

감마선조사에 의한 미역 추출물 항염증제제의 갈색 색상 제거

강지영·김아람¹·송유진¹·박진규²·이주운²·변명우²·안동현¹·홍용기*

부경대학교 생물공학과, ¹부경대학교 식품공학과

²한국 원자력 연구원 방사선과학연구소

Gamma-irradiation Elimination of Brown Color from the Anti-inflammatory Agent Containing an *Undaria pinnatifida* Extract

Ji-Young Kang, Ah-Ram Kim¹, Eu-Jin Song¹, Jin-Gyu Park², Ju-Woon Lee², Myung-Woo Byun², Dong-Hyun Ahn¹ and Yong-Ki Hong*

Department of Biotechnology, Pukyong National University,
Namku, Busan 608-737, Korea

¹Department of Food Science & Technology, Pukyong National University,
Namku, Busan 608-737, Korea

²Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Reserch Institute,
Jeonbuk 580-185, Korea

This study was conducted to examine the bleaching of an anti-inflammatory agent containing *Undaria pinnatifida* extract (AIAU). Brown-colored AIAU was irradiated with ⁶⁰Co gamma rays at doses ranging from 10-200 kGy. Discoloring of the anti-inflammatory agent was achieved by gamma irradiation, with significantly removal by 50 kGy irradiation. The main active compound of the agent consisted of 4% *U. pinnatifida* extract, which inhibited inflammatory symptoms in mouse ear edema by 93%. There was no change in effects against edema, erythema, blood flow and radical scavenging activity by irradiation.

Key words: *Undaria pinnatifida*, Anti-inflammation, Irradiation, Color, Antioxidant

서 론

미역 [*Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar]은 갈조류의 다시마 목 (Laminariales Order), 미역 과 (Alariaceae Family)에 속하는 1년생 해조류로서, 자연산은 우리나라, 일본, 중국의 온대해역에서만 서식하며, 주로 외해 또는 외해에 가까운 만의 수심 1-8 m 암반에 분포한다. *Undaria* 속에 속하는 종으로는 *U. pinnatifida* (미역), *U. undarioides* 및 *U. peterseniana* (넓미역)가 있는 것으로 알려져 왔다 (Ohno and Matsuoka, 1993). 미역 종 내에서는 일반적인 명칭으로 북방형 및 남방형으로 나뉘어 양식되어지고도 있다. 그러나 최근의 미토콘드리아 23S rDNA 염기서열 비교에 의하여 *U. pinnatifida* 와 *U. undarioides* 사이에는 염기서열의 차이를 볼 수 있으나 북방형 (*U. pinnatifida* f. *distans*)과 남방형 (*U. pinnatifida* f. *typica*) 사이에는 차이를 볼 수 없었다고 알려졌다 (Muraoka and Saitoh, 2005). 미역 엽체는 겨울 및 봄에 성장하며, 성숙한 엽체는 1-2 m에 이른다. 우리나라에서는 2007년도 양식으로 서 약 29만톤 (습중량)을 수확하였으며 (MLTM, 2008), 이는 물미역, 건조미역 또는 염장미역의 형태로 가공되어 대부분 식용으로 소비되고 있다. 미역은 건강식품으로서 특유의 색과 기호성이 강한 풍미, 독특한 씹힘성을 가지고 있어, 우리나라

에서는 주로 국거리로 이용되거나 다양한 조리 형태로서 즐겨 애용돼 왔고, 특히 출산 후 산모의 건강회복을 위해서는 필수 식품으로 여기고 있으며, 우리의 식생활 방식으로는 쉽게 많은 양을 섭취하고 있다 (Kim and Kim, 1982; Lee, 2004). 가공면에서는 Na₂SO₄ 용액으로 처리하여 알긴산을 제거한 미역잎을 이용하여 만든 미역김 (Kim and Kim, 1982; 1983), 미역과 다시마를 주원료로 한 묵 (Jung et al., 1994; Jung et al., 1994), 미역 페이스트를 쇠고기, 돼지고기, 닭고기에 첨가하여 만든 고기 패티 (Hwang et al., 1998), 두부의 제조 (Kim et al., 1996), 미역줄기를 이용한 잼의 제조 (Ahn et al., 2000), 미역과 다시마 가루를 첨가한 케 (Ahn and Song, 1999), 김 미역 다시마를 이용한 기능성 해조차 제조 (Jo et al., 1998), 미역의 효소추출물을 이용한 젤리 (Park et al., 2005), 생물흡착제로서의 미역의 활용 (Kuh and Kim, 2001) 등이 연구되었다. 미역의 성분은 탄수화물이 가장 많고 다음으로 무기질, 단백질, 지질, 비타민 등으로 구성되어 있다 (Kim and Kim, 1982; Dawczynski et al., 2007). 탄수화물로서는 여러 생리활성을 지닌 fucoidan, laminaran 및 식품재료 등에 많이 이용되는 alginate 등의 분리와 구조적 특성이 잘 알려져 있다 (Rioux et al., 2007). 그리고 지질로서는 부종의 감소 등 항염증작용이 강한 고도불포화지방산의 함량도 아주 많다 (Khan et al., 2007). 특히 n-3 계열의 고도불포화지방산들은 혈액응고의 방지 (Sanchez-Machado et

*Corresponding author: ykhong@pknu.ac.kr

al., 2004), 동맥경화 및 혈전과 같은 심장질환의 예방과 치료 (Dyerberg et al., 1978)에 효과가 있는 것으로도 알려져 있다. 미역에는 갈조류 특유의 fucoxanthin이라는 carotenoid계 색소가 많이 함유되어 있으며, 이는 항산화작용 (Nomura et al., 1997), 종양발생 억제 (Krinsky, 1994), 복부지방의 감소에도 강한 효과를 보이는 것으로도 잘 알려져 있다 (Maeda et al., 2005). 그 외에도 미역의 약리학적 특성을 이용한 연구는 항염증효과의 주 활성물질분리 (Khan et al., 2007) 및 추출물을 이용한 항염증 스프레이제제 개발 (Hong, 2008)을 비롯하여, 간의 지방산 산화촉진 (Murata et al., 1999), 항암작용 (Hosokawa et al., 2004), 항고혈압작용 (Suetsuna et al., 2004), 항바이러스작용 (Thompson and Dragar, 2004) 등이 알려져 있다.

이와 같이 다양한 생리활성을 나타내는 미역을 추출물 상태에서 산업적으로 다양하게 적용하고자 할 경우, 우선 갈조류 미역의 고유한 진한 갈색 색상이 동시에 추출되어 나옴으로서 가공 시에 문제점으로 부각되고 있다. 색깔을 제거시키는 방법에는 여러 가지가 있을 수 있겠으나 본 연구에서는 방사선의 일종인 감마선을 사용하여 간단히 효율적으로 처리하였다. 감마선의 장점은 모든 식품 및 식품소재의 부패방지, 제품의 안전성 및 보존성 향상의 효과도 보고되어 있으며 식품뿐만 아니라 제약 및 화장품과 같은 공중보건산물에도 널리 사용되고 있다 (Byun, 1994). 또한 감마선 조사기술은 잔류독성이 전혀 없고 식품 원래의 품질을 유지하면서 여러 가지 긍정적인 효과가 보고 된 바 있고 (Thayer, 1990) 가공공정 및 기능성 향상 (Lee et al., 2001)에 까지 이용범위가 확대되고 있는 추세로 앞으로 여러 산업분야에 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 특히 최근에는 녹차 잎 추출물의 감마선 조사에 의한 투명한 색상으로의 변화 및 화합물의 생리활성 상승효과가 보고 되어 있다 (Jo et al., 2003).

따라서 본 연구에서는 항염증 활성을 갖는 미역 추출물을 이용한 항염증제제를 제조 (Hong, 2008) 할 때 동반되는 갈색 색상을 방사선 조사하여 갈색의 제거와 함께 항염증 및 항산화 활성의 유지를 확인하여 무색의 투명한 미역 추출물의 제조 및 이용가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

미역 추출물의 제조

본 실험에 사용한 미역은 부산광역시 기장군 기장읍 대변리 연근해 미역 양식장에서 신선한 것을 구입하여 수돗물로 수세한 후, 1주일간 통풍 음건하여 사용하였다. 미역 추출물은 미역 분말 20 g에 acetonitrile 1 L를 가하여 1일 동안 실온에서 추출한 다음 이를 완전히 농축하였다. 미역 추출물을 이용한 미역 항염증제제 (Anti-inflammatory agent containing *U. pinnatifida* extract: AIAU)는 4% 추출물, 80% 에탄올, 5% Tween-80, 0.5% ascorbate, 증류수의 비율로 제조하여 실험에 사용하였다.

미역추출물 염증제제의 감마선 조사

감마선 조사는 한국 원자력 연구원 정읍 방사선과학연구소

의 방사선 조사 시설 (IR-79, Nordion International Ltd., Ontario, Canada)을 이용하였다. 선원으로 100 KCi의 ⁶⁰Co를 사용하였으며, 실온에서 시간당 10 kGy/h의 선량율로 조사하여 10, 30, 50, 100, 150 및 200 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 조사하였다. 감마선 조사한 시료는 4℃냉장보관하면서 실험에 사용하였다.

색도측정

추출물을 일정 농도로 희석하여 UV/visible spectrophotometer (GENESYS 10UV, Rochester, NY., USA)로 200~1100 nm에서 scanning하여 추출물의 주된 갈색 색소인 fucoxanthin의 최대 흡수파장인 425 nm를 확인하였다. 감마선을 조사한 후의 미역 추출물을 425 nm에서 그 흡광도를 측정하여 갈색의 감소정도를 측정하였다.

부종 억제효과

부종 억제효과 실험은 미역의 acetonitrile 추출 건조물을 최종농도가 40 mg/mL 되도록 에탄올에 녹여 주조성물로 만든 본 항염증제제에 대한 생체 내 (in vivo) 부종 억제효과를 확인하였다. 실험군당 최소 7마리 이상의 BALB/c mouse (약 6-8주령, 20-25 g body weight)를 사용하여 측정하였으며 그 중 최상 및 최하값을 제외한 5마리에 대한 평균값±SE를 구하였다. 부종의 유발은 마우스 한쪽 귀의 안쪽 면에 아세톤으로 용해한 PMA (Phorbol 12-myristate 13-acetate: 0.2 μg/10 μL)를 10 μL씩 골고루 도포하여 10시간 후에 Spring-loaded micrometer (Mitutoyo Corp., Tokyo)로 부종 두께를 측정하였다. 이때 본 항염증제제 10 μL씩을 혼합하여 도포한다. 부종 값 (AU)은 $(T_{10}-T_0)/T_0$ 로서 표시하며, 이때 T_{10} 은 PMA 도포 10시간 후의 귀 두께이며 T_0 는 0 시간 때의 귀 두께이다. 추출물이 없는 제제 조성물 자체만을 포함한 대조구의 PMA 경우는 약 0.81 ± 0.04 AU 값을 보였다. 상대적 억제율 (%)은 $(1-제제부종값/대조구부종값) \times 100$ 으로 표시하였다.

총혈 억제효과

미역 항염증제제에 대한 생체 내 (in vivo) 총혈 억제효과를 확인하기 위하여는 상기의 부종억제효과 실험에서와 같이 PMA를 10 μL씩 도포하여 10시간 후에 귀의 총혈 정도를 digital photo analysis 방법 (Khan et al., 2008)에 따라 디지털 카메라로 촬영하여 이를 컴퓨터상에서 Adobe Photoshop 7.0 프로그램으로 총혈의 색상을 붉은 색상 (magenta)값으로 측정하였다. 총혈 값은 $(R_{10}-R_0)/R_0$ 로서 표시하며, 이때 R_{10} 은 PMA 도포 10시간 후의 귀의 붉은 색상 값이며 R_0 는 0 시간 때의 귀의 붉은 색상 값이다. 추출물이 없는 제제 조성물 자체만을 포함한 대조구의 PMA 경우는 약 0.58 ± 0.01 AU 값을 보였다. 상대적 억제율 (%)은 $(1-제제총혈값/대조구총혈값) \times 100$ 으로 표시하였다.

Laser Speckle Flowgraphy

미역 항염증제제에 대한 생체 내 (in vivo) 혈류를 확인하기 위하여 상기의 부종억제효과 실험에서와 같이 PMA를 10 μL씩 도포하여 10시간 후에 귀의 국부적인 혈류를 laser speckle

flowgraphy (Inflameter LFG-1; SoftCare, Fukuoka, Japan)를 이용하여 측정하였다. Lee et al. (2003)의 방법에 따라 마우스 한쪽 귀의 안쪽 면에 레이저 빔으로 스캐닝하고, 이를 컴퓨터 상에서 지름 5 mm 크기의 부위에 대한 국부적인 혈류를 측정하였다. 혈류 값은 $(B_{10}-B_0)/B_0$ 로서 표시하며, 이때 B_{10} 은 PMA 도포 10시간 후의 귀의 혈류 값이며 B_0 는 0 시간 때의 귀의 혈류 값이다. 추출물이 없는 제제 조성물 자체만을 포함한 대조구의 PMA 경우는 약 0.081 ± 0.005 AU 값을 보였다. 상대적 억제율(%)은 $(1-\text{제제혈류값}/\text{대조구혈류값}) \times 100$ 으로 표시하였다.

Total phenolic compound 함량

총 페놀화합물 함량은 Folin-Denis법 (Swain and Hillis, 1959)을 변형하여 측정하였다. 즉 시료 0.5 mL과 Folin-ciocalteu's 용액 0.5 mL를 혼합하여 실온에 3분간 정치시켰다. 여기에 무수 탄산나트륨 포화용액 1 mL을 첨가하고 초순수로 반응용액이 10 mL가 되게 정용하였다. 상온에서 1시간 방치시킨 후, UV/visible spectrophotometer로 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 gallic acid를 사용하여 검량곡선을 작성하여 시료의 총 페놀화합물 함량을 구하였다.

DPPH radical 소거능

DPPH radical 소거능은 Blois (Blois, 1958)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 0.5 mL과 0.2 mM DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)용액 0.5 mL를 혼합한 후 실온에서 30분간 방치한 다음 UV/visible spectrophotometer로 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 공시험구는 DPPH 용액 대신 methanol 0.5 mL을 넣고 흡광도를 측정하였다. 전자 공여능(%)은 $[1-(\text{시료 첨가구 흡광도}-\text{공시험 흡광도})/\text{무첨가구 흡광도}] \times 100$ 으로 표시하였다.

결 과

색도 측정

갈조류인 미역은 갈색 색상을 나타내는 carotenoid의 일종인 fucoxanthin을 다량 함유하고 있으며, 이는 300-500 nm의 파장에서 특징의 흡수대를 가지는 특징이 있다 (Masio et al., 1989). 미역 항염증제제의 최대 흡수파장을 측정한 결과, 약 425 nm에서 최대 흡수파장을 확인하였고, 이에 감마선 조사에 의한 색상의 변화를 425 nm에서 측정하였다. 그 결과, Fig. 1과 같이 50 kGy의 감마선 조사로 ascorbate 첨가구는 원래 갈색의 9% 정도, ascorbate 무첨가구는 23% 정도만의 갈색을 보이며, 150 kGy의 조사로 두 경우 모두 거의 최대로 색상을 제거 할 수 있었다. 그리고 200 kGy 조사량으로는 모두 원 갈색의 6-7%만 남아 육안으로는 거의 갈색 색상을 띄지 않았다. 이를 통해 감마선 조사로 미역 항염증제제의 갈색을 효과적으로 제거 할 수 있음을 확인하였다.

부종 억제효과

미역 항염증제제의 갈색 색상을 제거하기 위하여 처리된 방사선 조사량에 따라 미역 항염증제제의 부종 억제효과가 감소되었는지의 여부를 측정된 결과는 Fig. 2와 같다. 쥐의 귀에 PMA를 포함한 대조구를 국소 도포하여 일으킨 부종반응은 10시간 후에 최고로 0.81 ± 0.04 AU의 값을 나타내었다. 미역 항염증제제의 경우 ascorbate 첨가구와 ascorbate 무첨가구가 모두 0.02-0.06 AU의 강한 항부종 효과를 지녔다. 이들 각각에 방사선 조사량을 200 kGy까지 증가시켜도 유의적인 항부종 효과의 감소는 측정되지 않았다. 즉 200 kGy의 방사선 조사 범위 내에서는 ascorbate 첨가와 상관없이 대조군에 비교하여 약 92% 이상의 부종 억제율을 그대로 유지하여 항부종 활성에는 아무런 영향이 없었다.

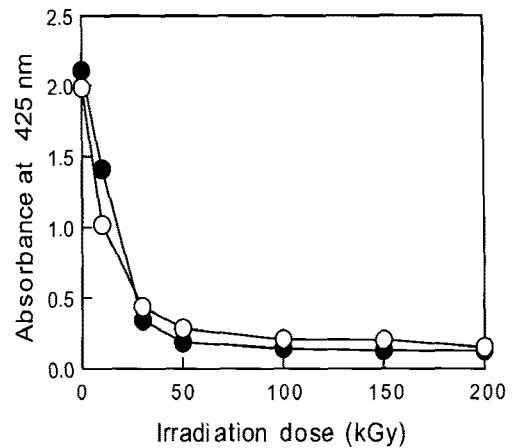


Fig. 1. Diminution of brown color of the anti-inflammatory agent containing *U. pinnatifida* extract (AIAU) by gamma irradiation. Agents containing 4% *U. pinnatifida* extract (○) and mixture of 4% *U. pinnatifida* and 0.5% ascorbate (●).

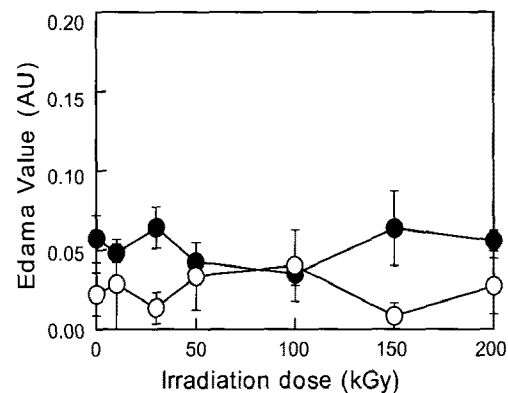


Fig. 2. Anti-edema activity of the AIAU after gamma irradiation. Agents containing 4% *U. pinnatifida* extract (○) and mixture of 4% *U. pinnatifida* and 0.5% ascorbate (●). The edema value of control without *U. pinnatifida* extract was 0.81 ± 0.04 AU.

귀에 PMA를 포함한 대조구를 국소 도포하여 일으킨 부종반응은 10시간 후에 최고로 0.81 ± 0.04 AU의 값을 나타내었다. 미역 항염증제제의 경우 ascorbate 첨가구와 ascorbate 무첨가구가 모두 0.02-0.06 AU의 강한 항부종 효과를 지녔다. 이들 각각에 방사선 조사량을 200 kGy까지 증가시켜도 유의적인 항부종 효과의 감소는 측정되지 않았다. 즉 200 kGy의 방사선 조사 범위 내에서는 ascorbate 첨가와 상관없이 대조군에 비교하여 약 92% 이상의 부종 억제율을 그대로 유지하여 항부종 활성에는 아무런 영향이 없었다.

총혈 억제효과

미역 항염증제제의 갈색 색상을 제거하기 위하여 처리된 방사선 조사량에 따라 미역 항염증제제의 총혈 억제효과가 감소되었는지의 여부를 측정된 결과는 Fig. 3과 같다. 쥐의 귀에 PMA를 포함한 대조구를 국소 도포하여 일으킨 총혈반응은 10시간 후에 최고로 0.58 ± 0.01 AU의 값을 나타내었다. 미역 항염증제제의 경우 ascorbate 첨가구와 ascorbate 무첨가

구의 경우 모두 0.05-0.07 AU의 강한 항충혈 효과를 지녔다. 이들 각각에 방사선 조사량을 200 kGy까지 증가시켜도 약간의 차이는 보였지만 유의적인 항충혈 효과의 감소는 측정되지 않았다. 즉 200 kGy의 방사선 조사 범위 내에서는 ascorbate 첨가와 상관없이 대조군에 비교하여 약 81% 이상의 충혈 억제율을 그대로 유지하여 항충혈 활성에는 아무런 영향이 없음을 알 수 있었다.

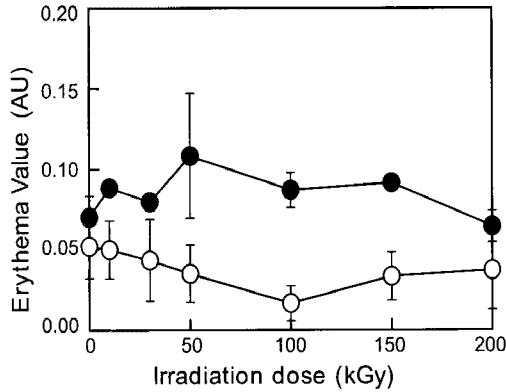


Fig. 3. Anti-erythema activity of the AIAU after gamma irradiation. Agents containing 4% *U. pinnatifida* extract (○) and mixture of 4% *U. pinnatifida* and 0.5% ascorbate (●). The erythema value of control without *U. pinnatifida* extract was 0.58 ± 0.01 AU.

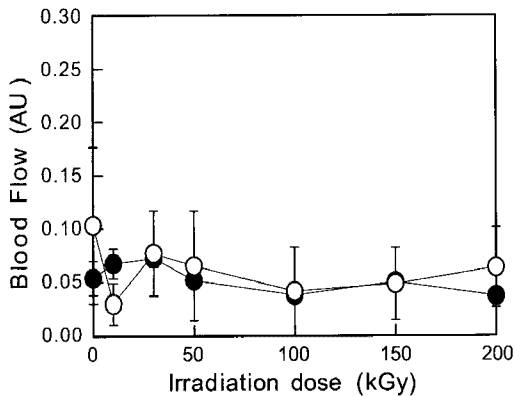


Fig. 4. Effect on blood flow by the AIAU irradiated with gamma ray. Agents containing 4% *U. pinnatifida* extract (○) and mixture of 4% *U. pinnatifida* and 0.5% ascorbate (●). The blood flow value of control without *U. pinnatifida* extract was 0.081 ± 0.005 AU

혈류측정

미역 항염증제제의 갈색 색상을 제거하기 위하여 처리된 방사선 조사량에 따라 미역 항염증제제에 의한 혈류 변화를 측정된 결과는 Fig. 4와 같다. 쥐의 귀에 PMA를 포함한 대조구를 국소 도포하여 일으킨 혈류반응은 10시간 후에 최고로 0.081 ± 0.005 AU의 값을 나타내었다. 이들 각각에 방사선 조사량을 200 kGy까지 증가시켜도 약간의 차이는 보였지만 유의적인 혈류변화는 측정되지 않았다.

총 페놀화합물 함량

식물계에 널리 분포되어 있는 페놀계열 화합물들은 구조식에서 hydroxyl 기가 존재하므로 공명 안정화된 구조를 갖게 되어 전자를 수용하는 기작으로 항산화 반응에 직접적으로 기여하게 된다. 미역 항염증제제에는 항산화작용이 강한 페놀계열 carotenoid 화합물인 fucoxanthin이 함유되어 있으며, 이들은 방사선 조사에 의하여 그 갈색 색상이 없어졌다. 따라서 그와 동시에 항산화 활성도 함께 소실되었는지의 여부를 확인하기 위하여 우선 방사선 조사량에 따른 총 페놀화합물들의 함량을 측정하였다. 그 결과 Fig. 5와 같이 ascorbate 첨가구가 무첨가구에 비해 높은 총 페놀화합물 함량을 보였으나, 두 실험구 모두 감마선 조사에 의해 총 페놀화합물 함량이 감소하였다. 특히 100 kGy의 감마선 조사에 의해 ascorbate 첨가구와 무첨가구가 각각 약 19와 26% 감소된 값을 보였으며, 200 kGy 조사에 의해 ascorbate 첨가구와 무첨가구가 각각 약 36과 44% 감소된 값을 보였다. 이를 통해, 미역 항염증제제의 페놀화합물들이 감마선 조사에 불안정하여 쉽게 파괴되나, 조성물에 0.5% 정도의 ascorbate 첨가를 통해 감마선 조사에의 안정도를 높일 수 있음을 알 수 있었다.

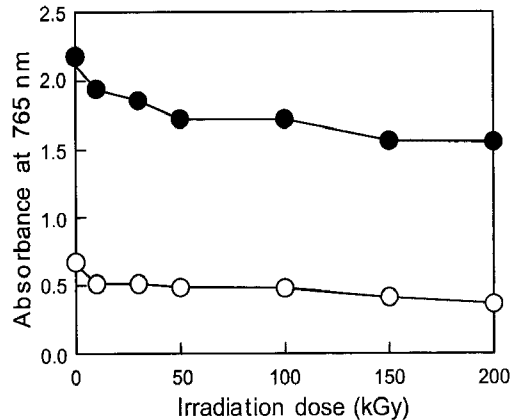


Fig. 5. Total phenolic compounds of the AIAU after gamma irradiation. Agents containing 4% *U. pinnatifida* extract (○) and mixture of 4% *U. pinnatifida* and 0.5% ascorbate (●).

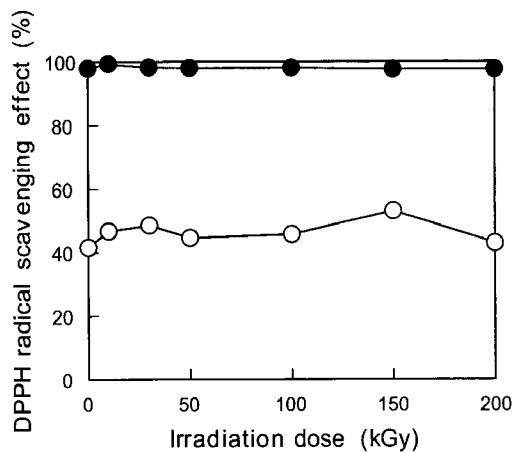


Fig. 6. DPPH radical scavenging activity of the AIAU after gamma irradiation. Agents containing 4% *U. pinnatifida* extract (○) and mixture of 4% *U. pinnatifida* and 0.5% ascorbate (●).

DPPH radical 소거능

천연 항산화제의 free radical 소거활성을 평가하는데 일반적으로 사용되는 DPPH법을 이용하여 미역 항염증제제의 항산화 활성을 측정하였다 (Fig 6). 그 결과, ascorbate를 첨가하지 않은 미역 항염증제제는 40 mg/mL 농도에서 41.59%의 DPPH radical 소거효과를 보였으며, ascorbate를 첨가한 경우 97.93%로 ascorbate 무첨가구에 비해 2배 이상 높은 radical 소거효과를 나타내었다. 미역 항염증제제의 항산화능에 대한 방사선 조사의 영향을 측정하기 위해, 시료에 10-200kGy의 방사선을 조사한 후 DPPH radical 소거능을 측정한 결과, ascorbate 무첨가구는 약 46-53%로 비조사구에 비해 다소 증가된 값을 보였다. 반면, ascorbate 첨가구는 약 97-99%로 비조사구와 유의적인 차이를 보이지 않았다.

고 찰

미역은 갈조류의 해조류로서 우리나라, 일본, 중국의 온대해역에서만 서식하는 일년생이며 예로부터 해채, 머육, 자채, 참미역, 진광 등의 이름으로 산모들이 출산 후에 산후조리용으로 많이 섭취하여 왔다. 1613년에 편찬된 허준의 동의보감 (Donguibogam Committee, 1999)에 의하면 미역은 성질이 차고 맛이 짜며, 독이 없으며 이는 열이 나면서 답답한 것을 없애고 영류와 기가 멎친 것을 치료하며 소변이 잘 나오게 한다고 한다. 중국에서도 전통적으로 미역을 소변이 잘 나오게 한다거나 부종의 치료에 사용하였다고 한다 (Tseng and Chang, 1984). 이러한 사용 목적은 대부분 항염증 효과와 관련된 것으로 여겨진다. 이러한 미역의 항염증 활성을 확인하였으며 (Khan et al., 2007), 항염증 활성을 가지는 미역 추출물의 색상을 개선시켜 의약품, 식품 등 기능성 소재활용으로 정제 과정을 거치지 않고 색소의 제거와 미역추출물의 생리활성의 변화를 확인하였다.

40 mg/mL의 미역 추출물의 부종 억제효과는 0.04 ± 0.01 AU 로써 PMA에 대하여 약 95.3%의 억제율을 가진다 (Cho et al, 2008). 미역 추출물이 40mg/mL 함유된 항염증 제제를 제조하여 쥐에 대한 항염증 활성을 측정한 결과, 0.01-0.04 AU 로써 방사선 조사에 따른 유의적인 활성의 변화를 나타내지 않았다.

신체의 산화적 스트레스에 의해 생성되는 oxygen, superoxide, hydroxy radical, hydrogen peroxide 등과 같은 활성 산소종 (reactive oxygen species, ROS)들이 염증반응에 밀접하게 관여한다 (Heo et al., 2008). 이에 감마선 조사가 미역 항염증제제의 항산화능에 미치는 영향을 확인하기 위해 총 페놀화합물 함량과 DPPH radical 소거능 변화를 측정하였다.

먼저 감마선 조사에 의한 미역 항염증제제의 총 페놀화합물 함량 변화를 측정한 결과, ascorbate 첨가구와 무첨가구 모두 방사선 조사에 의해 총 페놀화합물 함량이 감소하였다. 이는 Brazilian bean에 10 kGy 감마선 조사 시 총 페놀화합물 함량이 비조사구에 비해 감소하였다는 보고 (Villavicencio et al., 2000)와 일치하였다. 감마선 조사에 의한 이러한 페놀화합물 함량의 감소는 감마선 조사에 의해 생성된 radical에 의해 페놀

화합물의 benzene ring이 파괴되거나, 페놀화합물이 다른 물질과 재결합함에 의한 것으로 사료된다 (Perez et al., 2007). 그리고 100 kGy와 200 Kgy의 고선량 조사구의 경우 ascorbate가 첨가구가 무첨가구에 비해 페놀화합물 함량 감소 정도가 낮음을 확인하였다. 따라서 미역 항염증제제의 페놀화합물 함량의 감소를 방지하기 위해 조성물에 0.5% 정도의 ascorbate를 첨가하는 것이 보다 안정적인 것으로 사료된다.

감마선 조사에 의한 미역 항염증제제의 DPPH radical 소거능의 변화를 측정한 결과, ascorbate 첨가구의 경우 감마선 비조사구와 조사구가 약 97-99%의 DPPH radical 소거능을 보였다. 이를 통해 ascorbate를 첨가한 미역 항염증제제의 radical 소거능이 매우 높으며, 방사선 조사에 의해 그 활성이 변하지 않는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 녹차 (Son et al., 2001)와 비트 (Kim et al., 2007)가 높은 DPPH radical 소거능을 가졌으며, 감마선 조사가 이들의 항산화 활성에 영향을 주지 않는다는 보고 및 한약재 (Byun et al., 2001)에 감마선 조사한 결과 DPPH radical 소거능에는 영향을 끼치지 않는다는 보고와 일치하였다. 또한 ascorbate의 첨가에 따른 미역 항염증제제의 radical 소거능을 비교해보았을 때, ascorbate의 첨가구가 무첨가구에 비해 2배가량 높은 활성을 보였으며, 이는 천연 항산화제인 ascorbate에 의한 항산화능의 증가를 의미한다. 이를 통해 ascorbate 첨가로 미역 항염증제제의 항산화 활성이 증진되며, 여기에 감마선을 조사하여도 그 활성이 변하지 않고 안정하게 유지됨을 확인하였다.

갈조류인 미역은 갈조소를 가지며, 이로 인한 진한 색은 미역 추출물의 산업적 활용 범위를 넓히는데 지장을 주게 된다. 이에 미역 항염증제제의 색상 개선을 위한 방법으로써 감마선 조사를 이용하였다. 감마선 조사에 따른 색도의 변화를 알아보기 위하여 미역 추출물의 최대흡수파장인 425 nm에서 방사선 조사선량에 따른 UV spectrum 흡수강도를 측정된 결과, 조사선량이 증가할수록 비조사구에 비해 UV spectrum 흡수강도가 낮아져 색이 옅어진 것을 알 수 있었다. 이는 감마선 조사로 미역 추출물에 존재하는 fucoxanthin의 파괴에 의한 것으로 사료되어진다. 이러한 결과는 미역과 같은 갈조류인 패 70% 에탄올 추출물 (Kim et al., 2009)과 파베기 모자반물 추출물 (Kim et al., 2008)의 색이 감마선 조사에 의해 옅어졌다는 연구 결과와 일치하였다. 해조류뿐만 아니라 감마선 조사에 의한 천연물의 색상변화에 대한 연구 보고는 녹차의 chlorophyll과 flavonoid계 색소가 감마선 조사에 의해 파괴되어 명도가 높아진 Son et al. (2001)의 연구, 감마선 조사로 비트의 betalain이 파괴되어 적색도와 황색도가 감소한 Kim et al. (2007)의 연구가 있다. 그리고 간장 (Song et al., 2001), 멸치액젓 (Kim et al., 2000)과 같은 장류에 감마선을 조사한 결과, 색도가 옅어진 연구 결과와도 일치한다.

본 연구결과를 통하여 미역 추출물 함유 샘플의 항염증 활성이 방사선 조사 후에 유의적인 변화를 가지지 않음을 알 수 있으며, 또한 방사선 조사 결과 미역의 고유 갈색이 옅어짐을 나타내었다. 따라서 방사선 조사를 통하여 갈색 색소를 미역 추출물의 의약, 건강기능성 식품 등에 활용가능할 것으로 사료되어진다.

사 사

본 연구는 국토해양부 마린바이오21사업의 해양바이오프로세스연구단 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 또한 대학원생 (JYK) 지원의 Brain Busan 21 Program에도 감사드립니다.

참고문헌

- Ahn JM and Song YS. 1999. Physico-chemical and sensory characteristics of cakes added sea mustard and sea tangle powder. J Korean Soc Food Sci Nutr, 28, 534-541.
- Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature 181, 1990-2100.
- Byun MW. 1994. Application of irradiation techniques to food industry. Radioisotope News, 9, 32-37.
- Byun MW, Yook HS, Kim KS and Chung CK. 1999. Effects of gamma on physiological effectiveness of Korean medical herbs. Radiat Phys Chem 54, 291-300.
- Cho JY, Kang JY, Khan MNA, Park NH, Kim SK and Hong YK. 2008. Anti-inflammatory activities of *Undaria pinnatifida* and *Laminaria japonica* (Phaeophyta). J Fish Sci Technol 10, 127-132.
- Dawczynski C, Schubert R and Jahreis G. 2007. Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. Food Chem 103, 891-899.
- Donguibogam Committee. 1999. Translated Donguibogam. Bubinmunwha Press, Seoul, Korea, 1-2198.
- Dyerberg J, Bang HO, Stoffersen E, Moncada S and Vane JR. 1978. Eicosapentaenoic acid and prevention of thrombosis and atherosclerosis? Lancet 2, 117-119.
- Dugan LR. 1980. Natural Antioxidants. In: Autoxidation in food and biological systems. M.G. Simis & M. KAREL, eds. Plenum Press, New York, U.S.A., 261.
- Heo JC, Lee DY, Son MS, Yun CY, Hwang JS, Kang SW, Kim TH and Lee SH. 2008. Effect of mole crickets (*Gryllotalpa orientalis*) extracts on antioxidant and anti-inflammatory activities. J Life Sci 18, 509-514.
- Hong YK. 2008. An extract of *Undaria pinnatifida* having anti-inflammatory activity. Korean Patent Registration Number 10-0807758.
- Hosokawa M, Kudo M, Maeda H, Kohno H, Tanaka T and Miyashita K. 2004. Fucoxanthin induces apoptosis and enhances the antiproliferative effect of the PPAR γ ligand, troglitazone, on colon cancer cells. Biochim Biophys Acta 1675, 113-119.
- Hwang JK, Hong SI, Kim CT, Choi MJ and Kim YJ. 1998. Quality Changes of meat patties by the addition of sea mustard paste. J Korean Soc Food Sci Nutr 27, 477-481.
- Jo C, Son JH, Lee HJ and Byun MW. 2003. Irradiation application for color removal and purification of green tea leaves extract. Radiat Phy and Chem 66, 179-184.
- Jo KS, Do JR and Koo JG. 1998. Pretreatment conditions of *Porphyra yezoensis*, *Undaria pinnatifida* and *Laminaria religiosa* for functional algae - tea. J Korean Soc Food Sci Nutr 27, 275-280.
- Jung YH, Kim GB, Choe SN and Kang YJ. 1994. Preparation of *Mook* with sea mustard and sea tangle-1. The optimum conditions of sea mustard and sea tangle mooks. J Korean Soc Food Sci Nutr 23, 153-163.
- Jung YH, Gook JL, Chang SH, Kim JB, Choe SN and Kang YJ. 1994. Preparation of *Mook* with sea mustard and sea tangle-2. Calcium contents and histochemical changes during processing *Mooks*. J Korean Soc Food Sci Nutr 23, 164-169.
- Khan MNA, Cho JY, Lee MC, Kang JY, Park NG, Fujii H and Hong YK. 2007. Isolation of two anti-inflammatory and one pro-inflammatory PUFAs from the brown seaweed *Undaria pinnatifida*. J Agric Food Chem 55, 6984-6988.
- Khan MNA, Lee MC, Kang JY, Park NG, Fujii H and Hong YK. 2008. Effects of the brown seaweed *Undaria pinnatifida* on erythematous inflammation assessed using digital photo analysis. Phytother Res 22, 634-639.
- Krinsky NI. 1994. Carotenoids and cancer, basic research studies, natural antioxidants in human and disease. Ann. New York Acad Sci 239, 1-6.
- Kim AR, Song EJ, Kim MJ, Lee SY, Kim KBWR, Kim JH, Kim SJ, Hong YK, Park JG, Kim JH, Lee JW, Byun MW and Ahn DH. 2008. Effects of gamma irradiation on antioxidant properties and physical characteristics of *Sargassum siliquastrum* water extract. J Korean Soc Food Sci Nutr 37, 357-361.
- Kim DH, Lim MS and Kim YO. 1996. Effect of seaweeds addition on the physicochemical characteristics of soybean curd. J Korean Soc Food Sci Nutr 25, 249-254.
- Kim HJ, Jo CH, Kim TH, Kim DS, Park MY and Byun MW. 2006. Biological evaluation of the

- methanolic extract of *Etiobotrya japonica* and its irradiation effect. *Korean J Food Sci Technol* 38, 684-690.
- Kim JH, Ahn HJ, Kim JO, Ryu GH, Yook HS, Lee YN and Byun MW. 2000. Sanitation and quality improvement of salted and fermented anchovy sauce by gamma irradiation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29, 1035-1041.
- Kim KH and Kim CS. 1982. Studies on the manufacture of *Undaria pinnatifida* laver and its physicochemical properties- I. Histochemical properties. *J Food Sci Technol* 14, 336-341.
- Kim KH and Kim CS. 1983. Studies on the manufacture of *Undaria pinnatifida* laver and its physicochemical properties - II. Chemical composition. *J Food Sci Technol* 15, 277-281.
- Kim KH, Lee SA and Yook HS. 2007. Effects of gamma irradiation on physicochemical properties of red beet and stability of betalain in the red beet (*Beta vulgaris* L.). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36, 453-457.
- Kim MJ, Song EJ, Lee SY, Kim KBWR, Kim SJ, Lee SJ, Yoon SY, Kim AR, Jeon YJ, Park JG, Choi JI, Lee JW, Byun MW and Ahn DH. 2008. Effects of γ -irradiation on antioxidant and physicochemical properties of *Ishige okamurae* extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37, 1485-1490.
- Kim MR, Kim JH, Wi DS, Na JH and Sok DE. 1999. Volatile sulfur compounds, proximate components, minerals, vitamin C content and sensory characteristics of the juices of kale and broccoli leaves. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28, 1201-1207.
- Kim SJ, Kweon DH and Lee JH. 2006. Investigation of antioxidative activity and stability of ethanol extracts of licorice root (*Glycyrrhiza glabra*). *Korean J Food Sci Technol* 38, 584-588.
- Kuh SE and Kim DS. 2001. Studies on the characteristics of cadmium biosorption by *Undaria pinnatifida*. *J KSEE* 23, 2065-2075.
- Lee JW, Yook HS, Cho KH, Lee SY and Byun MW. 2001. The changes of allergenic and antigenic properties of egg white albumin (*Gal d 1*) by gamma irradiation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30, 500-504.
- Lee MC, Konishi N and Fujii H. 2003. Blood flow analysis of skin tissue under the sacrum using laser speckle flowgraphy. *Optic Rev* 10, 562-566.
- Lee YJ. 2004. A study on mineral and alginic acid contents by different parts of sea mustards (*Undaria pinnatifida*). *Kor J Food Cult* 19, 691- 700.
- Mascio P, Kaiser S and Sies H. 1989. Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. *Arch Biochem Biophys* 274, 532-538.
- Maeda H, Hosokawa M, Sashima T, Funayama K and Miyashita K. 2005. Fucoxanthin from edible seaweed, *Undaria pinnatifida*, shows antiobesity effect through UCP1 expression in white adipose tissues. *Biochem Biophys Res Commun* 332, 392-397.
- MLTM. 2008. Statistic Database for Fisheries Production. Retrieved from <http://stat.mltm.go.kr/annual/report.jsp> on July 21.
- Muraoka D and Saitoh K. 2005. Identification of *Undaria pinnatifida* and *Undaria undarioides* Laminariales, Phaeophyceae using mitochondrial 23S ribosomal DNA sequences. *Fish Sci* 71, 1365-1369
- Murata M, Ishihara K and Saito H. 1999. Hepatic fatty acid oxidation enzyme activities are stimulated in rats fed the brown seaweed, *Undaria pinnatifida* (Wakame). *J Nutr* 129, 146-151.
- Nomura T, Kikuchi M, Kubodera A and Kawakami Y. 1997. Proton-donative antioxidant activity of fucoxanthin with 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH). *Biochem. Mol Biol Int* 42, 361-370.
- Park IB, Kim SJ, Ma SJ, Park JW and Jung ST. 2005. Preparation of jelly using enzyme soluble extracts of sea mustard (*Undaria pinnatifida*). *Kor J Food Cult* 20, 421-425.
- Perez MB, Calderon NL and Croci CA. 2007. Radiation-induced enhancement of antioxidant activity in extracts of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Food Chem* 104, 585-592.
- Rioux LE, Turgeon SL and Beaulieu M. 2007. Characterizations of polysaccharides extracted from brown seaweeds. *Carbohydr Polym* 69, 530-537.
- Sanchez-Machado DI, Lopez-Cervantes J, Lopez-Hernandez J and Paseiro-Losada P. 2004. Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. *Food Chem* 85, 439-444.
- Son JH, Jo C, Kim MR, Kim JO and Byun MW. 2001. Effect of gamma irradiation on removal of undesirable color from green tea extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30, 1305-1308.
- Song TH, Kim DH, Park BJ, Shin MG and Byun MW. 2001. Changes in microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated *Kanjang* and

- Shoyu*. Korean J Food Sci Technol 33, 338-344.
- Suetsuna K, Maekawa K and Chen JR. 2004. Antihypertensive effects of *Undaria pinnatifida* (wakame) peptide on blood pressure in spontaneously hypertensive rats. J Nutr Biochem 15, 267-272.
- Swain T and Hillis WE. 1959. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I-The quantitative analysis of phenolic constituents. J Sci Food Agric 10, 63-68.
- Thayer DW. 1990. Food irradiation: Benefits and concerns. J Food Quality 13, 147-169.
- Thompson KD and Dragar C. 2004. Antiviral activity of *Undaria pinnatifida* against *Herpes simplex* virus. Phytother Res 18, 551-555.
- Tseng CK and Chang CF. 1984. Chinese seaweeds in herbal medicine. Hydrobiologia 116/117, 152-154.
- Villavicencio ALCH, Mancini-Filho J, Celincee H and Greiner R. 2000. Effect of irradiation on anti-nutrients (total phenolics, tannins and phytate) in Brazilian beans. Radiat Phys Chem 57, 289- 293.

2009년 7월 28일 접수

2009년 8월 19일 수정

2009년 10월 19일 수리