

감마선 조사선량에 따른 버찌(Fruit of *Prunus serrulata* L. var. *spontanea* Max. wils.) 에탄올 추출물의 항산화활성

김경희 · 조지은 · 이성아 · 육홍선[†]
충남대학교 식품영양학과

Antioxidative Properties of Ethanolic Extracts from Flowering Cherry (*Prunus serrulata* L. var. *spontanea* Max. wils.) Fruit with Various Doses of Gamma Radiation

Kyung-Hee Kim, Ji-Eun Jo, Seong-A Lee, and Hong-Sun Yook[†]

Dept. of Food and Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Abstract

This study investigated the antioxidant activity of ethanolic extracts of 1~20 kGy-gamma irradiated flowering cherry fruit (*Prunus serrulata* L. var. *spontanea* Max. wils.). The total phenolic compound content was highest (30.35 mg/g) in the 10 kGy sample, but there was no consistent trend matching the increase or decrease of gamma irradiation. Radical scavenging activity using DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) showed that gamma-irradiated samples were better than non-irradiated samples and that the 10 kGy-gamma irradiated sample was the best (IC₅₀ 327.52 ppm). In reducing power, gamma-irradiated samples induced higher activities than non-irradiated samples at concentrations below 2.5 mg/mL, and the sample with the highest activity was the 20 kGy-gamma irradiated sample. In nitrite-scavenging ability, both gamma-irradiated and non-irradiated samples showed high activity (73~94%) at pH 1.2, 3.0, and 4.2. Also, the nitrite-scavenging ability of gamma-irradiated samples was significantly different from that of the control at pH 1.2. The FRAP value of the 3 kGy-irradiated sample also showed the highest value of 0.38 mM. Our results indicate that gamma irradiating the ethanolic extracts of flowering cherry fruit increases the antioxidant activity at some of the radiation doses. Therefore, it suggests that gamma irradiation could increase biological activity and be used effectively in food manufacturing and related industries.

Key words: fruit of flowering cherry (*Prunus serrulata* L. var. *spontanea* Max. wils.), antioxidative properties, gamma irradiation

서 론

버찌는 쌍떡잎식물 장미목 장미과 벚나무속 식물의 열매로 핵과(核果)로서 둥글거나 심장형이며 지름은 약 2 cm이고 노란빛을 띤 검붉은 색이다. 우리나라의 재래종 버찌는 일명 '흑앵(黑櫻)'이라고 불려왔으며, 과즙이 적고 색이 검정에 가까울 정도로 질다. 버찌에 함유된 당질로는 포도당이 가장 많으며 다음으로 과당, 서당의 순서로 분석되고 있다. 유기산으로는 주로 사과산이 함유되어 있고, 그밖에 호박산, 주석산, 구연산 등이 미량 존재한다. 또한 강력한 항산화 물질이기도 한 안토시아닌과 quercetin이 염증을 해소시키는 작용을 하여 관절염 치료에도 효과가 있는 것으로 알려져 있다(1). 우리나라에서 최근 가로수 등으로 사용이 증가하고 있는 벚나무는 그 양이 증가하고 있으나 벚나무 열매인 버찌는 성숙된 뒤 땅으로 떨어져 방치되거나 주위를 오염시키는 것은 물론 도시 미관을 해치는 요인으로 작용하고 있다. 최

근에는 이러한 버찌를 이용해 베이커리류(2-5), 요구르트(6), 초콜릿(7), 젤리(8) 등의 가공식품에 접목하여 품질 및 관능적 특성을 연구한 바 있다. 또한 버찌에 함유된 적색색소인 안토시아닌과 관련하여 붉은 무 안토시아닌의 특성에 관한 연구(9), 적포도주의 색소특성 및 안정화 연구(10), 각종 과일가공품의 색소 안전성에 대한 연구(11) 및 색소특성에 관한 연구(12)가 있으며, 적색색소 소재개발의 차원에서 유색미 색소에 관한 연구(13,14)와 자색고구마색소에 관한 연구(15,16) 등이 활발히 진행되고 있다.

한편 방사선 조사는 식품 및 소재의 부패방지, 제품의 안전성 및 보존성 향상의 효과가 보고되어 식품뿐만 아니라 제약, 의료 및 화장품과 같은 공중보건산물에 널리 사용되며(17-19), 감마선 조사기술은 식품 고유의 풍미와 생화학적 품질을 유지하면서 미생물을 선택적으로 살균할 수 있고, 포장상태에서도 살균 처리가 가능하여 제조공정에서의 2차 오염을 방지할 수 있는 특성을 가지고 있다(20,21). 특히 최

[†]Corresponding author. E-mail: yhsuny@cnu.ac.kr
Phone: 82-42-821-6840, Fax: 82-42-821-8887

근에는 천연 추출물에 감마선 조사를 응용하여 첨가제 등으로 사용하기에 바람직하게 선택을 받고 투명하게 변화시키면서 본래 가지고 있던 생리활성은 유지할 수 있다는 연구결과가 보고되었으며, 이의 공중 보건 제품 소재로서 활용도 진행 중에 있다(22,23).

따라서 본 연구에서는 폐자원으로 버려지는 버찌의 활용 증대방안 모색 및 천연 추출물에 미치는 감마선 조사의 영향을 알아보기 위해 버찌의 에탄올 추출물에 감마선 조사를 실시하고, 이에 따른 항산화활성의 비교를 실시하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 버찌(*Prunus serrulata* L. var. *spontanea* Max. wills.)는 경남 진해시 농업기술센터에서 수확한 버찌를 제공받아 사용하였다.

추출 및 감마선 조사

씨를 제거한 버찌 열매 100 g에 70% ethanol 1 L를 가하여 3회 반복 추출 후 회전진공농축기(Eyela A-1000S, Tokyo Rikakikai Co., Tokyo, Japan)로 35°C에서 1/9로 감압 농축하였으며 이렇게 농축된 추출원액을 감마선 조사에 사용하였다. 감마선 조사는 (주)그린피아 선원 878,000 Ci, Co60 감마선 조사시설(IR-149 gamma irradiator, MDS Nordion, Ottawa, ON, Canada)을 이용하여 실온에서 시간당 1, 3, 5, 10, 20 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였고, 흡수선량의 확인은 dosimeter(PMMA dosimeter, Harwell Dosimeter Ltd., Didcot, England)를 사용하였으며, 흡수선량의 오차는 ±0.2 kGy였다.

Total polyphenol 화합물 함량 분석

총 폴리페놀 화합물 함량은 Folin-Ciocalteu's의 방법(24)에 따라 측정하였다. 추출된 각 시료는 10 mg/mL의 농도로 희석한 후 이 시료를 0.1 mL 취하고 증류수 8.4 mL와 50% Folin-Ciocalteu's 시약(2 N) 0.5 mL을 첨가하고 20% Na₂CO₃ 1 mL을 가하여 1시간 방치 후 725 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 gallic acid를 이용한 표준 검량식에 적용하여 시료 중 총 폴리페놀 함량을 구하였다.

DPPH radical 소거능 분석

항산화 활성은 Blois의 방법(25)에 준한 DPPH radical 소거능 측정방법을 이용하였다. 추출된 각 시료는 0.1~1 mg/mL의 농도로 희석한 후 시료 0.1 mL에 60 μM DPPH 용액 3.9 mL를 가한 뒤 vortex mixer로 10초간 진탕하고 실온에서 30분간 방치한 후 spectrophotometer(UV-1800 spectrophotometer, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 517 nm에서 흡광도를 측정하여 다음과 같은 계산식에 의해 환산하여, 대조군에 대한 50% 흡광도의 감소를 나타내는 검체의 농도(IC₅₀)로 표시하였다.

$$\text{Electron donating activity (\%)} = \left(1 - \frac{A}{B}\right) \times 100$$

A: absorbance of sample

B: absorbance of blank

Reducing power 측정

Reducing power는 Oyaizu의 방법(26)에 따라 측정하였다. 추출된 각 시료는 1, 2.5, 5, 10 mg/mL로 각각 제조한 후 시료 1 mL에 200 mM sodium phosphate buffer(pH 6.6) 0.25 mL와 1% potassium ferricyanide 0.25 mL를 넣어 50°C에서 20분간 반응시킨 후 10% trichloroacetic acid를 0.25 mL 첨가하여 교반시켜 3,000 rpm에서 5분간 원심분리 하였다. 그 다음 상층액 0.5 mL과 증류수 0.5 mL, 0.1% ferric chloride 0.1 mL을 혼합한 후 700 nm에서 흡광도를 측정하였다.

아질산염 소거능 측정

아질산염 소거능은 Kato 등(27)의 방법에 따라 1 mM NaNO₂ 용액 0.1 mL에 감마선 조사된 추출물을 5 mg/mL의 농도로 하여 시료 0.2 mL를 가하고 0.1 N HCl(pH 1.2), 0.2 M citrate phosphate buffer(pH 3.0, pH 4.2, pH 6.0)로 각각 pH를 보정한 다음 반응액의 부피를 1 mL로 조정된 후 이 용액을 37°C에서 1시간 반응시킨 후 2% 초산 5 mL와 30% 초산에 용해한 Griess 시약(1% sulfanylic acid : 1% naphthylamine = 1:1) 0.4 mL를 가하여 15분간 방치한 다음 520 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조구는 증류수 0.4 mL를 가하여 상기와 동일한 방법으로 측정하여 잔존하는 아질산염을 구하였으며, 양성대조군은 ascorbic acid를 사용하여 측정하였다. 아질산염 소거능은 시료를 첨가하기 전과 후의 아질산염 백분율(%)로 표시하였다.

$$N (\%) = \left(1 - \frac{A-C}{B}\right) \times 100$$

N: nitrite scavenging ability

A: absorbance of 1 mM NaNO₂ added sample after standing for 1 hr

B: absorbance of 1 mM NaNO₂

C: absorbance of control

FRAP value 측정

감마선 조사된 버찌 추출물의 FRAP value 측정은 Benzie와 Strain의 방법(28)을 참고하여 측정하였다. FRAP reagent는 25 mL acetate buffer(300 mM, pH 3.6)를 37°C에서 가온한 후, 40 mM HCl에 용해한 10 mM 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine(TPTZ, Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA) 2.5 mL과 20 mM ferric sulfate(FeSO₄) 2.5 mL을 가하여 제조하였다. 제조된 0.9 mL FRAP reagent에 시료 0.03 mL과 증류수 0.09 mL을 넣은 후 37°C에서 10분간 반응시킨 후 593 nm에서 흡광도를 측정하였다. Control은 시료 대신 에탄올을 넣어 측정하였다. Ascorbic acid를 1 mg/mL

농도로 제조하여 대조군으로 사용하였고 계산은 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 및 1 mM의 농도로 반복하여 작성한 FeSO₄의 검량식에 대입하여 구하였다.

통계처리

실험 결과는 SPSS 17.0(Statistical Package for Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) software를 이용하여 분산분석을 실시하였으며, 유의적 차이가 있는 항목에 대해서 Duncan's multiple range test로 p<0.05 수준에서 유의차 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

감마선 조사된 버찌의 total polyphenol 화합물 함량

식물체에 널리 존재하는 페놀성 화합물은 이차 대사산물로 이들의 종류는 구조에 따라 분류하며 다시 세부적으로는 수산기의 위치에 따라 그리고 다른 치환기의 수와 위치에 따라 분류된다. 페놀성 화합물 중 가장 널리 분포하며 종류가 다양한 플라보노이드는 주된 항산화 물질로 알려져 있다(29). 감마선 조사가 총 페놀 화합물에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 70% ethanol로 추출한 버찌 추출물에 감마선 조사를 실시하고 총 폴리페놀 함량을 측정된 결과는 Table 1에 나타내었다. 총 폴리페놀 함량은 10 mg/mL의 농도로 하여 측정하였으며, 그 결과 10 kGy 조사구가 30.35 mg/g으로 가장 높고, 3 kGy 조사구가 27.31 mg/g으로 가장 낮게 나타났다. 결과적으로 감마선 조사에 따른 일정한 증가나 감소의 경향은 나타나지 않았지만, Beaulieu 등(30)의 연구에서 양송이에 2 kGy의 감마선을 처리한 경우 총 페놀 함량이 증가한다고 보고하였으며, Kim 등(31)의 연구에서는 복분자 착즙액 에탄올 추출물에 20 kGy의 감마선을 조사한 결과 총 폴리페놀 함량이 약간 감소하는 것으로 보고되어 조사선량에 따른 활성물질의 증가와 감소정도가 다르게 나타나므로, 시료에 따른 적절한 선량의 감마선 조사 시에 생리활성물질의 증가를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

감마선 조사된 버찌의 DPPH radical 소거능

감마선 조사된 버찌 추출물의 DPPH radical 소거능을 측

Table 1. Total polyphenol contents of irradiated 70% ethanol extract of flowering cherry fruit

Irradiation dose (kGy)	Polyphenol contents (mg GAE/g ¹⁾)
0	29.40 ± 0.47 ^{b2)3)}
1	29.23 ± 0.26 ^b
3	27.31 ± 0.99 ^c
5	28.77 ± 0.14 ^b
10	30.35 ± 0.19 ^a
20	29.56 ± 0.33 ^{ab}

¹⁾GAE: gallic acid equivalents.

²⁾Values with different letter within a same column (a-c) differ significantly (p<0.05).

³⁾Values are mean ± SD (n=3).

Table 2. DPPH radical scavenging activity of irradiated 70% ethanol extract of flowering cherry fruit

Irradiation dose (kGy)	IC ₅₀ (ppm)
0	368.35 ± 3.54 ^{a1)2)}
1	363.39 ± 8.49 ^{ab}
3	351.41 ± 12.50 ^{bc}
5	345.18 ± 7.40 ^c
10	327.52 ± 7.51 ^d
20	348.73 ± 6.42 ^{bc}
Ascorbic acid	6.76 ± 0.01

¹⁾Values with different letter within a same column (a-d) differ significantly (p<0.05) except ascorbic acid.

²⁾Values are mean ± SD (n=3).

정한 결과는 Table 2에 나타내었다. DPPH radical 소거능은 대조군에 대하여 50%의 저해능을 나타내는 농도인 IC₅₀값으로 나타냈으며, 10 kGy 조사구가 327.52 ppm으로 가장 낮은 IC₅₀값을 나타내 활성이 가장 좋고, 0 kGy 조사구가 368.35 ppm으로 가장 높은 IC₅₀값을 나타내 가장 활성이 낮았다. 조사선량에 비례한 활성의 증가는 없었지만 대체적으로 비조사구보다는 조사구에서 낮은 IC₅₀값을 나타내어 감마선 조사에 따른 radical 소거능의 증가를 확인할 수 있었다.

Jeon 등(32)의 연구에서는 감마선 조사가 오미자의 생리활성과 색상 변화에 미치는 영향을 조사한 결과, 10 kGy 감마선 조사구에서 18% 정도의 전자공여능 증가를 나타내었다. 또한 Jeong 등(33)의 연구에서는 감귤 과피에 공유결합되어 존재하는 페놀 화합물을 원적외선이 절단하여 유리되어 페놀 함량이 증가되면서 DPPH radical 소거능의 증가에 영향을 준다고 보고하고 있다.

감마선 조사된 버찌의 reducing power

항산화 반응은 reductones가 제공하는 수소원자가 free radical 사슬을 분쇄함으로써 시작되는데 환원력은 철 이온의 환원력(Fe³⁺가 Fe²⁺로 변화)에 대한 대상 물질의 항산화력을 측정하는 것으로서 항산화 능력의 중요한 지표가 된다(34).

감마선 조사된 버찌 추출물의 환원력은 시료를 1~10 mg/mL까지 농도를 달리하여 측정된 결과를 Fig. 1에 나타내었

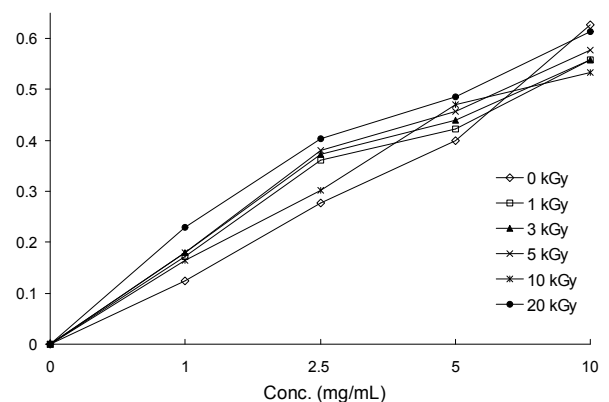


Fig. 1. Reducing power of irradiated 70% ethanol extract of flowering cherry fruit.

Table 3. Nitrite scavenging activity of irradiated 70% ethanol extract of flowering cherry fruit

Irradiation dose (kGy)	Nitrite scavenging activity (%)			
	pH 1.2	pH 3.0	pH 4.2	pH 6.0
0	94.43±3.19 ^{a1)2)}	90.85±0.86 ^a	79.76±4.06 ^{ab}	52.75±2.25 ^a
1	90.72±1.03 ^b	89.81±3.88 ^{ab}	81.91±1.95 ^a	51.45±0.56 ^a
3	90.43±0.72 ^b	89.66±2.28 ^{ab}	76.92±0.97 ^{bc}	45.90±0.98 ^b
5	89.20±1.26 ^b	85.45±2.52 ^c	73.35±1.68 ^c	38.55±0.57 ^c
10	88.27±1.79 ^b	87.19±3.49 ^{ab}	78.64±1.43 ^{ab}	40.84±1.68 ^c
20	88.15±0.92 ^b	87.86±2.02 ^{ab}	73.07±1.86 ^c	34.43±2.82 ^d
Ascorbic acid	100.00±0.00	99.07±2.03	97.23±1.14	89.33±0.42

¹⁾Values with different letter within a same column (a-d) differ significantly (p<0.05) except ascorbic acid.

²⁾Values are mean±SD (n=3).

다. 측정결과 5 mg/mL 이하의 농도에서는 비조사구에 비해 조사구에서 높은 활성을 나타내었고 전체적으로는 20 kGy 조사구에서 대체적으로 높은 환원력 곡선을 나타내었다. 0~20 kGy로 감마선 조사된 아가리쿠스 버섯의 환원력 측정 결과, 0.5~7.5 mg/mL 농도에서 5 kGy 조사구에 비해 0, 2.5, 10, 15 및 20 kGy 조사구에서 유의적으로 높은 활성을 나타내었다고 보고하고 있으며(35), Ahn 등(36)은 phytic acid의 환원력이 감마선 조사에 의해 유의적으로 증가하였다고 보고하였다.

감마선 조사된 버찌의 아질산염 소거능

아질산염은 식품의 가공 및 저장 특히 수산물이나 식육제품에 첨가하여 독소생성억제와 발색, 산패방지제로 널리 이용되지만 그 자체가 독성을 나타내어 과량 섭취 시 혈액중의 헤모글로빈이 산화되어 methemoglobin을 형성하여 methemoglobin증 등 각종 중독을 일으키는 것으로 알려져 있으며 아민류와 아질산염이 반응하면 발암성 물질인 nitrosamine을 생성하는데 이 과정은 pH가 낮은 조건에서 쉽게 일어나는 것으로 알려져 있다(37). 감마선 조사에 따른 버찌 추출물의 아질산염 소거능을 알아보기 위해 추출물의 농도를 5 mg/mL로 하고, 인체 내의 pH 범위를 고려하여 pH를 1.2~6.0으로 달리한 뒤 활성을 측정하였다(Table 3). 그 결과 pH 1.2 및 pH 3.0에서 0 kGy(비조사구)의 활성이 각각 94.43% 및 90.85%로 가장 높은 활성을 나타내었다. pH 4.2에서는 1 kGy 조사구가 81.91%로 가장 높은 활성을 나타내었으며 pH 6.0에서는 0 kGy 및 1 kGy 조사구가 51.45~52.75%로 가장 높은 아질산 소거능을 나타내었다. 실험결과 버찌 추출물의 아질산염 소거능은 감마선 조사에 의한 활성 증가는 나타나지 않았으며, 쉽게 아질산염이 생성된다고 판단되는 낮은 pH조건인 pH 4.2 이하의 pH에서 조사구 및 비조사구 모두 5 mg/mL의 농도에서 73~94% 이내의 높은 소거능을 나타내 pH 의존적인 아질산염 소거능을 보였다. Kim 등(31)의 연구에서 본 연구의 결과와 유사하게 복분자에탄올 추출물의 아질산염 소거능이 감마선 조사에 따른 유의적 차이는 없었으나 위내 pH 조건과 비슷한 pH 1.2에서 높은 활성을 나타내어 생체 내에서 효과적으로 아질산염 소거작용을 할 것으로 추측하였다. 또한 Byun 등(38)은 감마

선 조사된 물 및 에탄올 추출 한약재의 아질산염 소거능 측정결과 10 kGy의 감마선 조사에 의해 유의적 차이를 나타내지 않았다고 보고하고 있다. Liu 등(39)의 연구에서 단버찌 적색색소의 아질산염 소거효과를 측정한 결과 최대 96.45%의 높은 활성을 나타내었다고 보고와 본 연구결과를 토대로, 버찌추출물의 효과적인 아질산염 소거작용을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

감마선 조사된 버찌의 FRAP value

FRAP 방법은 총 항산화능을 측정하는 방법으로 낮은 pH에서 환원제에 의해 ferric tripyridyltriazine(Fe³⁺-TPTZ) 복합체가 ferrous tripyridyltriazine(Fe²⁺-TPTZ)으로 환원되는 원리를 이용한 것으로 대부분의 항산화제가 환원력을 가지고 있다는 점에 착안하여 고안되어진 방법이다(28). 감마선 조사에 따른 버찌 추출물의 FRAP value를 시료 농도를 1 mg/mL로 하여 측정하였다(Table 4). 그 결과 3 kGy 조사구에서 0.38 mM로 가장 높은 값을 나타내었고 20 kGy 조사구에서는 0.31 mM로 가장 낮은 FRAP값을 나타내었다.

Song 등(40)은 연구에서 야채주스에 감마선 조사를 실시한 결과 3 kGy를 조사한 당근주스의 FRAP 값이 931.3 μM에서 1047.3 μM로 비조사구보다 116 μM만큼 증가하였고, 5 kGy 조사구에서는 3 kGy 조사구보다는 낮으나 비조사구보다는 높은 FRAP값을 나타내었다고 보고하고 있으며, Ahn 등(41)의 연구에서도 배추에 감마선 조사를 실시한 결과 0.5 kGy 조사구에서 비조사구보다 높은 FRAP값을 나타내었다고 보고하고 있다.

Table 4. FRAP value of irradiated 70% ethanol extract of flowering cherry fruit

Irradiation dose (kGy)	FRAP value (mM)
0	0.34±0.01 ^{ab1)2)}
1	0.35±0.03 ^{ab}
3	0.38±0.07 ^a
5	0.32±0.02 ^{ab}
10	0.34±0.02 ^{ab}
20	0.31±0.01 ^b
Ascorbic acid	4.99±0.14

¹⁾Values with different letter within a same column (a,b) differ significantly (p<0.05) except ascorbic acid.

²⁾Values are mean±SD (n=3).

요 약

본 연구는 폐자원으로 버려지는 버찌의 활용 증대방안 모색을 위한 기초자료 마련을 위해 버찌의 에탄올 추출물에 0~20 kGy 선량으로 감마선 조사를 실시하고, 이에 따른 항산화활성 변화를 측정하였다. 총 폴리페놀 함량 측정결과, 10 kGy 조사구에서 30.35 mg/g으로 가장 높은 값을 나타내었으나 감마선 조사에 따른 일정한 증가나 감소의 경향은 나타내지 않았다. DPPH radical 소거능 측정결과 10 kGy 조사구에서 327.52 ppm으로 가장 낮은 IC₅₀값을 나타내 가장 높은 활성을 나타내었으며 대체적으로 비조사구보다는 조사구에서 높은 활성을 나타내었다. 환원력 측정 결과, 2.5 mg/mL 이하 농도에서 비조사구에 비해 조사구에서 높은 활성을 나타내었고 20 kGy 조사구에서 대체적으로 높은 환원력을 나타내었다. 아질산염 소거능을 측정한 결과 pH 4.2 이하의 pH에서 조사구 및 비조사구 모두 73~94% 이내의 높은 소거능을 나타내 pH 의존적인 아질산염 소거능을 보였으나 조사에 따른 활성 증가는 나타내지 않았다. FRAP value를 측정결과 3 kGy 조사구에서 0.38 mM로 가장 높은 활성을 나타내었다. 결론적으로 버찌 에탄올 추출물에 대한 감마선 조사는 일부 선량에서 추출물의 항산화 활성 증가를 나타내며, 사용목적에 따른 적정 선량의 감마선 조사는 생리활성물질의 증가를 유도하여 산업적인 면에서 효율적으로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구[NRF-355-2010-1-F00042]의 일부로 이에 감사드립니다.

문 헌

- Lee SA, Kim KH, Lee SY, Joung KH, Cho SH, Yook HS. 2009. Physicochemical properties of flowering cherry (*Prunus serrulata* L.) fruits according to cultivars. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 574-579.
- Kim KH, Lee SY, Yook HS. 2009. Quality characteristics of muffins prepared with flowering cherry (*Prunus serrulata* L. var. *spontanea* Max. wils.) fruit powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 750-756.
- Kim KH, Hwang HR, Yoon MH, Jo JE, Kim MS, Yook HS. 2009. Quality characteristics of pound cakes prepared with flowering cherry (*Prunus serrulata* L. var. *spontanea* Max. wils.) fruit powder during storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 926-934.
- Kim KH, Yoon MH, Jo JE, Yook HS. 2009. Quality characteristics of cookies containing various levels of flowering cherry (*Prunus serrulata* L. var. *spontanea* Max. wils.) fruit. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 920-925.
- Yoon MH, Jo JE, Kim DM, Kim KH, Yook HS. 2010. Quality characteristics of bread containing various levels of flowering cherry (*Prunus serrulata* L. var. *spontanea* Max. wils.) fruit powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 1340-1345.
- Kim KH, Hwang HR, Jo JE, Lee SY, Kim NY, Yook HS. 2009. Quality characteristics of yogurt prepared with flowering cherry (*Prunus serrulata* L. var. *spontanea* Max. wils.) fruit powder during storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1229-1236.
- Yoon MH, Kim KH, Hwang HR, Jo JE, Kim MS, Yook HS. 2009. Quality characteristics and antioxidant activity of chocolate containing flowering cherry (*Prunus serrulata* L. var. *spontanea* Max. wils.) fruit powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1600-1605.
- Kim KH, Lee KH, Kim SH, Kim NY, Yook HS. 2010. Quality characteristics of jelly prepared with flowering cherry (*Prunus serrulata* L. var. *spontanea* Max. wils.) fruit powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 110-115.
- Giusti MM, Wrolstad RE. 1996. Characterization of red radish anthocyanins. *J Food Sci* 61: 322-326.
- Bakker J, Timberlake CF. 1997. Isolation, identification, and characterization of new color-stable anthocyanins occurring in some red wines. *J Agric Food Chem* 45: 35-43.
- Ohta H, Osajima Y. 1978. Effect of inorganic salts on anthocyanin pigments from juice of campbell early grapes. *J Food Sci Technol* 25: 73-77.
- Cormier F, Couture R, Do CB, Pham TQ, Tong VH. 1997. Properties of anthocyanins from grape cell culture. *J Food Sci* 62: 246-248.
- Cho MH, Yoon HH, Hahn TR. 1996. Thermal stability of the major color component, cyanidin 3-glucoside, from a Korean pigmented rice variety in aqueous solution. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 39: 245-248.
- Yoon JM, Cho MH, Hahn TR, Pail YS, Yoon HH. 1997. Physicochemical stability of anthocyanins from a Korean pigmented rice variety as natural food colorants. *Korean J Food Sci Technol* 29: 211-217.
- Kim SJ, Rhim JW, Lee LS, Lee JS. 1996. Extraction and characteristics of purple sweet potato pigment. *Korean J Food Sci Technol* 28: 345-351.
- Lee LS, Rhim JW, Kim SJ, Chung BC. 1996. Study on the stability of anthocyanin pigment extracted from purple sweet potato. *Korean J Food Sci Technol* 28: 352-359.
- Byun MW. 1994. Application of irradiation techniques to food industry. *Radioisotope News* 9: 32-37.
- Thayer DW. 1990. Food irradiation: benefits and concerns. *J Food Quality* 13: 147-169.
- 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.
- FAO/IAEA/WHO Study Group. 1999. High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. In WHO *Technical Report Series* 890. World Health Organization, Geneva, Switzerland. p 49-77.
- Thayer DW. 1994. Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technology* 48: 58-67.
- Jo C, Son JH, Byun MW. 2003. Irradiation application for color removal and purification of green tea leaves extracts. *Radiat Phy Chem* 66: 179-184.
- Jo C, Jeong IY, Cim DS, Son JH, An BJ, Choi JS, Byun MW. 2005. Comparison of the biological activity between a radiation processed natural extract and a commercial counterpart for an industrial application. *Food Engineering Progress* 9: 177-181.
- Gao X, Bjork L, Trajkovski V, Uggla M. 2000. Evaluation of antioxidant activities of rosehip ethanol extracts in dif-

- ferent test system. *J Sci Food Agric* 80: 2021-2027.
25. Blois MS. 1958. Antioxidant activity determination by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1199-1200.
 26. Oyaizu M. 1986. Studies on products of browning reactions: antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese J Nutr* 44: 307-315.
 27. Kato H, Lee C, Kim NV, Hayase SB. 1987. Inhibition of nitrosamine formation by nondialyzable melanoidins. *Agric Biol Chem* 51: 1333-1338.
 28. Benzie IFF, Strain JJ. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Anal Biochem* 230: 70-79.
 29. 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.
 30. Beaulieu M, Béliveau G, D'Aprano G, Lacroix M. 1999. Dose rate effect of gamma irradiation on phenolic compounds, poly phenol oxidase (PPO) and browning of mushrooms *Agaricus bisporus*. *J Agric Food Chem* 47: 2537-2543.
 31. Kim HJ, Jo CH, 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.
 32. Jeon TW, Park JH, Shin MG, Kim KH, Byun MW. 2003. Effects of gamma-irradiation on biological activities and color changes of extracts of *Schizandrae fructus*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 137-142.
 33. Jeong SM, Kim SY, Park HR, Lee SC. 2004. Effect of far-infrared radiation on the antioxidant activity of extracts from *Citrus unshiu* peels. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 1580-1583.
 34. Diplock AT. 1997. Will the 'good fairies' please prove to us that vitamin E lessens human degenerative disease? *Free Rad* 27: 511-532.
 35. Huang SJ, Mau JL. 2006. Antioxidant properties of methanolic extracts from *Agaricus blazei* with various doses of γ -irradiation. *LWT-Food Sci Technol* 39: 707-716.
 36. Ahn HJ, 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.
 37. Gray JI, Dugan Jr LR. 1975. Inhibition of N-nitrosamine formation in model food systems. *J Food Sci* 40: 981-984.
 38. Byun MW, Yool HS, Kim KS, Chung CK. 1999. Effect of gamma irradiation on physiological effectiveness of Korean medicinal herbs. *Radiat Phys Chem* 54: 291-300.
 39. Liu JC, Jiao ZG, Zhang Y, Zhou HP, Wang SX. 2008. Scavenging effects of sweet cherry red pigment on free radicals and nitroso. *Sci Tech of Food Industry* 11: 35.
 40. Song HP, Kim DH, Jo CU, Lee CH, Kim KS, Byun MW. 2006. Effect of gamma irradiation on the microbiological quality and antioxidant activity of fresh vegetable juice. *Food Microbiol* 23: 372-378.
 41. Ahn HJ, Kim JH, Kim JK, Kim DH, Yook HS, Byun MW. 2005. Combined effects of irradiation and modified atmosphere packaging on minimally processed Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.). *Food Chem* 89: 589-597.

(2011년 7월 26일 접수; 2011년 9월 21일 채택)