

냉동다진마늘에 대한 전자선 살균 효과와 생리활성 성분의 안정성

이현규 · 조윤희 · 권중호*

경북대학교 식품공학부 · 식품생물산업연구소

Cold Pasteurization of Frozen Crushed Garlics using Electron Beam Irradiation and the Stability of Bioactive Components

Hyun-Gyu Lee, Yunhee Jo, and Joong-Ho Kwon*

School of Food Science and Biotechnology, and Food Bio-industry Research Institute, Kyungpook National University

Abstract Recently, the market for ready-to-use vegetables has increased largely due to consumer demands, which led to the production of minimally-processed frozen crushed garlic products. This study was designed to determine the effect of electron beam irradiation (0-7 kGy) on microbial decontamination, bioactive compounds, and antimicrobial activities of frozen crushed garlic obtained from Korea and China. The microbial counts (total bacteria, yeasts & molds) were reduced from log 3-4 CFU/g to non-detectable levels as a result of irradiation at 4 kGy. Irradiation treatment at 4 kGy did not affect the amount of alliin, allicin, total pyruvate, and total thiosulfinate of crushed garlic, however, this dose induced insignificant changes in antibacterial activities against pathogenic bacteria including *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enteritidis*, *Vibrio parahaemolyticus*, and *Yersinia enterocolitica*. Therefore, electron beam irradiation less than 4 kGy can be considered suitable to improve the microbial decontamination without altering the biological activity of frozen garlics.

Keywords: frozen crushed garlic, electron-beam irradiation, antibacterial activity, alliin, allicin

서 론

마늘(*Allium sativum* L.)은 예로부터 식용 및 약용으로 널리 이용되어 온 백합과 식물로, 저급 황화합물 및 카르보닐 화합물과 같은 생리활성물질에 의해 항균활성(1), 항산화활성(2), 항고혈압 및 항암 효과(3) 등의 기능성을 지니고 있다. 마늘에 존재하는 alliin은 alliinase에 의해 allicin과 pyruvic acid로 분해되고, 이들의 작용으로 인해 저급 황화합물 및 카르보닐 화합물이 생성된다(4). 특히, allicin은 유향을 함유한 마늘 냄새의 근원 성분으로 항균, 항진균, 항바이러스, 항기생충 등에 탁월한 효능이 있다(5).

마늘은 주로 깎 마늘과 다진 마늘의 형태로 가공되어 판매되고 있다. 최근 급식 및 외식업체의 경우 생산성 향상을 위해, 가정에서는 편리성 증진을 위해 최소 가공된 마늘의 구매가 증가하였고(6,7), 편의성을 강조한 깎 마늘과 다진 마늘의 수요 증가는 계속될 것으로 보인다. 그러나 마늘은 가공 및 저장 중 절단면이 공기 중에 노출되면서 산화반응으로 인한 문제가 발생할 수 있으므로, 마늘의 갈변 등 품질열화를 방지하기 위해 품질개선과 장기보존을 위한 냉동다진마늘이 각광받고 있다(6,8). 하지만 시판되는 다진 마늘에서 많은 미생물이 검출되었다는 Oh 등(9)의 연구와, 수입산 냉동다진마늘 제품 중 미생물 기준치를 초과한

사례(10) 등을 고려할 때, 이를 제어하기 위한 위생적 품질관리가 필요하다.

식품조사(food irradiation)는 살균, 살충, 속도조절 등을 위하여 이온화 에너지(감마선, 전자선, 엑스선)를 식품에 일정시간 노출시키는 과정으로, 잔류성이 없고 품질변화가 적으며 포장된 상태에서도 처리가 가능한 비열처리기술이다. 감마선과 X선은 투과력은 크나 에너지 효율이 낮은 반면, 전자선은 투과력은 낮지만 에너지 효율이 높고 전원(on/off)에 의해 조절이 가능하여 공정제어와 신속함의 장점이 있다(11). 현재 우리나라 식품공전에서는 감마선과 전자선 조사를 허용하고 있고(12), 생마늘의 경우 발아 억제 목적으로 0.15 kGy 조사가 허가되어 있다. 한편, FDA에서는 냉동육(가금)제품의 경우 살균을 목적으로 3-7 kGy 범위의 조사처리를 허용하고 있으므로(11), 이를 활용한 냉동다진마늘의 위생적 품질관리 연구도 필요하다.

본 연구에서는 전자선 조사에 의한 냉동다진마늘의 미생물학적 품질을 확인하고 그 유효성분과 항균활성 변화를 알아보기 위하여 시판되는 냉동다진마늘 중 국산 1종, 중국산 1종을 구입하여 0, 4, 7 kGy의 선량으로 전자선 조사처리 후 살균 효과와 품질 변화를 관찰하였다.

재료 및 방법

재료 및 전자선 조사

본 실험에 사용된 냉동다진마늘은 온라인 마켓에서 유통 중인 제품으로 가장 많이 소비되는 국산 및 중국산 각 1종을 구매하였다. 전자선 조사는 electron beam accelerator (ELV-4, 2.5 MeV, EB-Tech., Daejeon, Korea)를 이용하여 0, 4, 7 kGy의 총 흡수선량(5%)을 얻도록 하였고, 흡수선량의 확인에는 alanine dosimeter

*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 December 21, 2015; revised January 20, 2016;

accepted January 20, 2016

(5 mm, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하였다. 시료는 -18°C 에서 보관하여 실험에 사용하였다.

미생물(총 세균, 효모 및 곰팡이, 대장균군) 생육 시험

시료 5 g을 살균된 펩톤수 45 mL로 균질화한 후 계대 희석하여 사용하였다. 시료에 혼입된 호기성 총세균은 APHA 표준방법(13)에 따라 plate count agar (Difco, Detroit, MI, USA)를 사용하여 35°C 에서 1-2일간 배양하였고, 효모 및 곰팡이는 potato dextrose agar (Difco)를 사용하여 30°C 에서 1-2일간 배양하였으며, 대장균군은 desoxycholate agar (Difco)를 사용하여 35°C 에서 1-2일간 배양하였다. 시료 내 미생물의 농도는 CFU/g으로 나타내었다.

수분 함량 및 기계적 색도 측정

시료의 수분 함량은 105°C 상압가열건조법(14)에 따라 측정하였다. 기계적 색도는 색차계(Chromameter CR-200, Minolta, Osaka, Japan)를 사용하여 L (lightness, 명도), a (redness, 적색도), b (yellowness, 황색도) 값을 10회 반복 측정하였고, 이 때 색차인 ΔE 는 $\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$ 식을 이용하여 계산하였다. 표준백판의 L, a, b값은 각각 97.79, -0.38 , 2.05 이었다.

Alliin 및 allicin 함량

Alliin 및 allicin 분석에는 HPLC (Agilent 1260, Agilent Technol., Santa Clara, CA, USA)를 이용하였다. 시료 5 g에 50% 에탄올 45 mL를 가하여 shaker (JSSI-100C, JSR, Gongju, Korea)로 추출하고 여과지(Whatman No. 4, Maidstone, UK) 및 $0.45\ \mu\text{m}$ filter로 여과하여 분석에 사용하였다. Alliin 분석을 위해 Bondapak C_{18} column ($3.9 \times 300\ \text{mm}$, Waters Co., Milford, MA, USA)을 사용하여, 85% acetonitrile을 $0.4\ \text{mL}/\text{min}$ 조건으로 분석하였으며, 검출기로 PDA ($210\ \text{nm}$)를 사용하였다(15). Allicin 분석을 위해 ZORBAX eclipse plus C_{18} column ($4.6 \times 150\ \text{mm}$, Agilent Technol., Foster City, CA, USA)을 사용하였고, 이동상은 물, acetonitrile, methanol 혼합액(50:41:9)을 $1\ \text{mL}/\text{min}$ 조건으로 분석하였으며 PDA detector ($280\ \text{nm}$)로 확인하였다(16).

Total thiosulfinate 및 total pyruvate 함량

시료의 total thiosulfinate 함량은 Han 등(17)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 1 g에 2 mM cysteine이 함유된 50 mM 4-(2-hydroxyethyl)-1-piperazineethanesulfonic acid (HEPES) 1 mL를 가한 후 50 mM HEPES 8 mL를 넣고 27°C 항온수조에서 10분간 반응시켰다. 이 반응용액 2 mL에 0.4 mM 5,5'-dithio-bis(2-nitrobenzoic acid) (DTNB) 2 mL를 첨가하여 다시 27°C 항온수조에서 10분간 반응시킨 후 spectrophotometer (Optizen 2120 UV, Mecasys Co. Ltd, Daejeon, Korea)를 이용하여 $412\ \text{nm}$ 에서 흡광도를 측정하였다. Total thiosulfinate 함량은 표준물질인 L-cysteine을 이용하여 얻은 검량곡선으로부터 정량하였다. Total pyruvate 함량은 Schwimmer and Weston(18)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 5 g을 증류수 20 mL로 균질화하고 250 mL로 정용하여 여과지(Whatman No. 4)로 감압여과 하였다. 여액 2 mL에 0.0125% dinitrophenylhydrazine 1 mL를 가하여 37°C 항온수조에서 15분간 반응시켰다. 반응액에 0.6 N NaOH 5 mL를 가하여 $420\ \text{nm}$ 에서 흡광도를 측정하였다. Total pyruvate 함량은 sodium pyruvate를 이용하여 얻은 표준 검량곡선으로부터 정량하였다.

항균활성 측정

Alliin 및 allicin 분석과 동일한 조건으로 추출한 후, 예비실험

을 통해 $1\ \text{g}/\text{mL}$ 농도로 농축하여 항균활성 측정에 사용하였다. 항균활성 측정은 disc diffusion assay로 실시하였고, 사용한 균주는 그람양성균인 *Bacillus subtilis* (ATCC 6633), *Listeria monocytogenes* (ATCC 19116), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), 그람음성균인 *Escherichia coli* O157:H7 (ATCC 43888), *Salmonella enteritidis* (ATCC 13076), *Vibrio parahaemolyticus* (ATCC 43996), *Yersinia enterocolitica* (ATCC 23715)의 총 7종이었다. 실험균은 tryptic soy broth (BBL Microbiology Systems, Cockeysville, MD, USA)에서 배양 후 멸균된 3차 증류수를 이용하여 $10^6\ \text{CFU}/\text{mL}$ 으로 희석하였고, agar를 첨가한 TSB 배지에 $100\ \mu\text{L}$ 씩 접종하여 도말하였다. 멸균된 paper disc ($\phi\ 8\ \text{mm}$, Advantec, MFS, Inc., Dublin, CA, USA)에 시료 $30\ \mu\text{L}$ 를 흡수시켜 건조하였으며 배지 위에 밀착시킨 후 35°C 에서 18-24시간 배양하였다. 대조균인 ampicillin은 $0.5\ \text{mg}/\text{mL}$ 농도로 사용하였고, 항균 활성은 paper disc 주위 저해환(clear zone)의 직경(mm)으로 판단하였다.

통계처리

실험 결과는 3회 반복 측정하여 평균과 표준편차로 나타내었고, statistical analysis system (SAS, v8.1, SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하고, Duncan's multiple range test로 유의차를 검정하였다.

결과 및 고찰

미생물(총세균, 효모 및 곰팡이, 대장균군) 생육 특성

국산 및 중국산 냉동다진마늘의 초기 미생물 농도는 총세균 $3.6\text{-}3.7\ \log\ \text{CFU}/\text{g}$, 효모 및 곰팡이 $3.3\text{-}4.1\ \log\ \text{CFU}/\text{g}$ 수준이었고, 대장균군은 검출되지 않았다(Table 1). 식품공전 상 가열하지 않고 섭취하는 냉동식품의 세균수 및 대장균군은 각각 g 당 100,000 및 10 CFU 이하여야 하는데, 본 실험에서 사용된 국산, 중국산 시료는 이상의 기준을 만족하는 수치였다. 한편, Oh 등(9)은 시판 다진 마늘의 미생물 분석에서 총 세균이 $3.7\text{-}6.1\ \log\ \text{CFU}/\text{g}$, 대장균군이 $0\text{-}4.0\ \log\ \text{CFU}/\text{g}$ 수준으로 검출되어 시판 마늘의 미생물 오염도가 높음을 보고하였다. Jeon과 Lee(19) 또한 마늘의 일반세균수와 대장균수가 각각 5 및 3 $\log\ \text{CFU}/\text{g}$ 수준 이상으로 조리식품의 미생물 기준치(20)를 초과하는 것으로 보고하였다. Park 등(8) 역시 다진 마늘을 냉장 또는 냉동 저장할 경우 일반세균 농도가 변화하지 않거나 증식이 억제된다고 보고하여, 열처리 없이 양념으로도 사용될 수 있는 마늘의 초기 미생물 수준을 감소시키는 과정의 중요성을 제시하였다. 비록 본 실험에 사용된 냉동다진마늘의 초기 미생물 농도는 기준치를 만족하는 수준이었으나, 생산시기, 제조사, 유통계절, 저장조건 등은 시판 다진마늘 제품의 미생물학적 품질을 좌우하므로, 이를 관리하기 위한 전자선 조사의 효과를 확인하였다. Table 1에서와 같이 4 kGy 이상의 전자선 조사 시 모든 시료는 검출한계 이하(ND)의 미생물 수준을 나타내어 조사에 따른 살균 효과를 확인할 수 있었다. Louise 등(21)은 전자선 조사 시 미생물 세포 내 에너지가 상승하여 세포의 항상성이 깨지고 그 결과 DNA에 타격을 주어 미생물의 사멸을 일으킨다고 보고하였으며, 본 연구에서도 전자선 조사에 의한 미생물 저감 효과를 확인할 수 있었다.

수분 함량 및 기계적 색도 변화

냉동다진마늘의 수분 함량은 Table 2와 같다. 국산 및 중국산 시료의 수분함량은 각각 67% 및 92% 수준으로 국산에 비해 중국산 시료가 유의적으로 높은 함량을 나타내었다($p < 0.05$). 이는

Table 1. The effect of electron beam irradiation on microbiological quality of frozen crushed garlics (unit: log CFU/g)

Origin	Microbes	Irradiation dose (kGy)		
		0	4	7
Korea	Total aerobic bacteria	3.71	ND ¹⁾	ND
	Yeasts & molds	4.07	ND	ND
	Coliforms	- ²⁾	-	-
China	Total aerobic bacteria	3.59	ND	-
	Yeasts & molds	3.27	ND	ND
	Coliforms	-	-	-

¹⁾Not detected (the minimum detection level as 30 CFU/g)

²⁾Negative

Table 2. The effect of electron beam irradiation on moisture content of frozen crushed garlics (unit: %)

Origin	Irradiation dose (kGy)		
	0	4	7
Korea	67.18±0.45 ^{1)b}	67.10±0.40 ^b	67.57±0.60 ^b
China	92.36±0.48 ^a	92.25±0.56 ^a	91.4±1.05 ^a

¹⁾Mean±SD (n=3)

^{a-b}Values with different superscripts are significantly different at p<0.05 based on Duncan's multiple range test

국산 냉동다진마늘의 수분 함량을 64-72%, 중국산 마늘을 84-91% 범위로 보고한 Lee 등(22)의 연구와 유사한 수준이었다. 중국산 시료에서는 마늘과 함께 많은 양의 얼음을 확인할 수 있었는데, 이는 가공과정의 차이로 예측되었다. 마늘은 세척 후 다지고 포장하여 냉동하는 일련의 과정들을 거치는데, 중국산 시료의 경우 세척 후 물의 혼입이 더 많았거나, 냉동속도 혹은 유통과정

에서의 차이가 영향을 준 것으로 사료되었다. 한편 국산 및 중국산 시료는 모두 전자선 조사에 따른 수분 함량의 유의적인 차이를 보이지 않았다(p<0.05).

시판 냉동다진마늘의 기계적 색도는 Fig. 1과 같다. 조사하지 않은 국산 및 중국산 시료의 L값은 65.21 및 61.58, a값은 -2.83 및 -2.30, b값은 25.45 및 22.66 수준을 나타내어 생산지 및 수분함량에 따른 유의적인 차이를 나타내었다(p<0.05). 시료의 살균을 목적으로 4 및 7 kGy 수준의 전자선을 조사한 결과, 국산 시료의 경우 7 kGy 조사시료에서 L값이 유의적으로 증가할 뿐 a 및 b값은 변화를 보이지 않았고, 중국산 시료 또한 조사에 따른 유의적 차이를 나타내지 않았다(p<0.05). 한편, 시료의 전반적 색차는 0-3.48 범위로 변화가 크지는 않았으나, 조사처리에 따른 유의적인 증가를 보여주었다(p<0.05). Ko 등(23)은 후추와 선식에 대한 연구에서 전자선 조사는 기계적 색도에 영향을 미치지 않는 것으로 보고하였고, Lee 등(24)은 고추에 대한 연구에서 감마선 조사는 b값을 감소시키나 L 및 a값은 변화가 없다고 보고하여, 식품조사에 따른 색도 변화에 보다 체계적인 연구가 요구되었다.

Alliin 및 alliin 함량 변화

가공 및 냉동 처리된 마늘에서 전자선 조사에 따른 주요성분의 변화를 확인하기 위하여 마늘의 대표성분인 alliin과 그 분해물인 alliin의 변화를 확인하였다. 함황화합물인 alliin은 무색, 무취의 물질로 열과 산에 안정하고(25), 항암(26), 항당뇨, 항산화(27) 등의 효과를 지니고 있어 마늘의 기능성분으로 뽑힌다. 냉동다진마늘의 alliin 함량은 Fig. 2에서와 같이 1.03-1.04% 범위로 원산지에 따른 차이가 없었다. 한편 마늘의 alliin 함량은 7 kGy 수준의 전자선 조사에 영향을 받아 국산과 중국산 모두 그 함량이 유의적으로 감소하였다(p<0.05). Nahmngung 등(28)은 마늘의 모종에서 alliin 생성에 대한 감마선 조사(0-12 kGy)의 부정적인 영향을 언급하였다.

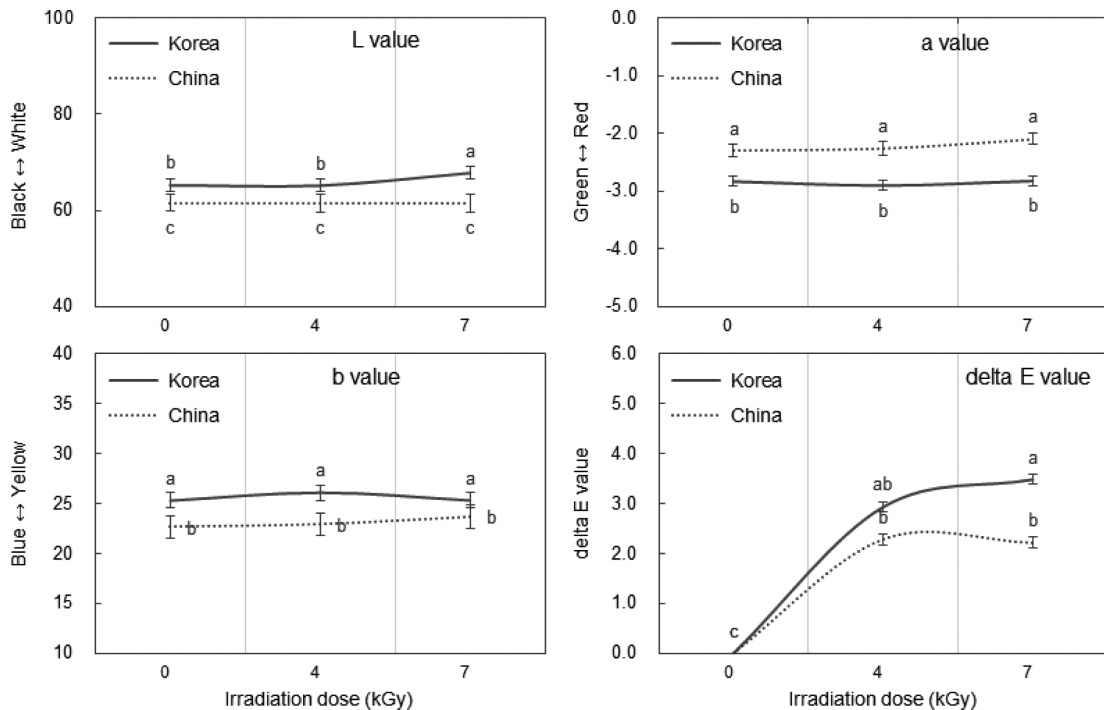


Fig. 1. The effect of electron beam irradiation on Hunter's color values of frozen crushed garlics. Bars with the same letter do not differ significantly at p<0.05 based on Duncan's multiple range test.

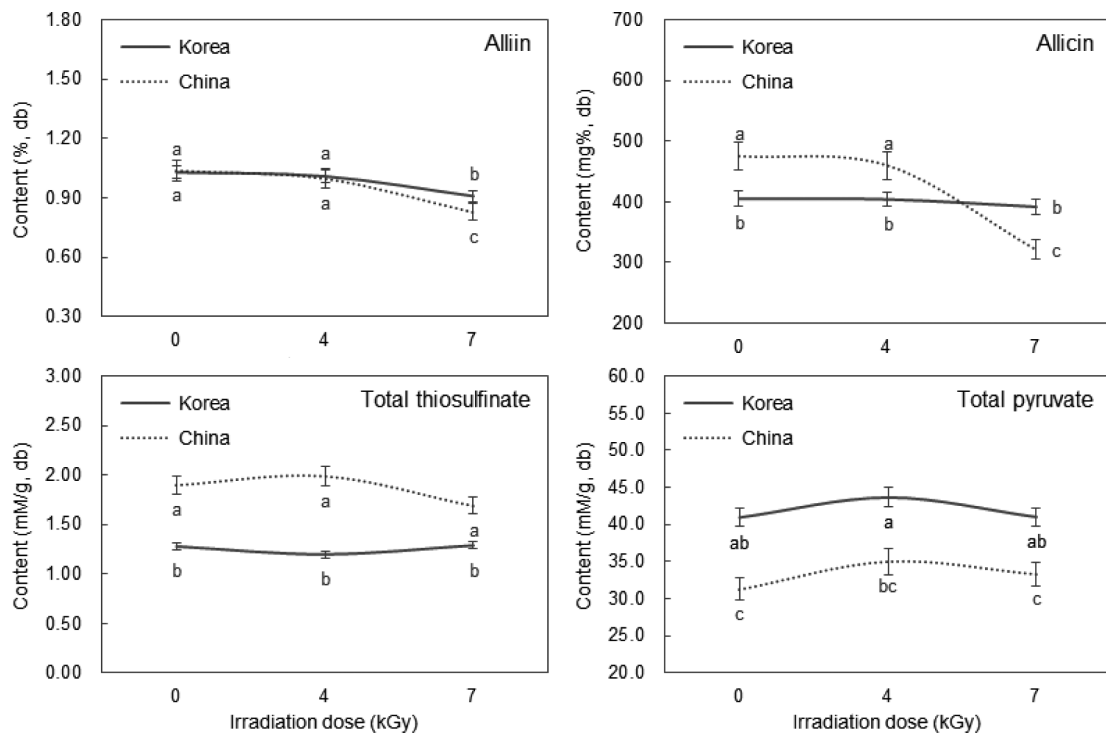


Fig. 2. The effect of electron beam irradiation on the content of total thiosulfinate, total pyruvate, alliin, and allicin of frozen crushed garlics. Bars with the same letter do not differ significantly at $p < 0.05$ based on Duncan's multiple range test.

Alliin은 마늘이 충격 등으로 손상을 입을 때 alliinase의 작용으로 alliin으로부터 생성되는 성분으로서(29), 마늘의 특이한 냄새를 내고 항균 활성이 뛰어나다. 냉동다진마늘의 allicin 함량은 Fig. 2에서와 같이 405.27-475.18 mg% 범위로 중국산 시료에서 높은 함량을 나타내었다($p < 0.05$). 한편 마늘의 allicin 함량은 국산의 경우 전자선 조사에 영향을 받지 않았으나, 중국산 7 kGy 시료의 경우 그 함량이 감소하였다. 이상의 결과, 마늘의 alliin 및 allicin 함량은 4 kGy 범위의 전자선 조사에는 영향을 받지 않으나, 7 kGy 선량은 부정적인 영향을 주는 것으로 확인되었다.

Total thiosulfinate 및 total pyruvate 함량 변화

Thiosulfinate 및 pyruvate는 마늘조직 내 alliin의 분해에 의해 생성되는 성분으로, 기능성 및 풍미와 관련된 주요 성분이므로 전자선 조사에 따른 영향을 확인하였다. 냉동다진마늘의 total thiosulfinate 함량은 1.28-1.90 mM/g 범위로, 국산 시료가 중국산 시료에 비해 유의적으로 낮은 경향을 나타내었다($p < 0.05$) (Fig. 2). 모든 시료에서 전자선 조사에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 마늘에 함유된 유기 황화합물인 cysteine sulfoxide는 alliinase에 의해 분해되어 thiosulfinate를 생성하는데, 이는 항균작용이 있는 물질이나 화학적으로 매우 불안정한 성분이다(30). 전자선 조사는 저온살균 방법 중 하나로 조사처리 시 마늘 내 온도 상승이 이루어지지 않아 thiosulfinate의 함량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료되었다.

냉동다진마늘의 total pyruvate 함량은 31.30-40.96 mM/g 범위로, 국산 시료가 중국산 시료에 비해 유의적으로 높은 함량을 나타내었다($p < 0.05$) (Fig. 2). 모든 시료에서 전자선 조사에 따른 유의적인 차이는 확인되지 않았다. Pyruvate는 alliin이 alliinase에 의해 allicin, pyruvate 및 암모니아로 분해되면서 생성되는 물질로(31), allium 속 식물의 풍미성분을 측정하는 간접적인 척도로 사용된다(32,33). Kebeish 등(33)과 Park 등(8)은 각각 pyruvate 함

량이 높은 온도와 긴 저장 조건에서 감소한다고 보고하였으나, Lee 등(34)은 흑마늘 제조 시 pyruvate 함량이 증가함을 보고하여 이에 대한 연구가 더 필요한 것으로 사료되었다. 본 연구에서는 마늘의 total thiosulfinate 및 total pyruvate 함량이 살균을 목적으로 한 7 kGy 범위의 전자선 조사에 영향을 받지 않는 것으로 확인되었다.

항균활성 변화

마늘은 항균, 항진균, 항바이러스 등의 효능이 있고(2), 이는 allicin에 의한 것으로 알려져 있다(4,5). 마늘에 함유되어 있는 allicin의 항균작용은 thiosulfinate가 세포 내 중요한 단백질의 SH기와 반응하여 단백질의 활성을 저해하기 때문이라는 보고(4,5)가 있다. Small 등(35)은 thiosulfinate의 -S(O)S-가 항균 작용을 나타내는 부분이며, thiosulfinate는 cysteine과 쉽게 결합한다는 것을 확인하였다. 마늘의 항균활성에 대한 전자선 조사의 영향을 알아보기 위하여 그람양성균 3종, 그람음성균 4종을 대상으로 clear zone을 확인하고(Fig. 3) 그 크기를 측정하였다(Table 3). 국산 시료는 *Y. enterocolitica* 균주에 대해 26.49 mm의 가장 넓은 clear zone을 나타내었고, 이어서 *B. subtilis*, *V. parahaemolyticus*, *S. aureus*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *S. enteritidis* 순으로 모든 균주에 대해 우수한 항균효과를 나타내었다. Kim 등(36) 및 Durairaj 등(37)은 마늘의 물 추출액을 대상으로 한 항균실험에서 우수한 활성을 보고하여 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 한편, 마늘의 항균활성은 조사선량의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. *E. coli* O157:H7 및 *L. monocytogenes* 균주는 4 kGy 이상의 선량에서 활성이 유의적으로 감소하였고, *B. subtilis*, *S. aureus*, *V. parahaemolyticus* 및 *Y. enterocolitica* 균주는 7 kGy 선량에서 감소하였다. *S. enteritidis* 균주는 전자선 조사에 따른 clear zone의 차이를 보이지 않았다. 지충이(38) 및 비파(39) 추출물의 항균활성은 감마선 조사에 큰 영향을 받지 않았고, 감초근

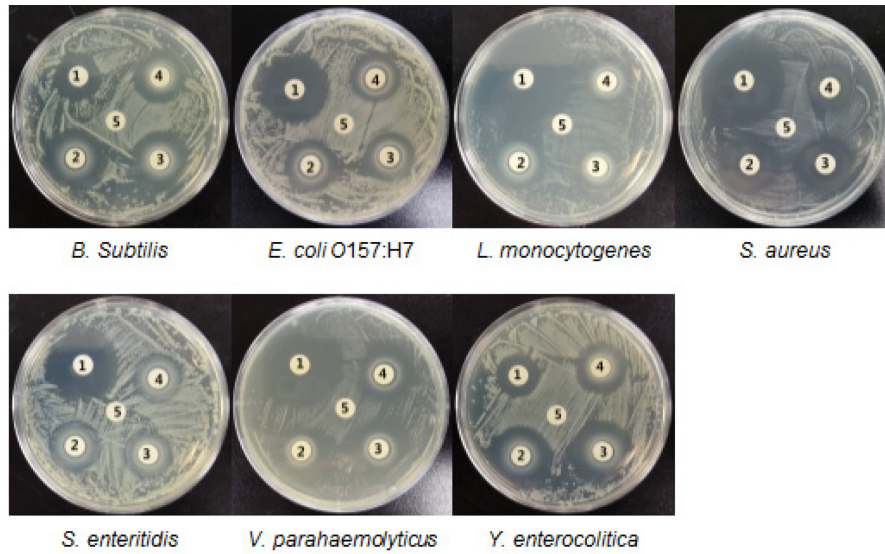


Fig. 3. The effect of electron beam irradiation on antibacterial activities of frozen crushed garlics from Korea (1: Ampicillin; 2: 0 kGy; 3: 4 kGy; 4: 7 kGy; 5: 50% EtOH).

Table 3. The effect of electron beam irradiation on antibacterial activity of frozen crushed garlics from Korea (unit: mm)

Pathogenic bacteria	Irradiation dose (kGy)			Ampicillin
	0	4	7	
<i>B. subtilis</i>	24.84±0.57 ^{1)a}	24.13±0.73 ^a	21.25±0.14 ^b	19.22±1.13
<i>E. coli</i> O157:H7	21.48±0.16 ^a	20.63±0.17 ^b	20.02±0.45 ^c	27.39±1.13
<i>L. monocytogenes</i>	20.71±0.17 ^a	17.07±0.18 ^b	16.79±0.11 ^b	40.73±1.28
<i>S. aureus</i>	23.31±0.63 ^a	22.63±0.41 ^a	17.68±0.56 ^b	34.94±1.99
<i>S. enteritidis</i>	17.04±0.48 ^a	16.18±0.48 ^a	16.62±0.46 ^a	28.04±0.62
<i>V. parahaemolyticus</i>	23.66±0.09 ^a	24.21±0.44 ^a	22.23±0.33 ^b	37.18±0.97
<i>Y. enterocolitica</i>	26.49±0.40 ^a	26.09±0.55 ^a	21.32±0.38 ^b	18.27±0.37

¹⁾Mean±SD (n=3).

^{a-c}Values with different superscripts within a row are significantly different at $p < 0.05$ based on Duncan's multiple range test.

(40) 역시 20 kGy 선량의 감마선 조사에도 항균활성의 차이를 보이지 않아 본 연구와는 다소 상이한 결과를 나타내었다.

요 약

시판 냉동다진마늘에 대한 전자선 살균 효과를 알아보고, 유효 성분 및 항균활성에 대한 영향을 확인하기 위해 국산 및 중국산 시료에 대해 실험하였다. 냉동다진마늘은 4 kGy 이상의 조사처리에서 ND 이하의 미생물 수준을 나타내어 살균 효과가 있음을 확인하였다. 시료의 수분은 국산에 비해 중국산에서 유의적으로 높은 함량이었으나, 조사에 따른 차이는 없었고, 전반적 색차는 4 kGy 이상의 선량에서 유의적으로 증가하였다. 마늘의 total thio-sulfinate 및 total pyruvate 함량은 살균을 목적으로 한 7 kGy 범위의 전자선 조사에서 비교적 안정하였다. 마늘의 alliin 및 allicin 함량은 4 kGy 범위의 전자선 조사에 영향을 받지 않으나, 7 kGy 선량에서는 특히 중국산 시료에서 유의적으로 감소하였다. 마늘의 에탄올 추출액은 *Y. enterocolitica* 균주를 포함한 7종의 병원성균에 대해 우수한 항균효과를 나타내었고, 조사선량의 증가에 따라 clear zone이 감소하는 경향을 나타내었다. 이상의 결과, 냉동다진마늘에 대한 4 kGy 범위의 전자선 조사는 생리활성 성분의 변화 없이 미생물학적 품질을 개선시킬 수 있는 적정 선량으로 확인되었다.

References

1. Cha JY, Lee SJ, Shin JH, Sung NJ. Antioxidant and inhibition of nitrosodimethylamine formation in marketing black garlics. *J. Agr. Life Sci.* 46: 151-162 (2012)
2. Harris JC, Cottrell SL, Plummer S, Lloyd D. Antimicrobial properties of *Allium sativum* (garlic). *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 57: 282-286 (2001)
3. Kim KJ, Do JR, Kim HK. Antimicrobial, antihypertensive and anticancer activities of garlic extracts. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37: 228-232 (2005)
4. Borlinghaus J, Albrecht F, Gruhlke MCH, Nwachukwu ID, Slusarenko AJ. Allicin: Chemistry and biological properties. *Molecules* 19: 12591-12618 (2014)
5. Ankri S, Mirelman D. Antimicrobial properties of allicin from garlic. *Microbes Infect.* 1: 125-129 (1999)
6. Ryu HJ, Choi EJ, Oh MS. Changes in quality characteristics of chopped garlic with various storage method. *Fam. Environ. Res.* 42: 167-180 (2004)
7. Bae HJ, Chun HJ. Survey on garlic utilization practice of industry foodservice. *Korean J. Food Cook Sci.* 17: 380-390 (2001)
8. Park YH, Park SJ, Han GJ, Choe JS, Lee JY, Kang MS. Quality characteristics of pre-processed garlic during storage according to storage temperature. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 994-1001 (2012)
9. Oh SI, Kim OS, Sung JM. Quality characteristics and microbial hazard analysis of commercial garlic. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 42: 800-807 (2013)

10. Kim HY. The Food and Beverage News. Available from : <http://www.thinkfood.co.kr/news/articleView.html?idxno=41216>. Accessed Nov. 15, 2015.
11. Kwon JH. Safety and Understanding of Irradiated Food. Korea Food Safety Research Institute, Seoul, Korea. pp. 12-126 (2010)
12. MFDS. Korean Food Standards Codex. Ministry of Food and Drug Safety. Cheonju, Korea. pp. 2-6 (2015)
13. APHA. Standard Methods for the Examination of Dairy Products. American Public Health Association, Washington, USA (1976)
14. MFDS. Korean Food Standards Codex. Ministry of Food and Drug Safety. Cheonju, Korea. p. 10 (2015)
15. Lee EH, Chang KS, Kwon YA, Lee EM. Optimization of the alliin extraction in the garlic by supercritical carbon dioxide. Food Eng. Prog. 1: 149-153 (1997)
16. Sohn KH, Lim JK, Kong UY, Park JY, Noguchi A. High pressure inactivation of alliinase and its effects on flavor of garlic. Korean J. Food Sci. Technol. 28: 593-599 (1996)
17. Han J, Lawson L, Han G, Han P. Spectrophotometric method for quantitative determination of allicin and total garlic thiosulfates. Anal. Biochem. 225: 157-160 (1995)
18. Schwimmer S, Weston WJ. Onion flavor and odor, enzymatic development of pyruvic acid in onion as a measure of pungency. J. Agr. Food Chem. 9: 301-304 (1961)
19. Jeon IK, Lee YK. Verification of the HACCP system in school foodservice operations: Focus on the microbiological quality of foods in non-heating process. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 33: 1154-1161 (2004)
20. Solberg M, Buckalew JJ, Chen CM, Schaffner DW, O'Neil K, McDowell J, Post LS, Boderck M. Microbiological safety assurance system for foodservice facilities. Food Technol. 44: 68-73 (1990)
21. Louise MF, Paul EC, Alistair SG. The effect of electron beam irradiation, combined with acetic acid, on the survival and recovery of *Escherichia coli* and *Lactobacillus curvatus*. Int. J. Food Microbiol. 35: 259-265 (1997)
22. Lee S, Kim SY, Hwang IG, Yoo SM. Evaluation of quality characteristics of Korean and Chinese frozen chopped garlic. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 44: 111-117 (2015)
23. Ko JK, Ma YH, Song KB. Effect of electron beam irradiation on microbial qualities of whole black pepper powder and commercial *sunsik*. Korean J. Food Sci. Technol. 37: 308-312 (2005)
24. Lee JH, Sung TH, Lee KT, Kim MR. Effect of gamma-irradiation on color, pungency, and volatiles of Korean red pepper powder. J. Food Sci. 69: C585-C592 (2004)
25. Oh CY, Hong EB, Yoon KR, Lee YC, Kim KS. Comparison of antimicrobial activities of the garlic extracts prepared with various organic solvents. Food Eng. Prog. 6: 248-255 (2002)
26. Miron T, Shin I, Feigenblat G, Weiner L, Mirelman D, Wilchek M, Rabinkov A. A spectrophotometric assay for allicin, alliin, and alliinase (alliin lyase) with a chromogenic thiol: Reaction of 4-mercaptopyridine with thiosulfates. Anal. Biochem. 307: 76-83 (2002)
27. Schwimmer S, Guadagni DG. Relation between olfactory threshold concentration and pyruvic acid content of onion juice. J. Food Sci. 27: 94-97 (1962)
28. Nahmgung B, Jeong MC, Kim DC, Kim BS, Lee SE. Quality changes and freshness prolongation of garlic by predrying treatments. Agric. Chem. Biotechnol. 38: 334-339 (1995)
29. Choi DJ, Lee SJ, Kang MJ, Cho HS, Sung NJ, Shin JH. Physicochemical characteristics of black garlic (*Allium sativum* L.). J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 37: 465-471 (2008)
30. Sangeetha T, Darlin Quine S. Preventive effect of s-allyl cysteine sulfoxide (alliin) on lysosomal hydrolases and membrane-bound ATPases in isoproterenol-induced myocardial infarction in wistar rats. J. Biochem. Mol. Toxic. 21: 118-124 (2007)
31. Le Bon AM, Vernevauf MF, Guenot L, Kahane R, Auger J, Arnault I, Haffner T, Siess MH. Effects of garlic powders with varying alliin contents on hepatic drug metabolizing enzymes in rats. J. Agr. Food Chem. 51: 7617-7623 (2003)
32. Sheela CG, Agusti KT. Antiperoxide effects of S-allyl cysteine sulphoxide isolated from *Allium sativum* Linn and guggulipid in cholesterol fed rats. Indian J. Exp. Biol. 33: 337-341 (1995)
33. Kebeish R, Hanan ED, El-Bialy N. Effects of gamma radiation on growth, oxidative stress, antioxidant system, and alliin producing gene transcripts in *Allium Sativum*. Int. J. Res. Stud. Biosci. 3: 160-173 (2015)
34. Lee JM, Cha TY, Kim SH, Kwon TK, Kwon JH, Lee SH. Optimization of hot-water extraction condition of garlic using a response surface methodology. Korean J. Food Preserv. 14: 385-393 (2007)
35. Small LD, Bailey JH, Cavallito CJ. Alkyl thiosulfates. J. Am. Chem. Soc. 69: 1710 (1947)
36. Kim YD, Kim KM, Hur CK, Kim ES, Cho IK, Kim KJ. Antimicrobial activity of garlic extracts according to different cooking methods. Korean J. Food Preserv. 11: 400-404 (2004)
37. Durairaj S, Srinivasan S, Lakshmanaperumalsamy P. *In vitro* antibacterial activity and stability of garlic extract at different pH and temperature. Electron. J. Biotechn. 5: 5-10 (2009)
38. Lee SJ, Song EJ, Lee SY, Kim KBWR, Yoon SY, Lee CJ, Jung JY, Park NB, Kwak JH, Park JG, Kim JH, Choi JJ, Lee JW, Byun MW, Ahn DH. Effects of gamma irradiation on antioxidant, antimicrobial activities and physical characteristics of *Sargassum thunbergii* extract. Korean J. Food Sci. Technol. 42: 431-437 (2010)
39. Kim HJ, Jo CU, Kim TH, Kim DS, Park MY, Byun MW. Biological evaluation of the methanolic extract of *Eriobotrya japonica* and its irradiation effect. Korean J. Food Sci. Technol. 38: 684-690 (2006)
40. Khattak KF, Simpson TJ. Effect of gamma irradiation on the antimicrobial and free radical scavenging activities of *Glycyrrhiza glabra* root. Radiat. Phys. Chem. 79: 507-512 (2010)