

패 추출물의 항산화능 및 이화학적 특성에 미치는 감마선 조사의 영향

김미정¹ · 송유진¹ · 이소영¹ · 김꽃봉우리¹ · 김서진¹ · 이소정¹ · 윤소영¹ · 김아람² · 전유진³ · 박진규⁴ · 최종일⁴ · 이주운⁴ · 변명우⁴ · 안동현^{1*}

¹부경대학교 식품공학과/식품연구소, ²한국식품연구원
³제주대학교 해양생물공학과, ⁴한국원자력연구원 방사선과학연구소

Effects of γ -Irradiation on Antioxidant and Physicochemical Properties of *Ishige okamurai* Extracts

Mi-Jung Kim¹, Eu-Jin Song¹, So-Young Lee¹, Koth-Bong-Woo-Ri Kim¹, Seo-Jin Kim¹,
So-Jeong Lee¹, So-Young Yoon¹, Ah-Ram Kim², You-Jin Jeon³, Jin-Gyu Park⁴,
Jong-Il Choi⁴, Ju-Woon Lee⁴, Myung-Woo Byun⁴, and Dong-Hyun Ahn^{1*}

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

²Korea Food Research Institute, Gyeonggi 463-746, Korea

³Faculty of Applied Marine Biotechnology, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

⁴Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeonbuk 580-185, Korea

Abstract

The effects of γ -irradiation on antioxidant and physicochemical properties of powder and 70% fermented ethanol extracts of *Ishige okamurai* (*I. okamurai*) were investigated. In case of powder, although yields were increased, there were no significant changes in total phenolic compounds (TPC) and 2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging effect by γ -irradiation at 3, 7, and 20 kGy. In case of 70% fermented ethanol extracts, the results of TPC and DPPH radical scavenging effects showed no significant changes. However, antioxidant index increased in the 20 kGy irradiated *I. okamurai* extracts and decreased in 3 kGy irradiated ones. The optical density value of UV spectrum at 427 nm significantly decreased depending on increasing irradiation dosage. In conclusion, irradiated extracts of *I. okamurai* can be applied to the food industry due to irradiation stability on antioxidant properties. Also, irradiated extracts can be more useful for food processing as a result of a decrease of extracts color by irradiation.

Key words: *Ishige okamurai*, antioxidant, γ -irradiation, color

서 론

최근 소득증가와 고령화 추세에 따라 현대인의 건강에 대한 관심이 증가하고 삶의 질에 대한 의식이 변화하면서 질병 치료 및 노화억제 등의 생명활동에 영향을 미치는 기능성식품과 천연물에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 항균, 항산화 및 면역력 강화 등 천연물의 기능성과 천연물에 함유되어 있는 2차 대사산물의 생리활성 효과에 대한 연구가 주요 관심사가 되고 있다(1).

해조류는 육상식물에 없는 특유의 대사양식을 가지고 있어 육상식물과는 다른 생리활성을 가지고 있다(2). 따라서 해조류의 다양한 생리 활성에 대한 연구가 진행 중이며 해조류로부터의 신규 천연물질의 탐색이 늘어가고 있는 추세이다. 특히 갈조류에는 alginate, fucoidan 및 laminaran과 같은

다당류가 다량 함유되어 있어, 녹조류, 홍조류보다 비교적 높은 생리활성을 보이는 것으로 알려져 있으며(3), 혈중콜레스테롤 저하효과(2,4), 항암효과(5), 항혈액응고효과(6) 및 혈압 강하 작용(7)이 있는 것으로 보고되었다. 패는 갈조식물 중 넓은미역과 속하며 우리나라 남해안과 일본지역에 주로 서식한다. 현재까지 보고된 패에 대한 연구로는 패의 항응혈성(8)과 인체 면역 결핍 바이러스인 HIV-1의 억제 효과(9) 등이 연구되었지만 항산화에 대한 연구는 아직 미비한 상태이다.

감마선은 물질에 투과 시 원자 및 분자에 이온을 생성하게 하는 전리 방사선 중의 하나로서 미생물, 바이러스 및 곤충 사멸을 통한 식품 및 원재료의 부패방지와 발아 및 과일의 성숙 방지를 통한 제품의 안정성 및 보존성 향상 등을 위해 그 사용 범위가 확대되고 있다(10). 뿐만 아니라 최근에는

*Corresponding author. E-mail: dhahn@pknu.ac.kr
Phone: 82-51-629-5831, Fax: 82-51-629-5824

감마선 조사가 천연물의 생리활성을 향상시킨다는 보고(11,12)와 생리활성은 유지하되 천연물의 색을 밝고 투명하게 하여 천연물의 가공적성을 향상시킬 수 있다는 연구결과가 보고됨에 따라 감마선 조사에 대한 연구 및 사용은 더욱 더 활발해질 전망이다(13). 방사선 조사는 단백질, 지방 및 탄수화물과 같은 거대영양소들의 영양적 가치와 소화성에 있어서는 큰 영향을 미치지 않으나, 티아민과 같은 몇 가지 미량영양소에는 식품의 조성과 가공 및 저장조건에 따라 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(14). 하지만 이러한 변화는 조리나 가열과 같은 일반적인 식품의 가공과정에서 오는 손실보다 매우 적다고 할 수 있으며, 국제조사식품자문위원회(ICGFI)에서는 현재까지 연구된 조사식품의 영양학적인 연구결과를 기초로 최대 70 kGy까지의 조사식품에 대해 영양학적으로 안전하다는 결론을 내렸다(14). 국내에서도 20개의 항목에 10 kGy 이하의 방사선 조사를 허용하고 있다(10). 이에 패 분말과 패 70% 발효주정 추출물에 3, 7 및 20 kGy로 감마선 조사한 뒤 수율, 총 페놀화합물 함량, 항산화능 및 이화학적 특성 변화를 측정하여 그 변화를 알아보았고, 이를 통해 산업적 이용 가능성 및 새로운 천연 항산화제로서의 개발 가능성을 알아보았다.

재료 및 방법

실험 재료

제주도에서 채취한 패(*Ishige okamurai*, *I. okamurai*)를 담수로 깨끗이 세척한 후 동결 건조하고 분쇄하여 -70°C에 보관하면서 사용하였다.

추출

패 분말에 10배의 70% 발효주정을 가한 후 Shaker(H-0802, Dongwon science Co., Busan, Korea)를 이용하여 실온에서 24시간 추출하였다. 추출 후 원심분리기(UNION 32R, Hanil Co., Incheon, Korea)로 3,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상층액을 취하고 얻어진 잔사에 다시 10배의 용매를 가하여 추출하는 방법을 3회 반복하여 추출하였다. 3회 반복하여 얻은 여액은 여과지(Advantec 5A, Advantec MFS, Inc., Irvine, CA, USA)로 여과하여 37°C에서 rotary evaporator(RE200, Yamato Co., Tokyo, Japan)로 농축한 뒤 -20°C에 보관하면서 사용하였다.

감마선 조사

한국 원자력 연구원 방사선 과학연구소에 있는 감마선 조사시설에서 100,000 Ci ⁶⁰Co을 선원으로 이용하였다. 실온에서 시간당 일정 선량률로 분말 1 g 또는 추출물 5와 100 mg/mL에 각각 3, 7 및 20 kGy의 흡수선량을 얻도록 조사하였다. 감마선을 조사한 시료는 4°C 냉장보관하면서 실험에 사용하였다.

총 페놀화합물 함량

총 페놀화합물 함량은 Folin-Denis(15)법을 변형하여 측정하였다. 초순수 6.5 mL, 시료 0.5 mL 및 Folin-Ciocalteu's 용액 0.5 mL를 혼합하여 실온에서 3분간 정치시켰다. 여기에 무수 탄산나트륨 포화용액 1 mL를 가하고 초순수로 전체를 10 mL로 정용하여 상온에 1시간 방치시킨 후 UV/visible spectrophotometer(GENESYS 10 UV, Rochester, NY, USA)로 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 gallic acid를 사용하였다.

Rancimat에 의한 항산화도

패 추출물의 항산화도를 측정하기 위해 Rancimat(743, Metrohm Co., Herisau, Swiss)을 사용하였다. Lard oil 3.0 g에 최종 농도가 5 mg/mL가 되도록 시료를 첨가한 후 100°C에서 시간당 20 L의 여과된 공기를 주입시켜 산화를 유도하였다. 휘발성 산화생성물의 생성으로 나타나는 전기 전도도의 변화에 따라 자동적으로 산출된 유도기간으로 항산화 정도를 측정하였다. 각 추출물의 항산화도는 실험구의 유도기간을 무첨가구의 유도기간으로 나눈 값인 anti-oxidant index(AI)로 나타내었다(16).

DPPH 라디칼 소거능

DPPH radical 소거효과는 Blois(17)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 0.5 mL에 0.2 mM DPPH 용액 0.5 mL를 넣고 vortex하여 실온에서 30분간 방치시킨 후 UV/visible spectrophotometer로 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조구는 시료 대신 용매를 가하여 같은 방법으로 측정하였고, 시료 자체의 색을 보정하기 위해 공시험에는 0.2 mM DPPH 용액 대신 초순수를 가하여 측정하였다.

$$\text{라디칼소거능(\%)} = \left(1 - \frac{\text{시료첨가구의 흡광도} - \text{공시험의 흡광도}}{\text{무첨가구의 흡광도}}\right) \times 100$$

UV spectrum 측정

0.5 mg/mL의 패 70% 발효주정 추출물을 UV/visible spectrophotometer로 380~700 nm에서 scanning하여 최대 흡수파장을 얻었다. 감마선 조사에 따른 패 70% 발효주정 추출물의 색 변화는 UV/visible spectrophotometer로 패 70% 발효주정 추출물의 최대흡수파장에서 흡광도를 측정하여 알아보았다.

pH 측정

추출물의 pH는 0.5 mg/mL에서 pH meter(HM-30V, TOA, Kobe, Japan)를 사용하여 측정하였다.

통계처리

실험 결과의 통계처리는 각각의 시료에 대한 평균±표준편차로 나타내었다. SAS Program을 이용하여 분산분석을 실시하였고, 조사 항목들 간의 유의성 검정은 Duncan의 다

중검정법으로 $p < 0.05$ 수준에서 실시하였다.

결과 및 고찰

수율

천연 항산화제를 식품 산업에 적용할 때 천연물의 높은 수율은 큰 부가가치를 창출하는 요소로, 감마선 조사에 의한 천연물의 수율 증가가 많이 보고되고 있다(13). 이에 패 분말을 3, 7 및 20 kGy로 감마선 조사하여 70% 발효주정으로 추출한 뒤 그 수율의 변화를 알아보았다. 그 결과(Table 1), 비조사구의 경우 16.92%의 수율을 보였고, 3, 7 및 20 kGy 조사구는 각각 17.01, 18.08 및 19.33%의 수율을 보여 20 kGy 조사구가 비조사구 및 3, 7 kGy 조사구에 비해 유의적으로 높은 수율을 나타내었다. 키토산에 감마선 조사한 결과 조사선량에 비례하여 키토산의 분자량은 작아지고, 수용성은 커졌다는 보고(18)와 같이 감마선 조사에 따른 수율의 증가는 감마선 조사를 통해 고분자 물질이 저분자 물질로 분해되고, 천연물 내의 불용성 성분들이 가용성 성분으로 변하여 용매에 녹아나오는 물질이 많아졌기 때문으로 사료된다(19). 이는 21종의 한약재를 10 kGy로 감마선 조사한 뒤 70% 에탄올로 추출하여 그 수율의 변화를 알아본 결과(20), 21종의 한약재 모두 비조사구와 비슷하거나 증가된 수율을 보인 결과와 유사하다. 이와 같이 천연물마다 감마선 조사에 대해 각기 다른 수율의 변화를 보이는 이유는 각 천연물의 조성이 다르며 추출 용매와 추출 방법이 다르기 때문인 것으로 사료된다(19).

총 페놀화합물 함량

패 분말에 3, 7 및 20 kGy로 감마선 조사하여 70% 발효주정으로 추출한 뒤 총 페놀화합물 함량의 변화를 알아보았다. 그 결과(Table 1), 비조사구, 3, 7 및 20 kGy 조사구는 각각 26.5, 24.7, 26.8 및 25.3 mg/g의 값을 보여 7 kGy 조사구는 비조사구와 비슷하였으며, 20 kGy 조사구는 비조사구보다 다소 낮은 값을 보였다. 이와 같이 감마선 조사에 의한 총 페놀화합물 함량의 증가는 천연물 내에서 고분자 중합체의 일부분으로 존재하고 있던 페놀화합물들이 감마선 조사에 의해 여러 개의 저분자 페놀화합물로 분해되었기 때문이며

(21), 감마선 조사에 따라 총 페놀화합물 함량이 감소하는 것은 감마선 조사에 의해 생성된 라디칼이 페놀화합물과 반응하거나 페놀화합물이 다른 물질과 재결합에 의한 것으로 사료된다(22). 이 결과는 브라질 콩에 0.5~10 kGy로 감마선 조사하여 총 페놀화합물 함량을 알아본 결과(23), 2.5 kGy 조사구에서는 증가하였고, 10 kGy에서는 감소한 결과 및 버섯에 2.5~20 kGy의 감마선을 조사 시(19), 조사선량에 비례하지 않고 증가하거나 감소한 결과와 유사하다.

패 70% 발효주정 추출물을 5 mg/mL의 농도에서 3, 7 및 20 kGy로 감마선 조사한 뒤 0.5 mg/mL로 희석하여 총 페놀화합물 함량의 변화를 알아보았다(Table 2). 그 결과, 비조사구, 3, 7 및 20 kGy 조사구는 각각 26.5, 26.2, 26.1 및 26.1 mg/g의 총 페놀화합물 함량을 보여 감마선 조사선량에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이 결과는 복분자 착즙액 에탄올 추출물에 20 kGy로 감마선 조사하여 비조사구와 조사구간의 총 페놀화합물 함량 변화를 알아본 결과(24), 조사구가 비조사구보다 미미하게 감소하였으나 유의적인 차이가 없었던 결과와 유사하다. 반면 녹차 잎 70% 에탄올 추출물에 20 kGy의 감마선을 조사하여 총 페놀화합물 함량의 변화를 알아본 결과(12), 조사구의 총 페놀화합물 함량이 비조사구의 총 페놀화합물 함량보다 낮았던 결과와는 달랐다. 이와 같이 감마선 조사에 의한 천연물의 총 페놀화합물 함량 변화가 다른 것은 색상을 나타내는 화학구조와 페놀 등의 기능성을 나타내는 구조가 감마선에 대한 감수성 차이에 기인된다(24). 이상의 결과를 종합해 볼 때, 감마선 조사된 패 분말 및 70% 발효주정 추출물의 총 페놀화합물 함량은 무처리구와 비교 시 큰 차이를 보이지 않아 감마선 조사에 안정한 것으로 사료된다.

Rancimat에 의한 항산화도

Rancimat은 고온에서 유지에 산소를 주입하여 유지의 산화를 촉진시키고, 산화된 유지에서 발생하는 휘발성 물질을 물에 흡수시켜 물의 전도도 변화를 측정함으로써 산화도를 측정하는 방법이다. 시료의 항산화도는 실험구의 유도기간

Table 1. Changes in yields and antioxidant properties of irradiated *Ishige okamurai* powder extracted in 70% fermented ethyl alcohol

| | Yields (%) | TPC (mg/g of dry sample) ¹⁾ | DPPH radical scavenging effect (%) ²⁾ |
|--------|---------------------------|--|--|
| 0 kGy | 16.92±0.23 ^{b3)} | 26.48±0.19 ^a | 94.63±0.21 ^a |
| 3 kGy | 17.01±0.01 ^b | 24.66±0.07 ^b | 94.13±0.12 ^b |
| 7 kGy | 18.08±0.42 ^{ab} | 26.84±0.15 ^a | 94.09±0.00 ^b |
| 20 kGy | 19.33±1.36 ^a | 25.28±0.08 ^b | 94.27±0.12 ^b |

¹⁾TPC: total phenolic compounds.

²⁾Concentration of sample: 0.5 mg/mL.

³⁾Means in the same column bearing different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

Table 2. Changes in antioxidant properties of irradiated 70% fermented ethyl alcohol extracts of *Ishige okamurai*

| | TPC (mg/g of dry sample) ¹⁾ | AI ²⁾ | DPPH radical scavenging effect (%) ³⁾ |
|--------|--|-------------------------|--|
| 0 kGy | 26.48±0.19 ^{a4)} | 1.07±0.19 ^{ab} | 94.63±0.21 ^a |
| 3 kGy | 26.21±0.14 ^a | 0.74±0.12 ^b | 94.43±0.21 ^a |
| 7 kGy | 26.08±0.05 ^a | 0.91±0.18 ^{ab} | 94.33±0.16 ^{ab} |
| 20 kGy | 26.11±0.07 ^a | 1.22±0.31 ^a | 94.02±0.21 ^b |

¹⁾TPC: total phenolic compounds.

²⁾AI (antioxidant index): induction time of oil containing of each extraction/induction time of test oil, concentration of sample in AI test: 5 mg/mL.

³⁾Concentration of sample: 0.5 mg/mL.

⁴⁾Means in the same column bearing different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

을 무침가구의 유도기간으로 나눈 AI값으로 비교하였고, AI 값이 높아질수록 항산화능이 높음을 의미한다(25).

3, 7 및 20 kGy로 감마선 조사한 돼 70% 발효주정 추출물의 lard oil에 대한 지질산화 억제능의 변화를 Rancimat으로 알아보았다(Table 2). 그 결과, 비조사구, 3, 7 및 20 kGy 조사구에서 각각 1.07, 0.74, 0.91 및 1.22의 AI값을 보여 3과 7 kGy 조사구의 경우 비조사구보다 낮은 값을 나타내었고, 20 kGy 조사구의 경우 비조사구보다 높은 값을 보였다. 본 실험에서 돼 70% 발효주정 추출물은 감마선 조사에 따라 카로테노이드 및 플라보노이드와 같은 색소 성분이 파괴되는 등의 이유로 황색을 띠던 추출물의 색이 옅어졌다(Table 3). Aparicio 등(26)은 올리브유를 기질 유지로 한 Rancimat 측정에 있어 페놀, 토코페롤, 카로테노이드, 클로로필 함량 그리고 올레인산과 리놀레인산 비율이 큰 상관관계를 보인다고 했다. 이로 미루어보아 감마선 조사에 따라 감소된 색소 성분의 영향으로 3과 7 kGy 조사구에서 AI값이 감소한 것으로 사료된다. Torres de Pinedo 등(27)은 항산화 물질 속에 있는 카테콜 구조가 지질의 산화 억제능에 있어 페놀 화합물이나 메톡시 그룹보다 효과적이라고 보고하였다. 본 실험에서 감마선 조사에 따른 돼 70% 발효주정 추출물의 총 페놀화합물 함량은 유의적인 차이를 보이지 않았음에도 20 kGy 조사구의 지질 산화 억제에 있어 값이 상승한 것은 페놀 화합물이 아닌 카테콜 구조와 같은 지질 산화 억제에 효과적인 다른 물질이 생성된 것으로 사료된다. 이는 루핀 종자에 감마선 조사하여 Rancimat에 의한 항산화도 변화를 알아 본 결과(28), 감마선 조사에 따라 증가하거나 감소한 결과와 유사하며, 히알루론산에 감마선 조사하여 Rancimat에 의한 항산화도 변화를 알아 본 결과(29), 비조사구와 조사구간의 유의적인 차이를 보이지 않은 결과와는 다른 경향이였다. 이와 같이 항산화 물질 및 그 상태에 따라 유도기간이 다르게 나타나는 이유는 각각의 항산화 물질은 과산화물의 생성을 제어할 수도 있고, 항산화 물질 내부에 함유한 금속 성분 등에 의해 과산화물의 생성을 촉진할 수도 있기 때문이다(30).

DPPH radical 소거능

돼 분말에 3, 7 및 20 kGy의 감마선을 조사한 뒤 70% 발효주정으로 추출하여 DPPH 라디칼 소거능의 변화를 알아보았다. 그 결과(Table 1), 모든 시험구에서 약 94%의 라디칼 소거능을 보여 감마선 조사에 따른 큰 차이를 보이지 않았다. 이 결과는 비트에 2.5~30 kGy로 감마선 조사한 후 라디칼 소거능을 알아본 결과(31), 비조사구와 조사구 간의 유의적인 차이 없이 약 80%의 값을 보인 결과와 유사하며, 왕겨에 0.2~1 kGy의 감마선을 조사한 후 라디칼 소거능의 변화를 알아본 결과(32), 조사구가 비조사구보다 높은 값을 보인 결과와는 다른 결과였다. 이와 같이 감마선 조사에 의해 항산화능이 증가하거나 감소하는 것은 감마선 조사에 따라 천연물 성분 중 일부가 분해되거나 재결합하여 생성된 새로운

물질의 항산화능이 본래의 것보다 향상된 것일 수도 있고 감소된 것일 수도 있기 때문으로 사료된다(22).

돼 70% 발효주정 추출물을 5 mg/mL의 농도에서 3, 7 및 20 kGy로 감마선 조사한 뒤 0.5 mg/mL로 희석하여 DPPH 라디칼 소거능의 변화를 알아본 결과(Table 2), 모든 시험구에서 약 94%의 라디칼 소거능을 보여 총 페놀 화합물 함량의 변화와 같이 감마선 조사에 따른 큰 차이를 보이지 않았다. 이 결과는 북분자 에탄올 추출물에 20 kGy로 감마선 조사하여 비조사구와 조사구간의 전자공여능의 변화를 알아본 결과(24), 조사구가 비조사구보다 미미하게 감소하였으나 유의적인 차이가 없었던 결과와 유사하며, 문어 자숙액 에탄올 추출물에 1~10 kGy로 감마선 조사한 후 전자공여능의 변화를 알아본 결과(11), 10 kGy 조사구의 라디칼 소거능이 비조사구보다 증가한 값을 보인 결과와는 다른 결과였다. 고에너지의 감마선 조사는 물분자의 산소, 수소 결합을 분해하여 수산 라디칼을 생산하고 단백질의 저 분자화를 유도하며, 저에너지 감마선 조사는 식물 유지의 항산화능을 증가시킨다는 보고가(33,34)있으나, 본 실험에서는 감마선 조사에 의해 라디칼 소거능이 무처리구와 비교 시 비슷하게 유지되어 돼 70% 발효주정 추출물은 감마선 조사에 안정한 것으로 사료된다.

색

천연물은 클로로필과 플라보노이드 같은 색소성분이 다량 함유되어 있어 식품에 첨가 시 이들 색소 성분이 식품 자체의 색에 긍정적인 혹은 부정적인 영향을 미치기 때문에 다량 첨가할 수 없는 한계점이 있다. 따라서 여러 가지 정제 과정을 거쳐 완제품의 품질에 영향을 미치지 않도록 처리한 후 첨가하는 것이 일반적인 방법이었다(24,35). 하지만 최근 감마선 조사기술을 이용하여 천연물의 색소를 제거할 수 있다는 연구(36)가 보고됨에 따라, 천연물의 가공적성을 향상시키기 위한 수단으로 감마선 조사 기술이 주목받고 있다. 감마선 조사기술을 식품 산업에 적용 시 복잡한 처리과정을 거치지 않고 천연물의 색소를 제거할 수 있으므로 시간과 비용을 절감할 수 있으며, 이를 통해 다량의 천연물을 식품에 첨가할 수 있어 천연물의 기능성을 최대한 살릴 수 있을 것으로 생각된다.

이에 돼 70% 발효주정 추출물을 3, 7 및 20 kGy로 감마선 조사한 뒤 돼 70% 발효주정 추출물의 최대 흡수 파장인 427 nm에서 감마선 조사에 따른 색의 변화를 측정하였다(Table 3). 그 결과, 조사선량이 증가함에 따라 흡광도가 유의적으로 낮아져 비조사구, 3, 7 및 20 kGy조사구는 각각 0.414, 0.247, 0.079 및 0.064의 흡광도 값을 보였다. 이와 같이 색의 강도는 7 kGy조사구까지 큰 폭으로 감소하였으며, 7 kGy 조사구와 20 kGy 조사구 간에는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 돼 추출물의 색은 황색으로 감마선 조사에 의해 색이 옅어졌는데, 황색 색소의 최대 흡수 파장이 400 nm 부근으로 이러한 흡광도의 감소는 천연물 내에 색소성분으로 다량 존재하는

Table 3. Changes in UV-spectrum absorption intensity of irradiated 70% fermented ethyl alcohol extracts of *Ishige okamurai*

| | Optical density (427 nm) ¹⁾ |
|--------|--|
| 0 kGy | 0.414±0.008 ^{a2)} |
| 3 kGy | 0.247±0.010 ^b |
| 7 kGy | 0.079±0.010 ^c |
| 20 kGy | 0.064±0.003 ^c |

¹⁾Concentration of sample: 0.5 mg/mL.

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

카로테노이드와 플라보노이드계 색소가 감마선 조사에 의해 파괴되어 명도가 높아졌기 때문에 사료된다(35).

이상의 결과를 통해 감마선 조사된 패 70% 발효주정 추출물을 식품 천연 항산화제로 사용 시 본래의 항산화 활성을 유지하면서 비조사구보다 식품자체의 색에 큰 영향을 미치지 않아 식품 천연 항산화제로서 적용이 용이할 것으로 사료된다. 이 결과는 파베기 모자반 물 추출물에 감마선 조사 시 조사선량이 증가할수록 비조사구에 비해 UV spectrum 흡광도가 낮아져 색이 얼어진 결과(37)와 유사하나 알긴산과 카라기난에 감마선을 조사하여 그 색의 변화를 알아본 결과(38), 조사선량에 비례하여 흡수강도가 증가한 결과와는 다른 결과이다.

pH

생리활성이 뛰어난 천연물을 식품에 첨가 시 천연물이 가진 pH는 단백질의 용해도 및 추출율(39), 효소의 활성(40) 그리고 저장성 및 색소안정성에 영향을 미쳐(41) 가공식품의 품질특성에 영향을 미친다. 따라서 천연 항산화제를 가공식품에 적용할 때에는 천연물 자체의 pH가 고려되어야 한다. 패 70% 발효주정 추출물을 5 mg/mL의 농도에서 3, 7 및 20 kGy로 감마선 조사한 뒤 0.5 mg/mL로 희석하여 pH의 변화를 알아보았다(Table 4). 그 결과, 비조사구, 3, 7 및 20 kGy 조사구는 각각 5.90, 5.79, 5.77 및 5.76의 pH 값을 보여 조사구가 비조사구보다 다소 낮은 값을 보였으나, 조사구간에는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이와 같은 pH의 감소는 추출물 분자 구조의 파괴에 따른 카르복실릭 그룹의 형성과 감마선 조사 시 글리코시드 결합의 파괴에 따라 생성된 자유 라디칼이 다당류의 산성화를 유도했기 때문으로 사료된다(37). 이 결과는 하이루로닉산에 감마선 조사하여 pH

Table 4. Changes in pH of irradiated 70% fermented ethyl alcohol extracts of *Ishige okamurai*

| | pH ¹⁾ |
|--------|--------------------------|
| 0 kGy | 5.90±0.02 ^{a2)} |
| 3 kGy | 5.79±0.05 ^b |
| 7 kGy | 5.77±0.01 ^b |
| 20 kGy | 5.76±0.01 ^b |

¹⁾Concentration of sample: 0.5 mg/mL.

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

변화를 알아본 결과(38), 조사선량에 비례하여 pH가 감소한 결과와 유사하였다.

요 약

감마선 조사는 식품의 부패방지 및 안정성 향상을 위해 그 사용 범위가 확대되고 있다. 이에 본 연구에서는 패 분말과 70% 발효주정 추출물에 3, 7 및 20 kGy로 감마선을 조사하여 항산화능의 변화를 알아보았다. 패 분말에 감마선 조사하여 70% 발효주정으로 추출한 뒤 수율, 총 페놀화합물 함량 및 DPPH 라디칼 소거능의 변화를 알아본 결과, 조사선량이 증가함에 따라 수율은 증가하여 20 kGy 조사구에서는 19%의 수율을 보였으나, 총 페놀화합물 함량 및 DPPH 라디칼 소거능에 있어서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 패 70% 발효주정 추출물에 감마선 조사하여 총 페놀화합물 함량, 항산화능 및 이화학적 특성 변화를 알아본 결과, Rancimat에 의한 항산화도에 있어서는 비조사구 및 3, 7, 20 kGy 조사구 각각 1.07, 0.74, 0.91 및 1.22의 AI값을 보여 3과 7 kGy 조사구는 감소하였으며, 20 kGy 조사구는 증가하였다. 총 페놀화합물 함량과 DPPH 라디칼 소거능은 분말에 감마선 조사하였을 때와 같이 유의적인 차이를 보이지 않았다. 색도는 감마선 조사선량이 증가함에 따라 유의적으로 색이 감소하는 경향을 보였고, pH의 경우 조사구가 비조사구보다 다소 감소한 값을 보였다. 따라서 감마선 조사된 패 70% 발효주정 추출물은 본래의 항산화 활성을 유지하면서 비조사구보다 패 추출물 본래의 색이 얼어져 식품에 첨가 시 식품자체의 색에 큰 영향을 미치지 않아 식품 천연 항산화제로서 적용이 용이할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 2007년도 원자력연구기반확충사업의 일환으로 수행되었으며, 부분적으로 2008년도 Brain Busan 21사업에 의한 지원에 의해 이루어진 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Fang YZ, Yang S, Wu G. 2002. Free radical, antioxidant, and nutrition. *Nutrition* 18: 872-879.
2. Kim YY, Lee KW, Kim GB, Cho YJ. 2000. Studies on physicochemical and biological properties of depolymerized alginate from sea tangle, *Laminaria japonicus* by thermal decomposition. *J Kor Fish Soc* 33: 393-398.
3. Girard JP, Marion C, liutkus M, Boucard M, Rechencq E, Vidal JP, Rossi JC. 1998. Hypotensive constituents of marine algae. I. Pharmacological studies of laminine. *Plantamed* 54: 193-196.
4. Lee NH, O KL. 2000. Screening of radical scavenging effects from marine algae. *Cheju J Life Science* 3: 95-101.
5. Jung BM, Ahn CB, Kang SJ, Park JH, Chung DH. 2001. Effects of *Hijikia fusiforme* extracts on lipid metabolism

- and liver antioxidative enzyme activities in triton-induced hyperlipidemic rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 1184-1189.
6. Cho KJ, Lee YS, Ryn BH. 1990. Antitumor effects and immunology activity of seaweeds toward sarcoma-180. *Bull Korean Fish Soc* 23: 345-352.
 7. Shim YY, An JH, Cho WD, Chun H, Kim KI, Cho HY, Yang HC. 2002. Inhibitory mechanism of blood coagulation and in vivo anticoagulant activities of polysaccharides isolated from *Codium fragile*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 917-923.
 8. Athukorala Y, Lee KW, Kim SK, Jeon YJ. 2007. Anticoagulant activity of marine green and brown algae collected from Jeju island in Korea. *Bioresour Technol* 98: 1711-1716.
 9. Ahn MJ, Yoon KD, Kim CY, Kim JH, Shin CG, Kim J. 2006. Inhibitory activity on HIV-1 reverse transcriptase and integrase of a carmalol derivative from a brown alga, *Ishige okamurae*. *Phytother Res* 20: 711-713.
 10. Kwon JH. 2003. Commercialization of food irradiation technology and the identification of irradiated foods. *Food Sci Industry* 36: 50-55.
 11. Kim HJ, Choi JI, Lee HS, Kim JH, Byun MW, Chun BS, Ahn DH, Yook HS, Lee JW. 2007. Improvement of physiological activity of the ethanol extract from boiled-water of *Enterctopus dofleini* by gamma irradiation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 1612-1616.
 12. Khattak KF, Simpson TJ, Ihasnullah. 2008. Effects of gamma irradiation on the extraction yield, total phenolic content and free radical-scavenging activity of *Nigella Staiiva* seed. *Food Chem* 110: 967-972.
 13. Lee NY, Jo C, Sohn SH, Kim JK, Byun MW. 2006. 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.
 14. Yook HS, Byun MW. 2001. Nutritional safety of food irradiated with high dose. *Food Ind Nutr* 6: 54-55.
 15. 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.
 16. Oh JY, Choi U, Kim YS, Shin DH. 2003. Isolation and identification of antioxidative components from bark of *Rhus javanica* Linne. *Korean J Food Sci Technol* 35: 726-732.
 17. Blois MS. 1985. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1990-2100.
 18. Feng T, Du Y, Li J, Hu Y, Kennedy JF. 2008. Enhancement of antioxidant activity of chitosan by irradiation. *Carbohydr Polym* 73: 126-132.
 19. Huang SJ, Mau JL. 2007. Antioxidant properties of methanolic extracts from *Antrodia camphorata* with various doses of γ -irradiation. *Food Chem* 105: 1702-1710.
 20. Kim MJ, Yook HS, Byun MW. 2000. Effects of gamma irradiation on microbial contamination and extraction yields of Korean medicinal herbs. *Radiat Phys Chem* 57: 55-58.
 21. Harrison K, Were LM. 2007. Effects of gamma irradiation on total phenolic content yield and antioxidant capacity of Almond skin extracts. *Food Chem* 102: 932-937.
 22. Perez MB, Calderon NL, Croci CA. 2007. Radiation-induced enhancement of antioxidant activity in extracts of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Food Chem* 104: 585-592.
 23. Villavicencio ALCH, MAncini-Filho J, Delincee H, Greiner R. 2000. Effect of irradiation on anti-nutrients (total phenolics, tannins and phytate) in Brazilian beans. *Radiat Phys Chem* 57: 289-293.
 24. Kim HJ, Jo C, Kim HJ, Shin DH, Son JH, Byun MW. 2006. 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.
 25. Yen GC, Chang YC, Su SW. 2003. Antioxidant activity and active compounds of rice koji fermented with *Aspergillus candidus*. *Food Chem* 83: 49-54.
 26. Aparicio R, Roda L, Albi MA, Gutiérrez F. 1995. Effect of various compounds on virgin olive oil stability measured by Rancimat. *J Agr Food Chem* 47: 4150-4155.
 27. Torres de Pinedo A, Peñalver P, Pérez-Victoria I, Rondón D, Morales JC. 2007. Synthesis of new phenolic fatty acid esters and their evaluation as lipophilic antioxidants in an oil matrix. *Food Chem* 105: 657-665.
 28. Lampart-Szczapa E, Korczak J, Nogala-Kalucka M, Zawirska-Wojtasiak R. 2003. Antioxidant properties of lupin seed products. *Food Chem* 83: 279-285.
 29. Kim JK, Srinivasan P, Kim JH, Choi JI, Park HJ, Byun MW, Lee JW. 2008. Structural and antioxidant properties of gamma irradiated hyaluronic acid. *Food Chem* 109: 763-770.
 30. Martí'nez-Tomé' M, Murcia MA, Frega N, Ruggieri S, Jimé'nez AM, Roses F. 2004. Evaluation of antioxidant capacity of cereal brans. *J Agr Food Chem* 52: 4690-4699.
 31. Kim KH, Lee SA, 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.
 32. Jeong SM, Kim JH, Kim DY, Yook HS, Byun MW, Lee SC. 2002. Effects of small-dose irradiation of γ -ray on the antioxidant activity of rice hull. *J Basic Sciences* 16: 105-113.
 33. Lim SI, Yuk HS, Yoon HH, Kim YJ, Byun MW. 1998. Effects of gamma irradiation on egg white protein. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 27: 291-295.
 34. Faran RS, Khawas KH. 1998. Influence of γ -irradiation and microwaves on the antioxidant property of some essential oils. *Inter J Food Sci Nutr* 49: 109-115.
 35. Son JH, Jo C, Kim MR, Kim JO, Byun MW. 2001. Effects of gamma irradiation on removal of undesirable color from green tea extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 1305-1308.
 36. An BJ, Kwak JH, Son JH, Park MJ, Lee JY, Jo C, Byun MW. 2004. Biological and antimicrobial activity of irradiated green tea polyphenol. *Food Chem* 88: 547-555.
 37. 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. 2008. Effects of gamma irradiation on antioxidant properties and physical characteristics of *Sargassum siliquastrum* water extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 357-361.
 38. Song EJ, Lee SY, Kim KBWR, Park JG, 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.
 39. Kwon HJ, Lee KH, Kim JH, Chun SS, Cho YJ, Cha WS. 2006. Effects of protease on the extraction and properties of the protein from silkworm pupa. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 49: 304-308.
 40. Lim SI. 2000. Purification and characterization of protease produced by *Aspergillus wentii* isolated from Korean traditional Meju. *Korean J Food Sci Technol* 32: 161-167.
 41. Torskangerpoll K, Andersen OM. 2005. Colour stability of anthocyanins in aqueous solutions at various pH values. *Food Chem* 89: 427-440.