

국산 및 중국산 전분의 감마선 조사 여부 검지를 위한 점도 측정

김현구[†] · 강덕순 · 최맑음 · 권중호*

한국식품개발연구원
*경북대학교 식품공학과

Detection of Irradiated Starches from Korea and China by Viscometric Method

Hyun-Ku Kim[†], Deog-Sun Kang, Mal-Gum Choi and Joong-Ho Kwon*

Korea Food Research Institute, Songnam 463-420, Korea

*Dept. of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

Abstract

A study was carried out to establish the detection method for irradiated cereals. Starches were ground and irradiated at 2.5, 5.0, 7.5, 10 and 15 kGy using a Co-60 irradiator. The viscosities decreased in all samples by increasing irradiation dose. The viscosity of the potato, corn and sweet potato from Korea dropped from 35.00 ± 0.34 , 11.86 ± 0.86 and 14.02 ± 0.62 in the control to 11.38 ± 0.92 , 2.98 ± 0.80 and 2.74 ± 0.80 , respectively, in the samples irradiated at 15 kGy. These trends were similar to samples from China. Regression expression and coefficients of viscosity of potato, corn and sweet potato starch from Korea were $0.97 (y = -4.6197x + 38.284)$, $0.88 (y = -1.5146x + 12.023)$ and $0.88 (y = -1.5146x + 12.023)$, respectively, those of viscosity of starches from China were $0.69 (y = -28.849x + 152.25)$, $0.81 (y = -3.38x + 20.56)$ and $0.88 (y = -2.668x + 18.505)$ at 50 rpm. All samples resulted in a decrease in specific parameter by increasing rpm after irradiation. Parameter values showed dose-dependent relationship between unirradiated and irradiated samples and indicated that all values of unirradiated samples were higher than the those of irradiated ones. These results suggest that the detection of irradiated potato, corn and sweet potato starch at various irradiation doses is possible by the viscometric method.

Key words: irradiation, detection, starch, viscosity, specific parameter

서 론

현재까지 방사선 조사 식품의 세계적 허가 현황은 선진국을 중심으로 42개국에서 230여종의 식품에 대한 방사선 조사를 허가하고 있으며 세계 주요 선진국을 중심으로 조사식품 대상품목과 허가국 수는 점차 확대되고 있다(1). 그리고 최근 도시의 인구 집중화와 서구식의 식생활 변화로 식품산업이 급속하게 발전하면서 식품업체들은 대량·고속 생산체제로 들어서면서 미생물의 오염기회를 보다 가중시키게 되었고, 식품가공원료 및 제품의 유통과정중 장기간 수송 및 보관을 위해 화학 방부제 및 고독성 농약을 무분별하게 사용하므로 누구나 안심하고 편리하게 이용할 수 있는 안전성이 확보된 식품 위생 기술이 절실히 요구되고 있다. 또한 선진국의 새로운 기술 정보에 의하면 식품의 위생처리 기술 분야에 있어서 방사선 조사기술은 미생물학적, 독성학적 및 유전학적, 영양학적 안전성과 그 효과가 인정되어 국민 보건 및 안정성 때문에 어떤 위생처리 기술보다도 부가가치가 크고, 공정이 간편한 첨단화된 분야로 평가받고 있다(2). 국내에서는 1960년대

부터 식품의 방사선 조사에 관한 연구가 시작되었다. 초기의 조사 대상품목은 감자, 양파 등 일부 발아억제 대상식품이었고, 당시 소비자의 인식부족과 신기술에 대한 보수적인 시각으로 적극 활용되지 못하였으나 1980년대에 접어들어 그 안전성과 기술적 타당성이 국제적으로 인정됨에 따라 여러 가지 품목에 대하여 방사선 조사가 허가 확대되었다.

γ 선은 0.2~1.0 kGy 범위의 조사량이 곤충 침입을 막는데 효과적이고, 5 kGy로 조사량을 증가시키므로 살아있는 곰팡이 포자마저 사멸하므로 곡류에 대한 곤충의 침입 및 미생물의 오염 예방을 위한 물리적 기술이다(3). 이러한 γ 선의 식품산업에서의 이용은 해충 및 부패유기체의 생육억제로 장기 안전 저장이 가능하며, 병원성 미생물 사멸로 더욱 안전한 식품생산과 식품매개성 질병 예방에 기여하며, 공중 보건상 국제 식량 교역에 있어 검역 관리기술로서 매우 효과적인 방법이다(4). 그러나 방사선 조사식품이 본격적으로 생산되고 있는 현실에서는 방사선 조사식품에 대한 소비자들의 신뢰를 높이기 위해 표시 규정(labeling)을 확립할 필요가 있으며 표시 규정을 확립하기 위해 방사선 조사 여부 검지 방법이

[†]Corresponding author. E-mail: hyunku@kfri.re.kr
Phone: 82-31-780-9134. Fax: 82-31-780-9234

요구된다. 특히, 최근 WTO 체제하에서 식품의 교역이 크게 늘어날 것을 전망한다면 방사선 조사 여부 검지 방법이 국가간의 교역 증진에 크게 기여할 것으로 기대한다(5). 현재 국내에서 사용중인 방사선 조사 여부 검지방법으로는 PPSL(6), TL(7,8), hydrocarbons 또는 2-alkylcyclobutanone과 같은 지방 유도 방사선 물질의 검사는 G.C방법(9), electron spin resonance(ESR)방법, DNA comet assay(10) 등이 있으며 기타 검지 방법으로 점도 측정, ELISA법 등이 있다. 이 중 점도 측정은 방사선 조사된 식품 중에 다량 함유된 다당류가 방사선 조사에 의하여 단당류로 변화됨과 동시에 용해도가 증가하고, 팽윤력과 점도가 감소하므로 점도를 측정하므로써 방사선 조사 여부와 조사선량을 간접적으로 추정할 수 있는 방법(11)으로 방사선 조사된 후추가루(12), 양파(13), 계란(14), 쌀, 보리(15) 등과 같은 식품의 방사선 조사 유무를 확인하는 검출기술로서 연구가 진행되어 왔다.

본 실험에서는 국내산 및 중국산의 감자, 옥수수 및 고구마 전분을 대상으로 방사선 조사 유무를 확인할 수 있는 최적 검지방법의 확립을 위하여 점도를 측정하여 방사선 조사 여부 및 조사선량과의 상관관계를 확인하려 하였다.

재료 및 방법

시료

본 실험에서는 국산 및 중국산의 감자, 옥수수 및 고구마 전분을 구입하여 시료로 사용하였다.

방사선 조사

시료의 감마선 조사는 그린피아의 ⁶⁰Co 감마선 조사시설을 이용하여 실온에서 시간당 일정 선량률로 2.5~15.0 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 조사된 시료는 대조시료와 함께 각각 밀봉하여 실온에서 보관하면서 측정시료로 사용하였다.

전분함량 측정

시료의 전분 함량은 Somogyi 변법(16)을 이용하여 전당 함량을 3반복 측정 후 전분 계수 0.9를 곱하여 구하고 평균값으로 나타내었다.

점도 측정

시료의 점도는 Hayashi 등의 방법(17)을 변형하여 측정하였다. 방사선 조사하지 않은 대조구와 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0 kGy로 방사선 조사된 전분에 대해서 각각 예비실험을 한 결과 점도 측정하기에 적합한 농도는 3%(w/v)이었다. 점도를 측정하기 위한 전처리 과정으로 33% NaOH를 이용하여 현탁액의 pH를 13으로 맞추었는데 이는 알칼리성 조건하에서의 열처리는 대조구와 방사선 조사된 시료간의 뚜렷한 점도의 차이를 나타내는 팽윤과 겔화를 용이하게 하기 때문이다(13). 따라서 감마선 조사 직후 증류수를 가하여 조제한 3%(w/v) 현탁액에 33% NaOH 용액을 첨가하여 pH를 13으로

조정하고 가열 호화시킨 다음 1시간 정도 실온에서 방치한 후 9 mL씩 취해서 현탁액의 점도를 Haake Rotovisco RV-12와 coaxial cylinder type Rotor NV(Haake Mess Technik GmbH, Germany)로 측정하였다. 이때 20±1°C에서 shear rate를 50, 150 및 300 rpm으로 하여 반복 측정하였다.

Specific parameter(Threshold value) 설정 실험

방사선 조사식품의 검지방법은 비조사 대조구가 없는 상태에서 미지 시료의 조사여부 확인이 가능한 방법이어야 한다(18). Hayashi 등은 전분과 같은 고분자는 겔화 특성에 크게 영향을 주기 때문에 각 시료의 점도를 전분함량에 대해 표준화시켜 준다면 더 정확한 점도값을 얻을 수 있으며 시료의 표준화된 parameter는 조사여부를 결정함에 있어서 대조시료(nonirradiated control)가 없이도 구별이 가능하며(17) 점도값 자체보다도 조사여부를 검지하는데 더 유의적이라고 보고하였다(13). 따라서 각 전분의 전분함량과 점도 측정값을 이용하여 방사선 조사 선량에 따라 specific parameter를 구하였다. 시료현탁액을 고온에서 pH 13으로 조정하여 점도를 측정하고 아래 식에 의하여 specific parameter를 설정하여 specific parameter가 일정한 값 이상을 나타내면 방사선 조사되지 않은 시료로 판단하고, 일정한 값 이하를 나타내면 방사선 조사된 것으로 판단하였다. 이 때 shear rate를 50 rpm, 150 rpm, 300 rpm으로 하여 shear rate에 따른 조사·비조사구간의 조사 의존성을 확인하였다.

Specific parameter =

$$\frac{\text{Viscosity of 3\% suspension (mPa} \cdot \text{s)}}{\text{Starch content in 1 g of sample (g)} \times \text{Viscosity of 5\% starch (mPa} \cdot \text{s)}}$$

통계 분석

각 시료별 점도 측정은 3회 반복 실시하였으며, 측정결과는 SAS(statistical analysis system)(19)에 의해서 ANOVA와 Duncan's multiple range test에 의해서 0.05% 수준에서 유의성을 분석하였다.

결과 및 고찰

감자전분의 점도

국산 감자전분에 대한 방사선 조사량에 따른 점도측정의 결과는 Table 1과 같다. 즉, 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0 kGy로 조사된 감자전분에 대한 50 rpm에서의 점도가 각각 35.00±0.34, 27.55±0.36, 25.55±0.09, 17.51±0.48, 15.70±1.02 및 11.38±0.92 mPa·s 로 비조사된 전분과 조사된 전분간의 점도의 차이를 볼 수 있었으며 방사선 조사량이 증가할수록 점도가 낮아짐을 확인할 수 있었다. 또한 이러한 경향은 모든 rpm에서 유사하게 나타났으며 50, 150 및 300 rpm에서 상관계수가 각각 0.97(y=-4.6197x+38.284), 0.96(y=-2.9206x+27.345) 및 0.93(y=-1.7897x+15.414)으로 점도와 조사량간의 높은 상관성을 나타내었으며 300 rpm보다 50 rpm에서 측정했을

Table 1. Viscosity of irradiated potato starch prepared with a 3% concentration at various irradiation doses and rpms
(Unit: mPa · s)

Rpm	Origin	Irradiation dose (kGy)						Regression expressions	Coefficients
		0	2.5	5.0	7.5	10.0	15.0		
50	Korea	35.00 ± 0.34 ^{1(a2)}	27.55 ± 0.36 ^b	25.55 ± 0.09 ^c	17.51 ± 0.48 ^d	15.70 ± 1.02 ^d	11.38 ± 0.92 ^d	y = -4.6197x + 38.284 ³⁾	r ² = 0.97
	China	178.12 ± 0.86 ^d	58.86 ± 5.63 ^b	31.84 ± 1.18 ^c	21.50 ± 2.82 ^d	9.44 ± 0.46 ^c	7.90 ± 0.03 ^c	y = -28.849x + 152.25	r ² = 0.69
150	Korea	24.03 ± 0.39 ^a	21.32 ± 0.82 ^b	20.55 ± 0.28 ^c	14.37 ± 0.53 ^d	12.14 ± 0.26 ^d	10.33 ± 0.05 ^d	y = -2.9206x + 27.345	r ² = 0.96
	China	78.13 ± 2.84 ^a	31.41 ± 1.75 ^b	18.41 ± 1.54 ^c	10.65 ± 0.34 ^d	7.75 ± 0.04 ^e	5.41 ± 0.34 ^e	y = -12.638x + 69.527	r ² = 0.74
300	Korea	13.07 ± 0.19 ^a	12.31 ± 0.14 ^b	11.31 ± 0.41 ^c	6.95 ± 0.26 ^d	6.15 ± 0.13 ^d	5.11 ± 0.02 ^e	y = -1.7897x + 15.414	r ² = 0.93
	China	41.73 ± 2.32 ^a	21.20 ± 0.26 ^b	9.56 ± 0.19 ^c	6.96 ± 0.12 ^d	4.91 ± 0.17 ^e	3.54 ± 0.16 ^e	y = -6.9263x + 38.892	r ² = 0.78

¹⁾Mean value ± standard deviation for 3 measurements.

²⁾Means with the same superscripts in each row are not significantly different among group by Duncan's multiple range test in one way ANOVA (p < 0.05).

³⁾y: viscosity, x: irradiation dose.

때 점도와 조사량간의 상관성이 더 높음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 Komiya 등(20)에 의한 방사선 조사 증가에 따라 감자 및 옥수수 전분의 점도가 감소된다는 보고와 유사한 결과를 나타내었고, 또한 Koxsel 등(21)은 방사선 조사된 밀의 전고도가 대조구에 비해 낮음을 보고하였으며, MacArthur와 D'Appolonia(22)는 방사선 조사에 의한 곡류의 강도 감소가 분자사이의 수소결합의 파괴뿐만 아니라 전분 입자의 파괴에서 기인한다고 보고하였다. 중국산 감자전분에 대한 방사선 조사에 따른 점도의 결과를 살펴보면, 대조구와 2.5 kGy로 조사된 전분의 점도가 각각 178.12 ± 0.86 및 58.86 ± 5.63으로 대조구 전분의 점도가 더 크게 나타남을 볼 수 있었으며 국산과 유사하게 조사량을 15.0 kGy로 증가했을 때 7.90 ± 0.03으로 점도가 저하됨을 알 수 있었다. 이와 같은 경향은 모든 rpm에서 유사한 경향을 보였으며 각 rpm에 대한 상관계수는 0.69(y = -28.849x + 152.25), 0.74(y = -12.638x + 69.527) 및 0.78(y = -6.9263x + 38.892)로 국산과는 달리 300 rpm에서 측정했을 때 조사량과 점도간의 상관관계가 더 낮아짐을 알 수 있었다.

옥수수 전분의 점도

국산 옥수수 전분에 대한 방사선 조사에 따른 점도측정의

결과는 Table 2와 같다. 즉, 50 rpm에서 대조구 옥수수 전분 및 2.5 kGy로 조사된 전분의 점도가 각각 11.86 ± 0.86 및 7.26 ± 0.42로 조사 유무에 따라 점도의 차이가 있음을 볼 수 있었다. 그러나 2.5 kGy ~ 7.5 kGy 조사선량에서는 조사량이 증가함에 따라 점도는 감소하였으나 유의성은 볼 수 없었으며 이때 상관계수는 0.88(y = -1.5146x + 12.023)이었다. 그러나 300 rpm에서는 조사선량이 증가할수록 점도는 유의적으로 감소하였다. 중국산 옥수수 전분에 대한 방사선 조사에 따른 점도의 결과를 살펴보면 0, 2.5, 5.0, 7.5 10.0 및 15.0 kGy의 조사 수준에 대한 옥수수 전분의 점도는 각각 21.74 ± 0.92, 11.28 ± 0.42, 7.14 ± 0.26, 5.68 ± 0.20, 3.50 ± 0.54 및 3.04 ± 0.44 mPa · s로서 대조구 중국산 옥수수 전분과 조사된 전분간의 유의적인 점도의 차이를 볼 수 있었으며 조사량이 증가함에 따라 점도가 감소함을 볼 수 있었다. 이런 경향은 모든 rpm에서 동일하게 나타났다. 이와 같은 결과는 Yi 등(23)에 의하면 amylograph로 Job's-tear, polished barley, polished rice 및 brown rice의 점도를 측정했을 때 조사량의 증가에 따라 점도가 감소한다고 보고하였는데 본 실험결과와 유사한 경향이었다. Sokhey와 Hanna(24)는 곡류의 점도 감소는 감마선

Table 2. Viscosity of irradiated corn starch prepared with a 3% concentration at various irradiation doses and rpms
(Unit: mPa · s)

Rpm	Origin	Irradiation dose (kGy)						Regression expressions	Coefficients
		0	2.5	5.0	7.5	10.0	15.0		
50	Korea	11.86 ± 0.86 ^{1(a2)}	7.26 ± 0.42 ^b	7.06 ± 0.74 ^b	6.64 ± 0.54 ^b	4.53 ± 0.20 ^c	2.98 ± 0.80 ^d	y = -1.5146x + 12.023 ³⁾	r ² = 0.88
	China	21.74 ± 0.92 ^a	11.28 ± 0.42 ^b	7.14 ± 0.26 ^c	5.68 ± 0.20 ^d	3.50 ± 0.54 ^{dc}	3.04 ± 0.44 ^c	y = -3.38x + 20.56	r ² = 0.81
150	Korea	9.72 ± 0.39 ^a	5.93 ± 0.12 ^b	5.25 ± 0.21 ^b	4.06 ± 0.71 ^b	2.31 ± 0.12 ^c	2.05 ± 0.12 ^c	y = -1.44x + 9.9267	r ² = 0.91
	China	8.46 ± 0.06 ^a	6.05 ± 0.09 ^b	5.50 ± 0.10 ^{bc}	3.89 ± 0.06 ^c	2.94 ± 0.17 ^d	2.32 ± 0.17 ^d	y = -4.6197x + 38.284	r ² = 0.97
300	Korea	4.65 ± 0.23 ^a	4.29 ± 0.31 ^a	3.09 ± 0.2 ^a	2.70 ± 0.11 ^b	2.18 ± 0.08 ^b	1.78 ± 0.11 ^{bc}	y = -0.602x + 5.222	r ² = 0.97
	China	5.71 ± 0.22 ^a	4.45 ± 0.01 ^b	3.55 ± 0.09 ^c	2.82 ± 0.03 ^{cd}	2.22 ± 0.06 ^d	1.41 ± 0.04 ^c	y = -0.8263x + 6.252	r ² = 0.98

¹⁾Mean value ± standard deviation for 3 measurements.

²⁾Means with the same superscripts in each row are not significantly different among group by Duncan's multiple range test in one way ANOVA (p < 0.05).

³⁾y: viscosity, x: irradiation dose.

에 의한 free radical의 생성과 연관지어 설명하였는데 방사선에 의해 곡류의 starch 분자의 물리적 및 물성적 변화의 영향으로 free radical이 증가하는 것과 같다고 보고하였다.

고구마 전분의 점도

국산 고구마 전분에 대한 방사선 조사에 따른 결과는 Table 3과 같다. 즉, 국산 고구마 전분에 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0 kGy의 방사선을 조사하였을 때 그 점도가 50 rpm에서 각각 14.02 ± 0.62 , 8.20 ± 0.38 , 6.52 ± 0.82 , 4.32 ± 0.04 , 3.82 ± 0.05 및 2.74 ± 0.80 이었다. 이와 같은 결과에서 볼 수 있듯이 대조구 고구마 전분과 조사된 전분간의 점도의 차이가 크게 나타났으며 방사선 조사량이 클수록 그 점도가 작게 나타났다. 이런 경향은 모든 rpm에서 동일하게 나타났으며 각각의 rpm에서 상관계수가 $0.88(y = -1.5146x + 12.023)$, $0.91(y = -1.44x + 9.9267)$ 및 $0.97(y = -0.602x + 5.222)$ 로 50 rpm보다는 300 rpm에서 높은 상관성을 볼 수 있었다.

중국산 고구마 전분에 대한 방사선 조사량에 따른 점도 변화의 결과를 살펴보면 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0 kGy 방사선 조사한 중국산 고구마 전분의 점도가 50 rpm에서 각각 18.42 ± 0.62 , 11.97 ± 0.38 , 7.85 ± 0.82 , 7.80 ± 0.04 , 5.06 ± 0.50 및 3.90 ± 0.80 으로 대조구와 방사선 조사된 고구마 전분간의 점도의 차이를 볼 수 있었으며 조사량이 클수록 점도가 낮아짐을 알 수 있었다. 이런 경향은 모든 rpm에서 옥수수, 감자 전분과 동일하게 나타났다. 각각의 rpm에서 중국산 고구마 전분의 점도와 조사선량간의 회귀식과 상관계수는 $0.88(y = -2.668x + 18.505)$, $0.88(y = -1.441x + 10.254)$, $0.74(y = -0.7909x + 6.428)$ 이었다.

식품 내의 다당류와 그 분해물은 texture와 rheology 특성에 크게 영향을 미치게 되는데 starch, pectin 그리고 hydrocolloid는 방사선 조사에 의해 물리적, 화학적으로 작은 변화가 일어나 그 특성이 강하게 변화한다(25). 특히 감마선 조사에 의해 생성된 free radical은 전분 분자내부의 수소결합을 분리하여 전분 chain의 변형과 절단을 일으켜 분자크기를 감소시키므로 점도는 감소하게 된다(23). 또한 감마선 조사선

량이 증가하면서 점도가 낮아지는 것은 carbohydrate 내의 free radical의 강도가 증가하기 때문인 것으로 보고되고 있다(23). 따라서 점도측정법은 starch 함량이 많은 식품류의 방사선 검지법으로 제안되고 있다(26,27).

Specific parameter의 변화

국산 감자전분의 경우 비조사구의 specific parameter는 조사구의 값보다 높게 나타났으며 각 rpm에서의 specific parameter값은 조사선량에 따라 감소하는 경향이었다(Fig. 1).

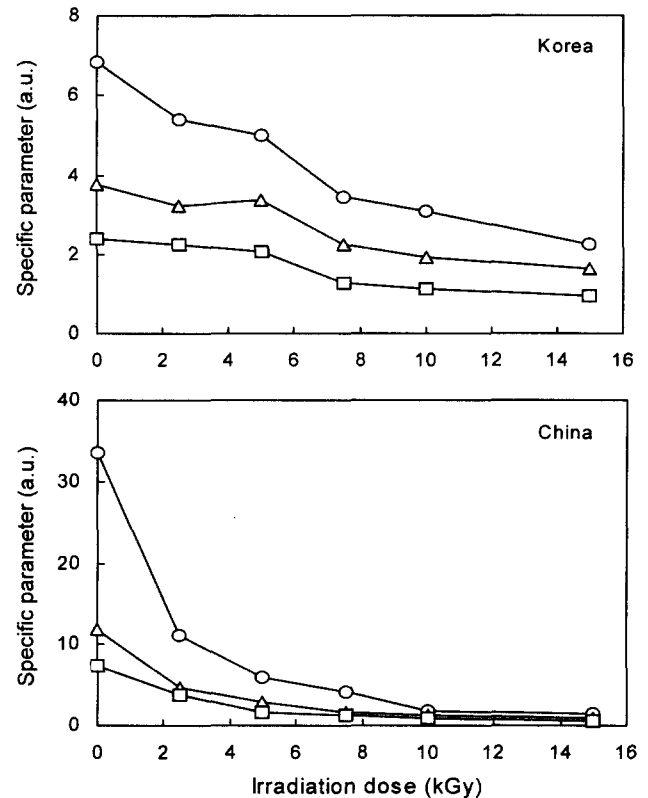


Fig. 1. Changes in specific parameters of irradiated potato starch by measuring viscosity at various rpms. ○-○: 50 rpm, △-△: 150 rpm, □-□: 300 rpm.

Table 3. Viscosity of irradiated sweet potato starch prepared with a 3% concentration at various irradiation doses and rpms (Unit: mPa · s)

Rpm	Origin	Irradiation dose (kGy)						Regression expressions	Coefficients
		0	2.5	5.0	7.5	10.0	15.0		
50	Korea	$14.02 \pm 0.62^{1)a2)}$	8.20 ± 0.38^b	6.52 ± 0.82^c	4.32 ± 0.04^d	3.82 ± 0.05^{de}	2.74 ± 0.80^e	$y = -1.5146x + 12.023^{3)}$	$r^2 = 0.88$
	China	18.42 ± 0.62^a	11.97 ± 0.38^b	7.85 ± 0.82^c	7.80 ± 0.04^c	5.06 ± 0.50^d	3.90 ± 0.80^d	$y = -2.668x + 18.505$	$r^2 = 0.88$
150	Korea	7.04 ± 0.53^a	4.78 ± 0.21^b	4.12 ± 0.47^{bc}	3.6 ± 0.23^c	2.53 ± 0.45^d	1.85 ± 0.56^d	$y = -1.44x + 9.9267$	$r^2 = 0.91$
	China	10.13 ± 0.53^a	6.15 ± 0.27^b	5.55 ± 0.46^c	4.58 ± 0.24^d	2.31 ± 0.45^f	2.54 ± 0.56^f	$y = -1.441x + 10.254$	$r^2 = 0.88$
300	Korea	4.60 ± 0.25^a	3.10 ± 0.12^b	2.78 ± 0.24^c	2.49 ± 0.03^{cd}	2.21 ± 0.10^d	1.82 ± 0.12^e	$y = -0.602x + 5.222$	$r^2 = 0.97$
	China	6.97 ± 0.34^a	3.97 ± 0.12^b	3.08 ± 0.02^{bc}	3.06 ± 0.03^{bc}	2.65 ± 0.11^{bc}	2.23 ± 0.13^c	$y = -0.7909x + 6.428$	$r^2 = 0.74$

¹⁾ Mean value ± standard deviation for 3 measurements.

²⁾ Means with the same superscripts in each row are not significantly different among group by Duncan's multiple range test in one way ANOVA (p < 0.05).

³⁾ y: viscosity, x: irradiation dose.

이들의 상관계수는 0.91에서 0.98로 비조사 및 조사 처리구간의 조사의존성이 있음을 알 수 있었다. 특히 50 rpm에서 specific parameter는 비조사처리구와 2.5 kGy 처리구에서 비례적인 감소경향을 나타내어 방사선 조사여부의 확인이 가능할 것으로 여겨진다. 중국산의 경우 국산에 비해 specific parameter의 값은 다소 크게 나타나지만, 각 rpm에서 조사선량에 따라 감소하였고 50 rpm에서 조사선량에 따라 급격한 감소 경향을 보여주어 선량 의존성이 높게 나타났다. 이로써 감자 전분은 비조사구와 조사구간의 threshold value(specific parameter)를 이용한 방사선 조사여부의 확인이 가능할 것으로 판단되었다.

국산 옥수수전분의 경우 비조사구의 모든 specific parameter는 조사구의 값보다 높게 나타났으며 각 rpm에서의 값은 조사선량에 따라 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 2). 이때의 상관계수는 모두 0.9 이상으로 parameter value가 비조사 및 조사 처리구간의 조사의존성이 있음을 확인하였다. rpm이 50 rpm에서 300 rpm으로 증가함에 따라 그 값은 모두 감소하였는데 이는 rpm이 증가하면 점도가 감소하는 이유에서 비롯되며 이러한 점도의 감소는 특히 50 rpm과 150 rpm에서 그 specific parameter는 각각 2.35, 1.55이며, 2.5 kGy 처리구는 각각 1.44, 0.95로서 거의 비례적인 감소경향을 나타내었다. 중국산의 경우, 비조사구의 specific parameter는

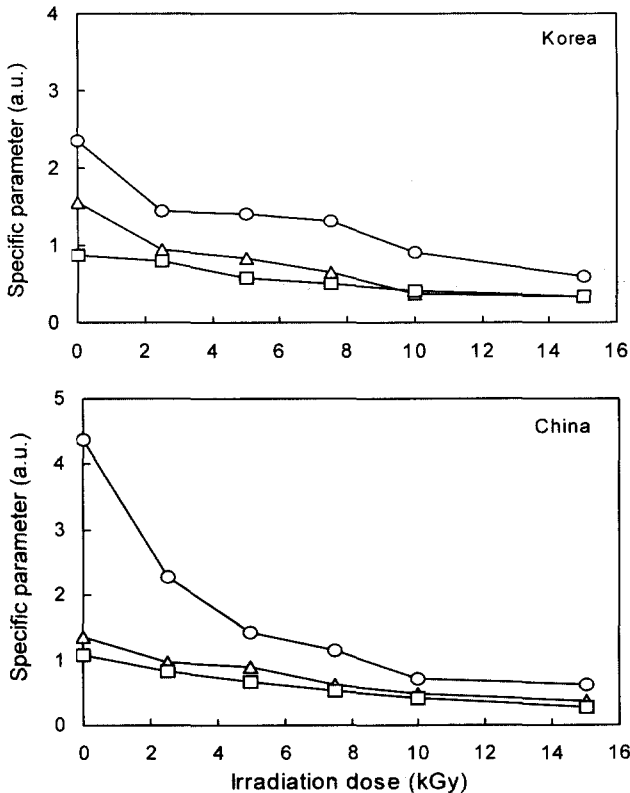


Fig. 2. Changes in specific parameters of irradiated corn starch by measuring viscosity at various rpms.

○-○: 50 rpm, △-△: 150 rpm, □-□: 300 rpm.

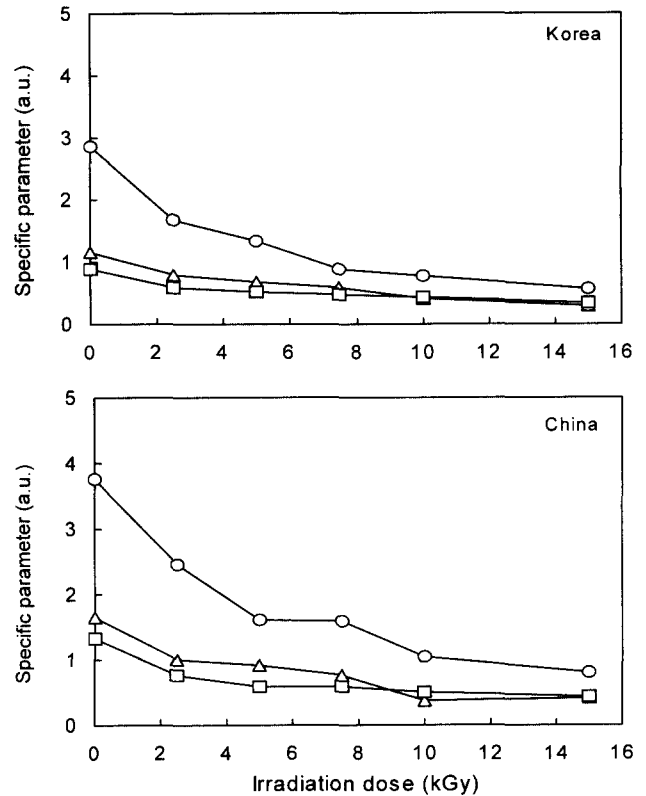


Fig. 3. Changes in specific parameters of irradiated sweet potato starch by measuring viscosity at various rpms.

○-○: 50 rpm, △-△: 150 rpm, □-□: 300 rpm.

국산과 마찬가지로 조사구의 값보다 높게 나타났고 각각의 rpm에서 조사선량에 따라 비례적으로 감소하여($R^2=0.84, 0.86, 0.92$) 비조사·조사처리구간의 조사의존성을 확인하였다(Fig. 2). 특히 50 rpm에서 비조사구와 2.5 kGy 조사구의 specific parameter 값이 국산에 비해 높았는데 이는 점도 측정값이 국산보다 높게 나타났기 때문이다.

국산 및 중국산 고구마전분은 감자전분과 마찬가지로 조사선량에 따라 specific parameter의 값은 감소하였고 rpm에 관계없이 모두 높은 상관성을 보여 주었다(Fig. 3). 50 rpm에서는 국산 및 중국산 모두 비조사구와 2.5 kGy 처리구간의 비례적인 감소를 보여 조사여부 확인이 가능할 것으로 생각된다. 특히 점도와 전분함량의 일관된 parameter는 방사선 조사 처리된 spice류에 있어 점도값 자체보다 더 유용한데 이는 조사처리에 의한 점도변화에 전분이 크게 관여하고 전분함량과 관계 있는 재배지역의 영향을 배제할 수 있기 때문이라는 Hayashi 등의 보고(17)처럼 국산 및 중국산 고구마 전분의 specific parameter는 유사한 경향으로 나타나 고구마 전분의 방사선 조사여부 확인에 있어서 재배지역에 따른 차이를 볼 수 없었다.

요 약

방사선 조사된 국산 및 중국산 감자, 옥수수 및 고구마

전분을 대상으로 점도와 전분함량을 측정하고 방사선 조사 여부확인 방법을 연구하였다. 방사선 조사선량이 증가함에 따라 처리구의 점도는 모두 감소하였다. 국산 감자, 옥수수 및 고구마 전분에 방사선 조사를 하지 않았을 때 점도가 각각 35.00 ± 0.34 , 11.86 ± 0.86 및 14.02 ± 0.62 mPa · s에서 15.0 kGy로 조사한 후에는 11.38 ± 0.92 , 2.98 ± 0.80 및 2.74 ± 0.80 mPa · s로 크게 낮아졌다. 이런 경향은 중국산 감자, 옥수수 및 고구마 전분도 유사한 경향을 나타냈다. 50 rpm에서 국산 감자, 옥수수 및 고구마 전분의 회귀식 및 회귀계수는 각각 $0.97(y = -4.6197x + 38.284)$, $0.88(y = -1.5146x + 12.023)$ 및 $0.88(y = -1.5146x + 12.023)$ 이고, 중국산 감자, 옥수수 및 고구마 전분의 회귀식 및 회귀계수는 각각 $0.69(y = -28.849x + 152.25)$, $0.81(y = -3.38x + 20.56)$ 및 $0.88(y = -2.668x + 18.505)$ 이었다. 따라서 감마선 조사선량의 증가에 따라 점도가 비례적인 감소를 보여 조사 여부 판정을 위한 specific parameter를 설정하였다. Specific parameter는 비조사 및 조사 시료의 조사선량 의존성을 보여주었으며 비조사구의 값은 조사 처리구보다 모두 높게 나타났다. 이와 같은 점도 및 specific parameter의 높은 상관관계는 점도 측정법이 전분의 방사선 조사 여부를 검지하는 방법으로 적용 가능할 것으로 판단되었다.

문 헌

1. WHO : Wholesomeness of irradiated food. WHO technical report series-604, Geneva, Switzerland (1977)
2. Dienl, T.F. : *Safety of irradiated foods*. Marcel Dekker, Inc., New York, USA, p.339-352 (1995)
3. Rahman, M.S. : *Handbook of food preservation*. Marcel Dekker, Inc., New York, USA, p.47 (1999)
4. Sharma, A., Padwal-desai, S.P. and Nair, P.M. : Aflatoxin-producing ability of spores of *Aspergillus parasiticus* exposed to gamma radiation. *J. Food Sci.*, **55**, 275-276 (1990)
5. Beison, J. : IOUs position on food irradiation. Paper given to the UNDP/FAO/IAEA Workshop on public information of food irradiation, May, Bangkok, p.27-31 (1991)
6. Yi, S.D. and Yang, J.S. : The application of a pulsed photo-stimulated luminescence (PPSL) method for the detection of irradiated foodstuffs. *J. Food Sci. Nutr.*, **5**, 136-141 (2000)
7. Schreiber, G.A., Ziegelmam, B., Helle, N. and Bogi, K.W. : Luminescence techniques to identify the treatment of foods by ionizing radiation. *Food Structure*, **12**, 385-395 (1993)
8. Crone, A.V., Hamilton, J.T.G. and Stevenson, M.H. : Effect of storage and cooking on the dose response of 2-dodecylcyclo-butanone, a potential marker for irradiated chicken. *J. Sci. Food Agric.*, **58**, 249-259 (1992)
9. Chung, M.W. and Kwon, J.H. : Detection of irradiation treatment for seasoned-powdered foods by thermoluminescence measurement. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **30**, 509-516 (1998)
10. Oh, K.N., Kim, K.E. and Yang, J.S. : Detection of irradiated beans using the DNA comet assay. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **28**, 843-848 (2000)
11. *Handbook of experiments in food science and nutrition*. The Korean society of food science and nutrition, Korea, p.709-712 (2000)
12. Yi, S.D., Chang, K.S. and Yang, J.S. : Application of viscometric method for the detection of irradiated black and white pepper. *J. Fd. Hyg. Safety*, **15**, 114-121 (2000)
13. Hayash, T., Todoriki, S. and Koyama, M. : Application of viscosity measuring method to the detection of irradiated spices. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **40**, 456-460 (1993)
14. Moon, S.M. and Song, K.B. : Effect of γ -irradiation on the molecular properties of egg white protein. *Food Sci. Biotechnol.*, **9**, 239-242 (2000)
15. Bhatti, R.S. and Macgregor, A.W. : Gamma irradiation of hulless barley : Effect on grain composition, β -glucans and starch. *Cereal Chem.*, **65**, 463-470 (1998)
16. Kobayashi, T. and Tabuchi, T. : A method employing a tri-basic sodium phosphate buffered reagent for estimating semimicro quantities of reducing sugars. *J. Agr. Chem. Soc. Japan*, **28**, 171-174 (1954)
17. Hayashi, T., Todoriki, S., Okadome, H. and Kohyama, K. : Conditions of viscosity measurement for detecting irradiated peppers. *Radiat. Phys. Chem.*, **45**, 665-669 (1995)
18. Farakas, J., Sharif, M.M. and Komczx, A. : Detection of some irradiated spices on the basis of radiation induced damage of starch. *Radiat. Phys. Chem.*, **36**, 324-328 (1990)
19. SAS : User's guide version 6.11, SAS institute Inc., Cary, NC, USA, p.209-243 (1994)
20. Komiya, T., Yamada, T., Kawakishi, S. and Nara, S. : Effect of linseed oil on the physico-chemical properties of potato and corn starches during gamma-irradiation. *J. Jap. Soc. Starch Sci.*, **29**, 1-3 (1982)
21. Koxsel, H., Celik, S. and Tuncer, T. : Effects of gamma irradiation on durum wheats and spaghetti quality. *Cereal Chem.*, **73**, 506-508 (1996)
22. MacArthur, C.A. and D'Appolonia, B.L. : Gamma radiation of wheat. II. Effect of low-dosage radiations on starch properties. *Cereal Chem.*, **61**, 321-323 (1984)
23. Yi, S.D., Oh, M.J. and Yang, J.S. : Detection for irradiated cereals by maximum viscosity in amylograph. *Food Sci. Biotechnol.*, **9**, 73-76 (2000)
24. Sokhey, A.S. and Hanna, M.A. : Properties of irradiated starches. *Food Structure.*, **12**, 397-140 (1993)
25. Roushi, M., Harras, A., El-meligi, A. and Bassim, M. : Effect of high doses of gamma rays on corn grains. *Stärke*, **35**, 15-21 (1983)
26. Yi, S.D., Chang, K.S. and Yang, J.S. : Identification of irradiated potato, sweet potato and corn starches with viscometric method. *Food Sci. Biotechnol.*, **9**, 59-62 (2000)
27. Chung, H.W., Jeong, J. and Kwon, J.H. : Potential detection of irradiated dried agricultural products by viscosity measurement. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **28**, 1082-1086 (1999)

(2001년 8월 11일 접수)