

## 방사선조사가 시금치 나물의 저장성 연장에 미치는 효과

김민희<sup>1</sup> · 양윤형<sup>1</sup> · 심현정<sup>1</sup> · 손찬욱<sup>1</sup> · 김미연<sup>1</sup> · 김미선<sup>1</sup> · 이주운<sup>2</sup> · 변명우<sup>2</sup> · 김미리<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 식품영양학과, <sup>2</sup>한국원자력연구원, 방사선과학연구소 방사선식품생명공학팀

## Effect of Gamma Irradiation on the Quality of Cooked Spinach During Storage

Min Hee Kim<sup>1</sup>, Yun Hyoung Yang<sup>1</sup>, Hyun Jung Sim<sup>1</sup>, Chan Wok Son<sup>1</sup>, Mi Yeon Kim<sup>1</sup>, Mi-Sun Kim<sup>1</sup>, Ju-Woon Lee<sup>2</sup>, Myung-Woo Byun<sup>2</sup> and Mee Ree Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Food and Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>2</sup>Team for Radiation Food Science & Biotechnology, Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Research Institute, Jeongup 580-185, Korea

### Abstract

This study investigated the effects of gamma irradiation on microbial, physical, and sensory qualities as well as the antioxidant activity of cooked spinach. At 3 kGy of gamma irradiation, microbial growth was inhibited until 4 weeks and 5 days at storage temperatures of 4 and 25°C, respectively. The dose of 2 kGy did not significantly affect hardness; however, Hunter color system values for lightness, redness, and yellowness were changed. Low dose gamma-irradiation (up to 2 kGy) did not significantly affect the antioxidant activity of the cooked spinach. Also, based on a triangle sensory test, the gamma-irradiated cooked spinach was not significantly different from the control. These results, suggest that applying gamma irradiation to cooked vegetables at doses lower than 2 kGy can be recommended to extend shelf-life and maintain quality.

**Key words:** Cooked spinach, gamma irradiation, quality, storage, antioxidative activity

### I. 서 론

시금치(*Spinacia oleracea L.*)는 페르시아 원산의 명아주과(*Chenopodiaceae*)에 속하는 일년생 또는 이년생 초본으로 비타민과 단백질이 풍부하다. 특히 시금치 단백질에서는 리신과 트립토판이 많이 들어있고 시스테인도 많으며 비타민 A의 전구체인 카로틴이 채소 중에서 가장 많고 칼슘과 철분 그리고 요오드 등이 많아서 발육기의 어린이와 임산부에게 좋은 알칼리성 식품이다. 이 밖에 시금치에는 사포닌과 질이 좋은 섬유소가 들어있어 빈혈 예방에도 효과가 있으나 가공식품으로의 연구는 아직 미흡한 상태이다(Zhang HX와 Zeevaart JAD 1998, Sim JH 등 2003, Maeda N 등 2005, Matsubara K 등 2005).

한편 해마다 발생하는 식중독 사고는 식품위생이 제대로 지켜지지 않고 있다는 것을 입증하고 있고(Kang KH 등

1995), 과거의 식중독 사고가 거의 가정에서 소규모로 발생했던 것과는 달리 최근 외식 산업의 발달로 그 규모도 대형화되고 있는 추세이다. 최근 식품의 위생 관리를 위해 HACCP(Hazard Analysis Critical Control point)제도가 도입되었다(Kye SH 1995). 집단급식에서 주로 배식되는 생채 및 숙채류의 미생물학적 위험도를 HACCP 단계별로 살펴보면 조리 후 배식 전까지 보관하는 단계 및 배식하는 단계에서 오염이 되는 것으로 Heo YS와 Lee BH(1999)의 연구결과를 통해 알 수 있다. 집단급식에서 많이 이용되는 조리 유형별 미생물학적 위해 분석을 실시한 결과에 의하면 생채류 및 숙채류에서 조리 후 일반세균수 및 대장균군수 검출율이 높았다고 보고하였다(Yoo WC 등 2000). 특히, 콩나물무침이나 근대나물의 경우는 원부재료보다 조리된 음식에서 일반세균이 더 검출되었다고 보고하였는데, 이는 조리 시 사용된 양념, 사용된 그릇, 조리사의 손 등 오염원으로부터 재오염되었을 가능성이 있음을 보여주고 있다(Kim HY 등 2002). 숙채류는 조리과정상 뜨거운 물에 데치거나 삶는 조작을 거치지만 원부재료의 미생물이 조리된 음식에 상당수 전이되었다고 보고하여(Yoo WC 등 2000) 저장 환경이 위생상 중요한 요소임을 확고히 하였다.

\*Corresponding author: Mee Ree Kim, Department of Food and Nutrition, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea  
Tel: 82-42-821-6837  
Fax: 82-42-821-8887  
E-Mail: mrkim@cnu.ac.kr

식중독발생을 예방하고 안전성을 확보하기 위해 HACCP를 적용하기 위하여는 집단급식에서 음식별로 각 조리 단계별로 온도와 시간을 측정하고 미생물 분석을 실시하도록 요구되었다(Yoo WC 등 2000). 그러나 실제 급식소에서 이 같은 제안 방법을 적용하여 조리된 음식이 미생물적으로 안전하다고 보증받기에는 제한점이 있다. 미국에서는 가장 안전하고 위생적인 식품이 공급되어야하는 학교급식에 이미 방사선 조사식품이 공급되고 있으며 미농무성은 2002년 미국 내 모든 학교급식에 사용되는 모든 식육 및 그 가공품에 대한 방사선 조사기술의 사용을 승인하였고, 2003년 5월부터 학교급식에 방사선 조사된 식육을 공급하고 있다(Anonymous 2003, Byun MW와 Lee JW 2003, Lee NY 등 2004). 방사선조사는 비가열 살균방법으로 안전하고 품질의 변화에 크게 영향을 주지 않으면서 위생적 안정성을 확보하기 위한 방법으로 최근 많이 도입되어 활용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 시금치나물의 위생상 안전성을 확보하고 저장성을 높이기 위하여 시금치나물 조리 후에 방사선을 조사하여 저장하면서 미생물학적·화학적 특성 및 항산화성을 평가하여 집단급식에 활용할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 한다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 시금치나물의 조리

본 실험에 사용한 시금치는 대전 E마트에서 구입하여 사용하였다. 시금치 100 g을 흐르는 수돗물로 깨끗이 씻어 500 mL의 끓는 물에 소금 5 g을 넣고 1분간 살짝 데쳐 찬물에 헹궈 물기를 짠 후 다진 파, 다진 마늘, 깨소금, 참기름을 넣고 잘 버무렸다.

### 2. 방사선 조사

시금치나물을 50 g을 nylon film에 험기포장한 후 Co-60 감마선 조사 시설(Point source, AECL, IR-79, Nordion International Co. Ltd, Owatta, ON, Canada)을 이용하여 실온에서 시간당 5 kGy의 선량으로 미생물, 색도 및 조직감은 0, 2 및 3 kGy, 항산화능은 5 kGy까지 총 흡수선량을 얻도록 하였고, 4°C와 25°C에서 각각 저장하면서 실험에 사용하였다.

### 3. 미생물학적 특성

시금치나물을 25°C에서는 5일 동안, 4°C에서는 4주 동안 저장하면서 총균과 대장균을 측정하였다. 시료는 nylon bag에 시금치나물을 10 g을 멀균수 90 mL에 넣고 Bag Mixer(Model 400, Interscience, France)에서 균질화시킨 후 희석하여 각각의 배지에 분주하여 생균수를 평판배양법으로 측정하였다. 총균은 nutrient broth (Difco, Co., USA)배지, 대

Table 1. Conditions of texture analyzer

Probe	Φ 3 mm
Force threshold	20.0 g
Contact area	7.07 mm <sup>2</sup>
Contact force	5.0 g
Pre test speed	5 mm/s
Post test speed	5 mm/s
Test speed	5 mm/s
Strain	70 %
Time	0.5 sec
Trigger type	Auto @ 5 g

장균은 EMB agar(Difco, Co., USA)배지를 사용하였다. 총균, 대장균은 35°C 배양기에서 48시간 배양 후 나타난 colony를 계수하였는데 이때 대장균은 금속성을 띠는 흑녹색의 집락을 계수하였다. 미생물수는 시료 1 g당 colony forming unit(CFU)로 나타내었으며 검출을 위한 최소 계수 한계는 101 CFU/g 이었다.

### 4. 조직감

시금치나물의 경도와 씹힘성의 변화를 Texture analyser (TA/XT2, Microstable Systems Co. England)를 이용하여 시료를 2회 연속적으로 침입시켰을 때 얻어지는 force-time curve로부터 측정하였다. Texture analyser의 측정조건은 Table 1과 같다.

### 5. 색도

시료 10 g에 동량의 중류수를 붓고 blender로 곱게 마쇄하여 색차계(Digital color measuring/difference calculation meter, Model ND-1001 DP, Nippon Denshoku Co. LTD., Japan)를 사용하여 Hunter L<sup>a</sup>(lightness), g<sup>a</sup>(greenness), b<sup>a</sup>(yellowness)을 측정하였다.

### 6. DPPH 라디칼 소거능

시료 0.3 g에 methanol 10 mL을 넣은 후 5분간 잘 교반한 후 3,000 rpm으로 4°C에서 10분간 원심 분리하여 얻어진 상등액을 evaporator로 용매를 휘발하여 추출물만 얻었다. 추출물 10 mg 당 1 mL methanol을 첨가하여 10 mg/mL 농도의 추출물 용액을 제조하여 시료 용액으로 사용하였다. 시료용액 50 μL에 1.5×10<sup>-4</sup> mM DPPH(1,1-diphenyl-2-picryl hydrazyl) 용액 150 μL을 가한 후 30분 후에 분광광도계를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였으며 라디칼 소거능(%)을 다음의 식으로 계산한 후 각 농도별 라디칼 소거능에 대한 검량선에서 라디칼 소거능이 50%가 되는 농도인 IC<sub>50</sub>을 구하였다.

Free radical scavenging effect(%)

$$= \frac{\text{Abs}_{\text{DPPH}} - \text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{DPPH}}} \times 100$$

## 7. 총 폐늘 함량 측정

폐늘성 물질이 phosphomolybdic acid와 반응하여 청색을 나타내는 현상을 이용한 방법으로 Folin-Denis법(Singleton VL과 Rossi JA 1965)에 의해 측정한다. 중류수 2.5 mL에 시료추출액 0.33 mL, Folin-Denis 0.16 mL과  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  포화 용액 0.3 mL을 넣고 암실에서 30분간 발색시킨 후 760 nm에서 흡광도를 측정하였고 표준품으로는 tannic acid를 사용하였다.

## 8. 지질과산화 억제정도

지질과산화 억제정도는 TBARS(2-thiobarbituric acid reactive substances)법으로 측정하였다. 시료추출액에 thiobarbituric acid(TBA)/tricholroacetic acid(TCA)용액을 혼합한 후 90°C에서 15분간 가열하고 10분간 얼음물로 냉각한 후 원심분리(3000rpm, 20min) 후 상층액을 533nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선 malondialdehyde를 사용하였다.

## 9. 관능검사

관능검사는 식품영양학과 대학원생과 학부생 24인의 패널에게 실험목적을 숙지시킨 후 차이식별검사 중 삼점검사(triangle test)를 실시하였다. 동일한 두 개의 시료와 서로 다른 한 개의 시료를 동시에 제시하여 패널요원에게 다른 시료를 선택하도록 지시한 후 우연히 맞힐 확률이 1/3이라는 근거하여 작성된 통계표에서 전체 응답 수에 대한 정답수를 비교하여 분석하였다(김혜영 등 2004).

## 10. 통계처리

모든 실험은 3회 이상 반복하였으며, 데이터는 SPSS(Statistical Package for Social Sciences. SPSS Inc., Chicago IL, USA) software package 프로그램을 이용하여 분산 분석(ANOVA)을 실시하여 유의성이 있는 경우에 Duncan의 다중범위검정(Duncan's multiple range test)으로 시료간의 유의차를 검증하였다(Steel RGD와 Torrie JH 1960).

## III. 결과 및 고찰

### 1. 미생물학적 특성

본 실험에서 4°C와 25°C의 온도에 각각 저장한 방사선조사된 시금치나물의 총균과 대장균군수를 측정한 결과는 Fig. 1 및 2와 같다. 대장균군은 저온 및 고온 저장 시에 모두 검출되지 않았다. 총균수는 저장온도 4°C에서는 조리 직후 비조사구는 5.6 log CFU/g을 나타내었고, 방사선조사 2 kGy 처리구에서는 2.7 log CFU/g, 3 kGy 처리구에서는 2.0 log CFU/g으로 비조사구에 비하여 적었다( $p<0.05$ ). 비조사구는 저장 1주에 7.8 log CFU/g으로 총균수가 급격히 증가하여 부패정도에 해당하는 군수를 나타내었다. 반면, 방사선조사 2 kGy 처리구는 저장 1주에 3.0 log CFU/g, 저

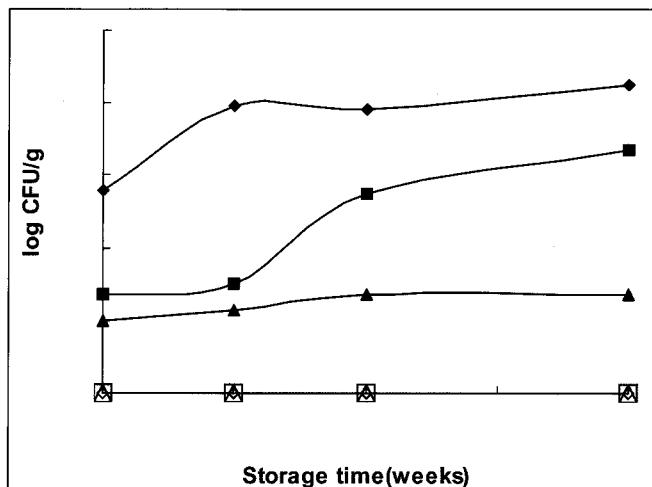


Fig. 1. Total microbial and *E. coli* profiles (log CFU/g) of cooked spinach treated gamma irradiation during storage at 4°C (◆ : Total microbials at 0 kGy, ■ : Total microbial at 2 kGy, ▲ : Total microbial at 3 kGy, ◇ : *E. coli* at 0 kGy, □ : *E. coli* at 2 kGy, △ : *E. coli* at 3 kGy).

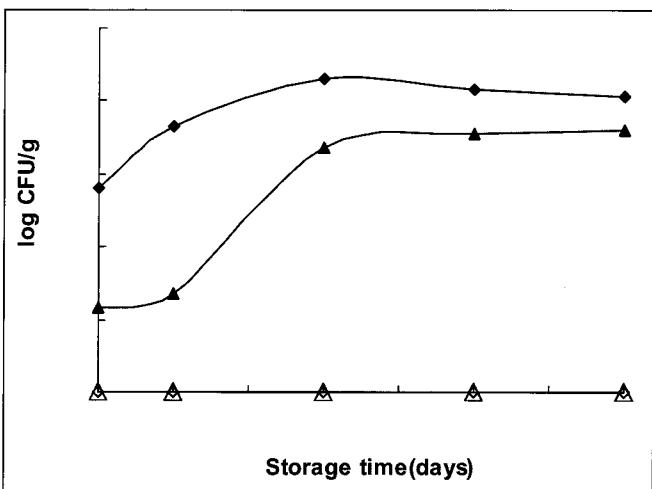


Fig. 2. Total microbial and *E. coli* profiles (log CFU/g) of cooked spinach treated gamma irradiation during storage at 25°C (◆ : total microbials at 0 kGy, ▲ : total microbial at 3 kGy, ◇ : *E. coli* at 0 kGy, △ : *E. coli* at 3 kGy).

장 2주에 5.5 log CFU/g으로 완만히 증가하였으며, 3 kGy 처리구는 저장 1주에 2.3 log CFU/g, 저장 4주에 2.7 log CFU/g로 낮은 군수를 나타내었다( $p<0.05$ ). 저장온도 25°C에서는 조리 직후 비조사구의 총균수는 5.6 log CFU/g을 나타내었고, 방사선조사 3 kGy 처리구는 2.3 log CFU/g로 낮은 군수를 나타내었다( $p<0.05$ ). 비조사구는 저장 1일 후에 총균수가 7.3 log CFU/g으로 급격하게 증가하여 부패에 해당하는 군수를 나타내었다. 방사선조사 3 kGy 처리구에

서는 저장 1일 후에 2.7 log CFU/g으로 증가하였고 저장 3일후에 6.7 log CFU/g, 저장 5일에 7.1 log CFU/g으로 증가하여 25°C의 고온 저장시에도 3일까지 저장이 가능하였다. 방사선 조사한 쌀죽을 25°C에 저장한 경우에도 비조사구는 저장 1일 만에 총균수가 7.4 log CFU/g으로 증가하는 등 부패현상을 나타냈고, 방사선 조사선량이 증가할수록 총균수가 감소하였다고 보고하여(Yang YH 등 2007), 본 실험의 결과와 유사하게 나타났다. 따라서 방사선 조사에 의한 시금치 나물의 미생물학적 안전성을 확보하기 위해서는 2 kGy 이하의 저선량의 조사로도 가능한 것으로 보여진다. 또한, 방사선 조사시 조사선량에 따른 저장기간연장은 저온 저장시 대조구의 1주 저장에 비하여 조사 선량 2kGy 조사구는 2주, 3kGy 조사구는 4주까지도 저장이 가능하였다.

## 2. 조직감

방사선 조사한 시금치나물의 조직감 특성을 Texture analyzer를 이용하여 TPA(texture profile analysis)를 측정하여 Table 2 및 3에 나타내었다. 4°C에 저장한 시금치나물의 경도는 저장기간이 지날수록 경도가 유의적으로 감소하였고, 비조사구와 2 kGy 조사구에서는 2주째가 되면서 경도가 유의적으로 감소한 반면 3 kGy 조사구에서는 4주째에 유의적으로 감소하였다. 시금치나물 조리 직후 경도는 조사구와 비조사구간에 유의적으로 차이가 있었으나 2주째에는 유의적인 차이가 없었고, 4주째에 유의적인 차이가 있었다. 씹힘성도 저장기간이 지날수록 유의적으로 감소하였고, 비조사구는 2주째에 유의적으로 급격하게 감소하였다.

2kGy 조사구에서도 저장기간 동안 씹힘성이 서서히 감소하는 경향을 보였고 4주째에 유의적으로 급격하게 감소하였다. 3 kGy 조사구에서는 저장기간 동안 씹힘성이 감소하는 경향이나 유의적인 차이는 없었다. 25°C 저장한 시금치나물에서도 비조사구의 조리 직후 경도는 비조사구와 3 kGy 조사구에서 유의적인 차이가 있었으나 5일째부터는 유의적인 차이가 없었다. 저장일별로는 비조사구는 3일째에 유의적인 차이가 나타났으나 3 kGy 조사구에서는 5일째에 유의적인 차이가 나타났다. 씹힘성은 비조사구에 비해 3 kGy 조사구가 유의적으로 낮은 값을 나타내었다( $p<0.05$ ). 이 같은 결과로부터 방사선 조사선량 3 kGy까지는 시금치나물의 경도와 씹힘성에 큰 변화를 주지 않는다는 것을 알 수 있었다. Seung TH 등(2005)은 전고사리에 방사선 조사하였을 때의 조직감을 측정한 결과, 씹힘성에서는 조사선량이 증가함에 따라 유의적으로 감소하는 경향을 나타내어 본 연구와 유사한 결과를 보였다.

## 3. 색도

방사선 조사된 시금치나물의 색도를 Hunter's color system으로 측정한 결과는 Table 4 및 5와 같다. 4°C에서 저장한 시금치나물의 색도에서 L값과 a값은 비조사구와 조사구간의 유의적인 차이가 나타났으며 저장일별로 보면 비조사구와 조사구 모두 저장일별로 유의적인 차이가 나타났다. 적색도인 a값의 경우 조사구가 비조사구에 비해 값이 유의적으로 낮게 나타나 비조사구가 녹색이 더 진한 것을 알 수 있었으며 방사선 조사로 인해 색이 연해진 것으로 사료된다.

**Table 2.** Changes in texture of cooked gamma-irradiated spinach during storage at 4°C

Irradiation dose (kGy)		Storage time(weeks)			
		0	1	2	4
hardness	0kGy	<sup>a</sup> 380.0±26.4 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 355.1±98.0 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 222.3±24.7 <sup>B</sup>	<sup>a</sup> 215.1±4.4 <sup>B</sup>
	2kGy	<sup>b</sup> 302.8±16.0 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> b281.8±39.8 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 213.7±12.8 <sup>B</sup>	<sup>c</sup> 59.0±19.8 <sup>C</sup>
	3kGy	<sup>c</sup> 204.4±17.8 <sup>A</sup>	<sup>b</sup> 204.1±10.7 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 200.7±8.4 <sup>A</sup>	<sup>b</sup> 160.8±5.0 <sup>B</sup>
chewiness	0kGy	<sup>a</sup> 79.6±14.3 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 78.4±12.6 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 35.9±5.9 <sup>B</sup>	<sup>a</sup> 40.1±4.8 <sup>B</sup>
	2kGy	<sup>b</sup> 52.0±1.7 <sup>A</sup>	<sup>b</sup> 43.4±18.9 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 33.3±13.0 <sup>AB</sup>	<sup>c</sup> 12.5±1.6 <sup>B</sup>
	3kGy	<sup>c</sup> 30.8±6.8 <sup>A</sup>	<sup>b</sup> 31.9±9.0 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 29.5±5.0 <sup>A</sup>	<sup>b</sup> 24.1±3.4 <sup>A</sup>

<sup>a-b</sup> Different superscripts within a same column (irradiation dose) are significantly different by Duncan's multiple range test at  $p<0.05$ .

<sup>A-B</sup> Different superscripts within a same row (storage time) are significantly different by Duncan's multiple range test at  $p<0.05$ .

**Table 3.** Changes in texture of cooked gamma-irradiated spinach during storage at 25°C

Irradiation dose (kGy)		Storage time(days)				
		0	1	3	5	7
hardness	0kGy	<sup>a</sup> 380.6±26.4 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 351.1±98.4 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 229.5±8.3 <sup>B</sup>	<sup>a</sup> 153.7±7.0 <sup>BC</sup>	<sup>a</sup> 71.7±40.8 <sup>C</sup>
	3kGy	<sup>b</sup> 204.4±17.8 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 201.0±8.1 <sup>A</sup>	<sup>b</sup> 179.6±23.8 <sup>AB</sup>	<sup>a</sup> 148.9±23.6 <sup>B</sup>	<sup>a</sup> 157.8±5.1 <sup>B</sup>
chewiness	0kGy	<sup>a</sup> 79.6±14.3 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 53.2±17.5 <sup>B</sup>	<sup>a</sup> 34.0±6.2 <sup>BC</sup>	<sup>a</sup> 20.0±3.3 <sup>C</sup>	<sup>b</sup> 16.6±1.5 <sup>C</sup>
	3kGy	<sup>b</sup> 30.8±6.8 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 36.8±6.7 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 34.5±6.4 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 27.0±11.2 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 25.8±1.8 <sup>A</sup>

<sup>a-b</sup> Different superscripts within a same column (irradiation dose) are significantly different by Duncan's multiple range test at  $p<0.05$ .

<sup>A-C</sup> Different superscripts within a same row (storage time) are significantly different by Duncan's multiple range test at  $p<0.05$ .

**Table 4.** Changes in Hunter color of cooked gamma-irradiated spinach during storage at 4°C

Irradiation dose		Storage time(weeks)			
	(kGy)	0	1	2	4
L-value	0kGy	<sup>b</sup> 22.00±0.13 <sup>D</sup>	<sup>a</sup> 27.54±0.79 <sup>A</sup>	<sup>c</sup> 22.96±0.08 <sup>C</sup>	<sup>a</sup> 23.86±0.19 <sup>B</sup>
	2kGy	<sup>a</sup> 23.79±0.29 <sup>B</sup>	<sup>b</sup> 22.76±0.45 <sup>C</sup>	<sup>a</sup> 28.85±0.18 <sup>A</sup>	<sup>b</sup> 23.25±0.23 <sup>B</sup> <sup>C</sup>
	3kGy	<sup>c</sup> 21.22±0.27 <sup>C</sup>	<sup>b</sup> 23.26±0.63 <sup>B</sup>	<sup>b</sup> 24.33±0.44 <sup>A</sup>	<sup>c</sup> 21.95±0.34 <sup>C</sup>
a-value	0kGy	<sup>b</sup> -9.75±0.10 <sup>C</sup>	<sup>c</sup> -9.95±0.13 <sup>D</sup>	<sup>c</sup> -8.84±0.03 <sup>B</sup>	<sup>b</sup> -6.30±0.05 <sup>A</sup>
	2kGy	<sup>b</sup> -9.85±0.18 <sup>D</sup>	<sup>b</sup> -8.84±0.20 <sup>C</sup>	<sup>a</sup> -6.44±0.06 <sup>B</sup>	<sup>a</sup> -6.05±0.10 <sup>A</sup>
	3kGy	<sup>a</sup> -9.34±0.12 <sup>C</sup>	<sup>a</sup> -8.32±0.22 <sup>B</sup>	<sup>b</sup> -8.07±0.11 <sup>B</sup>	<sup>a</sup> -5.96±0.15 <sup>A</sup>
b-value	0kGy	<sup>a</sup> 10.44±0.09 <sup>B</sup>	<sup>a</sup> 11.76±0.40 <sup>A</sup>	<sup>b</sup> 10.47±0.05 <sup>B</sup>	<sup>a</sup> 10.49±0.09 <sup>B</sup>
	2kGy	<sup>a</sup> 10.30±0.26 <sup>B</sup>	<sup>b</sup> 10.15±0.19 <sup>B</sup>	<sup>a</sup> 12.03±0.06 <sup>A</sup>	<sup>b</sup> 9.38±0.14 <sup>C</sup>
	3kGy	<sup>b</sup> 9.46±0.15 <sup>C</sup>	<sup>b</sup> 9.93±0.31 <sup>B</sup>	<sup>b</sup> 10.50±0.23 <sup>A</sup>	<sup>c</sup> 8.29±0.14 <sup>D</sup>

<sup>a-b</sup> Different superscripts within a same column (irradiation dose) are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.<sup>A-D</sup> Different superscripts within a same row (storage day) are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.**Table 5.** Changes in Hunter color of cooked gamma-irradiated spinach during storage at 25°C

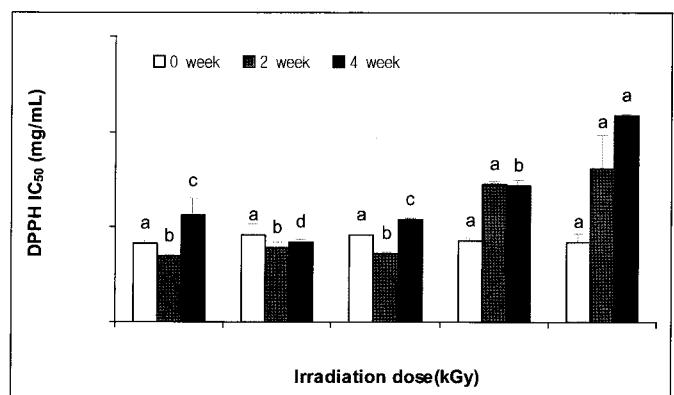
Irradiation dose		Storage time(days)				
	(kGy)	0	1	3	5	7
L-value	0kGy	<sup>a</sup> 22.00±0.13 <sup>B</sup>	<sup>b</sup> 20.91±0.11 <sup>C</sup>	<sup>a</sup> 23.86±0.70 <sup>A</sup>	<sup>b</sup> 19.42±0.07 <sup>D</sup>	<sup>a</sup> 22.34±0.14 <sup>B</sup>
	3kGy	<sup>b</sup> 21.22±0.27 <sup>C</sup>	<sup>a</sup> 22.23±0.33 <sup>B</sup>	<sup>a</sup> 24.04±0.09 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 21.28±0.19 <sup>C</sup>	<sup>b</sup> 19.20±0.06 <sup>D</sup>
a-value	0kGy	<sup>b</sup> -9.75±0.10 <sup>E</sup>	<sup>b</sup> -7.66±0.10 <sup>D</sup>	<sup>b</sup> -5.39±0.09 <sup>C</sup>	<sup>a</sup> -2.69±0.10 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> -3.14±0.02 <sup>B</sup>
	3kGy	<sup>a</sup> -9.34±0.12 <sup>D</sup>	<sup>a</sup> -6.97±0.10 <sup>C</sup>	<sup>a</sup> -4.82±0.23 <sup>B</sup>	<sup>b</sup> -4.37±0.19 <sup>A</sup>	<sup>b</sup> -4.33±0.08 <sup>A</sup>
b-value	0kGy	<sup>a</sup> 10.44±0.09 <sup>B</sup>	<sup>a</sup> 9.63±0.06 <sup>C</sup>	<sup>a</sup> 10.38±0.30 <sup>B</sup>	<sup>b</sup> 8.04±0.12 <sup>D</sup>	<sup>a</sup> 11.01±0.06 <sup>A</sup>
	3kGy	<sup>b</sup> 9.46±0.15 <sup>B</sup>	<sup>b</sup> 9.16±0.19 <sup>C</sup>	<sup>a</sup> 9.78±0.02 <sup>A</sup>	<sup>a</sup> 9.41±0.15 <sup>B</sup>	<sup>b</sup> 8.30±0.03 <sup>D</sup>

<sup>a-b</sup> Different superscripts within a same column (irradiation dose) are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.<sup>A-E</sup> Different superscripts within a same row (storage time) are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

이 같은 결과는 건고사리에 방사선 조사 시와 유사한 결과 (Seung TH 등 2005)를 보였다. 황색도인 b값의 경우 2주째를 제외하고 조사구가 비조사구에 비해 유의적으로 낮은 값으로 나타났다. 저장일별로 보면 2 kGy와 3 kGy 조사구에서는 저장일이 지날수록 유의적으로 차이가 있었으며, 비조사구는 1주째를 제외하고 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 25°C에서 저장한 시금치나물의 색도에서 명도는 비조사구와 3 kGy 조사구간에 유의적인 차이가 있었으며 저장일간에도 유의적인 차이가 나타났다. 적색도는 비조사구에 비해 조사구가 값이 유의적으로 높아 녹색이 더 연한 것을 알 수 있고, 이는 방사선 조사로 인해 색이 연해진 것으로 사료된다. 저장일 5일째부터는 비조사구가 조사구에 비해 유의적으로 높아 비조사구가 조사구에 비해 녹색이 더 연해짐을 알 수 있었다. 황색도는 비조사구와 3 kGy 조사구간에 유의적인 차이가 나타났으며, 저장일별로도 유의적인 차이가 나타났다.

#### 4. DPPH 라디칼 소거능

방사선 조사 시금치무침의 항산화성의 변화를 알아보고자 DPPH 라디칼 소거능을 측정한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 방사선조사에 의한 항산화성에 대한 보고를 찾아볼



**Fig. 3.** Changes in DPPH radical scavenging activity of gamma-irradiated and cooked spinach during storage at 4°C. <sup>a</sup> Different superscripts within a same row(irradiation dose) are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

수 없었고 또한, 항산화성은 방사선 조사 시에 민감하다고 생각되어 다양한 선량범위에서 조사를 하였다. 비조사구의 경우 IC<sub>50</sub> 값이 1.662 mg/mL, 방사선 조사구 나물무침이 1.694~1.847 mg/mL 범위를 나타내어 조사선량이 증가됨에 따라 다소 낮아졌으나, 조사 직 후에는 유의적인 차이를 보

이지 않았으며 저장일이 증가하여도 2 kGy까지는 유의적 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 방사선조사가 시금치나물무침의 산화속도를 다소 높이는 것으로 사료되며, 저선량의 방사선이 식품이나 식물종자의 기능성 및 생리활성 등에 크게 영향을 미치지 않는다는 보고(Jang ES 등 2005)와 일치하였다. 저장기간이 증가함에 따라서는 조사선량이 클수록 IC<sub>50</sub>값이 유의적으로 증가하였으나, 1 kGy와 2 kGy의 저선량에서는 큰 차이를 보이지 않아 저선량 방사선 조사(1 kGy) 식품에서 저장기간에 따른 DPPH radical 소거능은 변화가 없었다는 결과(Yun HJ 등 2007)와 유사하였다.

## 5. 총 페놀 함량

페놀성 물질은 식물계에 널리 분포되어 있는 2차 대사산물의 하나로 수산기를 통한 수소공여와 페놀 고리 구조의 공명 안정화에 의한 항산화 효과를 가진다. 시금치와 같은 염채류에도 항산화 물질이 존재한다고 알려져 있다(Hong JJ와 Ahn T 2005). 따라서 방사선 조사가 시금치 나물무침의 항산화력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 페놀 화합물의 변화를 알아본 결과 Fig. 4와 같았다. 방사선 조사구는 비조사구에 비해 페놀함량이 다소 감소하였으나, 큰 차이는 보이지 않아 방사선 조사 직후 대두의 phenols 함량이 비조사구에 비해 방사선 조사구은 조사선량의 증가와 더불어 다소의 감소현상을 나타낸다는 결과와 유사하였다(Lee HJ 등 1996). 저장 중 총페놀 함량은 저장 0일째 비조사구가 0.0045 mg/mL, 방사선 조사구(1, 2, 3, 5 kGy)가 각각 0.0034, 0.0027, 0.0025, 0.0028, 0.0029 mg/mL이었으나, 저장 4주째 각각 0.0059, 0.0022, 0.0034, 0.0033, 0.0031, 0.0031 mg/mL로 방사선 조사구에서 증가하는 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 방사선 조사된 사과를 4°C에서 10주 동안 저장하여 페놀함량의 변화를 살펴본 결과 저장 2주째에 총 페놀함량이 증가하였으며 방사선 조사구에서 그 증가폭이 크다는 보고(Yun HJ 등 2007)와 일치하였다.

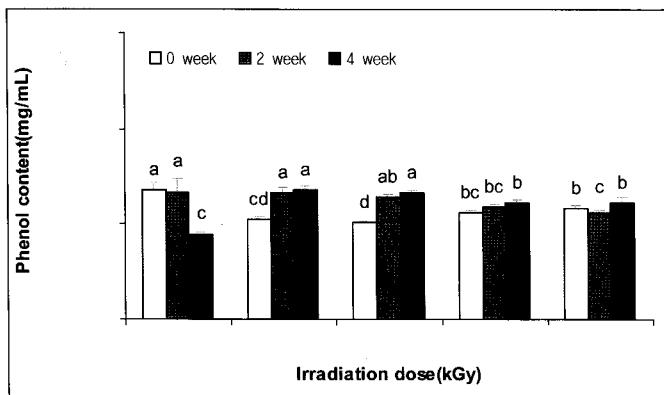


Fig. 4. Changes in total phenol content of gamma-irradiated and cooked spinach during storage at 4°C. <sup>a</sup> Different superscripts within a same row(irradiation dose) are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

## 6. 지질과산화 억제능

지질산화가 진행되면 malonaldehyde의 유리량이 증가하게 되고 여기에 TBA를 반응시키면 적색물질인 TBA 색소가 생성된다. 이를 비색정량하여 TBARS값으로 나타내는데 이러한 TBARS값은 지질 산폐도 측정법으로 자주 이용된다(Kang HJ 등 2004). 방사선 조사구과 비조사구의 지질과산화 억제능은 Fig. 5에 나타내었으며, 조리하여 방사선 조사된 시금치나물(0, 1, 2, 3, 5 kGy)에서 각각 21.2, 20.5, 18.1, 16.3, 6.5%로 조사선량이 클수록 감소하는 경향을 보였으나, 조리 직후에는 2 kGy 이하에서는 유의적인 차이를 보이지 않았고, 저장일이 증가할수록 각 선량에 따라 유의적으로 감소하는 경향이 나타났다. 방사선 조사는 지방질에 미치는 영향이 큰 것으로 알려져 있는데 방사선 조사에 의해 생성된 유리기는 유지의 자동산화에 크게 관여하고 조사 전후 산소의 존재는 지방질의 산폐를 촉진시키는 것으로 보고되고 있다(Son IS 등 1999). 저장기간에 따른 지질과산화 억제능을 보면 비조사군과 조사군 모두에서 저장기간 동안 감소하여 저장 4주째 비조사구과 조사구(1, 2, 3, 5kGy)에서 각각 13.5, 10.9, 7.9, 2.8, 1.7%로 조사처리 직후에 비해 모두 낮게 나타났으나 2 kGy 까지는 지질과산화에 영향이 크지 않았다. 반면 3 kGy 이상의 조사선량이 지방의 산폐를 촉진하여 저장 중에도 계속해서 산폐가 진행되고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 경향은 Byun MW 등(1997)이 스피루리나와 다시마 분말에 방사선 조사를 하였을 때 지질산폐가 저장기간과 조사선량에 따라 증가했다는 보고와 유사하였다.

## 7. 관능검사

방사선 조사된 시금치 나물(3 kGy)과 비조사 시금치 나물에 대하여 전반적으로 차이가 있는지 알아보기 위하여 종합적인 차이검사 방법의 하나인 3점 검사를 수행한 결과,

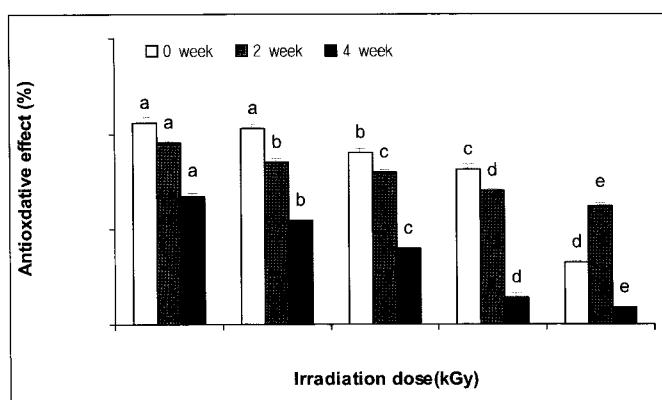


Fig. 5. Changes in inhibition of lipid peroxidation(%) of gamma-irradiated and cooked spinach during storage at 4°C. <sup>a</sup> Different superscripts within a same row(irradiation dose) are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

통계적으로 1%수준에서 유의적 차이를 표명할 수 있는 최소 정답수는 총 24명의 패널 중 14명인데 본 실험결과에서는 11명이었으므로 비조사구와 방사선조사 3 kGy 처리구는 유의적으로 차이를 나타내지 않았다. 따라서 방사선 조사 3 kGy 처리군은 대조군과 큰 차이를 보이지 않아 관능적으로 소비자들이 차이를 식별하지 못하는 적절한 조사선량으로 사료된다.

#### IV. 요 약

시금치나물을 조리한 후 Nylon film 포장재에 함기포장하여 조사한 후 온도(4°C, 25°C)를 달리하여 저장하면서 미생물학적, 이화학적, 관능적 품질특성을 분석하였다. 4°C에서 저장 시 비조사구에서는 저장 1주째에 이르러 총균수가 부패정도에 해당되는 균수를 나타내었으나 방사선조사 2 및 3 kGy 처리구에서는 4주까지도 저장이 가능하였다. 대장균군은 모든 처리구에서 검출되지 않았다. 방사선 조사선량 2 kGy까지는 시금치나물의 경도와 씹힘성에 큰 영향을 주지 않았다. 색도에서는 방사선 조사로 인해 시금치의 녹색이 연해진 것을 관찰할 수 있었으며 비조사구에 비해 조사구에서 유의적으로 a값이 증가하였다. DPPH 라디칼 소거능, 지질과산화 억제정도는 조사선량과 저장기간에 비례하여 감소하였으나, 2 kGy까지는 유의적 차이를 보이지 않았고 3 kGy이상에서는 유의적인 차이가 나타났다. 총 폐놀 함량은 저장 2주째에는 감소하였으나 4주째 증가하였다. 차이식별검사에서 방사선조사 3 kGy 처리군은 대조군과 관능적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이 같은 결과로부터 시금치나물의 위생상 안전을 확보하면서 품질특성에 영향을 주지 않는 적절한 방사선 조사 선량은 2 kGy인 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학기술평가원의 지원을 받아 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었으며 그 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 김혜영, 김미리, 고봉경. 2004. 식품 품질평가. 효일문화사. 서울. pp 124-125
- Anonymous. 2003. Irradiation enhances food safety and quality. Food prot Trends 23(7):593-594
- Byun MW, Lee JW. 2003. Application of irradiation technology for food safety and security. Food Sci Industry 36(2):25-41
- Byun MW, Yook HS, Kwon HJ, Jo SK, Lee SH. 1997. Effect of ozone treatment and gamma irradiation on the quality

properties of dried spirullina and dried sea tangle powders. Korean J Food Sci Technol 29(4):764-770

- Heo YS, Lee BH. 1999. Application of HACCP for hygiene control in university foodservice facility -focused on vegetable dishes(sengchae and namul)-. J Fd Hyg Safety 14(3):293-304
- Hong JJ, Ahn T. 2005. Change in total flavonoid and total polyphenol contents of leafy vegetables(Spinach, Chard and Whorled Mallow) by blanching time. Korean J Food Cookery Sci 21(2):190-194

- Jang ES, Lee HH, Kim JS, Lee SY. 2005. Effect of low dose  $\gamma$ -ray irradiation on antioxidant activity of seeds and seedling growth in raphanus sativus L. Kor J Hort Sci Techonl 23(3): 245-249

- Kang HJ, Jo CR, Lee NY, Kim JO, Byun MW. 2004. Effect of gamma irradiation on microbial growth, electron donating ability, and lipid oxidation of marinated beef rib with different packaging methods. J Korean Soc Food Sci Nutr 33(5):888-893

- Kang KH, Choi SK, Ko AK, Kim HL, Kim KM, Park SI. 1995. Prediction of the cause of bacterial contamination in Kimbab and its ingredients. J Fd Hyg Safety 10(3):175-180

- Kim HY, Kim JY, Ko SH. 2002. A study on the quality depending on preparing of food in high school contract food service. Korean J Food Cookery Sci 18(5):495-504

- Kye SH. 1995. Hazard analysis and critical control points of one-dish meal prepared at korean restaurants : Naeng-myeun(cold noodles) and Pi-bim bab(mixed rice). Korean J Dietary Culture 10(3):167-174

- Lee HJ, Byun MW, Yook HN, Kim JO. 1996. Physicochemical Properties of Gamma - Irradiated Soybeans. J Korean Food Sci Technol 28(3):558-565

- Lee NY, Jo C, Kang HJ, Kim DS, Byun MW. 2004. Radiosensitivity of contaminated pathogens in marinated beef rib(galbi) treated with  $\gamma$ -irradiation and its sensory properties. Korean J Food Sci Technol 36(1):168-173

- Maeda N, Hada T, Murakami-Nakai C, Kuriyama L, Ichikawa H, Fukumori Y, Hiratsuka J, Yoshida H, Sakaguchi K, Mizushina Y. 2005. Effects of DNA polymerase inhibitory and antitumor activities of lipase-hydrolyzed glycolipid fractions from spinach. J Nutr Biochem 16(2):121-128

- Matsubara K, Matsumoto H, Mizushina Y, Mori M, Nakajima N, Fuchigami M, Yoshida H, Hada T. 2005. Inhibitory effect of glycolipids from spinach on in vitamin and ex vivo angiogenesis. Oncol Rep 14(1):157-160

- Seung TH, Heo OS, Kim MR. 2005. Rehydration rate, color and texture of soaked fernbraken prepared with gamma-irradiation. J East Asian Soc Dietary Life 15(1):106-111

- Sim JH, Kim KM, Bae DH. 2003. Comparisons of physicochemical and sensory properties in noodles containing spinach juice, beetroot juice and cuttlefish ink. Food Engineering progress 7(1):37

- Singleton VL, Rossi JA. 1965. Colorimetry of total phenolics with

- phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. Am J Enol Vitic 16(3):144-158
- Son IS, Kim HC, Kim MR. 1999. Storage stability of corns irradiated by gamma-ray. Korean J Soc Food Sci 15(2): 178-184
- Steel RGD, Torrie JH. 1960. Principle and procedures of statistics. McGraw-Hill, NY.
- Yang YH, Oh SH, Kwon OY, Byun MW, Lee JW, Park SC, Kim MR. 2007. Effect of gamma irradiation on the microbial and physicochemical properties of ong-keun jook(korean whole rice porridge). J East Asian Soc Dietary Life 17(1):130-135
- Yoo WC, Park HK, Kim KL. 2000. Microbiological hazard analysis for prepared foods and raw materials of foodservice operations. Korean J Dietary Culture 15(2):123-137
- Yun HJ, Lim SY, Hur JM, Jeong JW, Yang SH, Kim DH. 2007. Changes of functional compounds in, and texture characteristics of, apples, during post irradiation storage at different temperatures. Korean J Food Preserv 14(3):239-246
- Zhang HX, Zeevaart, JAD 1998. An efficient agrobacterium tumefaciens-mediated transformation and regeneration system for cotyledons of spinach (*spinacia oleracea* L.). Plant Cell reports 18(7-8):640-645

---

(2008년 2월 11일 접수; 2008년 2월 22일 채택)