Journal of Radiation Industry 14(2) : 155~163(2020)

환자용 균형영양식으로 제조를 위한 두부 아이스크림의 멸균선량 설정 및 배합 최적화

송기영[1,2] · 윤영민[1] · 송범석[1] · 김재경[1,*]

[1]한국원자력연구원 첨단방사선연구소, [2]고려대학교 생명공학과

Selection of a Sterilization Dose and Formula Optimization of Tofu-based Ice Cream to Produce as the Balanced Nutritional Food for Patients

Ki-Young Song[1,2], Young-Min Youn[1], Beom-Seok Song[1] and Jae-Kyung Kim[1,*]

[1]*Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongeup 56212, Republic of Korea*

[2]*Department of Biotechnology, College of Life Science and Biotechnology, Korea University, Anam-dong, Seongbuk-gu, Seoul 02841, Republic of Korea*

Abstract - In this study, tofu-based ice cream manufacturing process was optimized to meet the standards for balanced nutritional food for patients (BNFP). Tofu-based ice cream was gamma irradiated with 0, 2, 4, 6, 8, and 10 kGy to find out optimal dose of sterilization, and guar gum (0, 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4%) and various flavors (0.1~1.0%) also added for its texture and taste quality improvement. As a result, 2 kGy was a minimum dose for sterilizing tofu-based ice cream, and 0.1% guar gum and 1.0% chocolate syrup showed the highest acceptability of sensory properties. Finally the tofu-based ice cream satisfied the standards for BNFP imposed by the Korea Ministry of Food and Drug Safety (KFDA) by fortifying 12 nutrients after the nutritional component analysis. It is expected that the gamma-irradiated tofu-based ice cream as a BNFP can be used to those who suffering from food intake restriction or disorder of digestive absorption under the guidance of a doctor or clinical nutritionist.

Key words : Balanced nutritional food for patient, Ice cream, Gamma irradiation, Guar gum, Nutritional fortification

서 론

암 환자의 약 50%가 영양실조 문제를 가지고 있으며 그에 따라 합병증(감염 및 기형 등) 유발률과 사망률이 증대된다고 알려져 있다(Segura *et al*. 2003). 따라서 경구 영양식이를 통한 초기 영양 관리는 암 환자의 영양 상태를 향상시킴으로써 암 치료 효율을 높이고 합병증을 감소시키는 데 반드시 필요하며, 이러한 목적을 위해 특수의료용도식품이 사용되고 있다.

특수의료용도식품(Food for special medical purposes, FSMP)은 정상적으로 섭취, 소화, 흡수 또는 대사할 수 있는 능력이 제한되거나 손상된 환자 또는 질병으로 인하여 일반

* Corresponding author: Jae-Kyung Kim, Tel. +82-63-570-3219, Fax. +82-63-570-3207, E-mail. jkim@kaeri.re.kr

인과 생리적으로 특별히 다른 영양 요구량을 가진 사람에 대하여 식사의 일부 또는 전부를 대신할 목적으로 이들에게 경구 또는 경관급식을 통하여 공급할 수 있도록 제조 및 가공된 식품을 말한다. 또한, 이러한 특수의료용도식품 중 환자의 식사 전부 또는 일부를 대신하기 위해 13종의 영양성분들이 각각 일일섭취기준치의 50% 이상이 되도록 원료식품을 조합하고 영양성분을 첨가한 제품을 환자용 균형영양식(Balanced nutritional food for patient, BNFP)이라 하고 식품안전관리인증기준(HACCP) 적용원칙에 따라 위생적으로 제조 및 가공하여야 하며, 바이러스나 세균 등 유해 미생물로 인한 위해가 발생하지 아니하도록 살균 또는 멸균 공정을 거쳐야 한다(KFDA 2020).

현재 시판 중인 환자용 균형영양식 제품들은 멸균을 위해 레토르트가 가능한 액상 형태를 지니고 있고 캔에 포장되어 있는 단순한 형태의 제품들이 주를 이루고 있어 다양한 식감과 형태를 가지면서도 멸균이 가능한 제품의 개발이 필요한 실정이다. 실제적으로 Francesc *et al*.(2012)의 보고에 따르면 암 환자에게 식이 보조제로서 아이스크림을 제공한 후 환자의 음식 섭취에 대한 전체적인 만족감이 증가하였고 이를 통해 영양상태 개선 효과가 있었음을 보고한 바 있다. 이처럼 환자들에 대한 기호도가 높은 아이스크림을 환자용 균형영양식으로 제조하여 암 환자들에게 제공한다면 영양 상태의 호전을 유도할 수 있다고 사료된다.

일반적으로 아이스크림은 저온살균과 냉동과정을 통하여 경화시킨 후 −20°C 이하의 온도 조건에서 유통하기 때문에 다른 식품에 비해 미생물로부터 안전하다고 여겨지고 있다(Byun 1997). 그러나 우리나라를 비롯하여 아시아, 유럽 및 북미에서는 아이스크림 내 다양한 병원체에 의한 식중독이 보고되고 있다. 미국에서는 학교급식에서 아이스크림에 의한 식중독 사고가 보고되었고(Daniels *et al*. 2002), 인도에서도 아이스크림 내 Salmonella에 의한 식중독이 발생하였으며(CDC 1994; Chug 1996). 영국 또한 *Listeria monocytogenes*가 분리되어 회수된 바가 있다(Djuretic *et al*. 1997; Warke *et al*. 2000). 우리나라의 경우 아이스크림에서 Salmonella spp., Listeria spp., *Escherichia coli* 및 Yersinia spp. 등이 검출되어 미생물학적 안전성 측면에서 안심할 수 없다는 연구결과가 발표되었다(Kim *et al*. 1998; 식품안전나라 2018). 따라서 암 환자를 포함하여 면역력이 떨어진 사람이 섭취 가능한 식이 보조제로 아이스크림을 제공하기 위해서는 아이스크림 내 미생물을 사멸시킬 수 있는 식품가공기술의 적용이 반드시 필요하다. 그러나 가열처리, 건조 및 염장과 같은 미생물학적 안전성을 확보하기 위한 전통적인 식품가공기술들은 냉동 및 저온 유통되는 아이스크림의 살균기술로는 적합하지 않다.

조사처리 기술은 전 세계 39개국의 230여 식품 품목에 허가되어 이용하고 있으며 국제원자력기구, 세계보건기구 및 세계농업기구 등의 국제기구들이 50여 년간의 안전성 실험들을 검토한 후 10 kGy 이하의 선량으로 조사처리된 식품의 독성학적 위해는 없다고 보고한 바 있다. 또한 방사선 조사처리는 제품을 포장한 상태에서 연속적으로 가능하여 식품의 물리적, 화학적 및 관능적 특성에 큰 영향을 주지 않고 식품 내 미생물의 위험을 줄일 수 있는 위생화 방법으로 알려져 있다(Byun 1997). 더불어 방사선 조사처리 기술은 식품의 품온 상승이 적은 비가열 살균기술로 아이스크림과 같은 최종 제품의 저장온도가 제한되고 가열처리와 같은 전통적 살균처리가 곤란할 경우 적용하기가 용이한 장점이 있다(이와 변 2003).

두부는 단백질 함량이 약 8%로 다량의 무기질과 비타민이 함유되어 있으며 특히 필수 아미노산 중 lysine이 풍부하게 함유되어 있어, 곡류 위주인 동양의 식생활에서 부족하기 쉬운 단백질을 보충할 수 있는 우수한 식품이다(Jang *et al*. 2008; Lee *et al*. 2013). 또한 콜레스테롤과 포화지방산이 적고, 식이섬유 함량이 높아 비만방지 및 소화기능 장애에 효과가 있는 우수한 식물성 영양공급원 중 하나이다(Kim *et al*. 2001; Lee *et al*. 2013). 따라서 본 연구에서는 두부를 아이스크림의 주원료로 사용하였으며 제품의 미생물학적 안전성 확보를 위하여 감마선 조사기술을 활용하였다. 또한 멸균 두부 아이스크림의 관능적 품질과 점도를 조절하기 위하여 증점용 식품첨가물로 가장 널리 사용되고 있는 구아검을 활용하였으며 다양한 향 첨가를 통하여 관능적 품질을 향상시키고자 하였다. 마지막으로 환자용 균형영양식의 영양소 기준에 부합하기 위하여 각 실험구간의 영양성분 분석을 통하여 12가지의 추가적인 영양성분 필요량을 측정하여 최종적인 멸균 두부 아이스크림의 제조 배합비를 설정하였다.

재료 및 방법

1. 재료

본 실험에 사용한 두부, 우유, 휘핑크림, 바닐라 시럽, 초코 시럽 및 정백당은 정읍시 인근 마트에서 구입하였으며 레시틴, 구아검, 녹차 분말 및 난백 분말은 ES food (Gunpo, Korea)에서 구입하였다. 12가지 영양성분 중 칼슘은 Eco Bio Tech (Hwaseong, Korea)에서, 철은 Dr. Paul Lohnmann (Hauptstrasse, Germany)에서, 아연은 GH Chemical (Quebec, Canada)에서, 나이아신은 Tiajin Zhongrui (Tiajin, China)에서, 그리고 비타민 A, B1, B2, B6, C, D, E 및 엽산은 DSM (Heerlen, Netherlands)에서 구입하여 사용하였다.

2. 두부 아이스크림의 제조

Park 등(2016)의 두부 아이스크림 제조 방법을 참고하여

제조하였다. 먼저 두부의 비릿한 향을 저감시키기 위하여 100°C로 1분간 데친 후 물기를 제거하여 사용하였다. 생크림 300 g과 설탕 240 g을 5분간 교반한 후 우유 1200 g과 구아검을 넣고 100°C로 20분간 가열교반을 하였다. 이후 온도가 60°C까지 낮아지면 데쳐놓은 두부와 레시틴, 향료 및 영양소를 넣고 믹서로 3분 동안 균질화한 후 4°C에서 24시간 숙성시킨 후에 소프트 아이스크림 제조기(Soft Ice cream machine SSI 141T, ICETRO, Incheon, Korea)에 넣어 두부 아이스크림을 제조하였다(Table 1). 시료는 각 실험 시작 전까지 −20°C에 보관하여 사용하였다.

3. 감마선 조사

감마선 조사는 한국원자력연구원 첨단방사선연구소(Jeongeup, Korea) 내 선원 11.1 PBq, ^{60}Co 감마선 조사시설(point source AECL, IR-79, MDS Nordion International Co., Ltd., Canada)을 이용하였으며 두부 아이스크림을 냉동상태로 조사하기 위하여 드라이아이스와 함께 포장하여 2, 4, 6, 8 및 10 kGy의 흡수선량을 얻도록 하였다. 흡수선량의 확인은 5 mm alanine dosimeter (Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하였으며, 흡수선량의 오차는 ±5% 이내였다.

4. 미생물 평가

시료 10 g에 멸균된 0.1%의 멸균펩톤수(Difco Co., Detroit, USA) 90 mL를 가하여 1분간 stomacher (Mark II Lab Blender, Tekmar Teledyne Technologies Inc., Ohio, USA)를 이용하여 균질화한 후 희석액 0.1 mL을 실험에 사용하였다. 일반 호기성미생물은 PCA 배지(Plate Count Agar, Difco Co., Detroit, USA)에 도말하여 35°C의 incubator (MIR-262, SANYO Electric Biomedical Co., Ozu, Japan)에서 48시간 동안 배양한 후 생성된 집락 수를 계수하였다. 대장균군은 Petrifilm (3MTM PetrifilmTM coliform Count Plate, Difco Co., Detroit, USA)을 사용하여 32°C에서 24시간 동안 배양한 후 붉은색과 기포를 형성한 집락 수를 계수하였다.

더불어 감마선 조사된 두부 아이스크림의 멸균 여부를 확인하기 위하여 세균발육시험법(KFDA 2020)을 이용하였다. 시료를 무균적으로 10 g을 취한 후, 멸균 PBS (Phosphate Buffered Saline) 90 mL을 가하고, 20초간 vortexing하였다. 이 용액의 1 mL에 멸균된 thioglycollate medium (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, USA)를 가하고 35°C에서 45시간 동안 배양시켜 yellow 계통으로 변색되지 않는 것을 멸균된 것으로 확정하였다.

5. 색도 평가

시료 표면의 색도는 색도계(Spectrophotometer CM-5, Konica Minolta, INC., Osaka, Japan)와 프로그램(Spectra magic NX, Konica Minolta, INC., Osaka, Japan)을 이용하여 Hunter color value인 명도(L*), 적색도(a*) 및 황색도(b*)로 나타내었다. 표준백판의 값은 L = 96.88, a = −0.10, b = 0.07 이었다.

6. 점도 평가

구아검의 농도를 0, 0.1, 0.2, 0.3 및 0.4%로 첨가한 두부 아이스크림의 점도는 상온에서 점도계(Brookfield viscometer, model DV-II + Pro, Middleboro, USA)를 이용하여 측정하였다.

7. 관능 평가

두부 아이스크림의 관능적 특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 20명의 숙련된 panel을 대상으로 형태(apperance), 향(flavor), 맛(taste), 질감(texture), 단맛(sweetness), 이취(off-flavor) 및 전체적 호감도(overall acceptance)의 7가지 항목에 대해 7점 척도법(7점: 매우 좋아한다, 6점: 좋아한다, 5점: 약간 좋아한다, 4점: 보통이다, 3점: 약간 싫어한다, 2점: 싫어한다, 1점: 매우 싫어한다)으로 평가하였다.

8. 영양성분 평가

영양성분 평가는 Control (영양성분 무첨가 및 감마선 비조사), N (영양성분 첨가 및 감마선 비조사), NI (영양성분 첨가 및 감마선 조사 2 kGy)의 총 3가지 실험군으로 수행하였다. 시료의 영양성분 평가는 한국식품과학연구원에 의뢰하여 조단백질, 칼슘, 철, 아연, 비타민 A, 비타민 B1, 비타민 B2, 비타민 B6, 비타민 C, 비타민 D, 비타민 E, 나이아신 및 엽산의 함량과 열량을 분석하였다.

9. 통계처리

실험 결과는 Statistical Package for Social Sciences (SPSS, 10.0)를 이용하여 One Way ANOVA test로 분석하였으며, 시료 간의 유의성은 Duncan's multiple range test법으로 $p \leq 0.05$ 수준에서 평가하였다.

결과 및 고찰

1. 감마선 조사에 따른 두부 아이스크림의 미생물학적 안전성 평가

환자용 균형영양식 기준에 부합하는 멸균 두부 아이스크림을 제조하기 위하여 감마선 조사(0, 2, 4, 6, 8 및 10 kGy)

Table 1. Formular of tofu ice cream

Ingredients	Original (g)	Guar gum (g)				Flavor (g)						Nutrients (g)
		0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	Vanilla		Choco		Green tea		
Tofu	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Whipping cream	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Sugar	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
Milk	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Lecithin	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Egg white powder	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76
Guar gum	–	2.35	4.70	7.05	9.4	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
Vanilla 0.5%	–	–	–	–	–	11.77	–	–	–	–	–	–
Vanilla 0.75%	–	–	–	–	–	–	17.65	–	–	–	–	–
Choco 0.75%	–	–	–	–	–	–	–	17.65	–	–	–	–
Choco 1.0%	–	–	–	–	–	–	–	–	23.53	–	–	23.53
Green tea 0.05%	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.18	–	–
Green tea 0.1%	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2.35	–
Iron	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.043
Zinc	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.030
Vitamin A	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.025
Vitamin B1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.004
Vitamin B2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.005
Vitamin B6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.005
Vitamin C	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.536
Vitamin D	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.007
Vitamin E	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.079
Niacin	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.054
Folic acid	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.001
Total (g)	2350.76	2353.11	2355.46	2357.81	2360.16	2364.88	2370.76	2370.76	2376.64	2354.29	2355.46	2377.424

Table 2. Effect of gamma irradiation on total aerobic bacteria, coliform bacteria and sterilization status of tofu-based ice cream

Irradiation dose (kGy)	Total aerobic bacteria (log CFU g^{-1})	Coliform bacteria (log CFU g^{-1})	Sterilization
0	4.8±0.17	3.8±0.28	+[2]
2	ND[1]	ND	−[3]
4	ND	ND	−
6	ND	ND	−
8	ND	ND	−
10	ND	ND	−

Values are mean±standard deviation (n=5).
[1]ND: Not detected within the detection limit < 1 log CFU g^{-1}.
[2]+: Bacterial growth was detected (positive).
[3]−: Bacterial growth was not detected (negative).

후 일반 호기성미생물, 대장균군 및 멸균 여부를 확인하였다 (Table 2). 일반 호기성미생물의 경우 비조사군에서 4.8±0.17 log CFU g^{-1}이 검출되었으나 2 kGy 이상의 모든 감마선 조사군에서 검출한계 1 log CFU g^{-1} 이하로 나타났다. 대장균군의 경우 비조사구에서 3.8±0.28 log CFU g^{-1}이 검출되었으나 일반 호기성미생물과 마찬가지로 모든 감마선 조사군에서 검출되지 않았다. 두부 아이스크림의 멸균 여부를 확인하기 위하여 세균 발육 시험을 한 결과 2 kGy 이상의 감마선 조사에 의하여 두부 아이스크림이 멸균되는 것으로 나타났다. Kim *et al*.(2005)에 따르면 국내 시판 아이스크림의 미생물 오염도를 측정한 결과 1.00±0.09~2.07±0.15 log CFU g^{-1}의 일반 호기성미생물이 검출되었으며, 대장균군 또한 1.00±0.12~1.87±0.09 log CFU g^{-1}이 검출되었으나 5 kGy로 감마선 조사 결과 미생물이 검출되지 않아 본 실험 결과와 유사하였다. Kamat *et al*.(2000) 역시 −72°C로 냉동된 아이스크림을 방사선 조사하였을 때의 일반 호기성미생물, 효모 및 곰팡이와 대장균군의 변화를 비교하였을 때 비조사군의 경우 각각 6.7±1.17, 5.5±2.1 및 3.3±1.52 log CFU g^{-1}이 검출된 반면 5 kGy에서는 2±1.5 log CFU g^{-1} 이하의 미생물이 검출되었다고 보고되었다. 따라서 환자용 균형영양식의 기준규격에 부합하기 위한 두부 아이스크림의 최소 감마선 조사선량은 2 kGy이었으므로 이후 품질 최적화 연구에는 조사선량을 2 kGy로 고정하여 실험을 진행하였다.

2. 감마선 조사와 구아검 함량별 두부 아이스크림의 점도 변화

아이스크림의 점도와 관능적 품질에 가장 큰 영향을 미치는 구아검 함량을 달리하여(0, 0.1, 0.2, 0.3 및 0.4%) 첨가한 후 2 kGy의 감마선 조사에 따른 두부 아이스크림 점도를 측정하였다(Table 3). 구아검 무첨가군의 경우 감마선 조사 전 21.3±1.53 cP에서 2 kGy 조사 후 20.3±1.53 cP로 나타나 감마선 조사에 의하여 점도가 유의적으로 감소하는 것을 확인하였다. 일반적으로 전분과 cellulose와 같은 탄수화물은 감마선 조사에 의해 고분자 당쇄사슬(large polysaccharide chains)이 끊어지며 단순당(simple sugars)으로 분해 단당류(monosaccharides)로부터 sugar acids, ketones 및 other sugars의 상태로 변하게 된다(Murano 1995). 이에 따라 감마선 조사에 의하여 구아검을 비롯한 다양한 탄수화물의 점도가 감소하는 다양한 연구가 보고되어 있다(Lai *et al*. 1959; Faust and Massey 1966; Karen *et al*. 1993; Kang *et al*. 2002).

Table 3. Viscosity changes of tofu-based ice cream by gamma irradiation and guar gum addition (unit: cP)

Irradiation dose (kGy)	Guar gum (%)	Value
0	0	21.3±1.53[e]
2	0	20.3±1.53[f]
	0.1	85.0±4.00[d]
	0.2	186.3±6.66[c]
	0.3	224.7±6.51[b]
	0.4	363.3±10.69[a]

Values are mean±standard deviation (n=5).
[a-f]Mean values within a column follow by the different letter are significantly different ($p<0.05$).

구아검 함량별 2 kGy로 감마선 조사처리에 따른 점도의 변화를 관찰한 결과 0.1%는 85.0±4.00 cP, 0.2%는 186.3±6.66 cP, 0.3%는 224.7±6.51 cP, 그리고 0.4%에서 363.3±10.69 cP로 나타나 구아검의 첨가비율이 증가함에 따라 점도값도 유의적으로 증가하는 것을 확인하였다. 이는 구아검을 농도별로 첨가하여 쌀반죽을 만들어 점도를 측정하였을 때 첨가비율이 높아짐에 따라 점도가 증가한다고 보고와 일치하였다(Kim *et al*. 2009). 따라서 2 kGy의 감마선 조사에 의해 두부 아이스크림 내 탄수화물의 당쇄결합(glycosidic bond)이 분해되어 점도의 감소가 발생하지만 구아검을 첨가함으로써 그 영향을 낮춰줄 수 있는 것을 알 수 있었다.

3. 감마선 조사와 구아검 함량별 두부 아이스크림의 색도 변화

먼저 구아검 무첨가군의 감마선 조사에 의한 색도 변화를 관찰한 결과, 명도(L*)는 유의적 변화가 없었으나 적색도(a*)와 황색도(b*) 모두 유의적으로 감소하여 감마선 조사에 의하여 두부 아이스크림의 색이 어두워지는 것을 확인하였다(Table 4). Lee *et al*.(2006)은 당 및 lysine 혹은 당-lysine 혼합모델 수용액에서 감마선 조사에 의한 갈변도 변화 및 화학적 특성을 연구한 결과 당 또는 아미노산 단독 환경에서는 일어나지 않았으며, 당-아민 복합 환경에서 진행되는 것으로 나타났다고 보고하였으며 비환원당인 sucrose는 감마선 조사에

의해 환원력이 생성되어 다른 당에 비해 높은 갈변반응성을 보였다고 발표하였다. 따라서 본 실험에서 두부 아이스크림의 색이 어두워진 것은 아이스크림에 함유된 당과 단백질이 감마선 조사에 의해 갈변반응을 일으켜 색도가 변화한 것이라 판단된다.

다음으로 구아검 첨가에 따른 함량별 색도의 변화를 관찰한 결과 명도(L*)는 구아검 0.1% 이상 첨가할 경우 비첨가군과 비교하여 모두 유의적으로 감소하였다. 그러나 적색도(a*)와 황색도(b*)는 구아검 0.1% 이상 첨가할 경우 유의적으로 증가하였다. 따라서 구아검 함량이 증가할수록 두부 아이스크림의 색이 유의적으로 어두워지는 것을 확인하였으며, 이 또한 위에서 언급한 감마선 조사에 의한 비효소적 갈변반응이 일어난 것으로 판단된다. 따라서 점도와 색도의 결과를 종합하여 볼 때, 구아검의 첨가로 인하여 두부 아이스크림의 점도는 증가하고 색은 어두워지므로 관능적 품질 평가를 통하여 최적의 구아검 첨가량을 설정할 필요가 있다.

4. 감마선 조사와 구아검 함량별 두부 아이스크림의 관능적 품질 변화

감마선 조사와 구아검 함량에 따른 두부 아이스크림의 관능적 품질을 7점 척도법으로 평가한 결과 모든 실험군에서 4.0 이상의 점수를 나타내어 평균 이상의 선호도를 나타내었다(Table 5). 하지만 구아검을 첨가하지 않은 두부 아이스크림의 감마선 조사 전과 조사 후를 비교해 볼 때, 맛(taste)과 조직감(texture)이 감소하여 종합적 기호도(Overall acceptance)가 감소하였다. 일반적으로 방사선 조사에 의한 관능적 품질 저하는 조사 시 발생하는 지방 산화(lipid oxidation)에 의하여 일어난다고 알려져 있다(Adeil *et al*. 2003). 하지만 아이스크림과 같이 냉동상태의 시료를 방사선 조사할 경우는 지방 산화가 억제될 수 있으며, 특히 3 kGy 이하의 감마선 조사로는 아이스크림의 지질산패도가 증가되지 않는 것으로 보고되었다(Kim *et al*. 2007). 더불어 곡물죽을 20 kGy로 조사한 경우는 점도의 감소에 의하여 관능적 품질이 낮아지는 것으로 관찰되었다(Lee *et al*. 2008). 이러한 방사선 조사에 따른 관능적 품질의 저하는 아이스크림에 박하향을 첨가하거나 곡물죽의 수분함량을 낮춤으로써 방지될 수 있었다(Hashisaka *et al*. 1990; Lee *et al*. 2008).

본 연구에서는 다양한 구아검 첨가량(0.1, 0.2, 0.3 및 0.4%)에 따른 감마선 조사 전과 조사 후의 관능적 품질 변화를 관찰한 결과, 구아검 0.1%를 첨가하였을 때 조직감(texture)이 유의적으로 증가하며 외관(appearance), 향(flavor), 단맛

Table 4. Color changes of tofu-based ice cream by gamma irradiation and guar gum addition

Irradiation dose (kGy)	Guar gum (%)	*L**	*a**	*b**
0	0	64.4 ± 0.51^{a}	−1.2 ± 0.04^{b}	4.6 ± 0.09^{c}
2	0	64.1 ± 0.72^{a}	−1.3 ± 0.03^{c}	4.3 ± 0.06^{d}
	0.1	62.6 ± 0.30^{b}	−1.2 ± 0.02^{b}	4.5 ± 0.06^{c}
	0.2	62.9 ± 0.11^{b}	−1.1 ± 0.03^{b}	4.7 ± 0.07^{b}
	0.3	62.5 ± 0.50^{b}	−1.1 ± 0.01^{a}	5.0 ± 0.09^{a}
	0.4	63.2 ± 0.11^{b}	−1.1 ± 0.01^{a}	5.0 ± 0.06^{a}

Values are mean ± standard deviation (n = 5).
$^{a-d}$Mean values within a column follow by the different letter are significantly different ($p < 0.05$).

Table 5. Sensory properties of tofu-based ice cream by gamma irradiation and guar gum addition

Dose (kGy)	Guar gum (%)	Attributes						
		Appearance	Flavor	Taste	Texture	Sweetness	Off-flavor	Overall acceptance
0	0	5.8 ± 0.84	5.6 ± 0.55	5.4 ± 0.55^{a}	4.8 ± 0.84^{b}	5.4 ± 0.55	1.0 ± 0.01	5.2 ± 0.45^{ab}
2	0	6.0 ± 0.71	5.4 ± 0.55	4.8 ± 0.84^{ab}	4.4 ± 0.55^{b}	5.2 ± 0.45	1.2 ± 0.45	4.8 ± 0.45^{b}
	0.1	6.4 ± 0.84	5.0 ± 0.71	4.6 ± 0.55^{ab}	5.8 ± 0.45^{a}	5.0 ± 0.71	1.2 ± 0.45	5.8 ± 0.45^{a}
	0.2	6.2 ± 0.55	5.2 ± 0.45	4.4 ± 0.55^{b}	5.2 ± 0.84^{ab}	5.0 ± 0.71	1.4 ± 0.55	5.0 ± 0.71^{ab}
	0.3	5.8 ± 0.45	5.2 ± 0.45	4.4 ± 0.55^{b}	4.6 ± 0.55^{b}	5.0 ± 0.71	1.4 ± 0.55	4.6 ± 0.55^{b}
	0.4	5.6 ± 0.55	5.0 ± 0.71	4.2 ± 0.84^{b}	4.4 ± 0.55^{b}	5.0 ± 0.71	1.6 ± 0.55	4.2 ± 0.45^{b}

Values are mean ± standard deviation (n = 5).
^{a,b}Mean values within a column follow by the different letter are significantly different ($p < 0.05$).

Table 6. Sensory properties of tofu-based ice cream by gamma irradiation and different flavor addition

Dose (kGy)	Additive flavor	Attributes						
		Appearance	Flavor	Taste	Texture	Sweetness	Off-flavor	Overall acceptance
0	0	6.0±0.82	6.5±0.58^{a}	5.8±0.50^{a}	6.3±0.50	5.3±0.50^{cd}	1.0±0.01	5.8±0.50^{a}
2	Vanilla 0.5%	6.0±0.82	5.5±0.58^{ab}	5.5±0.58^{a}	5.8±0.50	5.5±0.58^{bc}	1.3±0.50	5.5±0.58^{ab}
	Vanilla 0.75%	6.0±0.82	5.5±0.58^{ab}	5.5±0.58^{a}	5.5±0.58	6.0±0.01^{ab}	1.5±0.58	5.3±0.96^{ab}
	Choco 0.75%	5.8±0.50	5.5±0.58^{ab}	5.3±0.50^{ab}	5.5±0.58	6.0±0.01^{ab}	1.3±0.50	5.5±0.58^{ab}
	Choco 1.0%	5.8±0.96	6.0±0.82^{ab}	6.0±0.82^{a}	6.0±0.82	6.5±0.58^{a}	1.0±0.01	6.3±0.50^{a}
	Green tea 0.05%	5.8±0.50	5.5±0.58^{ab}	5.3±0.50^{ab}	5.5±0.58	5.3±0.50^{cd}	1.3±0.50	5.5±0.58^{ab}
	Green tea 0.1%	5.5±1.00	5.3±0.50^{b}	4.5±0.58^{b}	5.8±0.50	4.8±0.50^{d}	1.0±0.01	4.5±0.58^{b}

Values are mean±standard deviation (n=5).
$^{a-d}$Mean values within a column follow by the different letter are significantly different ($p<0.05$).

(sweetness) 및 이취(off-flavor)의 차이는 없어 종합적 기호도(Overall acceptance)가 5.8±0.45점으로 가장 높은 선호도를 보이는 것을 확인하였다. 반면 구아검 함량이 더욱 증가할 경우 관능적 품질이 떨어지는 것을 확인하여 최종적으로 감마선 조사된 멸균 두부 아이스크림 내 구아검의 최적 함량은 0.1%로 선정하였다.

더불어 두부 아이스크림의 관능적 품질을 더욱 향상시키기 위하여 다양한 향(Vanilla 0.5%, 0.75%; Choco 0.75%, 1.0%; Green tea 0.05%, 0.1%)의 첨가를 통하여 관능적 품질을 향상시키고자 하였다(Table 6). 실험 결과 초코 시럽 1.0%를 첨가한 경우 단맛이 증가하여 종합적 기호도가 유의적으로 높은 반면 녹차 파우더를 0.1% 첨가한 경우는 녹차 특유의 강한 향과 맛으로 인하여 관능적 품질의 저하가 일어났다. 그 외의 실험군에서는 향 첨가에 따른 유의적 차이를 나타내지 않았다. 따라서 본 연구에서는 최종적으로 멸균 두부 아이스크림은 구아검 0.1%와 초코 시럽 1.0%를 첨가하였을 때 관능적 품질이 가장 높은 것으로 나타났다.

5. 영양소 첨가 및 감마선 조사에 따른 두부 아이스크림의 영양성분 평가

식품의약품안전처에서 고시한 환자용 균형영양식의 영양소 기준치는 일반인 기준 1일 영양성분 기준치의 절반으로 시료 1000 kcal당 단백질 27.5 g, 칼슘 350 mg, 철 6 mg, 아연 4.25 mg, 비타민 A 350 μg RE, 비타민 B1 0.6 mg, 비타민 B2 0.7 mg, 비타민 B6 0.75 mg, 비타민 C 50 mg, 비타민 D 2.5 μg, 비타민 E 5.5 mg, 나이아신 7.5 mg 및 엽산 200 μg으로 제시되어 있다(KFDA 2020). 앞선 실험을 통하여 최적화된 조건으로 제조된 멸균 두부 아이스크림(Control)의 영양성분을 분석한 결과, 단백질, 칼슘, 비타민 A 및 비타민 B2는 환자용 균형영양식의 영양소 기준치를 상회하였지만, 철 0.9 mg, 아연 1.9 mg, 비타민 B1 0.6 mg, 비타민 B6 0.8 mg, 비타민 C 17.2 mg, 비타민 D 2.5 μg, 비타민 E 1.6 mg, 나이아신 5.7 mg 및 엽산 200 μg이 기준치 대비 부족한 것으로 나타났다(Table 7). 그에 따라 식품의약품안전처가 고시한 환자용 균형영양식의 영양소 기준치와 비교하여 각 영양소별로 부족한 양을 계산한 후 필요한 첨가량을 포함한 최종적인 제품의 배합비를 설정하였다(Table 1).

Table 7. Comparison of nutrient values on tofu-based ice cream by nutrients addition and gamma irradiation

Nutrients	Classification			
	NS[1)]	Control[2)]	N[3)]	NI[4)]
Calorie (kcal)	1000	1000	1000	1000
Crude protein (g)	27.5	24.4	28.3	27.6
Calcium (mg)	350	464.8	464.8	460.1
Iron (mg)	6	5.1	6.6	6.1
Zinc (mg)	4.25	2.4	4.7	4.4
Vitamin A (μgRE)	350	558.1	558.2	550.1
Vitamin B1 (mg)	0.6	ND[5)]	1.0	0.6
Vitamin B2 (mg)	0.7	0.7	1.0	0.7
Vitamin B6 (mg)	0.75	ND	1.2	0.8
Vitamin C (mg)	50	32.8	52.1	50.0
Vitamin D (μg)	2.5	ND	3.9	2.6
Vitamin E (mg, α-TE)	5.5	3.9	6.2	5.5
Niacin (mg)	7.5	1.8	9.8	7.7
Folic acid (μg)	200	ND	226.2	210.2

[1)]NS: Nutritional standards for balanced nutritional food for patients (BNFP)
[2)]Control; No nutrients addition and no irradiation
[3)]N: Nutrients addition and no irradiation
[4)]NI: Nutrients addition and 2 kGy gamma irradiation
[5)]ND: Not detected

부족한 영양소를 첨가하여 최종 배합비로 제조한 실험군(N)의 경우 환자용 균형영양식 기준치 이상의 영양성분을 함유한 것으로 나타났으며 최종적으로 영양소를 첨가한 후 2 kGy로 감마선 조사를 한 실험군(NI) 역시 기준치 이상의 함

량을 포함하고 있는 것을 확인되었으나 감마선 조사에 따른 일부 영양소의 감소가 관찰되었다(Table 7). 현재까지 수용성 비타민 중에는 비타민 B1, 비타민 C, 비타민 B6, 비타민 B2, 엽산, 비타민 B12 및 나이아신(Kraybill 1982)이, 지용성 비타민 중에는 비타민 E, 비타민 A, 비타민 D 및 비타민 K가 방사선에 대한 감수성이 높아 조사 후 함량의 손실이 클 수 있다고 알려져 있다(Murray 1983; Thayer *et al*. 1991). 그러나 아이스크림과 같이 냉동된 상태로 조사될 경우 매트릭스 내에 자유 라디칼을 포함한 2차 생성물의 이동성이 적어 방사선으로 인해 발생하는 간접 효과를 최소화하므로 10 kGy 이상의 선량에서도 영양학적인 품질에는 문제가 없는 것으로 보고되었다(Galetto *et al*. 1979; Thayer *et al*. 1989; Adeil *et al*. 2003). 따라서 본 연구 결과 역시 멸균 두부 아이스크림은 −20°C로 냉동 조사되었기 때문에 감마선 조사에 따른 영양소의 손실이 크지 않은 것으로 사료된다.

결 론

본 연구는 면역력이 떨어진 백혈병 및 암환자와 같이 특수한 영양관리가 필요한 사람들을 위한 환자용 균형영양식으로 멸균 아이스크림을 개발하고자 단백질 함량이 높은 두부를 주원료로 두부 아이스크림을 제조하였다. 두부 아이스크림의 미생물학적 안전성을 확보하기 위한 최소 감마선 조사선량은 2 kGy이었으며 점도, 색도 및 관능적 품질을 최적화하기 위한 구아검의 함량은 0.1%로, 조사 시 발생하는 이취를 저감하기 위한 초코 시럽의 첨가량은 1.0%로 확인되었다. 마지막으로 환자용 균형영양식의 영양소 기준치를 만족하기 위해 앞서 최적화된 두부 아이스크림에 추가적인 영양소 첨가를 통하여 영양소 기준치를 상회하는 제품 배합비를 확립하였다. 따라서 본 연구를 통하여 제조된 멸균 두부 아이스크림은 위생적으로 안전하고 관능적 품질이 우수하며 환자용 균형영양식의 영양성분 또한 만족하므로 추후 환자를 포함하여 일반인 모두 쉽게 섭취가 가능한 기호 유제품으로 그 가치가 매우 높을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국원자력연구원의 주요사업(523240-20)에 의해 수행되었으며 그 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

김성현, 최적주, 신정혜, 이준열, 성낙주. 2004. 유자 착즙액이 아이스크림의 영양학적 특성. 한국식품영양과학회지. **17**(2): 212-219.

식품안전나라. 2018. 살모넬라 부적합에 따른 아이스크림 제품의 판매 중지 및 회수. https://www.foodsafetykorea.go.kr/popup/suspensionDetail.do?search_keyword=3000081597 (최종접속일시: 2020.5.8)

육홍선, 이주운. 2014. 방사선 멸균 환자용 균형영양식의 미생물학적, 이화학적 및 관능학적 품질 특성 평가. 충남대학교 식품영양학과.

이주운, 변명우. 2003. 방사선 식품조사 기술과 식품 알레르겐의 구조 변화. 대한천식알레르기학회지. **23**(1):16-23.

Adeil P, Narvaiz P, Horak C and Kairiyama E. 2003. Irradiated icecreams for immunosuppressed patients. *Radiat. Phys. Chem*. **66**:356-365.

Anonymous. 1994. Outbreak of Salmonella enteritidis associated with home made ice-cream Florida, 1993. *Am. J. Med. Assoc*. **272**:1490.

Byun MW. 1997. Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Ind. Food Sci*. **30**:89-100.

Byun MW, Jo C, Lee KH and Kim KS. 2002. Chlorophyll breakdown by gamma irradiation in model system containing lonoleic acid. *Am. J. Oil. Chem. Soc*. **79**:145-150.

Chug K. 1996. Salmonella outbreak from ice cream. *Indian Pediatrics*. **33**:976-977.

Chun HN. 2005. Development of Korean dairy industry cheese. *J. Korean Dairy Technol*. **23**:161-166.

Daniels NA, Mackinnon L, Rowe SM, Bean NH, Griffin PM and Mead PS. 2002. Foodborne disease outbreaks in United States schools. *Pediatr. Infect. Dis*. **21**:623-628.

Djuretic T, Wall P and Nichols G. 1997. General outbreaks of infectious intestinal disease associated with milk and dairy products in England and Wales: 1992 to 1996. *Commun. Dis. Rep. CDR Rev*. **7**:41-45.

Faust M and Massey Jr. LM. 1966. The effects of ionizing radiation on starch breakdown in barley endosperm. *Radiat. Res*. **29**:33-38.

Francesc C, Concha L, Esther J, Joana G, Angelo C, Remei B, Jordi A, Miguel ÁS, Eugeni S, Toni M, Carme S and Anna L. 2012. Angels Arcusa Adapted ice cream as a nutritional supplement in cancer patients:impact on quality of life and nutritional status. *Clin. Transl. Oncol*. **14**:66-72.

Galetto W, Kahan J, Eiss M, Welbourn J, Bednarczyk A and Siberstein O. 1979. Irradiation treatment of onion powder: effects on chemical constituents. *J. Food. Sci*. **44**(2):591-595.

Hashisaka AE, Einstein MA, Rasco BA, Hungate FP and Dong FM. 1990. Sensory analysis of dairy products irradiated with cobalt-60 at −78°C. *J. Food Sci*. **55**:404-408.

Jang SY, Sin KA, Park NY, Bang KW, Kim JH and Jeong YJ. 2008. Functional properties of hydrolysate soy milk and whole soy milk. *Kor. J. Food Preserv*. **15**(3):361-366.

Jo C, Kim HJ, Kim DH, Lee WK, Ham JS and Byun MW. 2007.

Radiation sensitivity of selected pathogens in ice cream. *Food Control* **18**:859-865.

Kamat A, Warke R, Kamat M and Thomas P. 2000. Low-dose irradiation as a measure to improve microbial quality of ice cream. *Int. J. Food Microbiol.* **62**(2):27-35.

Kang IJ, Byun MW, Yook HY, Bae CH, Lee HS, Kwon JH and Chung CK. 2002. Production of modified starches by gamma irradiation. *Radiat. Phys. Chem.* **65**:79-86.

KFDA. 2020. Food Code. Munyoungsa, Seoul, Korea.

Kim HJ, Jo CU, Kim DS, Yook HS and Byun MW. 2005. Microbiological Contamination of Ice Cream Commercially Available in Korea and its Irradiation Effect. *J. Anim. Sci. Technol.* **47**(5):867-876.

Kim HJ, Song BS, Kim JH, Choi JI, Lee JW, Jo C and Byun MW. 2007. Application of gamma irradiation for the microbiological safety of sliced cheddar cheese. *J. Radiat. Ind.* **1**:15-19.

Kim JH and Yoon SS. 1998. Detection of E. coli O157:H7 and *Listeria monocytogenes*, and appraisal for microbiological qualities in the commercial frozen yogurt products in Korea. *Kor. J. Food Sci. Ani. Res.* **18**:63-74.

Kim KS, Han CW, Joung KH, Lee SK, Kim AJ and Park WJ. 2009. Quality characteristics of rice noodles with organic acid and thickening agents. *J. Kor. Acad. Industr. Coop. Soc.* **10**(5):1148-1156.

Kim MJ. 2001. Studies on functional compositions and physicochemical characteristics of Korean traditional soybeans. MS. thesis, Yong-in Univ., Yong-in, Korea.

King K and Gray R. 1993. The effect of gamma irradiation on guar gum, locust bean gum, gum tragacanth and gum karaya. *Food Hydrocolloids* **6**(6):559-569.

Kraybill HF. 1982. Nutritional and biochemical aspects offood preserved by ionizing radiation. *J. Home. Econ.* **50**:695-701.

Lai SP, Finney KF and Milner M. 1959. Treatment of wheat with ionizing radiations, oxidative, physical and biochemical changes. *Cereal Chem.* **36**:401-411.

Lee JW, Kim HJ, Yoon YH, Kim JH, Ham JS, Byun MW, Baek M, Jo C and Shin MG. 2009. Manufacture of ice cream with improved microbiological safety by using gamma irradiation. *Radiat. Phys. Chem.* **78**(7):593-595.

Lee JW, Kim JH, Oh SH, Byun EH, Yook HS, Kim MR, Kim KS and Byun MW. 2008. Effect of gamma irradiation on viscosity reduction of cereal porridges for improving energy density. *Radiat. Phys. Chem.* **77**:352-356.

Lee JW, Oh SH, Kim JH, Byun EH, Kim MR, Kim KS, Lee HJ and Byun MW. 2006. The nonenzymatic browning reaction occurred by gamma irradiation in sugar-lysine aqueous model solution. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **35**:583-587.

Lee S, Lee YB and Kim HS. 2013. Analysis of the general and functional components of various soybeans. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **42**:1255-1262.

Massa S, Poda G, Cesaroni D and Trovaelli LD. 1989. A bacteriological survey of retail ice cream. *Food Microbiology* **6**:129-134.

Murray TK. 1983. Nutritional aspects of food irradiation. pp. 203-216. *In*: Recent advances in food irradiation (Elias PS and Cohen AJ eds.), Elsevier Biomedical, Amsterdam.

Park MC, Park YH, Kim HS, Baik MY and Kim BY. 2016. Characteristics and Optimal Mixing Ratio of Tofu Ice Cream Made with Crushed Tofu and Soy Milk. *J. Food Eng. Prog.* **20**:158-164.

Segura A, Pardo J, Jara C, Zugazabeitia L, Carulla J, Penas R, Garcia E, Azuara M, Casado J and Gomez C. 2005. An Epidemiological evaluation of prevalence of malnutrition in Spanish patients with locally advanced or metastatic cancer. *Clin. Nutr.* **24**(5):801-814.

Sharef N, Ghenghesh KS, Abognah YS, Gnan SO and Rahouma A. 2006. Bacteriological quality of ice cream in Tripoliibya. *Food Control* **17**:637-641.

Thayer DW, Shieh JJ, Jenkins RK, Phillips JG, Wierbicki E and Ackerman SA. 1989. Effect of gamma ray irradiation and frying on the thiamine content of bacon. *J. Food Qual.* **12**:115-134.

Thayer DW, Fox JB and Lakrits L. 1991. Effects of ionizing radiation on vitamins. pp. 285-325. *In*: Food irradiation (Thorne S ed.), Elsevier Science Publishers, Barking, UK.

Warke R, Kamat A, Kamat M and Thomas P. 2000. Incidence of pathogenic psychrotrophs in ice creams sold in some retail outlets in Mumbai, India. *Food Control* **11**:77-83.

WHO working group. 1988. Foodborne Listeriosis. *Bull. World Health Organ.* **66**(4):421-428.

Received: 14 April 2020
Revised: 3 May 2020
Revision accepted: 24 May 2020