

## 저장 기간 중 감마선 조사 옥수수 전분의 점도를 위한 점도 측정법의 적용과 품질특성

최맑음 · 권중호<sup>1</sup> · 김현구\*

한국식품개발연구원, <sup>1</sup>경북대학교 식품공학과

### Potential Detection and Quality Properties of $\gamma$ -Irradiated Corn Starch of Korean and Chinese Origins by Viscosity Measurement during Storage

Mal-Gum Choi, Joong-Ho Kwon<sup>1</sup> and Hyun-Ku Kim\*

Korea Food Research Institute

<sup>1</sup>Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

Physicochemical changes in corn starch caused by irradiation were investigated, and irradiated samples were identified. Viscosity, TBA value, Hunter color, and total viable count were measured after irradiation of corn starch. Corn starches from Korea and China were irradiated at 0, 2.5, 5, 7.5, 10, and 15 kGy using a Co<sup>60</sup> irradiator and stored for 9 months at 0°C and 20°C. Viscosity and specific parameter values decreased in all samples with increasing irradiation dosage at 50 rpm, showing a dose-dependent relationship (above R<sup>2</sup>=0.80) between non-irradiated and irradiated samples during storage. These results suggest that detection of irradiated corn starches is possible using viscometric method during storage. Total viable count, TBA value, and Hunter color were determined as supplemental indices for measuring viscosities of samples. Total viable count and TBA values showed dose-dependent relationship (2.5~15 kGy). Differences in viscosity and total viable count, and TBA values among non-irradiated samples showed little changes with the lapse of post-irradiation time, but were still distinguishable for more than 6 months at 0°C and 20°C for corn starches from Korea and China.

**Key words:** corn starch, irradiation detection, viscosity, TBA value

### 서 론

식품에 대한 감마선 조사는 안전성이 인정되었고, 열의 발생이나 식품성분의 변화와 같은 부가작용을 최소화하면서도 미생물을 선택적으로 살균할 수 있으므로 식품의 위생성과 보존성을 확보하기 위한 유용한 기술로 소개되고 있다<sup>(1)</sup>. 그 중 감마선 조사 연구와 실용화가 가장 활발한 분야는 건조 및 분말 농산물, 육류의 위생화, 그리고 농산물의 해충구제와 발아억제 등의 분야이다<sup>(2)</sup>. 무엇보다 국제적인 교역의 증대로 인해 국제 시장에서 수입 농산물의 유통이 증가하고 있으므로, 소비자들이 방사선 조사된 수입 농산물에 대한 자유로운 선택을 할 수 있도록 수입 농산물을 대상으로 정확한 방사선 조사 검지 방법을 통한 표시제도가 확립되어야 한다<sup>(3)</sup>. 따라

서 근래에 국내의 식품 조사 연구는 검역/품질보증처리 기술 뿐만 아니라 검지기술(detection/identification methods)에 대한 연구로 활발히 진행되고 있으며<sup>(4,5)</sup>, 방사선 조사식품의 수입 관리를 위한 검지/검사체계에 대한 관심 역시 높아지고 있다<sup>(6)</sup> 현재 국내에서 사용중인 방사선 조사 여부 검지방법으로는 PPSL<sup>(7)</sup>, TL<sup>(8)</sup>, ESR<sup>(9)</sup>, DNA comet assay<sup>(10)</sup>, 점도 측정법<sup>(11)</sup> 등이 있다. 이 중 점도 측정은 방사선 조사된 식품 중에 다량 함유된 다당류가 방사선 조사에 의해 단당류로 변화하고 동시에 용해도가 증가하여, 팽윤력과 점도가 감소하므로 점도측정에 의해 방사선 조사 여부와 조사선량을 간접적으로 측정 할 수 있는 방법이다<sup>(11)</sup>. 이러한 점도 측정법은 전분함량이 높은 식품인 향신료<sup>(12)</sup>, 후추<sup>(13,14)</sup>, 곡류<sup>(15)</sup>를 대상으로 방사선 조사에 의한 점도의 감소 현상을 확인하여 방사선 조사 여부를 확인하는 검출기술로서의 연구가 진행되어 왔다. 최근 전분에 대한 검지법 연구에서는 처리구간의 점도값 비교와 identification parameter의 설정을 통해 조사여부 및 조사선량과의 의존성을 확인하여 검지 가능성을 보여주었다<sup>(16-18)</sup>. 전분은 수입량이 많고 일정 저장기간을 거친 후 시중에 유통되므로 조사 직후 뿐 만 아니라 일정기간 저장한 뒤에도 점도 측

\*Corresponding author : Hyun-Ku Kim, Korea Food Research Institute, San 46-1, Baekhyun-dong, Bundang-ku, Songnam-si, Kyonggi-do 463-420, Korea  
Tel: 82-31-780-9134  
Fax: 82-31-780-9234  
E-mail: hyunku@kfri.re.kr

정법을 이용해 감마선 조사에 대한 검지 가능성을 판단할 수 있는지를 검토해보는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 교역대상 전분 중 옥수수 전분을 대상으로 2.5~15 kGy의 감마선 조사한 뒤 점도 측정법을 통해 감마선 조사 여부를 확인하고, 20°C 및 0°C 조건에서 9개월 간 저장하면서 점도측정의 검지 가능성과 조사선량에 따른 지방질 및 색깔의 변화와 미생물 생육특성을 평가하였다.

**재료 및 방법**

**시료**

본 실험에서 사용된 시료는 2001년 3월 대상(주)을 통해 평균 수분함량 12.1% 이하의 국산 옥수수 전분과 평균수분함량 13.5% 이하의 중국산 옥수수 전분을 구입하였으며 이때 측정된 시료의 전분 함량은 각각 0.94 g/g, 0.92 g/g로 나타났다.

**감마선 조사 및 저장**

시료의 감마선 조사는 그린피아 기술(주)의 <sup>60</sup>Co 감마선 조사시설(MDS Nordion, Kantata, Canada)을 이용하여 포장재(0.035 mm PE film; 산소투과도 890±206.7 cc/m<sup>2</sup>·24 h·atm;

한양화학(주))으로 포장한 상태로 실온에서 0~15 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다(±6.4%). 조사된 시료는 대조시료와 함께 감마선 조사시의 동일한 포장재로 밀봉하여 0±1°C 및 20±1°C 암소(RH 65~75%)에서 9개월간 보관하면서 3개월 간격으로 검지 및 품질특성을 측정하였다.

**점도 측정**

시료의 점도는 Hayashi 등의 방법<sup>(19)</sup>을 변형한 선행 연구<sup>(18)</sup>의 방법을 바탕으로 하여 Haake Rotovisco RV-12와 coaxial cylinder type Rotor NV(Haake Mess Technik GmbH, Karlsruhe, Germany)로 측정하였다. 이 때 20±1°C에서 전단속도를 50 rpm으로 하여 반복 측정하였다. 전단속도의 설정은 각 전단속도마다 점도 측정값과 조사 선량간의 상관성이 모두 높게 나타나 전단속도의 영향이 크게 나타나지 않은 Yi 등<sup>(16)</sup>과 선행 연구결과<sup>(18)</sup>를 바탕으로 하였다.

**Specific parameter(threshold value) 설정 실험**

방사선 조사식품의 검지법은 비조사 대조구가 없는 상태에서 미지 시료의 조사 여부 확인이 가능한 방법이어야 한다<sup>(19)</sup>. 따라서 각 전분의 전분함량과 점도 측정값을 이용하여 조사 선량에 따라 specific parameter를 구하였다. 아래 식에

**Table 1. Changes of viscosity for irradiated corn starch powders prepared with 3% concentration at 50 rpm during storage at various temperatures for 9 months** (unit: millipascal · second)

Origins	Temp.	kGy	Storage period (months)			
			0	3	6	9
Korea	0°C	0	237.47 ± 0.34 <sup>1)A2)a3)</sup>	219.68 ± 0.86 <sup>Aab</sup>	210.02 ± 0.39 <sup>Ab</sup>	187.17 ± 2.84 <sup>Ac</sup>
		2.5	103.05 ± 0.36 <sup>Ba</sup>	97.60 ± 5.63 <sup>Ba</sup>	89.76 ± 0.82 <sup>Bb</sup>	74.17 ± 1.75 <sup>Bb</sup>
		5	24.50 ± 0.09 <sup>Ca</sup>	24.61 ± 1.18 <sup>Ca</sup>	25.74 ± 0.27 <sup>Ca</sup>	22.84 ± 1.51 <sup>Ca</sup>
		7.5	22.94 ± 0.08 <sup>Ca</sup>	23.11 ± 2.54 <sup>Ca</sup>	16.22 ± 0.53 <sup>CDb</sup>	14.00 ± 0.32 <sup>Db</sup>
		10	11.51 ± 0.38 <sup>Da</sup>	11.24 ± 1.85 <sup>Da</sup>	10.02 ± 0.52 <sup>Da</sup>	9.74 ± 0.31 <sup>Da</sup>
		15	9.82 ± 1.05 <sup>Da</sup>	9.73 ± 0.26 <sup>Da</sup>	9.34 ± 0.46 <sup>Da</sup>	9.26 ± 0.04 <sup>Da</sup>
	20°C	0	237.47 ± 0.34 <sup>Aa</sup>	261.93 ± 0.19 <sup>Aa</sup>	252.18 ± 0.14 <sup>Aab</sup>	234.02 ± 0.21 <sup>Ab</sup>
		2.5	103.05 ± 0.36 <sup>Ba</sup>	101.35 ± 2.05 <sup>Bab</sup>	97.61 ± 0.26 <sup>Bab</sup>	92.42 ± 0.19 <sup>Bb</sup>
		5	24.50 ± 0.09 <sup>Ca</sup>	26.37 ± 0.16 <sup>Ca</sup>	25.07 ± 0.02 <sup>Cab</sup>	22.50 ± 0.17 <sup>Cb</sup>
		7.5	22.94 ± 0.08 <sup>Ca</sup>	21.54 ± 0.02 <sup>CDa</sup>	21.36 ± 0.05 <sup>Ca</sup>	20.39 ± 0.11 <sup>Ca</sup>
		10	11.51 ± 0.38 <sup>Da</sup>	11.82 ± 0.03 <sup>Da</sup>	10.69 ± 0.02 <sup>Da</sup>	9.98 ± 0.04 <sup>Da</sup>
		15	9.82 ± 1.05 <sup>Da</sup>	9.30 ± 0.51 <sup>Da</sup>	8.63 ± 0.20 <sup>Da</sup>	8.22 ± 0.16 <sup>Da</sup>
China	0°C	0	200.79 ± 0.86 <sup>Aa</sup>	200.57 ± 0.42 <sup>Aa</sup>	201.42 ± 0.11 <sup>Aa</sup>	193.14 ± 0.17 <sup>Aa</sup>
		2.5	97.25 ± 0.39 <sup>Ba</sup>	96.68 ± 0.74 <sup>Ba</sup>	70.21 ± 0.80 <sup>Bb</sup>	58.41 ± 0.54 <sup>Bc</sup>
		5	39.07 ± 0.92 <sup>Ca</sup>	39.91 ± 0.51 <sup>Ca</sup>	39.43 ± 0.20 <sup>Ca</sup>	23.99 ± 0.37 <sup>Cb</sup>
		7.5	26.07 ± 0.06 <sup>Da</sup>	25.99 ± 0.20 <sup>Da</sup>	20.67 ± 0.26 <sup>Db</sup>	12.85 ± 0.52 <sup>Dc</sup>
		10	16.30 ± 0.23 <sup>Ea</sup>	14.04 ± 0.13 <sup>Eb</sup>	12.73 ± 0.01 <sup>Eb</sup>	10.40 ± 0.12 <sup>Dc</sup>
		15	12.28 ± 0.15 <sup>Ea</sup>	11.48 ± 0.04 <sup>Ea</sup>	9.26 ± 0.03 <sup>Eb</sup>	8.52 ± 0.06 <sup>Db</sup>
	20°C	0	200.79 ± 0.86 <sup>Aa</sup>	205.74 ± 0.62 <sup>Aa</sup>	208.15 ± 0.53 <sup>Aa</sup>	207.92 ± 0.34 <sup>Aa</sup>
		2.5	97.25 ± 0.39 <sup>Ba</sup>	81.40 ± 0.38 <sup>Ba</sup>	72.91 ± 0.27 <sup>Bc</sup>	66.39 ± 0.12 <sup>Bc</sup>
		5	39.07 ± 0.92 <sup>Ca</sup>	37.83 ± 0.82 <sup>Cab</sup>	35.33 ± 0.24 <sup>Cb</sup>	29.88 ± 0.09 <sup>Cc</sup>
		7.5	26.07 ± 0.06 <sup>Da</sup>	25.50 ± 0.04 <sup>Da</sup>	23.24 ± 0.45 <sup>Da</sup>	21.51 ± 0.21 <sup>CDa</sup>
		10	16.30 ± 0.23 <sup>Ea</sup>	14.52 ± 0.05 <sup>Eab</sup>	14.55 ± 0.15 <sup>DEab</sup>	12.63 ± 0.02 <sup>DEB</sup>
		15	12.28 ± 0.15 <sup>Ea</sup>	10.48 ± 0.08 <sup>Eb</sup>	9.31 ± 0.12 <sup>Ec</sup>	9.02 ± 0.06 <sup>Ec</sup>

<sup>1)</sup>Means±standard deviation, Each value are the average of triplicate determinations and means with different superscript are significantly different (p<0.05).

<sup>2)A-E</sup>Duncan's multiple range test for irradiation dose level (column).

<sup>3)a-c</sup>Duncan's multiple range test for storage period (row).

**Table 2. Regression expressions and coefficients of corn starch powders between irradiation dose and viscosity at 50 rpm stored during 9 months at various temperature**

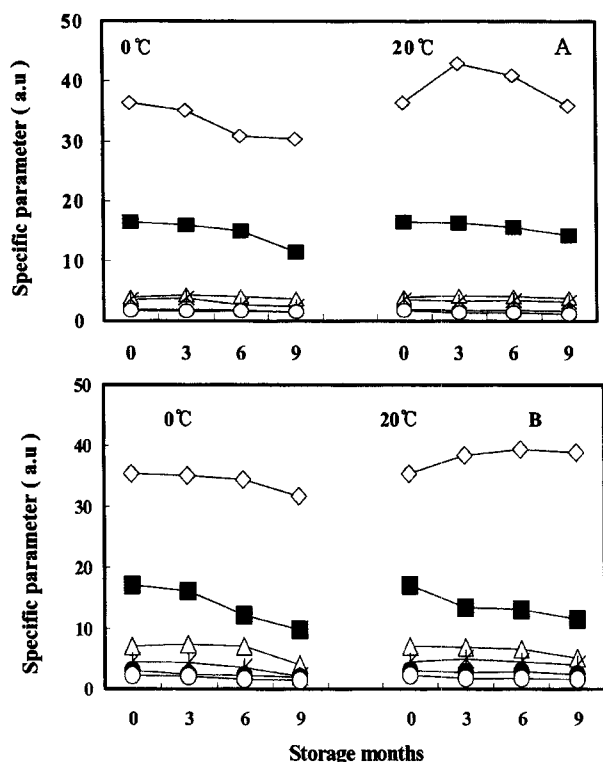
Origins	Temp.	Month	Regression expressions and coefficients
Korea	0°C	0	$y = 301.32e^{-0.6205x}$ ( $r^2 = 0.8981$ )
		3	$y = 302.07e^{-0.6204x}$ ( $r^2 = 0.9167$ )
		6	$y = 268.26e^{-0.621x}$ ( $r^2 = 0.9112$ )
		9	$y = 237.36e^{-0.6211x}$ ( $r^2 = 0.9076$ )
	20°C	0	$y = 301.32e^{-0.6205x}$ ( $r^2 = 0.8981$ )
		9	$y = 331.43e^{-0.6865x}$ ( $r^2 = 0.9364$ )
China	0°C	0	$y = 288.16e^{-0.5606x}$ ( $r^2 = 0.9634$ )
		3	$y = 291.89e^{-0.5798x}$ ( $r^2 = 0.9655$ )
		6	$y = 274.461e^{-0.6093x}$ ( $r^2 = 0.9719$ )
		9	$y = 207.45e^{-0.6076x}$ ( $r^2 = 0.8989$ )
	20°C	0	$y = 288.16e^{-0.5606x}$ ( $r^2 = 0.9634$ )
		9	$y = 265.87e^{-0.5986x}$ ( $r^2 = 0.9366$ )

x: irradiation dose (kGy), y: viscosity (millipascal · second)

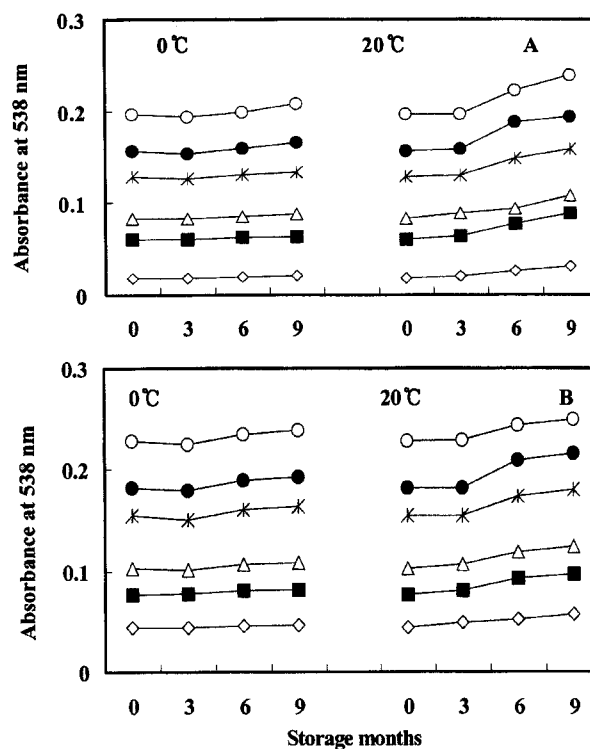
의하여 specific parameter를 설정하여 그 값이 일정 값 이상 이면 방사선 조사되지 않은 시료로 판단하고, 일정한 값 이하를 나타내면 방사선 조사된 것으로 판단하였다<sup>(20)</sup>. 점도 측정과 마찬가지로 전단속도는 50 rpm으로 하여 조사 및 비조

사구 간의 조사 의존성을 확인하였다.

Specific parameter = Viscosity of 3% suspension (millipascal · second)/Starch content in 1g of sample (g) ×



**Fig. 1. Changes of specific parameter for corn starch from Korea and China with 3% concentration at 50 rpm during storage at various temperatures for 9 months. (A: Korea, B: China)**  
 -◇-, 0 kGy; -■-, 2.5 kGy; -△-, 5 kGy; -×-, 7.5 kGy; -●-, 10 kGy; -○-, 15kGy)



**Fig. 2. Changes of TBA value for corn starch from Korea and China during storage at various temperatures for 9 months. (A: Korea, B: China)**  
 -◇-, 0 kGy; -■-, 2.5 kGy; -△-, 5 kGy; -×-, 7.5 kGy; -●-, 10 kGy; -○-, 15 kGy

Table 3. Changes of Hunter's color value for irradiated corn starch powders from Korea during storage at 0°C for 9 months

Hunter's value <sup>1)</sup>	Dose (kGy)	Storage months			
		0	3	6	9
L	0	99.20 ± 0.37 <sup>2)A3)a4)</sup>	99.53 ± 0.30 <sup>Aa</sup>	99.51 ± 0.20 <sup>Aa</sup>	99.55 ± 0.15 <sup>Aa</sup>
	2.5	98.57 ± 0.14 <sup>Bb</sup>	99.36 ± 0.24 <sup>Aa</sup>	98.64 ± 0.09 <sup>Bb</sup>	99.21 ± 0.15 <sup>Aa</sup>
	5	98.48 ± 0.14 <sup>Bb</sup>	99.45 ± 0.34 <sup>Aa</sup>	98.61 ± 0.26 <sup>Bb</sup>	99.15 ± 0.20 <sup>Aa</sup>
	7.5	98.61 ± 0.31 <sup>Bb</sup>	99.15 ± 0.14 <sup>Aab</sup>	99.00 ± 0.39 <sup>Bab</sup>	99.22 ± 0.10 <sup>Aa</sup>
	10	98.64 ± 0.46 <sup>Ba</sup>	99.11 ± 0.32 <sup>Aa</sup>	98.93 ± 0.29 <sup>Ba</sup>	99.12 ± 0.21 <sup>Aa</sup>
	15	98.41 ± 0.29 <sup>Bb</sup>	99.07 ± 0.19 <sup>Aa</sup>	98.92 ± 0.16 <sup>Ba</sup>	99.19 ± 0.54 <sup>Aa</sup>
a	0	-1.40 ± 0.05 <sup>Ea</sup>	-1.72 ± 0.01 <sup>Ec</sup>	-1.75 ± 0.04 <sup>Ec</sup>	-1.50 ± 0.07 <sup>Eb</sup>
	2.5	-0.94 ± 0.01 <sup>Da</sup>	-1.31 ± 0.01 <sup>Dd</sup>	-1.27 ± 0.03 <sup>Dc</sup>	-1.06 ± 0.04 <sup>Db</sup>
	5	-0.84 ± 0.01 <sup>Ca</sup>	-1.18 ± 0.02 <sup>Cd</sup>	-1.13 ± 0.01 <sup>Cc</sup>	-0.91 ± 0.03 <sup>Cb</sup>
	7.5	-0.72 ± 0.02 <sup>Ba</sup>	-1.05 ± 0.01 <sup>Bc</sup>	-1.02 ± 0.01 <sup>ABc</sup>	-0.78 ± 0.05 <sup>Bb</sup>
	10	-0.71 ± 0.02 <sup>Ba</sup>	-1.07 ± 0.01 <sup>Bc</sup>	-1.05 ± 0.01 <sup>Bc</sup>	-0.78 ± 0.03 <sup>Bb</sup>
	15	-0.59 ± 0.03 <sup>Aa</sup>	-0.98 ± 0.02 <sup>Ac</sup>	-0.97 ± 0.01 <sup>Ac</sup>	-0.71 ± 0.03 <sup>ABb</sup>
b	0	+4.27 ± 0.12 <sup>Ac</sup>	+4.73 ± 0.06 <sup>Ab</sup>	+5.09 ± 0.17 <sup>Aa</sup>	+4.41 ± 0.21 <sup>1c</sup>
	2.5	+3.84 ± 0.01 <sup>Bb</sup>	+4.30 ± 0.25 <sup>Ba</sup>	+4.33 ± 0.06 <sup>Ba</sup>	+3.78 ± 0.16 <sup>Bb</sup>
	5	+3.63 ± 0.06 <sup>Cb</sup>	+3.95 ± 0.23 <sup>Ca</sup>	+4.09 ± 0.13 <sup>Ca</sup>	+3.54 ± 0.11 <sup>Cb</sup>
	7.5	+3.41 ± 0.07 <sup>Db</sup>	+3.44 ± 0.16 <sup>Db</sup>	+3.86 ± 0.01 <sup>Da</sup>	+3.27 ± 0.03 <sup>Dc</sup>
	10	+3.41 ± 0.09 <sup>Db</sup>	+3.94 ± 0.06 <sup>Ca</sup>	+3.96 ± 0.11 <sup>CDa</sup>	+3.34 ± 0.02 <sup>Db</sup>
	15	+3.26 ± 0.09 <sup>Dc</sup>	+3.43 ± 0.05 <sup>Da</sup>	+3.80 ± 0.01 <sup>Da</sup>	+3.22 ± 0.01 <sup>Dc</sup>
ΔE	0	0.84 <sup>Aa</sup>	0.17 <sup>Cc</sup>	0.30 <sup>Bb</sup>	0.06 <sup>Cc</sup>
	2.5	0.65 <sup>Ba</sup>	0.17 <sup>Cc</sup>	0.56 <sup>Aab</sup>	0.01 <sup>Cc</sup>
	5	0.39 <sup>Cb</sup>	0.23 <sup>Bbc</sup>	0.60 <sup>Aa</sup>	0.08 <sup>BCc</sup>
	7.5	0.63 <sup>Ba</sup>	0.09 <sup>Dc</sup>	0.22 <sup>Cb</sup>	0.02 <sup>Cc</sup>
	10	0.60 <sup>Ba</sup>	0.11 <sup>Dc</sup>	0.29 <sup>BCb</sup>	0.12 <sup>Bc</sup>
	15	0.84 <sup>Aa</sup>	0.17 <sup>Cc</sup>	0.30 <sup>Bb</sup>	0.06 <sup>Cc</sup>

<sup>1)</sup>L: degree of lightness, a: degree of redness, b: degree of yellowness, ΔE: overall color difference

<sup>2)</sup>Means ± standard deviation, Each value are the average of triplicate determinations and means with different superscript are significantly different ( $p < 0.05$ ).

<sup>3)A-E</sup>Duncan's multiple range test for irradiation dose level (column).

<sup>4)a-c</sup>Duncan's multiple range test for storage period (row).

viscosity of 5% starch (millipascal · second)

### TBA 가

시료의 TBA(2-thiobarbituric acid) 가는 방사선 조사와 저장기간에 따라 Turner 등<sup>(21)</sup>의 방법에 준하여 분광광도계(UV/VIS Spectrophotometer, JASCO, Japan)를 사용하여 538 nm에서 흡광도로 측정하였다.

### 총균수 측정

총 균수는 각 시료에 멸균된 0.1% peptone 용액을 가한 시험액을 사용하여 3회 반복 실시하였다. 즉, APHA 표준방법<sup>(22)</sup>에 따라 plate count agar(Difco, Becton Dickinson and Company Sparks, N.J., USA)을 사용하여 37 ± 1°C에서 48시간 배양한 후 집락을 계수하였다.

### 색깔 측정

각 시료의 색깔은 색차계(Minolta chroma meter CR-200, Osaka, Japan)를 이용하여 L(명도), a(적색도), b(황색도)값을 측정하였다. 이 때 표준백색판의 L, a, b 값은 99.98, -0.01, -0.01이었다.

### 실험 결과 분석

각 시료별 측정은 3회 반복 실시하였으며, 측정결과는 SAS (statistical analysis system)<sup>(23)</sup>에 의해서 one-way ANOVA와 Duncan's multiple range test에 의해서 0.05% 수준에서 유의성을 분석하였다.

### 결과 및 고찰

#### 점도 변화

점도 측정법은 식품내의 다당류, 즉, starch, pectin, cellulose 등이 방사선 조사에 의해 분해되어 점도가 변하는 원리를 이용한 것으로서, 점도 변화가 조사선량과 높은 상관관계가 있음이 보고되고 있다.<sup>(16-18)</sup> Sokhey 등<sup>(24)</sup>은 방사선 조사에 의해 생성된 free radical이 전분 분자 내부의 수소결합을 분리하여 전분의 chain의 변형과 절단을 일으켜 분자 크기를 감소시키므로 점도가 감소하게 되고, 조사선량의 증가에 따라 점도가 감소하는 것은 carbohydrate 내의 free radical의 강도가 증가하기 때문이라고 보고하였다. 감마선 조사된 국산 및 중국산 옥수수 전분의 저장에 따른 점도의 변화는 Table 1과 같다. 국산 옥수수 전분의 경우, 0°C에서 각 선량별 점도(50

**Table 4. Changes of Hunter's color value for irradiated corn starch powders from Korea during storage at 20°C for 9 months**

Hunter's value <sup>1)</sup>	Dose (kGy)	Storage months			
		0	3	6	9
L	0	99.20 ± 0.37 <sup>2)A3)a4)</sup>	99.64 ± 0.20 <sup>Aa</sup>	99.33 ± 0.34 <sup>ABa</sup>	98.57 ± 0.19 <sup>Ab</sup>
	2.5	98.57 ± 0.14 <sup>Bb</sup>	99.08 ± 0.34 <sup>Aa</sup>	98.79 ± 0.31 <sup>ABa</sup>	98.92 ± 0.19 <sup>Aa</sup>
	5	98.48 ± 0.14 <sup>Bb</sup>	99.22 ± 0.07 <sup>Aa</sup>	98.67 ± 0.39 <sup>Bbc</sup>	99.11 ± 0.31 <sup>Aab</sup>
	7.5	98.61 ± 0.31 <sup>Bb</sup>	98.84 ± 0.05 <sup>ABa</sup>	97.90 ± 0.46 <sup>Cb</sup>	98.93 ± 0.04 <sup>Aa</sup>
	10	98.64 ± 0.46 <sup>Ba</sup>	97.57 ± 1.76 <sup>ABa</sup>	97.82 ± 0.11 <sup>Ca</sup>	98.82 ± 0.21 <sup>Aa</sup>
	15	98.41 ± 0.29 <sup>Bb</sup>	98.56 ± 0.34 <sup>Ba</sup>	98.52 ± 0.15 <sup>Ba</sup>	98.74 ± 0.13 <sup>Aa</sup>
a	0	-1.40 ± 0.05 <sup>Ea</sup>	-1.65 ± 0.02 <sup>Cd</sup>	-1.45 ± 0.01 <sup>Db</sup>	-1.53 ± 0.02 <sup>Dc</sup>
	2.5	-0.94 ± 0.01 <sup>Da</sup>	-1.18 ± 0.02 <sup>Bd</sup>	-1.13 ± 0.02 <sup>Cc</sup>	-1.03 ± 0.02 <sup>Cb</sup>
	5	-0.84 ± 0.01 <sup>Ca</sup>	-1.11 ± 0.03 <sup>Bd</sup>	-1.06 ± 0.03 <sup>Bc</sup>	-0.92 ± 0.05 <sup>Bb</sup>
	7.5	-0.72 ± 0.02 <sup>Ba</sup>	-1.00 ± 0.04 <sup>Ad</sup>	-0.98 ± 0.04 <sup>Ac</sup>	-0.87 ± 0.07 <sup>Ab</sup>
	10	-0.71 ± 0.02 <sup>Ba</sup>	-0.98 ± 0.08 <sup>Ac</sup>	-0.96 ± 0.02 <sup>Ac</sup>	-0.84 ± 0.03 <sup>Ab</sup>
	15	-0.59 ± 0.03 <sup>Aa</sup>	-0.95 ± 0.08 <sup>Ac</sup>	-0.95 ± 0.03 <sup>Ac</sup>	-0.85 ± 0.0 <sup>A8b</sup>
b	0	+4.27 ± 0.12 <sup>Ac</sup>	+4.48 ± 0.07 <sup>Aa</sup>	+4.27 ± 0.09 <sup>Ba</sup>	+4.40 ± 0.15 <sup>Aa</sup>
	2.5	+3.84 ± 0.01 <sup>Bb</sup>	+3.84 ± 0.13 <sup>Bb</sup>	+4.13 ± 0.22 <sup>Ba</sup>	+3.79 ± 0.14 <sup>Cb</sup>
	5	+3.63 ± 0.06 <sup>Cb</sup>	+3.84 ± 0.12 <sup>Bb</sup>	+4.23 ± 0.04 <sup>Ba</sup>	+3.79 ± 0.04 <sup>Cb</sup>
	7.5	+3.41 ± 0.07 <sup>Db</sup>	+3.84 ± 0.13 <sup>Bc</sup>	+4.62 ± 0.04 <sup>Aa</sup>	+4.09 ± 0.01 <sup>Bb</sup>
	10	+3.41 ± 0.09 <sup>Db</sup>	+3.93 ± 0.06 <sup>Bb</sup>	+4.51 ± 0.08 <sup>Aa</sup>	+4.06 ± 0.05 <sup>Bb</sup>
	15	+3.26 ± 0.09 <sup>Dc</sup>	+4.01 ± 0.08 <sup>Bc</sup>	+4.62 ± 0.05 <sup>Aa</sup>	+4.35 ± 0.01 <sup>Ab</sup>
ΔE	0	0.84 <sup>Aa</sup>	0.45 <sup>Bb</sup>	0.13 <sup>Cc</sup>	0.62 <sup>Aa</sup>
	2.5	0.65 <sup>Ba</sup>	0.14 <sup>Cc</sup>	0.42 <sup>BCb</sup>	0.30 <sup>Cbc</sup>
	5	0.39 <sup>Cb</sup>	0.00 <sup>Dd</sup>	0.54 <sup>Ba</sup>	0.12 <sup>Dc</sup>
	7.5	0.63 <sup>Ba</sup>	0.38 <sup>BCc</sup>	1.29 <sup>Aa</sup>	0.28 <sup>Cc</sup>
	10	0.60 <sup>Ba</sup>	1.65 <sup>Aa</sup>	1.37 <sup>Ab</sup>	0.39 <sup>Cc</sup>
	15	0.84 <sup>Aa</sup>	0.66 <sup>Bb</sup>	0.67 <sup>Bb</sup>	0.46 <sup>Bc</sup>

<sup>1)</sup>L: degree of lightness, a: degree of redness, b: degree of yellowness, ΔE: overall color difference.

<sup>2)</sup>Means ± standard deviation, Each value are the average of triplicate determinations and means with different superscript are significantly different (p<0.05).

<sup>3)A-E</sup>Duncan's multiple range test for irradiation dose level (column).

<sup>4)a-c</sup>Duncan's multiple range test for storage period (row).

rpm)는 저장 기간이 경과함에 따라 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 비조사구의 경우, 초기 237.47에서 187.17로 조금씩 감소하였고 2.5 kGy 조사구 역시 103.05에서 74.17로 감소하였다. 5 kGy 및 7.5 kGy 조사구는 저장 기간 중 점도가 증감을 반복하다가 저장 9개월에는 저장 초기보다 낮게 측정되었고 10 kGy 이상의 고선량 처리구는 점도값이 조금씩 감소하였으나 유의적인 차이를 볼 수 없었다. 각 저장 시점에서 비조사구와 조사구 간의 점도 값은 유의적인 차이를 나타내었다. 20°C 저장의 경우, 비조사구의 점도는 저장기간 동안 초기 값을 유지하였으며, 2.5 및 5 kGy의 경우 0°C 저장구와 동일하게 증감을 반복하다가 감소하였다. 7.5 kGy 이상의 처리구들은 0°C 저장 처리의 경우와 동일하게 저장기간에 따른 유의적인 변화를 볼 수 없었다. 또한 20°C 저장구 역시 각 시점마다 비조사구와 조사구 간에 유의적인 차이를 나타내어 감마선 조사 여부의 판단이 가능한 것으로 나타났다. 중국산 옥수수 전분의 경우, 0°C 저장할 때 모든 처리구의 점도는 저장기간에 따라 유의적으로 감소하였으며, 각 저장 시점 별로 비조사구와 조사구 간의 구분이 가능하였다. 20°C에서 저장할 경우 비조사구의 점도는 초기 수준을 유지하였고 나머지 처리구의 경우 저장기간에 따라 감소하였다. 마찬가지로

가지로 각 저장기간마다 조사선량이 증가할수록 점도 값이 낮아졌다. 이상에서 감마선 조사된 국산 및 중국산 옥수수 전분의 점도는 저장에 따라 조금씩 감소하였고, 저장온도에 따른 뚜렷한 차이가 없었다. 또한 감마선 조사처리 후 일정 기간이 경과하여도 조사 여부의 구분이 가능하였으며, 저장 온도의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타나 감마선 처리 전분의 저장 유통 중 조사 여부를 판단하기 위한 검지수단으로서 점도 측정법의 적용 가능성을 재확인하였다. 그러나 종전의 연구 결과<sup>(15-18)</sup>와 비교해 볼 때 감마선 조사에 의한 점도의 저하가 극단적으로 나타났는데, 이는 전분의 종류, 원산지, 가공형태에 따라 방사선 감수성이 다르기 때문인 것으로 생각되었다. 또한 선행연구<sup>(18)</sup>의 점도 측정값에 비해 그 값이 매우 높게 나타났다. 일반적으로 점도에 영향을 미치는 요소에는 측정 온도, 농도, 분자량, pH, 압력, 현탁 물질 등이며<sup>(25)</sup>, 특히 전분의 점도는 호화조건, pH, amylose와 amylopectin의 함량 및 당 혹은 지방산 함량에 따라 다르게 나타난다고 알려져 있다<sup>(26)</sup>. 또한 낮은 pH에서는 전분 팽윤이나 gelatinization에 미치는 영향이 적고, pH 10에서는 전분 팽윤의 비율이 크게 증가한다고 한다<sup>(26)</sup>. 본 실험과 선행 연구결과의 차이는 전처리의 알칼리화 차이가 원인인 것으로

**Table 5. Changes of Hunter's color value for irradiated corn starch powders from China during storage at 0°C for 9 months**

Hunter's value <sup>1)</sup>	Dose (kGy)	Storage months			
		0	3	6	9
L	0	99.36 ± 0.10 <sup>2)A3)a4)</sup>	99.01 ± 0.13 <sup>Ab</sup>	99.26 ± 0.07 <sup>Aab</sup>	99.33 ± 0.35 <sup>Aab</sup>
	2.5	98.83 ± 0.14 <sup>Bab</sup>	98.86 ± 0.25 <sup>ABab</sup>	98.71 ± 0.30 <sup>Bb</sup>	99.26 ± 0.17 <sup>Aa</sup>
	5	98.75 ± 0.01 <sup>BCa</sup>	99.15 ± 0.08 <sup>ABa</sup>	98.91 ± 0.53 <sup>ABa</sup>	99.14 ± 0.15 <sup>Aa</sup>
	7.5	98.59 ± 0.14 <sup>Cb</sup>	98.76 ± 0.05 <sup>Bab</sup>	98.64 ± 0.22 <sup>Bb</sup>	99.06 ± 0.17 <sup>Aa</sup>
	10	98.35 ± 0.43 <sup>BCb</sup>	99.08 ± 0.28 <sup>ABa</sup>	99.10 ± 0.07 <sup>ABa</sup>	99.33 ± 0.19 <sup>Aa</sup>
	15	98.53 ± 0.19 <sup>BCb</sup>	99.09 ± 0.14 <sup>ABa</sup>	98.56 ± 0.15 <sup>Bb</sup>	99.03 ± 0.08 <sup>Aa</sup>
a	0	-1.19 ± 0.03 <sup>Ea</sup>	-1.48 ± 0.02 <sup>Ec</sup>	-1.46 ± 0.01 <sup>Ec</sup>	-1.25 ± 0.02 <sup>Eb</sup>
	2.5	-0.82 ± 0.01 <sup>Da</sup>	-1.13 ± 0.03 <sup>Dc</sup>	-1.07 ± 0.02 <sup>Db</sup>	-0.84 ± 0.05 <sup>Da</sup>
	5	-0.74 ± 0.03 <sup>Ca</sup>	-1.00 ± 0.02 <sup>Cc</sup>	-0.93 ± 0.01 <sup>Cb</sup>	-0.74 ± 0.06 <sup>Ca</sup>
	7.5	-0.62 ± 0.02 <sup>Ba</sup>	-0.94 ± 0.01 <sup>Bc</sup>	-0.86 ± 0.02 <sup>Bb</sup>	-0.64 ± 0.02 <sup>Ba</sup>
	10	-0.58 ± 0.02 <sup>ABa</sup>	-0.91 ± 0.03 <sup>ABc</sup>	-0.88 ± 0.01 <sup>Bbc</sup>	-0.85 ± 0.03 <sup>Ab</sup>
	15	-0.54 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	-0.87 ± 0.02 <sup>Ab</sup>	-0.85 ± 0.02 <sup>Ab</sup>	-0.57 ± 0.01 <sup>Aa</sup>
b	0	+3.73 ± 0.05 <sup>Ac</sup>	+3.97 ± 0.03 <sup>Ab</sup>	+4.30 ± 0.19 <sup>Aa</sup>	+3.70 ± 0.08 <sup>Ac</sup>
	2.5	+3.05 ± 0.01 <sup>Bb</sup>	+3.26 ± 0.06 <sup>Ba</sup>	+3.40 ± 0.12 <sup>Ba</sup>	+2.82 ± 0.02 <sup>Bc</sup>
	5	+3.00 ± 0.09 <sup>Bb</sup>	+3.12 ± 0.06 <sup>Ca</sup>	+3.24 ± 0.06 <sup>BCa</sup>	+2.73 ± 0.04 <sup>Cc</sup>
	7.5	+2.75 ± 0.02 <sup>Cc</sup>	+3.04 ± 0.07 <sup>Cb</sup>	+3.17 ± 0.01 <sup>CDa</sup>	+2.66 ± 0.01 <sup>Cd</sup>
	10	+2.83 ± 0.10 <sup>Cc</sup>	+3.07 ± 0.08 <sup>Cb</sup>	+3.25 ± 0.08 <sup>BCa</sup>	+2.59 ± 0.05 <sup>Dd</sup>
	15	+2.69 ± 0.03 <sup>Cc</sup>	+2.88 ± 0.06 <sup>Db</sup>	+3.02 ± 0.05 <sup>Da</sup>	+2.53 ± 0.05 <sup>Dd</sup>
ΔE	0	0.00 <sup>Dc</sup>	0.34 <sup>Ca</sup>	0.07 <sup>Eb</sup>	0.03 <sup>Db</sup>
	2.5	0.56 <sup>Ca</sup>	0.52 <sup>Bab</sup>	0.46 <sup>Cb</sup>	0.13 <sup>Cc</sup>
	5	0.64 <sup>Ca</sup>	0.23 <sup>Dc</sup>	0.47 <sup>Cb</sup>	0.26 <sup>Bc</sup>
	7.5	0.81 <sup>Ba</sup>	0.63 <sup>Abc</sup>	0.74 <sup>Bb</sup>	0.34 <sup>ABc</sup>
	10	1.04 <sup>Aa</sup>	0.31 <sup>Cb</sup>	0.28 <sup>Db</sup>	0.07 <sup>Cc</sup>
	15	0.87 <sup>Ba</sup>	0.30 <sup>Cb</sup>	0.83 <sup>Aa</sup>	0.37 <sup>Ab</sup>

<sup>1)</sup>L: degree of lightness, a: degree of redness, b: degree of yellowness, ΔE: overall color difference.

<sup>2)</sup>Means ± standard deviation, Each value are the average of triplicate determinations and means with different superscript are significantly different ( $p < 0.05$ ).

<sup>3)A-E</sup>Duncan's multiple range test for irradiation dose level (column).

<sup>4)a-e</sup>Duncan's multiple range test for storage period (row).

판단되는데, 이 때 pH 13의 설정을 위해 첨가된 33% NaOH의 소비가 선행 연구에 비해 많고, 처리구간에도 차이가 나는 것으로 나타났다. 따라서 시료의 알칼리화에 대한 민감성이 다르고 이에 따라 swelling 및 gelatinization의 정도가 서로 달라 점도의 차이가 크게 나타난 것으로 판단되었다. 따라서 이후 전분질 농산물의 검지를 위해 점도 측정법을 적용할 경우 시료의 감수성, 이에 따른 팽윤과 겔화 및 호화도의 차이 등 점도값에 영향을 주는 변수를 최소화하고 표준화된 검지를 위해 전처리 방법과 측정방법에 대한 보완연구가 더욱 필요할 것으로 생각된다.

#### 점도와 조사선량과의 상관성 분석

저장 온도 및 저장 기간에 따라 국산 및 중국산 옥수수 전분의 조사선량과 점도 값 간의 회귀식 및 회귀계수를 구하여 조사선량과 점도와의 상관성을 분석하였다(Table 2). 국산 옥수수 전분의 경우, 0°C 저장시 저장 기간의 경과에 따른 조사선량과 점도간의 회귀식은 각각  $y = 301.32e^{-0.6205x}$  ( $r^2 = 0.8981$ ),  $y = 302.07e^{-0.6204x}$  ( $r^2 = 0.9167$ ),  $y = 268.26e^{-0.621x}$  ( $r^2 = 0.9112$ ),  $y = 237.36e^{-0.6211x}$  ( $r^2 = 0.9076$ )이었다. 20°C 저장 처리구 역시 모든 저장 시점에서 조사선량과 점도값 간의 상

관성이 0.90이상으로 높게 나타났다(Table 2). 중국산 옥수수 전분 역시 조사선량과 점도값 간의 상관성이 0.90이상으로 높게 나타나 조사선량에 의존성이 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 옥수수 전분의 경우, 각 저장 온도에서 저장 기간 9개월까지 경과하여도 조사선량과 점도 값간의 상관성이 높게 나타나 조사선량에 의존성이 있는 것으로 판단되어 방사선 조사 여부 확인을 위한 검지방법의 하나로 점도측정법의 적용 가능성이 재확인되었다.

#### 품목별 specific parameter 설정

Hayashi 등<sup>(20,27)</sup>은 전분과 같은 고분자는 겔화 특성에 크게 영향을 주기 때문에 각 시료의 점도를 전분함량에 대해 표준화시켜준다면 더 정확한 점도값을 얻을 수 있으며, 시료의 표준화된 parameter는 조사 여부를 결정함에 있어서 대조시료(non-irradiated control)가 없이도 구별이 가능하며 점도 값 자체보다도 조사 여부를 검지 하는데 더 유의적이라고 보고 하였다. 감마선 조사된 국산 및 중국산 옥수수 전분의 저장 기간 및 조건에 따른 specific parameter와 조사선량과의 상관성을 Fig. 1에 나타내었다. 국산 옥수수 전분의 경우, 0°C 저장 할 때 비조사구는 저장 기간 중 30.32~36.39 범위의 값

**Table 6. Changes of Hunter's color value for irradiated corn starch powders from China during storage at 20°C for 9 months**

Hunter's value <sup>1)</sup>	Dose (kGy)	Storage months			
		0	3	6	9
L	0	99.36 ± 0.10 <sup>2)A3)4a4)</sup>	99.58 ± 0.12 <sup>Aa</sup>	98.90 ± 0.38 <sup>Aab</sup>	98.45 ± 0.28 <sup>Cb</sup>
	2.5	98.83 ± 0.14 <sup>Bab</sup>	98.94 ± 0.31 <sup>Bb</sup>	97.97 ± 0.12 <sup>Ac</sup>	99.45 ± 0.21 <sup>Aa</sup>
	5	98.75 ± 0.01 <sup>BCa</sup>	99.56 ± 0.02 <sup>Aa</sup>	98.56 ± 0.26 <sup>Ac</sup>	99.25 ± 0.16 <sup>Ab</sup>
	7.5	98.59 ± 0.14 <sup>Cb</sup>	98.78 ± 0.17 <sup>Ba</sup>	94.71 ± 2.27 <sup>Bb</sup>	99.00 ± 0.17 <sup>ABa</sup>
	10	98.35 ± 0.43 <sup>BCb</sup>	98.80 ± 0.11 <sup>Ba</sup>	97.83 ± 1.12 <sup>Aa</sup>	99.00 ± 0.23 <sup>ABa</sup>
	15	98.53 ± 0.19 <sup>BCb</sup>	98.87 ± 0.13 <sup>Ba</sup>	98.11 ± 0.25 <sup>Ab</sup>	98.63 ± 0.05 <sup>BCa</sup>
a	0	-1.19 ± 0.03 <sup>Ea</sup>	-1.36 ± 0.04 <sup>Db</sup>	-1.14 ± 0.01 <sup>Ca</sup>	-1.13 ± 0.01 <sup>Ca</sup>
	2.5	-0.82 ± 0.01 <sup>Da</sup>	-0.99 ± 0.04 <sup>Cb</sup>	-0.94 ± 0.01 <sup>Bb</sup>	-0.81 ± 0.05 <sup>Ba</sup>
	5	-0.74 ± 0.03 <sup>Ca</sup>	-0.92 ± 0.01 <sup>Bc</sup>	-0.86 ± 0.03 <sup>Bb</sup>	-0.76 ± 0.05 <sup>Ba</sup>
	7.5	-0.62 ± 0.02 <sup>Ba</sup>	-0.84 ± 0.04 <sup>Ab</sup>	-0.70 ± 0.10 <sup>Aa</sup>	-0.68 ± 0.10 <sup>Aa</sup>
	10	-0.58 ± 0.02 <sup>ABa</sup>	-0.87 ± 0.03 <sup>ABc</sup>	-0.87 ± 0.01 <sup>Bc</sup>	-0.67 ± 0.01 <sup>Ab</sup>
	15	-0.54 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	-0.83 ± 0.04 <sup>Ac</sup>	-0.87 ± 0.01 <sup>Bc</sup>	-0.70 ± 0.03 <sup>Ab</sup>
b	0	+3.73 ± 0.05 <sup>Ac</sup>	+3.68 ± 0.14 <sup>Aab</sup>	+3.50 ± 0.05 <sup>BCbc</sup>	+3.42 ± 0.15 <sup>Bc</sup>
	2.5	+3.05 ± 0.01 <sup>Bb</sup>	+3.07 ± 0.05 <sup>Bb</sup>	+3.30 ± 0.05 <sup>Ca</sup>	+2.73 ± 0.01 <sup>Dc</sup>
	5	+3.00 ± 0.09 <sup>Bb</sup>	+2.97 ± 0.06 <sup>Bb</sup>	+3.32 ± 0.21 <sup>Ca</sup>	+2.80 ± 0.01 <sup>Db</sup>
	7.5	+2.75 ± 0.02 <sup>Cc</sup>	+3.01 ± 0.03 <sup>Bb</sup>	+3.46 ± 0.29 <sup>BCa</sup>	+3.18 ± 0.06 <sup>Cb</sup>
	10	+2.83 ± 0.10 <sup>Cc</sup>	+3.12 ± 0.02 <sup>Bb</sup>	+3.91 ± 0.55 <sup>ABa</sup>	+3.99 ± 0.20 <sup>AA</sup>
	15	+2.69 ± 0.03 <sup>Cc</sup>	+3.03 ± 0.15 <sup>Bc</sup>	+4.00 ± 0.08 <sup>Aa</sup>	+3.68 ± 0.01 <sup>Ab</sup>
ΔE	0	0.00 <sup>Dc</sup>	0.22 <sup>Cc</sup>	0.47 <sup>Cb</sup>	0.92 <sup>Aa</sup>
	2.5	0.56 <sup>Ca</sup>	0.44 <sup>Bb</sup>	1.41 <sup>Ba</sup>	0.05 <sup>Ec</sup>
	5	0.64 <sup>Ca</sup>	0.17 <sup>Cc</sup>	0.82 <sup>Da</sup>	0.14 <sup>Dc</sup>
	7.5	0.81 <sup>Ba</sup>	0.61 <sup>Abc</sup>	4.66 <sup>Aa</sup>	0.38 <sup>Cc</sup>
	10	1.04 <sup>Aa</sup>	0.58 <sup>Ac</sup>	1.53 <sup>Ba</sup>	0.38 <sup>Cd</sup>
	15	0.87 <sup>Ba</sup>	0.52 <sup>Bc</sup>	1.24 <sup>Ca</sup>	0.74 <sup>Bb</sup>

<sup>1)</sup>L: degree of lightness, a: degree of redness, b: degree of yellowness, ΔE: overall color difference.

<sup>2)</sup>Means±standard deviation, Each value are the average of triplicate determinations and means with different superscript are significantly different (p<0.05).

<sup>3)A-E</sup>Duncan's multiple range test for irradiation dose level (column).

<sup>4)a-c</sup>Duncan's multiple range test for storage period (row).

을 보였다. 각 저장기간마다 조사선량에 따라 그 값이 감소하는 일정한 경향이 나타났으며, 상관성은 높게 나타났다(0.8238~0.8448). 20°C 저장의 경우도 마찬가지로 각 저장기간별로 선량의존성이 높게 나타났다(0.8238~0.8772). 중국산 옥수수 전분의 경우도 모든 저장기간 동안 감마선 조사선량의 증가에 따라 threshold value가 감소하였고, 조사선량 의존성이 높게 나타나 비조사구와 조사구 간의 구별이 뚜렷하였다(0.8255~0.9272). 이러한 결과는 정 등<sup>(20)</sup>의 specific parameter의 설정을 통한 감마선 조사 건조 농산물의 조사 여부 검지 가능성을 시사한 결과와 유사하였다. 또한 Yi 등<sup>(16,17)</sup>은 옥수수, 감자 및 고구마 전분을 대상으로 각각의 수분함량과 전분함량을 이용한 여러 가지 parameter의 설정을 통해 조사 여부를 구분하였다. 따라서 본 실험에서 확인된 옥수수 전분에 대한 specific parameter(threshold value)의 설정은 저장기간의 경과 및 온도에 상관없이 비조사구 및 조사구 간의 구분이 가능하여 감마선 조사 여부의 screening을 위한 적용이 기대된다.

**TBA가 측정**

식품 중에 함유된 지방질, 특히 불포화지방산은 산패가 진

행됨에 따라 과산화물과 carbonyl 화합물을 생성하게 되는데, TBA가는 이 때 생성되는 malonaldehyde와 TBA와의 적색복합체 생성을 촉진하는 방법으로 과산화물가와 더불어 지방질 산패도를 알아보는 방법이다<sup>(21)</sup>. 시료로 사용된 전분의 조지방질 함량은 약 0.1% 이하로 매우 낮아 품질에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 생각되나, 감마선 조사의 영향 및 저장 처리에 의한 변화를 알아보기 위해 TBA가를 측정하였다(Fig. 2). 감마선 조사선량과 저장 조건에 따른 국산 및 중국산 옥수수 전분의 TBA가는 감마선 조사 직후부터 조사선량이 증가함에 따라 증가하여 감마선 조사에 의한 옥수수 전분 중 지방질이 산화되었음을 보여주었다. 저장기간에 따른 TBA가는 저장 초기에 처리구 간의 뚜렷한 차이를 보이다가 저장 9개월까지 그 일정한 차이를 유지하면서 증가하였다. 즉, 비조사구와 조사구 모두 저장 3개월부터 TBA가가 증가하는 경향으로 보아 저장 중 산패가 진행되고 있음을 알 수 있었다. 저장 온도에 따른 TBA가의 변화는 0°C 저장에 비해 20°C 저장 조건에서 현저히 높게 나타났다. 시료 전분의 조지방질은 미량이지만 감마선 조사로 인해 산화가 촉진되었고, 조사선량에 영향을 받음을 알 수 있었다. 일반적으로 감마선 조사에 의한 지방질의 산패는 이온화된 유리기들에

**Table 7. Changes of total plate counts for irradiated corn starch powders during storage at various temperatures for 9 months** (unit : CFU/g)

Origins	Temp.	kGy	Storage months			
			0	3	6	9
Korea	0°C	0	10 <sup>2</sup>	2.0×10 <sup>2</sup>	4.0×10 <sup>3</sup>	6.5×10 <sup>3</sup>
		2.5	-	-	10 <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup>
		5	-	-	-	-
		7.5	-	-	-	-
		10	-	-	-	-
		15	-	-	-	-
	20°C	0	10 <sup>2</sup>	4.5×10 <sup>2</sup>	1.23×10 <sup>2</sup>	7.05×10 <sup>6</sup>
		2.5	-	-	10 <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup>
		5	-	-	-	10 <sup>2</sup>
		7.5	-	-	-	-
		10	-	-	-	-
		15	-	-	-	-
China	0°C	0	3.5×10 <sup>2</sup>	7.4×10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	3.5×10 <sup>3</sup>
		2.5	-	-	-	-
		5	-	-	-	-
		7.5	-	-	-	-
		10	-	-	-	-
		15	-	-	-	-
	20°C	0	3.5×10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	1.8×10 <sup>5</sup>
		2.5	-	-	-	10 <sup>4</sup>
		5	-	-	-	-
		7.5	-	-	-	-
		10	-	-	-	-
		15	-	-	-	-

의해 생성되며 조사선량에 의존한다고 보고되고 있으며<sup>(28)</sup>, 손 등<sup>(29)</sup>의 감마선 처리한 곡류에 대한 지방질 성분 변화와 이 등<sup>(30)</sup>의 감마선 조사한 두류의 지방질 성분의 변화에 대한 연구에서도 이와 유사한 결과를 확인하였다. 감마선 조사에 의해 생성된 유리기는 유지의 자동산화에 관여하며 조사 전후의 산소의 존재는 지방질의 산패를 촉진시키는 것으로 알려져 있다<sup>(31)</sup>.

### 색깔

감마선 조사와 저장 조건에 따른 국산 및 중국산 옥수수 전분의 색깔 변화를 색차계를 이용하여 L, a, b, 및 ΔE 값을 측정하여 Table 3, 4, 5 및 6에 나타내었다. 색깔 변화의 조사선량 의존성을 확인한 결과, 원산지 및 저장 온도에 따라 모든 처리구에서 L값(lightness)의 경우, 저장 초기 모든 처리구의 값이 뚜렷한 경향이 없이 변화하여 조사선량에 따른 유의성이 없었다. 그러나 a값(redness)의 경우 조사선량이 증가함에 따라 높게 측정되어 조사선량과의 유의적인 상관관계를 확인하였다. b값(yellowness)의 경우, 각 저장시점에서 조사선량이 증가할수록 그 값은 감소하여 유의성을 나타내었다. 그러나 저장기간의 경과에 따라 L값의 경우 원산지 및 저장온도에 상관없이 모두 뚜렷한 경향을 보이지 않아 유의적 상관이 없는 것으로 나타났으나 a값의 변화는 조사선량에 관계없이 6개월까지 감소한 후 다시 증가하였다. b값의 변화는 a값의 변화와 반대로 6개월까지 증가한 후 다시 감

소하는 경향으로 나타났다. 전반적인 색깔의 변화를 나타내는 ΔE 값의 경우, 저장기간 및 온도 그리고 조사선량과의 일정한 경향을 볼 수 없었다. 따라서 감마선 조사한 옥수수 전분의 표면 색깔의 측정은 저장 온도 및 기간의 경과에 따라 유의적인 변화가 없었으나 Hunter a값은 방사선 조사선량에 대한 의존성이 확인되었다.

### 총균수 측정

감마선 조사 및 저장조건에 따른 옥수수 전분의 미생물 농도를 측정하였다(Table 7). 국산 및 중국산 옥수수 전분 모두 저장 초기에 비조사구에서 10<sup>2</sup>~3.5×10<sup>2</sup> CFU/g 정도로 측정되었고, 감마선 조사구에서는 미생물이 관찰되지 않았다. 0°C 저장할 때 국산 옥수수 전분의 2.5 kGy 처리구의 경우 6개월 시점부터 미생물이 관찰되었다. 또한 5 kGy구의 경우에도 저장 9개월에 미생물의 생육이 확인되었다. 20°C 저장 처리구의 경우 저장 9개월 시점에서 비조사구 및 2.5 kGy 처리구의 미생물 수가 급격히 증가한 것으로 관찰되었다. 전반적으로 0°C 저장 처리구의 미생물 농도는 20°C 저장구보다 낮은 것으로 나타났다. Howard 등<sup>(32)</sup>은 1 kGy 조사한 *Pico De Gallo*에서 중온성 미생물의 수가 감소하였고 1주 경과할 때 비조사구과 조사구 간의 차이가 유지되었으며 조사구는 계속 낮은 수준의 농도를 유지하여 곡류의 미생물 살균 효과가 있음을 보고하였다. 일반적으로 미생물에 대한 방사선의 살균 작용은 미생물의 종류와 농도, 매개체의 화학적 조성



및 물리적 상태, 조사 후 저장 조건 등에 영향을 받게 되어 살균에 필요한 선량이 달라지는 것으로 알려져 있다<sup>(33)</sup>. 따라서 옥수수 전분에 대해 9개월 이내의 저장 기간 동안 위생화를 목적으로 감마선 조사를 적용한다면 2.5 kGy 이하의 선량으로도 충분한 효과가 있을 것으로 판단되었다.

## 요 약

감마선 조사한 국산 및 중국산 옥수수 전분의 저장 중 감마선 조사여부 확인 가능성과 품질 변화를 확인하였다. 점도 측정법을 이용한 검지가능성 시험에서 시료의 점도는 조사 선량에 따라 조금씩 감소하였고, 0°C 및 20°C에서 9개월간 저장 중에도 비조사구와 조사구 간의 구분이 가능하였다. Specific parameter를 설정한 결과, 조사처리에 따라 그 값이 감소하여 조사 여부의 확인이 가능하였으며, 조사선량과 specific parameter 간의 상관성은 저장 중 R<sup>2</sup>값이 0.89이상으로 높게 나타나 조사여부의 검지에 활용할 수 있을 것으로 생각되었다. TBA는 감마선 조사선량에 비례하여 저장 기간에 따라 유의적으로 증가하였으며, Hunter a값은 조사선량과 유의적인 상관을 나타내었다. 이상과 같이 specific parameter를 이용한 점도측정법은 감마선 조사 후 저장 중에도 조사여부의 screening에 적용이 가능할 것으로 판단되었으며, TBA의 측정은 판정의 정확도를 높여주는 보조수단으로 기대된다.

## 감사의 글

본 논문은 농림기술개발사업의 일환으로 수행된 연구의 일부분으로써 지원에 감사드립니다.

## 문 헌

1. Thayer, D.W. Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technol.* 48: 58-57 (1994)
2. Byun, M.W. Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci. Ind.* 30: 89-100 (1997)
3. Kwon, J.H., Byun, M.W. and Cho, H.O. Development of food irradiation technology and consumer attitude toward irradiated food in Korea. *Radioisotopes* 41: 654 (1992)
4. Kwon, J.H., Chung, H.W. and Byun, M.W. ESR spectroscopy for detecting gamma-irradiated vegetables and estimating absorbed doses. *Rad. Phys. Chem.* 57: 319-324 (2000)
5. Kim, H.K., Kang, D.S., Choi, M.G. and Kwon, J.H. Detection of irradiated cereals from Korea and China by viscometric method. *Korean J. Food Sci. Technol.* 33: 645-650 (2001)
6. Yang, J.S. Methods for identification of irradiated foods. *J. Food Hyg. Saf.* 12: 160-174 (1997)
7. Yi, S.D., Chang, K.S. and Yang, J.S. Trial to identify irradiated corn powder by viscometric and pulsed photostimulated Luminescence(PPSL) methods. *J. Food Hyg. Saf.* 16: 82-87 (2001)
8. Kwon, J.H., Chung, H.W., Byun, M.W. and Kang, I.J. Thermoluminescence detection of Korean traditional foods exposed to gamma and electron-beam irradiation. *Rad. Phys. Chem.* 52: 151-156 (1998)
9. Kwon, J.H., Chung, H.W. and Byun, M.W. ESR spectroscopy for detecting gamma-irradiated vegetables and estimating absorbed doses. *Rad. Phys. Chem.* 57: 319-324 (2000)
10. Kim, S.M., Park, E., Yang, J.S. and Kang, M.H. Changes of

- DNA fragmentation by irradiation doses and storage in gamma-irradiated fruits. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 31: 594-598 (2002)
11. The Korean Society of Food Science and Nutrition. Handbook of Experiments in Food Science and Nutrition, pp. 709-712. The Korean Society of Foods Science and Nutrition, Busan (2000)
12. Farkas, J., Sharif, M.M. and Koncz, A. Detection of some irradiated spices on the basis of radiation induced damage of starch. *Radiat. Phys. Chem.* 36: 621-627 (1990)
13. Hayashi, T., Todoriki, S. and Kohyama, K. Irradiation effects on pepper starch viscosity. *J. Food Sci.* 59: 118-120 (1994)
14. Yi, S.D., Yang, J.S., Song, K.B., Chang, K.S. and Oh, M.J. Reological examination of white pepper slurries to determine prior treatment of pepper with gamma-irradiation. *J. Food Sci.* 66: 257-260 (2001)
15. 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)
16. 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: 57-62 (2000)
17. Yi, S.D., Oh, M.J. and Yang, J.S. Utilization of brabender visco-amylograph to detect irradiated starches. *J. Food Sci. Nutr.* 5: 20-24 (2000)
18. Kim, H.K., Kang, D.S., Choi, M.G., and Kwon, J.H. Detection of irradiated starches from Korea and China by viscometric method. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 30: 1082-1087 (2001)
19. Hayashi, T., Todoriki, S., Okadome, H. and Kohyama, K. Conditions of viscosity measurement for detecting irradiated peppers. *Rad. Phys. Chem.* 45: 665-669 (1995)
20. 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)
21. Tuner, E.W., Payner, W.D., Montie, E.J., Bessert, M.W., Struck, G.M. and Olson, F.C. Use of the 2-thiobarbituric acid reagent to measure rancidity in frozen pork. *J. Agric. Food Chem.* 8: 326-329 (1954)
22. APHA. Compendium of Methodes for the Microbiological Examination of Foods. Speck, M. (ed.). American Public Health Association, Washington D.C., USA (1976)
23. SAS Institute, Inc. SAS User's Guide. SAS institute, Cary, NC, USA (1994)
24. Sokhey, A.S. and Hanna, M. A. Properties of irradiated starches. *Food Structure* 12: 397-410 (1993)
25. Malcolm, C.B. Food Texture and Viscosity, pp. 204-207. Academic Press, Inc., New York, USA (1982)
26. Fennema, O.R. Food Chemistry, 3rd ed. pp. 110-120. Marcel Dekker, Inc. New York, USA (1988)
27. 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)
28. Diehl, J.F., Adam, S., Delincee, H. and Jakubick, C. Radiolysis of carbohydrates and carbohydrate containing food stuffs. *J. Agric. Food Chem.* 26: 15-17 (1978)
29. Son, I.S. and Kim, M. Storage stability of barleys irradiated by gamma-ray. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 28: 1076-1081 (1999)
30. Lee, H.J., Kim, J.O., Yook, H.S. and Byun, M.W. Physicochemical properties of gamma-irradiated soybeans. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28: 558-565 (1996)
31. Fennema, O.R. Food Chemistry, 3rd ed., p. 276. Marcel Dekker, Inc., New York, USA (1988)
32. Howard, L.R., Miller, G.H., JR. and Wagner, A.B. Microbiological, and chemical, and sensory changes in irradiated *Pico De Gallo*. *J. Food Sci.* 60: 461-464 (1995)
33. Byun, M.W. Radurization and radication of spices. *Korean J. Food Sci. Technol.* 17: 311-318 (1985)