

저선량 전자선 조사된 국내산 참다래의 이화학적 품질변화

김경희¹ · 권종숙¹ · 이정옥¹ · 이병철² · 박성희² · 육홍선^{1*}

¹충남대학교 식품영양학과

²한국원자력연구원 양자광학기술개발센터

Physicochemical Changes of Electron Beam-Irradiated Korean Kiwifruits at Low Dose Levels

Kyoung-Hee Kim¹, Jong-Sook Kwon¹, Jeong-Ok Lee¹, Byung-Cheol Lee²,
Seong-Hee Park² and Hong-Sun Yook^{1*}

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

²Quantum Optics Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea

Abstract

Changes in physicochemical quality and antioxidant activity of kiwifruits by the low dose electron beam irradiated (0, 0.3, 0.6 kGy) were investigated. Fruits were stored at 20°C for 28 days and evaluated after 0, 1, 2, 3, and 4 week storage. Irradiation did not affect 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activities, and pH. Vitamin C contents of irradiated fruits were higher than non-irradiated fruits. Irradiation caused no significant change in total sugar contents and reducing sugar contents. Soluble solid contents in irradiated fruits were higher than non-irradiated fruits for the initial storage period but showed lower increment rate during the storage period. Organic acid contents of irradiated fruit did not show significant effect for the initial and during the storage periods, rate of decline in organic acid content of irradiated fruit were not significantly changed. Results indicated that electron beam irradiation of kiwifruit up to 0.6 kGy is effective in was delayed ripening with no significant changes on antioxidant activity and physicochemical quality of kiwifruit.

Key words: low dose electron beam irradiation, kiwifruit, DPPH radical scavenging activities, physicochemical quality

서 론

참다래(*Actinidia chinensis*, Planch and *Actinidia deliciosa*, A. Chev.)는 온대성 낙엽과수로 1977년 뉴질랜드에서 종자를 도입하여 남해안 일대와 제주지역에서 생산되고 있다(1,2). 우리나라에서 재배되고 있는 참다래는 주로 Hayward 품종으로, 과실의 크기가 크고 저장성 및 맛과 향이 다른 품종에 비해 우수한 것이 특징이다(3,4). 참다래는 식이섬유, 비타민 C 함량이 높고 칼슘, 마그네슘, 인 등의 무기질 함량도 풍부하여 영양학적으로 우수하며, 단백질 분해효소가 존재하여 육류의 연육효과를 나타낸다(5,6). 한편, 참다래는 수확 후 후숙을 시켜 먹는 climacteric 과실로서 대부분의 과실은 외형적인 변화에 의해 숙기를 판단할 수 있으나 참다래는 수확 당시에는 과실이 딱딱하여 먹을 수 없고 과육이 연화된 다음에 먹을 수 있는 과실이다. 참다래는 다른 과수에 비해 병해충이 적고 저장도 비교적 잘 되는 과실 중의 하나로 0°C 저장시 약 5~6개월 정도 저장이 가능

하지만 저장, 유통과정중 급격히 일어나는 연화 및 급속한 재배면적 증가로 인한 생산량의 증대로 저장기간 중의 품질 저하가 큰 문제점으로 지적되고 있다(7). 이러한 참다래의 저장력을 증진시키기 위한 국내연구로는 수확 후 칼슘의 처리(8), 저온 및 CA저장 참다래에 관한 연구(9), 참다래의 예조와 예열에 관한 연구(10), 에틸렌 처리에 관한 연구(11) 등이 있다. 한편, 식품의 방사선 조사는 가열이나 냉동과 비유되는 물리적인 처리로서 기술적 타당성이 객관적으로 인정된 식품 가공 저장기술이라 할 수 있다. 방사선 조사식품의 안전성은 국제적으로 인정되었고, 식품의 위생적 품질 향상과 검역처리가 가능한 비열처리 기술로 국내외적으로 상업화가 본격화되고 있다(12). 과일류에 대한 방사선 조사는 저장기간의 연장, 부패감소, 후숙지연, 과일수출 검역에서 해충방지 등의 목적으로 행해지고 있다. 일반적으로 식품의 살균 처리를 위해 사용되고 있는 조사 가능한 에너지의 형태는 감마선, 전자선(10 MeV 이하), 그리고 X선의 3가지가 있으며(13,14), 전자선 조사 기술은 감마선 조사에 비해

*Corresponding author. E-mail: yhsuny@cnu.ac.kr
Phone: 82-42-821-6840, Fax: 82-42-821-8887

투과력은 낮으나 높은 효율성과 대량 처리, 적은 조사비용 및 소비자 수용도가 비교적 감마선보다 높은 이점을 가지고 있다(15). 과일에 대한 조사는 보통 1 kGy보다 적은 선량으로 이루어지고 있으며 이러한 선량은 해충사멸 및 후숙이나 부패 지연 등에 적용되고 있으며 과일의 품질변화를 최소화시킬 수 있다. 신선식품의 전자선 조사의 영향에 대한 연구는 매우 적으며(16-19) 국내산 참다래의 전자선 조사의 영향에 대한 연구는 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내산 참다래에 대한 저선량의 전자선 조사가 참다래의 항산화 활성 및 이화학적 품질변화에 미치는 영향을 조사하여 전자선 조사의 참다래 저장 및 유통과정에 적용시키기 위한 자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

재료

2006년 11월 전남 광양시의 백운농원에서 재배하여 갓 수확한 100 g 내외의 참다래를 재료로 사용하였다. 참다래를 포장기(Leepack, Hanguk Electronic, Gyeonggi, Korea)를 이용하여 포장재(polyethylene bag, 2 mL O₂/m²/24 hr at 0°C; 20×30 cm; Sunkyung Co. Ltd., Korea)로 8개씩 포장하여 전자선 조사 전까지 하루 동안 실온에 보관하였다.

전자선 조사

전자선 조사는 electron-beam accelerator(model ELV-4, 2 MeV, EB-Tech)를 이용하여, 가속전류 0.5 mA, velocity 20 m/min 선량률로 총 흡수선량이 0, 0.3 및 0.6 kGy가 되도록 양면 조사하였다. 이때의 흡수선량은 cellulose triacetate (CTA) dosimeter로 확인하였다.

시료 준비

전자선 조사 후 참다래는 상온조건(20±2°C)에서 4주 동안 저장하면서 0, 1, 2, 3 및 4주차에 분석을 실시하였다. 참다래의 껍질을 벗기고 곱게 갈아서 -70°C에서 이틀 동결시키고 5일 동안 동결건조(model SFDSM12-60 Hz, Samwon Freezing Engineering Co., Korea)를 한 후 가루로 만들어 밀봉하여 냉동보관하면서 분석에 사용하였다.

당도 및 pH의 측정

참다래 과육을 분쇄기로 분쇄하여 착즙한 후 착즙액을 일정량 취해 당도는 당도계(ATAGO N-2E, Japan)로 측정하였고 pH는 일정량의 착즙액을 증류수로 5배 희석한 뒤 상온에서 pH meter(pH/ISE meter model 750P, Istech, Inc., Seoul, Korea)를 사용하여 측정하였다.

비타민 C 함량 측정

시료 5 g을 메타인산·초산용액(초산 80 mL, 메타인산 30 g을 증류수에 녹이고 1 L로 한다)에 녹여 100 mL로 정용한 후, 이를 10 mL 취해 인도페놀용액(탄산나트륨 50 mg, 인도

페놀 50 mg을 증류수에 녹인 뒤 200 mL로 정용)으로 적정하였다(20).

유기산 함량 측정

시료 1 g을 증류수에 녹여 100 mL로 정용한 뒤 이를 삼각 플라스크에 10 mL 취하고 페놀프탈레인용액 3~4 방울을 떨어뜨린 뒤 0.1 N NaOH 용액으로 분홍색이 나타날 때까지 적정한 후 구연산 농도로 환산하였다.

수소공여능 측정

시료 2 g에 10배의 50% ethanol을 가하여 실온에서 24시간 추출한 뒤 2,400 rpm에서 20분간 원심분리하여 얻은 상등액 1 mL에 0.2 mM DPPH용액(in 50% ethanol) 1 mL를 가하여 교반한 후 30분 동안 실온에서 방치한 다음 517 nm에서 spectrophotometer(Ultraspex 4,300 pro, Biochrom Ltd, Cambridge, England)로 흡광도를 측정하였다(21). 수소공여능은 다음과 같은 계산식에 의해 환산하였다.

$$\text{수소공여능(\%)} = \left(1 - \frac{\text{시료첨가구의 흡광도}}{\text{무첨가구의 흡광도}}\right) \times 100$$

총당 및 환원당 측정

총당은 시료 1 g을 증류수에 100배 희석한 후 희석액 1 mL를 취해 5% 페놀용액 1 mL, 황산 5 mL를 넣고 vortexing을 한 뒤, 실온에서 20분 정도 방치한 후 490 nm에서 흡광도를 측정하였고 이를 glucose를 표준물질로 검량선을 작성하여 시료 중 총당 함량을 구하였다.

환원당은 시료 1 g을 증류수에 100배 희석한 후 이를 1 mL 취해 DNS시약(dinitrosalicylic acid 0.5 g, NaOH 8 g, Rochell salt 150 g을 증류수에 녹여 500 mL 정용) 3 mL를 가한 후 잘 혼합하여 100°C에서 10분간 가열하고, 빙수에서 10분간 냉각한 후 550 nm 파장에서 흡광도를 측정하고 이를 glucose를 표준물질로 검량선을 작성하여 시료 중 환원당 함량을 구하였다(22).

통계 분석

모든 실험은 3회 이상 반복 실시하였으며, 얻어진 결과들은 SPSS software에서 프로그램된 general linear model procedure, least square 평균값을 Duncan의 다중 검정법으로 p<0.05 수준에서 유의차 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

가용성 고형물 함량 및 pH 변화

전자선 조사된 참다래의 가용성 고형물 및 pH 변화는 Fig. 1에 나타내었다. 참다래는 수확 후에 에틸렌 생성량의 증가, 호흡의 상승, 과육의 연화, 전분의 분해 및 당의 증가, 그리고 향기, 색소 성분의 분해와 합성, 유기산의 감소 등 다양한 생리적 현상이 진행되는 climacteric형 과실로(9) 수

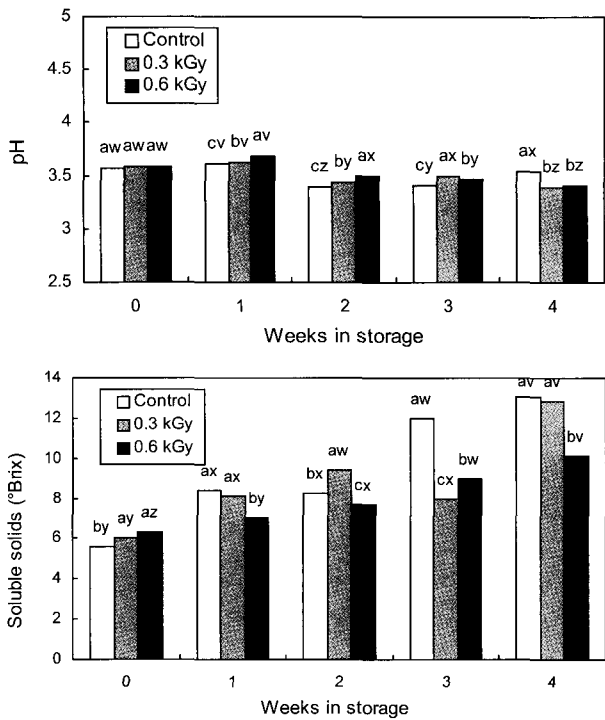


Fig. 1. Changes in soluble solids and pH of kiwifruit stored for 4 weeks under the conditions of 20°C after electron beam irradiation.

^{a-c}Means with different superscripts in the same storage period are significantly different ($p < 0.05$). ^{v-z}Means with different superscripts in the same irradiation dose are significantly different ($p < 0.05$).

확적기는 품질 및 저장성을 고려하여 과실의 당도가 6.5~7°Brix에 도달하는 시기를 기준으로 하게 되며 수확 즉시는 단단하고 시기 때문에 생과로서 먹기에는 다소 거부감이 느껴진다. 참다래의 후숙은 호흡이 상승하면서 시작되는데 이는 호흡에 따라 과실 속으로 산소가 침투되면서 참다래 내부의 전분이 당으로 변화반응을 시작하고 과육이 부드러워지게 되며 후숙이 진행됨에 따라 산은 감소하게 되고 가용성 고형물의 함량은 후숙정도와 직접적으로 비례한다(23).

저장초기 비조사구의 가용성 고형물은 5.60°Brix에 대해 조사구는 6.05(0.3 kGy) 및 6.35°Brix(0.6 kGy)로 비조사구에 비해 가용성 고형물 함량이 유의차를 나타내었는데, 이는 가용성 고형물의 함량이 조사에 의해 영향을 받은 것으로 여겨진다. 저장초기 비조사구 및 조사구 모두 가용성 고형물의 함량이 아주 낮았는데 이는 실험에 사용된 참다래가 수확에 적합한 당도보다 조기에 수확된 때문인 것으로 여겨지며, 조기 수확된 참다래의 경우 후숙이 되어도 당도가 낮고 특유의 향기도 적어 품질이 떨어지게 되는데 실제로 저장기간 동안 후숙된 참다래의 당도가 높지 않았던 것과 일치하는 결과이다. 비조사구의 경우 저장기간이 증가하는 동안 가용성 고형물의 함량 역시 증가하였으며 저장 3주째에 가용성 고형물 함량이 급격히 증가하여 저장 3주 전후로 후숙이 되

었음을 확인할 수 있었다. 조사구의 경우 0.3 kGy 조사구의 가용성 고형물 함량이 저장 3주째에 감소한 것을 제외하고 저장기간 동안 대체적으로 증가하는 경향을 나타내었으며 저장초기를 제외하고는 저장기간 동안 가용성 고형물의 함량이 비조사구에 비해 낮은 값을 나타내었다. Moreno 등(16)은 망고에 1.5 kGy의 이온화 에너지를 조사하였을 경우 pH에 영향을 미치지 않았다고 하였으며, 조사된 과일은 가용성 고형물 함량이 감소하게 되는데 이러한 결과는 조사에 의해 후숙이 지연됨을 시사하는 것이라고 하였으며 이러한 효과는 1.0 kGy의 조사선량까지는 최소한의 영향을 받을 것이라고 하였다. 본 연구 결과에서는 전자선 조사에 의해 참다래의 가용성 고형물의 함량이 조사 직후에는 비조사구보다 증가하였다가 저장기간 동안에는 가용성 고형물의 함량 증가가 서서히 이루어지는 것으로 판단할 때 후숙을 지연시키는 효과를 가져오는 것으로 여겨진다.

Fig. 1에서 보여준 바와 같이 pH는 저장초기 및 저장기간 동안 조사에 의한 유의차는 나타나지 않았으며 앞에서 언급한 바와 같이 기존의 연구보고와 본 실험결과로 볼 때 1 kGy 미만의 전자선 조사는 pH에 영향을 미치지 않는 것으로 사료되었다.

비타민 C 및 유기산 함량 변화

참다래의 저장 중에 일어나는 비타민 C와 유기산의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. Hong 등(24)은 연구에서 비타민 C의 변화가 상온은 1주 만에, 저온은 1개월 만에 그 변화가 가장 심하였으며 그 후 소폭의 증감을 보이거나 전체적으로 감소하는 경향을 나타내었으며, 참다래 생육 중 비타민 C는 oxalic acid에 의해 feed-back inhibition을 받기 때문에 거의 변화가 나타나지 않다가 성숙기에 풍부해지고 저장 중 서서히 감소하는 경향을 보인다. 그 함량은 연구보고마다 차이가 있으나 60 mg/100 g F.W. 내외로 나타났다고 하였으며 Youn과 Choi(25)는 동결 건조한 참다래의 비타민 C 함량이 247.39 mg/100 g으로 보고하였다. 마찬가지로 본 연구에서도 비타민 C의 함량이 조사구 및 비조사구 모두 저장 1주차에 가장 높은 값을 나타내었다가 저장기간이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 저장초기 비조사구의 비타민 C 함량은 약 220.00 mg/100 mL로 조사구의 248.33(0.3 kGy) 및 241.67 mg/100 mL(0.6 kGy)에 비해 낮은 값을 나타내었고 저장기간 전반에 걸쳐 조사구에 비해 비타민 C 함량이 낮은 값을 나타내었다. 특히 저장 4주째에는 비타민 C 함량이 185 mg/100 mL로 나타나 저장 3주째에 비해 유의적으로 감소하였다. 선량별로는 저장기간 전반에 걸쳐 0.3 kGy에서 비교적 높은 값의 비타민 C 함량을 나타내었으며 조사구의 경우 비타민 C의 함량이 저장초기부터 높은 값을 나타내었으며 4주 동안의 저장기간 동안 비타민 C 함량의 변화가 적었다. 일반적으로 이온화 에너지 조사에 의해 비타민 C 함량은 감소하는 것으로 알려져 있으며 실제로 Wen 등(26)

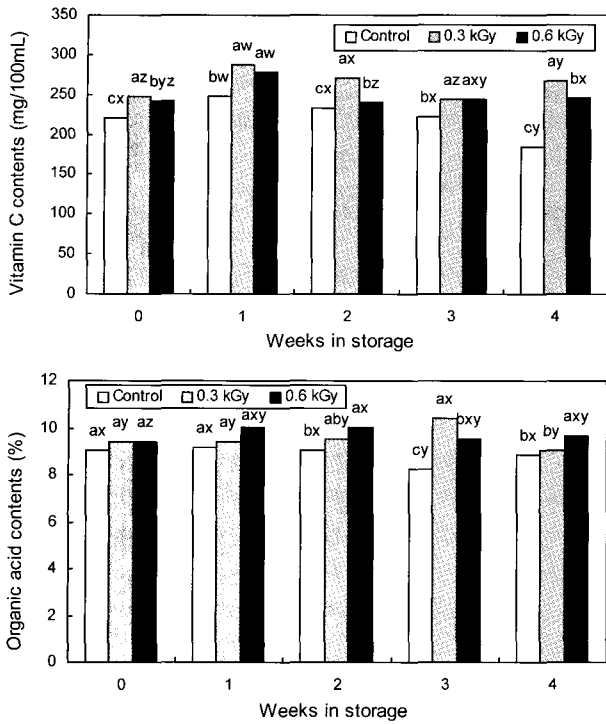


Fig. 2. Changes in vitamin C contents and organic acid contents of kiwifruit stored for 4 weeks under the conditions of 20°C after electron beam irradiation.

^{a-c}Means with different superscripts in the same storage period are significantly different ($p < 0.05$). ^{w-z}Means with different superscripts in the same irradiation dose are significantly different ($p < 0.05$).

은 구기자에 중선량 감마선 조사를 하였을 경우 비타민 C 함량이 8.35 mg/100 g에서 4 kGy 조사시 4.3 mg/100 g으로 약 50% 가량 감소하였다고 보고하였다. 1 kGy 미만으로 조사하였을 경우 비타민 C 변화에 대한 영향은 더 적으며 Ladaniya 등(27)은 만다린에 감마선 조사시 저장초기 비조사구의 24.20 mg/100 mL에 대해 21.40(0.25 kGy) 및 17.90 mg/100 mL(0.50 kGy)로 조사구에서 비타민 C 함량이 감소하였으며 저장기간 전반에 걸쳐 비조사구에 비해 낮은 함량을 나타내었다. 반면 라임의 경우는 0.25 kGy 조사구를 제외하고 조사구에서 낮은 비타민 C 함량을 나타내었으나 감소 폭이 만다린에 비해 적게 나타나, 조사에 따른 비타민 C 함량 변화는 과일이 본래 함유한 비타민 C 함량에 따라 차이를 나타내는 것으로 여겨진다. 참다래의 경우 본래 가지고 있는 비타민 C 함량이 높아 저선량의 전자선 조사시 조사에 의한 참다래의 비타민 C 함량감소가 나타나지 않은 것으로 여겨지며, 이에 대한 것은 좀 더 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참다래는 15~20°C의 온도 범위에서 에틸렌에 대한 반응이 민감하여 후숙이 진행되는데, 꼭지부분부터 물러지며 내부의 전분은 당으로의 변화반응이 시작되어 구연산 1% 전후가 되고, 과육은 녹색이 진하게 되며 과실의 유백색 부분이 연하게 되어 말랑말랑하게 먹을 수 있는 상태가 되고,

후숙이 진행됨에 따라 연화과정 중에 총산함량이 점차적으로 감소한다(9). 이 중 malic acid와 quinic acid는 생육 초기에 감소하다가 성숙기에 최고에 달한 다음 다시 감소하는 경향을 띠며(28), 저온이나 CA 저장 중에는 저장 직후 급격히 감소한 후 서서히 감소하는 경향을 나타낸다.

전자선 조사된 참다래의 저장 중 유기산 함량 변화는 저장 초기의 경우 조사에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았다 (Fig. 2). 비조사구의 경우 저장 2주까지 비슷한 값을 유지하다가 저장 3주째에 급격히 감소하였으며, 0.3 kGy 조사구의 경우 예외적으로 저장 3주째에 10.38%의 높은 함량을 나타내었고 0.3 및 0.6 kGy 조사구 모두 저장초기 및 저장기간 동안 9% 이상의 유기산 함량을 나타내었는데 참다래의 경우 후숙이 진행됨에 따라 산 함량이 감소한다는 기존의 보고와 비교할 때 참다래에 대한 전자선 조사가 후숙의 지연효과를 가져온다고 사료된다.

Miller와 McDonald(29)는 포도에 0.3 또는 0.6 kGy로 조사하였을 경우 유기산 함량에 대해 영향을 미치지 않았으며 Boylston 등(30)도 세 가지 종류의 하와이산 과일에 X-선 조사를 하였을 경우 유기산에 대한 유의적인 변화는 없었다고 하였다.

수소공여능

DPPH법에 의한 수소공여능의 측정 실험은 천연물 특히 식물체에 존재하는 성분의 라디칼 소거능을 확인하는 데 광범위하게 사용되고 있으며(31), 전자선 조사한 참다래의 수소공여능 측정 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 저장초기 비조사구의 수소공여능은 87.61%, 0.3 kGy 조사구는 86.54%, 0.6 kGy 조사구는 87.96%로 조사에 의한 유의차는 없어 전자선 조사가 참다래의 항산화능에는 영향을 미치지 않는 것으로

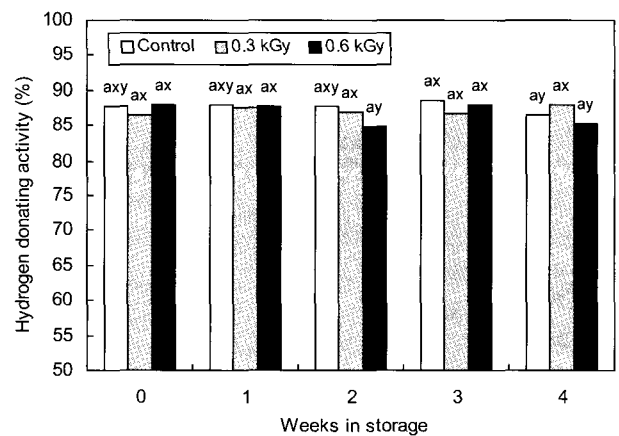


Fig. 3. Changes in hydrogen donating activity of kiwifruit stored for 4 weeks under the conditions of 20°C after electron beam irradiation.

^{a-c}Means with different superscripts in the same storage period are significantly different ($p < 0.05$). ^{x-y}Means with different superscripts in the same irradiation dose are significantly different ($p < 0.05$).

여겨진다. 또한 저장 4주째에도 비조사구 및 조사구의 수소공여능이 85.33~87.82% 사이로 저장기간 동안 수소공여능이 유의적으로 감소하지 않았다. 이러한 결과는 Son 등(32)이 녹차추출물의 수소공여능 실험에서 감마선 조사가 free radical 소거능에 유의적으로 영향을 미치지 않았다는 보고와 일치하는 결과이다.

총당 및 환원당 측정

저장기간 동안 참다래의 당 함량은 총당과 환원당 함량으로 조사하였다. Climacteric 과실인 참다래는 후숙에 따라 총당이나 환원당 함량이 증가하여 단맛이 증가하게 된다(33,34). 참다래의 총당 및 환원당 함량 변화는 Fig. 4에 나타내었다. 총당 및 환원당 함량의 경우 저장초기 및 저장기간 동안 전자선 조사에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았으며 총당 및 환원당 모두 저장기간이 증가할수록 증가하였고 특히 환원당의 경우 비조사구 및 조사구 모두 저장기간 동안 증가폭이 1.71~1.86배 정도의 큰 폭으로 증가하여 후숙에 따른 단맛의 증가를 확인할 수 있었다. Castell-Perez 등(17)은 전자선 조사된 cantaloupe(멜론의 일종)의 당 함량이 조사에 의해 유의적인 영향을 받지 않았다고 하였으며, Park과 Kim(35) 및 Na 등(36)은 후숙이 되면서 당 함량이 증가하는

경향을 보인다고 하였고, Manolopoulou와 Papadopoulou(37)는 저장기간이 길어짐에 따라 환원당이 증가하였다고 보고하여 본 연구결과와 일치하는 결과를 나타내었다.

요 약

참다래에 0.3 및 0.6 kGy의 저선량 전자선 조사를 실시한 후 20°C, 4주간 저장하면서 0, 1, 2, 3 및 4주차에 항산화 활성과 이화학적 품질변화에 미치는 영향을 조사하였다. 수소공여능, pH는 조사에 의한 변화는 없었으며, 비타민 C 함량은 조사구에서 높게 나타났다. 당 함량은 저장기간 동안 후숙이 진행되면서 증가하였으나 조사에 의한 유의차는 나타나지 않았다. 가용성 고형물 함량은 조사구에서 저장초기에 높았으나 저장기간에 따른 증가폭은 적었다. 유기산의 경우 저장초기에 조사에 의한 변화가 적으면서 조사한 참다래의 경우 저장기간 동안 유기산 함량의 감소폭이 적게 나타났다. 따라서 참다래에 대한 0.6 kGy까지의 전자선 조사는 약간의 후숙 지연 효과를 가지면서 항산화 활성 및 이화학적 품질에는 영향을 미치지 않는 것으로 사료되었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

문 헌

- Kim YS, Song GS. 2002. Characteristics of kiwifruit-added traditional Kochujang. *Korean J Food Sci Technol* 34: 1091-1097.
- Lee DH, Lee SC, Hwang YI. 2000. Processing properties of kiwifruit treated with protopectinase. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29: 401-406.
- Lee SE, Kim DM, Kim KH, Rhee C. 1989. Several physico-chemical characteristics of kiwifruit (*Actinidia chinensis* Planch) depended on cultivars and ripening stages. *Korean J Food Sci Technol* 21: 863-868.
- Park YS, Jung ST. 2002. Quality changes of fresh-cut kiwifruit slices under controlled atmosphere storage. *J Kor Soc Hort Sci* 43: 733-737.
- Kim HS, Kim BY, Kim MH. 2003. Utility of post-mature kiwi fruit powder in bakery products. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 581-585.
- Yoon S, Choi HJ, Lee JS. 1991. Modification of functional properties of casein by kiwifruit protease. *Korean J Soc Food Sci* 7: 93-101.
- Choi IW, Baek CH, Woo SM, Lee OS, Yoon KY, Jeong YJ. 2006. Establishment of optimum extraction condition for the manufacture of kiwi liqueur. *Korean J Food Preserve* 13: 369-374.
- Lee CH, Kim SB, Kang SK, Ko JH, Kim CS, Han DH. 2001. Changes in cell wall metabolism of kiwifruits during low temperatures storage by postharvest calcium application. *J Kor Soc Hort Sci* 42: 91-94.

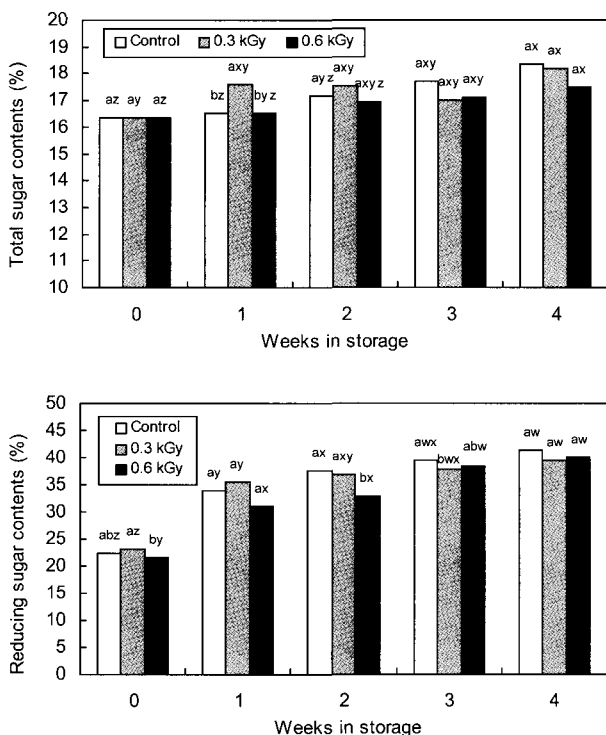


Fig. 4. Changes in total sugar contents and reducing sugar contents of kiwifruit stored for 4 weeks under the conditions of 20°C after electron beam irradiation.

^{a-c}Means with different superscripts in the same storage period are significantly different ($p < 0.05$). ^{w-z}Means with different superscripts in the same irradiation dose are significantly different ($p < 0.05$).

9. Lee CH, Kim SB, Kang SK, Park BJ, Han DH. 2001. Post-storage softening and physiological changes of 'Hayward' kiwifruit stored under low temperature and controlled atmosphere. *J Kor Soc Hort Sci* 42: 87-90.
10. Park YS. 2003. Changes in the rates of fruit softening and decay of kiwifruit influenced by prestorage conditioning and hot air treatment during storage. *J Kor Soc Hort Sci* 44: 670-674.
11. Ritenour MA, Criosto CH, Garner DT, Cheng GW, Zoffoli JP. 1999. Temperature, length of cold storage and maturity influence the ripening rate of ethylene-preconditioned kiwifruit. *Postharv Biol Technol* 15: 107-115.
12. Jo DJ, Kwon JH. 2002. Characteristics of thermoluminescence and electron spin resonance and organoleptic quality of irradiated raisin and dried banana during storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 609-614.
13. Ko JK, Ma YH, Song KB. 2005. Effect of electron beam irradiation on the microbial safety and qualities of sliced dried squid. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 433-437.
14. Jongen Y, Abs M, Genin F, Nguyen A, Capdevila JM, Defrise D. 1993. The Rhodotron, a new 10 MeV, 100 kW, cw metric wave electron accelerator. *Nuclear Instruments and Methods* 79: 865-870.
15. Cleland MR. 1983. Radiation processing: basic concepts and practical aspects. *J Industr Irrad Technol* 1: 191-218.
16. Moreno MA, Castell-Perez ME, Gomes C, Da Silva P, Moreira RG. 2006. Effects of electron beam irradiation on physical, textural, and microstructural properties of "Tommy Atkins" mangoes (*Mangifera indica* L.). *J Food Sci* 71: 80-86.
17. Castell-Perez E, Mereno M, Rodriguez O, Moreira RG. 2004. Electron beam irradiation treatment of cantaloupes: effect on product quality. *Food Sci Technol Int* 10: 383-390.
18. Han J, Gomes-Feitosa GL, Castell-Perez E, Moreira RG, Silva PF. 2004. Quality of packaged lettuce hearts exposed to low-dose electron beam irradiation. *Lebensm Wiss Technol* 37: 705-715.
19. Miller WR, McDonald RE, Smittle BJ. 1995. Quality of 'Sharpblue' blueberries after electron beam irradiation. *HortScience* 30: 306-308.
20. Jun JY, Kwak BM, Ahn JH, Kong UY. 2005. Quantifying uncertainty of vitamin C determination in infant formula by indophenol titration method. *Korean J Food Sci Technol* 37: 352-359.
21. Byun MW, Jo SK, Cho HO, Youk HS, Kim SA, Choi KJ. 1994. Application of gamma irradiation for quality improvement of red ginseng. *J Fd Hyg Safety* 9: 151-161.
22. Lee JW, Kim IW, Lee KW. 2003. Effects of pasteurization and storage temperatures on the physicochemical characteristics of kiwi juice. *Korean J Food Sci Technol* 35: 628-634.
23. Hallett I, Macrae E, Wegrzyn TF. 1992. Changes in kiwi fruit cell wall ultrastructure and cell packing during postharvest ripening. *Int J Plant Sci* 153: 49-60.
24. Hong SS, Lee CH, Kim SB. 1994. Effects of polyethylene film and low temperature on the quality of kiwifruit during storage. *J Kor Soc Hort Sci* 35: 165-171.
25. Youn KS, Choi YH. 1998. The quality characteristics of dried kiwifruit using different drying methods. *Food Engineering Progress* 2: 49-54.
26. Wen HW, Chung HP, Chou FI, Lin IH, Hsieh PC. 2006. Effect of gamma irradiation on microbial decontamination, and chemical and sensory characteristic of lycium fruit. *Radiat Phys Chem* 75: 596-603.
27. Ladaniya MS, Singh S, Wadhawan AK. 2003. Response of 'Nagpur' mandarin, 'Mosambi' sweet orange and 'Kagzi' acid lime to gamma radiation. *Radiat Phys Chem* 67: 665-675.
28. Reid MS, Hantherbell DA, Tratt HK. 1982. Seasonal patterns in chemical composition of the fruit of *Actinida chinensis*. *J Amer Soc Hort Sci* 107: 316-319.
29. Miller WR, McDonald RE. 1996. Postharvest quality of GA-treated Florida grapefruit after gamma irradiation with TBZ and storage. *Postharv Biol Technol* 7: 253-260.
30. Boylston TD, Reitmeier CA, Moy JH, Mosher GA, Taladriz L. 2002. Sensory quality and nutrient composition of three Hawaiian fruits treated by X-irradiation. *J Food Quality* 25: 419-433.
31. Kim HJ, Jo CH, Lee NY, Son JH, An BJ, Yook HS, Byun MW. 2005. Effect of gamma irradiation on physiological activity of citrus essential oil. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 797-804.
32. Son JH, Kim MK, Kim JO, Byun MW. 2001. Effect of gamma irradiation on removal of undesirable color from green tea extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 1305-1308.
33. Arpaia ML, Mitchell FG, Kader AA, Mayer G. 1986. Ethylene and temperature effects on softening and white core inclusions of kiwifruit stored in air or controlled atmospheres. *J Amer Soc Hort Sci* 111: 149-153.
34. Fuke Y, Matsuoka H. 1984. Changes in contents of pectic substances, ascorbic acid and polyphenols and activity of pectinesterase in kiwifruit during growth and ripening after harvest. *J Jap Soc Food Sci Technol* 31: 31-37.
35. Park YS, Kim BW. 1995. Changes in firmness, fruit composition, respiration and ethylene production of kiwifruit during storage. *J Kor Soc Hort Sci* 36: 67-73.
36. Na YK, Lim KH, Lim HK, Jo HS, Kim IJ, Kim SH, Jung UC, Park YS. 1996. Investigation soluble solid of kiwifruit for determining harvest date of kiwifruit in major cultivation regions. *J Kor Soc Hort Sci* 14: 202-203.
37. Manolopoulou H, Papadopoulou P. 1998. A study of respiratory and physico chemical changes of four kiwi fruit cultivars during cool-storage. *Food Chem* 63: 529-534.

(2007년 2월 15일 접수; 2007년 2월 27일 채택)