

## 감마선 조사 펙틴 용액의 이화학적 특성 및 생리활성 변화

강호진 · 조철훈 · 권중호<sup>1</sup> · 정일윤 · 변명우\*

한국원자력연구소 방사선식품생명공학연구팀, <sup>1</sup>경북대학교 식품공학과

### Physicochemical Characteristics and Biological Activity of Irradiated Pectin Solution

Ho-Jin Kang, Cheroun Jo, Joong-Ho Kwon<sup>1</sup>, Ill-Yun Jeong, and Myung-Woo Byun\*

Radiation Food Science & Biotechnology Team, Korea Atomic Energy Research Institute

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

Pectin was dissolved in HCl, citric acid, and deionized distilled water (DW, 2%, v/v) and irradiated at different irradiation doses (2.5-50 kGy) by gamma ray to investigate its physicochemical characteristics and biological activity. Viscosity of pectin solution was significantly decreased by irradiation up to 10 kGy, then remained constant thereafter. Gamma-irradiation increased monosaccharide and polysaccharide levels up to 30-40 kDa. Electron donating ability of pectin solution was highest when DW was added and was increased by increasing irradiation dose ( $p < 0.05$ ).  $\beta$ -Carotene bleaching assay revealed irradiation resulted in development of antioxidative activity in pectin solution. Growth inhibition of cancer cell lines was observed in irradiated pectin solution in dose-dependent manner, with G361 showing the highest. Results suggested irradiation of pectin solution could be effective for preparation of functional pectin oligomer.

**Key words:** pectin solution, irradiation, physicochemical, biological activity

### 서 론

펙틴은 D-galacturonic acid(galA)가  $\alpha$ -1,4 결합으로 연결된 고분자 물질( $\alpha$ -D-1,4-polygalacturonic acid)이며 galA의 carboxyl기가 methylester화 되어있거나 염형태, 혹은 free radical 형태를 가지고 있다고 알려져 왔다. 그러나 실제로 자연계에 존재하는 펙틴은 이보다 훨씬 복잡한 구조를 가지고 있으며 펙틴분자의 대부분은 homogalacturonan으로 구성되어 있지만 여기에 다양한 oligo- 및 polysaccharide로 분지된 rhamnagalacturonan류가 공유 결합되어 있는 것으로 보고되고 있다(1). 펙틴의 약리활성은 주로 면역자극활성, 항위궤양활성, 항종양활성(2), 항콜레스테롤(3) 등이 있는 것으로 지금까지 알려져 왔다. 또한 수용성 식이섬유인 펙틴은 장내 미생물의 발효를 일으켜 변량을 증가시켜 주며 발효시 많은 양의 초산을 생성한다(4). 펙틴 올리고머는 지방간 생성을 억제하며(5), 식물에서는 항균 phytoalexin 자극제로(6) 또는 항균작용(7)을 한다고 보고 되어 있다. 그러나 펙틴은 상온에서 용해시간이 길고 농도가 증가함에 따라 점도 특성을 보이는 단점이 있어 그 사용이 제한되고 있으며

로 펙틴의 저분자화의 필요성을 가지게 되었다. 현재까지 사용된 고분자의 분해방법으로는 가열 가수분해와 화학적 분해 및 효소분해법 등이 있다(8). 대부분의 올리고당류의 제조는 효소분해법을 사용하는 것이 일반적이나(9) 이들 방법은 분해시간이 길고, pH 변화에 매우 민감하며, 화학약품이나 효소 투여량 등이 정확해야 하는 등 공정이 복잡하여 균일한 분자량을 얻기 힘들고 산업적 측면에서 대량으로 이용하기에는 힘든 실정이다. 또한 산가수분해 처리를 할 경우 폐수처리문제도 발생된다.

방사선 조사는 전통적으로 식품 및 공중보건제품의 위생화 및 장기 저장법으로 식품의 상온에서 경제적이면서 안전한 방법으로 알려져 있다(10). Kang 등(11)은 변성 전분의 제조에 감마선을 물리적 처리법으로 연구한 바 감마선 조사가 공정제어, 신속 정확성, 에너지 효율성, 소비자 수용성의 측면에 장점이 있다고 보고하였다(11). 감마선 조사는 고분자 분해에 유용한 기술이며(12) 이는 분자 중합체를 이루는 결합에 자유라디칼을 형성하여 결합을 끊어주는 역할을 하기 때문이다. 여기에는 물 분자가 촉매로 작용하는 것으로 알려져 있다. 최근에는 키토산, 알긴산염, 카라기난, 셀룰로오스, 펙틴 등과 같은 탄수화물을 재구성 및 재활용하여 사용할 목적으로 감마선 조사 기술이 적용되고 있으며 특히 환경오염을 줄이는데 유용한 기술로 보고 되어 있다(13). 우리나라에서도 알긴산(8)과 키토산(14) 고분자의 저분자화를 목적으로 감마선 조사기술을 적용한 연구가 이미 보고된 바 있다.

본 연구는 농산 가공 부산물을 이용하여 기능성이 증진된 펙

\*Corresponding author: Myung-Woo Byun, Radiation Food Science & Biotechnology Team, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea  
Tel: 82-42-868-8060  
Fax: 82-42-868-8043  
E-mail: mwbyun@kaeri.re.kr

틴 올리고머를 제조하는데 있어서 감마선 조사기술을 이용하는 기초 자료를 마련하고자 펙틴 용액을 감마선 조사하고 이 화학적 특성과 생리활성의 변화를 확인해 보았다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험에 사용된 펙틴은 Sigma-Aldrich Co.(cat. No. P-9135, methoxy content 9.0% dried base from citrus fruits, St. Louis, MO, USA)에서 구입하였다. 펙틴 용액은 0.05 N HCl, citrate 및 증류수 3가지 용매로 최종 농도가 2% 되도록 제조하여 실험에 사용하였다.

### 감마선 조사

펙틴 용액의 감마선 조사는 한국원자력연구소 내 선원 10만 Ci, Co-60 감마선 조사시설을 이용하여 실온(12±1°C)에서 분당 83.3 Gy의 선량율로 방사선 조사하였다. 펙틴 용액의 감마선 조사 선량은 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 20, 30 및 50 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 흡수선량 확인은 ceric cerous dosimeter를 사용하였고 총 흡수선량의 오차는 ±0.2 kGy였다.

### 색도 측정

감마선 조사에 의한 펙틴 용액의 색도 변화를 측정하기 위하여 시료 10 mL를 quartz cell(CM A-98, 10 mm in width)로 옮기고 Color Difference Meter(Spectrophotometer CM-3500d, Minolta Co., Ltd. Osaka, Japan)를 이용하여 illuminant D65/10° 광원에서 측정하여 Hunter color L값(lightness), a값(redness) 및 b값(yellowness)을 구하였다. 색도는 10회 반복 측정하여 그 평균값으로 나타내었다.

### 점도 측정

감마선 조사에 따른 펙틴 용액의 점도변화는 점도계(Viscometers & Rheometers model DV-III, Brookfield Engineering Laboratories Inc., Stoughton, MA, USA)를 이용하여 측정하였다. 펙틴 용액 16 mL를 ULA40Y jacket에 넣고, ULA spindle을 이용하여 spindle speed를 250 rpm으로 고정한 후 10회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

### 분자량 측정

감마선 조사에 따른 펙틴의 분해정도를 분자량의 변화를 통하여 확인해보기 위해 한국기초과학지원연구원의 Bio-LC DX-300(Dionex, Sunnyvale, CA, USA)를 사용하여 분석하였다. 분석시 사용된 column은 protein pak KW804(8×350 mm, Shodex)이었고, 검출기는 Integrated amperometry가 연결된 PED2를 사용하였으며, 이동상은 10 mM sodium acetate를 사용하였고 유속은 1.0 mL/min이었다. 증류수에 녹인 2% 펙틴 용액을 1/2로 희석하여 분석에 사용하였으며 표준물질은 dextran으로 하였다.

### 항산화성 측정

**1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH) radical scavenging ability:** 펙틴 용액의 전자공여능은 Blois(15)의 방법을 변형하여 측정하였다. 각 시료 1 mL에 0.2 mM  $\alpha, \alpha'$ -diphenyl- $\beta$ -picryl-hydrazyl(DPPH) 1 mL를 넣고 교반한 후 30분 동안 방치한 다음 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 전자공여능은 다음의 계산식에 의해 계산되었다.

$$\text{전자 공여능(\%)} = \left( \frac{1 - \text{시료첨가구의 흡광도}}{\text{무첨가구의 흡광도}} \right) \times 100$$

**$\beta$ -Carotene bleaching assay:** 감마선 조사된 펙틴 용액의 항산화 효과 변화를 측정하기 위하여 Matthaus(16) 방법을 변형하여  $\beta$ -carotene bleaching assay를 실시하였다.  $\beta$ -carotene(1 mg/mL in chloroform) 용액 1 mL에 linoleic acid 40  $\mu$ L와 Tween 80 400  $\mu$ L를 플라스크에 넣은 후 질소가스로 클로로포름을 휘발시키고 증류수 100 mL을 서서히 넣은 후 천천히 교반하였다. 이 용액 5 mL에 시료 200  $\mu$ L를 넣은 후 470 nm에서 흡광도를 측정하였다. 최초 흡광도를 측정된 후 반응용액 50°C water bath에 보관하면서 30분 간격으로 최대 120분까지 측정하였다. 또한 실험을 통하여 측정된 흡광도를 기준으로 항산화지수(Antioxidant index; AI)를 다음의 계산식에 의하여 계산하였다.

$$\text{항산화지수(AI)} = 100 \left( \frac{\text{시료의 120분 후 흡광도}}{\text{시료의 초기 흡광도}} \right)$$

### 암세포 생장억제 시험

실험에 사용한 5개 암세포인 A549(폐암), HT-29(결장암), HepG2(간암), G361(인체 유래 피부암), B16F10(마우스 유래 피부암)는 한국 세포주 은행(KCLB)에서 분양받아 10% fetal bovine serum(FBS: Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA)와 1% penicillin 및 streptomycin(Sigma Chemical Co.)이 포함된 RPMI-1640(GIBCO™, Invitrogen, CA, USA)을 이용하여 배양하였다. 펙틴 용액에 대한 세포독성 실험은 Carmichael 등(17)의 방법에 따라 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide(MTT: Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA) 시약을 사용하여 실시하였다. 즉, 5×10<sup>4</sup> cell/well 농도로 96 well plate에 분주 후 37°C, 5% CO<sub>2</sub> incubator에서 72 시간 배양한 후, 배양에 사용된 배지를 제거하고 새로운 배지 180  $\mu$ L와 펙틴 용액 20  $\mu$ L를 첨가하였으며 이때 첨가한 펙틴 용액 농도는 2000 ppm이었다. 다시 24시간 배양한 후 배지를 제거하고 0.5 mg/mL 농도의 MTT 시약을 well 당 200  $\mu$ L씩 분주한 다음 4시간 후 ELISA microplate reader(Bio-rad, Benchmark, USA)를 이용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하였다.

$$\text{성장 억제율(\%)} = \left( 1 - \frac{\text{시료첨가구의 흡광도}}{\text{무첨가구의 흡광도}} \right) \times 100$$

### 통계분석

모든 실험은 2회 반복하였으며 One-way Analysis of Variance를 Statistical Analysis System(SAS Version 5 edition)(18)을 사용하여 실시하였다. Student-Newman-Keuls 다중 검정법을 이용하여 평균값의 유의성을 5% 이내의 한계로 조사하였으며 평균값과 표준오차를 나타내었다.

## 결과 및 고찰

### 색도 및 점도

감마선 조사된 펙틴 용액의 L, a 및 b값을 측정해본 결과, L값(lightness)은 모든 처리구에서 감마선 조사선량에 따른 유의적인 차이가 없었으나(p>0.05) a값(redness)과 b값(yellowness)은 모든 처리구에서 유의적으로 감소하였다(p<0.05)(data not shown). 이는 외관상 비조사구에 비해 밝은 색상을 보이는 것

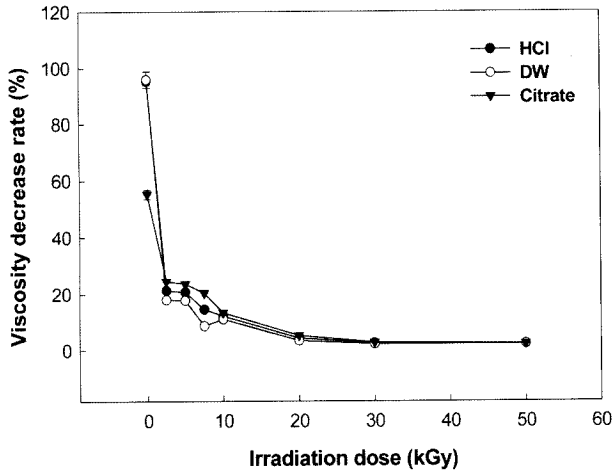


Fig. 1. Effect of gamma irradiation on viscosity of 2% pectin solution dissolved in different solvents.

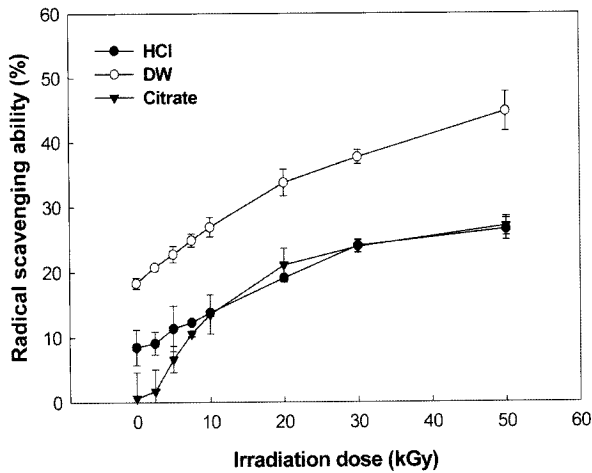


Fig. 2. Effect of gamma irradiation on radical scavenging ability (%) of 2% pectin solution dissolved in different solvents and irradiation doses.

을 의미한다.

감마선 조사선량에 따른 펙틴 용액의 점도감소 비율은 Fig. 1과 같다. 점도감소 비율은 세가지 용매에 녹인 처리구 모두 10 kGy까지는 현저하게 감소하였으나 그 이후 조사선량이 증가함에 따라 서서히 감소되었다. 초기 점도는 증류수와 HCl을 용매로 사용한 펙틴 용액이 citrate를 사용한 펙틴 용액에 비해 현저히 높았으나 감마선 조사가 적용됨에 따라 가파른 폭으로 점도가 감소하여 10 kGy 이후 용매 처리구별 차이는 보이지 않았다. 이와 유사한 결과는 감마선 조사에 의한 키토산 올리고머 제조 연구(14)에서도 확인할 수 있다. Choi 등(14)은 2% 키토산 용액을 다양한 선량(10-200 kGy)으로 감마선 조사하여 점도를 측정해본 결과 10 kGy까지 현저하게 감소하였고 그 이후 점도가 서서히 감소하였다고 보고하였다. 이와같은 결과는 감마선 조사된 agar, 알긴산, 카라기난과 같은 다당류 용액을 이용한 실험에서도 동일하게 나타내고 있다(19). Kang 등(11)은 2% 전분용액에 감마선을 조사한 결과 조사선량 증가에 따른 점도감소를 보고하였고, Ananthaswamy 등(20)과 Nene 등(21)의 보고에서도 동일한 경향을 확인할 수 있었다. Deschredier(22)은 이러한 다당류의 점도변화는 감마선 조사선량에 의존한 다당류 분자의 절단현상 때문이라고 보고하였는데 감마선 조사

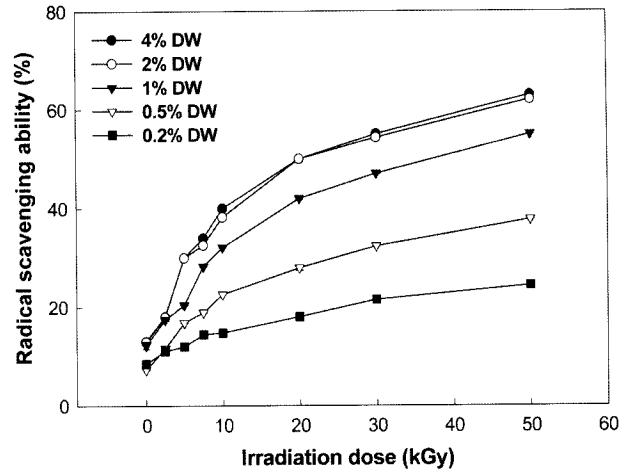


Fig. 3. Effect of gamma irradiation on radical scavenging ability (%) of 2% pectin solution dissolved in deionized distilled water with different concentration.

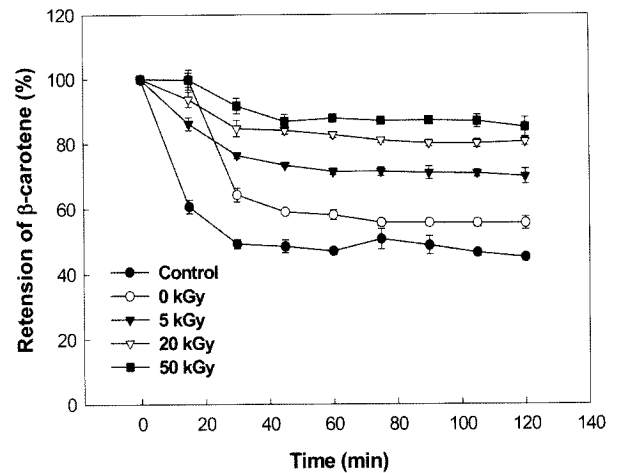


Fig. 4. Effect of gamma irradiation on  $\beta$ -carotene bleaching of 2% pectin solution dissolved in deionized distilled water.

가 다당류인 펙틴의 1 → 4 glycosidic bond의 절단을 유도하여 고분자의 저분자화를 유도하는 것으로 알려져 있다.

#### 분자량 확인

다당류인 펙틴을 증류수로 용해(2%)하여 감마선 조사에 의한 점도 감소를 통하여 고분자의 저분자화가 유도되었다는 것이 확인되어 이에 대한 분자량 변화를 확인하기 위해 액체 크로마토그래피를 사용하였다. 비조사구 분자량은 500 kDa 이상에서 가장 크게 나타난 반면, 감마선 조사를 10 및 20 kGy 하였을 경우 30-40 kDa 범위의 당 함량이 증가하였다. 30 kGy 이상의 감마선 조사에서는 37 kDa 정도의 분자량대나 단당류가 증가하는 것을 확인하였다(Table 2). 이 결과를 통하여 감마선 조사에 의한 다당류인 펙틴이 일정 부분 분해되어 저분자화되었음을 확인할 수 있었다.

#### 감마선 조사 펙틴 용액의 항산화능

용매를 달리하여 감마선 조사한 펙틴의 전자공여능을 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH) radical scavenging ability (%)로 측정하여 용매별 전자공여능을 비교하였다(Fig. 2). 감마선 조사선량이 증가하면서 모든 처리구에서 전자공여능이 증가하

**Table 1. Antioxidant index (AI) of the gamma irradiated pectin solution (2%) dissolved in distilled water with dose ranges of 2.5-50 kGy**

Sample	Control	Irradiation dose (kGy)								SEM
		0	2.5	5	7.5	10	20	30	50	
Pectin solution	56.71 <sup>h</sup>	56.81 <sup>h</sup>	60.31 <sup>g</sup>	65.69 <sup>f</sup>	69.31 <sup>e</sup>	77.25 <sup>d</sup>	78.79 <sup>c</sup>	80.90 <sup>b</sup>	85.37 <sup>a</sup>	0.313

<sup>a-h</sup>Different letters within the same row differ significantly ( $p < 0.05$ ).

Antioxidant index (AI) was calculated as ((absorbance of the sample at 120 min/absorbance of the sample at 0 min) × 100).

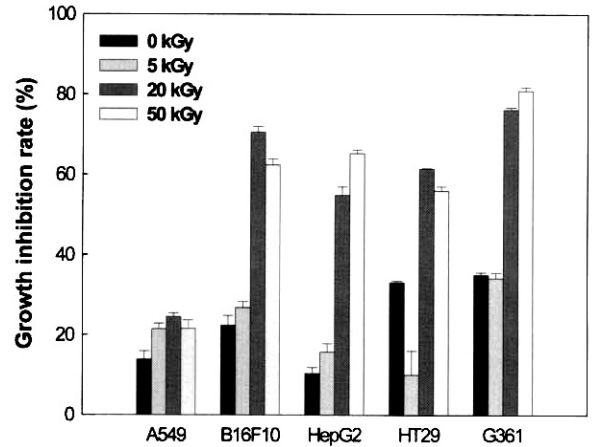
**Table 2. Average molecular weight of the gamma irradiated pectin solution (2%) dissolved in distilled water with dose range of 2.5-50 kGy**

Sample	Irradiation dose (kGy)	Molecular weight (kDa)
Control	0	>500
	2.5-7.5	<100
Irradiated	10-20	30-40
	30-50	<37

였고 증류수에 용해시킨 펙틴 용액이 HCl이나 citrate에 용해시킨 용액에서 보다 모든 선량에서 가장 높은 라디칼 소거능을 보였다. 이러한 라디칼 소거능은 20 kGy까지 급격히 증가하다가 이후의 선량에서는 서서히 증가하는 경향을 보였다. 펙틴이 갖는 약리활성들은 pectin 분자 내의 galacturonan, rhamnogalacturonan 등 특정 구조 혹은 그들의 미세구조에 의해 결정되는 것으로 알려져 있다. 하지만 생리활성을 갖는 펙틴의 다양성에 있어서는 이러한 구조 변화와 함께 저분자화에 의한 생리활성 증가 효과 또한 더 깊은 연구가 진행되어야 할 것이다. 펙틴 올리고머에 대한 생리기능성에 대한 보고는 결장암 세포주인 HT29 cell에 대한 암세포생장억제(17), 인체 내 지방간 생성억제(5), 항균작용(7) 등이 보고 되어 있지만 항산화능에 대한 보고는 전무한 실정으로 흥미로운 결과로 볼 수 있다.

항산화활성이 가장 높은 증류수를 용매로 사용하여 농도별 라디칼 소거능을 확인하였다(Fig. 3). 조사선량이 증가하면서 이전 결과와 동일하게 모든 농도처리구에서 라디칼 소거능은 증가하였고 2%와 4%의 농도처리구의 소거능이 유의적 차이가 없다는 것을 제외하고는 농도가 높을수록 값은 높게 나타났다.

$\beta$ -Carotene-linoleic acid model system은 linoleic acid와  $\beta$ -carotene이 반응하여  $\beta$ -carotene 특유의 주황색이 급격히 퇴색되는 것을 시료가 어느 정도 억제하는지를 흡광도를 통해 확인하는 방법(23)이다. 즉, 이중결합 두개의 불포화지방산인 linoleic acid의 자유 라디칼( $H\cdot$ )이 고도로 불포화된  $\beta$ -carotene을 공격해서  $\beta$ -carotene 고유의 색을 퇴색시키는 원인이 되는데 항산화화물질을 반응시키면 자유 라디칼을 중성화하여  $\beta$ -carotene이 자유 라디칼에 공격받지 않고 고유의 색을 유지하는 현상을 이용하는 것이다. 실험을 통해 살펴본 결과,  $\beta$ -carotene 함량이 30 분짜 모든 처리구에서 감소하여 그 이후의 시간에서는 일정한 값을 보였으며 펙틴 용액에 감마선 조사선량이 증가할수록 높은  $\beta$ -carotene 유지력을 나타내었다(Fig. 4). Table 1은 이들을 항산화지수(Antioxidant index) 값으로 변환시켜 나타낸 것이다. 조사선량이 증가하면서 항산화지수가 확연히 유의적으로 증가한다는 것을 확인할 수 있다( $p < 0.05$ ). 조사선량에 따라 항산화성이 증가하는 사실은 라디칼 소거능의 결과와 일치한다. 펙틴 및 펙틴 올리고머에 대한 항산화성 연구는 거의 전무한 실정으로 전술한 바와 같이 유용한 부산물인 펙틴의 이와 같은 기

**Fig. 5. Effect of gamma irradiation on inhibition of cancer cell proliferation (%) of 2% pectin solution in deionized distilled water by 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide (MTT) assay.**

능성을 이용하기 위해서는 지속적인 후속연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

#### 암세포 생장억제 효과

5개 암세포주에 대한 감마선 조사한 펙틴 용액(2% DW)의 암세포 생장억제 효과를 Fig. 5에 나타내었다. 감마선 조사한 펙틴 용액은 실험에 사용된 모든 세포주에서 생장억제 효과를 나타내었다. 폐암 세포주인 A549의 경우 비조사구와 감마선 조사구간에 차이는 있었으나 조사구간의 유의적인 차이는 관찰되지 않았다. 다른 세포주의 경우 암세포 생장억제 효과는 방사선 조사 선량이 20 및 50 kGy에서 현저하게 나타났다. 마우스 유래 피부암 세포주인 B16F10은 비조사구와 5 kGy에서는 큰 차이가 없었으나 20 kGy에서는 급격히 증가하여 가장 높은 생장억제 효과를 보였다.

간암세포주인 HepG2와 결장암 세포주인 HT29에서는 20 kGy와 50 kGy에서 다른 처리구보다 높은 암세포 생장억제 효과를 보였다. 인체 유래 피부암 세포주 G361은 비조사구와 5 kGy 처리구간의 유의적인 차이는 없었으나 20 kGy, 50 kGy와 비교하였을 때 확연한 차이가 나타났고 5개 암세포 중 가장 높은 생장억제율을 나타내었다. 5개 모두의 암세포주에 대한 생장억제 효과를 확인해본 결과 A549에 대한 억제 효과는 가장 작았고 G361에서 가장 높은 생장억제 효과를 보였으며 감마선 조사 선량간의 유의적인 차이를 확인할 수 있었고 선량별로는 폐암 및 인체 유래 피부암세포는 20 kGy에서 간암 및 마우스 유래 피부암세포는 50 kGy에서 가장 강한 효과를 보였으며, 상대적으로 비조사구는 결장암 세포주인 HT29 세포를 제외한 모든 세포주에서 효과가 가장 낮았다. Olano Martin(24) 등의 연구보고에 따르면 HT29 세포의 세포생장에 대한 citrus pectin과

pectin oligosaccharide(10 mg/mL)의 효과를 측정해본 결과 48시간 후 세포의 생장은 유의적( $p < 0.05$ )으로 감소하여 시료를 첨가하지 않은 대조구보다 세포생장은 58%나 억제하였다고 보고하였다. 동일한 연구자들이 펙틴의 methoxy 그룹 함량에 따른 HMP(methoxy content; 66%)와 LMP(methoxy content; 8.0%) 두 가지를 가지고 HT29 세포에 대한 세포성장을 측정해보았을 때 LMP로 만든 pectin oligosaccharide가 가장 효과가 좋았다고 보고하였다. 본 실험의 사용재료는 LMP(methoxy content 9.0%)이었으며 조사처리구중 20 kGy로 조사된 펙틴 용액의 HT29 세포 성장억제효과가 가장 높았고 이는 감마선 조사로 펙틴 용액의 oligomer화가 진행되었음을 간접적으로 보여 주었다.

본 실험 결과 물리적 에너지원으로 방사선을 이용하여 펙틴 용액을 저분자화 할 경우 항산화 및 항암효과가 선량에 의해 증가하는 것으로 보아 방사선 조사가 기능성 펙틴 올리고머 제조 기술에 효과적으로 사용할 수 있는 기술로 평가할 수 있어 이에 대한 후속연구가 진행되고 있다.

## 요 약

농산가공 부산물인 펙틴을 이용하여 기능성 펙틴 올리고머를 제조할 시 감마선 조사를 이용하는 기초 자료를 마련하고자 펙틴 용액(2%, 0.05N HCl, citrate, 증류수)을 0, 2.5, 5, 10, 20, 30 및 50 kGy로 감마선 조사한 후 이화학적 특성과 생리활성을 확인하였다. 펙틴 용액의 점도는 조사선량 10 kGy까지 급격히 감소하였고 그 이후의 선량에서는 조사선량별 유의적인 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). 분자량은 조사선량이 증가하면서 30-40 kDa의 당과 단당류가 증가하였다. 펙틴 용액의 전자공여능을 측정해본 결과 모든 선량에서 증류수 처리 펙틴 용액이 가장 높은 값을 나타내었고, 펙틴 용액 농도별 전자공여능은 모든 선량에서 유의적으로 증가하였다( $p > 0.05$ ). 펙틴 용액의  $\beta$ -carotene bleaching assay 결과 전자공여능의 결과와 같이 조사선량이 증가할수록 높은  $\beta$ -carotene 유지력을 나타내었으며 항산화지수(AI)도 선량이 증가함에 따라 증가하였다( $p < 0.05$ ). 펙틴 용액의 5개 암세포주에 대한 성장 억제 효과는 조사 선량이 증가할수록 증가하였고 이 중 인체 유래 피부암 세포주인 G361의 성장억제 효과가 모든 처리구에서 가장 높았다. 본 실험 결과 방사선 조사를 이용한 펙틴 용액의 저분자화를 확인할 수 있었고 생리활성이 증가하는 것으로 보아 방사선 조사가 기능성 펙틴 올리고머 제조기술에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부 원자력 중장기 연구개발사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 문 헌

1. Shin KS. Various pharmacological activities of pectin and its potential application. Food Sci. Ind. 32: 91-101 (1999)
2. Thakur BR, Singh RK, Handa AK. Chemistry and uses of pectin-a review. Cri. Rev. Food Sci. Nutr. 37: 47-73 (1997)

3. Kay RM, Truswell AS. Effect of citrus pectin on blood lipids and faecal steroid excretion in man. Am. J. Clin. Nutr. 30: 171-175 (1977)
4. McBurney MI, Thompson LU. In vitro fermentabilities of purified fiber supplements. J. Food Sci. 54: 347-350 (1989)
5. Yamaguchi F, Shimizu N, Hatanaka C. Preparation and physiological effect of low-molecular-weight pectin. Biosci. Biotech. Biochem. 58: 679-682 (1994)
6. Bishop PD, Pearce G, Bryant JE, Ryan CA. Isolation and characterization of the proteinase inhibitor-inducing factor from tomato leaves. Identity and activity of poly-and oligogalacturonide fragments. J. Biol. Chem. 259: 13172-13177 (1984)
7. Iwasaki K, Inoun M, Matsubara Y. Continuous hydrolysis of pectate by immobilized endo-polygalacturonase in a continuously stirred tank reactor. Biosci. Biotech. Biochem. 62: 262-272 (1998)
8. Cho M, Kim BY, Rhim JH. Degradation of alginate solution and powder by  $\gamma$ -irradiation. Food Engin. Prog. 7: 141-145 (2003)
9. Olano-Martin E, Mountzouris KC, Gibson GR, Rastall RA. Continuous production of pectic oligosaccharides in an enzyme membrane reactor. J. Food Sci. 66: 966-971 (2001)
10. Anonymous. Wholesomeness of irradiated food: a Report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee on food irradiation, WHO technical report series, 659, World Health Organization, Geneva (1981)
11. Kang JJ, Byun MW, Yook HS, Bae CH, Lee JH, Kwon JH, Chung CK. Production of modified starches by gamma irradiation. Radiat. Physics. Chem. 54: 425-430 (1999)
12. Woods RT, Pikaev AK. Applied radiation chemistry: radiation processing. Wiley, NY, USA. p. 341 (1994)
13. Kume T, Nagasawa F, Yoshii F. Utilization of carbohydrates by radiation processing. Radiat. Physics. Chem. 63: 625-527 (2002)
14. Choi WS, Ahn KJ, Lee DW, Byun MW, Park HJ. Preparation of chitosan oligomers by irradiation. Polym. Degrad. Stab. 78: 533-538 (2002)
15. Blois MS. Antioxidant activity determination by the use of a stable free radical. Nature 181: 1199-1200 (1958)
16. Matthaus B. Antioxidant activity of extracts obtained from residues of different oilseeds. J. Agric. Food. Chem. 50: 3444-3452 (2002)
17. Carmichael J, Degraff WG, Gazdar AF, Minna J, Michell JB. Evaluation of a tetrazolium based semiautomated colorimetric assay, assessment of chemosensitivity testing. Cancer Res. 47: 936-942 (1987)
18. SAS Institute, Inc. SAS User's Guide. Statistical Analysis System Institute, Cary, NC, USA (1989)
19. Aliste AJ, Vieira FF, Delmastro NL. Radiation effects on agar, alginates and carrageenan to be as food additives. Radiat. Phys. Chem. 57: 305-308 (2000)
20. Ananthaswamy HN, Vakil UK, Sreenivasan A. Some physico-chemical changes in gamma-irradiated wheat. p. 347 In: Symposium on basic mechanisms in radiation biology and medicine. February 11, New Delhi, India (1971)
21. Nene SP, Vakil UK, Sreenivasan A. Effect of gamma radiation on physico-chemical characteristics of red gram (*Cajanus cajan*) starch. J. Food Sci. 40: 943-952 (1975)
22. Deschreider AP. Changes in starch and its degradation products on irradiating wheat flour with gamma rays. Starch/Stärke 12: 197-199 (1960)
23. Wettasinghe M, Shahidi F. Evening primrose meal: a source of natural antioxidants and scavenger of hydrogen peroxide and oxygen-derived free radicals. J. Agric. Food Chem. 47: 1801-1812 (1999)
24. Olano-Martin E, Rimbach GH, Gibson GR, Rastall RA. Pectin and pectin-oligosaccharides induce apoptosis in *in vitro* human colonic adenocarcinoma cells. Anticancer Res. 23: 341-346 (2003)