

방사선 조사 기술을 이용하여 제조한 멸균 우유죽(타락죽)의 품질 특성

한인준^{1,2} · 박재남² · 박진규² · 송범석² · 이주운² · 김재훈² · 류홍수³ · 박정로¹ · 전순실^{1*}

¹순천대학교 식품영양학과

²한국원자력연구원 정음 방사선과학연구소

³부경대학교 식품영양학과

Quality Characteristics of Milk Porridge (*Tarakjuk*) Sterilized with Radiation Technology

In-Jun Han^{1,2}, Jae-Nam Park², Jin-Gyu Park², Beom-Seok Song², Ju-Woon Lee²,
Jae-Hun Kim², Hong-Soo Ryu³, Jeong-Ro Park¹, and Soon-Sil Chun^{1*}

¹Dept. of Food and Nutrition, Sunchon National University, Jeonnam 540-742, Korea

²Dept. of Radiation Food Science & Biotechnology, Advanced Radiation Technology Institute,
Korea Atomic Energy Research Institute, Jeonbuk 580-185, Korea

³Dept. of Food Science and Nutrition, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Abstract

We conducted this study to determine the optimum dose of gamma irradiation needed for the sterilization of milk porridge for patients. Milk porridge, known as *Tarakjuk*, was irradiated with gamma ray at doses of 0, 1, 3, 5, 7, or 10 kGy. The microbial contamination, D₁₀ values of isolated microbe spores, color, and viscosity were measured during storage at 35°C. The initial count of total aerobic bacteria was 2.60 log CFU/g in the non-irradiated milk porridge, but coliforms, spore-forming bacteria, yeast, and molds were not detected. The total counts of aerobic and spore-forming bacteria in the non-irradiated and 1 kGy irradiated milk porridge increased with storage period. These microbes were not detected in the milk porridge irradiated with 10 kGy. The D₁₀ values of isolated spores from milk porridge were 2.71 kGy (in milk porridge) and 2.21 kGy (in saline solution). All CIE color increased with gamma irradiation, but the sensory value of color did not significantly change. The viscosity of the milk porridge decreased with gamma irradiation and storage period, and the decrease in viscosity with storage period became smaller as the radiation doses increased. Sensory evaluation scores of the milk porridge were above normal (4.0) when irradiated with less than 5 kGy. These results indicate that gamma irradiation could be beneficial for preparing food with higher nutrient density and lower viscosity, especially for gastric tube-fed patients.

Key words: milk porridge, *Tarakjuk*, gamma irradiation, spore, patient food

서 론

죽은 곡물을 물과 함께 가열하여 매우 연한 상태로 만든 것으로 곡물내 전분을 완전히 소화시켜 소화율이 높은 전통 음식이다(1). 이러한 죽은 주재료인 곡물과 기타 부재료의 조화로 이루어지며 부재료에 따라 다양한 목적으로 사용될 수 있어, 별미식(39.4%), 치료식(27.4%), 식사대용(18.7%) 및 보양식(5.5%) 등 다양한 용도로 이용되고 있다(2). 특히 우유와 곡류를 이용하여 제조한 타락죽(3)은 과거 궁중에서 음식으로 몸을 다스린다는 식치(食治)로 이용되었으며, 근래에는 국내 병원 급식 환자들이 선호하는 죽의 한 종류로 분류되어 있다(4).

최근 국내에서 환자의 영양 상태에 대한 관심이 높아지면

서, 영양 급여를 위한 다양한 방법들이 모색되고 있다. 특히 죽은 소화율이 높으므로 환자의 영양공급과 영양개선을 위해 활발하게 이용되고 있다(5). 그러나 죽을 환자식으로 이용할 경우, 전분의 소화에 따른 부피 증가로 인해 고형분의 함량이 감소되어 충분한 열량공급을 위해서는 많은 양을 섭취해야 하는 문제점을 가지고 있다(6). 이와 함께 면역력이 약한 혈액암, 면역결핍 및 항암치료 환자에게는 멸균된 무균 식품이 제공되어야 할 필요가 있다(5). 특히 단백질 및 지방이 함유된 고에너지 유동식(semi-fluid high-energy food, SHEF)을 개발하여 drink type의 휴대용 비상식량, 환자용 경관식사(tubing food), supplying type의 영유아식과 환자식 및 tube type의 군·우주·스포츠용의 휴대비상식량을 개발하고 실용화하기 위한 연구가 절실히 요구되고 있는 실정

*Corresponding author. E-mail: css@scnu.ac.kr
Phone: 82-61-750-3654, Fax: 82-61-752-3657

이다(7).

한편, 방사선 조사 기술 중 감마선 조사는 강한 투과력이 있어 제품을 포장한 상태에서 연속적으로 조사 처리가 가능하여 살균처리 후 재포장에 따른 2차 오염을 방지할 수 있으며, 최소한의 성분이 파괴되고 냉장 또는 냉동 상태에서도 살균이 가능한 잔류성이 없는 환경 친화적 기술이다(8-10). 이러한 방사선을 조사시킨 곡류의 점도는 감소하게 되며 용해도는 증가하게 된다(9,11,12). 이와 같은 특성은 죽의 멸균뿐만 아니라 에너지 밀도를 동시에 높일 수 있는 매우 효과적이고도 효율적인 방법으로(6), 각 나라에서는 이와 같은 특성을 이용하여 방사선 조사 기술을 환자식 제조를 위해 이용하고 있다. 네덜란드에서는 면역결핍환자를 위한 완전 멸균식의 가공을 위해 75 kGy의 고선량 조사를 사용하고 있으며, 영국에서도 병원식의 제조를 위한 방사선 조사에 있어 선량의 제한은 두지 않을 정도로 널리 사용되고 있다(13). 또한 안전성 측면에서 고선량으로 조사된 분말 죽의 *in vivo* 독성평가 결과에서 어떠한 독성도 발견되지 않았다(14).

그러므로 본 연구에서는 영양가가 높으면서 유동성이 향상되어 경관급식 환자와 같은 특수 환자식에 적합한 우유죽(타락죽)의 제조에 감마선 조사를 활용하기 위한 최적 선량을 구명하고자 감마선 조사에 의해 제조된 타락죽의 이화학적 및 관능적 품질 특성을 살펴보았다.

재료 및 방법

우유죽의 재료

우유죽에 사용된 재료는 찹쌀(2008년산, 일반계, 영농조합 참종은), 우유(서울우유, 양주, 경기도)를 시중에서 구입하여 사용했다. 찹쌀분말은 찹쌀의 2배에 해당하는 물을 찹쌀과 함께 20°C에서 6시간 동안 수침 후, 흐르는 물에 2회 수세하고, 10분간 물기를 제거하여 20°C에서 16시간 동안 음건하였다. 건조된 찹쌀은 분쇄기(HMF-1000A, Hanil electric, Seoul, Korea)로 분쇄 후 120 mesh의 체에 내려 멸균된 polyethylene 포장지에 넣어 진공포장 후 -20°C에 보관하며 실험에 사용하였다. 이때 제조된 찹쌀분말의 수분함량은 28.76%이었다.

우유죽의 제조

우유죽은 찹쌀분말 200 g을 150°C의 프라이팬(Ø5 cm)에서 10분간 볶기를 하고, 400 g의 증류수를 첨가하여 100°C에서 2분간 가열하였다. 이후 우유 1 L를 70°C에서 15분간 가열하면서 3회로 나누어 첨가하였다. 완성된 우유죽은 믹서기(HMF-1000A, Hanil electric)에서 1분간 균질화하여 실험에 사용하였다. 제조된 우유죽은 멸균된 50 mL tube에 45 mL씩 담은 후 감마선을 조사하였고, 35°C의 incubator (MIR-262, SANYO Electric Biomedical Co. Ltd., Ozu, Japan)에서 4주간 저장 중 미생물 생육 검사, 점도 및 색도

변화를 측정하였다.

감마선 조사

시료의 감마선 조사는 선원 11.1 PBq, Co-60 감마선 조사 시설(IR-70 gamma irradiator, MDS Nordion, Ottawa, Canada)을 이용하여 실온에서 시간당 10 kGy의 선량율로 1, 3, 5, 7 및 10 kGy의 흡수선량이 되도록 조사하였다. 조사 후 총 흡수선량 확인은 alanine dosimeter(Oeric cerous dosimeter, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하였다. Dosimetry 시스템은 국제원자력기구(IAEA)의 규격에 준용하여 표준화한 후 사용하였으며, 총 흡수선량의 오차는 2% 이내였다.

저장 중 미생물 생육 검사

시료의 일반호기성미생물, 대장균군, 효모 및 곰팡이균을 35°C incubator에서 2주간 방치하며 각 미생물의 생육 정도를 확인하였다. 즉, 시료 10 g에 대하여 멸균된 0.1%의 peptone 수 100 mL를 가하여 1분간 stomacher(Mark II Lab Blender, Tekmar Teledyne Technologies Inc., Sacramento, CA, USA)를 이용하여 균질화한 후 10진 희석법으로 희석한 희석액 0.1 mL를 실험에 사용하였다. 일반호기성미생물은 PCA배지(Plate Count Agar, Difco Co., Detroit, MI, USA), 대장균군은 DCLA배지(Deoxycholate Lactose Agar, Difco Co.), 효모 및 곰팡이균은 PDA배지(Potato Dextrose Agar, Difco Co.)에 각각 도말하였다. 도말된 PCA배지와 DCLA배지는 35°C에서 2일간, PDA배지는 25°C에서 3~5일간 각각 배양하여 30~300개의 집락을 형성한 배지만을 계수하였다.

포자형성균은 100°C에서 20분간 가열한 시료의 희석액 1 mL와 40°C의 멸균된 PCA배지(Difco Co.) 25 mL를 페트리 디쉬에서 혼합한 후, 배지가 응고하면 35°C의 incubator (MIR-262, SANYO Electric Biomedical Co. Ltd.)에서 2일간 배양 후 30~300개의 집락을 형성한 배지만을 계수하였다.

멸균실험

감마선 조사된 우유죽의 멸균 여부를 확인하기 위해 생존 세균발육시험법(15)을 이용하였다. 즉, 샘플을 37°C incubator (MIR-262, SANYO Electric Biomedical Co. Ltd.)에서 14일간 보관 후 20°C에서 방냉하였다. 이때 용기가 팽창 또는 파손되지 않은 경우 보존 상태를 음성으로 판단한 후, 세균 검사를 실시하였다. 세균 검사는 시료를 무균적으로 5 g을 취한 후, 멸균 PBS buffer solution 45 mL를 가하고, 20초간 vortexing 하였다. 이 용액의 1 mL에 멸균된 thioglycollate medium(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)을 가하고, 35°C의 incubator에서 45시간 동안 배양시켜 yellow 계통으로 변색되지 않는 것을 멸균된 것으로 확정하였다.

우유죽에서 분리된 포자의 점종실험

7 kGy의 흡수선량이 되도록 감마선 조사된 우유죽에서 분리한 미생물의 포자 형성 정도를 염색법을 이용하여 확인

후, saline solution과 멸균시킨 우유죽에 접종하여 감마선 조사에 따른 사멸 정도를 확인한 실험은 Islam 등(16)과 Jassica 등(17)의 방법을 수정하여 실험하였다. 즉, 0.1 mM MnSO₄와 NA배지(nutrient agar, Difco Co.) 혼합하여 멸균시킨 FNA배지(fortified nutrient agar)에서 분리된 미생물의 vegetative cell 1 mL를 도말하여 37°C의 incubator (MIR-262)에서 7일간 방치하면서 sporulation 시켰다. Spore가 형성된 배지는 4°C의 멸균 saline을 배양된 배지 위에 가하여 멸균된 microscope glass slide로 scraping한 후, 4°C의 centrifuger(Allegra 25R, Beckman, Hannover, Germany)에서 3000 rpm으로 10분간 3회 동안 반복하여 수세하였다. 이후 70°C의 물에서 30분간 방치하여 vegetative cell을 사멸시키고, sterilized stock solution(PBS + 0.05% tween 20)과 수확된 포자를 함께 희석하여 우유죽의 제조 단계별로 NA배지(Difco Co.)에 도말하여 35°C의 incubator(MIR-262)에서 24시간 배양 후 30~300개의 집락을 형성한 배지만을 계수하였다.

색도

시료 표면을 color/color colorimeter(CM-3500d, Minolta Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 명도(lightness, L*), 적색도(redness, a*) 및 황색도(yellowness, b*)를 측정하였다. 이때 표준색판은 L*값이 90.5, a*값이 0.4, b*값이 11.0이었다.

점도

점도는 실온까지 냉각된 우유죽을 viscometer(DV-II+ Pro, Brook-field Engineering Laboratories, Middleboro, MA, USA)을 사용하여 spindle no. 21을 장착하고 25 rpm의 속도로 실온에서 측정하였다.

관능검사

관능검사는 기호도 검사를 실시하였으며, 관련분야를 전공한 연구원 10인을 대상으로 하였다. 이때의 평가항목은 외관(appearance), 색(color), 향미(flavor), 맛(taste), 전체적인 기호도(overall acceptability)로, 매우 좋아한다 7점, 좋지도 싫지도 않다 4점, 매우 싫어한다 1점이었다. 패널은 관능

검사 중 나이, 성별 등을 기록하고 각 시료는 물컵, 시료를 빨는 컵 및 정수기에서 받은 물을 시료 사이에 제공하였으며, 검사 중의 영향을 최소화하기 위해 total session은 15~20분으로 정하였다.

통계처리

모든 실험은 3회 반복하여 실시하였고, 측정 결과는 평균 값 ± 표준편차로 나타내었으며, SPSS(Windows ver. 11.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)에서 프로그램된 general linear model procedure를 통해 각 시료간의 유의성을 검증한 후 p<0.05 수준에서 유의적인 차이가 보일 때 평균값간의 차이를 Duncan's multiple range test법으로 사후검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

감마선 조사된 우유죽의 저장 중 미생물 생육

감마선 조사에 의한 일반호기성미생물, 포자형성균, 대장균군, 효모 및 곰팡이균의 생육 정도 측정 결과는 Table 1에 나타내었다. 일반호기성미생물은 1 kGy 조사 시 1.98 log CFU/g으로 나타났으며, 포자형성균과 대장균군은 각각의 검출한계 내에 있어 비조사구와 조사구에서 검출되지 않았다. 감마선 조사된 우유죽을 35°C에서 2주간 저장 시 나타나는 미생물의 생육 변화는 저장기간 중 포자형성균과 효모 및 곰팡이균은 검출 한계 내에서 나타나지 않았다. 10 kGy 조사구에서는 저장기간 중 전혀 미생물이 검출되지 않았다.

일반적으로 방사선 조사의 가장 주된 목적은 살균 및 멸균이며, 이것은 물 분자가 방사선 조사에 의해 여기되어 생성된 OH라디칼에 의해 DNA사슬이 절단되었기 때문이다. DNA의 외가닥사슬 절단은 용이하게 회복되지만 2가닥 고리의 같은 부분이 동시에 손상을 입으면 회복 불가능 또는 사멸에 의해 세포 증식력을 상실하여 살균 및 멸균의 효과를 얻게 된다(18). 이러한 방사선 조사에 의한 살균 및 멸균을 위해서 효모 및 곰팡이는 1~5 kGy, 포자형성균은 15~40 kGy의 선량으로 방사선 조사가 필요하다고 한다(19). 본 연

Table 1. Effects of gamma irradiation on microbial growth in milk porridge storage at 35°C

Storage period (weeks)	Irradiation dose (kGy)	Microbes (log CFU/g)			
		Total aerobic bacteria	Spore forming bacteria	Coliforms bacteria	Yeast and molds
0	0	2.60±0.21	ND	ND	ND
	1	1.98±0.18	ND	ND	ND
	10	ND ¹⁾	ND	ND	ND
1	0	6.61±0.79	2.73±0.33	ND	ND
	1	6.45±0.64	2.64±0.12	ND	ND
	10	ND	ND	ND	ND
2	0	7.10±0.14	3.83±0.00	ND	ND
	1	6.79±0.21	3.31±0.06	ND	ND
	10	ND	ND	ND	ND

Values are mean ± SD (n=5).

¹⁾ND: not detected within the detection limit (<10¹ CFU/g).

Table 2. Bacterial growth in milk porridge with different doses of gamma-ray

Irradiation dose (kGy)					
0	1	3	5	7	10
+ ¹⁾	+	+	+	+	- ²⁾

¹⁾Bacterial growth was detected (positive).

²⁾Bacterial growth was not detected (negative).

구 결과를 통해 멸균 우유죽의 제조를 위해서는 10 kGy 이상의 감마선을 조사해야 할 것으로 확인되었다.

감마선 조사된 우유죽 멸균 확인

멸균 방법에 따른 환자식의 멸균 확인 실험결과는 Table 2에 나타내었으며, 감마선 조사선량은 저장 중 우유죽의 미생물 미검출 선량인 10 kGy로 고정하였다. 멸균 미처리구에서는 색이 변하는 양성반응을 보였으나, autoclave와 감마선 조사를 한 멸균 처리구에서는 색이 변하지 않았다. 대부분의 세균을 사멸시키기 위해서 열을 가할 경우 중심온도가 80°C가 되어야 하며(20). 이때 필요한 에너지는 약 28,880 kJ/kg이 요구된다. 방사선을 조사한 경우 10 kGy의 흡수선량에서 대부분의 미생물은 사멸되며(21), 이때 필요한 에너지는 100 kJ/kg으로 가열처리보다 매우 작은 에너지가 필요한 것을 확인할 수 있어 효율 측면에서 매우 우수한 멸균 방법이다. 그러므로 감마선 조사를 이용한 멸균 처리로 저에너지를 사용한 멸균 환자식의 제조가 가능함을 확인할 수 있었다.

우유죽에서 분리된 미생물 포자의 감마선 감수성

우유죽의 isolated spore에 대한 감마선 조사에 따른 감소 효과는 Fig. 1과 같았다. 우유죽과 saline solution에 접종된 포자에서 우유죽은 8.84 log CFU/g, saline solution은 8.35 log CFU/g이었으며, 감마선 조사선량이 증가할수록 감소하여 9 kGy 조사된 우유죽은 5.47 log CFU/g, saline solution은 4.47 log CFU/g이 되는 것을 확인할 수 있었으며, 이때의 D₁₀ value가 saline solution은 2.21 kGy, 우유죽은 2.71 kGy로 나타났다(Table 3).

우유죽 제조 단계별로 접종된 isolated spore의 생육정도는 Table 3에 나타내었다. 우유죽의 제조 첫 단계에서 사용되는 찹쌀에 접종된 isolated spore는 8.1 log CFU/g으로 복기 과정을 거치면 3.5 log CFU/g으로 크게 감소하였고, 끓이기 과정을 거친 최종 우유죽에는 2.7 log CFU/g의 isolated spore가 생존하는 것으로 나타났다. 이때 완성된 우유죽에

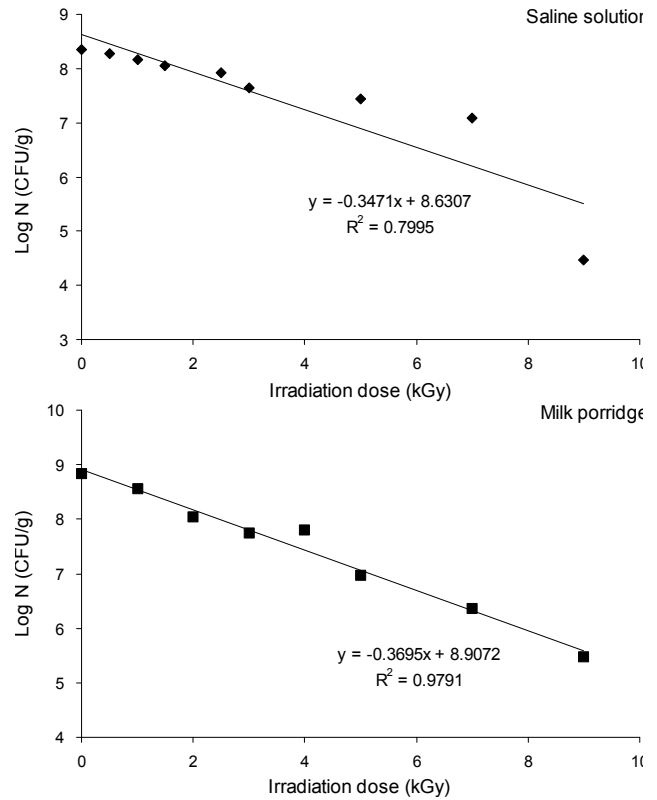


Fig. 1. Radiation survival curve of isolated bacteria in saline solution and milk porridge.

10 kGy로 감마선 조사를 한 경우 1 log CFU/g 검출한계 내에서 미생물이 나타나지 않았다.

Spore는 생육이 부적절한 환경에서 발생하는 미생물의 한 생존 방식으로 열과 방사선 등에 강하며, 특히 감마선에 있어 spore는 core의 수분함량이 낮아 hydroxyl radical의 생성이 작아져 감마선에 강한 것으로 추측되고 있다(13). 또한 동물성 기름, 식물성 오일과 같은 지질의 함유량이 높은 환경에서 spore의 방사선 감수성은 높게 나타난다(22). 식품에 널리 존재하고, spore를 형성하는 *Bacillus cereus*, *B. subtilis* 등과 같은 미생물이 존재할 경우 이들은 발아하여 영양세포로 빠른 시간에 생육되고 이를 섭취 시 구토와 설사 등의 증상을 보이게 된다(23,24). *B. cereus*와 *B. subtilis*의 영양세포에 대한 D₁₀ value는 각각 0.30~0.65 kGy(in phosphate buffer pH 7.0), 0.6 kGy(in saline)이며, *B. cereus* spore에 대한 D₁₀ value는 2.5-4.0 kGy(in phosphate buffer pH

Table 3. Radiation sensitivity (D₁₀ value) of spore forming bacteria inoculated at different processing steps of milk porridge

Germination medium	D ₁₀ value (kGy)	Processing steps ¹⁾ (log CFU/g)				Expected D min
		A	B	C	D	
Saline solution	2.21 (R ² =0.81)	-	-	-	-	-
Milk porridge	2.71 (R ² =0.98)	8.1±0.02	3.5±0.01	2.7±0.07	ND ²⁾	7.32

Values are mean±SD (n=5).

¹⁾A: waxy rice powder, B: waxy rice powder roasted at 120°C for 10 min, C: heated milk porridge with roasted waxy rice powder and milk at 80°C for 20 min, D: gamma-irradiated milk porridge at 10 kGy after heating at 80°C for 20 min.

²⁾ND: not detected within the detection limit (<10¹ CFU/g).

Table 4. Changes in color of milk porridge by gamma-irradiation

Irradiation dose (kGy)	CIE color value		
	L*	a*	b*
0	81.88±0.53 ^a	-1.02±0.00 ^a	5.70±0.01 ^a
1	82.75±0.08 ^b	-1.04±0.02 ^a	5.55±0.25 ^a
3	82.92±0.31 ^b	-0.94±0.01 ^b	5.78±0.22 ^a
5	82.77±0.75 ^b	-0.92±0.05 ^b	5.37±0.41 ^a
7	82.75±0.28 ^b	-0.42±0.05 ^c	8.31±0.31 ^b
10	83.00±0.33 ^b	-0.40±0.02 ^c	9.04±0.02 ^c

Values are mean±SD (n=10).

^{a-c}Means within a column sharing different superscript letters are significantly different (p<0.05).

7.0)로 보고되고 있다(25). 이외에 spore를 형성하는 미생물에 대한 방사선 감수성은 spore가 평균적으로 2.48 kGy, 영양세포는 0.762 kGy로 보고되어 있어(26) 본 연구에서와 같이 우유죽에서 분리된 isolated spore의 방사선 감수성과 크게 다르지 않았다.

감마선 조사된 우유죽의 색도 변화

감마선 조사에 따른 우유죽의 색도 변화는 Table 4와 같았다. 감마선 조사선량이 증가할수록 L*, a*, b*값 모두 증가하는 경향을 보였다. 특히 황색도인 b*값의 변화가 가장 두드러지게 나타났다. 이는 감마선 조사된 쌀가루 죽(27) 및 분말 갖죽(11)의 b*값이 증가했다는 보고에서 본 연구 결과와 유사하게 나타났다.

우유는 방사선 조사에 의해 비효소적 갈변 반응인 maillard 반응과 caramelization에 의해 변색이 되고(28), 방사선 조사선량이 증가하면 갈변 반응도 증가하여(29) 우유의 색은 옅은 적갈색으로 변화하게 된다(30). 또한 방사선 조사에 의해 전분 역시 maillard 반응에 의해 갈변 현상이 일어나는데, 이와 같은 현상은 방사선 조사에 의해 생성된 라디칼에 의한 전분 입자의 분해로 환원당이 생성되고 이 환원당은 amino acid와 결합하여 maillard 반응이 더욱 가속화되기 때문이다(31).

감마선 조사된 우유죽의 저장 중 점도 변화

감마선 조사된 우유죽의 점도 변화는 Table 5와 같았다. 감마선 조사선량의 증가에 따라 우유죽의 점도는 유의적으로 감소하였다(p<0.05). 저장기간이 지날수록 점도는 감소하였으며, 저장 1주째 급격히 감소하였다. 저장 2주의 점도

Table 5. Changes in viscosity of milk porridge by gamma-irradiation and storage at 35°C

Irradiation dose (kGy)	Storage period (weeks)		
	0	1	2
0	11830±720 ^{aX}	31±1 ^{dY}	33±4 ^{aY}
1	6233±661 ^{bX}	102±6 ^{dY}	47±1 ^{aX}
3	2930±26 ^{cZ}	199±21 ^{cX}	264±33 ^{bcY}
5	1480±80 ^{dZ}	832±121 ^{aY}	325±52 ^{cdZ}
7	1396±72 ^{dX}	680±22 ^{bY}	220±25 ^{bZ}
10	676±40 ^{eX}	213±31 ^{cY}	352±28 ^{dY}

Values are mean±SD (n=3).

Means within a column (a-e) and a row (X-Z) sharing different superscript letters are significantly different (p<0.05).

는 감소폭이 1주째보다 크지 않았다. 또한 저장 2주째는 감마선 조사에 따른 점도의 감소 정도보다 저장 기간에 따른 점도의 감소 정도가 더욱 크게 나타났다. 제조 직후의 비조사구는 11830 cP, 3 kGy 조사구는 2930 cP, 7 kGy 조사구와 10 kGy 조사구는 각각 1396 cP, 676 cP로 점도가 큰 폭으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 저장 1주째와 2주째의 점도는 5 kGy 조사구까지는 조금씩 증가하는 것으로 나타났다. 특히 저장 1주째의 5 kGy 조사구와 7 kGy 조사구에서 각각 832 cP, 680 cP로 다소 높은 점도값을 보였는데, 이러한 점도의 증가는 저장 중 감마선 조사에 따른 우유 단백질인 casein이 응고된 것으로 사료된다(32,33).

전분은 감마선 조사에 의해 dextrin 단위로 저분자화되면서(34), 팽윤력은 감소하며(35), 결정성, 용해도 및 호화도는 증가하게 된다(11,36,37). 감마선 조사에 의한 점도의 감소는 고형분 함량이 12%인 죽이 1 kGy 조사에 의해 8% 수준으로 점도가 감소된다고 하였다(11,27). 이러한 특성을 이용하면, 고형분 함량을 증가시킬 수 있게 되어 고체 식품보다 섭취가 용이하면서도 열량이 높은 고열량유동식(SHEF)을 개발할 수 있다(6,7).

감마선 조사된 우유죽의 관능적 품질 변화

감마선 조사에 의한 우유죽의 관능적 기호도는 Table 6에 나타내었다. 색 및 전체적인 기호도에서 색은 감마선 조사선량에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다(p<0.05). 냄새, 조직감 및 전체적인 기호도는 감마선 조사선량이 증가할수록 모두 유의적으로 감소하였으며(p<0.05), 5 kGy 이상 조사한 경우 보통(4.0) 이하의 점수를 보였다. 3 kGy 조사구는

Table 6. Effects of gamma irradiation on sensory quality of milk porridge

Attributes	Irradiation dose (kGy)					
	0	1	3	5	7	10
Color	5.7±1.01 ^{NS1)}	5.3±0.82	5.7±1.16	5.3±0.82	5.1±1.00	4.8±0.92
Odor	6.5±0.71 ^a	6.0±0.47 ^{ab}	5.2±0.79 ^b	3.9±1.29 ^c	2.7±1.42 ^d	2.4±0.84 ^d
Texture	6.2±0.92 ^a	5.6±0.84 ^{ab}	4.6±0.84 ^b	3.3±1.25 ^c	2.8±1.48 ^c	2.5±1.58 ^c
Taste	6.4±1.07 ^a	6.1±0.74 ^a	4.9±0.74 ^b	3.0±1.41 ^c	2.6±1.00 ^{cd}	1.9±0.74 ^d
Overall acceptance	6.3±1.06 ^a	5.9±0.57 ^a	4.8±0.79 ^b	3.3±1.34 ^c	2.7±1.25 ^{cd}	2.2±0.92 ^d

Values are mean±SD (n=10).

¹⁾NS: Not significantly different.

^{a-d}Means within a row sharing different superscript letters are significantly different (p<0.05).

색을 제외한 모든 검사 항목에서 보통 이상의 점수를 얻었다. 감마선 조사에 의한 관능적 특성 저하의 가장 큰 원인은 감마선 조사에 의한 이취의 증가로 알려져 있다(11,27). 특히 우유의 경우 감마선 조사에 의해 가열처리를 통한 멸균된 우유보다 조금 더 탄 맛(burnt)이 느껴지는 것으로 보고되고 있다(30). 본 관능검사 결과 우유죽에 있어 관능적으로 크게 문제가 되지 않는 선량은 최대 3 kGy로 나타났다. 관능검사 결과, 기호도가 확보되는 선량이 3 kGy로 나타났으며, 멸균 유동식으로 이용하기 위해 멸균선량인 10 kGy로 조사할 경우 관능적 품질은 현저히 낮아져 병용처리 등을 이용한 관능적 품질 개선이 요구된다. 그러나 환자용 경관식사(경관급식)을 위한 경장영양액으로 이용할 경우에는 관능적 품질이 아닌 열량 및 유동성 등이 주된 고려대상이 되므로 감마선 조사를 통해 멸균, 열량 및 유동성이 확보된 우유죽은 경장 영양액으로 활용이 가능하리라 사료된다.

요 약

우유를 첨가하여 제조한 죽(우유죽)을 멸균 환자식으로 개발하기 위해 0, 1, 3, 5, 7 및 10 kGy의 흡수선량으로 감마선 조사 후 미생물 초기오염도 측정, 멸균여부 확인, 제조 단계별 isolated spore의 방사선 감수성 및 색도를 측정하였으며, 저장 중 점도에 대한 변화를 관찰하였다. 감마선 조사된 우유죽의 미생물 초기 오염도는 2.60 log CFU/g이었으며, 대장균군, 포자형성균과 효모 및 곰팡이균은 검출한계 내에서 나타나지 않았다. 저장 기간 중 10 kGy 조사구에서는 미생물이 검출되지 않았으며, 동일 선량을 조사 시 우유죽의 멸균을 확인할 수 있었다. 우유죽에서 분리된 spore의 D₁₀ value는 2.21 kGy(saline solution) 및 2.71 kGy(milk porridge)로 각각 나타났다. 감마선 조사선량의 증가에 따라 CIE color value는 증가하였으나, 색에 대한 관능검사에서는 변화가 나타나지 않았다. 점도는 감마선 조사선량이 증가할수록, 저장 기간이 길어질수록 유의적으로 감소하였다. 감마선 조사 직후 우유죽의 관능검사 결과 3 kGy 조사구까지는 모든 항목들이 4.0 이상으로 높게 평가되었다. 따라서 방사선 조사 기술을 이용하여 우유죽을 제조할 경우, 전분의 농도가 높은 멸균 환자식으로서의 제조가 가능하였으며, 또한 멸균된 우유죽을 경관급식이 필요한 의식불명 환자 등에게도 적용시킬 수 있어 결과적으로 고농도의 멸균 우유죽을 환자에게 제공할 수 있으리라 사료된다.

감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 원자력 연구개발사업의 지원에 따른 결과로서 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Lee GD, Kim HG, Kim JG, Kwon JH. 1997. Optimization for the preparation conditions of instant rice gruel using oyster mushroom and brown rice. *Korean J Food Sci Technol* 29: 734-744.
2. June JH, Yoon JY, Kim HS. 1998. A study on the development of 'Hodojook'. *Korean J Dietary Cult* 13: 509-518.
3. Lee GC. 2001. A study on the traditional daily food for Seoul. *Asian Comp Folklore* 20: 233-255.
4. Lee CJ. 1994. A study on the improvement of menu patterns of gruels as soft diet in hospital foodservice operation. *Korean J Soc Food Sci* 10: 18-23.
5. Richard JA, Walter JC. 1998. Nutritional support of the pediatric oncology patient. *Nutrition* 14: 124-129.
6. Lee JW, Kim JH, Oh SH, Byun EH, Yook HS, Kim MR, Kim KS, Byun MW. 2008. Effect of gamma irradiation on viscosity reduction of cereal porridges for improving energy density. *Radia Phys Chem* 77: 352-359.
7. Zhang M, Duan ZH, Huan YJ, Tao Q. 2003. Preparation technology for semi-fluid high-energy food. *J Food Eng* 59: 327-330.
8. Byun MW, Lee JW. 2003. Application of irradiation technology for food safety and security. *Food Sci Ind* 36: 25-41.
9. Lee YS, Oh SH, Lee JW, Kim JH, Kim DS, Byun MW. 2003. Effects of gamma irradiation on physicochemical and textural properties of starches. *Food Sci Biotechnol* 12: 508-512.
10. Thayer DW. 1990. Food irradiation, benefits, and concerns. *J Food Qual* 13: 147-169.
11. Yook HS, Lee YS, Lee JW, Oh SH, Kim JH, Kim DS, Byun MW. 2004. Textural and sensory characteristics of gamma irradiated porridges. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 427-432.
12. Sokhey AS, Hanna MA. 1993. Properties of irradiated starches. *Food Struct* 12: 397-410.
13. WHO. 1999. High-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. Technical report 890. Geneva, Switzerland.
14. Han SM, Lee JW, Byun MW, Kang IJ. 2005. Toxicity evaluation of high-dose irradiated porridge powder for three months. *J East Asian Soc Dietary Life* 15: 431-436.
15. KFDA. 2008. *Food Code*. Munyoungsa, Seoul, Korea. p 413.
16. Islam MS, Inoue A, Igura A, Shimoda M, Hayakawa I. 2006. Inactivation of *Bacillus* spore by the combination of moderate heat and low hydrostatic pressure in ketchup and potage. *Int J Food Microbiol* 107: 124-130.
17. Jessica LD, Karen H, John K, Ameneh A, Mark G, Peter AE. 2001. *Bacillus* spore inactivation method affect detection assays. *Am Soc Microbiol* 67: 3665-3670.
18. WHO. 1994. Safety and nutritional adequacy of irradiated food. Geneva, Switzerland.
19. Goldblith SA, Proctor BE. 1956. Radiation preservation of milk and milk products: I. Background and problems. *J Dairy Sci* 39: 374-378.
20. Shapton DA, Lovelock DW, Laurita-Longo R. 1971. The evaluation of sterilization and pasteurization processes from temperature measurements in °C. *J Appl Bacteriol* 34: 491-500.
21. Setlow P. 2006. Spore of *Bacillus subtilis*: their resistance to and killing by radiation, heat and chemicals. *J Appl Microbiol* 101: 514-525.
22. Sarrias JA, Valero M, Salmeron MC. 2003. Elimination of *Bacillus cereus* contamination in raw rice by electron beam

- irradiation. *Food Microbiol* 20: 327-332.
23. Morton S. 1996. *Food irradiation: Foodborne diseases*. Technomic Publishing AG, Geneva, Switzerland. p 61-62.
 24. Perk EG, Terje L. 1997. *Bacillus cereus* and its food poisoning toxins. *FEMS Microbiol Lett* 157: 223-228.
 25. Monk JD, Larry RB, Michael PD. 1994. Irradiation in-activation of food-borne microorganisms. *J Food Prot* 58: 197-208.
 26. van Gerwen SJ, Rombouts FM, van't Riet K, Zwietering MH. 1999. A data analysis of the irradiation parameter D_{10} for bacteria and spores under various conditions. *J Food Prot* 62: 1024-1032.
 27. Yang YH, Kim MH, Kwon OY, Lee JK, Park SC, Lee JW, Byun MW, Kim MR. 2007. Effects of gamma irradiation on the physicochemical properties of rice flour porridge. *Korean J Food Cookery Sci* 23: 961-967.
 28. Patton S. 1955. Browning and associated changes in milk and its products. *J Dairy Sci* 38: 457-458.
 29. Wertheim JH, Proctor BE, Goldblith SA. 1956. Radiation preservation of milk and milk products. IV. Radiation-induced browning and some related chemical changes in milk. *J Dairy Sci* 39: 1236-1246.
 30. Chalam MV, Connor JB. 1955. The effect of radiation sterilization on the nutritive value of foods. *J Nutr* 57: 479-490.
 31. Oh SH, Lee YS, Kim JH, Kim JH, Lee JH, Kim MR, Yook HS, Byun MW. 2006. Effect of pH on non-enzymatic browning reaction during γ -irradiation processing using sugar and sugar-glycine solutions. *Food Chem* 94: 420-427.
 32. Cieřla K, Salmieri S, Lacroix M, Le Tien C. 2004. Gamma irradiation influence on physical properties of milk proteins. *Radiat Phys Chem* 71: 93-97.
 33. Sabato SF, Lacroix M. 2002. Radiation effects on viscosimetry of protein based solutions. *Radiat Phys Chem* 63: 357-359.
 34. Grant LA, G'Appolonia BL. 1991. Effect of low-level gamma irradiation on water-soluble non-starchy polysaccharides isolated from hard red spring wheat flour and bran. *Cereal Chem* 68: 651-652.
 35. Christopher HS, Xuotong F. 2006. *Food irradiation research and technology*. 1st ed. Blackwell publishing professional, Ames, IA, USA. p 11.
 36. Sokhey AS, Hanna MA. 1993. Properties of irradiated starches. *Food Struct* 12: 397-410.
 37. Yu Y, Wang J. 2007. Effect of γ -ray irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of rice. *Food Res Int* 40: 297-303.

(2011년 4월 8일 접수; 2011년 4월 20일 채택)