

지층이 추출물의 항산화, 항균 활성 및 물리적 특성에 미치는 감마선 조사의 영향

이소정 · 송유진 · 이소영¹ · 김꽃봉우리 · 윤소영 · 이청조 · 정지연 · 박나비 ·
곽지희 · 박진규² · 김재훈² · 최종일² · 이주운² · 변명우² · 안동현*

부경대학교 식품공학과/식품연구소, ¹한국식품연구원 전통식품연구단, ²한국원자력연구원 방사선 과학연구소

Effects of Gamma Irradiation on Antioxidant, Antimicrobial Activities and Physical Characteristics of *Sargassum thunbergii* Extract

So-Jeong Lee, Eu-Jin Song, So-Young Lee¹, Koth-Bong-Woo-Ri Kim, So-Young Yoon, Chung-Jo Lee, Ji-Yeon Jung, Na-Bi Park, Ji-Hee Kwak, Jin-Gyu Park², Jae-Hun Kim², Jong-Il Choi², Ju-Woon Lee², Myung-Woo Byun², and Dong-Hyun Ahn*

Department of Food Science & Technology/Institute of Food Science, Pukyong National University

¹Traditional Food Research Group, Korea Food Research Institute

²Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute

Abstract This study was carried out to determine the effect of gamma irradiation (3-20 kGy) on the antioxidant, antimicrobial activities and physical characteristics of *Sargassum thunbergii* (ST) extracts. When ST powder was treated by gamma irradiation, the yields and total phenolic compounds (TPC) of water extracts were increased, but radical scavenging activities were not changed. When ST extract was irradiated, the TPC and DPPH radical scavenging activities were increased. In addition, gamma irradiation of ST extract decreased viscosity and removed color. These results suggest that gamma irradiation would be a useful method for improving the physical characteristics of ST extract while maintaining native biological activities.

Key words: *Sargassum thunbergii*, antioxidant, antimicrobial, physical characteristics, gamma irradiation

서 론

생활수준의 향상과 서구화된 식생활로 인해 당뇨병, 비만, 고혈압 및 동맥경화증 등 각종 성인병이 급증하고 있다. 이에 질병의 치료, 예방 및 건강 증진을 위한 다양한 기능성 물질이 식품 및 의약품 소재로서 주목받고 있다. 기능성 소재로서는 독성을 가져 부작용을 유발하는 화학적 합성품보다는 안전한 천연물 유래의 기능성 물질이 소비자들에게 높은 선호도를 보이고 있다(1). 해조류는 식이성 섬유소인 다당류를 다량 함유하고 있을 뿐 아니라 비타민과 무기질이 풍부한 알칼리성 식품으로 산성식품의 소비가 많은 현대인의 생체 균형을 유지시켜주며, 다양한 생리활성을 가지는 천연물로 알려져 있다. 이러한 장점들에도 불구하고 김, 미역, 다시마, 파래 등 소수의 종만이 일반 식품으로 이용되고 있을 뿐, 해조류의 식품 산업에 대한 활용은 육상식물에 비해 매우 낮은 편이었다(2). 그러나 최근에는 다양한 해조류의 기능

성을 밝히고 이를 식품 및 의약품 신소재로 활용하고자하는 연구가 활발히 진행되고 있어 해조류의 이용이 증가되고 있는 실정이다(3). 일반적으로 해조류 중 갈조류가 녹조류나 홍조류에 비해 뛰어난 생리활성을 보이며(4), 특히 모자반과의 해조류들이 다양한 생리활성을 보이는 것으로 보고(5,6)되고 있다. 갈조식물(Phaeophyta) 모자반과(Sargassaceae)에 속하는 지층이(*Sargassum thunbergii*)는 우리나라 전 연안에 널리 분포하고 있는 갈조류로 조간대 하부에 뚜렷한 군락을 이루며 자란다. 어린식물은 사료로 이용되고 있으나 그 외에는 활용이 비교적 낮은 해조류이다. 지금까지 지층이에 대한 연구로는 일반성분(7)과 항산화(8), 항균(9), 항염증(10) 등의 생리활성 및 norisoprenoid 화합물들인 (+)-epiloliolide, (-)-loliolide, apo-9'-fucoxanthinone 등의 물질(11)이 보고되고 있을 뿐 지층이의 기능적 특성과 생리활성을 이용하여 산업적으로 적용할 수 있는 응용분야에 대한 연구는 미비한 실정이다.

한편, 식품을 안전하게 장기간 저장하기 위해서 가열, 화학약품 처리, 냉장 및 냉동 등의 가공공정이 필요하나 이들은 관리의 효율성, 비용, 건전성 및 환경오염 등의 문제를 가지고 있다(12). 감마선 조사 기술은 식품의 장기저장을 위한 새로운 기술로서 투과력이 강하여 식품 및 소재의 부패방지, 제품의 안전성 및 보존성 향상 등에 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 적절한 선량의 방사선 조사는 물리, 화학 및 관능적 특성에 영향을 크게 주지 않으면서 식품 중의 유해한 미생물을 사멸시켜 식품의 가공 공정에서도 이용범위가 점차 확대되고 있다(13). 최근에는 아몬드

*Corresponding author: Dong-Hyun Ahn, Department of Food Science & Technology/Institute of Food Science, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Tel : 82-51-629-5831

Fax : 82-51-629-5824

E-mail : dhahn@pknu.ac.kr

Received January 21, 2010; revised March 5, 2010;

accepted March 7, 2010

껍질(14), 대두(15), 복숭아(16) 등 다양한 천연물에 감마선 조사를 실시하여 항산화, 항균 등의 생리활성 변화에 대해 알아보는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 뿐만 아니라 감마선 조사를 통해 천연물의 진한 색상을 밝고 투명하게 개선시킨 결과들이 보고(17)되면서 천연물의 산업적 적용을 용이하게 하는데 감마선 조사가 이용될 수 있음이 밝혀지고 있다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 전 해안에 걸쳐 풍부하게 자생하고 있으며 높은 생리활성을 가지는 지충이(*Sargssum thunbergii*)에 감마선 조사를 실시하여 지충이의 항산화, 항균 활성 및 물리적 특성의 변화를 알아보고 기능성 식품 소재로서 산업적 이용 가능성을 알아보았다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 지충이(*Sargssum thunbergii*)는 부산 기장에서 채취한 것으로 담수로 깨끗이 수세하여 이물질들을 제거하고 건조하여 분쇄한 후 -20°C에서 보관하면서 실험에 사용하였다.

추출

지충이 분말에 10배량의 에탄올 또는 물을 가한 후 실온에서 shaker(Dongwon Science Co., Busan, Korea)를 이용하여 24시간 추출한 후 원심분리기(UNION 32R, Hanil Co., Incheon, Korea)로 3,000 rpm에서 10분간 원심분리 하였다. 상층액은 취하고 잔사를 다시 10배량의 용매를 가하여 2회 반복 추출하였다. 상층액을 여과지(Advantec 5A, Advantec MFS, Tokyo, Japan)로 여과하여 37°C에서 rotary evaporator(RE200, Yamato Co., Tokyo, Japan)로 농축시킨 뒤 -20°C에서 보관하면서 사용하였다.

감마선조사

한국원자력연구원 방사선과학연구소에 있는 감마선 조사 시설(Point source AECL, IR-79, MDS Nordion International Co., Ltd., Ottawa, Canada)을 이용하여 선원 10만 Ci, Co-60을 실온에서 시간당 일정 선량률로 분말 또는 추출물에 각각 3, 7 및 20 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 조사하였다. 감마선 조사한 시료는 4°C에서 보관하면서 실험에 사용하였다.

총 페놀화합물 함량 측정

총 페놀화합물 함량은 Folin-Denis법(18)을 변형하여 측정하였다. 초순수 6.5 mL에 시료 0.5 mL를 가하여 Folin-Ciocalteu's 용액 0.5 mL을 혼합한 후 3분간 반응시켰다. 반응이 끝나면 무수 탄산나트륨 포화용액 1 mL을 첨가하고 전체가 10 mL이 되도록 초순수를 가하여 상온에서 1시간 방치시킨 후 UV/visible spectrophotometer(GENESYS 10 UV, Rochester, NY, USA)로 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. Gallic acid를 표준물질로 하여 동일한 방법으로 작성된 표준곡선으로부터 총 페놀화합물 함량을 정량하였다.

DPPH 라디칼 소거능 측정

DPPH 라디칼 소거능은 Blois(19)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 0.5 mL에 0.2 mM DPPH(2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl)용액을 0.5 mL 분주하여 30분간 방치시킨 후, 517 nm에서 흡광도(GENESYS 10 UV)를 측정하였다. 대조구는 시료대신 용매를 가하여 동일한 방법으로 측정하였다. 또한 시료 자체의 색에 대한 흡광도 값을 보정해주기 위해 0.2 mM DPPH 대신에 메탄올을 첨가하여 흡광도를 측정하였다.

항균활성 측정

실험에 사용된 균주는 Table 1과 같이 그람 양성균 5종을 선정하여 사용하였다. 균주는 사면배지에 배양되어있는 균주의 단일 집락을 일 백금이 취한 후, 액체 배양하여 활성화시켜 사용하였다. 항균활성 실험은 높이가 4-5 mm인 Muller Hinton agar (MHA, Difco, Sparks, MD, USA) 배지에 약 10^5 - 10^6 CFU 농도가 되도록 균액을 분주한 후 도말하였다. 지름이 6 mm인 멸균 disc를 고정시키고 4 mg/mL 농도의 추출물을 20 μ L 흡수시켰다. 이를 실온에서 약 1시간가량 확산시킨 후 37°C incubator에서 24시간 배양하였다. 배양 후 형성된 clear zone의 크기로 항균력을 판단하였다.

UV spectrum 측정

지충이 에탄올 추출물 0.4 mg/mL을 UV/visible spectrophotometer(GENESYS 10 UV)로 380-700 nm에서 scanning하여 최대흡수파장을 얻었다. 감마선 조사에 따른 지충이 추출물의 색 변화는 UV/visible spectrophotometer로 지충이 추출물의 최대흡수파장에서 흡광도를 측정하여 나타내었다.

점도 측정

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

열 및 pH 안정성 시험

열처리하는 추출물의 농도를 4 mg/mL로 하여 60°C에서 10, 30 및 60분, 80°C와 100°C에서 각각 10 및 20분, 121°C에서 15분 처리하였다. 이를 급랭시킨 후 실험에 사용하였다. pH 처리는 추출물의 농도를 8 mg/mL로 하여 1 N NaOH와 1 N HCl을 가하여 pH 2, 4, 6, 8 및 10으로 처리하고 24시간 실온에서 방치시킨 후 본래의 pH로 중화시켜 이를 4 mg/mL 농도로 희석하여 실험에 사용하였다. 이때 안정성 실험은 총 페놀화합물 함량과 DPPH 라디칼 소거능을 통해 알아보았다.

Table 1. Lists of strains and media used for experiments

Category	Species	Strain number	Media
Bacteria	<i>Bacillus subtilis</i>	KCTC 35421	NB (Nutrient Broth, Difco)
	<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 6538	NB (Nutrient Broth)
	<i>Listeria innocua</i>	ATCC 33090	BHI (Brain Heart Infusion, Difco)
	<i>Lactobacillus plantarum</i>	KCTC 1048	MRS (Lactobacilli MRS Broth, Difco)
	<i>Listeria monocytogenes</i>	KCTC 3569	BHI (Brain Heart Infusion)

통계처리

실험결과에 대한 통계처리는 SAS program(Statistical analytical system V8.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석을 하였으며 조사 항목들 간의 유의성 검정은 $p < 0.05$ 수준에서 Turkey의 다중검정법으로 실시하였다.

결과 및 고찰

추출 수율

천연물의 추출 수율은 기능성 천연물을 식품 산업에 적용하는데 중요한 요소로 작용한다. 이에 추출 수율을 증대시키기 위해 아임계/초임계 추출법, 초음파 추출법, 초고압 처리법 등 다양한 방법이 연구되고 있다(20). 이와 함께 감마선 조사에 의한 천연물의 추출 수율 증진에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다(21). 따라서 지층이 분말을 3, 7 및 20 kGy로 감마선 조사한 후 각각 에탄올과 물로 추출하여 추출 수율을 알아보았다. 그 결과(Table 2), 에탄올 추출물은 3, 7 및 20 kGy에서 8.23, 8.14 및 7.96%의 값을 보여 비조사구인 8.08%와 큰 차이를 보이지 않았다. 반면 물 추출물에서는 20.03, 21.80 및 22.99%의 추출 수율을 보여 비조사구인 16.99%에 비해 모든 조사선량에서 추출 수율이 증가함을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 20여종의 한방약재에 10 kGy로 감마선 조사를 했을 때, 추출 수율이 유지 또는 다소 증가된 Yook 등(12)의 결과와 유사하며, *Antrodia camphorata*에 감마선 조사 시 15와 20 kGy에서 수율이 증가된 Huang 등(22)의 연구와도 유사한 결과를 보였다. 이는 감마선 조사로 인하여 고분자 물질이 저분자로 분해되면서 불용성 성분들이 가용성 성분으로 변해 용매에 녹아나오는 물질이 증가하였기 때문으로 사료된다(22).

총 페놀화합물 함량

식물계에 널리 존재하는 페놀화합물은 2차 대사산물로 다양한 구조와 분자량을 가지며, 이에 따라 이화학적 성질 및 생리적 기능도 매우 다양하게 나타난다(23). 이에 본 연구에서는 감마선 조사에 따른 총 페놀화합물의 함량 변화를 조사하였다. 지층이 분

말에 감마선 조사를 실시한 후 에탄올과 물로 추출하여 페놀함량을 측정된 결과(Table 2), 에탄올 추출물의 경우 3, 7 및 20 kGy 조사구가 7.23, 7.75 및 10.80 mg/g of dry sample의 페놀함량을 보여 5.24 mg/g of dry sample의 값을 보인 비조사구와 비교 시 조사선량에 따라 유의적인 증가를 나타내었다. 물 추출물에서는 조사구가 5.26-6.03 mg/g of dry sample의 값을 보여 4.46 mg/g of dry sample인 비조사구에 비해 높은 페놀함량을 보였으며 조사선량에 따라 유의적인 증가를 나타내었다. Variyar 등(24)에 따르면 고형분 상태에서 감마선 조사는 고분자인 tannin의 분해를 증가시켜 페놀화합물의 함량을 증가시킨다고 보고하여 본 연구와 유사한 경향을 보였다. 반면, Bae 등(25)은 왕겨, 미강 및 맥강에 5-20 kGy 선량으로 감마선 조사 시 조사선량에 따른 페놀함량은 유의적인 변화를 보이지 않았다고 보고하여 페놀함량은 감마선 처리 및 페놀화합물의 전구체 양 및 종류에 따라 다양한 차이를 보이는 것으로 사료된다.

한편, 지층이 에탄올 및 물 추출물에 감마선 조사를 실시한 후, 총 페놀화합물 함량을 측정된 결과(Table 3), 에탄올 추출물의 경우, 비조사구의 5.70 mg/g of dry sample에 비해 조사구가 선량에 따라 다소 감소하는 경향을 보였다. 그러나 물 추출물에서는 7 및 20 kGy에서 페놀함량이 비조사구에 비해 다소 증가하였다. 이는 파베기모자반 물 추출물에 3-20 kGy 감마선을 조사한 결과, 조사선량에 따라 페놀화합물 함량이 증가된 연구결과와 일치한다(26). 물 추출물에 들어있는 페놀화합물들 중 탄수화물이나 고분자 중합체의 일부분으로 존재하고 있는 경우가 있다. 따라서 이러한 고분자들이 감마선 조사에 의해 연결이 끊어져 페놀화합물이 분리되어 나오거나 고분자의 페놀화합물이 분해되면서 저분자의 여러 개의 페놀화합물로 분해되어 물 추출물의 페놀화합물이 증가한 것으로 사료된다(27).

DPPH 라디칼 소거능 변화

지층이 분말에 감마선 조사 후 에탄올 및 물로 추출하여 추출물의 DPPH 라디칼 소거능을 측정하였다(Table 2). 에탄올 추출물의 경우, 조사구가 약 89-91%의 라디칼 소거능을 보여 94%의

Table 2. The yield and antioxidant effect of extracts from *Sargassum thunbergii* powder with different doses of gamma irradiation

Irradiation dose (kGy)	Yields (%)		TPC (mg/g of dry sample)		DPPH radical scavenging effect (%) ¹⁾	
	Ethanol	Water	Ethanol	Water	Ethanol	Water
0	8.08	16.99	5.24±0.13 ^{d2)}	4.46±0.21 ^c	93.87±0.38 ^a	89.06±1.61 ^a
3	8.23	20.03	7.23±0.19 ^c	5.26±0.25 ^b	90.90±1.31 ^{ab}	89.39±0.22 ^a
7	8.14	21.80	7.75±0.02 ^b	5.72±0.27 ^{ab}	88.59±2.36 ^b	89.82±1.36 ^a
20	7.96	22.99	10.80±0.08 ^a	6.03±0.28 ^a	89.90±2.38 ^b	88.33±2.46 ^a

¹⁾Concentration of sample was 4 mg/mL.

²⁾Mean±SD with different letters (a-d) within the same column are significantly different from one another at $p < 0.05$ as determined by Turkey's multiple range test.

Table 3. The antioxidant effect of *Sargassum thunbergii* extracts with different doses of gamma irradiation

Irradiation dose (kGy)	TPC (mg/g of dry sample)		DPPH radical scavenging effect (%) ¹⁾	
	Ethanol	Water	Ethanol	Water
0	5.70±0.10 ^{a2)}	4.10±0.13 ^b	97.12±1.34 ^a	85.12±0.00 ^c
3	5.34±0.07 ^b	4.10±0.01 ^b	95.29±1.23 ^a	88.23±0.67 ^b
7	4.97±0.03 ^c	4.39±0.04 ^b	95.12±0.21 ^a	91.21±0.91 ^a
20	4.71±0.06 ^c	4.85±0.06 ^a	95.37±0.39 ^a	90.19±0.87 ^a

¹⁾Concentration of sample was 4 mg/mL.

²⁾Mean±SD with different letters (a-c) within the same column are significantly different from one another at $p < 0.05$ as determined by Turkey's multiple range test.

소거능을 보인 비조사구에 비해 다소 낮은 값을 보였으나 감마선 조사로 인한 큰 활성 차이는 보이지 않았다. 물 추출물의 경우 비조사구와 조사구 모두 88-89%의 유사한 라디칼 소거능을 보여 감마선 조사에 따른 유의적인 변화를 보이지 않았다. 또한, 지층이 에탄올 및 물 추출물에 감마선 조사를 실시한 후 DPPH 라디칼 소거능을 측정된 결과(Table 3)에서도 3-20 kGy 조사구가 약 95%의 라디칼 소거능을 보여 비조사구의 97%보다는 다소 낮았으나 큰 차이가 없었다. 물 추출물에서도 비조사구에 비해 조사구의 활성이 다소 증가하였으나 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 2.5-20 kGy의 감마선을 조사한 동결건조 버섯 메탄올 추출물의 라디칼 소거능이 차이를 보이지 않았다는 결과(22)와 Byun 등(28)의 한약재에 10 kGy 선량의 감마선 조사는 항산화활성에 영향을 미치지 않았다는 연구 결과와 일치하였다. 그러나 Monica 등(29)과 Kwon 등(30)은 각각 로즈마리와 소목 추출물에 감마선 조사 시 비조사구에 비해 유의적으로 라디칼 소거능이 증가한다고 보고하였고 Lampart-Szczapa 등(31)은 1-10 kGy 감마선 조사 시 lupin 추출물의 항산화활성이 조사선량이 증가함에 따라 유의적으로 감소한다고 보고하여 본 연구와 다른 결과를 보였다. 따라서 감마선 조사에 따른 항산화효과의 변화에 대한 일반적인 경향은 밝혀지지 않았으나 식물체의 종류와 추출용매 및 감마선 조

사선량에 따라 다른 경향을 보이는 것으로 사료된다.

열 및 pH에 대한 항산화활성 변화

식품가공 공정에서 열과 pH 처리는 미생물의 생육 억제와 저장기간의 증진을 위하여 필수불가결한 요소이다. 따라서 가공 식품에 천연물을 첨가하기 위해서는 추출물이 열과 pH에 안정하여야 한다. 본 연구에서는 높은 항산화활성을 가진 지층이 추출물에 감마선 조사를 실시하여 감마선 조사된 지층이 추출물의 열 및 pH에 대한 항산화활성의 안정성을 측정하였다. 지층이 에탄올 추출물에 60°C에서 10, 30 및 60분, 80과 100°C에서 10, 20분, 121°C에서 15분 처리하여 항산화활성을 측정된 결과, 페놀함량은 조사선량이 증가함에 따라 다소 변화하는 경향을 나타내었으나 조사선량에 따른 일정한 경향을 보이지 않았다(Table 4). DPPH 라디칼 소거능의 경우, 80°C까지는 조사선량에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았고 100°C 이후에는 유의적인 차이를 보였지만 활성의 차이는 크지 않았다(Table 5). 또한, 지층이 에탄올 추출물에 pH를 2, 4, 6, 8 및 10으로 처리한 후 중화시켜 항산화활성을 측정된 결과, 페놀함량은 pH 8-10에서 다소 낮아졌으며 조사선량에 따라 유의적인 차이를 보였으나 일정한 경향은 나타나지 않았다(Table 6). 반면, DPPH 라디칼 소거능은 pH 전범위에서 안

Table 4. Effect of heat on total phenolic compounds of *Sargassum thunbergii* ethanol extract with different doses of gamma irradiation

Temp. (°C)	Time (min)	TPC (mg/g of dry sample)			
		0 ¹⁾	3	7	20
60	10	6.07±0.18 ^{bc2)A3)}	6.64±0.28 ^{aA}	5.12±0.30 ^{abB}	5.12±0.00 ^{aB}
	30	6.59±0.35 ^{aA}	6.26±0.16 ^{bA}	5.46±0.28 ^{aB}	5.35±0.05 ^{aB}
	60	6.35±0.09 ^{abA}	6.25±0.03 ^{bA}	5.21±0.42 ^{aB}	4.84±0.14 ^{abB}
80	10	6.69±0.16 ^{aA}	6.35±0.12 ^{abA}	5.01±0.23 ^{abB}	5.06±0.60 ^B
	20	6.64±0.05 ^{aA}	6.18±0.05 ^{bcB}	4.96±0.16 ^{bcC}	4.82±0.18 ^{bcC}
100	10	6.66±0.02 ^{aA}	6.31±0.0 ^{abA}	4.86±0.02 ^{abB}	4.84±0.30 ^{abB}
	20	6.54±0.12 ^{aA}	6.21±0.17 ^{bcA}	4.94±0.18 ^{abB}	4.68±0.02 ^{abB}
121	15	6.17±0.12 ^{cA}	5.84±0.02 ^{cA}	4.46±0.21 ^{bB}	4.35±0.18 ^{bB}
Control		5.70±0.10 ^{cA}	5.34±0.07 ^{dB}	4.97±0.03 ^{bcC}	4.71±0.06 ^{bd}

¹⁾Irradiation dose.

²⁾Mean±SD with different letters (a-d) within the same column are significantly different at $p<0.05$ as determined by Turkey's multiple range test.

³⁾Mean±SD with different letters (A-D) within the same raw are significantly different at $p<0.05$ as determined by Turkey's multiple range test.

Table 5. Effect of heat on DPPH radical scavenging effect of *Sargassum thunbergii* ethanol extract with different doses of gamma irradiation

Temp. (°C)	Time (min)	DPPH radical scavenging effect (%) ¹⁾			
		0 ²⁾	3	7	20
60	10	94.72±0.22 ^{b3)A4)}	95.14±0.93 ^{cA}	94.85±1.66 ^{abA}	95.63±0.26 ^{abA}
	30	95.69±0.65 ^{abA}	95.05±0.55 ^{cA}	95.94±0.83 ^{abA}	95.71±0.61 ^{aA}
	60	95.95±0.36 ^{abA}	95.375±0.23 ^{bcA}	95.74±2.64 ^{abA}	95.98±0.81 ^{aA}
80	10	96.23±0.28 ^{abA}	96.78±0.40 ^{aA}	94.96±1.00 ^{abA}	95.76±1.06 ^{aA}
	20	96.67±0.12 ^{aA}	96.47±0.13 ^{abA}	95.21±1.08 ^{abA}	95.20±0.53 ^{abcA}
100	10	96.97±0.17 ^{abA}	95.33±0.16 ^B	96.77±0.38 ^{aA}	95.27±0.13 ^{abB}
	20	96.07±0.25 ^{abAB}	96.97±0.15 ^{aA}	95.27±0.59 ^{abB}	95.04±0.38 ^{bcC}
121	15	96.70±0.45 ^{aA}	95.82±0.13 ^{abcA}	93.10±0.70 ^{bB}	94.12±0.04 ^{bB}
Control		95.12±1.74 ^{abA}	95.04±0.12 ^{cA}	94.12±0.79 ^{aA}	95.29±0.14 ^{abcA}

¹⁾Concentration of sample was 4 mg/mL.

²⁾Irradiation dose.

³⁾Mean±SD with different letters (a-c) within the same column are significantly different at $p<0.05$ as determined by Turkey's multiple range test.

⁴⁾Mean±SD with different letters (A-C) within the same raw are significantly different at $p<0.05$ as determined by Turkey's multiple range test.

Table 6. Effect of pH on total phenolic compounds of *Sargassum thunbergii* ethanol extract with different doses of gamma irradiation

pH	TPC (mg/g of dry sample)			
	0 ¹⁾	3	7	20
2	5.43±0.00 ^{ab2)/A3)}	4.97±0.06 ^{bB}	4.56±0.03 ^{bD}	4.86±0.04 ^{aC}
4	5.75±0.35 ^{aA}	5.31±0.15 ^{aAB}	4.86±0.15 ^{aBC}	4.63±0.06 ^{aC}
6	5.69±0.78 ^{aA}	5.23±0.08 ^{aAB}	4.71±0.15 ^{abAB}	4.55±0.06 ^{aC}
8	4.62±0.10 ^{bAB}	4.78±0.00 ^{bA}	4.58±0.02 ^{aC}	4.24±0.07 ^{cC}
10	4.50±0.02 ^{bA}	4.05±0.03 ^{cB}	4.29±0.10 ^{cB}	4.19±0.10 ^{cB}
Control	5.70±0.10 ^{aA}	5.34±0.07 ^{aB}	4.97±0.03 ^{aC}	4.71±0.06 ^{abD}

¹⁾Irradiation dose.

²⁾Mean±SD with different letters (a-c) within the same column are significantly different at $p < 0.05$ as determined by Turkey's multiple range test.

³⁾Mean±SD with different letters (A-D) within the same raw are significantly different at $p < 0.05$ as determined by Turkey's multiple range test.

Table 7. Effect of pH on DPPH radical scavenging effect of *Sargassum thunbergii* ethanol extract with different doses of gamma irradiation

pH	DPPH radical scavenging effect (%) ¹⁾			
	0 ²⁾	3	7	20
2	95.74±0.35 ^{a3)/A4)}	95.08±0.00 ^{bA}	94.30±0.52 ^{bcdA}	96.68±1.80 ^{aA}
4	94.32±0.78 ^{aB}	97.32±0.37 ^{aA}	96.26±0.98 ^{aA}	96.67±0.34 ^{aA}
6	95.12±0.98 ^{aA}	95.43±1.21 ^{abA}	95.46±0.23 ^{abcA}	95.47±0.38 ^{aA}
8	95.50±0.99 ^{aA}	95.16±0.35 ^{bA}	94.07±0.26 ^{dA}	94.77±0.41 ^{aA}
10	94.96±0.12 ^{aA}	94.26±1.39 ^{bA}	95.74±0.35 ^{abA}	96.31±1.97 ^{aA}
Control	95.12±1.74 ^{aA}	95.04±0.12 ^{bA}	94.12±0.79 ^{cdA}	95.29±0.14 ^{aA}

¹⁾Concentration of sample was 4 mg/mL.

²⁾Irradiation dose.

³⁾Mean±SD with different letters (a-d) within the same column are significantly different at $p < 0.05$ as determined by Turkey's multiple range test.

⁴⁾Mean±SD with different letters (A-B) within the same raw are significantly different at $p < 0.05$ as determined by Turkey's multiple range test.

정함을 보였으며 조사선량에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 7). 이러한 결과는 꽤 추출물에 열처리 할 경우 추출물의 페놀함량과 라디칼 소거능이 안정함을 보였고 pH 처리에서는 pH 10에서 페놀함량이 다소 감소한 Kim 등(32)의 보고와 유사한 결과로 지층이 추출물은 열에 안정하며 pH에도 비교적 안정한 활성을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 감마선 조사된 지층이 추출물은 열과 pH에서 조사선량에 따라 페놀함량과 DPPH 라디칼 소거능이 유의적인 차이를 보이는 경우가 있으나 값의 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 이로 미루어보아 지층이 추출물은 감마선 조사 후 2차 가공공정 상에서도 활성의 변화가 거의 없을 것으로 사료되며 따라서 감마선 조사한 지층이 추출물을 효과적으로 식품산업에 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

항균활성 변화

감마선 조사한 지층이 에탄올 추출물의 조사선량에 따른 항균 활성을 알아보았다. 선행연구(9)에서 지층이 추출물의 항균활성은 에탄올 추출물에서 높았으며 실험에 사용된 모든 그람양성균에서 항균활성을 보임을 보고하였다. 따라서 이를 토대로 본 연구에서는 5종의 그람 양성균에 대해 감마선 조사한 지층이 에탄올 추출물의 항균활성을 측정하였다. 그 결과(Table 8), 실험에 사용된 모든 균주에 대해 감마선 조사된 지층이 추출물은 항균활성을 보였으며 조사선량에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 *Bacillus cereus*와 *Salmonella Typhimurium*에 대한 복분자 에탄올 추출물의 항균효과가 감마선 조사 전과 후 동일하다는 Kim 등(33)의 보고와 유사한 경향을 보였다. 또한 비파 에탄올 추출물의 감마선 조사에 따른 *Staphylococcus aureus*,

Escherichia coli, *Listeria innocua*, *B. subtilis* 및 *Pseudomonas aeruginosa*에서 감마선 조사 전 후의 활성변화에 유의적인 차이가 없다는 Kim 등(13)의 보고와도 일치하는 결과이다. 이상의 결과로 미루어보아 지층이 추출물의 항균활성은 감마선 조사에서도 활성의 변화를 보이지 않아 천연 보존제로서 감마선 조사를 통해 더욱 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

점도 변화

해조류의 물 추출물은 대부분 다량의 다당류를 함유하고 있어 식품가공공정에서 저해요소가 될 만큼의 높은 점성을 가지고 있다(34). 따라서 해조 추출물의 점도를 낮추는 것은 식품에 적용 시 중요한 공정 중 하나이다. 이에 본 연구에서는 3-20 kGy 선량의 감마선을 조사한 지층이 물 추출물의 조사선량에 따른 점도 변화를 측정하였다(Fig. 1). 그 결과, 4 mg/mL 농도의 지층이 물 추출물은 비조사구의 점도가 2.25 cP였으나 3, 7 및 20 kGy에서는 1.84, 1.33 및 0.61 cP로 조사선량에 비례하여 감소하였다. 이러한 결과는 알긴산 및 카라기난 수용액에 감마선 조사 시 조사선량에 따라 유의적으로 점도가 감소한 Song 등(27)의 연구와 일치하는 결과이며 메밀 전분에 5-30 kGy 감마선 조사 시 조사선량이 증가함에 따라 점도가 감소한 Lee 등(35)의 결과와도 유사한 경향을 보였다. 이처럼 물 추출물의 점도가 감마선 조사에 의해 감소되는 것은 물 추출물에 다량 함유되어 있는 다당류가 감마선 조사에 의해 glycosidic bond 결합이 파괴되어 저분자화 되기 때문인 것으로 사료된다(36). 따라서 감마선 조사에 의해 점도를 감소시켜 활성이 뛰어난 지층이 추출물의 식품 적용을 용이하게 할 수 있을 것으로 사료된다.

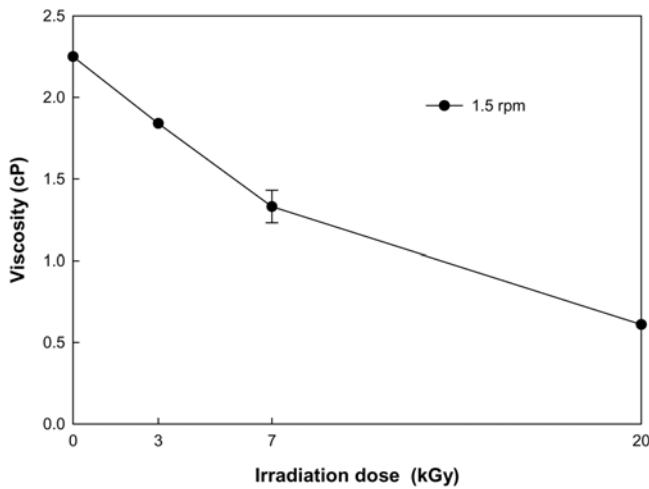


Fig. 1. The viscosity of *Sargassum thunbergii* water extract with different doses of gamma irradiation. The sample concentration was 4 mg/mL.

색 변화

생리활성을 가진 천연물을 식품산업에서 응용할 때 천연물 자체가 가지는 색소 성분이 식품의 품질에 영향을 미치기 때문에 다량 첨가할 수 없는 한계점이 있다. 따라서 여러 가지 정제과정을 거쳐 완제품의 품질에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 사용하는 것이 일반적인 방법이었다(26). 하지만 최근 감마선 조사에 의해 천연물의 색소가 파괴되어 밝은 색을 나타낸다는 보고(37)에 따라 감마선을 이용한 연구가 활발해지고 있다. 지충이 에탄올 및 물 추출물에 3, 7 및 20 kGy의 감마선을 조사한 뒤 비조사구의 최대흡수파장을 측정하여 에탄올 추출물은 최대 흡수 파장인 410 nm, 물 추출물은 400 nm의 파장을 얻어 감마선 조사선량에 따른 UV spectrum 흡수강도를 측정하였다. 그 결과(Table 9), 에탄올 추출물의 경우는 비조사구, 3, 7 및 20 kGy 조사구에서 각각 0.442, 0.397, 0.335 및 0.092의 흡광도 값을 보여 조사선량이 증가함에 따라 유의적으로 낮은 값을 보였다. 물 추출물은 7과 20 kGy 조사구가 비조사구에 비해 낮은 값을 보여 감마선 조사가 색의 변화에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 Son 등(38)의 연구에서 감마선 조사한 녹차의 명도는 증가한 반면, 적색도 및 황색도는 감소하였다는 결과와 유사한 경향으로 감마선 조사가 천연물내의 chlorophyll과 flavonoid 등의 색소 성분을 파괴시켜 밝은 색을 나타내는 것으로 사료된다. 따라서 감마선 조사에 의해 색소를 제거시켜 지충이 추출물을 복잡한 처리과정을 거치지 않고 식품 및 의약품 등 다양한 소재로 이용할 수 있으며, 제품에 첨가할 때도 더 많은 양을 첨가할 수 있으므로 기능성을 최대한 살릴 수 있어 산업적인 가치를 높일 것으로 기대된다.

Table 8. The antimicrobial activity of *Sargassum thunbergii* ethanol extract with different doses of gamma irradiation

Irradiation dose (kGy)	<i>B. subtilis</i>	<i>S. aureus</i>	<i>L. innocua</i>	<i>Lac. plantarum</i>	<i>L. monocytogenes</i>
0	+ ¹⁾	+	+	+	+
3	+	+	+	+	+
7	+	+	+	+	+
20	+	+	+	+	+

¹⁾Growth inhibition size of clearzone: +, smaller than 1.5 mm.

Table 9. The UV-spectrum absorption intensity of *Sargassum thunbergii* extracts with different doses of gamma irradiation

Irradiation dose (kGy)	Ethanol	Water
	Optical density at 410 nm ¹⁾	Optical density at 400 nm
0	0.442±0.005 ²⁾	0.280±0.004 ^a
3	0.397±0.003 ^b	0.278±0.011 ^a
7	0.335±0.001 ^c	0.221±0.013 ^b
20	0.092±0.006 ^d	0.200±0.002 ^b

¹⁾Concentration of sample: 0.4 mg/mL

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

요 약

지충이(*Sargssum thunbergii*) 분말 및 에탄올과 물 추출물에 감마선 조사를 실시한 후, 추출물의 항산화, 항균활성 및 물리적 특성 변화를 알아보았다. 그 결과, 지충이 분말에 감마선 조사를 하였을 때, 조사선량에 따라 물 추출물의 수율과 폐놀함량이 증가하였으며, DPPH 라디칼 소거능은 차이를 나타내지 않았다. 감마선 조사한 지충이 추출물의 열과 pH 처리에 따른 폐놀함량과 DPPH 라디칼 소거능 변화를 측정한 결과, 열 및 pH 처리에 안정한 항산화 활성을 보였다. 감마선 조사에 따른 항균활성 측정 결과, 5종의 그람 양성균에 대해 조사선량에 따른 활성의 차이를 보이지 않았다. 한편, 감마선 조사에 따른 색도 및 점도 변화를 알아본 결과, 색도와 점도는 감마선 조사선량의 증가에 따라 유의적으로 감소하였다. 이상의 결과를 통해 감마선 조사는 지충이 추출물의 항산화 및 항균활성 등의 생리활성은 유지시키면서 수율의 증진과 색도 및 점도의 개선을 통해 추출물의 가공적성을 향상시켜 기능성 식품소재로서 적용 가능성을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 한국원자력연구원 기관고유사업의 지원을 받아 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

문 헌

- Jung SJ, Lee JH, Song HN, Seong NS, Lee SE, Back NI. Screening for antioxidant activity of plant medicinal extracts. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 47: 135-140 (2004)
- Cho SH, Park SY, Choi SW. Effects of *Eisenia Bicyclis* extracts and pill on blood glucose and lipid profile in streptozotocin-induced diabetic mice. Korean J. Nutr. 41: 493-501 (2008)
- Heo SJ, Jeon YJ. Antioxidant effect and protecting effect against cell damage by enzymatic hydrolysates from marine algae. Food Indus. Nutr. 10: 31-41 (2005)
- Lee NH, O KL. Screening of radical scavenging effects from marine algae. Cheju J. Life Sci. 3: 95-101 (2000)

5. Lee EH, Ham J, Ahn HR, Kim MC, Kim CY, Pan CH, Um BH, Jun SH. Inhibitory effects of the compounds isolated from *Sargassum yezoense* on α -glucosidase and oxidative stress. Korean J. Pharmacogn. 40: 150-154 (2009)
6. Bae SJ. Anticarcinogenic effects of *Sargassum fulvellum* fractions on several human cancer cell lines *in vitro*. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 33: 480-486 (2004)
7. Choi SY, Kim SY, Hur JM, Shin JH, Choi HG, Sung NJ. A study on the physicochemical properties of the *Sargassum thunbergii*. Korean J. Food Nutr. 19: 8-13 (2006)
8. Choi SY, Kim SY, Hur JM, Choi HG, Sung NJ. Antioxidant activity of solvent extracts from *Sargassum thunbergii*. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 35: 139-144 (2006)
9. Lee SY, Song EJ, Kim KBWR, Yoon SY, Kim SJ, Lee SJ, Hong YK, Lim SM, Ahn DH. Antimicrobial activity of ethanol extract from *Sargassum thunbergii*. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 38: 502-508 (2009)
10. Kang JY, Khan MNA, Park NH, Cho JY, Lee MC, Fujii H, Hong YK. Antipyretic, analgesic, and anti-inflammatory activities of the seaweed *Sargassum fulvellum* and *Sargassum thunbergii* in mice. J. Ethnopharm. 116: 187-190 (2008)
11. Park KE, Kim YA, Hyun AJ, Lee HJ, Ahn JW, Lee BJ, Seo YW. Three norisoprenoids from the brown alga *Sargassum thunbergii*. J. Korean Chem. Soc. 48: 394-398 (2004)
12. Yook HS, Cha BS, Jo SK, Byun MW. Effects of gamma irradiation on microbial decontamination, extraction yields, and physiological effectiveness of Korean medicinal plants. Korean J. Food Sci. Technol. 30: 581-589 (1998)
13. Kim HJ, Jo C, Kim TH, Kim DS, Park MY, Byun MW. Biological evaluation of the methanolic extract of *Eriobotrya japonica* and its irradiation effect. Korean J. Food Sci. Technol. 38: 684-690 (2006)
14. Harrison K, Were LM. Effect of gamma irradiation on total phenolic content yield and antioxidant capacity of almond skin extracts. Food Chem. 102: 932-937 (2007)
15. Prasad SV, Ashwini L, Arun S. Radiation-induced enhancement of antioxidant contents of soybean (*Glycine max* Merrill). J. Agr. Food Chem. 52: 3385-3388 (2004)
16. Kim MS, Kim KH, Yook HS. The effect of gamma irradiation on the microbiological, physicochemical, and sensory quality of peach (*Prunus persica* L. Batsch cv Dangeumdo). J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 38: 364-371 (2009)
17. Kim KH, Lee SA, Yook HS. 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 (2007)
18. Swain T, Hillis WE. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I-The quantitative analysis of phenolic constituents. J. Sci. Food Agr. 10: 63-68 (1959)
19. Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature 181: 1990-2100 (1958)
20. Lee KJ, Um BH. Extraction of useful component from natural plants using ultrasound system. Korean J. Biotechnol. Bioeng. 23: 101-108 (2008)
21. Lee NY, Jo C, Sohn SH, Kim JK, Byun MW. Effects of gamma irradiation on the biological activity of green tea byproduct extracts and a comparison with green tea leaf extracts. J. Food Sci. 71: 269-274 (2006)
22. Huang SJ, Mau JL. Antioxidant properties of methanolic extracts from *Agaricus blazei* with various doses of γ -irradiation. LWT-Food Sci. Technol. 39: 707-716 (2006)
23. Cho YJ, Lee KH, Cha WS, Ju IS, Yun DH, An BJ, Lee SH, Kim MU, Kim JH, Chun SS. Purification and identification of inhibitory compounds from Cheongmoknosang mulberry leaves (*Morus alba* L.) on *Helicobacter pylori*. J. Appl. Biol. Chem. 52: 65-69 (2009)
24. Variyar PS, Bandyopadhyay C, Thomas P. Effect of gamma irradiation on the phenolic acids of some Indian spices. Int. J. Food Sci. Technol. 33: 533-537 (1998)
25. Bae SM, Kim JH, Cho CW, Jeong TJ, Yook HS, Byun MW, Lee SC. Effect of γ -irradiation on the antioxidant activity of rice hull, rice bran and barley bran. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 31: 246-250 (2002)
26. Kim AR, Song EJ, Kim MJ, Lee SY, Kim KBWR, Kim JH, Kim SJ, Hong YK, Park JG, Kim JH, Lee JW, Byun MW, Ahn DH. Effects of gamma irradiation on antioxidant properties and physical characteristics of *Sargassum siliquastrum* water extracts. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 37: 357-361 (2008)
27. Song EJ, Lee SY, Kim KBWR, Park JK, Kim JH, Lee JW, Byun MW, Ahn DH. Effect of gamma irradiation on the physical properties of alginate and λ -carrageenan. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 36: 902-907 (2007)
28. Byun MW, Yook HS, Kim KS, Chung CK. Effects of gamma irradiation on physiological effectiveness of Korean medicinal herbs. Radiat. Phys. Chem. 54: 291-300 (1999)
29. Monica BP, Natalia LC, Clara AC. Radiation-induced enhancement of antioxidant activity in extracts of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). Food Chem. 104: 585-592 (2007)
30. Kwon HJ, Jung UH, Park HR, Shin DH, Jo SK. Effects of gamma irradiation on color changes and antioxidative activities of *Caesalpinia sappan* L. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 36: 1055-1061 (2007)
31. Lampart-Szczapaa E, Korczak J, Nogala-Kaluckaa M, Zawirska-Wojtasiak R. Antioxidant properties of lupin seed products. Food Chem. 83: 279-285 (2003)
32. Kim MJ, Song EJ, Kim MJ, Lee SY, Kim KBWR, Kim SJ, Lee SJ, Yoon SY, Kim AR, Jeon YJ, Park JG, Choi JI, Lee JW, Byun MW, Ahn DH. Effect of γ -irradiation on antioxidant and physicochemical properties of *Ishige ikamurai* extracts. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 37: 1485-1490 (2008)
33. Kim HJ, Jo C, Kim HJ, Shin DH, Son JH, Byun MW. Effects of gamma irradiation on color changes and biological activities of ethanol extract of a mechanically pressed juice of *bokbunja* (*Rubus coreanus* Miq.). J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 35: 271-277 (2006)
34. Kim KS, Lee MH, Cho SH. Radical degradation of sodium alginate. J. Chitin Chitosan 7: 8-13 (2002)
35. Lee JH, Chang YI, Chang KS. Effect of gamma irradiations on physical properties of buckwheat starch. Food Eng. Prog. 4: 110-119 (2000)
36. Lee JW. Use of radiation technology for food industry and safety management. Korean Soc. Food Eng. 3: 20-44 (2005)
37. Jo C, Son JH, Byun MW. Irradiation application for color removal and purification of green tea leaves extracts. Radiat. Phys. Chem. 66: 179-184 (2003)
38. Son SH, Jo C, Oh MJ, Sohn CB, Byun MW. Studies on the changes of biological activity and physicochemical characteristics of gamma irradiated dandelion extracts. Food Eng. Prog. 10: 40-47 (2006)