

감마선조사 대두의 수분 흡수와 조리특성 및 세포구조

강일준[†] · 변명우*

한림대학교 식품영양학과

*한국원자력연구소

Water Absorption, Cooking Properties and Cell Structure of Gamma Irradiated Soybeans

Il-Jun Kang[†] and Myung-Woo Byun*

Dept. of Food Science and Nutrition, Hallym University, Chuncheon 200-702, Korea

*Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon 305-345, Korea

Abstract

Gamma irradiation was applied to soybean(*Glycine max.*), *Hwangkeum*, at dose levels of 0, 5, 10 and 20 kGy to improve the physical properties of soybeans. The time to reach a fixed moisture content was reduced depending on the increment of soaking temperatures and applied irradiation dose levels. Irradiation at 5~20 kGy resulted in reduction in soaking time of the soybeans by about 3~6 hrs at soaking temperature of 20°C. The degree of cooking of soybeans in boiling water was determined by measuring the maximum cutting force of cotyledon. The cutting force to reach complete cooking was about 145g/g. Irradiation at 5~20 kGy resulted in a reduction of cooking time of soybeans by 55~75% as compared to the nonirradiated soybean. In electron microscopic observation of seed coat inner, the parenchyma of nonirradiated soybean showed tight fibrillar structure, whereas that of irradiated soybeans showed loosened and deformed structure. The microstructure of compressed cells and cotyledon epidermis was also deformed by gamma irradiation. In subcellular structure of cotyledon, the roundness of protein body was deformed and changed to spike shape at 20 kGy. Also, the size of lipid body decreased as the irradiation dose levels increased.

Key words: soybean, gamma irradiation, water absorption, cell structure

서 론

콩의 가공 및 조리방법은 한국과 일본을 중심으로 다양하게 발전되어 왔으며, 발효제품, 발아제품, 기타 가공 및 조리제품 등 식품으로서의 이용도가 높을 뿐만 아니라 공업용원료 및 사료용으로도 널리 이용되고 있다. 또한 콩을 쌀 또는 다른 곡류와 혼합 취반하여 이용하는 것은 우리나라의 독특한 식습관으로 인식되어 있으며, 조리용으로 사용되는 콩은 주로 재래종인 유색종으로 단백질 함량이 약 40% 전후이며, 가공용으로 사용되는 콩은 대부분 황색 대두로서 소요량이 거의 수입에 의존하고 있다(1).

두류는 수확 후 건조된 상태로 저장하면서 침지와 가열공정을 거쳐 가공, 조리된다. 침지는 조직을 연하게

게 하여 조리 및 가공시간을 단축시키는 효과가 있으며, 가열은 소화 저해인자나, 콩 특유의 비린 냄새에 관련된 효소를 불활성화시키고 조직을 연하게 하여 기호성을 증진시켜 준다(2). 이와 같은 두류의 가공을 위한 침지과정은 필수적이나 장시간의 침지는 수용성 영양소의 손실과 많은 시간의 소비를 가져와 여러 가지 불이익을 초래하므로, 지금까지 침지 및 조리시간 단축을 위한 많은 연구가 수행되어 왔다. 콩의 수확속도는 일반적으로 콩 표피조직의 세공, 표면적, 침지온도, 침지수의 염종류 및 농도, 콩 성분 및 콩의 저장조건 등에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, Smith 등(3)은 대두의 수분침투는 껍질의 경도와 초기 수분 함량에 좌우된다고 하였다. Dawson 등(4)은 NaHCO₃ 용액에, Hsu 등(5)과 Arechavaleta와 Snyder(6)는 알코

[†]To whom all correspondence should be addressed

을용액에 대두를 침지시키면 껍질의 연화와 함께 침지 시간을 단축할 수 있다고 하였고, Hsu(7)는 침지수의 온도상승은 흡수속도를 증가시킨다고 하였다. 수화에 대한 콩 성분의 영향으로 Saio(8)는 흡수속도가 느린 콩의 껍질에는 일반콩 보다 Ca 및 조섬유의 함량이 높았다고 하였다. 콩의 조리 특성에 관한 연구로서 Wang 등(9)은 콩을 조리 전에 100% 수화시킨 경우에 조리시간이 단축되며, 콩의 조직 및 외관이 향상된다고 하였다. 또한 Albrecht 등(10)도 콩의 빠른 조리에는 초기 수분 함량이 중요한 인자임을 밝혔다. 콩의 조리시간 단축을 위한 연구들로는 두류를 삶는 공정에 앞서 여러 종류의 염용액에 침지시킴으로서 껍질을 연화시켜 조리시간을 단축시키는 방법과 가압 스팀 등의 방법 등이 알려져 있다. 그러나 염용액 침지의 경우는 조리된 콩의 전반적 기호성의 저하(11) 및 lysinoalanine과 같은 비정상적인 가교결합 아미노산을 생성하며, 이들 생성물을 생쥐에 섭취시켰을 때 신장독성을 나타낸다(12)는 보고도 있다. 또한, 가압 스팀에 의한 과도한 열처리는 비타민 등 열에 불안정한 영양소의 손실과 특히 lysine의 이용효율을 저하시키는 등(13)의 문제점을 내포하고 있다.

한편, Dagher 등(14)은 편두에 감마선을 조사하여 병아리 생육시험을 수행한 결과 영양이용률 및 신진대사가 증진되었다고 보고한 바 있으며, Rao와 Vakil(15)도 4가지 두류에 5 kGy의 감마선을 조사한 결과 관능적 품질요소가 비조사 시료 보다 우수하다고 하였다. 또한 감마선조사된 대두의 단백질 및 지방성분 분석 결과 10 kGy 까지의 감마선조사 대두는 비조사 대두와 유의적인 차이를 나타내지 않았으며, 기타 이화학적 품질특성도 큰 차이를 나타내지 않았다(16,17). 두유 및 두부의 가공적성에 있어 5 kGy 조사대두가 비조사 대두로 제조된 제품 보다 우수하였다(18). 현재 러시아를 비롯한 5개국에서 두류에 대해 살균, 살충을 목적으로 감마선 조사를 실시하고 있으며, 우리나라의 경우에는 1991년 보건복지부로부터 된장, 고추장, 간장분말에 대해 7 kGy 이하의 감마선 조사가 허가되어 있는 실정이다(19).

따라서 본 연구는 건조식품의 물성개선을 위한 감마선 조사기술의 이용 가능성을 검토하기 위하여 감마선조사에 따른 대두의 수분 흡수특성 및 조리 특성을 살펴 보았으며, 아울러 각 조직의 현미경적 관찰을 통하여 이들과의 상호관계를 규명하고자 하였다.

재료 및 방법

시료

본 실험에 사용한 시료는 식품가공용으로 가장 많

이 이용되고 있는 황색 대두(품종 : 황금)를 대상으로 하였다. 시료 대두는 1994년도 강원도 농촌진흥원으로 부터 수확된 것을 제공받았으며, 콩 100립 중량은 약 25g내외였다.

시료의 감마선 조사

시료를 선별, 정선한 후 선원 100,000 Ci Co-60 감마선 조사시설(한국원자력연구소 소재)을 이용하여 실온에서 시간당 1 kGy의 선량률로써 5 kGy, 10 kGy 및 20 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 시료의 감마선 조사시, 흡수선량의 오차를 줄이기 위하여 원통형 PVC 용기(Ø5×H 8cm)를 사용하였으며, 흡수선량의 확인은 ceric cerous dosimeter를 사용하였고, 이때 총 흡수선량의 오차는 ±5% 내외였다. 감마선 조사시료는 비조사 대조시료와 함께 원통형 PVC 용기에 담긴 상태로 실온에 보관하면서 실험에 사용하였다.

수분흡수 시험

대두 시료 20g 내외를 정확히 칭량하여 4°C, 20°C 및 40°C의 증류수에 12시간 동안 침지시켰다. 침지 중 일정 시간별로 시료를 꺼내어 여과지로 표면수를 제거한 후 무게의 증가량으로부터 수분 증가량을 계산하였으며, 모든 결과는 3회 반복하여 얻은 결과를 평균치로 나타내었다.

조리특성 시험

조리 속도는 대두에 3배량의 증류수를 가하여 실온에서 16시간 침지하고 탈수시킨 후 100°C의 끓는 물에 150분간 가열하면서 측정하였다. 즉, 가열시간별로 시료를 꺼내어 흐르는 수돗물에서 1분간 냉각시킨 후 껍질을 제거하고 반쪽으로 나누어 견고성 측정을 실시하였다. 견고성 측정에는 rheometer(R-UDJ-DM, I/T Co., Japan)를 사용하였으며, probe(No. 10)가 대두 시료를 완전히 절단하는데 요구되는 힘을 대두 1g을 절단하는데 필요한 힘으로 환산하여 나타내었다. 측정조건은 기록지 속도 120mm/min, 테이블 속도 35mm/min이었으며, 각 시료의 측정은 30회 실시하여 평균치로 나타내었다.

대두의 미세구조 관찰

대두조직의 미세구조는 대두시료의 표피내면, 자엽 표면 및 자엽 내부단면(0.5mm 및 1.5mm)을 차례로 절단한 다음 주사전자현미경(SEM, Hitachi S-450, Japan)으로 관찰하였으며, 대두 자엽부의 세포조직은 수화

전, 수화 후, 조리 후의 세 가지 시료를 사용하여 epon수지로 포매시켜 ultramicrotome으로 초박질편을 만들고 uranyl acetate와 lead acetate로 염색한 후 투과전자현미경(TEM, Hitachi H-600, Japan)으로 관찰하였다.

결과 및 고찰

감마선조사 대두의 수분흡수 특성

감마선 조사에 따른 대두의 수분 흡수력의 변화를 침지온도별(4, 20, 40°C)로 살펴 보았다(Fig. 1). 먼저 4°C 수침의 경우 모든 시료에 있어 12시간 침지 후에도 무게가 평형상태에 도달하지 않았으나 감마선조사 시료는 비조사 시료에 비해 수분흡수속도가 빨랐으며 흡수된 수분량도 많았다. 즉 12시간 수침 후 비조사 시료는 60%, 5 kGy 감마선조사 시료는 70%, 20 kGy 조사시료는 90% 정도로, 10~30% 정도의 높은 수분 흡수력을 나타내었다.

20°C 수침의 경우에는 12시간 침지 후 100~135% 범위의 수분 흡수력을 나타내었으며, 4°C 침지 보다 높은 수분흡수 속도와 능력을 나타내어, 수침온도가 증가하면서 수분흡수속도의 증가와 함께 평형에 달하는 시간이 급속히 감소한다는 Quast와 Da Silva(20), Hsu(7)의 연구결과와 잘 일치하였다. 20°C 수침의 경우 수침 전 대두무게에 대한 수분흡수로 증가된 무게가 100% 일 때를 기준으로 소요 수침시간을 살펴 보면, 비조사 시료는 12시간이 소요된 반면 5 kGy 조사시료는 9시간, 10 kGy 조사시료는 7시간, 20 kGy 조사시료는 6시간으로 감마선조사 선량의 증가와 더불어 3~6시간 정도의 수침시간을 단축할 수 있었다. 이러한 결과는 Rao와 Vakil(15)의 4가지 두류의 감마선 조사에 의한 조리 특성 연구에서 25°C, 16시간 침지 후 10 kGy 조사된

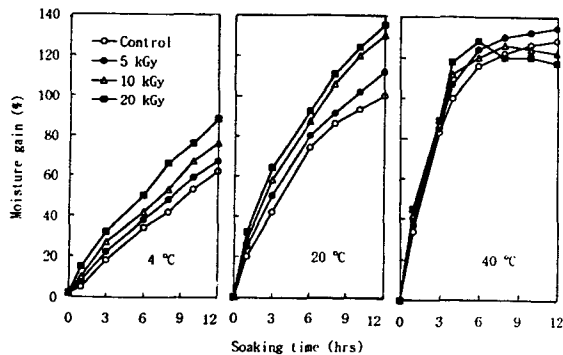


Fig. 1. Changes in moisture gain of nonirradiated and irradiated soybeans during soaking at different temperatures.

시료는 비조사 시료에 비해 15~30% 정도 수분 흡수능력을 증가시켰다는 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 감마선조사에 의한 수분 흡수능력의 증가는 전분이나 단백질 분자 등의 고분자 중합체가 감마선에 의해 물리적 손상을 입어 다소 저분자화될 수 있으며, 이렇게 형성된 저분자 입자들이 수화의 이용 표면적을 증가시켜주기 때문인 것으로 알려져 있다(21).

40°C 수침의 경우 모든 시료가 4시간 정도에서 100%의 수분 흡수율을 나타냈으며, 10 kGy 및 20 kGy의 고선량 조사시료는 8시간 이후부터, 비조사 시료와 5 kGy 조사시료는 12시간 이후부터 무게감소 현상이 나타났다. 이러한 현상은, 수침온도가 높아짐에 따라 흡수속도는 빨라지나 가용성 단백질, 당, 비타민, 무기질 등의 손실이 증가되는 것으로 생각할 수 있으며(9,22), 감마선 조사선량이 증가함에 따라 더 짧은 시간에 이러한 경향이 나타나는 것으로 생각된다.

감마선조사 대두의 조리특성

대두를 16시간 침지한 후 가열 전에 그 절단력을 측정해 본 결과, 감마선 조사 대두 및 비조사 대두 모두 시료 1g당 0.8kg 정도를 나타내어 침지시간 16시간으로 침지에 따른 시료간 오차를 충분히 배제할 수 있었다. 일반적인 견고성의 변화는 조리시간이 길어짐에 따라 절단력의 감소를 가져왔으며, 특히 조리 20분 후

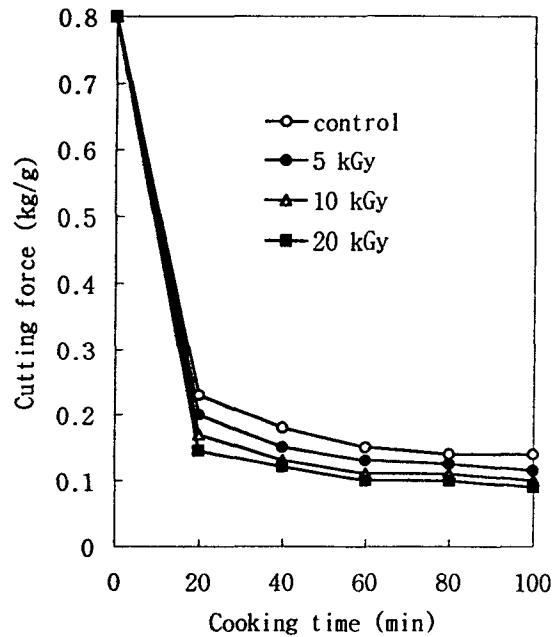


Fig. 2. Effect of gamma irradiation on the cutting force of soybeans cooked at different time intervals.

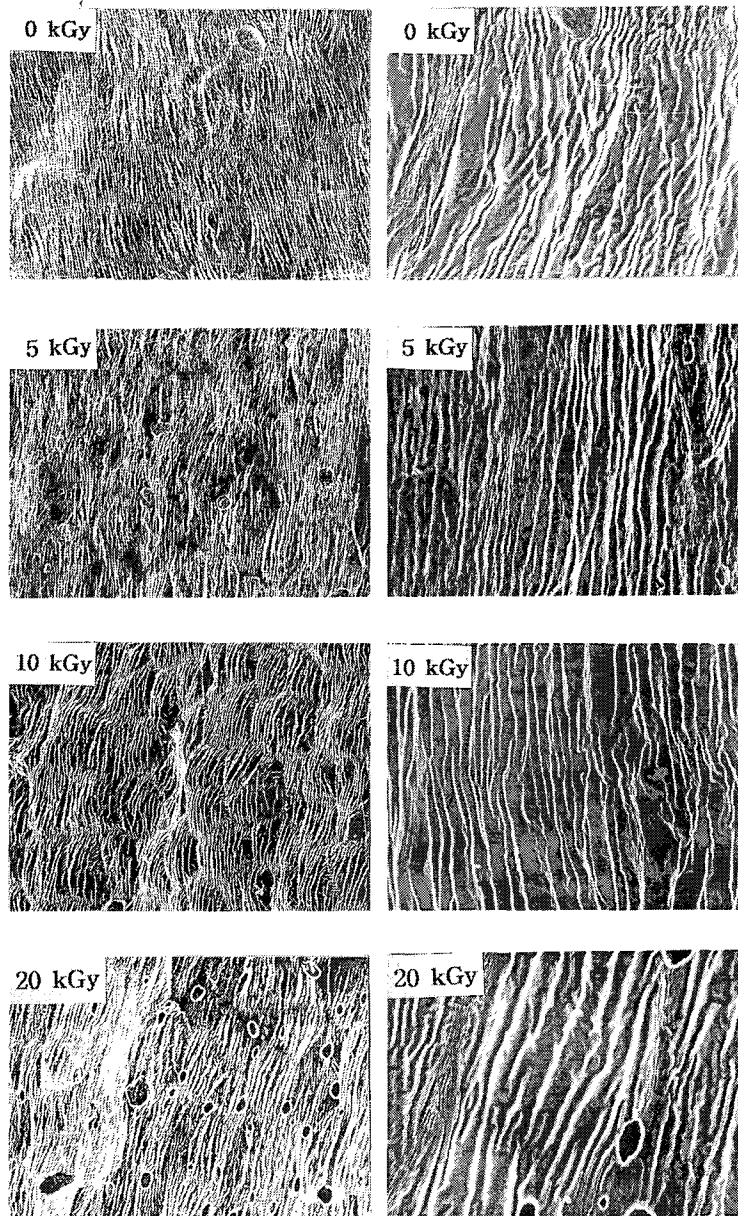


Fig. 3. Scanning electron micrographs of seed coat inner of nonirradiated and irradiated soybeans.

에는 절단력이 0.15~0.25kg/g으로 3~5배 정도로 매우 큰 폭의 감소를 보였고, 가열 40분 이후부터는 그 감소 폭이 완만하였다(Fig. 2).

감마선 조사에 따른 영향을 살펴 보면, 조사선량의 증가와 더불어 절단력의 감소효과가 뚜렷하여, 20분 가열처리 후 비조사 대두의 절단력은 232g/g인데 반해

5 kGy 조사시료는 205g/g, 20 kGy 조사시료는 150g/g 이었다(Fig. 2). 대두의 감마선조사에 의한 조리시간 단축효과는 관능적으로 완전히 익은 수준의 절단력을 145g/g으로 했을 때, 비조사 대두에 비해 5 kGy는 55%, 10 kGy는 65%, 20 kGy 조사시료는 75% 정도의 조리 시간을 감소시킬 수 있었다. 이러한 결과는 4가지 두류

의 감마선 조사에 의한 조리시간의 단축실험에서 10 kGy 조사로서 50% 정도의 조리시간 단축효과를 가져왔다는 Rao와 Vakil(15)의 보고와 2가지 두류에 0.25~5 kGy의 감마선조사로 조리시간을 단축시킬 수 있었다는 Ahmed 등(23)의 결과와 일치하는 경향을 나타내었다. 따라서 감마선조사에 의한 수화시간 단축과 더불어 조리시간 단축효과는 두류의 대량 가공시 에너지 및 시간의 절약 면에서 유용하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

감마선조사 대두의 세포구조

감마선조사에 의한 대두의 침지 및 조리시간 단축효과가 대두의 조직구조와 어떠한 관련성이 있는가를 검토하기 위해 전자현미경으로 감마선조사 및 비조사 대두의 세포조직을 관찰하였다. Fig. 3은 대두 표피내면을 SEM으로 관찰한 것으로 비조사 대두는 유조직이 치밀하고 주름이 많이 잡혀있으나, 5 kGy 조사 대두는 유조직의 치밀성은 비슷하나 주름이 상당히 펴져있는 상태를 나타내었다. 10 kGy 부터는 유조직의 치밀성

이 저하되었으며, 20 kGy에서는 유조직의 느슨함과 변형이 뚜렷히 관찰되었다.

감마선조사 및 비조사 대두의 자엽표피 중 aleurone cell을 관찰한 결과(Fig. 4)도 앞의 유조직에서와 동일하게 비조사 대두는 조직이 치밀하게 되어 있으나, 5 kGy 조사 대두는 조직사이에 간격이 벌어져 있음이 관찰되었다. 10 kGy 조사 대두는 표면주름이 상당히 펴져 있으며 조직사이의 간격으로 굴곡이 선명하게 드러나 있음을 알 수 있었다. 20 kGy 조사 대두는 조직이 변형되어 다소 일그러진 형태를 나타내었다.

Fig. 5는 자엽내부단면(자엽표피에서 내부로 0.5mm 및 1.5mm 침투한 내부 단면) 즉, compressed cell과 cotyledon epidermis를 SEM으로 관찰한 것으로 비조사 대두는 정상적인 형태를 유지하고 있으나 감마선 조사에 의해 두 세포 모두 서서히 조직이 변형되어 20 kGy에서는 조직이 상당히 일그러져 있음을 알 수 있었다.

Fig. 6은 비조사 및 감마선 조사된 대두의 자엽세포의 subcellular구조를 TEM으로 관찰한 것으로 비조사 대두에 비해 감마선조사 대두는 조사선량이 증가됨에

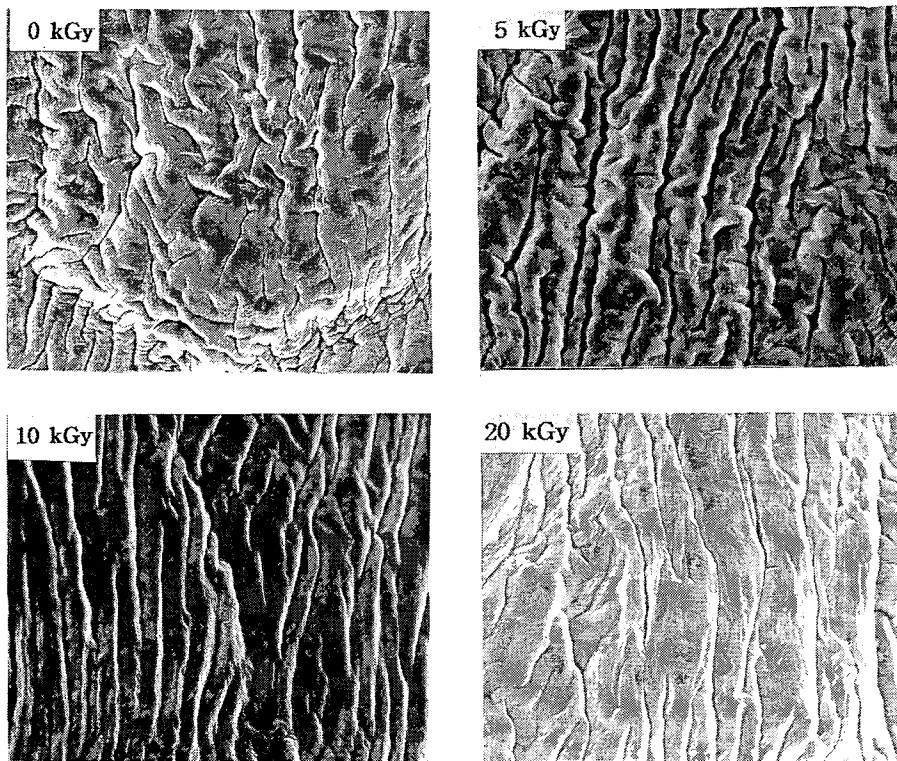


Fig. 4. Scanning electron micrographs of cotyledon surface of nonirradiated and irradiated soybeans($\times 8,000$).

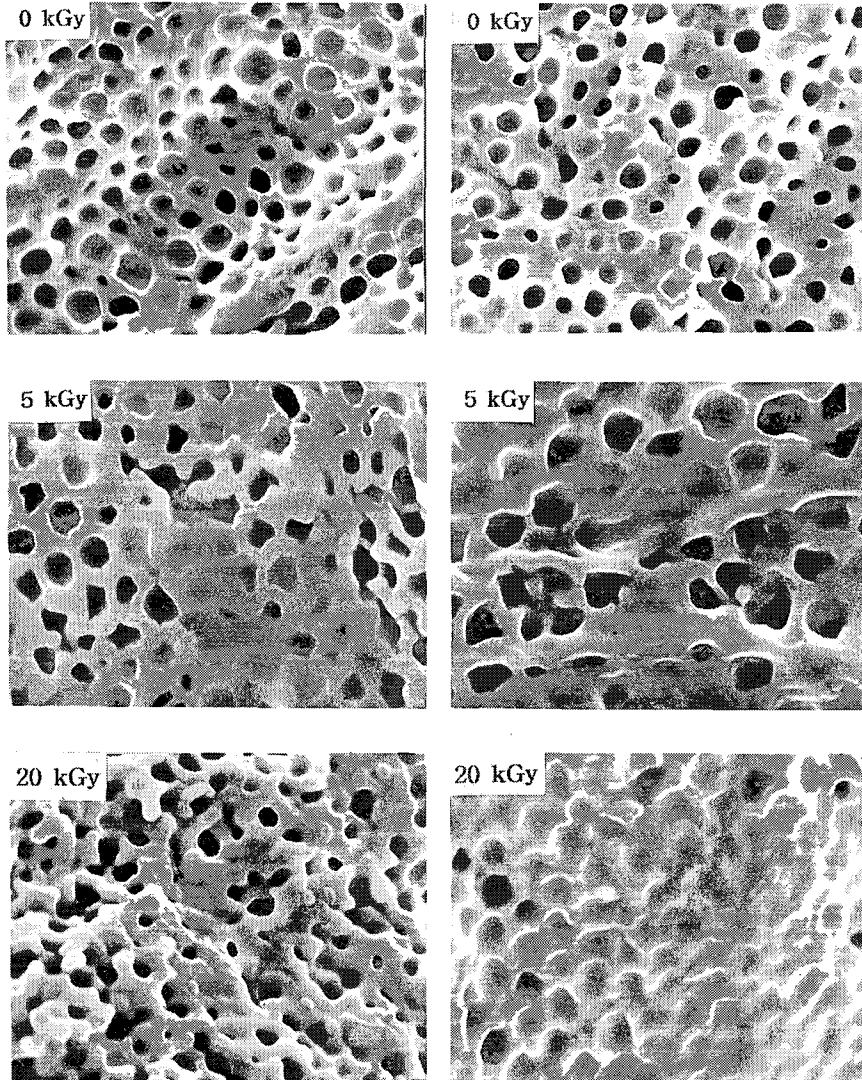


Fig. 5. Scanning electron micrographs of cotyledon inner of nonirradiated and irradiated soybeans($\times 20,000$).
left: 0.5mm inner, right: 1.5mm inner from cotyledon surface

따라 protein body의 형태가 변형되어 20 kGy조사 대두는 스파이크형을 나타내었다. 특히 lipid body(spherosome)의 경우 감마선조사 선량이 증가됨에 따라 그 크기가 현저히 감소하여, 작은 구의 형태로 분해되었으며, 이와 같은 작은 구들의 증가 현상에 의해 protein body가 압착되어 변형된 것으로 생각된다.

한편, 비조사 및 감마선조사 대두를 20°C에서 10시간 수침 후 그리고 끓는 물에서 20분 cooking 후 각각의 시료에 대해 TEM으로 자엽세포의 subcellular 구조를 관찰하였다(Fig. 7). 먼저 수침 후의 시료에 있어, 비조

사 대두는 수침 전 시료와 큰 구조적 차이를 나타내지 않았으나 감마선조사(10 kGy)는 빠른 수분흡수로 인해 protein body가 팽창하여 면적이 넓어졌으며, lipid body의 변형과 세포벽과 세포질 사이의 간격이 넓어졌다. 조리 후의 시료에 있어, 비조사 대두의 경우 cooking 후 미토소 lipid body가 작은 구의 형태로 분해되었으며, protein body도 상당히 팽창되어 있음을 알 수 있었다. 한편, 감마선조사 대두(10 kGy)는 cooking에 의해 오히려 lipid body가 응집되어 있는 형태를 나타내었다. 따라서 감마선조사 대두에서 관찰된 포피 및 자엽

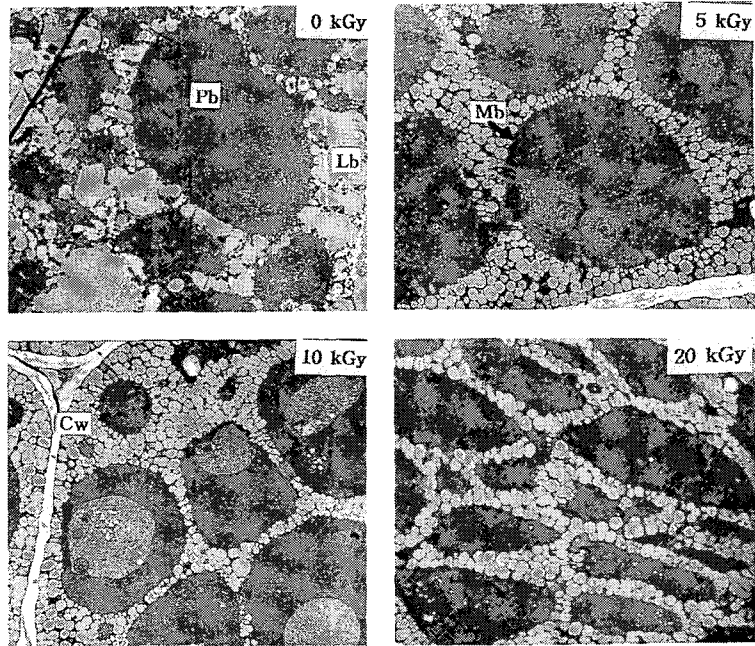


Fig. 6. Transmission electron micrographs of subcellular structure of nonirradiated and irradiated soybeans cotyledon.

Pb: Protein body, Lb: Lipid body, Cw: Cell wall, Mb: Protein body membrane

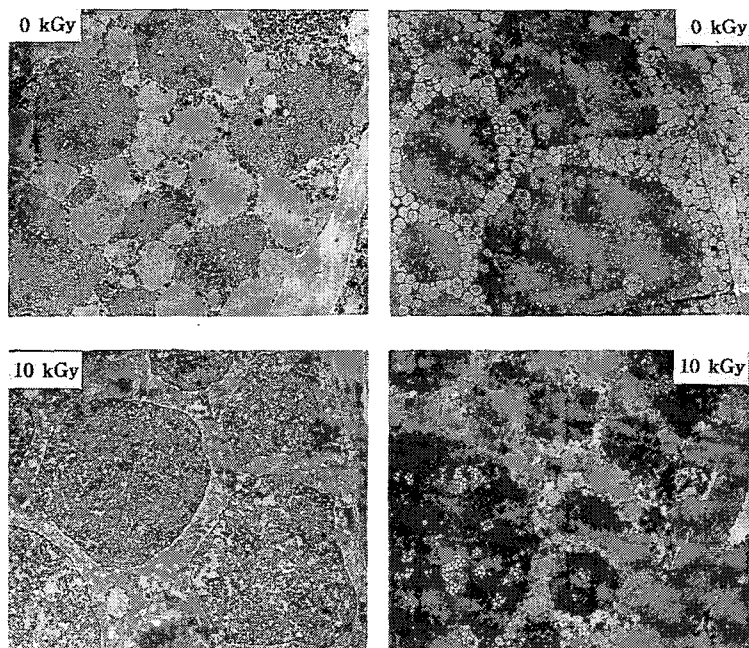


Fig. 7. Transmission electron micrographs of subcellular structure of nonirradiated and 10 kGy-irradiated soybeans cotyledon.

left: soybeans after soaking in 20°C water for 10 hr, right: soybeans after cooking in boiling water for 20min.

부의 구조적 변형이 대두의 수분흡수 및 조리속도에 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다.

요 약

대두의 물리적 성질을 개선할 목적으로 대두에 0, 5, 10, 20 kGy의 감마선을 조사하여 수분흡수량, 조리특성 및 세포구조를 관찰하였다. 대두의 수분흡수는 수침온도 및 감마선 조사선량의 증가에 따라 평형에 이르는 시간이 감소하였으며, 20°C 수침온도에서 5~20 kGy의 감마선조사 대두는 비조사 대두에 비해 3~6시간의 수침시간을 단축할 수 있었다. 대두의 조리정도는 대두 자엽의 최대 절단력으로 나타났으며, 관능적으로 완전히 익은 대두의 절단력을 145g/g으로 했을 때 5~20 kGy의 감마선조사는 대두의 조리시간을 55~75% 단축시켰다. 대두 표피내면의 세포구조 관찰에서 비조사 대두의 유조직은 주름이 잡힌 치밀한 구조를 나타낸 반면, 감마선조사 대두는 유조직의 느슨함과 변형됨을 보여주었다. 자엽표면 및 그 내부구조도 감마선조사에 의해 구조의 변형을 나타내었다. 특히 자엽세포의 protein body는 감마선조사 선량이 증가됨에 따라 형태가 변형되어 20 kGy 조사 대두는 스파이크형을 나타내었으며, lipid body의 경우도 감마선 조사선량이 증가됨에 따라 그 크기가 현저히 감소하여 작은 구의 형태로 분해되었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술처 원자력중장기연구과제 및 농업수산특정연구과제의 일부이며 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. 이경원 : 세계 대두생산과 이용현황. 식품과학, **14**, 4(1981)
2. 허필숙 : 조리과학. 수확사, 서울, p.121(1982)
3. Smith, A. K., Nash, A. M. and Wilson, L. I. : Water absorption of soybean. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **38**, 120(1961)
4. Dawson, E. H., Lamb, J. C., Toepfer, E. W. and Warren, H. W. : Development of rapid methods of soaking and cooking dry beans. *Technical Bull.* 1051, U.S. Dept. of Agr., Washinton, D.C.(1952)
5. Hsu, K. H., Kim, C. J. and Wilson, L. A. : Factors affecting water uptake of hard soybeans during soaking. *Cereal Chem.*, **60**, 209(1987)
6. Arechavaleta, M. F. and Snyder, H. E. : Water imbibition by normal and hard soybean. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **58**, 976(1981)
7. Hsu, K. H. : Effect of temperature on water diffusion in soybean. *J. Food Sci.*, **48**, 1364(1983)
8. Saio, K. : Soybeans resistant to water absorption. *Cereal Foods World*, **21**, 168(1976)
9. Wang, H. L., Swain, E. W., Hesseltine, C. W. and Heath, H. D. : Hydration of whole soybeans affects solids losses and cooking quality. *J. Food Sci.*, **44**, 1510(1979)
10. Albrecht, W. J., Mustakas, G. C. and McGhee, J. E. : Rate studies on atmospheric steaming and immersion cooking of soybeans. *Cereal Chem.*, **43**, 400(1966)
11. Narasimha, H. V. and Desikachar, H. S. R. : Simple procedures for reducing the cooking time of split red gram(*cajanus cajan*). *J. Food Sci. Technol.*, **15**, 149(1978)
12. Pfaender, P. : Lysinoalanin-A toxic compound in processed proteinaceous food. *World Rev. Nutr. Dietet.*, **41**, 97(1983)
13. Almas, K. and Bender, A. E. : Effect of heat treatment of legumes on available lysine. *J. Sci. Food Agric.*, **31**, 448(1980)
14. Dagher, N. J., Sell, L. J. and Mateos, G. G. : Effect of gamma irradiation on nutritional value of lentils(*Lens culinaris*) for chicks. *Nutr. Rep. Intern.*, **27**, 1087(1983)
15. Rao, V. S. and Vakil, U. K. : Effects of gamma-radiation on cooking quality and sensory attributes of four legumes. *J. Food Sci.*, **50**, 372(1985)
16. 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)
17. 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)
18. 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)
19. 한국원자력산업회의 : 식품의 방사선조사 연구 및 실용화. 원자력산업, **15**, 66(1995)
20. Quast, D. G. and Da Silva, S. D. : Temperature dependence of hydration on the cooking rate on dry legumes. *J. Food Sci.*, **42**, 1299(1977)
21. Meredith, P. : Dependence of water absorption of wheat on protein content and degree of starch granule damage. *New Zealand J. Sci.*, **9**, 324(1966)
22. Kon, S. : Effect of soaking temperature on cooking and nutritional quality of beans. *J. Food Sci.*, **44**, 1329(1979)
23. 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)

(1996년 7월 13일 접수)