

감마선 조사된 대두의 이화학적 품질 특성

이현자 · 김정옥* · 육홍선** · 변명우**

국립안성산업대학교 가정학과

*세종대학교 가정학과, **한국원자력연구소

Physicochemical Properties of Gamma-Irradiated Soybeans

Hyun-Ja Lee, Jung-Ok Kim*, Hong-Sun Yook** and Myung-Woo Byun**

Department of Home Economics, National Anseong University

*Department of Home Economics, King Sejong University

**Korea Atomic Energy Research Institute

Abstract

Some physicochemical properties of gamma-irradiated soybeans (0-20 kGy) were investigated. Proximate components, fatty acid compositions and minerals of the soybeans irradiated at 2.5 - 20 kGy showed no difference from the nonirradiated control. Irradiation doses above 10 kGy and long term storage caused decrease in extractable phenols and phytate content, whereas increases in acid value and organic acid content. The total amino acids content of the soybeans irradiated up to 10 kGy was not changed as compared with the nonirradiated control. Sulfur-containing amino acids, however, were changed by 10 and 20 kGy irradiation. Gamma irradiation and long term storage caused minor changes in the color attributes of soybeans. Hunter's "L" (lightness) and "b" (yellowness) values were decreased whereas "a" (redness) value was increased with increasing dose levels and the elapse of the storage period.

Key words: gamma-irradiated soybeans, physicochemical properties

서 론

두류는 단백질과 지방 함량이 높고 그 품질이 우수하며 또한 비타민 B군과 무기질의 경제적 공급원으로 쌀, 보리 등 곡류를 주식으로 하는 동양인에게는 중요한 영양원이 되고 있다. 특히 콩 단백질에는 곡류의 제한 아미노산인 lysine 함량이 비교적 높게 함유되어 있어 이의 공급원으로서도 중요한 식품 자원이다^(1,2). 두류는 수확 후 건조된 상태로 저장하면서 침지와 가열과정을 거쳐 가공, 조리된다. 침지는 조직을 연하게 하여 조리, 가공 시간을 단축시키는 효과가 있으며, 가열은 소화저해 인자나, 콩 특유의 비린 냄새에 관련된 효소를 불활성화시키고 조직을 연하게 하여 기호성을 증진시켜 준다^(3,4). 이와 같이 두류의 식품가공을 위한 침지과정은 필수적이거나 장시간의 침지는 수용성 영양소의 손실과 많은 노력 및 시간의 소비를 가져와

경제적 불이익을 초래한다. 그동안 침지 및 조리시간의 단축을 위한 연구가 많이 수행되었으나^(5,7) 국내 식품가공업계에서 이의 이용을 위해서는 경제적, 실용성 등이 결여되어 실용화가 되지 않고 있는 실정이며, 이의 해결을 위해 최근 감마선 조사에 의한 대두의 물성개선(침지시간 및 조리시간 단축, 가공적성) 연구가 수행되었다^(8,11). 새로운 식품가공 및 저장 방법으로 알려진 감마선 조사는 이용대상 식품에 대한 생장억제, 속도조정, 저장수명 연장, 살충, 살균 및 건조식품의 물성개선 등에 효과가 탁월하다는 것이 인정되고 있으며, 국제기구(FAO/IAEA/WHO, FDA)와 선진 여러 나라에서 그 건전성과 경제성이 공인되어 현재 38개국에서 40여 식품군(200여 품목)이 각국 보건 당국에 의해 허가되어 실용화되고 있다. 또한 국내에서도 상업적 식품조사시설이 준공(1987년)되었고, 보건복지부의 건전성허가('87, '88, '91, '95)로 일부 식품들이 감마선 처리되고 있다⁽¹²⁾.

따라서 본 연구는 식물성 단백질 및 지방질의 주요 급원인 대두의 해충구제 및 물성개선이 확인된 감마

Corresponding author: Myung-Woo Byun, Dept. of Food Irradiation, Korea Atomic Energy Research Institute, Yusung P.O. Box 105, Taejeon 305-600, Korea

선 조사선량^(8,11)에서의 이화학적, 영양적 특성변화를 조사한 결과이다.

재료 및 방법

시료

본 실험에 사용된 두류는 식품가공용으로 가장 많이 이용되고 있는 황색대두(품종 : 황금)를 대상으로 하였다. 시료 콩은 1994년도 강원도 농촌진흥원으로부터 수확된 것을 제공받았으며 콩 100립 중량은 약 25-30 g 내외이었다.

감마선 조사 및 저장

시료의 감마선 조사는 조사선량의 오차를 줄이기 위해 원통형 PVC 용기(φ5 cm × H 8 cm)에 담고 한국 원자력연구소내 선원 10만 Ci Co-60 감마선 조사시설을 이용하여 실온에서 시간당 2.5 kGy의 선량률로서 2.5 kGy, 5 kGy, 10 kGy, 20 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 흡수선량의 확인은 ceric cerous dosimeter를 이용하였고⁽¹³⁾ 총 흡수선량의 오차는 ±5% 내외이었다. 감마선 조사된 시료는 비조사 대조시료와 함께 실온에 저장하면서 60 mesh로 분쇄한 후 실험에 사용하였다.

일반성분 분석

콩의 일반성분으로 수분, 단백질, 조지방, 조회분은 AOAC⁽¹⁴⁾방법에 의하여 측정하여 백분율로 나타내었다.

질소용해도 측정

콩가루 5 g에 증류수 200 ml를 가하여 30°C에서 120분간 stirring한 후 증류수를 가하여 전량을 250 ml로 하였다. 이 시험액을 원심분리(3,000 rpm, 10 min)하여 상층액을 얻고 micro-Kjeldahl법으로 dispersible nitrogen을 정량하여 질소용해도(nitrogen solubility index)를 다음 식에 의하여 환산하였다.

$$NSI(\%) = \frac{\text{Dispersible N}}{\text{Total N}} \times 100$$

산가 및 유기산 정량

산가(acid value)는 콩가루 10 g을 Soxhlet 장치를 이용하여 petroleum ether로 8시간 동안 조지방을 추출하고 60°C에서 1시간동안 진공건조한 후 추출 지방의 중량을 결정하였다. 추출된 지방에 benzene/ethanol (1 : 1,

v/v) 용액 30 ml를 가해 용해한 후 포화 NaCl 10 ml와 1% phenolphthalein 용액 2~3방울을 가하여 0.1 N KOH-ethanol로 중화적정하여 산가를 계산하였다⁽¹⁵⁾.

유기산 정량은 콩가루 5 g을 200 ml 삼각 flask에 평취하고 80% ethanol 50 ml를 가하여 실온에서 30분간 교반한 후 여과하였다. 이 여액 25 ml에 증류수 25 ml를 가한 후 pH meter (Corning Model 120)를 사용 0.05 N NaOH로 적정하여 시료 100 g당 citric acid 함량(mg)으로 나타내었다⁽¹⁵⁾.

추출성 phenols 및 phytate 정량

추출성 phenol 함량은 콩가루 시료 5 g에 80% ethanol 70 ml를 가하여 실온에서 3시간 교반 추출한 후 여과하여 80% ethanol로 전량을 100 ml로 하였다. 이와 같이 추출된 polyphenol성 화합물의 함량은 Folin-Denis 시약을 이용한 비색법⁽¹⁶⁾으로 정량하여 시료 g당 tannic acid 함량(mg)으로 나타내었다.

Phytate 정량은 콩가루 시료 5 g에 2.4% HCl 100 ml를 가하여 실온에서 1시간 추출한 후 여과하여 2.4% HCl 추출물을 얻었다. 이 추출물을 이용하여 ion-exchange를 이용한 비색법⁽¹⁷⁾으로 정량하였다.

아미노산, 지방산 및 무기질 분석

총 아미노산 함량은 시험관(2 cm × 20 cm)에 시료 일정량을 정확히 칭량하여 6 N HCl 10 ml를 가하고 질소가스를 충전한 뒤 15 psi, 121°C에서 3시간 동안 가수분해 시켰다. 가수분해물은 Whatman filter paper No.2와 membrane filter (0.45 μm)로서 각각 여과한 다음 cartridge C₁₈을 사용하여 유기산, 지방질, 색소 등을 제거한 후 아미노산 자동분석기로 분석하였다⁽¹⁸⁾.

지방산 분석은 분말시료를 원통여지(Whatman, 26 mm × 10 mm)에 넣고 diethyl ether를 가하여 Soxhlet 추출법으로 16시간 연속 추출한 후 감압농축시켜 추출하였다. 추출된 조지방질을 Metcalf 등⁽¹⁹⁾의 방법으로 petroleum ether에 용해시켜 GLC로 분석하였다.

무기질 함량은 시료 일정량을 습식분해법⁽²⁰⁾에 따라 전처리한 뒤 Ca, Mg, K, Na, Fe, Cu, Zn는 원자흡광분석기를 사용하였고, P는 Molybden blue 비색법⁽²¹⁾에 따라 정량하였다.

색도 측정

콩의 색도는 60 mesh로 분쇄된 가루와 콩자체(whole soybean)를 color & color difference meter (Model No. 100/DP, Nippon Denshoku Kogyo Co., Ltd.)를 사용하여 Hunter scale에 의한 L (명도), a (적

색도), b (황색도) 및 E (색차) 값을 측정하였고 이 때 사용한 표준백판 (standard plate)은 L값이 90.6, a값이 0.4, b값이 3.3이었다.

결과 및 고찰

일반성분

본 실험에 사용된 대두의 일반성분은 수분함량이 약 9%, 조단백질과 조지방 함량이 각각 약 37%와 22% 이상으로 높은 함량을 나타내어 두류는 쌀, 보리 등의 곡류를 주식으로 하는 한국인에게 우수한 단백질 공급원 및 열량원이 될 수 있음을 알 수가 있었다. 한편 감마선 조사에 의한 대두의 일반성분 함량의 변화는 비조사군과 유의적인 차이를 보이지 않았다 (Table 1). 이러한 결과는 Hossain 등⁽²²⁾의 살충을 목적으로 한 0.5~3 kGy의 감마선 조사는 두류와 소맥의 일반성분 조성에 큰 영향을 미치지 않았다는 보고와 일치한다.

질소 용해도

일반적으로 두류는 장기저장이나 고온다습 등의 불량한 조건에 저장시 두류 단백질의 변성으로 단백질 용해성이 저하된다⁽²³⁾. 본 실험에서 대두의 질소 용해도는 약 89% 정도로서 일반적인 두류의 단백질 용해도가 90% 내외인 것과 비슷한 수치를 나타내었다. 감마선 조사에 따른 질소용해도의 영향을 보면 5 kGy 선량 조사까지는 비조사군과 차이가 없었으나, 20 kGy 고선량 조사로서는 비조사군에 비해 약 2% 정도의 감소현상을 보였다. 실온에서 1년 저장된 콩의 질소 용해도는 저장 직후보다 모든 시험군에서 감소되었고, 감마선 조사에 따른 영향은 없었다 (Table 2). Saio 등⁽¹⁹⁾은 고온 다습 조건에 저장시 질소 용해도와 단백질 추출성이 저하되었다고 하였으며, Hafez 등⁽²⁴⁾은 대두에 0, 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80 및 100 kGy의 감마선을 조사했을 때 20 kGy 이상의 조사선량에서 질소용해도가 감소되었고, 이러한 현상은 수분함량이 높은 시료일수록 그 경향이 뚜렷하였다고 보고하였

Table 1. Proximate compositions of gamma-irradiated soybeans¹⁾

Irradiation dose (kGy)	Components (%)				
	Moisture	Crude protein	Crude lipids	Carbohydrates	Ash
0	9.01	37.36(41.06) ²⁾	22.57(24.80)	26.47(29.09)	4.59(5.04)
2.5	9.09	37.38(41.12)	22.39(24.63)	26.65(29.31)	4.49(4.94)
5	8.99	37.31(41.00)	22.60(24.83)	26.67(29.30)	4.43(4.87)
10	8.95	37.10(40.75)	22.61(24.83)	26.70(29.32)	4.64(5.10)
20	8.96	36.90(40.53)	22.59(24.81)	26.96(29.61)	4.59(5.04)

¹⁾Each value is the average of triplicates

²⁾Parenthesis values are expressed in dry basis

Table 2. Some physicochemical properties of gamma-irradiated soybeans¹⁾

Parameter (unit)	Storage period (year)	Irradiation dose (kGy)				
		0	2.5	5	10	20
NSI(% ²⁾)	0	89.97	89.97	89.97	89.52	87.68
	1	87.23	87.25	87.03	86.79	85.34
Acid value (KOH mg/g)	0	0.11	0.11	0.14	0.14	0.16
	1	0.19	0.19	0.23	0.27	0.34
Organic acid (mg citric acid/100 g)	0	32.11	31.90	32.32	32.61	34.74
	1	38.96	38.78	39.05	39.37	39.96
Extractable phenols (mg tannic acid/g)	0	1.49	1.40	1.42	1.41	1.38
	1	1.31	1.32	1.30	1.31	1.26
Phytic acid (g/100 g)	0	1.16	1.15	1.15	1.14	1.13
	1	1.07	1.07	1.05	1.01	0.98

¹⁾Each parameter was analyzed immediately after gamma irradiation and after one year of storage at FT following irradiation, and each value was the average of triplicate determinations

²⁾NSI: Nitrogen solubility index

다. 이는 시료중에 함유된 물의 감마선 분해에 의해 생성된 활성유리기의 증가로 단백질 분자내의 다른 기와 작용하여 단백질의 응고현상이 일어났기 때문으로 생각된다. Diehl 등⁽²⁵⁾, Alexander 등⁽²⁶⁾도 구상단백질의 감마선 조사는 단백질 응고형성의 원인이 된다고 보고하였다. 특히 대두에 전자파(electromagnetic wave)의 일종인 microwave 조사시 대두단백질 용해성이 크게 저하되어 탈이온수에서 비조사군의 80.3%가 17.5%로 0.6 M NaCl 용액에서 15.4%, 0.2 M CaCl₂ 용액에서는 12.0%로 심하게 감소되었다는 보고가 있다⁽²⁴⁾. 따라서 본 실험에서 대두의 질소 용해도는 물성개선을 위해 요구되는 감마선 조사선량(10 kGy 내외)에서는 거의 영향을 받지 않았고 저장기간에 따른 영향이 더 컸다.

산가 및 유기산 함량

감마선 조사된 대두의 조사 직후 산가(acid value, KOH mg/g)의 경우 비조사군과 2.5 kGy 조사군은 0.11, 5 kGy와 10 kGy는 0.14, 20 kGy는 0.16으로 조사선량의 증가와 함께 높은 수치를 나타냈다. 실온에서 1년 저장 후에는 모든 시험군이 조사 직후에 비해 산가가 증가되었으며, 감마선 조사선량에 따른 변화는 조사 직후와 동일한 경향을 보였다(Table 2).

적정산도(acidity)를 citric acid로 환산한 유기산 함량에 있어서는 감마선 조사 직후 비조사군이 32.1이었고, 앞의 산가에서와 같이 감마선 조사선량의 증가와 함께 높은 수치를 나타내었으며, 특히 20 kGy의 고선량 조사로서는 그 함량이 34.7%로 증가하였다. 실온에서 1년 저장 후에는 산가와 동일한 경향으로 모든 시험군에서 저장초기에 비해 유기산 함량이 증가되었고 조사선량에 따른 경향은 유사하였다(Table 2). 두류의 지방질 성분의 변화는 고온다습 등 열악한 조건이나 저장기간의 경과와 더불어 지방과 지방산의 가수분해에 의해 산가의 증가와 지방산의 산화나 다른 생물학적 과정의 활성으로 유기산 함량이 증가되는 등 그 변화가 심하다고 보고되고 있다^(15,27). 특히 감마선 조사는 지방질 성분에 미치는 영향이 큰 것으로 보고되고 있는데, 감마선 조사에 의해 생성된 유리기는 유지의 자동산화에 크게 관여하고 조사 전후의 산소의 존재는 지방질 산패를 촉진시키는 것으로 보고되고 있다⁽²⁵⁾. Nawar⁽²⁸⁾는 natural fats의 감마선 분해는 model systems의 경우보다 복잡하며, 일반적으로 complex foodstuffs에서 감마선에 의해 야기되는 변화는 순수한 화합물에서보다 그 변화가 적다고 보고되고 있다⁽²⁴⁾.

추출성 phenols 및 phytate 함량

두류의 hardening의 복합적 작용은 초기 저장동안 phytate 상실이 최소의 영향인자로 작용하며, 저장기간의 경과와 더불어 phenol 대사가 주요한 인자로 작용한다는 보고가 있다⁽²⁹⁾. Hentages 등⁽³⁰⁾도 hard-to-cook defect 형성의 원인은 phytate, minerals, pectin과 관련이 있다고 하였다. 본 실험에서 감마선 조사 직후 대두의 추출성 phenols 함량은 비조사군에 비해 감마선 조사군은 조사선량의 증가와 더불어 다소의 감소현상을 나타내었고, 실온에서 1년 저장 후에는 모든 시험군에서 조사 직후에 비해 감소되었으며 감마선 조사선량에 따른 변화는 저장초기와 동일한 경향이었다(Table 2). 일반적으로 조리된 콩의 경도는 추출성 phenols 함량에 영향을 받으며 phenols 함량이 높으면 더 낮은 hardness를 보이나 단지 그 함량이 어느 한계점 이하에서부터 hard-to-cook 현상이 일어나며, 또한 콩가루를 높은 상대습도하에 저장하면 분석기능한 tannic acids 함량의 감소가 뚜렷하였다는 보고도 있다⁽²⁹⁾. Kadam 등⁽³¹⁾은 winged bean이 숙성도가 증가할수록 polyphenol 함량이 감소되어 조리 시간의 증가를 수반하였다고 하며, 수확후 저장동안 나타난 추출성 phenolic 물질의 변화는 불용성의 고분자 중합체의 생성⁽³¹⁾이나 탄수화물 matrix⁽³²⁾나 단백질과의 결합에 의한 것으로 보고되고 있다⁽³³⁾. 추출성 phenols의 이러한 변화는 저장동안 앞에서 열거한 화합물의 중합의 증가와 polyphenolic 화합물의 산화에 의해 생성된 lignin 즉 lignification (목질화)과 같은 과정으로 설명되며 lignification은 효소적(cell wall bound peroxidase) 혹은 비효소적으로 일어날 수 있다고 한다⁽²⁹⁾.

감마선 조사와 저장에 의한 대두의 phytate 함량변화는 앞의 추출성 phenols 함량의 변화와 동일한 경향을 나타내어 감마선 조사 직후 비조사군에 비해 10 kGy 이상의 고선량 조사와 1년 저장후 모든 시험군에서 감소되는 현상을 보였다(Table 2). 콩의 저장중 phytate 상실 역시 long cooking 시간과 관련이 있다고 보고되고 있다^(29,30,34,35). Phytate는 콩자엽의 protein bodies에 위치하여 2가 양이온으로 chelate되어 있다. 콩을 높은 온도와 상대습도에서 저장동안 metabolic activity, phytase activation과 membrane 파괴가 증가된다. Membrane이 파괴된 후 phytase에 의해 phytin으로부터 가수분해된 Ca과 Mg이온이 middle lamella에 위치한 pectic 물질에 확산되어 불용성의 pectate salts 형태로 되고, pectin 용해성의 감소는 조리 시간을 증가시킬 수 있다. Jones와 Boulte⁽³⁶⁾는 hard-to-cook black beans에서 pectin 용해성과 pectin esterification이 감소

됨을 보고하였다. 또 다른 hard-to-cook 현상의 요인으로는 탄수화물과 단백질의 용해성 감소도 관련이 있으며 콩의 조리 시간은 soluble sugar와는 역의 관계, protein 함량과는 정의 관계라는 보고도 있다⁽³⁷⁾. 콩의 감마선 조사에 의한 phytate 함량변화는 Ahmed 등⁽³⁸⁾이 chickpea와 mungbean에 5 kGy까지 조사했을 때 phytate 함량의 감소를 보고하였다. 이는 조사에 의한 membrane의 파괴가 그 원인으로 생각되며 본 실험에서도 유사한 결과를 나타내었다.

아미노산 조성

두류는 곡류를 주식으로 하는 우리 식생활에서 단백질과 특히 일반적인 곡류의 제한 아미노산인 lysin의 주요 공급원이다. 본 실험에서 콩피를 포함한 대두에 함유된 단백질의 구성 아미노산 17종을 정량하였으며, 총 아미노산 함량은 비조사군과 2.5 kGy 조사군이 39.9%, 5~20 kGy 조사군이 41.0~41.6%였다. 대두의 아미노산 조성을 보면 산성 아미노산인 glutamic acid가 8.2~8.7%로 가장 높았으며 다음으로 aspartic acid가 4.4~4.7%였고, proline, leucine, serine, arginine의 순으로 높은 함량을 나타냈다. 반면 함황 아미노산인 methionine과 cysteine은 낮은 함량을 나타내어(Table 3), 기존에 보고된 국내외의 콩 아미노산 조성비율과 유사한 경향을 보였다. 콩의 아미노산 함량에 대한 감마선 조사의 영향은 함황 아미노산인 methionine과 cysteine이 조사선량의 증가와 함께 유의적인 감소를 나타내었다. 10 kGy 조사된 밀⁽³⁹⁾과 50 kGy 조사된 밀기울⁽⁴⁰⁾, 10~30 kGy 조사된 red gram 콩⁽⁴¹⁾ 및 반 건조된(40% 수분 함유) 새우의 2.5 kGy 조사⁽⁴²⁾는 총 단백질과 총 아미노산 함량에는 큰 영향을 미치지 않았다고 한다. 그러나 밀에서 어떤 아미노산의 손상이 있었다는 보고도 있으며⁽⁴³⁾, 단백질에서 sulfhydryl (-SH)과 disulfide (-S-S)기는 분명히 조사에 의해 더 영향을 받기 쉬운 것으로 보고되고 있다⁽⁴⁴⁾. Khattak⁽⁴⁵⁾도 두류와 곡류의 5 kGy 조사로서 함황 아미노산이 특히 두류에서 불안정함을 보고하였고, Abdel-Rahim 등⁽⁴⁶⁾도 broad beans에 5 kGy까지의 조사는 methionine, cysteine, arginine, phenylalanine, lysine이 감소되었다고 하며 이러한 결과는 본 실험에서도 유사한 경향을 나타내었다. 한편 본 실험에서 대두의 tyrosine 함량은 감마선 조사로서 다소 증가됨을 나타내었는데, 감마선 처리가 산 가수분해동안 tyrosine의 유리를 가속화하였기 때문으로 생각되며 이는 Nene 등⁽⁴¹⁾의 결과와 일치하였다. 또한 본 연구에서는 수행되지 않았으나 조사된 곡류나 두류의 소화율 및 영양이용률은 비조사군에 비해 증가되며 이는 조사

Table 3. Total amino acid contents of gamma-irradiated soybeans¹⁾

Amino acid	Irradiation dose (kGy)				
	0	2.5	5	10	20
Aspartic acid	4.537	4.422	4.710	4.605	4.558
Threonine	1.446	1.463	1.561	1.490	1.504
Serine	2.080	2.006	2.147	2.072	2.071
Glutamic acid	8.434	8.230	8.718	8.690	8.583
Glycine	1.613	1.641	1.703	1.728	1.700
Alanine	1.788	1.747	1.821	1.821	1.803
Cysteine	0.530	0.535	0.424	0.291	0.407
Valine	1.616	1.630	1.742	1.661	1.685
Methionine	0.287	0.342	0.257	0.142	0.058
Isoleucine	1.475	1.456	1.550	1.498	1.532
Leucine	2.920	2.977	3.069	3.080	3.080
Tyrosine	0.979	0.994	1.047	1.074	0.990
Phenylalanine	1.842	1.897	2.031	1.998	1.957
Lysine	2.557	2.562	2.667	2.641	2.705
NH ₃	0.955	0.936	0.965	1.404	1.090
Histidine	0.954	0.969	1.032	1.001	1.006
Arginine	3.111	3.142	3.196	3.258	3.260
Proline	2.829	2.917	3.016	2.867	3.053
Total	39.954	39.867	41.656	41.321	41.041

¹⁾Total amino acid was analyzed immediately after gamma irradiation and each value was the average of triplicate determinations and expressed as the percentage of the sample on a dry basis

에 의한 단백질의 분해로 소화효소 작용이 용이해지고 trypsin inhibitor와 같은 항영양인자의 부분적 파괴가 그 원인인 것으로 보고되고 있다⁽⁴¹⁾.

지방산의 조성

감마선 조사된 대두에서 추출된 총 지방질의 지방산 조성은 Table 4와 같다. 분석된 주요 구성지방산으로는 linoleic이 53.9~54.7%로 가장 많았으며, oleic이 약 22%, palmitic과 linolenic이 약 10%, stearic이 약 3.0%, arachidic이 0.22~0.26%, palmitoleic과 heptadecanoic이 0.05~0.08%의 순으로 윤 등⁽⁴⁷⁾과 김 등⁽⁴⁸⁾의 한국산 대두의 지방산 조성에 대한 보고와 매우 유사한 경향을 나타내었다.

감마선 조사에 의한 대두의 지방산 조성의 변화는 본 실험에서 물성개선을 위해 사용된 20 kGy까지의 조사선량으로는 포화지방산 및 불포화지방산의 변화가 없었으며 이러한 결과는 Hefez 등⁽²⁴⁾의 보고와 일치하였다. 지방질의 감마선 조사에 의한 분해는 natural지방질이 model system의 경우보다 더 복잡함대 이는 natural지방이 단백질, 탄수화물 등의 다른 성분들과의 결합으로 감마선 조사에 따른 지방질의 안전

성에 차이가 있다⁽²⁶⁾. 일반적으로 곡류나 oilseeds에 고선량의 방사선 조사는 지방에 어떤 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 밀가루에 100 kGy의 감마선 조사는 불포화 지방산과 carotenoids, tocopherols의 함량을 감소시켰으며⁽⁴⁹⁾, 또한 대두유에 60 kGy의 감마선 조사는 linoleic acid를 분해하여 C_{17:2}와 C_{16:3}, oleic acid로 부터 C_{17:1}, C_{17:3} 과 C_{16:1}의 탄화수소들을 생성하였다고 한다⁽⁵⁰⁾.

Table 4. Fatty acid compositions of the total lipid of soybeans¹⁾ (unit: relative weight %)

Fatty acid	Irradiation dose (kGy)				
	0	2.5	5	10	20
Palmitic (16:0)	9.94	10.04	9.96	10.02	10.09
Palmitoleic (16:1)	0.07	0.06	0.07	0.05	0.08
Heptadecanoic (17:0)	0.08	0.07	0.08	0.05	0.08
Stearic (18:0)	2.86	3.03	3.05	3.13	3.05
Oleic (18:1)	22.31	22.26	22.91	22.45	22.40
Linoleic (18:2)	54.69	54.38	53.95	54.24	54.14
Linolenic (18:3)	9.81	9.90	9.75	9.78	9.93
Arachidic (20:0)	0.25	0.25	0.23	0.26	0.22
TUFA ²⁾	86.81	86.54	86.61	86.47	86.47
PUAF ³⁾	64.50	64.28	63.70	64.02	64.07

¹⁾Fatty acid was analyzed immediately after gamma irradiation and each value was the average of triplicate determinations

²⁾Total unsaturated fatty acids

³⁾Polyunsaturated fatty acids (18:2+18:3)

Table 6. Changes in color parameters of gamma-irradiated soybeans¹⁾

Sample period (year)	Storage	Hunter's color value ²⁾	Irradiation dose (kGy)				
			0	2.5	5	10	20
Whole soybeans	0	L	53.60	53.20	52.33	52.20	52.04
		a	6.20	6.76	6.84	7.00	7.01
		b	21.40	20.84	20.46	20.25	19.96
		ΔE	0.00	0.89	1.70	1.87	2.27
	1	L	52.10	52.21	52.03	51.80	50.95
		a	7.02	7.10	7.12	7.50	8.10
		b	20.53	20.57	20.30	20.05	19.80
		ΔE	1.96	1.85	2.13	2.60	3.63
Soybean powders	0	L	84.40	84.30	83.70	83.70	83.40
		a	1.30	1.40	1.60	1.60	1.90
		b	20.10	19.80	19.50	19.05	17.60
		ΔE	0.00	0.33	0.97	1.30	2.75
	1	L	83.25	83.20	83.00	82.74	82.15
		a	1.55	1.55	1.68	1.75	2.00
		b	19.80	19.85	19.30	18.90	17.30
		ΔE	1.21	1.25	1.66	2.10	3.66

¹⁾Each parameter was measured immediately after gamma irradiation and after one year of storage at room temperature following irradiation, and each value was the average of triplicate determinations

²⁾L: Degree of lightness (white +100 ↔ 0 black), a: Degree of redness (red +100 ↔ 0 ↔ -80 green), b: Degree of yellowness (yellow +70 ↔ 0 ↔ -80 blue), ΔE: Overall color difference ($\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$)

무기질 함량

회분 함량이 4.5% 내외인 대두의 무기질 성분함량은 9종의 금속원소 즉 칼슘, 마그네슘, 칼륨, 나트륨, 인, 망간, 철, 구리 및 아연을 분석하였다. 일반적으로 두류에 높은 함량의 무기질로 알려진 칼륨과 인이 본 실험에서도 가장 높은 함량을 보였으며 그 다음으로 마그네슘, 칼슘, 나트륨의 순이었고 미량원소인 철, 아연 및 망간도 상당량 함유되었으며 구리가 가장 낮은 함량을 보였다. 감마선 조사에 의한 무기질 함량 변화는 비조사군과 유의적인 차이를 나타내지 않았으며 (Table 5), 일반적으로 식품에 이용되는 조사선량에서는 무기질 성분이 매우 안정한 것으로 평가되고 있다⁽⁵¹⁾.

Table 5. Mineral contents of gamma-irradiated soybeans¹⁾

Irradiation dose (kGy)	Mineral content								
	w/w, %					w/w, ppm			
	Ca	Mg	K	Na	P	Mn	Fe	Cu	Zn
0	0.21	0.24	1.50	0.030	0.45	39	73	6	28
2.5	0.21	0.24	1.50	0.030	0.46	39	73	6	28
5	0.21	0.24	1.46	0.044	0.44	39	67	6	27
10	0.22	0.24	1.51	0.039	0.45	38	68	7	29
20	0.22	0.24	1.51	0.032	0.44	39	69	7	28

¹⁾Mineral content was analyzed immediately after gamma irradiation and each value was the average of triplicate determinations and expressed as dry basis

대두의 기계적 색도변화

감마선 조사에 따른 대두 색택은 60 mesh로 분말화한 것과 콩차체(whole soybean)를 색차계를 이용하여 측정하였다. 두 시험군 모두 감마선 조사 직후에는 비조사군에 비하여 감마선 조사군은 조사선량의 증가와 더불어 명도값(L값)과 특히 황색도값(b값)의 저하로 다소 탈색되어 어두워지는 경향을 보였으며, 적색도값(a값)은 다소 높아졌다. 이는 감마선 조사로 대두의 자엽부 색소인 carotenoid계 색소의 산화가 그 원인으로 생각된다. 실온에서 1년 저장한 후에는 저장초기에 비해 명도(L값)와 황색도(b값)가 감소되었고 적색도(a값)는 증가되었으며, 비조사군과 조사군의 조사선량 간에는 저장초기와 유사한 경향을 나타내었다(Table 6). Saio 등⁽¹⁵⁾은 대두의 저장중 색도변화에서 저장기간의 경과와 특히 고온다습한 조건에서의 저장이 명도값의 저하와 대두 고유의 황색이 갈색으로 변화되었다고 한 보고와 잘 일치하였다.

요 약

감마선 조사된 대두의 이화학적 품질 특성에서 일반 성분, 지방산 조성 및 무기질 성분은 모든 조사선량에서 변화가 없었으며, 질소 용해도와 추출성 phenols 및 phytate 함량은 5 kGy까지의 조사군 사이에는 차이가 없었으나, 10 kGy와 20 kGy의 고선량 조사군에서는 다소의 영향이 확인되었으며, 1년 저장후에는 모든 시험군에서 감소현상을 보였다. 산가 및 유기산 함량도 2.5 kGy 조사군까지는 비조사군과 차이가 없었으나 5 kGy 이상 조사군에서는 증가하는 경향이었고, 1년 저장 후 모든 시험군에서 증가함을 보였다. 조사된 대두의 총 아미노산 함량과 조성은 5 kGy 선량까지는 변화가 없었으나, 10 kGy 이상의 조사군에서 cysteine과 methionine의 감소를 나타내었다. 대두 색도는 감마선 조사선량의 증가와 저장기간의 경과로 명도와 황색도의 감소와 적색도의 증가를 나타내었다.

감사의 말

본 연구는 국립안성산업대학교 1995년도 학술연구 조성비의 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

문 헌

1. 김우정 : 콩 단백질의 영양과 이용. 미국 대두협회 (1987)
2. Kinsella, J.E.: Functional properties of soy proteins. *J. A.*

- O. C. S.*, **56**, 242 (1979)
3. 허필숙 : 조리과학, 수확사, 서울, p.121 (1982)
4. 이영춘, 신동부, 신동화 : 두류의 quick cooking 방법 개발과 이것이 제품 품질에 미치는 영향. *한국식품과학회지*, **15**, 307 (1983)
5. Burr, H.K., Kon, S. and Morris, H.J.: Cooking rates of dry beans as influenced by moisture content and temperature and time of storage. *Food Technol.*, **22**, 336 (1968)
6. Molina, M.R., Baten, M.A., Gomez-Brenes, R.A., King, K.W. and Bressani, R.: Heat Treatment; A process to control the development of the hard-to-cook phenomenon in black beans (*Phaseolus Vulgaris*). *J. Food Sci.*, **41**, 661 (1976)
7. Kon, S.: Effect of soaking temperature on cooking and nutritional quality of beans. *J. Food Sci.*, **44**, 1329 (1979)
8. Byun, M.W., Kwon, J.H. and Mori, T.: Improvement of physical properties of soybeans by gamma irradiation. *Radiat. Phys. Chem.*, **42**, 313 (1993)
9. Byun, M.W., Kang, I.J., Hayashi, Y., Matsumura, Y. and Mori, T.: Effect of gamma irradiation on soya proteins. *J. Sci. Food Agric.*, **66**, 55 (1994)
10. Byun, M.W., Kang, I.J. and Mori, T.: Properties of soya milk and tofu prepared with gamma irradiated soya beans. *J. Sci. Food Agric.* **67**, 477 (1995)
11. Byun, M.W., Kang, I.J., Kwon, J.H., Hayashi, Y. and Mori, T.: Physicochemical properties of soybean oil extracted from γ -irradiated soybeans. *Radiat. Phys. Chem.*, **47**, 301 (1996)
12. 변명우 : 식품의 방사선조사 연구 및 실용화. 원자력산업, **15**, 66 (1995)
13. IAEA : Training manual on food irradiation technology and techniques, 2nd ed., Technical reports series No.114, Vienna, p.21 (1982)
14. A.O.A.C.: *Official Methods of Analysis*. 13th ed., Association of Official Analysis Chemists, Washington, D. C. (1980)
15. Saio, K., Nikkuni, I., Ando, Y., Otsuru, M., Terauchi, Y. and Kito, M.: Soybean quality changes during model storage studies. *Cereal Chem.*, **57**, 77 (1980)
16. Schanderl, S.H.: *Method in Food Analysis*, 2nd ed., Academic Press, N.Y., p.709 (1970)
17. Latta, M. and Eskin, M.: A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. *J. Agri. Food Chem.*, **28**, 1313 (1980)
18. Hitachi Inc.: *Instrumental Manual of Amino Acid Analyzer (Model 835)* (1986)
19. Metcalf, L.D., Schmitz, A.A. and Pelka, J.R.: Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. *Anal. Chem.*, **38**, 514 (1966)
20. Osborne, D.R. and Voegt, P.: *The Analysis of Nutrients in Foods*, Academic Press Inc., London (1981)
21. Kohara : *Handbook of Food Analysis*, Kanpakusha, Japan (1977)
22. Hossain, M.M., 田島眞, 鈴木忠直 : γ -선 조사에 의한 녹두 및 소맥의 일관성분 조성. *食品照射*, **23**, 66 (1988)
23. Saio, K., Kobayakawa, K. and Kito, M.: Protein denaturation during model storage studies of soybeans and meals. *Cereal Chem.*, **59**, 408 (1982)

24. Hafez, Y.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. Diehl, J.F., Adam, S., Delincee, H. and Jakubick, C.: Radiolysis of carbohydrates and carbohydrate containing foodstuffs. *J. Agric. Food Chem.*, **26**, 15 (1978)
26. Alexander, P., Fox, M., Stacey, K.A. and Rosen, D.: Comparison of some direct and indirect effect of ionizing radiation in protein. *Nature*, **178**, 846 (1956)
27. 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)
28. Nawar, W.W.: Reaction mechanisms in the radiolysis of fats. A review. *J. Agric. Food Chem.*, **26**, 21 (1978)
29. Deshpande, S.S. and Cheryan, M.: Evaluation of vanillin assay for tannin of dry beans. *J. Food Sci.*, **50**, 905 (1985)
30. Hentages, D.L., Weaver, C.M. and Nielson, S.S.: Changes of selected physical and chemical components in the development of the hard-to-cook bean defect. *J. Food Sci.*, **56**, 436 (1991)
31. Kadam, S.S., Kute, L.S., Lawande, K.M. and Salunkhe, D.K.: Change in chemical composition of winged bean (*Psophocarpus teragonolobus* L.) during seed development. *J. Food Sci.*, **48**, 623 (1983)
32. Salunkhe, D.K., Jadhav, S.J., Kadam, S.S. and Chavan, J.K.: Chemical, biological and biological significance of polyphenols in cereals and legumes. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **17**, 277 (1982)
33. Bressani, R., Elias, L.G., Wolzak, A., Hagerman, A.E. and Butler, L.G.: Tannin in common beans; Methods of analysis and affects on protein quality. *J. Food Sci.*, **48**, 1000 (1983)
34. Kon, S. and Sanshuck, D.W.: Phytate content and its effect on cooking quality of beans. *J. Food Process & Preserv.*, **5**, 169 (1981)
35. Mattson, S.: The cookability of yellow peas. A colloid-chemical and biochemical study. *Acta Agriculture Suecana II*, **2**, 185 (1946)
36. Jones, P.M.B. and Boulter, D.: The cause of reduced cooking rate in phaseolus vulgaris following adverse storage conditions. *J. Food Sci.*, **48**, 623 (1983)
37. Akinyele, I.O., Onigbinde, A.O., Hussain, M.A. and Omololu, A.: Physicochemical characteristics of 18 cultivars of Nigerian cowpeas (*V. unguiculata*) and their cooking properties. *J. Food Sci.*, **51**, 1483 (1986)
38. Ahmed, M., Badshah, A., BIBI, N. and Aurangzeb, I.: Effect of gamma irradiation on cooking time and associated physicochemical properties of two legumes. *Pak. J. Sci. Ind. Res.*, **33**, 151 (1990)
39. Srinivas, H., Ananthaswamy, H.N., Vakil, U.K. and Sreenivasan, A.: Effect of gamma radiation on wheat proteins. *J. Food Sci.*, **37**, 715 (1972)
40. Moran, E.T. Jr., Summer, J.D. and Bayley, H.S.: Effect of C₆₀ gamma irradiation on the utilization of energy, protein and phosphorous from wheat bran by the chicken. *Cereal Chem.*, **45**, 469 (1968)
41. Nene, S.P., Vakil, U.K. and Sreenivasan, A.: Effect of gamma irradiation on Red Gram (*Cajanus Cajan*) proteins. *J. Food Sci.*, **40**, 815 (1975)
42. Srinivas, H., Vakil, U.K. and Sreenivasan, A.: Nutritional and compositional changes in dehydro-irradiated shrimp. *J. Food Sci.*, **39**, 807 (1974)
43. Patten, R.A. and Gordy, W.: Further studies of radiation effects on the proteins and their constituents. *Rad. Res.*, **22**, 29 (1964)
44. Lee, C.C.: Electron para magnetic resonance (EPR) and baking studies on gamma irradiated flour. *Cereal Chem.*, **39**, 147 (1962)
45. Khattak, A.B. and Klopfenstein, C.F.: Effect of gamma irradiation on nutritional quality of grains and legumes. II. Changes in amino acid profiles and available lysine. *Cereal Chem.*, **66**, 171 (1989)
46. Abdel-Rahim, A.E., Mahmoud, A.A., Salem, M.H., Roushdy, M.H. and El-Shibawi, K.M.: The effect of ionizing radiation on the amino acid content and lipoxigenase enzyme activity of Broad Bean at room temp. Egyptian Society of Nuclear, INES-MF-12745, Cairo, Egypt, 544 (1988)
47. 윤태선, 임경지, 김동훈: 한국산 콩의 품종별 지방질의 지방산 조성. *한국식품과학회지*, **16**, 375 (1984)
48. 김종근: 우리나라 콩의 영양성분 및 조리특성. *단국대학교 박사학위 논문* (1986)
49. Chung, O., Finney, K.F. and Pomeranz, Y.: Lipid in flour from gamma- irradiated wheat. *J. Food Sci.*, **32**, 315 (1967)
50. Kavalam, J.P. and Nawar, W.W: Effects of ionizing radiation on some vegetable fats. *J.A.O.C.S.*, **46**, 387 (1969)
51. Josephson, E.S. and Peterson, M.S.: *Preservation of Food by Ionizing Radiation*, CRC Press, Inc., Florida (1982)

(1996년 3월 5일 접수)