

Effects of Medium Dose of Gamma Irradiation on Color and Lipid Oxidation of Starches

Kyung-A An¹, Hyun-Ku Kim², and Joong-Ho Kwon^{1*}

¹School of Food Science and Biotechnology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

²Korea Food Research Institute, Seongnam 463-746, Korea

중선량 감마선 조사가 전분류의 색도 및 지방질 산화에 미치는 영향

안경아¹ · 김현구² · 권중호^{1*}

¹경북대학교 식품공학부, ²한국식품연구원

Abstract

The effects of gamma irradiation at medium dose levels on commercial starches (corn starch/CS, sweet potato starch/SS, and potato starch/PS) were investigated in terms of its color and lipid oxidation. The CS, SS, and PS samples were irradiated at 0, 1.5, 3, 4.5 and 6 kGy by a Co-60 gamma irradiator and used for measuring Hunter's colors and TBA value. Irradiation doses applied did not cause apparent changes in Hunter color parameters between the control and irradiated groups. But, the decrease in lightness (L value) for CS and the increase in both redness (a value) for SS and yellowness (b value) for PS were observed, respectively, thereby resulting in slight increase in overall color difference (ΔE) upon irradiation. Browning intensity observed with the naked eye for gelatinized starches by irradiation doses was also gradually increased along with irradiation dose, which was more remarkable in SS. The thiobarbituric acid (TBA) values of samples showed a dose-dependant increase with ≥ 0.9964 of R^2 ($p < 0.05$).

Key words : Starch (com, sweet potato, potato), irradiation, Hunter's color, TBA value

서 론

식품조사(food irradiation)는 특정의 방사선 에너지를 피 조사체 식품에 일정시간 노출시켜 살균, 살충, 생장조절 등의 효과를 거두는 기법이자 기술로서, 이용 목적에 따라 저선량(<1 kGy), 중선량(1~10 kGy) 및 고선량(10~15 kGy)에 걸쳐 다양하게 활용될 수 있다(1). 국제적으로 식품조사에 이용될 수 있는 전리방사선(ionization radiation)은 방사성동위원소 ⁶⁰Co과 ¹³⁷Cs에서 방출되는 γ -선과 전자가속기에서 발생하는 전자선(10 MeV 이하) 및 기계적으로 발생하는 X선(5 MeV 이하)으로 규정되어 있으며, ⁶⁰Co 감마선이 산업적으로 가장 많이 이용되고 있다(2).

건조 및 분말 농산물, 육류의 위생화, 그리고 농산물의

해충구제와 발아억제 등의 분야에서 감마선 조사 연구와 실용화가 활발하다(3). 감마선의 식품 산업적 이용은 저장 및 부패 유기체의 생육억제로 농식품의 장기안전저장이 가능하다. 특히, 병원성 미생물의 사멸로써 더욱 안전한 식품 생산과 식품매개성 질병 예방에 기여하며, 공중보건상 국제식량교역에 있어 검역관리기술로서 매우 효과적인 방법으로 평가되고 있다(4). 그러나 방사선은 관능적 품질 요소의 하나인 식품의 색을 변화시키는 요인이 되기도 하고, 고에너지의 방사선 조사는 유지나 지방질 식품의 산패를 촉진하는 것으로 알려져 있어 품질저하를 야기할 수 있다. 이러한 영향은 식품의 종류에 따라 차이가 있으므로 식품조사의 실효성을 평가함에 있어서 방사선 조사에 따른 이화학적 특성 변화에 대한 검토가 수반되어야 한다.

가공식품의 소재로 폭넓게 사용되고 있는 전분은 미생물학적 품질관리를 위하여 우리나라와 남아프리카공화국에

*Corresponding author. E-mail : jhkwon@knu.ac.kr
Phone : 82-53-950-5775, Fax : 82-53-950-6772

서 각각 5 및 10 kGy까지의 방사선 조사를 허용하고 있으며 (5), 또한 방사선 조사는 전분 분자의 크기와 구조에 영향을 미쳐 이화학적 성질 변화를 일으키므로 변성녹말 제조의 유용한 방법으로 인식되고 있다(6). 이와 같은 전분의 방사선 조사 개연성을 전제로 이화학적 특성 변화를 조사한 여러 연구에서, 점도와 팽윤력 감소, 용해도와 알칼리수 증가, 지방질 산패 및 변색 등의 결과가 보고되었으며, 특히 점도 변화는 방사선 조사여부를 확인할 수 있는 마커(marker)로 제안되고 있다(7-12).

그러나 감마선 조사 전분류에 대한 지금까지의 연구는 주로 옥수수 전분에 대해서 10 kGy 이상의 고선량을 적용한 경우가 대부분이어서 식품조사의 실용화를 고려한 중선량(1~10 kGy) 범위의 조사선량과 보다 다양한 종류의 전분에 대한 실험데이터가 요구되고 있다. 이에 연구자들은 상업적으로 이용되고 있는 전분 중 국내 수요가 많은 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분을 대상으로 0~6 kGy의 감마선 조사 범위에서 점도, 용해도, 팽윤력 및 알칼리수의 유의적인 변화를 보고한 바 있으며(9), 본 실험에서는 감마선이 전분의 색깔이나 지방질 산패도에 미치는 영향을 검토하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 전분류는 국내 제조업체에서 수입 또는 국내산 원료를 써서 생산한 제품을 구입하였다. 옥수수 전분은 인천 소재 'CPK(Corn Products Korea)'에서 미국산 옥수수를 원료로 하여 제조한 것을 사용하였고, 고구마 전분과 감자 전분은 충청남도 소재 '고향식품'에서 강원도산 고구마 및 감자를 원료로 하여 제조한 것을 시중에서 구입하여 사용하였다.

시료의 방사선 조사

시료의 방사선 조사는 정읍방사선과학연구소의 ^{60}Co 감마선 조사시설(100 kCi point source, AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, Canada)을 이용하였다. 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분을 폴리에틸렌 병(120 g)에 포장하여 시간당 일정한 선량률로 실온에서 1.5~6.0 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 흡수선량의 확인에는 alanine dosimeter(Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 이용하여 ESR spectrometer (Bruker EMS 104 EPR analyzer)에서 조사 후 생성되는 free radical을 측정하여 확인하였다($\pm 5\%$). 조사시료는 비조사 대조시료와 함께 용기에 밀봉하여 실온에 보관하면서 실험에 사용하였다.

일반성분 및 전분 함량 분석

각 전분의 수분, 회분, 지방, 단백질, 탄수화물 등 일반성

분은 AOAC 방법(13)에 따라 분석하였으며, 전분 함량은 Somogyi 변법(14)을 이용하여 환원당을 정량한 다음 전분 계수 0.9를 곱하여 구하였다.

기계적 색도 측정

시료의 표면색도는 색차계(color and color difference meter, Model CR-200, Minolta, Japan)를 사용하여 표준 백판으로 보정한 다음 Hunter의 색계인 명도(lightness)를 나타내는 L 값, 적색도(redness)를 나타내는 a 값 및 황색도(yellowness)를 나타내는 b 값을 측정하였다. ΔL , Δa 및 Δb 는 비조사구와 조사구 사이의 색차를 나타내며, 전반적 색차(ΔE)는 Hunter-Scofield 식을 이용하여 계산하였다. 이 때 사용된 표준 백판의 L, a, b 값은 각각 97.83, -0.37 및 2.01이었다.

전분 gel의 색 변화 관찰

전분 gel의 제조는 감마선 조사 전분류의 이화학적 특성 변화를 조사한 선행 연구(9)에서의 점도측정 방법에 따라 시료현탁액을 강알칼리 상태에서 열처리하는 조건을 적용하였다. 시료에 일정량의 증류수를 가하여 7.5% 현탁액을 조제하고 33% NaOH 8.2 mL를 가하여 알칼리화 한 다음 Omni macro homogenizer (Model No. 17505, USA)를 이용하여 완전히 혼합하고(speed 3, 1 min), 이를 비등 수욕조(99°C)에서 30분간 가열·호화하였다. 이를 30°C에서 4시간 항온 보관 후 혼련된 패널에 의해 육안적으로 변색을 관찰하였다.

TBA value 측정

시료의 TBA가 측정은 Turner 등의 방법(15)에 준하여 시료 0.5 g을 test tube에 칭량하고 2 N phosphoric acid에 용해한 20% TCA (trichloroacetic acid) 용액 2.5 mL와 0.01 N TBA (2-thiobarbituric acid) 용액 5 mL를 가하여 열탕조에서 때때로 흔들어 주면서 30분간 가열한 다음 얼음물에 넣어 10분간 냉각시켰다. Isoamyl alcohol-pyridine (2:1 v/v) 용액 7.5 mL를 가하여 1분간 흔들어 emulsion을 파괴시킨 후 상층액을 여과하고(Whatman No. 2), UV-visible spectrophotometer (UV-160 PC SHIMAZU)를 사용하여 538 nm에서 흡광도를 측정하였다.

실험 결과 분석

각 시료별 측정은 3회 반복으로 실시하였으며, 실험결과 의 통계처리는 SAS (statistical analysis system)를 이용하여 ANOVA test (one-way analysis of variance test)와 Duncan's multiple range test에 의해서 유의차 검정을 실시하였다(16).

결과 및 고찰

일반성분 및 전분 함량

본 실험에 사용된 옥수수, 고구마 및 감자 전분의 일반성분과 전분의 함량을 Table 1에 나타내었다. 수분 함량은 옥수수 전분 10.47%, 고구마 전분 14.46%, 감자 전분 18.89%로 시료의 종류에 따라 다소 차이를 나타내었다. 전분 시료의 특성 상 탄수화물 함량이 79.42~87.26%로 대부분을 차지하였으며, 지방 및 단백질은 미량으로 존재하여 조지방 함량은 1.32~1.85%, 조단백질 함량은 0.12~0.32%이었고, 회분은 0.10~0.25%인 것으로 분석되었다. Shon 등(17)은 동부, 녹두, 강낭콩, 팥 등의 두류 전분에 대하여 일반성분 함량을 수분 12.51~17.87%, 단백질 0.19~1.21%, 지방 0.003~0.15%, 회분 0.16~0.31% 범위로 보고하였고, Kim과 Lee(18)는 가교결합 감자 전분의 이화학적 특성 연구에서 단백질, 지방, 회분 및 탄수화물 함량이 건물 기준으로 각각 0.27%, 0.06%, 0.26% 및 99.19%라고 보고하여, 본 연구의 결과와 비교적 유사하였다. 한편, 각 시료의 전분 함량은 건물 기준으로 옥수수 전분 97.01%, 고구마 전분 95.45%, 감자 전분 92.16%의 값을 나타내었다.

Table 1. Proximate composition and starch content of different starches

Sample	Composition	Content (%)
Corn starch	Moisture	10.47±0.09
	Carbohydrate	87.26±1.75
	Starch (d.b.)	97.01±1.17
	Crude protein	0.32±0.04
	Crude lipid	1.85±0.07
	Crude ash	0.10±0.03
Sweet potato starch	Moisture	14.46±1.39
	Carbohydrate	83.56±1.55
	Starch (d.b.)	95.45±2.12
	Crude protein	0.28±0.04
	Crude lipid	1.54±0.06
	Crude ash	0.16±0.02
Potato starch	Moisture	18.89±0.84
	Carbohydrate	79.42±2.03
	Starch (d.b.)	92.16±1.72
	Crude protein	0.12±0.01
	Crude lipid	1.32±0.04
	Crude ash	0.25±0.05

기계적 색도의 변화

색차계를 이용하여 감마선 조사(1.5~6 kGy) 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분의 기계적 색도(Hunter L, a, b)를 Table 2~4에 나타내었다. 본 실험에서 L 값의 범위는 옥수수 전분 99.64~101.45, 고구마 전분 93.80~97.24 및 감자 전분 97.59~98.2을 나타내었고, 옥수수 전분과 고구마 전분의

경우 조사선량이 증가함에 따라 L 값이 약간 감소하는 경향을 보였으나 감자 전분은 변화가 거의 없었다. Lee 등(19)은 0~20 kGy의 감마선을 조사한 밀, 옥수수, 감자 및 쌀 전분에 대해서 조사선량이 증가할수록 L 값은 감소하는 경향을 보였다고 보고하였으며, Choi 등(12)은 감마선 조사 (2.5~15 kGy) 옥수수 전분의 L 값이 뚜렷한 경향이 없이 변화하여 조사선량에 따른 유의성이 없었다고 보고한 바 있다.

Table 2. Changes in Hunter's color values of corn starch by irradiation dose

Irradiation dose (kGy)	Hunter's color value ¹⁾			
	L	a	b	ΔE
0	101.45±0.25 ^{2)A}	-1.46±0.06 ^D	3.40±0.12 ^A	0.00 ^D
1.5	101.46±0.03 ^A	-1.09±0.03 ^B	2.74±0.08 ^B	0.79±0.09 ^C
3.0	101.32±0.06 ^{AB}	-1.00±0.02 ^A	2.53±0.05 ^C	1.02±0.10 ^B
4.5	101.19±0.06 ^B	-0.95±0.01 ^A	2.53±0.04 ^C	1.07±0.07 ^B
6.0	99.64±0.10 ^C	-1.26±0.01 ^C	2.77±0.07 ^B	1.94±0.11 ^A
F-value	111.77 [*]	144.51 [*]	67.63 [*]	215.19 [*]

¹⁾L : Degree of Lightness (white +100 ↔ 0 black).

a : Degree of redness (red +100 ↔ -80 green).

b : Degree of yellowness (yellow +70 ↔ -80 blue).

ΔE : Overall color difference ($\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$).

²⁾Means±S.D. (n=3).

^{A-D}Values with different superscript letters within the same column are significantly different ($p < 0.1$, $p < 0.05$, $p < 0.01$).

한편, a 값은 모든 시험군에서 - 값으로 나타나 녹색 경향이 약하게 있는 것으로 확인되었다. Choi 등(12)은 감마선 조사 옥수수 전분의 a 값이 조사선량에 유의적으로 증가하였음을 보고한 바 있는데, 본 실험에서는 옥수수 전분과 고구마 전분의 경우 조사군이 비조사구 보다 높은 값을 나타내었으나, 감자 전분은 시료간의 편차가 작고 조사구의 값이 증가 또는 감소하여 일정한 경향을 볼 수 없었다. 결과적으로 Choi 등(12)의 연구 결과와 유사하게 a 값이 어느 정도 증가하는 경향은 확인되었으나 조사선량과의 유의성은 없었는데, 이는 조사선량의 범위가 낮기 때문으로 판단되었다.

Kang 등(20)은 10, 30, 50 kGy의 감마선 조사 옥수수 전분에 대해서 감마선 조사에 의해 다당류가 분해되어 단당류가 생성됨으로써 caramelization reaction이 일어나 b 값은 증가한다고 보고하였고, Choi 등(12)은 감마선 조사 옥수수 전분의 b 값이 조사선량이 증가할수록 그 값은 감소하여 유의성을 나타내었다고 보고하였다. 본 실험에서는 옥수수 전분은 조사군이 비조사구보다 낮은 값을 나타내었으나 조사선량에 따른 유의적인 차이는 없었고, 고구마 전분은 감마선 조사로 인한 변화가 거의 없었다. 한편, 감자전분의 경우는 조사선량에 유의적으로 b 값이 증가하여 Kang 등(20)의 연구 결과와 유사하였고, 시료 전분 중 가장 뚜렷한

변화를 보였다.

그리고 ΔE 값은 전반적인 색차를 나타내는 것으로, 0.0~0.5, 0.5~1.5 및 1.5~3.0이면 각각 흔적(trace), 약간(slight) 및 뚜렷한(noticeable) 정도의 육안적 차이에 해당한다(21). 본 실험의 결과에서 1.5 kGy 조사구에 대해 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분 모두 slight 정도의 차이를 나타내었고, 6 kGy 조사구의 경우 옥수수 전분과 고구마 전분은 noticeable 또는 그 이상의 차이를 보인 반면 감자 전분은 slight에 해당하여 감마선 조사로 인한 색도 변화가 가장 작은 것으로 확인되었다.

Table 3. Changes in Hunter's color values of sweet potato starch by irradiation dose

Irradiation dose (kGy)	Hunter's color value ¹⁾			
	L	a	b	ΔE
0	97.24±0.27 ^{2)A}	-0.78±0.03 ^C	1.58±0.11 ^{AB}	0.00 ^B
1.5	97.05±0.54 ^A	-0.76±0.06 ^C	1.51±0.09 ^{AB}	0.58±0.47 ^B
3.0	94.37±0.38 ^B	-0.66±0.02 ^{AB}	1.50±0.13 ^{AB}	2.88±0.14 ^A
4.5	96.64±0.78 ^A	-0.69±0.03 ^B	1.40±0.09 ^B	0.65±0.50 ^B
6.0	93.80±0.79 ^B	-0.61±0.02 ^A	1.79±0.27 ^A	3.46±0.76 ^A
F-value	22.22 [*]	11.72 [*]	2.76 ^{**}	33.91 [*]

¹⁾Refer to Table 3.

²⁾Means±S.D. (n=3).

^{A-C}Values with different superscript letters within the same column are significantly different ($p<0.1$, $p<0.05$, $p<0.01$).

식품의 색은 관능적 품질요소의 하나로서 식품의 겉모양(appearance)을 나타내므로 식욕이나 신선도 등 수용성을 결정짓는 중요한 요소가 되고 있다. 특히 건조분말 식품의 경우에는 특정 식품의 고유색깔을 바탕으로 제품의 순수성과 질을 평가하는 기준이 될 수 있다(22). 전분에 살균 목적으로 전리방사선을 처리하는 경우 변색이 야기될 수 있으며, 전분의 성질은 원료가 되는 식물의 종류나 품종, 생육 환경, 전분의 제조방법, 순도, 전분입자의 크기 등에 따라 많은 차이가 있는 것으로 알려져 있다(23). 본 실험의 결과에서도 옥수수 전분은 L 값의 감소, 고구마 전분은 a 값의 증가, 감자전분은 b 값의 증가가 비교적 뚜렷하여 전분의 종류에 따라 감마선이 색도에 미치는 영향에 차이가 있음을 알 수 있었다. 그러나 전반적으로는 비조사 시료와 조사 시료 또는 조사선량에 따른 L, a, b 값의 차이가 작고, 유의성이 낮은 결과를 얻어 국내에서 전분에 허용하고 있는 5 kGy 이하의 감마선은 표면 색도에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다. Byun 등(24)은 감마선 조사 (0.5~10 kGy) 메옥수수 전분에 대해서 L 값은 94.7~95.8의 범위로 비조사군과 조사군간에 유의적인 차이는 나타나지 않았고, a 값은 조사선량의 증가에 따라 다소 감소하는 경향을 나타내었으나 유의적인 차이는 없었고, b 값도 a 값과 거의 비슷한 수준으로 유의적인 차이는 없었다고 보고한 바 있다.

또한 찹옥수수의 경우에는 5 kGy까지 L, a, b 값 모두 비조사군과 유의적인 차이가 없었으나 10 kGy 조사군은 b 값이 증가하여 이에 따라 L 값이 다소 감소하는 경향을 나타내었다고 보고하여 본 실험의 결과와 유사하였다.

Table 4. Changes in Hunter's color values of potato starch by irradiation dose

Irradiation dose (kGy)	Hunter's color value ¹⁾			
	L	a	b	ΔE
0	97.59±0.50 ^{2)B}	-0.52±0.01 ^A	0.27±0.04 ^D	0.00 ^B
1.5	98.01±0.05 ^{AB}	-0.51±0.04 ^A	0.49±0.04 ^C	0.51±0.42 ^{AB}
3.0	98.23±0.06 ^A	-0.50±0.04 ^A	0.59±0.06 ^B	0.73±0.46 ^A
4.5	98.12±0.09 ^A	-0.55±0.05 ^{AB}	0.79±0.06 ^A	0.77±0.36 ^A
6.0	98.10±0.04 ^A	-0.59±0.01 ^B	0.87±0.05 ^A	0.86±0.37 ^A
F-value	3.40 ^{**}	3.13 ^{**}	72.68 [*]	2.69 ^{**}

¹⁾Refer to Table 3.

²⁾Means±S.D. (n=3).

^{A-D}Values with different superscript letters within the same column are significantly different ($p<0.1$, $p<0.05$, $p<0.01$).

전분 gel의 색깔 변화

Kim 등(6)의 연구에서 감마선 조사 (0.25~9.1 kGy) 옥수수 녹말을 가열-냉각하여 색도를 측정하였을 때 조사선량의 증가에 따라 L 값은 감소하고 a와 b 값은 증가하였으며, 대조구인 녹말과 비교하면 조사선량의 증가에 따라 특히 L 값의 감소 폭이 컸고, a보다는 b 값의 증가 폭이 큰 것으로 나타났다. 이에 따라 ΔE 는 조사선량에 따라 유의적으로 증가하였으며, 조사선량 0.5 kGy인 시료는 대조구와 색도에 차이가 없었으나, 1 kGy에서는 색도에 약간(slight) 차이를 보였으며 3 kGy 이상에서는 색도에 뚜렷한(noticeable) 차이를 보인 것으로 보고된 바 있다. Lee 등(8)도 감마선 조사(2.5~30 kGy) 메밀전분을 4%의 죽상태로 조제하여 색도를 측정된 결과, 감마선 조사량이 증가할수록 L 값이 감소하고 -a 값과 -b 값 쪽으로 증가하는 경향을 나타낸 것으로 보고하였다.

전분을 수증에서 가열하거나 알칼리와 같은 용매로 처리하여 점도가 높은 풀로 변하는 것을 호화라 하는데, 감마선 조사 전분을 호화하는 경우 Kim 등(6) 및 Lee 등(8)의 연구에서 보고된 바와 같이 색깔의 변화를 예상할 수 있으며 강알칼리, potassium thiocyanate, dimethylsulfoxid, 염화아연, 요소 등과 같이 수소결합을 파괴하는 약제의 존재 하에서는 열을 가하지 않은 차가운 상태에서도 호화가 일어나는 것으로 알려져 있다(25). 본 실험에서는 33% NaOH 용액을 사용하여 시료현탁액의 pH를 강알칼리성으로 조절한 다음 비등 수욕(99°C)에서 30분간 가열함으로써 충분한 호화를 유도하여 감마선 조사에 따른 갈변 정도를 육안으로 관찰하였다(Fig. 1). 감마선을 조사하지 않은 경우 황색을 띄는 옥수수 전분과 고구마 전분에 비해 감자 전분은 유백

색의 연한 색을 나타내는 특징이 있었으며, 전분의 종류에 관계없이 조사선량이 증가할수록 현탁액의 갈변도가 증가하여 대조구와 최고선량인 6 kGy 조사구의 경우 육안 식별이 가능한 정도로 뚜렷한 차이를 보였다. 특히 고구마 전분은 1.5 kGy 조사구도 갈변현상이 뚜렷하고, 표면색도 측정에서도 a 값(적색도)의 변화가 가장 뚜렷하여 가공식품의 원료로 사용하는 경우 감마선 조사의 영향을 고려할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

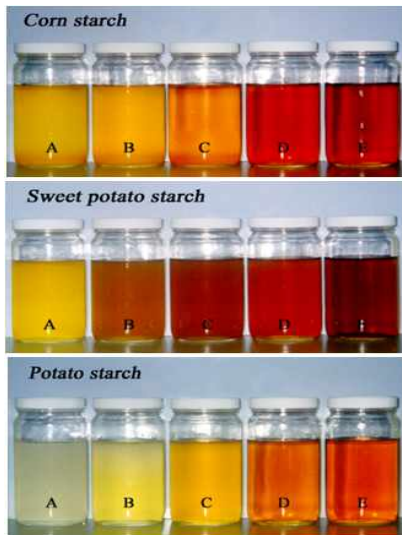


Fig. 1. Colors of irradiated starch suspension after heat gelatinization (A: Control, B: 1.5 kGy, C: 3.0 kGy, D: 4.5 kGy, E: 6.0 kGy).

TBA value의 변화

식품 중에 함유된 지방질, 특히 불포화지방산은 산패가 진행됨에 따라 peroxide와 carbonyl 화합물을 생성하게 되는데, 이 때 생성되는 malondialdehyde (MDA)의 양을 나타내는 수치가 TBA가로서 유지의 산패도를 측정하는 척도로 이용되고 있다. 전리방사선은 지질 산화를 촉진하여 TBA의 증가를 초래하고(26), 감마선 조사에 의한 지방질의 산패는 이온화된 유리기들에 의해 생성되며 조사선량에 의존하는 것으로 알려져 있다(27).

고선량의 감마선 조사는 식품의 지방질 산화에 큰 영향을 미칠 수 있는데, Lee 등(28)은 대두 (2.5~20 kGy), Son 등(29)은 보리 (1.2~30.5 kGy), Choi 등(30)은 기장 (2.5~15 kGy)에 대해서 TBA의 조사선량 의존성을 보고한 바 있다. 또한 Choi 등(12)의 연구에서는 조지방질 함량이 약 0.1% 이하로 매우 낮은 옥수수 전분의 경우에도 감마선 조사선량에 비례하여 TBA가 유의적으로 증가한 것으로 확인되었다. 한편, Kwon 등(26)은 5 kGy 미만의 선량에서는 인삼분말의 TBA가 유의적으로 변화되지 않았다고 보고하였으며, Noh 등(31)은 감마선 처리 녹두의 TBA의 변화는 2.5 kGy까지의 조사선량에서는 대조구와 유사한 수준으

로 유의적인 차이가 없었다고 보고하였다. 이와 같은 연구 결과로부터 감마선에 의한 식품의 지방질 산화는 원재료에 따라 감도의 차이가 있으며, 또한 조사선량에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

일반적으로 곡류전분은 0.3~1.1% (보통 0.5%) 정도의 지질을 함유하고, 서류전분은 0.1% 정도 또는 그 이하의 소량만이 함유되어 있는 것으로 알려져 있으며(25), 본 실험에 사용된 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분의 조지방 함량은 각각 약 1.85%, 1.54% 및 1.32%로 분석되었다. 0~6 kGy의 감마선 조사에 따른 TBA의 변화는 모든 시료에서 조사선량에 유의적으로 증가하였고($p < 0.05$), 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분에 대해 각각 R^2 가 0.9889, 0.9964 및 0.9843의 높은 상관성이 확인되었다(Fig. 2). 이러한 결과는 0~15 kGy의 감마선 조사 옥수수 전분을 대상으로 한 Choi 등(12)의 연구 결과와 유사하였으며, 시료의 지방질 함량이 매우 낮고, 또한 중선량의 감마선 조사에서도 TBA의 유의적인 변화가 관찰된 것으로 볼 때, 감마선이 전분류의 지방질 산패를 야기하는 주된 요인임을 알 수 있었다. 감마선 조사 (1.5~6 kGy) 전분류의 이화학적 특성 변화를 실험한 선행연구(9)에서, 용해도, 팽윤력 및 알칼리수의 조사선량 의존성이 확인되어 점도 측정에 의한 방사선 조사 여부 판정에 있어서 결과의 신뢰도를 높이는 보조수단으로 제안한 바 있는데, 본 실험의 결과에서 TBA가 또한 조사선량과의 높은 상관성을 나타내어 방사선 조사 여부 확인에 유용한 보조적인 marker로 판단되었다.

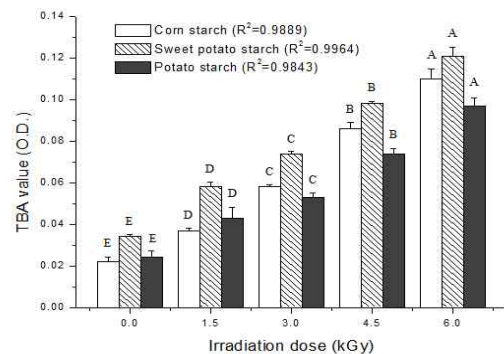


Fig. 2. Changes in TBA value of starches irradiated by different doses.

^{A-E} Values with different superscript letters within the same color bar are significantly different ($p < 0.05$).

요 약

가공식품의 소재로 폭넓게 사용되고 있는 전분은 세균수 억제제를 위한 방사선 조사가 허용된 품목으로서 우리나라에서는 5 kGy 이하의 기준을 적용하고 있다. 이에 식품조사의 실용화를 고려하여 국내 허용기준과 유사한 중선량 범위의

감마선 조사가 전분류의 색깔 및 지방질 산패에 미치는 영향을 검토하고자 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분에 0~6 kGy의 감마선을 조사하여 색도 및 TBA를 비교 분석하였다. 기계적 색도의 경우 옥수수 전분은 L 값의 감소, 고구마 전분은 a 값의 증가, 감자전분은 b 값의 증가가 비교적 뚜렷하였지만, 전반적으로 감마선 조사에 따른 L, a, b 값의 변화가 작고 유의성이 낮은 것으로 확인되었다. 전분의 가공특성을 고려하여 호화 후 gel 상태의 색깔을 육안으로 관찰한 결과는 모든 시료가 조사선량이 증가할수록 갈변의 정도가 증가하였고, 특히 고구마 전분은 1.5 kGy 조사구도 갈변현상이 뚜렷하였다. 지방질의 산패도를 나타내는 TBA가 측정 결과는 옥수수 전분, 고구마 전분 및 감자 전분에 대해 각각 R^2 가 0.9889, 0.9964 및 0.9843의 높은 상관성을 보이면서 유의적으로 증가하여 감마선 조사로 인해 지방질 성분의 산화가 촉진되었음을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 농림수산식품기술개발사업의 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고논문

1. Kwon JH (1985) Background and prospect for the commercialization of food irradiation. *J Korean Soc Food Nutr*, 14, 88-94
2. Byun MW, Yook HS (2003) Internal and external situation of irradiation technology utilization in the food and public health industry. *Korean J Food Preserv*, 10, 106-123
3. Byun MW (1997) Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci Ind*, 30, 89-100
4. Sharma A, Padwal-desai SP, Nair PM (1990) Aflatoxin-producing ability of spores of *Aspergillus parasiticus* exposed to gamma radiation. *J Food Sci*, 55, 275-276
5. Kwon JH (1996) Worldwide approvals of food irradiation and its commercialization prospects. *Food Ind*, 133, 18-49
6. Kim SK, Kim JH, Kwon JH (2006) Effects of low-dose gamma irradiation on physicochemical properties and formation of resistant starch of corn starch. *Korean J Food Sci Technol*, 38, 378-384
7. Kang IJ, Byun MW (1996) Development of modified starch by gamma irradiation. *Korean J Food Sci Technol*, 28, 514-520
8. Lee JH, Chang YI, Chang KS (2000) Effect of gamma irradiations on physical properties of buckwheat starch. *Food Engineering progress*, 4, 110-119
9. An KA, Jo D, Kim HK, Kim SK, Kwon JH (2004) Effect of gamma irradiation on viscosity and physicochemical properties of starches. *Korean J Food Sci Technol*, 36, 547-552
10. Yi SD, Chang KS, Yang JS (2000) Identification of irradiated potato, sweet potato, and corn starches with viscometric method. *Food Sci Biotechnol*, 9, 57-62
11. Kim HK, Kang DS, Choi MG, Kwon JH (2001) Detection of irradiated starches from Korea and China by viscometric method. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 30, 1082-1087
12. Choi MG, Kwon JH, Kim HK (2003) Potential detection and quality properties of γ -irradiated corn starch of Korean and Chinese origins by viscosity measurement during storage. *Korean J Food Sci Technol*, 35, 173-181
13. AOAC (1995) Official Methods of Analysis. 16th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA
14. Kobayashi T, Tabuchi T (1954) A method employing a tribasic sodium phosphate buttered reagent for estimating semimicro quantities of reducing sugar. *J Agr Chem Soc Japan*, 28, 171-174
15. Turner EW, Paynter WD, Montie EJ, Bessert MW, Sturck GM, Olson FC (1954) Use of the 2-thinbarbituric acid reagent to measure rancidity in frozen pork. *J Agric Food Chem*, 8, 326-329
16. SAS (2001) SAS User's Guide. version 8.1. Statistical Analysis System Institute, Cary, NC, USA
17. Shon KH, Yoon GS, Chung HJ, Chae SH (1990) Comparison of physicochemical properties of various bean starches. *Korean J Soc Food Sci*, 6, 13-19
18. Kim HS, Lee YE (1996) Physicochemical properties of crosslinked potato starch. *Korean J Food Sci Technol*, 28, 573-579
19. Lee YS, Lee JW, Kim JH, Kim DS, Oh SH, Yook HS, Byun MW (2003) Changes in physicochemical properties of gamma-irradiated starch. A paper presented at annual meeting of Korean Society of Nutrition, Abstract Book p. 205, Seoul, Korea
20. Kang IJ, Byun MW, Yook HS, Bae BH, Lee HS, Kwon JH, Chung CK (1999) Production of modified starches by gamma irradiation. *Radiat Phys Chem*, 54, 425-430
21. Suh CS, Lee MJ, Kim SK (1992) Effect do dry-heat treatment on properties of corn starch. *J Korean Agric*

- Chem Soc, 35, 389-394
22. Kwon JH, Byun MW, Lee SJ (1994) Color characteristics of white ginseng powder as influenced by different conditions of sterilization and storage. *Korean J Ginseng Sci*, 18, 128-133
 23. An KA, Choi JD, Kim HK, Kwon JH (2004) Establishment of viscosity measuring conditions and threshold values for identifying irradiated starches. *Korean J Food Sci Technol*, 36, 693-700
 24. Byun MW, Kang IJ, Kwon JH, Lee SJ, Kim SK (1995) The improvement of corn starch isolation process by gamma irradiation. *Korean J Food Sci Technol*, 27, 30-35
 25. Seog HM (1997) Properties and function of starch and its utilization in cooking and processing of food. *Food Technol*, 10, 36-50
 26. Kwon JH, Velanger JMR, Pare JRJ (1989) Effect of ionizing energy treatment on the quality of ginseng products. *Radiat Phys Chem*, 354, 963-967
 27. Diehl JF, Adam S, Delincee H, Jakubick V (1978) Radiolysis of carbohydrates and carbohydrate containing foodstuffs. *J Agric Food Chem*, 26, 15-20
 28. Lee HJ, Kim JO, Yook HS, Byun MW (1996) Physicochemical properties of gamma-irradiated soybeans. *Korean J Food Sci Technol*, 28, 558-565
 29. Son IS, Kim MR (1999) Storage stability of barleys irradiated by gamma-ray. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 28, 1076-1081
 30. Choi MG, Kwon JH, Kim HK (2003) Potential detection of γ -irradiated *Panicum miliaceum* by viscosity measurement during storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 32, 531-538
 31. Noh MJ, Kwon JH, Kwon YI, Huh EY, Kwon YS, Byun MW (2001) Comparative effects of gamma irradiation and methyl bromide fumigation of desinfestation physicochemical properties of mung bean. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 30, 444-449

(접수 2013년 1월 15일 수정 2013년 2월 22일 채택 2013년 2월 22일)