

## Application of Electron Beam Irradiation for Insect Pest Control in Agricultural Products Quarantine [Case study: *Myzus persicae* and *Planococcus citri* (Risso)]

Gyeong-Ae Lee · Min-Goo Park · Jae-Young Cho\*

### 농산물 수출입 검역시 병해충 방제를 위한 전자선 조사기술의 응용 (사례연구: 귤가루각지벌레와 복숭아혹진딧물)

이경애 · 박민구 · 조재영\*

Received: 14 October 2013 / Accepted: 9 November 2013 / Published Online: 30 June 2014  
© The Korean Society for Applied Biological Chemistry 2014

**Abstract** The effects of electron beam irradiation on control of *Myzus persicae* and *Planococcus citri* (Risso) were evaluated with the changes of mortality, emergence rate, fecundity, and egg hatchability. As a result of this study, *M. persicae* and *P. citri* (Risso) was not directly affected by electron beam irradiation with low doses (30, 60, 90, and 120 Gy) but the irradiation had effects on inhibition of development and reproduction of the pests.

**Keywords** electron beam · insect/pest control · irradiation · *Myzus persicae* · *Planococcus citri* (Risso)

귤가루각지벌레(*Planococcus citri* (Risso), Citrus Mealybug)와 복숭아혹진딧물 (*Myzus persicae*, Green peach aphid)은 전세계적으로 농산물 수출입 검역에서 주요 우점 해충으로 발견되고 있다. 귤가루각지벌레는 장미 등의 화훼류, 콜레우스와 같은 관

엽식물, 감귤류, 온대 및 열대지역의 작물, 양치식물 그리고 치자나무 등에서 발견되고 있으며(Blumberg 등 1995, Blumberg 와 Van Driesche, 2001), 복숭아혹진딧물은 참외, 호박, 배추, 감자, 고추 그리고 토마토 등 다양한 식물을 기주로 하여 넓게 발생하고 있다(Shim 등, 1977; Kim 등 2005). 이러한 주요 농업해충의 이동과 번식은 국가간의 교역의 발달로 인해 더욱 더 활발해지고 있는 추세이며, 병해충의 피해를 막기 위해서는 재배지에서 화학적 방제뿐만 아니라, 농산물의 수출입 검역과정에서의 완벽한 방제가 무엇보다 중요하다.

식물검역과정에서 병해충을 방제하기 위해서는 포스핀(Phosphine,  $PH_3$ ), 시안화수소(Hydrogen cyanide, HCN) 및 메틸브로마이드(Methyl bromide, MB)와 같은 화학혼증제가 많이 이용되고 있다. 그러나 이같은 화학혼증제는 그 처리효과가 우수하나 피조사물에 대해서 잔류성 문제 뿐만 아니라 약해를 유발할 수도 있다(Park 등, 2011). 특히, 살균, 살충능력이 우수하여 식물검역용 혼증제로써 널리 이용되는 메틸브로마이드는 성층권의 오존 파괴를 효과적으로 빠르게 가속화시키는 심각한 오존층 파괴 물질이다. 몬트리올 의정서에서는 이러한 오존층 파괴 물질로 알려진 메틸브로마이드의 퇴출을 요구했으며 선진국에서는 2005년, 우리나라를 포함한 개발도상국에서는 2015년까지 검역처리 목적을 제외한 메틸브로마이드의 사용을 단계적으로 감축하다가 그 이후에는 전폐하도록 규정하고 있다(Fields와 White, 2002). 이에 따라 농산물의 검역처리시 메틸브로마이드 혼증을 대체할 수 있는 대체방안이 필요한 실정이며, 대체방법으로는 열처리(Monzon 등, 2006) 및 저온처리(Kang와 Park, 2002), 감마선(Kwon 등, 2002; The 등, 2012)과 전자선(Hallman, 2013; Al-Farisi 등, 2013)과 같은 이온화 방사선조사, 질소와 아르곤가스를 이용한 저농도의 산소처리 및 고농도의 이산화탄소 처리(Oh, 2011) 등의 방법이 있다.

G.-A. Lee · J.-Y. Cho  
Department of Bio-environmental Chemistry, Chonbuk National University,  
Jeonju 561-756, Republic of Korea

M.-G. Park  
Animal and Plant Quarantine Agency, Anyang 430-757, Republic of Korea

\*Corresponding author (J.-Y. Cho: soilcosmos@jbnu.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이러한 방법들 중 전자선조사는 이온화방사선을 생성시키는 비가열적 처리기술로 처리시간이 짧으며, 낮은 침투력을 가지고 있으며, 연속적인 처리가 가능하다. 또한, 감마선조사와는 달리 방사성폐기물을 생성하지 않아 환경 오염에 대한 우려가 없다 (Molins, 2001).

본 연구는 전자선 조사기술을 이용하여 시설재배지의 주요 해충인 귤가루깍지벌레와 복숭아혹진딧물의 각 발육단계별 사충율, 우화율, 산자율 및 부화율에 미치는 영향을 평가하여 실제 검역처리 현장에서 전자선의 적용가능성을 검토하기 위해 수행되었다.

본 실험에 사용된 귤가루깍지벌레와 복숭아혹진딧물은 농촌진흥청 작물보호과에서 분양받은 감수성 계통을 온도 24–6°C, 상대습도 50–60%, 광주기 16L: 8D 조건의 실내 사육실에서 각각 싹이 난 감자와 배추유묘를 기주식물로 제공하여 사육케이지(35 cm×35 cm×50 cm)에서 세대를 거듭하여 사육한 개체를 사용하였다. 귤가루깍지벌레의 경우, 산란된 후 24시간 이내의 난괴(卵塊)와 3령 약충(若蟲), 우화된 후 24시간 이내의 무시성충(無翅成蟲)을 이용하였으며, 복숭아혹진딧물은 3령 약충과 우화된 후 24시간 이내의 무시성충을 이용하였다. 전자선 조사는 대전 EB-Tech (주)내 electron-beam accelerator (Model ELV-8, 1.0–2.5 MeV, 50 mA, 100 kW)를 이용하였다. 전자선 조사에 따른 사충(死蟲) 선량을 조사하기 위해 대상 해충에 1 kGy, 3 kGy, 5 kGy 그리고 10 kGy의 전자선을 조사하였다. 실험해충의 발육 및 생식에 끼치는 영향을 조사하기 위해 30 Gy (2.5 MeV×0.1 mA×30 m/min), 60 Gy (2.5 MeV×0.2 mA×30 m/min), 90 Gy (2.5 MeV×0.3 mA×30 m/min) 및 120 Gy (2.5 MeV×0.4 mA×30 m/min)의 전자선을 조사하여 영향 정도를 평가하였다. 해충이 사충되는 조사선량을 평가하기 위해 싹이 난 감자와 배추유묘를 넣어둔 플라스틱 곤충사육용기(120 mm×80 mm)에 우화한지 24시간 이내의 귤가루깍지벌레와 복숭아혹진딧물 무시성충을 약 30–50마리씩 얇은 붓으로 옮겨 접종한 후 전자선을 조사하였으며 조사 후 48시간 이내 해충의 사충율을 조사하였다. 실험해충의 발육단계별로 미치는 전자선 조사의 영향을 평가하기 위해 플라스틱 생물검정용 페트리디쉬(5.5 cm×1 cm)에 얇게 썰은 감자(5×0.5 cm)를 놓고 귤가루깍지벌레의 난괴에서 얇고 부드러운 붓을 이용하여 알 100–50개를 접종한 후 전자선을 조사하였다. 약충과 성충도 이와 동일한 방법으로 붓을 이용하여 10마리씩 접종한 후 전자선을 조사하였다. 이때 성충의 경우 산란과 동시에 시간이 지남에 따라 몸체가 쭈그러들며 껍질만 남기고 죽게 되므로 산란에 의한 성충의 치사는 조사대상에서 제외하였다. 알의 경우 부화율, 약충의 경우 우화율과 우화성충의 산란율을 조사하였다. 그리고 귤가루깍지벌레의 성충은 난괴형태로 보통 300–600개의 알을 낳으므로 산란수의 파악이 어려워 산란율을 조사하였다. 각 실험은 3반복으로 수행하였으며, 10일간 조사하였다. 복숭아혹진딧물은 Moon 등(2010)의 방법을 이용하였으며, 생물검정용 페트리디쉬(5.5×1 cm)에 배추잎(5 cm)을 뒷면이 위로 향하도록 놓고 얇고 부드러운 붓을 이용하여 3령약충 10마리씩 접종한 후 뚜껑을 닫고 각 선량별로 전자선을 조사하였으며, 성충도 동일한 방법으로 10마리씩 접종한 후 전자선을 조사하였다. 3령약충의 경우 우화율과 우화성충의 산자수를 조사하였고, 성충의 경우 산자수를 조사하였다. 각 실험은 3반복으로 수행하였으며, 10일간 조사하였다.

귤가루깍지벌레와 복숭아혹진딧물에 대해 1, 3, 5 및 10 kGy의 선량으로 전자선을 조사한 후 48시간 이내 각 해충의 성

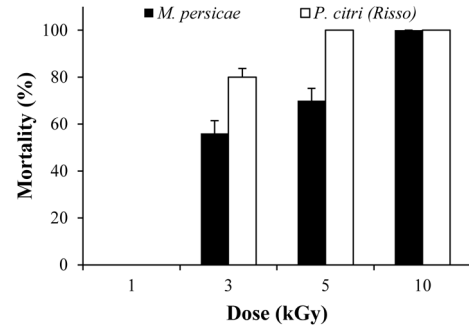


Fig. 1 Mortality of insect pest adult after electron beam irradiation with 1, 3, 5, and 10 kGy dose.

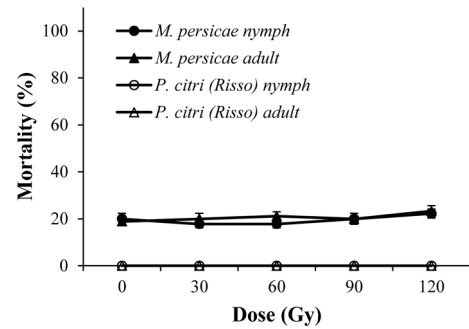
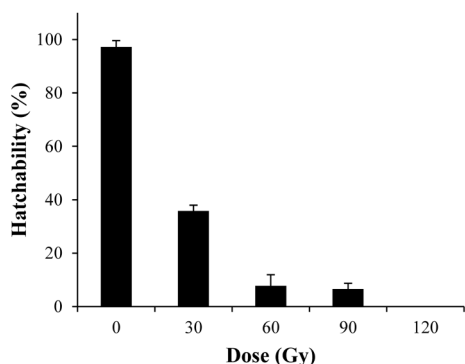
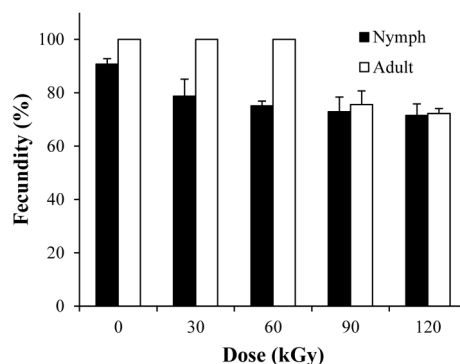


Fig. 2 Mortality of both *M. persicae* and *P. citri* (Risso) after electron beam irradiation with 30, 60, 90, and 120 Gy dose.

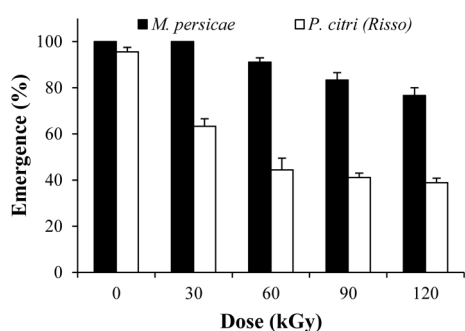
충 사충율을 조사한 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 두 실험해충 모두 1 kGy의 선량에서는 전자선 조사에 의한 영향이 나타나지 않았으며 3 kGy의 선량에서 귤가루깍지벌레의 경우 80%, 복숭아혹진딧물의 경우 56%의 사충효과를 나타내었다. 또한, 귤가루깍지벌레와 복숭아혹진딧물 모두 10 kGy 이상의 선량에서 100%의 사충율을 보였다. 실험해충의 각 발육단계에 끼치는 전자선의 영향을 알아보기 위해 귤가루깍지벌레와 복숭아혹진딧물에 30, 60, 90 및 120 Gy의 선량으로 전자선 조사 후 사충률, 우화율 및 불임에 대한 영향을 알아보았다. 실험 해충의 약충과 성충에서 전자선 조사 선량에 따른 복숭아혹진딧물의 4일 후 사충율과 및 귤가루깍지벌레의 10일 후 사충율이 관찰되지 않았으며, 모두 대조구와 비슷한 결과를 나타내었다(Fig. 2). 해충은 저 선량의 방사선치리에 의해 즉시 사멸되지 않을 수 있으며, 살아있지만 활성은 없는(non-viable) 개체를 확인 할 수도 있었다. 그러나 현재 국제적인 식물검역 기준에서는 방사선처리 시 사멸되지 않더라도 불활성화를 유도할 수 있으면 병해충 제어효과가 있는 것으로 인정하고 있다(IPPC, 2009). 또한 The 등 (2012)의 연구에서 100–250 Gy의 선량으로 감마선을 조사한 바나나가루깍지벌레의 21일 후 사충률은 29.7–41%로 나타났다. 이러한 결과로 미루어 보아 깍지벌레류에서 저 선량의 전자선 조사는 20일 정도의 시간과 더 높은 조사선량이 해충의 사충에 영향을 끼칠 것으로 판단된다. 귤가루 깍지벌레의 알에 직접 전자선을 조사하였을 때 조사선량이 증가함에 따라 부화율이 감소하였으며 특히, 120 Gy 선량에서는 100%의 부화억제율을 보였다(Fig. 3). 전자선 조사 선량에 따른 실험해충의 우화율 변화는 Fig. 4에 나타내었다. 귤가루깍지벌레, 복숭아혹진딧물은



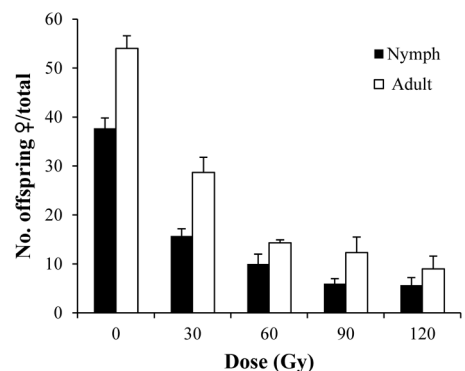
**Fig. 3** Hatchability of *P. citri* (Risso) eggs after electron beam irradiation with 30, 60, 90, and 120 Gy dose.



**Fig. 6** Fecundity of *P. citri* (Risso) after electron beam irradiation with 30, 60, 90, and 120 Gy dose.



**Fig. 4** Emergence of insect pest nymph after electron beam irradiation with 30, 60, 90, and 120 Gy dose.



**Fig. 5** Fecundity of *M. persicae* after electron beam irradiation with 30, 60, 90, and 120 Gy dose.

60 Gy 이상의 선량에서, 굴가루각지벌레는 30 Gy 이상의 선량에서, 모두 조사선량이 증가함에 따라 우화억제율이 증가하였다. 특히, 120 Gy 선량에서 대조구와 비교하였을 때 굴가루각지벌레는 56.7%, 복숭아혹진딧물은 23.3%의 우화가 억제되었다. 복숭아혹진딧물의 산자수를 조사한 결과는 Fig. 5에 나타내었다. 우화율과 마찬가지로 조사선량이 증가함에 따라 대조구와 비교하여 산자가 억제되었으며, 성충에 전자선을 조사한 후 산자수보다 약충에 전자선을 조사하여 우화한 성충의 산자수가 더 적게 관찰되었다. 이는 복숭아혹진딧물의 약충이 성충보다 전자선에 대한 감수성이 더 크기 때문인 것으로 사료된다. 굴가루각지벌레도 마찬가지로 대조구와 비교하여 성충보다는 약충에 전

자선을 조사하였을 때 불임에 대한 감수성이 크게 나타났다. 굴가루각지벌레의 성충은 60 Gy 선량까지는 산란억제를 보이지 않았으나 90 Gy부터 조사 선량이 증가함에 따라 불임률이 증가하여 120 Gy에서는 대조구 대비 27.8%의 불임률을 보였다(Fig. 6). 굴가루각지벌레의 경우 우화개체의 산란율은 조사선량간의 큰 차이를 보이지 않았으나 이미 많은 개체에서 우화가 억제되었기 때문에 전자선조사는 굴가루각지벌레의 불활력화 및 생육억제에 영향을 끼치는 것으로 보인다.

USDA (2006)는 나방류 번데기 및 성충을 제외한 모든 해충에 대해 방사선 처리기준을 400 Gy로 규정하였는데, 본 연구결과와는 이보다 낮은 저선량의 조사가 이루어졌으며 그 결과, 굴가루각지벌레와 복숭아혹진딧물에서 조사선량에 따른 생육억제 및 불임효과를 입증하였다. 그러므로, 전자선 조사 기술은 메틸브로마이드를 대체할 국내 식물검역기술로 활용 할 수 있을 것으로 기대된다.

**초 록**

국가간 농산물의 수출입 검역시 새로운 기술로 인정받고 있는 전자빔 조사시 굴가루각지벌레와 복숭아혹진딧물의 방제효과를 조사한 결과, 저선량의 전자선 조사(30, 60, 90 및 120 Gy)는 복숭아혹진딧물과 굴가루각지벌레의 직접적인 방제효과는 나타나지 않았으나, 발육 및 생식 억제에 크게 영향을 끼쳐 해충에 대한 불활성화 효과를 나타내었다. 이 같은 결과는 국가간 농산물 수출입 검역현장에서 전자선 조사기술이 메틸브로마이드와 같은 화학적 병해충 방제를 대체할 새로운 가능성을 확인해주는 결과이다.

**Keywords** 굴가루각지벌레 · 복숭아혹진딧물 · 전자선 · 조사 기술 · 해충방제

**감사의 글** 본 연구는 농림축산검역본부의 용역연구과제(과제명: 파프리카, 방울토마토 및 딸기의 소독기법개발)의 지원에 의하여 수행되었으며, 연구비 지원에 감사 드립니다.

**References**

Al-Farisi M, Abuagla A, Mohamed E, and Gohs U (2013) The effect of electron beam on dates infestation. *Food control* 33, 157–61.

- Blumberg D and Van Driesche RG (2001) Encapsulation rates of three encyrtid parasitoids by three mealybug species (Homoptera: Pseudococcidae) found commonly as pests in commercial greenhouses. *Biol Control* **22**, 191–9.
- Blumberg D, Klein M, and Mendel Z (1995) Response by encapsulation of four mealybug species (Homoptera: Pseudococcidae) to parasitization by *Anagyrus pseudococci*. *Phytoparasitica* **23**, 157–63.
- Fields PG and White NDG (2002) Alternatives to methyl bromide treatment for stored-product and quarantine insects. *Annu Rev Entomol* **47**, 331–59.
- Hallman GJ (2013) Control of stored product pests by ionizing radiation. *J Stored Prod Res* **52**, 36–41.
- IPPC (2009) Phytosanitary Treatments for Regulated Pest. International Standard Phytosanitary Measures No. 28 FAO/IPPC, Rome.
- Kang CH and Park CG (2002) Changes in pest density on sweet persimmon during low temperature storage. *J Agri Life Sci* **36**, 33–8.
- Kim JS, Kim TH, and Lee SG (2005) Bionomics of the green peach aphid (*Myzus persicae* Sulzer) adults on chinese cabbage (*Brassica campestris*). *Korean J Appl Entomol* **44**, 213–7.
- Kwon JH, Kang HJ, Jo DJ, Chung HS, Kwon YJ, Byun MW et al. (2002) 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.
- Molins RA (2001) Food irradiation chemistry. In *food irradiation principles and application*. pp. 37–75, John Wiley Sons Inc., USA.
- Monzon ME, Biasi B, Simpson TL, Johnson J, Feng X, Slaughter DC et al. (2006) Effect of radio frequency heating as a potential quarantine treatment on the quality of ‘Bing’ sweet cherry fruit and mortality of codling moth larvae. *Postharvest Bio Technol* **40**, 197–203.
- Moon SR, Son BK, Yang JO, Woo JS, Yoon CM, and Kim GH (2010) Effect of electron-beam irradiation on development and reproduction of *Bemisia tabaci*, *Myzus persicae*, *Plutella xylostella* and *Tetranychus urticae*. *Kor J Appl Entomol* **49**, 129–37.
- Oh JS (2011) Anoxia techniques to eradicate insects for conservation of cultural properties in museums. *J Conserv Sci* **27**, 231–41.
- Park MG, Sung BK, and Cho JY (2011) Residual characteristics of methyl bromide and hydrogen cyanide in banana, orange, and pineapple. *J Appl Biol Chem* **54**, 214–7.
- Shim JY, Paik WH, and Lee YB (1977) Studies on the life history of green peach aphid, *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera). *Kor J Appl Entomol* **16**, 139–44.
- The DT, Khanh NT, Lang VTK, Chung CV, An TTT, and Thi NHH (2012) Effects of gamma irradiation on different stages of mealybug *Dysmicoccus neobrevipes* (Hemiptera: Pseudococcidae). *Radiat Phys Chem* **81**, 97–100.
- USDA (2006) Treatments for Fruits and Vegetables. Animal and Plant Health Inspection Service, United States Department of Agriculture. Federal Register, USA.