 그 중에서 실용화 가능성이 높은 방법으로서 화합물 또는 온도처리가 바람직할 것으로 제안하였다. 그런데 갈파래류 대발생을 보다 효과적으로 억제하려면 여러 가지 물리적, 화학적, 생물적 방제기술이 지역 환경에 맞게 적절히 적용되어야 하겠지만, 무엇보다도 대면적에 효율적으로 활용될 수 있는 기술 개발이 필요하며 가능한 한 환경 친화적이어야 한다. 그리고 한 가지 요소기술보다는 상호 시너지효과가 높은 기술을 복합적으로 활용토록 하는 것이 바람직할 것이다.

따라서 본 연구에서는 화합물과 온도 요인을 대상으로 갈파래 대발생 경감에 보다 효과적으로 활용될 수 있는 기술을 확립하기 위하여 화합물간의 혼합처리, 화합물과 온도의 병행처리효과를 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 시험생물의 계대배양 및 엽상체 절편 제조

전남 거제도 해안에서 수집한 구멍갈파래를 실내 계대배양을 통해 적응시킨 성체(엽상체)를 사용하였다. 즉, 표면적  $0.1 \text{ m}^2$ 의 리빙박스에 인공해수 5 L를 주입하고 채집한 구멍갈파래를 넣은 다음, 수온  $15 \pm 1.0^\circ\text{C}$ , 광주기 14시간, 광도는  $50\text{-}500 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 의 생육실에 배양하였으며 2주마다 주기적으로 배지(인공해수)를 교체해 주었다. 인공해수는 수돗물로 조제하였으며 이의 조성은 Instant Ocean Sea Salt  $35.93 \text{ g L}^{-1}$  (United Pet Group, Inc. Cincinnati, OH 45255),  $\text{KNO}_3$   $100 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$   $20 \text{ mg L}^{-1}$ , sodium bicarbonate  $100 \text{ mg L}^{-1}$  이었고 pH는 8.1, 염도는 2.6-2.7 이었다.

계대배양중인 구멍갈파래 엽상체를 현미경 관찰한 다음, 포자 유도 가능성이 낮은 엽상체를 골라 이로부터 직경 4 mm의 엽상체 절편(thallus disc)을 적출한 후 sodium bicarbonate 100 ppm이 함유된 f/2 배지(이하 f/2+SBC 100 ppm라 함)에 담고  $20^\circ\text{C}$  항온, 14시간 광주기, 광도 조건의 생육실에 2일 이상 적응시킨 것을 아래의 제반 실험을 위한 실험재료로 사용하였다.

### 구멍갈파래 방제에 미치는 화합물간의 혼합처리 효과 조사

시험화합물은 모두 시그마알드리히사에서 구입한  $\text{H}_2\text{O}_2$  (순도 50%), sodium citrate, potassium ferricyanide, sodium percarbonate, nonanoic acid (순도 95%), N-vanillylnonanamide (순도 96%), copper chloride를 공시하였다. 시험된 혼합물 조합은  $\text{H}_2\text{O}_2$ +sodium citrate,  $\text{H}_2\text{O}_2$ +nonanoic acid,  $\text{H}_2\text{O}_2$ +N-vanillylnonanamide, sodium percarbonate+sodium citrate, sodium percarbonate+potassium ferricyanide,  $\text{H}_2\text{O}_2$ +copper chloride 로서 모두 6가지였다. 기본배지(f/2+SBC 100 ppm)를 이용하여 여러 가지 농도 조합으로 혼합된 시험용액을 조제한 다음, 50 mL 유리관병에 10 mL 분주한 후 여기에 사전에 준비한 엽상체 절편 5개씩을 접종하였다. 이를  $20^\circ\text{C}$  항온, 14시간 광주기,  $50\text{-}100 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  광도 조건의 생육실에 7일 두고 경시적으로 탈색, 생장 및 고사 여부를 달관조사하였다. 그 후 콜비방법(Colby's method)에 따라 두 처리간의 상호작용성을 평가하였다(Colby, 1967).

### 구멍갈파래 방제에 미치는 화합물과 온도간의 병행처리 효과 조사

본 실험을 위해 공시된 화합물은 모두 시그마알드리히사에서 구입한  $\text{H}_2\text{O}_2$  (순도 50%), peracetic acid, sodium chlorite, sodium percarbonate ( $\text{H}_2\text{O}_2$  20-30%), menadione sodium bisulfite (MSB) 이었다. 온도는  $25^\circ\text{C}$ 와  $40^\circ\text{C}$  두 가지 조건으로 처리하였다.

기본배지(f/2+SBC 100 ppm)를 이용하여 hydrogen peroxide 30 ppm, peracetic acid 100 ppm, sodium chlorite 200 ppm, sodium percarbonate 100 ppm, MSB 4 ppm 용액을 제조한 다음, 250 mL 비이커에 각각의 시험용액 100 mL를 분주한 후 이를 수조에 담귀 각각  $25^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$  되도록 유지시켰다. 엽상체 절편 10개를 거즈에 모아서 각각의 용액에 5분 침지하고 즉시 꺼내어 미리 준비해 둔 차가운 동일 배지에 식힌 다음, 이를 f/2+SBC 100 ppm 배지 50 mL가 담겨진 125 mL 삼각플라스크에 3반복 접종하였다. 알루미늄 호일로 마개를 한 후  $20^\circ\text{C}$  항온, 14시간 광주기,  $50\text{-}100 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  광도 조건의 생육실에 1주일 두고 탈색 및 고사 여부를 조사하였다. 그 후 콜비방법(Colby's method)에 따라 두 처리간의 상호작용성을 평가하였다(Colby, 1967).

### 구멍갈파래 방제에 미치는 유기산과 온도의 병행처리 효과 조사

기본 배양배지(f/2+SBC 100 ppm)를 이용하여 sodium citrate 1,000 ppm (pH 3.02)과 acetic acid 200 ppm (pH 3.5)

을 준비하였고, 이에 대한 대조구로서 1N KOH를 이용하여 pH 8.0인 용액을 각각 조제하였다. 온도는 25°C와 40°C 두 가지 조건으로 처리하였다.

유기산+온도처리 실험의 경우, 시험용액 100 mL가 담겨진 250 mL 비이커를 수조에 담귀 각각 25°C, 40°C가 되도록 유지시켰다. 엽상체 절편 10개를 거즈에 모아서 각각의 용액에 4분 침지하고 즉시 꺼내어 미리 준비해 둔 차가운 동일 배지에 식힌 다음, 이를 f/2+SBC 100 ppm 배지 50 mL가 담겨진 125 mL 삼각플라스크에 3반복 접종하였다. 알루미늄 호일로 마개를 한 후 20°C 항온, 14시간 광주기, 50-100  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  광도 조건의 생육실에 1주일 두고 탈색 및 고사 여부를 조사하였다. 그 후 콜비방법(Colby's method)에 따라 두 처리간의 상호작용성을 평가하였다(Colby, 1967).

### 두 처리간의 상호작용성 평가

두 종류의 화합물간 또는 화합물/온도간의 상호작용성은 콜비방법(Colby's method)에 따라 평가하였다(Colby, 1967). 만일 혼합처리에 의해 나타난 실제의 방제가(실측치, observed value)가 기대치(식 (1)에 의해 구해진 값, expected value) 보다 클 경우는 상승작용, 같을 경우는 상가작용, 작을 경우는 길항작용을 나타내는 것이다. 상호작용 정도는 식 (2)에 의해 구해진 값으로 표시하되 값이 클수록 작용성이 큰 것으로 해석된다.

$$E = (X+Y) - XY/100 \quad (1)$$

여기서 X는 처리 A 조건에서의 억제%, Y는 처리 B 조건에서의 억제%를 나타낸다.

$$\text{상호작용성 지수(Interaction index)} = \text{실측치(Observed value)} - \text{기대치(Expected value)} \quad (2)$$

## 결 과

### 구멍갈파래 방제에 미치는 화합물간의 혼합처리 효과 조사

공시된 6가지 혼합물 조합을 가지고 구멍갈파래 생육억제에 미치는 혼합처리 효과를 조사하였다. 콜비방법에 의한 상호작용을 분석해 보았을 때, sodium percarbonate+sodium citrate는 미약한 상승작용, sodium percarbonate+potassium ferricyanide는 상가작용, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+copper chloride는 심한 길항적 작용을 나타내었다(데이터 제시 생략). 그러나 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+N-vanillylnonanamide, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+nonanoic acid, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+sodium citrate 혼합처리는 비교적 양호한 상승작용을 나타내었다. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+N-vanillylnonanamide 혼합처리의 경우, 대부분의 농도조합에서 구멍갈파래 생육억제에 대한 상승작용이 나타났고 가장 높은 상승작용을 보인 농도 조합은 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 25-30 ppm+N-vanillylnonanamide 35 ppm 와 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 25 ppm+N-vanillylnonanamide 17.5 ppm 처리였다(Table 1). H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+nonanoic acid 혼합처리에서도 처리 후 2일째에 특히 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 25 ppm+nonanoic acid 200-300 ppm에서 뚜렷한 상승작용이 보이다가(Table 2) 처리 후 시간이 경과됨에 따라 상승작용이 감소되는 경향을 보였다(데이터 제시 생략). 그리고 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+sodium citrate 혼합처리의 경우, 처리 후 7일째 sodium citrate 10, 100, 1,000 ppm 단독처리에서 각각 0, 5, 18%의 약해가 초래되었지만 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 25 ppm을 혼합처리하면 각각 80, 80, 90%의 생육억제를 나타내어 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 25 ppm 단독처리의 50% 저해보다 뚜렷한 저해효과 증진을 보였다(Fig. 1).

**Table 1.** Mixture effect of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and N-vanillynonanamide on the growth of thallus disc excised from *Ulva australis*.

N-vanillynonanamide (ppm)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ppm)	Injury % at 5 DAT <sup>x</sup>		Interaction index (Obs-Exp) <sup>z</sup>
		Observed value (Obs) <sup>y</sup>	Expected value (Exp) <sup>z</sup>	
0	0	0	-	-
	20	11.7	-	-
	25	31.7	-	-
	30	71.7	-	-
17.5	0	20.0	-	-
	20	45.0	29.4	15.6
	25	70.0	45.4	24.6
	30	88.3	77.4	10.9
35	0	60.0	-	-
	20	90.0	64.7	25.3
	25	96.0	72.7	23.3
	30	100	88.7	11.3
70	0	100	-	-
	20	100	100	0
	25	100	100	0
	30	100	100	0

<sup>x</sup>DAT: Days after treatment.<sup>y</sup>Observed value indicates mean value of three replicates as injury % determined at 5 days after treatment.<sup>z</sup>Expected value and interaction index were calculated by Colby's method (Colby, 1967).**Table 2.** Mixture effect of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and nonanoic acid on the growth of thallus disc excised from *Ulva australis*.

Nonanoic acid (ppm)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ppm)	Injury % at 2 DAT <sup>x</sup>		Interaction index (Obs-Exp) <sup>z</sup>
		Observed value (Obs) <sup>y</sup>	Expected value (Exp) <sup>z</sup>	
0	0	0	-	-
	20	15.0	-	-
	25	25.0	-	-
	30	73.3	-	-
100	0	0.0	-	-
	20	16.7	15.0	1.7
	25	33.3	25.0	8.3
	30	81.7	73.3	8.4
200	0	0.0	-	-
	20	18.3	15.0	3.3
	25	75.0	25.0	50.0
	30	88.3	73.3	15.0
300	0	26.7	-	-
	20	91.7	37.7	54
	25	93.3	45.0	48.3
	30	93.3	80.4	12.9

<sup>x</sup>DAT: Days after treatment.<sup>y</sup>Observed value indicates mean value of three replicates as injury % determined at 2 days after treatment.<sup>z</sup>Expected value and interaction index were calculated by Colby's method (Colby, 1967).

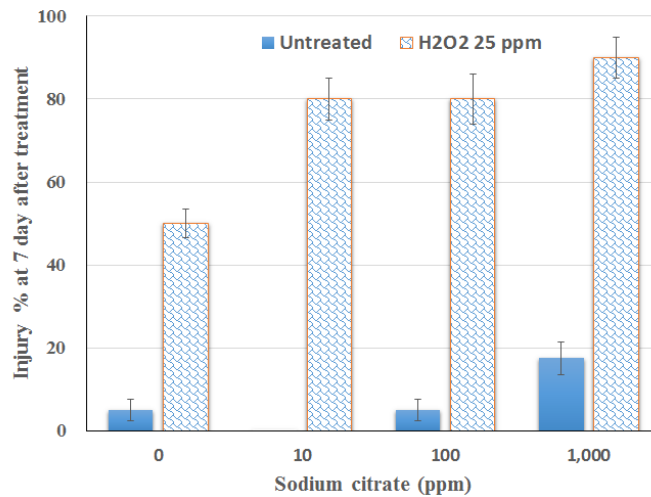


Fig. 1. Mixture effect of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and sodium citrate on the growth of thallus disc excised from *Ulva australis*. Vertical bars represent standard deviations of three replicates.

### 구멍갈파래 방제에 미치는 화합물과 온도간의 병행처리 효과 조사

Kim et al. (2017)은 온수가 구멍갈파래의 생육과 번식을 조절하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 제안하였다. 그런데 보다 낮은 온도에서 또는 같은 온도라 할지라도 어떤 처리에 의해 제어 효율이 높아진다면 이는 본 기술의 실용화에 큰 기여를 할 것이다. 본 연구에서는 f/2 배지의 온수에 여러 가지 화합물을 첨가하여 병행처리하였을 때 구멍갈파래 생육제어에 상승적 작용을 가지는지 알아보기 위하여 조사하였다. 그 결과, 25°C 5분 침지처리에서

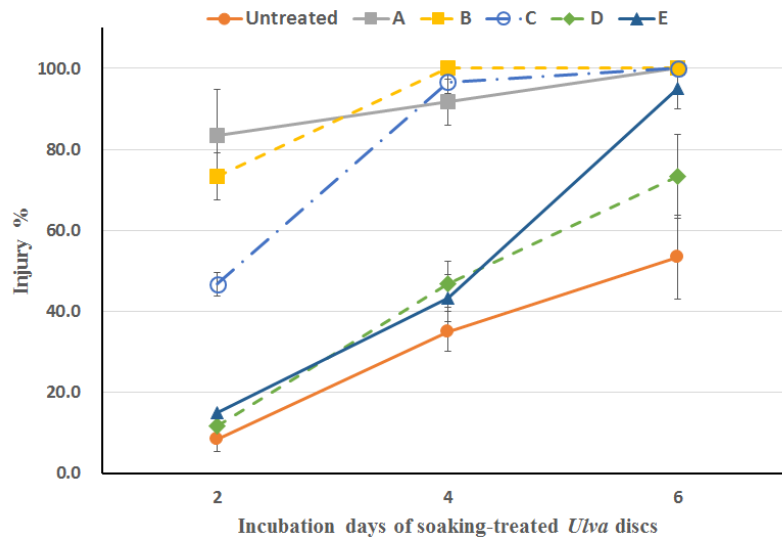


Fig. 2. Mixture effect of various chemicals and warm water (40°C) on the growth of thallus disc excised from *Ulva australis*. All test solutions were prepared in f/2 medium. A: peracetic acid 100 ppm; B: sodium percarbonate 100 ppm; C: hydrogen peroxide 30 ppm; D: sodium chlorite 200 ppm; E: menadione sodium bisulfite (MSB) 4 ppm. The *Ulva* discs were soaked in test solutions (40°C) for 5 min and were immediately washed with tapwater. Then the washed samples were transferred into f/2 medium and incubated at 20°C. Vertical bars represent standard deviations of three replicates.

는 f/2 배지 또는 모든 화합물 처리용액에서 생육저해(약해)가 전혀 없었으나, 40°C 5분 처리에서는 화합물 종류별로 정도 차이가 있기는 하지만 전반적으로 f/2 배지의 단독 처리에서보다 화합물 혼합용액 처리시 생육저해의 현저한 증진이 일어났을 뿐만 아니라 고사 속도도 보다 신속해지는 효과를 가졌다(Fig. 2). 그리고 처리 후 6일째의 생육상태를 가지고 콜비 방법(Colby's method)에 의한 화합물 혼합처리의 상호작용성을 검토할 결과 모든 화합물 혼합 처리에서 높은 상승작용이 있음을 확인하였다(Table 3). 따라서 40-50°C 온수에 적당한 농도의 화합물을 혼합하여 처리함으로써 구멍갈파래의 생육과 번식을 보다 손쉽고 빠르게 조절하는데 유용하게 사용될 수 있을 것 같았다.

**Table 3.** Mixture effect of various chemicals and warm water (40°C) on the growth of thallus disc excised from *Ulva australis*.

Chemical solutions <sup>x</sup>	Observed value <sup>y</sup>		Expected value <sup>z</sup>	Interaction index (Obs-Exp) <sup>z</sup>
	25°C, 5 min	40°C, 5 min	40°C, 5min	
Untreated	0	53.3	-	-
A	0	100.0	53.3	46.7
B	0	100.0	53.3	46.7
C	0	100.0	53.3	46.7
D	5	73.3	55.6	17.7
E	3.3	95.0	54.8	40.2

<sup>x</sup>All test solutions were prepared in f/2 medium. A: peracetic acid 100 ppm; B: sodium percarbonate 100 ppm; C: hydrogen peroxide 30 ppm; D: sodium chlorite 200 ppm; E: menadione sodium bisulfite (MSB) 4 ppm.

<sup>y</sup>The treated samples were immediately washed with tapwater, transferred into f/2 medium and incubated at 20°C. Observed value indicates mean value of three replicates as injury % determined at 6 days after incubation.

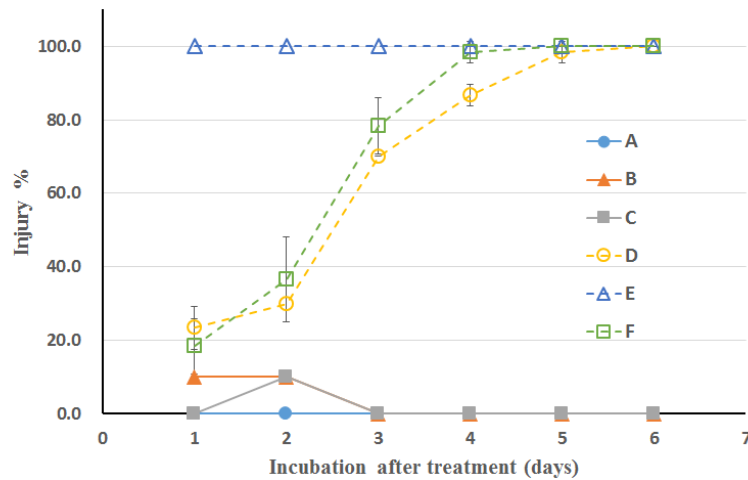
<sup>z</sup>Expected value and interaction index were calculated by Colby's method (Colby, 1967).

### 구멍갈파래 방제에 미치는 유기산과 온도의 병행처리 효과 조사

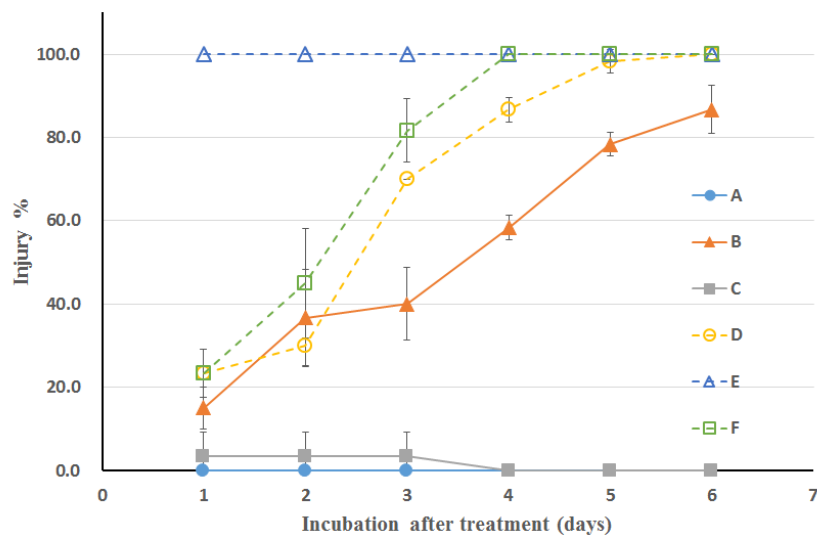
구멍갈파래는 pH 7-9 범위에서는 정상생장이 진행되었으나 pH 6 이하에서는 생장억제가 심하게 일어났으며 pH 4에서는 추가생장 없이 탈색 고사되었다(Kim et al., 2017). 본 실험에서는 f/2 배지의 온수에 유기산(sodium citrate, acetic acid)을 첨가하여 산처리하였을 때 구멍갈파래 생육제어에 상승적 작용을 가지는지 알아보기 위하여 실험하였다. 그 결과, sodium citrate+40°C 혼합처리의 경우, 25°C 4분 침지처리에서는 모든 처리용액에서 생육저해(약해)가 거의 없었으나, 40°C 4분 처리에서는 f/2 배지의 단독 처리에서보다 sodium citrate 1,000 ppm 용액 처리 시 생육저해의 현저한 증진이 일어났을 뿐만 아니라 보다 신속한 고사 효과를 나타내었다(Fig. 3). 이 때 sodium citrate 1,000 ppm (pH 3.0) 용액에 KOH를 첨가하여 pH 8.0로 높일 경우에는 f/2 배지의 40°C 단독 처리에서보다 약간의 생육저해 상승만 관찰되었다. 따라서 sodium citrate+40°C 혼합처리에서의 생육저해 증진 주요 원인은 sodium citrate 화합물 자체의 효과 보다는 sodium citrate에 의한 산도 증가 때문으로 여겨졌다.

한편 acetic acid+40°C 혼합처리의 경우, 25°C 4분 침지처리에서 acetic acid 200 ppm (pH 3.5) 처리용액에서는 생육저해가 상당히 일어났으나 f/2 배지 또는 acetic acid 200 ppm (pH 8.0) 처리용액에서는 생육저해(약해)가 거의 없었다. 그러나 40°C 4분 처리에서는 f/2 배지의 단독 처리에서보다 acetic acid 200 ppm 용액 처리 시 생육저해의 현저한 증진이 일어났을 뿐만 아니라 보다 신속한 고사 효과를 나타내었다(Fig. 4). 이 때 acetic acid 200 ppm (pH 3.5) 용액에 KOH를 첨가하여 pH 8.0로 높일 경우에도 f/2 배지의 40°C 단독 처리에서보다 높은 생육저해 상승이 관찰되었다. 따라서 acetic acid의 경우에는 sodium citrate 처리에서와는 달리 화합물 자체의 효과와 더불어 산도 조절 효과도 함께 나타나는 것으로 판단되었다. 이들에 대해 처리 후 2일째의 생육상태를 가지고 콜비 방법(Colby's

method)에 의한 온도+산 혼합처리의 상호작용성을 검토할 결과 모든 혼합처리에서 높은 상승작용이 있음을 확인하였다(Table 4).



**Fig. 3.** Mixture effect of sodium citrate (SC) and warm water (40°C) on the growth of thallus disc excised from *Ulva australis*. All test conditions were as follows. A: Check, pH 7.9, 25°C; B: SC 1,000 ppm, pH 3.0, 25°C; C: SC 1,000 ppm, pH 8.0, 25°C; D: Check, pH 7.9, 40°C; E: SC 1,000 ppm, pH 3.0, 40°C; F: SC 1,000 ppm, pH 8.0, 40°C. The *Ulva* discs were soaked in test solutions (25°C or 40°C) for 4 min and were immediately washed with tapwater. Then the washed samples were transferred into f/2 medium and incubated at 20°C. Vertical bars represent standard deviations of three replicates.



**Fig. 4.** Mixture effect of acetic acid (AA) and warm water (40°C) on the growth of thallus disc excised from *Ulva australis*. All test conditions were as follows. A: Check, pH 7.9, 25°C; B: AA 200 ppm, pH 3.5, 25°C; C: AA 200 ppm, pH 8.0, 25°C; D: Check, pH 7.9, 40°C; E: AA 200 ppm, pH 3.5, 40°C; F: AA 200 ppm, pH 8.0, 40°C. The *Ulva* discs were soaked in test solutions (25°C or 40°C) for 4 min and were immediately washed with tapwater. Then the washed samples were transferred into f/2 medium and incubated at 20°C. Vertical bars represent standard deviations of three replicates.



**Table 4.** Mixture effect of organic acid and warm water (40°C) on the growth of thallus disc excised from *Ulva australis*.

Treated organic acids <sup>x</sup>	Medium pH	Observed value <sup>y</sup>		Expected value <sup>z</sup>	Interaction index (Obs-Exp) <sup>z</sup>
		25°C, 4 min	40°C, 4 min	40°C, 4 min	
Untreated	7.9	0	30.0		
SC	3.0	10	100.0	37.0	63.0
	8.0	10	36.7	37.0	-0.3
AA	3.5	36.67	100.0	59.9	40.1
	8.0	3.33	45.0	38.8	6.2

<sup>x</sup>All test solutions were prepared in f/2 medium. SC: sodium citrate 1,000 ppm, AA: acetic acid 200 ppm.

<sup>y</sup>The treated samples were immediately washed with tapwater, transferred into f/2 medium and incubated at 20°C. Observed value indicates mean value of three replicates as injury % determined at 2 days after incubation.

<sup>z</sup>Expected value and interaction index were calculated by Colby's method (Colby, 1967).

## 고찰

갈파래(*Ulva* spp.)는 다양한 번식전략을 갖추고 있고, 성장과 증식이 빠르며(Lin et al., 2008; Zhang et al., 2013), 폭넓은 범위의 염도 및 온도, 특히 기수(brackish seawater)에서 왕성히 생육하는 특성이 있으므로(Silva et al., 2008; Ding et al., 2009; Lin et al., 2011) 영양분 함량이 높은 담수 또는 해수가 유입되는 해안, 마을하수가 유입되는 포구 또는 저수심의 정체수역에서 대량발생이 된다. 또한 분리된 엽상체는 부유 성장하면서 해류를 따라 대량으로 이동 확산되기도 한다(Ding et al., 2009). 따라서 갈파래 대량 발생 경감의 한 가지 수단으로서 이들 지역에서의 갈파래 성장을 억제하거나 발생밀도를 줄이는 방안이 고려되어야 할 것이다.

이를 위해 검토될 수 있는 방법으로는 물리적, 화학적, 생물적 방법이 있으며 이들 중에서 가장 실용화하기 적합한 방법은 화학적 방법이다. 왜냐하면 현실적 입장에서 대면적에서 보다 신속하게 갈파래 생육을 억제하거나 사멸시키기에 가장 적합한 처리수단이기 때문이다. 그런데 화학적 방법을 적용하고자 할 때 가장 크게 고려해야 할 점은 화학물질 처리시의 부작용을 최소화 시켜야 한다는 점이다. 즉 선택성이 높거나, 잔류기간이 짧으며 처리량이 낮아 환경생태계에 미치는 영향이 최소화 되는 기술이 적용되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 과산화수소(hydrogen peroxide), 과탄산소다(sodium percarbonate), 유기산 등과 같은 친환경적인 화합물을 대상으로 혼합 또는 병행처리를 통해 갈파래 방제효과가 상승되는 방안을 탐색하기 위해 실험하였다. 그 결과, 화합물간의 혼합 처리 시 상승작용을 나타내는 조합 3가지(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+N-vanillylnonanamide; H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+nonanoic acid; H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+sodium citrate)가 탐색되었다. 여기에서 과산화수소에 혼합되는 모든 물질은 천연물에 속하는 성분으로서 환경에서 손쉽게 분해될 것으로 여겨지며, 과산화수소의 갈파래 사멸효과를 증진시키는 효과를 가졌다(Table 1, 2; Fig. 1). 그런데 이들이 어떻게 해서 효과를 상승시키는지에 대해서는 아직 모르며 그 원인에 대해서는 추후 연구가 필요하다. 한편 화합물만을 처리할 수도 있지만 물리적 요인과 병행 처리함으로써 같은 효과를 가지면서 화합물 처리량을 줄일 수 있다면 보다 바람직한 기술로 활용될 것이다. 본 연구에서는 갈파래 생육억제에 온도가 민감하다는 사실을 바탕으로(Kim et al., 2017) 온수와 화합물을 병행 처리함으로써 각각의 단독처리 효과보다 증진되는지를 검토한 바, 대부분의 산화제(sodium percarbonate 등) 또는 유기산(sodium citrate, acetic acid)을 40°C 정도의 온수와 함께 처리할 때 갈파래 생육억제 및 사멸효과가 뚜렷이 상승되었다(Fig. 2-4).

갈파래는 유묘시절엔 주로 해안가의 바위, 방파제 구조물, 모래사장 등에서 부착생활을 하는데 썰물 때 상당시간 노출되는 경우가 많다. 아울러 갈파래 엽상체는 밀물 또는 파도에 의해 해변으로 밀려오다가 썰물시 몇 시간 노출되는 경우가 많다. 따라서 지상에 노출되는 시기에 맞추어 본 연구에서 개발된 혼합물을 처리하거나 화합물을

온수에 희석하여 처리하면 오염원이 될 수 있는 갈파래 상당량을 방제할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 본 연구의 화합물은 수 시간 만에 갈파래를 사멸시킬 수 있을 정도로 속효성을 가지기 때문에 충분한 효과를 거둘 수 있는 장점이 있다. 한편 수심이 낮은 지역에서 물속에 있는 갈파래를 방제하는 데에도 일부 적용할 수도 있겠지만 수심이 보다 깊은 곳에서는 본 처리방법만으로는 효과를 거두기 어려울 수 있을 것이다. 그리고 본 기술의 현장적용 시 효능이 제대로 나타날지에 대한 검토와 함께 부차적으로 발생될 수 있는 문제 즉, *Ulva*속 식물이 죽어서 발생하는 악취, 환경부하 등의 문제를 해결하는 차원에서 향후 보다 면밀한 현장실험의 추진이 필요하다고 여겨진다. 궁극적으로 갈파래 대발생 문제를 해결하기 위해서는 발생 위치, 생육 단계(포자, 유묘, 성체 등), 오염지역(일반 해안, 양식장 주변, 하수유입지, 해수욕장, 공원지) 등의 다양성에 맞추어 여러 가지 적용기술이 개발되어야 하겠다(Kim et al., 2017).

## 요약

갈파래 속(*Ulva* spp.) 해조류는 연안에서 자주 대발생되어 생태환경과 산업활동에 여러 가지 문제를 일으키기 때문에 이를 해결할 수 있는 방안이 요구된다. 본 연구에서는 화합물과 온도를 이용하여 구멍갈파래(*Ulva australis*, ULAUS)의 대발생 경감에 보다 효과적으로 활용될 수 있는 기술을 확립하고자 연구를 수행하였다. 그 결과, 화합물간의 혼합처리에 의해 각각의 단독처리보다도 ULAUS 엽상체 고사에 있어서 상승효과를 나타내는 혼합물 조합 3건( $H_2O_2$ +N-vanillylnonanamide;  $H_2O_2$ +nonanoic acid;  $H_2O_2$ +sodium citrate)을 탐색하였다. 아울러, peracetic acid 100 ppm, sodium percarbonate 100 ppm, hydrogen peroxide 30 ppm, sodium chlorite 200 ppm, menadione sodium bisulfite (MSB) 4 ppm 처리 시 25°C보다는 40°C의 온수로 처리할 때, ULAUS 사멸을 현저하게 증진시킬 뿐만 아니라 보다 빠른 시간 내에 고사시키는 효과를 나타내었다. 공시된 화합물 중에서 peracetic acid, sodium percarbonate, hydrogen peroxide가 보다 좋은 효과를 보였다. 마찬가지로 40°C 온수에 sodium citrate 1,000 ppm (pH 3.0) 또는 acetic acid 200 ppm (pH 3.5)을 처리할 때에도 ULAUS 엽상체 고사에 상승적 작용을 보였는데 이들 화합물 용액 산도(pH)를 8.0으로 하였을 때에는 상가적 작용을 나타냈다. 따라서 이들 결과는 향후 환경 친화적으로 갈파래 대발생을 제어하기 위한 실용화 기술 중의 한 가지로서 발전시킬 수 있을 것으로 사료된다.

**주요어:** 구멍갈파래[*Ulva pertusa (australis)*], 엽상체 고사, 화학적 방제, 온수처리, 상승적 효과

## ACKNOWLEDGEMENTS

This Research has been performed as a project No. SKO1707C31 (Eco-friendly control methods for preventing the algal bloom of *Ulva* spp. in the seashore) and supported by the Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT).

## REFERENCES

- Colby, S.R. 1967. Calculating synergistic and antagonistic responses of herbicide combinations. *Weeds* 15:20-22.  
Ding, L.P., Fei, X.G., Lu, Q.Q., Deng, T.Y. and Lian, S.X. 2009. The possibility analysis of habitats, origin and

- reappearance of bloom green alga (*Enteromorpha prolifera*) on inshore of western Yellow Sea. Chin. J. Oceanol. Limnol. 27:421-424.
- Gao, G., Clare, A.S., Rose, C. and Caldwell, G.S. 2017. Eutrophication and warming-driven green tides (*Ulva rigida*) are predicted to increase under future climate change scenarios. Mar. Pollut. Bull. 114:439-447.
- Gao, S., Chen, X., Yi, Q., Wang, G., Pan, G., et al. 2010. A strategy for the proliferation of *Ulva prolifera*, main causative species of green tides, with formation of sporangia by fragmentation. PLoS ONE 5(1):e8571.
- Geng, H., Yan, T., Zhou, M. and Liu, Q. 2015. Comparative study of the germination of *Ulva prolifera* gametes on various substrates. Estuar. Coast. Shelf Sci. 163:89-95.
- Huo, Y., Hua, L., Wu, H., Zhang, J., Cui, J., et al. 2014. Abundance and distribution of *Ulva* microscopic propagules associated with a green tide in the southern coast of the Yellow sea. Harmful Algae 39:357-364.
- Kang, P.J. and Nam, K.W. 2016. Effects of temperature and irradiance on growth of *Ulva prolifera* (Chlorophyta). Kor. J. Fish Aquat. Sci. 49(6):845-848. (In Korean)
- Kim, J.S., Kwak, H.S. and Kim, B.G. 2017. Effects of various physical and chemical factors on the death of trouble seaweed *Ulva australis*. Weed Turf. Sci. 6(3):222-234. (In Korean)
- Li, J., Sun, L., Yu, Z.M. and Song, X.X. 2017. Investigation on the efficiency of a silicone antifouling coating in controlling the adhesion and germination of *Ulva prolifera* micro-propagules on rafts. Sci. China Earth Sci. 60:391-396.
- Lin, A., Shen, S., Wang, J. and Yan, B. 2008. Reproduction diversity of *Enteromorpha prolifera*. J. Integr. Plant Biol. 50(5):622-629.
- Lin, A.P., Wang, C., Pan, G.H., Song, L.Y., Gao, S., et al. 2011. Diluted seawater promoted the green tide of *Ulva prolifera* (Chlorophyta, Ulvales). Physiol. Res. 59:295-304.
- Silva, P.H.D.P., McBride, S., De Nys, R. and Paul, N.A. 2008. Integrating filamentous 'green tide' algae into tropical pond-based aquaculture. Aquaculture 284:74-80.
- Song, Y.C., Kim S.R., Park S.J., Kang G.M. and Oh S.S. 2016. A study on the causes of *Ulva pertusa* Kjellman large breeding in Bangdu bay of Jeju island. Report of JIHE 27:57-69. (In Korean)
- Yamochi, S. 2013. Effects of dessication and salinity on the outbreak of a green tide of *Ulva pertusa* in a created salt marsh along the coast of Osaka Bay, Japan. Estuar. Coast. Shelf Sci. 116:21-28.
- Zhang, J., Huo, Y., Yu, K., Chen, Q., He, Q., et al. 2013. Growth characteristics and reproductive capability of green tide algae in Rudong coast, China. J. Appl. Phycol. 25:795-803.