



## 국내 자생 해조류 추출물의 항산화능 비교분석 연구

김 경<sup>1</sup> · 이경하<sup>1</sup> · 양혜원<sup>1</sup> · 우채현<sup>1</sup> · 정우혁<sup>2</sup> · 박은영<sup>3</sup> · 오윤신<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>을지대학교 식품영양학과, <sup>2</sup>전남바이오산업진흥원 해양바이오연구센터, <sup>3</sup>목포대학교 약학대학

### Comparative Analysis of Antioxidant Activity of Korean Seaweeds Extracts

Kyong Kim<sup>1</sup>, Kyung Ha Lee<sup>1</sup>, Hye Won Yang<sup>1</sup>, Chae Hyeon Woo<sup>1</sup>, Woo-Hyuk Jung<sup>2</sup>, Eun-Young Park<sup>3</sup>, Yoon Sin Oh<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Food and Nutrition, Eulji University

<sup>2</sup>Marine Biotechnology Research Center, Jeonnam Bioindustry Foundation

<sup>3</sup>Department of Pharmacy, Mokpo National University

### Abstract

Seaweed-derived foods have long been popular in Korea because of their high content of nutrients that are beneficial to the human body. Recently, Korean seaweeds have been used as raw materials to produce new natural products with health benefits. Herein, we compared the antioxidant activity of 16 Korean seaweed extracts to explore their potential utility as health foods. The total phenolic content (TPC) and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity of seaweed extracts were determined. We also investigated their ability to protect human diploid fibroblast (HDF) cells against hydrogen peroxide. The results showed that seaweed extracts at a concentration of 100 µg/mL did not cause any cell toxicity. *Sargassum thunbergii* (Jichung-i) had the highest TPC and radical scavenging effects, followed by *Porphyra tenera* (Gim), *Silvetia siliquosa* (Tteumbugi), and *Sargassum fusiforme* (Tot). Hydrogen peroxide increased the production of intracellular reactive oxygen species, while *P. tenera* (Gim), *Saccharina japonica* (Dasima), and *S. thunbergii* (Jichung-i) extracts significantly decreased it. The effect was highest in the *S. thunbergii* (Jichung-i)-treated HDF cells. These findings indicate that *S. thunbergii* (Jichung-i) shows promise as a potential antioxidant raw material.

**Key Words** : Korean seaweeds, total polyphenol content, *sargassum thunbergia* (Jichung-i), antioxidant

## 1. 서 론

전 세계에 분포하고 있는 조류(藻類, algae)는 약 6,000여 종으로 알려져 있으며 그 중 150여 종이 식품으로 이용되고 있다(Devi et al. 2011; Meenakshi et al. 2012). 조류는 해양생태계의 기초 생산자인 식물플랑크톤이라 불리는 단세포성 미세조류(microalgae)와 광합성 색소에 따라 녹조류(green algae), 홍조류(red algae), 갈조류(brown algae)로 나뉘는 다세포성 거대조류(macroalgae)로 분류되며 이를 통상 해조류(seaweed)라고 부른다. 여기서 채취, 분리하여 추출된 2,400 종 이상의 물질은 오래전부터 인간에게 유용한 식용, 사료, 비료, 의약품, 공업용의 원재료 등으로 이용되어 왔다(Kumari et al 2011; Rath 2012).

최근, 의학기술의 발전과 생활수준의 향상은 인간의 수면 연장 및 건강증진으로 이어졌으며 신체의 대사과정에서 만들어지는 활성산소에 대한 관심은 증대되었다. 활성산소는

노화 뿐만 아니라 암, 동맥경화, 당뇨병 등 각종 만성질환의 원인이 되므로 활성산소를 제거하는 방법에 대한 연구는 끊임없이 이어지고 있다. 대표적으로 알려진 항산화제는 슈퍼옥사이드 디스뮤티아제(superoxide dismutase), 카탈레이스(catalase), 글루타티온 환원효소(glutathione reductase) 등의 효소 계열의 항산화제(Duh et al. 1999)와 합성 항산화제인 부틸하이드록시아니솔(butylated hydroxyanisole, BHA), 부틸하이드록시톨루엔(butylated hydroxy toluene, BHT) 등이 있으며, 이들은 일부 식품에 허용되기도 하지만 안전성 문제로 사용량이 법적으로 제한되어 있다(Yen & Hsieh 1998). 천연 항산화제로는 페놀성 화합물인 토코페롤, 아스코르브산, 카로티노이드, 글루타티온, 플라보노이드, 폴리페놀화합물 등이 보고되고 있으며(Larson 1988; Osborn-Barnes & Akoh 2003), 안전성이 보장되는 이런 천연 항산화물 탐색에 대한 중요도와 관심은 더욱 증가하고 있다.

해조류는 영양학적으로 풍부한 식이섬유, 비타민, 무기질,

\*Corresponding author: Yoon Sin Oh, Department of Food and Nutrition, Eulji University, Seongnam, Korea  
Tel: +82-31-740-7287 Fax: +82-31-740-7370 E-mail: ysoh@eulji.ac.kr

필수아미노산, 불포화지방산을 함유하고 있고 특히 낮은 열량과 함께 비소화성 점질성 다당류를 다량 함유하고 있다는 특징을 가진다(Jimenez-Escrig & Goni Cambrodon 1999). 해조류 중 갈조류는 전 세계적으로 약 1,500여 종이 발견되었고, 해조류 중 가장 발달된 시스템을 가지고 있다고 알려져 있다(Generalic Mekinic I et al. 2019). 갈조류에서는 피코콜로이드(phycocolloid), 푸코이단(fucoxanthin), 플로로탄닌(phlorotannins) 등의 생리활성 물질이 보고되었으며, 이들은 항응고, 항암, 항산화 등의 효과를 나타낸다고 보고되었다(Priya & Khora 2023). 갈조류 중 하나인 툿에서는 푸코잔틴(fucoxanthine), 모자반에서 플로로탄닌(phlorotannin)이라는 물질을 발견하였으며 그 외 황산기를 가진 다당류, 폴리페놀 등의 화합물에서 항산화 효과가 있음이 보고되었다(Yan et al. 1998; Jimenez-Escrig & Goni Cambrodon 1999; Lim et al. 2002; Huang & Wang 2004). 육지와는 다른 환경의 바다는 50만 종 이상의 생물이 서식하고 있는 거대한 생태계이나 접근성이 어려워 해양생물에 대한 연구는 걸음마 수준이라 할 수 있다. 국내 식용가능 해조류는 약 50여 종으로, 지리적으로 풍부한 해양자원을 가지는 한국의 경우 세계 4위의 해조류 생산량을 가지고 있어 천연물 신약개발의 원료로서 효과를 나타내는 생리활성 물질을 발견할 가능성도 커 이를 이용한 적극적인 생리활성 연구 및 산업적 이용 연구가 필요하다(Lee 2013; Choi et al. 2020).

전라남도는 국내 해조류 생산량 중 90% 이상을 차지할 만큼 해조류의 주요 생산지로 본 연구는 전라남도에 분포되어 있는 해조류 16종을 대상으로 총 폴리페놀 함량을 측정하고 항산화능과의 상관성을 비교 분석하고 산화스트레스에 대한 해조류의 활성산소 억제능을 비교하여 향후 노화 예방 및 개선 소재로서의 가능성을 검토하고자 하였다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 실험 재료 및 시약

본 실험은 전라남도 완도와 진도에 분포되어 있으며 식용 가능하고 구입이 비교적 용이한 자생해양해조류 중 갈조류 9종(넙패, 미역, 지층이, 툿, 쇠미역, 뜸부기, 갯생이모자반, 미역귀, 다시마)과 홍조류 3종(세모가사리, 김, 참도박), 녹조류 4종(가시파래, 매생이, 청각, 파래)의 열수 추출물을 국립 목포대학교와 전남 바이오산업진흥원 해양 바이오 연구센터로부터 공급받아 10 mg/mL의 농도로 Dimethyl sulfoxide (DMSO, Sigma)에 용해하여 실험에 이용하였다<Table 1>. 대조군은 추출물과 같은 농도의 DMSO를 사용하여 세포에 처리하였다. 분석에 사용된 시약인 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical (DPPH), Folin ciocalteu's phenol reagent, gallic acid, sodium carbonate, hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 30% 등은 Sigma-Aldrich Co. (St. Louis, MO, USA)로부터, 2',

<Table 1> The list of Korean seaweeds used in this study

NO	Scientific name	Korean name	Collection	
			Place	Month
Phaeophyta (brown algae)				
1	<i>Ishige foliacea</i>	Neolpae	Wando	5
2	<i>Undaria pinnatifida</i>	Miyeog	Wando	3
3	<i>Sargassum thunbergii</i>	Jichung-i	Wando	4
4	<i>Sargassum fusiforme</i>	Tot	Wando	5
5	<i>Costaria costata</i>	Soemiyeog	Wando	9
6	<i>Silvetia siliquosa</i>	Tteumbugi	Jindo	7
7	<i>Sargassum horneri</i>	Gwaengsaengi-imojaban	Wando	6
8	<i>Undaria pinnatifida Sporophyl</i>	Miyeogwi	Wando	3
9	<i>Saccharina japonica</i>	Dasima	Wando	5
Rhodophyta (red algae)				
10	<i>Gloiopeltis tenax</i>	Semogasali	Wando	6
11	<i>Porphyra tenera</i>	Gim	Wando	2
12	<i>Grateloupia elliptica</i>	Chamdobag	Wando	5
Chlorophyta (green algae)				
13	<i>Ulva prolifera</i>	Gasipalae	Wando	1
14	<i>Capsosiphon fulvescens</i>	Maesaeng-i	Wando	11
15	<i>Codium fragile</i>	Chungaac	Wando	8
16	<i>Ulva intestinalis</i>	Palae	Wando	12

All samples were extracted by hot water extraction.

7-dichloro dihydrofluorescein diacetate (DCFH-DA)는 Molecular Probes (Thermo Fisher Scientific, USA)에서 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl-2H-tetrazolium bromide (MTT)는 Duchefa (Biochemie BV, Haarlem, Netherlands)에서 구입하여 실험에 사용하였다.

## 2. 총 폴리페놀 함량 측정

총 폴리페놀 함량은 Folin과 Denis의 방법에 따라 측정하였다(Folin & Denis 1912). 일정 농도의 해조류 추출물 20 L에 Folin-Ciocalteu's reagent 0.1 mL를 첨가한 후 상온에서 3분간 반응시켰다. 그 후 10% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0.1 mL를 첨가하여 교반한 다음 실온에서 1시간 동안 발색시켜 760 nm에서 흡광도(TECAN Group Ltd., Shanghai, China)를 측정하였다. 시료의 총 폴리페놀 함량은 0-1.0 mg/mL 농도의 gallic acid를 표준곡선으로 환산하여 계산하였으며 시료 g당 gallic acid의 mg equivalents (GAE mg/g)로 표시하였다.

## 3. 라디칼 소거능

라디칼 소거능은 diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 소거능 방법을 이용하였으며 Blois 방법(Blois 1958)에 준하여 측정하였다. 시료 추출물 100 mL에 에탄올에 용해된 0.2 mg/mL DPPH를 첨가한 후 혼합하여 실온에서 5분 동안 반응시켰으며, 반응액은 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 각 시료의 라디칼 소거능은 다음 식에 의해 계산하여 백분율로 나타내었다(Blois 1958).

DPPH 라디칼 소거능 (%)

$$= [1 - \text{시료 첨가구의 O.D.} / \text{무처리구의 O.D.}] \times 100$$

## 4. 세포배양

신생아의 포피조직에서 분리한 인간 이배체 섬유아세포 (Human dermal fibroblast, HDF)는 서울대학교 의과대학 박상철 교수로부터 공급받았다(Cho et al. 2004). HDF 세포 배양은 Dulbecco's modified Eagle Medium (Welgene, Daegu, Korea)에 10% (v/v) fetal bovine serum (Gibco, Paisley, UK)와 1% penicillin-streptomycin solution (Welgene)을 첨가한 후 37°C, 5% CO<sub>2</sub>의 배양기에서 배양하였다.

## 5. 추출 시료의 세포독성평가

해조류 추출물을 세포 배양 배지에 희석하여 농도별로 처리하였다. 시료의 세포 독성 평가는 MTT를 이용한 방법으로 측정하였다(Vistica et al. 1991). 96 well plate (SPL Lifesciences, Gyeonggi, Korea)에 1.0×10<sup>4</sup> cell/mL의 농도로 HDF 세포를 분주하여 37°C, 5% CO<sub>2</sub> 세포배양기에서 24시간 안정화시킨 후 100 mg/mL 농도로 추출물을 처리하여 24시간 배양하였다. 그 후 0.1 mg/mL MTT 시약을 처리하고 생존 세포의 효소작용에 의해 환원되도록 2시간 더 배

양한 후 배양액을 제거하고 각 well에 2-propanol를 첨가하여 생성된 formazan 결정을 녹인 다음 microplate reader를 이용하여 560 nm에서 흡광도를 측정하였다.

## 6. 항산화능 분석

세포 내 활성산소의 분석을 위해 산화 환원에 민감한 형광 탐침 DCFH-DA를 사용하였다(Rosenkranz et al. 1992). 비형광물질인 DCFH-DA는 세포내에서 peroxides 존재 시 reactive oxygen species (ROS)에 의해 산화되면서 형광을 띄게 된다. HDF 세포를 96-well black plates (Corning, Corning, NY, USA)에 1.0×10<sup>4</sup> cells/well의 농도로 분주한 후에 해조류 추출물을 100 mg/mL의 농도로 처리하고 24시간 동안 배양하였다. 이후, 1.0 mM 과산화수소(hydrogen peroxide, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 1.5시간 동안 처리하여 산화적 스트레스를 유도하고 10 mM DCFH-DA를 처리한 후 빛이 들어가지 않도록 주의하여 37°C에서 30분간 반응시킨 뒤 세포를 DPBS로 3회 세척하였다. Fluorescent microplate reader (TECAN Group Ltd, Shanghai, China)를 사용하여 DCF (ex. 485 nm, em. 530 nm)에 의한 세포내 형광값을 측정하였다.

## 7. 통계처리

상기의 모든 실험 결과는 3회 이상 반복 실험하였으며 모든 실험값은 mean±SD로 나타내었다. 통계 분석은 SPSS 20.0 소프트웨어(IBM SPSS ver. 20.0 for Windows; IBM Co., Armonk, NY, USA)를 사용하여 수행하였다. 일원배치 분산분석(one-way analysis of variance, ANOVA)으로 실험의 유의성 검증을 하였고, 유의성이 있는 경우 다중범위검정(Duncan's multiple range test)으로 사후 검정을 실시하였다(p<0.05). 각 조사항목별 상관관계(p<0.05)를 알아보고자 총 폴리페놀 함량과 DPPH 자유라디칼 소거활성 양자 간의 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)로 도출하여 비교하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 국내 자생 해조류 추출물의 총 폴리페놀 함량과 항산화 효과

항산화 연구에서 식물을 중심으로 한 폴리페놀 함량과 항산화 활성과의 연관성에 대해서는 많은 연구가 이루어져 있다(Liu et al. 2000; Tedesco et al. 2000). DPPH는 안정한 자유 라디칼 분자로 구성된 짙은 보라색의 결정성 분말로 라디칼을 포함하는 화학 반응의 분석제이며, 일반적인 항산화 분석에 이용되고 있다. 자생 해조류 16종 열수 추출물의 항산화 활성 분석을 위해 총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거능 실험을 하였고, 그 결과는 <Table 2>과 같다. 시료의 총 폴리페놀 함량은 지충이(*Sargassum thunbergii*)가 128.02 mg/g로 가장 높은 함량을 보였고 다음으로 김(*Porphyra*

<Table 2> Total polyphenol content and DPPH radical scavenging effects of Korean seaweed extracts

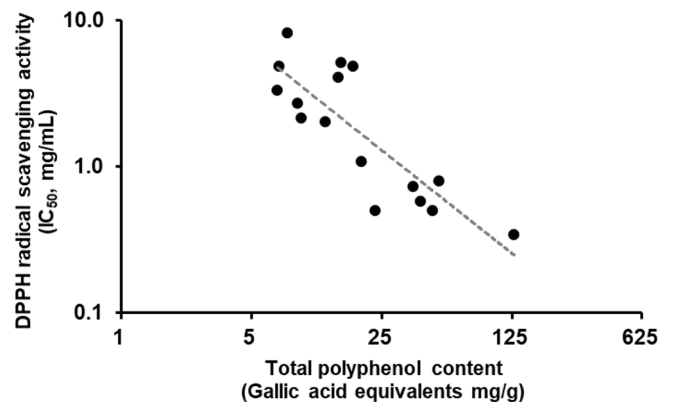
NO	Scientific name	Total Polyphenol Content (mg GAE/g) †	DPPH radical scavenging IC <sub>50</sub> ‡ (mg/mL)
1	<i>Ishige foliacea</i>	14.98±0.06 <sup>de</sup>	5.14±0.87 <sup>b</sup>
2	<i>Undaria pinnatifida</i>	9.19±0.99 <sup>de</sup>	2.14±0.22 <sup>de</sup>
3	<i>Sargassum thunbergii</i>	128.02±0.03 <sup>a</sup>	0.34±0.00 <sup>g</sup>
4	<i>Sargassum fusiforme</i>	40.36±1.47 <sup>bc</sup>	0.58±0.01 <sup>efg</sup>
5	<i>Costaria costata</i>	8.83±0.13 <sup>de</sup>	2.73±0.04 <sup>cd</sup>
6	<i>Silvetia siliquosa</i>	46.53±2.78 <sup>bc</sup>	0.50±0.01 <sup>fg</sup>
7	<i>Sargassum horneri</i>	22.84±2.49 <sup>d</sup>	0.50±0.05 <sup>fg</sup>
8	<i>Undaria pinnatifida Sporophyl</i>	19.34±1.15 <sup>de</sup>	1.08±0.04 <sup>efg</sup>
9	<i>Saccharina japonica</i>	36.81±2.52 <sup>c</sup>	0.73±0.03 <sup>efg</sup>
10	<i>Gloiopeltis tenax</i>	7.00±1.52 <sup>e</sup>	4.85±0.24 <sup>b</sup>
11	<i>Porphyra tenera</i>	50.67±0.53 <sup>b</sup>	0.80±0.01 <sup>efg</sup>
12	<i>Grateloupia elliptica</i>	17.46±9.37 <sup>de</sup>	4.87±0.72 <sup>b</sup>
13	<i>Ulva prolifera</i>	7.78±0.78 <sup>e</sup>	8.14±0.20 <sup>a</sup>
14	<i>Capsosiphon fulvescens</i>	12.40±0.73 <sup>de</sup>	2.02±0.04 <sup>def</sup>
15	<i>Codium fragile</i>	6.87±0.54 <sup>e</sup>	3.33±0.22 <sup>cd</sup>
16	<i>Ulva intestinalis</i>	14.59±1.19 <sup>de</sup>	4.09±0.15 <sup>bc</sup>

†Expressed as mg of gallic acid equivalents/g of dry weight of residue. Values within each column followed by the same letters are not significantly different (p<0.05).

‡Concentration of extract residue required to inhibit 50% of the control calculated from linear regression equation in semilogarithmic manner. Results were shown as mean±SD (n=3).

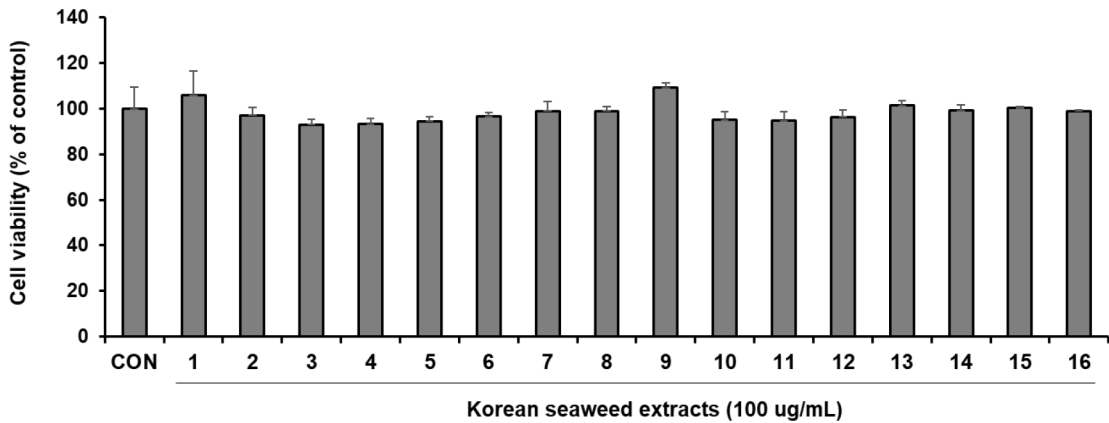
Results are expressed as Mean±Standard deviation of three determinations (n=3) for each group using Analysis of Variance (ANOVA) followed by Duncan's multiple range tests. Values within column with different superscript letters are significantly different at p<0.05.

*tenera*)이 50.67 mg/g 정도의 함량을, 그 다음으로 뜸부기 (*Silvetia siliquosa*) 46.53 mg/g, 툃 (*Sargassum fusiforme*)은 40.36 mg/g의 함량을 보였다. 항산화능 측정에서는 DPPH 라디칼 소거능 활성 정도를 IC<sub>50</sub> (mg/mL)값으로 비교한 결과 지층이 (*Sargassum thunbergii*), 팽생이모자반 (*Sargassum horneri*), 뜸부기 (*Silvetia siliquosa*), 툃 (*Sargassum fusiforme*), 다시마 (*Saccharina japonica*), 김 (*Porphyra tenera*) 순으로 효과를 보였다. 자생해조류 16종의 총 폴리페놀 함량과 항산화 활성과의 Pearson 상관계수는 <Figure 1>에서와 같이 0.540 (p<0.05)로 유의적으로 상관성이 있는 것으로 나타났다. 일반적으로 해조류 중 갈조류가 녹조류나 홍조류에 비해 높은 생리활성을 보이는 것으로 알려져 있다 (Heo et al. 2005). 갈조류는 항산화능, 페놀성분, 티로시네이즈 활성 억제능이 높아 산화적 손상을 줄이는데 주로 이용되며 (Dang et al. 2018), 피부노화방지와 주름 방지등의 특성을 지녀 기능성 화장품 소재로서도 제안된 바 있다 (Shin & Kang 2021). 본 연구에서도 홍조류인 김을 제외한 지층이, 툃, 다시마, 팽생이모자반 등의 갈조류에서 비교적 높은 폴리페놀 함량과 항산화능을 보였다.

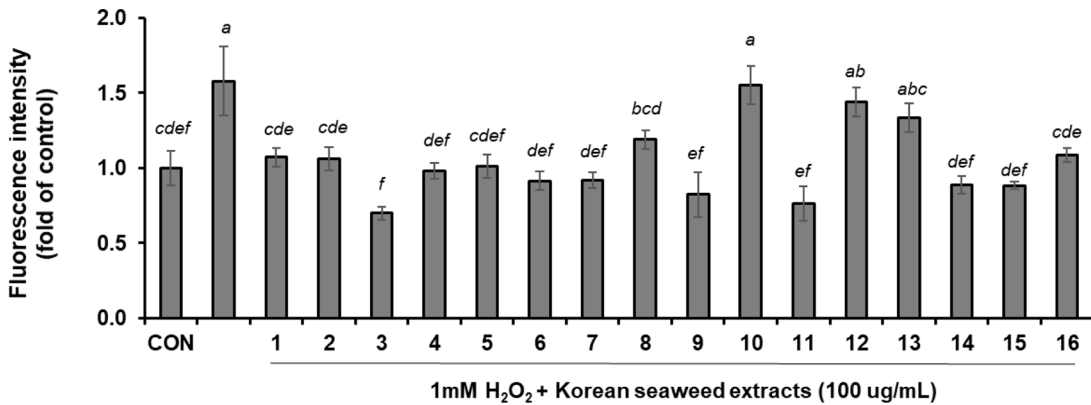


<Figure 1> Correlation between total phenolic content (TPC) and DPPH radical scavenging activity of 16 Korean seaweed extracts.

The correlation between the TPC and DPPH-IC<sub>50</sub> values of 16 Korean seaweed extracts was derived using a polynomial function. Higher TPC levels and lower DPPH-IC<sub>50</sub> values indicate higher antioxidant activity. Pearson correlation coefficient is 0.540 (p<0.05). Values are expressed as mean±SD (n=3).



<Figure 2> The Cytotoxicity to human diploid fibroblasts (HDF) at 100 mg/mL concentration of Korean seaweed extract. Cell viability was measured by MTT assay. The data are expressed as the mean±SD (n=3). CON, untreated cell; treated cell with Korean seaweed extracts (1~16); The name of Korean seaweed extracts was indicated as follows: 1, Neolpae; 2, Miyeog; 3, Jichung-i; 4, Tot; 5, Soemiyeog; 6, Tteumbugi; 7, Gwaengsaengi-mojaban; 8, Miyeoggwi; 9, Dasima; 10, Semogasali; 11, Gim; 12, Chamdobag; 13, Gasipalae; 14, Maesaeng-i; 15, Chungaac; 16, Palae.



<Figure 3> Effect of Korean seaweed extracts on H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-induced intracellular reactive oxygen species (ROS) generation in human diploid fibroblasts. Intracellular ROS generation was measured by the fluorescence microplate reader. Cells were pretreated with Korean seaweed extract for 24 hr and then exposed with 1.0 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for 1.5 hr. All values are presented as mean±SD. Bars with different letters indicate statistically significant differences among groups at p<0.05 by one-way ANOVA. CON, untreated cell; 1mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, treated cell with 1mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; co-treated cell with 1mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + Korean seaweed extracts (No. 1~16); The name of Korean seaweed extracts was indicated as follows: 1, Neolpae; 2, Miyeog; 3, Jichung-i; 4, Tot; 5, Soemiyeog; 6, Tteumbugi; 7, Gwaengsaengi-mojaban; 8, Miyeoggwi; 9, Dasima; 10, Semogasali; 11, Gim; 12, Chamdobag; 13, Gasipalae; 14, Maesaeng-i; 15, Chungaac; 16, Palae.

2. 피부섬유아세포에서 국내 자생 해조류 추출물의 세포독성 반응

HDF 세포는 *in vitro* 노화 연구에 주로 사용하는 세포주로서, 추후 항산화 효과가 탁월한 추출물의 노화억제 효과를 관찰하기 위하여 HDF 세포주를 이용하여 자생 해양식물 추출물의 세포 독성을 평가하였다. 실험에 사용된 추출물을 100 mg/mL 농도로 처리하여 24시간 배양하고 MTT로 세포 생존율을 확인하였다. 그 결과, 실험에 사용된 16종의 자생해조류 추출물 100 mg/mL에서는 유의미한 세포 독성은 확인되지 않았다<Figure 2>.

3. 피부섬유아세포에서 국내 자생 해조류 추출물의 산화스트레스 억제 반응

HDF 세포에 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>로 산화스트레스를 유도 후 발생된 활성산소를 자생 해조류 추출물이 제거할 수 있는지 여부를 조사하였다. HDF세포에 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 1.0 mM 농도로 1.5시간 처리하였을 때 세포 내 활성산소는 대조군에 비하여 1.6배 유의적으로 증가하였다. 100 mg/mL 해조류 추출물로 전 처리된 세포는 <Figure 3>에 제시된 바와 같이 지층이(*Sargassum thunbergii*), 김(*Porphyra tenera*), 다시마(*Saccharina japonica*) 순으로 세포 내 활성산소 생성을 효과적으로 억제하였다. 모

든 세포의 에너지 대사과정에서 산소는 필수적이며, 호흡을 통한 산소는 체내에서 산화과정 중 활성산소를 만든다. 적절한 활성산소는 세포 내 신호 및 면역반응에 좋은 영향을 주지만 과도한 생성은 세포 내 소기관들을 공격하여 질병을 유발시킬 수 있다(Chiba et al. 2003; Bayr 2005; El-Beltagi et al. 2022). 유기체는 이러한 활성산소종의 조절을 위한 자체 항산화 시스템을 가지고 있으나 다양한 요인에 의해 항산화 시스템에 불균형이 생기면 결국 세포내 DNA 손상 및 돌연변이 등을 일으키게 되는 것이다. 따라서 불안정한 상태의 활성산소를 제거하는 것은 세포손상 및 노화를 막는 핵심이 될 수 있다(Halliday 2005). 갈조류에 속하는 지충이는 우리나라 전 연안 암반 조간대의 우점종이다. 제주도에서는 지충이가 톳의 경쟁해조류로 알려져 지충이 제거 연구에 집중할 만큼 홀대를 받는 등 국내에서 크게 주목받지 못한 자원 중 하나이지만, 다량의 점액성 다당류 성분과 함께 독특한 물리적 성질을 지니고 있어 사료나 일부 안정제 및 증점제로 활용되고 있다. 지충이의 생리활성에 대한 연구로는 항균(Yi et al. 2001), 항염증(Kang et al. 2008), 항산화(Park et al. 2005) 효과 등이 보고되고 있으며, 분리된 단일 물질로는 노리이소프레노이드 (norisoprenoid) 화합물들인 (+)-epiloliolide, (-)-loliolide 및 apo-9'-fucoxanthinone 등이 알려져 있다(Park et al. 2004). 우리의 연구 결과, 지충이는 16종의 자생 해조류 중 항산화능이 가장 높았으며 인간섬유아세포의 산화스트레스에 대한 가장 높은 억제 효과를 보였다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구의 목적은 자생 해조류 추출물 16종의 TPC와 항산화능 및 인간섬유아세포에서 산화 스트레스 억제 효과를 비교하여 항노화 효과의 잠재적 가치를 평가하기 위함이다. 16개의 자생 해조류 중 총 폴리페놀 함량은 (TPC)는 지충이 > 김> 뽕부기 > 톳 순으로 높게 나타났으며 항산화능은 지충이 > 팽생이모자반 > 뽕부기 > 톳 > 다시마 > 김 순서로 나타났다. 그리고 TPC와 항산화능 사이에 0.540의 Pearson 상관계수로 분석되었다. 이것은 해조류의 폴리페놀 함량과 항산화능과의 “상관성이 있다”는 것을 의미한다. 16종 자생 해조류 추출물 100 mg/mL 농도에서 유의미한 독성은 없었다. 과산화수소 유발 산화스트레스에 대한 보호능을 평가한 결과, 지충이가 가장 높게 활성산소 억제효과를 가짐을 알 수 있었다. 국내 해안가 연안에서 흔히 발견되는 갈조류 중 하나인 지충이는 자외선과 같은 열악한 환경 조건에서도 적응을 하며 증식해 온 해조류 중 하나이다. 또한 세포손상의 방어에 필요한 항산화 물질을 분비하고 보습 효과, 항염증, 콜라겐 합성 촉진 효능을 가지는 점액질 다당체 등을 생성하는 등 자체 방어 기제(defense mechanism)를 구축하며 생명활동을 영위한 것으로 알려져 있다. 비교적 산화되지 않은 지충이와 같은 해조류의 자체 방어 성분을 활용할 경우, 다양한 분야에서

고부가 가치를 지닌 항산화 기능성 소재 개발에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

#### 저지정보

- 김경(울지대학교 식품영양학과, 0000-0002-8354-0488)  
이경하(울지대학교 식품영양학과, 학부생, 0009-0006-1662-7352)  
양혜원(울지대학교 식품영양학과, 학부생, 0009-0004-5930-7805)  
우재현(울지대학교 식품영양학과, 학부생, 0009-0005-0309-2769)  
정우혁(전남바이오산업진흥원 해양바이오연구센터, 0009-0004-2856-8105)  
박은영(목포대학교 약학대학, 교수, 0000-0002-4263-201X)  
오윤신(울지대학교 식품영양학과, 부교수, 0000-0003-3995-4429)

#### Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

#### References

- Bayr H. 2005. Reactive oxygen species. *Critical Care Medicine*, 33
- Blois MS. 1958. Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature*, 181: 1199-1200
- Chiba K, Kawakami K, Sone T, Onoue M. 2003. Characteristics of skin wrinkling and dermal changes induced by repeated application of squalene monohydroperoxide to hairless mouse skin. *Skin Pharmacol. Appl. Skin Physiol.*, 16: 242-51
- Cho KA, Ryu SJ, Oh YS, Park JH, Lee JW, Kim HP, Kim KT, Jang IS, Park SC. 2004. Morphological adjustment of senescent cells by modulating caveolin-1 status. *J. Bio. Chem.*, 279(40):42270-42280
- Choi HY, Choi NY, Son MS, Kim DS, Lee HJ. 2020. Assessment of possibility as cosmetic materials by brown algae from Jeju island using supercritical fluid system. *J. Korea Acad.-Ind. Coop. Soc.*, 21(1): 698-704
- Dang TT, Bowyer MC, Van Altena IA, Scarlett CJ. 2018. Comparison of chemical profile and antioxidant properties of the brown algae. *Int. J. Food Sci.*, 53(1): 174-181
- Devi GK, Manivannan K, Thirumaran G, Rajathi FAA, Anantharaman P. 2011. In vitro antioxidant activities of selected seaweeds from Southeast coast of India. *Asian Pac. J. Trop. Med.*, 4: 205-211
- Duh P-D, Tu Y-Y, Yen G-C. 1999. Antioxidant Activity of Water Extract of Harnng Jyur (*Chrysanthemum morifolium* Ramat). *LWT - Food Sci. Tech.*, 32: 269-277

- El-Beltagi HS, Mohamed AA, Mohamed HI, Ramadan KMA, Barqawi AA, Mansour AT. 2022. Phytochemical and Potential Properties of Seaweeds and Their Recent Applications: A Review. *Mar. Drugs*, 20: 342
- Folin O, Denis W. 1912. On Phosphotungstic-phosphomolybdic Compounds as Color Reagents. *J. Bio. Chem.*, 12: 239-243
- Generalic Mekinic I, Skroza D, Simat V, Hamed I, Cagalj M, Popovic Perkovic Z. 2019. Phenolic content of brown algae species: extraction, identification, and quantification. *Biomol.*, 9(6): 244-269
- Halliday GM. 2005. Inflammation, gene mutation and photo-immunosuppression in response to UVR-induced oxidative damage contributes to photocarcinogenesis. *Mutat. Res.*, 571: 107-20
- Heo SJ, Park EJ, Lee KW, Jeon YJ. 2005. Antioxidant activities of enzymatic extracts from brown seaweeds. *Bioresour. Technol.*, 96: 1613-1623
- Huang HL, Wang BG. 2004. Antioxidant capacity and lipophilic content of seaweeds collected from the Qingdao coastline. *J. Agric. Food Chem.*, 52: 4993-7
- Jimenez-Escrig A, Goni Cambrodon I. 1999. Nutritional evaluation and physiological effects of edible seaweeds. *Arch. Latinoam. Nutr.*, 49: 114-20
- Kang JY, Khan MN, Park NH, Cho JY, Lee MC, Fujii H, Hong YK. 2008. Antipyretic, analgesic, and anti-inflammatory activities of the seaweed *Sargassum fulvellum* and *Sargassum thunbergii* in mice. *J. Ethnopharmacol.*, 116: 187-90
- Kumari P, Redd RCK, Jha B. 2011. Comparative evaluation and selection of a method for lipid and fatty acid extraction from macroalgae. *Anal. Biochem.*, 415(2): 134-144
- Larson RA. 1988. The antioxidants of higher plants. *Phytochem.*, 27: 969-978
- Lee NY. 2013. Antioxidant Effect and Tyrosinase Inhibition Activity of Seaweeds Ethanol Extracts. *J. Korean Soc. Food. Sci. Nutr.*, 42: 1893-1898
- Lim SN, Cheung PC, Ooi VE, Ang PO. 2002. Evaluation of antioxidative activity of extracts from a brown seaweed, *Sargassum siliquastrum*. *J. Agric. Food Chem.*, 50: 3862-6
- Liu Z, Ma LP, Zhou B, Yang L, Liu ZL. 2000. Antioxidative effects of green tea polyphenols on free radical initiated and photosensitized peroxidation of human low density lipoprotein. *Chem. Phys. Lipids*, 106: 53-63
- Meenakshi S, Umayaparvathi S, Arumugam M, Balasubramanian T. 2012. In vitro antioxidant properties and FTIR analysis of two seaweeds of Gulf of Mannar. *Asian Pac. J. Trop. Med.*, S66-S70
- Osborn-Barnes HT, Akoh CC. 2003. Effects of alpha-tocopherol, beta-carotene, and soy isoflavones on lipid oxidation of structured lipid-based emulsions. *J. Agric. Food Chem.*, 51: 6856-60
- Park KE, Kim YA, Jung HA, Lee HJ, Ahn JW, Lee BJ, Seo YW. 2004. Three Norisoprenoids from the Brown Alga *Sargassum thunbergii*. *J. Korean Chem. Soc.*, 48
- Park PJ, Heo SJ, Park EJ, Kim SK, Byun HG, Jeon BT, Jeon YJ. 2005. Reactive Oxygen Scavenging Effect of Enzymatic Extracts from *Sargassum thunbergii*. *J. Agric. Food Chem.*, 53: 6666-6672
- Priya RR, Khora SS. 2023. Antioxidant potentials of polysaccharides derived from marine brown algae. *Mar. Antioxidants*, 33:433-448
- Rath B. 2012. Commercial and industrial applications of micro algae - A review. *J. Algal. Biomass. Utln.*, 3: 89-100
- Rosenkranz AR, Schmaldienst S, Stuhlmeier KM, Chen W, Knapp W, Zlabinger GJ. 1992. A microplate assay for the detection of oxidative products using 2',7'-dichlorofluorescein-diacetate. *J. Immunol. Methods*, 156: 39-45
- Shin SH, Kang SM. 2021. The Antioxidation Effect of Brown Algae Extract. *J. Korean Soc. Cosmetol.*, 27: 851-858
- Tedesco I, Russo M, Russo P, Iacomino G, Russo GL, Carraturo A, Faruolo C, Moio L, Palumbo R. 2000. Antioxidant effect of red wine polyphenols on red blood cells. *J. Nutr. Biochem.*, 11: 114-9
- Vistica VT, Skehan P, Scudiero D, Monks A, Pittman A, Boyd MR. 1991. Tetrazolium-based assays for cellular viability: a critical examination of selected parameters affecting formazan production. *Cancer Res.*, 51: 2515-20
- Yan X, Nagata T, Fan X. 1998. Antioxidative activities in some common seaweeds. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 52: 253-62
- Yen GC, Hsieh CL. 1998. Antioxidant activity of extracts from du-zhong (*Eucommia ulmoides*) toward various lipid peroxidation models in vitro. *J. Agric. Food Chem.*, 46: 3952-3957
- Yi Z, Yin-shan C, Hai-sheng L. 2001. Screening for antibacterial and antifungal activities in some marine algae from the Fujian coast of China with three different solvents. *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, 19: 327-331

---

Received January 17, 2023; revised February 20, 2023; accepted April 3, 2023