

미역과 쇠미역 추출물의 항산화 및 간 보호 효과

김기안 · 오태환 · 천상호*

(재)전남바이오산업진흥원 해양바이오연구센터

Antioxidative Activities and Protective Effects on Alcohol-Induced Oxidative Stress in the Human Hepatic HepG2 Cells of *Undaria pinnatifida* and *Costaria costata* Extracts

Ki An Kim, Tae-Hwan Oh, Sang-Ho Chun*

Marine Biotechnology Research Center, Jeonnam Bioindustry Foundation, Jeollanam-do 59108, Korea

Corresponding Author

Sang-Ho Chun

Marine Biotechnology Research Center,
 Jeonnam Bioindustry Foundation,
 Jeollanam-do 59108, Korea
 E-mail : csh1636@nate.com

Received : October 15, 2021

Revised : October 18, 2021

Accepted : November 15, 2021

본 연구는 미역(*Undaria pinnatifida*) 추출물과 쇠미역(*Costaria costata*) 추출물의 항산화 활성 및 HepG2 세포의 알코올로 인한 산화 손상에 대한 보호 효과를 연구하였다. 미역과 쇠미역 추출물의 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량은 70% 에탄올 추출물에서 가장 높았다. 또한 미역과 쇠미역 70% 에탄올 추출물의 DPPH (IC₅₀ 0.33±0.21, 0.48±0.47 mg/ml), ABTS (IC₅₀ 0.34±0.30, 0.47±0.17 mg/ml) 라디칼 소거 활성이 열수 추출물 및 10% 에탄올 추출물 보다 높았다. 추출물의 간 보호 효과를 확인하기 위하여 HepG2 세포에 알코올 산화 스트레스를 유발하여 MTT 분석을 이용하여 세포 생존력을 측정하였다. 미역 및 쇠미역 열수 추출물은 알코올 처리군 (73.95%) 대비 세포 생존율은 각각 89.91~97.63% 및 84.99~90.54%로 농도 의존적으로 증가시켰다. 본 연구는 미역과 쇠미역 추출물이 간 보호 및 항산화 효과를 나타냄을 확인하였고 알코올 산화 손상에 대한 간 보호 소재로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

We investigated the antioxidant and hepatoprotective effects of extracts from the *Undaria pinnatifida* and *Costaria costata* against ethanol-induced oxidative damage. The total polyphenol and flavonoid contents were highest in the 70% ethanol extract from *Undaria pinnatifida* and *Costaria costata*. Also, the radical scavenging activity of DPPH (IC₅₀ 0.33±0.21, 0.48±0.47 mg/ml) and ABTS (IC₅₀ 0.34±0.30, 0.47±0.17 mg/ml) in the 70% ethanol extract was higher than that of the hot water and 10% ethanol extracts. To determine the hepatoprotective effects of extracts in ethanol-induced oxidative damage, cell viability was measured using an MTT assay. In the pre-treatment of *Undaria pinnatifida* and *Costaria costata* hot water extracts, the concentration-dependent increased the cell viability compared with the ethanol treated cells (73.95%) by 89.91~97.63% and 84.99~90.54%, respectively. The data suggests that 70% ethanol extracts have antioxidant activity and hot water extracts exhibit hepatoprotective effects. Therefore, *Undaria pinnatifida* and *Costaria costata* may be considered potential agents for control ethanol-induced liver damage.

Keywords: *Undaria pinnatifida*(미역), *Costaria costata*(쇠미역), Antioxidative activity(항산화), Hepatoprotective effect(간 보호), Oxidative stress(산화스트레스)

서론

술은 알코올로 구성된 액상의 기호식품으로서 사람이 장·단기간 다량 섭취 시 만성 및 급성으로 간 독성이 유발될 수 있다. 체내에 흡수된 알코올은 대사과정에서 아세트알데하이드로 분해되

며, 반응성이 높은 독성 대사산물을 합성한다(Ramchandani et al, 2001). 1차적으로 대사된 아세트알데하이드가 알코올보다 더 강한 독성작용을 하여 알코올성 간 손상 및 대사 장애를 초래한다. 알코올성 간 손상이 일어나게 되면 간세포가 파괴되고, 이때 혈액중으로 AST (aspartate aminotransferase)와 ALT (alanine amino-

transferase) 효소가 유리된다. 이러한 효소들은 지질대사에 관련하여 알코올 독성으로 고지혈증, 지방간 및 간 경변과 같은 간 기능 이상을 유발하며, 만성적 간 기능 저하를 일으킨다(Rouach et al., 2005). 또한, 알코올 대사과정에서 발생된 산화적 스트레스는 간 손상, 간세포의 괴사를 유발하여 비정상적인 변이와 암을 유발한다고 알려져 있으며(Ohshima et al., 2005), 이에 따른 간 손상 및 회복 등에 대한 다각적인 연구가 필요하다.

해조류(seaweed)는 바다에서 생육하는 다세포 생물인 거대조류(mac-roalgae)이며, 구분은 광합성 색소에 따라 녹조류(green seaweed), 갈조류(brown seaweed), 홍조류(red seaweed)로 나누고, 각각이 지니는 서식환경 및 구성 성분에서도 차이를 보인다(Lee et al., 2011).

미역(*Undaria pinnatifida*)은 다시마목 미역과에 속하는 갈조류로서, 우리나라 전 연안에 분포하고 있다(Choi et al., 2008). 미역은 Na, K, Ca, Mg, P, S 등의 무기질, 식이섬유소, 리놀산 및 비타민 등 생리활성 물질이 풍부하게 함유되어 있다(Kim and Kim, 1982; Choi et al., 1992).

쇠미역(*Costaria costata*)은 다시마목 다시마과에 속하는 갈조류로서 한국 연안에서 자생하고 있다(Kim et al., 2006). 단년생 해조류이며, 짧은 줄기, 직립하는 엽상과 엽상의 표면에 자낭반을 형성하는 종이다(Na et al., 2016). 쇠미역은 기능성 평가 결과 과민성 면역 반응 중 피부에 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2018).

갈조류에는 Alginate, Fucoidan, laminarin 등 다당류 및 폴리페놀류와 같은 생리활성 물질이 함유되어 있다(Shim et al., 2003). 갈조류의 폴리페놀은 플로로탄닌(phlorotannin)이라는 독특한 폴리페놀 2차 대사산물을 함유하고 있다(Ferreres et al., 2012).

플로로탄닌류는 항산화 능력뿐만 아니라 혈압강하, 콜레스테롤 저하, 간 보호, 항바이러스 및 항박테리아, 항암, 항염증 효과 등 해조류의 다양한 생리활성에 기여한다고 밝혀졌다(Kim et al., 2005; Park et al., 2005; Kim et al., 2006). 항산화 물질은 암세포의 증식을 억제하거나 정상적인 세포의 간 기능을 보호하는 것으로 밝혀져 치료제로서의 역할도 중요시되고 있다(Devasagayam et al., 2004; Park and Kweon, 2013; Kamel et al., 2014).

이에 본 연구에서는 미역 및 쇠미역 추출물의 항산화 활성 확인을 위하여 총 페놀 함량, DPPH 소거능, ABTS 소거능 등을 분석하였고, HepG2 세포의 알코올성 산화적 손상에 대한 간 보호 효과를 관찰함으로써, 미역 및 쇠미역 추출물이 간 보호 활성을 갖는 기능성 소재로서의 가능성을 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

실험에서 원료로 사용한 미역(*Undaria pinnatifida*)과 쇠미역

(*Costaria costata*) 국내에서 생산된 것을 사용하였다. 구입한 원료는 흐르는 물에 여러 번 세척하여 염분, 모래, 착생식물을 제거한 뒤 60°C에서 12시간 동안 열풍건조 하였으며, 건조한 시료는 분쇄기(Ninja® Auto-iQ Blender DUO, SharkNinja, Needham, MA, USA)를 이용하여, 100 mesh 이하로 분쇄한 후 추출물 제조에 사용하였다.

2. 추출물 제조 방법

시료 분말을 물과 주정(10%, 70%)을 용매로 하여 추출물을 제조하였다. 열수 추출은 시료 분말 100 g에 증류수 1 ℓ를 첨가(1:10, w/v)하여 100°C에서 3시간 동안 2회 반복하여 추출하였고, 에탄올(10%, 70%) 추출은 분말 100 g에 주정 1 ℓ를 첨가(1:10, w/v)하여 환류냉각추출기(HB-205WL-2, VisionLabSci Co., Namdong-gu, Incheon, Korea)를 사용하여 80°C에서 3시간 동안 2회 반복하여 추출하였다. 추출물은 Whatman 여과지(150 mm, 541)로 여과한 후 여과액을 진공농축기(N-3000 Rotary Vacuum Evaporator, EYELA, Tokyo, Japan)를 이용하여 농축하였다. 농축된 시료는 동결건조기(FDS8508, IShinBioBase co. Ltd., Dongducheon-si, Gyeonggi-do, Korea)를 이용하여 건조하였으며, 건조된 시료는 -20°C 냉동고에서 보관하면서 실험에 사용하였다.

3. 총 폴리페놀 함량 측정

총 폴리페놀 함량은 1 mg/ml 농도로 희석한 추출물 0.5 ml를 넣어 준 후, 증류수 0.5 ml, Folin-Ciocalteu's reagent 0.5 ml 및 포화 Na₂CO₃ 0.5 ml를 차례로 첨가하고 vortexing 한 후에 30분간 암실에서 반응시킨 후 분광광도계(Varioskan LUX, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 페놀 함량은 gallic acid (Sigma-Aldrich)를 이용하여 작성한 표준검량곡선으로 환산하여 표시하였다.

4. 총 플라보노이드 함량 측정

총 플라보노이드 함량은 2.5 mg/ml 농도로 희석한 추출물 0.1 ml를 넣어 준 후, 10% Aluminium nitrate 0.02 ml, 1 M Potassium acetate 0.02 ml 및 80% EtOH 0.86 ml를 차례로 첨가하고 잘 혼합 한 뒤 상온에서 40분간 반응시켰다. 이후 반응시킨 추출물을 분광광도계(Varioskan LUX, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 417 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 플라보노이드 함량은 quercetin (Sigma-Aldrich)를 이용하여 작성한 표준검량곡선으로 환산하여 표시하였다.

5. 항산화 활성

시료의 라디칼 소거능을 통한 총 항산화능력은 시료 0.5 ml에 methanol에 용해시킨 DPPH (1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl) solution 0.1 mM을 0.5 ml(최종 농도 0.05 mM)을 넣어 반응시켰다. 이를 암실에서 30분간 방치한 후 분광광도계(Varioskan LUX, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH 자유유리기 소거 활성은 아래의 식으로부터 산출하였고 DPPH의 흡광도가 50% 감소할 때 나타나는 시료의 농도를 IC₅₀으로 표시하였다.

$$\text{DPPH radical 소거활성(\%)} = \frac{(\text{Control} - \text{Sample})}{\text{Control}} \times 100 (\%)$$

Sample = 시료를 첨가한 반응액의 흡광도
Control = 시료 대신 메탄올을 첨가한 반응액의 흡광도

시료의 ABTS 라디칼 소거능을 통한 총 항산화능력은 7 mM ABTS와 2.5 mM potassium persulfate를 물에 각각 녹여 ABTS 라디칼을 형성시키기 위해서 각각 용액을 95:5 (v/v) 비율로 섞어주고 빛에 의한 라디칼 소모를 최소화하기 위하여 어두운 곳에서 12시간 동안 냉장(4°C) 보관하였다. ABTS 용액을 UV 흡광도가 0.7±0.15 (mean ± SD)가 되도록 조종하였다. 시료 0.5 ml에 80% EtOH 0.5 ml, ABTS 용액 0.5 ml을 차례로 첨가하여 암실에서 30분간 방치한 후 분광광도계(Varioskan LUX, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 735 nm에서 흡광도를 측정하였다. ABTS의 흡광도가 50% 감소할 때 나타나는 시료의 농도를 IC₅₀으로 표시하였다.

$$\text{ABTS radical 소거 활성(\%)} = \frac{(\text{Control} - \text{Sample})}{\text{Control}} \times 100 (\%)$$

Sample = 시료를 첨가한 반응액의 흡광도
Control = 시료대신 에탄올을 첨가한 반응액의 흡광도

6. 세포배양

효능평가에 사용된 세포주는 정상 간세포인 HepG2 cell로 한국세포주은행(KCLB, Korea)에서 구입하여 사용하였으며, 3.7 g NaHCO₃ (Sigma-Aldrich Co.), 1% penicillin-sterptomycin (Gibco BRL), 10% fetal bovine serum (FBS, Gibco BRL, Carlsbad, CA, USA)이 함유된 Dulbecco's modified eagle medium (DMEM, Gibco BRL, Grand Island, NY, USA) 배지로 75-cm² flask에 HepG2 cell을 37°C, 5% CO₂의 조건으로 유지되는 배양기에서 배양하여, 배지는 2~3 일 간격으로 교환하였다.

7. 세포독성 측정(MTT assay)

HepG2 cell을 1×10⁴ cell/well 농도로 96-well plate에 넣고 24시간 배양하고, 배지를 제거한 후 각 well에 시료를 투여하여 CO₂ 배양기에서 24시간 배양하였다. 여기에 5 mg/ml 농도로 제조한 MTT 용액을 배지의 10%가 되도록 각 well에 첨가하여 3시간을 배양한 후 배양액을 제거하고 dimethyl sulfoxide (DMSO, Sigma-Aldrich Co.)를 첨가하여 실온에서 10분간 반응시킨 뒤 microplate reader로 570 nm에서 흡광도를 측정하였다. 세포 생존율은 무처리군의 생존율 100%를 기준으로 추출물 처리군의 상대적인 세포 생존율을 백분율로 나타내었다.

8. 알코올 독성 유도에 대한 세포 생존율 측정

HepG2 cell을 1×10⁴ cell/well 농도로 96-well plate에 넣고 24시간 배양하고, 배지를 제거하고 추출물 처리한 후 각 well에 세포 과사 유발 물질인 alcohol (ethanol)을 5% 농도로 24시간 동안 처리하였다. 그 후 PBS로 세척한 뒤 시료를 투여하여 CO₂ 배양기에서 24시간 배양하였다. 여기에 5 mg/ml 농도로 제조한 MTT 용액을 배지의 10%가 되도록 각 well에 첨가하여 3시간 배양한 후 배양액을 제거하고 DMSO를 첨가하여 실온에서 10분간 반응시킨 뒤 microplate reader로 570 nm에서 흡광도를 측정하였다. 세포 생존율은 무처리군의 생존율 100%를 기준으로 알코올 처리군, 추출물 처리군의 상대적인 세포 생존율을 백분율로 나타내었다.

9. 통계처리

통계분석은 GraphPad 7 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA) 소프트웨어를 이용하여 실시하였다. 데이터 간의 유의차는 one-way ANOVA를 통해 $p < 0.05$ 수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

미역, 쇠미역의 추출용매를 달리한 추출물의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 측정한 결과는 Table 1과 같다. 본 연구에서 사용한 해조류 추출물의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 용매 추출물이 열수 추출물보다 더 높은 경향을 나타내었다. 총 폴리페놀 함량은 미역(*Undaria pinnatifida*)과 쇠미역(*Costaria costata*) 70% 에탄올 추출물이 각각 31.31±1.07, 29.18±1.0 mg/g으로 가장 높은 함량을 나타냈으며, 10% 에탄올 추출물, 열수 추출물 순으로 나타났다. 해조류 추출물의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 비교한 연구 결과에서도 열수 추출물보다 용매 추출물이 더 높게 나타났다고 보고하였다(Kim et al., 2015).

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

Extracts	Polyphenol contents (mg/g)		Flavonoid contents (mg/g)	
	<i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Costaria costata</i>	<i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Costaria costata</i>
Water	3.73±0.15 ¹⁾	3.44±0.00	0.29±0.00	0.16±0.00
10% EtOH	14.38±0.51	8.22±0.13	0.96±0.12	0.69±0.15
70% EtOH	31.31±1.07	29.18±1.02	5.29±0.11	3.55±0.12

¹⁾ ValuesData are mean ± standard deviation (n=3)

Table 2. DPPH and ABTS radical scavenging activity (IC₅₀) of the extracts from 2 different seaweeds

Extracts	DPPH IC ₅₀ ¹⁾ (mg/ml)		ABTS IC ₅₀ (mg/ml)	
	<i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Costaria costata</i>	<i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Costaria costata</i>
Water	3.04±0.06 ²⁾	7.43±0.09	0.77±0.11	1.55±0.10
10% EtOH	1.10±0.61	1.60±0.24	0.42±0.39	0.47±0.58
70% EtOH	0.33±0.21	0.48±0.47	0.34±0.30	0.47±0.17

¹⁾ Amount required for 50% reduction of scavenging activity

²⁾ Data are mean ± standard deviation (n=3)

플라보노이드 함량도 70% 에탄올 추출물이 각각 5.29±0.11, 3.55±0.12 mg/g으로 가장 높았으며, 총 폴리페놀 함량과 유사한 경향을 나타내었다. 폴리페놀 화합물에 존재하는 phenolic ring이 free radical을 안정화함으로 인해 우수한 항산화 활성을 갖는 것으로 보고하였다(Vijaya et al., 1995). 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(Middleton and Kandaswami, 1994).

2. 항산화 활성

미역, 쇠미역의 추출용매를 달리한 추출물의 radical 소거능을 분석하였으며 radical 소거능의 경우 DPPH 및 ABTS radical에 대한 IC₅₀ 값을 측정하였다(Table 2). 추출물의 DPPH radical 소거능은 총 폴리페놀 및 플라보노이드와 동일하게 함량이 높은 70% 에탄올 추출물에서 IC₅₀ 값은 각각 0.33, 0.48 mg/ml로 가장 낮은 값을 나타내었다. ABTS radical 소거능도 70% 에탄올 추출물이 IC₅₀ 값은 각각 0.34, 0.47 mg/ml로 가장 낮았으며, DPPH radical 소거능 측정된 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

이상의 결과 추출물은 음이온 소거능을 측정하는 DPPH radical 소거능 보다 양이온 소거능을 측정하는 ABTS radical 소거능이 우수하였으며, 총 폴리페놀과 플라보노이드와 같이 용매 추출물에서 DPPH 및 ABTS radical 소거능 역시 우수하였다. 이러한 결과는

각 추출물이 함유하고 있는 총 폴리페놀 함량이 높을수록 전자공여능이 높게 나타났다는 보고와 유사하였다(Park et al., 2007).

3. 세포독성 및 알코올 자극에 대한 보호 효과

미역 추출물 및 쇠미역 추출물의 HepG2에 대한 세포독성을 알아보기 위하여 MTT assay를 이용하여 세포 생존율을 측정하였다. 추출물의 처리 농도를 각각 100, 500, 1,000 µg/ml 농도로 HepG2에 처리하여 세포 생존율을 나타내었다(Fig. 1). 미역 추출물의 세포 생존율은 99.45~102.77%로 측정되었고 쇠미역 추출물의 세포 생존율은 103.63~103.27% 측정됨에 따라 세포독성을 나타내지 않았으며 미역 추출물 및 쇠미역 추출물의 세포독성이 나타나지 않는 범위 내의 농도를 사용하여 실험을 진행하였다.

HepG2 세포에 알코올을 이용하여 산화 스트레스를 유도하여 미역 추출물 및 쇠미역 추출물의 세포독성을 나타내지 않는 범위 내 농도로 처리하여 보호 효과를 확인하였다. HepG2 세포에 추출물을 농도 별로(100~1,000 µg/ml) 처리한 후 5% 알코올로 산화 스트레스를 유발시킨 결과, 미역 추출물 및 쇠미역 추출물이 처리되지 않고 알코올로 처리한 세포 생존율이 73.95% 감소하였으나 미역 추출물 및 쇠미역 추출물이 처리된 세포에서는 세포 생존율이 농도 의존적으로 증가하였다(Fig. 2). 특히 미역 추출물 및 쇠미역 추출물의 1,000 µg/ml 농도에서는 알코올 처리군 대비 각각 23.68%, 16.59% 높은 활성을 나타냄으로써 5% 알코올로 유도된 산화 스트레스에 대해 간세포 보호 효과가 있는 것으로 사

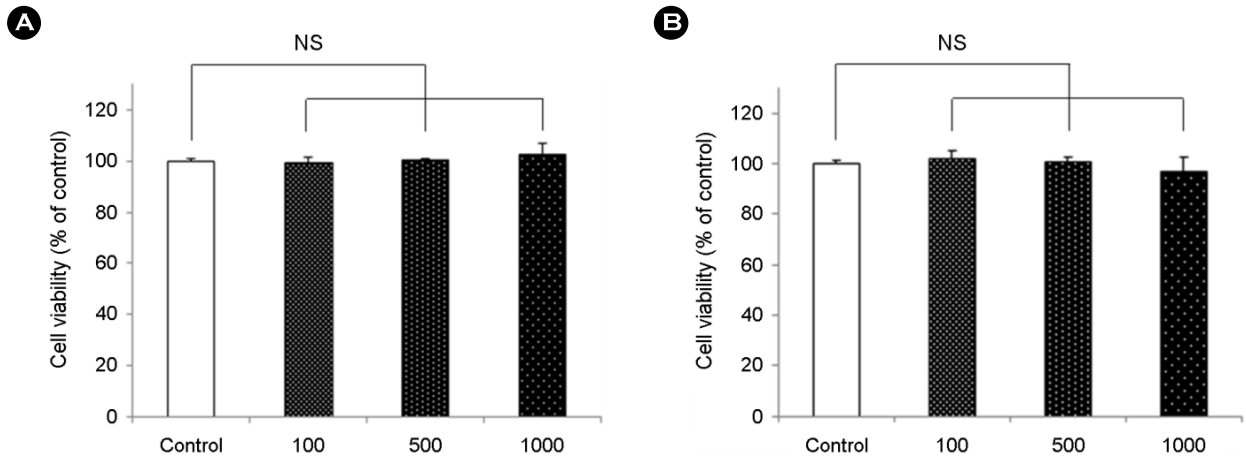


Fig. 1. Cell viability of (A) water extract in *Undaria pinnatifida* (B) water extract in *Costaria costata* on HepG2 cells by MTT assay. Data represent means \pm s.e.m. NS, non significant.

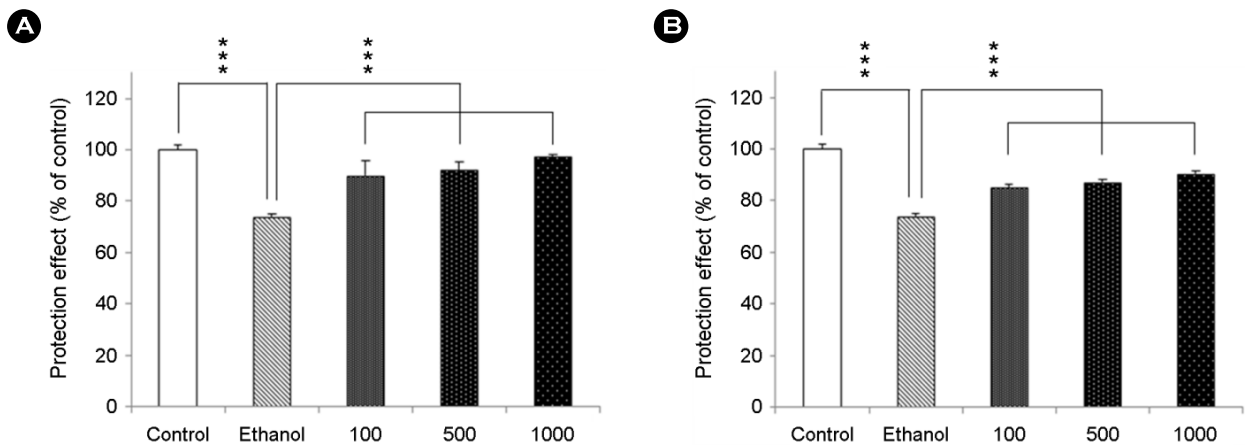


Fig. 2. Hepatocyte protection effect of (A) water extract in *Undaria pinnatifida* (B) water extract in *Costaria costata* on HepG2 cells. Data represent means \pm s.e.m. *** p < 0.001 by ANOVA.

료된다(Fig. 2).

간에서 약물이나 독성 물질이 해독되는 과정에서 반응성이 높은 중간 물질 및 활성산소가 생성되고(Jung, 2012; Ramadori et al., 2008; Papa et al., 2009) 활성산소는 생화학적 반응으로 free radical 생산이 과잉되면 생체에 대하여 독성을 나타내게 되어 여러 가지 질환의 발생기전에 관여한다(Lee, 2005). 항산화 효소 및 물질은 체내 대사과정에서 발생하는 활성산소를 적극적으로 억제하고 항산화 효과는 간 보호 효과 및 항염증 작용이 있다고 보고되어지고 있다(Das et al., 2000; Lim et al., 2012). 미역 추출물 및 쇠미역 추출물의 항산화 물질이 활성산소를 억제하고 이러한 항산화 효과가 간 보호 효과를 보인 것으로 사료된다.

요약

본 연구에서는 미역, 쇠미역을 이용하여 열수 및 에탄올(10, 70%) 추출물을 제조하여 총 페놀 함량, 총 플라보노이드 함량, DPPH 라디칼 소거능 및 ABTS 라디칼 소거능을 분석하였고, 추출물의 HepG2 세포의 알코올로 유발된 산화적 스트레스에 대한 간 세포 손상에 대한 보호 효과를 확인하였다.

총 페놀 및 플라보노이드 함량은 미역, 쇠미역 70% 에탄올 추출물에서 가장 높은 함량을 나타냈다. DPPH 라디칼 소거능의 경우 70% 에탄올 추출물에서 IC₅₀ 값은 각각 0.33, 0.48 mg/ml로 가장 낮은 값을 확인하였다. ABTS 라디칼 소거능의 경우 DPPH 라디칼 소거능 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 또한 미역, 쇠미역 열수 및 에탄올(10, 70%) 추출물의 HepG2 세포에서 추출물 농

도 별(100, 500, 1,000 µg/ml) 세포독성(MTT assay)을 평가에서 미역, 쇠미역 열수 추출물에서 1,000 µg/ml 농도까지 세포독성이 나타내지 않았다. 알코올에 대한 간 보호 효과에서 알코올만 처리한 군의 세포 생존율이 73.95% 감소하였으나 미역, 쇠미역 열수 추출물을 함께 처리 시에 각각 89.91~97.63%, 84.99~90.54%로 세포 생존율이 농도 의존적으로 증가하여 간 보호 효과를 확인하였다.

결과적으로 본 연구를 통해 미역, 쇠미역 열수 추출물의 농도에 따른 안전성이 확인되었고, 투여 농도에서 HepG2 세포에 대한 알코올로 유발된 산화적 스트레스에 대한 간세포 손상에 대한 보호 효과가 있는 소재로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 전라남도 (재)전남테크노파크가 지원한 '2020년도 하반기 지역수요맞춤형 연구개발사업' 지원을 받아 수행된 연구 결과로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Choi JS, Bae HJ, Kim YC, Park NH, Kim TB, Choi YJ, et al. 2008. Nutritional composition and biological activities of the methanol extracts of sea mustard (*Undaria pinnatifida*) in market. *J Life Sci* 18: 387-394.
- Choi JH, Kim IS, Kim JI, Yoon TH. 1992. Studies on anti-aging action of brown algae (*Undaria pinnatifida*). *Bull Korean Fish Soc* 25: 181-188.
- Das D, Pemberton PW, Burrows PC, Gordon C, Smith A, McMahon RFT, Warnes TW. 2000. Antioxidant properties of colchicine in acute carbon tetrachloride induced rat liver injury and its role in the resolution of established cirrhosis. *Biochim Biophys Acta* 1502: 351-362.
- Devasagayam TPA, Tilak JC, Boloor KK, Sane KS, Ghaskadbi SS, Lele RD. 2004. Free radicals and antioxidants in human health: current status and future prospects. *J Assoc Physicians India* 52: 794-804.
- Ferreres F, Lopes G, Gil-Izquierdo A, Andrade PB, Sousa C, Mouga T, Valentão P. 2012. Phlorotannin extracts from fucales characterized by HPLC-DAD-ESI-MSN: Approaches to hyaluronidase inhibitory capacity and antioxidant properties. *Mar Drugs* 10: 2766-2781.
- Jung YT. 2012. Antioxidant and liver protection effects of *Zizyphus jujuba* mill. leaf extracts. Master's thesis. Keimyung University. Daegu, Korea.
- Kamel KM, El-Raouf OMA, Metwally SA, El-Latif HAA, ElSayed ME. 2014. Hesperidin and rutin, antioxidant citrus flavonoid, attenuate cisplatin-induced nephrotoxicity in rats. *J Biochem Mol Toxicol* 28: 312-319.
- Kim KH, Kim CS. 1982. Studies on the manufacture of *Undaria pinnatifida*, laver and its physicochemical properties. *Korean J Food Sci Tech* 14: 336-341.
- Kim S, Woo S, Yun H, Yum S, Choi E, Do J-R, Jo J-H, Kim D, Lee S, Lee TK. 2005. Total phenolic contents and biological activities of Korean seaweed extracts. *Food Sci Biotechnol* 14: 798-802.
- Kim BM, Jun JY, Park YB, Jeong IH. 2006. Antioxidative activity of methanolic extracts from seaweeds. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35: 1097-1101.
- Kim JH, Kang HM, Lee SH, Lee JY, Park LY. 2015. Antioxidant and α-glucosidase inhibition activity of seaweed extracts. *Korean J Food Preserv* 22: 290-296.
- Kim OK, Lee MH, Kwon HO, Lee DS, Park JJ, Kim EP, You YH, Lim YT, Jun WJ, Lee JM. 2018. *Costaria costata* extract suppresses development of atopic dermatitis in chloro-2,4-dinitrobenzene-treated NC/Nga mice. *Skin Pharmacol Physiol* 31: 212-219.
- Kim TD, Song HI, Hong JP, Jeon CY, Kim SK, Han HK, Kim DS, Bang JD. 2006. Growth and maturation of the brown seaweed *Costaria costata* transplanted for the wildstock enhancement. *Journal of Life Science* 16: 1044-1051.
- Lee JH. 2005. Antioxidant activity and resistance to reactive oxygen species of *Lactobacillus* spp. *Bifidobacterium* spp and *Bacillus coagulans*. Master's thesis. Chung-Ang University. Seoul, Korea.
- Lee SY, Ahn JW, Hwang HJ, Lee SB. 2011. Seaweed bio-mass resources in Korea. *Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal* 26: 267-276.
- Lim CW, Park HY, Shim KB, Yoon NY, Kim YK. 2012. Anti-angiogenesis activity and characterization of extract of Ark Shell *Scapharca subcrenata*. *Kor J Fish and Aquac Sci* 45: 303-306.
- Middleton E, Kandaswami C. 1994. Potential healthpromoting properties of citrus flavonoids. *Food Technol* 48: 115-119.
- Na YJ, Jeon DV, Han SJ, Maranguy A, An DS, Cha HK, Lee JB, Yang JH, Lee HW, Choi HG. 2016. Crossed effects of light and temperature on the growth and maturation of gametophytes in *Costaria costata* and *Undaria pinnatifida*. *Korean J Fish Aquat Sci* 49: 190-197.
- Ohshima H, Tazawa H, Sylla BS, Sawa T. 2005. Prevention of human cancer by modulation of chronic inflammatory processes. *Mutat Res* 591: 110-122.
- Papa S, Bubici C, Zazzeroni F, Franzoso G. 2009. Mechanisms of

- liver disease, cross-talk between the NF-kappaB and JNK pathways. *Biol Chem* 390: 965-976.
- Park KE, Jang M-S, Lim CW, Kim Y-K, Seo Y, Park H-Y. 2005. Antioxidant activity on ethanol extract from boiled-water of *Hizikia fusiformis*. *J Korean Soc Appl Biol* 48: 435-439.
- Park JL, Chae KY, Hong JS. 2007. A comparison of antioxidant activities in black sesame seeds according to preparation and cooking conditions. *J East Asian Soc Dietary Life* 17: 520-531.
- Park JH, Kweon GR. 2013. Clinical applications of antioxidants. *Han-yang Med Rev* 33: 130-136.
- Ramadori G, Moriconi F, Malik I, Dudas J. 2008. Physiology and pathophysiology of liver inflammation, damage and repair. *J Physiology Pharmacology* 59: 107-117.
- Ramchandani VA, Bosron WF, Li TK. 2001. Research advances in ethanol metabolism. *Pathologie Biologie* 49: 676-682.
- Rouach H, Clement M, Orfanelli MT, Janvier B, Nordmann J, Nordmann R. 2005. Hepatic lipid peroxidation and mitochondrial susceptibility to peroxidative attacks during ethanol inhalation and withdrawal. *Biochimica et Biophysica Acta* 753: 439-444.
- Shim JM, Ahn BG, Kan CW. 2003. The neutral characteristic and effect of brown algae as functional substances in poultry. *Korean Soc Poultry Sci* 16: 38-52.
- Vijaya K, Ananthan S, Nalini R. 1995. Antibacterial effect of theaflavin, polyphenon 60 (*Camellia sinensis*) and *Euphorbia hirta* on *Shigella* spp. a cell culture study. *J Ethnopharmacol* 49: 115-118.