

## 고선량(10~120 kGy) 감마선 조사 청국장의 미생물 변화와 화학적 성분과 관능적 특성 변화

안보선 · 이철호\*  
고려대학교 생명공학원

### Changes in Microbial and Chemical Composition and Sensory Characteristics of Fermented Soybean Paste, *Chungkukjang*, by High Dose Gamma Irradiation (10~120 kGy)

Bo-Sun Ahn and Cherl-Ho Lee\*  
Graduate School of Biotechnology, Korea University

Changes in the number of microorganisms, chemical composition, and sensory quality of *chungkukjang* by gamma-irradiation up to 120 kGy were investigated. The total viable cell counts in *chungkukjang* irradiated with 10 kGy decreased from  $10^9$  CFU/g of the control to  $10^5$  CFU/g. Proximate chemical composition and pH of *chungkukjang* were not much affected by irradiation. Acidity of *chungkukjang* decreased by irradiation with over 20 kGy. Fatty acid contents of *chungkukjang* irradiated under 20 kGy were the same as those of the nonirradiated ones. Polyunsaturated fatty acids content, decreased at over 40 kGy. The color and odor of *chungkukjang* were not significantly affected by irradiation up to 20 kGy. Unpalatable odor ( $p<0.01$ ), off-flavor ( $p<0.001$ ), and fish-odor ( $p<0.001$ ) increased, and brown intensity ( $p<0.05$ ) and acceptability ( $p<0.001$ ) decreased at over 20 kGy. Results indicate 20 kGy is sufficient to decrease the microbial count of *chungkukjang* and prevent decrease in the content of polyunsaturated fatty acids.

**Key words:** irradiation, soybean, *chungkukjang*, fatty acid composition, sterilization

### 서 론

청국장은 증자 대두를 벗짚에 싸서 발효하거나 *Bacillus subtilis* 등을 접종하여 발효시킨 속성 된장으로 특 쏘는 강한 발효취와 구수한 맛, 끈끈한 점질물을 갖는 것이 특징이다. 청국장은 우리나라의 전통 발효 장류의 하나로서 고추장과 된장은 년중 계속 이용되고 있는데 비해 청국장은 품질 보존기간이 짧고 독특한 냄새로 인하여 그 이용이 제한되어 있다. 또한 미생물의 농도가 높아 식품 가공 원료 특히 혼합 조미료의 부원료로 사용할 때 최종제품의 총균수를 크게 높이는 문제점을 갖고 있다.

청국장을 장기 저장하기 위하여는 그 식품 특성상 기존의 살균방법을 적용하기 어렵고 그 효과가 낮으므로 향신료의 미생물 살균 방법으로서 우수성이 이미 확인된 방사선 조사

를 적용한다면 살균 효과와 함께 지나친 발효 과정을 차단하는 효과를 가질 수 있을 것이다. 우리나라는 현재 12개 품목군에 대하여 최고 10 kGy까지 방사선 조사를 허용하고 있으나<sup>(1)</sup>, 최근 방사선 조사의 살균 효과를 활용하기 위하여 고선량(10~70 kGy) 조사에 대한 안전성과 품질변화에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>(2)</sup>.

본 연구는 청국장의 위생화와 장기저장을 위한 감마선 조사의 타당성을 모색하고 나아가서 전통식품의 표준화, 산업화를 위한 기초 자료를 제공하고자 10 kGy이상의 고선량(10~120 kGy) 감마선 조사를 실시하여 미생물 살균 효과, 화학적 조성 및 관능적 변화를 분석하였다.

### 재료 및 방법

#### 재료

청국장은 시중에서 구입한 C식품의 청국장 제품으로 제조 후 7일 된 것을 진공포장(PEN/PE)하여 시료로 사용하였다. 포장된 시료를 Co-60 감마선 조사 시설(한국원자력연구소, 100,000 Ci)을 이용하여 시간당 2 kGy의 선량율로 1, 5, 10, 20, 40, 80, 120 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 조사하였고,

\*Corresponding author : Cherl-Ho Lee, Graduate School of Biotechnology, Korea University, 5-1 Anamdong Sungbuk-gu, Seoul 136-701, Korea  
Tel: 82-2-3290-3414  
Fax: 82-2-927-5201  
E-mail: chlee@korea.ac.kr

ceric-cerous dosimeter를 이용하여 흡수선량을 확인하였다. 이때 흡수선량의 오차범위는  $\pm 0.12$  kGy였다.

**생균수 측정**

시료 10 g을 미리 살균된 삼각플라스크의 NaCl 용액(0.85%, 100 mL)에 넣어 200 rpm에서 10분간 교반한 후 정지시켜 그 상등액을 시험액으로 사용하였다. 제조된 시료를 연속 희석하여 PCA(plate count agar, Difco Co., USA)에 접종하고 30°C에서 1일 배양 후 생성된 콜로니를 계측하였다. 그리고 계수된 잔존 생균수로부터 생육곡선을 그리고 방사선 감수성(D<sub>10</sub> value)을 구하였다<sup>(3)</sup>.

**일반 성분 분석**

청국장의 일반성분은 수분은 105°C 상압건조법, 조단백은 semi-Kjeldahl법, 조지방은 Soxhlet추출법, 조회분은 직접회화법으로 AOAC법에 따라 분석하였다<sup>(4)</sup>.

**pH 및 산도**

pH는 시료 10 g에 증류수 90 mL을 가하여 섞은 후 pH meter(Mettler Toledo 320)로 측정하였고, 산도는 청국장 5 g에 끓여서 식힌 증류수 40 mL을 첨가하여 진탕 후 여과지로 여과한 여액 10 mL에 0.1 N NaOH로 pH 8.3까지 적정된 mL를 적산으로 환산하여 표시하였다<sup>(4)</sup>.

**지방산 분석**

시료의 지방산 조성을 살펴보기 위해 동결건조한 청국장과 원료 대두, 가압증자 대두를 각각 100 mL round flask에 0.5 g을 취한 다음 0.5 N NaOH/methanol 용액을 10 mL 가하였다. 플라스크위에 환류냉각기를 설치하고 50분간 수욕상에서 가열한 후 14% BF<sub>3</sub>를 10 mL 가하고 10분후에 hexane 5 mL 가하였다. 반응 후 냉각수를 틀어 flask를 냉각, 분리하여 hexane층이 flask의 목부분까지 올라오도록 NaCl 포화용액을 가하였다. 윗부분의 hexane층에서 1 mL을 취하여 시험용액으로 하였다. 분석에 사용한 용매는 HPLC 등급을 사용하였으며 표준지방산 메틸에스터 혼합액은 Sigma(USA)에서 구입한 것이었다.

지방산 분석은 FID(Flame ionization detector)가 장착된 Hewlett Packard 6890 GC(Hewlett Packard Co., USA)를 사용하였으며 HP-INNOWAX column(Crosslinked Polyethylene Glycol, 30 m×0.25 mm×0.25 μm)을 사용하였다. Carrier gas는 N<sub>2</sub>(1.0 mL/min)로서 주입부에서 분할비는 11.2 : 1로 하였다. 오븐 온도는 160°C에서 5분 머무른 후 10°C/min의 비율로 255°C까지 상승시킨 후 7분간 유지하였다. 주입부와 검출기의 온도는 260°C와 280°C로 하였으며, 주입량은 1 μL였다<sup>(5)</sup>.

**관능 평가**

감마선 조사 청국장의 관능적 품질 변화를 측정하기 위하여 고려대학교 대학원생 10명을 패널로 선정하여 9점 척도 채점 시험을 실시하였다. 각 시료의 표시된 값을 약하다 “1”에서부터 강하다 “9”의 척도로 하여 구하였다. 냄새에 관한 관능적 품질요소들은 기존 시판되고 있는 청국장류를 대상으로 실시한 예비조사 실험 결과에서 얻은 냄새에 관한 향

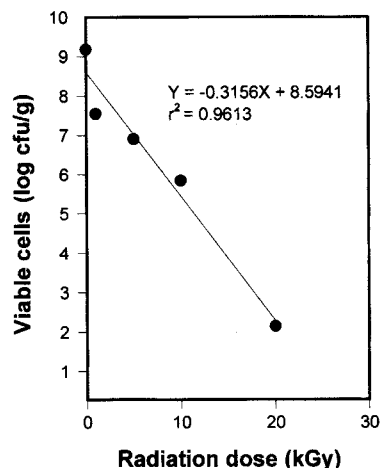


Fig. 1. Dose/response curve of micro-organisms in chungkukjang by Co<sup>60</sup> gamma irradiation.

목에 근거하여 짠 냄새, 콩비린내, 간장 냄새, 구수한 냄새, 꼬리내, 신 냄새, 비린내, 이취로 나누어 평가하였다. 맛의 관능적 요소들로는 구수한 맛, 짠 맛, 단 맛, 비린 맛, 텁텁한 맛, 신맛, 이미를 제시하여 10 kGy 이하의 조사 선량 시료만 평가하였다. 그리고 색의 관능적 요소로는 갈색도를 평가하였다. 관능검사의 결과는 분산분석과 Duncan의 다범위검정 ( $\alpha < 0.05$ )을 통하여 각 시료들간의 유의적인 차이를 분석하였다.

**결과 및 고찰**

**초기 생균수와 감마선 살균 효과**

감마선 조사 선량에 의한 청국장의 총균수 변화는 Fig. 1과 같다. 청국장의 초기 생균수는  $1.5 \times 10^9$  CFU/g이었으며 1, 5, 10, 20 kGy 조사 처리구의 경우에 각각  $3.5 \times 10^7$ ,  $8.0 \times 10^6$ ,  $6.9 \times 10^5$ ,  $1.4 \times 10^2$  CFU/g이었다. 청국장균에 대한 감마선 조사의 살균효과는 세균의 방사선 감수성이 낮아 10 kGy 조사로서 4 log cycle정도의 감소를 보이고 40 kGy 이상 조사군에서 검출 한계이하로 사멸되었다. Kim 등<sup>(6)</sup>에 의하면 15 kGy 조사 고추장은 비조사구에 비하여 총균수가 10<sup>4</sup>정도 감소한 결과를 보였으며 발효과정중에도 미생물수의 증가는 뚜렷하지 않았다고 하였다. Kim 등<sup>(7)</sup>은 감마선 조사는 장류 제품의 질소 성분의 품질 변화에 직접적이고 큰 영향을 주는 Bacillus 등의 서식 미생물을 효율적으로 제어 할 수 있다고 보고하였다. 한편 통고추에 감마선 조사를 실시한 보고를 보면<sup>(8)</sup> 호기성 세균의 경우 2.5~5 kGy 조사시 2~4 log cycle 감소되었으며 7.5 kGy에서 완전 살균되어, 실온에서 2년 저장시 모든 미생물의 증식이 검출되지 않았다고 한 것으로 보아 청국장이나 고추장의 미생물 사멸을 위해서는 통고추보다 더 높은 선량을 요구하는 것으로 보인다.

Fig. 1의 상관회귀선의 기울기의 역수로 계산한 청국장의 D<sub>10</sub>값은 3.17 kGy 이었으며, 완전살균을 위한 12D<sub>10</sub>값이 38.04 kGy로 나타났다. 불활성화계수에 있어서는 10 kGy 조사로서 10<sup>3</sup>, 20 kGy 조사로서 10<sup>6</sup>이상 호기성세균을 감소시킬 수 있을 것으로 생각된다. 이와 같은 값은 된장조미료와 청국장조미료의 D<sub>10</sub>값이 각각 3.67~3.83 kGy, 3.63~4.58 kGy

**Table 1. Radiation sensitivity of bacterial cells in chungkukjang**

D <sub>10</sub> value (kGy)	12 D <sub>10</sub> value (kGy)	Inactivation factor	
		10 kGy	20 kGy
3.17	38.04	3.16	6.31

로 나타난 Kwon 등<sup>(9)</sup>의 결과와 유사하였다. 한편 Cho 등<sup>(10)</sup>의 실험에서 항미성분을 함유하는 양과 분말과 고추장 분말의 D<sub>10</sub>값이 각각 2.88 kGy, 3.99 kGy로 나타났는데 이는 내열성 세균(아포형성균)의 혼입으로 방사선에 대한 저항성이 증가되었기 때문으로 보고하였다.

본 실험의 D<sub>10</sub>값이 높은 것은 C식품의 청국장 제조공정중 방사선에 대한 저항성이 높은 *B. subtilis*를 스타터로 사용하였기 때문으로 생각된다. 일반적으로 미생물에 대한 방사선의 살균작용은 미생물의 종류와 농도, 매개체의 화학적 조성 및 물리적 상태, 조사 후 저장 조건 등에 영향을 받게 되어 살균에 필요한 선량이 달라진다<sup>(11)</sup>. 청국장을 혼합조미료의 부원료로 사용할 경우 총균수를 10<sup>4</sup>이하로 낮추면 되므로 완전살균이 필요없고 조사후 가공도중에 사멸되는 가능성을 고려한다면 필요 조사선량을 낮출 수 있다. 변<sup>(12)</sup>에 의하면 3~10 kGy조사로 마늘, 및 양파분말 등의 향신료가 거의 완전살균 효과를 보인다고 하였다. 따라서 청국장의 경우 20 kGy조사선량으로 위에 언급한 효과를 달성할 수 있다고 판단된다.

#### 일반 성분의 변화

감마선 조사 청국장의 일반 성분은 Table 2와 같이 나타났다. 청국장의 수분 함량은 조사선량이 커질수록 조금 감소하는 경향을 나타내어, 비조사구의 경우 53.2%이었고, 20 kGy의 경우 50.7%로 나타났다. 그리고 조지방의 경우는 모든 시료가 1.8~3.3%로 나타났으며 조사선량에 따라 일정하게 증가하거나 감소하는 경향은 보이지 않았다. 조단백의 경우에도 조지방의 경우와 마찬가지로 조사선량에 관계없이 16.7~19.7% 범위에 속하였으며 회분은 6.0~7.6%의 값을 보였다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 조사량이 증가하여도 청국장의 일반 성분에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이 결과는 대두에 20 kGy의 감마선 조사시 일반성분 함량의 변화가 비조사구와 유의적인 차이를 보이지 않았다는 Lee 등<sup>(13)</sup>의 보고와 같았다. 또한 Byun 등<sup>(14)</sup>은 0~100 kGy 조사한 대두의 총 지질함량이 22.4~22.6%로 나타났으며 조사 대두와 비조사 대두 사이에 차이가 없었다고 보고하였다.

Byun 등<sup>(15)</sup>에 의하면 고추장 분말을 감마선 조사한 경우 전당과 환원당이 조사구에서 비조사구보다 약간 증가하였을 뿐 일반성분에는 차이가 없다고 하였다. 또한 대두에 5~15 kGy의 감마선을 조사시켜 청국장을 발효시켰을 때 수분과 조단백질, 조지방은 변화가 없었으며, 총당은 발효시간 경과에 따라 감소하였는데, 조사구의 감소가 더 컸으며, 섬유질의 함량은 조사구와 비조사구간의 차이를 보이지 않았다고 하였다<sup>(16)</sup>. Diaa 등<sup>(17)</sup>은 대두를 60 kGy 조사 후 영양적인 가치평가를 했을 때 일반성분은 조사 대두와 비조사 대두가 유사하였으며 lysine, trypsin inhibitor activity, urease activity는 감소하였고 total protein efficiency(TPE)는 증가하였다고 보고하였다.

#### pH와 산도의 변화

청국장에 감마선을 조사한 후 pH와 산도를 측정하였다. 비조사 시료의 pH는 7.28이었으며 10 kGy 이하의 저선량구에서는 7.26~7.28로 비조사구와 비슷하였다. 20 kGy 이상의 고선량 조사 시료구에서도 7.25~7.27로 나타나 감마선 조사에 따른 청국장의 pH 변화는 크지 않았다.

최근의 연구 결과에 의하면 청국장과 된장을 섞어 만든 저염 된장<sup>(18)</sup>, 개량메주<sup>(19)</sup>와 청국장<sup>(20)</sup>을 20 kGy 조사하였을 때 비조사구와 조사구의 pH가 비슷하게 나타나 감마선 조사에 의한 직접적인 pH의 변화는 없었다고 하였다. 한편 Kim 등<sup>(21)</sup>에 의하면 우리나라 전통 청국장을 지역별로 수집하여 pH를 측정하였을 때 평균치가 7.21(5.89~7.95)이었다.

본 연구에서 비조사구의 산도는 0.72%로서 10 kGy 이하의 조사구는 0.70~0.75%로 나타났고 20 kGy 이상의 조사구는 0.61~0.65%로 나타나 조사 선량이 커질수록 약간 감소하는 경향을 보였다. 한편 Lee 등<sup>(13)</sup>은 감마선 조사된 대두의 산도는 20 kGy의 고선량 조사시 선량의 증가와 함께 높은 수치를 나타내었다고 하였다. 감마선 조사에 의한 산도의 변화에 관한 결과는 다양하게 보고되었다. 고추장을 감마선 조사한 경우에 Chun 등<sup>(22)</sup>은 0, 1, 3, 5 kGy 조사시 5 kGy 조사구에서 산도가 가장 낮았다고 보고하였으나, Kim 등<sup>(6)</sup>은 0~15 kGy의 다양한 선량에 따른 차이가 별로 없었다고 하였다. 또한 쇠고기에 감마선이 조사되었을 때 단백질의 수소결합이 끊어져 염기성 유리 아미노산이 증가하므로 pH 상승이 일어날 수 있으나 조사 선량이 높아지면 유리 아미노산의 decarboxylation으로 인하여 pH의 증가가 일어날 수 있다고 하였다<sup>(23)</sup>.

**Table 2. Proximate chemical contents of irradiated chungkukjang**

Contents	Irradiation dose (kGy)							
	0	1	5	10	20	40	80	120
Moisture (%)	53.2 <sup>1)</sup>	52.1	52.6	50.6	50.7	51.8	51.0	50.5
Crude fat (%)	2.7	2.8	1.8	2.6	3.3	2.5	2.2	2.9
Crude protein (%)	18.0	19.7	18.4	16.7	18.5	19.8	18.7	18.8
Carbohydrate (%)	19.1	19.4	19.6	22.6	19.9	19.4	21.9	20.9
Ash (%)	7.0	6.0	7.6	7.5	7.6	6.5	6.2	6.9
pH	7.28	7.28	7.26	7.26	7.25	7.25	7.27	7.27
Acidity	0.75	0.72	0.75	0.70	0.62	0.65	0.59	0.61

<sup>1)</sup>Each value is the average of triplicates.

Table 3. Fatty acid compositions (%) of soybean and irradiated chungkukjang

Fatty acids	Soybean	Cooked soybean	Irradiated chungkukjang (kGy)							
			0	1	5	10	20	40	80	120
14:0	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10	0.10
16:0	12.89	12.85	12.60	12.56	12.59	12.70	12.75	12.72	12.86	13.11
16:1	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15
17:0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
18:0	3.56	3.58	3.43	3.41	3.39	3.56	3.49	3.55	3.58	3.71
<b>18:1</b>	<b>27.42</b>	<b>27.00</b>	<b>25.32</b>	<b>24.67</b>	<b>24.90</b>	<b>25.05</b>	<b>24.56</b>	<b>24.72</b>	<b>25.63</b>	<b>25.26</b>
<b>18:2</b>	<b>46.64</b>	<b>47.17</b>	<b>48.03</b>	<b>48.62</b>	<b>48.54</b>	<b>47.88</b>	<b>48.43</b>	<b>48.15</b>	<b>47.39</b>	<b>46.71</b>
<b>18:3</b>	<b>6.49</b>	<b>6.55</b>	<b>7.36</b>	<b>7.57</b>	<b>7.46</b>	<b>7.37</b>	<b>7.45</b>	<b>7.23</b>	<b>6.83</b>	<b>6.60</b>
20:0	0.42	0.41	0.38	0.37	0.36	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42
20:1	0.32	0.31	0.28	0.27	0.27	0.28	0.28	0.29	0.30	0.31
22:0	0.71	0.67	0.60	0.57	0.57	0.63	0.59	0.63	0.65	0.68
24:0	0.27	0.26	0.22	0.21	0.20	0.24	0.22	0.24	0.25	0.25
<b>others</b>	<b>0.95</b>	<b>0.87</b>	<b>1.43</b>	<b>1.4</b>	<b>1.37</b>	<b>1.54</b>	<b>1.49</b>	<b>1.74</b>	<b>1.75</b>	<b>2.6</b>
TSFA <sup>1)</sup>	18.04	17.96	17.43	17.32	17.31	17.73	17.64	17.72	17.94	18.37
TUFA <sup>2)</sup>	81.01	81.17	81.14	81.28	81.32	80.73	80.87	80.54	80.31	79.03
PUFA <sup>3)</sup>	<b>53.13</b>	<b>53.72</b>	<b>55.39</b>	<b>56.19</b>	<b>56.0</b>	<b>55.25</b>	<b>55.88</b>	<b>55.38</b>	<b>54.22</b>	<b>53.31</b>

<sup>1)</sup>Total saturated fatty acids.

<sup>2)</sup>Total unsaturated fatty acids.

<sup>3)</sup>Polyunsaturated fatty acids (18:2+18:3).

### 지방산 조성

감마선 조사 청국장의 지방산 조성을 분석한 결과는 Table 3에 나타났다. 청국장의 지방산은 12종이 확인되었으며, 원료 대두와 증자 대두의 지방산 조성은 거의 유사하여 삶음 과정에서 지방산 조성의 큰 변화는 없는 것으로 보인다. 대두를 삶는 과정에서 주요 지방산과 소량의 기타 지방산 조성은 변화하지 않았고, 탄소원소가 20개 이상인 고급지방산의 감소와 linoleic acid와 linolenic acid의 증가가 나타났다. 그러나 청국장 발효 후에는 지방산 조성에 다소 차이를 보이고 있다. 청국장에서는 대두나 증자 대두에서 나타나지 않은 C11:0, C13:0, C14:1, C15:0, C15:1 등의 지방산들이 확인되었다.

주요 지방산류의 변화를 보면 청국장 발효과정에서 oleic acid와 palmitic acid는 감소하였으나, linoleic acid와 linolenic acid는 약간 증가하여 청국장에 더 많은 것으로 나타났다. 한편 stearic acid를 비롯한 포화지방산류와 기타의 지방산들은 감소하였으며 전체적으로 불포화지방산류는 증가하는 경향이 있었다.

비조사 청국장의 주 지방산은 linoleic acid 48.0%, oleic acid 25.3%, palmitic acid 12.6%, linolenic acid 7.4%이었으며, 1, 5, 10, 20 kGy 조사구의 경우에는 linoleic acid 48.4~48.6%, oleic acid 24.6~25.1%, palmitic acid 12.6~12.8%, linolenic acid 7.4~7.6%였다. 그리고 고도불포화지방산(PUFA)은 비조사구는 55.4%, 조사구는 55.3~56.2% 수준으로 나타났다. 감마선 조사에 의하여 지방산 조성 변화가 상당히 일어날 것으로 예측되었으나, 20 kGy 이하 조사구의 지방산 조성은 비조사구와 크게 다르지 않았다. 이 결과는 Lee 등<sup>(13)</sup>의 감마선 조사된 대두에서 추출된 총 지방질의 지방산 조성이 비조사구와 다르지 않았다는 보고와 같은 것이다. Kim 등<sup>(24)</sup>은 20 kGy 범위의 감마선 조사는 된장, 청국장, 고추장

등의 장류의 지방산 조성에 영향을 미치지 않음을 확인하였다고 하였다. Katta 등<sup>(25)</sup>에 의하면 3 kGy로 조사한 닭고기에서 palmitic acid의 유의적 감소를 보였으며 oleic acid는 증가하였다고 보고하였으며, 10 kGy 조사시 oleic acid 등 단일 불포화지방산(cis-monoene)이 증가하였다고 보고하였다. 한편 임 등<sup>(26)</sup>에 의하면 대두에 2, 5, 10 kGy의 방사선 조사후 기름을 추출하였을 때 palmitic, stearic, oleic acid는 방사선 조사량이 증가하면서 함량이 약간 증가하였으며 linoleic, linolenic acid는 5 kGy 조사시 약간 감소하였으나, 10 kGy 조사구에서는 약간 증가하는 것으로 나타났다.

그러나 40, 80, 120 kGy를 조사한 고선량 처리구에서는 조사선량이 증가함에 따라 palmitic acid와 stearic acid는 계속 증가하였다. 조사 선량이 증가하면서 linoleic acid와 linolenic acid함량이 감소하였는데 특히 linolenic acid는 80, 120 kGy 조사구의 경우에서 10% 정도 감소된 값을 나타냈다. 한편 oleic acid는 조사선량의 증가에 관계없이 불규칙한 양상을 나타냈다.

GC chromatogram에서 확인된 지방산중 miristic acid와 palmitoleic acid는 120 kGy로 감마선 조사 선량이 증가하여도 일정하게 유지되었고, palmitic acid, stearic acid와 arachidonic acid 함량은 조사선량과 함께 증가하는 경향이었으며, oleic acid, linoleic acid와 linolenic acid는 감소하는 것으로 나타났다. 전체적으로 감마선 조사구는 비조사구에 비하여 포화지방산류는 조사선량이 커짐에 따라 증가하는 경향이었으며, 불포화지방산류는 감소하는 경향이었고 기타 지방산류(others)는 증가하였다. 한편 Kavalm 등<sup>(27)</sup>은 대두유를 60 kGy 조사시 지방산 조성과 iodine value가 조사처리에 의해 달라지지 않았다고 보고하였으며, Lesgard 등<sup>(28)</sup>에 의하면 50 kGy로 조사한 avocado에서 oil을 추출하였을 때 감마선 조사 처리 전과 처리 후에 지방산 조성의 차이가 없었다고 하였다.

또한 Hafez 등<sup>(29)</sup>은 대두에 20, 40, 60, 80, 100 kGy 조사시 지방산들( $C_{16:0}$ ,  $C_{18:0}$ ,  $C_{18:1}$ ,  $C_{18:2}$ )의 변화는 없었으며 linolenic acid의 함량(%)이 조사 선량이 증가함에 따라 유의하게 감소되었다고 보고하였다.

120 kGy까지는 청국장장의 전체적인 지방산 조성이 조사 선량에 따라 크게 달라지지 않았는데, 자동산화 되기 쉬운 불포화지방산이 대부분이었는데도 그 조성이 안정한 것은 청국장 발효 과정에서 생성된 갈색화반응 생성물들과 대두 중에 함유되어 있던 phenol성 화합물의 항산화 작용에 기인할 수도 있다<sup>(30)</sup>. 또한 식품속의 지방질은 단백질, 탄수화물 등의 다른 성분들의 보호작용으로 감마선 조사시 model system의 경우보다 안정한 형태로 존재할 수 있다<sup>(31)</sup>. Diehl<sup>(23)</sup>은 실제로 복잡한 조성의 다성분 식품에서 단성분 식품보다 조사 효과가 완화된다고 하였다.

청국장장의 원료가 된 대두, 증자 대두와 청국장장의 각각의 지방산에 대한 상대적인 비율을 살펴볼 때 원료 대두와 증자 대두는 큰 차이를 보이지 않으나 청국장장은 stearic acid에 대한 linoleic acid 비율(L/S)이 원료 대두보다 현저히 높게 나타났다. 이는 청국장장에 linoleic acid가 대두에 비해 상대적으로 많은 반면 stearic acid는 적기 때문에 나타나는 결과로 생각된다.

청국장장의 상대적인 지방산 조성비를 보면 stearic acid에 대한 palmitic acid의 비율(P/S)이 3.7이었으며 Kim 등<sup>(2)</sup>의 연구 결과와 비슷하였다. 10 kGy 이상 조사한 시료에서는 감소하는 현상을 보였으며 120 kGy에서 3.5로 가장 낮은 비율이었다. 이는 조사선량이 증가함에 따라 stearic acid와 palmitic acid가 조금씩 증가하는 추세였는데 그 양을 비교해 볼 때 stearic acid가 palmitic acid보다 더 많이 증가하는데 기인한 것으로 생각된다. 그리고 대두와 증자 대두에서의 P/S 비율은 두 구 모두 3.6으로 청국장장보다 낮은 값을 보였다.

Stearic acid에 대한 oleic acid의 비율(O/S)은 조사선량이 커짐에 따라 대체적으로 감소하는 경향이였으며 P/S값보다 그 감소폭이 컸다. 원료 대두는 7.7, 증자 대두의 경우 7.5, 청국장장의 경우 7.4로 나타났으나, 120 kGy 조사한 청국장장은 6.8의 값을 보였다. 이는 원료 대두에 oleic acid가 청국장장보다 많이 존재하고, 감마선 조사 청국장장의 경우 stearic acid가 조금씩 증가했기 때문에 일어나는 현상으로 생각할 수 있다. Stearic acid에 대한 linoleic acid의 비율(L/S)은 O/S와 달리

청국장에서의 값이 대두나 증자 대두의 값보다 높았다. 120 kGy 조사 청국장을 제외한 시료 모두에서 대두의 값 보다 높은 13.2~14.0의 값으로 감마선 조사 선량이 커짐에 따라 감소하였다. 또한 palmitic acid에 대한 oleic acid의 비율(O/P)과 palmitic acid에 대한 linoleic acid의 비율(L/P)도 감마선 조사 선량이 커짐에 따라 조금씩 감소하였으며 O/P의 경우는 O/S처럼 대두나 증자 대두의 값이 청국장보다 높은 값을 가지는 것으로 나타났다.

대두의 주요 지방산인 oleic acid에 대한 linoleic acid의 비율(L/O)은 P/S, L/S, L/P와 같이 대두나 증자 대두의 값보다 청국장 시료에서 높게 나타났으며, 1~40 kGy 조사한 청국장에서는 L/O값이 조사하지 않은 청국장보다 약간 커졌으며, 80 kGy 이상으로 조사할 경우 조금 감소하는 경향을 보여 비교적 감마선 조사에 안정한 것으로 나타났다.

### 관능적 평가

감마선 조사 선량에 따른 관능평가의 분석 결과는 Table 4와 같다. 시중에서 유통되는 청국장 5종을 비교하여 얻은 관능검사 평균값을 기준값(R)으로 하여 시료 청국장장과 방사선 조사한 청국장장에서 느껴지는 색, 맛과 향의 강도를 표시하도록 하였다.

갈색도(R:6)는 비조사 청국장장의 경우 6.0이었으며 120 kGy 조사한 청국장장은 5.8로 평가되었으며 조사선량에 따라 유의하게 감소한 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). Cho 등<sup>(6)</sup>에 의하면 감마선 조사 선량에 따른 시료의 색도 변화는 5~7.5 kGy 정도의 선량에서 차이가 없었으며 비조사군과 감선 조사군 사이에는 유의적인 차이가 없다고 하였다. 최근의 연구에 의하면 장류에 0~20 kGy의 감마선을 조사하여 시료 여과액의 흡광도를 측정하였을 때 된장<sup>(32)</sup>은 조사선량이 증가함에 따라 갈변이 촉진되었고 청국장<sup>(20)</sup>과 저염된장<sup>(18)</sup>에서는 조사선량에 따른 색도의 차이가 없었다. 한편 한우육에 대한 조사선량이 증가함에 따라 명도, 황색도, 적색도 값이 감소하였다고 Yook 등<sup>(32)</sup>은 보고하였으며 Lambert 등<sup>(33)</sup>에 의하면 1 kGy 조사한 돼지고기의 명도가 상승되었다고 하였다. 이런 상반된 현상은 식품의 종류에 따른 식품 자체의 특성, 즉 함유 색소에 따른 차이인 것으로 생각된다. 청국장장의 경우는 식품 자체의 색이 갈색이 진하여 감마선 조사로 인한 차이가 고선량 조사구에서만 약간의 차이를 보인 것으로 생각된다.

Table 4. Sensory color and odor evaluation of irradiated chungkukjang

Dose (kGy)	Brown	Salty odor	Beany odor	Soy sauce odor	Meaty odor	Unpalatable odor	Sour odor	Fish odor	Off-flavor	Acceptance
0	6.0 ± 0.9 <sup>ab</sup>	5.7 ± 1.4	4.6 ± 1.5	5.4 ± 1.5	3.7 ± 1.3	6.8 ± 0.8 <sup>b</sup>	3.1 ± 1.0	6.2 ± 0.9 <sup>bc</sup>	6.0 ± 0.4 <sup>c</sup>	5.5 ± 1.3 <sup>a</sup>
1	6.2 ± 0.4 <sup>a</sup>	5.9 ± 1.1	4.2 ± 1.4	5.1 ± 1.2	3.0 ± 1.0	6.8 ± 1.1 <sup>b</sup>	3.0 ± 1.0	6.1 ± 0.8 <sup>c</sup>	6.2 ± 0.4 <sup>c</sup>	5.1 ± 0.9 <sup>ab</sup>
5	5.9 ± 0.6 <sup>abc</sup>	5.9 ± 1.4	4.3 ± 1.1	5.3 ± 1.2	3.6 ± 1.2	6.5 ± 1.2 <sup>b</sup>	3.0 ± 0.8	5.7 ± 1.3 <sup>c</sup>	6.2 ± 0.6 <sup>c</sup>	5.0 ± 1.1 <sup>ab</sup>
10	5.4 ± 0.8 <sup>c</sup>	5.7 ± 1.4	4.7 ± 1.6	5.6 ± 0.9	3.4 ± 0.9	7.1 ± 0.8 <sup>b</sup>	2.9 ± 0.8	6.2 ± 0.6 <sup>bc</sup>	6.3 ± 0.7 <sup>c</sup>	5.2 ± 0.8 <sup>ab</sup>
20	5.9 ± 0.5 <sup>bac</sup>	5.4 ± 1.4	4.6 ± 1.1	5.7 ± 1.4	3.1 ± 1.8	6.9 ± 0.7 <sup>b</sup>	3.2 ± 1.3	6.3 ± 0.7 <sup>bc</sup>	6.7 ± 0.7 <sup>bc</sup>	4.2 ± 0.9 <sup>bc</sup>
40	5.5 ± 0.8 <sup>bc</sup>	5.9 ± 1.6	4.9 ± 1.4	6.2 ± 1.2	3.1 ± 1.6	7.3 ± 0.6 <sup>ab</sup>	3.2 ± 1.4	7.1 ± 0.9 <sup>a</sup>	6.9 ± 0.9 <sup>b</sup>	4.2 ± 1.3 <sup>bc</sup>
80	5.6 ± 0.5 <sup>bc</sup>	5.7 ± 1.5	4.9 ± 1.5	5.9 ± 1.7	2.7 ± 2.2	7.3 ± 0.9 <sup>ab</sup>	3.4 ± 1.6	6.9 ± 1.1 <sup>ab</sup>	7.0 ± 1.2 <sup>b</sup>	3.9 ± 1.3 <sup>bc</sup>
120	5.8 ± 0.7 <sup>bac</sup>	6.0 ± 2.0	5.4 ± 2.1	6.4 ± 1.7	3.0 ± 2.5	7.9 ± 1.0 <sup>a</sup>	3.3 ± 1.5	7.4 ± 0.9 <sup>a</sup>	8.0 ± 0.9 <sup>a</sup>	3.6 ± 1.7 <sup>bc</sup>

Scale range: 1 (most weak) to 9 (most strong).

All values are mean ± S.D.

Means with same letters within each column were not significantly at  $p < 0.05$ .

냄새의 경우에 짠 냄새(R:6), 간장 냄새(R:5), 꼬린 내(R:7), 생선 비린내(R:6), 이취(R:6) 등은 감마선 조사 시료가 비조사 청국장에 비해 조사 선량이 증가함에 따라 냄새 강도가 강해진 것으로 나타났으며, 유의성 검증에서는 꼬린 내( $p<0.01$ ), 생선 비린내( $p<0.001$ ), 이취( $p<0.001$ ), 수용성 항목( $p<0.001$ ) 등이 조사 선량에 따른 유의차를 나타냈다. 그리고 콩비린내는 1 kGy와 5 kGy 조사된 청국장들이 조사하지 않은 청국장보다 낮은 값을 보였으며, 구수한 냄새의 경우에는 방사선 조사 시료 모두가 비조사 시료보다 낮은 값을 나타내었다. 특히 80 kGy 조사 청국장에서 가장 낮은 값을 보였는데, 이는 이취가 강해짐에 따라 상대적으로 구수한 냄새가 덜 느껴졌기 때문으로 생각된다. 신 냄새는 1, 5, 10 kGy 조사 시료의 경우에 비조사 시료의 값보다 낮은 값을 보였다. 이상의 결과를 종합하여 보면 청국장의 감마선 조사로서 10 kGy 이하의 저선량을 조사한다면, 조사하지 않은 청국장과 관능적으로 차이를 식별할 수 없으나 20 kGy 선량에서는 짠 냄새와 구수한 냄새를 감소시키며, 40 kGy 이상의 고선량에서는 간장냄새, 구수한 냄새를 제외하고 모든 냄새 항목의 값이 증가하였으며 뚜렷한 이취 증가 현상을 보였다. 냄새에 따른 기호도 값은 조사 선량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으나 통계적 유의차는 인정되지 않았다. 박 등<sup>(18)</sup>의 연구에 의하면 10 kGy 조사 시료에 비하여 20 kGy 조사 시료는 “향”에서 낮은 평가를 받았다.

맛 항목의 경우에 구수한 맛, 짠 맛, 단 맛, 비린 맛, 텁텁한 맛, 신 맛, 이미, 기호도를 조사선량에 따라 어느 정도 다른지 평가하였다. 1, 5, 10 kGy 조사 청국장의 맛은 전체적으로 원래 청국장 맛과 크게 다르지 않았고 특히 텁텁한 맛과 신 맛 항목을 제외한 관능평가에서 10 kGy 조사 시료가 1 kGy 조사 시료보다 원료 청국장에 더 가까운 맛을 나타냈다. 이상의 관능 검사 결과를 종합하여 보았을 때 10 kGy 조사 선량은 청국장의 맛에 유의적인 변화를 초래하지 않는 것으로 밝혀졌다.

## 요 약

시중에서 판매중인 청국장에 Co-60의 감마선을 0~120 kGy의 선량으로 조사한 후 미생물과 화학적 성분 변화, 특히 지방산 조성 변화를 비교하였다. 조사된 청국장의 미생물 수는 10 kGy 조사시 비조사구에 비하여  $10^4$  정도 감소되었고,  $D_{10}$  값은 3.17 kGy로 나타났다. 일반성분은 조사량이 증가하여도 변화가 없는 것으로 나타났으며 pH는 조사구와 비조사구에 차이가 없었으나, 산도는 조사구가 비조사구에 비하여 감소하는 경향을 보였다. 청국장의 지방산 조성은 대두나 증자대두와 유사하게 12종이 확인되었다.

청국장의 주요 지방산 양은 대두나 증자대두에 비해 oleic acid와 palmitic acid는 적고, linoleic acid와 linolenic acid는 더 많은 것으로 나타났다. 감마선 조사 청국장의 지방산 조성은 조사선량 20 kGy 조사구는 비조사구와 크게 다르지 않았으나 40 kGy 이상의 고선량 조사에서 linoleic acid와 linolenic acid가 감소하였다. 감마선 조사 청국장을 관능검사한 결과 비조사구에 비하여 갈색도( $p<0.05$ ), 꼬린내( $p<0.01$ ), 생선비린내( $p<0.001$ ), 이취( $p<0.001$ ), 수용성 ( $p<0.001$ )항목이 유

의적 차이를 보여 감마선 조사 선량이 커질수록 비조사구와 색이나 냄새에서 차이가 있는 것으로 나타났다. 안전성을 고려하여 1, 5, 10 kGy 조사구를 대상으로 실시한 맛 관능검사의 결과는 비조사구와 비슷한 수준이었다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 청국장의 멸균을 위해서는 40 kGy 이상의 조사량이 필요하나, 20~40 kGy 정도의 조사 선량으로 미생물 수를  $10^2$  이하로 충분히 낮출 수 있고 다가불포화지방산의 감소를 방지하면서 청국장 고유의 관능적 특성을 유지할 수 있을 것으로 판단되었다.

## 문 헌

1. Byun, M.W. Current status and problems of utilization of irradiation techniques in Korean Food Industry and Medicine. The 4th CAFST Seminar, Center for Advanced Food Science and Technology, Korea University, Seoul (1998)
2. Lee, C.H. Acceptance and Trading on Irradiated Foods, pp. 74-119. Korea University Press, Seoul (1998)
3. IAEA. Training manual on food irradiation technology and techniques, pp. 43-60. Technical Reports Series. Second Edition, No. 114, Vienna (1982)
4. AOAC. Official Methods of Analysis. 13th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., USA (1980)
5. Kim, J.K. Principles and Practice of Gas Chromatography, p. 11. Daeji Press Co., Seoul (1992)
6. Kim, M.S., Oh, J.A., Kim, I.W., Shin, D.H. and Han, M.S. Fermentation properties of irradiated *kochujang*. Korean J. Food Sci. Technol. 30: 934-940 (1998)
7. Kim, D.H., Son, J.H., Yook, H.S., Kim, M.R., Cha, B.S. and Byun, M.W. Effects of gamma irradiation on the hydrolytic enzyme activities of Korean soybean-based fermented food. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 30: 839-843 (2001)
8. Cho, H.O., Byun, M.W., Kwon, J.H., Lee, J.W. and Yang, J.S. Comparison of ethylene oxide (E.O.) and irradiation treatment on the sterilization of spices. Korean J. Food Sci. Technol. 18: 283-287 (1986)
9. Kwon, J.H., Byun, M.W., Cha, B.S., Yang, J.S. and Cho, H.O. Improvement of hygienic quality of vegetable mixed condiments using gamma-irradiation. Korean J. Food Hyg. Saf. 3: 233-239 (1988)
10. Cho, H.O., Kwon, J.H., Byun, M.W., Yang, J.S. and Kim, Y.J. Effects of ethylene oxide fumigation and gamma irradiation on the quality of dried agricultural products. Korean J. Food Hyg. Saf. 1: 133-141 (1986)
11. Josephson, E.S. and Peterson, M.S. Preservation of Food by Ionizing Radiation. Vol. II. CRC Press, Florida, USA (1982)
12. Byun, M.W. Radurization and radication of spices. Korean J. Food Sci. Technol. 17: 311-318 (1985)
13. Lee, H.J., Kim, J.O., Yook, H.S. and Byun, M.W. Physicochemical properties of gamma-irradiated soybeans. Korean J. Food Sci. Technol. 28: 558-565 (1996)
14. Byun, M.W., Kang, I.J., Kwon, J.H., Hayashi, Y. and Mori, T. Physicochemical properties of soybean oil extracted from  $\gamma$ -irradiated soybeans. Radiat. Phys. Chem. 47: 301-304 (1996)
15. Byun, M.W., Kwon, J.H. and Cho, H.O. Sterilization and storage of spices by irradiation I. Sterilization of powdered hot pepper paste. Korean J. Food Sci. Technol. 15: 359-363 (1983)
16. Hur, Y.H., Lee, S.G. and Suh, J.S. Studies on the change in components of  $\gamma$ -irradiated soybean during fermentation. Annu. Bull. Seoul Health Junior College 7: 7-14 (1987)
17. Diao, M., El-Din, H. Farag. The nutritive value for chicks of full-fat soybeans irradiated at up to 60 kGy. Anim. Feed Sci. Technol. 73: 319-328 (1998)
18. Park, B.J., Jang, K.S., Kim, D.H., Yook, H.S. and Byun, M.W. Changes of microbiological and physicochemical characteristics

- of *doenjang* prepared with low salt content and gamma irradiation. Korean J. Food Sci. Technol. 34: 79-84 (2002)
19. Kim, D.H., Lee, K.H., Yook, H.S., Kim, J.H., Shin, M.G. and Byun, M.W. Quality characteristics of gamma irradiated grain shape improved *meju*. Korean J. Food Sci. Technol. 32: 640-645 (2000)
  20. Kim, D.H., Yook, H.S., Youn, K.C., Cha, B.S., Kim, J.O. and Byun, M.W. Changes of microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated *chungkukjang*. Korean J. Food Sci. Technol. 32: 896-901 (2000)
  21. Kim, J.S., Yoo, S.M., Choe, J.S., Park, H.J., Hong, S.P. and Chang, C.M. Physicochemical properties of traditional *chonggugjang*. J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol. 41: 377-383 (1998)
  22. Chun, M.S., Lee, T.S. and Noh, B.S. Effect of gamma-irradiation on quality of *kochujang* during storage Food Sci. Biotechnol. 1: 117-122 (1992)
  23. Diehl, J. F. Radiolytic effects in foods, Preservation of Food by Ionizing Radiation, Vol. I, pp. 32-47. CRC Press, Florida, USA (1982)
  24. Kim, D.H., Kim, J.O., Cha, B.S., Lee, J.Y. and Byun, M.W. Effects of gamma irradiation on composition of free amino acid, fatty acid and organic acid of soybean-based fermented food. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 30: 777-781 (2001)
  25. Katta, S.R., Rao, D.R., Sunki, G.R. and Chawan, C.B. Effect of gamma irradiation of whole chicken carcasses on bacterial load and fatty acids. J. Food Sci. 56: 371-372 (1991)
  26. Yim, K.Y. and Ahn, M.S. Changes of the physico-chemical characteristics of oils treated by the  $\gamma$ -ray irradiation(I)-The Extracted soybean oil. J. Korean Home Economics Assoc. 30: 77-88 (1992)
  27. Kavalm, J.P. and Nawar, W.W. Effects of ionizing radiation on some vegetable fats. J. Am. Oil Chem. Soc. 46: 387-390 (1969)
  28. Lesgards, G., Raffi, J., Pouliquen, I., Chaouch, A.A., Giamarchi, P. and Prost, M. Use of radiation-induced alkanes and alkenes to detect irradiated food containing lipids. J. Am. Oil Chem. Soc. 70: 179-185 (1993)
  29. Hafez, Y.S., Mohamed, A.I., Singh, G. and Hewedy, F.M. Effects of gamma irradiation on proteins and fatty acids of soybean. J. Food Sci. 50: 1271-1274 (1985)
  30. Bok, J.Y. Changes in chemical composition of steamed soybean during fermentation and in alkylpyrazines during aging of *chungkookjang*. Ph. D. dissertation, Chung-Ang Univ., Korea (1994)
  31. Yasumoto, K., Ueda, M. and Suzuki, T. Evaluation of  $\gamma$ -irradiation on Nutritional Quality of Protein Foods, p. 51. The Food Irradiation Research Committee. The Japan Radioisotope Association, Japan (1992)
  32. Yook, H.S., Lee, J.W., Lee, K.H., Kim, S. and Byun, M.W. Effect of gamma irradiation on pigments of beef. Korean J. Food Sci. Technol. 30: 1184-1188 (1998)
  33. Lambert, A.D., Smith, J.P. and Dodds, K.L. Physical, chemical and sensory changes in irradiated fresh pork packaged in modified atmosphere. J. Food Sci. 57: 1294-1299 (1992)

---

(2002년 4월 10일 접수; 2003년 2월 27일 채택)