

습열 조리 조건에 따른 방사선 조사 건고사리의 연화도

성태화¹ · 이주운² · 변명우² · 김미리^{1*}

¹충남대학교 식품영양학과

²한국원자력연구소 방사선연구원 방사선식품생명공학기술개발

Effect of Gamma Irradiation on the Softening of Dried Fernbrake at Different Moist-Heating Conditions

Tae Hwa Seung¹, Ju Woon Lee², Myung Woo Byun² and Mee Ree Kim^{1*}

¹Dept. of Food & Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Team for Radiation Food Science and Biotechnology, Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeonbuk 580-185, Korea

Abstract

Effect of gamma irradiation on the softening of dried fernbrake at different moist-heating conditions was investigated. Dried fernbrake packaged in controlled atmosphere (CO₂ 25%, N₂ 75%) was irradiated up to 7 kGy with γ -ray. Hardness of dried fernbrake was significantly decreased at the irradiation dose of above 5 kGy. Hardness of cooked fernbrake was significantly decreased with increasing irradiation dose level as well as heating temperature and time. DT₅₀ value (The heating time required to reach the 50% reduction of hardness) for irradiated fernbrake was shortened according to dose level as well as heating temperature and heating time: DT₅₀ value of control: 23 min, 5 or 7 kGy: 2.2~5.0 min at 60°C. Also, the activation energy for softening of irradiated fernbrake (1.85~1.88 kcal/mole for 5~7 kGy) decreased compared to control (4.30 kcal/mole). Moisture content, swelling and rehydration rate of gamma irradiated fernbrake during moist heating increased according to the irradiation doses. Sensory results showed that scores of off-flavor and odor in irradiated fernbrake upto 7 kGy were not significantly different from control. Based on these results, gamma irradiation was effective for the reduction of cooking time and the activation energy for softening of dried fernbrake with increasing dose levels.

Key words: dried fernbrake, gamma irradiation, moist-heating, softening

서 론

건조 채소류는 대부분 산채이며, 건조 산채는 대부분 조직이 단단하고 질기므로 습열 조리 과정을 거쳐 충분히 연화시켜야 식용으로 이용될 수 있다. 신선한 채소류는 산출 시기가 제한되어 있고 수분 함량이 높아 저장성에 한계가 있으므로 한국에서는 전통적으로 채소류 생산이 많은 시기에 수확한 채소를 건조하여 사용하여 왔다. 근래에는 채소의 재배법의 발달로 겨울철에도 신선한 채소를 쉽게 구할 수 있으나, 산채는 생산 시기가 매우 제한되어 있어 수확 시기에 건조시켜 연중 공급하고 있다. 특히 한국인들은 건조채소의 특유한 향미와 질감에 익숙해 있어 건조 채소에 대한 관심이 높은 실정이다(1).

건조 채소류는 원료 대부분을 특정 시기에 다량 구매하거나 반제품상태의 것을 장기 보존하면서 가공에 사용하고 있기 때문에 보관 중 해충과 미생물에 의한 오염이 문제시되고

있으며, 이를 예방하기 위하여 여러 식품처리방법들이 이용되어 왔다(2). 최근 세계 각국에서 식품에 사용되는 보존제나 훈증처리가 유해성분의 생성 및 잔류로 발암성 등 건강장해를 일으킬 수 있기 때문에 그 사용이 금지되거나 제한되고 있다(3). 열에 의한 살균은 채소의 성분이나 물성이 파괴되는 경우가 많기 때문에 건조 채소류의 품질 및 위생적 안전성을 확보하기 위하여 품질의 변화에 크게 영향을 주지 않는 방법으로써 방사선 조사 처리 방법을 이용하고 있다(2,4-7).

고사리(*Pteridium aquilinum*)는 우리의 일상식생활에서 즐겨 애용되고 있는 산채로서 봄철에 나오는 어린 싹을 건조시켜 저장해서 사계절 이용하고 있다(8). 건고사리의 연화를 위해 전통적으로 습열 조리 방법이 이용되어 왔으나, 습열 조리 조건 및 방사선 조사에 따른 연화정도는 보고되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 방사선 조사가 건고사리의 습열 조리 조건에 따른 고사리의 연화정도에 미치는 영향을 살펴 보았다.

*Corresponding author. E-mail: mrkim@cnu.ac.kr
Phone: 82-42-821-6837. Fax: 82-42-821-8887

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에 사용한 건고사리는 대전 노은 농수산물 시장에서 2002년도에 구입하여 사용하였다.

감마선 조사

시료는 감마선 조사를 위하여 110 g씩 nylon film (Sunkyung Co. Ltd., Seoul, Korea) 포장재를 이용 혼합가스 치환포장(CO₂ 25%, N₂ 75%)하여 감마선을 조사하였다. 감마선 조사는 Co-60 감마선 조사 시설(Point source, AECL, IR-79, Nordion International Co. Ltd., Owatta, ON, Canada)을 이용하여 실온에서 시간당 5 kGy의 선량율로 각각 0, 3, 5, 7 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며 흡수선량의 확인은 alanine dosimeter(Bruker Instrument, Rheinstetten, Germany)를 사용하였고 총 흡수선량의 오차는 ±0.2 kGy이었다. 이때 조사실 온도는 10±0.5°C이었다.

습열조리 조건

건고사리(100 g)와 중량의 10 배 증류수를 스텐레스 냄비에 넣고 항온수조(MCH-011D, Monotech, Korea)에서 조리수의 온도(60, 80, 100°C)를 맞추어 조리시간 별(0, 3, 10, 15, 20, 30, 60 또는 120분)로 습열 조리하였다. 가압 조리 시에는 가압 멸균기(Dong Yang Science, Korea)를 사용하여 0, 3, 5 또는 7분간 가열하였다. 일정시간의 가열이 끝난 고사리는 찬물에 3번 행군 다음 체에 받쳐 10분간 물기를 뺀 후 실험에 사용하였다.

수분 함량 및 팽윤도 측정

AOAC법(9)에 의거 상압 가열 건조법으로 측정하였으며 팽윤도는 조를 이용하여 종자 치환법으로 측정하였다.

수화복원성(rehydration test)

건고사리의 수화복원성은 다음의 공식에 의거하여 복원율을 측정하였다.

$$\text{복원율(\%)} = \frac{\text{복원 후 시료 무게} - \text{복원 전 시료 무게}}{\text{복원 전 시료 무게}} \times 100$$

수분 흡수량

각기 다른 조건으로 처리한 시료의 재수화 후 무게에서 재수화 전의 무게를 뺀 값을 g당 흡수량으로 환산하여 표시하였다.

기계적 조직감(texture)

고사리의 기계적 질감특성은 Texture analyser(TA XT2, Micro Stable System, England)를 사용하여 2회 연속적으로 압착시켰을 때 얻어지는 힘-거리 곡선으로부터 경도(hardness)를 측정하였으며, 10회 반복 측정 후 평균치를 계산하였다. 건고사리와 습열 조리후의 고사리에 대하여 조사선량(3, 5, 7 kGy), 온도(60, 80, 100, 120°C), 조리시간(0, 3, 10, 15, 20, 30분)조건에 따라 기계적 조직감을 측정하였다.

Table 1. Condition of texture analyser for texture profile analysis of fernbrake

Probe	Φ3 mm
Force threshold	20 g
Distance threshold	0.5 mm
Contact area	7.07 mm ²
Contact force	5 g
Pre test speed	5 mm/s
Post test speed	5 mm/s
Test speed	5 mm/s
Strain	70%
Time	0.5 sec
Trigger type	Auto @ 5 g

Texture analyser의 측정 조건은 예비실험을 통하여 정하였으며 Table 1과 같다.

관능검사

습열조리(80°C, 30분)한 고사리의 관능평가를 위하여 충남대학교 식품영양학과 대학원생 및 학부생으로 구성된 10 명의 평가요원을 1주일에 3회 주당 3시간씩 2개월간 관능평가에 관한 기본지식, 4원미 역치검사, 예민도 검사, 차이식별 검사 및 고사리의 특성평가 등 기본지식을 훈련시킨 후 관능평가를 실시하였다. 평가항목은 이취, 고사리 냄새, 고사리 맛, 경도에 대하여 9점 척도법으로 강도 특성을 평가하였다.

통계처리

고사리의 물리적, 관능적 특성치는 ANOVA를 이용하여 5% 유의수준에서 Duncan's multiple range test에 의해 각 시료간의 유의적인 차이를 검증하였으며(10), 모든 자료는 SPSS Package를 이용하여 통계처리하였다.

결과 및 고찰

방사선 조사선량에 따른 건고사리의 경도

방사선을 조사한 건고사리의 경도를 Texture analyser에 의하여 측정된 결과는 Fig. 1과 같다. 조사선량은 7 kGy까지

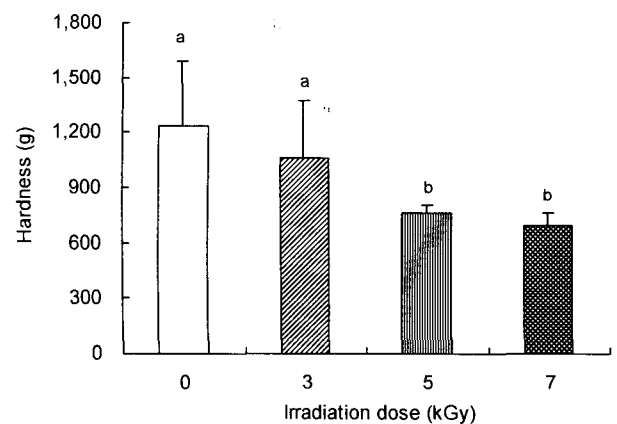


Fig. 1. Hardness of gamma irradiated fernbrake at different dose levels.

^{a,b}Values in the same letters are not significantly different at $\alpha=0.05$.

로 건조채소에 허용된 범위 내에서 조사하였다(11). 대조군은 경도가 1,239 g으로 매우 단단하였으며, 3 kGy 조사군은

1,058 g으로 대조군에 비하여 약 15%정도 감소하였으나 대조군과 유의적인 차이는 없었다. 5 kGy 조사군은 761 g, 7 kGy 조사군은 694 g으로 대조군에 비하여 각각 30% 및 35% 감소하였다($p < 0.05$).

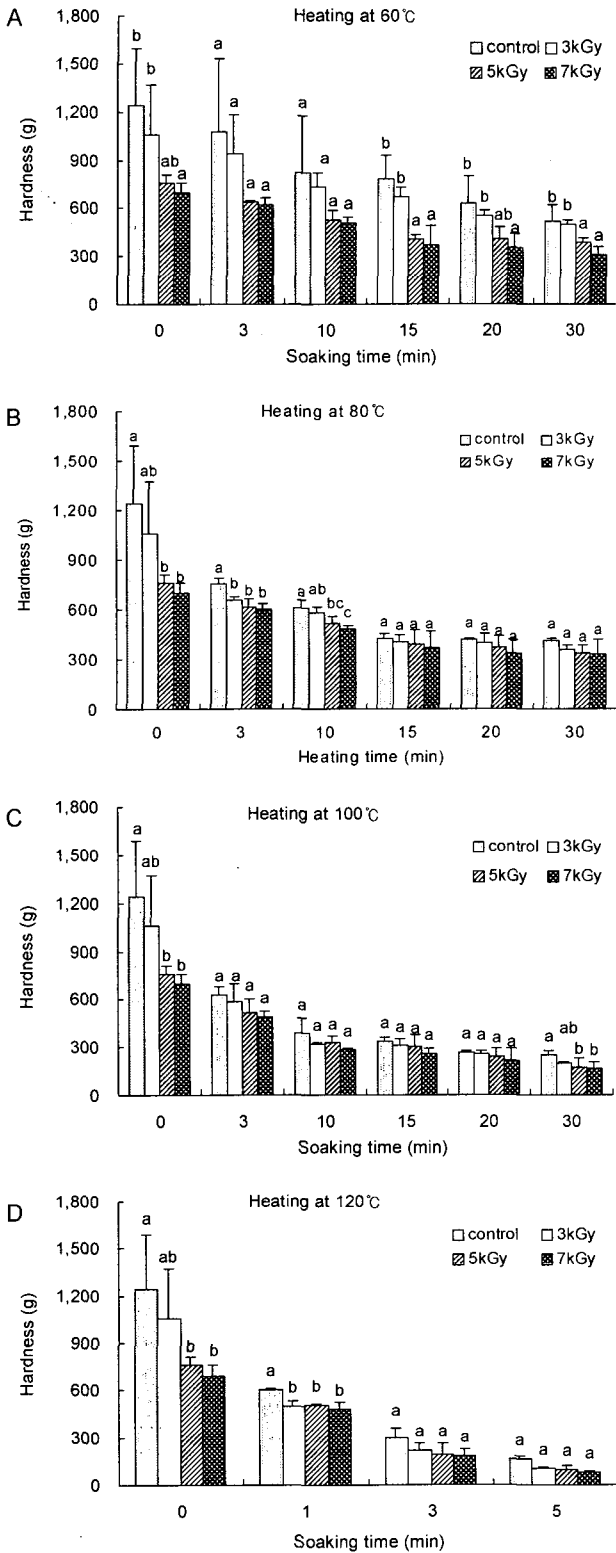


Fig. 2. Changes in hardness of gamma irradiated fernbrake during moist-heating at 60, 80, 100 and 120°C.

^{a-c}Values in the same heating time with the same letters are not significantly different at $\alpha = 0.05$.

습열 조리 온도 및 시간에 따른 연화정도

방사선 조사된 건고사리의 습열 조리 시 연화정도를 알아보기 위해 온도와 시간을 달리하여 조리한 고사리의 경도를 측정하여 Fig. 2에 나타내었다. 방사선 조사를 하지 않은 고사리 즉, 대조군의 경우, 60°C에서 습열 조리하는 동안 조리 시간이 경과됨에 따라 경도는 감소하였는데(Fig. 2A), 가열 3분에는 대조군의 13% 감소하였고, 10분 후에는 34%, 20분에는 49%로 급격히 감소하였으나 30분 후에는 감소속도가 매우 완만하여 58%를 유지하였다. 조리온도 80°C와 100°C의 경우에도 60°C에서의 경향과 유사하였다(data not shown). 그러나 가압 조리(120°C)시에는 가열 3분 이내에 경도가 급격히 감소하였으며 5분 이상 조리 시에는 경도 감소정도가 매우 완만하였다(Fig. 2B). 한편, 방사선 조사한 고사리의 경도는 조사선량에 따라 감소하였는데, 조리온도 60°C에서 3분 가열한 경우, 대조군은 가열하기 전 경도 값의 87%이었으나 3 kGy 조사군은 76%, 5 kGy 조사군은 51%, 7 kGy 조사군은 50%로 조사선량이 증가함에 따라 경도가 감소되었다. 60°C에서 30분 가열한 경우에도, 3분 가열의 경향과 유사하였다. 이 같은 현상은 방사선 조사 콩의 습열 조리 시 경도 감소 결과와 유사하였다(12).

한편, 습열 조리 시 조리시간 경과에 따른 고사리의 경도가 대조군에 비하여 50% 감소되는 시간을 DT₅₀으로 표현하여 Table 2에 나타내었다. 조리시간 경과에 따른 경도 감소 기울기는 초기 조리시간(10분)과 후기 조리시간(30분)에 따라 달랐는데, DT₅₀은 초기 조리시간에 대한 경도와의 관계식으로부터 계산하였다. 그 결과 60°C에서 대조군의 DT₅₀은 23분이었고, 방사선 조사군의 DT₅₀은 조사선량의 증가에 따라 감소하였다. 즉, 방사선 조사 5 및 7 kGy군에서의 DT₅₀은 각각 5분 및 2.2분으로 대조군에 비하여 방사선 조사한 건고사리가 연화되는데 걸리는 시간이 약 4~10배 단축되었다. 또한 80°C에서는 대조군의 DT₅₀은 14분으로 60°C의 대조군에 비하여 약 30% 감소되었다. 방사선 조사 3 및 5 kGy 조사군에서는 각각 10분 및 3.8분으로 대조군에 비하여 방사선

Table 2. DT₅₀¹⁾ value of gamma irradiated fernbrake at different moist-heating condition (min)

Dose (kGy)	Temperature (°C)			
	60	80	100	120
0	22.7	13.9	9.0	2.0
3	19.6	10.0	6.1	1.4
5	4.83	3.8	2.0	0.5
7	2.21	0.96	1.0	0.1

¹⁾DT₅₀: The heating time required to reach the 50% reduction of hardness.

Table 3. Activation energy for softening of gamma irradiated fernbrake

Irradiation dose (kGy)	Ea (kcal/mole)
0	4.30
3	3.87
5	1.88
7	1.85

조사한 건고사리가 연화되는 시간이 단축되었다. 100°C에서는 대조군의 DT₅₀은 9분이었고, 방사선 조사 5 kGy군에서는 2분 이내에 대조군의 50% 경도가 감소하여 방사선 조사한 건고사리가 연화되는 시간이 단축되었다. 방사선 조사에 의한 고사리 조직 연화에 걸리는 시간의 단축효과는 조리온도가 낮을수록 컸다. 방사선 조사에 의한 조리시간 단축 효과는 방사선 조사 량의 결과와 유사하였다(12).

건고사리 습열 조리 시 연화에 따른 활성화 에너지를 Arrhenius's equation에 의하여 계산하여 Table 3에 나타내었다. 조리 초기 연화에 따른 활성화 에너지는 각 조리 온도별(60, 80 및 100°C)로 가열 시작 후 10분간 경도 감소 속도에 따른 활성화 에너지를 계산하였다. 그 결과, 대조군은 4.30 kcal/mole이었고, 방사선 조사 3 kGy군은 3.87 kcal/mole로 크게 낮아지지 않았으나, 방사선 조사 5 kGy군은 1.88 kcal/mole, 7 kGy군은 1.85 kcal로 대조군에 비하여 크게 낮아졌다. 방사선 조사된 건고사리의 습열 조리시 연화에 필요한 에너지가 감소됨이 확인되었다. 이와 같은 결과는 건조 채소류에 적정선량의 방사선을 조사할 경우 조리 시 재수화에 필요한 시간 및 에너지를 단축시킬 수 있다는 Schroeder(13)의 보고에 비추어 고사리의 전처리 조작 중 필수단계인 불림 조작시에 적용할 수 있는 것으로 생각된다.

침지 시간에 따른 수분함량, 수화복원성 및 팽윤

방사선 조사된 건고사리의 습열 조리후의 물리적 특성을 알아보기 위하여 상기의 온도 중 80°C를 선택하여 3시간까지 습열 조리하는 동안 수분함량, 팽윤, 수화복원율을 분석하였다. 조리 전 방사선 조사한 건고사리의 수분함량은 13.66~15.86%이었으며, 습열 조리하는 동안 수분함량은 증가하였는데, Fig. 3에서와 같이 대조군은 조리 후 5분에 급격히 증가하여 72%정도에 달하였으며 그 이후로는 서서히 증가하여 90분 이후에는 80% 정도를 유지하였다. 방사선 조사군의 수분함량은 대조군에 비하여 약간 더 컸다. 수화 복원율은 Fig. 4에서와 같이 조리 5분에 대조군은 158%, 방사선 조사 3, 5 및 7 kGy군은 각각 164%, 165% 및 177%로 조사선량이 증가함에 따라 수화복원성이 증가하였다(p<0.05). 건고사리의 습열 조리된 고사리의 팽윤정도는 대조군에 비하여 방사선 조사군에서 유의적으로 증가하였는데(Fig. 5), 80°C에서 120분후에 대조군에 비하여 3 kGy 조사군은 1.05배, 5 kGy 조사군은 1.13배, 7 kGy군은 1.15배로 유의적으로 증가하였으며(p<0.05), 방사선 조사군은 조사선량이 높을수록 팽윤정도가 컸다. 이 같은 결과는 방사선 조사 량의 결과와 유사하였다(12). 이는 건조채소인 고사리에 방사선을 조사하면 물리적 작용으로 인해 고사리의 세포조직에 영향을 미쳐 수분흡수를 용이하게 한 것(14)으로 수화복원력, 수분흡수량 및 부피가 증가된 것으로 사료된다.

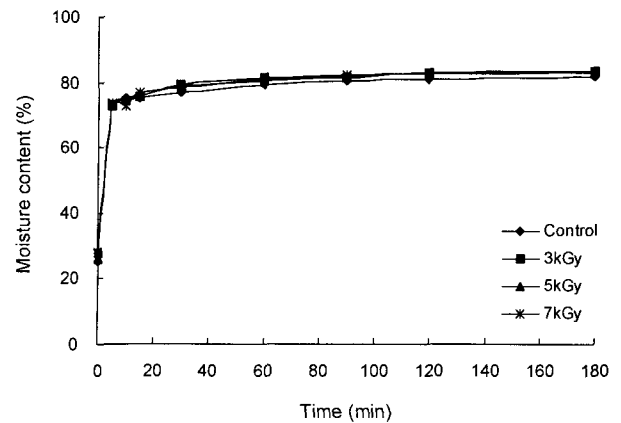


Fig. 3. Changes in moisture content of gamma irradiated fernbrake during moist-heating at 80°C.

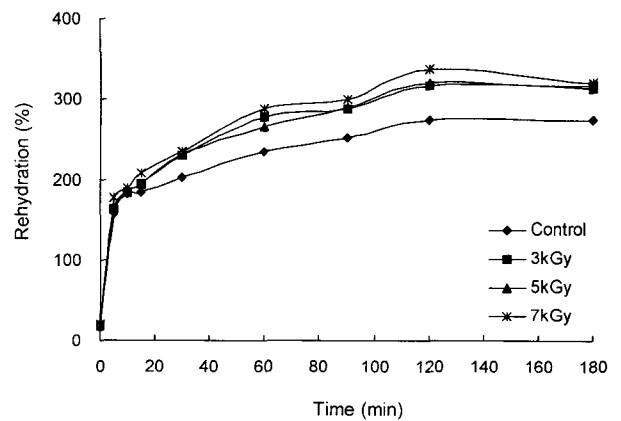


Fig. 4. Changes in rehydration rates of gamma irradiated fernbrake during moist-heating at 80°C.

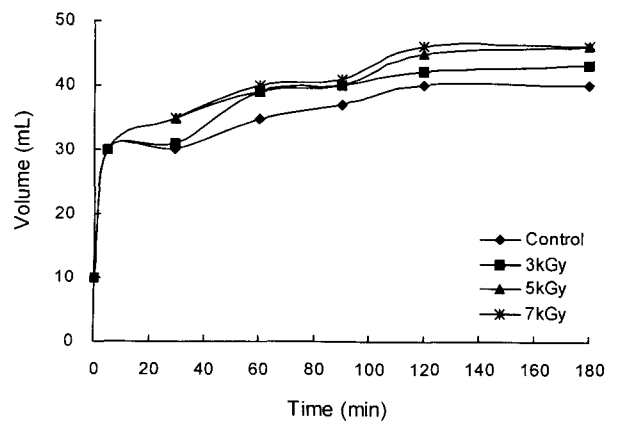


Fig. 5. Changes in swelling of gamma irradiated fernbrake during moist-heating at 80°C.

Table 4. Mean scores of sensory evaluation of moist-heated fernbrake at 80°C for 30 min

Irradiation dose (kGy)	Flavor ¹⁾	Off-flavor	Taste	Hardness
0	6.2 ^{NS2)}	2.8 ^{NS}	6.2 ^{NS}	5.9 ³⁾
3	6.4	3.0	6.3	5.7 ^a
5	5.7	2.3	6.0	4.5 ^b
7	5.6	2.8	6.5	4.2 ^b

¹⁾Sensory attributes of fernbrake were evaluated with 9-point scale (1: very weak, 9: very strong).

²⁾Not significant at $p < 0.05$.

³⁾Same superscript letters in the same column are not significantly different at $\alpha = 0.05$.

관능검사

방사선 조사된 건고사리의 습열 조리후의 관능적 특성을 알아보기 위하여 건고사리에 방사선을 3, 5 및 7 kGy의 선량으로 조사하여 80°C에서 30분간 습열 조리한 후, 이취, 고사리 냄새, 고사리맛, 경도에 대하여 9점 척도법으로 평가한 결과는 Table 4와 같다. 대조군의 고사리 냄새는 6.2점이었으며 조사선량 3, 5, 7 kGy군은 각각 6.4점, 5.7점, 5.6점으로 유의적인 차이가 없었다. 이취는 대조군은 2.8점이었으나 조사선량 3, 5, 7 kGy군은 각각 3.0점, 2.3점, 2.8점으로 유의적인 차이가 없었다. 고사리 맛은 대조군은 6.2점이었으나 조사선량 3, 5, 7 kGy군은 각각 6.3점, 6.0점, 6.5점으로 유의적인 차이가 없었다. 그러나 경도는 방사선 조사선량 3 kGy군은 대조군과 유의적인 차이가 없었으나 조사선량 5 및 7 kGy군은 대조군에 비하여 유의적으로 낮았는데($p < 0.05$), 이 같은 결과는 기계적 측정 결과와 유사한 경향이였다. 이상의 결과로부터 건조 채소류에 저선량의 방사선을 조사할 경우 조리시 재수화 및 연화에 필요한 시간 및 에너지를 단축시킬 수 있었다.

요 약

건고사리에 Co-60 감마선을 0, 3, 5, 7 kGy로 달리하여 조사한 후 습열 조리 조건에 따른 연화정도를 분석하였다. 건고사리의 경도는 5 kGy이상의 조사선량에서 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$). 습열 조리 조건에 따른 고사리의 경도는 조사선량이 높을수록 대조군에 비하여 유의적으로 감소하였다. 고사리의 경도가 대조군에 비하여 50% 감소되는 시간인 DT_{50} 은 조사선량이 높을수록 단축되었다. 즉, 60°C에서 조리 시 대조군은 23분, 5 및 7 kGy 조사군은 2.2~5.0분이였다. 건고사리 습열 조리 시 연화에 따른 활성화 에너지는 조사선량이 높을수록 크게 낮아져 대조군은 4.30 kcal/mole, 5 및 7 kGy 조사군은 1.85~1.88 kcal/mol이였다.

또한, 조사선량이 높을수록 일정온도에서 습열 조리 시간 경과에 따른 수분함량, 부피증가율, 수화 복원력은 대조군에 비해 유의적으로 증가하였으나 관능검사 시 이취 및 냄새에 대한 점수는 대조군과 유의적인 차이가 없었다. 이상의 결과로부터 건조 채소류에 적정선량의 방사선을 조사할 경우 조리 시 재수화 및 연화에 필요한 시간 및 에너지를 단축시킬 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학기술기획평가원의 지원을 받아 원자력연구개발사업을 통해 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

문 헌

- Hwang KT, Rhim JW. 1994. Effect of various pretreatments and drying methods on the quality of dried vegetables. *Korean J Food Sci Technol* 26: 805-813.
- Roberts T, Unnevehr L. 1994. New approaches to regulating food safety. *Food Rev* 17: 2-8.
- Marcotte M. 1994. Commercial food irradiation, market tests and consumer attitude research. Prepared as a discussion document for the United Nations environment programme methyl bromide technical options committee, January.
- Loaharanu P. 1994. Status and prospects of food irradiation. *Food Technol* 48: 124-130.
- Byun MW. 1994. Application of irradiation techniques to food industry. *Radioisotope News* 9: 32-37.
- Diehl JF. 1995. *Safety of irradiated foods*. Marcel Dekker, Inc., New York, NY.
- Byun MW. 1997. Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci Ind* 30(1): 89-95.
- Cho JS. 2000. *Food Materials*. Munwoondang, Seoul. p 268.
- AOAC. 1984. *Official Methods of Analysis*. 14th ed. Association of official chemists, Washington, DC.
- Steel RGD, Torrie JH. 1960. Analysis of variance I: The one-way classification. In *Principles and Procedures of Statistics*. McGraw-Hill, New York. p 99-132.
- IAEA. 1995. Concentration with irradiation dose in clearance of item by country. *Food Irradiation Newsletter* 19: 2.
- Byun MW, Yook HS, Lee KH, Kim JO, Cha BS, Kim WJ. 1999. Effects of gamma irradiation for improvement of physical, chemical and processing properties of soybeans. *Korean Soybean Digest* 16: 11-35.
- Schroeder CW. 1962. Dehydrating vegetables. *US Patent* 3,025,171.
- Kim YJ, Kim JG, Cho HO, Byung MW, Kwon JH. 1987. Storage and cooking property of dried oak mushroom treated with ethylene oxide and gamma radiation. *Korean J Food Hygiene* 2: 29-34.

(2005년 10월 12일 접수; 2006년 1월 3일 채택)