

## Antioxidant and $\alpha$ -glucosidase inhibition activity of seaweed extracts

Jin-Hak Kim, Hye-Min Kang, Shin-Ho Lee, Ju-Young Lee, La-Young Park\*

Department of Food Science and Technology, Catholic University of Daegu, Gyeongsan 712-702, Korea

### 해조류 추출물의 항산화 및 $\alpha$ -glucosidase 저해 활성

김진학 · 강혜민 · 이신호 · 이주영 · 박나영\*

대구가톨릭대학교 식품공학전공

#### Abstract

The antioxidant and  $\alpha$ -glucosidase inhibition activities of 10 kinds of seaweeds *Ecklonia cava* (EC), *Ecklonia stolonifera* (ES), *Eisenia bicyclis* (EB), *Capsosiphon fulvescens* (CF), *Sargassum fulvellum* (SF), *Undaria pinnatifida* (UP), *Sargassum thunbergii* (ST), *Codium fragile* (CFr), *Hizikia fusiformis* (HF), and *Enteromorpha prolifera* (EP) were investigated. Among all the tested seaweed extracts, the total polyphenol and flavonoid contents of the EB extract were highest 150.81 mg/g and 77.02 mg/g, respectively. The DPPH and ABTS radical scavenging abilities of the EB ethanol extract (1 mg/mL) were 86.26% and 99.71%, respectively, and its SOD-like activity and reducing power were 21.34% and 1.710 (OD<sub>700</sub>). The  $\alpha$ -glucosidase inhibition activities of the EC, EB, and ST were above 98% at the 0.1 mg/mL concentration. These results suggest that seaweed extracts effectively prevent the what of antioxidants and decrease the blood glucose level, and may be used to develop various functional products.

**Key words** : seaweed extract, antioxidant,  $\alpha$ -glucosidase, physiological functionalities

#### 서 론

최근 경제가 발전함에 따라 평균수명이 증가하면서 퇴행성 질환과 관련된 문제가 야기되고 있으며(1), 이러한 퇴행성 질환은 Superoxide anion radical(O<sup>2-</sup>), hydroxyl(·OH), singlet oxygen(1O<sup>2</sup>) 및 hydrogen peroxide(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 등 활성산소종이 체내에서 소거되지 않기 때문인 것으로 밝혀지면서 이를 제거하는 항산화제에 관한 연구가 끊임없이 진행되고 있다(2). 또한 항산화 작용과 당뇨병은 밀접한 연관이 있으며(3), 당뇨병이 진행되는 동안 베타세포의 기능 손상에 의해 체내 free radical의 농도와 산화적 스트레스가 증가되며, 항산화 효소의 활성을 감소시켜 합병증을 유발하게 된다(4). 따라서 당뇨병의 산화적 손상을 줄일 수 있는 항산화제의 강화는 체내 free radical과 지질 과산화물의 증가로

인해 발생하는 다양한 합병증 발생 예방 및 치료에 매우 중요하다(5). 현재 butylated hydroxyanisole(BHA) 및 butylated hydroxytoluene(BHT)는 강력한 합성 항산화제로 알려졌지만, 일정 수준 이상 섭취 시 안전성과 유해성 문제가 제기되고 있으며(6), 제 2형 당뇨병 치료제로 사용되는  $\alpha$ -glucosidase 저해제 중 acarbose, voglibose 등은 장시간 복용시 복부팽만감, 구토, 설사 등의 부작용을 나타내어 그 사용이 제한적이다(7). 이러한 부작용을 줄이고 항산화 및 항당뇨 활성을 가지는 새로운 기능성 소재를 천연물로부터 발굴하기 위한 연구는 매우 필요하다.

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 다양한 해산물들을 쉽게 얻을 수 있으며, 특히 김, 미역, 다시마 등 다양한 해조류는 건제품, 염장품 및 조미품 등의 유용 식용자원으로 이용되어 왔으며(8), 최근 해조류의 중금속 제거 활성(9), 항산화 활성(10), 항암활성(11), 항균 활성(12) 등 다양한 생리활성이 보고되어 환, 정, 드링크 등의 다양한 건강기능식품이 출시되고 있다. 지구 표면적의 70%를 차지하는 해양에는 지구 생물 종의 80% 이상이 서식하고 있으며, 다양한 해양 생물들은 육상생물과는 전혀 다른 생활환경으로 인해 특이한 생리활성물질을 보유하고 있다(13,14). 따라서

\*Corresponding author. E-mail : violet74@cu.ac.kr  
Phone : 82-53-850-3217, Fax : 82-53-850-3217  
Received 26 December 2014; Revised 9 April 2015; Accepted 13 April 2015.  
Copyright © The Korean Society of Food Preservation. All rights reserved.

광범위한 해양생물자원의 유용 생리활성 평가에 따른 생물 소재 개발 연구가 지속적으로 필요하며, 특히 한국의 경우 세계 4위의 생산량을 가지는 해조류(13)에 대한 보다 적극적인 생리활성 연구 및 산업적 이용 연구가 필요하다. 본 연구에서는 해양생물 유래 천연 기능성 소재 개발 연구의 일환으로 추출 용매를 달리한 국내산 주요 해조류 추출물의 항산화 및  $\alpha$ -glucosidase 저해 활성을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 재료 및 전처리

실험재료는 국내 연안에 자생하는 해조류 중 식용이 가능한 감태(*Ecklonia cava*), 곰피(*Ecklonia stolonifera*), 대황(*Eisenia bicyclis*), 매생이(*Capsosiphon fulvescens*), 모자반(*Sargassum fulvellum*), 미역(*Undaria pinnatifida*), 지층이(*Sargassum thunbergii*), 청각(*Codium fragile*), 툫(*Hizikia fusiformis*), 파래(*Enteromorpha prolifera*)를 사용하였다. 해조류는 울릉도, 제주도 등 각각의 산지로부터 구매하여 흐르는 물로 여러 번 세척하여 염분을 제거한 뒤 60°C에서 12시간 동안 열풍건조하였으며, 건조한 시료는 분쇄기(IKA® A11 basic, IKA® Werke GmbH & Co., KG, Staufen, Germany)를 이용하여 40 mesh 이하로 분쇄한 후 추출물 제조에 사용하였다.

### 해조류 추출물의 제조

10종의 해조류 분말을 물과 에탄올을 용매로 하여 추출물을 제조하였다. 열수 추출은 각각의 해조류 20 g에 증류수 1 L를 첨가하여 121°C에서 15분간 열수추출하였고, 에탄올 추출은 해조류 20 g에 에탄올 1 L를 첨가하여 하루 동안 200 rpm에서 교반하여 추출하였다. 열수추출물과 에탄올 추출물은 원심분리(Centrige 5810R, Effendorf, Hmburg, Germany) 후 여과하여 vacuum evaporator(WB2000, Heidolph, Schwabach, Germany)에서 농축하였고, 일정한 양을 각각의 추출용매에 녹여 항산화 및  $\alpha$ -glucosidase 저해 활성 측정에 사용하였다.

### 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량 측정

총 폴리페놀 함량 측정은 Folin-Denis 법(15)에 따라 시료 1 mL에 0.2 N Folin-Ciocalteu's phenol reagent(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 1 mL를 가하여 실온에서 3분간 반응시킨 후, 7.5%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  1 mL를 가한 후 암소에서 1시간 동안 방치한 후 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 폴리페놀 함량은 garlic acid를 표준물질로 한 표준곡선에 의하여 산출하였다.

총 플라보노이드 함량은 Abdel-Hameed(16)의 방법에 따라 시료 1 mL에 5% sodium nitrite 0.15 mL를 가한 후 25°C에

서 6분간 방치한 다음 10% aluminium chloride 0.3 mL를 가하여 25°C에서 5분간 방치하였다. 다음 1 N NaOH 1 mL를 가하고 교반한 후 510 nm에서 흡광도를 측정하였으며, rutin hydrate(Sigma-Aldrich Co.)의 검량선에 의하여 함량을 산출하였다.

### DPPH radical 소거능

DPPH radical 소거능의 측정은 Blois의 방법(17)을 변형하여 시료 0.4 mL에 0.4 mM DPPH( $\alpha, \alpha$ -diphenyl- $\beta$ -picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich Co.) 에탄올 용액 0.8 mL를 진탕 혼합하고, 10분간 방치 후 분광광도계를 사용하여 525 nm에서 흡광도를 측정하여 계산식, DPPH radical scavenging ability(%)=100-[(OD of sample/OD of control)×100]에 의하여 활성을 산출하였다.

### ABTS radical 소거능

ABTS[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt, Sigma-Aldrich Co.] radical 소거능은 ABTS radical cation decolorization assay(18)를 이용하여 측정하였다. 7.4 mM의 ABTS와 2.6 mM potassium persulfate를 혼합하여 실온·암소에서 24시간 동안 방치하여 radical을 형성시킨 다음 실험 직전에 ABTS 용액을 732 nm에서 흡광도가  $0.700 \pm 0.030$ (mean $\pm$ SD)이 되도록 phosphate-buffered saline(pH 7.4)으로 희석하여 사용하였다. 추출물 50  $\mu$ L에 ABTS 용액 950  $\mu$ L를 첨가하여 암소에서 10분간 반응시킨 후 732 nm에서 흡광도를 측정하여 계산식, ABTS radical scavenging ability(%)=100-[(OD of sample/OD of control)×100]에 의하여 활성을 산출하였다.

### SOD 유사활성 소거능

Marklund와 Marklund(19)의 방법에 따라 각 추출물 200  $\mu$ L에 pH 8.5로 조정된 tris-HCl buffer 용액 3 mL와 7.2 mM pyrogallol 200  $\mu$ L를 가하고 25°C에서 10분간 반응시킨 후 1 N HCl 1 mL를 가하여 반응을 정지시키고 420 nm에서 흡광도를 측정하였으며 계산식, SOD-like activity(%)=100-[(OD of sample/OD of control)×100]에 의하여 활성을 산출하였다.

### 환원력

Oyaizu(20)의 방법에 따라 시료 1 mL에 0.2 M phosphate buffer(pH 6.6) 2.5 mL와 1% potassium ferricyanide 용액 2.5 mL를 가한 후 50°C에서 30분간 반응시켰다. 다음 10% trichloroacetic acid(TCA) 용액 2.5 mL를 가한 후 1,650 $\times$ g에서 10분간 원심분리하였으며, 상징액 2.5 mL에 증류수 2.5 mL와 0.1%  $\text{FeCl}_3$  용액 0.5 mL를 가한 후 700 nm에서 흡광도를 측정하였다.

### 지방산패역제능

지방 산패 억제 효과는 Buege와 Aust(21)의 thiobarbituric acid reactive substances(TBARS) 방법을 변형하여 측정하였다. 상온에서 추출물 0.1 mL, emulsion oil 0.5 mL, 증류수 0.3 mL와 Fe<sup>2+</sup>(산화촉진제) 0.1 mL를 섞은 후 37°C에서 1시간 반응시켰다. 반응 혼합물을 잘 섞은 다음 2 mL TBA/TCA 시약을 가하고 다시 혼합 후 끓는 물에서 15분간 가열시켰다. 가열 후 찬물에서 식힌 후 3,000 rpm에서 10분간 원심분리 시킨 상등액을 531 nm에서 흡광도를 측정하였고, 공시료는 시료 대신에 증류수를 가하여 같은 방법으로 측정하였으며 계산식, TBARS(inhibition of lipid rancidity, %)=100-[(OD of sample/OD of control)×100]에 의하여 활성을 산출하였다.

### α-glucosidase 저해 활성

Kim 등(22)의 방법에 따라 추출물 0.05 mL, 0.2 unit/mL α-glucosidase 0.05 mL와 200 mM potassium phosphate buffer(pH 7.0) 0.05 mL를 잘 혼합하여 37°C에서 10분간 전처리하였다. 다음에 3 mM pNPG(p-nitrophenyl α-D-glucopyranoside) 0.1 mL를 첨가하여 37°C에서 10분간 반응시킨 후 0.1 M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0.75 mL로 반응을 정지시켜 405 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 저해활성은 아래의 식에 의해 산출하였다.

$$\alpha\text{-glucosidase inhibition activity}(\%) = [1 - (C_{\text{Abs}} - S_{\text{Abs}}) / (C_{\text{Abs}} - B_{\text{Abs}})] \times 100$$

C<sub>Abs</sub>: 대조구 흡광도

S<sub>Abs</sub>: 시료 흡광도

B<sub>Abs</sub>: 시료 무첨가구의 흡광도

### 통계처리

모든 실험은 3회 반복으로 행하였으며, 평균치간의 유의성은 SPSS(Statistical Package for Social Sciences, 19.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) software를 이용, p<0.05수준으로 Duncan's multiple range test에 의하여 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

국내 자생하는 대표적 해조류의 추출용매를 달리한 추출물의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 측정된 결과는 Table 1과 같다. 본 연구에 사용한 해조류의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 에탄올 추출물이 물 추출물보다 더 높은 경향을 나타내었다. 총 폴리페놀 함량은 대황(EB) 열수 추출물과 에탄올 추출물이 각각 98.75 150.81 mg/g으로 가장 높았으며, 감태(EC), 지충이(ST), 곰피(ES), 매생이

(CF), 툫(HF), 파래(EP), 모자반(SF), 청각(CFr), 미역(UP) 순으로 나타났다. 이는 갈조류들이 녹조류 및 홍조류보다 폴리페놀 함량이 많다는 Ahn 등(23)의 연구 결과와 일치하였다. 플라보노이드 함량도 대황 열수 추출물과 에탄올 추출물이 각각 31.77, 77.02 mg/g으로 가장 높았으며, 총 폴리페놀 함량과 유사한 경향을 나타내었다. 항산화 물질 중 폴리페놀 화합물들은 우수한 항산화 활성을 가지는 것으로 알려져 있으며, 이는 free radical을 안정화시키는 phenolic ring이 존재하기 때문이다. 또한 플라보노이드는 주로 anthocyanidins, flavonols, flavones, catechins 및 flavanones 등으로 구성되어 있으며, 그 구조에 따라 특정 플라보노이드는 항산화 및 항균성 등 다양한 생리활성을 갖고 있는 것으로 보고되고 있다(24).

**Table 1. Total phenolic and flavonoid contents of the extracts from 10 different seaweeds**

Sample <sup>1)</sup>	Polyphenol contents (mg/g)		Flavonoid contents (mg/g)	
	WE	EE	WE	EE
EC	69.46±0.43 <sup>bd)</sup>	144.69±0.43 <sup>i</sup>	16.78±0.30 <sup>f</sup>	64.79±0.18 <sup>f</sup>
ES	40.97±0.13 <sup>e</sup>	79.16±0.22 <sup>g</sup>	13.55±0.04 <sup>f</sup>	22.46±0.36 <sup>c</sup>
EB	98.75±0.65 <sup>j</sup>	150.81±0.69 <sup>j</sup>	31.77±0.26 <sup>h</sup>	77.02±0.09 <sup>e</sup>
CF	7.86±0.22 <sup>c</sup>	37.73±0.26 <sup>f</sup>	3.47±0.13 <sup>d</sup>	10.86±0.36 <sup>b</sup>
SF	14.50±0.56 <sup>c</sup>	14.28±0.17 <sup>c</sup>	1.62±0.45 <sup>b</sup>	8.89±0.54 <sup>a</sup>
UP	5.23±0.26 <sup>a</sup>	11.78±0.19 <sup>g</sup>	2.53±0.14 <sup>c</sup>	11.30±0.09 <sup>bc</sup>
ST	74.76±0.22 <sup>i</sup>	97.71±0.22 <sup>h</sup>	11.95±0.97 <sup>e</sup>	16.48±0.45 <sup>d</sup>
CFr	6.44±0.34 <sup>b</sup>	12.43±0.13 <sup>b</sup>	0.68±0.12 <sup>a</sup>	8.71±1.96 <sup>a</sup>
HF	16.44±0.26 <sup>f</sup>	19.89±0.34 <sup>c</sup>	1.24±0.13 <sup>ab</sup>	12.20±0.09 <sup>c</sup>
EP	8.68±0.26 <sup>d</sup>	16.61±0.17 <sup>d</sup>	1.18±0.08 <sup>ab</sup>	8.98±0.27 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>EC, *Ecklonia cava*, ES, *Ecklonia stolonifera*, EC, *Eisenia bicyclis*, CF, *Capsosiphon fulvescens*, SF, *Sargassum fulvellum*, UP, *Undaria pinnatifida*, ST, *Sargassum thunbergii*, CFr, *Codium fragile*, HF, *Hizikia fusiformis*, EP, *Enteromorpha prolifera*, WE, water extract; EE, ethanol extract.

<sup>2)</sup>Means with different superscripts in a column indicate significant differences (p<0.05).

### DPPH 및 ABTS radical 소거능

해조류의 물 및 에탄올 추출물(1 mg/mL)의 DPPH 및 ABTS radical 소거능 측정 결과는 Table 2와 같다. 해조류 추출물의 DPPH radical 소거능은 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 높은 감태, 곰피, 대황, 지충이 추출물에서 비교적 높은 활성을 나타내었으며, 대황 열수 추출물과 에탄올 추출물이 각각 63.36, 86.26%로 가장 높은 소거능을 나타내었다. ABTS radical 소거능은 모든 해조류 추출물에서 활성을 나타내었으며, 감태, 대황, 지충이 추출물은 열수와 에탄올 추출물에서 모두 99% 이상의 높은 활성을 나타내었으며, 곰피 열수와 에탄올 추출물은 각각 84.03, 99.58%를 나타내었다. 이상의 결과 해조류 추출물은 음이온 소거능을 측정하는 DPPH radical 소거능보다 양이온 소거능을 측정하는 ABTS radical 소거능이 우수하였으며, 총 폴리페

놀과 플라보노이드 함량이 비교적 높은 감태, 곰피, 대황, 지층이 추출물에서 DPPH 및 ABTS radical 소거능 역시 우수하였다. 이러한 결과는 각 추출물이 함유하고 있는 총 페놀 화합물의 함량이 증가하면서 항산화 활성도 증가한다는 Seo 등(25)의 보고와 유사하였다.

**Table 2. DPPH and ABTS radical scavenging abilities of the extracts from 10 different seaweeds**

Sample <sup>1)</sup>	DPPH <sup>2)</sup> (%)		ABTS (%)	
	WE	EE	WE	EE
EC	42.05±0.40 <sup>3)</sup>	78.72±0.49 <sup>f</sup>	99.63±0.16 <sup>c</sup>	99.68±0.08 <sup>e</sup>
ES	10.77±0.72 <sup>a</sup>	42.42±0.99 <sup>d</sup>	84.03±1.99 <sup>d</sup>	99.35±0.08 <sup>e</sup>
EB	63.36±0.89 <sup>d</sup>	86.26±1.09 <sup>e</sup>	99.54±0.08 <sup>c</sup>	99.58±0.14 <sup>e</sup>
CF	-	10.37±1.82 <sup>c</sup>	22.81±1.89 <sup>c</sup>	55.68±3.33 <sup>f</sup>
SF	-	-	24.47±0.62 <sup>b</sup>	27.15±1.41 <sup>d</sup>
UP	-	-	13.20±0.52 <sup>a</sup>	18.93±0.49 <sup>b</sup>
ST	38.52±2.82 <sup>b</sup>	68.32±5.03 <sup>c</sup>	99.86±0.14 <sup>c</sup>	99.68±0.08 <sup>e</sup>
Cfr	-	-	14.87±0.56 <sup>a</sup>	14.96±2.73 <sup>a</sup>
HF	-	5.48±2.35 <sup>b</sup>	30.89±0.97 <sup>c</sup>	38.69±0.58 <sup>c</sup>
EP	-	3.80±0.45 <sup>a</sup>	13.34±0.71 <sup>a</sup>	23.87±1.15 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>EC, *Ecklonia cava*, ES, *Ecklonia stolonifera*, EC, *Eisenia bicyclis*, CF, *Capsosiphon fulvescens*, SF, *Sargassum fulvellum*, UP, *Undaria pinnatifida*, ST, *Sargassum thunbergii*, CFr, *Codium fragile*, HF, *Hizikia fusiformis*, EP, *Enteromorpha prolifera*, WE, water extract; EE, ethanol extract.

<sup>2)</sup>DPPH, DPPH radical scavenging ability; ABTS, ABTS radical scavenging ability.

<sup>3)</sup>Means with different superscripts in a column indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

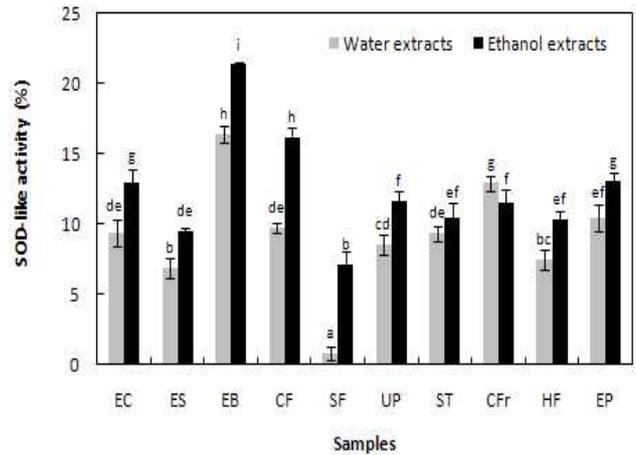
**SOD 유사활성**

용매를 달리하여 추출한 해조류 추출물(1 mg/mL)의 SOD 유사활성 측정 결과는 Fig. 1과 같이 나타났다. 해조류 열수 추출물은 0.79~16.39%의 범위를 나타내었으며, 대황 열수 추출물이 16.39%로 가장 높았다. 반면에 해조류 에탄올 추출물은 열수 추출물에 비해 낮았으며, 7.05~21.34%의 범위를 나타내었고, 열수 추출물에서와 같이 대황 에탄올 추출물이 21.34%로 가장 높았다. SOD 효소는 식물이나 동물에 있어 활성산소를 제거하는 항산화 효소로 알려져 있으며, 이러한 SOD 유사활성을 갖는 항산화 물질로는 phenolic acids, flavonoids, anthocyanins 및 isoflavonoids와 같은 페놀성 화합물들이 알려져 있다(26,27).

**환원력**

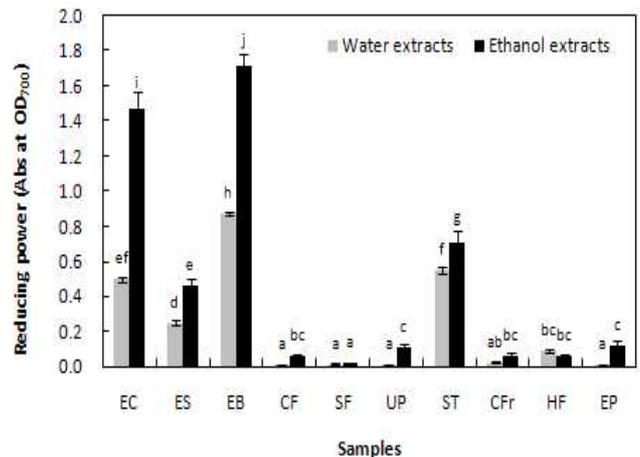
용매를 달리하여 추출한 해조류 추출물(1 mg/mL)의 환원력 측정 결과는 Fig. 2와 같이 나타났다. 추출 용매에 따른 환원력(OD<sub>700</sub>)은 열수 추출물에서 0.010~0.876 범위를 나타내었으며, 대황 열수 추출물이 0.876으로 높은 환원력을 나타내었고, 매생이, 모자반, 미역, 청각, 툫, 파래는 0.1 이하의 낮은 환원력을 나타내었다. 에탄올 추출물의 경우 0.060~1.710의 범위를 나타내었으며, 그 중 대황, 감태, 지층

이, 곰피 에탄올 추출물이 각각 1.710, 1.472, 0.702, 0.459로 다른 해조류에 비해 높았다. 이상의 결과 열수 추출물에 비해 에탄올 추출물에서 환원력이 높았으며, phenol성 물질이 항산화능을 포함한 다양한 생리적 효능을 나타내며 이는 주로 환원력에 의한 효과라고 보고한 결과(28)와 같이 환원력이 우수한 해조류인 대황은 다양한 항산화 및 생리활성 기능성 소재로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.



**Fig. 1. SOD-like activity of the extracts (1 mg/mL) from 10 different seaweeds.**

EC, *Ecklonia cava*, ES, *Ecklonia stolonifera*, EC, *Eisenia bicyclis*, CF, *Capsosiphon fulvescens*, SF, *Sargassum fulvellum*, UP, *Undaria pinnatifida*, ST, *Sargassum thunbergii*, CFr, *Codium fragile*, HF, *Hizikia fusiformis*, EP, *Enteromorpha prolifera*, WE, water extract; EE, ethanol extract. Means with different superscripts in a bar indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).



**Fig. 2. Reducing power of the extracts (1 mg/mL) from 10 different seaweeds.**

EC, *Ecklonia cava*, ES, *Ecklonia stolonifera*, EC, *Eisenia bicyclis*, CF, *Capsosiphon fulvescens*, SF, *Sargassum fulvellum*, UP, *Undaria pinnatifida*, ST, *Sargassum thunbergii*, CFr, *Codium fragile*, HF, *Hizikia fusiformis*, EP, *Enteromorpha prolifera*, WE, water extract; EE, ethanol extract. Means with different superscripts in a bar indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

**지방 산패 억제능**

생체 내에서 세포막에 존재하는 인지질 및 당지질과 혈관에 존재하는 지질은 산소와 결합하여 과산화물을 만들고

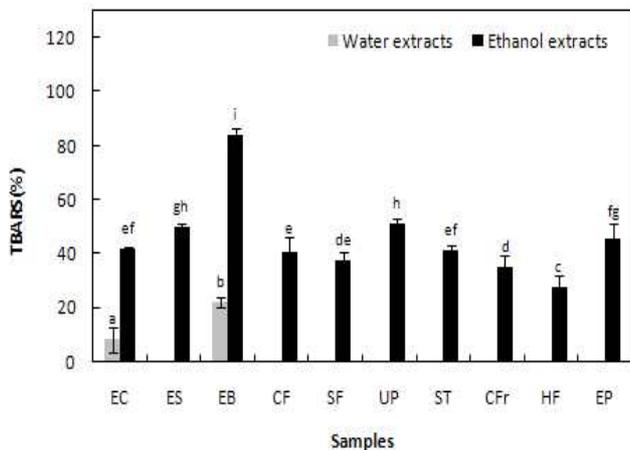


Fig. 3. TBARS of the extracts (1 mg/mL) from 10 different seaweeds.

EC, *Ecklonia cava*, ES, *Ecklonia stolonifera*, EC, *Eisenia bicyclis*, CF, *Capsosiphon fulvescens*, SF, *Sargassum fulvellum*, UP, *Undaria pinnatifida*, ST, *Sargassum thunbergii*, CFr, *Codium fragile*, HF, *Hizikia fusiformis*, EP, *Enteromorpha prolifera*, WE, water extract; EE, ethanol extract. Means with different superscripts in a bar indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

이들의 연속반응에 의하여 alcohol류, aldehyde류, ketone류 등을 생성하여 생체 내에서 DNA를 손상시켜 암을 유발하기도 하며, 세포의 노화화도 관련이 있는 것으로 알려져 있다(29). 추출 용매에 따른 해조류 추출물(1 mg/mL)의 지방산패역제능 측정 결과는 Fig. 4와 같다. 해조류 열수 추출물은 대황과 감태에서 각각 21.82, 8.21%의 지방산패역제능을 나타내었으며, 다른 해조류의 경우 1 mg/mL의 농도에서 지방산패역제능이 나타나지 않았다. 반면에 해조류 에탄올 추출물은 모든 시료에서 27.60~83.95% 범위의 지방산패역제능을 나타내었으며, 그 중 대황 에탄올 추출물이 83.95%로 가장 높았다.

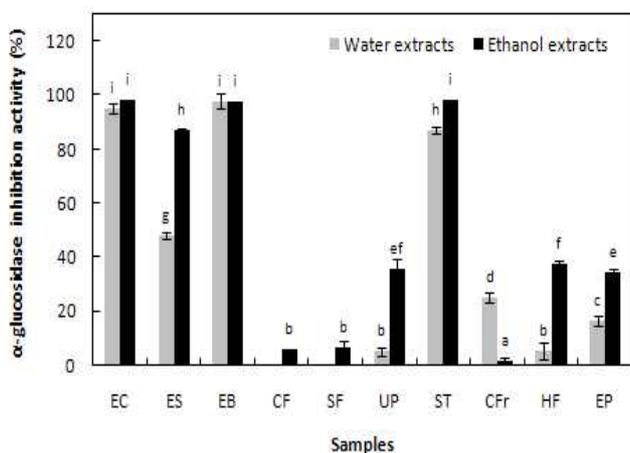


Fig. 4. alpha-Glucosidase inhibition activity of the extracts (0.1 mg/mL) from 10 different seaweeds.

EC, *Ecklonia cava*, ES, *Ecklonia stolonifera*, EC, *Eisenia bicyclis*, CF, *Capsosiphon fulvescens*, SF, *Sargassum fulvellum*, UP, *Undaria pinnatifida*, ST, *Sargassum thunbergii*, CFr, *Codium fragile*, HF, *Hizikia fusiformis*, EP, *Enteromorpha prolifera*, WE, water extract; EE, ethanol extract. Means with different superscripts within a bar indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

### alpha-Glucosidase 저해 활성

alpha-Glucosidase는 소장 상피세포의 brush-border membrane에 존재하는 효소(30)로서 소장에서 음식물 중의 전분을 포도당과 같은 단당으로 분해하여 흡수시킨다. alpha-Glucosidase 저해제는 소장점막의 미세용모막에 존재하는 이당류의 분해효소를 가역적으로 억제하여 탄수화물의 흡수를 지연시키는 역할을 하며, 소장 전체에 포도당이 흡수되어 식후혈당 상승을 완만하게 한다(31). 해조류 추출물의 alpha-glucosidase 저해 활성을 측정하여 향후 혈당상승 억제제로 활용될 수 있는 소재로서의 가능성을 검토하였다. 해조류 추출물(0.1 mg/mL)의 alpha-glucosidase 저해활성은 비교적 감태, 곰피, 대황, 지충이 추출물에서 높게 나타내었으며, 열수 추출물의 경우 각각 95.17, 48.07, 97.75, 87.13%를 나타내었으며, 에탄올 추출물의 경우 각각 98.04, 86.90, 97.81, 97.97%를 나타내었다. 항산화 활성의 결과와 같이 총 폴리페놀 함량이 높은 해조류가 alpha-glucosidase 저해 활성이 뛰어난 것으로 판단되며, 이는 vanillic acid, p-hydroxybenzaldehyde와 같은 phenolic acid계 및 플라보노이드계 화합물이 항산화 효과뿐만 아니라 높은 alpha-glucosidase 저해활성을 나타낸다는 보고(32)와 일치하였다. 본 연구에서 국내 자생하는 해조류를 대상으로 항산화 및 alpha-glucosidase 저해 활성을 비교한 결과, 대황, 감태, 지충이 등의 갈조류에 속하는 해조류가 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량이 많았고, 항산화 활성 및 alpha-glucosidase 저해 활성도 우수하였다. 따라서 생리활성이 우수한 해조류를 원료로 사용하여 기능성 소재를 개발하고 이를 활용한 다양한 제품화 관련 추가 연구가 필요하다.

### 요 약

해양생물 유래 기능성 소재 개발 연구의 일환으로, 국내 자생하는 감태 외 9종(곰피, 대황, 매생이, 모자반, 미역, 지충이, 청각, 톳, 파래)의 해조류를 이용하여 열수 및 에탄올 추출물을 제조하여 추출물의 항산화 활성 및 alpha-glucosidase 저해활성을 조사하였다. 총 페놀 및 플라보노이드 함량은 대황 에탄올 추출물에서 각각 150.81, 77.02 mg/g으로 가장 많았다. DPPH radical 소거능은 대황, 감태, 지충이 에탄올 추출물이 각각 86.26, 78.72, 68.32%를 나타내었으며, ABTS radical 소거능은 대황, 감태, 지충이 열수 및 에탄올 추출물에서 모두 99% 이상의 높은 활성을 나타내었다. SOD 유사활성과 환원력은 대황 에탄올 추출물이 21.34%, 1.710(OD<sub>700</sub>)으로 가장 높았으며, 지방산패역제능도 대황 에탄올 추출물에서 83.95%로 가장 높았다. 또한, 해조류 추출물의 alpha-glucosidase 저해 활성은 대황, 감태, 지충이 열수 추출물에서 97.75, 95.17, 87.13%를 나타내었으며, 에탄올 추출물에서는 3종류 모두 약 98%의 높은 저해활

성을 나타내었다. 해조류 중 대황, 감태, 지층이의 항산화 활성 및  $\alpha$ -glucosidase 저해활성이 우수하여 천연 기능성 소재 개발을 위한 좋은 원료가 될 수 있을 것으로 사료되며, 기능성소재로 사용하기 위하여 적용할 제품에 따라 추출물의 재료, 첨가농도, 제품의 생리활성 등과 관련된 광범위한 연구가 요구된다.

### 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 지정 대구가톨릭대학교 해양 바이오산업연구센터의 지원에 의한 것으로 감사드립니다.

### References

- Cowburn R, Hardy J, Roberts P, Briggs R (1988) Regional distribution of pre- and postsynaptic glutamatergic function in Alzheimer's disease. *Brain Res*, 452, 403-407
- Reiter RJ (1995) Oxidative process and antioxidative defense mechanism in the aging brain. *FASEB J*, 9, 526-533
- Cai L, Kang YJ (2001) Oxidative stress and diabetic cardiomyopathy: a brief review. *Cardiovasc Toxicol*, 1, 181-193
- Drews G, Krippeit-Drews P, Dufer M (2010) Oxidative stress and beta-cell dysfunction. *Pflugers Arch*, 460, 703-718
- Ahn BS, Kim JW, Kim HT, Lee SD, Lee KW (2010) Antioxidant effects of *Hovenia dulcis* in the streptozotocin-induced diabetic rats. *J Veterinary Clinics*, 27, 366-373
- Branen AL (1975) Toxicology and biochemistry of butylated hydroxyanisole and butylated hydroxytoluene. *J Am Oil Chem Soc*, 52, 59-63
- Mooradian AD, Thurman JE (1999) Drug therapy of postprandial hyperglycaemia. *Drugs*, 57, 19-29
- Joo DS, Lee JK, Choi YS, Cho SY, Je YK, Choi JW (2003) Effect of sea tangle oligosaccharide drink on serum and hepatic lipids in rats fed a hyperlipidemic diet. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 32, 1364-1369
- Choi IW, Kim SU, Seo DC, Kang BH, Sohn BK, Rim YS, Heo JS, Cho JS (2005) Biosorption of heavy metals biomass of seaweeds, *Laminaria* species, *Ecklonia stolonifera*, *Gelidium amansii*, and *Undaria pinnatifida*. *Korean J Environ Agri*, 24, 370-378
- Oh JK, Shin YO, Sohn HS, Seo RM (2003) Effect of functional food including seaweeds extracts supplementation on hematological variables and antioxidant system. *Korean J Physical Education*, 42, 895-903
- Kong CS, Um YR, Lee JI, Kim YA, Lee JS, Seo YW (2008) Inhibition effects of extracts and its solvent fractions isolated from *Limonium tetragonum* on growth of human cancer cells. *Korean J Biotechnol Bioeng*, 23, 177-182
- Lim JH, Jung KS, Lee JS, Jung ES, Kim DK, Kim YS, Kim YW, Park DH (2008) The study on antimicrobial and antifungal activity of the wild seaweeds of Jeju island. *J Soc Cosmet Sci Korean*, 34, 201-207
- Cha MH, Kim YK (2008) Analysis of consumption values of a seaweed functional food. *Korean J Food Culture*, 23, 462-468
- Lee EH, Ham J, Ahn HR, Kim MC, Kim CY, Pan CH, Um BH, Jung SH (2009) Inhibitory effects of the compounds isolated from *Sargassum yezoense* on  $\alpha$ -glucosidase and oxidative stress. *Korean J Pharmacogn*, 40, 150-154
- Folin O, Denis W (1912) On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem*, 12, 239-249
- Abdel-Hameed ESS (2008) Total phenolic contents and free radical scavenging activity of certain Egyptian *Ficus* species leaf samples. *Food Chem*, 114, 1271-1277
- Blois MS (1958) Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature*, 181, 1199-1200
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med*, 26, 1231-1237
- Marklund S, Marklund G (1974) Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. *Eur J Biochem*, 47, 469-474
- Oyaizu M (1986) Studies on products of browning reaction prepared from glucose amine. *Jpn J Nutr*, 44, 307-315
- Buege JA, Aust SD (1978) Microsomal lipid peroxidation. *Method Enzymol*, 52, 302-310
- Kim KY, Nam KA, Kurihara H, Kim SM (2008) Potent  $\alpha$ -glucosidase inhibitors purified from the red alga *Grateloupia elliptica*. *Phytochem*, 69, 2820-2825
- Ahn SM, Hong YK, Kwon GS, Sohn HY (2010) Evaluation of in-vitro anticoagulation activity of 35

- different seaweed extracts. J Life Sci, 20, 1640-1647
24. Middleton E, Kandaswami C (1994) Potential health-promoting properties of citrus flavonoids. Food Technol, 48, 115-119
25. Seo YH, Kim IJ, Yie AS, Min HK (1999) Electron donating ability and contents of phenolic compounds, tocopherols and carotenoids in waxy corn (*Zea mays* L.). Korean J Food Sci Technol, 31, 581-585
26. Nakamura K, Ogasawara Y, Endou K, Fujimori S, Koyama M, Akano H (2010) Phenolic compounds responsible for the superoxide dismutase-like activity in high-brix apple vinegar. J Agric Food Chem, 58, 10124-10132
27. Choudhary RK, Swarnkar PL (2011) Antioxidant activity of phenolic and flavonoid compounds in some medical plants of India. Nat Prod Res, 25, 1101-1109
28. Osawa T (1994) Novel natural antioxidant for utilization in food and biological system. In : Postharvest Biochemistry of Plant Food Material in the Tropics, Uritani I, Garcia VV, Mendoza EM(editor), Japan Scientific Societies Press, Tokyo, Japan, p 241-251
29. Cojocaru IM, Cojocaru M, Musuroi C, Botezat M, Lazar L, Druta A (2004) Lipid peroxidation and catalase in diabetes mellitus with and without ischemic stroke. Rom J Intern Med, 42, 423-429
30. Lee BB, Park SR, Han CS, Han DY, Park EJ, Park HR, Lee SC (2008) Antioxidant activity and inhibition activity against  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase of *Viola mandshurica* extracts. J Korean Soc Food Sci Nutr, 37, 405-409
31. Kim HY, Lim SH, Park YH, Ham HJ, Lee KJ, Park DS, Kim KH, Kim S (2011) Screening of  $\alpha$ -amylase,  $\alpha$ -glucosidase and lipase inhibitory activity with Gangwon-do wild plants extracts. J Korean Soc Food Sci Nutr, 40, 308-315
32. Xu ML, Wang L, Hu JH, Wang MH (2009) Antioxidant and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities of some wild vegetable extracts. J Agric Food Chem, 47, 4121-4125