

## 한약재 장기 보존을 위해 감마선 조사한 독활(*Aralia continentalis*) 추출물의 항산화 효과 비교

박혜진 · 홍은진 · 홍신협 · 조영제  
경북대학교 식품공학부/식품생물산업연구소

### Comparison of Anti-Oxidative Activities of Gamma-Irradiated *Aralia continentalis* Extracts for Long-Term Storage of Oriental Medicine

Hye-Jin Park, Eun-Jin Hong, Shin-Hyub Hong, and Young-Je Cho

School of Food Science & Biotechnology/Food & Bio-Industry Research Institute,  
Kyungpook National University

**ABSTRACT** In this study, extracts of gamma-irradiated *Aralia continentalis* for health and beauty food resources were examined on antioxidant activities and increasing extraction yield. In photostimulated luminescence analysis, non-irradiated (0 kGy) sample showed an intermediate result of 891.00 photon counts (PCs), whereas irradiated (5 and 10 kGy) samples showed positive results of 79,956.67 and 282,498.67 PCs, respectively. The thermoluminescence ratio of non-irradiated samples was 0.018, whereas the values of irradiated samples (5 and 10 kGy) were 0.395 and 0.464, respectively. Electron spin resonance (ESR) analysis as a physical technique for irradiation identification of *Aralia continentalis* showed a pair of peaks on a space of 6.0 mT in the symmetric ESR spectrums. For phenolics of gamma-irradiated *Aralia continentalis*, water extracts had the highest amounts of 7.61 mg/g at non-irradiated condition (0 kGy) while 50% ethanol extracts had the highest amounts of 6.86 mg/g at 10 kGy irradiation. 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging activity of water and 50% ethanol extracts from non-irradiated and irradiated *Aralia continentalis* were very high (94.99~100.00%). 2,2'-Azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) radical cation inhibitory activity was over 95.00% at 200 µg/mL phenolics. Antioxidant protection factor (PF) showed a very high level of activity (1.38~2.51 PF). Thiobarbituric acid reactive substance inhibitory activity was high (70% and 95%, respectively). Thus, treatment of gamma irradiation can be used as a method of storage for long-term preservation of Oriental medicine.

**Key words:** *Aralia continentalis* extracts, gamma irradiation, antioxidant activities, total phenolic compounds

## 서 론

독활(*Aralia continentalis*, 獨活)은 한약재로 사용되는 천연소재로 인삼, 오갈피나무, 두릅나무 등과 함께 두릅나무과에 속하는 다년생 초본 식물이며, 땅두릅, 땃두릅, 풀두릅, 토당귀, 인가목, 주마근, 피두릅, 뱃두릅, 강청, 호강사자, 독골로 등 다양한 이름으로 명명하고 있다(1). 주로 한국을 비롯한 일본, 중국 등 동아시아 산지에 널리 분포하며, 약용 부위는 뿌리로 근육통, 진통, 증풍의 반신불수 등에 많이 사용되며 줄기와 어린잎은 열 내림, 기침, 염증 등에 약으로 이용된다. 각종 풍을 다스리고 신경쇠약, 성기능 저하, 신장병, 당뇨병 등에 쓰기도 하며, 특유의 향이 있어 인기 있는 고급나물로 해외에 수출하는 유용한 식물자원이다(2,3). 현

재 독활 추출물의 영양성분에 관한 연구(1), 독활 뿌리 추출물로부터 분리한 물질의 항균 효과(4), 독활에서 분리된 활성물질의 nitric oxide inhibitor 작용 확인(5)을 통해 항염증 의약품 및 기능성 식품 소재로 실용화 가능성을 시사하였으며, 독활 추출물에서 분리한 화합물의 mitochondrial glycerol-3-phosphate acyltransferase에 대한 활성을 억제하여 중성지방 축적으로 인해 유도되는 비만 및 제2형 당뇨병과 같은 대사성 질환의 개선 및 치료 물질로서의 가능성을 확인(6)하는 등 다양한 기능성 소재로 활용하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

식품의 가공 및 저장 중 발생하는 산화는 식품 내 영양소 손상을 발생시켜 품질 저하를 야기할 뿐만 아니라 이로 인해 생성되는 각종 산화 생성물의 경우 인체의 DNA를 손상하거나 암을 유발해 세포의 기능장애를 비롯한 각종 질병을 일으키며 인간의 노화에도 관여하는 것으로 알려져 있다(7). 최근 인간의 수명이 증가하고 건강에 대한 관심이 높아짐에 따라 다양한 측면에서 노화 억제와 건강 유지를 위한 생리활성을 가진 기능성 물질에 대한 연구가 광범위하게 이루어지

Received 1 September 2016; Accepted 18 November 2016

Corresponding author: Young-Je Cho, School of Food Science & Biotechnology/Food & Bio-Industry Research Institute, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea  
E-mail: yjcho@knu.ac.kr, Phone: +82-53-950-7755

고 있으며(8), 특히 질병 치료를 목적으로 활성산소를 방어하는 천연물에서 추출한 항산화 물질이 주목받고 있다. 천연물 중 식물계에는 vitamins, carotenoids, flavonoids와 같은 페놀성 화합물들이 다량 존재하는데, 이러한 페놀성 화합물들은 항산화 활성, 항알레르기 활성, 항암 활성 등 다양한 생리활성 기능을 갖는 것으로 보고되고 있으며, 이를 이용하여 항산화 활성 및 식품, 의약품, 화장품 기능성 소재로서의 활용을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다(9).

한편 방사선 조사기술은 식품 살균에 이용되는 방법의 하나로, 특히 감마선 식품조사기술은 식품 고유의 풍미와 생화학적 품질을 유지하면서 미생물을 선택적으로 살균처리 하여 식품 및 한약재의 장기 저장에 유용한 기술로 알려져 있다(10). 식품의약품안전처에서는 건조향신료(10 kGy 이하), 인삼 제품류 및 건조채소류(7 kGy 이하) 등 26품목에 대해서만 방사선 조사 처리를 허용하고 있으며, 천연 약용식물에 대해서는 감마선 조사 처리를 허용하지 않고 있다(11). 하지만 한약재를 비롯한 천연 약용식물의 감마선 조사는 성분의 구조 변화에도 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 최근 천연물의 방사선 조사 처리를 통한 기능성 물질의 항산화 활성(10,12,13), 항암 활성(14), 항균 활성(15), 항당뇨 활성(16) 등 다양한 생리활성에 미치는 변화에 대해 활발하게 연구가 진행 중이다. 따라서 향후 감마선 조사 처리 기술은 위생 관리법뿐만 아니라 식품, 의약품, 화장품의 기능성 소재 개발 측면에서의 기능성 증대 및 산업화 적용의 활용도도 높아질 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 천연 약용식물인 독활을 위생적으로 장기간 보관하기 위하여 감마선 조사 처리한 후 조사 판별 분석법인 광자극발광법, 열발광분석법, 전자스핀공명법을 이용하여 약용식물의 감마선 조사 판별 marker를 확인하여 분석법 적용 가능성을 입증하고, 감마선 조사 처리가 독활 추출물의 항산화 효과에 미치는 변화를 살펴봄으로써 감마선 조사 처리가 한약재의 기능 활성 변화 없이 장기 저장을 위한 위생 처리방법으로의 활용 가능성을 검토하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 연구에 사용한 독활은 대구 소재의 시중 한약방에서 유통되는 국내산 한약규격품을 구입하였다. 시료의 방사선 조사 처리를 위해 조사구와 비조사구로 분류하여 사용하였고 방사선 조사 처리 marker 확인을 위해 그룹별로 시료를 세절하여 사용하였으며, 항산화 효과 확인을 위해 시료를 40 mesh로 분쇄하여 4°C에서 저온 저장하여 사용하였다.

### 시료 감마선 조사 처리(irradiation)

시료의 감마선 조사는 한국원자력연구원 첨단방사선연구소의 Co-60 감마선 조사시설(100 kCi point source, AECL,

IR-79, MDS Nordion International Co., Ltd., Ottawa, Canada)을 이용하여 실온에서 시간당 일정한 선량률로 0, 5, 10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 이때 흡수선량은 ceric/cerous dosimeter를 사용하여 확인하였다. 열발광 분석에서 재조사(re-irradiation)는 동일한 조사시설을 이용하여 1 kGy의 흡수선량을 얻도록 하였다.

### 광자극발광(photostimulated luminescence, PSL) 분석

광자극발광(PSL) 분석은 규소 화합물이 방사선 조사 처리를 통해 조사된 에너지를 저장하고, 이러한 규소 화합물에 적외선을 가하여 방출되는 에너지를 광자 수(photon counts, PCs)로 계산하여 조사 여부를 판단하는 방법으로 CEN(17) 및 식품공전(11) 방법에 따라 실시하였다. 측정용 시료는 세절하여 지름 50 mm 직경의 PSL 측정용 petri dish에 동일한 양을 바닥이 보이지 않게 깔고루 펼쳐 담아 준비하고 PSL screening system(Serial 0021, Scottish Universities Research and Reactor Center, Glasgow, UK)을 이용하여 각 시료당 3회 반복 측정하였다. 이때 시험 조작은 차광 조건에서 실시하였고, PSL 측정조건은 cycle 60 s, dark count 21, light count 23이었다. 조사 여부 판단을 위한 threshold value는 T<sub>1</sub>(700 count/60 s) 미만이면 음성시료(negative, 비조사 시료)로, T<sub>2</sub>(5,000 count/60 s) 초과이면 양성시료(positive, 조사 시료)로 판단하였으며, T<sub>1</sub>과 T<sub>2</sub> 사이의 값은 중간시료(intermediate, 조사 여부를 판단할 수 없는 시료)로 판정하였다(11).

### 열발광(thermoluminescence, TL) 분석

열발광(TL) 분석은 열을 이용하여 에너지를 방출시켜 광자 수로 계산하여 조사 여부를 판단하는 방법으로(18) CEN(19) 및 식품공전(20)에 따라 식품에 포함된 미네랄을 추출하여 분석하였다. 시료 50 g에 일정량의 증류수를 가하여 ultrasonic agitator(Power sonic 420, Whasin Tech, Daegu, Korea)에서 10분간 처리한 후, nylon sieve를 이용해 세척하여 여과시킨 후 시료로부터 미네랄을 분리하였다. 분리한 미네랄을 2.0 g/mL sodium polytungstate 2.5 mL를 가해 유기물을 제거하고 증류수로 세척한 후, 1 N HCl 2 mL를 처리하여 carbonate를 제거한 다음 1 N NH<sub>4</sub>OH 2 mL를 가해 중화시켰다. 중화된 미네랄을 증류수를 이용해 충분히 세척한 후 아세톤을 가하여 몇 차례 세척 및 건조한 다음, TL disc에 담아 50°C dry oven에서 하루 예열한 후 측정하였다(19,20). TL 측정은 외부 noise에 의한 영향을 받으므로 차광조건에서 측정하였으며 TL dosimetry system(Harshaw 4500, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA)을 이용하여 50°C에서부터 400°C까지 5°C/s의 속도로 온도를 상승시키면서 측정하였다(Table 1). 미네랄은 방사선 흡수량에 따라 일정 온도 범위에서 독특한 TL glow curve를 나타내는데, 비조사식품의 경우 300°C 이후에 자연방사능에 의한 발광곡선을 나타내고 조사식품

**Table 1.** Analyzing condition for thermoluminescence

Specification	Condition
Flow gas	N <sub>2</sub> (99.999%)
Final temperature	400°C
Pre heat temperature	50°C
Heating rate	5.00/s

의 경우 150~250°C 사이에서 강한 발광곡선을 나타내어 발광 peak의 온도 범위로 식품의 조사 여부를 판별할 수 있다(19). TL 측정을 통해 얻은 glow curve의 면적값(150~250°C)을 TL<sub>1</sub>으로 설정하고, 재조사(1 kGy) 후 측정해 얻은 glow curve의 면적값을 TL<sub>2</sub>로 설정하여 방사선 조사 식품이 나타내는 TL glow curve의 TL ratio(TL<sub>1</sub>/TL<sub>2</sub>)를 산출한 TL ratio 값이 0.1 이하이면 비조사 시료로, 0.1 이상이면 조사 시료로 판단하였다(20).

#### 전자스핀공명법(electron spin resonance, ESR) 분석

ESR 분석은 CEN 방법(21) 및 식품공전(22)에 따라 분석하였다. 시료를 50°C dry oven에서 건조시켜 수분과 단수명 ESR center를 제거한 후 ESR pyrex tube에 0.4 g씩 충전하고 ESR spectrometer(JES-TE200, JEOL, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 측정조건은 microwave power 0.4 mW, microwave frequency 9.10~9.13 GHz, center field 324.0~325.5 mT, sweep width 2.5×10 mT, modulation frequency 100 kHz, modulation width 0.5 mT, amplitude 4.0×10 time, sweep time 30 s, time constant 0.03 s로 측정하였다. 방사선 조사로 유도된 free radical을 확인하고, ESR signal에서 나타나는 peak-to-peak height를 ESR signal intensity로 나타내었으며, g-value는 내장된 프로그램으로 측정하여 Origin 8.0 software(Origin Lab. Co., Northampton, MA, USA)로 ESR signal의 결과를 분석하였다.

#### 독활 추출물의 제조

시료 추출은 열수 추출물의 경우 건조한 독활 분말 1 g에 증류수 200 mL를 가하고 용액이 100 mL가 될 때까지 가열하여 증발시킨 후 냉각하여 24시간 동안 상온에서 교반 추출하였으며, 에탄올 추출물은 시료 1 g에 50% 에탄올 100 mL를 추출용매로 가하여 24시간 동안 상온에서 교반 추출하였다. 추출액은 Whatman No.1 filter paper(Whatman, Maidstone, UK)로 여과한 후 필요에 따라 rotary vacuum evaporator(Eyela NE, Tokyo, Japan)에서 농축하여 시료의 total phenolic compounds 농도를 조절하여 사용하였다.

#### Total phenolic compounds content 측정

Total phenolic compounds 함량 측정은 Folin과 Denis(23)의 방법에 따라 측정하였으며, 시료 1 mL에 95% 에탄

올 1 mL와 증류수 5 mL를 첨가하고 1 N Folin-Ciocalteu reagent(Junsei Chemical Co., Tokyo, Japan) 0.5 mL를 넣어 잘 섞어주고 5분간 방치한 후 5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 1 mL를 가한 다음, spectrophotometer(Optizen 3220UV, Mecasys, Daejeon, Korea)를 이용하여 흡광도 725 nm에서 1시간 이내에 측정하여 gallic acid를 이용한 표준곡선으로부터 양을 환산하였다.

#### 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH) radical scavenging effect 측정

DPPH radical에 대한 소거 활성은 Blois(24)의 방법에 따라 측정하였으며 각 시료 1 mL에 60 µM DPPH(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 3 mL를 넣고 잘 섞어주고 실온에서 15분간 반응시켜 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 전자공여능(%)은 1-(반응구의 흡광도/대조구의 흡광도)×100으로 나타내었다.

#### 2,2'-Azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)(ABTS) cation radical decolorization scavenging effect 측정

ABTS 측정은 Pellegrini 등(25)의 방법으로 측정하였다. 7 mM ABTS(Sigma-Aldrich Co.) 5 mL와 140 mM K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (Duksan, Ansan, Korea) 88 µL를 혼합하여 암실에서 14~16시간 반응시켜 radical을 생성시킨 후 이를 absolute ethanol과 약 1:88 비율로 섞어 734 nm에서 대조구의 흡광도 값이 0.7±0.002가 되도록 조절된 ABTS solution을 사용하였다. 시료 50 µL와 ABTS solution 1 mL를 혼합하여 30초간 잘 섞어준 후 2분간 반응시키고 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 소거 효과(%)는 1-(반응구의 흡광도/대조구의 흡광도)×100으로 나타내었다.

#### Antioxidant protection factor(PF) 측정

PF는 Andarwulan과 Shetty(26)의 방법으로 측정하였다. β-Carotene(Sigma-Aldrich Co.) 10 mg을 chloroform(Duksan) 50 mL에 녹인 용액 1 mL를 evaporator 수기에 넣고 40°C water bath에서 chloroform을 증류시킨 후 linoleic acid 20 µL, Tween 40(Junsei Chemical Co.) 184 µL, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(Samchun Pure Chemical Co., Anyang, Korea) 50 mL를 첨가하여 emulsion을 제조하였다. 시료 100 µL에 emulsion 5 mL를 혼합해 50°C에서 30분간 반응시켜 냉각시킨 후, 470 nm에서 흡광도를 측정하여 반응구의 흡광도/대조구의 비로 나타내었다.

#### Thiobarbituric acid reactive substance(TBARs) 측정

TBARs 측정은 Buege와 Aust(27)의 방법에 따라 측정하였다. 1% linoleic acid(Wako Pure Chemical Industries, Osaka, Japan)와 1% Tween 40으로 emulsion을 제조하고, 시료 0.2 mL와 emulsion 0.8 mL를 혼합한 후 50°C water

bath에서 10시간 이상 반응시켰다. 반응 후 반응액 1 mL에 TBA reagent 4 mL를 가하고 15분간 중탕한 다음 10분간 냉각시키고 1,000 rpm으로 15분간 원심분리 하였다. 원심분리 한 후 실온에서 10분간 방치하고 상층액만 취해 532 nm에서 흡광도를 측정하였다. TBARs 값은 흡광도 수치×0.0154로 1 mL 반응 혼합물에 대해서 생성된 1,1,3,3-tetraethoxypropane(TEP)의 μM로 계산한 후 저해율을 계산하였다. 저해율(%)은 1-(반응구의 TBARs μM/대조구의 TBARs μM)×100으로 나타내었다.

**통계처리**

본 실험의 결과는 6회 반복하여 측정한 평균값을 나타내었으며 평균±표준편차로 나타내었다. 통계처리는 SPSS 22 for windows(Statistical Package for Social Science, Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하였고 분산분석 Duncan's multiple range test, one-way ANOVA로 95% 수준에서 유의성을 검정하였다.

**결과 및 고찰**

**감마선 조사 시료의 광자극발광 특성**

규소 화합물(장석, 석영 등)은 지각과 공기 중에 광범위하게 분포하고 있으며 식품에는 농산물이나 건조식품의 외벽에 주로 이물질로 존재하는데, 방사선 조사 처리를 하면 구조적 특성상 조사된 에너지를 저장하여 감마선 조사 여부를 판단할 수 있다(18). 감마선 조사 여부 marker 확인을 위해 PSL 측정할 결과는 Table 2와 같이 조사 처리하지 않은 비조사구 0 kGy에서 891.00 PCs로 700 PCs 이상의 수치를 나타내어 조사 여부를 판단할 수 없는 중간시료로 나타났으며, 선량별로 5 kGy, 10 kGy로 조사 처리한 조사구에서는 각각 79,956.67 PCs, 282,498.67 PCs로 5,000 PCs 이상의 수치를 나타내어 양성시료로 판단할 수 있었다.

Jeong 등(28)의 연구에서도 국내산 및 중국산 메밀을 감마선 조사시켜 PSL 분석법을 적용하여 비조사구인 0 kGy에서 국내산은 867.00 PCs, 중국산은 1,165.00 PCs의 수치를 나타내어 중간시료로 나타내었으며, 이는 시료에 함유된 미네랄의 종류와 양에 영향을 받았을 것으로 예상된다

**Table 2.** Photostimulated luminescence determinations of gamma-irradiated *Aralia continentalis* (Unit: photon count/60 s)

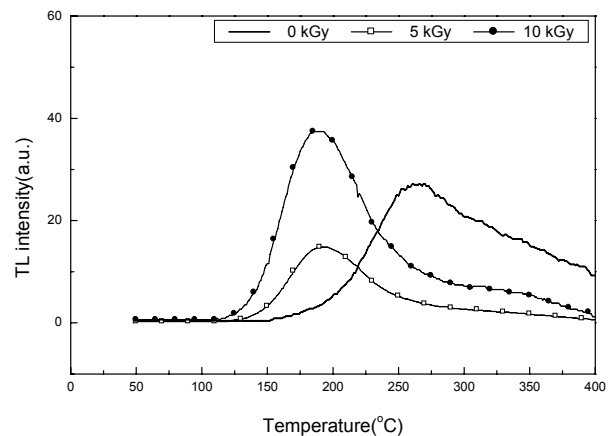
Sample	Irradiation dose (kGy)		
	0	5	10
<i>Aralia continentalis</i>	891.00±54.11 (M) <sup>1)</sup>	79,956.67±12,963.74 (+) <sup>b</sup>	282,498.67±31,569.83 (+) <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>Mean±standard deviation (n=3).  
<sup>2)</sup>Threshold value: T<sub>1</sub>=700, T<sub>2</sub>=5,000, (-) < T<sub>1</sub>, T<sub>1</sub> < (M) < T<sub>2</sub>, (+) > T<sub>2</sub>.  
<sup>3)</sup>+, positive, irradiated; -, negative, non-irradiated; M, intermediated.  
 Means with different letters (a-c) are significantly different at P<0.05 by Duncan's multiple range test.

(29). CEN(17)에서는 PSL 분석 결과 PSL sensitivity가 낮은 시료는 반드시 TL이나 ESR 등 다른 확인 시험법을 거쳐 최종 판정토록 권고하고 있으며, 식품공전(11)에서는 육두구, 후추, 정향을 제외한 건조향신료에 대해 신속하고 전처리가 간편한 스크리닝 방법으로 PSL 방법을 제시하고 있지만, 확증방법으로 TL 및 ESR 방법을 함께 실시하여 조사 여부를 확인토록 규정하고 있다. 따라서 본 연구 결과 독활의 경우 비조사구 0 kGy에서 조사 여부를 판단할 수 없는 중간시료로 측정되어 PSL 측정법을 단독으로 적용하기에 적합하지 않은 것으로 판단되며, 추가 시험법이 병행되어야 할 것으로 생각되었다.

**감마선 조사 시료의 열발광 특성**

열발광 분석은 광자극발광 분석과 측정원리는 같으나, PSL은 근적외선을 이용하여 에너지를 방출시키는 반면에 TL은 열을 이용하여 에너지를 방출시켜 조사 여부를 판단한다(18). 독활의 감마선 조사 처리에 따른 선량별 TL 분석 결과 Fig. 1과 같이 5, 10 kGy의 경우 150~250°C의 부근에서 특유의 glow curve를 나타내었고 조사선량이 증가할수록 최고 peak intensity의 높이가 선량 의존적으로 증가하는 양상을 나타내었다. 반면 비조사구 0 kGy에서 150~250°C의 부근에서 특유의 glow curve를 나타내지 않아 조사구와 명확한 차이를 나타내었으며, 250°C 이후에 자연적인 glow curve를 나타내어 이를 통해 독활 자체가 가지는 미네랄이 높은 것으로 판단할 수 있었다. TL 분석은 발광곡선의 형태 뿐만 아니라 TL 재조사를 통해 TL ratio를 산출하여 TL 결과에 대한 신뢰도 높은 결과를 확인할 수 있다. 식품공전(20)에서는 TL ratio 값을 0.1을 기준으로 하여 0.1 이하는 비조사구로, 0.1 이상은 조사구로 판정토록 규정하고 있다. TL ratio 값은 Table 3과 같이 비조사 0 kGy에서 0.018로 0.1 이하의 낮은 TL ratio 값을 나타내었고, 조사구인 5, 10 kGy에서는 각각 0.395, 0.464로 0.1 이상의 TL ratio 값을 나타내어 독활은 TL 분석법을 이용해 조사 판별이 가능한 것을 확인하였다.



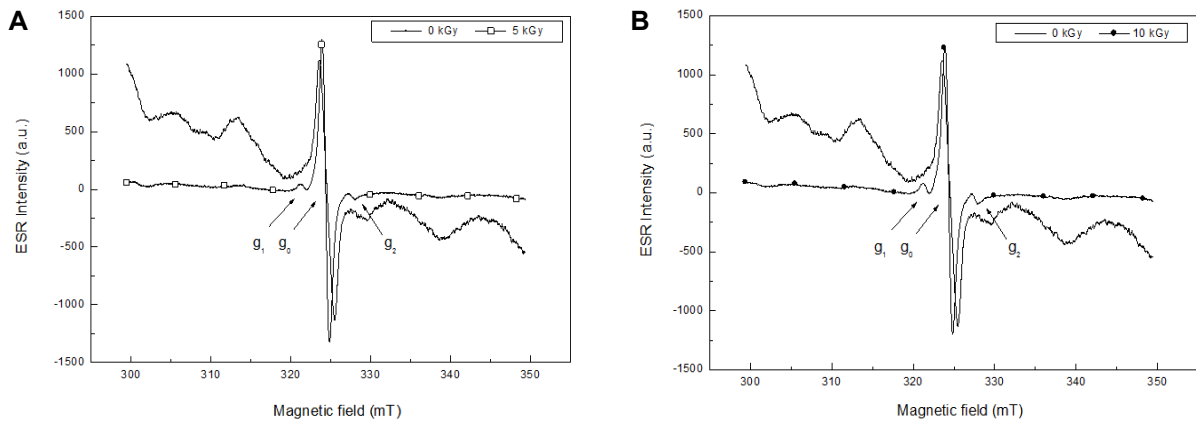
**Fig. 1.** Typical TL glow curves of minerals separated from *Aralia continentalis* by density separation method.

**Table 3.** Thermoluminescence (TL) ratios ( $TL_1/TL_2$ ) of minerals separated from irradiated *Aralia continentalis*

TL glow	Irradiation dose (kGy)		
	0	5	10
$TL_1$ <sup>1)</sup> (nC)	42.085±12.183 <sup>4)</sup>	729.300±38.608	1827.500±338.704
$TL_2$ <sup>2)</sup> (nC)	2,331.500±232.638	1,880.500±310.420	4,020.500±1,238.144
TL ratio <sup>3)</sup>	0.018±0.007	0.395±0.086	0.464±0.059

<sup>1)</sup>Integrated  $TL_1$  intensity at 150~250°C. <sup>2)</sup>Integrated  $TL_2$  intensity at 150~250°C. <sup>3)</sup> $TL_1/TL_2$ .

<sup>4)</sup>Mean±standard deviation (n=2).

**Fig. 2.** Typical ESR spectra of irradiated *Aralia continentalis* at different doses using gamma-ray radiation sources. A: 0 kGy and 5 kGy, B: 0 kGy and 10 kGy.

### 감마선 조사 시료의 전자스핀공명법 특성

전자스핀공명 분석은 시료에 방사선 조사 처리 시 전자작용으로 생성되는 이온을 분석하여 조사 여부를 판단하는 방법으로, 조사 여부를 판정할 수 있는 marker radical은 cellulose 유래의 radical, crystalline sugar 유래의 multi-component signal, 뼈 유래의 hydroxy apatite radical로 분류할 수 있다(21,22). 전자스핀공명 분석 시에는 marker radical의 종류에 따라 ESR sensitivity가 달라질 수 있으므로, 측정 전 반드시 target radical을 정한 후 알맞은 측정 조건으로 분석하여야 한다(30).

전자스핀공명 분석 결과는 Fig. 2, Table 4와 같이 시료 모두에서 singlet signal( $g_0=2.006$ )로 나타났으며, 조사구 5, 10 kGy에서는 singlet signal을 중심으로 좌우 약 3 mT의 간격으로 대칭적인 두 개의 peak( $g_1=2.023$  and  $g_2=1.987$ )가 생성되어 비조사구 0 kGy와 명확한 차이가 나타났다. 이는 방사선 조사로 생성되는 cellulose radical signal로 알려져 있으며, Kwak 등(31)의 배추와 브로콜리를

**Table 4.** Electron spin resonance (ESR) signal parameter<sup>1)</sup> of radiation-induced radicals from irradiated *Aralia continentalis*

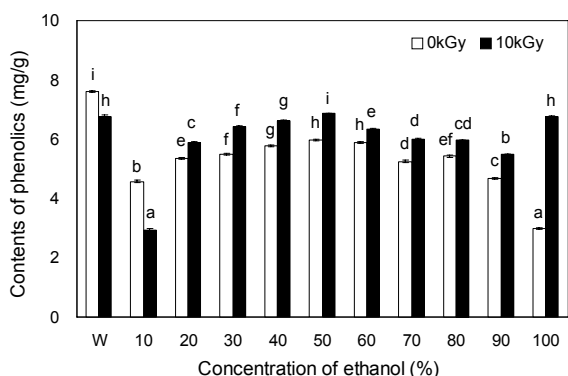
ESR parameter	Irradiation dose (kGy)		
	0	5	10
$g_0$	2.0066±0.0004	2.0065±0.0005	2.0066±0.0002
$g_1$	—	2.0234±0.0007	2.0230±0.0006
$g_2$	—	1.9881±0.0030	1.9869±0.0003

<sup>1)</sup> $g$ -value= $[71.448 \times \text{microwave frequency (GHz)}] / \text{magnetic field (mT)}$ .

감마선 조사 처리한 연구에서도 ESR singlet signal( $g_0=2.006$ )을 나타냈고, 조사시료에서 좌우 대칭적인 두 개의 peak( $g_1=2.024$ ,  $g_2=1.987$ )를 나타내었으며, Jeong 등(32)의 감마선 및 전자선 조사 처리한 고춧가루를 ESR 분석한 결과 모든 시료에서 center signal을 중심으로 좌우 3 mT의 간격을 둔 대칭적인 두 개의 작은 peak를 확인할 수 있어 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 따라서 본 연구 결과 독활의 감마선 조사 여부 확인을 위한 전자스핀공명 분석이 적용 가능한 것을 확인하였다.

### 용매의 농도가 total phenolic compounds의 용출 함량에 미치는 영향

Total phenolic compounds는 치환기를 가진 방향족 고리 구조를 가지고 있는 이차대사산물을 총칭하는 것으로 화학적으로 이질적인 구조를 가지며 지용성과 수용성 등의 성질을 갖는다. 식물체 내에 존재하는 total phenolic compounds는 각종 radical에 대한 저해 효능을 가지고 있으며 total phenolic compounds 함량과 radical 저해 효능은 양의 상관관계를 나타내어 잠재적인 항산화 활성을 검증하는 일차적 실험 지표로 사용할 수 있다(33). 따라서 본 연구에서는 다양한 선량(0, 5, 10 kGy)으로 감마선 조사 처리한 독활로부터 추출용매의 농도를 다르게 추출하여 total phenolic compounds의 함량을 측정하여 추출 수율을 비교하였다. 감마선 조사 처리한 독활 추출물의 식품 및 의약품 등의 적용 가능성 확인을 위해 인체에 유해하지 않은 용매인 물과 에탄올을 추출 용매로 선정하여 감마선 비조사구 0 kGy와



**Fig. 3.** Effect of ethanol concentration on total phenolics of extracts from irradiated *Aralia continentalis*. Mean±standard deviation (n=3). Means with different letters (a-i) above the bars are significantly different at  $P<0.05$  by Duncan's multiple range test.

조사구 10 kGy를 농도별(10~100%)로 추출하여 total phenolic compounds 함량을 측정하였다. 결과는 Fig. 3과 같이 열수 추출물의 비조사구 0 kGy에서 7.61 mg/g, 조사구 10 kGy에서 6.77 mg/g의 함량을 나타내어 조사 처리하지 않은 시료에서 더 함량이 높은 것을 확인할 수 있었다. 반면 에탄올 추출물의 경우 50% 에탄올에서 비조사구 0 kGy는 5.98 mg/g, 조사구 10 kGy는 6.86 mg/g으로 가장 높은 함량을 나타내었다. 이상의 결과를 통해 감마선 조사 처리에 의한 독활의 total phenolic compounds 함량의 변화가 발생하는 것을 확인할 수 있었으며 열수 추출물의 경우 감마선 조사 처리로 인해 total phenolic compounds 함량이 감소했지만, 에탄올 추출물에서는 함량이 증가하는 양상을 나타내었다.

Harrison과 Were(34)는 total phenolic compounds의 주요 공급원으로 잘 알려진 아몬드 껍질에 0, 2, 4, 8, 12, 16 kGy까지 다양한 선량으로 감마선 조사 처리하여 40% 에탄올로 추출하였을 때 4 kGy에서 5.34 ppm으로 가장 높은 total phenolic compounds의 함량을 확인하였고, 감마선 조사선량이 0~16 kGy로 증가할수록 total phenolic compounds의 함량도 3.69~4.50 ppm으로 유의적으로 증가한다고 보고하였으며, Kim 등(35)도 차가버섯에 0, 3, 5, 7, 10 kGy로 감마선 조사 처리 시 추출물의 total phenolic compounds의 함량이 유의적으로 증가한다고 보고하였다. 이는 시료 중 고분자 중합체의 일부분으로 결합하여 존재하는 phenolic compounds가 감마선 조사 처리로 인해 고분자 화합물의 결합이 끊어지고 total phenolic compounds 함량에 분리되어 나오거나, 고분자 phenolic compounds가 분해되어 저분자의 phenolic compounds로 생성되어 추출 수율이 증대되는 것으로 간주된다. 반면 Bae 등(12)의 연구에서는 왕겨, 미강, 보릿겨에 5, 10, 15, 20 kGy로 감마선 조사 처리하였을 때 조사선량에 상관없이 total phenolic compounds 함량이 일정하게 유지하는 경향을 나타내어 유의적으로 차이가 나지 않는다고 보고하였다. 따라서 감마선 조사 처리에 따른 total phenolic compounds 함량은 시료에 따

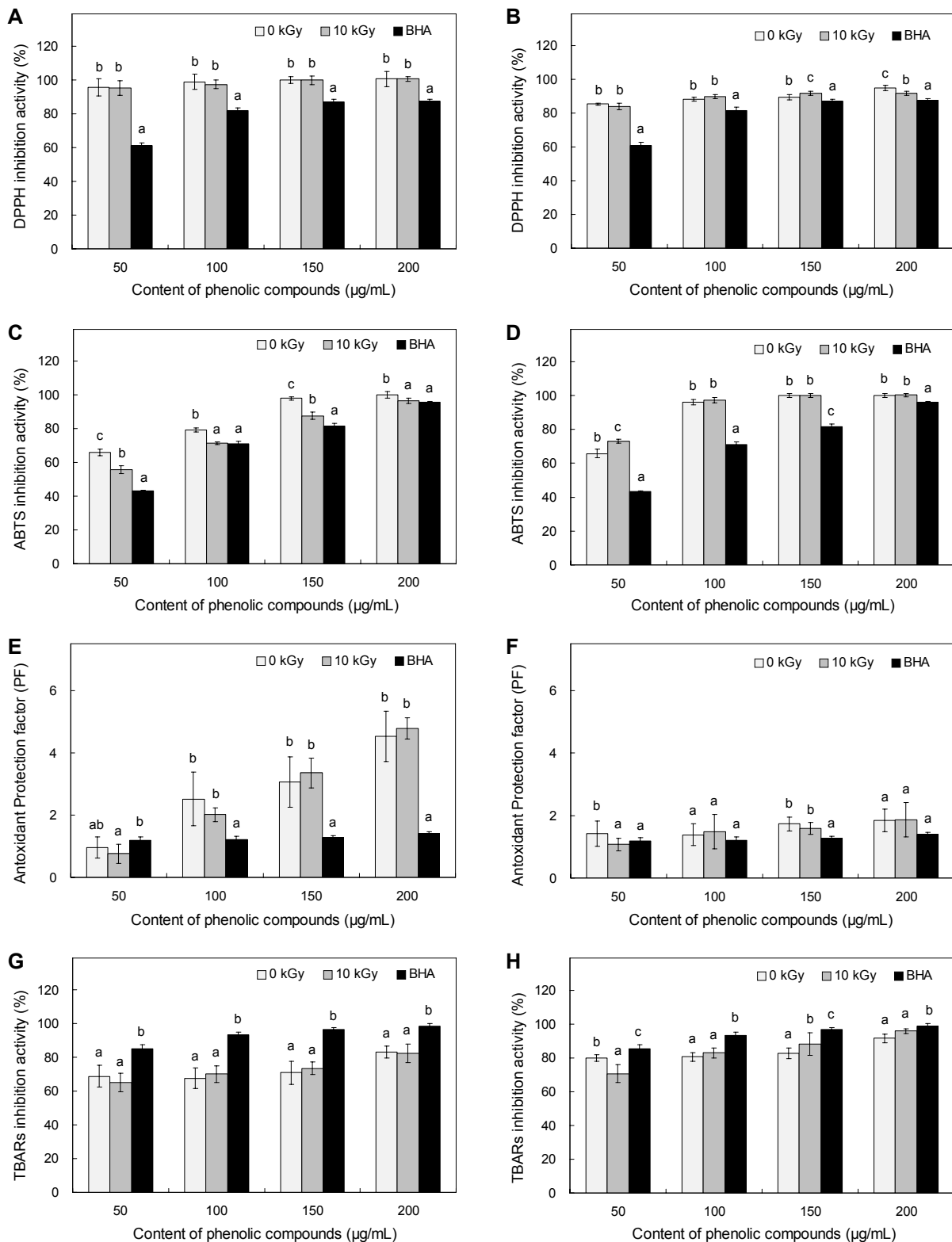
라 전구체의 양과 종류에 따라 차이가 발생할 수 있을 것으로 예상하며 향후 추가적인 실험을 통해 검토가 필요할 것으로 판단되었다.

상기의 연구 결과를 통해 독활은 감마선 조사 처리에 의해 추출물의 total phenolic compounds 함량 변화에 영향을 주는 것을 알 수 있었으며, 특히 에탄올 추출물의 경우 추출 수율을 증대시키는 것을 확인할 수 있었다. 이에 감마선 조사 처리한 독활 추출물의 산업화 적용 가능성 확인을 위해 total phenolic compounds 함량이 가장 높은 열수 추출물과 50% 에탄올 추출물을 사용하여 감마선 조사 처리한 독활의 항산화 효능 비교 연구를 진행하였다.

### 감마선 조사 시료의 항산화 효능 변화 비교

전자공여 작용은 활성 radical에 전자를 공여하여 연쇄반응을 중단시키는 역할을 하여 세포 내 지질과산화 억제나 인체 내 노화억제작용의 척도로 이용되고 있다(1). 본 실험에서는 안정한 free radical 중 하나인 환원성 물질 DPPH를 이용하여 감마선 조사 전후의 독활 추출물에 대한 전자공여능을 비교하였다. 그 결과 Fig. 4A, 4B와 같이 독활의 열수 추출물 50 µg/mL phenolic 저농도에서 비조사구 0 kGy와 조사구 10 kGy에서 95.52%로 매우 높은 전자공여능을 나타내었으며, 50% 에탄올 추출물 역시 50 µg/mL phenolic 저농도에서 비조사구 0 kGy와 조사구 10 kGy에서 각각 85.46%, 84.04%의 높은 전자공여능을 나타내었다. Positive control로 사용한 BHA가 50 µg/mL 농도에서 61.03%의 전자공여능을 나타낸 것과 비교하였을 때 독활 추출물이 항산화제로 시판 중인 BHA보다 더 높은 DPPH radical 소거 활성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 독활 열수 및 50% 에탄올 추출물의 감마선 조사에 따른 전자공여능의 변화는 통계적으로 유의적인 차이를 확인할 수 없었다. 이는 Lee 등(2)의 독활 에탄올 추출물이 우수한 DPPH radical 소거 활성을 나타낸다는 보고와 유사하였으며, Sohn 등(36)의 감마선 조사 처리한 민들레 70% 에탄올 추출물의 경우 1,000 µg/mL 농도의 비조사구 0 kGy와 조사구 20 kGy에서 각각 89.00%, 86.80%의 DPPH radical 소거 활성을 내었으나 조사 처리에 따른 영향을 보이지 않았다는 연구 결과 및 Son 등(37)의 녹차추출물의 감마선 조사에서 조사 전후 전자공여능의 비교 시 변화에 영향을 주지 않았다는 연구 결과와 유사한 경향을 보였다.

ABTS radical 소거 활성은 potassium persulfate와 ABTS의 산화에 의해 생성된 radical의 흡광도가 항산화제에 의해 감소를 측정하여 시료의 항산화 효과를 확인할 수 있다(38). ABTS radical 소거 활성 결과는 Fig. 4C와 같이 독활 열수 추출물 200 µg/mL phenolic 농도 처리 시 비조사구 0 kGy에서 100.00%, 조사구 10 kGy에서 97.13%를 나타내었으며, 조사 처리에 따라 유의적으로 ABTS radical 소거 활성이 저해되는 것을 확인할 수 있었다. 반면 Fig. 4D와 같이 50% 에탄올 추출물의 경우 200 µg/mL phenolic 농도



**Fig. 4.** Antioxidant activity of extract from irradiated *Aralia continentalis*. A: DPPH radical scavenging activities of water extracts, B: DPPH radical scavenging activities of ethanol extracts, C: ABTS radical scavenging activities of water extracts, D: ABTS radical scavenging activities of ethanol extracts, E: antioxidant protection factor activities of water extracts, F: antioxidant protection factor activities of ethanol extracts, G: TBARs inhibition activities of water extract, H: TBARs inhibition activities of ethanol extract. Mean±standard deviation (n=6). Means with different letters (a-c) above the bars are significantly different at  $P<0.05$  by Duncan's multiple range test.

에서 비조사구 0 kGy와 조사구 10 kGy에서 각각 99.98%, 100.00%로 매우 높은 활성을 나타내어 positive control BHA보다 훨씬 우수한 ABTS radical 소거 활성을 확인할 수 있었다. 하지만 감마선 조사 처리에 따른 ABTS radical 소거 활성의 유의적인 차이는 나타나지 않았다. Jee(39)는 상백피 열수와 에탄올 추출물을 이용한 연구에서 500 µg/mL 농도에서 각각 76.50%, 75.50%의 ABTS radical 소거 활성을 나타낸 결과와 비교하였을 때, 200 µg/mL phenolic 낮은 농도에서도 95% 이상의 높은 저해 효과를 나타낸 독활 추출물의 항산화 효과가 매우 우수한 것으로 판단할 수 있었다.

β-Carotene은 주로 lipoprotein과 같은 지방친화성 구조의 내부에 존재하면서 지질 산화과정에서 생성되는 peroxy radical과 반응하여 생성되는 불활성 물질(inactive products)을 형성하고 이로 인해 free radical이 연쇄반응을 중단시켜 singlet oxygen을 효과적으로 억제하는 것으로 알려져 있다(40). 독활 추출물의 지용성 물질에 대한 항산화 활성을 측정하기 위해 PF를 측정한 결과는 Fig. 4E와 같이 독활 열수 추출물의 경우 100 µg/mL phenolic 농도에서 비조사구 0 kGy와 조사구 10 kGy에서 각각 2.51 PF, 2.01 PF를 나타내었으며 농도 의존적으로 PF 값이 증가하는 양상을 보여주었다. Fig. 4F와 같이 50% 에탄올 추출물 100 µg/mL phenolic 농도에서는 비조사구 0 kGy와 조사구 10 kGy가 각각 1.38 PF, 1.48 PF를 나타내었으며, positive control인 BHA가 100 µg/mL 농도에서 1.21 PF를 나타낸 것과 비교하여 독활 추출물의 항산화 효과가 높은 것을 확인할 수 있었다. Kim 등(41)의 연구에서 하고초 추출물의 항산화 효과를 확인한 결과에서 열수 추출물이 1.10 PF, 40% 에탄올 추출물이 0.92 PF로 측정되어 독활 추출물의 지용성 항산화력이 매우 우수한 것으로 판단할 수 있었다. 반면 감마선 조사에 따른 PF 효과의 통계처리 결과 비조사구와 조사구의 유의적 차이가 없는 것으로 나타나 이상의 결과를 통해 감마선 조사 처리가 독활의 항산화 활성 변화에 영향을 주지 않는 것으로 생각한다.

불포화지방산을 함유한 지질이 산화되어 형성되는 지질 과산화물인 malondialdehyde(MDA)와 thiobarbituric acid (TBA)가 반응하여 붉은색의 TBA를 형성하고, TBA의 발색 정도를 비색 정량하여 지질과산화 저해 효과를 확인할 수 있다(42). TBARS 저해 효과는 Fig. 4G와 같이 독활 열수 추출물의 경우 50~200 µg/mL phenolic 농도에서 비조사구 0 kGy 68.78~83.10%, 조사구 10 kGy 65.23~82.58%로 농도 의존적으로 나타났다. Fig. 4H와 같이 50% 에탄올 추출물에서도 50~200 g/mL phenolic 농도에서 비조사구 0 kGy에서 79.87~91.54%, 조사구 10 kGy에서 70.67~95.81%로 농도 의존적으로 증가하는 양상을 보였으며, positive control BHA와 비교하였을 때 50~200 µg/mL 농도에서 85.22~98.57%로 유사한 수준의 저해 효과를 나타내었다. 하지만 감마선 조사 처리에 따른 열수 및 에탄올 추출물

의 TBARS 저해 효과 모두 통계처리 결과 유의적인 차이를 보이지는 않아 감마선 조사 처리가 TBARS 저해 효과에 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다. Kim 등(40)이 보고한 노간주나무 500 µg/mL 농도에서 열수 추출물 55.78%, 에탄올 추출물 71.48%의 항산화 효과를 나타낸 결과와 비교해 보았을 때 독활 추출물의 항산화 효과가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한, Kim 등(43)은 추출물의 polyphenol의 양과 항산화 활성 간의 관련성을 비교한 결과에서 대부분의 polyphenol의 함량이 높을수록 항산화 활성이 높아지는 농도의존성 상관관계를 나타내었다고 보고하였으며, 본 실험 결과 역시 독활의 total phenolic compounds 함량의 농도가 증가함에 따라 항산화 활성이 높아지는 농도의존형 상관관계를 확인할 수 있었다.

상기의 연구 결과를 통해 독활의 열수 및 에탄올 추출물의 경우 감마선 조사 처리에 의해 항산화 활성 변화에는 크게 영향을 주지 않는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 total phenol compounds 이외에 독활에 포함되어 있는 다양한 유용성분이 항산화 활성에 관여하는 것으로 생각한다. Han 등(1)은 독활과 독활 잎에 많은 양의 사포닌과 페놀성 화합물, 플라보노이드, 클로로필 등의 유용성분이 함유되어 있으며 이러한 유용성분에 의해 항산화 활성이 나타나는 것으로 보고하였다. 이상의 결과로 한약재의 장기 저장을 목적으로 독활에 감마선 조사 처리를 하면 독활의 total phenol compounds를 비롯한 다양한 유용성분의 추출 수율을 높이는 데 효과적이며, 감마선 조사 처리가 독활이 가지는 항산화 활성에 positive 한 영향을 미치는 것으로 판단되므로 독활을 포함한 한약재의 장기 저장을 위한 위생 처리법으로 감마선 조사법이 유용하게 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 요 약

본 연구에서는 한약재의 장기보존을 위한 위생처리법으로 잘 알려진 감마선 조사 처리 시 독활 추출물의 항산화 활성에 미치는 영향을 검토하였다. 천연 약용식물인 독활의 감마선 조사 처리에 따른 조사 판별 marker 확인을 위해 광자극 발광법, 열발광분석법, 전자스핀공명법을 이용하여 확인시험법의 판별 특성을 확인하였다. 그 결과 광자극발광법에서 비조사구 0 kGy에서 891.00 PCs의 중간시료 수치를 나타내어 광자극발광법 단독으로는 조사 여부 판별 확인이 어려운 것을 확인할 수 있었다. 하지만 열발광분석법, 전자스핀공명법에서는 조사구와 비조사구 간의 차이를 명확히 확인할 수 있었으며, 이를 통해 한약재인 독활은 3가지 확인 시험법을 모두 적용하여 분석하는 것이 적합한 것으로 판단되었다. 에탄올 농도별 추출에서는 50% 에탄올에서 비조사구 0 kGy와 조사구 10 kGy에서 각각 5.98 mg/g, 6.86 mg/g의 함량을 나타내었다. 항산화 활성 확인을 위해 추출물의 phenolic 농도를 50~200 µg/mL로 조절하여 DPPH radical 소거 효과를 측정된 결과 열수와 50% 에탄올 추출물의



비조사구 0 kGy와 조사구 10 kGy 50~200 µg/mL phenolic 농도 전 구간에서 84.04~100.00%의 매우 높은 소거 효과를 나타내었으나, 감마선 조사 처리에 따른 유의적인 차이는 없었다. ABTS radical 소거 활성 측정 결과 열수와 50% 에탄올 추출물의 비조사구 0 kGy와 조사구 10 kGy 200 µg/mL phenolic 농도에서 95% 이상의 높은 소거 효과를 나타내었다. Antioxidant protection factor(PF) 측정 결과 100 µg/mL phenolic 농도 처리 시 열수 추출물 비조사구 0 kGy와 조사구 10 kGy에서 각각 2.51 PF, 2.01 PF, 50% 에탄올 추출물 비조사구 0 kGy와 조사구 10 kGy는 각각 1.38 PF, 1.48 PF를 나타내었다. TBARs 저해 효과는 50~200 µg/mL phenolic 농도 전 구간에서 열수 추출물 비조사구 0 kGy와 조사구 10 kGy에서 65.23~83.10%를 나타냈으며, 50% 에탄올 추출물 비조사구 0 kGy와 조사구 10 kGy에서 70.67~95.81%로 농도 의존적으로 증가하는 양상을 나타냈다. 본 연구 결과 감마선 조사 처리에 따른 total phenolic compounds 함량은 열수 추출물의 경우 조사 처리 후 함량이 감소하였고, 50% 에탄올 추출물의 경우 조사 처리 후 함량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 독활의 장기 저장을 위해 처리한 감마선 조사 전과 후 독활 추출물의 항산화 활성 변화에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 보이며 이는 감마선 조사법이 독활을 포함한 한약재의 장기저장을 위한 처리법으로 유용하게 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- Han GJ, Shin DS, Jang MS. 2008. A study of the nutritional composition *Aralia continentalis* kitagawa and *Aralia continentalis* kitagawa leaf. *Korean J Food Sci Technol* 40: 680-685.
- Lee SG, Jo DJ, Chang HJ, Kang H. 2015. Antioxidant and anti-inflammatory activities of ethanol extracts from *Aralia continentalis* kitagawa. *J Naturopath* 4: 10-14.
- Kim JS, Kang SS, Choi JS, Lee MW, Lee TS. 1998. Antioxidant components from *Aralia continentalis*. *Kor J Pharmacogn* 29: 13-17.
- Han WS. 2005. Isolation of the antimicrobial compounds from *Aralia cordata* Thunb. extract. *Korean J Med Crop Sci* 13: 182-185.
- Kang CH, Koo JR, So JS. 2012. Inhibitory effects of *Aralia cordata* Thunb extracts on nitric oxide synthesis in RAW 264.7 macrophage cells. *Korean J Food Sci Technol* 44: 621-627.
- Lee SH. 2010. Inhibitory effect of *Aralia cordata* on triacylglycerol biosynthesis. *MS Thesis*. Pai Chai University, Daejeon, Korea.
- Kim HK, Kim YE, Do JR, Lee YC, Lee BY. 1995. Antioxidative activity and physiological of some Korean medicinal plants. *Korean J Food Sci Technol* 27: 80-85.
- Lee SO, Lee HJ, Yu MH, Im HG, Lee IS. 2005. Total polyphenol contents and antioxidant activities of methanol extracts from vegetable produced in Ullung Island. *Korean J Food Sci Technol* 37: 233-240.
- Yu MH, Im GI, Lee HJ, Ji YJ, Lee IS. 2006. Components and their antioxidative activities of methanol extracts from sarcocarp and seed of *Zizyphus jujuba* var. *inermis* Rehder. *Korean J Food Sci Technol* 38: 128-134.
- Kim KH, Jo JE, Lee SA, Yook HS. 2011. Antioxidative properties of ethanolic extracts from flowering cherry (*Prunus serrulata* L. var. *spontanea* Max. wils.) fruit with various doses of gamma radiation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 1378-1383.
- MFDS. 2016. *Korean food standard code*. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea. p 8-2-1.
- Bae SM, Kim JH, Cho CW, Jeong TJ, Yook HS, Byun MW, Lee SC. 2002. Effect of  $\gamma$ -irradiation on the antioxidant activity of rice hull, rice bran and barley bran. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 246-250.
- Kwon HJ, Jung UH, Park HR, Shin DH, Jo SK. 2007. Effects of gamma irradiation on color changes and antioxidative activities of *Caesalpinia sappan* L.. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 1055-1061.
- Hur JM, Kim DH. 2011. The ethanol extract of red ginseng enhances anti-tumor effects using  $Co^{60}$  gamma irradiation. *J Appl Biol Chem* 54: 15-20.
- Lee SJ, Song EJ, Lee SY, Kim KBWR, Yoon SY, Lee CJ, Jung JY, Park NB, Kwak JH, Park JG, Kim JH, Choi JI, Lee JW, Byun MW, Ahn DH. 2010. Effects of gamma irradiation on antioxidant, antimicrobial activities and physical characteristics of *Sargassum thunbergii* extract. *Korean Food Sci Technol* 42: 431-437.
- Park HJ, Lee EH, Kim MU, Lee SH, An DH, An BJ, Kwon JH, Cho YJ. 2014. Biological activities of extracts from gamma-irradiated *Aralia elata* cortex. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43: 1236-1247.
- CEN. 2002. Thermoluminescence detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated. European Committee for Standard, Brussels, Belgium. English version of DIN EN 1788.
- Jeong MS, Ahn JJ, Akram K, Kim GR, Kim HK, Kwon JH. 2012. Monitoring of commercial red pepper powders for their irradiation status. *Korean J Food Sci Technol* 44: 673-679.
- CEN. 2009. Detection of irradiated food using photostimulated luminescence. European Committee for Standard, Brussels, Belgium. English version of DIN EN 13751.
- MFDS. 2016. *Korean food standard code*. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea. p 8-2-2.
- CEN. 2000. Detection of irradiated food containing cellulose by ESR spectroscopy. European Committee for Standard, Brussels, Belgium. English version of DIN EN 1787.
- MFDS. 2016. *Korean food standard code*. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea. p 8-2-3.
- Folin O, Denis W. 1912. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem* 12: 239-249.
- Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1199-1200.
- Pellegrini N, Re R, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Screening of dietary carotenoids and carotenoid-rich fruit extracts for antioxidant activities applying 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid radical cation decolorization assay. *Methods Enzymol* 299: 379-389.
- Andarwulan N, Shetty K. 1999. Phenolic content in differentiated tissue cultures of untransformed and *Agrobacterium*-transformed roots of anise (*Pimpinella anisum* L.). *J Agric Food Chem* 47: 1776-1780.
- Buege JA, Aust SD. 1978. Microsomal lipid peroxidation. *Methods Enzymol* 52: 302-310.
- Jeong JY, Lee EY, Kwon JH. 2001. The detection of irradi-

- ated agricultural commodities by origins with photostimulated luminescence (PSL) analysis. *Korean J Postharvest Sci Technol* 8: 291-295.
29. Yi SD, Woo SH, Yang JS. 2000. The use of pulsed photostimulated luminescence (PPSL) and thermoluminescence (TL) for the detection of irradiated perilla and sesame seeds. *Prev Nutr Food Sci* 5: 142-147.
  30. Kwon JH. 2010. *Safety and understanding of irradiated food*. Korea Food Safety Research Institute, Seoul, Korea. p 9-29.
  31. Kwak JY, Ahn JJ, Akram K, Kim GR, Kwon JH. 2012. Characterization and identification of gamma-irradiated kimchi cabbage and broccoli by electron spin resonance spectroscopy using different sample pre-treatments. *Korean J Food Sci Technol* 44: 532-539.
  32. Jeong JH, Ahn JJ, Beak JY, Kim HY, Kwon JH, Jin CH, Jeong IY. 2014. Comparison of photostimulated luminescence, thermoluminescence, and electron spin resonance spectroscopic analyses on dried-spices irradiated by gamma ray and electron beam. *Korean J Food Sci Technol* 46: 256-261.
  33. Kim DK, Son DM, Chon SU, Lee KD, Kim KH, Rim YS. 2009. Phenolic compounds content and DPPH, ADH, ALDH activities of mungbean sprout based on growth temperature. *Korean J Crop Sci* 54: 1-6.
  34. 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.
  35. Kim JH, Sung NY, Kwon SK, Srinivasan P, Song BS, Choi JI, Yoon Y, Kim JK, Byun MW, Kim MR, Lee JW. 2009.  $\gamma$ -Irradiation improves the color and antioxidant properties of Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) extract. *J Med Food* 12: 1343-1347.
  36. Sohn SH, Jo CR, Oh MJ, Sohn CB, Byun MW. 2006. Studies on the changes of biological activity and physicochemical characteristics of gamma irradiation dandelion extracts. *Food Eng Prog* 10: 40-47.
  37. Son JH, Jo CJ, Kim MR, Kim JO, 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.
  38. Kim HS, Hong MJ, Kang IY, Jung JY, Kim HK, Shin YS, Jun HJ, Suh JK, Kang YH. 2009. Radical scavenging activities and antioxidant constituents of oriental melon extract. *J Bio-Environ Con* 18: 442-447.
  39. Jee SO. 2009. Antioxidant activities and whitening effect of the mulberry (*Morus alba* L.) root bark extracts. *Korean J Plant Res* 22: 145-151.
  40. Kim JH, Lee SY, Park JM, Park JH, Kwon OJ, Lee JY. 2014. Antioxidant activity and inhibition activity against  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase of *Juniperus rigida* Sieb extracts. *Korean J Food Preserv* 21: 396-403.
  41. Kim JS, Lee JY, Park KT, An BJ, Lee SH, Cho YJ. 2013. The biological activity from *Prunella vulgaris* extracts. *Korean J Food Preserv* 20: 234-241.
  42. Han JH, Moon HK, Chung SK, Kang WW. 2013. Comparison of antioxidant activities of radish bud (*Raphanus sativus* L.) according to extraction solvents and sprouting period. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42: 1767-1775.
  43. Kim EY, Baik IH, Kim JH, Kim SR, Rhyu MR. 2004. Screening of the antioxidant activity of some medicinal plants. *Korean J Food Sci Technol* 36: 333-338.