

감마선 조사가 검정콩의 수분흡수 특성에 미치는 영향

-Effects of Gamma-Irradiation on the Water Absorption Property of Black Soybeans

세종대학교 가정학과
교수 김종균

Dept. of Home Economics King Sejong Univ.

Professor; Kim, Jong-Goon

〈목 차〉

I. 서론

II. 실험재료 및 방법

III. 결과 및 고찰

IV. 요약

참고 문헌

〈Abstract〉

Effects of gamma irradiation(2.5~20kGy) on water absorption property was studied for a local variety of black soybeans. In water absorption patterns of black soybeans, the time to reach a fixed moisture content was reduced depending on the increment of water soaking temperature and irradiation dose. Irradiation at 2.5~10kGy resulted in the reduction of soaking time of black soybeans by about 1~3 hours and the increase of hydration capacity by 10~20%, respectively, compared to the nonirradiated control black soybean. The water uptake rate constant of the irradiated black soybean definitely increased with the increase of dose levels and water soaking temperature. The activation energy for water absorption and z-value were lower in the irradiated black soybeans than in the nonirradiated control black soybean. The efficacy of water absorption property in the irradiated black soybeans was also recognized after one year of storage at room temperature.

I. 서 론

두류는 단백질과 지방함량이 높고 그 품질이 우수하며 또한 비타민 B군과 무기질의 경제적 공급원으로서 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 식품자원이다.^{1) 2)} 이와같이 콩의 우수한 영양적 품질에도 불구하고 일반적으로 식품으로서의 낮은 이용률은 가공 및 조리를 위한 준비와 cooking 시간이 길고, 콩의 총 단백질의 약 1.5~2.5% 함유된 protease inhibitor(trypsin inhibitor 등)나 열에 안정한 영양적 factors인 galactose-containing oligosaccharides의 함유로서 이들의 α -galactosides는 인간의 소화기관에서 용해당으로 가수분해되지 않는다. 이는 사람의 소화기관에는 α -galactosidase가 부재하기 때문이며 따라서 콩을 섭취후 장내 gas 발생으로 불쾌감의 원인이 된다.³⁾

두류는 수확후 건조된 상태로 저장되면서 침지와 가열과정을 거쳐 가공, 조리된다. 침지는 조식을 연하게 하여 조리, 가공 시간을 단축시키는 효과가 있어서, 조리, 가공에 앞서 침지과정은 필수적이나 장시간의 침지는 수용성 영양소의 손실과 많은 노력 및 시간의 소비를 가져와 경제적 불이익을 초래하므로, 그동안 침지 시간의 단축을 위한 연구가 많이 수행되었다.^{4) 5)} 콩의 수화속도는 일반적으로 콩표피조직의 세공·표면적·침지온도·침지수의 염류 및 농도·콩의 성분 및 콩의 저장 온습도 등이 영향을 주는 것으로 알려져 있다. Smith와 Nash⁷⁾는 대두의 수분침투는 껍질의 경도와 초기 수분함량에 좌우된다고 하였고, Parrish와 Leopold⁸⁾는 콩 껍질을 제거한 콩의 수분흡수 속도는 완전한 콩의 수분흡수 속도와 큰 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. Dawson 등⁹⁾은 NaHCO₃ 용액에, Hsu 등¹⁰⁾과 Archavaleta-Medina 등¹¹⁾은 알코올 용액에 대두를 침지시키면 껍질의 연화와 함께 침지시간을 단축할 수 있었다고 하였다. Hsu 등^{12) 13)}, 김 등¹³⁾은 침지수의 온도상승은 수분 흡수속도를 크게 한다고 하였고, Brown과 Worley¹⁴⁾는 온도의 증가가 흡수속도를 지

수함수적으로 증가시킨다고 하였다. 그러나 높은 온도에서의 침지는 고형분의 용출을 증가시키는 문제점이 있다.^{6) 15) 17)}

두류의 수화시간 단축을 위한 상기의 방법들은 처리효과의 불충분, 품질의 가역적 효과, 화학약품의 잔류 및 처리공정의 불편과 경제성 등의 많은 문제점을 내포하고 있다. 따라서 수화시간 단축을 위한 간편한 방법의 개발은 가정이나 특히 두류의 대량가공 공장에서는 매우 중요한 요소이다.

현재 감마선 조사는 식품 산물이나 가공식품의 보존을 위한 이상적인 방법으로 알려지고 있으며, 곡류나 두류에도 미생물적 변질 방지나 해충구제의 목적으로 사용되고 있다.^{18) 20)} 감마선 조사가 식품가공에 이용되는 다른 형태로는 식품의 물리화학적 특성을 유용하게 변화시키는 것으로써, 두류나 곡류의 조직연화에 따른 조리시간 단축, 밀가루의 물성개선 등의 연구가 일부 있다.^{11) 21) 23)} 따라서 본 연구는 감마선을 이용하여 간단한 방법에 의한 두류 수침시간 단축 가능성을 검토하기 위해 가정에서 밥밀콩 및 콩자반으로 가장 많이 이용되는 검정콩을 대상으로 수분 흡수 양상을 조사하였다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용된 콩은 밥밀콩과 콩자반 용으로 가장 많이 이용되고 있는 대표적 유색콩인 검정콩이었다. 시료 콩은 1990년 11월 중순에 강원도 농촌진흥원으로부터 제공받았으며 콩 100립 중량은 약 30g 내외이었다.

2. 시료의 감마선 조사 및 저장

시료의 감마선 조사는 조사선량의 오차를 줄이기 위해 원통형 PVC 용기($\phi 5 \times H 8$ cm)에 담고 한국원자력연구소내 선원 10,000Ci Co-60 감마선 조사시설을 이용하여 실온에서 시간당 50 Gy의 선량율로서 2.5 kGy, 5 kGy, 10 kGy, 20 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 흡수선량의 확인은 ceric cerous

dosimeter를 이용하였고 총 흡수선량의 오차는 ±5% 내외였다. 감마선 조사된 시료는 비조사 대조시료와 함께 실온에 1년간 저장후 조사직후의 시료와 비교 실험을 하였다.

3. 검정콩의 수분흡수 특성조사

검정콩의 수분흡수 특성은 감마선 조사직후와 실온에서 1년간 저장된 시료를 실험에 사용하였고, 모든 실험치는 3회 반복 수행하여 얻은 결과를 평균값으로 나타내었다.

1) 수분흡수 속도 측정

10g 내외의 시료량을 정확히 칭량하여 4℃, 10℃, 20℃, 30℃ 및 40℃의 증류수에 넣고 12시간 동안 침지시키면서 일정시간별로 콩을 꺼내어 여과지로 표면수를 제거하고 무게의 변화를 측정하였다. 무게의 변화는 침지과정 중 측정된 무게와 침지전의 무게간의 차이에서 시료 1g(건물량 기준)당의 증가된 수분함량을 계산하였다.¹⁹⁾ 그리고 수분흡수 속도는 다음 Becker의 확산방정식²⁰⁾ (1)에 의해서 계산하였다.

$$m - m_0 = K_0 \sqrt{t} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 m은 일정시간 침지후의 수분함량(g H₂O/g), m₀는 시료의 초기 수분함량(g H₂O/g), t는 침지시간, K₀는 수분흡수 속도상수이다.

2) 수분흡수 속도의 온도 의존성

수분흡수 실험에서 얻어진 감마선 조사선량별 흡수속도와 침지온도와의 관계는 다음의 Arrhenius식 (2)을 이용하여 수분흡수에 요구되는 활성화 에너지(Ea)를 계산하였다.

$$\ln K \frac{E_a}{RT} + \ln A \dots\dots\dots (2)$$

여기서 K는 수분흡수 속도상수(g H₂O/min ½), Ea는 활성화 에너지(cal/mole), R은 기체상수(1.987cal/deg. mole), T는 침지온도(°K), A는 빈도 상수이다.

3) 수화도의 온도 의존성

콩의 수화도(degree of hydration)의 온도 의존성은 일정 수분함량에 도달하는 시간과 온도와의 관계로서 다음식 (3)에 의해서 계산하였다.¹⁵⁾

$$z = \frac{T_1 - T_2}{\log(t_2/t_1)} \dots\dots\dots (3)$$

여기서 z값은 어떤 수분함량에 도달하는 시간을 1/10로 감소시키는데 필요한 온도의 상승폭을 의미하며, t₁은 침지온도 T₁에서 일정한 수분함량에 도달하는 시간(hr), t₂는 침지온도 T₂에서 일정한 수분함량에 도달하는 시간(hr)이다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 수화양상

감마선 조사에 따른 검정콩의 수침중 무게 증가량을 측정해 보았다. 4℃와 10℃ 수침의 경우 모든 실험군에서 12시간 침지 후에도 무게가 평형상태에 도달하지 않았으며 감마선 조사군은 조사선량의 증가와 더불어 높은 흡수능력을 나타내었다. 즉, 4℃와 10℃에서 12시간 후 비조사군은 71%와 84% 정도, 2.5 kGy 조사군은 80%와 87%, 5 kGy 조사군은 83%와 96%, 10 kGy 조사군은 90%와 100%, 20 kGy 조사군은 91%와 106% 정도로 10~20% 정도의 높은 수분흡수율을 나타내었다. 20℃에 침지한 경우는 6시간 침지로서 72~88%, 12시간 침지로서 115~130% 정도로 4℃ 및 10℃ 보다 높은 수분흡수율을 보였고, 감마선 조사로서 높은 수분흡수 능력을 나타내었다. 또한 30℃에 수침시에도 6시간 침지로서 112~126%, 10시간 침지로 138~140% 정도의 높은 수분흡수율을 나타내었다(Fig. 1-5).

이러한 결과는 수침온도가 증가하면 수분흡수 속도와 능력이 증가되며 수분평형 함량에 도달하는 시간이 감소되었다는 Quast 등,¹⁵⁾ Hsu 등,¹⁰⁾ 김²⁰⁾ 및 김²¹⁾의 연구결과와 일치하였다. 20℃ 수침의 경우 수침전 검정콩의 무게에 대한 수분흡수로 증가된 무게가 100%일 때를 기준으로 수침시간의 감마선 조사영향을 보면, 비조사군은 10시간 소요되었으나 2.5 kGy

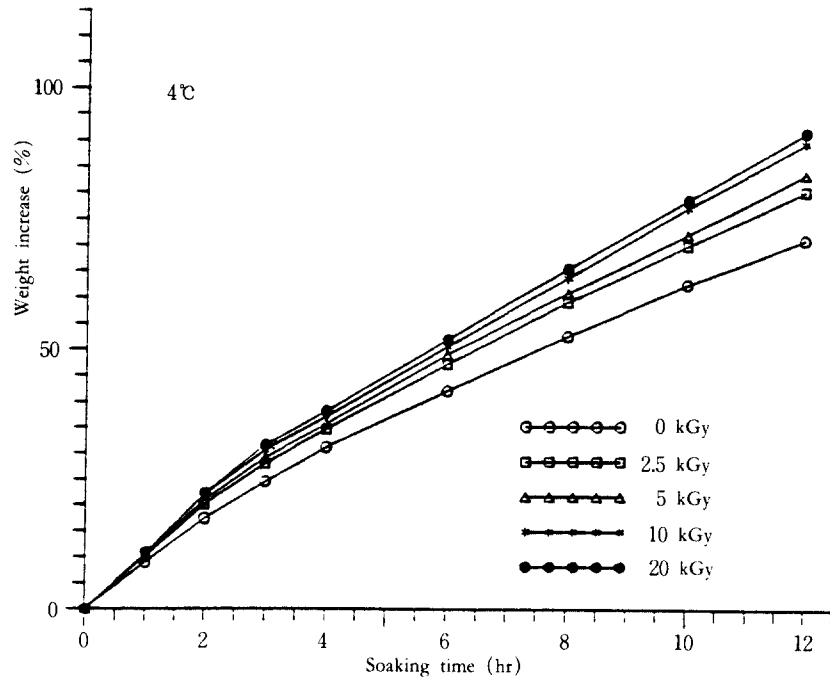


Fig. 1. Changes in weight of gamma-irradiated black soybeans during soaking at 4°C

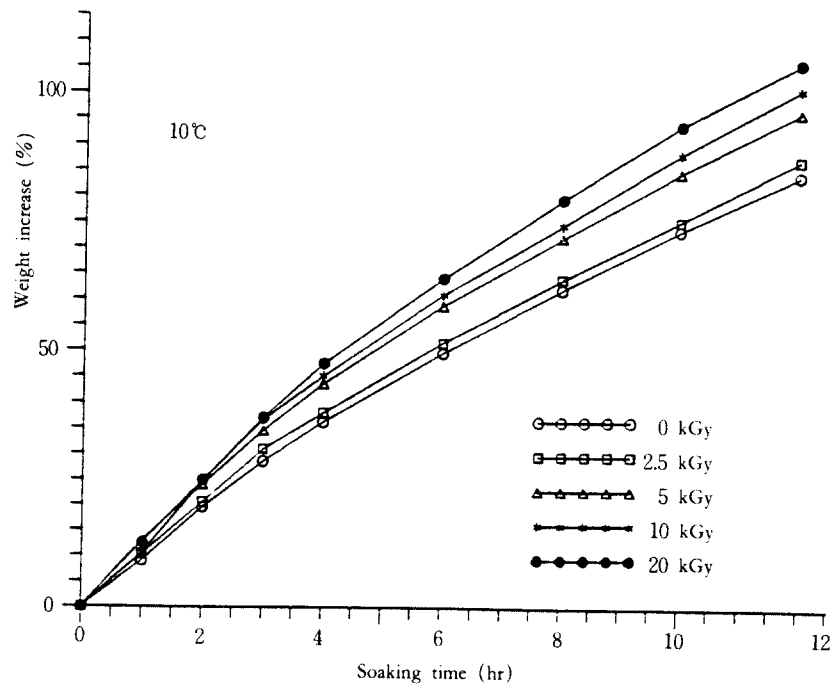


Fig. 2. Changes in weight of gamma-irradiated black soybeans during soaking at 10°C

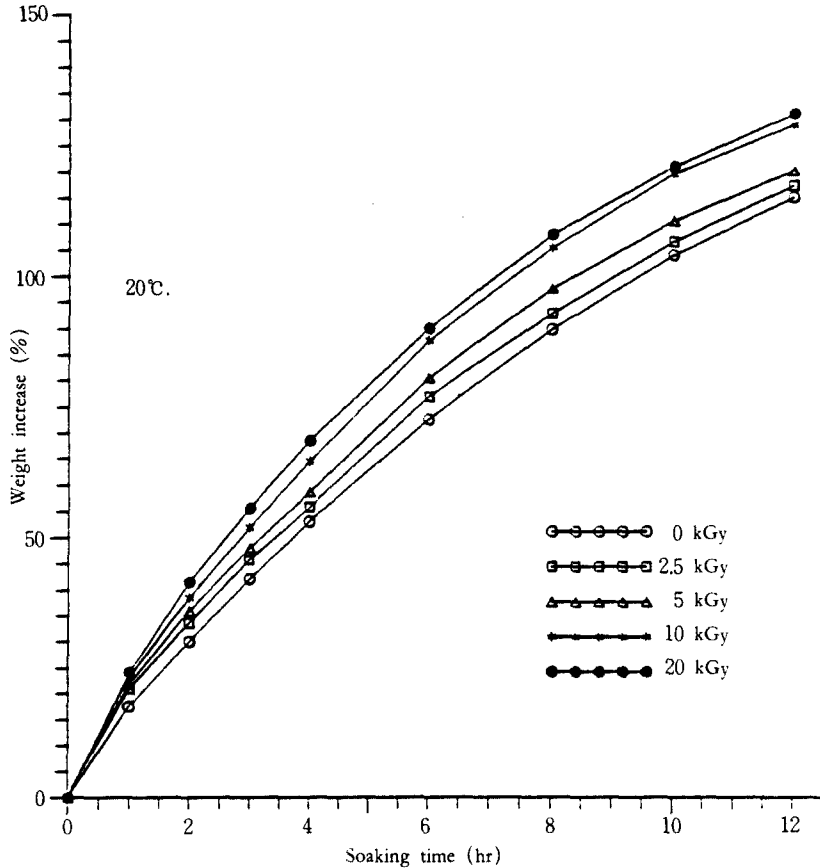


Fig. 3. Changes in weight of gamma-irradiated black soybeans during soaking at 20°C

조사군은 9시간, 5 kGy 조사군은 8시간, 10 kGy 조사군은 7시간으로 비조사군에 비해 감마선 조사군은 선량의 증가와 더불어 1~3시간 정도의 수침시간을 단축할 수 있었고, 수화능력에 있어서도 10~20% 이상 증가되었다. Rao와 Vakil²²⁾의 4종류 두류의 감마선 조사에 의한 조리특성 연구에서 10 kGy 조사된 시료는 25°C에서 16시간 침지후 비조사 시료에 비해 15~27% 정도의 수분흡수 능력이 증가되었다는 보고와 유사한 경향을 나타내었다.

감마선 조사에 의한 수분흡수 능력의 증가는 두류의 단백질이나 전분 분자의 긴 사슬이 감마선 조사의 영향을 받아 저분자의 실체들로 되고 이와같이 물리적 손상을 입은 더 작은 입자들은 수화의 이용 표면적을 증가시켜주기 때문에 비조사 시료에 비하

여 수분흡수 능력이 증가되는 것으로 설명된다.²³⁾ 40°C에서 수침된 경우 4시간만에 수침전 검정콩 무게의 100% 수분흡수를 보였고, 조사군은 3~4시간에, 비조사군은 5시간 수침 이후에 120%정도로 거의 수분평형에 도달하였다. 또한 40°C에 수침시 10 kGy와 20 kGy의 고선량 조사군은 8시간 이후부터 다소의 무게 감소현상을 나타내었다.

이러한 결과는 수침온도가 높아짐에 따라 흡수속도는 빨라지나 단백질, 당, 비타민, 무기질 등의 가용성 물질 즉, total solids의 손실로 영양적 측면에서의 고려를 요한다고 한 Kon,⁷⁾ Wang 등,¹⁶⁾ Quast 등,¹⁵⁾ Hsu 등¹⁰⁾ 및 김²⁰⁾의 보고와 일치하였으며, 특히 고선량 조사시에는 그 경향이 뚜렷하였다. El Saddany 등²⁰⁾은 감마선 조사된 쌀의 수분흡수 특성시험에서

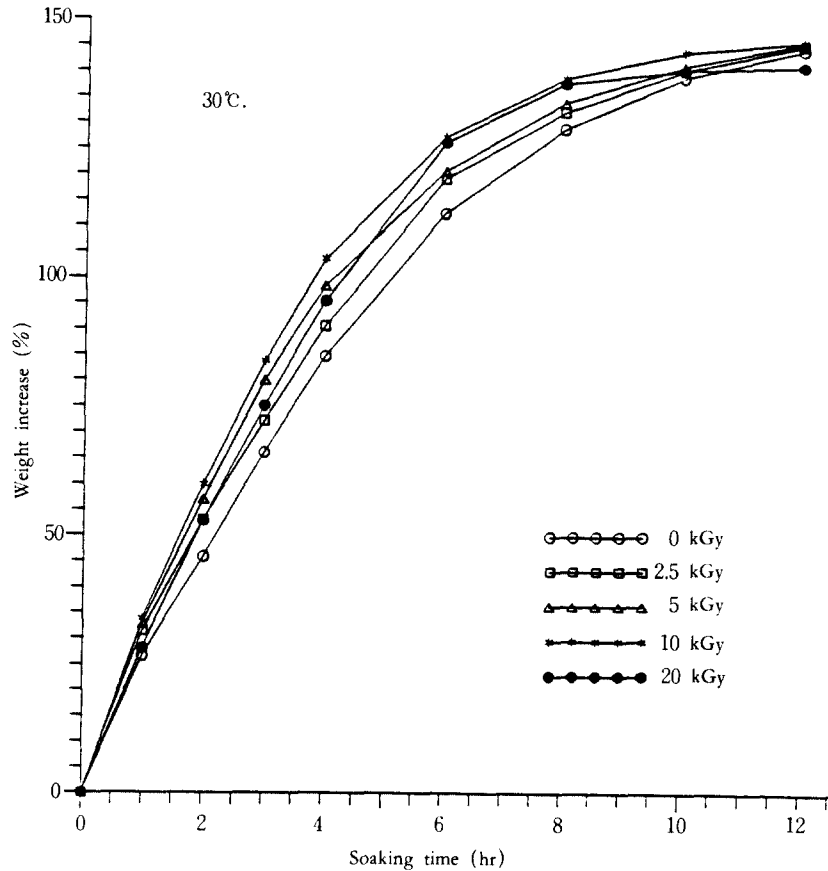


Fig. 4. Changes in weight of gamma-irradiated black soybeans during soaking at 30°C

80°C 수침시 조사선량의 증가와 더불어 수분흡수 즉, 무게의 감소를 나타내었는데 이는 조사에 의한 전분 분자가 breakdown과 depolymerization에 의해 더 작은 fragments와 더 낮은 분자무게 fraction으로 되어 물에 용해되므로 swelling 동안 물과 결합할 수 없음이 그 원인으로 생각하였다.

한편, 감마선 조사후 장기간 저장된 콩의 수화특성을 검토해보기 위하여 실온에서 1년간 저장된 비조사 대조군과 감마선 조사군의 수분흡수량상을 조사해 본 결과 다음과 같다. 감마선 조사에 따른 수화양상은 앞에서 언급된 감마선 조사직후와 동일한 경향으로 모든 수침온도에서 조사선량의 증가와 더불어 높은 수분흡수 능력을 보여 감마선 조사후 장기 저장시에도 효과가 뚜렷함을 나타내었고, 비조사

군과 조사군 모두 저장초기 즉, 감마선 조사직후에 비하여 1년 저장한 후의 수분흡수 능력이 다소 증가된 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 Hincks & Staney²⁹⁾의 높은 상대습도와 온도에서 저장된 콩은 저온, 저습한 조건에 저장된 콩보다 초기 수분흡수 속도가 빠르며, 흡수능력도 증가되었다는 보고와 비슷한 경향으로 이는 높은 상대습도와 온도의 저장시 낮은 대기 gas의 존재나 높은 수분함량이 더 이상의 수화가 일어날 때까지 back pressure의 전개를 방해하기 때문에 수화가 빠른 것으로 생각된다. 그러나 Sabularse 등³⁰⁾은 현미의 수분흡수 시험에서 1~2 kGy 조사된 것이나 비조사군 모두 3개월 이상의 저장으로 수분흡수율이 저하되었다고 하였으며, Roushdi 등³¹⁾도 조사후 2년 저장된 옥수수의 경우 수분흡수

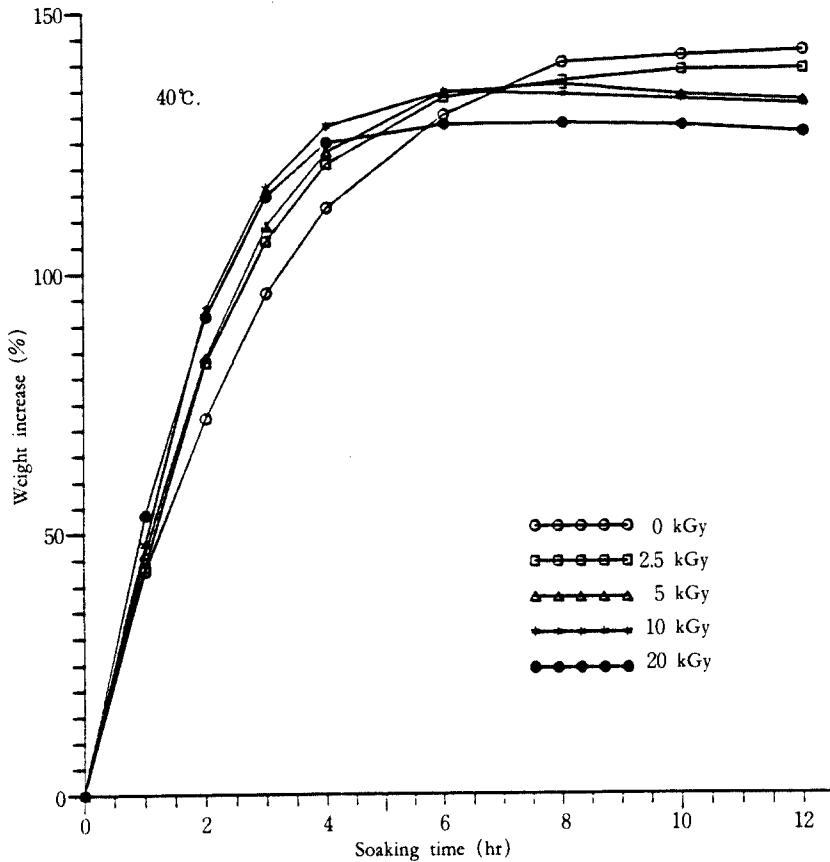


Fig. 5. Changes in weight of gamma-irradiated black soybeans during soaking at 40°C

가 늦어짐을 보고하였다. Indudhara Swanny 등³²⁾은 쌀을 1년 저장한 후에는 80°C와 90°C에서 수분 흡수가 증가되었으나, 2년 이상 저장기간이 연장됨에 따라 다소 감소됨을 보고하였다.

2. 수분흡수 속도

검정콩의 침지중 무게 증가량은 수분의 흡수에 의한 것으로 가정되고 콩의 수분 증가량은 침지시간의 평방근과 직선적인 관계를 보였다(Fig. 6~8). 따라서 이와같은 결과는 식(1) 즉, $m - m_0 = K_0 \sqrt{t}$ 와 같이 표시될 수 있다. Becker²⁴⁾ $t=0$ 일 때 수분함량 (m) = m_0 , $t > 0$ 일 때 고체의 표면에서 $m=m_s$ (표면에서의 유효 수분 함량) 및 확산계수(diffusion

coefficient, D)가 항수(constant)인 조건하에서, 임의 형태의 고체에 있어서 nonstationary state 확산 방정식은 개략적으로 식(1)과 같이 나타낼 수 있다고 하였다. 즉, 고체 내부로의 수분이동이 Fick의 확산법칙에 따른다면 고체의 초기 수분증가는 식 (1)에 의하여 침지시간의 평방근에 비례하게 된다. 따라서 검정콩의 수분흡수의 기본기작은 확산 현상에 의하여 설명될 수 있음을 가르킨다.

감마선 조사에 따른 검정콩의 수분흡수와 침지시간과의 직선관계에서 기울기(K_0)를 구하였다(Table 1). 먼저 감마선 조사직후, 비조사군이나 감마선 조사군 모두 침지온도가 4°C, 10°C, 20°C, 30°C 및 40°C로 높아짐에 따라 수분흡수 속도상수(water uptake rate constant, $g H_2O/min^{1/2}$)는 0.0335~0.0510, 0.0398~

Table 1. Rate constant for water uptake of gamma-irradiated black soybeans

Soaking temperature (°C)	Storage time (year)	Water uptake rate constant (g H ₂ O/min ^{1/2})				
		Control	2.5 kGy	5 kGy	10 kGy	20 kGy
4	0 ^a	0.0335	0.0382	0.0409	0.0440	0.0453
	1 ^b	0.0340	0.0387	0.0418	0.0460	0.0510
10	0	0.0398	0.0432	0.0474	0.0513	0.0535
	1	0.0423	0.0455	0.0495	0.0544	0.0606
20	0	0.0533	0.0559	0.0579	0.0626	0.0631
	1	0.0606	0.0615	0.0646	0.0707	0.0793
30	0	0.0771	0.0820	0.0842	0.0909	0.0936
	1	0.0811	0.0847	0.0887	0.0909	0.1007
40	0	0.0943	0.1059	0.1235	0.1340	0.1182
	1	0.0963	0.1107	0.1289	0.1401	0.1204

a Immediately after gamma-irradiation.

b After 1 year of storage at room temperature.

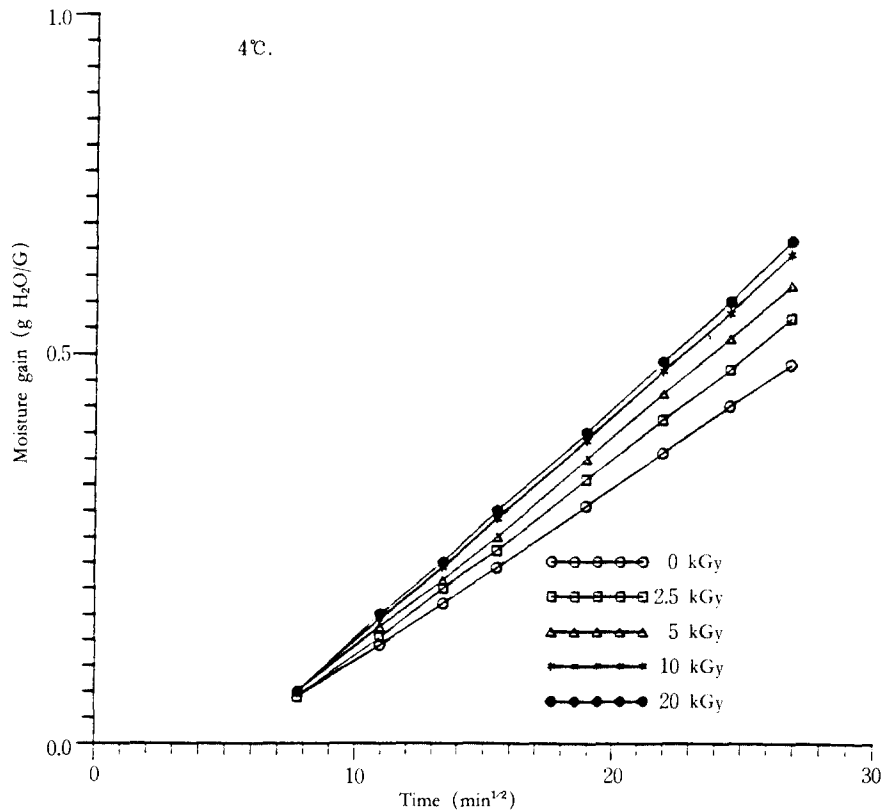


Fig. 6. Relationship between the moisture gain and the square root of the absorption time of gamma irradiated black soybeans during soaking at 4°C

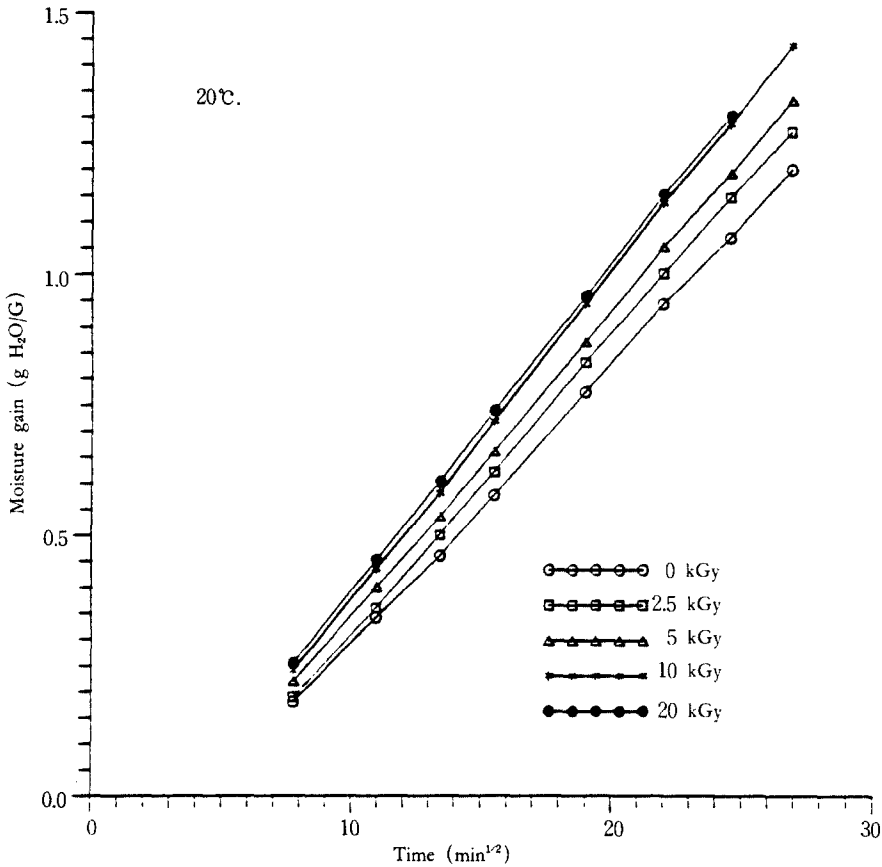


Fig. 7. Relationship between the moisture gain and the square root of the absorption time of gamma-irradiated black soybeans during soaking at 20°C

0.0606, 0.0533~0.0793, 0.0771~0.1007 및 0.0943~0.1204로 각각 증가하였다. 특히 비조사군에 비해 감마선 조사군은 조사선량의 증가와 함께 모든 침지온도에서 수분흡수 속도상수가 크게 증가됨을 나타내었다. 4°C 침지의 경우 비조사군이 0.0335인데 반하여 2.5 kGy 조사군은 0.0382, 5 kGy는 0.0409, 10 kGy는 0.0440, 20 kGy는 0.0453이었고, 20°C 침지의 경우 비조사군이 0.0533인데 반하여 2.5 kGy 조사군은 0.0559, 5 kGy는 0.0579, 10 kGy는 0.0626, 20 kGy는 0.0631로 수분흡수 속도가 크게 증가됨을 나타내었다. 감마선 조사후 실온에서 1년 저장된 콩의 수분흡수 속도상수에서도 감마선 조사직후와 동일한 경향으로 비조사군에 비해 감마선 조사군은 조사선량의 증가와 더불어 모든 침지온도에서 수분흡수 속

도가 크게 증가되었고, 앞의 수화양상에서 언급하였듯이 저장초기 즉, 감마선 조사직후의 경우보다 모든 침지온도와 조사선량에서 다소 높은 수분흡수 속도상수를 나타내었다. 콩의 수화속도는 품종에 따라서 차이가 있다고 하며, 이는 그들의 세포벽 조성, 분자크기, 각 시료의 세포내 개개 성분의 자연적 결합상태 등에 의한 이질성으로 설명될 수 있으며,³⁰⁾ 감마선 조사는 이러한 요인들에 영향을 주어 수분흡수 속도의 증가를 보여준 것으로 생각된다.

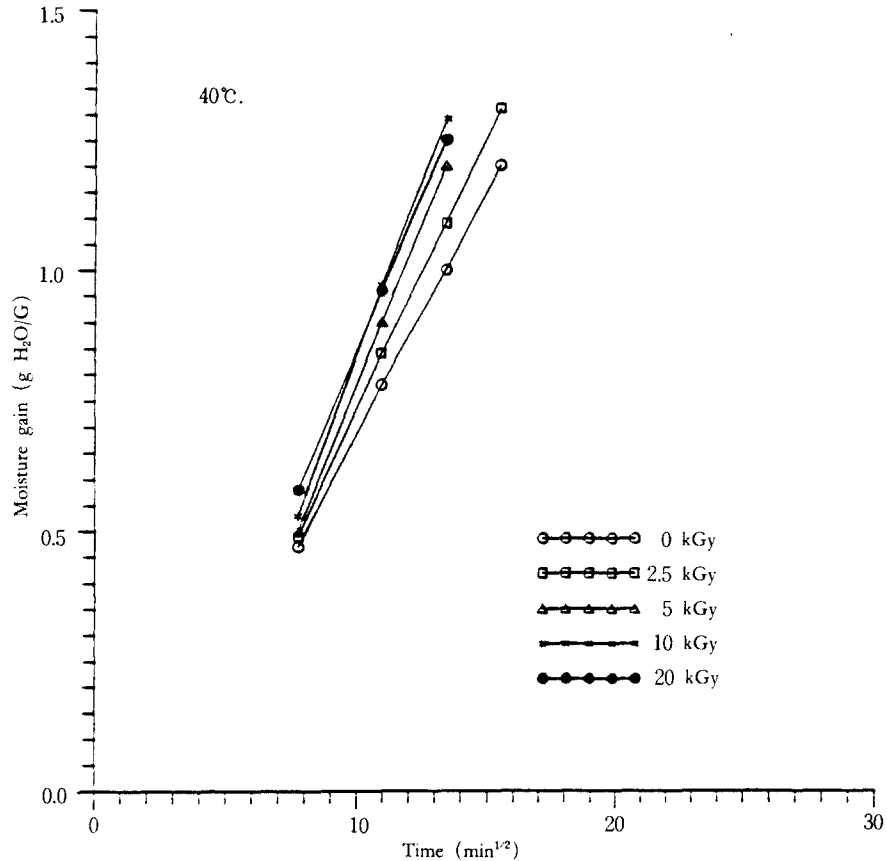


Fig. 8. Relationship between the moisture gain and the square root of the absorption time of gamma-irradiated black soybeans during soaking at 40°C

3. 수분흡수 속도와 온도와의 관계

수분흡수 속도와 침지온도와의 관계(Table 1) 즉, 침지온도별 수분흡수 속도의 결과를 수분흡수속도(log)와 (1/절대온도)의 관계로 표시하면 기울기는 침지온도 20°C를 전후하여 다른 두 개의 직선관계를 나타내었다(Fig. 9). 이 때 식(2) 즉, Arrhenius 방정식을 이용하여 수분흡수에 요구되는 활성화 에너지(activation energy)를 계산한 결과는 Table 2와 같다. 감마선 조사직후의 경우, 침지온도 4~20°C에서의 수분흡수 활성화 에너지 값은 약 3200~4700 cal/mole로서 20~30°C에서의 약 6600~7100 cal/mole에 비해 약 2배 정도 낮았다. 또한 감마선 조사에 따른 활

성화에너지 값은 비조사군에 비하여 조사군의 조사선량의 증가와 함께 상당히 낮은 값을 보였다. 즉, 비조사군의 경우 침지온도 4~20°C에서 4681.5 cal/mole, 20~30°C에서 6613.4 cal/mole이었으나, 5 kGy 조사로서 3504.0 cal/mole과 6607.1이었고 10 kGy 조사로서 3260.2 cal/mole과 7095.7 cal/mole를 나타내어 검정콩의 감마선 조사로서 수분흡수에 요구되는 활성화에너지 값이 상당히 낮아짐을 알 수 있었다. 감마선 조사후 1년 저장된 콩에 있어서도 조사선량의 증가와 함께 활성화에너지 값이 낮아져 조사직후의 경우와 동일한 경향으로 비조사군이 약 5100~5800 cal/mole, 10 kGy조사군이 4300~4400 cal/mole이었다. 또한 감마선 조사직후와 같이 침지온도 20°C

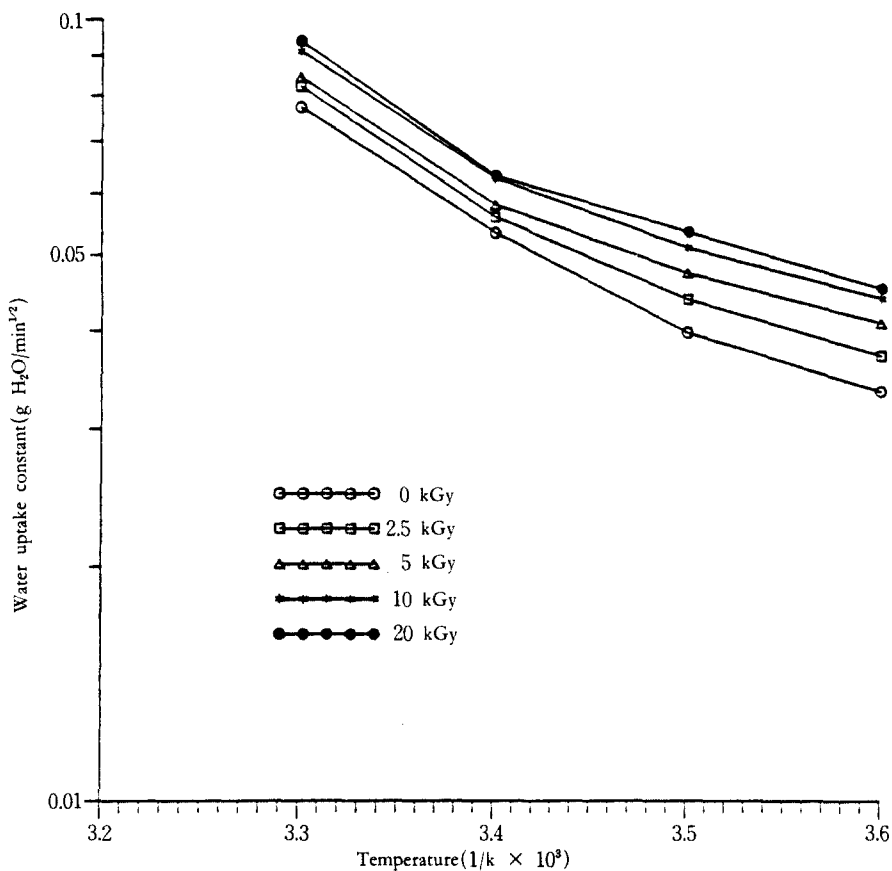


Fig. 9. Arrhenius plots of water uptake rate constants of gamma-irradiated black soybeans

Table 2. Activation energy(Ea) for water uptake of gamma-irradiated black soybeans

Irradiation dose (kGy)	Soaking temperature ($^{\circ}$ C)	Ea(cal/mole)	
		0 ^a	1 ^b
0	4 ~ 20	4681.5	5826.2
	20 ~ 30	6613.4	5141.1
2.5	4 ~ 20	3838.1	4669.5
	20 ~ 30	6760.2	5647.3
5	4 ~ 20	3504.0	4388.4
	20 ~ 30	6607.1	5593.8
10	4 ~ 20	3260.2	4332.9
	20 ~ 30	7095.7	4434.1
20	4 ~ 20	3356.9	4449.9
	20 ~ 30	6929.1	4215.2

a Immediately after gamma-irradiation.

b After 1 year of storage at room temperature.

를 전후하여 다른 두개의 직선관계를 보였으나, 조사직후와는 달리 두 직선간의 기울기 차가 낮아서 즉, 활성화 에너지 값의 차이가 크지 않았음을 나타냈다.

Leopold³⁴⁾는 대두의 경우 침지온도 20~40℃에서의 흡수 활성화에너지는 5800 cal/mole이라 보고하였고, 김 등²⁵⁾은 여러 종류의 대두에서 침지온도 4~20℃의 경우 1960~2500 cal/mole, 20~60℃에서 6370~6510 cal/mole의 활성화 에너지 값을 보였다고 하였으며 또한 수분흡수속도는 침지온도가 높을수록 의존성이 커졌다고 하였다. 또한 김²⁶⁾도 대두의 침지온도 4~60℃에서의 활성화에너지가 3246~4694 cal/mole이라 하여 본 실험의 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

4. 수화도의 온도 의존성

감마선 조사된 검정콩의 침지시 일정한 수분함량

에 도달하는 시간과 침지온도와의 관계를 나타낸 결과는 Fig. 10~12와 같다. 침지온도 4~30℃에서 침지시간의 대수값과 침지온도와의 관계를 보면 비조사군은 10℃를 전후하여, 5 kGy와 10 kGy 조사군은 20℃를 전후하여 한개의 변곡선을 갖는 두개의 직선관계를 나타내었다. 이는 낮은 온도에서의 침지가 높은 온도에서의 침지에 비하여 완만한 기울기를 나타내었으며 일정 수분함량에 도달하는 시간이 침지온도에 의하여 영향을 받았음을 알 수 있다. 본 실험의 결과는 Quast와 Da Silva¹⁵⁾가 검정콩을 4~50℃ 범위에서 침지했을 때 하나의 직선관계를 얻을 수 없었다는 보고와 유사하였다.

Fig. 10~12으로부터 Quast와 Da Silva¹⁵⁾가 제시한 식(3)에 의해 z-값(기울기)을 구하여 Table 3에 나타내었다. z-값은 수화도가 증가할수록 전반적으로 높았으며, 비조사군에 비해 감마선 조사군은 조사선량의 증가와 함께 z-값이 유의적으로 낮아짐을 보였다. 즉, 조리에 적당하다고 생각되는 수분함량(40%)

Table 3. Z-value of gamma-irradiated black soybeans to reach different degrees of hydration during soaking at 4°~30℃

Irradiation dose(kGy)	Degree of hydration (%)	Z-value(℃)	
		1st stage ^a	2nd stage ^b
0	30	390.63	264.13
	40	339.69	266.88
	50	390.93	267.28
2.5	30	386.61	222.46
	40	318.71	224.30
	50	363.62	231.34
5	30	288.20	190.88
	40	307.87	197.27
	50	334.41	193.02
10	30	271.29	190.88
	40	297.32	188.66
	50	322.63	178.59
20	30	217.22	474.24
	40	251.30	425.87
	50	271.68	384.75

^a 1st stage : soaking at 4° ~ 10℃.

^b 2nd stage : soaking at 10° ~ 30℃.

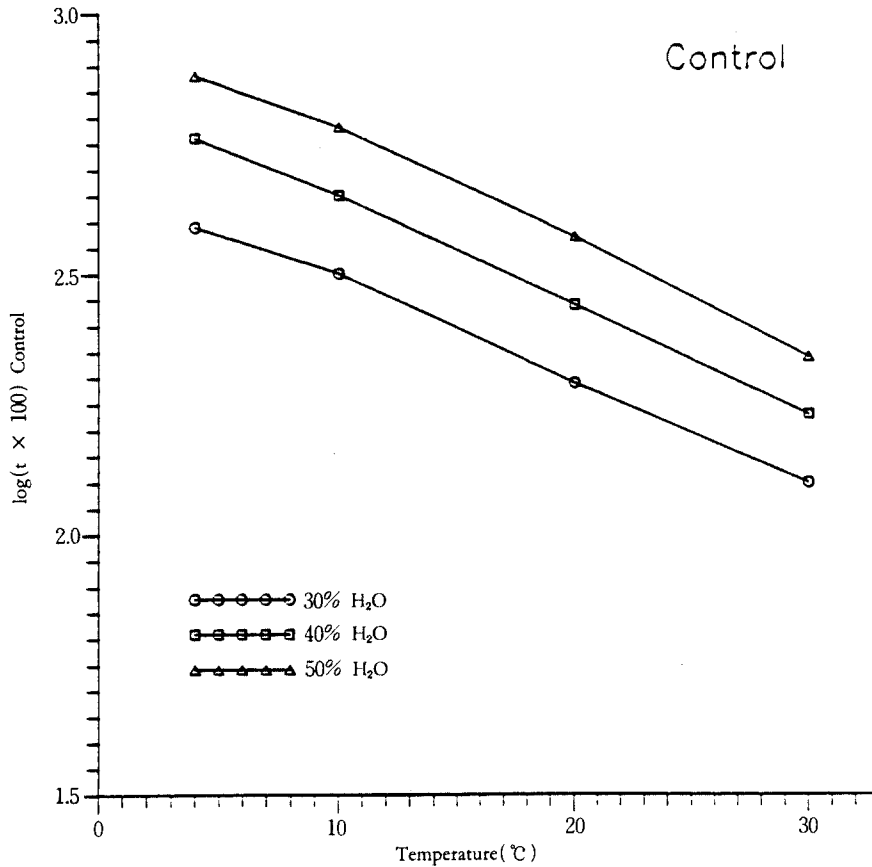


Fig. 10. Time to reach different degrees of hydration as a function of temperature for nonirradiated black soybeans

에 도달할 때의²⁵⁾ z-값은 비조사군이 267~340°C, 5 kGy 조사군이 197~308°C, 10 kGy 조사군이 189~297°C이었다. z-값은 일정한 수분함량에 도달하는 침지시간을 1/10로 단축시키는데 요하는 온도를 나타내므로 침지온도를 0°C에서 40°C로 증가시키면 40%의 수분함량에 도달하는 시간이 1/10로 감소됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 김²⁶⁾의 침지온도 40~98°C 범위에서의 70~110°C 정도의 값이나, 김²⁵⁾의 50~

70°C정도보다 높은 값을 보였으나 이는 사용된 시료의 종류에 따라서 초기수분 흡수속도와 침지온도 범위의 차이가 그 원인으로 생각된다.

이상의 결과들로 볼 때 5~10 kGy 범위 이내의 감마선 조사는 검정콩의 수분흡수속도와 능력을 증가시키는 효과, 즉 수분흡수특성을 개선하는 효과가 뚜렷함을 알 수 있었다.

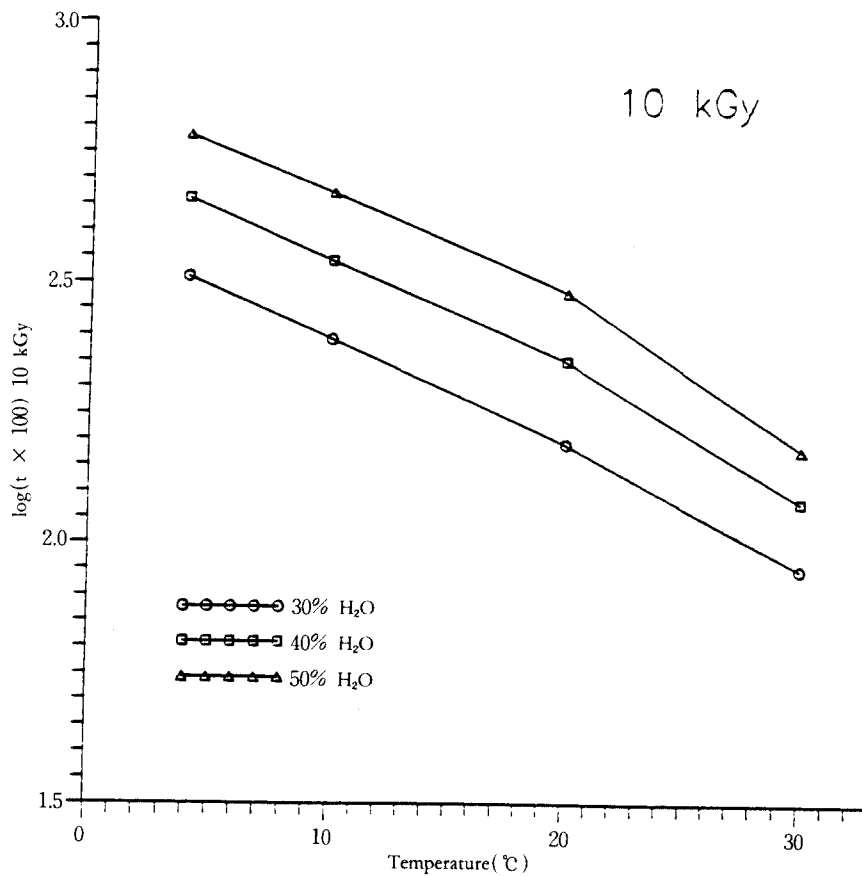


Fig. 12. Time to reach different degrees of hydration as a function of temperature for 10 kGy-irradiated black soybeans

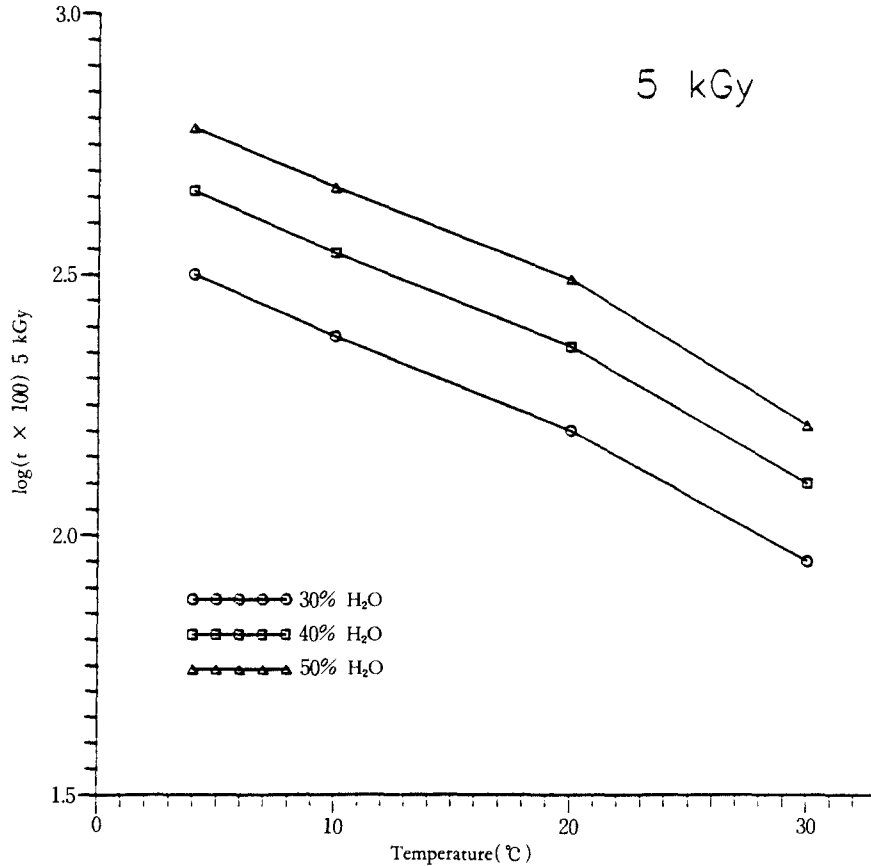


Fig. 11. Time to reach different degrees of hydration as a function of temperature for 5 kGy-irradiated black soybeans

IV. 요약

가공조리에 앞서 수화에 많은 문제점을 내포하고 있는 검정콩을 시료로 Co-60감마선을 2.5~20 kGy 까지 조사한 후 실온에 저장하면서 수분흡수 특성을 조사하였다. 수분흡수 양상은 침지온도와 조사선량의 증가로 수분평형에 도달하는 시간이 감소되었으며, 20℃ 수침시 2.5~10 kGy의 조사군은 비조사군에 비해 1~3시간의 침지시간 단축과 10~20%의 수화능력 증대효과를 가져왔다. 수분흡수 속도상수는 침지온도와 조사선량이 높아짐에 따라 증가하였고, 수분흡수를 위한 활성화에너지 값은 감마선 조사선량의 증가에 따라 감소되어 감마선 조사직후 비조사군의 경우 4~20℃와 20~30℃에서 4681.5 cal/mole

과 6613.4 cal/mole이었고 5 kGy 조사군은 3504.0 cal/mole과 6607.1 cal/mole이었다. z-값도 감마선 조사군은 비조사군에 비해 낮은 값을 보였다. 또한 감마선 조사에 의한 수침시간 단축 및 수화능력 증대 효과는 감마선 조사후 실온에서 1년간 저장된 시료에서도 뚜렷하였다.

감사의 말

본 연구는 1991년도 세종대학교 대양학술연구조성비에 의해 이루어진 연구의 일부로서 연구비 지원에 감사드립니다.

【참고문헌】

- 1) 김우정 : 콩 단백질의 영양과 이용. 미국 대두협회, 1987
- 2) Kinsella, J.E. : Functional properties of soy proteins. J. Am. Oil Chemists. Soc., 56, 1979, 242.
- 3) Estevez A.M. and Luh, B.S. : Chemical and physical characteristics of ready-to-eat dry beans. J. of Food Sci., 50, 1985, 777.
- 4) 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, 1968, 336.
- 5) 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, 1976, 661.
- 6) Kon, S. : Effect of soaking temperature on cooking and nutritional quality of beans. J. Food Sci., 44, 1979, 1329.
- 7) Smith, A.K., Nash, A.M. and Wilson, L.I. : Water absorption of soybean. J. Am. Oil Chem. Soc., 38, 1961, 120.
- 8) Parrish, D.J. and Leopold, A.C. : Transient changes during soybean imbibition. Plant Physiol. 59, 1977, 1111.
- 9) Dawson, E.H., Lamb, J.C., Toepfer, E.W. and Warren, H.W. : Technical Bull. 1051, U.S. Dept. of Agr., Washington, D.C. 1952.
- 10) Hsu, K.H., Kim, C.J. and Wilson, L.A. : Factors affecting water uptake of soybeans during soaking. Cereal Chem., 60, 1983, 209.
- 11) Arechavaleta-Medina, F. and Snyder, H.E. : Water imbibition by normal and hard soybeans. J. Am. Oil Chem. Soc., 58, 1981, 976.
- 12) Hsu, K.H. : Effect of temperature on water diffusion in soybeans. J. Food Sci., 48, 1983, 1364.
- 13) 김우정, 신애숙, 김종근, 양차범 : 검정콩의 흡수속도에 미치는 영향 인자. 한국식품과학회지, 17(1), 1985, 41.
- 14) Brown, A.J. and Worley, F.P. : The influence of temperature on the absorption of waters by seeds of Hordeum vulgare in relation to the temperature coefficient of chemical change. Proc. Roy. Soc. London Ser. B., 85, 1912, 546.
- 15) Quast, D.G. and Da Silva, S.D. : Temperature dependence of hydration on the cooking rate on dry legumes. J. Food Sci., 42(5), 1977, 1299.
- 16) 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, 1979, 1510.
- 17) 이형원, 이종욱, 조상준 : 대두의 침지중 고형물의 용출속도에 미치는 침지온도의 영향. 한국식품과학회지, 18, 1986, 497.
- 18) Byun, M.W., Kwon, J.H., Cha, B.S., Chung, K. H. and Cho, H.O. : control of insects on stored rice grain by gamma irradiation. J. Korean Agric. Chem. Soc., 31, 1988, 143.
- 19) Lorenz, K. : Irradiation of cereal grains and grain products. In Critical Reviews in Food Science and Nutrition. Thomas Furia (Ed.) p. 317. CRC Press Inc., Boca Raton, FL 1975.
- 20) Wootton, M. : Application of gamma-irradiation to cereals and cereal products commercialisation of Ionizing Energy Treatment of Food, AAEC/S25, IAEA 1985.
- 21) WHO : A technique for preserving and improving the safety of food. Food Irradiation. Published by WHO/FAO, Geneva 1988.
- 22) Rao, V.S. and Vakil, U.K. : Effects of gamma-radiation on cooking quality and sensory attributes of four legumes. J. Food Sci., 50, 1985, 372.
- 23) Ahmed, M., Badshah, A. and Bibi, N : Effect of gamma irradiation on cooking time and associated physicochemical properties of two legumes. Pak. J. Sci. Ind. Res., 34, 1990, 151.
- 24) Backer, H.A. : On the absorption of liquid water by the wheat kernel. Cereal Chem., 37, 1960, 309.

- 25) 김종근 : 우리나라 콩의 영양성분 및 조리특성. 단국대학교 박사학위 논문 1986.
- 26) 김동희 : 콩 품종에 따른 이화학적 특성연구. 숙명여자대학교 박사학위 논문 1989.
- 27) Meredith, P. : Dependence of water absorption of wheat on protein content and degree of starch granule damage. *New Zealand J. Sci.*, 9, 1966, 324.
- 28) El Saadany, R.M.A., Toda, Y.H. and El Saadany, F.M. : Improving of Egyptian rice by means of gamma irradiation, *Starke*, 31, 1979, 230.
- 29) Hincks, M.J. and Stanley, D.W. : Multiple mechanisms of bean hardening. *J. Food Technol.*, 21, 1986, 731.
- 30) Saburarse, V.C., Liuzzo, J.A., Rao, R.M. and Grodner, R.M. : Cooking quality of brown rice as influenced by gamma irradiation, variety and storage. *J. Food Sci.*, 56, 1991, 96.
- 31) Roushdi, M., Fahmi, A.A. and Sarhan, M.A. : Effect of gamma rays on corn grains Part III. Effect of post-irradiation storage on some technological properties of corn grain and fatty acids. *Starke*, 33, 1981, 163.
- 32) Indudhara Swamy, Y. Sowbhagya, C.M. and Bhattacharya, K.R. : Change in the physicochemical properties of rice with aging. *J. Sci. Fd. Agric.*, 29, 1978, 627.
- 33) Sathe, S.K. and Salunkhe, D.K. : Isolation partial characterization and modification of the great northern bean (*Phaseolus vulgaris* L.) starch. *J. Food Sci.*, 46, 1981, 617.
- 34) Leopold, A.C. : Temperature effects on soybean imbibition and leakage. *Plant Physiol.*, 65, 1980, 1096.