

## 감마선 조사에 의한 김치저장에 관한 연구

원광보건전문대학 방사선과

강세식 · 이종석 · 이만구

### Abstract

#### Preservation of Kimchi by $\gamma$ -Ray Irradiation

Se Sik Kang, Jong Seok Lee, Man Koo Lee

*Dept. of Radiotechnology, Won-Kwang Public Health*

*Junior College, Iri, Korea*

To improve the storage method for kimchi, optimal ripening kimchi was irradiated with doses of 1, 3, 5 kGy Co-60 gamma radiation, followed by the microbiological, physicochemical and sensory evaluations during storage at 5°C.

1. Total aerobic count increased in the beginning of storage and then decreased slowly as the number of total lactobacilli (anaerobe) increased. The above total aerobic and lactobacilli were reduced by 1 to 3 log cycles with irradiation and at the 90th day after storage the number of total lactobacilli remained  $1.30 \times 10^8$  per ml in 3 kGy irradiated group. Irradiation treatment at 3 kGy sterilized coliforms and molds contaminating the sample as the level of  $2.0 \times 10^4$  per ml and  $5.4 \times 10^2$  per ml respectively and no apparent growth was observed in both control and 1 kGy irradiated groups after 20 days of storage. The population of yeast,  $3.5 \times 10^3$  per ml initially, increased steadily during kimchi storage and at 90 days of storage the number was shown to be  $5.6 \times 10^4$  per ml and  $6.5 \times 10^2$  per ml in control and 3 kGy irradiated groups, respectively.
2. In the physicochemical changes during kimchi storage, pH, acidity and volatile acid of non-irradiated control at the 45th day after storage were 4.0, 0.7% and 0.066%, while those of 3 kGy irradiated group were 4.2, 0.59 and 0.06% at the 90th day of storage, respectively. The reducing sugar content of all stored samples changed inversely total acidity content, indicating irradiation delayed the changes of them. The amount of ascorbic acid decreased gradually with the storage time and irradiation dose increase. Textural parameters of 3 kGy irradiated group were superior to those of other groups at the latter stage of storage.
3. Sensory evaluations showed that 3 kGy irradiation was the optimum dose level to extend the shelf-life of kimchi more than two months as compared to control.

## I. 서 론

김치는 우리 식생활에 있어서 필수적 전통식품으로, 최근 국민생활 수준의 향상과 주거의 아파트화에 따른 식생활 습관의 변천으로 김치의 공업적 생산이 증가되고 수출 또한 계속 신장되고 있는 실정이다. 그러나 김치는 저장 중 산패 현상으로 인해 장기간 보존이 곤란하여 김치의 공업적 생산에 가장 큰 문제점으로 대두되고 있다.

김치의 저장 중 산패 방지를 위하여 냉장법<sup>1)</sup>, 냉동법<sup>2)</sup>, 가열살균방법(통조림 포함), 방부제 처리방법<sup>3)</sup>, 방부제와 냉장 및 가열과의 병용 처리방법, pH 조정제의 사용법<sup>4)</sup> 등 여러 저장방법들이 연구되었는데 냉장 또는 냉동법은 저온저장시설에 소요경비가 많이 들고, 가열처리시에는 김치의 물성에 큰 변화를 가져오며, 방부제를 사용할 경우 김치의 이상 냄새와 변색을 유발하거나 유해물질을 남기는 등 산패 방지를 위한 효과적인 방법이 아직까지 개발되지 못하고 있는 실정이다.

따라서 국제적으로 이미 그 전전성과 경제성이 인정된 방사선조사 기술<sup>7-12)</sup>을 응용하여 김치의 고유한 맛을 보존하면서 장기간 저장할 수 있는 방법의 개발에 대한 가능성을 검토하였다.

식품조사에 이용되는 방사선원으로는 <sup>60</sup>Co와 <sup>137</sup>Cs 동위원소가 방출하는 감마선, 전자가속장치에서 발생되는 10MeV 이하의 전자선 및 5MV 이하의 X선 등이 있으나 본 실험에서는 현재 상업적으로 많이 이용되고 있는 감마선을 이용하여 김치의 신선도를 장기간 유지할 수 있는 새로운 저장법의 가능성을 검토하기 위하여 일정기간 숙성된 김치에 1, 3, 5 kGy의 방사선을 조사하고 5°C에서 냉장하면서 저장 중의 미생물 생육변화와 김치품질에 관련된 이화학적 특성실험과 관능적 품질평가를 수행하였기에 그 결과를 보고한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 재 료

김치제조를 위하여 사용된 재료로는 배추, 무우, 마늘, 생강, 쪽파, 고추가루, 소금 등을 사용하였으며, 절임방법과 조건은 김 명<sup>13)</sup>이 제시한 방법으로 하였으며 기본적인 원료배합으로 김치를 담근 후 외부 공

기와의 접촉을 피하기 위해 0.1mm Polyethylene pouch에 넣어 밀봉한 후 플라스틱통에 담아 10°C에서 숙성시켰다.

### 2. 방 법

#### 1) 방사선조사 처리 및 저장

방사선조사는 포장 직후 한국에너지연구소내 선원 10,000Ci의 Co-60 감마선 조사시설을 이용하여 실온에서 시간당 400 Gy의 선량율로 1, 3, 5 kGy를 각각 조사하였다.

#### 2) 미생물 생육시험

모든 미생물 시험은 내부 김치액 10ml를 취하여 3회 반복으로, 호기성 전체균(total aerobic bacteria)<sup>14)</sup>, 혐기성 전체균(total anaerobic bacteria)<sup>15)</sup>, 전 유산균(total lactobacilli), 효모 및 곰팡이<sup>16)</sup>, 대장균군<sup>17)</sup>을 각각 정하여진 온도와 일정기간 동안 배양한 후 계수 하였다.

#### 3) 이화학적 특성시험

김치의 살균처리 및 저장기간에 따른 이화학적 특성변화의 모든 시험은 3회 반복으로 하여 적정 산도 측정, 휘발성 유기산 정량, pH 측정, 환원당 정량<sup>18)</sup>, ascorbic acid 정량<sup>19)</sup>, 김치조지 측정을 실시 하였다.

#### 4) 관능검사

김치의 관능검사는 3점시험법으로 10명의 관능검사 요원을 선정하고 김치 고유의 풍미와 조직을 5점기로 척도시험을<sup>20)</sup> 실시하였다. 이때의 관능평점은 매우 좋다(5점), 좋다(4점), 양호하다(3점), 나쁘다(2점), 아주 나쁘다(1점)로 평가 하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 미생물 생육시험

#### 1) 호기성 전체균의 변화

상사선조사와 김치 발효과정에서 호기성 세균의 변화는 Fig. 1과 같다. 1, 3, 5 kGy의 방사선조사로서  $6.5 \times 10^6/\text{ml}$ ,  $5.4 \times 10^5/\text{ml}$ ,  $1.1 \times 10^4/\text{ml}$ 로 각각 1-3 log cycles 정도 살균되었으며 발효가 진행됨에 따라 호기성 세균의 생장이 억제되어 저장 60일에는  $10^3 \sim 10^4/\text{ml}$ 로 감소 되었으며, 그 이후부터는 다시 증가하는 경향으로 비조사구와 5kGy 조사구가 다소 그 경향이 심하였다. 이는 저장 말기의 피막형성 효소의 증가가 그 원인으로 생각되며 이와

같은 결과는 김 등<sup>21)</sup>과 민 등<sup>22)</sup>의 보고와 일치한다.

### 2) 전 유산균의 변화

김치 발효과정에서 방사선조사가 유산균의 생육에 미치는 영향은 Fig. 2와 같다. 유산균의 방사선조사에 의한 살균효과는 1, 3, 5 kGy의 선량조사로서  $1.2 \times 10^8$ /mℓ,  $7.8 \times 10^4$ /mℓ,  $2.0 \times 10^3$ /mℓ로 각각 격감되었으며, 본 실험에서는 3 kGy 정도의 방사선조사가 이상적인 유산균 성장 억제효과를 가져올 수 있었다.

### 3) 혐기성 전세균의 변화

김치의 발효에 관여하는 미생물은 주로 혐기성 세균으로 본 실험에서 혐기성 세균의 변화는 앞의 전유산균 수의 변화와 거의 동일한 경향이었으며 이는 혐기성 세균의 대부분이 유산 생성세균임을 알 수 있다.

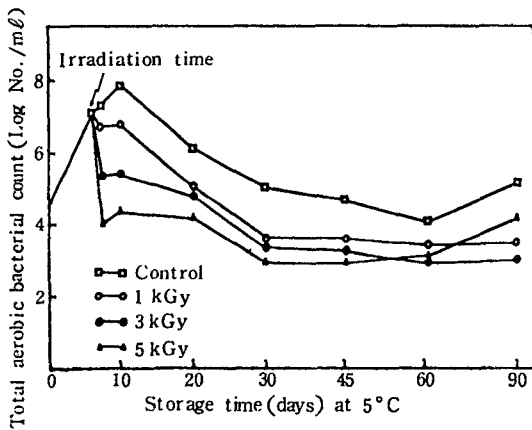


Fig. 1. Effect of gamma ray irradiation on the total aerobic bacteria during Kimchi storage

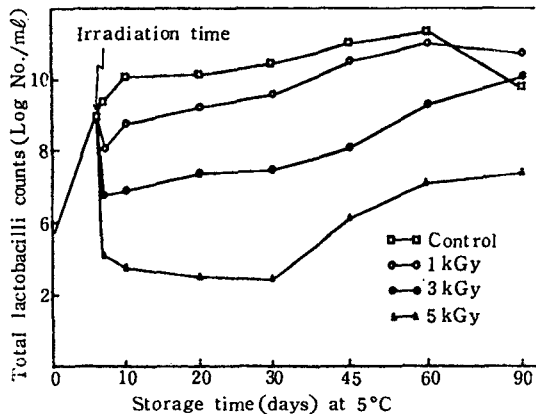


Fig. 2. Effect of gamma ray irradiation on the total lactobacilli during Kimchi storage

### 4) 효모 및 곰팡이

김치의 발효과정과 방사선조사에 의한 효모 및 곰팡이의 생육변화는 Fig. 3과 같다. 숙성 후 효모는 비조사구는 전 숙성기간을 통해 증가되어 90일 후에는  $5.6 \times 10^4$ /mℓ 정도였다. 1, 3 kGy의 방사선조사구는 저장 45일 이후부터 증가현상을 보였으나, 저장 90일에는 각각  $6.0 \times 10^3$ /mℓ,  $6.5 \times 10^2$ /mℓ로 생육이 억제되었으며 5 kGy 조사구는 저장 45일 경부터 효모의 생육이 발견되어 급격한 증식으로 저장 90일에는  $1.1 \times 10^3$ /mℓ를 나타내었다.

곰팡이는 숙성 초기에 모든 시험구에서 감소 경향을 보였으며, 비조사구는 저장 30일 이후부터 생육이 없었다. 한편 3 kGy 이상의 방사선조사구는 완전 사멸되어 저장기간 동안 생육이 없었고 1 kGy 조사구는 저장 20일 이후부터 생육이 없었다.

### 5) 대장균군

대장균군의 생육변화는 Fig. 3과 같다. 대장균은 일반적으로 방사선감수성이 높아<sup>23)</sup> 3 kGy 이상 조사로서 완전 사멸되었다.

## 2. 이화학적 특성변화

### 1) pH의 변화

김치의 발효과정과 방사선조사에 의한 pH의 변화는 Fig. 4와 같이 김치 담금 직후의 pH는 5.75 정도였으며 6일간 숙성한 pH 5.5 정도에서 방사선을 조사하였다. 발효가 진행됨에 따라 모든 시험구에서 pH는 감소하였는데 이는 발효가 진행됨에 따라 생성되는 여러 종류의 유기산의 증가에 기인되는 것으로 생각된다.

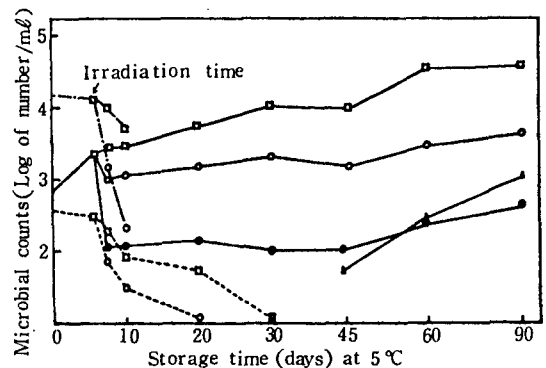


Fig. 3. Effect of gamma ray irradiation on the coliforms, yeast and molds during Kimchi storage coliforms

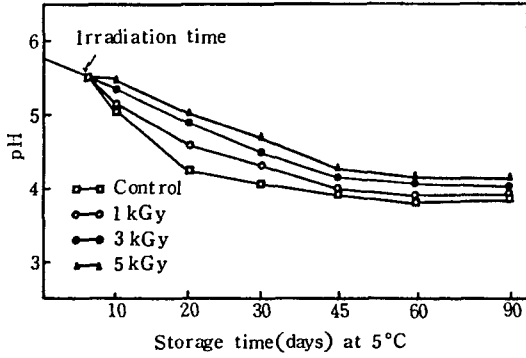


Fig. 4. Changes of pH during Kimchi storage by gamma ray irradiation

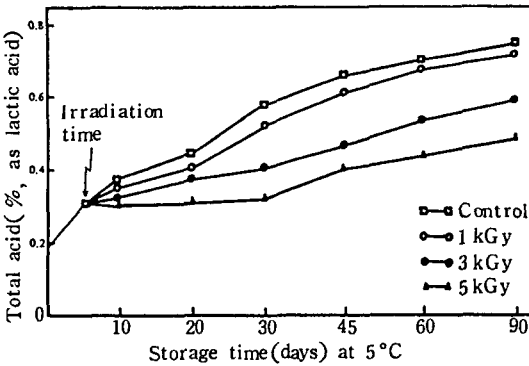


Fig. 5. Changes of total acid during Kimchi storage by gamma ray irradiation

## 2) 산도의 변화

김치의 발효 및 방사선조사에 의한 저장 중 lactic acid %로 나타낸 산도의 변화는 Fig. 5와 같다. 담금 직후의 산도는 0.19% 정도였고, 발효동안 모든 시험구에서 pH의 감소와 반비례적으로 계속적인 증가를 나타내었으며 본 실험에서는 0.32%일 때 방사선조사를 실시하였다. 비조사구에서는 발효 10일 이후부터 급격한 증가를 보였으며, 방사선조사구에서는 저선량인 1 kGy 조사구는 비조사구에 비해서 약간 낮은 수치를 보였으나, 3 kGy 조사구는 비조사구에 비해 2개월 이상 발효가 지연 되었음을 알 수 있다.

## 3) 휘발성 유기산 함량의 변화

방사선조사에 의한 김치발효 중 acetic acid %로 나타낸 휘발성 유기산 함량의 변화는 Fig. 6과 같다. 조사직전의 휘발성 유기산 함량은 모든 조사구에서 저장기간의 경과와 더불어 산도증가와 비례하여 계속

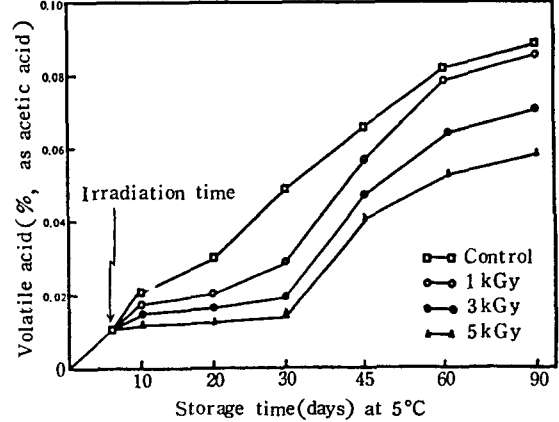


Fig. 6. Changes of volatile acid during Kimchi storage by gamma ray irradiation

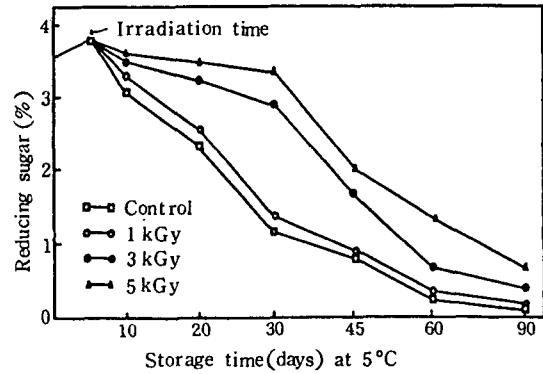


Fig. 7. Changes of reducing sugar during Kimchi storage by gamma ray irradiation

증가하는 경향이었다.

비조사구에서는 저장 10일부터 급격한 증가를 보였으며, 저선량인 1 kGy 조사구는 비조사구와 거의 동일한 경향으로 증가되는 한편 3 및 5 kGy는 저장 30일까지는 완만한 증가를 보였으나 그 이후는 현저하게 증가되었는데 저장 90일 후에도 비조사구에 비해 상당히 낮았다. 이와같은 현상은 앞의 산도변화와 연관되는 것으로 생각된다.

## 4) 환원당 함량의 변화

방사선조사에 의한 김치발효 중 환원당 함량의 변화는 Fig. 7과 같다. 조사직전의 환원당 함량은 저장기간의 경과로 모든 시험구에서 산도의 증가와 반비례적으로 계속 감소되는 경향이었으며, 비조사구 및 저선량인 1 kGy 조사구는 조사직후부터 급격한 감소를 보였으나, 3 및 5 kGy 조사구는 저장 30일까지

지 완만한 감소를 보이고 그 이후부터는 감소가 심하였는데, 이는 비조사구 및 저선량 조사구에서는 김치 발효 중 미생물들이 탄수화물을 주요한 대사가질로 이용되었기 때문이며, 3 및 5 kGy 조사구의 경우는 김치 발효에 관여하는 미생물들의 생육이 억제되어 탄수화물의 이용이 적었던 것으로 볼 수 있고, 본 실험의 이같은 결과는 이 등<sup>11)</sup>과 이 등<sup>24)</sup>의 보고와 일치한다.

#### 5) Ascorbic acid 함량의 변화

Ascorbic acid 함량의 변화는 Fig. 8과 같다. 방사선조사 직전의 ascorbic acid 함량은 14.8 mg%로 높은 함량을 보였고, 모든 시험구에서 발효 10 일까지는 감소 하였고, 방사선조사에 의해서는 조사선량의 증가와 더불어 비조사구에 비하여 다소 감소하는 경향이였다. 이는 일반적으로 ascorbic acid는 방사선 조사에 민감한 것으로 알려져 있으며<sup>11)</sup>, 조 등<sup>25-26)</sup>의 방사선조사에 의한 과채류의 저장시험에서도 본 실험에서와 같은 경향을 보였다.

#### 6) 김치조직의 변화

방사선조사와 김치발효 동안 김치조직의 변화를 rheometer를 이용하여 측정된 결과는 Table 1과 같다. 저장 중 김치조직의 변화는 Pectin 물질이 미생물이 분비하는 Pectin 분해 효소들이나 원료 자체에 존재하는 효소의 작용에 기인된 것으로 알려져 있다.<sup>27)</sup> 3 kGy 조사구에서의 조직의 변화가 억제된 것은 방사선조사에 의한 미생물들의 생육 억제효과와 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다.

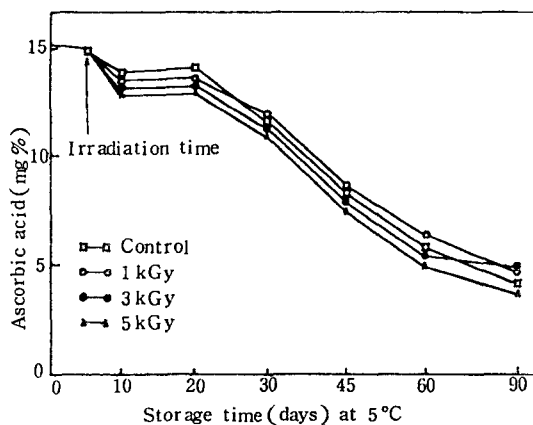


Fig. 8. Changes of ascorbic acid during Kimchi storage by gamma ray irradiation

Table 1. Change of firmness during Kimchi storage by gamma ray irradiation<sup>a)</sup> (unit : kg)

| Irradiation dose (kGy) | Storage time (days) |       |       |
|------------------------|---------------------|-------|-------|
|                        | 0 <sup>b)</sup>     | 30    | 60    |
| Control                | 1.605               | 1.405 | 1.128 |
| 1                      | 1.600               | 1.426 | 1.203 |
| 3                      | 1.527               | 1.419 | 1.215 |
| 5                      | 1.483               | 1.387 | 1.124 |

<sup>a)</sup> Fermentation at 5°C

<sup>b)</sup> Immediately after gamma ray irradiation

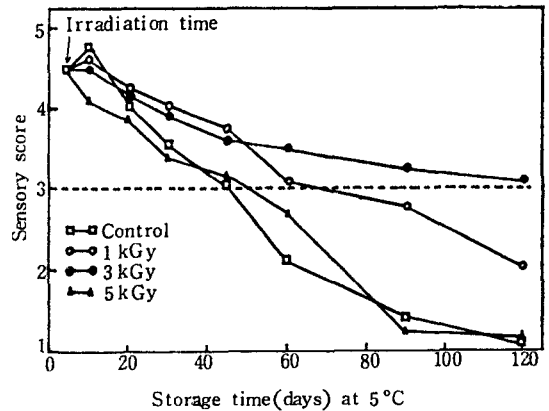


Fig. 9. The result of sensory evaluation for the overall acceptability during Kimchi storage by gamma ray irradiation. Sensory scores are rated using a scale of 1 to 5; where 5, excellent; 4, good; 3, fair; 2, poor; 1, unacceptable

### 3. 관능적 품질평가

방사선조사와 저장 중 김치의 전반적 기호성을 선정된 10명의 검사원으로 하여금 5점 기호척도 시험을 수행한 결과는 Fig. 10과 같다.

본 실험에서 김치의 품질로서 가치가 없을 경우를 3점 이하로 인정할 때, 비조사구 및 5 kGy 조사구는 저장 45일 이후부터였으며, 1 kGy 조사구는 저장 70일, 3 kGy 조사구는 저장말기인 100일까지도 양호한 품질을 나타내었다. 따라서 김치에 적정선량이라고 생각되는 3 kGy 정도의 방사선조사는 비조사구에 비해 5°C 냉장으로 2개월 이상 식용기간을 연장할 수 있다고 생각된다.

### IV. 요약

김치저장 기간을 연장할 목적으로 숙성된 김치에

1, 3, 5kGy의 감마선을 조사하고 5°C에서 냉장하면서 저장하는 동안 미생물의 생육과 김치품질에 관련된 이화학적, 관능적 시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

1. 미생물 생육시험에서 호기성세균은 저장초기에 증가하나 유산균(혐기성 세균)의 증가와 함께 감소되는 경향이며, 방사선조사에 의해 호기성세균과 유산균이 1-3 log cycles 정도 살균되었다. 3kGy 조사구는 저장 90일에도 유산균수가  $1.3 \times 10^8$  /mℓ 정도로 낮았다. 대장균과 곰팡이는  $2.0 \times 10^4$  /mℓ과  $5.4 \times 10^2$  /mℓ 정도 오염 되었으나 3kGy 이상 조사로서 완전 사멸되었고, 비조사구와 1kGy 조사구에서도 저장 20일 이후부터는 생육이 없었다. 효모는  $3.5 \times 10^8$  /mℓ 정도 오염되었으며 비조사구는 전 저장기간을 통해 계속 증가하여 저장 90일에는  $5.6 \times 10^4$  /mℓ였고, 3kGy 조사구는 저장 90일에도  $6.5 \times 10^2$  /mℓ로 생육이 억제되었다.

2. 이화학적 특성변화에서 비조사구는 저장 45일에 pH, 산도, 휘발성 산이 각각 4.0, 0.7%와 0.066%이었으나, 3kGy 조사구는 저장 90일에도 pH 4.2, 산도가 0.59%와 휘발성 산이 0.06% 정도로 낮았다. 환원당 함량은 모든 시험구에서 전 저장기간을 통해 산도의 증가와 반비례적으로 감소하였으면 방사선 조사구는 그 변화가 적었다.

Ascorbic acid 함량은 모든 시험구에서 전 저장기간을 통해 감소하였고 방사선 조사구가 다소 심하였다. 김치조직 변화에서는 저장기간의 경과와 함께 3kGy 조사구가 가장 우수 하였다.

3. 관능검사에 의한 김치의 종합적 품질평가에서 3kGy 조사구는 비조사구에 비해 2개월 이상의 저장기간을 연장할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 이양희, 양익한: 한국농화학회지, 13, 207 (1970)
2. 신동화, 김기성: 식품연구 보고서 (농어촌개발공사), 201 (1975)
3. 송석훈, 조재선, 박근창: 기술연구소 보고, 5, 5 (1966)
4. 김병기, 손득병, 정 용, 윤명조: 현대의학, 5, 441 (1966)
5. 김창식: 경북대 논문집, 2, 221 (1958)
6. 김순동: 한국영양식량학회지, 14, 259 (1985)
7. Jooij, I.U.: Food preservation by irradiation, Radiation and Agriculture (IAEA Bulletin), 23, 33 (1981).
8. World Health Organization: Wholesomeness of irradiated food, WHO Technical Report Series 604, Geneva (1977).
9. World Health Organization: Wholesomeness of irradiated food WHO Technical Report Series 659, Geneva (1981)
10. Giddings, G.G. and Welt, M.A.: Radiation preservation of food, General Food World, 27, 17 (1982).
11. Kawabata, T.: On the wholesomeness of irradiated food, J. Food Hyg. Soc. Japan, 7, 1 (1966).
12. Grahan, H. D.: Safety and wholesomeness of irradiated foods, 2nd ed. US, AUI Pub., p. 546.
13. 김중단, 김인숙, 양희천: 한국영양식량학회지, 16, 76 (1987)
14. Pederson, C. S. and Albury, M. H.: New York State Agr. Exp. Station, Geneva, Cornell Univ. Bulletin No. 824 (1969).
15. BBL: BBL Manual of Products and Laboratory Procedures, Division of Becton, Dickinson and Company, 5th, Edition (1973).
16. Kreger-van Rij, N.J.W.: The Yeasts a Taxonomic Study, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, p. 45 (1984).
17. 서울특별시 보건연구소: 병원 미생물 검사요원 교재, p. 18 (1976)
18. 小林, 田原: 日本農化學會誌, 38, 171 (1954)
19. Kohara: Handbook of Food Analysis, Kenpakusha, Japan, p. 217 (1977)
20. 이철호, 채수규, 이진근, 박봉상: 식품공업 품질관리론, 유림문화사 (1982)
21. 김호식, 전재근: 원자력 논문집, 6, 112 (1966)
22. Mheen, G.I. and Kwon, J.W.: Korean J. Food Sci. Technol., 16, 443 (1984).
23. 변명우, 권중호, 조한옥: 한국식품과학회지, 15,

359 (1983)

24. 이희성, 이근배 : 원자력 논문집, 5, 64 (1965)
25. 조한옥, 변명우, 권중호 : 한국식품과학회지, 16, 182 (1984)
26. 조한옥, 변명우, 권중호, 양호숙, 이철호 : 한국식품과학회지, 14, 955 (1982)
27. 육 철, 장금, 박근화, 안승요 : 한국식품과학회지, 17, 447 (1985)