

점도 측정법을 이용한 기장(*Panicum miliaceum*)의 저장 중 감마선 조사 검지 가능성

최맑음 · 권중호* · 김현구†

한국식품개발연구원
*경북대학교 식품공학과

Potential Detection of γ -Irradiated *Panicum miliaceum* by Viscosity Measurement during Storage

Mal-Gum Choi, Joong-Ho Kwon* and Hyun-Ku Kim†

Korea Food Research Institute, Songnam 463-746, Korea

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

Abstract

To elucidate the physicochemical change of *Panicum miliaceum* powders caused by irradiation and identify detection of irradiation, viscosity, TBA value, Hunter color and total viable count were measured after irradiation of *Panicum miliaceum* powder. *Panicum miliaceum* powders from Korea and China were irradiated at 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 15 kGy using a Co⁶⁰ irradiator and stored for 9 months at 0°C and 20°C. All samples resulted in decrease for viscosity and specific parameter values by increasing dosage at 50 rpm after irradiation. These values showed dose-dependent relationship (above $r^2=0.92$) between non-irradiated and irradiated samples during storage. These results suggest that the detection of irradiated *Panicum miliaceum* at various doses is possible by using viscometric method during storage. Total viable count, TBA value and Hunter color were determined as assistant indices for the samples viscosity measured. Total viable count, TBA values showed dose-dependent relationship (2.5~15 kGy). The difference in viscosity along with total viable count, TBA values between non-irradiated samples little or some changed with the lapse of post-irradiation time, but was still distinguishable each other more than 6 months at 0°C and 20°C for *Panicum miliaceum* powders from Korea and China.

Key words: *Panicum miliaceum*, irradiation detection, viscosity, quality

서론

최근 소비자들의 구매성향이 신선하고 위생적인 식품을 선호함에 따라 효과적인 저장·가공기술의 이용이 필수적이다. 또한 식품산업에서 균일한 원료의 다량 확보와 위생적인 제품 생산을 위해 원료 농산물의 고품질 저장과 품질관리 체계는 무엇보다도 중요한 기술기반이 되고 있다. 따라서 식품에 대한 감마선 조사는 안전성이 인정되었고, 열의 발생이나 식품성분의 변화와 같은 부가작용을 최소화하면서도 미생물을 선택적으로 살균할 수 있으므로 식품의 위생성과 보존성을 확보하기 위한 매우 유용한 기술로 소개되고 있다(1). 식품 조사 기술은 국제기구와 선진국의 주도로 체계적이고 과학적인 연구가 추진되어 기술적 타당성과 안정성이 FAO/WHO/IAEA 등 관련 국제기구와 주요 보건 당국에 의해 공식 인정됨에 따라 Codex 일반규격과 운영 규정이 채택되었다(2,3). 감마선 조사 연구와 실용화가 가장 활발한 분야는 건조 및 분말 농산물, 육류의

위생화, 그리고 농산물의 해충구제와 발아억제 등의 분야이다(4). 또한 현재의 국제적인 교역의 증대로 인해 국제 시장에서 수입 농산물의 유통이 증가하고 있으므로, 소비자들이 감마선 조사된 수입 농산물에 대한 자유로운 선택을 할 수 있도록 수입 농산물을 대상으로 정확한 방사선 조사 검지 방법을 통한 표시 제도가 확립되어야 한다(5). 따라서 근래에 국내의 식품 조사 연구는 검역/품질보증처리 기술 뿐만 아니라 검지기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며(6,7), 방사선 조사식품의 수입 관리를 위한 검지/검사체계에 대한 관심 역시 높아지고 있다(8). 현재 국내에서 사용중인 방사선 조사 여부 검지방법에는 hydrocarbons 또는 2-alkylcyclobutanone과 같은 지방 유도 방사선 물질을 검사하는 ESR(6), DNA comet assay(9), G.C 방법(10) 등과 TL(11), PPSL(12), 및 점도 측정법(13) 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

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

방사선 조사 여부와 조사선량을 간접적으로 측정할 수 있는 방법이다(7,12,13).

건조 농산물은 식품 가공 시, 원료의 전처리나 제조과정 중에 미생물 오염이 발생하며, 저장 해충뿐만 아니라 식량 교역 시 검역 대상이 되는 해충에 노출되는 가능성이 있다. 따라서 최종 제품이 품질기준에 적합하기 위해서는 살균과 해충구제 처리가 필수적이다. 또한 곡류는 수입량이 많고 일정 저장기간을 거친 후 시중에 유통되므로 감마선 조사 처리 직후 뿐만 아니라 일정기간 저장한 뒤에도 점도 측정법을 이용해 감마선 조사에 대한 검지 가능성을 판단할 수 있는지를 검토해보는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 교역대상 곡류 중 기장을 대상으로 2.5~15 kGy의 감마선을 조사한 뒤 점도를 측정하여 감마선 조사 여부를 확인하고, 0°C 및 20°C 조건에서 9개월간 저장하면서 점도 측정법을 이용한 검지 가능성과 조사선량에 따른 지방질 및 색깔의 변화와 미생물 생육특성을 평가하였다.

재료 및 방법

시료

본 실험에 사용된 국산 및 중국산 기장(*Panicum miliaceum*)의 경우 가락동 농수산물 시장에서 구입하여 각각 약 500 μm 크기로 분쇄하여 사용하였으며, 이 때 각각의 평균 수분함량은 14.8% 및 15.3%이며, 전분 함량은 0.54 g/g, 0.50 g/g이었다.

감마선 조사 및 저장

시료의 감마선 조사는 그린피아 기술(주)의 ^{60}Co 감마선 조사시설(MDS Nordion, Kantata, Canada)을 이용하여 포장재(0.035 mm PE film; 산소투과도 $890 \pm 206.7 \text{ cc/m}^2 \cdot 24\text{h} \cdot \text{atm}$; 한양화학(주))로 포장한 상태에서 실온에서 0~15 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다($\pm 6.4\%$). 조사된 시료는 대조시료와 함께 감마선 조사시의 동일한 포장재로 밀봉하여 $0 \pm 1^\circ\text{C}$ 및 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 암소(RH 65~75%)에서 9개월간 보관하면서 3개월 간격으로 실험에 이용하였다.

점도 측정

시료의 점도는 Hayashi 등의 방법(14)을 변형한 선행 연구의 방법(7)을 바탕으로 하여 측정하였다. 방사선 조사하지 않은 대조구와 5 kGy로 감마선 조사하여 분말화한 시료에 대해서 각각 예비실험을 한 결과 점도 측정하기에 적합한 현탁액의 농도는 10%(w/v)이었다. 점도를 측정하기 위한 전처리 과정으로 33% NaOH 용액을 이용하여 현탁액의 pH를 13으로 맞추었는데 이는 알칼리성 조건 하에서의 열처리는 대조구와 방사선 조사된 시료간의 뚜렷한 점도의 차이를 나타내는 팽윤과 겔화를 용이하게 하기 때문이다(15). 따라서 감마선 조사 직후 증류수를 가하여 조제한 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, Karlsruhe, Germany)로 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 측정하였다. 이때 전단속도는 각 전단속도마다 점도 측정값과 조사 선량간의 상관성이 모두 높게 나타나 전단속도의 영향이 크게 나타나지 않은 Yi 등(16)의 연구와 선행연구 결과(7)를 바탕으로 하여 50 rpm으로 설정하였다.

Specific parameter(threshold value) 설정 실험

방사선 조사식품의 검지방법은 비조사 대조구가 없는 상태에서 미지 시료의 조사 여부 확인이 가능한 방법이어야 한다(14). Hayashi 등(15)은 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(non-irradiated control)가 없이도 구별이 가능하며(14) 점도 값 자체보다도 조사 여부를 검지하는데 더 유의적이라고 보고하였다(15). 따라서 각 시료의 전분함량과 점도 측정값을 이용하여 50 rpm에서 각 처리구의 specific parameter를 구하였다. 시료 현탁액을 고온에서 pH 13으로 조정하여 점도를 측정하고 아래 식에 의하여 specific parameter를 설정하여 그 값이 일정 값 이상이면 방사선 조사되지 않은 시료로 판단하고, 일정 값 이하를 나타내면 방사선 조사된 것으로 판단하였다(5).

Specific parameter =

$$\frac{\text{Viscosity of 10\% suspension (millipascal} \cdot \text{second)}}{\text{Starch content in 1 g of sample (g)} \times \text{viscosity of 5\% starch (millipascal} \cdot \text{second)}}$$

TBA값 측정

시료의 TBA(2-thiobarbituric acid)값은 지방질 성분의 산패도를 알아보기 위한 방법으로 방사선 조사와 저장기간에 따라 Turner 등의 방법(17)에 준하여 측정하였다. 즉, 시료 0.2 g을 칭량하고 2 N phosphoric acid 용액에 용해한 20% TCA(trichloroacetic acid) 용액 2.5 mL과 0.01 N TBA 용액 5 mL를 가하여 열탕조에서 흔들어서 30분간 가열하였다. 이 후 ice bath에서 10분간 냉각시키고 isoamylalcohol : pyridine(2 : 1, v/v) 용액을 7.5 mL 가한 뒤 강하게 2분간 흔들어서 emulsion을 파괴하였다. 상층액을 여지(Whatman No.2)로 여과한 여액을 UV-visible spectrophotometer(UV-160 PC Shimadzu, Japan)를 사용하여 538 nm에서 흡광도로 측정하였다.

표면의 색깔 측정

각 시료의 색깔은 색차계(Color difference meter, Color Quest II Sphere System, USA)를 이용하여 표면의 L(명도), a(적색도), b(황색도)값 및 ΔE (색차)값을 측정하였다. 이 때 표준백색판의 L, a, b 값은 99.98, -0.01, -0.01이었다.

총균수 측정

총균수는 각 시료에 멸균된 0.1% peptone 용액을 가한 시험액을 사용하여 3회 반복 실시하였다. 즉, APHA 표준방법(18)에 따라 표준평판배지(Difco, Lab.)를 사용하여 $37 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 48시간 배양한 후 집락을 계수하였다.

실험 결과 분석

각 시료별 측정은 3회 반복 실시하였으며, 측정결과는 SAS (statistical analysis system)(19)에 의해서 one-way ANOVA 와 Dur can'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 변화하는 원리를 이용한 것으로써, 점도 변화가 조사선량과 높은 상관관계가 있음이 보고되고 있다(16,20-22). 감마선 조사 처리한 국산 및 중국산 기장의 저장기간 경과에 따른 점도의 변화는 Table 1과 같다. 국산 기장의 경우, 0°C에서 각 선량별 점도(50 rpm)는 저장 기간이 경과함에 따라 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 각 저장 시점에서 비조사구와 조사구 간의 점도 값은 유의적인 차이를 나타내었으며, 조사선량이 증가할수록 점도 값은 감소하였다. 20°C 저장의 경우, 비조사구의 점도는 저장기간 동안 초기 값을 유지하였고, 2.5 kGy에서 10 kGy 까지의 처리구들은 0°C 저장의 경우와 동일하게 저장기간에 따라 유의적인 변화를 볼 수 없었으나 15 kGy 조사의 경우, 저장기간의 경과에 따른 유의적인 차이를 나타내었다. 20°C 저장구 역시 각 시점마다 비조사구와 조사구 간에 유의적인 차이를 나타내어 감마선 조사 여부의 판단이 가능한 것으로 나타났다. 중국산 기장의 경우, 0°C 저장 시 모든 처리구의 점도는 저장기간에 따라 유의적으로 감소하였으며, 각 저장 시점 별로 비조사구와 조사구 간의 구분이 가능하였다. 20°C 저장 시 비조사구의 점도는 증감을 반복하면서 초기 수준을 유지하여 유의적인 변화를 관찰할 수 없었으며, 5 kGy 처리구를 제외한 나머지 처리구의 경우는 저장기간의 경과에 따라 감소하였다. 또한 저장기간

이 경과하여도 비조사구와 조사구간의 점도 값은 큰 차이가 없었으며, 조사선량이 증가할수록 점도값이 낮아졌다. 이상에서 감마선 조사된 국산 및 중국산 기장의 점도는 저장에 따라 조금씩 감소하였고, 저장온도에 따른 뚜렷한 차이가 없었다. 또한 감마선 조사처리 후 일정기간이 경과하여도 조사 여부의 구분이 가능하였으며, 저장 온도의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타나 감마선 처리 기장의 저장 유통 중 조사 여부를 판단하기 위한 검지수단으로서 점도 측정법의 적용 가능성을 확인할 수 있었다. 방사선 조사에 의해 생성된 free radical은 전분 분자 내부의 수소결합을 분리하여 전분의 chain의 변형과 절단을 일으켜 분자 크기를 감소시키므로 점도는 감소하게 되고(22), 조사선량의 증가에 따라 점도가 감소하는 것은 carbohydrate 내의 free radical의 강도가 증가하기 때문으로 알려져 있다(22). 또한 방사선 조사한 곡류의 강도가 감소하는 것은 분자 사이의 수소결합을 절단할 뿐만 아니라 전분 입자의 파괴에 의한 것이라고 보고되고 있다(23). 그러나 여러 연구 결과(14-16, 21)와 비교해 볼 때 감마선 조사에 의한 점도의 저하가 극단적으로 나타났는데, 이는 곡류에 포함된 다당류의 종류, 물리적 특징 및 원산지 등에 따라 방사선 감수성이 다르기 때문인 것으로 생각되었다. 또한 선행연구(7)와 비교했을 때 점도의 값이 매우 높게 나타났다. 일반적으로 점도에 영향을 미치는 요소에는 측정 온도, 농도, 분자량, pH, 압력, 현탁 물질 등이며(24), 특히 다당류의 경우, 호화조건, pH, amylose와 amylo-pectin의 함량 및 당 혹은 지방산 함량에 따라 다르게 나타난다고 알려져 있다(25). 또한 낮은 pH에서는 전분 팽윤이나 ge-latinization에 미치는 영향이 적고, pH 10에서는 전분 팽윤의 비율이 크게 증가한다고 한다(25). 본 실험과 선행 연구결과의 차이는 전처리의 알칼리화 차이가 원인인 것으로 판단되는데, 이 때 pH 13의 설정을 위해 첨가된 33% NaOH 용액의 소비가 선행 연구에 비해 많고, 조사 선량에 따라서도 차이나는 것으로 나타났다. 따라서 시료의 알칼리화에 대한 민감성이 다르고

Table 1. Changes of viscosity for irradiated *Panicum miliaceum* powders prepared with 10% concentration at 50 rpm during storage at various temperatures for 9 months (unit: millipascal · second)

Origins	Dose (kGy)	0°C				20°C			
		0	3	6	9	0	3	6	9
Korea	0	^{A2)} 1063.58±5.31 ^{i)3a)}	^A 1053.94±5.52 ^a	^A 1048.70±6.98 ^a	^A 975.86±2.54 ^b	^A 1063.58±5.31 ^a	^A 1226.23±2.90 ^a	^A 1145.92±7.64 ^a	^A 1089.07±2.64 ^a
	2.5	^B 701.99±3.34 ^a	^B 684.57±2.64 ^a	^B 584.59±5.54 ^b	^B 553.13±3.21 ^c	^B 701.99±3.34 ^a	^B 695.83±3.64 ^a	^B 685.94±4.50 ^a	^B 689.38±3.54 ^a
	5	^C 188.53±2.53 ^a	^C 192.68±3.41 ^{ab}	^C 188.85±3.68 ^{ab}	^C 177.24±1.30 ^b	^C 188.53±2.53 ^a	^C 176.36±2.10 ^a	^C 173.48±2.25 ^a	^C 177.30±4.95 ^a
	7.5	^C 176.59±2.70 ^a	^D 113.02±4.52 ^b	^D 99.99±2.20 ^b	^D 98.03±0.50 ^b	^C 176.59±2.70 ^a	^C 115.22±4.25 ^b	^{CD} 104.77±4.70 ^b	^D 106.41±2.80 ^b
	10	^D 74.47±2.44 ^a	^E 65.34±2.19 ^a	^E 53.14±6.34 ^b	^E 51.68±2.25 ^b	^D 74.47±2.14 ^a	^C 75.36±3.30 ^a	^{CD} 75.45±4.00 ^a	^D 73.19±1.34 ^a
	15	^D 64.56±2.20 ^a	^E 59.84±2.61 ^a	^E 46.53±4.67 ^b	^E 47.27±0.43 ^b	^D 64.56±2.20 ^a	^C 55.17±1.45 ^b	^{CD} 50.77±3.25 ^c	^D 44.64±0.10 ^d
China	0	^A 1198.95±2.06 ^a	^A 1199.84±5.93 ^a	^A 1152.02±6.66 ^a	^A 1041.72±4.40 ^b	^A 1198.95±2.06 ^a	^A 1212.57±3.65 ^a	^A 1134.39±6.50 ^a	^A 1093.83±5.15 ^a
	2.5	^B 933.48±6.51 ^a	^B 852.31±4.64 ^b	^B 797.14±7.00 ^c	^B 787.79±3.50 ^c	^B 933.48±6.51 ^a	^B 852.82±4.20 ^b	^B 807.97±3.10 ^{bc}	^B 802.36±2.35 ^{bc}
	5	^C 312.84±4.94 ^a	^C 305.66±6.66 ^a	^C 301.77±3.35 ^a	^C 301.39±5.85 ^a	^C 312.84±4.94 ^a	^C 374.04±2.85 ^a	^C 371.17±6.95 ^a	^C 367.92±3.62 ^a
	7.5	^D 178.38±2.31 ^a	^D 112.49±2.87 ^b	^D 103.51±2.15 ^c	^D 102.57±3.30 ^c	^D 178.38±2.31 ^a	^D 170.29±2.56 ^a	^D 145.65±4.64 ^b	^D 137.35±2.20 ^b
	10	^E 113.95±4.72 ^a	^D 99.03±2.68 ^b	^D 96.23±3.10 ^b	^E 90.73±2.00 ^b	^E 113.95±4.72 ^a	^D 108.92±2.67 ^a	^D 110.44±1.25 ^a	^D 110.10±1.58 ^a
	15	^E 96.27±1.49 ^a	^D 80.79±1.05 ^b	^D 74.55±0.20 ^b	^E 63.39±1.35 ^c	^E 96.27±0.49 ^a	^D 62.94±2.00 ^b	^E 61.02±1.42 ^b	^E 59.65±0.15 ^b

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

²⁾ Duncan's multiple range test for irradiation dose level (column).

³⁾ Duncan's multiple range test for storage period (row).

이에 따라 swelling 및 gelatinization의 수준이 서로 달라 점도의 차이가 크게 나타난 것으로 판단되었다. 따라서 전분질 농산물의 검지를 위해 점도 측정법을 적용할 때, 시료의 감수성과 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 조사선량의 상관성 분석

저장 온도 및 저장 시점에 따른 국산 및 중국산 기장의 조사선량과 점도값 간의 회귀식 및 회귀계수를 구하여 조사선량과 점도간의 상관성을 분석하였다(Table 2). 국산 기장의 경우, 0°C 저장 시 저장 기간의 경과에 따른 조사선량과 점도간의 회귀식은 각각 $y = 1823.4e^{-0.5999x}$ ($r^2 = 0.9373$), $y = 1788.1e^{-0.6269x}$ ($r^2 = 0.941$), $y = 1920.6e^{-0.6884x}$ ($r^2 = 0.9705$), $y = 1638.1e^{-0.6476x}$ ($r^2 = 0.9556$)이었다. 20°C 저장 처리구 역시 모든 저장 시점에서 조사선량과 점도값 간의 상관성이 0.92 이상으로 높게 나타났다(Table 2). 중국산 기장 역시 조사선량과 점도값 간의 상관성이 0.92 이상으로 높게 나타나 조사선량에 의존성이 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 기장의 경우, 각 저장 온도에서 저장 9개월까지 경과하여도 조사선량과 점도값 간의 상관성은 높게 나타나 조사선량에 의존성이 있는 것으로 판단되어 방사선 조사 여부 확인을 위한 검지법의 하나로 점도측정법의 적용 가능성을 재확인하였다.

품목별 specific parameter 설정

감마선 조사한 국산 및 중국산 기장의 저장 기간 및 조건에 따른 specific parameter와 조사선량과의 상관성을 Fig. 1에 나타내었다. 국산 기장의 경우, 0°C 저장 시 비조사구는 저장 기간 중 217.24~240.44 범위의 값을 보였다. 각 저장기간마다 조사선량에 따라 그 값이 감소하는 일정한 경향이 나타났으며, 상관성은 높게 나타났다(0.9410~0.9705). 20°C 저장의 경우도 마찬가지로 각 저장기간별로 조사선량의 증가에 따라 threshold value가 감소하는 경향을 보여주어 선량의존성이 높게 나타났다(0.9289~0.9629). 중국산 기장의 경우도 모든 저장기간 동안 감마선 조사선량의 증가에 따라 threshold value가 감소하는 것으로 나타났으며, 조사선량 의존성이 높게 나타났다(0.9329~0.9695). 즉, 0°C 초기 저장 시점에서 비조사의 경우

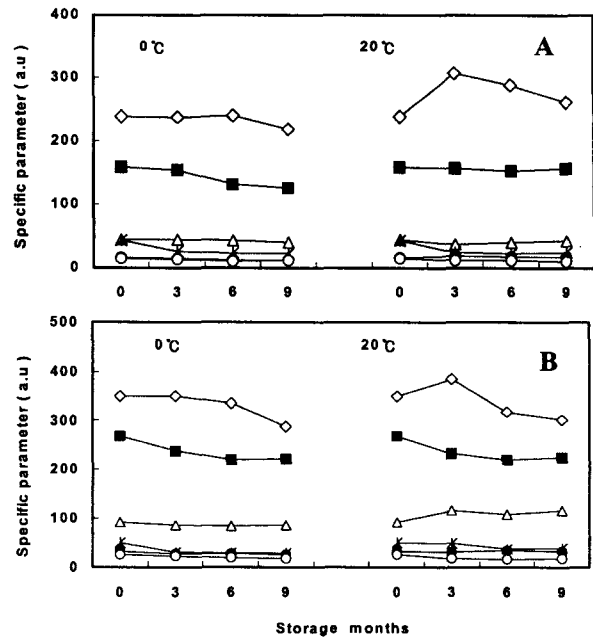


Fig. 1. Changes of specific parameter for *Panicum miliaceum* powders from Korea and China with 10% concentration at 50 rpm during storage at various temperatures for 9 months (A : Korea, B : China).

-◇- 0 kGy, -■- 2.5 kGy, -△- 5 kGy, -×- 7.5 kGy, -●- 10 kGy, -○- 15 kGy.

threshold value가 349.81인데 비하여 조사선량의 증가에 따라 각각 267.60, 91.17, 50.09, 31.66, 25.19로 급격한 감소를 보여 비조사구와 조사구 간의 구별이 뚜렷하였다. 이는 Chung 등(5)의 specific parameter의 설정을 통한 감마선 조사 건조 농산물의 조사 여부 검지 가능성을 시사한 결과와 유사하였다. 이와 같이 곡류를 대상으로 점도 측정과 parameter의 설정을 이용한 검지 여부를 확인한 Yi 등(21)의 연구와 마찬가지로 본 실험에서 확인된 기장에 대한 specific parameter(threshold value)의 설정은 저장 기간의 경과 및 온도에 상관없이 비조사구와 조사구 간의 구분이 가능하여 감마선 조사 여부의 screening을 위한 적용이 기대되었다.

TBA값 측정

시료로 사용된 국산 및 중국산 기장의 조지방질 함량은 각각 약 1.81% 및 1.59%로 미량 함유되어 있으나 감마선 조사

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

Korea			China		
°C	Month	Regression expressions and coefficients	°C	Month	Regression expressions and coefficients
0	0	$y = 1823.4e^{0.5999x}$ ($r^2 = 0.9373$)	0	0	$y = 2254.1e^{-0.5759x}$ ($r^2 = 0.9587$)
	3	$y = 1788.1e^{0.6269x}$ ($r^2 = 0.941$)		3	$y = 2146.2e^{0.6055x}$ ($r^2 = 0.9251$)
	6	$y = 1920.6e^{0.6884x}$ ($r^2 = 0.9705$)		6	$y = 2080.5e^{0.6135x}$ ($r^2 = 0.9329$)
	9	$y = 1638.1e^{0.6476x}$ ($r^2 = 0.9556$)		9	$y = 2006.1e^{-0.6182x}$ ($r^2 = 0.9462$)
20	0	$y = 1823.4e^{0.5999x}$ ($r^2 = 0.9373$)	20	0	$y = 2254.1e^{-0.5759x}$ ($r^2 = 0.9587$)
	3	$y = 2074.5e^{0.6629x}$ ($r^2 = 0.9289$)		3	$y = 2749.3e^{0.6454x}$ ($r^2 = 0.9937$)
	6	$y = 2051.6e^{-0.668x}$ ($r^2 = 0.9416$)		6	$y = 2252.7e^{-0.6136x}$ ($r^2 = 0.9695$)
	9	$y = 2087.1e^{0.6775x}$ ($r^2 = 0.9629$)		9	$y = 2201.3e^{0.5999x}$ ($r^2 = 0.9695$)

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

및 저장 처리로 인한 변화를 알아보기 위해 TBA값을 측정하였다(Fig. 2). 감마선 조사 직후부터 조사구는 비조사구에 비해 조사선량이 증가함에 따라 TBA값이 증가하는 것으로 나타나 감마선 조사에 의해 기장 중 지방질이 산화되었음을 보여 주었다. 저장기간에 따른 TBA값의 변화를 보면, 저장 초기에 처리구 간에 뚜렷한 차이를 보이다가 저장 9개월까지 그 일정한 차이를 유지하면서 증가하였다. 따라서 비조사구와 조사구 모두 저장 3개월부터 TBA값이 증가하는 경향으로 보아 저장 중 산패가 진행되고 있음을 알 수 있었다. 저장 온도에 따른 TBA값의 변화는 0°C 저장에 비해 20°C 저장 조건에서 현저하게 나타났다. 이상에서 감마선 조사로 인해 기장의 지방질의 산화가 촉진되었고, 조사선량에 영향을 받음을 알 수 있었다. 일반적으로 감마선 조사에 의한 지방질의 산패는 이온화된 free radical들에 의해 생성되며 조사선량에 의존한다고 보고 되고 있으며(26), 본 실험 역시 조사선량이 증가함에 따라 그 값이 증가하여 선량의존성을 확인할 수 있었다. 이는 Son과 Kim(27)의 감마선 처리한 곡류에 대한 지방질 성분 변화와 Lee 등(28)의 감마선 조사한 두류의 지방질 성분 변화에 대한 연구결과와 유사한 경향이였다.

표면색깔

감마선 조사와 저장 조건에 따른 국산 및 중국산 기장의 색도 변화를 색차계를 이용하여 L, a, b, 및 ΔE 값을 측정하여 Table 3 및 4에 나타내었다. 색깔 변화의 조사선량 의존성을

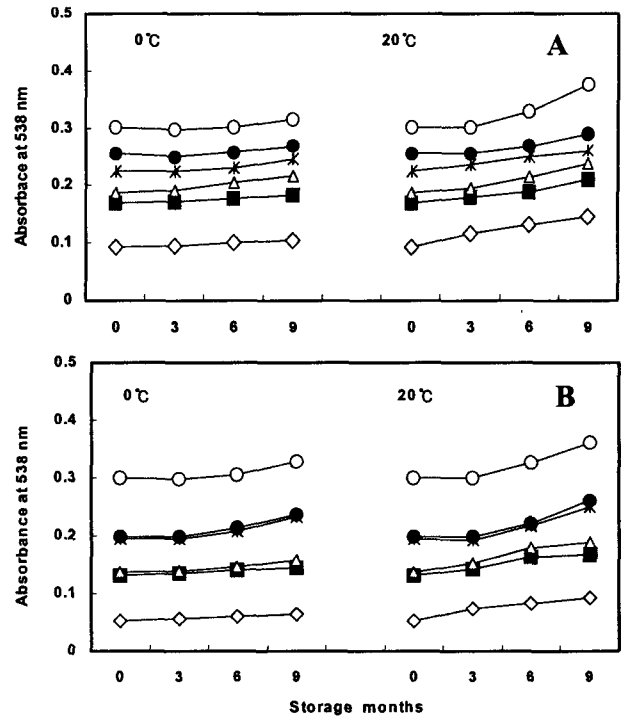


Fig. 2. Changes of TBA value for *Panicum miliaceum* powders from Korea and China during storage at various temperatures for 9 months (A: Korea, B: China). —◇— 0 kGy, —■— 2.5 kGy, —△— 5 kGy, —×— 7.5 kGy, —●— 10 kGy, —○— 15 kGy.

Table 3. Changes of Hunter's color value for irradiated *Panicum miliaceum* powders from Korea during storage at various temperatures for 9 months

Dose (kGy)	Hunter's value ¹⁾	0°C				20°C			
		0	3	6	9	0	3	6	9
0	L	^{B3)} 91.05±0.23 ²⁾⁴⁾	^A 91.08±0.38 ^a	^A 90.88±0.40 ^a	^A 91.13±0.22 ^a	^B 91.05±0.23 ^c	^B 91.64±0.21 ^b	^A 91.64±0.19 ^b	^A 93.04±0.32 ^a
	a	^D -2.89±0.06 ^b	^F -3.04±0.04 ^c	^E -2.89±0.12 ^b	^E -2.71±0.10 ^a	^D -2.89±0.06 ^d	^D -2.59±0.05 ^c	^D -2.05±0.01 ^b	^D -1.40±0.11 ^a
	b	^A +17.21±0.22 ^a	^A +16.76±0.29 ^a	^A +17.00±0.68 ^a	^A +15.56±0.05 ^b	^A +17.21±0.22 ^a	^A +15.17±0.17 ^b	^A +13.29±0.15 ^c	^C +8.50±0.19 ^d
	ΔE	^D 0.00 ^c	^E 0.05 ^b	^D 0.21 ^a	^C 0.22 ^a	^D 0.00 ^d	^D 0.22 ^{bc}	^D 0.09 ^c	^B 0.73 ^a
	15	L	^B 90.47±0.17 ^{bc}	^A 91.11±0.50 ^{ab}	^A 90.32±0.30 ^c	^A 91.35±0.17 ^a	^B 90.47±0.17 ^a	^C 91.07±0.10 ^a	^B 90.76±0.12 ^a
2.5	L	^A 93.22±0.12 ^a	^A 91.17±0.20 ^b	^A 90.61±0.84 ^b	^A 91.15±0.31 ^b	^A 93.22±0.12 ^a	^A 93.48±0.10 ^a	^B 89.99±0.72 ^c	^B 91.85±0.21 ^b
	a	^C -2.47±0.02 ^a	^E -2.68±0.14 ^b	^D -2.57±0.03 ^{ab}	^D -2.43±0.11 ^a	^C -2.47±0.02 ^c	^B -1.49±0.16 ^b	^B -1.38±0.03 ^{ab}	^C -1.30±0.05 ^a
	b	^C +13.17±0.23 ^c	^B +15.94±0.29 ^a	^B +15.60±0.02 ^a	^B +14.90±0.01 ^b	^C +13.17±0.23 ^a	^E +8.62±0.69 ^d	^B +11.41±0.19 ^b	^B +10.49±0.14 ^c
	ΔE	^B 1.47 ^a	^D 0.12 ^d	^C 0.73 ^b	^B 0.32 ^c	^B 1.47 ^b	^D 0.18 ^c	^A 1.99 ^a	^C 0.25 ^c
	10	L	^B 91.01±0.20 ^{ab}	^A 91.16±0.19 ^a	^A 90.51±0.27 ^b	^A 91.13±0.57 ^a	^B 91.01±0.20 ^b	^C 90.81±0.35 ^b	^B 90.56±0.36 ^b
5	L	^B 90.47±0.17 ^{bc}	^A 91.11±0.50 ^{ab}	^A 90.32±0.30 ^c	^A 91.35±0.17 ^a	^B 90.47±0.17 ^a	^C 91.07±0.10 ^a	^B 90.76±0.12 ^a	^C 91.02±0.09 ^a
	a	^C -2.43±0.03 ^b	^D -2.45±0.06 ^b	^C -2.36±0.03 ^b	^C -2.10±0.06 ^a	^C -2.43±0.23 ^d	^C -1.97±0.08 ^c	^C -1.61±0.04 ^b	^{CD} -1.33±0.01 ^a
	b	^B +15.64±0.10 ^a	^C +14.75±0.07 ^b	^B +15.12±0.01 ^b	^C +13.76±0.16 ^c	^B +15.64±0.15 ^a	^B +13.39±0.20 ^b	^{AB} +12.35±0.13 ^c	^A +11.30±0.03 ^d
	ΔE	^C 0.86 ^b	^C 0.38 ^c	^B 1.10 ^a	^B 0.30 ^c	^C 0.86 ^{bc}	^C 0.64 ^c	^C 1.10 ^a	^A 0.98 ^b
	15	L	^A 92.99±0.13 ^a	^A 90.96±0.47 ^{bc}	^A 90.32±0.33 ^c	^A 91.53±0.79 ^b	^A 92.99±0.13 ^a	^D 90.23±0.08 ^c	^B 90.50±0.29 ^c
7.5	L	^A 92.99±0.13 ^a	^A 90.96±0.47 ^{bc}	^A 90.32±0.33 ^c	^A 91.53±0.79 ^b	^A 92.99±0.13 ^a	^D 90.23±0.08 ^c	^B 90.50±0.29 ^c	^{BC} 91.28±0.36 ^b
	a	^A -1.36±0.11 ^a	^B -2.01±0.01 ^c	^B -1.97±0.05 ^c	^B -1.59±0.26 ^b	^A -1.36±0.11 ^{bc}	^B -1.49±0.04 ^c	^A -1.23±0.09 ^{ab}	^A -1.09±0.04 ^a
	b	^E +9.27±0.60 ^c	^E +13.11±0.15 ^a	^C +13.24±0.35 ^a	^D +12.08±0.23 ^b	^E +9.27±0.60 ^c	^C +12.01±0.13 ^a	^B +11.41±0.36 ^{ab}	^A +11.21±0.35 ^b
	ΔE	^C 0.67 ^b	^D 0.49 ^c	^B 1.16 ^a	^A 0.73 ^b	^C 0.67 ^c	^B 1.16 ^b	^B 1.41 ^a	^C 0.27 ^d
	15	L	^B 90.28±1.03 ^b	^A 90.52±0.16 ^{ab}	^A 90.43±0.08 ^{ab}	^A 91.38±0.19 ^a	^B 90.28±1.03 ^b	^C 90.75±0.04 ^{ab}	^B 90.71±0.59 ^{ab}
10	L	^B 90.28±1.03 ^b	^A 90.52±0.16 ^{ab}	^A 90.43±0.08 ^{ab}	^A 91.38±0.19 ^a	^B 90.28±1.03 ^b	^C 90.75±0.04 ^{ab}	^B 90.71±0.59 ^{ab}	^B 91.89±0.81 ^a
	a	^A -1.48±0.02 ^b	^A -1.58±0.06 ^c	^A -1.45±0.05 ^b	^A -1.13±0.01 ^a	^A -1.48±0.02 ^b	^A -1.07±0.03 ^a	^B -1.39±0.07 ^b	^A -1.11±0.15 ^a
	b	^D +11.52±0.25 ^a	^F +11.75±0.16 ^a	^D +11.52±0.30 ^a	^E +10.51±0.19 ^b	^D +11.52±0.25 ^{abD}	^D +10.63±0.13 ^b	^A +12.77±1.28 ^a	^A +11.37±0.15 ^b
	ΔE	^A 1.68 ^a	^A 1.41 ^b	^A 1.53 ^{ab}	^A 0.72 ^c	^A 1.68 ^a	^{AB} 1.33 ^b	^C 1.09 ^c	^D 0.11 ^d
	15	L	^B 90.28±1.03 ^b	^A 90.52±0.16 ^{ab}	^A 90.43±0.08 ^{ab}	^A 91.38±0.19 ^a	^B 90.28±1.03 ^b	^C 90.75±0.04 ^{ab}	^B 90.71±0.59 ^{ab}

¹⁾L: degree of lightness, a: degree of redness, b: degree of yellowness, ΔE: overall color difference.
²⁾Means ± standard deviation. Each value are the average of triplicate determinations and means with different superscript are significantly different (p<0.05).
^{3)A} ^EDuncan's multiple range test for irradiation dose level (column).
^{4)a} ^CDuncan's multiple range test for storage period (row).

Table 4. Changes of Hunter's color value for irradiated *Panicum miliaceum* powders from China during storage at various temperatures for 9 months

Dose (kGy)	Hunter's value ¹⁾	0°C				20°C			
		0	3	6	9	0	3	6	9
0	L	^{A3)} 92.46±0.92 ^{2(a4)}	^B 92.93±0.65 ^a	^{BC} 92.47±0.19 ^a	^C 93.00±0.52 ^a	^A 92.46±0.92 ^a	^A 91.15±0.16 ^a	^{AB} 92.80±0.19 ^a	^{BC} 92.96±0.23 ^a
	a	^E -2.86±0.03 ^b	^E -3.14±0.02 ^d	^E -2.98±0.04 ^c	^E -2.70±0.03 ^a	^E -2.86±0.03 ^c	^C -2.27±0.09 ^b	^C -1.44±0.02 ^a	^C -1.38±0.11 ^a
	b	^B +14.70±0.46 ^a	^A +15.13±0.04 ^a	^A +15.14±0.11 ^a	^A +13.86±0.43 ^b	^B +14.70±0.46 ^a	^B +11.74±0.37 ^b	^C +8.86±0.05 ^c	^B +8.61±0.08 ^c
	ΔE	^F 0.00 ^d	^B 0.54 ^a	^D 0.08 ^c	^B 0.40 ^b	^F 0.00 ^d	^A 1.73 ^a	^E 0.43 ^b	^B 0.30 ^c
2.5	L	^B 90.98±0.19 ^c	^{AB} 93.39±0.19 ^a	^C 92.23±0.22 ^b	^C 93.06±0.31 ^a	^B 90.98±0.19 ^d	^A 91.40±0.05 ^c	^A 93.10±0.19 ^b	^A 93.59±0.21 ^a
	a	^D -2.57±0.04 ^b	^D -2.68±0.02 ^c	^D -2.54±0.08 ^b	^D -2.19±0.03 ^a	^D -2.57±0.04 ^d	^C -2.18±0.04 ^c	^{BC} -1.35±0.04 ^b	^A -1.17±0.01 ^a
	b	^A +15.70±0.24 ^a	^B +13.35±0.13 ^b	^B +13.11±0.11 ^b	^B +11.45±0.15 ^c	^A +15.70±0.24 ^a	^A +13.48±0.04 ^b	^C +8.65±0.08 ^c	^C +8.07±0.02 ^d
	ΔE	^B 1.31 ^a	^C 0.10 ^c	^B 0.47 ^b	^C 0.12 ^c	^B 1.31 ^a	^B 1.25 ^b	^F 0.15 ^d	^B 0.28 ^c
5	L	^A 92.91±0.19 ^a	^B 92.85±0.16 ^a	^A 93.05±0.31 ^a	^{BC} 93.24±0.22 ^a	^A 92.91±0.19 ^b	^A 93.67±0.44 ^a	^{AB} 92.29±0.76 ^{ab}	^A 93.58±0.55 ^b
	a	^C -2.26±0.04 ^c	^C -2.29±0.09 ^c	^C -1.95±0.19 ^b	^C -1.71±0.08 ^a	^C -2.26±0.04 ^c	^B -1.62±0.09 ^b	^A -1.13±0.11 ^a	^B -1.10±0.03 ^a
	b	^C +12.63±0.27 ^a	^C +11.95±0.40 ^{ab}	^C +11.80±0.88 ^{ab}	^B +10.95±0.51 ^b	^C +12.63±0.27 ^a	^C +10.10±0.04 ^b	^C +8.89±0.08 ^c	^B +8.71±0.04 ^c
	ΔE	^E 0.13 ^b	^D 0.02 ^c	^C 0.15 ^b	^C 0.23 ^a	^E 0.13 ^d	^D 0.52 ^b	^B 0.94 ^a	^A 0.33 ^c
7.5	L	^A 92.83±0.17 ^b	^A 93.80±0.69 ^a	^A 93.05±0.40 ^b	^A 94.10±0.32 ^a	^A 92.83±0.17 ^a	^A 93.03±0.15 ^a	^{AB} 92.40±0.28 ^b	^A 93.01±0.12 ^a
	a	^B -1.50±0.01 ^{bc}	^B -1.55±0.07 ^c	^B -1.45±0.04 ^b	^B -1.09±0.04 ^a	^B -1.50±0.01 ^c	^A -1.27±0.06 ^a	^{BC} -1.36±0.03 ^b	^B -1.27±0.05 ^a
	b	^D +9.50±0.03 ^a	^D +9.39±0.44 ^a	^D +9.61±0.37 ^a	^C +8.42±0.41 ^b	^D +9.50±0.03 ^a	^E +8.05±0.14 ^b	^B +9.40±0.17 ^a	^A +9.45±0.11 ^a
	ΔE	^U 0.34 ^c	^A 0.62 ^b	^C 0.11 ^d	^A 0.82 ^a	^U 0.34 ^b	^U 0.28 ^c	^U 0.78 ^a	^U 0.17 ^d
10	L	^C 79.81±0.14 ^c	^{AB} 93.20±0.69 ^{ab}	^{AB} 92.76±0.10 ^b	^{AB} 93.77±0.27 ^a	^C 79.81±0.14 ^c	^A 92.63±0.26 ^a	^B 91.98±0.20 ^b	^C 92.83±0.15 ^a
	a	^B -1.57±0.03 ^b	^B -1.59±0.11 ^b	^B -1.46±0.08 ^b	^B -1.15±0.05 ^a	^B -1.57±0.03 ^c	^A -1.33±0.03 ^b	^B -1.31±0.03 ^b	^A -1.14±0.04 ^a
	b	^{AB} +15.16±0.24 ^a	^D +9.79±0.70 ^b	^D +9.62±0.30 ^b	^C +8.20±0.31 ^c	^{AB} +15.16±0.24 ^a	^D +8.87±0.17 ^d	^A +9.95±0.39 ^b	^A +9.43±0.13 ^c
	ΔE	^A 2.57 ^a	^D 0.06 ^c	^B 0.40 ^b	^B 0.47 ^b	^A 2.57 ^a	^C 0.60 ^c	^A 1.14 ^b	^A 0.35 ^d
15	L	^A 92.80±0.14 ^b	^{AB} 93.15±0.38 ^{ab}	^{AB} 92.74±0.21 ^b	^{BC} 93.37±0.18 ^a	^A 92.80±0.14 ^b	^A 93.57±0.01 ^a	^{AB} 92.31±0.11 ^c	^{AB} 93.35±0.23 ^a
	a	^A -1.09±0.10 ^b	^A -1.32±0.06 ^c	^A -1.22±0.04 ^c	^A -0.95±0.09 ^a	^A -1.09±0.10 ^a	^A -1.21±0.01 ^{ab}	^B -1.31±0.07 ^b	^A -1.14±0.05 ^a
	b	^E +8.15±0.40 ^a	^E +7.62±0.58 ^{ab}	^E +7.48±0.23 ^{ab}	^D +7.10±0.11 ^b	^E +8.15±0.40 ^c	^E +8.26±0.12 ^c	^A +10.03±0.27 ^a	^A +9.49±0.22 ^b
	ΔE	^C 0.90 ^a	^C 0.20 ^c	^A 0.62 ^b	^E 0.02 ^d	^C 0.90 ^a	^E 0.28 ^c	^C 0.80 ^b	^C 0.17 ^d

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

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

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

⁴⁾a-d Duncan's multiple range test for storage period (row).

확인한 결과, 원산지 및 저장온도에 따라 모든 처리구에서 L 값(명도)은 저장 초기 모든 처리구의 값이 뚜렷한 경향 없이 변화하여 조사선량에 따른 유의성이 없었다. 그러나 a 값(적색도)의 경우 조사선량이 증가함에 따라 높게 측정되어 조사선량과의 유의적인 상관관계를 확인하였다. b 값(황색도)의 경우, 각 저장시점에서 조사선량이 증가할수록 그 값은 감소하여 유의성을 나타내었다. 그러나 저장기간의 경과에 따라 L 값의 경우 원산지 및 저장온도에 상관없이 모두 뚜렷한 경향을 보이지 않아 유의적 상관성이 없는 것으로 나타났으나 a 값의 변화는 저장온도에 상관없이 모든 처리구에서 유의적으로 증가하였다. b 값의 변화는 원산지 및 저장온도와 무관하게 증감을 반복하여 유의적이지 않았다. 전반적인 색깔의 변화를 나타내는 ΔE 값의 경우, 저장기간 및 온도 그리고 조사선량과의 일정한 경향을 볼 수 없었다. 따라서 감마선 조사한 기장의 표면 색깔은 저장 온도 및 기간의 경과에 따라 유의적인 변화가 없었으나, 방사선 조사선량에 대해 Hunter a 및 b 값은 의존성이 확인되었다.

총균수 측정

감마선 조사 및 저장조건에 따른 기장의 미생물 농도를 측

정하였다(Table 5). 국산 및 중국산 기장 모두 저장 초기에 비조사구에서 $6.3 \times 10^2 \sim 1.05 \times 10^3$ CFU/g 정도로 측정되었고, 방사선 조사구에서는 미생물이 관찰되지 않았다. 0°C 저장 시 국산 기장의 2.5 kGy 처리구의 경우 6개월 시점부터 미생물이 관찰되었다. 또한 7.5 kGy 이상의 고선량 처리구에서는 저장 중 미생물의 생육이 관찰되지 않았다. 20°C 저장 처리구의 경우 저장 6개월 시점부터 비조사구 및 2.5 kGy 처리구의 미생물 농도가 급격히 증가한 것으로 관찰되었으며, 5 kGy 처리구의 경우 저장 9개월에 미생물의 생육이 확인되었다. 전반적으로 0°C 저장 처리구의 미생물 농도는 20°C 저장 처리구보다 낮은 것으로 나타났다. Howard 등(29)은 1 kGy를 조사한 *pi-code gallo*에서 중온성 미생물의 수가 감소하였고 1주 경과 시 비조사구와 조사구 간의 차이가 유지되었으며 조사구는 계속 낮은 수준의 농도를 유지하여 곡류의 미생물 살균 효과가 있음을 보고하였다. 또한 Yook 등(30)은 알로에 분말과 화분에 대하여 10 kGy의 감마선 조사로써 미생물의 농도를 검출한계 이하로 사멸시킬 수 있었다고 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 것으

Table 5. Changes of total plate counts for irradiated *Panicum miliaceum* powders during storage at various temperatures for 9 months (unit: CFU/g)

Origins	Dose (kGy)	0°C				20°C			
		0	3	6	9	0	3	6	9
Korea	0	¹⁾ 1.05×10 ³	2.0×10 ³	2.5×10 ³	4.85×10 ⁵	1.05×10 ³	4.86×10 ³	2.0×10 ⁵	2.06×10 ⁶
	2.5	-	-	2×10 ²	3.5×10 ²	-	-	10 ¹	8×10 ²
	5	-	-	-	-	-	-	-	7.1×10 ²
	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-	-	-
China	0	6.3×10 ²	7.0×10 ²	8.75×10 ³	1.6×10 ³	6.3×10 ²	8.75×10 ²	10 ³	10 ⁴
	2.5	-	-	-	5.5×10 ²	-	-	-	1.5×10 ²
	5	-	-	-	10 ²	-	-	-	10 ²
	7.5	-	-	-	-	-	-	-	10 ²
	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-	-	-

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

로 알려져 있다(31).

요 약

감마선 조사한 국산 및 중국산 기장의 저장 중 감마선 조사 여부 확인 가능성과 품질 변화를 확인하였다. 점도 측정법을 이용한 검지가능성 시험에서 시료의 점도는 조사선량에 따라 감소하였고, 0°C 및 20°C에서 9개월 간 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 r²가 0.92 이상으로 높게 나타나 조사 여부의 검지에 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 한편 TBA값은 감마선 조사 선량과 저장기간에 따라 유의적으로 증가하였다. Hunter color a 및 b 값은 저장기간에 상관없이 조사선량과 유의적인 상관을 나타내었다. 이상과 같이 specific parameter를 이용한 점도 측정법은 방사선 조사 후 저장 중에도 조사 여부의 screening에 적용이 가능할 것으로 판단되며, TBA값의 측정은 판정의 정확도를 높여주는 보조수단으로 기대되었다.

감사의 글

본 논문은 농림기술개발사업의 일환으로 수행된 연구의 일 부로써 지원에 감사 드립니다.

문 헌

1. Thayer DW. 1994. Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technol* 48: 58-57.
2. Codex. 1984. Alimentarius commission. Codex general standard for irradiated foods and recommended international code of practice for the operation of radiation facilities used for the treatment of foods. CAC/VOL. XV. FAO. Rome.
3. FDA. 18 April 1986. Irradiation in the production, processing

and handling of food final rule. Department of health and human services part III. Federal Register 21 CFR part 179.

4. Byun MW. 1997. Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci Ind* 30: 89-100.
5. Chung HW, Jeong J, Kwon JH. 1999. Potential detection of irradiated dried agricultural products by viscosity measurement. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 1082-1086.
6. Kwon JH, Chung HW, Byun MW. 2000. ESR spectroscopy for detecting gamma-irradiated vegetables and estimating absorbed doses. *Rad Phys Chem* 57: 319-324.
7. Kim HK, Kang DS, Choi MG, Kwon JH. 2001. Detection of irradiated cereals from Korea and China by viscometric method. *Korean J Food Sci Technol* 33: 645-650.
8. Yang JS. 1997. Methods for identification of irradiated foods. *J Food Hyg Safety* 12: 160-174.
9. Kim SM, Park E, Yang JS, Kang MH. 2002. Changes of DNA fragmentation by irradiation doses and storage in gamma-irradiated fruits. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 594-598.
10. Crone AV, Hamilton JH, Stevenson MH. 1992. Effect of storage and cooking on the dose response of 2-dodecylcyclobutane, a potential marker for irradiated chicken. *J Sci Food Agric* 58: 249-259
11. Kwon JH, Chung HW, Byun MW, Kang IJ. 1998. Thermoluminescence detection of Korean traditional foods exposed to gamma and electron-beam irradiation. *Rad Phys Chem* 52: 151-156.
12. Yi SD, Chang KS, Yang JS. 2001. Trial to identify irradiated corn powder by viscometric and pulsed photostimulated luminescence (PPSL) methods. *J Food Hyg Safety* 16: 82-87.
13. The Korean Society of Foods Science and Nutrition. 2000. *Handbook of experiments in food science and nutrition*. p 709-712.
14. Hayashi T, Todoriki S, Okadome H, Kohyama K. 1995. Conditions of viscosity measurement for detecting irradiated peppers. *Radiat Phys Chem* 45: 665-669.
15. Hayashi T, Todoriki S, Koyama M. 1993. Application of viscosity measuring method to the detection of irradiated spices. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 40: 456-460.
16. 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.
17. Turner EW, Payner WD, Montie EJ, Bessert MW, Struck GM, Olson FC. 1954. Use of the 2-thiobarbituric acid reagent to measure rancidity in frozen pork. *J Agric Food Chem* 8:

- 326-329.
18. APHA. 1976. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. Speck M, ed. American Public Health Association, Washington, DC.
 19. SAS. 1994. *User's guide version 6*. 4th ed. SAS institute Inc., Cary, NC. p 209-243.
 20. 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.
 21. Yi SD, Oh MJ, Yang JS. 2000. Detection for irradiated cereals by maximum viscosity in amylograph. *Food Sci Biotechnol* 9: 73-76.
 22. Sokhey AS, Hanna MA. 1993. Properties of irradiated starches. *Food Structure* 12: 397-410.
 23. MacArthur CA, DAppolonia BL. 1984. Gamma radiation of wheat. II. Effect of low-dosage radiations on starch properties. *Cereal Chem* 61: 321-326.
 24. Malcolm CB. 1982. *Food texture and viscosity*. Academic press, Inc., New York, USA. Vol 3, p 204-207.
 25. Fernema OR. 1988. *Food Chemistry*. 3rd ed. Marcel Dekker, Inc., New York, USA. p 110-120
 26. Diehl JF, Adam S, Delincée H, Jakubick C. 1978. Radiolysis of carbohydrates and carbohydrate containing food stuffs. *J Agric Food Chem* 26: 15-17.
 27. Son IS, Kim M. 1999. Storage stability of barleys irradiated by gamma-ray. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 1076-1081.
 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. Howard LR, Miller GH, Jr, Wagner AB. 1995. Microbiological, chemical, and sensory changes in irradiated *Pico De Gallo*. *J Food Sci* 60: 461-464.
 30. Yook HS, Chung YJ, Kim OJ, Kim S, Byun MW. 1997. Effects of ionizing energy and ozone treatments on the microbial decontamination and physicochemical properties of aloe powders and bee pollen. *J Food Sci Nutr* 2: 89-95.
 31. Byun MW. 1995. Radurization and radication of spices. *Korean J Food Sci Technol* 17: 311-318.

(2003년 2월 10일 접수; 2003년 4월 16일 채택)