

## 함초 분획물의 *in vitro*에서의 암세포 성장억제 및 Quinone Reductase 활성 유도 효과

정복미<sup>1</sup> · 박정애<sup>2</sup> · 배송자<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>여수대학교 식품영양학과

<sup>2</sup>신라대학교 식품영양학과, 마린-바이오 산업화지원센터

### Growth Inhibitory and Quinone Reductase Induction Activities of *Salicornia herbacea* L. Fractions on Human Cancer Cell Lines *in vitro*

Bok-Mi Jung<sup>1</sup>, Jung-Ae Park<sup>2</sup>, and Song-Ja Bae<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Food Science and Nutrition, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Food and Nutrition, Marine Biotechnology Center for Biofunctional Material Industries, Silla University, Busan 617-736, Korea

#### Abstract

We investigated the growth inhibitory effect of *Salicornia herbacea* L. (SH) on human cancer cell lines *in vitro*. SH was extracted with methanol (SHM), followed by further fractionation into four subfractions according to polarity: hexane (SHMH), methanol (SHMM), butanol (SHMB), and aqueous (SHMA) soluble fractions. We determined the growth inhibitory effect of these fractions against human cancer cell lines using MTT assay. Among the four subfractions of SHM, the SHMM showed the strongest cytotoxic effects on cancer cell lines. We also observed quinone reductase (QR)-inducing effect of methanol layer (SHMM) on HepG2 cells and it was determined to be 3.00 at 100 µg/mL level compared to the control value of 1.0. The SHMM showed the highest induction activity of quinone reductase on HepG2 cells among the partition layers. The present work suggests that SH merits further study to confirm its chemopreventive potential.

**Key words:** cancer cell growth inhibition, quinone reductase, *Salicornia herbacea* L. (SH)

#### 서 론

암은 오늘날 전 인류의 생명을 위협하는 최대의 적이다. 세계보건기구의 보고에 의하면 전 세계적으로 매년 6백만 명 이상이 암으로 생명을 잃고 있으며, 이는 모든 사망의 13%정도를 차지한다. 또한 암 발생원인의 1/3은 인간의 여러 생활습관(lifestyle)이 밀접하게 관련되어 있는 것으로 알려져 있고, 특히 흡연이나 음주 그리고 식이습관이 암 발생의 증가요인이 된다. 이러한 요인들은 서로 복잡하게 얽혀서 상호작용하면서 특정 인구집단에 암이나 심혈관계 질환의 발생을 변화 혹은 증가시킨다(1,2). 암의 발생 원인과 발생기전을 해명하고 치료, 예방하려는 연구가 많이 진행되고 있으며 암백신(3), 면역요법(4), 생물학적 제제(5) 등이 제시되고 있으나 최근 좀 더 적극적인 예방법 즉, 암 화학예방(chemoprevention)에 대해 많은 관심이 제고되고 널리 연구 중에 있다. 암 화학예방은 암의 발생을 예방하거나 암화 과정을 천천히 진행시키는 제제나 천연 화합물을 섭취함으로써 심

각한 암이나 질병을 발생하는 위험부담을 줄이는 것이다(6). 최근에는 암이 발병하기 전에 막을 수 있는 암 예방물질(chemopreventive agents)의 개발 연구 분야에서는 부작용이 적은 천연물에서의 암 예방물질 개발에 관한 연구가 전 세계적으로 많은 관심을 모으고 있다.

대표적인 암 예방기전의 연구에 사용하는 생화학적 분석 방법으로 체내 독성물질이나 발암물질을 무독화시키는 phase II 효소인 quinone reductase(QR)와 glutathione S-transferase(GST)의 활성유도, phase I 효소인 cytochrome P450 효소 활성 억제, glutathione 생성, transformed cell에서 그 함량이 증가되는 polyamine 생성억제 등이 활용되고 있다(7). QR은 간세포에서 주로 생성되는 phase II enzyme의 한 종류로 quinone을 환원시켜 무독하게 함으로써 세포내에서 여러 돌연변이 물질에 의해 일어나는 돌연변이와 종양화를 막아주고 발암물질을 무독하게 하는 역할을 한다(8).

또한 최근 들어 육상 생물뿐만 아니라 해양 생물 유래 소

\*Corresponding author. E-mail: sjbae@silla.ac.kr  
Phone: 82-51-999-5462, Fax: 82-51-999-5687

제에 대한 활발한 항 발암효과 연구가 진행되고 있다(9). 특히, 해양생물은 육상생물에 없는 특유의 대사과정과 독특한 환경으로 인하여 다양한 신규 생리활성물질의 탐색 가능성을 가지고 있다고 할 수 있다. 육상생물은 이미 많은 연구가 진행되었으나 해양생물은 아직 제한된 연구로 인하여 미지의 천연물의 개발에 대한 기대가 매우 높게 평가되고 있다(10).

본 연구에 사용된 합초(*Salicornia herbacea* L., SH)는 염생식물(halophyte)에 속하며 토양의 염분농도가 높아 일반 육상식물이 생육할 수 없는 지역에 생육하며, 바닷가와 내륙에서는 염분이 있는 호수와 암염이 있는 지대에서 자라는 식물이다(11). 최근까지 세계적으로 약 1560여종이나 알려져 있고 짠맛 등을 이용한 음식의 재료로 사용되거나 의약품, 섬유, 맥주제조, 화학 산업에 널리 이용되어 중요한 경제적 가치를 지닌 식물로 주목받고 있다(12). 합초는 우리나라 서해안이나 남해안, 제주도 등의 갯벌, 염전 주위의 무리 지어 자라는 명아주과에 속하는 일년초로서 ‘통통마디’ 또는 ‘산호초’ 라고도 부른다. 다른 식물에 비해 칼륨, 마그네슘, 칼슘 등의 미네랄이 풍부하고, 필수지방산인 리놀렌산도 전체 지방산 중 약 50% 함유되어 있으며, 필수아미노산의 함량이 총 아미노산 함량 대비 약 40%를 함유한 것으로 보고되고 있으며(13,14), 민간약으로는 시력저하, 소화불량, 위장병, 간염 및 신장병 등에 사용되어 왔으며 최근에는 변비 개선효과 및 다이어트 목적의 기능성 식품으로 개발되고 있다(15). 또한 Shin 등(16)은 합초의 이화학적 조성과 미네랄 성분에 대하여 연구하였으며 Han과 Kim(17)은 폐염전에서 채취한 합초의 항산화효과 연구에서 10%의 합초 첨가가 천연 항산화제인  $\alpha$ -tocopherol 1%를 첨가한 것과 비슷한 항산화효과를 나타냄을 관찰하였고, Son 등(18)은 통통마디로부터 색소체 외막 단백질 유전자의 분리 및 발현분석에서 NaCl에 의해 발현이 증가되는 cDNA를 분리하여 ShoEP라고 명명하였으며 이는 염분 스트레스 내성 기작에 직접적으로 관여한다는 사실을 관찰하였다.

본 실험에서는 3종의 인체 암세포주를 이용하여 합초 분획물에 대한 암세포 성장 억제 효과를 MTT assay를 이용하여 알아보았고, 암 예방물질 탐색에 사용되어지는 quinone reductase 활성 유도 효과를 측정하였으므로 그 결과를 보고하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에 사용된 합초는 2005년 전남 신안군에서 구하여 세척, 동결건조하여 시료로 사용하였다.

### 시료의 추출 및 분획물 제조

세척, 동결건조한 합초는 분쇄하여 시료와 메탄올을 1:5 (w/v)의 비율로 첨가한 후 상온에서 2회 추출하고, 극성과 비극성으로 선별물질을 추출하기 위하여 우선 메탄올과 다

이클로로메탄( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ )을 1:1로 섞은 용액에 2회 추출한 후 회전식 진공농축기로 일정시간 감압 농축시켜 동결건조한 후 합초의 methanol추출물(SHM)을 얻었다. 이 추출물을 헥산(hexane)층(SHMH), 메탄올(methanol)층(SHMM), 부탄올(butanol)층(SHMB) 및 물(aqueous)층(SHMA)으로 나누어 비극성에서 극성으로 계통 분획하고 각 분획층을 감압 농축 후 동결 건조하여 분말로 만들어 시료로 사용하였다.

### 시약 및 배지

세포실험에 사용된 시약 중 NP-40, 3-[4,5-dimethylthiazol-2-yl]-2,5-diphenyltetrazolium bromide(MTT), menadione은 Sigma사 제품을 구입하였고 flavin adenine dinucleotide(FAD), dicumarol 및 glucose-6-phosphate dehydrogenase는 Amresco사 제품을 구입하여 사용하였으며, minimum essential medium(MEM), Dulbecco's Modified Eagle's medium(DMEM)과 phosphate buffered saline(PBS) 등은 Gibco-BRL(USA)에서 구입하였다. 그 외 연구에 사용된 용매 및 시약은 특급을 사용하였다.

### 세포 배양

본 실험에 사용한 암세포주는 인체 간암 세포인 HepG2 (Human hepatocellular carcinoma), 유방암 세포인 MCF-7 (Human breast adenocarcinoma pleural effusion) 및 대장암 세포인 HT-29(Human colon adenocarcinoma)로서 2005년 6월 한국세포주은행으로부터 분양받아 사용하였다.

HepG2, MCF-7 세포주는 DMEM medium을 사용하였고 HT-29 세포주는 RPMI1640을 사용하였으며 medium에 10%의 fetal bovine serum(FBS, Gibco, USA)과 1% 100 units/mL penicillin streptomycin이 함유된 것으로 T-75 flask에 이식한 후 37°C, 5%  $\text{CO}_2$  incubator에서 monolayer로 배양하였다. 위의 3종의 세포주는 일주일에 2~3회 정도 새로운 배지로 교환하고 flask에 암세포주가  $5 \times 10^4$  cells/mL 정도 증식되면 phosphate buffered saline(PBS, pH 7.0)으로 2번 세척한 후 trypsin-EDTA를 처리하여 바닥에서 세포를 분리한 후, 배양액으로 암세포가 골고루 분산되도록 희석하여 T-75 flask에 10 mL씩 분할하여 주입하고 4~5일마다 계대배양하면서 실험에 사용하였다. 계대 배양시 각각의 passage number가 10회 이상일 때는 액체질소탱크로부터 새로운 세포를 꺼내어 다시 배양하여 실험하였다.

### 암세포 증식억제 효과 측정

합초 추출 분획물의 암세포 증식억제효과는 3-[4,5-dimethylthiazol-2-yl]-2,5-diphenyltetrazolium bromide(MTT) assay를 사용하여 행하였다(19,20). MTT assay는 세포의 생육을 측정하는 방법으로서 살아있는 세포의 미토콘드리아 내의 dehydrogenase에 의해 황색 수용성 물질인 MTT로부터 purple formazan이 생성되는 원리를 이용하였다.

이를 위해 각 세포주는  $1 \times 10^5$  cells/well의 농도로 맞추고 24 well에 각각 1 mL씩 첨가하여 24시간 동안 37°C, 5%  $\text{CO}_2$

incubator에 배양한 후 용매종류별 분획물을 각각 일정량의 dimethyl sulfoxide(DMSO)에 녹여서 100, 200, 300, 400, 500 µg/mL의 농도로 첨가하였다. 일정시간 동안 배양한 후 각 well에 PBS 완충액에 녹인 MTT 용액을 100 µL씩 첨가하여 4시간 동안 다시 배양시킨 후, well 바닥에 형성된 formazan이 흐트러지지 않게 상등액을 제거하고 DMSO와 ethanol을 1:1로 혼합한 용액 1 mL를 첨가하여 천천히 녹인 후 Multi-detection microplate(Synergy HT, Bio-tek, USA)를 이용하여 570 nm, 690 nm에서 측정하였다. 대조군 세포수를 100%로 정하고 상대적인 세포성장 억제율을 구하였다.

#### Quinone reductase 활성 유도 효과 측정

Quinone reductase는 phase II 무독화 효소 중의 하나로 돌연변이 또는 발암물질과 DNA의 상호 작용을 차단하는 효소이며, NAD(P)H를 이용하여 quinone류의 환원을 촉매하는 flavoprotein이다(21,22).

QR 활성 유도 효과는 Prochaska와 Santamaria(23,24)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. T-75 flask의 세포가 80%이상 증식하게 되면 24 well plate의 각 well에  $1 \times 10^4$  cells/mL가 되도록 HepG2 세포주를 분주하여 24시간 동안 배양한 후 HepG2의 세포생존율이 50%되는 시료의 양을 최종 농도로 잡아 DMSO에 녹인 후 20, 40, 60, 80 및 100 µg/mL의 농도로 첨가한 후 24시간 동안 배양한 다음 배양액을 제거하였다. 배지가 제거된 각 well에 250 µL의 lysis buffer(10 mM Tris-Cl, pH 8.0, 14 mM NaCl, 15 mM MgCl<sub>2</sub>, 0.5% NP-40)를 첨가한 후 37°C, 5% CO<sub>2</sub> incubator에 10분간 두면서 cell을 lysis한 후 reaction mixture 즉, 10 mM Tris-Cl(pH 7.4), 0.5 mg/mL BSA, 0.008% tween-20, 40 µM FAD, 0.8 mM glucose-6-phosphate, 2 Unit/mL glucose-6-phosphate dehydrogenase, 25 µM NADP, 40 µg/mL MTT 및 1 mM menadione을 혼합하여 1 mL씩 well에 첨가하여 5분 동안 반응시킨 후, 반응 정지용액인 10.3 mM dicumarol, 0.5% pyridine, 5 mM potassium phosphate(pH 7.4) 혼합액을 250 µL씩 첨가하여 효소반응을 정지시키고 Multi-detection microplate(Synergy HT, Bio-tek, USA)를 이용하여 610 nm에서 흡광도를 측정하여 계산하였다.

단백질량은 동일한 set의 well plate에 대한 crystal violet 염색방법으로 정량하였다. 24 well plate에  $1 \times 10^4$  cells/well 농도로 분주하고, 37°C, 5% CO<sub>2</sub> incubator에서 2시간 배양한 후 증류수로 2분간 세척하였다. 각 well에 0.5% SDS(in 50% EtOH) 용액을 1 mL씩 가하여 37°C incubator에 1시간 방치한 후 610 nm에서 흡광도를 측정하였다.

Quinone reductase 활성 유도 효과 측정(nmol/min/mg protein)은 다음과 같이 하였다.

Specific quinone reductase (QR) activity

$$= \frac{\text{absorbance change of MTT/min}}{\text{absorbance of crystal violet}} \times 3345 \text{ nmol/mg}$$

**Table 1. Yields of various solvent fractions of *Salicornia herbacea* L.**

Fractions	Yield (g) <sup>1)</sup>	Yield (%)
Methanol extract (SHM)	80.12	16.02 <sup>2)</sup>
Hexane fr. (SHMH)	0.48	0.60 <sup>3)</sup>
Methanol fr. (SHMM)	1.12	1.40 <sup>3)</sup>
n-Butanol fr. (SHMB)	0.32	0.40 <sup>3)</sup>
Aqueous fr. (SHMA)	49.60	61.90 <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Yield (g) represents the dry weight of each fraction obtained from 500 g of dried *Salicornia herbacea* L.

<sup>2)</sup>The value represents the percentage of SHM compared to dried *Salicornia herbacea* L.

<sup>3)</sup>The values represents represent the percentage of each fractions compared to methanol extract (SHM).

#### 통계처리

본 실험에 대한 실험결과는 세 번 실험하여 얻어진 평균치 및 표준편차를 나타내었다.

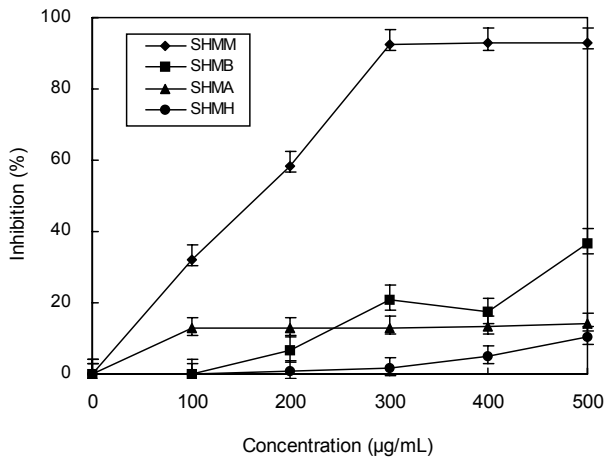
## 결과 및 고찰

#### 함초 추출물의 각 용매별 분획물 수율

함초(*Salicornia herbacea* L., SH)를 깨끗이 세척한 후 동결건조한 시료 500 g을 분쇄하여 시료 메탄올과 1:5(w/v)의 비율로 첨가한 후 상온에서 2회 추출하고, 극성과 비극성으로 선별물질을 추출하기 위하여 다시 메탄올과 다이클로로메탄(CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)을 1:1로 섞은 용매에 2회 추출하여 함초 분획물(SHM) 80.12 g(16.02%)을 얻고, 이 추출물을 분획하여 hexane(SHMH), methanol(SHMM), butanol(SHMB) 및 물층(SHMA)을 수득하였으며, 각 시료의 용매별 수득율은 Table 1과 같다.

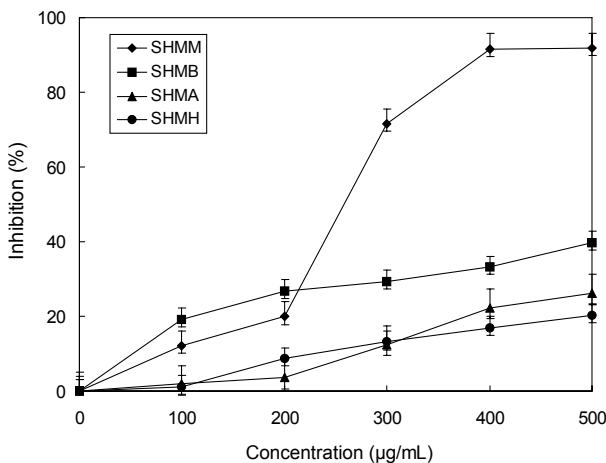
#### 함초 분획물의 암세포 성장 억제효과 측정

본 실험에서는 간암 세포인 HepG2, 대장암 세포인 HT-29 및 유방암 세포인 MCF-7을 이용하여 함초 분획물에 대한 각 암세포주의 성장 억제 효과를 MTT assay를 이용하여 알아보았다. Fig. 1은 HepG2 세포주에 대한 실험 결과이며 함초 분획물의 암세포 성장 억제 효과는 SHMM층에서 가장 높은 억제효과를 나타내었다. SHMM층은 300 µg/mL의 농도에서 이미 90% 이상의 효과를 나타내었고, 500 µg/mL 농도에서 93%의 높은 암세포 성장 억제효과를 나타내었다. 그러나 다른 분획층의 암세포 성장 억제효과는 40% 이하로 매우 낮았다. Fig. 2는 HT-29에 대한 결과로서 HepG2에서와 마찬가지로 SHMM층은 300 µg/mL의 농도에서 급속히 암세포 성장이 억제되었고 400 µg/mL의 농도에서는 92%의 효과를 나타냈으며, SHMB, SHMA 및 SHMH층 모두에서 40%의 낮은 암세포 성장 억제효과를 나타내었다. Fig. 3은 MCF-7 세포주에 대한 결과로서 역시 SHMM층이 제일 성장 억제효과가 높았으며 300 µg/mL의 농도에서 88%를 보였고 농도를 증가하여도 그 효과가 유지되었다.

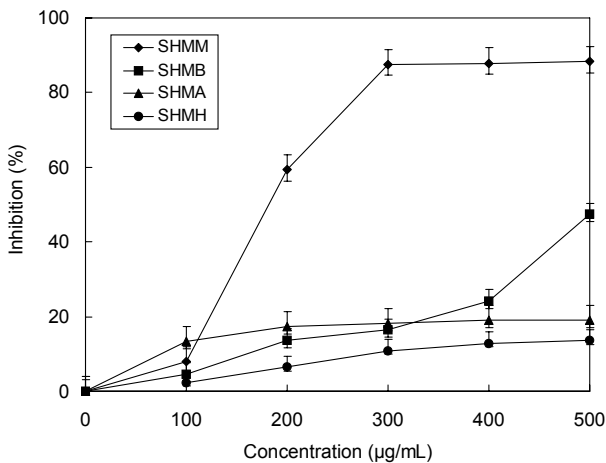


**Fig. 1. Inhibitory effects of various fraction of *Salicornia herbacea* L. on survival of HepG2 cells.**

SHMM: Methanol fraction of methanol extracts of *Salicornia herbacea* L. (SHM), SHMB: Butanol fraction of SHM, SHMA: Aqueous fraction of SHM, SHMH: Hexane fraction of SHM.



**Fig. 2. Inhibitory effects of various fraction of *Salicornia herbacea* L. on survival of HT-29 cells.**



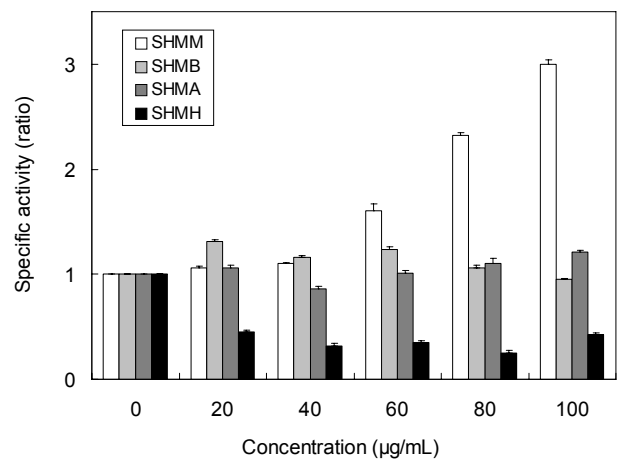
**Fig. 3. Inhibitory effects of various fraction of *Salicornia herbacea* L. on survival MCF-7 cells.**

3가지 인체 암세포주에 미치는 합초 분획물의 암세포 성장 억제에 대한 실험 결과에서 methanol 분획층인 SHMM 층에서 그 효과가 가장 높게 나타났다. 본 실험을 통하여 합초의 암세포 성장 저지를 일으키는 생리활성 물질은 합초의 약한 극성물질이 녹아있는 methanol층에 주로 존재한다고 추측해 볼 수 있었으며, 또한 이와 같은 결과는 해조류 중 갈조류에 속하는 미역귀 분획물의 경우와 유사한 결과를 볼 수 있었으며(25), 참가사리 등의 홍조류에서보다는 암세포 성장 억제 효과가 비교적 낮았다. 본 실험의 결과 methanol층 300 µg/mL를 첨가하였을 때 간암세포와 대장암 및 유방암세포에 모두 높은 암세포 증식 억제효과를 나타내었으므로 앞으로 합초 분획물의 암세포 성장을 저지하기 위한 여러 기능성 물질의 효과가 기대되어진다. 더욱 심도 있는 연구를 통해 이들 분획층의 생리활성물질들을 규명하고 구조 동정과 그 기전들을 알아보는 연구가 진행되어야 한다고 생각한다.

#### Quinone reductase 활성 유도 효과

본 연구에 사용된 quinone reductase(QR)는 phase II 무독화 효소중의 하나로 돌연변이 또는 발암물질과 DNA의 상호작용을 차단하는 효소이며 NAD(P)H를 이용하여 quinone류의 환원을 촉매하는 flavoprotein의 일종이다. 특히 QR은 phase II 효소계의 지표효소로서 다양한 종류의 항암 물질에 의해 그 활성이 유도되어 암예방을 선도하는 특성을 가지고 있어서 암예방 물질의 탐색에 많이 사용되어 왔다.

암세포 증식 억제효과에 사용한 3종의 암세포 중 유일하게 quinone reductase를 가지고 있는 간암 세포인 HepG2 세포주를 사용하여 합초 추출물의 4가지 분획층을 이용한 QR 유도 활성을 측정하였으며 그 결과는 Fig. 4와 같다. HepG2 암세포주에 대한 용매별 합초 분획물을 각각 20, 40, 60, 80, 100 µg/mL씩 첨가했을 때 암세포 성장 억제효과와



**Fig. 4. Effects of various fraction of *Salicornia herbacea* L. on the induction of quinone reductase activity in HepG2 cells.**

마찬가지로 SHMM층에서 QR 활성 유도 증가 효과가 유의적으로 높게 나타났다. 즉 SHMM층을 60 µg/mL 첨가시 대조군을 1로 했을 경우 1.6배, 80 µg/mL 첨가시 2.32배 그리고 최종농도인 100 µg/mL 첨가시에는 대조군에 비해 SHMM층은 약 3배의 높은 효소활성을 나타내었다. 이상의 결과에서 함초의 여러 용매 분획물 중 SHMM층에서 높은 QR 활성 유도 효과가 보였으므로 이 분획층에서의 암예방 효소계 quinone reductase의 inducer가 존재함을 추정할 수 있었다. 더욱더 심도 있는 연구를 통해 함초 분획물 중 SHMM층에서의 생리활성 물질을 추적, 보완하여 그 구조를 동정함으로써 식품산업에 있어서의 암세포 성장 저지 및 암예방 효과를 가진 함초가 기능성 식품개발에 매우 중요한 자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

## 요 약

본 연구에서는 염생식물의 하나인 함초를 각 용매별로 분획하여 암세포 성장억제 효과와 quinone reductase(QR) 활성 유도 효과를 보았다. 간암 세포인 HepG2, 대장암 세포주인 HT-29 그리고 유방암 세포주인 MCF-7을 이용하여 암세포 성장 억제 효과를 실험한 결과 간암세포주인 HepG2에서 제일 효과가 컸고 사용한 3종의 암 세포주 모두 SHMM층에서 월등히 높은 암세포 성장 억제 효과를 나타내었다. 그리고 암 예방 효과를 알아보기 위하여 3종의 암세포 중 유일하게 quinone reductase를 가지고 있는 인체 간암세포주인 HepG2를 이용하여 QR 활성 유도 효과를 측정한 결과 역시 SHMM층에서 유의적으로 QR 활성 유도 효과가 높게 나타났다. 본 실험 결과에서 함초의 methanol 분획층인 SHMM층에서 암세포 성장 억제 효과와 QR 유도 활성 효과가 높게 나타났으며 이 분획층에 유효한 생리활성 물질이 함유되어 있을 가능성이 높을 것으로 추정된다. 본 연구를 통하여 함초를 이용한 암예방 기능성 식품을 개발할 수 있는 가능성이 보이며, 특히 함초의 methanol 분획층에 대한 집중적인 연구가 요구된다.

## 감사의 글

본 연구를 위하여 시료를 제공해 주신 전남 신안군 광암수산 김종훈 사장님께 감사드립니다.

## 문 헌

- Hwang BH, Zhao JL, Choi KP, Jung SW, Kim EJ, Ham SS. 1996. The antimutagenic and anticancer effect of *Taxus cuspidata* extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 25: 1062-1068.
- Yoo KY, Shin HR. 2003. Cancer epidemiology and prevention. *Kor J Epidemiology* 25: 1-15.
- Bae MJ, Yee ST, Chae SY, Shin SH, Kweon SH, Park MH, Song MK, Hwang SJ. 2004. The effect of arabinoxylane and the polysaccharide peptide (PSP) on the anti-allergy, anticancer. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 469-474.
- Giampietri A. 1981. Drug-mediated increase of tumor immunogenicity in vivo for a new approach to experimental cancer immunotherapy. *Cancer Res* 41: 681-685.
- Budd GT, Osgood B, Barna B, Boyett IM, Finke J, Mdendrop SV, Murth S, Bukoski RM. 1989. Phase I clinical trial toxicity and immunologic effects. *Cancer Res* 49: 6432-6439.
- Kim JS. 2005. Cancer chemoprevention and NSAID-activated gene (NAG-1). *Biochemistry and Molecular Biology News* 25: 286-291.
- Cha BC, Lee HW, Choi MY. 1998. Antioxidative and antimicrobial effects of nut species. *Kor J Pharmacogn* 29: 28-34.
- Wefers H, Komai T, Talalay P, Sies H. 1984. Protection against reactive oxygen species by NAD(P)H:quinone reductase induced by the dietary antioxidant butylated hydroxyanisole (BHA). *FEBS Lett* 169: 63-66.
- Schwartzmann G, Rocha AB, Berlinck RGS, Jimeno J. 2001. Marine organisms as a source of new anticancer agents. *Lancet Oncology* 2: 221-225.
- Park JC, Choi JW. 1996. Screening of marine natural products on inhibitory effect of the formation of lipid peroxidation. *Kor J Pharmacogn* 27: 117-122.
- Lee HJ, Kim YA, Ahn JW, Lee BJ, Moon SG, Seo YW. 2004. Screening of peroxyinitrite and DPPH radical scavenging activities from salt marsh plants. *Kor J Biotechnol Bioeng* 19: 57-61.
- Rha ES. 2004. Utilization of halophyte for improving agricultural environment in China. *Korean J Plant Res* 17: 170-171.
- Min JG, Lee DS, Kim TJ, Park DI. 2002. Chemical composition of *Salicornia herbacea* L. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 7: 105-107.
- Shimizu K. 2000. Effects of salt treatments on the production and chemical composition of salt wort (*Salicornia herbacea* L.), rhodesgrass and alfalfa. *Jpn J Trop Agr* 44: 61-67.
- Park SH, Kim KS. 2004. Isolation and identification of antioxidant flavonoids from *Salicornia herbacea*. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 47: 120-123.
- Shin KS, Boo HO, Jeon MW, Ko JY. 2002. Chemical components of native plant, *Salicornia herbacea* L. *Korean J Plant Res* 15: 216-220.
- Han SK, Kim SM. 2003. Antioxidative effect of *Salicornia herbacea* L. grown in closed sea beach. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 21: 207-210.
- Son DY, Ermawati N, Cha JY, Liang YS, Jung MH, Shin DJ, Lee BH, Lee KH. 2004. Molecular cloning and characterization of outer envelope membrane protein from *Salicornia herbacea*. *J Plant Biotechnol* 31: 273-278.
- Alley MC, Scudiero DA, Monks A, Hursey ML, Czerwinski MJ, Fine DL, Abbott BJ, Mayo JG, Shoemaker RH, Boyd MR. 1988. Feasibility of drug screening with panels of human tumor cell line using a microculture tetrazolium assay. *Cancer Res* 48: 589-601.
- Carmichael J, De Graff WG, Gazder AF, Minna JD, Mitchell JB. 1987. Evaluation of the tetrazolium based semiautomated colorimetric assay: assessment of chemosensitivity testing. *Cancer Res* 47: 936-942.

21. Hong EY, Kang HJ, Kwan CS, Na YJ, Suh MJ, Kim JS. 1997. Modulation of cellular quinone reductase inducibility by roasting treatment and acid hydrolysis of perilla. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26: 186-192.
22. Prochaska HJ, Santamaria AB. 1988. Direct measurement of NAD(P)H:quinone reductase from cells cultured in microtiter wells: A screening assay for anticarcinogenic enzyme inducers. *Anal Biochem* 169: 328-336.
23. Prochaska HJ, Santamaria AB, Talalay P. 1992. Rapid detection of inducers of enzyme that protect against carcinogen. *Proc Natl Acad Sci USA* 89: 2394-2398.
24. Prochaska HJ. 1994. Screening strategies for the detection of anticarcinogenic enzyme inducers. *J Nutr Biochem* 5: 360-366.
25. Park SY, Joung YH, Shin MO, Joung BM, Bae SJ. 2005. Effect of antimicrobial and cytotoxicity of *Undaria pinnatifida* Sporophyll fractions. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 765-770.

(2007년 10월 22일 접수; 2008년 1월 28일 채택)