

감마선과 Methyl Bromide 처리가 사과의 생리화학적 품질에 미치는 영향

강호진 · 정현식 · 조덕조 · 변명우* · 최성진** · 최종욱 · 권중호

경북대학교 식품공학과 및 식품생물산업연구소,
*한국원자력연구소, **대구가톨릭대학교 생명자원학부

Effects of Gamma Radiation and Methyl Bromide Fumigation on Physiological and Chemical Quality of Apples

Ho-Jin Kang, Hun-Sik Chung, Deok-Jo Jo, Myung-Woo Byun*, Seong-Jin Choi**
Jong-Uck Choi and Joong-Ho Kwon

Department of Food Science & Technology, and Food & Bio-industry Research
Institute, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

*Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-600, Korea

**Faculty of Life Resource, Catholic University of Daegu, Gyeongsan 712-702, Korea

Abstract

'Fuji' apples were treated by gamma irradiation (0~3 kGy) or methyl bromide fumigation at commercial conditions (MeBr, 26 g/kg, 4 hr) for quarantine purposes at two different treatment timing after harvest and stored under air at 0°C for 4 months. Associated with the treatment timing of irradiation or fumigation, after 40 days of storage at 0°C following harvest was more adequate than immediately after harvest in keeping qualities of stored apples. However, more than 2 kGy irradiation and MeBr fumigation were detrimental to physiological and chemical qualities of the fruits. These results show that less than 1 kGy irradiation at the delayed timing has a possibility to be applied as a quarantine procedure without significant changes in the quality of apples.

Key words : apples, methyl bromide, irradiation, storage quality

서 론

사과는 세계적으로 생산량이 비교적 다량인 과실이며 무역량도 점차 증가하고 있는 추세에 있어 해충 검역체제가 더욱 강화되고 있다(1). 일반적 농산물의 해충 방제기술로는 methyl bromide (MeBr) 훈증법이 상용되고 있으나 MeBr가 오존층을 파괴하는 환경공해물질로 판명되어 앞으로 사용이 금지될 전망이다(2).

MeBr 훈증의 대체기술을 개발하기 위해 검토된 방제기술로는, 저온처리(3), phosphine 훈증처리(4,5), 열처리(6,7) 및 저산소와 고이산화탄소 처리(8,9) 등이 있으나 이들은 처리시간이 길거나 효과가 불완전하고 피처리물에 생리적 장애를 유발시키는 등 여러 가지 문제점이 지적되어 실용화에 제약을 받고 있다. 이에 반해 감마선 조사의 방제효과는 다

양한 농산물에 걸쳐 연구가 수행된 바 MeBr법을 일부 대체할 수 있는 것으로 평가되었다(10-13). 그러나 사과와 같은 신선 농산물의 경우 단시간 내에 해충을 박멸시킬 수 있는 조사선량에서 피조사물의 품질손상이 극심하게 나타나는 두 가지 생명체의 관리에 어려움이 있어 적용에 앞서 품목별 충분한 검토가 선행되어야 한다. 또한 사과의 경우 감마선 조사에 의해 장애발생을 억제시키는 효과(14)가 보고되어 있어 감마선 조사 처리는 해충 사멸과 함께 저장 중 품질 손실을 억제할 것으로 기대되지만 감마선 처리에 따른 사과의 생리화학적 변화에 대한 연구는 미미한 편이다. 한편 MeBr 훈증의 경우 과실의 수확 후 처리시기에 따라 MeBr에 대한 과실의 감수성이 다른 것으로 알려져 있어(15) 감마선 조사의 경우도 처리시기에 따라 감마선이 과실에 미치는 영향이 상이할 것으로 예상된다.

따라서 사과의 품질에 대한 감마선 조사와 MeBr 훈증의 효과를 비교하여 MeBr 훈증의 대체기술로써 감마선 조사의 응용성을 검토하기 위하여, 후지 품종을 대상으로 감마선 조사와 MeBr 훈증의 처리시기 및 감마선의 조사선량에 따른 저장 중 사과의 생리화학적 품질특성의 변화를 조사하였다.

Corresponding author : Joong-Ho Kwon, Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea
E-mail : jhkwon@knu.ac.kr

재료 및 방법

료

실험용 후지 사과는 1999년 11월 초순에 수출용 사과 재단지로 지정 받은 경북 예천지역에서 수확하여 외관이 건한 중과만을 선별하여 사용하였다.

마선 조사 및 MeBr 훈증 처리

감마선 조사와 MeBr 훈증은 수확 직후(1차)와 0°C에서 40간 보관한 후(2차) 각각 실시하였다. 감마선 조사방법은 국립자력연구소와 그린피아기술(주)의 ⁶⁰Co 조사시설에서 1차 처리 시에는 0.5, 1, 2, 3 kGy를, 2차 처리시에는 0.5, 1, kGy 실온에서 각각 조사하였고, 흡수선량의 확인은 ceric ous dosimeter를 사용하였다(kGy±22%). MeBr 훈증방법은 2차 처리 모두 국립식물검역소 부산지소 관할 방역회사서 상업적 처리기준에 의거 MeBr 4 g/kg, 처리체적 0.9××0.2 m³, 온도 21°C에서 4시간 동안 상압조건에서 실시 후 탈기하였다. 한편 감마선 조사나 MeBr 훈증 처리를 지 않은 것을 대조구로 사용하였다. 감마선 및 MeBr 처리과 대조구 사과의 저장은 상업용 플라스틱 상자(55×35×cm)에 담아 0°C와 85% 상대습도가 유지되는 저장고에서 1월간 실시하였다.

흡량 및 에틸렌 생성량 측정

호흡량 및 에틸렌 생성량은 정치법으로 측정하였다. 즉, 로 일정량을 1 L 용기에 넣고 밀폐하여 1 시간동안 20°C에 방치한 후 head space 기체 1 mL를 가스 기밀성 주사기로 취하여 GC(Shimadzu 14B, Japan)로 이산화탄소와 에틸렌 농도를 각각 분석하였다. 이때 이산화탄소 분석조건으로 넓은 Active carbon(4 m×2 mm i.d., SUS), 컬럼 온도는 1°C, 검출기는 TCD 그리고 운반기체는 헬륨을 사용하였으며 에틸렌 분석조건으로 컬럼은 Active alumina(4 m×2 mm, SUS), 컬럼 온도는 110°C, 검출기는 FID 그리고 운반기체는 질소를 각각 사용하였다.

부 갈변율 측정

과실의 내부 갈변은 각 처리구 당 20개의 시료를 수직면으로 절단한 후 육안으로 검사하여 과핵 주위와 과육부분이 변된 것을 갈변과실로 판정하여 전체 측정 대상 과실수에 대한 백분율로 나타내었다.

수분 함량 측정

수분함량은 각 처리구당 시료의 과피를 제거한 후 과육 부 일정량을 취해서 적외선 수분측정기(FD-240, Kett, Japan)

를 이용하여 측정하였다.

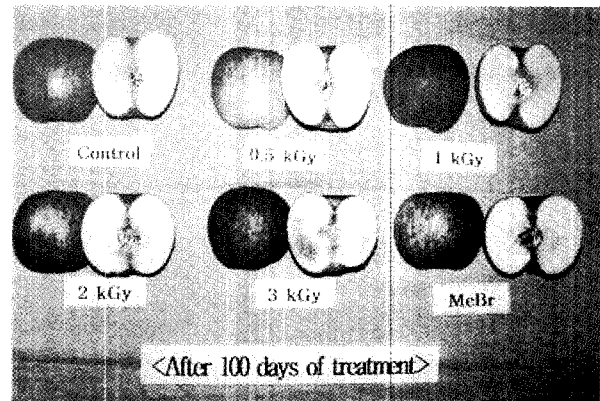


Fig. 1. Overall appearance of apples stored under air at 0°C after gamma irradiation or methyl bromide fumigation.

pH 측정

pH는 각 시료에서 과피를 제거한 후 채취한 과육 100 g을 food mixer(WHF-514, 원진공업, 한국)로 마쇄한 후 gauze로 여과하여 얻은 여과액을 pH meter(420A, Orion, USA)에 의해 측정하였다.

적정산도 측정

적정산도 측정은 pH 측정용 여액 10 mL에 증류수 90 mL를 혼합한 후 0.1 N NaOH를 가하여 pH 8.1이 될 때까지 적정하여 소비된 알칼리용액의 양을 malic acid로 환산하여 백분율로 나타내었다.

가용성 고형물 함량 측정

가용성 고형물은 시료의 과피를 제거한 과육으로부터 얻은 과즙을 digital refractometer(PR-1, Atago, Japan)를 이용하여 측정하였다.

환원당 함량 측정

환원당 함량은 Somogyi 변법(16)에 따라 측정하여 glucose 함량(%)으로 나타내었다.

에탄올 및 아세트알데히드 함량 측정

에탄올과 아세트알데히드 함량은 수증기 증류장치에서 과육 10 g에 증류수 약 30 mL를 혼합하여 증류액의 최종 부피가 10 mL가 되도록 증류한 후 GC(Shimadzu 14B, Japan)를 사용하여 분석하였다. 이때 분석 조건으로 컬럼은 Carboxen 101(4 m×2 mm i.d., SUS), 컬럼 온도는 95°C, 검출기는 FID 그리고 운반기체는 질소를 각각 사용하였다.

결과 및 고찰

호흡량 및 에틸렌 생성량

감마선과 MeBr의 1차 처리에 따른 저장 중 호흡량과 에틸렌 생성량의 변화는 Fig. 2에 나타내었다. 호흡량은 저장초기인 처리 직후에 처리구별로 상이하여 MeBr 처리구가 가장 높은 값을 보였고, 감마선 조사구는 선량에 비례하여 호흡의 자극현상이 나타났다. 이러한 호흡량이 증가된 결과는 살충 처리시에 가해진 스트레스에 기인된 것으로 생각된다. 즉, 감마선 조사에 따른 호흡촉진 현상은 밤, 마늘 및 버섯 등 (17-19)에서 보고된 결과와 유사하였으며 이는 감마선에 의한 성분분해(20)와 조직의 파손이 주원인으로 여겨지고, 또한 MeBr 훈증구에서 호흡량이 높은 원인의 하나는 훈증처리가 비교적 고온인 밀폐된 공간에서 행해지는 데에 따른 과실조직 내에 과량 축적된 이산화탄소가 방출되었기 때문인 것으로 생각된다. 한편 저장 60일 후의 호흡량은 모든 처리구에서 일제히 감소하면서 처리구간에 차이가 줄어들었다. 특히 MeBr 처리구의 호흡량의 변화는 매우 심하여 조사직후와 저장 60일의 차이가 2배나 되는 가장 큰 감소를 나타내었다. 이는 살충을 위한 MeBr 훈증처리가 과실의 생리적 작용에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 잘 말해 주고 있다.

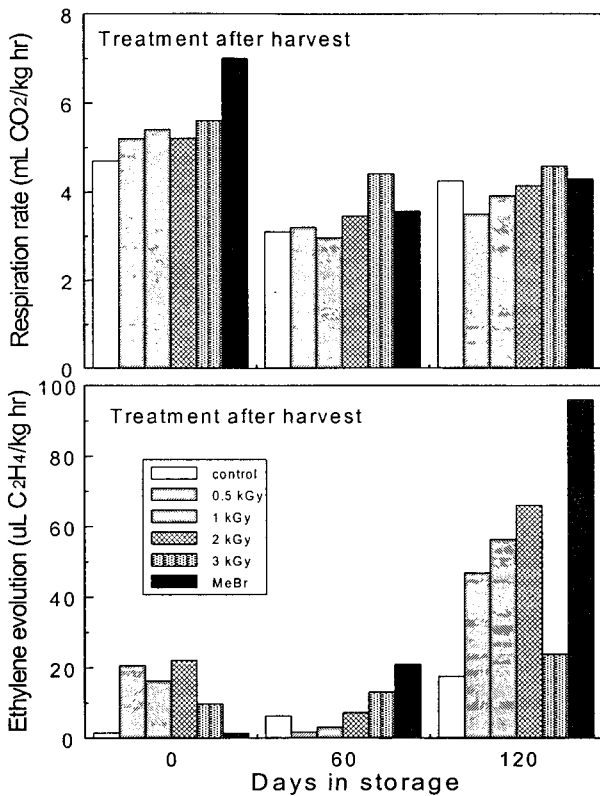


Fig. 2. Changes in respiration rate and ethylene evolution of apple stored under air at 0°C after gamma irradiation or methyl bromide fumigation.

에틸렌 생성량은 처리 직후에 감마선 조사구는 비교적 높은 생성량을, 그리고 대조구와 MeBr 훈증처리구는 상대적으로 낮은 값을 나타내었다. 저장 중 에틸렌 생성량은 저장기간이 경과함에 따라 0.5, 1 및 2 kGy 조사구에서는 일제히 감소하였으나, 대조구를 비롯한 3 kGy 조사구와 MeBr 처리구에서는 증가하는 경향이였다. 특히 MeBr 처리구는 조사직후의 에틸렌 생성량에 비해 저장 60일 후에는 20배 이상의 증가를 나타내었다. 저장 60일 이후부터는 에틸렌 생성량이 대조구와 3 kGy 조사구를 제외한 모든 처리구에서 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 에틸렌 생성량의 증가가 3 kGy 조사구에서 낮은 것은 고선량에 의해 과실 조직내 에틸렌 생합성 경로의 저해보다는 조직세포의 손상에 기인된 생합성 불능(21)의 결과로 추측된다.

내부 갈변율

감마선과 MeBr의 처리에 따른 저장 중 과실내부에서 발생한 Fig. 3과 같은 갈변장애의 발생률은 Fig. 3에 나타내었다. 1차 처리 시료의 내부 갈변율은 처리직후에는 각 구간에 차이가 거의 없었으나 경시적으로 증가하는 경향이였다. 내부 갈변현상은 저장 초반부터 관찰되기 시작하였으며, 저장 중에는 대조구의 내부 갈변이 가장 미약하였고, MeBr 처

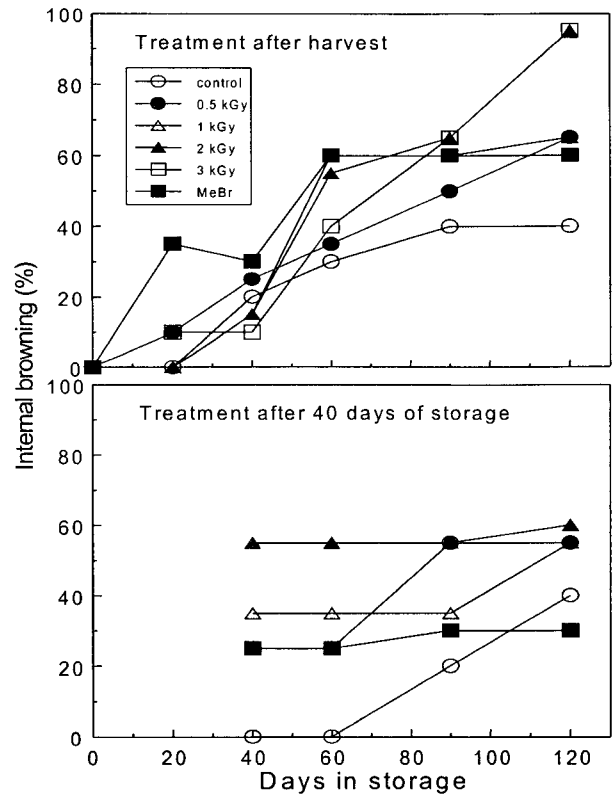


Fig. 3. Changes in internal browning of apple stored under air at 0°C after gamma irradiation or methyl bromide fumigation.

리구는 저장 20일 경에, 2 kGy 조사구는 저장 90일 경부터 타 시료에 비해 높은 내부 갈변율을 보였다. 또한 2차 시료의 내부 갈변은 조사선량의 증가와 MeBr 훈증처리에 의해 증가하는 경향을 나타내었다. 이상의 내부 갈변현상은 생리적 장애에 의해 발생하는 것으로 알려져 있으며(22), 고선량의 감마선 조사와 MeBr 훈증 처리는 사과 내부의 대사적 이상을 유도하여 갈변장애의 발생을 촉진하는 것으로 생각된다. 이로써 해충의 방제효과 뿐 아니라 사과 과육의 갈변을 줄일 수 있는 검역처리 방안의 연구가 필요한 것으로 여겨진다.

수분 함량

감마선과 MeBr의 처리조건에 따른 저장 중 사과의 수분 함량 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 먼저 1차 처리 후 각 처리구별 저장일수의 경과에 따른 수분함량의 변화를 살펴보면, 대조구의 경우는 처리 직후에 처리구에 비해 약간 낮았으나 나머지 저장기간 동안 약간 증가하는 양상을 나타내었다. 감마선 조사구는 전반적으로 조사선량이 높아질수록 저장 중 수분함량의 변동폭이 커지는 경향이었고, MeBr 처리구의 경우는 저장 동안 거의 일정한 수준으로 유지되었다. 한편 2차 처리한 사과의 수분함량 변화는 처리조건에 따른

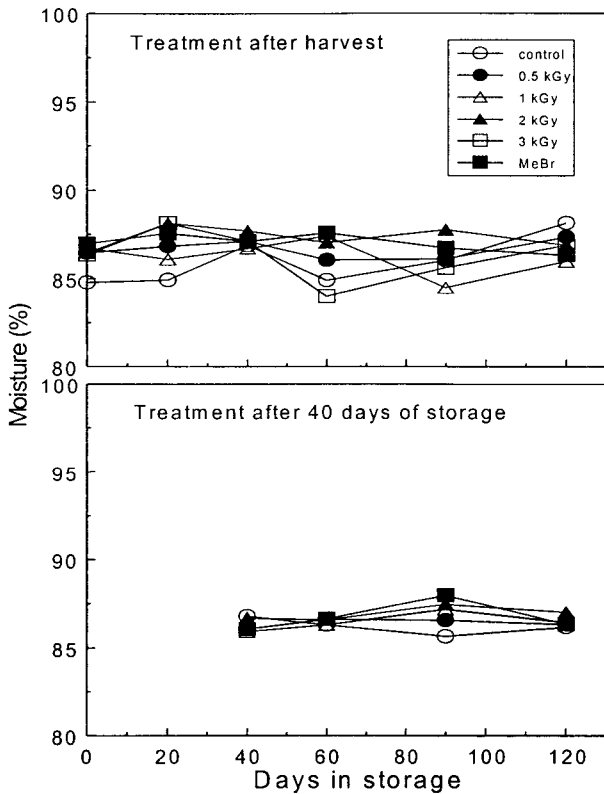


Fig. 4. Changes in moisture content of apple stored under air at 0°C after gamma irradiation or methyl bromide fumigation.

뚜렷한 차이를 보이지 않고 저장기간 동안 거의 일정한 수준으로 유지되는 경향이였다. 이상의 결과로 볼 때 살충을 위한 0.5~3 kGy의 감마선과 MeBr 처리는 사과의 수분함량 변화에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 볼 수 있고, 다만 수확직후 보다 저온에서 40일간 저장한 후 살충 처리를 하는 경우가 수분 안정성 유지에 다소 효과가 있는 것으로 생각된다.

pH

감마선과 MeBr의 처리조건에 따른 저장 중 사과의 pH 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 1차 처리 시료의 pH 변화양상은 처리조건간 뚜렷한 차이가 없이 전반적으로 증가하는 경향을 보였다. 2차 처리 시료의 pH는 모든 감마선 조사구와 대조구에서는 저장기간이 길어질수록 극미하게 증가하는 경향이였으나 MeBr 처리구에서는 거의 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 이는 대조구 및 감마선 조사구와 상반된 현상으로 시료의 품질변화와 관련이 있을 것으로 생각된다.

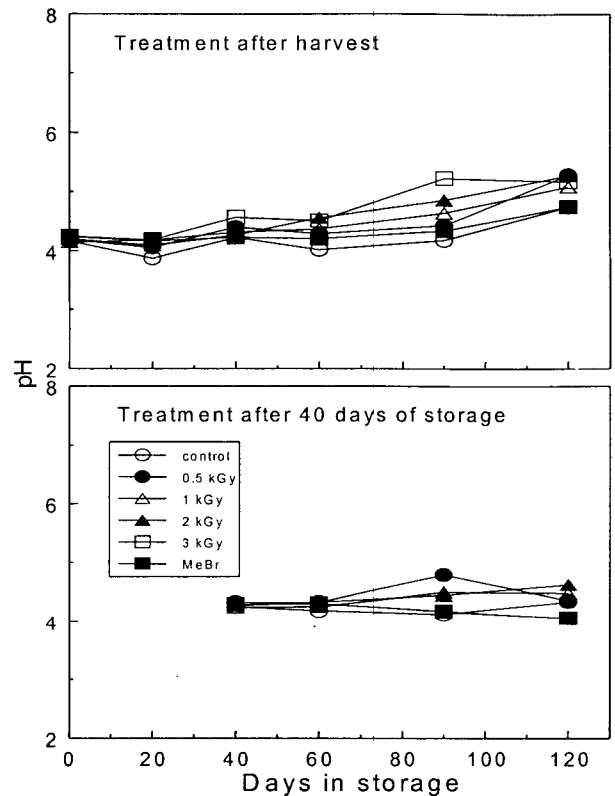


Fig. 5. Changes in pH of apple stored under air at 0°C after gamma irradiation or methyl bromide fumigation.

적정산도

감마선과 MeBr의 처리조건에 따른 저장 중 사과의 적정산도 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 1차 처리 시료의 저장 중 적정산도의 변화는 모든 처리구에서 저장 기간이 경과할수

록 감소하는 경향을 보였으나, 그 감소속도는 대조구에서 가장 느렸으며, 다음으로 MeBr 처리구, 감마선 조사구 순이었다. 감마선 조사구간에는 조사선량이 증가할수록 감소 속도가 빠른 경향을 보였다. 2차 처리 시료의 적정산도 변화는 MeBr 처리구에서는 저장기간에 따른 차이가 거의 없었고, 다른 처리구에서는 대체로 감소하는 경향을 나타내었다. 이상의 결과로 볼 때 감마선과 MeBr 처리는 저장 사과에서 적정산도의 감소를 유발시키는 것으로 생각되고 감마선의 경우는 조사선량이 증가할수록 감소가 더욱 촉진되는 것으로 여겨진다. 이러한 감마선과 MeBr 처리의 효과는 사과를 수확한 후 저온에서 40일간 보관 후 처리하는 경우에 약화되는 것으로 판단된다.

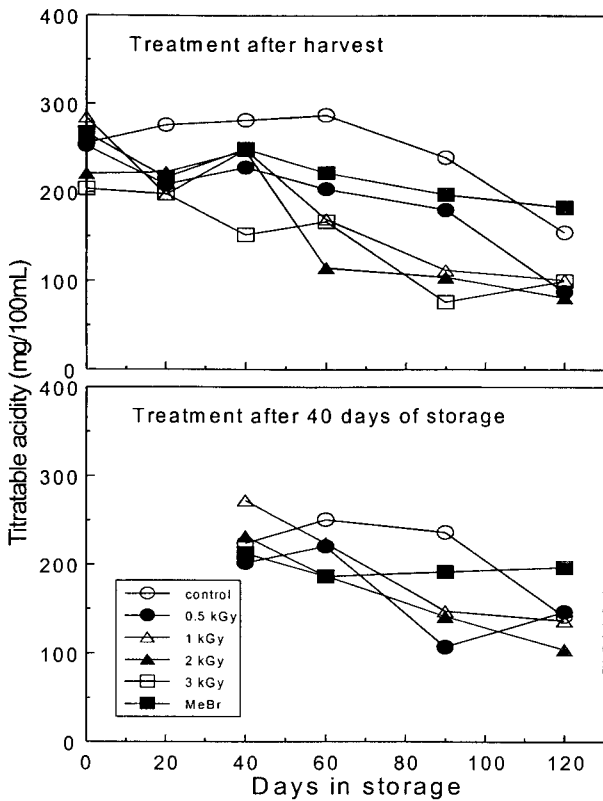


Fig. 6. Changes in titratable acidity of apple stored under air at 0°C after gamma irradiation or methyl bromide fumigation.

가용성 고형물 함량

감마선과 MeBr의 처리조건에 따른 저장 중 사과의 가용성 고형물 함량 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 1차 처리시료의 저장기간 동안의 가용성 고형물은 전반적으로 뚜렷한 변화양상을 보이지 않았으며, 처리유무에 따른 차이는 대조구에서 약간 높게 유지되는 경향이었으나 처리구와의 차이는 크지 않았다. 2차 처리 시료의 가용성 고형물의 변화는 저장기간에 따른 각 처리구간 유의적인 차이는 없었지만 대조

구에서 비교적 높은 함량을 유지하였다. 사과의 가용성 고형물은 성숙과정이나 저장기간 동안 생합성 및 가수분해에 의해 증가되기도 하고 호흡기질로 사용되어 감소되기도 하는 것으로 알려져 있다(23). 이로써 감마선과 MeBr 처리는 사과의 가용성 고형물에 유의적인 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

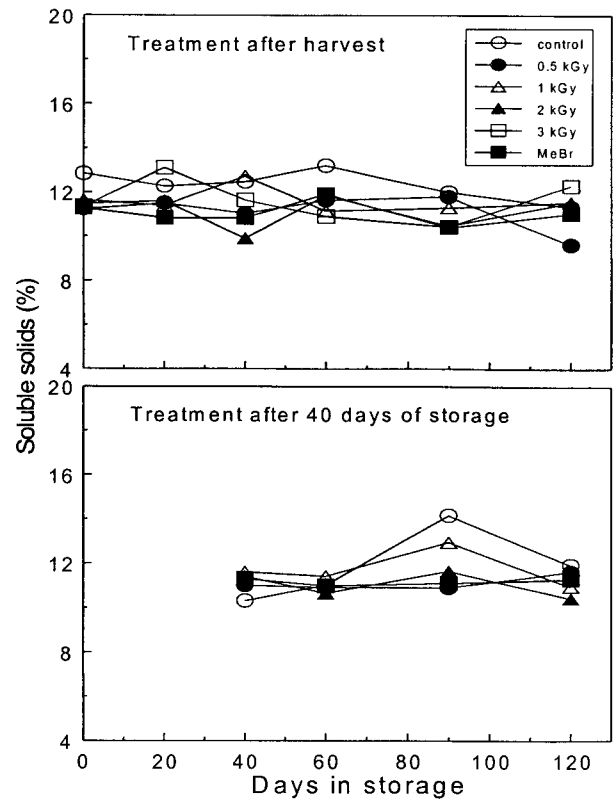


Fig. 7. Changes in soluble solids of apple stored under air at 0°C after gamma irradiation or methyl bromide fumigation.

환원당 함량

감마선과 MeBr의 처리조건에 따른 저장 중 사과의 환원당 함량 변화를 Fig. 8에 나타내었다. 1차 처리 시료의 환원당 함량은 저장기간에 따라 처리구간의 변화양상이 저장 중 전반까지는 거의 비슷하였고, 후반부로 접어들면서부터 조금씩 차이가 나기 시작하였다. 저장 전반부에는 환원당 함량이 처리구간별 차이는 없었으나 큰 폭으로 변동하였다. 즉, 처리직후의 환원당 함량에 있어서 모든 처리구가 거의 동일한 함량을 나타내었으나 다소 큰 폭으로 감소한 후 증가하는 경향을 보였다. 한편 저장 후반부에는 환원당 함량이 처리구간 약간의 차이를 보였으나 유의적인 차이는 나타내지는 않았다. 2차 처리 시료의 환원당 함량의 변화는 처리조건에 따른 뚜렷한 차이가 없이 저장 중 큰 변화를 나타내지 않는 경향이였다. 이상에서 보는 바와 같이 동일 시료인 사과에 대하여 감마선과 MeBr의 처리시기를 1차와 2차

로 구분하였을 때 저장 중 환원당 함량의 변동양상에서 다소 차이가 있음을 확인할 수 있었는데, 이는 수확 후 과실의 생리작용이 살충 및 저장 조건의 설정에 충분히 반영되어야 한다는 필요성을 뒷받침해 주고 있다.

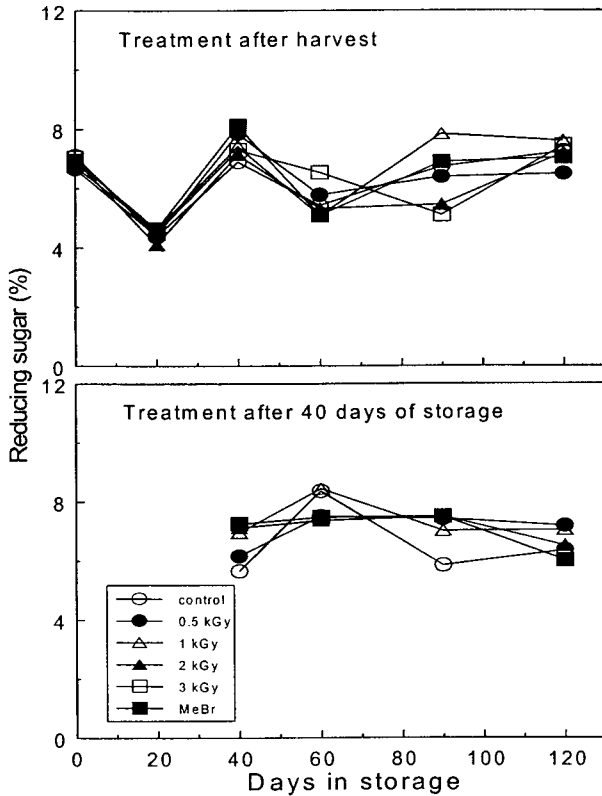


Fig. 8. Changes in reducing sugar of apple stored under air at 0°C after gamma irradiation or methyl bromide fumigation.

에탄올 및 아세트알데히드 함량

감마선과 MeBr의 1차 처리에 따른 저장 중 ethanol과 acetaldehyde의 변화는 Fig. 9에 나타내었다. Ethanol 함량은 모든 처리구에서 저장 60일까지는 증가하는 경향을 보였으나 저장 120일 후에는 감소되었다. Acetaldehyde 함량 역시 저장기간에 따른 ethanol 함량 변화와 마찬가지로 모든 처리구가 저장 60일에 증가하였다가 저장 120일째에 감소하는 경향을 보였다. Ethanol과 acetaldehyde는 저장 과실의 비정상적 대사의 결과로 생성량이 급증하며 생리적 장애의 유발과 품미저하의 원인으로 알려져 있다(24).

요 약

감마선(0, 0.5, 1, 2, 3 kGy) 조사와 methyl bromide(MeBr, 26 g/kg, 4 hr) 훈증 및 이들의 처리시기가 사과와 생리화학적 품질특성에 미치는 영향을 비교하여, 검역처리를 위한

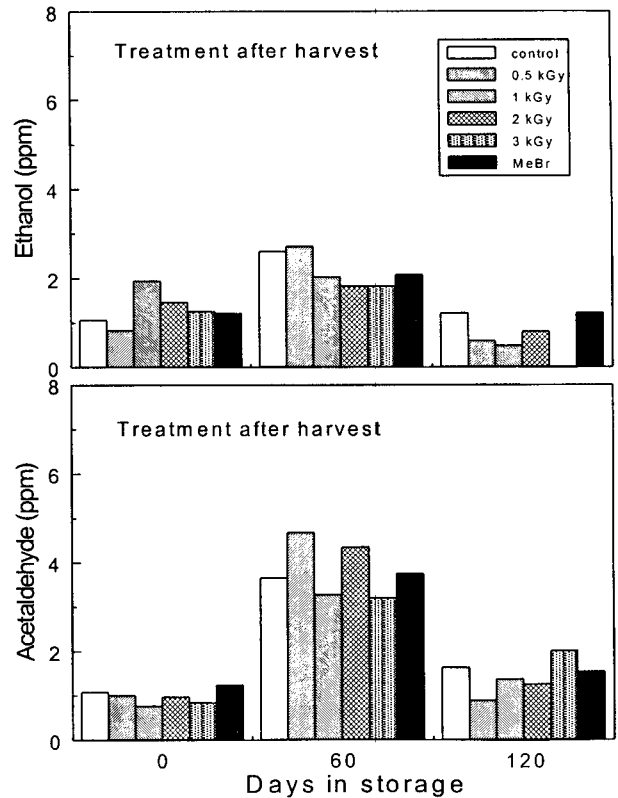


Fig. 9. Changes in ethanol and acetaldehyde content of apple stored under air at 0°C after gamma irradiation or methyl bromide fumigation.

감마선 조사의 응용성을 검토하였다. 감마선과 MeBr 처리에 따른 사과의 생리화학적 품질평가에서 2 kGy 이상의 감마선 조사와 MeBr 훈증은 사과의 일부 생리화학적 품질특성의 변화를 촉진시키는 것으로 나타났다. 감마선과 MeBr의 처리시기별로는 수확 직후보다는 저온(0°C)에서 40일 정도 보관한 후 처리한 것이 대체적으로 품질손상이 적은 것으로 나타났다. 따라서 1 kGy 이하의 감마선 조사와 자연조사는 사과 과실의 품질을 비교적 양호한 상태로 유지할 수 있어 검역처리 기술로 활용성이 있는 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Kwon, J.H., Chung, H.W. and Kwon, Y.J. (2000) Infrastructure of quarantine procedures for promoting the

- trade of irradiated foods. Paper presented at Symposium of The Korean Society of Postharvest Science and Technology of Agricultural Products on Irradiation Technology for the Safety of Food and Public Health Industries and Quality Assurance, Daejeon, 13 October, p 209-254.
2. UNEP. (1994) Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. Report of the methyl bromide technical options committee. p 294.
 3. Gould, W.P. and Sharp, J.L. (1990) Cold-storage quarantine treatment for carambolas infested with the caribbean fruit fly(Dipera: Tephritidae). *J. Econ. Entomol.*, 83, 458-460.
 4. Seo, S.T., Akamine, E.K., Goo, T.T.S., Harris, E.J. and Lee, C.Y.L. (1979) Oriental and mediterranean fruit flies: fumigation of papaya, avocado, tomato, bell pepper, eggplant, and banana with phosphine. *J. Econ. Entomol.*, 72, 354-359.
 5. Hatton, T.T., Cubbedge, R.H., Windeguth, D.L. and Spalding, D.H. (1982) Phosphine as a fumigant for grapefruit infested by caribbean fruit fly larvae. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.*, 95, 221-224.
 6. Couey, M. (1989) Heat treatment for control of postharvest diseases and insect pests of fruits. *HortScience*, 24, 198-202.
 7. Smith, K.J. and Lay-Yee, M. (2000) Response of 'Royal Gala' apples to hot water treatment for insect control. *Postharvest Biol. Technol.*, 19, 111-122.
 8. Benshoter, C.A. (1987) Effects of modified atmospheres and refrigeration temperatures on survival of eggs and larvae of the Caribbean fruit fly(Dipera: Tephritidae) in laboratory diet. *J. Econ. Entomol.*, 80, 1223-1225.
 9. Delate, K.M., Brecht, J.K. and Coffelt, J.A. (1990) Controlled atmosphere treatment for control of sweet potato weevil(Coleoptera: Curculionidae) in stored tropical sweet potatoes. *J. Econ. Entomol.*, 83, 461-465.
 10. Sommer, N.F. and Mitchell, F.G. (1986) Gamma irradiation - a quarantine treatment for fresh fruits and vegetables. *HortScience*, 21, 356-360.
 11. Ignatowicz, S. and Brzostek, G. (1990) Use of irradiation as a quarantine treatment for agricultural products infested by mites and insects. *Radiat. Phys. Chem.*, 35, 263-267.
 12. Kwon, J.H., Kim, S.J., Chung, H.W., Kwon, Y.J. and Byun, M.W. (1998) Comparative effects of gamma irradiation and methyl bromide fumigation on disinfestation and physiochemical quality of acorn. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.*, 5, 199-206.
 13. IAEA. (1999) Roles of irradiation as a phytochemistry (quarantine) treatment of fresh fruits and vegetable. FAO/IAEA/WHO International Conference on Ensuring Safety and Quality of Food through Radiation Processing, Antalya, Turkey, 19-22 October 1999, *Food and Environmental Protection Newsletter*. 2, 10-16.
 14. Park, N.P., Choi, E.H., Lee, O.H. and Kim, Y.M. (1970) Studies on the storage of apples. I. Effects of single or combined treatments of gamma radiation and polyethylene film packing. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 2, 81-87.
 15. Drake, S.R., Moffitt H.R. and Mattheis, J.P. (1989) Methyl bromide, time and temperature of exposure on apple quality. *J. Food Proc. Preserv.*, 14, 85-92.
 16. Kobayashi, T. and Tabuchi, T. (1954) A method employing a tribasic sodium phosphate buffered reagent for estimating semimicro quantities of reducing sugars. *J. Agric. Chem. Soc., Japan*, 28, 171-174.
 17. Uchiyama, Y. (1966) Effect of gamma irradiation on sprout inhibition and its physiological mechanism of chestnuts. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 35, 86-94.
 18. Kwon, J.H., Yoon, H.S., Sohn, T.H., Byun, M.W. and Cho, H.O. (1984) Effect of gamma irradiation on the physiological characteristics of garlic bulbs during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 16, 408-412.
 19. Yoon, H.S. and Kwon, J.H. (1990) Monitoring of respiration and soluble carbohydrate changes in mushrooms following γ -irradiation. *Agric. Res. Bull. Kyungpook Natl. Univ.* 8, 89-94.
 20. Sal'kova, E.G. (1963) The change in carbohydrate composition within the storage organs of plants under the effect of gamma irradiation. *Nuclear Sci. Abs.*, 17, 28732.
 21. Makhlof, J., Willemot, C., Arul, J., Castaigne, F. and Emond, J.P. (1989) Regulation of ethylene biosynthesis in broccoli flower buds in controlled atmospheres. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 114, 955-958.
 22. Meheriuk, M., Prange, R.K., Lidster, P.D. and Porritt, S.W. (1994) Postharvest disorders of apples and pears. *Agriculture Canada Publication*, p.18.
 23. Kader, A.A. (1986) Potential applications of ionizing radiation in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. *Food Technol.*, 40, 117-121.
 24. Fidler, J.C. (1968) The metabolism of acetaldehyde by plant tissues. *J Exp. Bot.*, 19, 41-51.