

파배기 모자반 물 추출물의 항산화능과 물리적 특성에 대한 감마선 조사의 영향

김아람¹ · 송유진¹ · 김미정¹ · 이소영¹ · 김꽃봉우리¹ · 김진희¹ · 김서진¹ ·
홍용기² · 박진규² · 김재훈² · 이주운² · 변명우² · 안동현^{1*}

¹부경대학교 식품생명공학부
²한국원자력연구원 방사선 과학연구소

Effects of Gamma Irradiation on Antioxidant Properties and Physical Characteristics of *Sargassum siliquastrum* Water Extract

Ah-Ram Kim¹, Eu-Jin Song¹, Mi-Jung Kim¹, So-Young Lee¹, Koth-Bong-Woo-Ri Kim¹,
Jin-Hee Kim¹, Seo-Jin Kim¹, Yong-Ki Hong¹, Jin-Gyu Park², Jae-Hun Kim²,
Ju-Woon Lee², Myung-Woo Byun², and Dong-Hyun Ahn^{1*}

¹Faculty of Food Science & Biotechnology/Institute of Food Science,
Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

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

Abstract

In this study, the antioxidant properties and physical characteristics of irradiated *Sargassum siliquastrum* water extract were evaluated. Samples were irradiated with Co⁶⁰ γ -ray at doses ranging from 3 to 20 kGy. They were then analyzed to investigate antioxidant properties, including total phenolic compound content and DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical scavenging activity. In addition, physical properties such as viscosity and color were evaluated. The results demonstrated that total phenolic compound content and DPPH radical scavenging activity were significantly improved ($p < 0.05$) by irradiation. In terms of physical properties, viscosity and color were reduced in the irradiated extracts as compared to non-irradiated samples. In conclusion, gamma irradiation improved the antioxidant properties of *Sargassum siliquastrum* water extract, improving its original weak point as a natural antioxidant when applied in the food industry.

Key words: *Sargassum siliquastrum* water extract, antioxidant, gamma irradiation, physical characteristic

서 론

우리나라는 고도의 경제성장과 소득증대로 인하여 국민들의 전반적인 생활수준이 향상되었고 식생활 패턴의 변화와 더불어 음식섭취에 대한 욕구가 영양과 에너지 측면뿐만 아니라, 기호성과 생체의 항상성 유지 및 생리기능 조절 작용에까지 이르렀다(1). 특히, 최근 항산화 효과에 대한 천연물 검색이 육상생물에서 뿐만 아니라 해양생물에서도 활발히 연구되고 있으며(2) 해조류의 경우 일반적으로 영양가는 풍부하지 않지만 다양한 생리활성 물질들을 가지고 있는 것으로 보고되고 있다(3). 생리활성 물질로 각광을 받고 있는 성분들로서, 갈조류에는 점질성 다당류인 alginic acid, laminarin, mannitol 및 fucoidan 등이 있고, 홍조류에는 agar-agar, carrageenan 및 porphyran 등이 함유되어 있다. 이외에도 방향환이나 락톤환에 붙어 있는 물질, terpene 골격을

구성하는 물질, 페놀류, 직쇄 탄화수소 구조를 가지는 물질, 할로겐화 지방족, 황함유 화합물 등이 알려져 있다(4,5). 그리고 일반적으로 해조류의 생리활성은 갈조류가 녹조류나 홍조류에 비하여 비교적 높은 활성을 보이며, 특히 모자반과에서 뛰어난 활성이 있다고 알려져 있다(6).

본 연구에 사용한 파배기모자반(*Sargassum siliquastrum*)은 모자반목 모자반과에 속하는 저서 갈조류로 일본에 주로 분포되고, 우리나라에도 동해안 중부 이남에서부터 남해안, 서남해안 및 제주도 일대 등 전역에 폭넓게 자생하고 있는 해조류이다(7). 파배기모자반에 대한 생리활성은 항산화 활성(8), 항균활성(9), 세포독성 억제(10), 간 보호 활성(11) 등이 보고되고 있으나, 산업적 이용을 위한 학술적인 연구는 미미한 실정이다. 또한, 갈조류의 점질성 다당류는 다양한 생리활성 기능을 가지고 있으나, 식품에 적용 시 높은 점성을 나타내며 용해시키기 어려운 문제점(12)이 있다.

*Corresponding author. E-mail: dhahn@pknu.ac.kr
Phone: 82-51-620-6429, Fax: 82-51-622-9248

식품산업에서의 감마선 조사기술은 병원성 미생물 및 유해 미생물의 사멸에 의한 위생화, 식량자원의 장기보존 및 손실방지, 그리고 국가 간 식량교역에 따른 검역관리 기술로써 이용되고 있고(13), 이미 국제기구(FAO, IAEA, WHO)와 선진 여러 나라에서 그 안전성과 기술적 타당성이 인정되었으며(14), Codex 기준이 채택됨에 따라 2002년 현재 52개국에서 230여 식품(군)에 대하여 식품조사기술의 이용을 허가하고 있다(15). 또한, 감마선 조사기술은 잔류독성이 없고 식품 원래의 품질 유지가 가능하여 가공공정에까지 이용범위가 확대되고 있다(16). 특히 최근에는 천연 추출물의 감마선 조사에 의한 투명한 색상으로의 변화가 보고되고 있어 천연물 유래 기능성 소재의 개발에도 감마선의 활용이 이루어지고 있다(17). 그리고 감마선 조사로 인한 식품성분의 생리활성변화에 대한 연구 또한 활발히 이루어지고 있어, chitosan(18), 대두(19), phytic acid(20) 등의 항산화 활성에 감마선 조사가 다양한 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다. 이에 파배기모자반 물 추출물의 식품산업에의 이용 가능성을 검토하기 위해 감마선 조사에 따른 항산화능의 변화와 물리적 특성의 변화를 알아보았다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용한 파배기모자반은 부산 인근 해안에서 채취하여 담수로 깨끗이 씻은 다음 동결 건조하여 잘게 분쇄시킨 후 -70°C 에서 동결 저장하면서 사용하였다.

추출

분말 상태의 파배기모자반을 80% 에탄올로 추출한 후 물을 이용하여 추출하였다. 먼저 80% 에탄올을 시료의 10배량 가하여 실온에서 24시간 교반하면서 추출한 후 원심분리기(UNION 32R, Hanil Co., Korea)로 3000 rpm에서 10분간 원심분리 하였다. 상층액을 취한 후 잔사에 동일한 용매를 가하여 같은 방법으로 2회 반복 추출하였고, 잔사는 37°C 에서 건조하였다. 물 추출물은 건조한 잔사에 10배량의 증류수를 첨가하여 추출하였다. 상층액은 여과지(Advantec 5A)로 여과한 후 rotary evaporator(RE200, Yamato Co., Japan)로 농축하여 37°C 에서 건조하였다. 건조한 시료는 -20°C 에서 보관하면서 실험에 사용하였다.

감마선 조사

파배기모자반 물 추출물을 4 mg/mL의 농도로 증류수에 용해한 후 수용액 상태로 조사하였다. 감마선 조사는 한국원자력연구원 방사선과학연구소에 있는 선원 10만 Ci의 Co-60 감마선 조사시설(IR-79, Nordion International Ltd., Ontario, Canada)을 이용하여 3, 7 및 20 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 감마선을 조사한 시료는 4°C 냉장 보관하였고, 필요에 따라 희석하여 실험에 이용하였다.

Total phenolic compound 함량

총 페놀화합물 함량은 Folin-Denis법(21)을 변형하여 측정하였다. 즉 시료 용액에 Folin-ciocalteu's phenol reagent를 첨가하여 3분간 반응시키고 무수 탄산나트륨 포화용액을 첨가하여 초순수로 반응물이 10 mL이 되게 하였다. 상온에서 1시간 방치시킨 후, UV/visible spectrophotometer(GENESYS 10 UV, Rochester, NY., USA)로 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이 때 총 페놀화합물 함량은 gallic acid를 이용하여 작성한 검량곡선을 이용하여 구하였다.

DPPH radical 소거능

DPPH radical 소거능은 Blois(22)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 0.5 mL에 0.2 mM DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 용액 0.5 mL를 넣고 vortex한 후 실온에서 30분간 방치한 다음 UV/visible spectrophotometer로 517 nm에서 흡광도를 측정하였다.

점도 측정

감마선 처리한 파배기모자반 물 추출물의 겔보기 점도는 원추평판형(Cone and plate) 회전식 점도계(Brookfield DV-II+ viscometer, USA)를 사용하여 측정하였다. 4 mg/mL 농도의 시료 4 mL를 주입하고 25°C 를 유지하면서 40 cP용 spindle을 이용하여 회전속도를 0.5 rpm에서 30 rpm까지 바꾸어가면서 측정하였다.

UV spectrum 측정

파배기모자반 물 추출물을 일정 농도로 희석하여 UV/visible spectrophotometer로 200~1100 nm에서 scanning하여 물 추출물의 최대흡수파장을 얻었다. 최대흡수파장에서 감마선 조사한 파배기모자반 물 추출물의 UV spectrum 흡수강도를 측정하여 색의 변화를 알아보았다.

통계처리

실험 결과의 통계처리는 각각의 시료에 대한 평균±표준오차로 나타내었다. SAS program을 이용하여 분산분석을 실시하였으며, 조사 항목들 간의 유의성 검정은 Duncan 다중검정법으로 $p < 0.05$ 수준에서 실시하였다.

결과 및 고찰

Total phenolic compound 함량

페놀화합물은 free radical들과 쉽게 수소교환반응을 일으킬 수 있는 활성을 가진 수소 원자가 존재하여 공명으로 안정화될 수 있는 구조를 가지고 있어 많은 페놀 화합물들이 항산화 활성을 나타내는 것으로 알려져 있다(23). 이에 천연물의 항산화 활성에 관한 연구에서 페놀화합물의 함량과 항산화능의 연관성에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있어(24) 본 연구에서는 감마선 조사에 따른 파배기모자반 물 추출물의 항산화 활성 변화를 알아보기 위해 총 페놀화합물

Table 1. Total phenolic compound content of irradiated *Sargassum siliquastrum* water extract

| Dose of irradiation (kGy) | Total phenolic compound content (mg/g of dry sample) |
|---------------------------|------------------------------------------------------|
| 0 | 5.63±0.01 ^{D1)} |
| 3 | 5.80±0.02 ^C |
| 7 | 6.21±0.06 ^B |
| 20 | 6.69±0.01 ^A |

¹⁾Means in the same column bearing different superscript are significantly different (p<0.05).

의 함량을 측정하였다(Table 1). 감마선 조사에 따른 파배기 모자반 물 추출물의 총 페놀화합물의 함량 변화를 알아본 결과, 3~20 kGy의 감마선을 조사한 파배기모자반 물 추출물의 총 페놀화합물 함량이 5.80~6.69 mg/g으로 비조사구인 5.63 mg/g에 비해 높은 폴리페놀 함량을 보였고, 조사선량이 증가할수록 유의적으로 증가하여 20 kGy 조사구는 6.69 mg/g으로 가장 높은 함량을 나타내었다. 이를 통해 감마선 조사가 파배기 모자반 수용액의 총 페놀화합물 함량을 증가시킴으로 인해 항산화능을 증대시킬 수 있을 것으로 사료된다. 수용액 상태의 시료에 감마선을 조사하면 물의 radiolysis로 인해 생겨난 ·OH radical이 벤젠고리에 결합하는 강한 hydroxylation 반응이 일어나는 것으로 알려져 있다(25). 뿐만 아니라 천연물 내의 많은 페놀화합물들이 탄수화물이나 고분자 중합체의 일부분으로 존재하고 있는데 방사선 조사에 의해 그 연결 고리가 끊어지면서 페놀화합물이 분리되어 나오는 것으로 알려져 있으며, 고분자의 페놀화합물이 분해되면서 저분자의 여러 개의 페놀화합물로 분해되는 것으로도 보고되고 있다(26). 따라서 감마선 조사한 파배기모자반 물 추출물 내의 총 페놀화합물 함량의 증가는 추출물내의 페놀화합물이 다른 분자들과 중합체를 이루고 있다 가 감마선 조사에 의해 결합이 끊어지면서 유리되기 때문인 것으로 사료된다. 이상의 결과를 통해 감마선 조사는 현재까지 보고된 바와 같이 고형분 상태의 천연물의 페놀화합물(27) 뿐만 아니라 수용액 상태의 천연물 추출액의 페놀화합물 함량에도 영향을 미치는 것으로 생각된다.

DPPH radical 소거능

천연 항산화제의 free radical 소거활성을 평가하는데 일반적으로 사용되는 DPPH법을 이용하여 파배기모자반 물 추출물의 감마선 조사에 따른 항산화능의 변화를 알아보았다(Table 2). 그 결과, 파배기모자반 물 추출물은 4 mg/mL 농도에서 84%의 DPPH radical 소거효과를 나타내었다. Matsukawa 등(28)은 17종 해조류의 DPPH radical 소거능을 조사한 결과, 3종의 모자반과 해조류(*Sargassum horneri*, *Sargassum siliquastrum*, *Sargassum thunbergii*) 물 추출물이 50% 이상의 radical 소거능을 보여 가장 높은 활성을 보였다고 보고하였으며, 이는 본 연구 결과와 유사하였다. 그리고 3~20 kGy의 감마선 조사 시 파배기모자반 물

Table 2. DPPH radical scavenging effects of irradiated *Sargassum siliquastrum* water extract

| Dose of irradiation (kGy) | DPPH radical scavenging effect (%) ¹⁾ |
|---------------------------|--------------------------------------------------|
| 0 | 84±3.7 ^{B2)} |
| 3 | 87±1.2 ^{AB} |
| 7 | 91±1.2 ^A |
| 20 | 89±0.5 ^A |

¹⁾Concentration: 4.0 mg/mL

²⁾Means in the same column bearing different superscript are significantly different (p<0.05).

추출물의 DPPH radical 소거능이 약 87~89%로 나타나 비조사구에 비해 높은 radical 소거능을 나타내었고, 조사선량이 증가할수록 유의적으로 증가하였다. 이는 파배기모자반 물 추출물에 대한 감마선 조사선량이 증가함에 따라 총 페놀화합물 함량이 증가한 결과와 유사하였으며, 이러한 결과로 파배기모자반 물 추출물의 DPPH radical 소거능이 페놀화합물과 상관관계가 있음을 추측할 수 있다. 이러한 감마선 조사에 의한 DPPH radical 소거능의 증가 결과는 chitosan 수용액(18), 대두 추출물(19) 및 phytic acid(20)에 감마선을 조사 시 조사선량이 증가할수록 DPPH radical 소거능이 증가되는 경향을 보인 것과 유사하였다. 한편, 감마선 조사가 녹차(17) 및 한약재(29)의 DPPH radical 소거능에 영향을 주지 않았다는 보고는 본 연구결과와 다소 다른 경향을 나타내었다. 이처럼 현재까지는 감마선 조사에 의한 항산화능 변화의 일반적인 경향은 밝혀지지 않았으나, 물질의 종류, 감마선 조사선량 등에 따라 다른 경향을 보이고 있다(29). 이상의 결과를 종합해보면 감마선 조사로 인해 파배기모자반 물 추출물의 페놀화합물 함량이 증가하는 경향을 보였고, DPPH radical 소거능 또한 조사선량이 증가할수록 증가하여 감마선 조사에 의해 항산화능이 다소 증가함을 확인하였다.

점도

대부분의 해조류 유래 물 추출물은 다량의 다당류를 함유하고 있어 식품가공공정에 저해요소가 될 만큼의 높은 점성을 나타낸다(12). 이러한 문제를 해결하기 위해 다당류를 저분자화하는 방법으로 산 가수분해법, 효소처리 및 물리적 처리법 등이 이용되고 있다. 그러나 이러한 방법들은 제품의 불균일성, 효소 확보의 어려움 및 대량생산의 어려움 등과 같은 단점을 가지고 있다. 반면에 감마선 조사는 물의 radiolysis로 인해 생성된 free radical이 분자 중합체를 이루는 결합을 끊어주어 저분자화 시키는 방법으로 균일한 제품의 대량생산이 가능한 효율적인 방법이다(30). 이에 본 연구에서는 파배기모자반 물 추출물을 수용액 상태에서 감마선을 조사하여 점도의 변화를 측정하였다. 3~20 kGy의 감마선을 조사한 파배기모자반 물 추출물의 점도 변화를 측정된 결과(Fig. 1), 비조사구의 점도가 2.45 cP였으나 3 kGy에서 7 kGy로 조사선량이 증가할수록 2.15 cP에서 1.53 cP로 감소하였고 그 이상의 조사선량에서는 변화를 보이지 않았다. 이는

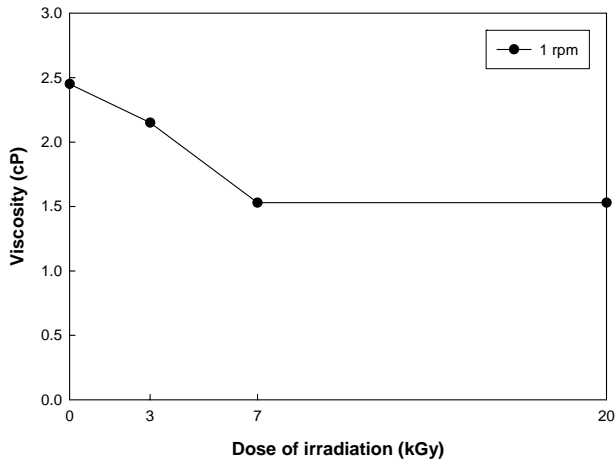


Fig. 1. Viscosity of irradiated *Sargassum siliquastrum* water extract.

파배기 모자반 물 추출물 속 다당류의 glycosidic bond가 감마선 조사에 의해 파괴되어 저분자화 되면서 점성이 낮아진 것으로 생각된다(31). 이와 같이 감마선 조사에 의한 점도의 유의적인 감소 결과는 chitosan 수용액(18)과 알긴산 및 카라기난 수용액(31), 검은 후추(32), 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분(33) 등에 감마선 조사 시 점도가 비조사구에 비해 감소한 결과와 일치하였다. 따라서 감마선 조사는 높은 점성을 가져 식품에의 이용이 어려운 해조류 물 추출물의 문제점을 해결할 수 있을 것으로 예상되며, 감마선 조사한 파배기모자반 물 추출물을 식품에 적용 시 가공 특성을 개선시킬 수 있을 것으로 생각된다.

색 변화

다양한 생리활성을 가진 천연물을 이용하여 식품 및 관련 산업에 적용하려는 시도가 증가하고 있으나 이들에 다량 함유되어있는 클로로필과 같은 색소로 인해 나타나는 고유의 진한 색상이 가공 시에 문제점으로 부각되고 있다(34). 이에 천연물의 감마선 조사에 의한 투명한 색상으로의 변화를 목적으로 파배기모자반 추출물에 감마선을 조사하여 UV spectrum 흡수강도를 측정하였고, 이를 통해 색의 변화를 알아보았다. 파배기모자반 물 추출물의 조사선량에 따른 색의 변화를 측정하기 위하여 비조사구의 최대흡수과장을 측정한 결과, 400 nm의 최대흡수과장을 얻었다. 최대흡수과장인 400 nm에서 감마선 조사한 파배기모자반 물 추출물의 흡광도를 측정하여 감마선 조사선량에 따른 UV spectrum 흡수강도를 측정한 결과(Fig. 2), 조사선량이 증가할수록 비조사구에 비해 UV spectrum 흡수강도가 낮아져 색이 얼어진 것을 알 수 있었다. 감마선 조사에 의한 천연물의 색상 변화에 대한 연구 보고는 녹차 내 클로로필과 플라보노이드계 색소가 감마선 조사에 의해 파괴되어 밝은 색을 나타냈다는 Son 등(17)의 연구가 있다. 또한, 간장(35)과 멸치액젓(36)에 감마선 조사한 결과, 갈색도가 떨어진 연구 결과는 본 연구의 파배기모자반 물 추출물과 유사한 경향을 나타내

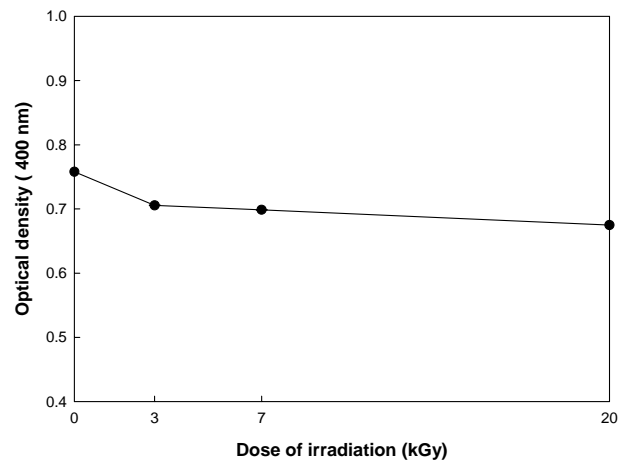


Fig. 2. UV spectrum absorption intensity of irradiated *Sargassum siliquastrum* water extract.

었다. 현재 식품산업에서 천연물을 첨가하여 사용할 때 천연물 자체의 색소로 인하여 다량 첨가할 수 없는 한계점이 있어 여러 가지 정제과정을 거쳐 완제품의 품질에 영향을 미치지 않도록 처리하는 것이 일반적인 방법이었으나 감마선을 이용하여 천연물의 색소성분을 제거한다면 복잡한 처리과정을 거치지 않아 많은 시간과 비용을 절감할 수 있을 것이다. 더불어 식품에 추출물을 다량 첨가할 수 있어 제품에서는 파배기모자반의 기능성을 최대한 살릴 수 있으며, 첨가물 소재의 고급화로 부가가치를 높일 것으로 생각된다.

요 약

본 연구에서는 파배기모자반 물 추출물에 식품산업에서 사용이 확대되고 있는 감마선 조사기술을 이용하여 항산화능의 변화를 알아보고, 파배기모자반 물 추출물의 높은 점성과 짙은 색상으로 인한 문제점을 개선하고자 하였다. 파배기모자반 물 추출물의 감마선 조사에 따른 항산화능의 변화를 알아보기 위해 총 페놀화합물 함량을 측정하고 DPPH radical 소거능을 측정하였다. 그 결과, 3~20 kGy의 감마선을 조사한 파배기모자반 물 추출물은 조사선량이 증가할수록 총 페놀화합물 함량이 증가하였고, DPPH radical 소거능도 증가하여 감마선 조사에 의해 항산화능이 증진되었다. 그리고 파배기모자반 물 추출물에 감마선 조사 시 물리적 특성 변화를 알아보기 위해 색상과 점도를 측정한 결과, 감마선 조사선량이 증가할수록 색이 얼어지고 점성이 감소하는 것으로 나타났다. 이를 통해 파배기모자반 물 추출물에 감마선을 조사한 후 식품에 적용 시 가공특성을 개선시킬 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 감마선 조사는 파배기모자반 물 추출물의 물리적 특성을 개선시키고 항산화능 또한 증진시키므로 식품산업에 적용 시 기존의 천연 항산화제의 단점을 개선시킬 수 있는 기술로서 사용이 확대될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 2006년도 원자력기반확충사업의 일환으로 수행되었으며, 부분적으로 2007년도 Brain Busan 21 사업에 의한 지원으로 이루어진 것으로, 연구비 지원에 감사드립니다.

문헌

1. Cho YJ, Yoon SJ, Kim JH, Chun SS. 2005. Biological activity of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 446-450.
2. Park JH, Kang KC, Baek SB, Lee YH, Lee KS. 1991. Separation of antioxidant compounds from edible marine algae. *Korean J Food Sci Technol* 23: 256-261.
3. Schwartsmann G, Rocha AB, Berlinck GS, Jimeno J. 2001. Marine organisms as a source of new anticancer agents. *Oncol* 2: 221-225.
4. Lahaye M, Kaeffer B. 1997. Seaweed dietary fibers: structure, physicochemical and biological properties relevant to intestinal physiology. *Sci Aliments* 17: 536-584.
5. Ruperez P, Ahrazem O, Leal J. 2002. A potential antioxidant capacity of sulfated polysaccharides from the edible marine brown seaweed *Fucus vesiculosus*. *J Agric Food Chem* 50: 840-845.
6. Lee NH, O KL. 2000. Screening of radical scavenging effects from marine algae. *Cheju J Life Sci* 3: 95-101.
7. Dawson EY. 1974. *Marine botany*. Kang JW, ed. Daehan book publishing Co., Seoul. p 224-226.
8. Cho SH, Kang SE, Cho JY, Kim AR, Park SM, Hong YK, Ahn DH. 2007. The antioxidant properties of brown seaweed (*Sargassum siliquastrum*) extracts. *J Med Food* 10: 479-485.
9. Lee SY, Kim JH, Kim KBWR, Song EJ, Kim AR, Park SM, Han CS, Ahn DH. 2007. Antimicrobial activities of medicinal herbs and seaweeds extracts against microorganisms isolated from the rice warehouses. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 476-480.
10. Numata A, Kanbara S, Takahashi C, Fujiki R, Yoneda M, Usami Y, Fujita E. 1992. A cytotoxic principle of the brown alga *Sargassum tortile* and structures of chromenes. *Phytochem* 31: 1209-1213.
11. Park JC, Choi JS, Song SH, Choi MR, Kim KY, Choi JW. 1997. Hapatoprotective effect of extracts and phenolic compound from marine algae in bromobenzene-treated rats. *Korean J Pharmacogn* 28: 239-246.
12. Kim KS, Lee MH, Cho SH. 2002. Radical degradation of sodium alginate. *J Chitin Chitosan* 7: 8-13.
13. Byun MW, Yook HS, Jo SK, Chong YJ. 1996. Status and prospects of food irradiation technology in Korea. *J Food Sci Nutr* 1: 262-268.
14. FAO/WHO. 1984. Codex general standard for irradiated foods. Codex Alimentarius Commission, Rome, Italy.
15. Kwon JH. 2003. Commercialization of food irradiation technology and the identification of irradiated foods. *Food Sci Ind* 36: 50-55.
16. Lee JW, Yook HS, Cho KH. 2001. The change of allergenic and antigenic properties of egg white albumin (*Gal dl*) by gamma irradiation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 500-504.
17. Son JH, Jo C, Kim MR, Kim JO, Byun MW. 2001. Effect of gamma irradiation on removal of undesirable color from green tea extracts. *J Korean Food Nutr* 30: 1305-1308.
18. Rao MS, Chander R, Sharma A. 2006. Radiation processed chitosan a potent antioxidant. *BARC Newsletter* 273: 188-194.
19. Variyar PS, Limaye A, Sharma A. 2004. Radiation-induced enhancement of antioxidant contents of soybean (*Glycine max* Merrill). *J Agric Food Chem* 52: 3385-3388.
20. Ahn JH, Kim JH, Jo C, Kim MJ, Byun MW. 2004. Comparison of irradiated phytic acid and other antioxidants for antioxidant activity. *Food Chem* 88: 173-178.
21. Swain T, Hillis WE. 1959. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I-The quantitative analysis of phenolic constituents. *J Sci Food Agric* 10: 63-68.
22. Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1990-2100.
23. Choi SY, Kim SY, Hur JM, Choi HG, Sung NJ. 2006. Antioxidant activity of solvent extracts from *Sargassum thunbergii*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35: 139-144.
24. Tedesco I, Russo M, Russo P, Iacomino G, Russo GL, Carraturo A, Faruolo C, Moio L, Palumbo R. 2000. Antioxidant effect of red wine polyphenols on red blood cells. *J Nutr Biochem* 11: 114-119.
25. Breittfelner F, Solar S, Sontag G. 2002. Effect of γ -irradiation on phenolic acids in strawberries. *J Food Sci* 67: 517-521.
26. Harrison K, Were LM. 2007. Effect of gamma irradiation on total phenolic content yield and antioxidant capacity of almond skin extracts. *Food Chem* 102: 932-937.
27. Variyar PS, Bandyopadhyay C, Thomas P. 1998. Effect of gamma-irradiation on the phenolic acids of some Indian spices. *Int J Food Sci Technol* 33: 533-537.
28. Matsukawa R, Dubinsky Z, Kishimoto E, Masaki K, Masuda Y, Takeuchi T. 1997. A comparison of screening methods for antioxidant activity in seaweeds. *J Appl Phycol* 9: 29-35.
29. Byun MW, Yook HS, Kim KS, Chung CK. 1999. Effects of gamma irradiation on physiological effectiveness of Korean medicinal herbs. *Radiat Phys Chem* 54: 291-300.
30. Naotsugu N, Hiroshi M, Fumio Y, Tamikazu K. 2000. Radiation-induced degradation of sodium alginate. *Polym Degradat Stab* 69: 279-285.
31. Song EJ, Lee SY, Kim KBWR, Park JK, Kim JH, Lee JW, Byun MW, Ahn DH. 2007. Effect of gamma irradiation on the physical properties of alginic acid and λ -carrageenan. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 902-907.
32. Toru H, Setsuko T. 1996. Detection of irradiated peppers by viscosity measurement at extremely high pH. *Radiat Phys Chem* 48: 101-104.
33. An KA, Jo DJ, Kim HK, Kim SK, Kwon JH. 2004. Effect of gamma irradiation on viscosity and physicochemical properties of starches. *Korean J Food Sci Technol* 36: 547-552.
34. Kim SJ, Kweon DH, Lee JH. 2006. Investigation of antioxidant activity and stability of ethanol extracts of licorice root (*Glycyrrhiza glabra*). *Korean J Food Sci Technol* 38: 584-588.
35. Song TH, Kim DH, Park BJ, Shin MG, Byun MW. 2001. Changes in microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated *Kanjang* and *Shoyu*. *Korean J Food Sci Technol* 33: 338-344.
36. Kim JH, Ahn HJ, Kim JO, Ryu KH, Yook HS, Lee YN, 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.

(2008년 2월 18일 접수; 2008년 3월 7일 채택)