

감마선과 methyl bromide 처리가 사과의 검역해충 및 물리적 품질에 미치는 영향

강호진 · 권용정¹ · 변명우² · 김현구³ · 정현식 · 최종욱 · 권중호*

경북대학교 식품공학과 및 식품생물산업연구소,
¹경북대학교 농생물학과, ²한국원자력연구소, ³한국식품개발연구원

Effects of Gamma Irradiation and Methyl Bromide Fumigation on Quarantine Pest and Physical Quality of Apples

Ho-Jin Kang, Yong-Jung Kwon¹, Myung-Woo Byun², Hyun-Ku Kim³,
Hun-Sik Chung, Jong-Uook Choi and Joong-Ho Kwon*

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

¹Department of Agricultural Biology, Kyungpook National University

²Korea Atomic Energy Research Institute

³Korea Food Research Institute

Tetranychus urticae Koch and *Panonychus ulmi* Koch were identified as quarantine pests in apple samples and were controlled soon after the commercial treatment of methyl bromide (MeBr) and with irradiation doses (0.5~3 kGy) after irradiation. The physical qualities of apples, such as rotting, withering, weight changes, hardness, and color, were apparently affected by MeBr. Furthermore, more than 2 kGy irradiation resulted from the lapse of storage time. Associated with the physical qualities of stored apples, irradiation and fumigation for quarantine purposes were more adequate after 40 days of storage at $0 \pm 1^\circ\text{C}$ ($85 \pm 2\%$ RH) immediately following harvest, rather than soon after harvest. Less than 1 kGy irradiation, based on its accumulated control effect on pests, can potentially be applied as a quarantine procedure without causing significant changes in the physical qualities of fresh apples, in contrast to MeBr.

Key words: apples, methyl bromide, irradiation, quarantine, physical quality

서 론

WTO 체제하에 접어들면서 농산물의 국가 간 교역이 증가하고 있는 추세이다. 이에 동시에 외래 해충의 검역관리 중요성이 날로 고조되고 있다⁽¹⁾. 현행 농림산물의 교역에서 검역대상 해충의 주 박멸기술은 methyl bromide(MeBr) 훈증법이 널리 사용되고 있다. 수확 후 과실은 $-1 \sim 0^\circ\text{C}$ 범위의 저온에 약 30일 이상 보관한 경우는 MeBr 훈증에 대한 감수성이 낮아져 투약량이 증가된 경우에도 장해발생은 회피할 수 있을 가능성이 보고된 바 있다⁽²⁾. 그러나 MeBr가 오존층을 파괴하는 환경공해물질로 판명되어 앞으로 사용이 금지

될 전망이다⁽³⁾. 그렇지만 MeBr법을 완전히 대체할 수 있는 해충 방제기술이 아직 개발되지 않은 실정이다.

지금까지 알려진 MeBr 훈증법 이외의 방제기술로는, 저온처리⁽⁴⁾, phosphine 훈증처리^(5,6), 열처리^(7,8), 저산소와 고이산화탄소 처리^(9,10) 등이 있으나 이들 방법은 처리시간이 길거나 효과가 불완전하고 피처리물에 생리적 장해를 유발시키는 등 여러 가지 문제점이 지적되어 실용화에 제약을 받고 있다. 이에 반해 감마선 조사의 방제효과는 다양한 농산물에 걸쳐 연구가 수행된 바, MeBr법을 일부 대체할 수 있는 것으로 인정되고 있다⁽¹¹⁻¹³⁾. 그러나 신선 농산물의 경우 단시간 내에 해충을 박멸시킬 수 있는 조사선량에서 피조사물의 품질손상이 나타나게 되므로 적용에 앞서 품목별로 충분한 검토와 개선책이 마련되어야 할 것이다.

사과는 세계적으로 생산량과 무역량이 비교적 다량인 신선 과실이므로 경제적이고 효율적인 해충 방제기술의 개발이 시급한 품목이다⁽¹⁾. 이를 위해 앞서 언급한 감마선 조사의 적용 가능성이 있을 것으로 판단되며⁽¹⁴⁾, 또한 사과에서

*Corresponding author : Joong-Ho Kwon, Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea
Tel: 82-53-950-5775
Fax: 82-53-950-6772
E-mail : jhkwon@knu.ac.kr

장해발생 억제효과⁽¹⁵⁾가 예상되는 감마선 조사법은 해충사멸과 함께 저장 중 선도유지 가능성이 기대 된다^(11,16).

따라서 본 연구에서는 사과에 대한 감마선 조사법의 적용 가능성을 확인하고 적정 조사선량을 검토하기 위하여, 감마선 조사와 MeBr 훈증의 검역대상 해충 방제효과와 저장 중 물리적 품질에 미치는 영향을 비교 검토하였다.

재료 및 방법

재료

실험용 후지 사과는 1999년 11월 초순에 수출용 사과 재배단지 지정 받은 경북 예천 지역에서 수확하여 외관이 건진 중과만을 선별하여 사용하였다. 사과의 검역해충에 대한 살충처리는 수확직후(1일 후)의 시료(1차 시료)와 수확 후 40일간 저온(0±1°C, 85±2% RH)에서 저장된 시료(2차 시료)로 구분하여 처리하였다.

감마선 조사 및 MeBr 훈증 처리

감마선 조사는 그린피아기술(주)의 ⁶⁰Co 조사시설에서 시간당 일정한 선량률로 0.5, 1, 2, 3 kGy의 목표선량을 실온에서 각각 조사하였고(±15%), 흡수선량의 확인은 ceric cerous dosimeter를 사용하였다. MeBr 훈증은 국립식물검역소 부산 지소 관할 방역회사에서 상업적 처리기준에 의거 MeBr 4g/kg, 처리체적 0.9×1.4×0.2 m³, 온도 21°C에서 4시간 동안 상압 조건에서 실시한 후 탈기하였다. 이때 감마선 조사나 MeBr 훈증 처리를 하지 않은 시료는 대조구로 사용하였다. 수확직후의 시료(1차 시료)와 수확 후 40일간 저온 저장된 시료(2차 시료)로 구분하여 감마선 조사 또는 MeBr 훈증 처리하여 대조구와 함께 플라스틱 상자에 담아 0°C, 85% 상대습도가 유지되는 저장고에 저장하면서 실험에 사용하였다.

검역해충의 동정 및 살충효과 조사

사과 과실에서 발견된 검역대상 경계해충의 분류 및 동정은 한국곤충명집과 분류기준⁽¹⁷⁾에 따라 실시하였다. 감마선 조사와 MeBr 훈증 처리의 살충효과는 처리조건에 따라 해충 개체군을 분리하여 건진 사과에 접종한 후 저온에서 사육하면서 치사율을 조사하였다.

부패, 위축 및 중량 측정

방사선 조사 및 훈증 처리된 사과를 대상으로 물리적 품질 특성으로서 부패율, 위축 및 중량 변화는 저장 조부터 사과 50개를 각각 정해진 포장용기에 넣고 경시적으로 측정하여 백분율로 나타내었다.

경도 측정

사과의 경도는 측정 압력이 1kg인 과실 경도계(日本竹村工業, Hardness Tester FHM-1, Japan)를 사용하여 사과 5개의 적도 부분 4곳을 fruit peeler로 껍질을 벗긴 후 각 시료구 당 20회 반복 측정하여 그 평균값으로 나타내었다.

색도 측정

사과의 기계적 색도는 color & color difference meter

(Minolta, model CR-200, Japan)를 사용하여 과피 및 내부 색도로 구분하여 측정하였다. 각 처리구 당 5개씩을 그물 망에 보관하면서, 과피색의 측정은 과피의 정해진 부분에 대하여 내부 색도는 처리구 당 5개 씩 절단하여 절단면의 색도를 10회 반복 측정하고, 그 평균값으로 나타내었다. 이때 Hunter scale은 백색도(L), 적색도(a), 황색도(b) 및 색차(ΔE, color difference) 값으로 측정하였다.

결과 및 고찰

검역해충의 사멸특성

본 실험에 사용된 사과시료에서 북미지역 검역대상 경계해충인 점박이응애(*Tetranychus urticae* Koch)와 사과응애(*Panonychus ulmi* Koch)가 분류·동정되었다. 검역대상 경계해충으로 지정된 해충은 엄격한 검역규정을 적용 받아 무역시 철저한 관리가 요구된다⁽¹⁸⁾. 한편 상기 해충들은 사과재배시 잎과 유과를 식해하는 피해를 주며, 수확기에 주로 과실의 꽃받침 부위에 부착하여 월동을 하게 된다.

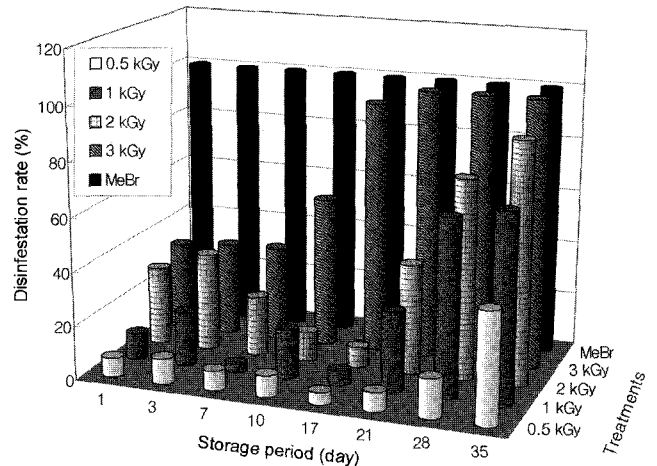


Fig. 1. Overall control effects of *P. ulmi* egg in apples treated by gamma irradiation and methyl bromide (MeBr). MeBr was treated 26 g/kg in 0.9×1.4×0.2 m³ at 21°C for 4 hr.

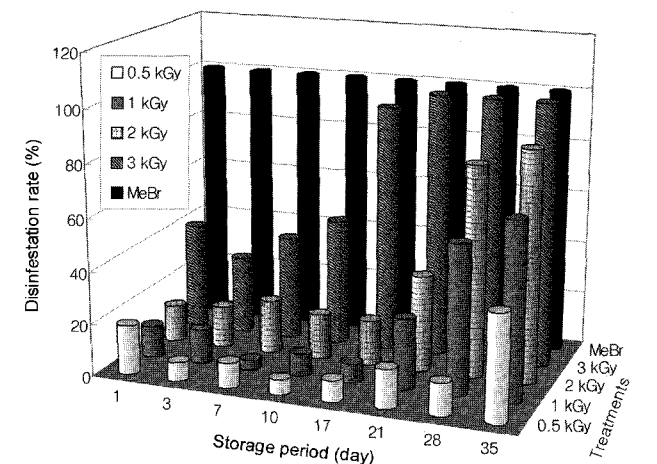


Fig. 2. Overall control effects of *T. urticae* adult in apples treated by gamma irradiation and methyl bromide (MeBr).

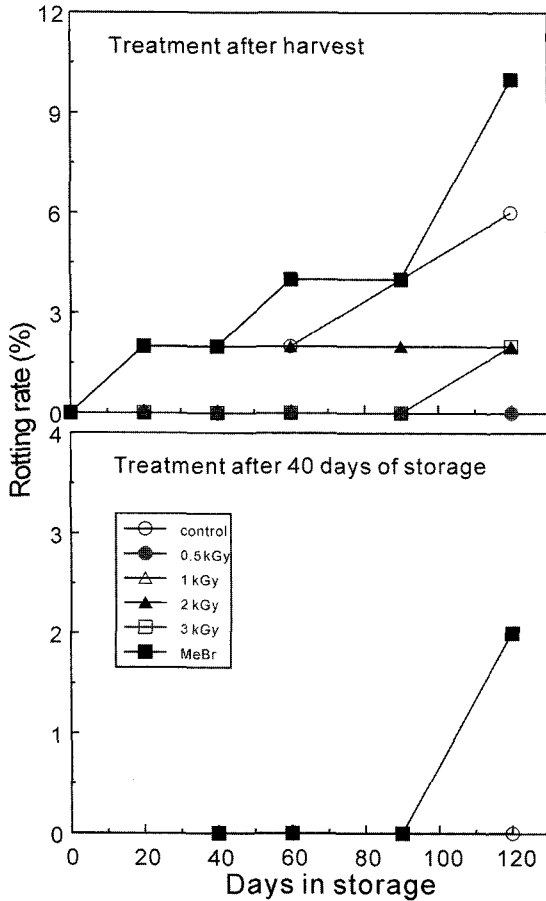


Fig. 3. Effects of gamma irradiation and methyl bromide (MeBr) fumigation on rotting rate of apples.

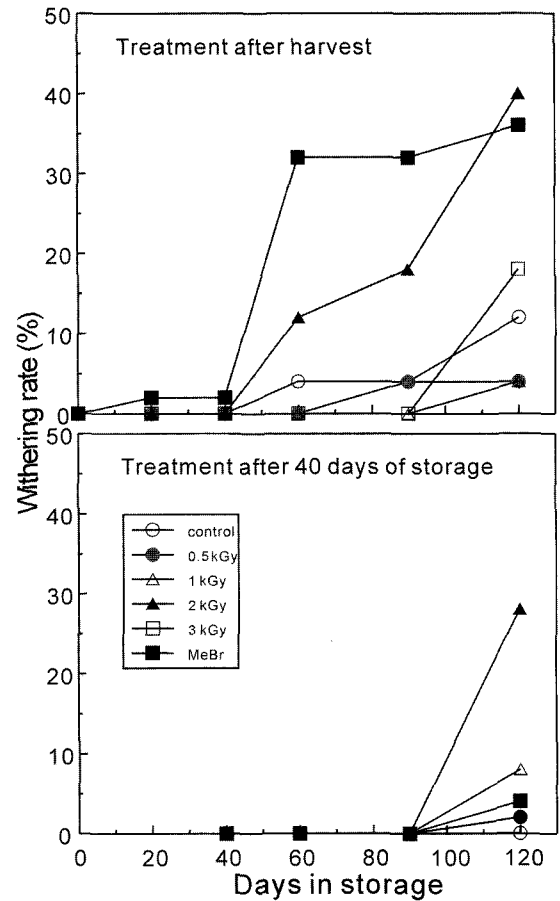


Fig. 4. Effects of gamma irradiation and methyl bromide (MeBr) fumigation on withering rate of apples.

점박이용애와 사과응애의 감마선 조사, MeBr 훈증 및 무 처리에 따른 살충효과를 처리 후 경과 기간별로 조사한 결과는 Fig. 1과 2에 각각 나타내었다. 먼저 감마선 조사구에서의 치사율은 해충의 종류에 따라 차이가 있었으나, 전반적으로 조사 후 일수와 조사선량에 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 즉, 점박이용애는 조사선량이 2 kGy 이하인 경우에는 처리 17일 후까지 30% 이하의 치사율을 보였으나, 이후부터 비교적 큰 폭으로 증가하는 경향을 보여 처리 35일 후에 0.5 kGy 조사구에서는 59%, 1 kGy에서는 69%, 2 kGy에서는 91%의 치사율을 각각 나타내었다. 반면, 3 kGy 조사구에서는 2 kGy 이하 조사에 비해 살충효과가 크게 증가되어 조사 1일 후에 50% 정도의 치사율 보였으며 21일 후부터 100%의 치사율을 나타내었다. 한편 사과응애의 치사율에 감마선 조사가 미치는 영향은 점박이용애의 경우와 거의 유사한 경향을 나타내었다. 조사선량이 1 kGy와 2 kGy에서는 조사 28일 후부터 70% 이상의 치사율을 보인 반면 고선량인 3 kGy에서는 조사 후 일수에 따른 치사율 증가폭이 커서 21일 후에 100% 치사율을 나타내었다.

다음으로 MeBr 훈증 처리구에서는 처리 1일 후에 두 종류의 해충 모두 100%의 치사율을 보여 우수한 살충효과를 나타내었다. 이 결과와 유사하게 이전 연구 결과에서도 Kwon 등에 의한 배⁽¹⁹⁾와 도토리⁽²⁰⁾의 MeBr을 이용한 해충사멸 효

과는 같은 조건에서 100% 사멸하는 것으로 나타내었다. 이상의 결과로 볼 때 현재 해충의 검역처리를 위해 주로 사용되고 있는 MeBr 훈증법이 후지 사과의 경우에도 매우 효과적임이 확인되었다. 또한 감마선 조사의 경우에는 처리 직후 MeBr 훈증과 동등한 살충효과를 거두기 위해서는 3 kGy를 초과하는 높은 조사선량이 요구되며, 누적사망률을 고려할 경우 조사선량에 비례하여 살충효과가 증가하는 것으로 확인되었다.

부패, 위축 및 중량 변화

살충처리(1차 시료) 후 동일 조건에 보관된 사과의 부패현상은 실험초기에는 발견되지 않았으나 저장 20일 후에 대조구, 2 kGy 조사구 그리고 MeBr 처리구에서 2%가 부패하였고, MeBr 처리구는 저장기간이 증가할수록 부패율이 증가하여 저장 120일 후에는 약 10%의 부패율을 보였다(Fig. 3). 이는 Kwon 등⁽²⁰⁾에 의한 연구에서 도토리 시료의 부패현상은 모든 시험구에서 처리 직후에는 별 문제시 되지 않았으나, 저장 후 5 kGy 이상 조사구와 MeBr 처리구에서 부패현상이 서서히 발생하였다는 결과와 유사한 결과를 보였다. 그리고 대조구는 저장 60일까지 2%의 부패율을 유지하다가 증가하여 저장 120일 후에는 6%의 부패율을 보였다. 2 kGy 조사구는 저장 120일 까지 2%로 유지되었다. 반면, 0.5, 1, 3 kGy 조사

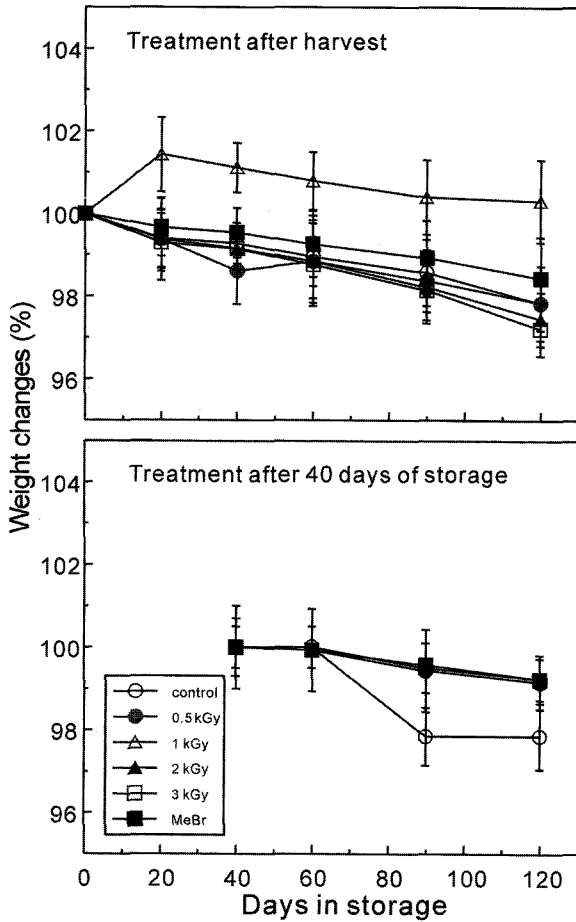


Fig. 5. Effects of gamma irradiation and methyl bromide (MeBr) fumigation on weight changes of apples.

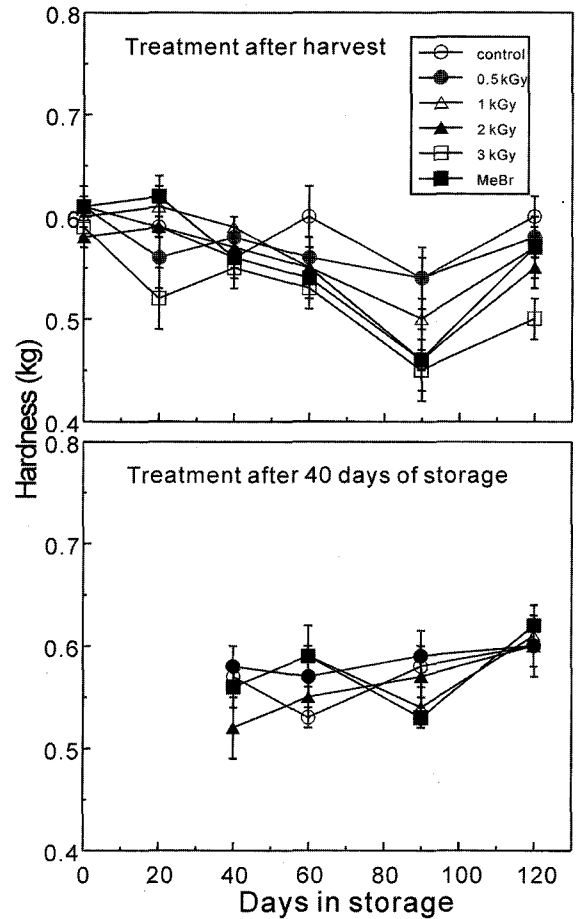


Fig. 6. Effects of gamma irradiation and methyl bromide (MeBr) fumigation on hardness of apples.

구는 저장기간 동안 부패되지 않았으나 저장 120일에 3 kGy 조사구에서 2%의 부패율이 발생하였다. 위축율에 있어서는 대조구, 0.5 kGy, 1 kGy 및 3 kGy는 거의 변화가 없었으나, 40 일이 경과하면서 5% 범위의 위축율을 나타내기 시작하면서 저장기간이 증가할수록 함께 증가하였다(Fig. 4). 그러나 2 kGy 조사구와 훈증처리구는 저장 40일 이후 급격히 증가하면서 저장 120일에는 위축율이 40%에 이르렀다.

또한, 2차로 살충 처리한 사과들의 경우 저장 90일까지 모든 처리구에서 부패가 관찰되지 않았다(Fig. 3). 저장 120일 가서야 대조구를 제외한 모든 처리구에서 2%의 부패율을 나타내었다. 위축율 역시 부패와 마찬가지로 저장 90일 이후에 발생하였으며, 2 kGy 조사구의 위축율이 가장 높은 28%를 나타내었다. 이때 1 kGy는 8%, MeBr 처리구는 4%, 0.5 kGy는 2%를 나타내었고 대조구에서는 발생하지 않았다(Fig. 4). 또한, Fig. 5에서와 같이 중량변화에 있어서는 1차, 2차 처리된 시료 모두 저장기간이 증가할수록 조금씩 감소하는 경향을 보였으나 감마선과 MeBr 처리에 의한 영향은 거의 나타나지 않았다.

경도변화

과육 경도는 중량변화와 함께 사과의 품질을 판정하는데

있어서 중요한 기준이 된다. 1차 시료의 경도는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 모든 처리 구에서 저장기간이 증가할수록 다소 감소하는 추세를 나타내었다가 저장 120일이 경과하면서 경도가 저장일 60일 수준과 유사한 수준으로 증가되었다. 또한 고선량에서는 변화의 폭이 더 커짐을 알 수 있었다. 이전 연구 결과에서 Cho 등⁽²¹⁾은 1~3 kGy의 감마선 조사시 수삼에서 또한 Kwon 등⁽²⁰⁾에 의한 1~10 kGy 감마선 조사된 도토리에서 내·외부 경도가 감소되는 경향이나 저장기간의 경과로 대조구와의 차이는 줄어들었다고 보고하여 본 실험의 결과와 유사하였다.

고선량의 감마선 조사는 과실의 경도를 저하시킬 수 있으며, 이 같은 현상은 식물체의 조직과 수분함량에 따라 다양하게 나타난다⁽²²⁾. 훈증 처리된 사과의 경도는 2 kGy 조사구와 유사한 추이를 나타내었다. 이와 같은 결과는 고선량의 방사선과 훈증처리에 의해 사과가 생리적인 변화를 받게 되어 주어진 저장조건에서 물리적인 변화를 일으킨 것으로 생각된다⁽¹⁾. 그리고 2차 처리한 사과의 경도는 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 감마선 조사와 훈증처리 직후보다 120일 경과 시 모든 처리구에서 증가됨을 알 수 있다. 대조구의 경우 처리 직후에 경도가 0.57이었던 것이 60일 경과시 감소하였다가 다시 증가하여 120일 때에는 0.60을 나타내었다. 또한 0.5

Table 1. Comparative effects of gamma irradiation and MeBr fumigation on Hunter color values of apple peel¹⁾

Hunter parameter	Storage period (day)	Irradiation dose (kGy)					MeBr ²⁾
		0	0.5	1	2	3	
Treatment after harvest							
L	0	0	-3.75	3.41	6.40	7.79	9.25
	20	0	-4.01	2.44	4.69	6.15	7.23
	40	0	-3.99	2.05	4.25	6.04	6.97
	60	0	-3.50	2.83	4.12	5.21	6.50
	90	0	-3.18	2.10	4.61	5.24	7.13
	120	0	-3.48	2.57	4.35	14.37	7.25
a	0	0	10.70	6.74	4.05	3.90	2.66
	20	0	11.43	9.13	6.36	6.55	7.09
	40	0	6.16	6.10	2.17	1.07	6.04
	60	0	7.03	4.16	3.21	3.12	6.33
	90	0	7.10	5.66	-0.35	-3.46	5.57
	120	0	5.78	4.87	-1.32	-7.57	5.40
b	0	0	-7.46	-4.27	2.96	-7.35	11.67
	20	0	-10.16	-3.75	-0.46	-7.12	10.56
	40	0	-12.48	-3.46	-1.00	-8.61	11.95
	60	0	22.57	31.25	33.23	24.07	50.04
	90	0	-11.91	-2.30	-3.30	-9.09	9.95
	120	0	11.74	-1.40	3.64	-4.03	10.79
ΔE	0	0	4.70	-0.47	-2.39	-4.03	-3.68
	20	0	4.74	0.56	-1.10	-2.63	-1.76
	40	0	3.18	0	-2.04	-4.20	-1.79
	60	0	3.26	-1.07	-1.87	-3.20	-3.20
	90	0	2.98	-0.06	-3.10	-4.92	-2.12
	120	0	2.89	-0.63	-2.74	-6.37	-2.18
Treatment after 40 days of storage							
L	40	0	-3.01	2.04	-4.91	-	2.65
	60	0	-8.46	-1.33	-9.34	-	-2.92
	90	0	-3.30	2.88	-6.22	-	2.62
	120	0	-1.98	-1.77	-2.84	-	4.66
a	40	0	1.59	-2.87	6.06	-	1.65
	60	0	4.17	-5.20	8.58	-	3.38
	90	0	-0.43	-7.15	6.99	-	-2.72
	120	0	-3.75	-19.97	1.49	-	-8.24
b	40	0	5.41	9.17	-4.41	-	7.76
	60	0	0.86	7.72	-9.33	-	1.61
	90	0	0.64	8.36	7.93	-	4.18
	120	0	2.89	7.46	-5.67	-	8.33
ΔE	40	0	3.26	-1.51	5.06	-	-0.74
	60	0	9.84	1.77	10.89	-	4.91
	90	0	2.54	-3.28	5.82	-	-2.38
	120	0	0.82	-1.92	2.04	-	-4.91

¹⁾Hunter color values of the control were set 0 and the differences between control and treatment groups were reported.

²⁾MeBr was treated 26 g/kg in 0.9×1.4×0.2 m³ at 21°C for 4 hr.

kGy에서도 대조구와 마찬가지로 조사직후에 0.58이었던 것이 60일 경과 시 감소하였다가 저장 120일 쯤에는 0.60으로 경도가 다시 증가하여 조사직후 보다 높은 경도를 나타내었다. MeBr 훈증처리구는 1 kGy 조사구와 유사한 경향으로 처리직후 0.56, 120일에 각각 0.61과 0.62를 나타내었다. 그러

나 2 kGy 조사구의 경도는 저장기간의 경과로 각각 0.5~0.60 범위에서 꾸준히 증가하는 현상을 나타내었다.

색도변화

감마선과 MeBr 처리 사과의 과피색도 변화를 측정한 결

Table 2. Comparative effects of gamma irradiation and MeBr fumigation on Hunter color values of apple flesh¹⁾

Hunter parameter	Storage period (day)	Irradiation dose (kGy)					MeBr
		0	0.5	1	2	3	
Treatment after harvest							
L	0	0	1.05	1.16	0.36	1.57	2.26
	20	0	1.24	-0.59	1.41	-0.42	0.77
	40	0	0.66	-1.10	0.81	0.36	0.53
	60	0	-0.68	-2.98	-1.67	-2.90	-1.62
	90	0	-6.61	-4.40	-4.08	-3.41	-0.57
	120	0	8.18	7.62	8.89	5.26	9.39
a	0	0	-0.43	-0.43	-4.78	1.96	4.78
	20	0	0.71	-1.91	-2.63	-14.11	3.83
	40	0	-4.11	-29.43	-11.47	-17.53	-12.12
	60	0	-8.05	-28.63	-20.13	-15.21	-2.23
	90	0	-30.13	-53.27	-41.92	-31.65	-11.79
	120	0	-16.10	-35.57	-23.71	-55.70	-6.93
b	0	0	-5.25	11.93	-5.96	-2.13	-1.04
	20	0	-1.23	-0.61	5.96	-5.40	0.56
	40	0	-7.61	-2.46	-4.02	-7.77	-9.28
	60	0	-5.81	-10.96	-7.04	2.39	-9.48
	90	0	0	-3.28	-0.51	7.60	-3.59
	120	0	-0.27	0.11	8.30	11.31	-2.83
ΔE	0	0	-4.49	-7.43	-3.34	-4.27	-5.01
	20	0	-3.50	0.93	-0.62	-1.63	-1.44
	40	0	0	7.05	1.39	0.59	-0.43
	60	0	-1.39	4.78	0	-0.44	-0.77
	90	0	4.98	7.38	8.06	9.96	-0.60
	120	0	3.43	4.47	5.47	13.70	0.26
Treatment after 40 days of storage							
L	40	0	-0.03	0.03	0.21	-	0.54
	60	0	1.39	2.34	2.64	-	2.29
	90	0	-0.35	-0.48	0.08	-	0.45
	120	0	0.13	1.48	0.55	-	0.45
a	40	0	-7.38	-9.84	-16.10	-	-8.05
	60	0	-11.40	-15.53	-17.71	-	-1.94
	90	0	-5.02	-10.73	-7.07	-	2.05
	120	0	-10.81	-16.33	-23.84	-	-15.67
b	40	0	-0.49	1.88	-3.43	-	-3.21
	60	0	-8.27	-9.25	-2.50	-	-2.28
	90	0	-1.79	0.73	-3.14	-	1.07
	120	0	2.29	-0.05	4.64	-	-5.59
ΔE	40	0	-0.31	0.31	-2.11	-	-2.57
	60	0	-5.35	-7.77	-5.72	-	-4.65
	90	0	-0.07	1.13	-1.66	-	2.91
	120	0	0.26	-3.73	0.07	-	-3.55

¹⁾Hunter color values of the control were set 0 and the differences between control and treatment groups were reported.

과는 Table 1에 나타내었다. 1차처리 시료는 감마선 조사선량의 증가와 훈증처리에 의해 처리직후 0.5 kGy 조사구를 제외한 시료의 명도(L)가 증가하였다($p < 0.05$). 저장 중 명도는 큰 변화가 없었으나 3 kGy 조사구와 MeBr 처리구는 높은 명도 값을 유지하였다. 시료 과피의 적색도(a)는 처리구 간에

유의적인 차이를 보이지 않았으며, 2 kGy 이상 조사구는 저장 90일 이후에는 감소하였다($p < 0.05$). 과피의 황색도(b)는 처리 직후 3 kGy 조사구에서는 감소되었고, 훈증 처리구는 증가하였다($p < 0.05$). 모든 처리구에서 시료의 황색도는 유의적인 변화를 보이지 않았다. 표준백판을 기준으로 전반적 색차

요 약

(ΔE)를 측정된 결과, 고선량 조사구와 MeBr 처리구는 대조구와 유의적인 차이를 나타내었다. 특히 3 kGy 조사구와 MeBr 처리구의 경우 육안적인 식별도 가능할 정도로 과피가 변색되었으며, MeBr 처리구의 갈변이 가장 심하게 나타났다. 이 같은 결과는 고선량의 방사선조사와 훈증처리는 식품의 색상에 유의적인 영향을 미치게 된다는 보고^(23,24)를 재확인하였다. 한편 2차 시료의 과피색도는 3 kGy 조사구에서만 명도값의 유의적인 감소현상이 관찰되었고($p < 0.05$), 훈증처리구는 저장 120일 이후에도 타 시료에 비해 높은 명도를 보였다. 시료의 적색도는 처리직후 2 kGy 조사구에서 증가되었고, 저장 중에는 전반적으로 감소하는 경향으로써 1 kGy 조사구와 MeBr 처리구의 변화가 다소 크게 관찰되었다. 시료의 황색도는 처리직후 및 저장중에 처리구간에 변화가 거의 없이 비교적 안정된 값을 유지하였다. 이상의 결과에서 시료의 전반적 색차는 처리구 간에 유의적인 변화를 보이지 않았으므로, 1차 시료에 비해 2차 시료의 과피 색도가 방사선 조사 및 MeBr 처리에 보다 더 안정한 것을 알 수 있었다.

감마선과 MeBr 처리 사과와 과육색도 변화를 측정된 결과는 Table 2에 나타내었다. 1차 시료의 내부 과육의 색도 변화는 명도가 모든 처리직후 3 kGy 조사구와 훈증처리구에서 다소 증가하였으나 통계적인 유의성은 없었다. 저장 중에는 60~90일 이후부터 명도의 감소현상이 관찰되었고, 대조구와 1 kGy 이상 조사구에서 상대적으로 감소가 크게 나타났다. 시료의 적색도와 황색도는 처리직후에는 처리구간에 차이가 거의 없었으나 저장기간이 경과할수록 1 kGy 이상 조사구에서 황색도의 증가와 적색도 값의 변화가 크게 나타났다. 이는 고선량의 방사선 조사에 의해 과육의 내부갈변이 부분적으로 일어났음을 시사하고 있다. 그리고 2차 시료의 과육색도는 모든 처리구에서 동일하게 저장일수가 증가할수록 명도가 증가함을 알 수 있었다. 적색도 값에서는 1 kGy 이상 조사구에서 감소가 확인되었고, 황색도는 처리구간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 따라서 과육의 부분적 내부갈변이 일어났음을 알 수 있었다. 전반적 색도는 각 처리구마다 각기 다른 양상을 나타내었는데 대조구에서는 90일까지 감소하다가 다시 120일이 경과하였을 때에는 증가하였고, 0.5 kGy와 2 kGy 조사구는 60일이 경과하면서 계속 증가하였으나, 1 kGy 조사구는 저장기간에 따라 감소하였다. 이상의 결과에서 시료의 전반적 색차는 처리구 간에 유의적인 변화를 보이지 않았으나, 1차 시료에 비해 2차 시료의 과육 색도가 방사선 조사 및 MeBr 처리에 보다 더 안정한 것으로 나타났다. 이는 수확 후 과실을 $-1\sim 0^{\circ}\text{C}$ 범위의 저온에 약 30일 이상 보관한 경우 MeBr 훈증에 대한 감수성이 낮아진다는 보고⁽²⁾를 뒷받침하였다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 사과 과실에 대한 MeBr 훈증은 검역대상 해충을 사멸시키는 효과는 우수하였으나 과실의 부패현상을 일으켰다. 감마선 처리는 조사선량에 비례하여 살충효과는 증가되었지만 과실의 부패, 위축, 경도 및 색도등의 물리적 품질 저하를 촉진시키는 것으로 확인되었다. 그러나 감마선 조사는 사과 과실 해충에 대하여 살충 효과는 나타내면서 지효성이 있지만, 0.5~1 kGy로 조사된 과실에서 품질저하가 가장 작게 나타나 사과 과실의 검역해충 방제에 대한 연구가능성이 있는 것으로 판단되었다.

사과의 검역해충과 품질에 대한 감마선 조사와 methyl bromide(MeBr) 훈증 처리의 효과를 비교하기 위하여, 후지 품종을 대상으로 검역대상 해충을 동정하고, 수확후의 시료(1차 시료)와 수확 후 40일간 저온($0\pm 1^{\circ}\text{C}$, $85\pm 2\%$ RH)에서 저장된 시료(2차 시료)로 구분하여 감마선 조사(0, 0.5, 1, 2, 3 kGy)와 MeBr 훈증 처리를 행한 다음 0°C 에서 저장하면서 해충의 방제효과와 사과의 물리적 품질 특성을 조사하였다. 본 사과 시료에서는 검역대상 해충인 점박이용애(*Tetranychus urticae* Koch)와 사과응애(*Panonychus ulmi* Koch)가 동정되었다. 이상의 해충에 대하여 감마선 조사는 선량에 비례하여 지효성의 살충효과를 보였으나 비교적 높은 선량이 요구되었으며, MeBr 훈증은 처리 직후부터 완전 방제효과를 나타내었다. 살충처리 사과의 물리적 품질인자로서 부패, 위축, 중량, 경도 및 색도 변화는 2 kGy 이상의 감마선 조사구와 훈증 처리구에서 유의적으로 나타났다. 검역 처리 시기는 수확 직후(1차 시료)보다는 저온 저장 후(2차 시료) 처리하는 것이 품질유지에 효과적이었다. 훈증처리에 비해 1 kGy 이하의 저선량의 감마선 조사는 사과의 물리적 품질에 미치는 영향이 미약하여 검역처리 방안으로써 이용가능성이 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Kwon, J.H., Chung, H.W. and Kwon, Y.J. Infrastructure of quarantine procedures for promoting the trade of irradiated foods. pp. 209-254. 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, Korea (2000)
2. Drake, S.R., Moffitt, H.R. and Mattheis, J.P. Methyl bromide, time and temperature of exposure on apple quality. *J. Food Proc. Preserv.* 14: 85-92 (1989)
3. UNEP. Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. Report of the methyl bromide technical options committee. p. 294 (1995)
4. Gould, W.P. and Sharp, J.L. Cold-storage quarantine treatment for carambolas infested with the caribbean fruit fly(Dipera: Tephritidae). *J. Econ. Entomol.* 83: 458-460 (1990)
5. Seo, S.T., Akamine, E.K., Goo, T.T.S., Harris, E.J. and Lee, C.Y.L. Oriental and mediterranean fruit flies: fumigation of papaya, avocado, tomato, bell pepper, eggplant, and banana with phosphine. *J. Econ. Entomol.* 72: 354-359 (1979)
6. Hatton, T.T., Cubbedge, R.H., Windeguth, D.L. and Spalding, D.H. Phosphine as a fumigant for grapefruit infested by caribbean fruit fly larvae. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 95: 221-224 (1982)
7. Couey, M. Heat treatment for control of postharvest diseases and insect pests of fruits. *HortScience* 24: 198-202 (1989)
8. Smith, K.J. and Lay-Yee, M. Response of 'Royal Gala' apples to hot water treatment for insect control. *Postharvest Biol. Technol.* 19: 111-122 (2000)
9. Benshoter, C.A. 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 (2000)
10. Delate, K.M., Brecht, J.K. and Coffelt, J.A. Controlled atmosphere treatment for control of sweet potato weevil (Coleoptera: Curculionidae) in stored tropical sweet potatoes. *J. Econ. Entomol.* 83: 461-465 (1990)
 11. Sommer, N.F. and Mitchell, F.G. Gamma irradiation-a quarantine treatment for fresh fruits and vegetables. *HortScience* 21: 356-360 (1986)
 12. Ignatowicz, S. and Brzostek, G. Use of irradiation as a quarantine treatment for agricultural products infested by mites and insects. *Radiat. Phys. Chem.* 35: 263-267 (1990)
 13. Kwon, J.H., Kim, S.J., Chung, H.W., Kwon, Y.J. and Byun, M.W. Comparative effects of gamma irradiation and methyl bromide fumigation on disinfestation and physicochemical quality of acorn. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* 5: 199-206 (1998)
 14. IAEA. 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 (1999)
 15. Park, N.P., Choi, E.H., Lee, O.H. and Kim, Y.M. 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 (1970)
 16. Kader, A.A. Potential applications of ionizing radiation in post-harvest handling of fresh fruits and vegetables. *Food Technol.* 40: 117-121 (1986)
 17. ESKKSAE. Check List of Insects from Korea, p. 744. The Entomological Society of Korea and Korean Society of Applied Entomology, Kon-Kuk Univ. Press, Seoul, Korea (1994)
 18. NPQS. Summary of Plant Quarantine Systems in Different Countries. p. 157. National Plant Quarantine Service Report 92-2-41, Anyang, Korea (1992)
 19. Kwon, J.H., Kang, H.J., Jo, D.J., Chung, H.S., Kwon, Y.J., Byun, M.W., Choi, S.J. and Choi, J.U. Effects of gamma radiation and methyl bromide fumigation on quarantine pest and quality of asian pears. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 31: 57-63 (2002)
 20. Kwon, J.H., Kim, S.J., Chung, H.W., Kwon, Y.J. and Byun, M.W. Comparative effect of gamma irradiation and methyl bromide fumigation on disinfestation and physicochemical quality of acorn. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* 5: 199-206 (1998)
 21. Cho, H.O., Byun, M.W., Kwon, J.H. and Lee, J.W. Preservation of washed fresh ginsengs by gamma irradiation. *J. Korean Agric. Chem. Soc.* 29: 288-193 (1986)
 22. Josephson, E.S. and Peterson, M.S. Preservation of Food by Ionizing Radiation, Vol.-III, CRC Press Inc., Boca Raton, FL, USA (1983)
 23. Kwon, J.H., Byun, M.W. and Cho, H.O. Browning and color characteristics in mushrooms as influenced by ionizing energy. *Korean J. Food Sci. Technol.* 22: 509-513 (1990)
 24. Vajdi, M. and Pereira, R.R. Comparative effects of ethylene oxide, γ -irradiation and microwave treatments on selected spices. *J. Food Sci.* 38: 893-897 (1973)

(2003년 6월 19일 접수; 2003년 7월 25일 채택)