

다양한 해조류를 첨가하여 제조한 밥의 *in vitro* 항산화 활성

최영진 · 김수민¹ · 이서경¹ · 김현정¹ · 임상빈¹ · 오명철^{2*}

제주한라대학교 호텔조리과, ¹제주대학교 식품생명공학과, ²제주국제대학교 식품외식학과

In vitro Antioxidant Activity of Cooked Rice Containing Various Seaweeds

Youngjin Choi, Soomin Kim¹, Seogyong Lee¹, Hyun Jung Kim¹, Sangbin Lim¹, Myung-Cheol Oh^{2*}

Department of Hotel Culinary Art, Jeju Halla University, Jeju 63092, Korea

¹Department of Food Bioengineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

²Department of Food Science and Industry, Jeju International University, Jeju 63309, Korea

An emerging interest in healthy eating has led to an increase in the consumption of rice mixed with various types of grains. Cooked rice was prepared with five different seaweeds, *Hizikia fusiformis*, *Sargassum fulvellum*, *Enteromorpha compressa*, *Undaria pinnatifida*, and *Gracilaria verrucosa*, and the antioxidant activity was measured. In addition, the antioxidant activities of 80% ethanol and methanol extracts of the five seaweeds were compared. Total phenolic content (TPC), total reducing power (TRP), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid (ABTS) cation radical scavenging activities of the ethanol extracts were higher than those of the methanol extracts. The TPC of raw seaweed ethanol extracts was from 7.58 to 26.27 mg gallic acid equivalent (GAE)/g. The antioxidant activities of both extracts of *Hizikia fusiformis* were the highest among the five seaweeds, and the antioxidant activities of the cooked rice were lower than those of the raw seaweed extracts. The DPPH radical scavenging activities of cooked white rice, mixed grains, barley, and a mixture of white rice and barely added with *Hizikia fusiformis*, *Sargassum fulvellum* and *Undaria pinnatifida* were 3.17, 23.12, 31.11 and 10.66%, respectively. These results demonstrate the addition of seaweeds to cooked rice helps to improve the antioxidant activity compared to white rice alone.

Keywords: Seaweeds, Cooked rice, Mixed grains, Antioxidant activity

서 론

쌀은 세계 인구의 절반이 주식으로 사용하는 세계 3대 곡물 중의 하나인 귀중한 식량자원이며, 특히 아시아권에서는 다른 작물과 대치될 수 없는 국가 핵심자원이다(Sohn et al., 2005). 최근에 서구화된 음식을 쉽게 접할 수 있게 되면서 서구식에 비하여 포화지방산 함량이 낮고, 균형식에 가까운 상차림을 가진 한식의 우수성이 더욱 강조되고 있으며, 특히 한식의 중심이 되는 밥의 기능성과 기호성 향상 방안에 대한 관심이 고조되고 있다(Shin et al., 2004). 또한 식품소비방식이 간편해지는 식문화의 변화에 따라 편의성과 간편성에 대한 소비자의 요구가 늘어나면서 가정간편식(home meal replacement, HMR)이 식품산업

의 트렌드로 자리잡고 있다(Hong, 2017). 이에 따라 우리나라의 주식으로 이용되고 있는 쌀도 밥쌀용 쌀소비는 감소하고 건조밥, 통조림밥, 레토르트밥, 냉장밥 및 냉동밥 등 간편식 밥이 선호되고 있는 추세이다(Park, 2016). 해조류는 바다에 서식하는 조류(sea algae)로 채소와 유사하게 수분함량이 높고 단백질과 지방의 함량은 낮으며 그에 비해 식이섬유, 수용성 점질, 당류 및 다양한 종류의 무기질을 풍부하게 함유하고 있는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2011). 해조류 중 김, 미역, 다시마, 청각, 파래, 툇 등은 단백질과 미네랄이 풍부하여 유용 식용자원으로 이용되어 왔으며, 건제품, 염장품 및 조미품 등으로 직접 이용하거나 또는 다른 식품의 부재료로 첨가되어 이용되고 있다(Ahn et al., 2010). 최근에는 해조류의 다양한 건강기능성이

*Corresponding author: Tel: +82. 64. 754. 0360 Fax: +82. 64. 754. 0360

E-mail address: mychul@jeju.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0388>

Korean J Fish Aquat Sci 53(3), 388-394, June 2020

Received 3 March 2020; Revised 24 March 2020; Accepted 17 April 2020

저자 직위: 최영진(교수), 김수민(대학원생), 이서경(대학원생), 김현정(교수), 임상빈(교수), 오명철(교수)

알려지면서 경제성 있는 항산화 물질을 개발하고자 이들 자원을 적극 활용하고 있다(Ahn et al., 2011). D’Orazio et al. (2012)의 연구에서는 많은 갈색 해조에는 충분한 양의 푸코잔틴이 함유되어있으며, 비타민, 미네랄, 식이섬유, 단백질, 다가불포화 지방산, 다당류, 기타 카로티노이드, 플로로탄닌 및 폴리페놀이 풍부하다고 보고하였다. 이러한 효능들로 해조류를 첨가한 식품에 관한 연구들이 꾸준히 진행되어 다시마 요구르트(Kim et al., 2008), 파배기 모자반 추출물 첨가한 빵(Lee et al., 2008), 미역분말이 첨가된 쌀 쿠키(Jung and Lee, 2011), 김 분말을 첨가한 쿠키(Lee et al., 2017), 파래분말을 첨가한 떡볶이 떡(Jung et al., 2019), 가시파래 첨가 알룰로스 곤약젤리(Kim et al., 2019) 등이 보고되고 있다.

국내에서 해조류는 식품원료로서 김처럼 부식개념으로 한정되어 온 결과, 쌀의 소비가 감소하면서 해조류의 소비도 감소하는 경향이 나타나고 있다(Kim et al., 2006). 해조류의 항산화 특성은 많은 연구들에 의해 증명되었으나, 해조류를 첨가한 밥에 관한 항산화 특성 연구는 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 다양한 해조류를 첨가하여 제조한 백미밥, 보리밥, 잡곡밥을 제조하고 이들의 *in vitro* 항산화 활성을 측정하여 해조류가 첨가된 식품의 개발을 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 해조류인 톳, 모자반, 미역, 꼬시래기는 제주시 소재 동문시장(Jeju, Korea)에서 직접 구입하여, 이물질들을 제거한 다음 수돗물로 3회 세척하여 90°C에서 5분간 블랜칭 처리한 후 각각 5 cm 크기로 절단한 다음 냉동고(IBK-600F, Infobiotech Co., Ltd., Daejeon, Korea)에서 저장하여 사용하였으며, 건파래 및 파래김은 제주시 하나로마트(Jeju, Korea)에서 구입하여 사용하였다. 또한 쌀(백미), 쌀보리, 찰보리, 잡곡 등도 제주시 하나로마트(Jeju, Korea)에서 구입하여 사용하였다.

해조류 첨가밥 준비

해조류 첨가밥은 해조류를 여러 종류의 밥에 적용하기 위하여 각종 재료들을 Table 1의 혼합비율로 혼합하였다. 그 후 전기압력밥솥(CJH-PC0611RC, Cuchen Co., Cheonan, Korea)에 30분간 취사하여 해조류 첨가밥을 완성하였다(cooked seaweed rice, A-G). 해조류 첨가밥에 있어서 해조류의 혼합비율은 사전에 해조류를 첨가하여 밥을 지은 후의 관능평가 결과에서 해조류를 10% 이상 첨가할 경우 해조취가 너무 강하여 기호도를 저하시키는 것으로 나타나 해조류 첨가량을 10% 이하로 조절하였다(data not shown).

항산화 활성 측정용 시료 준비 및 추출

해조류 원물과 해조류 첨가밥의 추출물은 Woo et al. (2017)

의 방법을 응용하여 항산화 활성 측정용 추출물을 제조하였다. 해조류 원물은 건조된 상태에서 믹서기(SMX-8000EMT, Shinil, Seoul, Korea)를 이용하여 분쇄하였다. 해조류 분쇄물 1.25 g에 80% ethanol과 80% methanol을 각각 23.75 mL 첨가한 뒤, shaking incubator (JSSI-100C, JS Research Inc., Gongju, Korea)를 이용하여 상온에서 24시간 동안 진탕 추출하였다. 해조류 추출물을 원심분리기(Labogene, Gyrozen Co., Ltd, Daejeon, Korea)로 2700 g에서 10분 원심분리한 후 상층을 분리하여 -20°C에서 냉동 보관하여 항산화 활성 측정용 시료로 사용하였다.

해조류 첨가밥은 제조 후 -20°C에서 8시간 이상 냉동 보관한 뒤 믹서기(Shinil, Seoul, Korea)와 핸드 블랜더(SMX-11HC, Shinil, Seoul, Korea)를 이용하여 균일하게 분쇄하였다. 해조류 밥 분쇄물 5 g에 80% ethanol과 80% methanol을 각각 95 mL 첨가한 뒤, 균질기(HG-15A, Daihan Scientific, Wonju, Korea)를 이용하여 1분간 균질하였다. Shaking incubator (JS Research Inc., Gongju, Korea)를 이용하여 상온에서 24시간 동안 진탕 추출하였고, 추출물을 Whatman No. 2 여과지로 여과한 후 -20°C에서 냉동 보관하여 항산화 활성 측정용 시료로 사용하였다.

총 페놀 함량

총 페놀 함량은 Lee et al. (2020)의 방법을 응용한 Folin-Ciocalteu 방법을 이용하여 측정하였다. 항산화 활성 측정용 시료 100 µL와 증류수 1.5 mL 그리고 2 N Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 시약 100 µL를 혼합한 뒤,

Table 1. Materials and formulation for cooked rice added with various seaweeds

Materials (% , wt/wt)	Cooked seaweed rice						
	A	B	C	D	E	F	
Grain	White rice	48.6	48.6	48.6	-	-	24.3
	Mixed grains	-	-	-	45.4	-	-
	Barley	-	-	-	-	24.3	24.2
	Waxy barley	-	-	-	-	24.2	-
Seaweed	<i>Hizikia fusiformis</i>	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
	<i>Sargassum fulvellum</i>	4.7	7.1	4.7	7.1	7.1	7.1
	<i>Enteromorpha compressa</i>	-	0.1	-	0.1	0.1	0.1
	<i>Undaria pinnatifida</i>	2.4	-	-	-	-	-
	<i>Gracilaria verrucosa</i>	-	-	2.4	-	-	-
Water	41.9	41.8	41.9	45.0	41.9	41.9	
Total	100	100	100	100	100	100	

30초간 반응시켰다. 20% Sodium carbonate (Na_2CO_3 , OCI, Incheon, Korea) 300 μL 를 가하여 암소에서 1시간 반응시켰다. 분광광도계(Optizen, Mecasys Co., Daejeon, Korea)를 이용하여 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. Gallic acid (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 표준물질로 사용하여 동일한 방법으로 작성한 표준곡선으로부터 총 폴리페놀 함량을 건조해 조류, 밥 또는 즉석밥 1 g 중의 mg gallic acid equivalents (mg GAE/g)으로 나타내었다. L-ascorbic acid (DaeJung Chemicals & Metals Co., Ltd., Siheung, Korea)은 대조군으로써 10 ng/mL로 제조하여 100 μL 중의 mg gallic acid equivalents (mg GAE/100 μL)으로 나타내었다.

환원력

시료의 환원력(ferric reducing antioxidant power)은 Kim et al. (2015)의 방법을 응용하여 측정하였다. 시료 1 mL에 0.2 M phosphate buffer (pH 6.6) 1 mL와 1% potassium ferricyanide 1 mL를 넣고 혼합 후, 50°C에서 20분간 반응시켰다. 10% trichloroacetic acid (TCA) 1 mL를 첨가하여 혼합한 후, 반응용액에서 상층액 2 mL에 증류수 2 mL와 0.1 % ferric chloride 400 μL 를 혼합하였다. 암소에서 10분간 반응시킨 후, 분광광도계(Optizen, Daejeon, Korea)를 사용하여 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. L-ascorbic acid 를 10 ng/mL로 제조하여 동일하게 실험 후 비교하였다.

DPPH 라디칼 소거능

DPPH (2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 라디칼 소거 활성은 Lee et al. (2020)의 방법을 응용하여 측정하였다. 1 mM DPPH 시약 제조 후 517 nm에서 ethanol을 혼합하여 흡광도가 1.0 ± 0.05 사이가 되도록 조절하였다. 조절한 DPPH 시약 140 μL , 시료 70 μL 을 잘 혼합한 후, 암소에서 30분간 반응시켰다. Microplate reader (EpochTM, BioTekInstruments, Inc., Winooski, VT, USA)를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조구는 시료 추출용매를 사용하여 실험하였으며, DPPH 라디칼 소거 활성은 아래의 식으로 계산하여 백분율로 나타내었다. L-ascorbic acid (Daejung Chemicals & Metals Co., Ltd., Siheung, Korea)를 10 ng/mL로 제조하여 동일하게 실험 후 비교하였다.

$$\text{DPPH free radical scavenging (\%)} = [1 - (A_s/A_c)] \times 100$$

A_s , absorbance of sample at 517 nm

A_c , absorbance of control at 517 nm

ABTS⁺ 라디칼 소거능

ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) 양이온 라디칼 소거 활성은 Sung et al. (2018)의 방법을 응용

하여 측정하였다. 7 mM ABTS (Roche Diagnostics GMBH, Mannheim, Germany)와 2.45 mM potassium persulfate (Sigma-Aldrich)를 실온, 암소에서 16시간 이상 반응시켜 ABTS 양이온을 형성시켰다. 사용 직전에 증류수로 흡광도가 0.8 ± 0.02 가 되도록 조정하였다. 시료를 20 μL 에 ABTS⁺ 용액 180 μL 를 혼합하여 실온에서 6분 동안 반응시켰다. Microplate reader (BioTek Instruments)를 이용하여 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조구는 추출용매를 사용하여 실험하였으며, ABTS 라디칼 소거 활성은 아래의 식으로 계산하여 백분율로 나타내었다. L-ascorbic acid (Daejung Chemicals & Metals Co., Ltd., Siheung, Korea)를 10 ng/mL로 제조하여 동일하게 실험 후 비교하였다.

$$\text{ABTS}^+ \text{ radical scavenging (\%)} = [1 - (A_s/A_c)] \times 100$$

A_s , absorbance of sample at 734 nm

A_c , absorbance of control at 734 nm

통계분석

실험 결과는 독립적으로 3회 이상 반복 실시하여 평균과 표준편차로 나타내었다. 모든 실험 결과의 유의성 검증은 SPSS 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 ANOVA를 따르고, 실험값 사이의 차이는 Duncan의 다중범위검정을 실시하였다. 각 실험값 사이의 유의적인 차이는 $P < 0.05$ 수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

해조류의 항산화 활성

해조류 5종의 총 페놀 함량과 환원력을 측정한 결과는 Table 2에 나타내었다. 총 페놀 함량은 에탄올 추출물에서 톳이 26.27 mg GAE/g로 시험구 중 가장 높은 값을 나타내었고, 메탄올 추출물에서는 파래가 1.02 mg GAE/g로 가장 높게 나타났다. Kim et al. (2013)은 미역, 톳, 다시마, 김, 꼬시래기 및 파래를 에탄올로 추출하여 페놀성 화합물 함량을 분석한 결과, 톳을 75% 에탄올로 추출하였을 때 가장 높은 페놀성 화합물(52.82 $\mu\text{g}/\text{mg}$)을 얻었다고 보고하여 본 실험에서 에탄올 톳 추출물의 페놀함량이 가장 높았다는 결과와 유사하였다. Kwak et al. (2005)은 식용 해조류 에탄올 추출물의 총 페놀 함량을 분석한 결과, 파래가 8.97 mg/g으로 가장 높았으며 미역 2.43 mg/g, 톳 1.44 mg/g으로 보고하여 파래를 제외한 미역과 톳의 결과가 본 실험 결과보다 조금 낮은 결과를 보였다. Na et al. (2014)은 아이계, 열수 및 용매로 추출하여 해조류 추출물의 총 페놀 함량을 분석한 결과, 김(7.9-25.6 mg/g), 톳(7.2-18.1 mg/g), 미역(5.9-14.3 mg/g), 파래(3.2-12.4 mg/g) 순으로 보고하였으며, 본 연구결과와 비교하였을 때 해조류 메탄올 추출물의 총 페놀 함

량이 본 연구결과보다 높았고 에탄올 추출물의 총 페놀 함량과는 유사하였다. 보통 식물로부터 페놀계열 phytochemical을 추출할 때 메탄올 및 에탄올 용매로 추출하게 되면 식물의 소수성 및 친수성 물질 모두 추출 가능하게 되지만 에탄올이 친수성 부분이 많이 용출되고, 메탄올은 소수성 부분이 많이 추출되는 것으로 알려져 있다(Lee, 2014). 따라서 친수성이 높은 페놀계열 물질들이 해조류부터 추출되어 총 페놀 함량이 높게 나타난 것으로 생각된다. 또한 환원력의 경우에도 에탄올 추출물에서 톳이 2.42로 가장 높게 나타났고, 메탄올 추출물에서 파래가 1.69로 가장 높게 나타났다.

해조류 5종의 DPPH 라디칼 소거능과 ABTS⁺ 라디칼 소거능을 측정한 결과는 Table 3에 나타내었다. DPPH 라디칼 소거능은 에탄올 추출물에서 시험구 중 톳이 90.63%로 가장 높은 소거활성을 나타내었으며 그 다음은 미역>모자반>파래>꼬시래기 순으로 소거활성을 나타내었다. 메탄올 추출물에서는 미역이 77.03%로 가장 높은 활성을 나타내었으며 그 다음은 톳>파래>모자반 순으로 높은 활성을 나타내었지만 꼬시래기 메탄올 추출물은 활성이 미미하였다. ABTS⁺ 라디칼 소거능은 에탄올 추출물에서 톳이 97.18%로 가장 높게 나타내었으며 메탄올 추출물에서는 미역이 75.47%의 높은 소거활성을 나타내었다. 톳 에탄올 추출물은 총 페놀 함량이 높은 만큼(Table 2) DPPH 라디칼 소거능과 ABTS⁺ 라디칼 소거능도 높은 결과를 나타내었다.

Kwak et al. (2005)은 식용 해조류 5종(김, 미역, 다시마, 톳, 파

래) 에탄올 추출물의 지질과산화 억제율, DPPH 라디칼 소거율, MDA-BSA conjugation 억제율이 총 페놀 함량과 유의한 양의 상관관계를 나타내었다고 보고하였고, 본 연구에서도 해조류 에탄올 추출물의 항산화 효과가 총 페놀 함량과 같은 경향을 나타내었다. 메탄올 추출물에서는 미역이 DPPH와 ABTS⁺ 라디칼 소거능이 높았으나 총 페놀 함량에 있어서는 해조류 4종과 비교적 큰 차이가 나지 않았다(P<0.05).

Park et al. (1991)은 12종의 식용 해조류의 클로로포름 추출액과 메탄올 추출 혼합액을 석유 에테르, 에테르, 클로로포름, 메탄올, 물 등의 용매로 순차적으로 추출, 색소제거, 농축하여 DPPH 라디칼 소거활성을 측정한 결과로 aqueous-methanol 가용분획에서 강한 항산화 활성을 나타내었고, 이 때 김>미역>다시마>BHA>파래>tocopherol>넙미역>BHT 등의 순으로 활성을 보였다고 보고하였다. 이는 본 연구의 메탄올 추출물에서 미역이 높은 DPPH 라디칼 소거활성을 보이는 결과와 유사하였다. 해조류 항산화 활성의 결과에서 가장 좋은 활성을 나타내었던 톳을 활용하여 식품에 적용한 연구에는 Oh and Choi (2006)의 자건 톳 분말 첨가량을 달리한 생면의 품질 특성, Kim et al. (2010)의 톳 분말 첨가 쿠키의 최적화, Lee et al. (2011)의 톳가루를 첨가한 설기떡의 품질특성, Kim et al. (2012)의 톳 발효 추출물을 이용한 고추장의 영양학적 특성, Lee et al. (2016)의 톳을 첨가한 흰찰쌀보리죽의 제조 및 품질특성 등이 있다. 이상의 결과로부터 총 페놀 함량 및 항산화 활성이 높은 톳, 미역 및 모자반 등을 밥에 첨가하여 섭취할 경우 건강에 많은 도움이

Table 2. Total phenolic compounds and reducing power of seaweed extracts depending on extraction solvent

Seaweed	Total phenolic contents (mg GAE/g)		Total reducing power (absorbance)	
	Ethanol extract	Methanol extract	Ethanol extract	Methanol extract
<i>Hizikia fusiformis</i>	26.27±3.16 ^{a1,2}	0.64±0.04 ^c	2.42±0.12 ^a	1.04±0.00 ^c
<i>Sargassum fulvellum</i>	10.44±1.56 ^c	0.74±0.03 ^b	1.31±0.02 ^b	1.01±0.01 ^d
<i>Undaria pinnatifida</i>	14.15±1.83 ^b	0.60±0.00 ^c	1.29±0.05 ^b	1.41±0.02 ^b
<i>Enteromorpha compressa</i>	8.07±1.36 ^c	1.02±0.07 ^a	0.89±0.01 ^c	1.69±0.01 ^a
<i>Gracilaria verrucosa</i>	7.58±0.19 ^c	0.67±0.03 ^c	0.48±0.01 ^d	0.33±0.01 ^e

¹Each value is expressed as mean±standard deviation of triplicate determination. ²Values with different letters (a-e) within a column are significantly different (P<0.05).

Table 3. DPPH free radical and ABTS⁺ radical scavenging activities of seaweed extracts depending on extraction solvent

Seaweed	DPPH free radical scavenging activity (%)		ABTS ⁺ radical scavenging activity (%)	
	Ethanol extract	Methanol extract	Ethanol extract	Methanol extract
<i>Hizikia fusiformis</i>	90.63±0.47 ^{a1,2}	76.10±0.25 ^b	97.18±0.29 ^a	40.87±1.03 ^b
<i>Sargassum fulvellum</i>	59.31±0.39 ^c	43.22±0.76 ^d	48.47±0.66 ^c	18.83±2.86 ^d
<i>Undaria pinnatifida</i>	72.75±0.20 ^b	77.03±0.22 ^a	83.64±2.11 ^b	75.47±0.22 ^a
<i>Enteromorpha compressa</i>	56.57±0.26 ^d	46.22±0.57 ^c	34.40±0.52 ^d	27.46±0.66 ^c
<i>Gracilaria verrucosa</i>	9.02±1.86 ^e	5.78±0.30 ^e	20.00±0.87 ^e	5.61±0.71 ^e

¹Each value is expressed as mean±standard deviation of triplicate determination. ²Values with different letters (a-e) within a column are significantly different (P<0.05). DPPH, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; ABTS, 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid.

될 것으로 판단되었다.

해조류 첨가밥의 항산화 활성

5종의 해조류를 혼합하여 제조한 해조류 첨가밥(cooked seaweed rice)의 총 페놀 함량과 환원력을 측정한 결과는 Table 4와 같다. 총 페놀 함량은 에탄올 추출물에서 툇, 모자반, 파래가 첨가된 잡곡밥(D)과 보리밥(E)이 3.62와 3.53 mg GAE/g로 가장 높게 나타났다. 메탄올 추출물에서는 툇, 모자반, 파래가 첨가된 보리밥(E)의 총 페놀 함량이 3.68 mg GAE/g로 가장 높았다. 툇, 모자반, 파래의 첨가비율이 동일한 처리구들(B, D, E, F)끼리 비교하였을 때 잡곡밥과 보리밥에 첨가한 처리구들(D, E)

의 총 페놀 함량이 백미 또는 백미와 보리를 섞어 지은 처리구들(B, F)보다 높게 나타났다($P<0.05$). Kim et al. (2018)의 연구에서 일반밥술과 압력밥술으로 취반한 혼합잡곡밥 에탄올 추출물의 총 페놀 함량을 비교하였을 때 취반 전 백미의 총 페놀 함량은 0.59 mg GAE/g이었고, 일반 및 압력 밥술으로 취반한 백미밥의 총 페놀 함량은 각각 0.25, 0.24 mg GAE/g이었다. 취반 전 혼합잡곡의 총 페놀 함량은 4.46-5.16 mg GAE/g, 일반 및 압력 밥술으로 취반한 혼합잡곡밥은 각각 0.58-0.93 mg GAE/g, 0.65-0.96 mg GAE/g이라고 보고하였고, 총 페놀 함량이 높은 처리구는 보리, 검정콩, 수수 등 기존에 페놀성분이 많이 함유되어 있는 것으로 보고된 작물이 많이 혼합된 처리구이었다(Kim

Table 4. Total phenolic compounds and reducing power of cooked rice added with various seaweeds depending on extraction solvent

Cooked seaweed rice ¹	Total phenolic contents (mg GAE/g)		Total reducing power (absorbance)	
	Ethanol extract	Methanol extract	Ethanol extract	Methanol extract
A	1.93±0.42 ^{e2,3}	0.95±0.12 ^d	0.22±0.00 ^e	0.22±0.00 ^d
B	1.53±0.17 ^c	0.82±0.12 ^d	0.19±0.00 ^f	0.19±0.00 ^d
C	1.55±0.43 ^c	0.93±0.07 ^d	0.20±0.00 ^f	0.20±0.06 ^d
D	3.62±0.31 ^b	2.96±0.08 ^b	0.42±0.00 ^b	0.33±0.01 ^c
E	3.53±0.06 ^b	3.68±0.41 ^a	0.42±0.00 ^a	0.48±0.01 ^a
F	1.94±0.25 ^c	1.74±0.19 ^c	0.30±0.01 ^d	0.32±0.00 ^c
L-ascorbic acid (10 µg/mL)	4.58±0.21 ^a	3.71±0.51 ^a	0.32±0.00 ^c	0.39±0.00 ^b

¹Cooked seaweed rice is described in Table 1. A, Cooked white rice added with *Hizikia* (2.4%), *Sargassum* (4.7%), and *Undaria* (2.4%); B, Cooked white rice added with *Hizikia* (2.4%), *Sargassum* (7.1%), and *Enteromorpha* (0.1%); C, Cooked white rice added with *Hizikia* (2.4%), *Sargassum* (4.7%), and *Gracilaria* (2.4%); D, Cooked mixed grains added with *Hizikia* (2.4%), *Sargassum* (7.1%), and *Enteromorpha* (0.1%); E, Cooked barley and waxy barley added with *Hizikia* (2.4%), *Sargassum* (7.1%), and *Enteromorpha* (0.1%); F, Cooked white rice and barley added with *Hizikia* (2.4%), *Sargassum* (7.1%), and *Enteromorpha* (0.1%). ²Each value is expressed as mean±standard deviation of triplicate determination. ³Values with different letters (a-e) within a column are significantly different ($P<0.05$).

Table 5. DPPH free radical and ABTS⁺ radical scavenging activities of cooked rice added with various seaweeds depending on extraction solvent

Cooked seaweed rice ¹	DPPH free radical scavenging activity (%)		ABTS ⁺ radical scavenging activity (%)	
	Ethanol extract	Methanol extract	Ethanol extract	Methanol extract
A	3.17±0.76 ^{e2,3}	3.08±0.68 ^e	2.03±0.36 ^e	5.53±0.71 ^d
B	1.47±0.08 ^e	1.18±0.34 ^f	0.43±0.51 ^f	3.82±0.09 ^d
C	0.55±0.62 ^f	2.54±0.86 ^{ef}	0.85±0.38 ^f	4.52±0.45 ^d
D	23.12±0.52 ^c	28.21±1.69 ^c	10.21±0.62 ^b	18.25±1.45 ^b
E	31.11±1.14 ^b	34.74±1.59 ^b	14.18±0.86 ^a	24.79±1.96 ^a
F	10.66±2.28 ^d	17.64±0.83 ^d	5.15±0.83 ^d	11.21±0.57 ^c
L-ascorbic acid (10 µg/mL)	38.33±0.92 ^a	46.43±0.29 ^a	8.56±0.16 ^c	10.99±0.38 ^c

¹Cooked seaweed rice is described in Table 1. A, Cooked white rice added with *Hizikia* (2.4%), *Sargassum* (4.7%), and *Undaria* (2.4%); B, Cooked white rice added with *Hizikia* (2.4%), *Sargassum* (7.1%), and *Enteromorpha* (0.1%); C, Cooked white rice added with *Hizikia* (2.4%), *Sargassum* (4.7%), and *Gracilaria* (2.4%); D, Cooked mixed grains added with *Hizikia* (2.4%), *Sargassum* (7.1%), and *Enteromorpha* (0.1%); E, Cooked barley and waxy barley added with *Hizikia* (2.4%), *Sargassum* (7.1%), and *Enteromorpha* (0.1%); F, Cooked white rice and barley added with *Hizikia* (2.4%), *Sargassum* (7.1%), and *Enteromorpha* (0.1%). ²Each value is expressed as mean±standard deviation of triplicate determination. ³Values with different letters (a-f) within a column are significantly different ($P<0.05$). DPPH, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; ABTS, 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid.

et al., 2018). 본 연구 또한 페놀 성분이 많이 함유되어 있는 보리밥과 잡곡밥에서 높은 총 페놀함량 결과를 나타내었다. 환원력은 에탄올과 메탄올 추출물에서 톳, 모자반, 파래가 첨가된 보리밥(E)이 다른 처리구들에 비해 유의적으로 높은 결과를 나타냈다($P < 0.05$).

Table 5는 여러 종류의 해조류를 첨가하여 제조한 해조류 첨가밥(cooked seaweed rice)의 DPPH 라디칼 소거능과 ABTS 라디칼 소거능의 결과이다. DPPH 라디칼 소거능은 에탄올 및 메탄올 추출물 모두 톳, 모자반, 파래가 첨가된 보리밥(E)에서 각각 31.11% 및 34.74%로 가장 소거능을 나타냈으나 대조군인 10 ng/mL L-ascorbic acid (38.33% 및 46.43%) 보다는 낮은 결과였다. ABTS 라디칼 소거능은 에탄올과 메탄올 두 용매 추출물 모두 톳, 모자반, 파래가 첨가된 보리밥(E)이 14.18% (에탄올 추출물), 24.79% (메탄올 추출물)로 가장 높게 나타났다. 이는 대조군인 L-ascorbic acid (8.56% 및 10.99%)보다 높은 값을 나타내었다. Woo et al. (2017)은 시중 유통 혼합잡곡을 백미에 30% 비율로 혼합하여 취반하였을 때, 혼합잡곡밥 추출물의 라디칼 소거활성이 페놀 함량과 마찬가지로 현미, 유색미, 보리, 콩, 수수 등의 작물 함량이 높은 제품이 높은 활성을 보인다고 보고하였다. 본 연구에서도 톳, 모자반, 파래를 첨가한 보리밥의 페놀 함량과 라디칼 소거능이 유의하게 높은 결과를 나타내었다. 따라서 해조류를 첨가하여 지은 밥은 해조류에 의한 항산화 활성도 나타내었지만 그 보다는 보리나 잡곡과 같은 혼합곡물의 함량이 백미에 비해 항산화 활성이 높게 나타남을 확인하였다.

본 연구에서는 제주도에서 흔히 구할 수 있는 해조류 5종의 *in vitro* 항산화 활성과 여러 해조류를 첨가한 밥의 *in vitro* 항산화 활성을 측정하였다. 해조류의 항산화 활성은 상대적으로 메탄올 추출물보다 에탄올 추출물이 더 높은 결과를 보였다 ($P < 0.05$). 에탄올 추출물에서 톳 추출물이 총 페놀 함량(26.27 mg GAE/g), 환원력(2.42), DPPH 라디칼 소거능(90.63%)과 ABTS⁺ 라디칼 소거능(97.18%)에서 모두 높은 결과를 나타내었고, 메탄올 추출물에서는 파래 추출물의 총 페놀 함량(1.02 mg GAE/g)와 환원력(1.69)의 결과가 가장 높게 나타났지만 DPPH 라디칼 소거능과 ABTS⁺ 라디칼 소거능에서는 미역 추출물이 77.03%, 75.47%로 파래보다 높은 활성을 나타내었다. 따라서 항산화 활성이 높게 나타난 톳, 모자반, 미역 해조류가 첨가된 밥의 항산화 활성은 용매 종류에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다. 톳, 모자반, 파래 첨가된 보리밥 에탄올 추출물의 총 페놀 함량, DPPH 라디칼 및 ABTS⁺ 라디칼 소거능은 3.53 mg GAE/g, 31.11%, 14.18%로 나타났고, 메탄올 추출물에서는 3.68 mg GAE/g, 34.74%, 24.79%로 전체적으로 높은 항산화 활성을 보였다. 본 실험결과에서는 톳이 가장 높은 항산화능을 나타냈고 해조류를 첨가한 밥에서는 톳, 모자반, 파래를 첨가한 보리밥이 가장 탁월한 항산화 능력을 보였다. 이상의 결과로부터 항산화 활성이 높은 해조류인 톳, 미역 및 모자반 등을

첨가하여 해조첨가밥을 제조할 경우 백미보다는 보리나 잡곡에 혼합할 경우 건강에 더 도움이 될 것으로 예상되며 추후 이에 관련한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 2019년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(해역별 특성을 고려한 전통수산 가공식품 개발 및 상품화)로 이에 감사드립니다.

References

- Ahn SM, Hong YK, kwon GS and Sohn HY. 2010. Evaluation of in-vitro anticoagulation activity of 35 different seaweed extracts. *J Life Sci* 20, 1640-1647. <https://doi.org/10.5352/JLS.2010.20.11.1640>.
- Ahn SM, Hong YK, kwon GS and Sohn HY. 2011. Evaluation of antioxidant and nitrite scavenging activity of seaweed extracts. *J Life Sci* 21, 576-583. <https://doi.org/10.5352/JLS.2011.21.4.576>.
- D'Orazid N, Gemeollo E, Gammone MA, Girolamo M, Ficoneri C and Riccioni G. 2012. Fucoxanthin: A treasure from the sea. *Mar Drugs* 10, 604-616. <https://doi.org/10.3390/md10030604>.
- Hong WS. 2017. A study on the development strategy of home meal replacement in relation to the consumption trends. *Food Sci Ind* 50, 2-32.
- Jung KI, Bang HJ, Boo HJ and Choi YJ. 2019. Quality characteristics of Topokkidduk added with *Enteromorpha intestinalis* powder. *J Life Sci* 29, 588-595. <https://doi.org/10.5352/JLS.2019.29.5.588>.
- Jung KJ and Lee SJ. 2011. Quality characteristics of rice cookies prepared with sea mustard (*Undaria pinnatifida* Suringer) powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40, 1453-1459. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2011.40.10.1453>.
- Kim BM, Jun JY, Park YB and Jeong IH. 2006. Antioxidative activity of methanolic extracts from seaweeds. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35, 1097-1101.
- Kim DH, Kim SJ and Kim MR. 2019. Physicochemical properties and antioxidant activities of allulose konjac jelly added with *Enteromorpha prolifera*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 48, 967-976. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2019.48.9.967>.
- Kim HJ, Kim SI and Han YS. 2008. Effects of sea tangle extract and sea tangle yogurt on constipation relief. *Korean J Food Cookery Sci* 24, 59-67.
- Kim HJ, Lee JH, Lee BW, Lee YY, Lee BK, Jeon YH, Ko JY and Woo KS. 2018. Quality and physicochemical characteristics of rice cooked along with various mixed grains and by following different cooking methods. *Korean J Food Nutr* 31, 653-667. <https://doi.org/10.9799/ksfan.2018.31.5.653>.
- Kim JH, Song HS and Yang JY. 2012. Nutritional characteristics of Kochujang added with fermented extracts of

- Hizikia fusiforme*. J Food Hyg Saf 27, 473-478. <https://doi.org/10.13103/JFHS.2012.27.4.473>.
- Kim JM, Cho ML, Seo KE, Kim YS, Jung TD, Kim YH, Kim DB, Shin GH, Oh JW, Lee JS, Lee JH, Kim JY, Lee DW and Lee OH. 2015. Effect of extraction conditions on in vitro antioxidant activities of root bark extract from *Ulmus pumila* L. J Korean Soc Food Sci Nutr 44, 1172-1179. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2015.44.8.1172>.
- Kim SJ, Lee GS, Moh SH, Park JB, Auh CK, Chung YG, Ryu TK and Lee TK. 2013. Phenolic contents and antioxidant activities of six edible seaweeds. J Korea Aca Ind Co Soc 14, 3081-3088. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.6.3081>.
- Kim HS, Shin ES and Lyu ES. 2010. Optimization of cookies prepared with *Hizikia fusiformis* powder using response surface methodology. Korean J Food Cook Sci 26, 627-635.
- Kwak CS, Kim SA and Lee MS. 2005. The correlation of antioxidative effects of Korean common edible seaweeds and total polyphenol content. J Korean Soc Food Sci Nutr 34, 1143-1150. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2005.34.8.1143>.
- Lee JA, Song JS and Yoon JY. 2017. Quality characteristics of cookies with added dried laver *Porphyra tenera* powder. Cul Sci Hos Res 23, 88-96. <https://doi.org/10.20878/cshr.2017.23.7.010>.
- Lee JH, Kim HJ, Jee YH, Jeon YJ and Kim HJ. 2020. Antioxidant potential of *Sargassum horneri* ethanol extract against urban particulate matter-induced oxidation. Food Sci Biotechnol. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00729-y>.
- Lee NH. 2014. Natural products chemistry. Shinilbooks Co. Ltd., Seoul, Korea, 10-18.
- Lee SY, Kim KBWR, Song EJ, Kim JH, Kim AR, Kim MJ, Moon JH, Kang HM, Lee HD, Hong YG and Ahn DH. 2008. Effect of extracts from *Sargassum siliquastrum* on shelf-life and quality of bread. J Korean Soc Food Sci Nutr 37, 490-496. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2008.37.4.490>.
- Lee YJ, Lim SY, Kim WS and Kim YT. (2016). Processing and quality characteristics of glutinous barley gruel containing *Hizikia fusiformis*. Korean J Fish Aquat Sci 49, 310-316. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0310>.
- Lee SY, Ahn JW, Hwang HJ and Lee SB. 2011. Seaweed biomass resources in Korea. Korean Soc Biotechnol Bioeng J 26, 267-276. <https://doi.org/10.7841/ksbbj.2011.26.4.267>.
- Na HS, Kim JY, Park JS, Choi GC, Yang SI, Lee JH, Cho JY and Ma SJ. 2014. Characteristics of marine algae extracts using subcritical water extract method. Korean J Food Preserv 21, 62-68. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2014.21.1.62>.
- Oh YJ and Choi KS. 2006. Effects of steam-dried *Hizikia fusiformis* powder on the quality characteristics in wet noodles. Cul Sci Hos Res 12, 206-221.
- Park JD. 2016. Study on processing properties of convenience rice product with different rice. Food Sci Ind 49, 71-82.
- Park JH, Kang KC, BaekSB, Lee YH and Lee KS. 1991. Separation of antioxidant compounds from edible marine algae. Korean J Food Sci Technol 23, 256-261.
- Sohn HY, Kwon CS, Son KH, Kwon GS, Kwon YS, Ryu HY and Kum EJ. 2005. Antithrombosis and antioxidant activity of methanol extract from different brands of rice. J Korean Food Sci Nutr 34, 593-598. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2005.34.5.593>.
- Shin ES, Lee JH, Park KT, Ryu HS and Jang DH. 2004. Optimizing cooking condition of short grain rice containing sea-tangle patch. J Korean Soc Food Sci Nutr 33, 1726-1734. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2004.33.10.1726>.
- Sung HM, Seo YS and Yang EJ. 2018. Anti-oxidant and anti-inflammatory activities of hot water extract obtained from *Geranium thusbergii* using different extraction temperatures and times. J Korean Soc Food Sci Nutr 47, 1006-1013.
- Woo KS, Kim HJ, K MJ, Sim EY, Ko JY, Lee CK and Jeon YH. 2017. Quality and antioxidant characteristics of cooked rice with various mixed grains in Korea. Korean J Crop Sci 62, 352-360. <https://doi.org/10.7740/kjcs.2017.62.4.352>.