

감마선 조사된 대두분의 미생물학적 및 이화학적 특성 연구

김희연* · 송경희 · 홍진환 · 김동술 · 한상배 · 이은주 · 강길진 · 정형욱
임무혁¹ · 김창민 · 권용관² · 진명식³ · 송인환⁴ · 변명우⁵
배동호⁶ · 신일식⁷ · 하상철⁸

식품의약품안전청 식품규격과, ¹식품의약품안전청 잔류농약과, ²식품의약품안전청 천연첨가물과,
³식품의약품안전청 통상정보담당관실, ⁴세종대학교 대학원 식품공학과,
⁵한국원자력연구소 방사선식품·생명공학연구팀, ⁶건국대학교 응용생물화학과,
⁷강릉대학교 해양생명공학부, ⁸대구미래대학 제과제과코레이션과

Studies on Microbiological and Chemical Characteristics of Gamma-Irradiated Soybean Powder

Hee-Yun Kim*, Kyong-Hee Song, Jin-Hwan Hong, Dong-Sul Kim, Sang-Bae Han, Eun-Ju Lee,
Kil-Jin Kang, Hyung-Wook Chung, Moo-Hyeog Im¹, Chang-Min Kim, Yong-Kwan Kwon²,
Myung-Shik Chin³, In-Hwan Song⁴, Myung-Woo Byun⁵
Dong-Ho Bae⁶, Il-Shik Shin⁷ and Sang-Chul Ha⁸

Food Standard Division, Korea Food and Drug Administration,
¹Pesticide Residues Division, Korea Food and Drug Administration,
²Natural Food Additives Division, Korea Food and Drug Administration,
³International Trade & Information Office, Korea Food and Drug Administration,
⁴Department of Food Science and Technology, The Graduate School of Sejong University,
⁵Team for Radiation Food Science and Biotechnology, Korea Atomic Energy Research Institute,
⁶Department of Applied Biochemistry, Kon-Kuk University,
⁷Faculty of Marine Bioscience and Technology, Kangnung National University,
⁸Department of Confectionery Decoration, Daegu Mirae College

Effects of gamma-irradiation of 1 to 10 kGy on the microbial growth, contents of amino acids, fatty acids, and free sugars, and changes in acid values in soybean powder were studied. Irradiation doses at 3~5 kGy inhibited the mold growth completely in two kinds of imported soybean powders. Contents of sulfur-containing amino acids, such as cysteine, in both soybean powders decreased with irradiation, whereas no significant changes in free amino acid and fatty acid contents of both soybean powders were observed. Free sugar contents of stachyose and sucrose in Chinese soybean powder decreased with increasing irradiation dose level, whereas, those of other sugars remained unchanged. Results of this study confirm that 3-5 kGy irradiation can be safely applied to apply to soybean powder without causing significant quality deteriorations microbiologically and chemically.

Key words: gamma-irradiation, soybean powder, microbiological and chemical change

서 론

최근 두부원료의 원활한 수급과 제조 및 가공시간의 단축, 폐수의 감량, 경제성 등을 이유로 분말상 원료를 식품의 원

료로 이용하고자 현행 식품공전⁽¹⁾상 두부 또는 식용유지의 원료로 분말상을 사용할 수 있도록 개정되었고, “두부류 제조원료로 사용되는 대두분을 보존 및 유통함에 있어서 각종 유해물질, 협잡물, 이물(곰팡이 등 포함)등의 오염을 방지하도록 적절한 관리를 하여야 하며, 직사광선이나 비 등에 노출되지 않도록 보관·유통하여야 한다.”라는 보존 및 유통기준이 신설되었다. 그러나 분말상 원료는 원두에 비하여 표면적이 넓어 수분, 빛, 온도 등 여러 환경요인에 의해 품질에 큰 영향을 받을수 있다⁽²⁾.

특히 두부의 지방질 성분은 고온다습 등의 열악한 조건이

*Corresponding author : Hee-Yun Kim, Department of Food Additives Evaluation, Korea Food & Drug Administration 5, Nokbun-dong, Eunpyung-gu, Seoul 122-704, Korea
Tel: 82-2-380-1686
Fax: 82-2-354-1399
E-mail: pmheekim@kfda.go.kr

나 저장기간의 경과와 더불어 산가의 증가와 같은 품질변화가 심하다고 보고되고 있다⁽³⁾. 또한, 건조식품의 위생화 처리를 위한 대표적인 방법인 훈증처리가 안전성 측면이 문제가 되면서^(4,7) 새로운 대체기술로서 방사선 조사가 관심을 끌고 있다.

식품에 대한 감마선 조사는 일반적으로 식품 고유의 풍미와 생화학적 품질에 영향을 미치지 않으면서도 미생물에 대하여 선택적인 살균효과를 나타내며, 방사선 조사식품의 안전성은 관련 국제기구(FAO/IAEA/WHO)에 의해 공식 인정되었고, 조사식품에 대한 Codex 일반 규격이 채택됨으로써⁽⁸⁾ 식품의 방사선조사 기술은 한국을 포함한 세계 42개국에서 사용이 허가되어 있는 실정이다⁽⁹⁾. 현재 국내 방사선 조사식품 허가현황은 감자 등 19개 품목에 대하여 최저 0.15 kGy에서부터 최고 10 kGy까지 허용되어 있다⁽¹⁰⁾. 또한, 식품의 국제무역에서 위생적 기준을 만족시키기 위한 수단으로 방사선 조사기술의 사용이 확대될 전망이며, 이에 따라 국가간 무역마찰 방지와 소비자의 수용성 확보 등 국내 연구자료의 마련이 필요시된다.

따라서 본 연구에서는 최근 정부에서 두부제조 원료로 대두분을 허용함으로써 두부제조업소의 영세성을 고려했을 때 발생할 수 있는 대두분의 안전성 문제를 해결하기 위한 한 방법으로 방사선조사의 필요성이 인정됨에 따라 감마선처리된 분말상 원료인 대두분의 저장유통시 발생될 수 있는 품질변화를 연구하였다.

재료 및 방법

시료의 방사선 조사 및 저장

시료는 2001년 1월에 제조한 중국산(Sinochem Hebei Imp. Exp. & Corp.)과 미국산(Natural Products Inc.) 대두분 133 mesh를 사용하였다. 시료의 감마선 조사는 한국원자력연구소의 Co-60 선원을 이용하여 실온에서 일정한 선량률로 1~10 kGy 범위의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 이때 시료의 감마선 조사시 흡수선량은 ceric/cerous dosimeter를 사용하여 확인되었다. 감마선 조사된 시료는 비조사 대조시료와 함께 low density polyethylene bag에 밀봉하여 실험에 사용하였다.

성상

식품공전의 일반시험법⁽¹¹⁾의 성상시험법(관능시험법)에서 정하고 있는 색깔, 풍미, 조직감, 외관 중 색깔, 풍미, 외관 항목에 대하여 양호/불량으로 평가하였다. 색깔(풍미) 등의 평가방법은 "1. 색깔(풍미)이 양호한 것은 5점으로 한다. 2. 색깔(풍미)이 대체로 양호한 것은 그 정도에 따라 4점 또는 3점으로 한다. 3. 색깔(풍미)이 나쁜 것은 2점으로 한다. 4. 색깔(풍미)이 현저히 나쁜 것은 1점으로 한다."로 실시하였다.

미생물 검사

총균수는 APHA(American Public Health Association) 표준방법⁽¹²⁾에 따라 plate count agar(Difco, Lab)를 32°C에서 48 시간 동안 배양한 후 CFU로 계수하였고, 곰팡이 수는 potato dextrose agar(Difco)를 사용하여 평판법⁽¹³⁾으로 25°C에서 5~7 일간 배양한 후 발생한 집락수를 계산하고 그 평균집락수에

희석배수를 곱하여 곰팡이수로 하였다. 각 검사는 3반복으로 실시하였다.

아미노산 분석

총아미노산과 유리 아미노산은 현행 식품공전^(14,15)에 의한 분석법을 사용하였고 아미노산 자동분석기(Pharmacia model biochrom 20)를 사용하여 분석하였다. Column은 Amino Acid Analysis(4.6 mm i.d., 250 mm)를 사용하였다. 분석조건은 wavelength: 440 nm, 570 nm, column temp.: 35°C-74°C-80°C-37°C, buffer solution: pH 3.2-pH 4.25-pH 6.45 sodium citrate, flow rate: buffer 35 mL/hr, ninhydrin 25 mL/hr로 하였다.

지방산 분석

지방산 조성은 현행 식품공전의 방법⁽¹⁶⁾에 따라 GC(HP-6890)를 사용하여 분석하였다. Column은 SP-omegawax 320 (30 m, 0.32 mm i.d., 0.52 µm film), detector는 FID, injection volume은 2 µL를 사용하였고, carrier gas는 질소를 사용하였으며 flow rate는 1.0 mL/min이었다. Injector와 detector의 온도는 260°C로 하였다.

유리당 분석

유리당은 A.O.A.C법⁽¹⁷⁾에 따라 실시하였으며, HPLC(Waters Model HPLC/ALC-224)를 사용하여 분석하였다. Detector는 RI를 이용하였고 column은 Sugar-pak I(3.9 mm i.d., 300 mm)를 사용하였다.

Mobile phase는 500 mg Ca-EDTA/1 L H₂O를 사용하였으며 flow rate는 0.4 mL/min, 분석시료는 10 µL를 주입하여 분석하였다.

산가

산가는 대두분 10 g을 사용하여 Soxhlet 장치⁽¹⁶⁾를 이용하여 조지방을 추출하고 추출된 지방에 diethylether/ethanol(2:1, v/v)용액 100 mL를 가해 용해한 후 0.1 N-KOH·ethanol로 중화 적정하여 산가를 계산하였다.

$$\text{산가} = 5.611 \times a \times f / S$$

(S: 검체의 채취량(g), a: 0.1 N-KOH·ethanol 용액의 소비량(mL), f: 0.1 N-KOH·ethanol 용액의 역가)

통계처리

각 실험군별 결과를 SAS(Statistical Analysis System) S/W Package(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 95% 신뢰구간에서 분산분석(ANOVA)을 행하여 Duncan's Multiple Range Test(DMRT)로 각 군별 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

대두분의 성상 변화

감마선 조사처리(1~10 kGy) 직후 성상변화는 미국산, 중국산 대두분의 색깔, 풍미, 외관 모두 '양호'한 것으로 나타났다.

Table 1. The effect of gamma-ray irradiation on microbial populations in soybean powders

(unit: CFU/g)

Sample	Micro-organism	Irradiation dose (kGy)					
		0	1	3	5	7	10
Soybean powder (China)	Total bacteria	2.3×10^4	8.2×10^3	2.0×10^2	2.0×10^2	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$
	Molds	1.0×10^3	1.0×10^2	1.0×10^1	1.0×10^1	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$
Soybean powder (USA)	Total bacteria	3.0×10^2	3.0×10^1	1.0×10^1	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$
	Molds	1.0×10^2	1.0×10^1	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$

Table 2. The contents of total amino acids in gamma-irradiated soybean powder (imported from China)

(unit: %)

Amino acid	Irradiation dose (kGy)						
	0	1	3	5	7	10	
Aspartic acid	3.13 ^{a,1)}	3.01 ^b	3.12 ^a	3.11 ^a	3.01 ^b	3.01 ^b	
Threonine	1.20 ^a	1.21 ^a	1.23 ^a	1.25 ^a	1.20 ^a	1.20 ^a	
Serine	1.50 ^a	1.55 ^a	1.58 ^a	1.58 ^a	1.48 ^a	1.50 ^a	
Glutamic acid	5.32 ^c	5.53 ^b	5.80 ^a	5.80 ^a	5.47 ^b	5.54 ^b	
Proline	2.49 ^b	2.14 ^d	2.66 ^a	2.65 ^a	2.42 ^c	2.16 ^d	
Glycine	1.37 ^d	1.42 ^{bc}	1.46 ^{ab}	1.50 ^a	1.41 ^{cd}	1.45 ^{bc}	
Alanine	1.42 ^d	1.45 ^{cd}	1.49 ^{ab}	1.51 ^a	1.43 ^d	1.47 ^{bc}	
Cysteine	0.12 ^c	0.21 ^a	0.20 ^{ab}	0.16 ^{bc}	0.13 ^c	0.20 ^{ab}	
Valine	1.85 ^d	1.88 ^{cd}	1.91 ^{bc}	1.96 ^a	1.90 ^{bc}	1.92 ^b	
Methionine	0.24 ^{ab}	0.22 ^b	0.26 ^a	0.24 ^{ab}	0.22 ^b	0.22 ^b	
Isoleucine	1.50 ^d	1.54 ^{bc}	1.56 ^b	1.60 ^a	1.53 ^{bcd}	1.52 ^{cd}	
Leucine	2.56 ^{de}	2.61 ^{bc}	2.64 ^{ab}	2.67 ^a	2.53 ^e	2.58 ^{cd}	
Tyrosine	1.09 ^b	1.16 ^a	1.08 ^b	1.10 ^b	0.89 ^d	1.01 ^c	
Phenylalanine	1.80 ^a	1.80 ^a	1.78 ^{ab}	1.75 ^b	1.67 ^c	1.70 ^c	
Histidine	0.92 ^{ab}	0.88 ^b	0.92 ^{ab}	0.95 ^a	0.88 ^b	0.90 ^b	
Lysine	1.82 ^c	1.92 ^a	1.93 ^a	1.94 ^a	1.85 ^{bc}	1.87 ^b	
Arginine	2.20 ^a	2.29 ^a	2.31 ^a	2.33 ^a	2.21 ^a	2.16 ^a	
Total	30.55	30.69	31.94	32.10	30.24	30.45	

¹⁾Means within the same row with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

방사선조사에 의한 살균효과

2종 대두분의 비조사구에서 총균수는 중국산은 2.3×10^4 CFU/g, 미국산은 3.0×10^2 CFU/g로 중국산이 오염도가 높았다(Table 1).

중국산 대두분의 경우 3 kGy의 조사구에서 총 세균의 농도를 2.0×10^2 CFU/g 수준으로 감소시킬 수 있었고, 7 kGy 이상의 선량에서는 모든 미생물이 사멸되었다. 미국산 대두분의 조사처리에서는 3 kGy에서 1.0×10^1 CFU/g 수준으로 살균효과를 볼 수 있었고, 5 kGy 이상의 선량에서 모든 미생물이 사멸되었다(Table 1). 일반적으로 미생물에 대한 방사선의 살균작용은 미생물의 종류와 농도, 매개체의 화학적 조성 및 물리적 상태, 조사후 저장조건 등에 영향을 받게 되어 살균에 필요한 선량이 달라지는 것으로 알려져 있다⁽¹⁸⁾.

곰팡이는 비조사구에서 중국산은 1.0×10^3 CFU/g, 미국산은 1.0×10^2 CFU/g로 총세균과 마찬가지로 중국산이 오염도가 높았다. 중국산 대두분 3 kGy의 조사구에서 곰팡이의 농도를 1.0×10^1 CFU/g 수준으로 감소시킬 수 있었고, 미국산 대두분의 경우는 1 kGy에서 1.0×10^1 CFU/g 수준으로 살균효과를 볼 수가 있었다. 즉 2종의 수입산 대두분의 경우 3~5 kGy 선량의 감마선조사로써 곰팡이를 완전히 사멸할 수 있었다(Table 1). 감마선조사가 인삼분말의 살균효과에 미치는 영향⁽¹⁹⁾에서 총균수는 10 kGy, 곰팡이 및 대장균군은 2.5 kGy 조사구에서 오염 미생물이 검출되지 않았으며, 감마선조사가

고추분말의 품질에 미치는 영향⁽²⁰⁾에서 고추분말은 10 kGy, 곰팡이 및 대장균군은 2.5 kGy에서 살균효과를 나타내었다고 보고하였다.

이상의 결과에서 볼 때 대두분의 살균을 위해서 5~7 kGy 정도의 감마선 조사가 특히 저장안정성 및 식품위생에 문제가 되는 곰팡이를 완전사멸시킬 수 있었고 또한 총균수에 있어서도 미생물학적으로 안전한 수준이하로 살균이 가능하였다.

총아미노산 구성비 변화

중국산과 미국산 대두분의 총아미노산 조성을 확인한 결과를 Table 2 및 3에 각각 나타내었다. 총 아미노산 함량은 중국산 대두분의 비조사구와 1 kGy 조사구가 30.5~31.0%, 3 kGy와 5 kGy 조사구가 31.9~32%, 7 kGy와 10 kGy 조사구가 30.2~30.5%였다. 미국산 대두분의 총 아미노산 함량은 비조사구가 35.2%, 1 kGy 조사구가 31.2%, 3~10 kGy 조사구가 33.5~34.6%로 중국산과 미국산 대두분의 총 아미노산 함량에는 다소 차이가 나타났다. 그러나 중국산, 미국산 모두 aspartic acid, glutamic acid의 함량이 높게 나타났으며, 조사 선량이 증가할수록 aspartic acid는 다소 감소하였으나 glutamic acid는 다소 증가하였다. 한편, 함황 아미노산인 methionine과 cysteine은 다른 아미노산에 비해 낮은 함량을 나타내었다. 대두분의 아미노산 함량에 대한 감마선 조사의 영향은 미국산 대두분에서 함황 아미노산인 cysteine이 유의적인 감소를 나

Table 3. The contents of total amino acids in gamma-irradiated soybean powder (imported from USA)

(unit: %)

Amino acid	Irradiation dose (kGy)						
	0	1	3	5	7	10	
Aspartic acid	3.66 ^{a,1)}	2.96 ^b	3.46 ^a	3.26 ^{ab}	3.26 ^{ab}	3.27 ^b	
Threonin	1.46 ^a	1.23 ^c	1.38 ^b	1.33 ^b	1.31 ^b	1.34 ^b	
Serine	1.78 ^a	1.60 ^c	1.70 ^{ab}	1.67 ^{bc}	1.62 ^{bc}	1.48 ^d	
Glutamic acid	6.33 ^a	5.52 ^c	6.06 ^b	5.97 ^c	5.90 ^d	6.07 ^b	
Proline	2.87 ^{ab}	2.55 ^d	2.86 ^b	2.80 ^c	2.82 ^c	2.90 ^a	
Glycine	1.55 ^b	1.52 ^{bc}	1.51 ^c	1.53 ^{bc}	1.51 ^c	1.59 ^a	
Alanine	1.59 ^b	1.50 ^d	1.58 ^{bc}	1.57 ^{bc}	1.55 ^c	1.63 ^a	
Cysteine	0.28 ^a	0.18 ^{bc}	0.22 ^b	0.21 ^b	0.16 ^{bc}	0.13 ^c	
Valine	2.09 ^{bc}	1.81 ^d	2.10 ^b	2.10 ^b	2.06 ^c	2.18 ^a	
Methionine	0.29 ^a	0.25 ^b	0.29 ^a	0.29 ^a	0.29 ^a	0.28 ^{ab}	
Isoleucine	1.75 ^a	1.53 ^c	1.77 ^a	1.74 ^a	1.67 ^b	1.77 ^a	
Leucine	2.97 ^a	2.67 ^d	2.98 ^a	2.93 ^b	2.87 ^c	2.98 ^a	
Tyrosine	1.23 ^b	1.07 ^c	1.33 ^a	1.19 ^b	1.19 ^b	1.32 ^a	
Phenylalanine	1.86 ^c	1.73 ^d	1.87 ^c	1.88 ^c	1.93 ^b	2.12 ^a	
Histidine	0.98 ^a	0.83 ^b	0.98 ^a	0.98 ^a	0.98 ^a	1.01 ^a	
Lysine	2.02 ^b	1.88 ^c	2.03 ^b	2.04 ^b	2.04 ^b	2.11 ^a	
Arginine	2.44 ^a	2.33 ^c	2.46 ^a	2.38 ^b	2.34 ^{bc}	2.46 ^a	
Total	35.16	31.19	34.58	33.85	33.52	34.65	

¹⁾Means within the same row with different superscripts are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

Table 4. The contents of free amino acids in gamma-irradiated soybean powder (imported from China)

(unit: %)

Amino acid	Irradiation dose (kGy)						
	0	1	3	5	7	10	
Aspartic acid	0.058 ^{a,1)}	0.054 ^{bc}	0.056 ^{abc}	0.055 ^{abc}	0.057 ^{ab}	0.053 ^c	
Threonin	0.022 ^{bc}	0.028 ^a	0.025 ^{ab}	0.023 ^{bc}	0.022 ^c	0.025 ^{ab}	
Serine	0.027 ^c	0.033 ^{ab}	0.031 ^{ab}	0.030 ^{bc}	0.030 ^{bc}	0.034 ^a	
Glutamic acid	0.094 ^a	0.095 ^a	0.099 ^a	0.097 ^a	0.097 ^a	0.096 ^a	
Glycine	0.007 ^a	0.009 ^a	0.008 ^a	0.007 ^a	0.007 ^a	0.009 ^a	
Alanine	0.027 ^c	0.037 ^a	0.031 ^b	0.032 ^b	0.030 ^{bc}	0.033 ^b	
Valine	0.018 ^b	0.024 ^a	0.022 ^{ab}	0.022 ^{ab}	0.022 ^{ab}	0.023 ^a	
Methionine	0.010 ^a	0.012 ^a	0.011 ^a	0.010 ^a	0.010 ^a	0.012 ^a	
Isoleucine	0.011 ^a	0.013 ^a	0.013 ^a	0.012 ^a	0.011 ^a	0.013 ^a	
Leucine	0.068 ^d	0.081 ^a	0.077 ^b	0.076 ^{bc}	0.073 ^c	0.082 ^a	
Tyrosine	0.015 ^c	0.022 ^b	0.015 ^c	0.017 ^c	0.023 ^b	0.033 ^a	
Phenylalanine	0.045 ^c	0.054 ^b	0.045 ^c	0.051 ^b	0.052 ^b	0.064 ^a	
Histidine	0.040 ^c	0.049 ^a	0.040 ^c	0.044 ^b	0.044 ^b	0.046 ^{ab}	
Lysine	0.035 ^c	0.041 ^b	0.041 ^b	0.041 ^b	0.040 ^b	0.046 ^a	
Arginine	0.142 ^c	0.147 ^{ab}	0.142 ^c	0.145 ^{bc}	0.149 ^a	0.148 ^{ab}	
Total	0.617	0.699	0.654	0.669	0.666	0.717	

¹⁾Means within the same row with different superscripts are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

타내었고, 중국산과 미국산 대두분의 methionine은 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

유리아미노산 구성비 변화

대두분에 함유된 유리아미노산 조성을 분석해 본 결과 Table 4 및 5과 같이 총 15종의 아미노산이 정량되었다. 중국산과 미국산 모두 유리아미노산 조성을 보면 arginine, glutamic acid, leucine, aspartic acid, phenylalanine, histidine, serine, alanine 등의 순으로 나타내었다. 중국산과 미국산 대두분의 유리아미노산중 많은 비율을 차지하는 arginine, glutamic acid는 조사선량에 크게 차이는 나타나지 않았으나, aspartic acid는 다소 감소하는 경향을 보였다. 중국산 대두분의 유리아미노산 중 tyrosine, phenylalanine 및 lysine에서, 미국산 대두분의 유리아미노산 중에는 tyrosine, lysine에서 조사선량에 따

라 증가현상이 나타났으며, 나머지 glutamic acid, isoleucine, arginine 등 12종에서는 미미한 증가를 나타냈지만 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 유리아미노산은 10 kGy의 조사선량에서 약 15%정도의 증가현상이 나타나고 tyrosine, phenylalanine, lysine에서는 유의적인 차이를 보였다는 Nene 등⁽²¹⁾의 보고와 유사한 결과를 나타내었다.

지방산 조성변화

중국산과 미국산 대두분의 지방산 조성을 분석한 결과를 Table 6에 나타내었다. Table 6에서 보는 바와 같이 각 시료에서 palmitic acid를 비롯한 9종의 지방산이 확인되었으며, 두 시료에서 동일한 지방산 패턴을 보여 주었다. 포화지방산은 palmitic acid, heptadecanoic acid, stearic acid, behenic acid 4종이었고, 불포화지방산은 palmitoleic acid, oleic acid,

Table 5. The contents of free amino acids in gamma-irradiated soybean powder (imported from USA)

(unit: %)

Amino acid	Irradiation dose (kGy)					
	0	1	3	5	7	10
Aspartic acid	0.065 ^{a,1)}	0.050 ^b	0.050 ^b	0.050 ^b	0.049 ^b	0.047 ^b
Threonine	0.015 ^b	0.019 ^a	0.019 ^a	0.018 ^{ab}	0.016 ^{ab}	0.018 ^{ab}
Serine	0.021 ^b	0.027 ^a	0.027 ^a	0.028 ^a	0.026 ^a	0.026 ^a
Glutamic acid	0.070 ^a	0.071 ^a	0.069 ^a	0.068 ^a	0.068 ^a	0.068 ^a
Glycine	0.005 ^a	0.006 ^a	0.005 ^a	0.005 ^a	0.005 ^a	0.005 ^a
Alanine	0.019 ^b	0.026 ^a	0.027 ^a	0.024 ^a	0.024 ^a	0.025 ^a
Valine	0.013 ^b	0.018 ^a	0.018 ^a	0.018 ^a	0.017 ^{ab}	0.017 ^{ab}
Methionine	0.007 ^a	0.010 ^a	0.010 ^a	0.009 ^a	0.008 ^a	0.010 ^a
Isoleucine	0.009 ^{ab}	0.012 ^a	0.011 ^{ab}	0.008 ^b	0.011 ^{ab}	0.010 ^{ab}
Leucine	0.056 ^d	0.074 ^a	0.072 ^{ab}	0.068 ^c	0.069 ^{bc}	0.070 ^{bc}
Tyrosine	0.013 ^b	0.023 ^a	0.022 ^a	0.021 ^a	0.016 ^b	0.021 ^a
Phenylalanine	0.044 ^b	0.051 ^a	0.051 ^a	0.051 ^a	0.045 ^b	0.050 ^a
Histidine	0.023 ^{ab}	0.025 ^a	0.023 ^{ab}	0.021 ^b	0.021 ^b	0.022 ^{ab}
Lysine	0.026 ^b	0.032 ^a	0.033 ^a	0.031 ^a	0.032 ^a	0.032 ^a
Arginine	0.081 ^a	0.083 ^a	0.083 ^a	0.081 ^a	0.082 ^a	0.082 ^a
Total	0.467	0.526	0.519	0.502	0.489	0.504

¹⁾Means within the same row with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.**Table 6. Fatty acid compositions of soybean oil extracted from gamma-irradiated soybean powders (top: China, bottom: USA)**

(unit: relative weight %)

Fatty acid	Irradiation dose (kGy)					
	0	1	3	5	7	10
Palmitic acid	11.60 ^{c,1)}	11.79 ^{ab}	11.84 ^{ab}	11.88 ^{ab}	11.70 ^{bc}	11.94 ^a
Palmitoleic acid	0.11 ^a	0.10 ^a	0.09 ^a	0.12 ^a	0.12 ^a	0.12 ^a
Heptadecanoic acid	0.08 ^a	0.07 ^a	0.07 ^a	0.08 ^a	0.07 ^a	0.06 ^a
Stearic acid	4.05 ^{bc}	4.07 ^{ab}	4.10 ^a	4.07 ^{ab}	4.06 ^{bc}	4.03 ^c
Oleic acid	17.89 ^a	17.79 ^a	17.81 ^a	17.91 ^a	17.92 ^a	17.80 ^a
Linoleic acid	55.40 ^a	55.34 ^{ab}	55.27 ^{ab}	55.20 ^b	55.40 ^a	55.30 ^{ab}
Linolenic acid	10.02 ^a	10.01 ^a	9.98 ^a	9.96 ^a	9.95 ^a	10.00 ^a
Eicosatrienoic acid	0.37 ^a	0.36 ^{ab}	0.36 ^{ab}	0.34 ^{ab}	0.32 ^{ab}	0.31 ^b
Behenic acid	0.49 ^a	0.47 ^a	0.48 ^a	0.45 ^a	0.46 ^a	0.43 ^a
SFA ²⁾	16.22	16.40	16.49	16.48	16.29	16.46
MUFA ³⁾	18.00	17.89	17.90	18.03	18.04	17.92
PUFA ⁴⁾	65.79	65.71	65.61	65.50	65.67	65.61
Palmitic acid	11.36 ^{ab}	11.39 ^{ab}	11.41 ^{ab}	11.30 ^b	11.50 ^a	11.45 ^{ab}
Palmitoleic acid	0.11 ^a	0.12 ^a	0.12 ^a	0.13 ^a	0.12 ^a	0.13 ^a
Heptadecanoic acid	0.07 ^a	0.07 ^a	0.06 ^a	0.07 ^a	0.07 ^a	0.06 ^a
Stearic acid	3.39 ^{bc}	3.41 ^{ab}	3.43 ^a	3.41 ^{ab}	3.37 ^c	3.40 ^{abc}
Oleic acid	19.20 ^{ab}	19.23 ^a	18.95 ^c	19.03 ^{bc}	19.21 ^{ab}	19.21 ^{ab}
Linoleic acid	56.80 ^a	56.75 ^a	56.80 ^a	56.81 ^a	56.63 ^{ab}	56.55 ^b
Linolenic acid	8.54 ^{bc}	8.52 ^c	8.62 ^b	8.75 ^a	8.61 ^{bc}	8.71 ^a
Eicosatrienoic acid	0.23 ^{ab}	0.22 ^b	0.22 ^b	0.26 ^a	0.25 ^{ab}	0.24 ^{ab}
Behenic acid	0.30 ^a	0.28 ^{ab}	0.29 ^{ab}	0.24 ^b	0.25 ^{ab}	0.25 ^{ab}
SFA ²⁾	15.12	15.15	15.19	15.02	15.19	15.16
MUFA ³⁾	19.31	19.35	19.07	19.16	19.33	19.34
PUFA ⁴⁾	65.57	65.49	65.64	65.82	65.49	65.50

Fatty acids were analyzed immediately after gamma-irradiation and each value was the average of triplicate determinations.

¹⁾Means within the same row with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.²⁾SFA: total saturated fatty acids.³⁾MUFA: total monounsaturated fatty acids.⁴⁾PUFA: total polyunsaturated fatty acids.

linoleic acid, linolenic acid, eicosatrienoic acid 5종이었다. 비조사처리된 대조구에 있어서 중국산과 미국산 대부분의 주

요 지방산은 linoleic acid(18:2) 약 55~56%, oleic acid (18:1) 17~19%, palmitic acid(16:0) 11~12%로 나타나

Table 7. The contents of free sugars in gamma-irradiated soybean powders (top : China & bottom : USA)

(unit: %)

Free sugar	Irradiation dose (kGy)					
	0	1	3	5	7	10
Stachyose	1.71 ^{a,1)}	1.51 ^c	1.58 ^{bc}	1.70 ^a	1.72 ^a	1.65 ^{ab}
Raffinose	0.34 ^{bc}	0.33 ^c	0.34 ^{bc}	0.37 ^{ab}	0.38 ^a	0.38 ^a
Glucose	0.58 ^c	0.50 ^d	0.82 ^a	0.83 ^a	0.71 ^b	0.81 ^a
Galactose	1.35 ^{cd}	1.17 ^e	1.38 ^c	1.50 ^a	1.42 ^b	1.32 ^d
Fructose	0.55 ^c	0.70 ^b	0.78 ^a	0.80 ^a	0.70 ^b	0.83 ^a
Sucrose	5.27 ^a	4.71 ^d	4.59 ^e	5.13 ^b	5.05 ^c	4.67 ^d
Total	9.80	8.92	9.49	10.33	9.98	9.66
Stachyose	2.56 ^a	1.84 ^d	1.94 ^c	1.95 ^c	2.06 ^b	2.04 ^b
Raffinose	0.39 ^a	0.33 ^b	0.33 ^b	0.34 ^b	0.35 ^b	0.35 ^b
Glucose	0.11 ^a	0.13 ^a	0.10 ^a	0.11 ^a	0.11 ^a	0.11 ^a
Galactose	1.49 ^a	1.45 ^a	1.46 ^a	1.40 ^a	1.46 ^a	1.46 ^a
Fructose	0.06 ^a	0.08 ^b	0.05 ^{ab}	0.05 ^c	0.04 ^{ab}	0.05 ^{ab}
Sucrose	6.42 ^a	5.61 ^c	5.79 ^b	5.59 ^c	5.84 ^b	5.80 ^b
Total ¹⁾	11.03	9.44	9.67	9.44	9.86	9.81

¹⁾Means within the same row with different superscripts are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

Table 8. The effect of gamma-ray irradiation on acid value of soybean powders

(unit: KOH/g)

Sample	Irradiation dose (kGy)					
	0	1	3	5	7	10
Soybean powder (China)	4.42 ^{a,1)}	4.28 ^{ab}	4.08 ^c	4.27 ^{ab}	4.13 ^{bc}	4.40 ^a
Soybean powder (USA)	1.53 ^a	1.40 ^a	1.08 ^b	1.07 ^b	1.22 ^b	1.13 ^b

¹⁾Means within the same row with different superscripts are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

등⁽²²⁾과 김 등⁽²³⁾의 결과와 일치하였다. 조사처리에 따른 지방산 조성의 변화를 살펴보면, 방사선이 조사된 시료의 경우 10 kGy까지의 조사선량에서는 비조사구와 지방산 조성에서 유의적인 변화를 보이지 않았다. 이러한 결과는 Hefez 등⁽²⁴⁾의 보고에서 20 kGy까지의 조사선량으로는 포화지방산 및 불포화지방산의 변화가 없었다는 결과와 일치하였다.

유리당 조성변화

대두분의 유리당을 분석한 결과 stachyose, sucrose, fructose, raffinose, glucose, galactose가 확인되었고, 주된 유리당으로는 중국산과 미국산 모두 sucrose, stachyose, galactose이었다. 유리당 함량은 미국산이 약 11%로서 약 9.8%인 중국산보다 조금 높았다. 감마선 조사에 따른 대두분의 유리당 조성의 변화는 Table 7에 나타내었다. Table 7에 나타낸 바와 같이 감마선 조사된 중국산 및 미국산 대두분에서 조사선량이 증가함에 따라 stachyose, sucrose가 공히 감소하는 경향이 나타났으나 그 외의 당들은 큰 변화가 없었다. 변 등⁽²⁵⁾은 감마선 조사된 대두의 침지동안 가용성 성분의 감소여부 실험에서 감마선 조사시 다당류의 함량이 단당류로 변환한다는 결과를 볼 때 이는 다당류 분자들이 방사선 조사시 사슬이 짧아지고 감소되는 경향에 기인된 것으로 사료된다고 보고하였다.

산가의 변화

감마선 조사된 대두분의 산가를 측정된 결과를 Table 8에 나타내었다. Table 8에서 보는 바와 같이 중국산 및 미국산

대두분의 조사처리구별 산가는 다소 감소하는 경향을 보였다.

요 약

분말상 원료인 대두분의 저장유통시 발생할 수 있는 품질 변화를 최소한으로 줄이고 안전성을 확보하기 위해서 감마선 조사를 실시하고 대두분의 미생물학적 및 이화학적 특성을 연구하였다. 감마선 조사(1~10 kGy)한 대두분의 미생물학적 및 이화학적 특성을 평가하기 위해 총세균수, 곰팡이, 아미노산, 지방산조성, 유리당조성, 산가 등의 변화를 조사하여 살균효과 및 품질에 미치는 영향을 비교 검토하였다. 즉 2종의 수입산 대두분의 경우 3~5 kGy 조사로써 곰팡이를 완전히 사멸할 수 있었고, 총균수에 있어서도 미생물학적으로 안전한 수준이하로 살균이 가능하였다. 총아미노산의 경우 함량 아미노산인 cysteine이 감소하는 경향을 나타내었다. 유리아미노산, 지방산은 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 감마선 조사에 따른 대두분의 유리당 조성의 변화는 조사선량이 증가함에 따라 stachyose, sucrose가 감소하는 경향이 나타났으나 나머지 당들은 변화가 없었다. 이상의 결과에서 두부 제조 원료로 대두분말이 허용됨에 따라 발생할 수 있는 안전성 문제는 감마선을 3~5 kGy 수준의 선량으로 조사함으로써 품질변화 없이 해결할 수 있는 가능성이 인정되었다.

문 헌

1. Korea Food and Drug Administration. Standards and specifica-

- tions for individual food categories 7. Bean curd and starchy jelly products, p. 218. In: Food Code. (2001)
2. Kim, C.J., Lee, C.C. and Johnson, L.A. Factors affecting lipid oxidation in full-fat soy flour. Korean J. Food Sci. Technol. 23: 732-738 (1991)
 3. Chang, Y.S., Cho, K.Y. and Chang, H.G. Changes of lipids in whole soybean and soy flour during storage. Korean J. Food Sci. Technol. 19: 305 (1987)
 4. Byun, M.W. Radurization and radication of spices. Korean J. Food Sci. Technol. 17: 311-318 (1985)
 5. Byun, M.W., Yook, H.S., Kwon, J.H. and Kim, J.O. Improvement of hygienic quality and long-term storage of dried red pepper by gamma irradiation. Korean J. Food Sci. Technol. 28: 482-489 (1996)
 6. UNEP. Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. p. 294. 1994 Report of Methyl Bromide Technical Options Committee (1995)
 7. Vajdj, M. and Pereire, R.R. Comparative effects of ethylene oxide, γ -irradiation and microwave treatments on selected spices. J. Food Sci. 38: 893-895 (1973)
 8. Codex Alimentarius Commission. Codex General Standard for Irradiated Foods and Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities Used for the Treatment of Foods. CAC/VOL. XV, FAO, Rome (1984)
 9. IAEA. Clearance of item by name. Food Irradiation Newsletter. 20(2): Supplement-2 (1996)
 10. Kwon, J.H. Prospect on international status and practical use of food irradiation. Food Ind. 133: 18-49 (1996)
 11. Korea Food and Drug Administration. Test method in general 18. Test method for characteristics (organoleptical test). p. 435. In: Food Code (separate volume) (2001)
 12. American Public Health Association. Compendium of methods for the Microbiological Examination of Foods. M. Speck (ed.), APHA, Washington, D.C., p.75 (1992)
 13. Harrigan, W.F. and Mccance, M.E. Laboratory Methods in Food and Dairy Microbiology. p. 139. Academic Press, London, UK (1976)
 14. Korea Food and Drug Administration. Test method in general 1. Test method for common compound 3) Nitrogen compound, p. 15. In: Food Code (separate volume) (2001)
 15. Korea Food and Drug Administration. Test method in general 1. Test method for common compound 3) Nitrogen compound, p. 17. In: Food Code (separate volume) (2001)
 16. Korea Food and Drug Administration. Test method in general 1. Test method for common compound 4) Lipid, p. 25. In: Food Code (separate volume) (2001)
 17. AOAC. Official Methods of Analysis, 14th. ed., Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, USA (1984)
 18. Byun, M.W. Radurization and radication of Spices. Korean J. Food Sci. Technol. 17: 311-318 (1985)
 19. Lee, M.K. Effects of electron beam irradiation on the quality of red pepper and ginseng powder. M.S. thesis, Kyungpook National. Univ., Daegu (1997)
 20. Lee, J.E. Effects of electron beam irradiation on the radication and quality of ginseng powder. M.S. thesis, Kyungpook National. Univ., Daegu (1997)
 21. Nene, S.P., Vakil, U.K. and Sreenivasan, A. Effect of gamma-irradiation on red gram (*Cajanus cajan*) proteins. J. of Food Sci. 40: 815-819 (1975)
 22. Yoon, T.S., Lim, K.J. and Kim, D.H. Fatty acid composition of lipids obtained from Korean soybean varieties. Korean J. Food Sci. Technol. 16: 375 (1984)
 23. Kim, J.G. Studies on the Nutrients and cooking characteristics of korean beans. Ph.D. dissertation, Dankook Univ., Seoul (1986)
 24. Hafez, T.S., Mohamed, A.I., Hewedy, F.M. and Singh, G. Effect of microwave heating on solubility, digestibility and metabolism of soy protein. J. Food Sci. 50: 415 (1985)
 25. Byun, M.W., Kang, I.J. and Tomohiko, M. Effect of γ -irradiation of the water soluble components of soybeans. Radiat. Phys. Chem. 47: 155-160 (1996)

(2002년 8월 28일 접수; 2002년 12월 5일 채택)