KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL. Vol. 36, No. 6, pp. 900~904 (2004)

KOREAN JOURNAL OF
한국식품과학회지
FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY
©The Korean Society of Food Science and Technology

감마선 조사가 현미의 수화속도 및 호화양상에 미치는 영향

이유석 · 서정식[1] · 이주운 · 변명우*

한국원자력연구소 방사선식품생명공학기술개발팀, [1]영남이공대학 식음료조리계열

Effect of Gamma Irradiation on Water Uptake Rate and Gelatinization of Brown Rice

You-Seok Lee, Chung-Sik Shu[1], Ju-Woon Lee, and Myung-Woo Byun*

Radiation Food Science and Biotechnology Team, Korea Atomic Energy Research Institute
[1]Division of Food, Beverage and Culinary Art, Yeungnam College of Science and Technology

Effects of gamma irradiation on brown rice quality were evaluated. Brown rice was irradiated at absorbed dose of 1, 3 or 5 kGy, and ground. Water uptake, pasting properties, and physicochemical characteristics of flour samples were tested. Water uptake rates of irradiated samples were higher than that of control, and were dose-dependent. Hydration capacity decreased in sample irradiated at 5 kGy due to leaching out of soluble compounds, whereas no differences were observed among other irradiated samples and control. Irradiation significantly decreased pasting properties as determined by amylograph. Gamma irradiation accelerated water evaporation at high temperatures (over 300°C) in test of weight-loss profile with thermogravimetric analyzer.

Key words: irradiation, water uptake rate, brown rice, gelatinization

서 론

최근 소득증대와 건강에 대한 관심이 높아지면서 식품의 선택에 있어 일반 소비자들의 욕구가 다양한 형태로 나타나고 있다. 특히, 주식인 밥의 경우 예전에는 흰 쌀밥만을 찾던 것이 최근 여러 잡곡과 함께 혼식을 선호하는 추세이다(1). 일반적으로 쌀은 도정도가 증가할수록 양적 감소뿐만 아니라 단백질, 지방, 무기질 및 섬유소의 감소가 증가한다. 따라서 현미는 곡류 식이섬유의 중요한 공급원으로 백미에 비해 2배 정도의 식이섬유를 공급할 수 있고 양질의 식물성 단백질을 비롯해 지방, 칼슘, 인, 나트륨, 철분 등의 무기질이 많이 함유되어 있어 건강에 관심이 많은 현대인들에게 기호성이 높다(2). 그러나 현미는 백미에 비하여 외피가 두껍고 질기며 치밀한 쌀겨층으로 쌓여 있어 쌀겨층을 통한 수분 흡수율이 낮기 때문에 호화에 제한성이 따르며 소화율이 낮은 단점을 가지고 있다(3).

취반과정 중 수침은 가열시에 열의 전도를 용이하게 하여 전분입자의 호화에 필요한 수분을 균일하게 분포시킬 목적으로 실시하며, 수침이 불충분하면 수분이 쌀의 내부까지 충분하게 침투되지 않으므로 가열시 표면이 먼저 호화되어 내부로의 열전달이 방해되기 때문에 표면은 질고 내부는 된밥이 된다. 일반적으로 쌀을 물에 침지시키면 과피를 통하여 수분이 흡수되는데, 과피와 호분층의 세포벽은 수분 흡수의 장벽으로 작용한다(4). 따라서 수화시간 단축을 위한 간편한 방법의 개발은 가정이나 특히 대형가공공장에서는 매우 중요한 요소일 것으로 사료된다.

지금까지 현미에 관한 연구는 현미의 일반성분(5), 저장 중 수분흡수 속도(6) 및 일반성분의 변화(7), 현미와 백미의 취반특성의 비교(8)에 관한 연구가 주를 이루고 있으며 최근에는 현미를 이용한 가공식품의 생산 및 개발에 주력을 하고 있다. 따라서 현미를 이용한 다양한 제품개발을 위해 조리적성에 문제점으로 대두되고 있는 수분흡수속도를 촉진하는 효과적인 방안이 모색되어야 할 것이다.

최근 방사선조사 기술은 식품의 새로운 위생화 기술로 대두되고 있으며 곡류나 두류의 미생물적 변질 방지나 해충구제의 목적으로 사용되고 있다(9). 식품가공 측면에서 감마선 조사를 이용하여 건조식품의 조리적성을 향상시킨 연구로는 주로 두류에 관한 연구에 편중되어 있는 실정이다(9-12). Rao와 Vakil(10)은 4가지 두류에 5 kGy의 감마선을 조사한 결과 관능적 품질요소가 비조사구 보다 우수하다고 하였으며 두유 및 두부의 가공적성에 있어서도 5 kGy 감마선조사 대두가 비조사 대두로 제조된 제품보다 우수하다고 하였다(11). 또한 대두(12) 및 검정콩(9)에 감마선조사 하였을때 수분흡수속도가 증가하고 조리적성 및 관능적 품질도 향상되었다는 연구가 보고되기도 하였다. 한편 감마선조사에 의한 현미에 관한 연구로는 Hayashi 등(13)이 현미를 10 kGy 이하의 선량으로 감마선을 조사하였을 때 영양소의 파괴를 최소화하면서 grain 내의 미생물을 효

*Corresponding author: Myung-Woo Byun, Team for Radiation Food Science and Biotechnology Team, Korea Atomic Energy Research Institute, Yuseong, P.O. Box 105, Daejeon 305-600, Korea
Tel: 82-42-868-8060
Fax: 82-42-868-8043
E-mail: mwbyun@kaeri.re.kr

과적으로 제어할 수 있다는 보고와 현미의 조리시간 단축을 위한 적용(14)에 관한 연구 이외에는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 감마선 조사에 의해 최근 소비가 급증하고 있는 현미의 수화속도를 증대시킴으로써 조리적성의 향상 가능성을 검토하였으며, 감마선 조사에 따른 현미가루의 이화학적 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

실험재료

실험에 사용한 시료는 대전에서 유통되고 있는 현미(충북 청원, 2003년산)를 구입하여 정선한 후 사용하였으며, 낱알의 무게는 20.3±1.2 mg, 길이와 폭은 각각 4.9±0.4 mm, 2.8±0.2 mm이었다.

감마선조사

정선된 현미를 nylon bag(산소투과도: 0°C에서 2 mL O_2/m^2/24 hr; 20×30 cm; Sunkyung Co. Ltd., Seoul, Korea)에 포장한 후 Co-60 감마선 조사시설(IR-79, Nordion International Ltd., Ontario, Canada, 100 kCi)을 이용하여 실온에서 시간당 5 kGy의 선량률로 각각 0, 1, 3, 5 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 조사하였다. 흡수선량의 확인은 Fricke dosimetry(ceric cerous dosimeter, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하였고, 선량의 오차는 0.1 kGy이었으며, 조사실의 온도는 18°C이었다. 감마선 조사된 현미는 실험용 분쇄기(Tecator cemotec 1090 sample mill, Hoganas, Sweden)을 이용하여 분쇄한 후 60 mesh 체에 통과시켜 실온에 저장하면서 실험에 사용하였다.

수분흡수속도 측정

정선된 시료 1 g을 glass tube에 취하고 20, 30, 40, 50°C 항온수조에 침지하면서 일정 시간별로 꺼내어 Whatman 여지에 10초간 굴려서 표면수를 제거한 후 무게증가량으로부터 건물 1 g당 수분증가량을 계산하여 하였다. 실험은 최소한 2회 반복하여 그 평균값을 취하였으며, 수분흡수속도는 다음의 Becker(15) 확산방정식에 의하여 계산하였다.

$$\bar{m} - \bar{m}_0 = k\sqrt{t}$$

여기에서 m은 일정시간 침지 후의 수분증가량(g H_2O/g dry matter), m_0는 쌀알의 초기수분함량(g H_2O/g dry matter), k는 수분흡수 속도상수(g, $H_2O/min^{1/2}$), t는 침지시간(min) 이다.

팽윤력 측정

팽윤력은 Saaki와 Matsuki의 방법(16)을 변형하여 측정하였다. 즉, 각 시료 0.16 g을 tube에 취하고 증류수 5 mL를 가하여 70°C 수욕조에서 10분 동안 방치한 후 끓는 물에서 다시 10분 동안 가열하였다. 가열 후 냉각수조에서 5분 동안 냉각시키고 원심분리(VS-5500, Vision Scientific Co. Ltd., Bucheon, Korea) 하여 (2,000×g, 10분) 침전물의 중량비로 팽윤력을 계산하였다.

열수가용성성분 함량

현미 쌀가루의 열수가용성성분 함량은 Ong과 Blanshard의 방법(17)을 변형하여 실시하였다. 쌀가루 5 g을 centrifuge tube에 취하여 증류수 25 mL를 첨가하고 끓는 물에서 30분 가열한 후 원심분리기(VS-5500, Vision Scientific Co. Ltd., Bucheon, Korea)를 이용하여 원심분리(2,000×g, 10분)하였다. 이렇게 얻어진 상징액을 105°C 상압가열건조법에 따라 미리 항량을 구한 증발접시에 취하여 105°C 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시킨 다음 무게를 칭량하여 열수가용성성분 함량을 구하였다.

Amylograph에 의한 호화특성

감마선 조사된 현미의 호화양상은 amylograph(viscoamylograph E, Brabender Instrument Inc., Hackensack, NJ)를 이용하여 Bhattacharya와 Sowbhagya의 방법(18)으로 측정하였다. 즉, 건량기준으로 10% 농도의 시료를 준비하고 50°C에서부터 95°C까지 1.5°C/min의 일정한 속도로 상승시켰다. 95°C에서 15분간 유지시킨 후 2°C/min의 속도로 50°C까지 냉각시키고 15분간 유지시켰으며, 아밀로그래프의 특성치는 호화개시온도, 최고점도, 95°C에서 15분 유지한 후의 hot paste viscosity, 50°C에서의 냉각점도와 이로부터 consistency, breakdown, setback을 구하였다.

Thermogravimetric analyzer에 의한 열역학적 특성

감마선 조사된 현미 쌀가루의 열역학적 특성은 Mohamed와 Rayas-Duarte의 방법(19)을 변형하여 TGA 2050(TA Instruments Thermal Analysis and Rheology, New Castle, USA)을 이용하여 측정하였다. 즉, 시료 20 mg을 platinum pan에 취하고 25°C에서 700°C까지 10°C/min의 속도로 상승시켰으며 각 온도에서의 무게감소량으로 나타내었다.

통계분석

이상의 실험에서 얻어진 결과는 SPSS(Statistical Package for Social Sciences, 10.0)(20)를 이용하여 one way ANOVA 분석후, 시료간의 유의성은 Duncan's multiple range test로 $p < 0.05$ 수준에서 비교하였다.

결과 및 고찰

수화양상 및 수분흡수속도

감마선 조사된 현미의 수화양상은 다양한 수침온도(20-50°C)에서 2시간 동안 수침하면서 일정시간 간격으로 무게증가량을 측정하여 수분흡수량을 계산하였다(Fig. 1). 수침온도 20-40°C에서는 감마선 조사선량이 증가할수록 수분흡수량이 증가하는 경향을 나타내었으며 감마선 조사에 의한 수분흡수량의 증가는 전분, 셀룰로오스 등의 고분자 중합체가 감마선에 의해 일부 분해되어 저분자화 되고, 이렇게 형성된 저분자 입자들이 수화의 이용 표면적을 증가시켰기 때문인 것으로 알려져 있다(21). 또한 수분흡수의 물리적 장해물로 작용하였던 단백질 분자의 matrix 구조의 감마선 조사에 의한 파괴로 인해 수분흡수가 증대된 것으로 사료된다(14). 그러나 50°C의 수침온도에서는 5 kGy 조사구의 경우 45분 이후 무게증가량이 비조사구보다 더 낮은 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 감마선 조사구의 경우 수분속도는 빨라지나 수침액 중으로 용출되는 가용성 단백질, 당, 비타민, 무기질 등의 양이 상대적으로 더 많이 용출되어 전반적인 쌀입자의 무게가 감소함으로써 무게증가량에 영향을 미친 것으로 사료되며 앞선 연구자들(12)의 결과와도 유사한 경향을 나타내었다.

수분흡수속도상수(k_0)는 감마선 조사된 현미를 다양한 수침온도(20-50°C)에서 수침하면서 초기 45분까지의 무게증가량으로부터 Becker 방식(15)에 의해 계산된 직선의 기울기로 나타내었다(Table 1). 수침온도와 감마선 조사선량이 높아질 수록 수분흡수속도상수는 증가하는 경향을 나타내었으나 50°C의 경

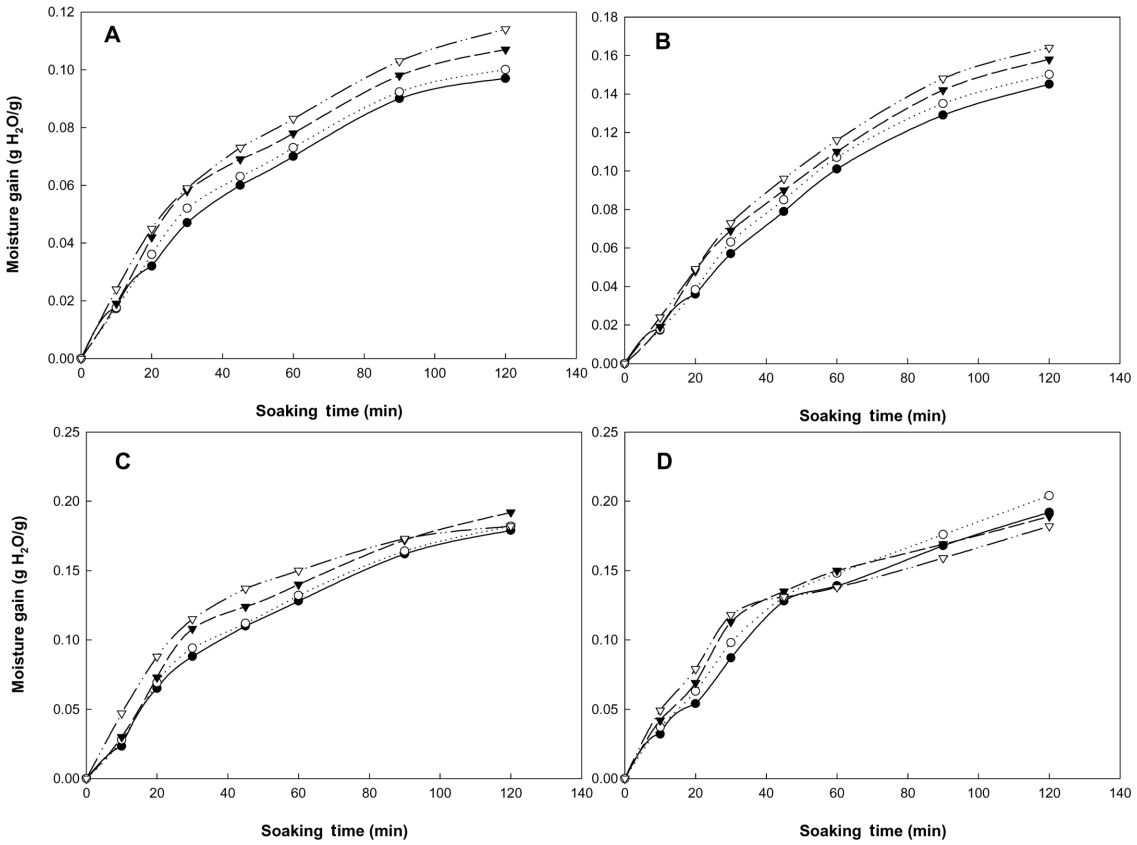

Fig. 1. Water gain during the hydration of gamma irradiated brown rice at different temperature.
A: 20°C, B: 30°C, C: 40°C, D: 50°C, ●: 0 kGy, ○: 1 kGy, ▼ : 3 kGy, ▽: 5 kGy.

우 3 kGy와 5 kGy의 속도상수가 각각 0.205, 0.204로 5 kGy 조사구가 더 낮은 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 고온의 수침온도에서 45분 이후에는 3 kGy에 비해 5 kGy의 무게증가량이 더 적기 때문이다. 강과 변(12)은 대두의 수화속도를 증대시키기 위해 감마선 조사한 결과 조사선량의 증가와 더불어 3-6시간 정도의 수침시간을 단축시킬 수 있다고 보고하였으며, 검정콩(9)과 녹두, chickpeas의 수침시간 단축 가능성(21) 뿐만 아니라 softness를 증가시켜 조리적성의 향상 가능성이 보고되어 왔다(22). 따라서 본 실험의 결과 감마선 조사에 의해 현미의 수침시간을 단축시켜 현미를 비롯한 각종 곡류의 가공공정에서 조리시간을 단축시킬 수 있는 큰 장점이 있으며 다른 물리적 특성에 큰 영향을 주지 않는 적절한 선량의 선택이 중요할 것으로 사료된다.

Table 1. Calculated value of the water uptake rate constant of brown rice

Soaking temperature (°C)	Irradiation dose (kGy)	k_0 ($min^{-1/2}$)
20	0	0.0090
	1	0.0097
	3	0.0107
	5	0.0111
30	0	0.0116
	1	0.0126
	3	0.0136
	5	0.0144
40	0	0.0170
	1	0.0175
	3	0.0195
	5	0.0211
50	0	0.0183
	1	0.0193
	3	0.0205
	5	0.0204

팽윤력과 열수가용성성분의 함량 변화

감마선 조사가 현미 쌀가루의 팽윤력과 열수가용성성분 함량에 미치는 영향은 Fig. 2와 같다. 현미의 팽윤력은 비조사구의 경우 9.16에서 5 kGy 조사구의 경우 4.05로 약 58%의 감소율을 나타내었다. 감마선 조사에 의한 팽윤력의 감소는 쌀입자 내의 성분들의 breakdown과 depolymerization으로 인해 저분자량의 fraction이 생성되며 전분의 결정성 부분이 감소되거나 긴 아밀로오스 사슬이 부분적으로 끊어짐으로써 물에 용해되므로 팽윤하는 동안 물과 결합할 수 있는 능력이 저하되어 나타난 결과로 생각된다(14). 따라서 감마선 조사선량이 증가함에 따라 Fig. 2와 같이 열수가용성성분의 함량이 유의적으로 증가하는 결과를 수반하게 된다. 즉, 비조사구 현미 쌀가루의 열수가용성성분은 4.97%에서 5 kGy 조사구의 경우 11.84%로 조사선량이 증가함에 따라 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 전분분자의 부분적인 절단에 의해 용해도가 증가하였기 때문인 것으로 사료된다. Sabularse 등(14)은 저선량으로 감마선 조사한 현미의 가용성성분은 감마선 조사선량이

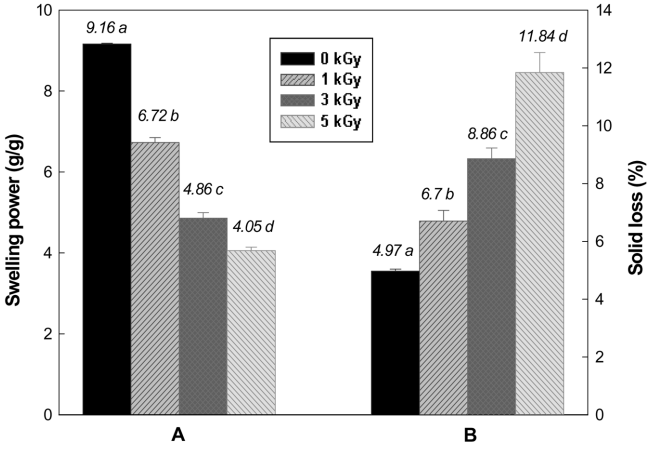

Fig. 2. Swelling power and solid loss of gamma irradiated brown rice at various dose.
A: Swelling power, B: Solid loss.
[a-d]Means the different letters differ significantly (p<0.05).

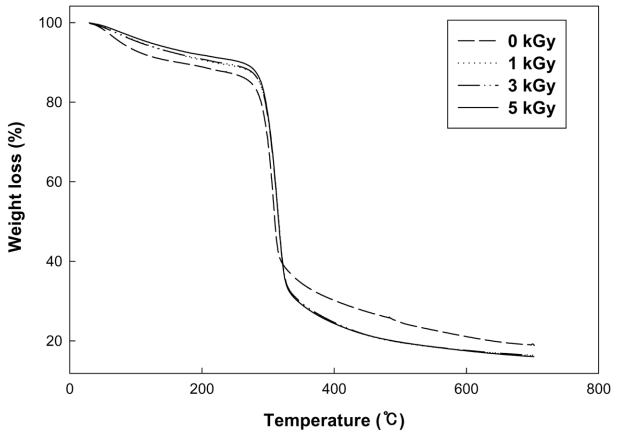

Fig. 3. Thermogravimetric analyzer profile of gamma irradiated brown rice.

증가할수록 많이 용출되었음을 보고하였고 본 연구도 이와 일치하는 결과를 나타내었다. 즉, 현미에 감마선을 조사하는 경우 쌀입자 내부의 breakdown에 의해 결합력을 약화시키며 이로 인해 팽윤력의 감소와 취반시 용출될 수 있는 열수가용성 성분의 함량을 증가시키는 결과를 나타낸 것으로 보인다. 따라서 이러한 열수가용성 성분의 증가는 감마선 조사한 현미를 이용하여 취반하는 경우 밥의 경도와 부착성을 증대시키는 결과를 수반할 것으로 사료되지만 이를 입증할 수 있는 뚜렷한 근거를 확립하기 위해서는 더 많은 연구가 진행되어야 될 것이다.

호화온도 및 특성 변화

아밀로그래프로부터 얻은 현미 쌀가루의 아밀로그램 특성값은 Table 2와 같이 조사선량이 증가함에 따라 전분의 물리적 특성이 크게 달라짐을 알 수 있었다. 호화개시온도(viscosity가 10 B.U.에 도달할 때의 온도)는 감마선 조사선량에 큰 영향을 받지 않지만 최고점도, breakdown, consistency 및 setback에서는 유의적인 차이를 나타내었다. 비조사구의 최고점도는 325 B.U.을 나타내었으나 1 kGy, 3 kGy, 5 kGy 감마선 조사구는 각각 207, 116, 74 B.U.로 조사선량이 증가할수록 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 점성의 저하는 감마선 조사에 의해 고분자량의 전분이 분해되어 저분자량의 화합물을 형성하기 때문인 것으로 사료된다(23). 일반적으로 전분의 호화시 나타나는 점도 증가에 의해 전분이 주요 성분인 탄수화물 식품의 경우 영양밀도가 높은 제품의 개발이 어려운 실정이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하여 영양밀도가 높은 제품의 개발을 위해 저선량의 감마선조사 기술이 유용하게 적용될 수 있을 것으로 사료된다. MacArthur와 D'appolonia(24)는 비조사구와 3 kGy 감마선 조사구의 최고점도를 비교한 결과 각각 350 B.U.와 55 B.U.로 점도가 크게 감소하는 것으로 보고하여 점도의 감소율이 본 연구의 결과와 차이점이 있었다. 이러한 점도 감소율의 차이는 현미 낱알의 경우 전분 이외의 단백질, 지방 및 셀룰로오스와 같은 다른 성분들에 의해 전분의 점도 감소에 대한 감마선 조사의 감수성이 저하되어 순수한 전분 보다 점도 감소율이 다소 저하된 것으로 사료된다.

50ºC의 냉각점도는 전분호화액의 냉각시 무질서한 상태로 존재하던 아밀로오스 분자들이 나란히 배열되어 분자간의 보다 많은 수소결합을 통해 회합체를 이룸으로써 점도가 증가하며, 이때의 점도 변화로 인해 consistency와 setback을 측정 할 수 있으며 값이 클수록 노화가 빨리 진행되는 것으로 알려져 있다(2). 비조사구의 consistency와 setback은 각각 443 B.U., 293 B.U.이었으나 5 kGy 감마선 조사구의 경우 각각 149 B.U., 97 B.U.로 약 3배 정도로 감소함을 볼 수 있어 현미에 감마선 조사를 하는 경우 노화를 억제시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 setback viscosity(SBV)는 취반된 밥의 firmness를 나타내는 척도로 이용이 되며 SBV가 낮다는 것은 밥의 firmness가 낮다는 것을 의미한다(25). 따라서 감마선 조사에 의해 현미의 SBV 값을 현저히 저하시킴으로써 감마선 조사된 현미로 취반하는 경우 softness를 증대시켜 현미의 조리적성을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다. 김(9)은 검정콩에 감마선 조사하여 조리 특성을 조사한 결과 비조사구에 비해 조사구의 조리완료시간이 30-60% 감소되었으며, 관능평가의 결과에서도 색을 제외한 조직감, 맛 및 전반적인 기호도에서는 조사구에서 더 높은 평점을 받은 것으로 보고하였다. 본 연구 결과 감마선 조사된 현미 쌀가루의 물성은 조사선량이 증가할수록 물성에 크게 영향을 미치며, 이러한 물성의 변화는 구성성분, 전분의 조성 및 품종에 따라 다른 경향을 나타낼 것으로 예상되어 산업적인 이용을 위해서는 다양한 연구가 더욱 진행되어야 할 것이다.

Table 2. Viscoamylogram characteristics of gamma-irradiated brown rice flour

Irradiation dose (kGy)	Pasting temperature (ºC)	Maximum viscosity (BU), P	Hot paste viscosity (BU), H	Cold paste viscosity (BU), C	Setback (C-P)	Breakdown (P-H)	Consistency (C-H)
0	88.1	325	173	618	293	152	445
1	88.2	207	114	458	251	93	344
3	88.1	116	49	289	173	67	240
5	87.2	74	21	171	97	53	150

Termogravimetric analysis에 의한 중량 변화

Termogravimetric analyzer는 일정한 속도로 온도를 변화시켰을 때 일정시간 동안에 일어난 시료 무게의 변화를 측정하여 얻은 질량-온도 곡선으로부터 시료의 열안정성을 예측 할 수 있는 방법으로 시차주사열량기와 함께 고분자의 열안정성을 평가하는데 유용하게 사용된다(19). 일반적으로 쌀입자 내부의 수분이동은 전분질 식품의 호화양상에 중요한 영향을 미치며, 호화온도에 따른 수분이동의 변화에 대한 연구결과를 통해 식품의 호화과정 중 수분의 이동을 예측할 수 있을 것으로 생각된다. 감마선 조사선량에 따른 현미 쌀가루의 열중량분석을 통한 열안정성은 Fig. 3과 같이 분해시작온도는 비조사구에 비해 감마선 조사한 현미 쌀가루가 더 낮으나, 300ºC 이상의 고온에서는 감마선 조사된 현미 쌀가루의 수분감소율이 비조사구 보다 더 촉진되는 것으로 나타났으며 감마선 조사선량에 따라서는 차이가 없었다. 따라서 감마선 조사된 현미 쌀가루는 고온에서의 안정성이 비조사구에 비해 떨어져 제과 및 제빵 등과 같이 고온에서 가공되는 경우에는 수분감소율을 억제시킬 수 있는 처리가 함께 요구된다. 감마선 조사구와 비조사구의 열안정성 차이는 감마선 조사에 의해 현미의 쌀겨층이 파괴되어 수분의 이동이 자유로워지면서 고온에서의 증발이 용이해졌기 때문인 것으로 사료된다.

요 약

현미의 수화속도를 개선하여 조리적성을 향상시키기 위해 0, 1, 3, 5 kGy로 감마선을 조사한 후 수분흡수속도, 이화학적 특성 및 호화특성을 조사하였다. 현미의 수분흡수량은 수침온도(20-50ºC)와 감마선 조사선량이 증가할 수록 증가하는 경향을 나타내었다. 수침온도 50ºC 이상에서는 0 kGy와 1 kGy의 수분흡수량은 큰 차이가 없었지만 5 kGy 조사구는 수침액 중에 가용성성분의 용출로 인해 오히려 수분흡수량이 감소하는 경향을 나타내었다. Amylograph에 의해 측정된 peak viscosity, setback, breakdown 및 consistency는 감마선 조사선량이 증가하면서 유의적으로 감소하는 경향을 보였다. Thermogravimetric analyzer에 의한 열중량분석 결과는 감마선 조사에 의해 고온(300ºC 이상)에서의 수분증발이 촉진되는 것으로 조사되었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학기술기획평가원의 지원을 받아 2004년도 원자력 연구개발사업을 통해 수행되었습니다.

문 헌

1. Kim DW, Eun JB, Rhee CO. Cooking conditions and textural changes of cooked rice added with black rice. Korean J. Food Sci. Technol. 30: 562-568 (1998)
2. Kim KA. Physicochemical properties of nonwaxy and waxy brown rice flour. Korean J. Soc. Food Sci. 12: 557-561 (1996)
3. Lee SY, Pyun KW, Park YJ. Comparative studies on hydration kinetics of raw and fermented brown rices. Food Eng. Prog. 6: 178-185 (2002)
4. Oh GS, Kim K, Park JH, Kim SK, Na HS. Physical properties on waxy black rice and waxy rice. Korean J. Food Sci. Technol. 34: 339-342 (2002)
5. Song BH, Kim DY, Kim SK, Kim YD, Choi KS. Distribution of protein, fat, and ash within the degermed brown rice kernel. J. Korean Agric. Chem. Soc. 31: 1-6 (1988)
6. Song BY, Kim DY, Kim SK, Kang SK. Comparison of initial adsorption rate of brown and milled rice during storage at 25ºC. J. Korean Agric. Chem. Soc. 32: 79-84 (1989)
7. Zhou Z, Blanchard C, Helliwell S, Robards K. Fatty acid composition of three rice varieties following storage. J. Cereal Sci. 37: 327-335 (2003)
8. Gujral HS, Kumar V. Effect of accelerated aging on the physicochemical and textural properties of brown and milled rice. J. Food Eng. 59: 117-121 (2003)
9. Kim JK. Effects of gamma-irradiation on the water absorption property of black soybean. Korean Home Econom. Assoc. 30: 101-117 (2002)
10. Rao VS, Vakil UK. Effects of gamma-radiation on cooking quality and sensory attributes of four legums. J. Food Sci. 50: 372-376 (1985)
11. Byun MW, Kang IJ, Mori T. Properties of soya milk and tofu prepared with gamma irradiated soya beans. J. Sci. Food Agric. 67: 477-481 (1995)
12. Kang IJ, Byun MW. Water absorption, cooking properties, and cell structure of gamma irradiated soybeans. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 25: 796-803 (1996)
13. Hayashi T, Takahashi Y, Todoriki S. Sterilization of foods with low-energy electrons. Radiat. Phys. Chem. 52: 1-6 (1998)
14. Sabularse VC, Liuzzo JA, Rao RM, Grodner RM. Cooking quality of brown rice as influenced by gamma irradiation, variety, and storage. J. Food Sci. 56: 96-98 (1991)
15. Becker HA. On the absorption of liquid water by the wheat kernel. Cereal Chem. 37: 309-311 (1960)
16. Sasaki T, Matsuki J. Effect of wheat starch structure on swelling power. Cereal Chem. 75: 525-529 (1998)
17. Ong MH, Blanshard MV. Texture determinants of cooked, parboiled rice. II: Physicochemical properties and leaching behaviour of rice. J. Cereal Sci. 21: 261-269 (1995)
18. Bhattacharya KR, Sowbhagya CM. Pasting behavior of rice: A new method of viscography. J. Food Sci. 44: 797-804 (1979)
19. Mohamed AA, Rayas-Duarte P. The effect of mixing and wheat protein/gluten on the gelatinization of wheat starch. Food Chem. 81: 533-545 (2003)
20. SPSS. SPSS for Windows. Rel. 10.05. SPSS Inc., Chicago, USA (1999)
21. Graham JA, Panozzo JF, Lim PC, Brouwer JB. Effect of gamma irradiation on physical and chemical properties of chickpeas (*Cicer arietinum*). J. Sci. Food Agric. 82: 1599-1605 (2002)
22. Aurangzeb AM, Badshah A, Bibi N. Effect of gamma irradiation on cooking time and associated physicochemical properties of two legumes. Pak J. Sci. Ind. Res. 33: 152-157 (1990)
23. Lee YS, Lee JW, Oh SH, Kim JH, Kim DS, Byun MW. Effect of gamma irradiation on physicochemical and textural properties of starches. Food Sci. Biotechnol. 12: 508-512 (2003)
24. MacArthur LA, D'Appolonia BL. Gamma radiation of wheat. II. Effect of low-dosage radiations on starch properties. Cereal Chem. 61: 321-326 (1984)
25. Juliano BO, Perez CM, Kaushik R, Khush GS. Grain properties of IR36-based starch mutants. Starch 33: 157-162 (1990)

(2004년 7월 13일 접수; 2004년 11월 8일 채택)