JOURNAL OF RADIATION INDUSTRY

Original article

16(4) : 333-341 (2022)
https://doi.org/10.23042/radin.2022.16.4.333

전자선 조사에 의한 냉동 떡갈비의 품질특성 영향

염서준[1,2], 윤기남[1,3], 김상수[1,2], 송범석[1], 박종흠[1], 김재경[1,*]

[1]한국원자력연구원 첨단방사선연구소, [2]전남대학교 융합식품바이오공학과, [3]전남대학교 식품공학과

Effect of Electron-beam Irradiation on Quality Characteristics of Frozen *Tteokgalbi*

Seo-Joon Yeom[1,2], Ki-Nam Yoon[1,3], Sang-Su Kim[1,2], Beom-Seok Song[1], Jong-Heum Park[1] and Jae-Kyung Kim[1,*]

[1]Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongeup 56212, Republic of Korea
[2]Department of Integrative Food, Bioscience and Biotechnology, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea
[3]Department of Food Science and Technology, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea

Abstract This study was conducted to evaluate the effects of electron-beam irradiation (0, 2.5, 5, 7 and 10 kGy, 10 MeV) on quality characteristics (microbiological, 2-ThioBarbituric Acid Reactive Substance (TBARS), pH, color and sensory evaluation) of frozen *Tteokgalbi*, which is the Korean traditional ground beef during storage (0, 3 and 6 months, −18°C). Electron-beam irradiation dramatically diminished total aerobic bacteria (TAB) and yeast & mold (Y&M) of dose dependently and were not detect from 7 kGy. Even Lightness (L*) values decreased by 7 kGy, yellowness (b*) did not differ in all sample, and the redness (a*) decreased by 2.5 kGy, but increased from 5 kGy. TBARS values of all the samples were elevated significantly as the irradiation dose and storage period increased. but pH did not change. Sensory evaluation showed that there was no significant change up to 7 kGy, but 10 kGy dropped taste, flavor, and overall acceptance below the average score (4 points). In conclusion, electron-beam irradiation on *Tteokgalbi* up to 7 kGy could enhance the food safety without changing quality characteristics.

Key words: Electron-beam irradiation, *Tteokgalbi*, Frozen storage, Quality characteristic

1. 서 론

떡갈비는 전라도와 경기도 일부에서 각 지역의 특색에 따라 원료와 조리방법이 다양하게 전해져 내려온 전통적인 향토음식으로, 우육이나 돈육을 다지거나 분쇄하고 다양한 부재료를 혼합하여 둥글거나 네모난 떡 모양의 형태로 제조되는 식품이다[1,2]. 특히 떡갈비는 양질의 단백질과 무기질 및 비타민 B12 등 우수한 영양학적 특성과 뛰어난 기호성, 편리성 및 합리적인 가격 등으로 인해 지속적으로 소비가 증가하는 추세이며[3], 첨가된 부재료에 따라 색다른 맛을 제공하기 때문에 다양한 소재를 첨가하여 기호성과 기능성을 증진하고자 하는 여러 연구가 진행되어 왔다[2-6]. 그러나 식품의약품안전처의 보고에 따르면 최근 떡갈비에서 용혈성요독증후군을 유발하는 장출혈성대장균이 검출되어 해당 제품을 판매 중단하고 회수 조치하는 사례로 인해 안전성에 대한 우려가 커지고 있는 실정

http://www.ksri.kr/
Copyright © 2022 by
Korean Society of Radiation Industry
***Corresponding author.** Jae-Kyung Kim
Tel. +82-63-570-3219 Fax. +82-63-570-3207 E-mail. jkim@kaeri.re.kr
Received 22 September 2022 **Revised** 4 October 2022 **Accepted** 11 December 2022

이다[7].

식품의약품안전처의 통계(2015~2019년)에 따르면 식육과 식육가공품의 식중독 감염 사례 중 2,182명(20.9%)이 병원성대장균에 기인한 것으로 보고되었다[8]. 그중 분쇄가공육은 병원성대장균의 오염으로 인한 식중독 감염과 그에 따른 회수 조치 사례가 매년 전 세계적으로 발생하고 있기 때문에 공중 보건 문제로 대두되어 왔다[9,10]. 분쇄가공육은 세절 또는 분쇄, 혼합, 성형 및 포장 등 다양한 가공과정에서 비위생적인 부재료 또는 장비와 작업자에 의해 병원성미생물의 교차오염 발생 가능성이 있을 수 있다[11,12]. 이를 해결하기 위해 식품 조사[11], UV [13], 초고압[14], 유기산[15], microwave[16] 및 박테리오파지[17] 등을 이용한 연구가 다양한 분쇄가공육에 대하여 진행되었음에도 불구하고 아직까지 떡갈비의 미생물학적 안전성에 대한 연구는 부족한 실정이다.

식품 조사(Food Irradiation)는 조사목적(살균, 살충, 숙도지연 및 발아억제 등)에 따라 조사선량을 선택적으로 이용할 수 있으며, 잔류독성이 남지 않는 우수한 비가열 살균기술로 품질 변화를 최소화하고 완전히 포장한 상태에서 처리가 가능하다[18]. 식품 조사의 살균과 살충 원리는 DNA 분자를 직접적으로 손상시키는 직접효과와 세포 내 수분을 radical로 전환시켜 DNA에 영향을 주는 간접효과에 의해 조사목적을 달성하는 것으로 알려져 있다[19]. 이러한 조사처리식품의 안전성과 건전성에 관해서는 1980년 국제기구(FAO/IAEA/WHO)에 의해 공동으로 주최된 식품조사공동전문위원회(Joint Expert Committee on Food Irradiation, JECFI)에서 40여 년간 연구한 결과들을 종합하여 평균선량 10 kGy 이하의 조사된 식품에서 독성학적, 영양학적 및 미생물학적 문제가 없음을 공표하였다[20]. 그러나 식품 조사는 산화반응에 의한 이미, 이취 및 변색과 같은 부정적인 변화를 유발할 수 있으므로 새로운 식품에 적용할 경우 조사목적을 달성하는 동시에 고유품질을 유지할 수 있는 최대허용선량을 결정할 필요가 있다[21].

현재 전 세계적으로 조사처리식품은 56개국에서 250여 품목에 대하여 조사목적과 식품의 품목에 따라 0.1~30 kGy까지 다양한 조사선량이 허가되어 있는데, 식육의 경우 미국은 냉장과 냉동육에 대해 각각 4.5와 7 kGy까지 승인하였고[22], 캐나다는 냉장과 냉동 분쇄 우육에 대하여 1~4.5와 1.5~7 kGy까지 허용되었다[23]. 국내에서는 건조향신료, 복합조미식품, 감자, 밤, 버섯 및 건조식육 등 29개 품목에 대하여 허가되어 있으나, 아직까지 분쇄가공육을 포함한 식육은 허가되지 않은 실정이다. 국내의 식품 조사에 허용되어 있는 조사선원은 감마선(^{60}Co), 전자선(10 MeV 이하) 및 엑스선(5 MeV 이하)이 있는데, 그중 전자선은 전자가속기를 이용하는 방법으로 고전압의 에너지 준위를 가속화함으로써 발생한 전자선에너지를 사용하기 때문에 방사선동위원소를 사용하는 감마선에 비해 높은 안전성과 수용도를 가지고 있어 사용자와 소비자 모두에게 주목받고 있다[24-26]. 전자선은 다른 조사선원에 비해 낮은 투과력(5~10 cm)을 가지고 있으나, 감마선(0.01~1 Gy s^{-1})과 엑스선보다 높은 조사선량률(10^3~10^5 Gy s^{-1})과 높은 에너지효율을 가지며 전원(on/off)에 의해 조절이 가능하기 때문에 신속하고 안전하다는 장점을 가지고 있다[27,28]. 따라서 본 연구는 냉동 떡갈비에 전자선을 조사하여 최대 6개월 저장기간 동안 품질특성에 미치는 영향에 대하여 평가하고 최대허용선량을 설정하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

본 연구에 사용된 시료는 국내에서 시판 중인 냉동 떡갈비 제품을 구매하였으며, 원재료로 한우갈비살(30%), 목심(14%), 양지(14%), 앞다리살(12%), 설도(11%), 간장, 양파, 설탕, 마늘, 대파, 배, L-글루탐산나트륨, 생강, 참기름, 물엿 및 후추를 이용하여 제조되었다. 시료(100 g)는 구매 직후 멸균된 nylon polyethylene/polypropylene bags (20×30 cm, 0.07 mm, Sunkyung Co., Ltd., Seoul, Korea)에 개별 함기포장으로 전자선 조사 후 −18°C에 저장하고 0, 3 및 6개월에 저온(4°C)으로 해동하여 각 실험에 사용하였다.

2.2. 전자선 조사

전자선 조사는 한국원자력연구원 첨단방사선연구소(Jeongeup, Korea) 내 전자선가속기(UELV-10-10S, 10 MeV, 10 kW, 0.2 mA, Moscow, Russia)를 이용하였으며, 각 시료는 드라이아이스 위에 단층으로 올려져 냉동을 유지한 상태로 컨베이어벨트의 속도 조절을 통해 0.5 kGy $scan^{-1}$의 선량률로 2.5, 5, 7 및 10 kGy가 되도록 조사하였다. 실제 흡수선량은 alanine dosimetry (Brunker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하여 측정하였으며, 흡수선

량의 오차율은 2% 이내로 선량 균일도 비율(DUR; dose uniformity ratios)은 1.017~1.192 이내였다.

2.3. 미생물 평가

미생물 수 측정은 시료 25 g에 멸균인산완충액 225 mL를 stomacher bag (BagFilter 400S, Interscience Co., France)에 가하여 1분간 stomacher (BagMixer 400w, Interscience Co., France)로 균질화하고 10진 희석하였다. 일반호기성 미생물은 희석 시료를 plate count agar (Difco, Detroit, MI, USA)에 도말하여 35°C에서 24시간 배양하였고, 효모 및 곰팡이는 potato dextrose agar (Difco)에 도말하여 25°C에서 72시간 배양하였다. 시료 내 미생물 수는 15~300개의 집락을 형성한 배지를 계수하여 log CFU g^{-1}으로 표기하였으며, 최소 검출 한계치는 1 log CFU g^{-1} 미만이었다.

2.4. 지질산패도

지질산패도는 2-Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) 방법을 이용하였다[29]. 시료 5 g에 7.2% Butylated hydroxyanisole 50 μL와 증류수 15 mL를 첨가하여 homogenizer (T25 digital ultraturrox, IKA, German)로 균질화 (11,000 rpm, 20 sec)하였다. 균질액 2 mL에 20 mM thiobarbituric acid/15% trichloroacetic acid 용액 4 mL을 첨가하여 항온수조 (90°C, 15 min)에서 발색시킨 다음 10분간 냉각시켰다. 그 후 원심분리기 (VARISPIN 12R, NOVAPRO, Korea)를 사용하여 원심분리 (2,400 rpm, 15 min, 4°C)하고 spectrophotometer (biochrom, Libra S70, England)를 이용하여 532 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 최종적으로 malondialdehyde (MDA)의 농도를 μg MDA g^{-1}으로 표시하였다.

2.5. pH

pH는 시료 중량의 10배 증류수를 가하여 homogenizer (11,000 rpm, 1 min)로 균질화하고 원심분리 (3,000 rpm, 15 min, 4°C)한 후, pH meter (ORION 3 STAR, Thermo Scientific™, USA)를 이용하여 측정하였다.

2.6. 색도

색도는 colorimeter (CM-5, Konica Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하였으며, 측정 전 표준백판 (A-210, Konica Minolta Co., LTd., Osaka, Japan)으로 보정하고 각 시료 겉표면의 측정 부위를 달리하여 명도 (lightness, L*), 적색도 (redness, a*) 및 황색도 (yellowness, b*)를 측정하였다.

2.7. 관능평가

관능평가는 시료 25 g을 각각의 내열성플라스틱 일회용 용기 (PRW09004, enterline, South Korea)에 담아 microwave oven (MW251BTR, LG, Korea)에서 700 W 출력으로 2분간 동시에 가열한 후 세 자리 난수와 함께 무작위로 제공하였다. 관능평가 요원은 한국원자력연구원 첨단방사선연구소의 연구원 중 선별된 12명이 제공된 시료의 색 (color), 조직감 (texture), 맛 (taste), 풍미 (flavor) 및 종합적 기호도 (overall acceptance)에 대해 7점 척도법 (1점 = 매우 좋지 않다, 4점 = 좋지도 싫지도 않다, 7점 = 매우 좋다)을 사용하여 평가하였다.

2.8. 통계처리

실험 결과는 mean ± S.D로 표기하였으며 minitab version 20.1.3 (Minitab LLC, State College, PA, USA)을 이용하여 각 시료 간의 유의성을 분산분석으로 검증한 후 $p < 0.05$ 수준에서 Tukey's test로 사후검정을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 미생물 평가

전자선을 다양한 선량 (0, 2.5, 5, 7 및 10 kGy)으로 조사된 떡갈비를 0, 3 및 6개월간 냉동 저장하며 미생물 변화를 확인하였다 (Figs. 1, 2). 초기 일반호기성미생물과 효모 및 곰팡이의 미생물 농도는 비조사구에서 각각 4.63 ± 0.14와 4.26 ± 0.12 log CFU g^{-1} 수준으로 나타났으나, 2.5 kGy에서 각각 3.09 ± 0.36와 3.06 ± 0.55 log CFU g^{-1}으로 감소하였고 ($p < 0.05$), 5 kGy에서 2.33 ± 0.21과 1.40 ± 0.46 log CFU g^{-1}으로 감소하였다 ($p < 0.05$). 그러나, 7 kGy 이상의 전자선 조사에서는 모두 검출한계 미만으로 나타나 냉동 떡갈비에서 일반호기성미생물과 효모 및 곰팡이에 대한 살균 효과는 동일한 수준으로 확인되었다. Aziz 등[30]은 우육, 분쇄 우육 및 우육 패티의 초기 미생물 농도가 각각 4.69, 6.32 및 6.63 log CFU g^{-1}의 수준이었으나, 5 kGy 감마선 조사에 의해 각각 2.23, 3.94 및 3.32 log CFU g^{-1}으로 유의적인 감소를 보고하였다. 다른 연구 결과를 살펴보면 분쇄 돈육은 초기 미생물 농도가 3.75 log CFU g^{-1}이었으나, 전자선 조사에 의해 유의적으로 감소하다 10 kGy 이상부터 검

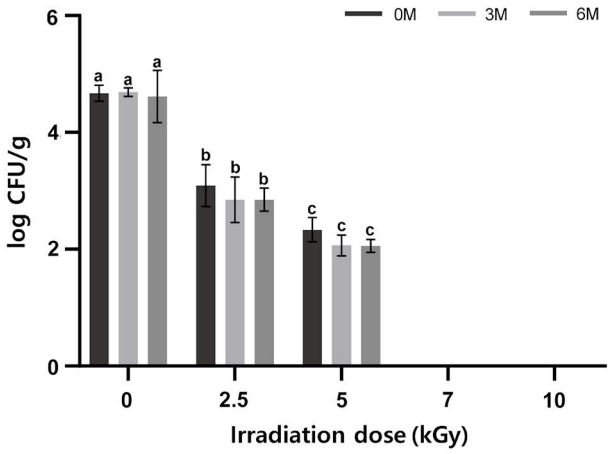

Fig. 1. Total aerobic bacteria of Electron-beam irradiated frozen *Tteokgalbi* during storage. [a-c]Means with different letters within irradiation dose differ significantly ($p < 0.05$).

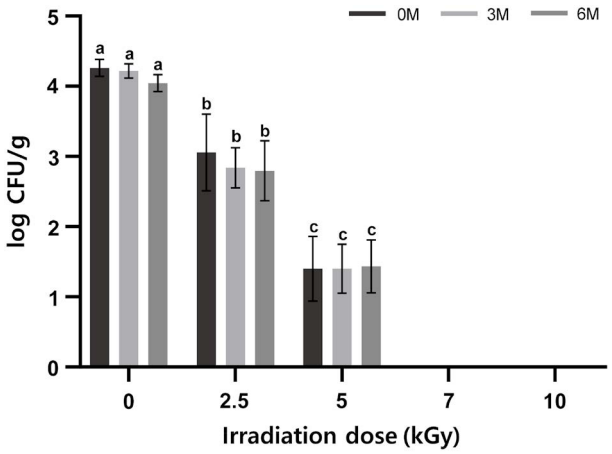

Fig. 2. Yeasts and molds of Electron-beam irradiated frozen *Tteokgalbi* during storage. [a-c]Means with different letters within irradiation dose differ significantly ($p < 0.05$).

출한계 미만으로 나타났으며[31], 닭가슴살에서는 초기 미생물 농도가 4.60 ± 0.07 log CFU g^{-1}이었으나, 1 kGy 전자선 조사에 의해 2.23 ± 0.08 log CFU g^{-1} 수준으로 감소하였다[27]. 이러한 식품 조사는 직접효과와 간접효과로 인하여 세포의 항상성 불균형과 DNA repair를 방해하여 미생물을 사멸시키는 것으로 알려져 있는데, 이때 미생물의 초기 미생물 농도, 조사선량, 조사선원, 축종 및 가공방법에 따라 미생물의 살균 효과에서 차이가 나타날 수 있다.

한편 일반호기성미생물과 효모 및 곰팡이는 6개월의 냉동 저장기간 동안 유의적인 변화가 관찰되지 않았다. 냉동 저장은 효과적으로 미생물의 생육을 억제하여 저장성을 증진시키는 전통적인 방법으로서, Tolentino 등[32] 또한 전자선 조사된 우육 패티에서 7개월까지 냉동 저장기간 동안에 미생물 수의 유의적인 변화가 나타나지 않아 본 실험과 일치하였다. 본 실험 결과에서 전자선의 조사선량이 증가함에 따라 미생물의 살균 효과가 유의적으로 증가되는 것을 확인하였으며, 5 log CFU g^{-1} 이하로 오염된 냉동 떡갈비의 경우 7 kGy 이상 조사에 의해서 최대 6개월의 저장기간 동안 미생물학적 안전성을 확보할 수 있었다.

3.2. 색도

전자선 조사된 떡갈비의 냉동 저장기간 동안 색도 변화를 확인한 결과(Table 1), 비조사구의 경우 명도, 적색도 및 황색도는 각각 36.03 ± 0.39, 10.26 ± 0.35 및 13.15 ± 0.76으로 나타났다. 그러나 전자선 조사에 의해 명도는 7 kGy 이상에서 유의적으로 감소하였고, 적색도는 2.5 kGy까지 유의적으로 감소하였다가 5 kGy 이상부터 다시 증가하는 경향을 나타냈으며, 황색도는 유의적인 변화가 발견되지 않았다. 한편 모든 색도는 저장기간이 증가함에 따라 비조사구와 조사구간의 유의적인 차이가 사라졌다.

육색의 선홍색을 대변해 주는 적색도는 소비자가 가장 먼저 확인하는 품질 지표로서 제품의 신선도를 평가할 수 있는 중요한 인자이다. 특히 육색은 Myoglobin (Mb)의 산화, 환원의 형태에 따라서 적자색의 Deoxy-Mb (Fe^{2+}), 적색의 Oxy-Mb (Fe^{2+}) 및 갈색의 Met-Mb (Fe^{3+})으로 결정된다[33]. Sales 등[34]과 Jeon 등[35]은 우육에 감마선 조사에 따른 적색도의 유의적인 차이를 발견하지 못하였다. 그러나 Feng 등[36]은 전자선 조사에 의해 적색도의 유의적인 감소를 확인하였으며, Park 등[37]은 전자선 조사에 의해서 적색도가 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보고하였다. Brewer[24]는 식품 조사 시 발생된 radical에 의한 영향으로 Oxy-Mb이 Met-Mb으로 산화되어 적색도가 감소되다가 Met-Mb의 구조가 파괴되어 NO-Mb나 CO-Mb를 형성함으로써 적색도가 다시 증가하는 것으로 보고하였다. 그러므로 본 실험결과에서 전자선 조사된 냉동 떡갈비의 경우 7과 10 kGy 조사에 의해 비조사구와 동일한 육색을 유지하는 것으로 확인되었으며, 전자선 조사에 의해 2.5 kGy까지 Oxy-Mb이 Met-Mb으로 산화되어 감소하다가 5 kGy 이상에서는 NO-Mb나 CO-Mb이 형성되어 다시 증가하는 것으로 사료된다.

Table 1. Hunter color values of Electron-beam irradiated frozen *Tteokgalbi* during storage

Parameter	Irradiation dose (kGy)	Storage period (month)		
		0	3	6
L*	0	36.03 ± 0.39^{ax}	32.39 ± 0.84^{by}	33.18 ± 2.16^{y}
	2.5	34.93 ± 1.08^{ab}	33.53 ± 0.87^{ab}	34.17 ± 1.82
	5	34.25 ± 1.85^{ab}	31.74 ± 2.21^{b}	33.62 ± 2.08
	7	32.09 ± 3.57^{by}	32.08 ± 1.93^{by}	36.84 ± 2.41^{x}
	10	31.67 ± 0.94^{by}	36.19 ± 1.02^{ax}	36.81 ± 1.20^{x}
a*	0	10.26 ± 0.35^{abx}	6.50 ± 0.29^{ay}	5.64 ± 0.43^{z}
	2.5	5.91 ± 0.66^{d}	5.34 ± 0.41^{b}	5.03 ± 0.56
	5	7.16 ± 0.45^{cx}	6.03 ± 0.68^{aby}	5.36 ± 0.19^{y}
	7	9.23 ± 0.73^{bx}	6.64 ± 0.37^{ay}	5.57 ± 0.56^{z}
	10	10.39 ± 0.58^{ax}	5.96 ± 0.08^{aby}	5.74 ± 0.54^{y}
b*	0	13.15 ± 0.76	12.59 ± 0.75	12.75 ± 0.53^{ab}
	2.5	13.91 ± 0.67^{x}	11.81 ± 0.56^{y}	12.01 ± 0.87^{aby}
	5	13.50 ± 0.14	11.87 ± 0.97	11.57 ± 1.72^{b}
	7	13.04 ± 0.22^{x}	11.44 ± 0.89^{y}	12.77 ± 0.39^{abx}
	10	12.73 ± 1.25^{xy}	11.98 ± 0.36^{y}	13.55 ± 0.32^{ax}

[a-d]Means with different letters within a column differ significantly ($p < 0.05$).
[x-z]Means with different letters within a row differ significantly ($p < 0.05$).

3.3. 지질산패도

전자선 조사된 떡갈비의 냉동 저장기간 동안 지질산패도 변화를 TBARS 방법으로 확인하였다(Fig. 3). 지질산패도는 비조사구에서 2.33 ± 0.06 μg MDA g^{-1} 수준이었으나, 10 kGy 전자선 조사에 의해 2.78 ± 0.05 μg MDA g^{-1}으로 최대 19%가 증가하였다($p < 0.05$). 또한 저장기간이 증가함에 따라 모든 시료에서 지질산패가 유의적으로 증가하는 경향이 나타났으나, 저장 6개월차에는 비조사구와 7 kGy 이하의 전자선 조사된 떡갈비의 지질산패도에 대한 유의적인 차이가 사라졌다. 지질의 산화는 방사선, 온도, 광선, 미생물, 산소, 금속 및 수분과 같은 여러 개시인자에 의해 의존하게 되는데, 특히 육류에 함유된 불포화지방산은 산화에 의해 MDA와 콜레스테롤을 생성하여 이취, 이미의 발생과 육색의 손실을 초래하여 식품으로서 가치를 저하시킨다고 보고되었다[29,37-40]. Feng 등[36]은 분쇄 우육에서 4.5 kGy 전자선 조사에 의해 지질산패도가 156% 증가되었으며, Park 등[11]은 우육 소시지에서 10 kGy 전자선과 감마선 조사에 의해 각각 25%와 45%의 지질산패도의 증가를 보고하였다. 또한 Song 등[31]은 분쇄 돈육에서 10 kGy 전자선과 감마선 조사에 의해 각각 123%와 231%의 지질산패도가 증가하였고, Lewis 등[27]은 닭가슴살에서 1.8 kGy 전자선 조사에 의해 1,292%로 지질산패도가 증가하여 본 연구와 동일하였다. TBARS는 MDA가 thiobarbituric acid와 반응하여 생성되는 붉은색의 발색 정도를 측정하여 지질의 산화 수준을 확인할 수 있는

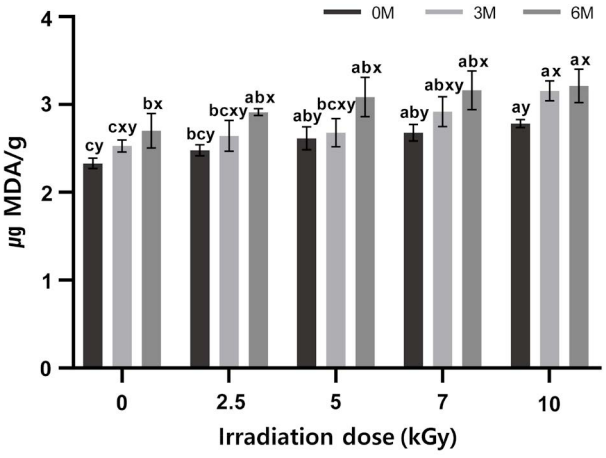

Fig. 3. TBARS values of Electron-beam irradiated frozen *Tteokgalbi* during storage. [a-c]Means with different letters within irradiation dose differ significantly ($p < 0.05$). [x-y]Means with different letters within a during storage differ significantly ($p < 0.05$).

Table 2. Sensory evaluation of Electron-beam irradiated frozen *Tteokgalbi* during storage

Parameter	Irradiation dose (kGy)	Storage period (month)		
		0	3	6
Color	0	5.5 ± 1.1	5.3 ± 1.4	5.3 ± 1.1
	2.5	5.4 ± 0.9	5.3 ± 1.4	5.2 ± 1.1
	5	5.6 ± 1.3	5.8 ± 1.6	5.4 ± 1.1
	7	4.8 ± 1.1	5.1 ± 1.4	5.3 ± 1.1
	10	4.8 ± 1.0	4.4 ± 1.7	4.9 ± 1.1
Texture	0	5.6 ± 1.1	5.2 ± 1.3	5.2 ± 0.8
	2.5	5.5 ± 1.2	5.4 ± 1.1	5.2 ± 1.3
	5	4.5 ± 1.6	5.5 ± 1.6	5.4 ± 1.2
	7	5.0 ± 1.1	5.2 ± 1.2	5.2 ± 1.3
	10	5.3 ± 1.2	4.3 ± 1.5	4.5 ± 1.5
Taste	0	5.8 ± 1.1	5.7 ± 1.5^{a}	5.1 ± 0.8^{a}
	2.5	5.4 ± 1.4	5.4 ± 1.2^{ab}	4.5 ± 1.1^{ab}
	5	5.2 ± 1.5	5.6 ± 1.5^{a}	4.8 ± 1.3^{ab}
	7	4.8 ± 1.3	5.3 ± 1.6^{ab}	4.8 ± 1.1^{ab}
	10	4.6 ± 1.2	3.8 ± 1.5^{b}	3.7 ± 0.9^{b}
Flavor	0	5.5 ± 1.4^{a}	5.7 ± 1.8^{a}	4.9 ± 1.1^{a}
	2.5	4.8 ± 1.3^{ab}	5.5 ± 0.9^{a}	4.6 ± 1.2^{ab}
	5	4.9 ± 1.6^{ab}	5.3 ± 1.5^{ab}	4.8 ± 1.0^{a}
	7	4.8 ± 0.9^{ab}	4.4 ± 1.4^{ab}	4.8 ± 1.0^{a}
	10	4.0 ± 1.0^{b}	3.8 ± 0.9^{b}	3.4 ± 1.2^{b}
Overall acceptance	0	5.9 ± 1.1^{a}	5.8 ± 1.6^{a}	4.8 ± 1.1^{a}
	2.5	5.6 ± 1.3^{abx}	5.3 ± 1.1^{axy}	4.3 ± 0.9^{aby}
	5	5.4 ± 1.3^{ab}	5.4 ± 1.6^{a}	4.4 ± 1.2^{ab}
	7	5.1 ± 1.0^{ab}	5.2 ± 0.9^{a}	4.7 ± 1.2^{ab}
	10	4.6 ± 1.1^{bx}	3.6 ± 1.2^{bxy}	3.4 ± 1.1^{by}

[a,b]Means with different letters within a column differ significantly ($p < 0.05$).
[x,y]Means with different letters within a row differ significantly ($p < 0.05$).

방법으로서 관능적 특성의 예측 인자로 보고되었다[41]. Mckenna 등[42]은 우육에서 1.0 μg MDA g^{-1}을 산화적 산패가 나타나는 임의 역치로 설정하였으나, Hughes 등[43]은 2.60~3.11 μg MDA g^{-1}에서도 관능적 특성에 영향을 미치지 않는다고 보고하였다. 한편 Zhang 등[41]은 실험방법에 따라 2.5 μg MDA g^{-1} 또는 10.0 μg MDA g^{-1}까지 도달하여도 소비자가 수용 가능하다고 보고하였다. 따라서 지질산패도는 조사선량, 조사선원, 축종 및 가공방법 등의 실험조건에 따라 상이한 값을 보고하고 있으며, 관능적 특성에 영향을 미치는 최소 및 최대허용수준도 정해지지 않은 실정이다. 그러므로 본 실험 결과에서는 냉동 떡갈비의 지질산패도가 2.38~3.32 μg MDA g^{-1}의 수준으로 나타났으나, 지질산화에 따른 역치를 추정하기 위하여 관능평가를 수행하였다.

3.4. 관능평가

전자선 조사된 떡갈비의 냉동 저장기간 동안 관능평가 변화를 확인하였다(Table 2). 저장 0개월차에 비조사구의 색, 조직감, 맛, 풍미 및 종합적 기호도는 각각 5.5 ± 1.1, 5.6 ± 1.1, 5.8 ± 1.1, 5.5 ± 1.4 및 5.9 ± 1.1로 나타났으며, 전자선 조사된 떡갈비에서 최대 7 kGy까지는 관능적 특성에 유의적인 차이가 없었다. 그러나 10 kGy에서 풍미와 종합

적 기호도가 각각 4.0±1.0과 4.6±1.4로 유의적으로 감소하였으며, 저장 3개월차부터는 맛, 풍미 및 종합적 기호도가 평균점수(4점) 미만으로 감소하였다. Tolentino 등[32]은 냉동 우육 패티에 6 kGy 전자선 조사에 의해 색, 풍미 및 종합적 기호도에서 유의적인 차이를 발견하지 못하였으며, Park 등[11]은 가속조건(30°C)의 우육 패티에서 10 kGy 전자선 조사에 의해 색, 씹힘성 및 맛의 유의적인 차이는 없었으나, 이취의 증가로 인한 종합적 기호도의 감소를 보고하였다($p<0.05$). 더불어 Oh 등[44]은 육포에 7 kGy 감마선 조사에 의해 색, 조직감, 맛, 풍미 및 종합적 기호도에서 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 10 kGy에서 풍미와 종합적 기호도가 유의적으로 감소하여 본 실험결과와 일치한 경향을 보고하였다. 앞선 TBARS 결과와 비교하였을 때 지질산패도의 유의적인 증가와 관능적 변화 사이의 큰 상관성이 보이지 않았으나, 기존 보고와 유사하게 10 kGy 전자선 조사 시 떡갈비의 이취가 크게 증가하여 맛, 풍미 및 종합적 기호도가 감소된 것으로 사료된다. 따라서 본 실험 결과에서 냉동 떡갈비에 7 kGy 이하의 전자선을 조사할 경우 최대 6개월 저장기간 동안 관능학적 품질을 확보하는 것으로 확인되었다.

3.5. pH

전자선 조사된 떡갈비의 냉동 저장기간 동안 pH 변화를 확인한 결과(Table 3), 저장 0개월차에 pH는 5.72~5.74로 유의적인 차이가 없었으며, 저장기간이 증가함에 따라서도 유의미한 변화가 나타나지 않았다. pH는 식육의 색도, 풍미 및 조직감 등에 영향을 미치는 중요한 품질 인자이지만, 식품 조사가 식육의 pH에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다[24]. Xavier 등[45]은 우육 패티에서 2 kGy 이하의 감마선 조사에 의해 pH가 5.56~5.68로 유의적인 변화가 없었으며, Jeon 등[35]도 분쇄 우육에서 18 kGy 이하의 감마선 조사에 의해 pH가 5.64~5.69로 유의적인 차이가 발견되지 않았다. 본 실험 결과에서도 냉동 떡갈비의 pH는 전자선 조사와 저장기간 동안에 특별한 경향성이 보이지 않았으며 품질에 특별한 영향을 미치지 않을 것으로 확인되었다.

Table 3. pH of Electron-beam irradiated frozen *Tteokgalbi* during storage

Irradiation dose (kGy)	Storage period (month)		
	0	3	6
0	5.73±0.03	5.78±0.02	5.77±0.02
2.5	5.74±0.04	5.83±0.05	5.74±0.03
5	5.72±0.01	5.79±0.02	5.75±0.03
7	5.74±0.03	5.80±0.01	5.77±0.03
10	5.74±0.01	5.80±0.01	5.76±0.02

4. 결 론

본 연구에서는 우리나라의 대표 분쇄가공육인 떡갈비에 전자선을 조사하여 냉동 저장기간 동안 품질특성에 미치는 영향을 관찰하고 최대허용선량을 선정하고자 하였다. 일반호기성미생물과 효모 및 곰팡이의 변화를 측정한 결과 최대 7 kGy의 전자선 조사를 통해 미생물학적 안전성을 확보할 수 있었으며 6개월까지의 냉동 저장이 가능한 것으로 확인하였다. 육색을 대표하는 적색도의 경우 전자선 조사에 의해 2.5 kGy에서 감소하다 5 kGy부터 증가하는 경향을 나타내었으며, 7과 10 kGy에서는 비조사구와 동일한 육색을 유지하는 것으로 확인하였다. 지질산패도는 조사선량과 저장기간에 따라 유의적으로 증가하였으나, 저장 6개월차에는 비조사구와 7 kGy 이하의 조사구간에 차이가 나타나지 않았다. 관능평가는 10 kGy 전자선 조사에 의해 풍미와 종합적 기호도가 유의적으로 감소하였으며, 저장 3개월차부터는 맛, 풍미 및 종합적 기호도가 평균점수(4점) 미만으로 감소하였다. pH는 조사선량과 저장기간 동안의 변화가 없어 품질에 미치는 영향이 적은 것으로 확인되었다. 따라서 모든 품질특성 평가 결과를 종합하면 7 kGy의 전자선 조사는 냉동 떡갈비의 미생물학적 안전성을 확보하는 동시에 이화학적 및 관능학적 품질 변화를 최소화할 수 있는 최대허용선량으로 사료된다.

참고문헌

1. Jung DS, Choi JS, Park SH, Min JH and Choi YI. 2010. Comparison of Quality Characteristics Between Hanwoo Added Tteokgalbi and Market Tteokgalbi Products. *Kor. Bulletin Ani. Biotech.* **3**:57-63.
2. Lee JJ, Jung HO and Lee MY. 2011. Development of Dduk-Galbi Added with Ripened Korean Cabbage Kimchi. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **31**(2):304-310.
3. You JY, Kim HJ, Lim JJ, Baek SJ, Lee SS and Choi JH. 2021. Dev-

elopment and Characterization of Tteokgalbi Supplemented with Mudfish (*Misgurnus mizolepis*) Paste. *Food Eng. Prog.* **25**(3): 188-196.
4. Jung HO and Lee JJ. 2016. Quality and storage Characteristics of Pork Tteokgalbi with Added Rosemary (*Rosemarinus officinalis*) Extract Powder. *Korean J. Community Living Sci.* **27**(3):509-520.
5. Park EM, Kim IS, Park SH and Lee JJ. 2020. Quality Properties of HMR-type Pork Tteokgalbi Added with Red Chinese Cabbage Powder During Cold Storage. *Korean J. Community Living Sci.* **31**(3):375-391.
6. Jeong CH, Lee SH and Kim HY. 2021. Quality and sensory properties of HMR-type pork *Tteokgalbi* containing roasted garlic powder. *Korean J. Food Sci. Technol.* **53**(5):601-606.
7. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). 2022. press release. Available online: https://www.mfds.go.kr/brd/m_99/view.do?seq=46408&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1
8. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). 2020. press release. Available online: https://impfood.mfds.go.kr/CFBBB02F02/getCntntsDetail?cntntsSn=290520
9. Fraser ME, Fujinaga M, Cherney MM, Melton-Celsa AR, Twiddy EM, O'Brien AD and James MNG. 2004. Structure of Shiga Toxin Type 2 (Stx2) from *Escherichia coli* O157:H7. *J. Biol. Chem.* **279**(26):27511-27517.
10. Mahmoudzadeh M, Hosseini H, Hedayati M, Khanghah AM, Chaves RD and Azizkhani M. 2016. Establishment of a Method for Describing *stx* Genes Expression of *E. coli* O157:H7 in Ground Beef Matrix during Refrigerated Storage. *J. Food Safety.* **36**:220-226.
11. Park JG, Yoon Y, Park JN, Han IJ, Song BS, Kim JH, Kim WG, Hwang HJ, Han SB and Lee JW. 2010. Effects of gamma irradiation and electron beam irradiation on quality, sensory, and bacterial populations in beef sausage patties. *Meat Sci.* **85**:368-372.
12. Tsaloumi S, Aspridou Z, Tsigarida E, Gaitis F, Garofalakis G, Barberis K, Tzoumanika F, Dandoulaki M, Skiadas R and Koutsoumanis K. 2021. Quantitative risk assessment of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat (RTE) cooked meat products sliced at retail stores in Greece. *Food Microbiol.* **99**:103800.
13. Yeh Y, Moura FH, Broek VD and Mello AS. 2018. Effect of ultraviolet light, organic acids, and bacteriophage on *Salmonella* populations in ground beef. *Meat Sci.* **139**:44-48.
14. Hsu HY, Sheen S, Sites J, Cassidy J, Scullen B and Sommers C. 2015. Effect of High Pressure Processing on the survival of Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* (Big Six vs. O157:H7) in ground beef. *Food Microbiol.* **48**:1-7.
15. Allison A and Fouladkhah AC. 2021. Sensitivity of wild-type and rifampicin-resistant O157 and non-O157 Shiga toxin-producing *Escherichia coli* to elevated hydrostatic pressure and lactic acid in ground meat and meat homogenate. *PLoS One* **16**(2):e0246735.
16. Kang HJ, Park JD, Lee HY and Kum JS. 2013. Effect of Microwave Treatment on the Physicochemical and Microbiological Characteristics Changes of Pork Loin Meat during Storage at 4°C. *Korean J. Food Presrev.* **20**(2):215-221.
17. Shebs-Maurine EL, Torres ES, Yeh-Parker Y and Mello AS. 2020. Application of MS bacteriophages on contaminated trimmings reduces *Escherichia coli* O157 and non-O157 in ground beef. *Meat Sci.* **108243**:1-5.
18. Kang SW, Hwang JH, Jung AH, Park EY, Park SG, Yoon YH and Park SH. 2021. Effect of Non-thermal Pasteurization on Minced Chicken Meat Based Pet Food and Its Quality Attributes through Gamma Ray and Electron Beam Irradiation. *Food Eng. Prog.* **25**(2):139-146.
19. Bisht B, Bhatnagar P, Gururani P, Kumar V, Tomar MS, Sinhmar R, Rathi N and Kumar S. 2021. Food irradiation: Effect of ionizing and non-ionizing radiations on preservation of fruits and vegetables-a review. *Trends Food Sci Technol.* **114**:372-385.
20. FAO and WHO. 1988. Food irradiation - A technique for preserving and improving the safety of food. WHO, Geneva, pp. 1-84.
21. Mostafavi HA, Fathollahi H and Motamedi F. 2010. Food irradiation: Applications, public acceptance and global trade. *Afr. J. Adv. Biotechnol.* **9**(20):2826-2833.
22. USFDA. 2022. Foods permitted to be irradiated under FDA regulations (21 CFR 179.26). Available online: https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=179.26
23. Government of Canada. 2022. Food and Drug Regulations (C.R.C., c. 870). Available online: https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/c.r.c.,_c._870/page-53.html#h-574534
24. Brewer S. 2004. Irradiation effects on meat color - a review. *Meat Sci.* **68**:1-17.
25. Jung K, Song BS, Kim MJ, Moon BG, Go SM, Kim JK, Lee YJ and Park JH. 2015. Effect of X-ray, gamma ray, and electron beam irradiation on the hygienic and physicochemical qualities of red pepper powder. *LWT-Food Sci. Technol.* **63**(2):846-851.
26. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). 2022. Food code. No. 2022-31. Available online: https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_01.jsp
27. Lewis SJ, Velasquez A, Cuppett SL and Mckee SR. 2002. Effect of Electron Beam Irradiation on Poultry Meat Safety and Quality. *Poult. Sci.* **81**:896-903.
28. Lung HM, Cheng YC, Chang YH, Huang HW, Yang BB and Wang CY. 2015. Microbial decontamination of food by electron beam irradiation. *Trends Food Sci. Technol.* **44**(1):66-78.
29. Jo C and Ahn DU. 2000. Production volatile compounds from irradiated oil emulsions containing amino acids or proteins. *J. Food Sci.* **65**:612-616.
30. Aziz NH, Mahrous SR and Youssef BM. 2002. Effect of gamma-ray and microwave treatment on the shelf-life of beef products stored at 5°C. *Food Control* **13**:437-444.
31. Song BS, Park JG, Kim WG, Kim JH, Choi JI, Yoon YH, Byun MW, Kim CJ and Lee JW. 2009. Comparison of the Quality of Gamma Ray- or Electron Beam-irradiated Minced Pork and Pork Patties. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* **29**(2):194-202.
32. Tolentino M, Diano G, Abrera G, Montefalcon DR, Cobar ML,

Deocaris C, Baule A and Assad C. 2021. Electron beam irradiation of raw ground beef patties in the Philippines: Microbial quality, sensory characteristics, and cost-analysis. *Radiat. Phys. Chem*. **186**:109536.

33. Hoa VB, Cho SH, Seong PN, Kang SM, Kim YS, Moon SS, Choi YM, Kim JH and Seol KH. 2021. The Significant influences of pH, temperature and fatty acids on meat myoglobin oxidation: a model study. *J. Food Sci. Technol*. **58**(10):3972-3980.
34. Sales LA, Rodrigues LM, Silva DRG, Fontes PR, Filho RAT, Ramos ALS and Ramos EM. 2020. Effect of freezing/irradiation/thawing processes and subsequent aging on tenderness, color, and oxidative properties of beef. *Meat Sci*. **163**:108078.
35. Jeon KH, Oh SW, Lee NH, Kim YJ, Park KJ and Kim YH. 2008. Quality properties of the Refrigerated or Frozen Irradiation Beef Patty. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour*. **28**(4):437-444.
36. Feng X, Jo C, Nam KC and Ahn DU. 2019. Impact of electron-beam irradiation on the quality characteristics of raw ground beef. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol*. **54**:87-92.
37. Park TS, Shin TS, Park GB, Oh SH and Lee JI. 2007. Effects of Electron-Beam Irradiation on the Physico-chemical Properties of Hanwoo Meat. *Kor. J. Life Sci*. **17**(2):260-265.
38. Soyer A, Ozalp B, Dalmis U and Bilgin V. 2010. Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat. *Food Chem*. **120**:1025-1030.
39. Wu H, Richards MR and Undeland I. 2021. Lipid oxidation and antioxidant delivery systems in muscle food. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf*. **21**(2):1275-1299.
40. Kim BS and Lee YE. 2011. Effect of Antioxidant on Quality of Ground beef during the Refrigeration Storage. *Korean J. Food & Nutr*. **24**(3):422-433.
41. Zhang Y, Holamn BWB, Ponnampalam EN, Kerr MG, Bailes KL, Kilgannon AK, Collins D and Hopkins DL. 2019. Understanding beef flavour and overall liking traits using two different methods for determination of thiobarbituric acid reactive substance (TBARS). *Meat Sci*. **149**:114-119.
42. McKenna DR, Mies PD, Baird BE, Pfeiffer KD, Ellebracht JW and Savell JW. 2005. Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. *Meat Sci*. **70**:665-682.
43. Hughes JM, McPhail NG, Kearney G, Clarke F and Warner RD. 2015. Beef longissimus eating quality increases up to 20 weeks of storage and is unrelated to meat colour at carcass grading. *Anim. Prod. Sci*. **55**:174-179.
44. Oh JS, Han IJ, Park JG, Park JN, Song BS, Kim JH, Byun MW, Chun SS and Lee JW. 2008. Effect of Gamma Irradiation on Physicochemical and Sensory Properties of Restructured Pork Jerky. *J. Korean. Soc. Food. Sci. Nutr*. **37**(3):362-366.
45. Xavier MlP, Dauber C, Mussio P, Delgado E, Maquieira A, Soria A, Curuchet A, Marquez R, Mendez C and Lopez R. 2014. Use of mild irradiation dose to control pathogenic bacteria on meat trimmings for production of patties aiming at provoking minimal changes in quality attributes. *Meat Sci*. **98**(3):383-391.