

국내 자생 갈조류의 생리활성 물질 분석 및 총 항산화능력 비교 연구

이채현¹ · 박예나¹ · 이상길^{1,*}
¹부경대학교 식품영양학과

Analysis and comparison of bioactive compounds and total antioxidant capabilities of Korean brown algae

Chae-Hyeon Lee¹, Ye Na Park¹, and Sang Gil Lee^{1,*}

¹Department of Food Science and Nutrition, Pukyong National University

Abstract The inconsistent methods of harvest, identification, and preparation of brown algae samples make it difficult to compare the results of certain measurements across different studies, such as total phenolic contents (TPC), total flavonoid contents (TFC), and total antioxidant capacities (TAC). Therefore, this study aims to systematically measure and compare TPC, TFC, and TAC in 10 types of standardized brown algae extracts provided by the Bio-Resource Information System of Korea. Among the ten brown algae extracts, *Ishige foliacea* exhibited the highest levels of TPC and TAC, followed by *Sargassum nigrifolium*. TAC was measured by the following four assays: ABTS, DPPH, superoxide radical scavenging activities, and ferric reducing antioxidant power. TAC was found to be positively correlated with TPC ($p < 0.05$) but not TFC, indicating that *Ishige foliacea* and *Sargassum nigrifolium* have potential use as marine antioxidative food material.

Keywords: brown algae, total phenolic contents, total antioxidant capacities, *Sargassum nigrifolium*, *Ishige foliacea*

서 론

해양에서 서식하는 거대 조류(macroalgae)인 해조류(seaweed)는 재생 가능한 해양환경자원으로 바다에서 생육하는 다세포 원생 생물을 말하며, 단세포의 미세조류(microalgae)와는 다르게 육안으로 관찰할 수 있고, 자라는 바다의 깊이와 색소의 조성에 따라 녹조류(green algae), 갈조류(brown algae), 홍조류(red algae)로 나뉘며 각각의 구성 성분에서도 차이를 보인다(Kumar 등, 2011; Lee, 2013). 해조류는 열량이 낮고 식이섬유, 비타민, 무기질, 미네랄 등이 풍부하며, 카로티노이드(carotenoid), 단백질, 필수지방산 및 폴리페놀(polyphenol) 같은 생리활성물질을 함유하고 있다(Chandini 등, 2008; Jeon 등, 2012). 우리나라에서는 산후 조리를 위해 미역국을 섭취하는 음식문화가 발달했으며, 다시마, 툇, 모자반 등 다양한 해조류 등을 식생활을 통해 섭취해왔다(Moon과 Kim, 1999).

해조류 중 갈조류는 전 세계 약 1,500종이 발견되었으며, 해조류 중 가장 발달한 체계를 가지고 있다고 알려졌다(Mekinić 등, 2019). 갈조류의 크기는 작은 종류는 육안으로 겨우 보이는 크기에서 10 m가 넘는 큰 크기까지 매우 다양하다(Shin 등, 2014). 갈조류는 fucoidan, laminaran, alginic acid 등 다당류 및 폴리페놀류

와 같은 다양한 생리활성 물질을 함유하고 있다(Shin 등, 2014). 식물계에 널리 분포된 폴리페놀계 물질들은 항염, 항산화, 항암, 고혈압 억제 등의 다양한 생리활성을 가지는 것으로 알려졌다(Proestos과 Varzakas, 2017). 특히, 갈조류의 폴리페놀은 육상식물과 다르게 플로로글루시놀[phloroglucinol (1,3,5-trihydroxybenzene)]을 기본 구조로 하는 플로로탄닌(phlorotannin)이라는 독특한 폴리페놀 2차 대사산물을 함유하고 있다(Ferreres 등, 2012). 플로로탄닌류는 항산화능력은 물론 혈압강하, 콜레스테롤 저하, 간 보호, 항바이러스 및 항박테리아, 항암, 항염증 효과 등 해조류의 다양한 생리활성에 기여한다고 밝혀졌다(Kim 등, 2006; Kim 등, 2005; Park 등, 2005).

갈조류에 관한 연구는 육지 식물보다 채취, 분류, 보관 및 염의 제거와 같은 추출 방법 등이 복잡하고 까다로워 샘플의 준비 과정이 연구결과에 큰 영향을 미치며(Park 등, 2008), 갈조류의 생리활성 물질 비교 연구들 간의 연구 불일치의 원인이 되어왔다. 특히, 연구결과 간의 불일치는 다양한 갈조류 후보 중 높은 활성을 갖는 기능성 식품 소재 선택 시 혼란을 일으킬 가능성이 있다. 실제로, 이전연구에서 감태(*Ecklonia cava* Kjellman)와 곱피(*Ecklonia stolonifera* Okamura)의 총 페놀 함량은 각각 148.01±1.46 및 144.14±1.46 mg GAE/g으로 유사하게 측정되었으나 다른 연구에서는 168.38과 35.66 mg GAE/g으로 큰 차이를 보였다(Ahn 등, 2010; Lee과 Kim, 2015).

해양수산부는 해양생명자원의 신약개발, 바이오에너지, 의료용품, 기능성식품 등의 소재로의 활용을 위한 해양생명자원 정보 표준화 및 통합 데이터베이스 시스템인 해양생명자원 정보시스템(Marine Bio-Resource Information System, MBRIS)을 운영하며 우리나라 근해에서 자생하는 다양한 해조류의 표준화된 추출물을 연구자에게 분양해주고 있다. 그러므로, 본 연구에서는 갈조

*Corresponding author: Sang Gil Lee, Department of Food Science and Nutrition, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

Tel: +82-51-629-5851

Fax: +82-51629-5842

E-mail: sglee1125@pknu.ac.kr

Received February 5, 2020; revised February 15, 2020;

accepted February 17, 2020

류를 이용한 기능성 식품소재 탐색을 위해 해양생명자원 통합정보시스템에서 분양 받은 표준화된 갈조류 추출물 10종의 총 폴리페놀 함량 및 총 항산화능력 등을 분석하고 비교하고자 한다.

재료 및 방법

시약

본 실험에서 사용한 Folin-Ciocalteu's phenol reagent, 갈산(gallic acid), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), 2,2'-azobis-(2-Amidino-Propane)HCl (AAPH), 케르세틴(quercetin), 아질산나트륨(NaNO₂), 염화알루미늄(AlCl₃), nicotinamide adenine dinucleotide (NADH), nitro blue tetrazolium (NBT), phenazine methosulfate (PMS)은 Sigma-Aldrich Co. (St. Louis, MO, USA)에서 구매하였다. 2,2'-Azino-Bis(3-ethylbenzRhiazoline-6-Sulfonic acid)diammonium (ABTS), 염화철(FeCl₃), 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) 황산제일철(FeSO₄)은 Roche (Basel, Switzerland)에서 구입하였다.

갈조류 추출물 샘플 준비

Table 1에서 보는 바와 같이 일송이모자반(*Sargassum confusum*), 넓패(*Ishige foliacea*), 개미역쇠(*Petalonia fascia*), 바위수염(*Myelophycus simplex*), 잘록이고리매(*Scytosiphon lomentaria*), 가는미역실(*Scytosiphon gracilis*), 툫(*Sargassum fusiforme*), 경단구슬모자반(*Sargassum muticum*), 검등모자반(*Sargassum nigrifolium*), 바위주름(*Petrospongium rugosum*) 등 총 10종의 갈조류는 해양생명자원 통합 정보시스템의 해양갈조식물자원(Marine Bio-Resource Information System)으로부터 추출물을 분양 받아 사용하였다. 분양 받은 건조된 고품질 형태의 갈조류 샘플을 5 mg/mL의 농도가 되도록 80% methanol을 이용하여 녹인 후 -20°C에 보관하며 적절한 농도로 희석하여 실험에 사용하였다.

총 폴리페놀 함량 측정

총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu's reagent 방법을 변형하여 측정하였다(Koivikko 등, 2005). 96-well microplate의 각 well에

200 µg/mL 농도로 희석한 갈조류 샘플 또는 10, 30, 60, 100 µg/mL의 갈산 표준용액 10 µL를 넣어 준 후, Folin-Ciocalteu's reagent 10 µL, 초순수(deionized water, DIW) 130 µL 및 Na₂CO₃ 100 µL를 차례로 첨가하고 실온에서 90분간 반응시킨 후 AMR-100 마이크로 플레이트 리더(AMR-100 microplate reader, Allsheng, Hangzhou, China)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 각각의 갈조류 샘플의 총 폴리페놀 함량은 갈산 표준곡선을 이용하여 건물(dried weight, dw) 1 g당 갈산 당량(gallic acid equivalent, GAE)에 해당하는 총 폴리페놀 함량(mg GAE/g, dw)으로 계산하였다.

총 플라보노이드(flavonoid) 함량 측정

총 플라보노이드 함량은 Zhishen 등(1999)의 방법을 변형하여 측정하였다. 96-well microplate의 각 well에 1000 µg/mL 농도로 희석한 10종의 갈조류 샘플 또는 10, 30, 60, 100 µg/mL의 케르세틴 표준용액 25 µL를 넣어 준 후, 초순수 160 µL와 5% NaNO₂ 7.5 µL를 가하여 상온에서 5분간 반응시켰다. 이후 10% AlCl₃ 7.5 µL를 추가하여 1분간 반응시킨 후 1 M 농도의 NaOH 50 µL를 첨가하여 잘 혼합한 뒤 마이크로 플레이트 리더를 이용하여 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 바탕시료(blank sample)는 초순수를 사용하고, 각각의 갈조류 샘플의 총 플라보노이드 함량은 케르세틴 표준곡선을 이용하여 건물 1 g당 케르세틴 당량(quercetin equivalent, QE)에 해당하는 총 플라보노이드 함량(mg QE/g, dw)으로 계산하였다.

DPPH 라디칼 소거능 측정

시료의 DPPH 라디칼 소거능을 통한 총 항산화능력은 Blois의 방법을 활용하여 측정하였다(Blois, 1958). DPPH 7.89 mg을 80% methanol 200 mL에 녹여 0.1 mM의 DPPH 라디칼 용액을 제조한 후 517 nm에서 0.7±0.05의 흡광도 값이 되도록 80% methanol을 이용하여 희석하였다. DPPH 라디칼 소거능 측정은 샘플 80% methanol (바탕시료) 및 10, 30, 60, 100 µg/mL의 vitamin C 표준용액 5 µL와 DPPH 용액 295 µL를 혼합한 후 23°C 암실에서 30

Table 1. Information of ten brown algae provided from the Marin Bio Resource Information System (MBRIS) in Korea

Resource Number Sample Number	Scientific Name	Korean Name	Sampling Date	Institution in Charge
MRS002000049888 MBRB0122TC9408E1	<i>Sargassum confusum</i>	alssong-imojaban	2013.03.27	MBRIS
MRS002000049860 MBRB0021TC12356E1	<i>Ishige foliacea</i>	neolbpae	2014.06.27	MBRIS
MRS002000049885 MBRB0029TC9340E1	<i>Petalonia fascia</i>	gaemiyeogsoe	2013.02.01	MBRIS
MRS002000049862 MBRB0024TC12364E1	<i>Myelophycus simplex</i>	bawisuyeom	2014.06.27	MBRIS
MRS002000049886 MBRB0045TC9349E1	<i>Scytosiphon lomentaria</i>	jallo-golimae	2013.02.03	MBRIS
MRS002000049887 MBRB0044TC9370E1	<i>Scytosiphon gracilis</i>	ganeunmiyeogsil	2013.03.01	MBRIS
MRS002000049859 MBRB0035TC12350E1	<i>Sargassum fusiforme</i>	tos	2014.06.27	MBRIS
MRS002000049858 MBRB0039TC9242E1	<i>Sargassum muticum</i>	gyeongdanguseulmojaban	2013.01.27	MBRIS
MRS002000049884 MBRB0124TC9296E1	<i>Sargassum nigrifolium</i>	geomdungmojaban	2013.02.02	MBRIS
MRS002000049863 MBRB0031TC13361E1	<i>Petrospongium rugosum</i>	bawijuleum	2011.06.06	MBRIS

분간 반응시켰다. 흡광도는 마이크로 플레이트 리더를 이용하여 517 nm에서 측정하고, 갈조류 샘플의 총 DPPH 라디칼 소거능은 vitamin C 표준곡선을 이용하여 건물 1 g당 vitamin C 함량(vitamin C equivalent, VCE)에 해당하는 총 DPPH 라디칼 소거능(mg VCE/g, dw)으로 계산하였다.

ABTS 라디칼 소거능 측정

시료의 ABTS 라디칼 소거능을 통한 총 항산화능력은 Re 등 (1999)의 방법으로 측정하였다. 27.12 mg AAPH (1.0 mM)와 137.18 mg ABTS (2.5 mM)을 100 mL PBS에 녹인 후, 혼합물을 40분 동안 80°C의 수조에서 가열하여 ABTS 라디칼 용액을 제조하였다. 이후, 0.45 µm nylon 여과지를 사용하여 여과한 후 734 nm에서 0.65±0.05의 흡광도 값이 되도록 PBS를 이용하여 희석하였다. ABTS 라디칼 소거능 측정을 위해 96-well microplate의 각 well에 200 µg/mL 농도로 희석한 갈조류 샘플, PBS (바탕시료) 또는 10, 30, 60, 100 µg/mL의 vitamin C 5 L와 ABTS 라디칼 용액 245 mL를 혼합하여 37°C에서 10분간 반응 후 마이크로 플레이트 리더를 이용하여 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 갈조류 샘플의 총 ABTS 라디칼 소거능은 vitamin C 표준곡선을 이용하여 건물 1 g당 vitamin C 함량(vitamin C equivalent, VCE)에 해당하는 총 ABTS 라디칼 소거능(mg VCE/g, dw)으로 계산하였다.

슈퍼옥사이드 음이온 라디칼 소거능 측정

슈퍼옥사이드 음이온 라디칼 소거능을 통한 총 항산화능력은 Zhang 등(2016)의 방법을 변형하여 사용하였다. PMS는 NADH를 산화시켜 슈퍼옥사이드 음이온 라디칼을 생성하며, 이 라디칼이 NBT를 환원시켜 보라색의 formazan을 생성한다. 이때 항산화물질은 슈퍼옥사이드 음이온 라디칼을 소거하여, formazan의 생성을 억제하며 그 정도를 560 nm 흡광도로 측정하면 슈퍼옥사이드 음이온 라디칼 소거능을 측정할 수 있다. 실험을 위하여 300 µM NBT, 468 µM NADH 그리고 60 µM PMS stock 용액을 16 mM Tris-HCl 완충용액(pH 8.0)을 이용하여 제조하였다. 이후 50 µL의 NBT와 NADH 그리고 200 µg/mL의 모자반 추출물 또는 80% methanol (바탕 시료) 50 µL을 96-well microplate에서 혼합한 후 PMS 용액을 추가하여 실온에서 5분 반응 후, 마이크로 플레이트 리더를 이용하여 560 nm에서 흡광도를 측정하였다. 슈퍼옥사이드 음이온 라디칼 소거능(%)은 다음과 같이 계산하였다. 슈퍼옥사이드 음이온 라디칼 소거능(%)=(흡광도_{바탕 시료}-흡광도_{갈조류 시료})/흡광도_{바탕 시료}×100.

환원력 측정

10종의 갈조류 환원력(reducing power) 측정을 통한 총 항산화능력은 Benzie과 Strain (Benzie과 Strain, 1996)의 방법으로 측정하였다. FRAP assay는 3가의 ferric tripyridyltriazine (Fe³⁺-TPTZ)이 낮은 pH에서 항산화제에 의해 환원되어 2가의 청색 ferrous tripyridyl-triazine (Fe²⁺-TPTZ)가 생성될 때 593 nm에서 흡광도를 측정하여 항산화능력을 측정하는 실험법이다. FRAP reagent는 40 mM HCl에 용해한 10 mM TPTZ 2 mL와 20 mM FeCl₃ 2 mL를 20 mL acetate buffer (300 mM, pH 3.6)에 가한 후, 2.4 mL의 TPTZ를 추가하여 제조하였다. 제조한 FRAP reagent는 37°C 항온 수조에서 보관하며 사용하였다. 96-well microplate에 희석된 10종의 갈조류 샘플 6 µL를 200 µL의 FRAP 시약과 혼합하고 37°C에서 4분간 반응한 후 593 nm에서 흡광도를 측정하였다. 갈조류의 환원력은 황산제일철(FeSO₄)을 표준물질로 사용하여 0.1, 0.2, 0.4,

0.6, 0.8, 1 mM의 농도로 표준곡선을 작성하여 mM FeSO₄ equivalent/g, dw로 나타내었다.

통계처리

모든 실험은 3회 반복 시행하였고, 그에 따라 얻은 결과들은 평균±표준편차(mean±SD)로 표현하였다. 각 실험 결과의 유의적 차이는 Graphpad 7.0 (Graphpad Software, San Diego, USA)을 이용하여 one-way ANOVA와 Turkey's test 사후 검정(p<0.05)으로 비교하였다. 또한, 총 폴리페놀 함량, 총 플라보노이드 함량, 그리고 총 항산화능력 간의 상관관계를 조사하기 위해 Pearson correlation 분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

총 폴리페놀 함량

본 연구에서 국내에 자생하는 갈조류 10종의 총 폴리페놀 함량을 측정하였으며 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 10종의 갈조류 중 가장 높은 총 폴리페놀 함량을 보인 추출물은 넓패로 82.64±3.59 mg GAE/g의 총 폴리페놀을 함유하고 있었다. 넓패는 패과(*Ishigeaceae*)에 속하며 우리나라 남부해안 특히 제주도에 주로 서식하고 있다. 넓패의 가장 중요한 폴리페놀 성분은 octaphloretol A로써 항염증, 항당뇨, 항비만, 및 미백 기능 등 다양한 효능을 가지고 있다고 알려져 있다(Lee 등, 2013; Lee 등, 2016). 이전 연구에서 35종의 해조류 중 17종의 갈조류 총 폴리페놀 함량을 비교하였을 때 넓패는 대황(*Eisenia bicyclis*) 및 감태(*Ecklonia cava*)의 뒤를 이어 총 폴리페놀 함량이 가장 높은 해조류로 조사되었으며 74.62±3.83 mg/g의 총 폴리페놀 함량을 보여 주었다(Ahn 등, 2010). 이는 본 연구와 유사한 경향을 보여주는 결과로 넓패가 총 폴리페놀 함량이 높은 해조류 자원임을 보여주는 증거이다. 또한 30종의 갈조류, 홍조류, 녹조류의 총 폴리페놀 함량을 비교한 다른 연구에서도 패속(*Ishige*)에 속하는 패(*Ishige okamurae*)가 전체 30종의 해조류 중 감태 다음으로 높은 총 폴리페놀 함량을 보임으로써 패속의 해조류가 높은 총 폴리페놀 함량을 보유한 해조류 기능성 자원임을 확인하였다(Kim 등, 2016).

개미역쇠의 총 폴리페놀 함량이 65.40±2.63 mg GAE/g으로 두 번째로 높았고, 검등모자반은 45.29±0.00 mg GAE/g로 세 번째로 폴리페놀 함량이 많은 것으로 나타났다. 개미역쇠의 생리활성물질 분석한 이전 연구에서 hexane과 dichloromethane 추출물에서 methanol 추출물에 비해 더 높은 총 폴리페놀 함량을 보여주었으며, monoterpeneoid phenol계통의 carvacrol이 개미역쇠의 essential oil의 조성의 62.47%를 차지하고있음을 보여주었다(Demirel 등, 2009). 또한, 이전 연구에서 개미역쇠의 dichloromethane 추출물이 그람 양성균과 그람 음성균에서 항균효과가 있다고 보고되었으며, 이는 개미역쇠의 폴리페놀이 항균성이 있음을 나타내는 결과이다(Lim 등, 2019). 본 연구에서 검등모자반의 총 폴리페놀의 함량은 45.29±0.00 mg GAE/g로 조사된 10종의 갈조류 중 세 번째로 높은 함량을 보여주었지만, 다른 연구에서의 검등모자반의 총 폴리페놀 함량은 약 0.15 mg GAE/g를 보였으며, 이는 본 연구에서 결과와 매우 상이한 결과이다(Kim 등, 2005). 이는 50% 에탄올을 이용하여 2시간 동안 실온에서 추출한 방법이 해양생명자원 통합정보시스템의 70% 에탄올을 이용한 24시간 추출 실온 추출 방식과 다르기 때문으로 판단된다. 많은 연구에서 다양한 해조류는 샘플의 성격 및 추출 시 절단 크기, 보관 방법, 추출 시간, 추출 용매 등에 따라 폴리페놀의 추출률에 영향을 미친다고 밝혀졌다(Kim 등, 2006; Lee, 2013; Lim 등, 2019; Mekinić 등,

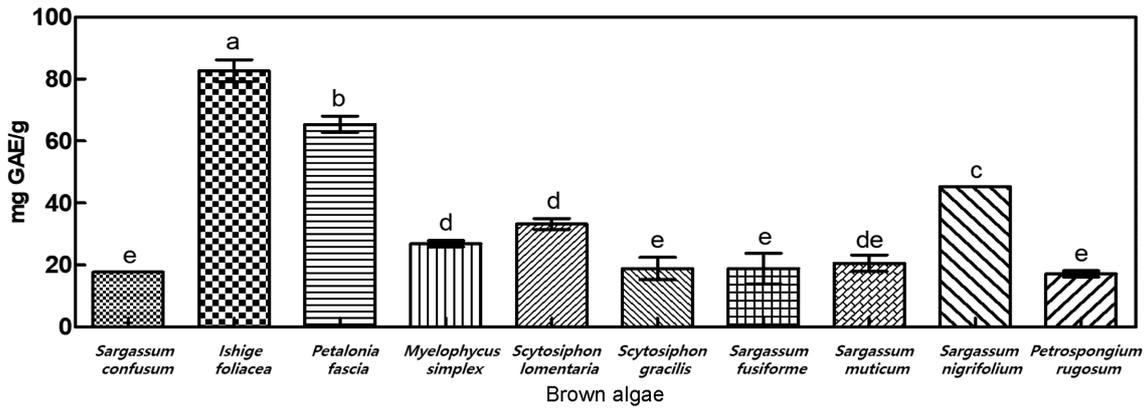


Fig. 1. Total phenolic contents of 10 kinds of brown algae provided from the Marin Bio Resource Information System (MBRIS) in Korea. Different letters on the bar charts indicate significant difference ($p < 0.05$).

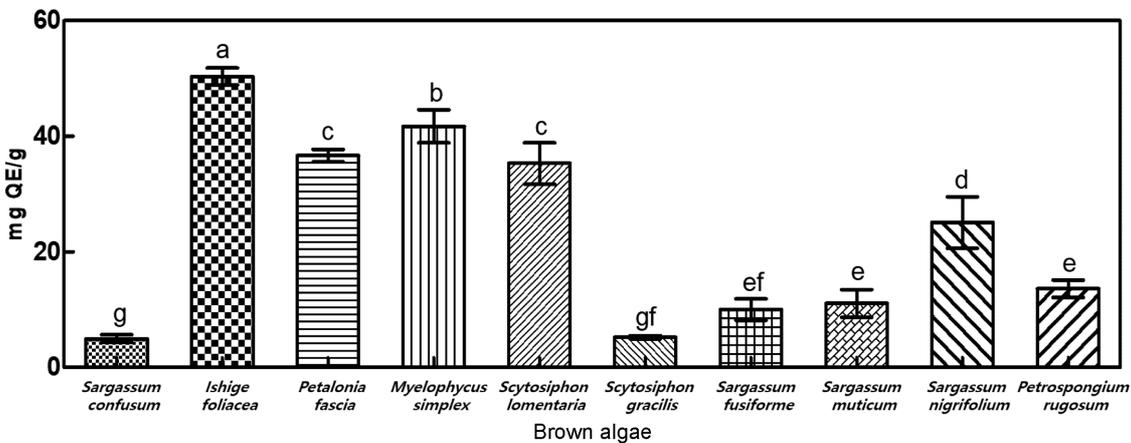


Fig. 2. Total flavonoid contents of 10 kinds of brown algae provided from the Marin Bio Resource Information System (MBRIS) in Korea. Different letters on the bar charts indicate significant difference ($p < 0.05$).

2019). 이를 통해 표준화된 샘플을 이용한 생리활성물질의 분석이 해조류 기능성 식품 소재의 탐색에 중요한 요소임을 알 수 있다.

총 플라보노이드 함량

Fig. 2에서 보는 바와 같이 10종의 갈조류 중 넓패가 50.35±1.48 mg QE/g으로 가장 높은 플라보노이드 함량을 나타내었으며, 바위수염이 41.71±2.85 mg QE/g 로 다음으로 높은 함량을 보였다. 개미역쇠와 잘록고리매는 각각 36.67±1.08과 35.31±3.57 mg QE/g으로 대등한 함량을 가지는 것으로 관찰되었으며, 모자반류 중에서는 검등모자반이 25.07±0.46 mg QE/g으로 가장 높은 총 플라보노이드 함량을 보였다. 이 외 5종은 4.9-13.6 mg QE/g으로 매우 적은 총 플라보노이드 함량을 보여주었다. 넓패, 개미역쇠, 검등모자반은 총 폴리페놀 함량이 높은 갈조류로 플라보노이드 함량도 높게 나타났다. 하지만 바위수염과 잘록고리매는 총 폴리페놀의 함량이 적음에도 높은 총 플라보노이드 함량을 보였다. 이는 해조류에 포함되어있는 폴리페놀 중 플라보노이드가 차지하는 비율이 차이가 있음을 보여주는 결과이다. 실제로 플라보노이드는 해조류의 3% 이하를 차지한다고 알려졌으며, 다른 연구에서도 알송이모자반의 총 폴리페놀은 34.44 mg GAE/g이고 왜모자반(*Sargassum yezoense*, yamade)의 총 폴리페놀 함량은 79.01 mg GAE/g이었으나 총 플라보노이드 함량은 알송이모자반이 15.31 mg/g으로 왜모자반의 12.74 mg/g보다 높았다(Ahn 등, 2010). 한 연구 결과에 의하면 모자반 속(*Sargassum sp.*)의 플라보노이드는

약 1.43%, 부챗말 속(*Padina sp.*)의 플라보노이드는 약 2.36% 정도가 존재한다고 발표하였다(Muhammad 등, 2018b). 하지만 이러한 적은 양에도, 갈조류의 플라보노이드는 프로스타글란딘(prostaglandin)을 줄여주어 진통제 효과를 보여주는 것으로 나타났으며, 이는 갈조류의 플라보노이드가 중요한 기능성 물질로의 이용 가능성을 보여주는 결과이다(Muhammad 등, 2018a).

항산화능력

본 연구에서 해조류 10종의 항산화능력 실험은 DPPH 라디칼 소거능, ABTS 라디칼 소거능, 슈퍼옥사이드 음이온 라디칼 소거능과 환원력 측정까지 총 4가지의 실험을 진행하였으며 Table 2에 나타내었다. 총 항산화능력에서는 10종의 갈조류 중 넓패와 검등모자반에서 다른 8종과 비교하여 유의적으로 뛰어난 항산화능력을 확인 할 수 있었다. 라디칼 소거능을 측정하는 실험에서 넓패가 DPPH, ABTS, 슈퍼옥사이드 음이온 라디칼 소거능 측정 실험 모두 각각 122.42±2.79 mg VCE/g, 178.45±9.78 mg VCE/g, 68.06±1.01%를 보여주어 가장 높은 소거능을 나타내었다. 뒤이어 검등모자반이 95.75±3.22 mg VCE/g (DPPH 라디칼), 80.85±6.11 mg VCE/g (ABTS 라디칼), 40.57±1.04% (슈퍼옥사이드 음이온 라디칼)의 소거능을 나타내었다. 라디칼 소거능에서는 모두 넓패, 검등모자반 순으로 높은 라디칼 소거능을 보인 반면, 환원력에서는 검등모자반이 0.173±0.015 mM FeSO₄/g, 넓패가 0.130±0.003 mM FeSO₄/g를 나타내면서 검등모자반이 가장 높은 환원력을 보여주

Table 2. Comparison of total antioxidant capacities (TAC) of ten brown algae grown off the Korean coast¹

Brown algae	TAC (DPPH) (mg VCE/g)	TAC (ABTS) (mg VCE/g)	TAC (Superoxide) (%)	TAC (FRAP) (mM FeSO ₄ /g)
<i>Sargassum confusum</i>	48.73±1.05 ^c	23.25±0.92 ^c	23.26±5.40 ^c	0.048±0.004 ^d
<i>Ishige foliacea</i>	122.42±2.79 ^d	178.45±9.78 ^a	68.06±1.01 ^a	0.130±0.003 ^b
<i>Petalonia fascia</i>	45.93±1.61 ^c	20.32±1.22 ^c	33.95±2.15 ^b	0.074±0.006 ^c
<i>Myelophycus simplex</i>	50.84±1.82 ^c	16.85±2.01 ^c	13.63±3.10 ^d	0.047±0.002 ^d
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	47.68±3.65 ^c	18.72±0.46 ^c	13.63±3.20 ^d	0.032±0.001 ^e
<i>Scytosiphon gracilis</i>	44.53±1.82 ^c	10.99±0.80 ^c	13.52±1.17 ^d	0.013±0.002 ^f
<i>Sargassum fusiforme</i>	50.84±0.00 ^c	21.92±0.46 ^c	21.76±5.35 ^c	0.036±0.003 ^e
<i>Sargassum muticum</i>	45.93±1.61 ^c	15.25±2.57 ^c	22.93±0.10 ^c	0.033±0.003 ^e
<i>Sargassum nigrifolium</i>	95.75±3.22 ^b	80.85±6.11 ^b	40.57±1.04 ^b	0.173±0.015 ^a
<i>Petrospongium rugosum</i>	46.98±3.70 ^c	20.85±1.22 ^c	18.64±4.45 ^{cd}	0.023±0.001 ^f

¹TAC stands for total antioxidant capacity. DPPH radical scavenging capacity, ABTS radical scavenging capacity, superoxide radical scavenging capacity, and ferric reducing antioxidant power were measured for the analysis of TAC. Different superscripts indicate significant difference ($p<0.05$).

Table 3. Pearson correlation between TPC, TFC, and four TAC results¹

	TPC	TFC	TAC (DPPH)	TAC (ABTS)	TAC (Superoxide)	TAC (FRAP)
TPC	1	0.79 ($p<0.01$)	0.73 ($p<0.05$)	0.78 ($p<0.01$)	0.86 ($p<0.01$)	0.71 ($p<0.05$)
TFC		1	0.54 ($p=0.108$)	0.57 ($p=0.09$)	0.53 ($p=0.118$)	0.49 ($p=0.147$)
TAC (DPPH)			1	0.97 ($p<0.01$)	0.91 ($p<0.01$)	0.86 ($p<0.01$)
TAC (ABTS)				1	0.94 ($p<0.01$)	0.76 ($p<0.05$)
TAC (Superoxide)					1	0.80 ($p<0.01$)
TAC (FRAP)						1

¹TPC, TFC, TAC stand for total phenolic content, total flavonoid content, and total antioxidant capacity, respectively. DPPH radical scavenging capacity, ABTS radical scavenging capacity, superoxide radical scavenging capacity, and ferric reducing antioxidant power were used to determine the TAC.

었다. 다른 갈조류들의 총 항산화능력은 두 갈조류에 비해 라디칼 소거능과 환원력 모두 현저히 낮았다. 특히 높은 총 폴리페놀 함량과 총 플라보노이드 함량을 보여주었던 개미역쇠는 총 항산화능에서 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량과 유의적인 효능을 보여주지 못하였다. 이는 개미역쇠의 폴리페놀들이 함량은 높으나 라디칼 소거능 및 환원력이 낮은 구조를 갖는 물질일 가능성이 있음을 시사한다(Rice-Evans 등, 1996).

상관관계

본 연구에서 측정된 총 폴리페놀 함량, 총 플라보노이드 함량과 총 항산화능력 간의 상관관계를 Pearson correlation을 통하여 조사한 결과를 Table 3에 나타내었다. 해조류의 총 폴리페놀 함량은 총 플라보노이드 함량, 그리고 총 항산화능력과 모두 양(+)의 상관관계를 나타내었다. 이와 대조적으로 총 플라보노이드 함량과 총 항산화능력을 측정한 실험들 사이에서는 유의적인 상관관계를 보여주지 못하였다. 이는 갈조류의 플라보노이드가 라디칼 소거능 및 환원력을 통한 총 항산화능력에 이바지하는 정도가 다른 폴리페놀에 비해 미비함을 보여주는 증거이며, 이들 플라보노이드의 효과는 더욱 복잡한 분자생물학적인 작용에 의한 기능성을 보일 것으로 생각된다. 또한, 총 항산화능력을 측정하는 4가지 실험 간의 유의적인 상관관계를 보였으며, 이는 총 항산화능력 측정법 간의 상호 호환이 가능하다는 이전의 연구들과 유사한 결과이다(Floegela 등, 2011; Lee 등, 2017).

요 약

본 연구는 해양자원정보시스템의 ‘해양갈조식물자원’에서 표준

화된 갈조류 10종을 분양 받아 총 폴리페놀, 총 플라보노이드 및 총 항산화능력을 비교한 연구이다. 10종의 갈조류 중 총 폴리페놀이 높은 갈조류는 넓패, 개미역쇠, 그리고 검등모자반이었으며, 이들 중 넓패와 검등모자반은 총 플라보노이드 및 항산화능력이 다른 갈조류와 비교하여 유의적으로 높은 능력을 보였다. 또한, 총 폴리페놀 함량, 총 플라보노이드 함량, 총 항산화능력 간의 상관관계 조사를 통하여 총 플라보노이드보다 총 폴리페놀 함량이 해조류의 총 항산화능력에 연관성이 있음을 확인하였다. 이를 바탕으로 넓패 및 검등모자반은 높은 총 폴리페놀 및 플라보노이드를 함유하는 갈조류 기능성 식품 소재로의 가능성을 보여주었다. 또한, 이 연구의 자료는 국내 자생하는 갈조류의 생리활성물질과 기능성연구에 기초자료로 활용이 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구를 위해 분양 받은 10종의 갈조류 샘플을 지원해주신 해양갈조식물자원 센터에 감사드립니다. 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2018년)에 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사드립니다.

References

- Ahn S-M, Hong Y-K, Kwon G-S, Sohn H-Y. Evaluation of in-vitro anticoagulation activity of 35 different seaweed extracts. *J. Life Sci.* 20: 1640-1647 (2010)
- Benzie IFF, Strain J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239: 70-76 (1996)
- Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free rad-

- ical. Nature 181: 1199-1200 (1958)
- Chandini SK, Ganesan P, Suresh PV, Bhaskar N. Seaweeds as a source of nutritionally beneficial compounds-a review. J. Food Sci. Technol. 45: 1-13 (2008)
- Demirel Z, Yilmaz-Koz FF, Karabay-Yavasoglu UN, Ozdemir G, Sukatar A. Antimicrobial and antioxidant activity of brown algae from the aegean sea. J. Serb. Chem. Soc. 74: 619-628 (2009)
- Ferreres F, Lopes G, Gil-Izquierdo A, Andrade PB, Sousa C, Mouga T, Valentão P. Phlorotannin extracts from fucales characterized by HPLC-DAD-ESI-MSN: Approaches to hyaluronidase inhibitory capacity and antioxidant properties. Mar. Drugs 10: 2766-2781 (2012)
- Floegela A, Kim D-O, Chung S-J, Koo SI, Chun OK. Comparison of ABTs/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich us foods. J. Food Compos. Anal. 24: 1043-1048 (2011)
- Jeon YE, Yin XF, Lim SS, Chung C-K, Kang I-J. Antioxidant activities and acetylcholinesterase inhibitory activities from seaweed extract. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 41: 443-449 (2012)
- Kim BM, Jun JY, Park YB, Jeong IH. Antioxidative activity of methanolic extracts from seaweeds. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 35: 1097-1101 (2006)
- Kim S, Woo S, Yun H, Yum S, Choi E, Do J-R, Jo J-H, Kim D, Lee S, Lee TK. Total phenolic contents and biological activities of Korean seaweed extracts. Food Sci. Biotechnol 14: 798-802 (2005)
- Kim T-H, Ko S-C, Oh G-W, Park H-H, Lee D-S, Yim M-J, Lee JM, Yoo JS, Kim C-S, Choi I-W, Jung W-K. Studies on bioactive substances and antioxidant activities of marine algae from Jeju island. J. Mar. Biosci. Biotechnol. 8: 30 - 38 (2016)
- Koivikko R, Loponen J, Honkanen T, Jormalainen V. Contents of soluble, cell-wall-bound and exuded phlorotannins in the brown alga *Fucus vesiculosus*, with implications on their ecological functions. J. Chem. Ecol. 31: 195-212 (2005)
- Kumar M, Gupta V, Kumari P, Reddy CRK, Jha B. Assessment of nutrient composition and antioxidant potential of *Caulerpaceae* seaweeds. J. Food Compos. Anal. 24: 270-278 (2011)
- Lee J-H, Kim G-H. Evaluation of antioxidant activity of marine algae-extracts from Korea. J. Aquat. Food Prod. Technol. 24: 227-240 (2015)
- Lee NY. Antioxidant effect and tyrosinase inhibition activity of seaweeds ethanol extracts. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 42: 1893-1898 (2013)
- Lee S-H, Kang S-M, Ko S-C, Kang M-C, Jeon Y-J. Octaphlorethol a, a novel phenolic compound isolated from *Ishige foliacea*, protects against streptozotocin-induced pancreatic beta cell damage by reducing oxidative stress and apoptosis. Food Chem. Toxicol. 59: 643-649 (2013)
- Lee S-H, Ko S-C, Kang M-C, Lee DH, Jeon Y-J. Octaphlorethol a, a marine algae product, exhibits antidiabetic effects in type 2 diabetic mice by activating amp-activated protein kinase and upregulating the expression of glucose transporter 4. Food Chem. Toxicol. 91: 58-64 (2016)
- Lee SG, Wang T, Vance TM, Hubert P, Kim D-O, Koo SI, Chun OK. Validation of analytical methods for plasma total antioxidant capacity by comparing with urinary 8-isoprostane level. J. Microbiol. Biotechnol. 27: 388-394 (2017)
- Lim S, Choi A-H, Kwon M, Joung E-J, Shin T, Lee S-G, Kim N-G, Kim H-R. Evaluation of antioxidant activities of various solvent extract from *Sargassum serratifolium* and its major antioxidant components. Food Chem. 278: 178-184 (2019)
- Mekinić IG, Skroza D, imat V, Hamed I, agalj MC, Perković ZP. Phenolic content of brown algae (*Pheophyceae*) species: Extraction, identification, and quantification. Biomolecules 9: 244 (2019)
- Moon S, Kim J. Iodine content of human milk and dietary iodine intake of Korean lactating mothers. Int. J. Food Sci. Nutr. 50: 165-171 (1999)
- Muhammad P, Subbiah M, Sivamurugan V. Investigation on in vivo analgesic activity of methanol extract of marine brown alga *Spatoglossum asperum* J. Agarth. Asian J. Pharm. Clin. Res. 11: 313-315 (2018a)
- Muhammad R, Fuad HA, Hajrah YAS, Subehan S. Analysis of total flavonoid levels in brown algae (*Sargassum sp.* And *Padina sp.*) as analgesic drug therapy. Asian J. Pharm. Clin. Res. 11: 81-83 (2018b)
- Park KE, Jang M-S, Lim CW, Kim Y-K, Seo Y, Park H-Y. Antioxidant activity on ethanol extract from boiled-water of *Hizikia fusiformis*. J. Korean Soc. Appl. Biol. 48: 435-439 (2005)
- Park N-Y, Kim I, Jeong Y-J. Effects of extraction conditions on the compositional extraction of brown seaweed (*Undaria pinnatifida*). J. Food Sci. Nutr. 13: 321-326 (2008)
- Proestos C, Varzakas T. Aromatic plants: Antioxidant capacity and polyphenol characterisation. Foods 6: 28 (2017)
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. Free Radic. Biol. Med. 26: 1231-1237 (1999)
- Rice-Evans C, Miller NJ, Paganga G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. Free Radic. Biol. Med. 20: 933-956 (1996)
- Shin D-B, Han E-H, Park S-S. Cytoprotective effects of *Phaeophyta* extracts from the coast of Jeju island in HT-22 mouse neuronal cells. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 43: 224-230 (2014)
- Zhang QA, Wang X, Song Y, FanXH, Garcia Martin JF. Optimization of pyrogallol autoxidation conditions and its application in evaluation of superoxide anion radical scavenging capacity for four antioxidants. J. AOAC Int. 99: 504-511 (2016)
- Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. Food Chem. 64: 555-559 (1999)