

식용해조류 6종의 페놀성화합물 함량 및 항산화 활성

김소정¹, 이건섭², 모상현³, 박종범⁴, 오정균⁵, 정영재⁶, 류태권⁷, 이택권^{2*}

¹경북해양바이오산업연구원, ²한국해양과학기술원 남해특성연구부,

³바이오에프디엔씨 향노화연구소, ⁴신라대학교 생명과학과, ⁵국립목포대학교 생명과학과,

⁶신경대학교 생명공학과, ⁷국립환경과학원 위해성평가연구과

Phenolic Contents and Antioxidant Activities of Six Edible Seaweeds

So Jung Kim¹, Gunsup Lee², Sang Hyun Moh³, Jongbum Park⁴,
Chung-Kyoon Auh⁵, Youngjae Chung⁶, Tae Kwon Ryu⁷ and Taek-Kyun Lee^{2*}

¹Kyeongbuk Institute for Marine Bio-Industry

²South Sea Environment Research Department, Korea Institute of Ocean Science & Technology

³Anti-aging Research Institute of BIO-FD&C Co.,Ltd.

⁴Department of Biological Science, Silla University

⁵Department of Biological Science, Mokpo National University

⁶Department of Life Science and Biotechnology, Shin Gyeong University

⁷Risk Assessment Division, National Institute of Environmental Research

요 약 갈조류(미역, 툇, 다시마), 홍조류(김, 꼬시래기) 및 녹조류(파래) 등 식용해조류 6종으로부터 제조한 추출물의 페놀성 화합물 함량과 항산화 활성을 분석하였다. 추출수율은 꼬시래기 분말을 물(pH 8.0)을 용매로 추출하였을 때 가장 높았으며(44.23 %), 페놀성 화합물은 툇를 75 % 에탄올 용액으로 추출하였을 때 가장 높았다(52.82 μ g/mg). 25 % 에탄올 용액으로 추출한 파래 추출물에서 가장 높은 DPPH 라디칼 소거활성이 나타났으며(19.29 %), superoxide 음이온 소거활성은 다른 해조류 추출물에 비해 물(pH 8.0)로 추출한 툇 추출물(81.20 %)에서 더 높았다. 6종의 식용해조류 추출물에서의 페놀성 화합물의 함량은 항산화 활성과 강하게 상관관계를 보였다($R^2=0.852$). 종합해 보면, 이러한 결과는 갈조류인 툇이 천연 항산화제 개발을 위한 좋은 원료가 될 수 있음을 의미한다.

Abstract Phenolic contents and antioxidant activities were determined in the water and ethanol extracts from six species of edible seaweeds, Phaeophyceae (*Laminaria japonica*, *Hizikia fusiformis* and *Undaria pinnatifida*), Rhodophyceae (*Porphyra tenera* and *Gracilaria verrucosa*) and Chlorophyceae (*Ulva lactuca*). The highest extraction yield was observed in water extract (pH 8.0) of *G. verrucosa* (44.23 %) and phenolic content was the highest in ethanolic (75 %) extract of *H. fusiformis* (52.82 μ g/mg). 25 % ethanolic extract from *U. lactuca* was found to have the highest DPPH radicals scavenging activity(19.29 %) and superoxide anion scavenging activity was higher in water extract (pH 8.0) from *H. fusiformis* (81.20 %) than that other seaweeds. Phenolic contents were strongly correlated with antioxidant activity in the six edible seaweeds extracts ($R^2=0.852$). Taken together, these results indicate that *H. fusiformis* may be a excellent source for development of natural antioxidants.

Key Words : Antioxidant activity, DPPH assay, Phenolics, Seaweeds, Superoxide anion assay

본 논문은 한국해양과학기술원(PE99161) 및 해양수산부(PM57270) 연구과제로 수행되었음

*Corresponding Author : Taek-Kyun Lee(Korea Institute Ocean Science & Technology)

Tel: +82-55-639-8630 email: tklee@kiost.ac

Received May 13, 2013

Revised June 5, 2013

Accepted June 7, 2013

1. 서론

해조류는 해양환경에서 재생가능한 자원이며, 잠재적으로 식품으로써의 가능성을 가지고 있다[1]. 전세계적으로 약 6,000 종의 해조류가 알려져 있으며[2], 약 150여종의 해조류가 전세계에서 식품으로 이용되고 있다[3]. 해조류는 색소의 구성 및 조성에 따라 녹조류(Chlorophyceae), 갈조류(Phaeophyceae) 및 홍조류(Rhodophyceae)로 구분되며, 카로티노이드, 식이섬유, 단백질, 필수지방산, 비타민, 미네랄 및 폴리페놀 같은 생리활성 화합물의 원료이다[4,5].

해조류는 고대부터 식품, 사료 및 비료 뿐만 아니라 의약품의 원료로써 사용되어 왔다. 오늘날 해조류는 agar, carrageenan 및 alginates 등은 산업적으로 생산하기 위한 원료이지만[2], 대한민국, 일본 및 중국 등 아시아국가에서는 식품으로 소비되고 있다[3]. 최근에는 해조류의 항산화 및 항박테리아 활성이 알려지면서 식품과 화장품을 위한 원료로 사용되고 있다[6]. 해조류 추출물은 강한 항산화 활성을 가지고[7], carbon tetrachloride에 의해 일어나는 간손상에 대한 보호 효과[8], HeLa 세포에 대한 항세포증식활성[9], 항박테리아 활성[7] 및 항바이러스 활성[10] 뿐만 아니라 항암, 항응고, 항염증, 혈당저하 및 신경보호활성 등과 같은 다양한 의·약학적 특성을 가지고 있는 것으로 보고되고 있다[11].

해조류의 항산화 특성은 과거 수십년간 많은 연구들에 의해 증명되었으나, 특정한 지역에서 채집된 주요종의 항산화 특성에 관련된 연구는 많지 않다. 이전 연구에서 우리는 우리나라 거제와 제주에서 채집한 30종의 해조류로부터 50% 에탄올 추출물을 얻어 항산화, 항박테리아 및 미백활성을 분석한 바 있다[7]. 이 연구의 결과로부터 우리는 감태와 팽생이 모자반에서 가장 높은 폴리페놀 함량과 항산화 활성을 보였으며, 특히 감태와 모자반의 미백효과는 합성항산화제인 butylated hydroxytoluene보다 더 높은 것을 확인한 바 있다. 이러한 배경에 기초해서 이 연구의 목적은 식품 또는 식품첨가제로써의 유용한 가치를 이해하기 위하여 우리나라에서 식용으로 널리 사용되고 있는 6종의 해조류로부터 물과 에탄올을 이용하여 추출물을 제조하고, 추출물의 페놀성 화합물의 함량과 항산화활성을 평가하였다. 또한 해조류 추출물의 페놀성화합물과 항산화활성간의 상관관계를 분석하여, 천연 항산화제가 함유된 기능성식품으로써의 활용성을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험재료 및 전처리

실험재료는 우리나라에 서식하고 있는 생물 종이며,

식용가능하고 쉽게 구입이 용이한 갈조류 중 미역(*Laminaria japonica*), 툃(*Hizikia fusiformis*) 및 다시마(*Undaria pinnatifida*), 홍조류 중 김(*Porphyra tenera*) 및 꼬시래기(*Gracilaria verrucosa*), 녹조류 중 파래(*Ulva lactuca*) 6종을 선택하였다. 해조류를 흐르는 물로 여러 번 씻어 염분을 제거한 뒤 동결건조(<40℃, 2~3일)하였다. 건조한 시료는 분쇄기를 이용하여 분쇄한 후, 체반을 이용하여 고운 분말을 만들어 해조 조추출물 제조에 사용하였다.

2.2 해조류 조추출물 제조

6종의 해조류의 분말(5 g)로부터 물(pH 5, 6, 7, 8)과 에탄올(25, 50, 75 %)을 용매로 하여 조추출물을 제조하였다. pH는 citric acid와 sodium phosphate buffer를 이용하여 조정하였다. 물 추출은 50℃에서 열수추출하였고, 에탄올 추출은 상온에서 실시하였다. 각각 시료 부피의 40배에 달하는 용매 200 mL 첨가하여 하루 동안 150 rpm에서 교반시킨 후 원심분리기를 이용하여 상등액을 분리하였다(5000 rpm 5 min). 분리한 추출액은 vacuum evaporator에서 건조하였고, 일정한 양을 각각의 추출용매에 녹여 페놀성 화합물 함량과 항산화 측정에 사용하였다.

2.3 페놀성 화합물 정량

50 % 에탄올로 추출한 조추출물을 이용하여 페놀성 화합물의 함량을 분석하였다[12]. 시료 0.5 mL와 EtOH 0.5 mL 첨가한 후 Folin-Ciocalteu 시약 0.5 mL, 7.5 % Na₂CO₃ 1 mL 첨가하고, 증류수로 최종 10 mL을 맞추었다. 60℃ 배양기에서 20분간 발색시킨 후 765 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 대조구로서는 50 % EtOH을 사용하였고, gallic acid을 사용하여 구한 검량 곡선으로부터 시료 중의 페놀성 화합물 함량을 계산하였다.

2.4 DPPH 라디칼 소거활성

DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 측정은 Lu와 Foo의 방법[13]에 따라 실시하였다. 시료 0.2 mL에 0.1 mL의 DPPH (16 mg/100 mL EtOH) 용액을 첨가하고 10분간 상온에서 반응시킨 후, 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료를 첨가하지 않은 대조군과 비교하여 유리 라디칼 소거 활성을 백분율(%)로 나타내었다. 계산식은 아래와 같다.

$$\text{Inhibition (\%)} = [(A_0 - A_1)/A_0] \times 100$$

(A₀=대조군 흡광도 A₁=실험군 흡광도).

실험은 3번 반복 수행하였으며, 결과는 평균값±SD로 표시하였다.

2.5 Superoxide 음이온 소거 활성

Superoxide 음이온 소거 활성 측정은 Oktay 등의 방법 [14]에 준하여 측정하였다. 0.5 mL nitroblue tetrazolium 용액(78 μmol/L in 16 mM Tris, pH 8.0), 0.5 mL NADH 용액(234 μmol/L in 16 mM Tris, pH 8.0)에 시료 0.1 mL 첨가하였다. 반응이 시작되면 0.05 mL PMS (30 μmol/L in 16 mM Tris, pH 8.0)을 넣어 10초간 혼합하고 실온에서 5분간 배양 후 560 nm에서 측정하였다. 저해율 (%)은 시료를 첨가하지 않은 대조군과 비교하여 $[(A_0-A_1)/A_0] \times 100$ 으로 나타내었다(A_0 =대조군 흡광도, A_1 =실험군 흡광도). 실험은 3번 반복 수행하였으며, 결과는 평균값±SD로 표시하였다.

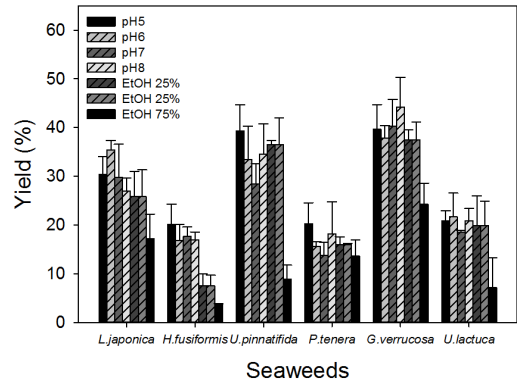
2.6 통계분석

통계분석은 SPSS 통계 소프트웨어를 사용하여 수행하였다. 데이터의 normality와 homogeneity는 ANOVA로 확인하였고, 실험구 간의 차이는 one-way ANOVA와 Duncan's multiple range test로 평가하였다.

3. 결과

3.1 추출 수율

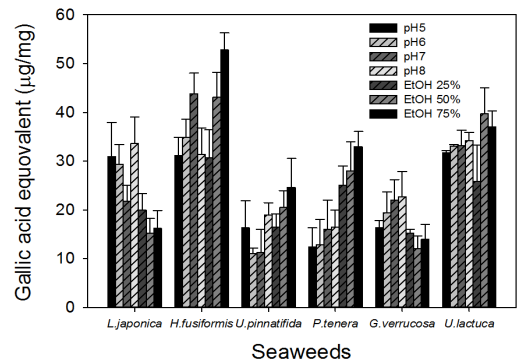
6종의 식용해조류 분말을 물과 에탄올을 용매로 사용하여 추출물을 얻고, 분말의 무게를 비교하여 추출수율을 분석하였다. 사용된 물은 pH 5.0, 6.0, 7.0 및 8.0으로 조정하였고, 에탄올 용액은 25, 50 및 75%로 조정하여 추출에 사용하였다. 시험된 해조류의 추출수율은 물추출이 에탄올 추출보다 수율이 높았다($p < 0.05$). 추출물의 평균 추출 수율은 꼬시래기>다시마>미역>파래>뚝>김 순으로 수율이 높았으며, 에탄올 추출물의 평균 추출수율은 꼬시래기>다시마>미역>파래>김>뚝 순으로 나타났다[Fig. 1]. 각 추출용매별 추출수율을 살펴보면, 추출수율은 꼬시래기 분말을 pH 8.0 물로 추출하였을 때 44.23 %로 가장 높았으며, 25 % 에탄올로 추출하였을 때 37.45 %로 에탄올 추출물 중 가장 추출수율이 높았다. 반면 물 추출물 중 가장 수율이 낮은 해조류는 pH 7.0 물로 추출한 김 분말이었으며, 에탄올 추출물 중에는 75 % 에탄올에서 추출한 뚝(3.64 %)의 추출수율이 가장 낮았다.



[Fig. 1] Yields (%) of water and ethanol extracts from six species of seaweeds. Results are mean±S.D. of three parallel measurements.

3.2 페놀성 화합물 분석

1 mg/mL 추출물의 페놀성 화합물 함량을 분석하였다. 페놀성 화합물의 함량은 물을 용매로 추출하였을 때 뚝>파래>미역>꼬시래기>다시마>김 순으로 평균 추출함량이 높았으며, 에탄올을 사용하였을 때 뚝>파래>김>다시마>미역>꼬시래기 순으로 나타났다[Fig. 2]. 각 용매별 페놀성 화합물 함량을 비교하면, 뚝을 75 % 에탄올로 추출하였을 때 가장 높은 페놀성화합물 함량(52.82 μg/mg)을 얻었으며, pH 7.0 물로 추출하였을 때 43.82 μg/mg의 페놀성 화합물이 추출되었다. 다시마를 pH 6.0 물에서 추출하거나(11.01 μg/mg), 꼬시래기를 50 % 에탄올에서 추출하였을 때(12.0 μg/mg) 페놀성 화합물 함량이 가장 낮은 것으로 나타났다. 시험된 6종 해조류의 페놀성 화합물의 함량은 에탄올 추출물이 물 추출물보다 더 높은 것으로 분석되었다($p < 0.05$).

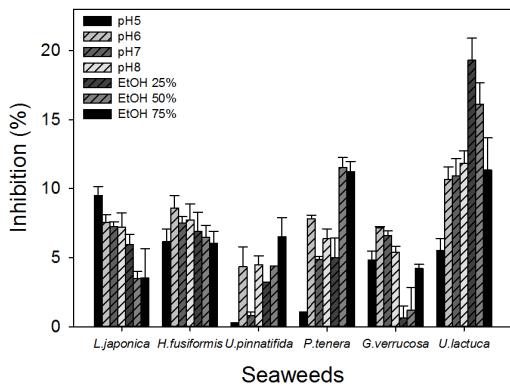


[Fig. 2] Total phenolic contents of water and ethanol extracts from six species of seaweeds. The total phenolic contents were determined with reference to the standard curve of gallic acid equivalents. Results are mean±S.D. of three parallel measurements.

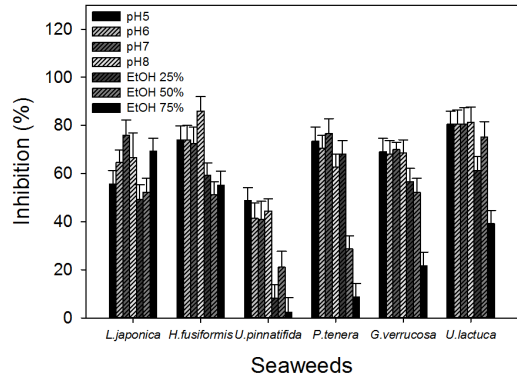
3.3 항산화 활성

식용해조류 6종으로부터 추출한 추출물의 항산화 활성은 DPPH 라디칼 소거능과 superoxide 음이온 소거활성법을 사용하여 측정하였다. DPPH 라디칼 소거활성의 평균값은 물추출물의 경우 파래>미역>툫>꼬시래기>김>다시마 순으로 활성이 높았으며, 에탄올 추출물은 파래>김>툫>다시마>미역>꼬시래기 순으로 나타났다[Fig. 3]. 각 용매별로 추출물의 DPPH 라디칼 소거 활성을 비교하면, 파래를 25 % 에탄올로 추출한 추출물에서 19.29 %의 활성을 보여 가장 높은 항산화 활성을 나타내었다. pH 8.0 물 추출물에서는 11.85 %의 활성을 보여 물추출물 중에서는 가장 활성이 높았다. 반면 다시마를 pH 5.0 물을 용매로 사용하여 추출하였을 때 0.29 %의 매우 낮은 활성을 나타내었다. 시험된 6종 해조류의 DPPH 라디칼 소거활성은 에탄올 추출물이 물 추출물보다 더 높은 것으로 분석되었다($p < 0.05$).

시험된 6종 해조류의 Superoxide 음이온 라디칼 소거활성은 물 추출물이 에탄올 추출물보다 더 높은 것으로 분석되었다($p < 0.05$). 추출물의 평균 superoxide 음이온 소거활성은 파래>툫>김>꼬시래기>미역>다시마 순으로 활성이 높았으며, 에탄올 추출물의 평균 활성은 파래>미역>툫>꼬시래기>김>다시마 순으로 나타났다[Fig. 1]. 각 추출용매별 superoxide 음이온 소거 활성을 살펴보면, 활성은 툫 분말을 pH 8.0 물로 추출하였을 때 81.20 %로 가장 높았으며, 50 % 에탄올로 추출하였을 때 75.26 %로 에탄올 추출물 중 가장 활성이 높았다. 반면 물 추출물 중 가장 활성이 낮은 해조류는 pH 7.0 물로 추출한 다시마이며(40.97 %), 에탄올 추출물 중에는 75 % 에탄올에서 추출한 다시마(2.40 %)의 활성이 가장 낮았다.

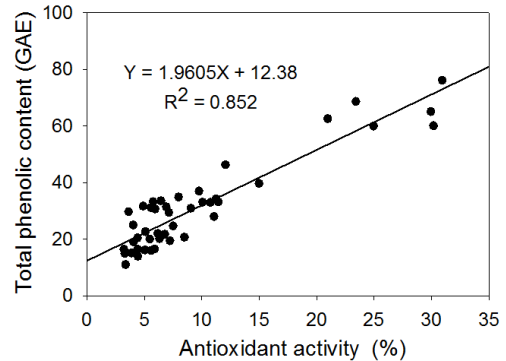


[Fig. 3] DPPH radical-scavenging activity of water and ethanol extracts from six species of seaweeds. Results are mean±S.D. of three parallel measurements.



[Fig. 4] Superoxide anion scavenging activity of water and ethanol extracts from six species of seaweeds. Results are mean±S.D. of three parallel measurements.

Fig 4는 6종 해조류의 페놀성 화합물 함량과 항산화 활성간의 상관관계를 나타낸다. 6종 해조류에서 추출용매를 달리하여 추출한 추출물에서 페놀성 화합물의 함량과 DPPH 라디칼 소거활성간의 상관관계 값은 $R^2=0.852$ 으로 나타났다.



[Fig. 5] Correlation between phenolic content and radical scavenging activity of water and ethanol extract of six species seaweeds.

4. 고찰

페놀성 화합물은 분자구조면에서 다수의 페놀성 수산기(-OH group)를 포함하는 이차대사산물이며, 식물체에 다량 함유되어 있는 대표적인 기능성 물질의 하나이다 [15]. 페놀성 화합물은 혈중콜레스테롤의 상승억제작용, 항균작용, 구취억제작용, 알레르기성 비염의 억제, 혈압 상승 억제작용 및 생체내 활성산소 소거 등 다양한 항산

화 작용에 의한 항동맥경화, 위궤양, 백내장의 억제작용 및 당뇨병합병증 억제작용 등 다양한 기능이 밝혀져 있다[2,16]. 또한 페놀성 화합물은 지질의 산화적 분해를 지연시키고, 식품의 질과 영양가치를 증진시키기 때문에 식품산업에서 관심을 받고 있다[17].

항산화제는 생물체 내에서 산화적 손상에 대한 방어와 세포 신호전달과정에 참여하는 다양한 기능을 가지고 있다[3]. 세포내에서 항산화제의 주요 작용 중 하나는 활성 산소(reactive oxygen species, ROS)의 작용에 의해 일어나는 손상을 방지하는데 있다. ROS는 생물의 물질대사 중 발생한다[18,19]. ROS는 superoxide anion(O₂⁻), hydroxyl radical(·OH), hydrogen peroxide(H₂O₂) 및 nitric oxide(NO) 형태로 생성된다. 형성된 ROS는 세포막, 핵산 및 염록체 색소 등에 손상을 입힌다[20,21]. ROS의 축적은 ROS의 형성과 세포내 항산화 활성과의 균형이 파괴되어 일어난 것으로 평가된다. ROS는 생체 내 분자의 산화를 유도하여 세포손상과 사멸을 일으키며, 암, 뇌졸중, 심근경색, 당뇨, 폐혈증 및 출혈성 쇼크, 알츠하이머 및 파킨슨병과 같은 질병과 장애의 결과가 되는 산화적스트레스를 유발한다[22]. 또한 산화적스트레스는 의도하지 않은 효소의 활성과 세포체계에 산화적 손상을 일으킨다[23]. 산화적 스트레스의 악영향은 항산화제로 줄일 수 있다[24].

알려진 다양한 항산화 활성 측정법 중 본 연구에는 DPPH 라디칼 소거활성 측정법과 superoxide 음이온 소거활성 측정법을 적용하였다. DPPH 라디칼을 이용한 항산화 시험법은 방향족 화합물 특히 phenolic 구조에서 많이 사용되는 방법으로, 분자 내에 자유 라디칼을 가지고 있는 DPPH 시약의 유리 라디칼 소거 활성을 측정하는 방법이다[25]. Superoxide 음이온 소거 활성 분석법은 PMS/NADH system에 의해 발생하는 superoxide 음이온 라디칼을 제거시킬 수 있는 능력을 측정하는 실험으로, NBT의 감소 정도를 측정하였다[14]. 연구결과 DPPH 라디칼 소거활성 및 superoxide 음이온 소거활성 모두 파래 추출물에서 가장 높았으며, 톳 추출물의 활성이 뒤를 이었다(Fig. 3,4). 반면 페놀성 화합물의 함량은 항산화 활성과는 반대로 톳 추출물에서 가장 함량이 높았으며, 파래 추출물에서의 함량이 뒤를 이었다. 이러한 불일치는 파래 추출물에 페놀성 화합물 외에 다른 항산화 물질이 포함되어 있음을 의미한다[26].

해조류 추출물과 항산화 활성과의 상관관계가 높게 나타났다는데, 이러한 결과는 페놀성 화합물의 함량과 항산화 활성간에 강한 연관관계가 있음을 보여주는 것이며, 페놀성 화합물이 시험된 6종 해조류의 항산화 활성에 중요한 역할을 담당하고 있음을 의미한다. 유사한 결과는 라디칼

소거활성과 페놀성화합물간에 상관관계를 보여주는 여러 연구에서 찾아볼 수 있다[7,27].

상업적으로 사용되고 있는 합성 항산화제인 butylated hydroxyanisol, butylated hydroxytoluene 및 tert-butylhydroquinone의 사용은 간손상이나 암유발의 가능성이 제기되면서 사용이 제한되고 있다[3]. 이러한 이유 때문에 자연에서 유래한 대체항산화제를 개발하고자 하는 연구가 급속하게 진행되고 있다[28]. 천연원료로부터 얻어진 항산화제는 합성항산화제의 사용에 따른 부작용을 없애거나 최소화시킬 수 있고[1], 식품의 유통기한을 증가시키는 것으로 알려져 있다[29]. 따라서 항산화제의 섭취와 식품재료에 항산화제를 첨가하는 것은 건강뿐만 아니라 식품재료 자체를 보호하게 한다. 이 연구의 결과는 식용 해조류가 자연적이고 안전한 항산화제의 원료로써 사용 가능함을 보여준다.

References

- [1] M. Kumar V. Gupta, P. Kumari, C. R. K. Reddy, B. Jha. "Assessment of nutrient composition and antioxidant potential of Caulerpaceae seaweeds. J Food Comp Anal vol. 24, pp. 270-278, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2010.07.007>
- [2] G. K. Devi, K. Manivannan, G. Thirumaran, F. A. A. Rajathi, P. Anantharaman. "In vitro antioxidant activities of selected seaweeds from Southeast coast of India". Asian Pac. J. Trop. Med. vol. 4, no. 3, pp. 205-211, 2011.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1995-7645\(11\)60070-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1995-7645(11)60070-9)
- [3] S. Meenakshi, S. Umayaparvathi, M. Arumugam, T. Balasubramanian. "In vitro antioxidant properties and FTIR analysis of two seaweeds of Gulf of Mannar". Asian Pac. J. Trop. Med. S66-S70, 2012.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S2221-1691\(11\)60126-3](http://dx.doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60126-3)
- [4] N. Bhaskar, K. Miyashita. "Lipid composition of *Padina tetratomica* (Dictyotales, Phaeophyta), brown seaweed of the west coast of India. Ind J Fish vol. 52, pp. 263-268, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5897/AJB11.2765>
- [5] S. K. Chandini, P. Ganesan, P. V. Suresh, N. Bhaskar. "Seaweeds as a source of nutritionally beneficial compounds-a review. J Food Sci Technol vol. 45, no. 1, pp. 1-13, 2008.
- [6] T. Fujimura, K. Tsukahara, S. Moriwaki, T. Kitahara, T. Sano, Y. Takema. "Treatment of human skin with an

- extract of *Fucus vesiculosus* changes its thickness and mechanical properties." *J. Cosmet. Sci.* vol. 53, pp. 1-9, 2002.
- [7] S. Kim, S. Woo, H. Yun, S. Yum, E. Choi, J.-R. Do, J.-H. Jo, D. Kim, S. Lee, T.-K. Lee. "Total Phenolic Contents and Biological Activities of Korean Seaweed Extracts". *Food Sci. Biotechnol.* vol. 14, no. 6, pp. 798-802, 2005.
- [8] K. H. Wong, P. C. K. Cheung. "Nutritional evaluation of some subtropical red and green seaweeds. Part I-proximate composition, amino acid profiles and some physico-chemical properties". *Food Chemistry*, vol. 71, pp. 475-482, 2000.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00175-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00175-8)
- [9] Y. V. Yuan, N. A. Walsh. "Antioxidant and antiproliferative activities of extracts from a variety of edible seaweeds". *Food Chem. Toxicol.*, vol. 44, pp. 1144-1150, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2006.02.002>
- [10] J. E. F. Cassolato, M. D. Nosedá, C. A. Pujol, F. M. Pellizzari, E. B. Damonte, M. E. R. Duarte. "Chemical structure and antiviral activity of the sulfated heterorhamnan isolated from the green seaweed *Gayralia oxysperma*". *Carbohydrate Research* vol. 343, pp. 3085-3095, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carres.2008.09.014>
- [11] A. M. S. Mayer, A. D. Rodriguez, R. Berlinck, M. T. Hamann. "Marine pharmacology in 2005-6: marine compounds with antibacterial, anticoagulant, antifungal, anthelmintic, anti-inflammatory, antiprotozoal, and antiviral activities; affecting the cardiovascular, endocrine, immune and nervous systems and other miscellaneous mechanisms of action". *Biochimica et Biophysica Acta, General Subjects* vol. 1790, no. 5, pp. 283-308, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbagen.2009.03.011>
- [12] C. Capannesi, I. Palchetti, M. Mascini, A. Parenti. "Electrochemical sensor and biosensor for polyphenols detection in olive oils". *Food Chem.* vol. 71, pp. 535-562, 2000.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00211-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00211-9)
- [13] Y. Lu, L. Y. Foo. "Antioxidant and radical scavenging activities of polyphenols apple pomace". *Food Chem.* vol. 68, pp. 81-85, 2000.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00167-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00167-3)
- [14] M. Oktay, I. Gulcin, I. Kufrevioglu. "Determination of in vitro antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts." *Lebensm.-Wiss U.-Technol.* vol. 36, pp. 263-271, 2003.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438\(02\)00226-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438(02)00226-8)
- [15] S. Latha, M. Daniel. "Phenolic antioxidants of some common pulses". *J Food Sci Technol* vol. 38, pp. 272-273, 2001.
- [16] G. Ruberto, M. T. Baratta, D. M. Biondi, V. Amico. "Antioxidant activity of extracts of the marine algal genus *Cystoseira* in a micellar model system". *J Appl Phycol* vol. 13, pp. 403-407, 2001.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1011972230477>
- [17] T. Kuda, T. Ikemori. "Minerals, polysaccharides and antioxidant properties of aqueous solutions obtained from macroalgal beachcasts in the Noto Peninsula, Ishikawa", Japan. *Food Chem* vol. 112: pp. 575-581, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.008>
- [18] L. Cavas, K. Yurdakoc. "An investigation on the antioxidant status of the invasive alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Sonder) Verlaque, Huisman, et Boudouresque (*Caulerpales, Chlorophyta*)". *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* vol. 325, pp. 189-200, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2005.05.002>,
- [19] H. L. Huang, B. G. Wang. "Antioxidant capacity and lipophilic contents of seaweeds collected from the Qingdao coastline". *J Agric. Food Chem.* vol. 52, pp. 4993-4997, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/jf049575w>
- [20] W-Ch, Fang, C. H. Kao. "Enhanced peroxidase activity in rice leaves in response to excess iron, copper and zinc". *Plant Sci.* vol. 158, pp. 71-76, 2000.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00307-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00307-1)
- [21] R. K. Tewari, P. Kumar, P. N. Sharma, S. S. Bisht. "Modulation of oxidative stress responsive enzymes by excess cobalt". *Plant Sci.* vol. 162, pp. 381-88, 2002.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00578-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00578-7),
- [22] Y. L. Chew, Y. Y. Lim, M. Omar, K. S. Khoo. "Antioxidant activity of three edible seaweeds from two areas in South East Asia". *LWT* vol. 41, pp. 1067-1072, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2007.06.013>
- [23] H. Wiseman, B. Halliwell. "Damage to DNA by reactive oxygen and nitrogen species: Role of inflammatory disease and progression to cancer". *Biochem. J.* vol. 313, pp. 17-29, 1996.
- [24] R. A. Larson. "Plant defenses against oxidative stress". *Arch. Insect Biochem. Physiol.* vol. 29, pp. 175-186, 1995.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/arch.940290207>

- [25] N. Singh, P. S. Rajini. "Free radical scavenging activity of an aqueous extract of potato peel". Food Chemistry, vol. 85, pp. 611-616, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.07.003>
- [26] T. Kuda, M. Tsunekawa, H. Goto, Y. Araki. "Antioxidant properties of four edible algae harvested in the Noto Peninsula", Japan. J Food Compos Anal vol. 18, pp. 625-633, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2004.06.015>
- [27] K. Ganesan, S. K. Kumar, P. V. Subba Rao. "Comparative assessment of antioxidant activity in three edible species of green seaweed, Enteromorpha from Okha, Northwest coast of India". Innov Food Sci Emerg Technol vol. 12, pp. 73-78, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2010.11.005>
- [28] M. Cho, H-S. Lee, I-J. Kang, M-H Won, S You. "Antioxidant properties of extract and fractions from *Enteromorpha prolifera*, a type of green seaweed". Food Chem vol. 127, pp. 999-1006, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.072>
- [29] P. Prieto, M. Pineda, M. Aguilar. "Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific application to the determination of vitamin E". Analytical Biochemistry vol. 269, pp. 337-341, 1999.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1006/abio.1999.4019>

김 소 정(So-Jung Kim)

[정회원]



- 1998년 2월 : 인제대학교 (환경독성학 석사)
- 2006년 9월 : 해양연구원 남해연구소 연구원
- 2006년 10월 ~ 2007년 4월 : 대한적십자 연구원
- 2007년 5월 ~ 현재 : 경북해양바이오산업연구원 연구원

<관심분야>
생물소재 생화학

이 건 섭(Gun-Sup Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 성균관대학교 생명공학과 (이학석사)
- 2010년 2월 : 성균관대학교 생명공학과 (이학박사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 연수연구원

<관심분야>
분자생물학, 해양 독성학

모 상 현(Sang-Hyun Moh)

[정회원]



- 2003년 8월 : 광주과학기술원 생명과학과 (이학석사)
- 2006년 3월 ~ 현재: 성균관대학교 나노과학기술협동학부 (이학박사과정)
- 2005년 11월 ~ 현재 : (주)바이오에프디엔씨 대표이사

<관심분야>
생명과학, 나노과학

박 종 범(Jong-Bum Park)

[정회원]



- 1981년 2월 : 성균관대학교 생물학과 (이학석사)
- 1989년 8월 : 성균관대학교 생물학과(식물형태학) (이학박사)
- 1989년 3월 ~ 현재 : 신라대학교 생물과학과 교수

<관심분야>
식물형태학, 식물조직배양

오 정 균(Chung-Kyoon Auh)

[정회원]



- 1983년 8월 : KAIST 생물공학 (이학석사)
- 1995년 3월 : UC Davis 식물학 (이학박사)
- 2000년 9월 ~ 2004년 8월 : 성균관대학교 생명과학과 연구교수
- 2005년 3월 ~ 현재 : 목포대학교 생명과학과 부교수

<관심분야>

식물분자생물학, 식물환경생리학

이 택 견(Taek-Kyun Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 성균관대학교 생물학 (이학석사)
- 1998년 2월 : 성균관대학교 식물분자생리학 (이학박사)
- 1998년 9월 ~ 2000년 8월 : 한국해양연구원 연수연구원
- 2000년 9월 ~ 현재 : 해양과학기술원 남해특성연구부 책임연구원

<관심분야>

환경분자생리학, 해양환경독성학

정 영 재(Young-Jac Chung)

[정회원]



- 1988년 2월 : 성균관대학교 대학원 생물학과 (이학석사)
- 1993년 2월 : 성균관대학교 대학원 생물학과 (이학박사)
- 1997년 3월 ~ 2007년 2월 : 서남대학교 생명과학과 교수
- 2007년 3월 ~ 현재 : 신경대학교 생명공학과 교수

<관심분야>

식물형태 및 계통분류학, 식물유전자원학

류 태 권(Tae-Kwon Ryu)

[정회원]



- 2001년 2월 : 인제대학교 환경독성학 (이학석사)
- 2008년 8월 : 인제대학교 환경독성학 (이학박사)
- 1999년 9월 ~ 2008년 10월 : 한국해양연구원 연구원
- 2009년 3월 ~ 현재 : 국립환경과학원 박사후연구원

<관심분야>

환경독성학, 환경분자생물학