Journal of Radiation Industry 11(4) : 251~257(2017)

발아현미 분말에 대한 감마선 조사가 가래떡의 식품학적 특성과 영양성분에 미치는 영향

김 미 정[1,*]

[1]안양대학교 식품영양학과

Effects of Gamma Irradiation on Germinated Brown Rice Flour to Food Properties and Useful Compounds of *Garaetteok*

Mi-Jung Kim[1,*]

[1]*Department of Food Science and Nutrition, Anyang University, Gyeonggi-do 14028, Republic of Korea*

Abstract - This study was conducted to evaluate the growth inhibition effect of aerobic microorganisms contaminated and changes of γ-aminobutyric acid (GABA) and β-sitosterol in germinated brown rice by gamma irradiation, when the flour is used to make the *Garaetteok*, a Koreaan traditional rice cake. Brown rice ware germinated with 2 mm length, separated, ground for flour and gamma-irradiated within the absorbed dose of 2.5, 5.0, 7.5 or 10.0 kGy. Non-irradiated one was used as control. Gamma irradiation on the flours could reduce the numbers of total aerobic bacteria, coliforming bacteria and Yeast/mold. And, *Garaetteok* with gamma-irradiated flour were manufactured and the microbiological shelf-life, color and mechenically textural properties were tested. Shelf life of samples with gamma-irradiated flours were prolonged. Colors were darken, and Gumminess and chewisiveness decreases dose-dependently. GABA was not affected by gamma irradiation, but β-sitosterol was affected and the content decreased. The results appeared that gamma irradiation can apply to eliminate the aerobic microorganisms contaminated in germinated brown rice flour for manufacturing germinated brown rice *Garaetteok*.

Key words : Germinated brown rice flour, *Garetteok*, Microorganisms, GABA and β-sitosterol, Gamma irradiation

서 론

발아현미는 건강식품으로서의 그 효능이 규명되면서 떡, 국수, 빵, 식혜 등 다양한 곡류 가공품의 소재로 이용되고 있다(Kong and Lee 2010; Shin *et al*. 2010; Kwak *et al*. 2013; Yun *et al*. 2015). 발아현미는 건조하여 분말화한 후 다양한 가공식품의 원료로 사용하거나(Kang *et al*. 2003), 발아현미 자체를 세척 후 포장하여 즉석섭취 가능한 즉석섭취 편이식품인 새싹채소로 즉석섭취하기도 한다(Soriano *et al*. 2000). 발아현미는 현미가 발아하는 과정에서 조직이 연화되어 식감이 개선되고, 찰기와 식미가 향상되어 섭취가 용이해질 뿐 아니라, γ-aminobutyric acid (GABA), β-sitosterol, 식이섬유, ferulic acid, tocotrienols, 마그네슘, 아

* Corresponding author: Mi-Jung Kim, Tel. +82-31-467-0964, Fax. +82-31-467-0909, E-mail. mjkim@anyang.ac.kr

연 및 γ-oryzanol 등 각종 생리활성을 갖는 기능성 성분들이 증가되는 것으로 알려져 있다(Kim *et al*. 1998; Kim *et al*. 2001; Oh 2002). 특히, 현미는 발아 중에 GABA의 함량이 급격히 증가한다(Choi *et al*. 2004; Jung *et al*. 2008). 이 물질은 성인병 예방, 어린이 성장발육 촉진, 기억력과 학습효과 증대, 소화촉진 및 혈액순환 기능을 강화하는 것으로 보고되었다(Oh 2007; Lee *et al*. 2009; Lim and Kim 2009). 또한, β-sitosterol은 phytosterol로 고등식물에 폭넓게 존재하는데, 대장암 억제, 항염증 효과. 면역증강 효능이 있는 것으로 발혀졌다(Gupta *et al*. 1980; Kahn *et al*. 1991).

발아현미는 건조하여 저장 유통하는데 오염된 미생물의 빠른 증식으로 인해 낮은 저장성의 단점이 있고, 특히 식중독균의 오염에 취약하여 심각한 식중독을 일으키는 원인이 될 수 있다(Bae *et al*. 2011). 발아현미와 같은 발아식품에서 식중독 미생물을 제거하는 방법으로 발아현미를 에탄올, 차염소산나트륨, 유기산 용액 등에 침지를 하거나(Cho and Park 2012), 현미 종자에 직접 처리하여 미생물을 제거하려는 연구가 수행되었다(Kim *et al*. 2016). 발아현미를 곡류 가공품으로 사용하기 위해서는 분말로 제조하는 과정이 필수적이다. 발아현미 분말은 높은 수분함량과 초기 미생물 오염수준으로 인해 저장에 매우 취약하다(Bae *et al*. 2011). 그러나 분말에 대한 위생화 방법이 많이 연구되어 있지 않아 다양한 가공품에 적용하기 위한 기술개발이 요구된다.

한편, 비가열 살균법인 감마선 조사기술은 곡물분말, 향신료 등의 위생화에 포장 후 적용할 수 있어 저장성 연장 및 식중독 미생물 제어에 효과적인 방법이다(IAEA 2006). 국제적으로 곡물분말에 대한 방사선 조사를 10 kGy의 최대허용선량 범위에서 허가하고 있다(FAO/WHO 2003). 국내에서도 허가기준을 갖고 있으나(KFDA 2017), 아직까지 발아현미 분말에 대한 감마선 조사기술은 상업적으로 적용되지 않고 실정이다. 여러 원인이 있겠으나, 발아현미 분말에 대한 연구가 너무 적은 것도 한 원인이라고 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 생리활성 효과가 우수한 발아현미의 활용성을 높이고자 발아현미를 이용한 가래떡을 제조하여 식품학적 특성을 평가하였다. 이를 위해 발아현미를 분말로 제조하여 법규의 최대 허가선량인 10 kGy 이하에서 감마선을 조사한 후 분말에 오염된 미생물 감균효과와 떡 제조 후 저장성, 색도 및 물성을 검사하였고, 최대 허용 선량에서의 기능성 성분인 GABA과 β-sitosterol의 함량에 미치는 영향을 시험하였다.

재료 및 방법

1. 재료 및 시약의 준비

발아현미는 발아현미 가공 전문업체인 (주)미실란에서 30°C, 24시간 동안 발아시킨 현미를 사용하였다. 이전 연구(Oh *et al*. 2014)에서 싹의 길이가 2.0 mm인 것이 GABA 함량이 가장 높다는 결과를 준용하여 싹의 길이가 약 2 mm 정도 되는 발아현미를 선별하여 원료로 사용하였다. 증류수에 수침한 발아현미를 건저 내어 물기를 뺀 후 1,000 g을 롤러 간격을 0.5 mm로 맞춘 분쇄기로 1차 분쇄하고 증류수 200 ml을 보충하여 롤러의 간격을 0.01 mm로 맞추어 곱게 2차 분쇄하였다. 발아현미 가루를 멸균한 폴리비닐 봉지에 넣고 밀봉한 후 감마선을 조사하였다. 시험에 사용한 표준 GABA와 β-sitosterol은 Sigma Chemical Co. (St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다. 기타 미생물용 배지 및 분석시약 등은 특급을 사용하였다.

2. 감마선 조사

발아현미 분말시료에 대한 감마선 조사는 2.5, 5.0, 7.5 및 10.0 kGy의 흡수선량을 얻도록 상온에서 조사하였다. 한국원자력연구원 첨단방사선연구소의 Cobalt-60 irradiator (Point source AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada)에서 실시하였으며 흡수선량의 확인은 ceric/cerous dosimeter (Harwell, UK)를 사용하였다.

3. 발아현미 가래떡 제조

발아현미 가래떡은 Shin 등(2010)의 방법을 준용하여 제조하였다. 각각의 발아현미 분말에 7.0 g의 정제염을 가한 후 스테인리스 찜기 (steamer)에 4 L의 물을 넣고 가열하여 끓기 시작하면 배 보자기를 깔고 시료를 넣은 다음 편편하게 하고 면 보자기를 덮은 후 20분 증자하였다. 증자한 것을 꺼내어 멀티 떡 제조용 압출기 (KM102, Kyungchang Machine, Machine, Kyunggi Kwangjoo, Korea)에 투입하여 2번 압출한 다음 지름 1.4 cm, 길이 30 cm로 제조하였다. 제조한 떡을 실온에서 약 30분 동안 방냉시킨 후 5 cm로 일정하게 자른 다음 폴리에틸렌 랩으로 포장 한 후 밀폐용기에 넣어 실온(22°C)에서 0, 1, 3, 5, 7일 동안 저장하면서 실험에 사용하였다. 감마선 조사하지 않은 발아현미 분말로 제조한 가래떡을 Control로 사용하였다. 제조에 사용된 모든 도구는 70% 에탄올이나 autoclave로 멸균하여 사용하였다.

4. 오염 미생물의 분석

시료의 일반 미생물의 정량적 분석은 식품공전법(KFDA, 2017)을 바탕으로 Bae *et al*. (2011)의 방법을 준용하여 실시하였다. 감마선을 조사하기 전에 발아현미 분말에 오염된 미생물을 측정하기 위해 무균 봉지에 각각의 분말시료를 무균적으로 취한 후 하기 미생물 시험에 사용하였다. 시료 25 g을 정량한 후 buffered pepton water (Difco Laboratories, Detroit, MI, USA) 225 ml이 담긴 멸균 stomacher bag에 넣

어 10배 희석한 후 stomacher(BagMixer® 400, Interscience, Breteche, France)를 이용하여 2분간 균질화 하였다. 균질화 된 시료는 9 ml의 buffered peptone water(Difco)를 이용하여 10배씩 연속 희석하였다. 총균수의 측정을 위해서 각각의 희석된 시료 1 ml을 petrifilm aerobic count plate(3M, Seoul, Korea) 위에 분주하여 30°C에서 24~48시간 배양하였으며, 배양 후 petrifilm 위에 형성된 균체(colony)를 계수하여 colony forming unit(CFU)·g^{-1}으로 나타내었다. 또한 대장균군 및 대장균의 정량적 분석을 위해서는 petrifilm *E. coli*/coliform count plate(3M)에 위에서 준비한 시료 1 ml을 분주하여 37°C에서 24~48시간 배양하였다. 배양 후 기포를 가진 파란색 균체를 대장균양성으로, 기포를 가진 붉은색 균체와 기포를 가진 파란색 균체를 대장균군 양성으로 간주하여 계수하였다. 효모 및 곰팡이의 정량적 분석을 위해서는 petrifilm yeast/molds count plate(3M) 위에서 준비한 시료 1 ml을 분주하여 37°C에서 24~48시간 배양하였다. 배양 후 녹색의 균체를 효모 및 곰팡이의 양성으로 간주하여 계수하였다.

5. 발아현미 가래떡의 색도 측정

제조한 발아현미 가래떡 시료를 지름 1.4 cm, 길이 5 cm의 일정한 크기로 자른 다음에 색차계(Color & Color difference meter, Color-i-7 Macbeth, New Windsor, NY, USA)를 이용하여 L(명도), a(적색도) 및 b(황색도)를 5회 측정하였다.

6. 발아현미 가래떡의 물성 측정

발아현미 가래떡의 물성 측정을 위해 시료를 1시간 동안 실온(20°C)에서 식힌 다음 지름이 1.4 cm인 가래떡을 길이 1.5 cm로 자른 다음 Texture Analyser(TAXT2, Stable Micro System Ltd., Haslemere, UK)를 이용하여 측정하였다. Texture Profile Analysis를 이용하여 2차 bite compression test로 10회 반복 측정하였다. 측정 후 얻어진 force-distance curve로부터 경도(hardness), 부착성(adhesivenss), 탄성(springiness), 응집성(cohesivenss), 검성(gumminess), 씹힘성(chewiness)을 측정하였다. 측정 조건은 plunger로 puncture probe(SMS-p/5, stainless cylinder type, 5 mm diameter)를 사용하였고, 거리는 80% strain, load cell은 5 kg, force는 grams, pre-test speed는 5.0 mm·sec^{-1}, test speed는 3.0 mm·sec^{-1}, post-test speed는 3.0 mm·sec^{-1}으로 하였다.

7. GABA 함량 분석

γ-Aminobutyric acid(GABA) 분석은 Oh 등(2014)의 방법을 이용하여 아미노산 자동분석기(Biochrom 30, Pharmacia Co. USA)를 이용하였다. 발아현미 가래떡을 60°C에서 감압건조한 후 분쇄하였다. 분쇄한 시료 1.0 g을 정확히 칭량하여 증류수 10 ml을 첨가하고 상온에서 24시간 추출 후, 원심분리하여 상등액만을 취하여 0.45 μm membrane filter로 여과하였다. 시료 1.0 ml과 Lithium citrate loading buffer 4.0 ml을 혼합하여 분석시료로 사용하였다. 분석을 위한 칼럼은 Lithium column을 이용하여 용매 Lithium citrate buffer(A, B, CII, DII, pH 2.2, pH 3.55)를 사용하여 gradient condition으로 분석하였고 분석조건은 용매 유속 25.0 ml·hr^{-1}이며 검출을 위한 발색시약은 ninhydrin 용액을 사용하여 570 nm 및 440 nm에서 흡광도를 측정하였다.

8. β-Sitosterol 함량 분석

감마선 조사에 의한 β-Sitosterol 함량의 변화는 Park 등(2010)의 방법을 준용하여 gas chromatography 분석법으로 측정하였다. 감압 건조하여 분쇄한 시료 1.0 g을 칭량하여 33% KOH 1.0 ml, Etanol 9.0 ml, ISTD 1.0 ml을 가한 후 80°C waterbath에서 1시간 가온한 후 실온에서 방냉하고 증류수 5 ml, Haxane 10 ml을 가해 혼합한 후 정치, 분리시켰다. 상층을 탈수하여 0.45 μm membrane fillter로 여과하여 시험용액으로 사용하였다.

9. 통계처리

관찰된 실험결과는 SAS통계프로그램(version 9.1, SAS Institute, Cary, NC, USA)의 ANOVA procedure을 이용하여 분석되었다. 각각의 처리군이 통계적인 유의차를 나타내는 경우에($p \leq 0.05$) 각각의 5반복 실험에 의한 평균값은 Duncan' multiple range test를 이용하여 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 발아현미 분말에 오염된 미생물의 감균 효과

발아현미 분말에 오염되어 있는 미생물에 대한 감마선 조사의 감균 효과는 Table 1에 나타냈다. 총호기성 미생물(Total aerobic viable cells)는 5.85 log CFU·g^{-1}, Coliform bacteria는 2.56 log CFU·g^{-1}, Yeast/Mold는 1.46 log CFU·g^{-1} 수준으로 각각 검출되었다. 오염된 미생물의 양은 이전 연구에서 발표한 결과와 유사한 오염 양상을 보여주고 있다(Lee 2014). 감마선 조사에 의해 발아현미 분말에 오염된 미생물 수는 조사선량이 증가할수록 감소하였다. 총균수는 D_{10} 값이 1.73으로 나타났고, 10 kGy 흡수선량에서는 생육이 발견되지 않았다. Coliform bacteria는 D_{10} 값 0.86의 D_{10} 값으로 감소하여 7.5 kGy 이상의 선량에서는 생육하지 않았

Table 1. Averages (Log CFU/g)[a] of microorganisms isolated from gamma-irradiated germinated brown rice flour

Microorganism	Irradiation dose (kGy)					D_{10} value
	0	2.5	5.0	7.5	10.0	
Total aerobic bacteria	5.85 ± 0.45[c]	4.69 ± 0.25[cd]	3.12 ± 0.58[d]	1.98 ± 0.25[e]	NG	1.73
Coliform bacteria	2.56 ± 0.76[c]	1.64 ± 0.38[cd]	0.71 ± 0.42[d]	NG	NG	0.86
Yeast/Molds	1.46 ± 0.74	0.78 ± 0.45	NG[b]	NG	NG	0.73

[a]Data represent means ± standard deviations of five measurements.
[b]NG: Non growth on plate
[c-e]Means with the different letter within a row are significant differences ($p > 0.05$).

Table 2. Averages (Log CFU/g)[a] of total aerobic viable cells determined from *Garaetteok* made with gamma-irradiated germinated brown rice during storage at 22°C.

Irradiation dose (kGy)	Storage period (day)				
	0	1	3	5	7
0	2.76 ± 0.46[d]	6.32 ± 0.88[e]	ND[c]	ND	ND
2.5	1.24 ± 0.87[d]	4.26 ± 0.58[e]	7.25 ± 1.83[f]	ND	ND
5.0	NG[b]	1.35 ± 0.57[d]	4.27 ± 0.39[e]	ND	ND
7.5	NG	NG	NG	2.45 ± 0.89	6.16 ± 0.43
10.0	NG	NG	NG	NG	1.69 ± 0.37

[a]Data represent means ± standard deviations of five measurements.
[b]NG: Non growth on plat
[c]ND: Not determined for putrefaction (8.00 log CFU/g < numbers of colony).
[d-f]Means with the different letter within a row are significant differences ($p > 0.05$).

다. Yeast와 mold는 0.73의 D_{10} 값을 나타내었다. 이 결과는 감마선 조사에 의한 미생물 감균에 대한 여러 보고와 유사한 결과를 보이고 있다(Byun *et al*. 2010; Song *et al*. 2013; Park *et al*. 2014).

2. 저장 중 가래떡의 호기성 미생물 증식

Table 2는 발아현미 분말로 제조한 가래떡의 저장 중 미생물 생육 결과를 나타낸다. 제조 직후 가래떡의 미생물 함량은 비조사구에서 2.76 log CFU·g^{-1}, 2.5 kGy 감마선 조사한 발아현미가루 분말로 제조한 가래떡에서는 1.24 log CFU·g^{-1}을 나타냈고, 5 kGy 이상의 선량에서 조사된 분말로 제조한 시료에서는 발견되지 않았다. 저장 7일 동안 모든 시료에서 미생물 생육이 관찰되었다. 비조사구는 저장 3일째 호기성 미생물의 생육이 8.00 log CFU·g^{-1}을 초과하여 식품으로서의 가치를 상실하였다. 2.5 kGy의 시료에서는 저장 3일째 7.25 log CFU·g^{-1}, 저장 5일째는 부패된 것으로 판명되었다. 5 kGy의 시료는 저장 5일째 부패로 판단되었다. 반면에, 7.5 kGy의 시료는 저장 7일째 6.16 log CFU·g^{-1}의 생육을 나타내어 이 흡수선량에서의 감마선 조사 시 상당한 저장성 연장 효과를 나타내는 것을 알 수 있었다. 10 kGy의 시료는 저장 7일째 1.69 log CFU·g^{-1}의 호기성 미생물의 생육이 관찰되어 발아현미 분말에 대한 10 kGy의 감마선 조사도 멸균을 보장할 수 없다는 것을 알 수 있었다. 이 결과는 가래떡의 원료로 사용한 발아현미 분말에 대한 감마선 조사가 떡 제조 후 미생물 생육으로 인한 부패 도달시간을 상당히 연장시킬 수 있는 것으로 판단되었다. 이 결과는 이전 연구들(Byun *et al*. 2010; Song *et al*. 2013)에서 보고한 원료 곡물에 대한 감마선 조사가 최종제품의 저장성 연장에 효과적이라는 결과들과 유사하였다. 한편, Choi (2004)는 발아현미 추출물이 항균력을 갖는다고 보고하였으나, 당 연구에서 제조한 가래떡의 저장성에는 크게 영향을 나타내지 않는 것으로 사료된다.

3. 가래떡의 색도에 미치는 영향

발아현미 분말에 대한 감마선 조사가 가래떡의 색택에 미치는 영향은 Table 3에 나타냈다. 발아현미 분말의 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)는 각각 63.27, 0.42, 15.18로 나타나 이전 연구(Shin *et al*. 2010)와 유사한 결과를 나타냈다. 감마선 조사선량이 증가할수록 명도는 감소하여 10 kGy 흡수선량에서 57.13으로 측정되었다. 반면 황색도는 조사선량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타냈다. 적색도는 10 kGy까지 증가하는 경향을 보였으나, 통계적 유의성은 관찰되지 않았다 ($p > 0.05$). 식품의 색택은 소비자의 구매의향에 결정적인 영향을 주는 요소이다. 감마선 조사된 가래떡의 색택이 가시적으로는 큰 차이를 나타내지는 않았으나, 명도의 감소와 황색도의 증가로 인해 일반적인 쌀가루 떡의 노화에서 관찰되는 결과와 유사하였다(Kim *et al*. 2013). 이전 연구에서도 감마선 조사된 곡류분말의 색도가 다소 어두워진다

Table 3. Color value of *Garaetteok* made with gamma-irradiated germinated brown rice

Parameter	Irradiation dose (kGy)				
	0	2.5	5.0	7.5	10.0
L	63.27±0.89[a]	62.15±0.24[a]	60.39±0.51[b]	58.98±1.25[bc]	57.13±0.52[c]
a	0.42±0.03	0.43±0.02	0.44±0.07	0.44±0.05	0.45±0.08
b	15.18±0.57[a]	5.76±0.45[ab]	16.57±0.36[b]	17.05±0.62[bc]	17.46±0.74[c]
ΔE	18.15±0.48[a]	17.62±0.58[a]	15.98±0.74[ab]	15.22±0.75[b]	14.24±0.62[b]

(n=5)
[a-c]Means with the different letter within a row are significant differences (p>0.05).

Table 4. Textural peoperties of *Garaetteok* made with gamma-irradiated germinated brown rice

Parameter	Irradiation dose (kGy)				
	0	2.5	5.0	7.5	10.0
Hardness	2612.24±187.56	2582.95±210.82	2562.36±148.27	2616.48±216.54	2625.72±162.25
Springiness	0.84±0.27[a]	0.86±0.13[a]	0.87±0.09[a]	0.89±0.26[ab]	0.91±0.27[b]
Cohesiveness	0.46±0.15[a]	0.43±0.21[a]	0.41±0.13[a]	0.39±0.08[ab]	0.36±0.07[b]
Gumminess	1056.45±175.22	1074.25±136.24	1101.48±165.24	1046.65±204.77	1091.65±216.21
Chewiness	1051.47±258.53	1043.65±251.75	1078.27±341.27	1069.22±276.54	1059.76±366.26

(n=5)
[a, b]Means with the different letter within a row are significant differences (p>0.05).

는 보고(Song *et al*. 2013)를 인용하여 볼때, 색택 변화를 방지할 방법이 고려되어야 한다고 판단된다.

4. 가래떡의 기계적 물성에 미치는 영향

감마선 조사된 발아현미 분말로 제조한 가래떡의 기계적 물성 특성은 Table 4에 나타냈다. 가래떡의 경도(hardness), gumminess(끈적임성), chewiness(씹힘성)는 10 kGy까지의 감마선 조사에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 반면에, springiness(탄성)와 cohesiveness(점착성)는 10 kGy의 흡수선량에서 유의적인 감소를 나타냈다. 이 결과는 이전 연구(Kim *et al*. 2013)에서 보고한 찹쌀에 대한 감마선 조사 시 물성변화와 유사한 결과를 나타내었다. 탄성값과 점착성은 조금 다른 특성을 갖고 있다. 탄성값은 누르는 힘에 대한 반발력인 반면, 점착성은 시료의 천공 시 탐침과 떡의 점착을 나타낸 것으로 서로의 결과가 다른 양상을 나타낼 수 있다. 일반적으로 이온화 에너지에 의한 전분의 glycolytic bond의 분해로 인해 물성의 변화가 나타나는데(FAO/WHO 2003; IAEA 2006), 발아현미 가래떡의 경우에도 탄성(springiness)과 점착성(cohesiveness) 등 전분의 물성학적 특성에 다소 영향을 미치는 것으로 사료된다.

5. GABA 함량 변화

Fig. 1은 감마선 조사가 발아현미 분말에 함유된 GABA의 함량에 미치는 영향을 시험한 결과이다. 감마선 조사에 의해 GABA는 10 kGy 이하의 흡수선량에서는 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 모든 처리구에서 GABA 함량은 0.572~0.581 μg·g^{-1}의 농도로 존재하였는데, 이전 보고(Ko *et al*. 2011; Oh *et al*. 2014)와 유사한 함량을 나타냈다. 이 결과는 10 kGy 이하의 감마선 조사는 발아현미 분말의 GABA 함량에 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다. 따라서 발아현미 분말의 미생물적 안전성 확보를 위한 감마선 조사는 적용가능하다고 판단된다. 현재까지 GABA에 대한 감마선 조사영향에 대한 연구는 보고되지 않아 흡수선량의 폭과 범위에 대한 기본적인 자료가 없는 실정이다. 따라서, 10 kGy까지의 위생화 선량과 20~45 kGy 범위의 멸균

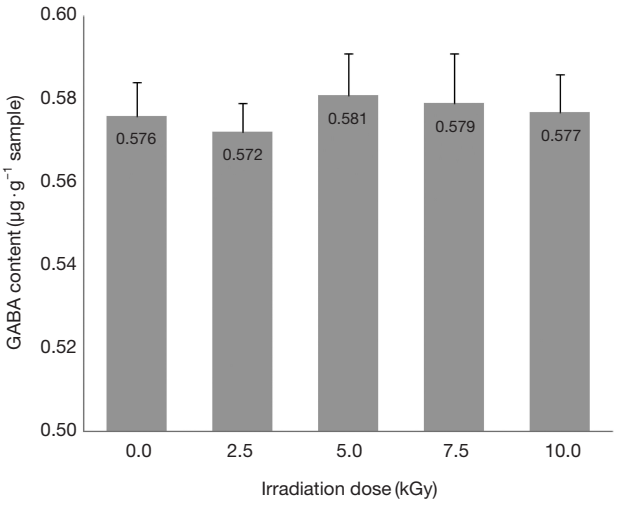

Fig. 1. GABA contents of *Garaetteok* made with gamma-irradiated germinated brown rice.

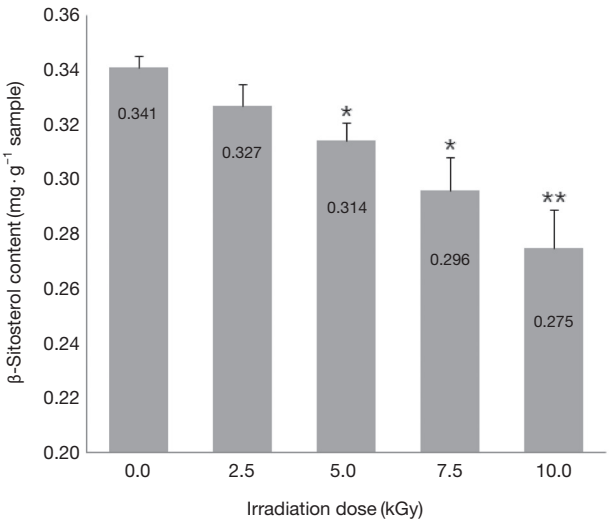

Fig. 2. β-Sitosterol contents of *Garaetteok* made with gamma-irradiated germinated brown rice. Data with different star (*, **) means the statistical differences ($p<0.05$).

선량에서의 GABA의 영향이 시험되어야 할 것으로 사료된다.

6. β-Sitosterol 함량 변화

β-Sitosterol은 5 kGy 이상의 감마선 조사에 영향을 받는 것으로 나타났다(Fig. 2). 감마선 조사선량이 증가할수록 β-sitosterol의 함량이 감마선 흡수선량에 의존적으로 감소하였다. 비조사구(0.341 mg·g^{-1} sample)에 비해 10 kGy 조사구(0.275 mg·g^{-1} sample)로 측정되어 약 19.6% 정도 감소되었다. 이온화 에너지에 의한 지방산 변화는 많은 연구들에서 보고되어왔다(FAO/WHO 2003; IAEA 2006; Song *et al*. 2013). 그러나, β-sitosterol에 관한 연구결과는 보고되지 않고 있다. 감마선 조사에 의한 β-Sitosterol과 같은 생리활성을 갖고 있는 지방산과 그 유도체들의 안정화를 위한 방법이 고려되어야 할 것이다.

결 론

본 연구는 건강 등의 이유로 발아현미의 섭취를 높이기 위한 방법으로 발아현미 가래떡을 제조할 경우, 분말에 오염된 미생물을 제어하여 가래떡의 저장성을 연장하기 위한 방법으로서 감마선 조사기술을 적용하기 위해 실시하였다. 현미를 발아시켜 2.0 mm 정도의 길이를 갖는 원료를 분류한 후 분말로 제조하였다. 발아현미 분말에 대해 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 kGy의 흡수선량을 갖도록 감마선을 조사하였다. 분말에 오염되어 있는 총 호기성 세균, 대장균군, 효모와 곰팡이의 감균 효과를 시험하였다. 조사 선량이 증가할 수 록 분말에 오염된 미생물들은 감소하였고 10 kGy 처리구에서는 발견되지 않았다. 감마선 조사한 발아현미 분말로 가래떡을 제조한 후 7일 동안 22°C에 저장하며 호기성미생물의 생육을 관찰하였다. 조사선량이 높을 수 록 저장성에 효과적인 것으로 나타났다. 떡 제조 후 감마선 조사에 의한 색도의 변화와 기계적 물성변화도 측정하였다. 감마선 조사에 의해 가래떡의 색도는 다소 어두워졌고, 10 kGy에서 탄성과 점착성이 떨어지는 것이 관찰되었다. 발아현미의 영양성분인 GABA와 β-sitosterol의 함량변화를 측정한 결과, GABA는 10 kGy의 감마선 조사에서는 영향을 받지 않았으나, β-sitosterol은 감마선 조사에 영향을 받는 것으로 나타났다. 이 결과는 곡류 분말에 대한 방사선 조사 허가선량인 10 kGy에서 발아현미 분말에 대한 감마선 조사가 가래떡의 저장성을 크게 연장시킬 수 있다는 과학적인 자료를 제공한다.

참 고 문 헌

Bae YM, Hong YJ, Kang DH, Heu S and Lee SY. 2011. Microbial and pathogenic contamination of ready-to-eat fresh vegetables in Korea. *Korean J. Food Sci. Technol*. **43**:161-168.

Byun MW, Shin MG and Lee JW. 2010. Utilization of radiation technology in the R&D field of special food. *J. Radiation Ind*. **4**:95-105.

Cho SK and Park JH. 2012. Bacterial biocontrol of sprouts through ethanol and organic acids. *Korean J. Food Nutr*. **25**:149-155.

Choi HD, Park YK, Kim YS, Chung CH and Park YD. 2004. Effect of pretreatment conditions on γ-amino butyric acid content of brown rice and germinated brown rice. *Korean J. Food Sci. Technol*. **36**:761-764.

Choi JH. 2004. Physicochemical characteristics of sprouted brown rice powder and quality properties of the bread added with sprouted brown rice powder. Ph.D. Dissertation Sunchon National University.

FAO/WHO. 2003. General CODEX methods for the detection of irradiated foods. CODEX STAN 231-2001, Rev.1.

Gupta MB, Nath R, Srivastava N, Shanker K, Kishor K and Bhargava KP. 1980. Anti-inflammatory and antipyretic activities of β-sitosterol. *Planta Med*. **39**:157-162.

IAEA. 2006. Database on approvals for irradiation food(supplement). *Food Environ. Protect. Newslett*. **9**:21-59.

Jung HY, Lee DH, Baek HY and Lee YS. 2008. Pre- and post germination changes in pharmaceutical compounds of germinated brown rice. *Korean J. Crop Sci*. **53**:37-43.

Kahn MMAA, Jain DC, Bhakuni RS, Mohd Z and Thakur RS. 1991. Occurrence of some antiviral sterols in *Artemisia an-*

nua. *Plant Sci*. **75**:161-165.

Kang MY, Lee YR and Nam SH. 2003. Characterization of the germinated rices to examine an application potentials as functional rice processed foods. *Korean J. Food Sci. Technol*. **35**:696-701.

Kim J, Shin M and Ro H. 2013. Quality properties of sulgi with different mixed ratio of brown rice flour and germinated brown rice flour. *Korean J. Food Cookery Sci*. **29**:591-598.

Kim SL, Son YK, Son JR and Hur HS. 2001. Effect of germination condition and drying methods on physicochemical properties of sprouted brown rice. *Korean J. Crop Sci*. **46**:221-228.

Kim SS, Kim YK and Lee WJ. 1998. Microwave vacuum drying of germinated brown rice as a potential raw material for enzyme food. *Korean J. Food Sci. Technol*. **30**:1107-1113.

Kim WI, Kim SY, Kim IS, Han S, Kim SR, Yun B, Ryu JG and Kim HJ. 2016. Effects of sample preparation methods for the isolation of foodborne pathogens from sprout seeds. *J. Food Hyg. Saf*. **31**:465-470.

Ko JY, Song SB, Lee JS, Kang JR, Seo MC, Oh BG, Kwak DY, Nam MH, Jeong HS and Woo KS. 2011. Changes in chemical components of Foxtail millet, Proso Millet, and Sorghum with germination. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **40**:1128-1135.

Kong S and Lee J. 2010. Quality Characteristics and changes in GABA content and antioxidant activity of noodle prepared with germinated brown rice. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **39**:274-280.

Korea Food and Drug Administration. 2017. Food code. Available from: http://www.kfda.go.kr.

Kwak JE, Yoon SW, Kim DJ, Yoon MR, Lee JH, Oh SK, Kim IH, Lee JS, Lee JS and Chang JK. 2013. Changes in nutraceutical lipid constituents of pre- and post-germinated brown rice oil. *Korean J. Food Nutr*. **26**:591-600.

Lee JH. 2014. Quality characteristics of dough and white pan bread containing germinated brown rice natural ferment. Master Dissertation Konkuk University.

Lee JH, Oh SK, Cho KM, Seo WD and Choung MG. 2009. Variations in physicochemical properties of brown rice (*Oryza sativa* L.) during storage. *Food Sci. Biotech*. **18**:1398-1403.

Lim SD and Kim KS. 2009. Effects and utilization of GABA. *Korean J. Dairy Sci. Technol*. **27**:45-51.

Oh SH. 2007. Effects and application of germinated brown rice with enhanced levels of GABA. *Food Sci. Ind*. **40**:41-46.

Oh SK, Lee JH, Won YJ, Lee DH and Kim CK. 2014. Changes of physicochemical properties according to the shoot length in germinated brown rice. *Korean J. Crop Sci*. **59**:223-229.

Oh YS. 2002. Study on nutritional properties of sprouting brown rice. Kongju Nation Univ. MS dissertation, Kongju, Korea.

Park JN, Jung K, Yoon YM, Choi SJ, Kim JH, Lee JW and Song BS. 2014. Comparison of the effects of gamma ray, electron beam, and X-ray irradiation to improve safety of black pepper powder. *Korean J. Food Preserv*. **21**:315-320.

Park YH, Lim SH, Ham HJ, Kim HY, Jeong HN, Kim KH and Kim S. 2010. Isolation of anti-inflammatory active substance β-sitosterol from seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) stem. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **39**:980-985.

Shin DS, Park HY, Han GJ and Kim MH. 2010. Quality characteristics of *Garaetteok* with different ratios of non-glutinous germinated brown rice flour. *Korean J. Food Cookery Sci*. **26**:853-859.

Song BS, Kim JH, Kim JK, Park JH, Byun EB and Lee JW. 2013. Sanitization of space foods using irradiation technology. *Safe Food* **8**:3-11.

Soriano JM, Rico HM, Molto JC and Manes J. 2000. Assessment of the microbiological quality and wash treatments of lettuce served in university restaurants. *Int. J. Food Microbiol*. **58**:123-128.

Yun HR, Kim JM and Shin M. 2015. Quality and storage characteristics of gluten-free rice pound cakes with different ratios of germinated brown rice flour. *Korean J. Food Cookery. Sci*. **31**:781-790.

Received: 12 October 2017
Revised: 25 November 2017
Revision accepted: 29 November 2017