KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL. Vol. 33, No. 6, pp. 645~650 (2001)

KOREAN JOURNAL OF
한국식품과학회지
FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY
©The Korean Society of Food Science and Technology

# 국산 및 중국산 곡류(기장 및 수수)의 감마선 조사 여부 검지를 위한 점도측정

김현구* · 강덕순 · 최맑음 · 권중호[1]
한국식품개발연구원, [1]경북대학교 식품공학과

# Detection of Irradiated Dried Cereals from Korea and China by Viscometric Method

**Hyun-Ku Kim*, Deog-Sun Kang, Mal-gum Choi and Joong-Ho Kwon[1]**
*Korea Food Research Institute*
*[1]Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University*

**A study was carried out to establish the detection method for irradiated cereals. Cereals were ground and irradiated at 2.5, 5.0, 7.5, 10, 15 kGy using a $Co^{60}$ irradiator. The viscosities decreased in all samples by increasing irradiation dose. The viscosity of the *Panicum millaceum* (Korean) and *Andropogon sorghum* (Korean) paste dropped from 143.38 ± 0.44 and 35.92 ± 1.90 in the control to 6.60 ± 1.16 and 3.86 ± 0.32, respectively, in the samples irradiated at 15 kGy. These trends were similar to samples from china. Regression equation and coefficients of viscosity of *Panicum millaceum* (Korean and China) and *Andropogon sorghum* (Korean and China) were 0.80 (y = –27.789x + 150.17), 0.98 (y = –3.367x + 88.93), 0.84 (y = –6.0466x + 35.49) and 0.84 (y = –13.346x + 101.67) 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 irradiated ones. These results suggest that the detection of irradiated cereals at various doses using viscometric methods is possible.**

**Key words:** Irradiation, detection, cereal, viscosity, specific parameter

## 서 론

방사선은 물질을 통과할 때 물질의 원자나 원자단, 분자들을 전리시켜 이온을 생성하게 되는데 이와 같은 성질은 지닌 방사선을 전리방사선(ionizing radiation)이라 한다. γ선, 전자선, X선, 자외선, α선, 중성자선 등이 이에 포함된다[1]. γ선은 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[2]. 이러한 γ선의 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[3].

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[4]. 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 위생처리기술 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[5]. 국내에서는 1960년대부터 식품의 방사선 조사에 관한 연구가 시작되었다. 초기의 조사대상품목은 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 확대되

*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

었다. 그러나 방사선 조사식품이 본격적으로 생산되고 있는 현실에서는 방사선 조사 식품에 대한 소비자들의 신뢰를 높이기 위해 표시 규정(labeling)을 확립할 필요가 있으며 표시 규정을 확립하기 위해 방사선 조사 여부 검지 방법이 요구된다. 특히, 최근 WTO 체제하에서 식품의 교역이 크게 늘어날 것을 전망한다면 방사선 조사 여부 검지 방법이 국가간의 교역 증진에 크게 기여할 것으로 기대한다[6]. 현재 국내에서 사용중인 방사선 조사 여부 검지방법으로는 물리적, 화학적 및 생물학적 방법으로 PPSL[7], TL[8,9], hydrocarbon 또는 2-alkylcyclobutanone 과 같은 지방 유도 방사선 물질을 검사는 G.C방법[10], electron spin resonance(ESR)방법, DNA comet assay[11] 등이 있으며 기타 검지 방법으로 viscosity 측정, ELISA법 등이 있다. 이 중 viscosity 측정은 방사선 조사된 식품 중에 다량 함유된 다당류가 방사선 조사에 의하여 단당류로 변화됨과 동시에 용해도가 증가하고, 팽윤력과 점도가 감소하므로 점도를 측정하므로서 방사선 조사 여부와 조사선량을 간접적으로 추정할 수 있는 방법[12]으로 방사선 조사된 후추가루[13], 양파[14], 감자, 고구마, 옥수수[15], 쌀, 보리[16] 등과 같은 식품의 방사선 조사 유무를 확인하는 검출 기술로서 연구가 진행되어 왔다.

본 실험에서는 국내산 및 중국산의 기장 및 수수를 대상으로 방사선 조사 유무를 확인할 수 있는 최적 검지법의 확립을 위하여 점도를 측정하여 방사선 조사 여부 및 조사선량과의 상관관계를 확인하려 하였다.

## 재료 및 방법

### 시료

본 실험에서는 국산 및 중국산의 기장(*Panicum miliaceum*)과 수수(*Andropogon sorghum*)를 시료로 사용하였다. 기장과 수수는 건조된 상태로 구입하였고 각각 약 500 μm 크기로 분쇄하여 사용하였다.

### 방사선 조사

시료의 감마선 조사는 그린피아의 $^{60}Co$ 감마선 조사시설을 이용하여 실온에서 시간당 일정 선량률로 2.5~15.0 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며 조사된 시료는 대조시료와 함께 분말상태로 밀봉하여 실온에서 보관하면서 점도 측정 시료로 사용하였다.

### 전분함량 측정

시료의 전분 함량은 Somogyi 변법[17]을 이용하여 전당 함량을 3반복 측정한 후 전분 계수 0.9를 곱하여 구하고 평균값으로 나타내었다.

### 점도 측정

시료의 점도는 Hayashi 등의 방법[18]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 10%(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 젤화를 용이하게 하기 때문이다[14]. 따라서 감마선 조사 직후 증류수를 가하여 조제한 10%(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 전단속도를 50, 150 및 300 $sec^{-1}$으로 하여 반복 측정하였다.

### Specific parameter(Threshold value) 설정 실험

방사선 조사식품의 검지법은 비조사 대조구가 없는 상태에서도 미지 시료의 조사여부 확인이 가능한 방법이어야 한다[18]. Hayashi 등은 전분과 같은 고분자는 gel화 특성에 크게 영향을 주기 때문에 각 시료의 점도를 전분함량에 대해 표준화시켜준다면 더 정확한 점도값을 얻을 수 있으며 시료의 표준화된 parameter는 조사여부를 결정함에 있어서 대조시료(nonirradiated control)가 없이도 구별이 가능하며[18] 점도값 자체보다도 조사여부를 검지 하는데 더 유의적이라고 보고하였다[14]. 따라서 각 시료의 전분함량과 점도 측정값를 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 전단속도를 50 $sec^{-1}$, 150 $sec^{-1}$, 300 $sec^{-1}$으로 하여 전단속도에 따른 조사·비조사 구간의 조사 의존성을 확인하였다.

$$\text{Specific parameter} = \frac{\text{viscosity of 10\% suspension (mPa} \cdot \text{s)}}{\text{starch content in 1 g of sample(g)} \times \text{viscosity of 5\% starch(mPa} \cdot \text{s)}}$$

### 실험 결과 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

### 기장의 점도 변화

방사선 조사 여부의 검지를 위한 검체 식품의 점도 측정은 피조사체 식품 내의 다당류 즉, starch, pectin, cellulose 등이 방사선 조사에 의해 분해되어 점도가 변화되는 원리를 이용하는 것이다[20].

국산 기장에 대한 방사선 조사에 따른 결과는 Table 1과 같다. 즉, 국산 기장에 0(Control), 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0 kGy의 방사선을 조사하였을 때 그 점도가 50 rpm에서 각각 143.38±0.44, 108.98±2.04, 23.64±1.90, 21.36±0.50, 13.50±0.80 및 6.60±1.16으로 방사선 조사된 시료와 조사안 된 시료간의 차이가 뚜렷하였으며 방사선 조사량이 클수

**Table 1. Viscosity of irradiated *Panicum miliaceum* prepared with an 10% concentration at various doses and rpms** (Unit: mPasec)

| Shear rate ($s^{-1}$) | Oringin | Irradiation doses(kGy) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 2.5 | 5.0 | 7.5 | 10.0 | 15.0 |
| 50 | Korea | 143.38±0.44[1)a2)] | 108.98±2.04[b] | 23.64±1.90[c] | 21.36±0.50[c] | 13.5 ±0.86[d] | 6.60±1.16[d] |
| | China | 85.34±1.94[a] | 83.54±1.34[b] | 77.92±3.54[c] | 75.00±1.90[c] | 71.56±1.67[c] | 69.54±0.12[d] |
| 150 | Korea | 105.98±2.60[a] | 70.67±0.42[b] | 22.49±0.95[c] | 16.19±0.98[c] | 9.27±0.48[d] | 8.38±0.12[d] |
| | China | 49.53±0.37[a] | 48.43±0.15[b] | 45.59±0.23[c] | 44.05±0.17[c] | 43.81±0.09[d] | 42.97±0.13[d] |
| 300 | Korea | 57.44±0.36[a] | 46.89±3.57[b] | 15.24±0.76[c] | 9.57±1.73[d] | 6.02±0.01[d] | 5.16±0.16[d] |
| | China | 28.80±0.22[a] | 27.60±0.14[b] | 26.06±0.07[c] | 25.39±0.04[d] | 24.82±0.03[d] | 24.78±0.05[d] |

[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($p<0.05$)

**Table 2. Viscosity of irradiated *Andropogon sorghum* prepared with an 10% concentration at various doses and rpms** (Unit: mPasec)

| Shear rate ($s^{-1}$) | Oringin | Irradiation doses(kGy) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 2.5 | 5.0 | 7.5 | 10.0 | 15.0 |
| 50 | Korea | 35.92±1.90[1)a2)] | 21.96±1.02[b] | 11.04±0.86[c] | 7.06±1.16[c] | 6.20±0.22[c] | 3.86±0.32[d] |
| | China | 90.44±3.05[a] | 79.34±1.5[b] | 32.84±2.18[c] | 13.76±0.74[d] | 13.36±1.70[d] | 13.02±0.94[d] |
| 150 | Korea | 35.68±0.71[a] | 17.49±0.64[b] | 6.69±0.40[c] | 6.79±0.46[c] | 5.08±0.17[d] | 3.32±1.14[d] |
| | China | 58.19±0.66[a] | 50.29±0.60[b] | 18.16±0.38[c] | 14.29±0.17[c] | 11.98±0.52[c] | 8.66±0.23[d] |
| 300 | Korea | 24.18±0.29[a] | 12.53±1.28[b] | 5.08±0.67[c] | 4.61±0.08[d] | 3.41±0.24[d] | 2.67±0.15[d] |
| | China | 39.24±0.52[a] | 34.65±0.65[b] | 15.20±0.37[c] | 11.73±0.33[d] | 9.79±0.29[d] | 6.68±0.28[d] |

[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($p<0.05$)

록 그 점도가 현저하게 낮아짐을 알 수 있었다. 또한 300 rpm에서도 57.44±0.36, 46.89±3.57, 15.24±0.76, 9.57±1.73, 6.02±0.01 및 5.16±0.16으로 50 rpm에서와 마찬가지로 방사선 조사량이 커질수록 점도가 낮아졌으나 조사량간의 차이가 작으므로 50 rpm에서 점도를 측정하는 것이 조사량과 점도간의 관계를 비교하기에 적당하다. 2.5 kGy로 방사선 조사한 국산 기장에 대해서 50, 150 및 300 rpm으로 달리하여 점도를 측정하였을 때 각각 108.98±2.04, 70.67±0.42 및 46.89±3.57으로 rpm이 커질수록 점도가 작아짐을 알 수 있었다.

중국산 기장에 대한 방사선 조사에 따른 점도의 결과는 Table 1과 같다. 즉, 50 rpm에서 측정된 중국산 기장의 점도가 control일때 85.34±1.94이고 2.5 kGy로 조사했을 때 83.54±1.34로 그 점도의 차이는 작았으나 유의적이었으며 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0 kGy의 조사 수준에서 각각 77.92±3.54, 75.00±1.90, 71.56±1.67 및 69.54±0.12로 조사량이 높아짐에 따라 그 점도가 작아짐을 알 수 있었다. 또한 150 및 300 rpm에서 점도를 측정했을 때 보다 50 rpm에서 측정했을 때 조사량간의 차이가 더 크게 나타내므로 50 rpm에서 점도를 측정하는 것이 적당하다. 이와 같은 결과는 이 등[21]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 경향이였다. Sokhey와 Hanna[22]는 곡류의 점도 감소는 감마선에 의한 free radical의 생성에 의한 것이라고 설명하였는데 방사선에 의해 곡류의 starch 분자의 물리적 및 물성적 변화의 영향으로 free radical이 증가하는 것과 같다고 보고하였다.

### 수수 점도의 변화

국산 수수에 대한 방사선 조사에 따른 점도의 결과는 Table 2와 같다. 즉, 50 rpm에서 측정된 국산 수수의 점도가 0(Control), 2.5 kGy의 조사 수준에서 각각 35.92±1.90, 21.96±1.02로 조사된 수수와 조사되지 않은 수수의 점도 차이는 볼 수 있었으나 5.0 kGy이상에서는 각각 11.04±0.86, 7.06±1.16, 6.20±0.22 및 3.86±0.32로 유의적 차이를 나타내지 않았다. 150 및 300 rpm에서도 마찬가지로 방사선 조사된 수수와 조사되지 않은 수수간의 점도 차이는 볼 수 있었으나 5.0 kGy 이상에서는 점도의 차이가 매우 적으므로 5.0 kGy 이상에서는 국산 수수의 조사량과 점도의 상관관계를 보기가 어렵다. 또한 2.5 kGy로 조사된 국산 수수의 50, 150 및 300 rpm에서의 각각의 점도는 21.96±1.02, 17.49±0.64 및 12.53±1.28로 shear rate간의 점도의 차이가 크지 않음을 알 수 있었으며 15.0 kGy로 조사량이 커질수록 그 차이는 더욱 작게 나타났다.

중국산 수수에 대한 방사선 조사량에 따른 점도 변화의 결과는 Table 2와 같다. 즉, 0(Control), 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 및 15.0 kGy의 방사선 조사한 중국산 수수의 점도가 50 rpm에서 각각 90.44±3.05, 79.34±1.5, 32.84±2.18, 13.76±0.74, 13.36±1.70, 13.02±0.94로 방사선 조사된 수수와 조사 안된 시료간의 점도의 차이가 현저하게 나타났으며 조사량이 커질수록 점도가 점점 낮아짐을 알 수 있었으며 국산 수수와는 달리 5.0 kGy이상에서도 조사량간의 점도의 차이는 유의적으로 나타났다. 또한 모든 조사량에서 전단속도를 300 rpm으로 증가시킴에 따라 조사량간의 점도 차이가 작으므로 50

**Table 3. Regression equation and coefficients of Panicum miliaceum and Andropogon sorghum between irradiation dose and viscosity at various rpms**

| Shear rate ($s^{-1}$) | *Panicum miliaceum* | | *Andropogon sorghum* | |
|---|---|---|---|---|
| | Korea | China | Korea | China |
| 50 | $y = -27.78x + 150.17$<br>$R^2 = 0.80$ | $y = -3.36x + 88.93$<br>$R^2 = 0.98$ | $y = -6.04x + 35.49$<br>$R^2 = 0.84$ | $y = -13.34x + 101.67$<br>$R^2 = 0.84$ |
| 150 | $y = -19.38x + 106.68$<br>$R^2 = 0.82$ | $y = -1.37x + 50.55$<br>$R^2 = 0.93$ | $y = -5.68x + 32.40$<br>$R^2 = 0.74$ | $y = -10.47x + 63.57$<br>$R^2 = 0.83$ |
| 300 | $y = -11.34x + 62.35$<br>$R^2 = 0.83$ | $y = 0.83x + 29.15$<br>$R^2 = 0.91$ | $y = -3.86x + 22.28$<br>$R^2 = 0.75$ | $y = -6.88x + 43.6$<br>$R^2 = 0.87$ |

y: viscosity x: irradiation dose

rpm에서 점도를 비교하는 것이 더 효과적 이였다. 이와 같은 결과는 Komiya 등[23]에 의한 방사선 조사 증가에 따라 감자 및 옥수수 전분의 점도가 감소된다는 보고와 동일한 결과였다. Koksel 등[24]은 방사선 조사된 밀의 딱딱함 및 견고함이 대조구에 비해 강도가 낮음을 보고하였으며 MacArthur 등[25]은 방사선 조사에 의한 곡류의 강도 감소가 분자사이의 수소결합의 파괴뿐만 아니라 전분 입자의 파괴 때문이라고 보고하였다.

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[26]. 특히 감마선 조사에 의해 생성된 free radical은 전분 분자내부의 수소결합을 분리하여 전분 chain의 변형과 절단을 일으켜 분자크기를 감소시키므로 점도는 감소하게 된다[21]. 또한 감마선 조사선량이 증가하면서 점도가 낮아지는 것은 carbohydrate 내의 free radical의 강도가 증가하기 때문인 것으로 보고되고 있다[21]. 따라서 점도 측정법은 starch 함량이 많은 식품류의 방사선 검지법으로 제안되고 있다[15,27].

### 조사량과 점도간의 회귀분석

방사선 조사된 기장 및 수수의 회귀식 및 회귀계수가 Table 3과 같다. 즉, 50 rpm에서 국산 및 중국산 기장의 회귀 계수가 각각 0.80($y = -27.78x + 150.17$) 및 0.98($y = -3.36x + 88.93$)로 국산보다 중국산 기장이 점도와 조사량간의 높은 상관성을 나타내었다. 국산 및 중국산 수수의 회귀계수는 각각 0.84($y = -6.04x + 35.49$) 및 0.84($y = -13.34x + 101.67$)로 기장보다는 낮은 상관성을 나타내었다.

### Specific parameter의 변화

Hayashi 등은 전분과 같은 고분자는 gel화 특성에 크게 영향을 주므로 각 시료의 점도를 전분함량에 대해 표준화시켜준다면 더 정확한 점도값을 얻을 수 있으며 시료의 표준화된 parameter는 점도값 자체보다도 조사여부를 검지 하는데 더 유의적이라고 보고하였다[14]. 따라서 각 곡류의 전분함량과 점도 측정값를 이용하여 방사선 조사 선량(kGy)에 따라 specific parameter를 구하고 이 때 전단속도를 50 rpm, 150 rpm, 300 rpm으로 하여 이에 따른 specific parameter 변화로 조사 · 비조사구간의 조사의존성을 확인하였다.

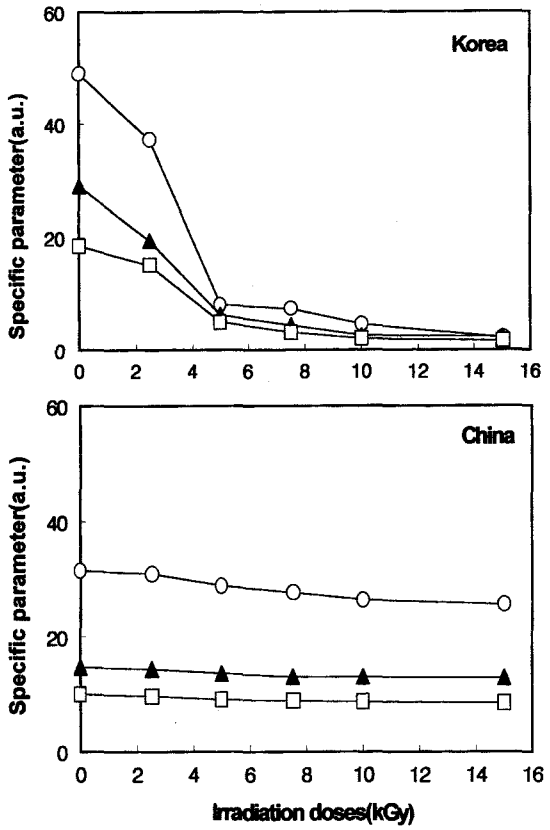


**Fig. 1. Changes in specific parameters of irradiated *Panicum miliaceum* powder by measuring viscosity at various rpms.**
○ - ○ ; 50 rpm, ▲ -▲ ; 150 rpm, □ - □ ; 300 rpm.

국산기장은 각 rpm에서 specific parameter가 조사선량이 증가할수록 감소하였는데 비교적 높은 유의성을 나타내어 선량의존성이 있음을 알 수 있었다(Fig. 1). 또한 rpm이 증가할수록 specific parameter는 모든 선량에서 감소하였고 그 경향은 유사하였다. 특히 50 rpm에서 유의성이 가장 크게 나타나($R^2 = 0.9117$) 낮은 rpm일수록 조사 · 비조사구간의 조사여부 확인이 뚜렷하였다. 이러한 결과로 국산 기장의 경우 비조사구와 조사구간의 threshold value(specific parameter)를 이용한 방사선 조사여부의 확인이 가능할 것으로 여겨진다. 중국산 기장의 경우 모든 rpm에서 조사량이 증가하면 specific parameter가 감소하였으나 조사선량 증가에 따른 그 변화가

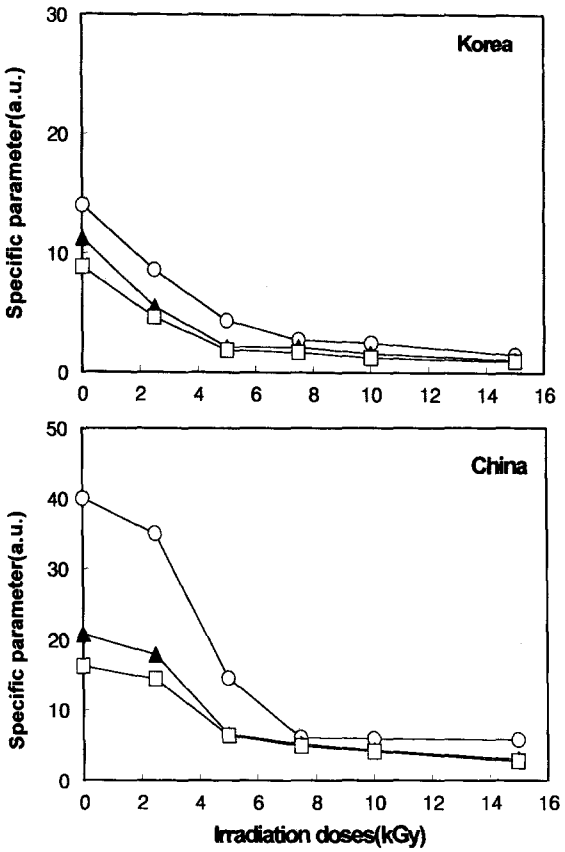


**Fig. 2. Changes in specific parameters of irradiated *Andropogon sorghum* powder by measuring viscosity at various rpms.**
○ - ○ ; 50 rpm, ▲ -▲ ; 150 rpm, □ - □ ; 300 rpm.

국산에 비해 작게 나타나 조사여부 확인을 뚜렷이 알아볼 수가 없었다(Fig. 1). 이는 점도측정시 조사선량에 따른 점도의 감소가 국산에 비해 작게 나타난 결과로 인한 것이다.

국산 수수의 specific parameter는 모든 rpm에서 조사선량이 증가할수록 급격히 감소하여 선량의존성이 크게 나타났다(Fig. 2). 또한 rpm이 증가할수록 specific parameter는 모든 조사선량에서 작게 나타났는데 50 rpm에서 유의성이 가장 크게 나타나 낮은 rpm에서 specific parameter의 선량의존성이 크다고 할 수 있다. 50 rpm에서 300 rpm으로 증가함에 따라 그 값은 모두 감소하였는데 이는 전단속도가 증가하면서 점도가 감소하는 이유이다. 중국산 수수는 역시 모든 rpm에서 조사선량이 증가할수록 specific parameter는 거의 비례적으로 감소하는 경향을 보여 선량의존성이 크게 나타났다(Fig. 2). 이러한 결과로 비조사구와 조사구간의 threshold value(specific parameter)를 이용한 수수의 방사선 조사여부의 확인이 가능할 것으로 기대된다.

Hayashi 등의 보고[26]에서와 같이 점도와 전분함량의 일관된 parameter는 방사선 조사 처리된 spice류에 있어 점도값 자체보다 더 유용하며 이는 조사처리에 의한 점도변화에 전분이 크게 관여하고 전분함량과 관계 있는 재배지역의 영향을 배제할 수 있기 때문에 기장 및 수수와 같이 전분함량이 많은 곡류는 specific paramter를 설정하여 점도법에 의한 곡류의 방사선 조사여부 확인이 가능할 것으로 기대된다.

## 요 약

방사선 조사된 국산 및 중국산 기장(*Panicum millaceum*)과 수수(*Andropogon sorghum*)를 대상으로 점도를 측정함으로써 방사선 조사 여부확인 방법을 연구하였다. 50 rpm에서 비조사된 국산 기장과 수수의 점도가 각각 143.38±0.44 및 35.92±1.90인 것에 반해 15 kGy로 조사된 기장과 수수의 점도는 각각 6.60±1.16 및 3.86±0.32로 크게 낮아졌다. 이런 경향은 중국산 기장과 수수도 유사한 경향을 나타내었으며 shear rate를 증가시킴에 따라 점도가 낮아짐을 확인하였다. 50 rpm에서 국산 및 중국산 기장의 회귀식 및 회귀계수는 각각 0.80(y = −27.78x+150.17) 및 0.98(y = −3.36x+88.93)이고 국산 및 중국산 수수의 회귀식 및 회귀계수는 각각 0.84(y = −6.046x+35.49) 및 0.84(y = −13.34x+101.67)이었다. 점도측정값과 전분함량을 이용한 specific parameter를 구한 결과 감마선 조사선량의 증가에 따른 비례적인 감소를 보였다. 50 rpm에서 국산 수수 및 기장에 대한 비조사구의 specific parameter는 14.06 및 49.10 이었고 2.5 kGy 처리구의 값은 8.59 및 37.32로 유의적으로 감소하였으며 중국산 곡류 역시 유사하게 나타났다. 이와 같은 점도 및 specific parameter의 유의적인 변화는 점도측정법이 전분의 방사선 조사 여부를 검지하는 방법으로 적용 가능함을 나타내었다.

## 문 헌

1. Rhu, J.W. Food storage by the irradiation. Food storage, Sejin, pp. 250-280 (1998)
2. Rahman, M.S. Handbook of food preservation. pp. 47 Marcel Dekker, Inc., New York, USA (1999)
3. Sharma, A. Padwal-desai, S.P. and Nair, P.M. Alfatoxin-producing ability of spores of *Aspergillus parasiticus* exposed to gamma radiation. J. Food Sci. 55: 275-276 (1990)
4. WHO Wholesomeness of irradiated food, WHO technical report series, pp. 604: Geneva, Swizerland (1977)
5. Dienl, T.F. Safety of irradiated foods, pp. 339-352: Marcel Delker, Inc., New York, USA (1995)
6. Beison, J. IOUs position on food irradiation. Paper given to the UNDP/FAO/IAEA Workshop on public information of food irradiation, pp. 27-31: Bangkok (1991)
7. Yi. S.D. and Yang, J.S. The application of a pulsed photostimulated luminescene(PPSL) method for the detection of irradiated foodstuffs. J. Food Sci. Nutr. 5: 136-141 (2000)
8. Schreiber, G.A., Ziegelmam, B., Quitzsch, Helle, N. and Bogi, K.W.: Luminescece techniques to identify the treatment of foods by ionizing radiation. Food Structure, 12: 385-395 (1993)
9. Chung, M.W. and Kwon, J.H. Dectection of irradiation treatment for seasoned-powdered foods by thermoluminescence measurement. Korean J. Food Sci. Technol., 30: 509-516 (1998)
10. Crone, A.V., Hamilton, J.T.G. and Stevenson, M.H. Effect of storage and cooking on the dose response of 2-dodecylcyclobutanone, a potential marker for irradiated chicken. J. Sci. Food Agric., 58: 249-259 (1992)
11. 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)
12. Handbook of experiments in food science and nutrition, pp. 709-712: the korean society of food science and nutrition (2000)
13. 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)
14. 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)
15. 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)
16. Hayashi, T., Todoriki, S. and Kohyama, K.: Irradiation effects on pepper starch viscosity. J. Food Sci., 59: 118-120 (1994)
17. Kobayashi, T., Tabuchi, T. Amethod employing a tribasic sodium phosphate buffered reagent for estimating semimicro quantites of reducing sigars. J. Agr. Chem. Soc. Japan, 28: 171-174 (1954)
18. Hayashi, T., Todoriki, S., Okadome, H. and Kohyama, K. Conditions of viscosity measurement for detecting irradiated peppers. Radiat. Phys. Chem., 45: 665-669 (1995)
19. SAS User's guide version 6. 4th ed., pp. 209-243: SAS institute Inc., Cary, NC, 1, (1994)
20. Hayashi, T. and Kawashima, K. The effect of gamma-irradiation on the sucrose content in sweet potato roots and potato tubes, Agric. Biol. Chem., 46: 1475-1479 (1982)
21. 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)
22. Sokhey, A.S. and Hanna, M.A. Properties of irradiated starches, Food Structure, 12: 397-410 (1993)
23. 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 (1982)
24. Koksel, H., Celik, S. and Tuncer, T. Effects of gamma irradiation on durum wheats and spaghetti quality. Creal Chem., 73: 506 (1996)
25. MacArthur, C.A. and DAppolonia, B.L. Gamma radiation of wheat. II. Effect of low-dosage radiations on starch properties. Cereal Chem., 61: 321 (1984)
26. Roushi, M., Harras, A., El-meligi, A. and Bassim, M. Effect of high doses of gamma rays on corn grains. Staerke. 35: 15-21(1983)
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 17일 접수)