ISSN(Print) : 1738-7248, ISSN(Online) : 2287-7428
Korean J. Food Preserv.
22(4), 512-519 (2015)
http://dx.doi.org/10.11002/kjfp.2015.22.4.512

사단법인 한국식품저장유통학회
The Korean Society of Food Preservation

The change on cell wall composition and physiological characteristic of astringent persimmon fruits by gamma irradiation

Byung-Oh Kim[1], Won-Seup Cha[1], Dong-Hyun Ahn[2], Young-Je Cho[1]*
[1]*School of Food Science and Biotechnology/Food and Bio-Industrial Research Institute, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea*
[2]*Department of Food Science and Technology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea*

감마선 처리에 의한 떫은감 과육의 세포벽 성분 및 물성 변화

김병오[1] · 차원섭[1] · 안동현[2] · 조영제[1]*
[1]경북대학교 식품공학부/식품생물산업연구소, [2]부경대학교 식품공학과

Abstract

In this study, the effects of gamma-radiation treatment on cell wall composition and physiological characteristics of astringent persimmon fruit were investigated. The soluble tannin contents of gamma-radiated samples were reduced by the radiation treatment. The hardness of the radiated fruit was decreased when compared to non-radiated fruit. Alcohol-insoluble component of the cell wall in the radiated fruit was decreased from 39.3 mg/g to 37.2 mg/g. The water-soluble content of the radiated fruit was increased from 11.4 mg/g to 13.9 mg/g. The cell wall content of the non-radiated fruit was 26.6 mg/g whereas the cell wall content of radiated fruit was decreased to 23.1 mg/g. Due to the maturation of astringent persimmon fruit by gamma-radiation, water-soluble compounds were increased whereas decreasing in cell wall compounds. The contents of lignin, pectin, and cell wall were decreased from 0.82 mg/g and 3.56 mg/g to 0.77 mg/g and 3.14 mg/g, respectively. Acid-soluble hemicellulose content was decreased by gamma-radiation, while alkali-soluble hemicellulose and cellulose contents were increased. Activities of sotening enzyme as polygalacturonase, pectinesterase and β-galactosidase existed in persimmon fruit were increased by gamma-radiation. In the sensory evaluation, gamma-radition treated persimmon showed very low astringent taste when compared to the non-radiated fruit. In hardness test, the non-radiated persimmon maintained the hardness while gamma-treated persimmon showed softened outer layer due to the condensation of tannin during radiation treatment. Therefore, gamma-radiation treatment will be used for the removal of its astringency of persimmon fruit and for enhancement of its maturation.

Key words : cell wall, physiological characteristic, gamma irradiation, astringent persimmon fruits

서 론

떫은 감은 숙성과정 중 생리적 변화로서 연화현상이 일어나고, 화학적 변화로 수렴성이 불용성으로 변하게 된다. 이러한 변화는 과육의 식감과 물성에 중요한 영향을 미치게 된다(1). 생리적 변화로 발생하는 연화현상은 생체 내의 세포벽 분해효소에 의하여 세포벽 구성다당류인 cellulose, hemicellulose, pectin, glycoprotein 등이 분해로 인하여 과실의 texture의 변화를 초래하게 되고, 이러한 변화는 과실의 특성 및 세포벽 구성성분과 밀접한 관계가 있으며 과실이 숙성됨에 따라 매우 빠른 속도로 진행된다(1-5). 특히 세포벽의 연결역할을 하는 middle lamella는 pectin질로 구성되어 있어서 떫은 감이 성숙될 때 pectin질이 분해됨으로서 과일조직의 연화현상을 초래한다(6,7). 연화현상이 발생하는 토마토 역시 숙성될 때, middle lamella와 일차세포벽의 변화에 의한 연화현상이 나타나는 것과 세포벽 구성

*Corresponding author. E-mail : yjcho@knu.ac.kr
Phone : 82-53-950-7755, Fax : 82-53-950-7762
Received 11 May 2015; Revised 18 June 2015; Accepted 11 August 2015.
Copyright ⓒ The Korean Society of Food Preservation. All rights reserved.

hemicellulose의 저분자화 현상이 발생하는 것은 같은 맥락의 결과라 할 수 있을 것이다(8,9). Shewfelt(10)와 Knee(11)는 과일이 연화되는 동안 불용성 pecticpolysaccharide의 함량은 감소하고, 가용성 polyuronide의 함량은 증가한다고 보고하였다. 또한 세포벽성분의 분해에 관여하는 효소는 polygalacturonase, cellulase, pectinmethyl esterase, α-galactosidase, β-galactosidase 등이 있으며, 이들 중 polygalacturonase는 과실의 연화에 가장 큰 영향을 주며(3,12), 과실의 연화초기에 이들 효소의 활성이 높다고 하였다(13,14).

한편 방사선 조사는 식품 및 소재의 부패방지, 제품의 안전성 및 보존성 향상의 효과를 위하여 식품 등에 널리 사용되고 있는 친환경적 기술이다(15-17). 방사선 조사 식품의 안전성은 FAO, IAEA, WHO 등에서 "평균 10 kGy 이하로 조사된 모든 식품은 어떠한 독성학적 위해나 영양학적, 미생물학적 문제를 일으키지 않는다"라고 인정하였다(18). 국내에서는 1987년 방사선 조사기술의 이용이 허가된 후 현재 신선식품류와 건조식육, 어패류분말, 전분, 인삼, 건조향신료, 복합조미식품 등 26개 품목에 대해 조사선량 0.15~10 kGy까지 발아, 발근억제, 살충, 살균 등의 목적으로 허용되어 있다(19). 감마선 조사 처리는 천연약용식물의 기능성 물질의 탐색에 적용되어 추출수율을 증진시키고(20), 색상을 개선하면서도 본래 가지고 있던 생리활성을 유지하여 산업적 응용을 용이하게 하는 방법으로도 알려져 있다(21,22). 이와같이 감마선 조사에 의한 생물학적인 변화에 대한 연구에 따라(23), 방사선 조사 처리를 통한 식품의 다양한 물성 변화를 활용한 기술 개발의 의지가 높아지리라 기대되고 있다(24).

본 연구에서는 떫은 감에 감마선을 조사하여 인위적인 떫은감의 연화현상을 유도하고 떫은 감의 세포벽과 탄닌의 변화 및 방사선 처리감의 물성을 조사하여, 감마선 처리가 떫은 감의 수렴성 제거와 숙성 기간을 단축시킬 수 있는 새로운 방법으로 활용이 가능한지 여부를 판단하였다.

재료 및 방법

재 료

본 실험에 사용한 시료는 약 120 g 내외의 크기가 비슷한 둥시(떫은감)를 사용하였다.

감마선 조사

시료의 감마선 조사는 투명한 polyethylene bag에 담고 한국원자력연구소내 선원 10만 Ci Co-60 감마선 조사시설을 이용하여 실온에서 시간당 2.5 kGy 선량율로서 10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 흡수선량의 확인은 ceric cerous dosimeter을 이용하였고, 총 흡수선량의 오차는 ±5% 내외이었다. 최적 조사선량을 위한 실험에서는 5~20 kGy의 조사선량의 범위에서 실험하였으며, 물성변화와 관능검사를 위한 감마선의 조사는 최적 조사선량인 10 kGy 조사 후 실험하였다.

탄닌 함량 측정

탄닌 함량의 측정은 Duval과 Shetty의 방법(25)에 준하여 측정하였다. 즉, 시료 용액 1 mL에 95% ethanol 1 mL와 증류수 5 mL를 가하여 잘 흔들어 주고 5% Na_2CO_3 용액 1 mL와 1 N Folin Ciocalteu reagent 0.5 mL를 가한 후 실온에서 60분간 발색시킨 다음 725 nm에서 흡광도를 측정하였으며, gallic acid를 사용한 표준곡선에서 양을 환산하였다.

과육의 경도 측정

과육의 경도는 rheometer(CR-100D, Sun scientific Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하였으며 시료를 높이 1 cm 두께로 절단하여 직경 5 mm의 probe가 표피에서 3 mm되는 지점까지 가해지는 compressive force(kg/cm^2)를 측정하였다.

세포벽의 추출, 분획 및 구성성분의 정량

Yamaki 등(26)이 행한 방법에 따라 Fig. 1과 같이 행하였다. 즉 세포벽추출은 과피를 제거한 과육질 100 g에 80% ethanol 200 mL를 가하여 균질화 한 후 80℃에서 10분간 가열하여 효소를 불활성화 시킨 다음 80% ethanol로 3회 여과, 세척하여 동결 건조한 것을 알콜 불용성 물질(alcohol insoluble substances)로 하였다. 여기에 α-amylase(3~5 unit/mg) 1 mg/mL를 함유한 50 mM sodium phosphate buffer(pH 6.8)에 protease(6~8 unit/mg) 1 mg/mL를 가하여 같은 조건에 12시간 처리한 후 원심분리한 상징액을 수용성물질(water souble material)로 하고, 잔사는 세포벽성분(cell wall fraction)으로 하였다. 다시 세포벽성분에 150 mg의 $NaClO_2$와 빙초산 4방울을 함유한 증류수 100 mL를 가하여 70℃에서 1시간 교반한 후 원심분리하여 상징액을 lignin 분획으로 하였고, 잔사에 0.05 M EDTA-2Na 100 mL를 가하여 80℃에서 30분간 가열하여 원심분리한 후 상징액을 pectin질 분획으로 하였다. 다시 잔사에 0.05 N H_2SO_4 100 mL를 가하여 100℃에서 5시간 끓인 다음 원심분리하여 얻은 상징액을 산 가용성 hemicelluose 분획으로 하였다. 다시 잔사에 4 N KOH를 가하고 N_2 gas하에서 12시간 방치한 후 원심분리하여 얻은 상징액을 알칼리 가용성 hemicelluose 분획으로 하였으며, 잔사를 cellulose분획으로 하였다. 각 상징액은 증류수에서 72시간 투석한 후 동결건조하여 중량으로 함량을 측정하였다.

효소 추출

효소추출은 Moshrefi와 Luh(27)가 행한 방법에 따라 시

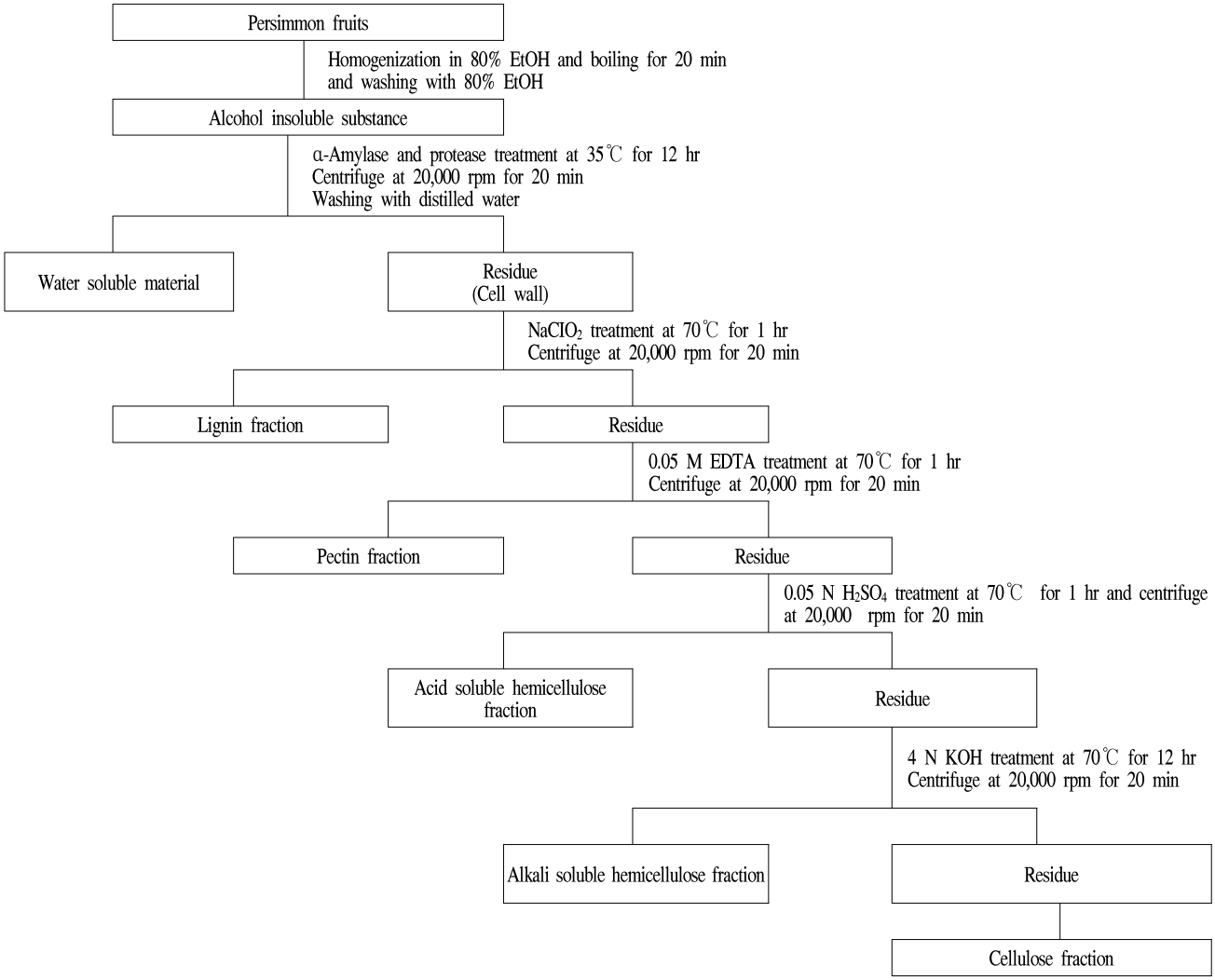

Fig. 1. Procedure for the fraction of cell wall polysaccharides from astringent persimmon fruits.

료 200 g에 증류수 400 mL를 가하여 10분간 균질화하고 30분간 천천히 교반한 후 1 M이 되게 NaCl을 가하고 30분간 천천히 저어준 후 균질액을 pH 6.0으로 조정하고 3시간 동안 magnetic bar로 교반한 다음 여과하여 조효소액을 얻었다. 조효소액을 80% 포화 $(NH_4)_2SO_4$로 염석하고, 20,000×g에서 10분간 원심분리한 다음 침전물을 0.15 N NaCl용액에서 48시간 투석한 후 다시 20,000×g로 15분간 원심분리한 상징액을 조효소로 하였다. 모든 효소의 추출 조작은 4℃에서 행하였다.

Polygalacturonase 활성 측정

Polygalacturonase 활성 측정은 Gross의 방법(28)에 준하였다. 1% polygalacturonic acid 용액 100 μL와 증류수 50 μL 혼합액에 효소액 50 μL를 가하여 30℃에서 30분간 반응시킨 다음 0.1 M boric acid-borax buffer(pH 9.0) 1 mL를 가하여 반응을 정지시켰다. 다음에 1% 2-cyanoacetamide용액 200 μL를 가하여 혼합하고, 10분간 끓인 후 얼음물에서 냉각한 다음 276 nm에서 흡광도를 측정하였다. Polygalacturonase의 활성 단위는 30℃에서 30분 동안에 1 μmole의 α-D-galacturonic acid를 생성하는 효소량을 1 unit로 하였다.

Pectinesterase 활성 측정

Simon과 Tucker의 방법(29)에 의해 측정하였다. 즉, 0.05 M acetate buffer(pH 5.2)에 pectin을 0.5% 농도로 용해하여 만든 기질용액과 효소액을 10 : 1(v/v)로 혼합한 후 30℃에서 60분간 반응시키고, 반응액 1 mL에 2% potassium permanganate 0.2 mL를 가하고 얼음수조에서 15분간 방치하였다. 여기에 0.2 mL의 0.5 M sodium arsenite 용액과 0.6 mL의 증류수를 가한 후 1시간 실온에서 반응시키고 2 mL의 0.02 M pentan-2,4-dion 용액을 가하여 밀봉하고, 60℃에서 15분간 가열하여 발색시킨 후 실온에서 412 nm로 흡광도를 측정하였으며, 표준품으로는 메탄올을 사용하여 표준곡선을 작성하였다.

β-Galactosidase 활성 측정

β-Galactosidase의 활성 측정은 Pressey의 방법(30)에 따라 ρ-nitrophenyl-β-galactoside를 가수분해하는 정도를 측정하여 효소의 활성으로 나타내었다. 0.2% ρ-nitrophenyl-β-galactoside/10 mM sodium acetate buffer(pH 4.0) 50 μL에 0.2% bovine serum albumin 300 μL와 10 mM sodium acetate buffer(pH 4.0) 100 μL를 잘 혼합한 후, 효소액 100 μL를 가하여 15분간 반응시킨 다음 0.2 M Na_2CO_3 2 mL를 가하여 반응을 정지시키고 410 nm에서 흡광도를 측정하였다. 효소 단위는 30℃에서 15분 동안에 1 mM의 ρ-nitrophenyl-β-galactoside를 분해하는 효소량으로 정하였다.

관능검사

떫은 감 과육에 대한 관능검사는 10인으로 검사 패널을 구성하여 수렴성 및 경도에 대하여 5단계 평점법으로 평가하였다. 수렴성은 매우 떫다(1점), 약간 떫다(2점), 보통이다(3점), 거의 떫지 않다(4점), 전혀 떫지 않다(5점)로 평가하였고, 조직감은 매우 딱딱하다(1점), 약간 딱딱하다(2점), 보통이다(3점), 약간 물렁하다(4점), 매우 물렁하다(5점)로 평가하였다.

통계처리

본 실험의 결과는 3회 반복하여 측정한 평균값을 나타내었으며 평균±표준편차로 나타내었다. 통계처리는 SPSS (7.5, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 통계 처리하였고 분산분석(analysis of variance) 및 Duncan의 다중범위검정법(Duncan's multiple range test)으로 95% 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

가용성 탄닌 함량의 변화

떫은감 과육 중의 가용성 탄닌 함량의 변화는 Table 1과 같이 방사선을 처리하지 않은 대조구의 경우 181.04±1.72 μg/g이었으나 방사선 처리의 경우 처리 방사선의 양이 5, 10, 20 kGy로 증가할수록 146.31±0.77 μg/g, 126.50±0.39 μg/g 및 128.09±2.76 μg/g으로 과육내의 가용성 탄닌의 양은 줄어드는 것이 확인되었으며, 10 kGy 이상의 방사선 처리는 가용성 탄닌의 양을 변화시키는데 크게 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. Nakabayashi(31), Yonemori와 Matsushima(32)는 감과실의 성숙 및 연화가 진행됨에 따라 탄닌 분자 간 중합으로 고분자화가 진행되어 불용성으로 바뀐다고 보고하였고, 본 실험 결과 방사성 조사에 의해 과육의 숙성이 일어나며, 이에 따른 탄닌 분자들의 중합에 의한 고분자화가 발생하여 가용성 탄닌이 불용성 탄닌으로 바뀌는 것으로 생각되었다.

Table 1. Change in the soluble tannin content of astringent persimmon fruits by various radiation dose

Radiation dose (kGy)	Content of soluble tannin (μg/g)
Control	181.04±1.72[a1)]
5	146.31±0.77[b]
10	126.50±0.39[c]
20	128.09±2.76[c]

[1)]Mean±standard deviation (n=6). Means with different superscripts (a~c) are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range tests.

떫은 감 과육경도의 변화

떫은 감 과육의 경도는 Table 2에서처럼 방사선을 조사하지 않은 대조구에 비해 방사선 조사에 의해 감의 숙성이 진행됨에 따라 연화현상이 유발되어 경도가 감소되는 것으로 추정하였으며, 이러한 현상은 연화효소의 활성과 연관이 있으리라 판단되었다. 또한 방사선 조사량이 증가함에 따라 과육의 경도가 약해지는 양상을 나타내었으나 10 kGy와 20 kGy간의 조사량 차이에서는 유의성이 없는 것으로 측정되었다. 따라서 FAO, IAEA, WHO 등에서 식품에는 10 kGy 이하의 조사량만 허용하고 있으며(18), 본 연구 결과, 20 kGy의 조사량이 물성변화에 미치는 영향이 10 kGy에 비해 유의적인 차이를 나타내지 않아 과다한 조사량이라고 판단되어 향후 연구에는 10 kGy의 조사량에 국한하여 연구를 진행하였다.

Table 2. Change in hardness of astringent persimmon fruits by various radiation dose

Radiation dose (kGy)	Hardness (g/cm^2)
Control	941.52±40.15[a1)]
5	857.19±26.72[b]
10	709.52±11.53[c]
20	689.32±12.46c

[1)]Mean±standard deviation (n=6). Means with different superscripts (a~c) are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range tests.

세포벽 구성성분의 변화

과실의 숙성은 세포벽 구성성분의 변화에 기인하고, 세포벽 구성성분의 변화는 세포벽 분해효소에 의한 효소적 변화와, Ca^{2+}함량에 따른 pectin질의 변화에 기인한다(1,2). Table 3과 4는 Yamaki 등(26)이 행한 방법에 따라 분획한 알콜불용성 물질(alcohol-insoluble substance), 수용성 물질(water-soluble material) 및 세포벽성분(cell wall)의 함량을 측정한 결과이다. 알콜불용성 물질의 함량은 방사선을 처리하지 않은 대조구의 경우 39.3±3.2 mg/g이었으나, 방사선 처리의 경우 37.2±3.7 mg/g로 다소 낮아졌고, 수용성 물질의 함량은 대조구의 경우 11.4±1.7 mg/g였으나, 방사선 조

사의 경우 13.9±1.8 mg/g로 다소 높아졌으며, 세포벽 성분의 함량은 대조구의 경우 26.6±2.2 mg/g였으나, 방사선 조사의 경우 23.1±4.7 mg/g로 다소 낮아졌다. 방사선 처리 후 상온에 저장하였을 경우에 세포벽 성분은 저장 기간이 경과할수록 다소 낮아지는 경향을 나타내었고, 수용성 물질의 함량은 방사선 조사 후 저장 기간이 경과할수록 함량이 높아지는 경향을 나타내었다. Kenn(33) 및 Arpaia 등(34)은 과실이 성숙됨에 따라 알콜 불용성 물질과 세포벽성분의 함량은 감소하고, 세포벽 구성다당류는 저분자화 현상이 일어난다고 보고하였고, Hurber(1), Ahmed와 Labavitch(5) 및 Bartley와 Knee(8)는 세포벽성분이 분해됨으로써 세포벽성분의 함량은 감소하고 수용성 물질이 증가한다고 보고하였다. 따라서 떫은감 과육은 방사선조사에 의해 숙성이 일어나며 세포벽성분의 함량은 감소하고 수용성물질의 함량이 증가하는 것은 세포벽이 분해되어 수용성물질로 전환되기 때문인 것으로 생각된다. 또한 알콜 불용성 물질과 세포벽성분의 함량이 감소하는 것은 연화현상과 깊은 관련이 있을 것으로 판단되어 제품 물성에 영향을 미칠 것으로 판단되었다(33).

Table 3. Contents of alcohol insoluble substance, water soluble material and cell wall of astringent persimmon fruits by 10 kGy radiation treatment

Fraction	Content of material (mg/g)	
	Control	Radiation (10 kGy)
Alcohol insoluble substance	39.3±3.2[a1)]	37.2±3.7[a]
Water soluble material	11.4±1.7[a]	13.9±0.8[b]
Cell wall	26.6±1.2[a]	23.1±1.7[b]

[1)]Mean±standard deviation (n=6). Means with different superscripts (a~c) are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range tests.

Table 4. Change in the contents of alcohol insoluble substance, water soluble material and cell wall of astringent persimmon fruits during storage after 10 kGy radiation treatment

Fraction	Content of material (mg/g)		
	Time (day)		
	0	1	2
Alcohol insoluble substance	37.2±2.7[a1)]	35.9±2.7[ab]	33.5±0.5[b]
Water soluble material	13.9±1.1[a]	17.2±2.1[b]	19.4±1.5[c]
Cell wall	23.1±1.7[a]	19.6±1.3[b]	17.1±0.6[c]

[1)]Mean±standard deviation (n=6). Means with different superscripts (a-c) are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range tests.

세포벽 구성다당류의 변화

Table 5와 6은 세포벽 구성다당류를 분획하여 정량한 결과로 lignin의 함량과 pectin질의 함량은 대조구의 경우 각각 0.82±0.13 mg/g, 3.56±0.27 mg/g mg/g였으나, 방사선 조사의 경우 각각 0.77±0.04 mg/g, 3.14±0.19 mg/g로 다소 감소하였다. 또한 방사선 조사 후 저장 기간이 경과할수록 이러한 현상은 더욱 심화되는 것으로 측정되었다. Kenn(33), Yamaki 등(26)은 과일이 숙성될수록 총 pectin의 함량이 감소한다고 보고하였으며, 연화현상이 일어나는 과일의 경우 감마선 조사에 의해 과일의 숙성이 진행될 수 있음을 짐작하였다. 산가용성 hemicellulose의 함량은 lignin과 pectin처럼 방사선 조사에 의해 감소하는 경향을 나타내었으나, 알칼리 가용성 hemicellulose와 cellulose는 방사선 조사에 의해 증가하는 양상을 나타내었다. Hurber(1)는 과실이 성숙함에 따라 hemicellulose는 저분자화 현상이 일어난다고 보고하였으며, 본 연구 결과에서 방사선 조사에 의해 감과육의 고분자 hemicelluloses가 가수분해되어 저분자 hemicelluloses로 전환되기 때문인 것으로 판단되었다(27).

Table 5. Change in cell wall polysaccharides of astringent persimmon fruits during storage after 10 kGy radiation treatment

Polysaccharides	Concentration of polysaccharides (mg/g)	
	Treatment	
	Control	Radiation (10 kGy)
Lignin	0.82±0.13[a1)]	0.77±0.04[a]
Pectin	3.56±0.27[a]	3.14±0.11[b]
Acid soluble hemicellulose	4.38±0.25[a]	3.92±0.12[b]
Alkali soluble hemicellulose	6.61±0.29[a]	6.81±0.33[a]
Cellulose	6.64±0.16[a]	6.91±0.38[a]

[1)]Mean±standard deviation (n=6). Means with different superscripts (a~c) are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range tests.

Table 6. Changes in the contents of cell wall polysaccharides of astringent persimmon fruits during storage after 10 kGy radiation treatment

Polysaccharides	Concentration of polysaccharides (mg/g)		
	Time (day)		
	0	1	2
Lignin	0.77±0.24[a1)]	0.51±0.13[b]	0.28±0.21[c]
Pectin	3.14±0.19[a]	2.96±0.32[a]	2.32±0.13[b]
Acid soluble hemicellulose	3.92±0.22[a]	3.35±0.31[ab]	3.11±0.23[b]
Alkali soluble hemicellulose	6.01±0.33[a]	6.46±0.57[ab]	6.93±0.27[b]
Cellulose	6.11±0.18[a]	6.68±0.25[b]	7.15±0.12[c]

[1)]Mean±standard deviation (n=6). Means with different superscripts (a-c) are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range tests.

효소의 활성 변화

과실의 연화현상은 세포벽 분해효소에 의해서 세포벽의 구성다당류가 가수분해됨으로써 일어나며, polygalacturonase (PG), pectinesterase(PE)와 β-galactosidase는 과실의 연화와 밀접한 관계가 있다(1-4). 떫은 감에 10 kGy 선량으로 방사선을 조사한 후 저장기간 동안 감 과육에 존재하는 세포벽 분해 및 연화효소인 PG, PE와 β-galactosidase의 활성변화를 측정한 결과 Fig. 2에서와 같이 과일의 연화현상에 관여하는 PG, PE 및 β-galactosidase 모두 10 kGy 방사선 처리 후 저장기간이 경과할수록 효소활성이 급격하게 증가하였다. 방사선 조사전에는 효소활성이 전혀 측정되지 않았으나, 저장 2일째 PG, PE와 β-galactosidase의 활성은 각각 2.52, 2.21 및 3.07 unit/mL로 측정되었다. 과실의 성숙과정 중 PG의 활성은 과실이 익어감에 따라 활성이 증가하며(35), 저장 중에 PG의 활성이 급격히 증가한다(12,36). 또한 과실이 성숙함에 따라 PG의 활성이 증가되는 것은 세포벽의 분해와 동시에 glycoprotein형태로 세포벽에 결합되어 있는 비활성형 PG가 유리되어 활성형으로 전환되기 때문이며(37), 특히 생성된 PG가 middle lamella를 용해하므로 활성형 PG로 유리되어 효소의 활성도 급증하게 된다(2). Pressey(35)는 과실이 성숙함에 따라 효소의 활성도가 증가하며, PG의 활성이 증가하면 경도가 급격히 감소한다고 보고하였다. 본 실험 결과 방사선 조사에 의해 감과육의 세포벽 분해 효소들의 활동이 왕성해지고 이로 인한 연화현상이 촉진되어 과육의 경도가 낮아지게 되어 연화현상이 발생하는 것으로 판단되었다. 또한 방사선을 조사하지 않은 감과육을 상온저장 할 경우 40일간의 저장기간에도 과육의 경도 변화는 크게 낮아지지 않는다는 결과 보고가 있으며(38,39), 본 연구에서는 방사선 조사 후 2일간의 저장에도 감과육의 물성 변화가 관찰되어 방사선에 의한 효소 변화에 기인한 연화를 촉진시키는 수단으로 활용이 가능한 것으로 판단되었다.

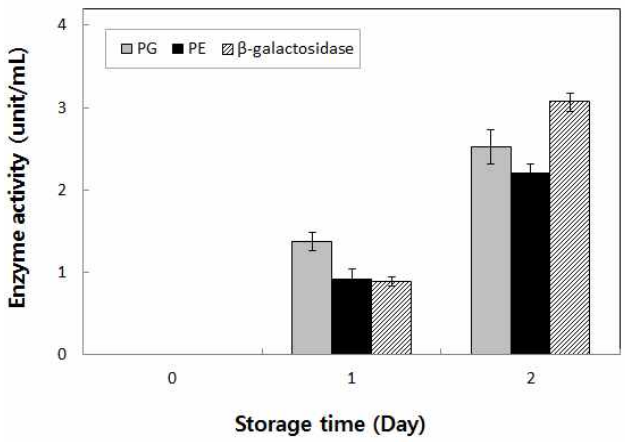

Fig. 2. Change in enzyme activity of astringent persimmon fruits during storage after 10 kGy dose radiation treatment.

관능검사

방사선을 처리하지 않은 감과육의 경우 저장 초기에는 물성 변화가 거의 발생하지 않으므로(38,39), 방사선 처리 감을 대상으로 관능검사한 결과 Table 7에서 보는바와 같이 수렴성은 방사선을 처리하지 않은 대조구의 경우 1.2±0.2로 매우 떫은 것으로 나타났으나 방사선 처리 후에는 2일간 저장한 경우 3.8±0.3으로 떫은맛을 거의 느끼지 않을 정도의 수치에 육박함을 알 수 있었다. 과육의 경도에 대한 관능검사 결과 Table 7에서와 같이 대조구는 2.0±0.1로 딱딱한 것으로 나타났으나 방사선 처리 후에는 2.4±0.3으로 관능검사 score가 증가하기 시작하여 저장 2일 후 score가 3.6±0.3으로 물렁해 지기 시작하는 것으로 나타났다. 이는 방사선 처리 후 저장기간이 경과할수록 연화효소의 활성이 높아지는 것에 기인한 것으로 판단되었다. 이러한 결과를 종합하면 방사선 처리 후 저장 기간이 경과할수록 떫은맛은 감소하는 경향을 나타내었으나 반대로 연화현상은 심해지는 것으로 나타났다. 따라서 떫은 감 과일의 경우 방사선처리에 의해 탄닌의 축합이 일어나며 과육의 숙성도 동시에 발생하여 떫은맛이 감소하게 되고, 연화현상도 발생되는 것으로 추측하였으며, 떫은맛의 감소 정도와 경도의 유지를 고려해서 방사선조사 후 저장 2일까지는 물성이 유지되는 것으로 판단되었다.

Table 7. Changes in the sensory score of astringency and hardness on astringent persimmon fruits during storage after 10 kGy radiation treatment

Rheology	Sensory score[1)]			
	Storage time (day)			
	Control	0	1	2
Astringency	1.2±0.2[a2)]	2.2±0.2[b]	3.2±0.6[bc]	3.8±0.3[c]
Hardness	2.0±0.1[a]	2.4±0.3[ab]	3.0±0.2[b]	3.6±0.3[c]

[1)]Sensory evaluation was determined as very astringent (1 point), slightly astringent (2 point), normal (3 point), practically not astringent (4 point), completely not astringent (5 point) and determined as very hard (1 point), slightly hard (2 point), normal (3 point), slightly soft ripe (4 point), completely soft ripe (5 point). 2)Mean±standard deviation (n=6). Means with different superscripts (a-c) are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range tests.

요 약

본 연구에서는 감마선 조사가 떫은감 과육의 세포벽변화, 수렴성 및 경도변화에 미치는 영향을 살펴보았다. 감마선 조사 결과 떫은감 과육 중의 가용성 탄닌 함량의 변화는 대조구의 181.04±1.72 μg/g에 비해 처리 방사선의 양이 5~20 kGy로 증가할수록 146.31 μg/g에서 128.09 μg/g으로 과육내의 가용성 탄닌의 양이 감소하는 것이 확인되었다. 감과육의 경도는 방사선을 조사하지 않은 대조구에 비해 방사선 조사한 감과육의 경도가 감소하였다. 세포벽 성분의 변

화는 알콜불용성 물질의 경우 대조구의 39.3 mg/g에 비해 방사선 처리의 경우 37.2 mg/g로 낮아졌다. 수용성 물질의 함량은 대조구의 경우 11.4 mg/g이었으나, 방사선 조사의 경우 13.9 mg/g로 높아졌으며, 세포벽 성분의 함량은 대조구의 경우 26.6 mg/g였으나, 방사선 조사의 경우 23.1 mg/g로 낮아져, 떫은감 과육이 방사선조사에 의해 숙성이 일어나 세포벽성분의 함량이 감소하고 수용성물질의 함량이 증가한 것으로 나타났다. 세포벽 구성다당류 중 lignin의 함량과 pectin질의 함량은 대조구의 0.82 mg/g, 3.56 mg/g에 비교해 방사선 조사의 경우 0.77 mg/g, 3.14 mg/g로 감소하였다. 산가용성 hemicellulose의 함량은 lignin과 pectin처럼 방사선 조사에 의해 감소하는 경향을 나타내었으나, 알칼리 가용성 hemicellulose와 cellulose는 방사선조사에 의해 증가하는 양상을 나타내었다. 감과육에 존재하는 세포벽 분해 및 연화효소인 polygalacturonase, pectinesterase와 β-galactosidase의 활성의 경우 방사선 조사에 의해 모든 효소 활성이 증가하였다. 방사선 처리감의 관능검사 결과 수렴성은 대조구의 경우 매우 떫은 것으로 나타났으나 방사선 처리 후에는 거의 떫지 않게 느껴졌고, 과육의 경도에 대한 관능검사 결과 대조구는 딱딱한 것으로 나타났으나 방사선 처리 후에는 약간 물렁해 지는 것으로 나타나 방사선처리에 의해 탄닌의 중합이 일어나며 과육의 숙성도 동시에 발생하였다. 따라서 감마선 처리는 떫은 감의 수렴성 제거와 숙성기간을 단축시킬 수 있는 새로운 방법으로 활용이 가능할 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 2012학년도 KNU 학술연구비 지원에 의하여 수행되었기에 이에 감사드립니다.

References

1. Huber DJ (1983) The role of cell wall hydrolase in fruit softening. Hort Rev, 5, 169-219
2. Hobson GE (1981) In Enzymes and texture changes during ripening : Recent advances in the biochemistry of fruit and vegetables. Friend J Rhodes MJC, Academic press, London, p 123-132
3. Aspinall G E (1980) In *Chemistry of cell wall polygalacturonases.* : The biochemistry of plant, Vol. 3. Carbohydrates; structure and function. Academic press, New York, p 473-500
4. Knee M, Bartley IM (1980) In *Composition and metabolism of cell wall polysaccharides in ripening fruits.* : Recent advances in the biochemistry of fruit and vegetable. Friend J Rhodes MJC, Academic Press, London, p 133-148
5. Ahmed AER, Labavitch, JM (1980) Cell wall metabolism in ripening fruit. I. Cell wall changes in the ripening “Bartlett” pears. Plant Physiol, 65, 1009-1013
6. Plat-Aloia KA, Thomson WW (1981) Ultrastructure of the mesocarp of mature avocado fruit. Ann Bot, 48, 451-465
7. Ben-Arie R, Sonego L, Frenkel C (1979) Metabolism of the pectic substances in ripening pears. J Amer Soc Hort Sci, 104, 500-505
8. Bartley IM, Knee M (1982) The chemistry of textural changes in fruit during storage. Food Chem, 9, 47-58
9. Huber SJ, Bloom HL (1983) Polyuronide degradation and hemicellulose modification in ripening tomato fruit. J Amer Soc Hort Sci, 108, 405-409
10. Shewfelt AL (1965) Change and varition in the pectic constitution of ripening peaches as related to product firmness. J Food Sci, 30, 573-576
11. Knee M (1970) The separation of pectic polymers from apple fruit tissue by chromatography on diethylaminoethyl-cellulose. J Exp Bot, 21, 651-662
12. Ahmed AER, Labavitch JM (1980) Cell wall metabolism in ripening “Bartllett” pears. Plant Physiol, 65, 1014-1016
13. Brady CJ (1976) The pectinesterase of the pulp of the banana fruit. Aust J Plant Physiol, 3, 163-172
14. Tucker GA, Robertson G, Grierson D (1982) Purification and changed in activites of tomato pectinesterase isoenzymes. J Sci Food Agr, 33, 396-400
15. Byun MW (1994) Application of irradiation techniques to food industry. Radioistope News, 9, 32-37
16. Thayer DW (1990) Food irradiation : benefits and concerns. J Food Quality, 13, 147-169
17. Lee JW, Yook KH, Cho KH, Lee SY, Byun MW (2001) The changes of allergenic and antigenic properties of egg white albumin (*Gal* d 1) by gamma irradiation. J Korean Soc Food Sci Nutr, 30, 500-504
18. Jo D, Kwon JH (2002) Characteristics of thermoluminescence and electron spin resonance and organoleptic quality of irradiated raisin an dried banana during storage. J Korean Soc Food Sci Nutr, 31, 609-614
19. KFDA (2009) Korea Food Standard Code, 5-21-10
20. Park HJ, Lee EH, Kim MU, Lee SH, An DH, An BJ, Kwon JH, Cho YJ (2014) Biological activities of extracts from gamma-irradiated *Aralia elata* Cortex. J Korean Soc Food Sci Nutr, 43, 1236-1247

21. WHO (1981) Wholesomeness if irradiated food. Report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee. Technical Report Series 659. Geneva, Switzerland
22. Jo C, Son JH, Lee HJ, Byun MW (2003) Irradiation application for color removal and purification of green leaves extracts. Radiat Phys Chem, 66, 179-184
23. KFDA (2011) *Korean Food Standard Code*. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea. p 2-1-9, 2-1-10
24. Park TS (2006) Effect of irradiated green tea poly polyphenol addition into cosmetic composition and development of a cosmetics without antiseptics. MS Thesis. Daegu Hanny University, Daegu, Korea
25. Duval B, Shetty K (2001) The stimulation of phenolics and antioxidant activity in pea (*Pisum sativum*) elicited by genetically transformed anise root extract. J Food Biochem, 25, 361-377
26. Yamaki S, Machida Y, Kakiuchi N (1979) Changes in cell wall polysaccharides and monosaccharides during development and ripening of Japanese pear fruit. Plant Cell Physiol, 20, 311-321
27. Moshrefl M, Luh BS (1984) Purification and characterization of two tomato polygalacturonase isoenzymes. J Food Biochem, 8, 39-54
28. Gross KC (1975) A rapid and sensitive spectrophotometric method for assaying polygalacturonase using 2-cyanoacetaminde. Hortscience, 10, 624-625
29. Simon SH, Tucker GA (1999) Simultaneous co-suppression of polygalacturonase and pectinesterase in tomato fruit : inheritance and effect on isoform profiles.Phytochem, 52, 1017-1022 30. Pressey R (1983) β-Galactosidase in ripening tomatoes. Plant Physiol, 71, 132-135
31. Nakabayashi T (1971) Studies on tannins of fruits and vegetables. (Part Ⅶ) Difference of the components of tannin between the astrigent and non-astringent persimmon fruits. J Food Technol, 18, 33-37
32. Yonemori K, Matsushima J (1983) Differences in tannins of non-astringent and astringent type fruits of Japanese persimmon (*Diospyros kaki*. T.). J Japan Soc, 52, 135-144
33. Kenn M (1973) Polysaccharide changes in cell walls of ripening apples. Phytochem, 12, 1543-1549
34. Arpaia ML, Labavitch JM, Greve C, Kader AA (1987) Changes in the cell wall components of kiwi fruit during storage in air or controled atmosphere. J Amer Soc Hort Sci, 112, 474-481
35. Pressey R, Hinton PM, Avants JK (1971) Development of polygalacturonase activity and solubilization of pectin in peaches during ripening. J Food Sci, 36, 1070-1072
36. Zauberman G, Schiffmann-Nadel M (1972) Pectinmethy-lesterase and polygalacturonase in avocado fruit at various stages of development. Plant Physiol, 49, 964-956
37. Trucker GA, Grierson D (1982) Synthesis of polygalacturonase during tomato fruit ripening. Planta, 155, 64-67
38. Sohn TH, Choi CJ, Cho RK, Seog HM, Seong CH, Seo OS, Ha YS, Kang JH (1978) Studies on the utilization of persimmons. (Part 5) Investigation of the optimum thickness of film bag for polyethylene film storage of astringent variety. Korean J Food Sci Technol, 10, 73-77
39. Min BY, Oh SL (1975) Studies on CA storage of sweet persimmon in polyethylene film pack. Korean J Food Sci Technol, 7, 128-134