

## 현미의 방사선 처리여부 판별을 위한 점도측정법의 검증

이정은 · 조덕조<sup>1</sup> · 최맑음<sup>1</sup> · 김현구<sup>2</sup> · 김정숙<sup>3</sup> · 권중호<sup>1\*</sup>

CJ 제일제당 식품안전팀, <sup>1</sup>경북대학교 식품공학과, <sup>2</sup>한국식품연구원, <sup>3</sup>계명문화대학 식품영양조리학부

### Verification of Viscosity Measurement for Identifying Irradiated Brown Rice

Jeongeun Lee, Deokjo Jo<sup>1</sup>, Mal-Gum Choi<sup>1</sup>, Hyun-Ku Kim<sup>2</sup>, Jeong-Sook Kim<sup>3</sup>, and Joong-Ho Kwon<sup>1\*</sup>

Food Safety Center, CJ Cheiljedang Corporation

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

<sup>2</sup>Korea Food Research Institute

<sup>3</sup>Department of Food Nutrition & Culinary, Keimyung College

**Abstract** Brown rice of Korea and China was irradiated at doses ranging from 0 to 15 kGy to verify the identification properties of viscosity measurement by determining the relationship between starch content and specific parameters. The starch contents of brown rice were 71.52 and 64.58% for rice of Korea and China, respectively. Additionally, a higher starch content was associated with a higher viscosity. The viscosity and the corresponding specific parameters decreased significantly as the irradiation dose increased, and these changes were influenced by the spindle speed (50, 150, 300 rpm), with a higher effect being observed at lower speeds. The determination coefficients ( $R^2$ ) describing the relationship between irradiation dose and viscosity values ranged from 0.9423 to 0.9567 in Korean samples and from 0.9119 to 0.9387 in Chinese samples. The viscosity and the corresponding specific parameters enabled identification of the non-irradiated and irradiated brown rice from 30 unknown samples with an accuracy of 90%. Based on these findings, the viscosity and specific parameters can be applied as an additional tool for screening of irradiated brown rice.

**Key words:** brown rice, irradiation, viscosity, specific parameter, detection, verification

## 서 론

식품에 대한 방사선 조사기술의 이용은 발아억제, 속도지연, 살균·살충 등의 목적으로 50여개국에서 200여 품목에 대하여 허가되어 있으며(1), 국내에서는 2008년 현재 26개 품목의 식품(군)에 대해 감마선 조사가 허가되어 있다(2). 전분류에 대한 방사선 조사의 허가는 국내의 경우 미생물학적 품질개선을 목적으로 최대 5 kGy가 허가되어 있고(2), 세계적으로 곡류는 최대 10 kGy, 향신료 및 허브류는 최대 30 kGy까지 허가되어 있다(1). 특히 WTO 체제에서 식량교역이 확대됨에 따라 방사선 조사식품에 대한 검지/확인 관리체제의 필요성이 대두되고 있다. 방사선 조사식품의 검지법은 유럽공동체(EU)에서 표준화한 CEN 법(3)과 이를 바탕으로 한 Codex 방법(4)이 제안되어 있으며, 이 밖에도 점도측정(5-14), 전자코(15), 발아력(16-18) 및 미생물 시험(19,20) 등에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 특히, 점도측정법은 방사선 조사선량과 높은 상관성을 나타내어 전분질

식품에 대한 적용가능성이 인정되고 있으며(8,11), 후추(5,6,12), 향신료(7), 건조농산물(8), 곡류(9,10,14) 등에 연구결과가 보고되었다.

최근 국내에서는 방사선 조사식품의 교역과 유통이 늘어날 것을 예상하여 국내 허가식품을 대상으로 PSL-TL 검지법과 지방을 함유한 식품의 GC/MS를 이용한 hydrocarbon 검지법, 그리고 뼈, 껍질, 셀룰로오스를 함유한 식품의 ESR 검지법을 확립 고시하고 2010년부터 시행을 준비하고 있다(21-23). 본 연구는 방사선 조사가 허가된 다양한 식품의 확인관리 방법을 확보할 목적으로, 교역량이 많은 현미를 모델시료로 선정하여, 조사선량에 따른 점도의 측정과 전분 함량을 바탕으로 한 specific parameter의 설정으로써 미지시료에 대한 조사여부 판별을 시도하였다.

## 재료 및 방법

### 재료 및 감마선 조사

본 실험에 사용된 한국산 현미는 경북 상주 인근 재배농가에서 구입하였고, 중국산 현미는 서울소재 가락시장에서 구입하여 각각 저밀도 폴리에틸렌 백에 포장하여 실험에 사용하였다. 포장된 현미는 Co-60 gamma irradiator(100 kCi point source AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada)를 이용하여 0, 0.5, 1, 2, 2.5, 4, 5, 7.5, 10, 15 kGy의 선량으로 조사하였으며, 흡수선량은 ceric and cerous dosimeter (Harwell, London, UK)로 확인하였다(편차: ±5.4%).

\*Corresponding author: Joong-Ho Kwon, Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Tel: 82-53-950-5775

Fax: 82-53-970-6772

E-mail: jhkwon@knu.ac.kr

Received June 1, 2009; revised October 21, 2009;

accepted October 30, 2009

**전분함량 측정**

시료의 전분함량은 Somogyi 변법(24)을 이용하여 전당함량을 3회 반복 측정하고 전분계수(0.9)를 곱하여 평균값으로 나타내었다(25).

**점도 측정**

시료의 점도 측정은 Hayashi 등의 방법(5,6)에 준하여 실시하였다. 즉, 시료(20 mesh)에 증류수를 가하여 10%(w/v) 현탁액을 만들고 33% NaOH를 이용하여 알칼리화(pH 13)하였다. 현탁액은 비등 수욕조(99°C)에서 가열 호화하여 25°C 항온기에서 3시간 정치한 후 동일온도에서 RVDV-II+Brookfield viscometer(Brookfield Eng Labs. Inc., Middleboro, MA, USA)를 사용하여 점도를 측정하였다. 이때 spindle No. 6을 사용하여 50, 150 및 300 rpm으로 하여 30초 후의 점도를 측정하여 조사선량 의존도를 확인하였다. 모든 측정은 3회 반복하여 평균값으로 나타내었다.

**Specific parameter 설정시험**

전분을 함유한 방사선 조사시료의 검지를 위해 점도측정에 의한 조사여부를 판정할 경우 점도 측정기의 종류, 전단율, 측정온도 등에 거의 영향을 받지 않고, 또한 대조구 없이도 조사여부 확인이 가능하도록 하기위하여 specific parameter를 설정하여 적용하였다(6). 따라서 아래 식을 통해 specific parameter를 설정하였으며, 그 값이 일정 값 이상을 나타내면 방사선 조사되지 않은 시료로 판단하고, 일정 값 이하를 나타내면 방사선 조사된 것으로 판단하였다.

Specific parameter (a.u.)=Viscosity of 10% sample suspension (cP)/Starch amount in 1g of sample×Viscosity of 5% starch suspension (cP)

**미지시료의 조사여부 확인 및 흡수선량 예측시험**

본 실험에 적용된 점도측정법의 신뢰성을 높이고자 방사선이 처리되지 않은 국산 현미를 사용하여 미지시료(n=30)를 제조한 다음, 그린피아기술(주)(Yeosu, Korea)에서 감마선 조사와 무작위로 포장의 번호를 표기토록 의뢰하였다. 방사선 처리가 완료된 미지시료는 조사여부 확인과 dose-dependant calibration 결과를 바탕으로 흡수선량 예측을 시도하였다.

**결과 및 고찰**

**선량 및 원산지 별 점도 변화**

식품 중에 다량 함유된 다당류(starch, pectin, cellulose 등)는 방사선 조사에 의하여 에테르 결합이 끊어져 저분자의 dextrin, maltose, glucose 등이 생성되며, 더욱 산화를 받게 되면 glucose 산화물이나 pentose로 변화될 수 있다(6,26). 이와 같이 전분류가 방사선 조사되면 저분자화가 일어남으로써 용해도의 증가와 팽윤력 및 점도의 감소가 일어나게 되므로 점도의 측정은 방사선 조사 여부를 추정하는 방법이 될 수 있다. 본 실험에 사용된 현미의 전분함량은 국산과 중국산 각각 71.52와 64.58%로 국산이 더 높은 함량을 나타내었다. 감마선 조사선량에 따른 현미의 점도를 rpm을 달리하여 측정된 결과는 Table 1과 같다. 초기 점도는 국산이 중국산보다 높은값을 나타내면서 전단속도(rpm) 및 조사선량(kGy)의 증가에 따라 점도값은 크게 감소하였다. 국산 현미의 점도는 50 rpm에서 비조사구는 1063.45 mPa·sec였으나 0.5-15 kGy 조사구에서는 906.08-112.28 mPa·sec 범위로 조사 여부에

**Table 1. Viscosity of irradiated brown rice prepared with 10% concentration at various doses and rpm (Unit: mPa·sec)**

Doses (kGy)	RPM	Origin	
		Korean	Chinese
0	50	1063.45 <sup>1)</sup>	847.99
	150	470.72	373.52
	300	289.77	245.45
0.5	50	906.08	771.14
	150	381.53	366.16
	300	232.80	235.30
1	50	846.05	711.53
	150	389.92	270.66
	300	250.56	186.67
2	50	848.35	593.35
	150	388.76	288.29
	300	256.51	188.46
2.5	50	613.30	541.09
	150	318.58	250.94
	300	210.00	187.74
4	50	543.35	435.43
	150	242.94	235.90
	300	171.29	167.45
5	50	493.12	438.14
	150	239.36	224.75
	300	164.51	164.22
7.5	50	195.13	172.13
	150	116.56	123.33
	300	92.65	87.91
10	50	180.24	123.71
	150	90.78	80.55
	300	66.61	53.98
15	50	112.28	101.16
	150	72.27	79.34
	300	51.16	53.69

<sup>1)</sup>Mean of triplicate determinations.

따라 뚜렷한 차이를 나타내었다. 전단속도 300 rpm에서의 비조사구는 289.77 mPa·sec이었고, 0.5-15 kGy 조사구는 289.77-51.16 mPa·sec 범위로 나타났다. 한편, 전단속도를 달리하여 측정된 중국산 현미의 비조사구의 점도는 847.99-245.45 mPa·sec였고, 2 kGy 조사구에서는 593.35-188.67 mPa·sec로 전단속도에 따라 그 값의 차이가 큼을 확인할 수 있었다. 그러나 중국산 현미에 0, 0.5, 2.5, 5, 10 및 15 kGy의 방사선 조사한 후 측정된 점도값은 50 rpm에서 847.99, 771.14, 541.09, 438.14, 123.71, 101.16 mPa·sec으로 조사선량의 증가에 따라 현저히 감소함을 확인할 수 있었다. 이상의 결과에서 점도측정 시 전단속도는 방사선 조사시료의 점도 변화를 확인하는데 중요한 인자가 되며, 높은 전단속도에서는 방사선 조사선량에 따른 점도의 감소현상이 상대적으로 완만함을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 Hayashi 등(12)의 연구에서 방사선 조사된 흑후추와 백후추의 점도값은 유의적으로 감소하지만 훈증처리된 시료에서는 점도값의 감소가 나타나지 않았다고 보고하여, 점도의 감소현상은 방사선조사에 특이적임을 확인할 수 있었다. 또한 방사선 조사된 향신료(24), 전분류(26), 곡류(9,14),

**Table 2. Specific parameters of irradiated brown rice prepared with 10% concentration at various doses and rpm (Unit: a.u.)**

Doses (kGy)	RPM	Origin	
		Korean	Chinese
0	50	223.53 <sup>1)</sup>	191.32
	150	108.29	92.23
	300	66.88	60.80
0.5	50	190.47	173.98
	150	87.77	90.41
	300	53.73	58.29
1	50	177.85	160.53
	150	89.70	66.83
	300	57.83	46.24
2	50	178.33	133.87
	150	89.43	71.18
	300	59.20	46.68
2.5	50	128.92	122.08
	150	73.29	61.96
	300	48.47	46.50
4	50	114.22	98.24
	150	55.89	58.25
	300	39.53	41.48
5	50	103.66	98.85
	150	55.06	55.49
	300	37.97	40.68
7.5	50	41.02	38.83
	150	26.82	30.45
	300	21.38	21.78
10	50	37.89	27.91
	150	20.88	19.89
	300	15.37	13.37
15	50	23.60	22.82
	150	16.63	19.59
	300	11.81	13.30

<sup>1)</sup>Mean of triplicate determinations.

건조농산물(8)의 연구에서도 조사선량의 증가에 따라 점도값이 감소하였다고 보고되어 본 연구의 결과를 잘 뒷받침해 주었다. 한편 방사선 처리되지 않은 국산과 중국산 현미의 점도값은 각각 1063.45와 847.99 mPa·sec로써 무처리 중국산 현미의 점도값은 1kGy 조사된 국산 현미의 점도값(846.05 mPa·sec)과 유사하여 저선량으로 방사선 조사된 현미의 점도측정은 신뢰성이 낮을 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 Kim 등(14)의 연구에서 기장과 수수의 점도값은 원산지에 따라 큰 차이를 나타내며, 방사선 조사선량에 따른 변화에서도 차이를 나타낸다는 보고하여 본 결과와 잘 일치하였다.

### Specific parameter 설정

점도측정법을 방사선 처리 편별방법으로 적용하기 위해서는 미지시료의 상태에서 조사여부의 확인이 가능하여야 하므로(8) 시료의 점도를 전분함량에 대해 표준화시킴으로써 보다 객관적인 점도의 비교가 가능하다(6). 본 실험에서는 현미의 전분함량과 점도측정값을 이용하여 spindle speed(50, 150, 300 rpm)에 따

**Table 3. Regression expressions and coefficients of irradiated brown rice based on viscosity and specific parameter**

Parameter	RPM	Origin	
		Korean	Chinese
Viscosity	50	$y=989.54e^{-0.1601x}$	$y=803.26e^{-0.1581x}$
		$R^2=0.9482$	$R^2=0.9387$
		$r=-0.9225, p=0.0001$	$r=-0.9291, p=0.0001$
	150	$y=436.19e^{-0.1362x}$	$y=347.87e^{-0.1147x}$
		$R^2=0.9423$	$R^2=0.9156$
		$r=-0.9297, p=0.0001$	$r=-0.9261, p=0.0001$
300	$y=279.89e^{-0.1242x}$	$y=238.19e^{-0.1135x}$	
	$R^2=0.9567$	$R^2=0.9119$	
	$r=-0.9434, p=0.00004$	$r=-0.9413, p=0.00005$	
Specific parameter	50	$y=208.01e^{-0.1601x}$	$y=181.23e^{-0.1581x}$
		$R^2=0.9482$	$R^2=0.9387$
		$r=-0.9225, p=0.0001$	$r=-0.9291, p=0.0001$
	150	$y=100.35e^{-0.1362x}$	$y=85.893e^{-0.1147x}$
		$R^2=0.9423$	$R^2=0.9156$
		$r=-0.9297, p=0.0001$	$r=-0.9261, p=0.0001$
300	$y=64.595e^{-0.1242x}$	$y=59e^{-0.1135x}$	
	$R^2=0.9567$	$R^2=0.9119$	
	$r=-0.9434, p=0.00004$	$r=-0.9413, p=0.00005$	

른 specific parameter를 구하여 조사여부 및 조사선량에 따른 점도의 변화를 확인하였다. 국산과 중국산 현미의 감마선 조사에 따른 specific parameter의 결과는 Table 2와 같다. 국산 현미의 경우 비조사구의 specific parameter는 조사구의 값보다 높게 나왔으며, rpm의 증가에 따른 specific parameter 값은 조사선량에 따라 감소하였다. 즉, 50 rpm에서 측정된 국산 현미의 specific parameter는 조사구는 223.53 a.u., 비조사구는 190.47-23.60 a.u.의 범위로써 150 및 300 rpm의 결과와 비교할 때 조사구와 비조사구 간의 차이는 분명하였다. 중국산 현미의 경우 모든 rpm에서 조사선량이 증가함에 따라 specific parameter가 감소하였으나, 그 차이가 국산에 비해 적었다. 이는 점도측정 시 조사선량에 따른 점도의 감소가 국산에 비해 완만한 결과에 의한 것으로 예상된다. Farkas 등(7)은 black pepper, white pepper, nutmeg, ginger 등은 방사선 조사선량에 따라 점도값이 감소하지만 시료의 종류에 따라 상이하였다고 보고하였다. Chung 등(8)은 방사선 조사된 백상 및 생강은 전분함량의 측정을 바탕으로 specific parameter를 산출하여 조사여부의 판별가능성을 제안하였고, Choi 등(9)도 방사선 조사 기장(*Panicum miliaceum*)에 대하여 동일한 가능성을 제시한 바 있다. 따라서 specific parameter의 설정은 방사선 조사시료의 점도, 전분함량 및 시료의 종류에 따른 점도값의 차이를 보완할 수 있으므로, 현미 등 전분함량이 높은 곡류의 방사선 조사여부 확인에서 보조적인 방법으로 적용이 가능할 것이다.

### 회귀식 도출

국산과 중국산 현미의 조사선량과 점도 및 specific parameter와의 관계를 예측한 모델식은 Table 3에 나타내었다. 국산과 중국산 현미의 점도에 대한 회귀계수는 50 rpm에서 각각 0.9482( $y=208.01e^{-0.1601x}$ )와 0.9387( $y=181.23e^{-0.1581x}$ )이었고, 150 rpm에서는 각

**Table 4. Viscosity and specific parameters of coded unknown brown rice prepared with 10% concentration at various rpm**

Coded No.	RPM	Viscosity (mPa·sec)	Specific parameter (a.u.)	Coded No.	RPM	Viscosity (mPa·sec)	Specific parameter (a.u.)
1	50	923.46 <sup>1)</sup>	194.10	16	50	221.17	46.49
	150	427.25	98.29		150	114.78	26.41
	300	268.01	61.85		300	83.03	19.16
2	50	857.63	180.28	17	50	677.04	142.32
	150	406.71	93.56		150	368.82	84.85
	300	255.13	58.88		300	242.41	55.95
3	50	965.32	202.92	18	50	140.90	29.62
	150	452.30	104.05		150	103.72	23.86
	300	280.35	64.70		300	75.40	17.40
4	50	707.55	148.73	19	50	267.34	56.20
	150	361.14	83.08		150	95.45	21.96
	300	227.29	52.46		300	75.92	17.52
5	50	156.69	32.94	20	50	548.32	115.26
	150	115.31	26.53		150	261.36	60.12
	300	78.03	18.01		300	165.54	38.20
6	50	279.36	58.72	21	50	254.56	53.51
	150	96.92	22.30		150	102.60	23.60
	300	77.58	17.90		300	67.79	15.64
7	50	148.34	31.18	22	50	548.51	115.30
	150	99.77	22.95		150	233.32	53.68
	300	79.14	17.40		300	148.88	34.36
8	50	283.96	59.69	23	50	340.74	71.63
	150	113.73	26.16		150	107.09	24.64
	300	88.88	17.52		300	88.44	20.41
9	50	548.62	115.32	24	50	501.77	105.48
	150	330.56	76.04		150	326.32	75.07
	300	212.21	48.98		300	250.86	15.64
10	50	483.08	101.55	25	50	639.89	134.51
	150	283.40	65.20		150	312.43	71.87
	300	179.04	41.32		300	209.29	48.30
11	50	598.14	125.73	26	50	806.73	169.58
	150	307.55	70.75		150	298.42	68.65
	300	211.56	48.83		300	185.15	42.73
12	50	886.93	186.44	27	50	761.42	160.06
	150	333.39	76.70		150	328.77	75.63
	300	212.45	49.03		300	188.71	43.55
13	50	726.97	152.81	28	50	793.58	166.82
	150	369.34	84.97		150	362.47	83.39
	300	206.87	47.74		300	246.37	56.86
14	50	898.19	188.81	29	50	605.40	127.26
	150	423.00	97.31		150	355.50	81.78
	300	395.10	68.11		300	200.16	46.19
15	50	814.42	171.20	30	50	1338.85	281.43
	150	395.20	90.91		150	604.98	139.18
	300	236.68	54.62		300	364.73	84.17

<sup>1)</sup>Mean of triplicate determinations.

각  $0.9423(y=100.35e^{-0.1362x})$ 과  $0.9156(y=85.893e^{-0.1147x})$ 이었으며, 300 rpm에서는  $0.9567(y=64.595e^{-0.1242x})$ 과  $0.9119(y=59e^{-0.1135x})$ 로 중국산보다 국산 현미가 보다 높은 적합성을 보여주었다. 또한 국

산 현미의 회귀식의 결정계수는 0.9423-0.9567로 rpm에 따른 차이가 크지 않았으며, 중국산 현미의 결정계수 역시 0.9119-0.9413으로 rpm에 따른 차이가 크지 않았다. 국산 현미와 중국산 현미

**Table 5. Estimated doses of the unknown brown rice by regression expressions and equations between specific parameter and irradiation dose**

Coded No.	Irradiation dose (kGy)	RPM			Irradiation estimation
		50	150	300	
1	0	0.43 <sup>b)</sup>	-0.15	0.35	no
2	0	0.89	-0.51	0.75	no
3	0	0.15	-0.27	-0.01	no
4	1	2.10	1.39	1.68	yes
5	10	11.51	9.77	10.28	yes
6	3	7.90	11.04	10.33	yes
7	10	11.85	10.83	10.17	yes
8	10	7.80	9.87	9.24	yes
9	1	3.68	2.04	2.23	yes
10	3	2.10	3.17	3.60	yes
11	10	3.14	2.57	2.25	yes
12	1	0.68	-1.97	2.22	no
13	3	1.93	1.22	2.43	yes
14	1	0.60	-0.23	-0.43	no
15	10	1.22	0.72	1.35	yes
16	3	9.36	9.80	9.78	yes
17	3	2.37	1.23	1.16	yes
18	1	12.17	10.55	10.56	yes
19	3	8.17	11.16	10.50	yes
20	1	3.69	3.76	4.23	yes
21	10	8.48	10.63	11.42	yes
22	3	3.69	4.59	5.08	yes
23	3	6.66	10.31	9.28	yes
24	10	4.24	2.13	0.88	yes
25	10	2.72	2.45	2.34	yes
26	1	1.28	2.79	3.33	yes
27	3	1.64	2.08	3.17	yes
28	10	1.38	1.36	1.03	yes
29	1	3.07	1.50	2.70	yes
30	1	-1.89	2.40	-2.13	no

<sup>b)</sup>Mean of triplicate determinations

의 점도의 선량에 따른 상관계수는 0.9225(-)-0.9434(-)로 국산과 중국산 모두 높은 부음의 상관관계를 나타내었다. 국산 현미는 50 rpm에서 -0.9225, 150 rpm에서 -0.9297이었으나 300 rpm은 -0.9434로써 300 rpm에서 가장 높은 상관성을 나타내었으며, 중국산 현미의 경우 50 rpm에서는 -0.9291이었으나 150 및 300 rpm은 각각 -0.9261 및 -0.9413으로써 50 rpm에서 가장 높은 상관성을 나타내면서 원산지에 따른 분명한 차이를 보였다. 따라서 전분질 식품의 방사선 조사여부 판별에서 조사선량과 점도 및 specific parameter와의 상관성을 나타내는 회귀식은 미지시료의 조사여부 판별에 기초자료로 활용될 수 있다(8,9).

#### 미지 시료의 조사여부 판별

방사선 조사식품에 대한 점도측정법은 전분함량이 높은 시료의 조사여부 판별에 보조적으로 활용될 수 있으므로, 본 실험에서는 이 방법의 객관성을 검증하기 위하여 미지시료(n=30)에 대한 조사여부 판별 및 흡수선량 예측시험을 실시하였다. 즉, 국산 현미를 대상으로 하여 무작위로 번호를 표기한 다음 임의의 선량으로 감마선을 조사한 미지시료에 대하여 상기와 동일한 방법

으로 점도를 측정하고 측정된 점도 값과 specific parameter를 산출하여 Table 4에 나타내었다. 또한 조사선량과 specific parameter 간의 상관관계를 바탕으로 예측된 회귀식에 Table 4의 측정결과를 대입하여 미지시료의 조사여부 판별을 시도하였다(Table 5). 점도측정법에 의한 얻어진 각 미지시료에 대한 결과를 회귀식에 대입하여 그 값이 1 이하를 나타내면 비조사구로, 그 이상의 값을 나타내면 방사선 조사구로 판정하였다. 그 결과 무작위의 번호가 표기된 총 30개의 미지시료 중 3개는 비조사 시료로 판별되었고, 27개는 1, 3 및 10 kGy의 선량으로 무작위 조사된 시료들로 확인되었지만, 시료번호 12, 14 및 30의 경우는 실제 1 kGy로 조사된 시료로서 조사여부 판별에 어려움이 있었다. 따라서 총 30개의 미지시료 중 27개의 시료에 대한 조사여부 판별이 가능하였으므로 90%의 정확성을 보여주었다. 방사선 조사식품에 대한 점도측정법은 시료의 전분함량, 현탁액의 농도, pH, 호화온도, 측정기기 조건 등의 요인에 의해 점도 및 specific parameter의 차이가 나타날 수 있으므로(6,7,12), 측정값이 비조사 시료와 조사시료의 중간 값을 보일 때는 보다 신뢰성이 큰 다중검지(multiple detection)의 적용이 필요할 것으로 사료된다(27).

## 요 약

국산 및 중국산 현미를 대상으로 방사선 조사여부 판별방법의 하나인 점도측정법 검증에 위하여 0-15 kGy 범위의 감마선을 조사하고 점도, 전분함량 및 specific parameter 측정에 의한 미지시료의 조사여부 판별을 시도하였다. 현미의 전분함량은 국산과 중국산 각각 71.52와 64.58%이었고, 국산 현미가 중국산 보다 상대적으로 높은 점도를 나타내었다. 방사선 조사된 국산 및 중국산 현미의 조사선량에 따른 점도 및 specific parameter는 유의적으로 감소하였으며, 전단속도(50, 150, 300 rpm)에 영향을 받아 낮은 속도에서 조사선량의 영향이 크게 나타났다. 점도와 specific parameter의 변화에 대한 조사선량의 상관성을 나타낸 결정계수(R<sup>2</sup>)는 국산 현미는 0.9423-0.9567, 중국산 현미는 0.9119-0.9387을 보였다. 또한 상기 점도측정법에 의한 미지시료(n=30)의 조사여부 판별시험에서는 90%의 정확도를 보였다. 이로써 전분질 식품의 방사선 조사여부 확인에서 점도측정법은 screening 방법의 하나로써 보조적 역할의 가능성을 보여주었다.

## 감사의 글

이 논문은 농림기술개발사업의 일환으로 수행된 연구의 결과의 일부이며 지원에 감사드립니다.

## 문 헌

1. IAEA. Database on approvals for irradiation food (supplement). Food Environ. Protect. Newslett. 9: 21-59 (2006)
2. KFDA. Korea food standard code. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea (2008)
3. CEN. European Committee for standardization. Available at: <http://www.cen.eu/cenorm/sectors/sectors/food/index.asp>. Accessed Sep. 15, 2008.
4. FAO/WHO. General CODEX methods for the detection of irradiated foods, CODEX STAN 231-2001, Rev.1 (2003)
5. Hayashi T, Todoriki S, Okadome H, Kohyama K. Conditions of viscosity measurement for detecting irradiated peppers. Radiat. Phys. Chem. 45: 665-669 (1995)
6. Hayashi T, Todoriki S. Detection of irradiated peppers by viscosity measurement at extremely high pH. Radiat. Phys. Chem. 48:

- 101-104 (1996)
7. Farkas J, Sharif MM, Koncz Á. Detection of some irradiated spices on the basis of radiation induce damage of starch. *Radiat. Phys. Chem.* 36: 621-627 (1990)
  8. Chung HW, Jeong J, Kwon JH. Potential detection of irradiated dried agricultural products by viscosity measurement. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 28: 1082-1086 (1999)
  9. Choi MG, Kwon JH, Kim HK. Potential detection of  $\gamma$ -irradiated *Panicum miliaceum* by viscosity measurement during storage. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 32: 531-538 (2003)
  10. Yi SD, Oh MJ, Yang JS. Detection for irradiated cereals by maximum viscosity in amylograph. *Food Sci. Biotechnol.* 9: 73-76 (2000)
  11. Kang IJ, Byun MW, Yook HS, Bae CH, Lee HS, Kwon JH, Chung CK. Production of modified starches by gamma irradiation. *Radiat. Phys. Chem.* 54: 425-430 (1999)
  12. Hayashi T, Todoriki S, Kohyama K. Irradiation effects on pepper starch viscosity. *J Food Sci.* 59: 118-120 (1994)
  13. An KA, Choi JD, Kim HK, Kwon JH. Establishment of viscosity measuring conditions and threshold values for identifying irradiated starches. *Korean J. Food Sci. Technol.* 36: 693-700 (2004)
  14. Kim HK, Kang DS, Choi MG, Kwon JH. Detection of irradiated dried cereals from Korea and China by viscometric method. *Korean J. Food Sci. Technol.* 33: 645-650 (2001)
  15. Shin JA, Kwon JH, Lee KT. Aroma analysis by the electronic nose on red ginseng powder treated with gamma radiation, methyl bromide and phosphine. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 825-829 (2003)
  16. Oh KN, Kang EK, Park CR, Yang JS. Identification of germination properties for the screening of gamma-irradiated beans. *Korean J. Food Sci. Technol.* 34: 1002-1006 (2002)
  17. Oh KN, Kim KE, Yang JS. Germination properties of wheat and barley exposed to gamma irradiation. *J. Fd. Hyg. Safety* 16: 139-144 (2001)
  18. Villavicencio ALCH, Mancini-filho J, Delincée H. Application of different techniques to identify the effects of irradiation on Brazilian beans after six months storage. *Radiat. Phys. Chem.* 52: 161-166 (1998)
  19. Wirtanen G, Sjöberg AM. Microbiological screening method for indication of irradiation of spices and herbs: A BCR collaborative study. *J. AOAC Int.* 76: 674-681 (1993)
  20. Gautam S, Sharma A, Thomas P. Improved bacterial turbidimetric method for detection of irradiated spices. *J. Agr. Food Chem.* 46: 5110-5112 (1998)
  21. IAEA. Food irradiation clearances database, Available from: <http://nucleus.iaea.org/NUCLEUS/nucleus/Content/Applications/FICdb/BrowseDatabase.jsp>. Accessed Sep. 15, 2008.
  22. KFDA. Notification on the detection methods for irradiated food. No. 2007-22, Seoul, Korea (2007)
  23. KFDA. Notification on the detection methods for irradiated food. No. 2008-51, Seoul, Korea (2008)
  24. Kobayashi T, Tabuchi T. A method employing a tribasic sodium phosphate buffered reagent for estimating semimicro quantities of reducing sugars. *J. Agr. Chem. Soc. Japan* 28: 171-174 (1954)
  25. Osborne DR, Voogt P. *The Analysis of Nutrients in Foods*. Academic Press, London, UK. pp.131-134 (1981)
  26. Kim KS, Yang JS, Kwon JH. Method of detection for irradiated foods. *Korean J. Food Presev.* 10: 427-434 (2003)
  27. Kwon JH, Jeong JY, Lee EY, Jo DJ, Noh JE, Lee JE. Multiple detection to identify irradiated brown rice of different origins. *Food Sci. Biotechnol.* 11: 215-219 (2002)