

전자선 검역처리선량이 파프리카의 품질 및 관능특성에 미치는 영향

박윤지 · 조윤희 · 권중호^{1,*}

경북대학교 식품공학부, ¹경북대학교 식품생물산업연구소

Effects of quarantine doses of e-beam irradiation on the physicochemical and sensory characteristics of paprika

Yunji Park, Yunhee Jo, and Joong-Ho Kwon^{1,*}

School of Food Science and Biotechnology, Kyungpook National University

¹Food and Bio-industry Research Institute, Kyungpook National University

Abstract The aim of this study was to evaluate the quality characteristics of fresh red paprika treated by electron-beam irradiation at quarantine doses. The initial microbial loads were low with 10^4 and 10^2 colony-forming units/g for total aerobic bacteria and coliform, respectively; however, a dose of 1 kGy resulted in load reduction of 1 log cycle. A dose level of more than 1 kGy caused significant decreases in the hardness and carotenoid content parameters. An applied dose level of less than 2 kGy did not affect vitamin C content; however, a decrease of 87-90% was observed after 40-day storage. Samples treated with 2 kGy showed significantly lower acceptance compared to the control, with lower sensory evaluation scores for color and texture. Therefore, e-beam irradiation at dose range of 0.4 and 1 kGy was found to be appropriate for quarantine applications for microbiological control and quality maintenance of paprika.

Keywords: paprika, electron-beam, irradiation, quarantine, carotenoid

서 론

파프리카(*Capsicum annuum* L. var. *grossum*)는 가지과 고추속 고추종의 채소로 미국에서는 'sweet pepper' 또는 'bell pepper'로 불린다. 중앙아메리카가 원산지이고 네덜란드에서 품종개발이 보급되면서 세계시장으로 수출되고 있는데, 우리나라에서도 파프리카의 재배면적과 소비량은 꾸준히 증가하는 추세이며, 생산량의 대부분은 일본을 비롯한 호주, 러시아, 태국, 홍콩 등으로 수출되고 있다(1,2). 우리나라에서는 파프리카를 피망과 구분하여 판매하고 있으며 단맛이 나는 것을 파프리카, 매운맛이 나는 것을 피망으로 특징 짓는다. 파프리카는 붉은색, 주황색, 노란색 등 다양한 색으로 구분되고, 그 중 붉은색 파프리카는 전체 생산의 약 40%를 차지한다(3). 붉은 파프리카는 당 함량이 높아 단맛이 좋고, 비타민, 카로티노이드, 플라보노이드 및 토코페롤과 같은 식물유래 생리활성물질을 함유하여 각종 암이나 심혈관계 질환을 예방하는 것으로 알려져 있다(4,5). 하지만 수확 후 저장 중 발생하는 곰팡이와 병해충으로 인하여 파프리카의 품질열화 및 선도 저하 현상이 발생하고 있으며(6,7), 잿빛곰팡이병을 유발하는 *Botrytis cineria*, 점무늬병을 유발하는 *Alternaria alternata* 및 총채

벌레 등이 이에 해당한다. 검역처리 방법 중 하나인 화학적 약제 처리 방법은 농산물에 농약이 잔류하게 되어 인체와 환경에 유해하다는 우려가 높아지면서 그 사용이 지양되고 있으며, 가열처리, 훈증처리, 자외선 및 마이크로파 등의 처리는 고온에 의한 식품성분 변화 및 손실을 가져오고 미생물의 살균효과도 미미하여 여러 가지 문제점을 가진다(8). 따라서 이러한 화학적 방제 및 일반 살균처리기술에 대한 방안으로 인체에 무해하고 효과적인 친환경적인 검역방법이 필요한 실정이다.

식품조사(food irradiation)에 사용되는 방사선에는 감마선, 전자선, 엑스선이 있다. 전자선(electron beam)은 가속기에서 발생하는 파장이 짧은 에너지로, 전원(on/off)에 의해 통제될 수 있어 일반 전기제품과 동일한 개념으로 관리될 수 있고, 피조사체 식품에 직접 조사되므로 에너지 효율이 매우 높아 짧은 시간에 조사공정이 완료되는 등 여러 장점을 지니고 있다(9). 전자선 조사는 국제기구인 WHO, FAO, IAEA에 의해 안전성을 인정받은 기술로(10), 해충을 구제하고 미생물의 오염을 방지할 수 있는 친환경적인 검역처리방법이며(11), 우리나라에서는 2012년 식품의약품안전처로부터 식품에 대한 전자선 조사처리가 허용되었다(12). 미국식품의약국(FDA)에서는 신선과일 및 채소에 대해 1 kGy 이하의 선량을 승인하였고, 미국동식물검역소(Animal and Plant Health Inspection Service, APHIS)에서는 신선농산품에 한해 Tephritid fruit fly 방제 목적으로 0.15 kGy까지, Lepidopter를 제외한 모든 곤충을 방제할 수 있는 목적으로 0.4 kGy까지 허용하였다.

본 연구에서는 일본으로 수출되는 붉은색 품종의 파프리카를 대상으로 해충구제 및 검역처리 선량의 전자선 조사처리 후 저장기간에 따른 미생물학적, 이화학적, 관능적 품질변화를 확인하였다.

*Corresponding author: Joong-Ho Kwon, School of Food Science and Biotechnology, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

Tel: +82-53-950-5775

Fax: +82-53-950-6772

E-mail: jhkwon@knu.ac.kr

Received September 24, 2016; revised November 1, 2016;

accepted November 3, 2016

재료 및 방법

실험 재료 및 전자선 조사처리

파프리카는 적색계 시로코(Sirocco) 품종으로, 2015년 6월 경주 양남면의 농장에서 수확용으로 재배되는 상품을 구입하였다. 시료는 polyethylene (PE)으로 포장하였고, 전자선 조사는 전자선 가속기(ELV-4, an acceleration voltage of 2.5 MeV, EB-Tech Co., Daejeon, Korea)를 이용하여 0, 0.4, 1, 2 kGy로 처리하였다. 조사한 시료는 4°C 냉장온도에서 40일 동안 보관하며 분석에 사용하였다.

미생물 농도 측정

미생물 농도 측정을 위해 살균된 peptone water에 시료를 일정 농도로 희석한 후 총세균, 효모/곰팡이, 대장균군 분석에 사용하였다. 총세균은 APHA 표준법(13)에 따라 평판우무배지(plate count agar; Difco Lab, Sparks, MD, USA)를 사용하여 35°C에서 24-48 시간 동안, 효모 및 곰팡이는 감자 덱스트로스 우무배지(potato dextrose agar; Difco Lab, Sparks, MD, USA)를 사용하여 25°C에서 5-7일 동안 배양하였다. 대장균군은 APHA (13)에 따라 데스옥시콜산 우무배지(desoxycholate agar; Difco Lab)를 사용하여, 35°C에서 24-48시간동안 배양하였다. 미생물 농도는 각각 배양이 끝난 후 계수하여 CFU (colony forming unit)/g으로 나타내었다.

중량감소율 및 경도 측정

중량감소율은 전자저울(Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)을 이용하여 시료의 무게 변화를 측정하였다(14). 시료의 경도는 rheometer (Compac-100II, Sun Scientific, Tokyo, Japan)를 이용하여 파프리카의 어깨, 중간, 바닥 부분을 각각 5회 반복 측정하여 평균값으로 계산하였다. 이 때 진입깊이는 시료 높이의 40%, adapter는 No. 5 ϕ 2 mm를 사용하였다.

총 카로티노이드 함량 분석

시료의 총 카로티노이드 함량은 Hong 등(15)의 방법을 수정하여 분석하였다. 시료 2 g을 70 mL의 아세톤:메탄올(1:1) 용액에 3 시간 추출하여 100 mL 정용하고 추출액 40 mL와 KOH 6 g을 혼합하여 비누화한 다음, 10% 염화소듐(NaCl) 40 mL, 증류수 40 mL, 에틸에테르 40 mL를 순차적으로 가한 다음 충분히 혼합하여 색소물질을 에틸에테르 층으로 이행시켰다. 증류수로 3회 반복하여 수세한 다음 흡광도 447 nm에서 비색정량 하였고, 이때 카로티노이드의 E (1%, 447 nm)는 2,080(solvent: ether)으로 하였다. 총 카로티노이드 함량은 다음과 같은 식을 사용하여 나타내었다.

Total carotenoid (mg%)

$$=O.D. \times \text{volume} \times 10^3 / 2080 \times \text{weight of tissue (g)}$$

비타민 C 함량 분석

시료 2 g을 10% 메타인산용액으로 1시간 추출한 다음 Whatman No. 41 여과지로 여과하고 5% 메타인산용액으로 정용하였다. 추출액은 0.45 μ m PVDF syringe filter로 여과하여 HPLC (Agilent 1260, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)로 분석하였다. 이 때, Aminex HPX-87H column (7.5×300 mm, Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, USA) 및 UV 검출기(254 nm)를 사용하여 이동상인 5 mM 황산을 유속 0.6 mL/min의 조건으로 분석하였다(16).

관능평가

시료의 관능평가를 위해 경험이 풍부한 20명의 검사원이 각 시료의 외관, 색, 냄새, 조직감 및 전반적 기호도에 대하여 7점 채점법(7점: 매우 좋다, 4점: 보통이다, 1점: 매우 좋지 않다)으로 평가하였다(17). 시료의 외관과 색은 자르지 않은 전체 과육을 기준으로, 냄새와 조직감은 일정한 크기로 자른 과육의 형태로 평가되었으며, 모든 시료는 세 자리의 난수와 함께 무작위로 제공되었다.

통계처리

결과는 3회 반복하여 평균과 표준편차로 나타내었고, 각 실험 결과는 Statistical Analysis System (SAS, v9.4, SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하고, 던컨의 다중검정(Duncan's multiple range test)로 유의성을 검정하였다(18).

결과 및 고찰

미생물 농도 변화

파프리카의 전자선 조사와 저장에 따른 미생물의 농도 변화를 Table 1에 나타내었다. 시료의 초기 미생물 농도는 총세균의 경우 3.20×10^4 CFU/g, 효모 및 곰팡이의 경우 3.58×10^4 CFU/g 수준으로 각각 확인되었고, 대장균군의 경우 이보다 낮은 9.55×10^2 CFU/g 수준으로 검출되었다. 한편, 전자선 조사처리에 따라 시료의 미생물 농도는 감소하여, 총세균은 효모 및 곰팡이와 함께 1 kGy 이상의 조사시료에서 초기 미생물농도에 비해 1 log cycle 감소하였고, 대장균군은 2 kGy 선량에서 ND (not detectable) 수준으로 검출되었다. 파프리카의 미생물 농도는 냉장 조건에서 저장 40일 동안 큰 변화 없이 안정적으로 유지되었으며, 이는 낮은 저장 온도가 파프리카의 미생물 증식 제어에 영향을 미친 것으로 사료되었다. 이상의 결과는 채소종자(19), 살구(20), 오렌지(21) 등 다양한 농산물에서 조사처리에 따른 미생물 감소 효과와 일치하였다. 가열 조리를 거치지 않고 직접 섭취하는 신선 농산물의 미생물학적 오염을 관리하는 방법은 먹거리에 대한 소비자의 불안감을 해소하고, 신선 농산물의 저장기간을 최대한 연장할 수 있다. 파프리카의 경우 초기 미생물 오염도가 높지 않아 전자선 처리에 따른 효과가 뚜렷하지 않았으나, 1 kGy 선량은 미생물 농도를 1 log cycle 감소시킬 수 있는 것으로 확인되었다.

중량감소율 변화

신선농산물은 호흡과 증산을 통해 무게가 줄어들게 되므로, 과일류와 채소류의 신선도 연장을 위해서는 호흡작용과 증산작용을 최대한 억제해야 한다. 전자선 조사처리에 의한 파프리카의 중량감소율 변화는 Table 2와 같다. 파프리카의 중량감소율은 저장 초기에 비해 10일에 0.21-0.35%, 20일에 0.48-0.53%, 30일에 1.68-2.59% 범위로 각각 증가하였고, 선량에 따른 유의적인 차이는 확인되지 않았으나 저장기간이 증가할수록 조사여부에 관계 없이 모든 시료에서 증가하는 경향을 나타내었다. Park 등(22)은 0, 3, 6 kGy로 감마선 처리한 양파의 저장에서 시료의 중량 감소는 조사처리에 따른 큰 변화가 없었다고 보고하였지만, Koh 등(23)은 폴리에틸렌 필름 포장 시료에서 방사선을 조사한 바나나가 조사하지 않은 시료에 비해 중량 감소가 현저하게 컸다고 보고하여, 조사처리에 따른 중량의 감소는 시료의 종류, 포장조건, 저장조건 등에 따라 차이가 있는 것으로 사료되었다.

Table 1. Changes in microbiological qualities (CFU/g) of electron-beam irradiated red bell pepper during cold storage

Microorganism	Irradiation dose (kGy)	Storage period (day)		
		0	20	40
Total aerobic bacteria	0	3.20×10 ⁴ Aa	1.64×10 ⁴ Ab	1.48×10 ⁴ Ab
	0.4	1.34×10 ⁴ Ba	1.50×10 ⁴ Aa	1.35×10 ⁴ Aa
	1	1.48×10 ³ Ca	6.10×10 ² Bb	1.59×10 ³ Ba
	2	1.04×10 ³ Ca	2.05×10 ² Cb	1.08×10 ² Cb
Yeasts & molds	0	3.58×10 ⁴ Aa	2.57×10 ⁴ Ab	2.55×10 ⁴ Ab
	0.4	2.08×10 ⁴ Ba	1.00×10 ⁴ Bb	1.09×10 ⁴ Bb
	1	3.98×10 ³ Ca	7.40×10 ² Cc	1.34×10 ³ Cb
	2	1.29×10 ³ Da	3.50×10 ² Cb	1.39×10 ³ Ca
Coliforms	0	9.55×10 ² Ac	4.57×10 ³ Ab	8.33×10 ³ Aa
	0.4	4.80×10 ² Bc	4.00×10 ³ Ab	7.35×10 ³ Aa
	1	3.85×10 ² Ba	3.01×10 ² Ba	4.62×10 ² Ba
	2	ND ¹⁾	-	ND

All values are means ($n=4$); -: negative.

¹⁾Not detectable (the minimum detection level as 20 CFU per g).

^{A-D, a-c}Values followed by different uppercase letters within a column and by different lowercase letters within a row are significantly different at $p<0.05$ based on Duncan's multiple range test.

Table 2. Changes in weight loss (%) of electron-beam irradiated red paprika during cold storage

Irradiation dose (kGy)	Storage period (day)			
	0	10	20	40
0	0.00±0.00 ^{Ca}	0.28±0.17 ^{BCa}	0.48±0.17 ^{BCa}	1.86±1.20 ^{Aa}
0.4	0.00±0.00 ^{Ca}	0.35±0.20 ^{BCa}	0.53±0.34 ^{BCa}	1.68±1.08 ^{Aa}
1	0.00±0.00 ^{Ba}	0.25±0.13 ^{Ba}	0.50±0.31 ^{Ba}	2.00±0.96 ^{Aa}
2	0.00±0.00 ^{Ca}	0.21±0.12 ^{Ca}	0.53±0.20 ^{BCa}	2.59±1.05 ^{Aa}

All values are Mean±SD ($n=15$).

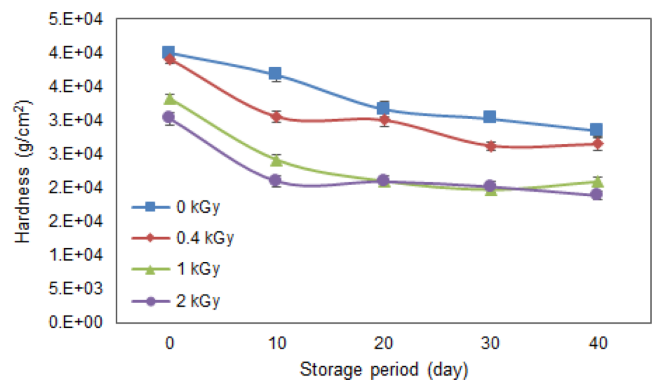
^{A-C, a}Values with different uppercase letters within the row and with different lowercase letters within the column are significantly different at $p<0.05$ based on Duncan's multiple range test.

경도 변화

신선농산물의 경도는 채소의 품질과 신선함을 결정짓는 중요한 요소 중 하나이다. 파프리카의 경도는 Fig. 1에서와 같이 조사 직후 0 및 0.4 kGy 처리 시료는 모두 3.9×10^4 g/cm² 수준으로 측정값의 차이가 없었으나, 1 kGy 이상의 선량에서는 3.3×10^4 g/cm² 이하로 경도의 유의적인 감소가 확인되었다($p<0.05$). 한편 파프리카의 경도는 저장 중 선량에 관계없이 감소하였으나 저장 20일 이후 감소폭은 줄어들었고, 저장 40일째 0 및 0.4 kGy 조사 시료는 29-32% 수준의 감소를, 1 및 2 kGy 시료는 약 37%의 감소를 각각 나타내었다. Lee 등(24)은 전자선 조사 직후에는 선량의 증가에 따른 살구의 물성 차이가 없었으나, 저장 1주부터 조사 시료에서 선량의 증가에 따라 경도가 급격히 감소하기 시작한 것으로 미루어, 조사에 의한 물리적 변화가 일어나면서 연화가 가속된 것으로 추정하였다. 이러한 결과는 전자선 조사가 과일의 셀룰로스와 헤미셀룰로스와 같은 세포벽 성분을 파괴하기 때문이라고 보고되었다(25). 파프리카의 경우 0.4 kGy 수준의 전자선 조사는 냉장저장 40일 동안 경도 유지를 위한 적절한 선량으로 판단되었다.

총 카로티노이드 함량 변화

파프리카는 풍부한 카로티노이드 색소로 인해 암, 심장질환, 동맥경화 등에 대한 예방효과가 보고되고 있다(26). 카로티노이드의 구조적 특징인 이중결합은 산화반응을 종결하고, 과산화물과 자유 라디칼로 인해 조직이 손상되는 것을 예방한다(27). 전자선

**Fig. 1. Changes in hardness of electron-beam irradiated red paprika during cold storage.**

조사가 파프리카의 총 카로티노이드 함량에 미치는 영향은 Fig. 2와 같다. 조사처리 직후 시료의 카로티노이드 함량은 71.13-76.28 mg/100 g 범위로 1 kGy 이상의 조사시료에서 유의적으로 감소하였고($p<0.05$), 저장 10일에는 62.37-67.08 mg/100 g 범위로 급격한 감소 후 일정한 수준으로 유지되었다 다시 저장 40일에 53.78-60.54 mg/100 g 범위로 감소하여, 조사처리 직후에 비해 냉장 저장 40일 후 카로티노이드 함량은 20-25% 가량 감소하였다. Lester 등(28)은 시금치에 감마선을 조사한 결과 총 카로티노이드 함량은 2 kGy 시료에서 크게 감소하여 본 연구결과와 유사하였고, 파

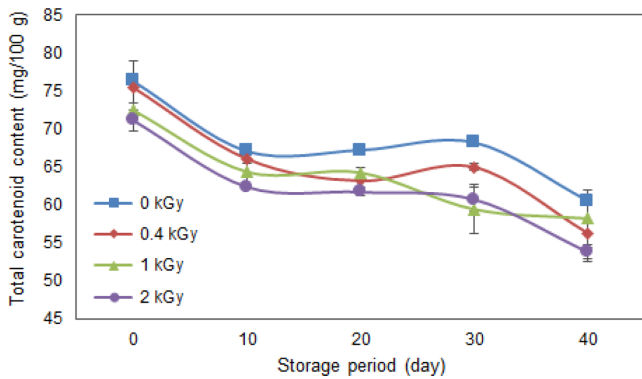


Fig. 2. Changes in carotenoid content of electron-beam irradiated red paprika during cold storage.

프리카의 품종 및 카로티노이드의 종류(베타-카로틴, 루테인/제아잔틴, 비올라잔틴 등)에 따라 증감이 다른 것으로 보고하였다. 한편, Egea 등(29)은 전자선 조사한 살구의 베타카로틴의 함량 분석에서 선량에 따른 차이는 없었으나, 2주의 저장 동안 함량이 증가함을 보고하였고, Gomes 등(30)은 전자선을 조사한 시금치의 카로티노이드 연구에서 저장 15주 동안 함량은 선량에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. 파프리카의 카로티노이드 함량은 조사선량보다 저장기간에 영향을 많은 받는 것으로 확인되었고, 이에 대한 보완 연구가 필요한 것으로 사료되었다.

비타민 C 함량 변화

비타민 C는 중요한 산화방지 물질로 카로티노이드와 함께 활성산소에 의한 세포내 DNA 손상을 막는다. 조사 직후 전자선 처리에 따른 파프리카의 비타민 C 함량은 110.52-112.77 mg/100 g 수준으로 처리 선량에 따른 유의적인 차이가 확인되지 않았다 (Table 5). 한편, 저장 동안 0, 0.4 및 1 kGy 조사시료의 비타민 C 함량은 일정 함량을 유지하다 40일째 저장 초기에 비해 87-90% 수준으로 감소하였고, 2 kGy 조사시료는 저장 20일째 90.90%, 저장 40일째 86.36% 수준으로 함량이 감소하였다. Reyes 등(31)은 전자선 처리한 망고에서 비타민 C 함량이 조사선량과 저장기간에 따라 감소하였고, Girennavar 등(32)도 전자선을 조사한 자몽주스의 비타민 C 함량 역시 감소한 것으로 보고하였다. 한편, Gomes 등(33)은 전자선을 처리한 브로콜리에서 선량이 증가할수록 비타민 함량이 증가하는 경향을 보여 본 실험과 차이를 보였으나, 저장에 따른 비타민 함량의 감소는 확인되었다. 아스코브산의 산화는 산소, 열, 빛 등 여러 요소에 영향을 받는데(34), 파프리카에 대한 0.4-2 kGy 범위의 전자선 조사는 냉장저장 10일 동안 ascorbic acid의 산화에 영향을 주지 않는 것으로 확인되었다.

관능적 품질

전자선 조사된 파프리카의 외관, 색, 냄새, 텍스처 및 전반적 기호도에 대한 관능평가 결과는 Table 6과 같다. 파프리카의 외관은 전자선 처리 직후 5.75-5.90점 범위로 평가되어 조사선량에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았고, 모든 시료에서 40일 저장 동안 4.20-4.35점 수준까지 감소하였다. 색에 대한 평점은 전자선 처리 직후 5.85-6.00점 수준으로 선량에 따른 차이를 보이지 않았으나, 저장 10일째부터 1 kGy 이상의 시료는 유의적인 감소를 나타내었으며($p < 0.05$), 이는 총 카로티노이드 함량이 선량과 저장에 따라 감소하는 경향과 일치하였다. 냄새의 경우 처리 직후 5.25-5.65점 범위로 역시 조사선량에 따른 유의적인 차이는 확인되지 않았고 이러한 경향은 저장 40일까지 유지되어, 파프리카에 대한 전자선 처리는 조사로 인한 특정한 냄새를 발생시키지 않는 것으로 판단되었다. 한편, 냄새에 대한 평점은 저장 20일까지 저장 초기에 비해 큰 변화가 없었으나 저장 40일째 모든 시료에서 4.20-4.40점 수준까지 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$). 전자선 처리 직후 조직감의 평점은 1 kGy 이상 조사시료에서 유의적으로 감소하였고($p < 0.05$), 이는 경도 측정치에서의 경향과 일치하였다. 한편, 0, 0.4 및 1 kGy 시료의 조직감은 저장 20일째에 유의적으로 감소한 반면($p < 0.05$), 2 kGy 시료는 저장 10일째부터 감소하여, 조사선량이 증가할수록 시료의 조직이 빠른 속도로 물러짐을 확인할 수 있었다. 전자선 처리 직후 파프리카의 전반적인 기호도는 2 kGy 시료에서 유의적으로 낮은 평점을 나타내었는데($p < 0.05$), 이는 조직감의 영향이 큰 것으로 판단되었다. 저장기간의 경과에 따라 전반적인 기호도가 감소함에도 불구하고 0, 0.4, 1 kGy 조사시료는 저장 20일째까지 유의적인 차이가 없는 것으로 평가되었다. 이상의 결과, 파프리카에 대한 전자선 처리는 색과 조직감 저하에 영향을 미치나, 외관과 냄새의 경우 선량에 따른 유의적인 차이가 없는 것으로 확인되었으며, 상품성을 고려하였을 때 1 kGy 미만의 선량의 조사가 적합한 것으로 판단되었다.

요 약

신선 채소인 파프리카에 검역처리 선량의 전자선 처리(0, 0.4, 1, 2 kGy) 후 냉장저장 40일 동안 미생물학적, 이화학적 및 관능적 품질을 평가하였다. 파프리카의 미생물 농도는 총세균, 효모 및 곰팡이의 경우 10^4 CFU/g, 대장균군은 10^2 CFU/g 수준이었고, 1 kGy 선량은 미생물 농도를 1 log cycle 감소시킬 수 있었다. 중량감소율은 조사처리에 따른 차이를 보이지 않았고, 경도와 카로티노이드 함량은 조사 직후 1 kGy 이상의 선량에서 유의적으로 감소하였으며, 저장 중에도 선량에 관계없이 감소하였다. 비타민 C 함량은 선량에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았고, 0, 0.4 및 1 kGy 처리 시료는 저장 40일째 저장 초기 함량의 87-90% 수준으로 감소하였다. 파프리카에 대한 관능평가 결과, 2 kGy 수준의

Table 3. Changes in vitamin C content (mg/100 g) of electron-beam irradiated red paprika during cold storage

Irradiation dose (kGy)	Storage period (day)			
	0	10	20	40
0	112.77±0.24 ^{Aa}	110.55±0.35 ^{Ba}	112.90±1.29 ^{Aa}	101.69±0.88 ^{Ca}
0.4	111.53±0.18 ^{Aa}	110.32±0.40 ^{Aa}	112.55±1.29 ^{Aa}	97.81±0.05 ^{Bb}
1	111.70±0.59 ^{Aa}	110.85±3.29 ^{Aa}	108.32±1.41 ^{Ab}	98.40±3.35 ^{Bab}
2	110.52±2.96 ^{Aa}	110.32±3.10 ^{Aa}	99.52±3.80 ^{Bc}	95.29±1.76 ^{Bb}

All values are Mean±SD ($n=3$).

^{A-C}, ^{a-c} Values with different uppercase letters within the row and with different lowercase letters within the column are significantly different at $p < 0.05$ based on Duncan's multiple range test.

Table 4. Changes in sensory quality (score) of the electron-beam irradiated red paprika during cold storage

Sensory quality	Irradiation dose (kGy)	Storage period (day)			
		0	10	20	40
Appearance	0	5.90±0.97 ^{Aa}	5.80±0.70 ^{ABa}	5.20±1.15 ^{BCa}	4.30±1.13 ^{Da}
	0.4	5.80±0.95 ^{Aa}	5.45±0.94 ^{ABab}	5.10±0.85 ^{BCa}	4.35±0.75 ^{Da}
	1	5.95±1.00 ^{Aa}	5.30±0.92 ^{ABab}	5.05±0.76 ^{BCa}	4.40±1.79 ^{Ca}
	2	5.75±1.02 ^{Aa}	4.90±0.85 ^{Bb}	4.60±1.05 ^{Ba}	4.20±1.94 ^{Ba}
Color	0	6.00±1.03 ^{Aa}	5.85±0.99 ^{Aa}	5.25±1.45 ^{Aa}	5.30±1.08 ^{Aa}
	0.4	5.80±0.83 ^{Aa}	5.35±1.04 ^{ABab}	5.20±0.06 ^{ABa}	4.65±0.75 ^{Bb}
	1	5.95±0.89 ^{Aa}	5.15±1.18 ^{Bb}	5.10±1.09 ^{Ba}	4.75±1.12 ^{Bab}
	2	5.85±0.88 ^{Aa}	4.90±0.79 ^{Bb}	4.95±1.17 ^{Ba}	4.95±0.76 ^{Bab}
Aroma	0	5.65±0.93 ^{Aa}	5.30±1.03 ^{ABa}	5.20±1.15 ^{Ba}	4.30±1.08 ^{Ba}
	0.4	5.45±1.15 ^{Aa}	5.20±1.06 ^{ABa}	5.00±1.03 ^{ABCa}	4.35±1.04 ^{Ca}
	1	5.25±1.02 ^{Aa}	5.15±0.81 ^{Aa}	5.10±0.91 ^{ABa}	4.50±1.19 ^{Ba}
	2	5.30±1.03 ^{Aa}	5.10±0.91 ^{Aa}	4.90±0.79 ^{ABa}	4.25±1.25 ^{Ba}
Texture	0	6.05±1.05 ^{Aa}	6.00±0.86 ^{Aa}	5.95±0.89 ^{Aa}	4.45±1.32 ^{Ba}
	0.4	5.50±1.05 ^{Aab}	5.35±0.75 ^{Ab}	5.25±0.91 ^{Ab}	4.60±0.99 ^{Ba}
	1	5.35±0.99 ^{Ab}	5.30±0.80 ^{Ab}	5.00±0.97 ^{ABbc}	3.65±0.93 ^{Cb}
	2	4.95±0.83 ^{Ab}	4.75±0.91 ^{ABc}	4.70±0.92 ^{ABc}	3.55±1.23 ^{Cb}
Overall acceptability	0	5.95±1.10 ^{ABa}	6.05±0.83 ^{ABa}	5.30±1.13 ^{Ba}	4.40±1.23 ^{Ca}
	0.4	5.80±1.02 ^{ABa}	5.40±0.94 ^{ABa}	5.20±0.89 ^{Bba}	4.25±0.64 ^{Ca}
	1	5.75±0.79 ^{ABa}	5.25±0.99 ^{ABa}	4.95±0.83 ^{Bab}	4.30±0.98 ^{Ca}
	2	5.15±1.04 ^{Ab}	5.05±1.00 ^{Ab}	4.50±0.95 ^{Ab}	4.20±1.06 ^{Aa}

All values are Mean±SD ($n=15$).

^{A-C}, ^{a-c} Values with different uppercase letters within the row and with different lowercase letters within the column are significantly different at $p<0.05$ based on Duncan's multiple range test.

전자선 처리는 색과 조직감 저하에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 이상의 결과, 수출용 파프리카의 해충구제 및 검역처리를 위한 0.4-1 kGy 수준의 전자선 처리는 냉장저장 동안 미생물학적 안전성을 확보하면서 이화학적 품질을 유지시키는 것으로 확인되었다.

감사의 글

이 논문의 일부는 2016년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 것임(NRF-2016RIDIA3BO 3931282).

References

- Song JY, I Sivanesan, An CG, Jeong BR. Micropropagation of paprika (*Capsicum annuum*) and its subsequent performance in greenhouse cultivation. Korean J. Hort. Sci. Technol. 27: 293-298 (2009)
- Lee JD, Do JW, Han JH, An CG, Kweon OY, Kim YK, Yoon JB. Allelism and molecular marker tests for genic male sterility in paprika cultivars. Korean J. Hort. Sci. Technol. 29: 130-134 (2011)
- Jeong CH, Ko WH, Cho JR, Ahn CG, Shim KH. Chemical components of Korean paprika according to cultivars. Korean J. Food Preserve. 13(1): 43-49 (2006)
- Deli J, Molnar P, Matus Z, Toth, G. Carotenoid composition in the fruits of red paprika (*Capsicum annuum* var. *lycopersiciforme rubrum*) during ripening; Biosynthesis of carotenoids in red paprika. J. Agr. Food Chem. 49: 1517-1523 (2001)
- Daood HG, Vinkler M, Markush F, Hebshi EA, Biacs P. Antioxidant vitamin content of spice red pepper (paprika) as affected by technological and varietal factors. Food Chem. 55: 356-372 (1996)
- Dik AJ, Elad Y. Comparison of antagonist of *Botrytis cinerea* in greenhouse grown cucumber and tomato under different climatic conditions. Eur. J. Plant Pathol. 105: 123-137 (1999)
- Lee JH, Kwak YS. The Microflora and pathogenicity investigation related paprika postharvest disease. J. Agric. Life Sci. 47: 55-60 (2013)
- Ko JK, Ma YH, Song KB. Effect of electron beam irradiation on the microbial safety and quality of sliced dried squid. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 34: 433-437 (2005)
- Andrews LS, Ahmedna M, Grodner RM, Liuzzo JA, Murano PS, Murano EA, Rao RM, Shane S, Wilson PW. Food preservation using ionizing radiation. Rev. Environ. Contam. Toxicol. 154: 1-53 (1998)
- WHO. Wholesomeness of Irradiated Food. Report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee. Technical Report Series 651. Geneva, Switzerland (1977)
- Kwon JH, Byun MW, Cho HO. Effect of gamma irradiation on the sterilization of red pepper powder. J. Korean Food Sci. Nutr. 26: 188-192 (1984)
- MFDS. Food Code 2-1-10. Ministry of Food and Drug Safety. Ohsong, Korea (2013)
- APHA. Standard methods for the Examination of Dairy products. American Public Health Association, Washington, USA (1976)
- Lim CS, Lim JM, Kim BS, Kang SM, Cho JL. Changes in fruit quality of two paprika (*Capsicum annuum* L.) cultivars in response to storage temperatures. Hortic. Environ. Biote. 46: 369-374 (2005)
- Hong SP, Koo JK, Jo KS, Kim DS. Physicochemical characteristics of water of alcohol soluble extracts from laver *Porphyra yezoensis*. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 26: 10-16 (1997)
- MFDS. Food Code 10-1-74. Ministry of Food and Drug Safety. Ohsong, Korea (2013)
- Eggink PM, Maliepaard C, Tikunov Y, Haanstra JPW, Bovy AG,

- Visser RGF. A taste of sweet pepper: volatile and non-volatile chemical composition of fresh sweet pepper (*Capsicum annuum*) in relation to sensory evaluation of taste. *Food Chem.* 132: 301-310 (2012)
18. SAS Institute, Inc. SAS User's Guide. Statistical Analysis Systems Institute, Version 8.0, Cary, NC, USA (2001)
 19. Bae YM. Effect of electron beam irradiation on selected vegetable seeds and plant-pathogenic microorganisms. *Journal of life science* 23: 1415-1419 (2013)
 20. Lee JO, Lee SA, Kim MS, Hwang HR, Kim KH, Chun JP, Yook HS. The Effects of low-dose electron beam irradiation on quality characteristics of stored apricots. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 37: 934-941 (2008)
 21. Kyung EJ, Kim KH, Yook HS. Quality characteristics of gamma irradiated-imported orange during storage at room temperature (20°C). *The Korean J. Food Nutr.* 27: 183-193 (2014)
 22. Park YB, Kim JH, Kim GT. Sprouting and component change of Cheju-grown onions after γ -irradiation. *Korean Soc. Bio-Environ. Control* 9: 77-80 (2000)
 23. Koh HY, Park HW, Kang TS. Effect of packaging methods on the storage of banana. *Korean J. Food Sci. Technol.* 20: 737-741 (1988)
 24. Lee JO, Lee Sa, Kim MS, Hwang HR, Kim KH, Chun JP, Yook HS. The Effects of Low-dose Electron Beam Irradiation on Quality Characteristics of Stored Apricots. *Korean J. Food Nutr.* 37: 934-941 (2008)
 25. Yun HJ, Lim SY, Hur JM, Jeong JW, Yang SH, Kim DH. Changes of functional compounds in, and texture characteristics of, apples, during post-irradiation storage at different temperatures. *Korean J. Food Preserv.* 14: 239-246 (2007)
 26. Kim JS, Ahn J, Ha TY, Rhee HC, Kim S. Comparison of phytochemical and antioxidant activities in different color stages and varieties of paprika harvested in Korea. *J. Food Sci. Technol.* 43: 564-569 (2011)
 27. Carocho M, Ferreira IC. A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food Chem. Toxicol.* 51: 15-25 (2013)
 28. Lester GE, Hallman GJ, Perez JA. γ -Irradiation dose: effects on baby-leaf spinach ascorbic acid, carotenoids, folate, α -tocopherol, and phylloquinone concentrations. *J. Agr. Food Chem.* 58: 4901-4906 (2010)
 29. Egea MI, Martinez-Madrid MC, Snchez-Bel P, Murcia MA, Romojaro F. The influence of electron-beam ionization on ethylene metabolism and quality parameters in apricot (*Prunus armeniaca* L., cv Blida). *LWT-Food Sci. Technol.* 40: 1027-1035 (2007)
 30. Gomes C, Moreira RG, Castell-Perez ME, Kim J, Da Silva P, Castillo A. E-beam irradiation of bagged, ready-to-eat spinach leaves (*Spinacea oleracea*): An engineering approach. *J. Food Sci.* 73: E95-E102 (2008)
 31. Reyes LF, Cisneros-Zevallos L. Electron-beam ionizing radiation stress effects on mango fruit (*Mangifera indica* L.) antioxidant constituents before and during postharvest storage. *J. Agr. Food Chem.* 55: 6132-6139 (2007)
 32. Girenavar B, Jayaprakasha GK, Melin SE, Maxim J, Yoo KS, Patil BS. Influence of electron-beam irradiation on bioactive compounds in grapefruits (*Citrus paradisi Macf.*). *J. Agr. Food Chem.* 56: 10941-10946 (2008)
 33. Gomes C, Da Silva P, Chimbombi E, Kim J, Castell-Perez E, Moreira RG. Electron-beam irradiation of fresh broccoli heads (*Brassica oleracea* L. *italica*). *LWT-Food Sci. Technol.* 41: 1828-1833 (2008)
 34. Tatum JH, Philip ES, Berry RE. Degradation products from ascorbic acid. *J. Agr. Food Chem.* 17: 38-40 (1969)