

전자빔 조사가 담배가루이, 복숭아혹진딧물, 배추좀나방과 점박이응애의 발육과 생식에 미치는 영향

문상래¹ · 손봉기¹ · 양정오¹ · 우중석² · 윤창만¹ · 김길하^{1*}

¹충북대학교 농업생명환경대학 식물외학과

²친환경농업연구원

Effect of Electron-beam Irradiation on Development and Reproduction of *Bemisia tabaci*, *Myzus persicae*, *Plutella xylostella* and *Tetranychus urticae*

Sang-Rae Moon¹, Bong-Ki Son¹, Jeong-Oh Yang¹, Jong-Suk Woo², Changmann Yoon¹ and Gil-Hah Kim^{1*}

¹Dept. of Plant Medicine, Coll. of Agric. Life and Environment Sciences, Chungbuk National University, 361-763, Republic of Korea

²Environment-Friendly Agriculture Research Institute

ABSTRACT: Four major agricultural insect pests, *Bemisia tabaci*, *Myzus persicae*, *Plutella xylostella* and *Tetranychus urticae*, were irradiated with 30, 50, 70, or 100 Gy electron-beam. Longevity, egg hatching, emergence, and fecundity of the test insects were measured. Hatchability of *B. tabaci*, *P. xylostella* and *T. urticae* declined with increasing irradiation doses, and all *B. tabaci* and *T. urticae* eggs were dead at 100 Gy. When eggs of *B. tabaci*, *P. xylostella* and *T. urticae* were irradiated, hatch was inhibited. *B. tabaci* adults grown from 70 Gy irradiated eggs did not lay eggs. Fecundity of *P. xylostella* from the 100 Gy irradiated eggs decreased. When *B. tabaci*, *P. xylostella*, *M. persicae* and *T. urticae* nymphs/larvae were irradiated, the results were similar as those of the hatched eggs. When *P. xylostella* pupae were irradiated with 100 Gy, fecundity of emerged adults decreased and no eggs hatched. When *B. tabaci*, *P. xylostella*, *M. persicae* and *T. urticae* adults were irradiated with 70 and 100 Gy, fecundity decreased and egg hatch of *B. tabaci* was inhibited. However, the longevity of adults did not change and electron-beam irradiation of all developmental stages had no effect on the longevity of adults.

Key words: *Bemisia tabaci*, *Myzus persicae*, *Plutella xylostella*, *Tetranychus urticae*, Electron beam, Irradiation

초 록: 전자빔 조사(30, 50, 70, 100 Gy)가 주요 농업해충(담배가루이, 복숭아혹진딧물, 배추좀나방, 점박이응애)의 발육과 생식에 미치는 영향을 조사하였다. 담배가루이, 배추좀나방, 점박이응애 알의 부화는 조사량이 많아질수록 억제되었으며, 특히 담배가루이와 점박이응애 알은 10 0Gy 조사량에서 부화가 100%억제되었다. 그러나 약충/유충, 번데기, 담배가루이, 배추좀나방, 점박이응애의 알에 조사했을 때 부화유충의 우화억제에 영향을 미쳤다. 그리고 70 Gy 조사량에서 담배가루이 우화성충은 산란을 하지 않았고, 100 Gy 조사량에서 배추좀나방 우화성충의 산란수가 감소하였다. 담배가루이, 배추좀나방, 복숭아혹진딧물, 점박이응애 약충/유충에 조사했을 때 70과 100 Gy 조사량에서 부화유충에 미치는 영향과 비슷하였다. 배추좀나방 번데기에 조사했을 때 100 Gy에서 산란수가 감소하였고, 산란한 알이 100% 부화하지 못했다. 담배가루이, 배추좀나방, 복숭아혹진딧물, 점박이응애의 성충에 조사했을 때 70, 100 Gy에서 산란수/산란수가 감소하였으며, 산란한 알의 부화억제에도 영향을 미쳤다. 특히 담배가루이 알은 부화가 100%억제되었다. 그러나, 4종의 주요 농업해충의 모든 발육태에 조사하였을 때 성충수명에는 영향이 없었다.

검색어: 담배가루이, 복숭아혹진딧물, 배추좀나방, 점박이응애, 전자빔, 조사

주요 농업해충에 대하여 재배지에서의 방제뿐 만 아니라,

교역의 발달로 날로 확대되어가는 해충들의 이동과 번식을 막기 위하여 작물보호제를 이용한 화학적 방제를 실시하고 있다. 하지만 살충제의 독성, 잔류, 저항성 해충의 발견 및 환경오염 등의 문제가 있어 (Miller and Mcdonald, 1995;

*Corresponding author: khkim@chungbuk.ac.kr
Received May 24 2010; revised June 16 2010
accepted June 18 2010

Benhalima *et al.*, 2004; Ghanem and Shamma, 2007), 이러한 화학약제를 대체할 방제방법이 필요한 실정이다.

화학적 방제를 대체할 수 있는 여러가지 방법 중 물리적인 방법으로 저온/고온처리(Benschoter, 1984; Gould, 1988), 감마선(Hallman, 1998), 극초단파(Ikedia *et al.*, 1999), 자외선(Ghanem and Shamma, 2007), X-선(Palou *et al.*, 2007), 전자빔(Salimov *et al.*, 2000; Cleghorn *et al.*, 2002), 환경조절열처리(Son *et al.*, 2010)를 이용한 방제방법을 일선에서 이용하기도 한다.

전자빔은 전기에너지로만 발생되기 때문에 방사능 잔존에 대한 염려가 없어 안전하고, 처리시간이 짧으며, 조사선량의 조절이 용이하기 때문에 신속한 표면처리가 가능하다. 또한 유해물질이 발생되지 않는 친환경적인 기술이며(Kang *et al.*, 2003; Kwon, 2003; Park *et al.*, 2009), 적용 영역이 넓어 다양한 분야에서 활용되고 있다(Han and Kim, 2003; Kwon, 2003). 국외에서는 전자빔을 해충방제에 적용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있고 검역단계에서 사용을 권고하고 있으며(Imamura *et al.*, 2004a, 2004b; Rami Reddy *et al.*, 2006; Imamura *et al.*, 2009; Sharma and Seth, 2005; Ayvaz and Tuncbilek, 2006) 박멸보다 암컷의 불임화를 통해 번식을 하지 못하도록 유도하는데 사용하고 있지만, 아직 국내에서는 이러한 연구가 미비한 실정이다.

이에 본 연구는 전자빔을 이용하여 농업해충인 담배가루이, 배추좀나방, 복숭아혹진딧물, 점박이응애를 대상으로 알, 유충/약충, 번데기 및 성충에 조사했을 때 부화율, 우화율, 성충수명 및 산란수에 미치는 영향을 조사하여 해충방제에 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

실험곤충

실험에 사용된 점박이응애(*Tetranychus urticae*)는 1998년 한국화학연구소에서 분양 받은 감수성계통을 강낭콩을 기주식물로 제공하고, 알려진 약제의 처리없이 누대 사육한 것을 사용하였다. 담배가루이(*Bemisia tabaci*)는 2008년 충북 진천에서 채집한 담배가루이 B-biotype을 토마토를 기주식물로 하여 누대 사육한 것을 사용하였다. 배추좀나방(*Plutella xylostella*)과 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*)은 각각 1999년과 1998년에 한국화학연구원에서 분양받은 감수성계통을 배추 유묘를 먹이로 공급하여 누대 사육한 것을 사용하였다.

실험에 사용된 곤충은 온도 24-27°C, 광주기 16L : 8D, 상대습도 50-60% 조건에서 실내 사육되었고, 산란된 후 24시간이내의 알, 부화후 3일째 되는 배추좀나방 유충, 산란된 후 3-4일째 되는 복숭아혹진딧물 약충, 부화후 7일째 되는 담배가루이 약충, 부화후 1일째 되는 점박이응애 유충과 우화한지 24시간이내의 성충을 사용하였다.

전자빔 조사

전자빔 조사는 대전에 소재한 EB-Tech(주)의 high energy linear accelerator (UEL V10-10S, 10 MeV, 1 mA, 10 Kw)를 사용하였다. 조사선량에 대한 4종 해충에 미치는 영향(살충력)을 알아보기 위하여 예비조사선량을 500, 750, 1000, 1250, 1500, 2000, 2500, 3000 Gy로 조사(照射)하였으며, 주조사선량은 30 Gy (10 MeV × 0.01 mA × 7.3 m/min), 50 Gy (10 MeV × 0.02 mA × 7.3 m/min), 70 Gy (10 MeV × 0.03 mA × 7.8 m/min), 100 Gy (10 MeV × 0.05 mA × 8.47 m/min)로 정하여 조사하였다.

실험곤충에 전자빔 조사 방법

담배가루이는 파종 후 3주된 토마토 유묘가 들어있는 플라스틱 원통형 케이지(9 cm dia. × 18 cm ht.)에 성충을 20쌍씩 접종하여 24시간동안 토마토 유묘에 산란을 받은 후 성충을 제거하고 전자빔을 조사하였다. 부화 후 약 2주된 3령 약충이 있는 토마토 유묘와 성충도 같은 조건으로 전자빔을 조사하였다. 각 실험은 3반복으로 수행하였다. 발육단계별 치사효과를 알아보기 위해 알의 부화억제율, 3령 약충과 성충은 4일 후 치사여부를 조사하였다. 그리고 알에 조사한 경우, 부화유충의 우화율, 우화성충의 수명 및 산란수를 조사하였다. 3령 약충의 조사에서는 우화율과 우화성충의 수명 및 산란수 그리고 산란한 알의 부화율도 조사하였다. 성충(우화 후 1일 이내)의 조사에서는 성충의 수명과 산란수 그리고 산란한 알의 부화율을 조사하였다.

복숭아혹진딧물은 플라스틱 생물검정용 디쉬(5.5 cm dia.)에 배추 잎 디스크(5 cm dia.)를 올려 놓고 3령 약충을 10 마리씩 접종한 다음 뚜껑을 닫고 parafilm membrane (Pechiney, Chicago, IL)으로 밀봉한 다음 전자빔을 조사하였다. 성충도 같은 방법으로 접종한 후 전자빔을 조사하였다. 각 실험은 3반복으로 수행하였다. 치사되지 않은 실험곤충은 개체별로 생물검정용 디쉬에 접종하여 다음실험을 진행하였다. 발육단계별 치사효과를 알아보기 위해 3령 약충과 성충의 4일 후 치사여부를 조사하였다. 그리고 3령

약층에 조사한 경우, 우화율과 우화성층의 수명 및 산자수를 조사하였다. 성층(우화 후 1일 이내)의 조사에서는 성층의 수명 및 산자수를 조사하였다.

배추좁나방은 파종 후 2주된 배추 유묘가 들어있는 아크릴 상자(30×30×30 cm)에 성층을 10쌍씩 접종하여 24시간동안 배추 유묘에 산란을 받은 후 성층을 제거하고 전자빔을 조사하였다. 약층은 플라스틱 생물검정용 디쉬(10 cm dia.×4 cm ht.)에 3령 약층을 10마리씩 접종한 후 배추를 먹이로 넣어준 다음, 전자빔을 조사하였고 3반복으로 수행하였다. 성층은 유산지 봉투(8×10 cm)에 1쌍씩 20반복으로 접종한 후 설탕물(5%)을 탈지면에 적서 먹이로 공급한 다음, 전자빔을 조사하였다. 번데기는 플라스틱 페트리디쉬(10 cm dia., 4 cm ht.)에 암수 1쌍씩 15반복으로 접종한 후 전자빔을 조사하였고, 우화성층은 암수 한쌍씩 유산지 봉투로 옮겨주어 다음 실험을 진행하였다. 발육단계별 치사효과를 알아보기 위해 알은 부화억제율, 번데기는 우화억제율, 그리고 3령 유충과 성층(우화 5일 이내)은 4일 후 치사여부를 조사하였다. 알의 조사에서는 부화유충의 우화율과 우화성층의 수명 및 산란수를 조사하였다. 유충의 조사에서는 우화율과 우화성층의 수명 및 산란수 그리고 산란한 알의 부화율도 조사하였다. 성층(우화 1일 이내)의 조사에서는 성층의 수명과 산란수를 조사하고 산란한 알의 부화율을 조사하였다.

점박이용애는 플라스틱 생물검정용디쉬(5.5 cm dia.)에 물을 충분히 적신 탈지면을 깔고 강낭콩 잎 디스크(3 cm dia.)를 올려놓은 후 점박이용애 암컷성층을 20마리씩 접종하여 12시간동안 콩 잎 디스크에 산란을 받은 후 성층을 제거하고 전자빔을 조사하였다. 약층과 성층도 같은 방법으로 접종한 후 전자빔을 조사하였다. 각 실험은 3반복으로 수행하였다. 발육단계별 치사효과를 알아보기 위해 알의 부화억제율, 유충과 성층은 4일후 치사여부를 조사하였다. 알에 조사한 경우, 부화유충의 우화율과 우화성층의 수명 그리고 산란수를 조사하였다. 유충의 조사에서는 우화율과 우화성층의 수명, 산란수 그리고 산란한 알의 부화율도 조사하였다. 성층(우화 후 1일 이내)의 조사에서는 성층의 수명과 산란수 그리고 산란한 알의 부화율도 조사하였다. 모든 실험 조건은 온도 24-27°C, 광주기 16L: 8D, 상대습도 50-60%을 유지하였다.

통계 분석

실험결과의 분석은 Tukey's Studentized Range Test (SAS Institute, 2003)로 조사량간 차이를 비교하였다.

결과 및 고찰

농업생산성에 있어서 병해충에 의한 식량손실은 큰 비중을 차지하고 있다 (Pimentel, 1991). 주요 경제소득원으로 재배하는 많은 농작물들에는 가해하는 해충들의 수와 종류가 증가하고 있으며, 최근 들어 지구온난화에 따라 잠재해충이나 유입해충들의 돌발해충화로 인한 피해도 커져가고 있다(Moon *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2009).

이러한 주요 농업해충은 재배지에서의 방제뿐 만 아니라, 교역의 발달로 날로 확대되어가는 해충들의 이동과 번식을 막기 위하여 작물보호제를 이용한 화학적 방제를 실시하고 있다. 농가에서는 이러한 해충들을 방제하기 위해 광범위한 살충제를 살포하고 있지만 살충제에 대한 저항성으로 인해 방제가 어려워지고 환경오염에 대한 문제가 커지고 있는 실정이다. 방제의 실패로 해충의 이동이 가속화 된다면 국내 뿐 만 아니라, 농산물의 수출에도 큰 걸림돌이 될 수가 있고, 마찬가지로 수입되는 농산물에 해충을 차단하지 못하면 국내 농업생태계가 위협해 질 수 있다 (Shin *et al.*, 2001; NPQS, 2010).

농수산물이거나 저장식품의 해충방제로 방사선의 사용이 효과적인데, 사용되는 방사선에는 ⁶⁰Co같은 방사선동위원소를 이용하는 감마선, 전자가속기에서 발생하는 전자선, 그리고 X-선 등이 있다. 지금까지 과실파리, 멸구류, 나방류, 과실류, 저곡해충 등 검역에 관련된 해충에 대한 감마선의 효과가 많이 연구되어 있다. 감마선은 에너지 투과력이 크기 때문에 광범위한 적용이 가능하지만 ⁶⁰Co같은 방사선동위원소를 이용하기 때문에 소비자들이 이런 방사선 조사에 불안감을 느끼고 있다(Park *et al.*, 2006; Shim *et al.*, 2010). 그에 비하여 전자빔은 보다 안전하며 일반적으로 박멸보다 암컷의 불임화를 통해 번식을 하지 못하도록 유도하는 방법으로 사용되고 있다. 이에 본 실험에서는 전자빔을 이용하여 해충방제의 기초자료로 제공하기 위하여 담배가루이, 배추좁나방, 복숭아혹진딧물, 점박이용애를 대상으로 각 발육태에 조사하였을 때 부화율, 우화율, 성층수명 및 산란수에 미치는 영향을 조사하였다.

조사선량에 따른 해충의 살충력 비교

사육상자 내에 담배가루이 성충, 복숭아혹진딧물 약층과 성충, 그리고 점박이용애 성층을 접종하고 다양한 조사선량(3000 - 500 Gy)에 따라 조사를 한 후 48시간 후에 살충력을 조사한 결과 표 1과 같다.

Table. 1. Survey the conditions of electron beam irradiation on various species and different developmental stages

Electron beam irradiation (Grey)	Mortality (%)			
	<i>B. tabaci</i> adult	<i>M. persicae</i> nymph	<i>M. persicae</i> adult	<i>T. urticae</i> adult
3000	100	100	100	100
2500	100	100	100	100
2000	100	82.1	56.7	100
1500	56.6	44.5	16.7	0
1250	53.3	3.0	3.0	3.0
1000	36.6	0	0	3.0
750	46.6	0	0	3.0
500	2.0	0	0	3.0
Control	0	0	0	0

Sample size, n=60~90.

전자빔을 직접적으로 해충에 조사한 결과에서 담배가루이 성충과 점박이응애 성충은 2000 Gy, 복숭아혹진딧물은 2500 Gy에서 살충효과를 나타내었으나 그 이하는 효과가 현저히 낮았다. 그러나 해충을 주요기주식물인 콩이나 배추 유묘, 국화에 올려놓고 함께 조사하였을 경우 400 Gy 이상에서는 식물체에도 변색 등의 직접적인 영향을 받았으며(Data not shown), 이러한 결과로 보았을 때 400 Gy 이상의 조건에서 전자빔을 조사하는 것은 위험할 것으로 판단하여 더 낮은 조건에서 치사보다는 발육과 생식에 미치는 영향을 조사하였다.

발육단계별 조사가 치사에 미치는 영향

담배가루이, 복숭아혹진딧물, 배추좀나방, 점박이응애의 발육단계별 조사가 치사에 미치는 영향은 그림 1과 같다. 담배가루이, 배추좀나방, 점박이응애 알은 조사량이 많아질수록 부화억제율이 높아졌고, 특히 담배가루이, 점박이응애 알은 100Gy 조사량에서 100%부화가 억제되었다. 전자빔의 가속전압이 달라 직접 비교하기는 어려우나, Imamura *et al.* (2004b)은 거짓쌀도둑거저리(*Tribolium castaneum*), 화랑곡나방(*Plodia interpunctella*), 팔바구미(*Callosobruchus chinensis*) 알에 170 kV 가속전압으로 0.48 kGy이상 조사량으로 조사하면, 부화가 100%억제되었다고 하였다. Rami Reddy *et al.* (2006)의 연구에 따르면 팔바구미가 산란한 팔에 18일 경과 후까지 10 kGy-170 kV 조사량으로 조사했을 때, 16일까지 우화가 80% 이상 억제되었다고 하였고, 산란을 받고 18일이 지난 팔을 10 kGy-170, 200 kV, 20 kGy-170, 200 kV로 조사량과 가속전압을 달리하여 조사하면, 조사량이 높을 때 우화성충의 개체수가 적었다고 하였으

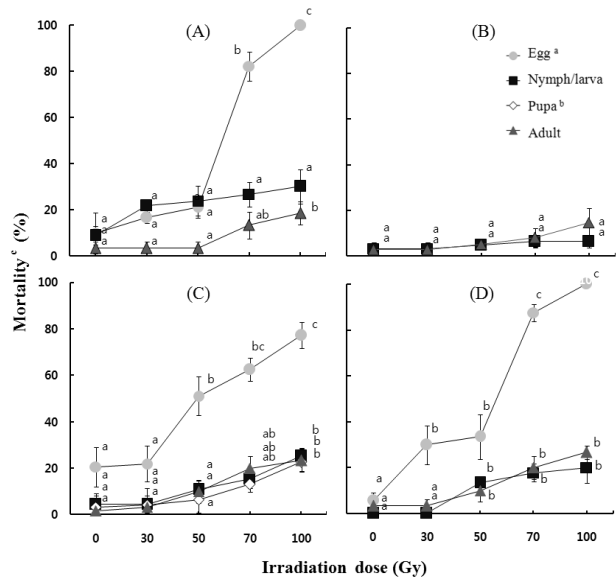


Fig. 1. Effect of electron beam irradiation on developmental stages of (A) *B. tabaci*, (B) *M. persicae*, (C) *P. xylostella*, and (D) *T. urticae*.

Sample size, egg n=45~138, nymph/larva n=20~65, pupa n=30, adult n=30~40

^a Inhibition rate of egg hatching

^b Inhibition rate of emergence

^c The mortality of nymph/larva and adult was investigated after 4 days.

Means followed by same letter are not significantly different at *P*=0.05 by Tukey's Studentized Range Test (SAS Institute, 2003).

며, 우화성충의 수명과 산란에 영향을 미쳤다고 하였다. 그리고 같은 조사량일지라도 가속전압에 따라 효과의 차이가 나타난다고 보고하였다. Imamura *et al.* (2009)은 어리쌀바구미(*sitophilus zeamais*)가 산란한 곡물을 시간 경과에 따라 저에너지 전자빔(soft electron)을 15 kGy-170 kV 조사

량으로 조사하면 30일차까지 우화하는 성충수가 매우 적었다고 하였다. 또한 감마선을 이용한 연구결과와 비교해보면, Aldryhim and Adam (1998)은 감마선 1000 Gy 조사량에서 머리대장가는납작벌레 알의 부화가 100% 억제되었고, 그리고 Aye *et al.* (2008)은 감마선을 500 Gy이상 조사량에서 화랑곡나방 알의 부화가 억제된다고 하였다. 하지만 Aldryhim and Adam (1999)은 30 Gy이상의 조사에서 그라 나리아바구미(*Sitophilus granarius*) 알의 부화가 억제되었다고 하여 중간 감수성 차이가 있음을 알 수 있다. 본 실험에서 3종 해충의 알은 저에너지 전자빔(soft electron)과 감마선 연구결과와 비교하여 낮은 조사량에서 부화가 억제되었다. 곤충의 종에 따라 방사선의 종류와 조사량에 따른 감수성이 차이가 나는 것으로 보인다. 알에 대한 조사 효과는 분명하나 약충/유충과 성충에는 치사효과가 거의 없었다. Kwon *et al.* (2002)은 감마선을 3000 Gy 조사량으로 조사했을 때 점박이용애와 사과용애 성충이 100% 치사되었고, Lester *et al.* (2000)은 하늘소과 *Prionoplus reticularis* 유충을 치사하기 위한 조사량은 2272~3677 Gy정도라고 하였다. 전반적으로 곤충에 직접적인 치사효과를 나타내는 높은 조사량은 농산물에 영향을 미칠 가능성이 있기 때문에 보다 안전한 접근방식이 필요하다(Kader, 1986). 따라서 본 연구는 전자빔을 조사한 영기에서 부화율과 우화율의 감소와 암컷 성충의 불임화에 초점을 맞추어 진행하였다.

알에 조사했을 때 우화율과 성충의 수명 및 산란수에 미치는 영향

담배가루이, 배추좀나방, 점박이용애 알에 전자빔을 조사했을 때 우화율과 성충수명 및 산란수에 대한 영향은 표 2와 같다. 조사량이 많아질수록 부화유충의 우화율이 크게 억제되었으며, 특히 담배가루와 점박이용애는 70 Gy 조사량에서 배추좀나방은 100 Gy 조사량에서 우화율과 산란수가 크게 억제되었다. Ayvaz *et al.* (2006)의 연구결과에 의하면 감마선 200 Gy이상 조사량에서 밀얼룩명나방(*Ephestica kuehniella*) 알의 부화유충은 우화가 억제되었고, 조사량이 많아질수록 우화성충의 산란수가 감소하였다. 또한 우화성충이 산란한 알은 150 Gy 이상 조사량에서 부화가 100% 억제되었다. 본 실험결과에서도 담배가루이, 배추좀나방, 점박이용애의 알에 전자빔 조사가 우화성충에 불임을 일으키는 것으로 나타났다.

약충/유충 및 번데기에 조사했을 때 우화율, 성충의 수명과 산란/산자수 및 산란한 알의 부화에 미치는 영향

담배가루이, 복숭아혹진딧물, 배추좀나방, 점박이용애 약충/유충에 대한 전자빔의 조사효과는 Table 3과 같다. 이들 해충은 조사량이 많아질수록 우화율이 억제되었고, 70, 100Gy 조사량에서 우화성충의 산란/산자수가 감소하였

Table 2. Effect of electron beam on emergence, longevity and fecundity of adult from irradiated *B. tabaci*, *P. xylostella* and *T. urticae* eggs

Insect	Dose (Gy)	n	Emergence (%)	n	Longevity (day)	No. eggs / ♀/total
<i>Bemisia tabaci</i>	70	66	10.1 ± 7.5 a ^a	7	9.7 ± 3.3 a	0.0 ± 0.0 a
	50	45	54.5 ± 4.1 b	25	10.3 ± 4.0 a	43.9 ± 5.2 b
	30	83	65.7 ± 6.3 bc	55	10.7 ± 4.6 a	45.7 ± 11.8 b
	0	78	70.7 ± 7.0 c	55	11.0 ± 4.3 a	54.3 ± 9.2 b
	100	62	8.1 ± 2.7 a	5	7.8 ± 2.6 a	7.5 ± 1.6 a
<i>Plutella xylostella</i>	70	109	20.1 ± 4.5 ab	22	8.7 ± 2.6 a	54.2 ± 4.4 b
	50	105	27.7 ± 4.4 b	29	8.7 ± 3.0 a	58.3 ± 6.9 b
	30	71	54.6 ± 4.2 c	39	8.5 ± 3.5 a	58.9 ± 7.9 b
	0	138	60.4 ± 6.3 c	83	8.7 ± 3.2 a	67.3 ± 8.4 b
<i>Tetranychus urticae</i>	70	97	8.0 ± 2.3 a	8	7.8 ± 2.6 a	25.4 ± 10.3 a
	50	63	46.2 ± 7.4 b	29	7.1 ± 3.9 a	24.9 ± 3.5 b
	30	88	43.9 ± 9.5 b	39	7.7 ± 3.8 a	36.6 ± 1.9 ab
	0	66	86.2 ± 10.0 c	57	7.3 ± 3.3 a	50.4 ± 4.4 b

^a Means followed by same letter in a column are not significantly different at P=0.05 by Tukey's Studentized Range Test (SAS Institute, 2003).

Table 4. Effect of electron beam on longevity, fecundity and hatchability from irradiated *P. xylostella* pupae

Dose (Gy)	n	Longevity / ♀/day	No. eggs / ♀ /day	No. eggs / ♀ /total	Hatchability ^a (%)
100	29	7.8 ± 2.0 ^a	2.1 ± 1.0 ^a	16.4 ± 7.6 ^a	0.0 ± 0.0 ^a
70	28	7.6 ± 2.0 ^a	5.6 ± 1.0 ^b	42.7 ± 7.4 ^b	62.9 ± 4.6 ^b
50	28	8.3 ± 2.3 ^a	6.0 ± 1.0 ^b	49.5 ± 7.9 ^b	62.5 ± 5.8 ^b
30	26	8.4 ± 1.7 ^a	6.5 ± 0.4 ^b	54.6 ± 3.1 ^b	70.7 ± 6.5 ^b
0	30	8.6 ± 2.1 ^a	8.3 ± 0.6 ^c	71.2 ± 5.5 ^c	92.4 ± 7.2 ^c

^a Hatching rate of eggs laid from emerged adult

^b Means followed by same letter in a column are not significantly different at $P=0.05$ by Tukey's Studentized Range Test (SAS Institute, 2003).

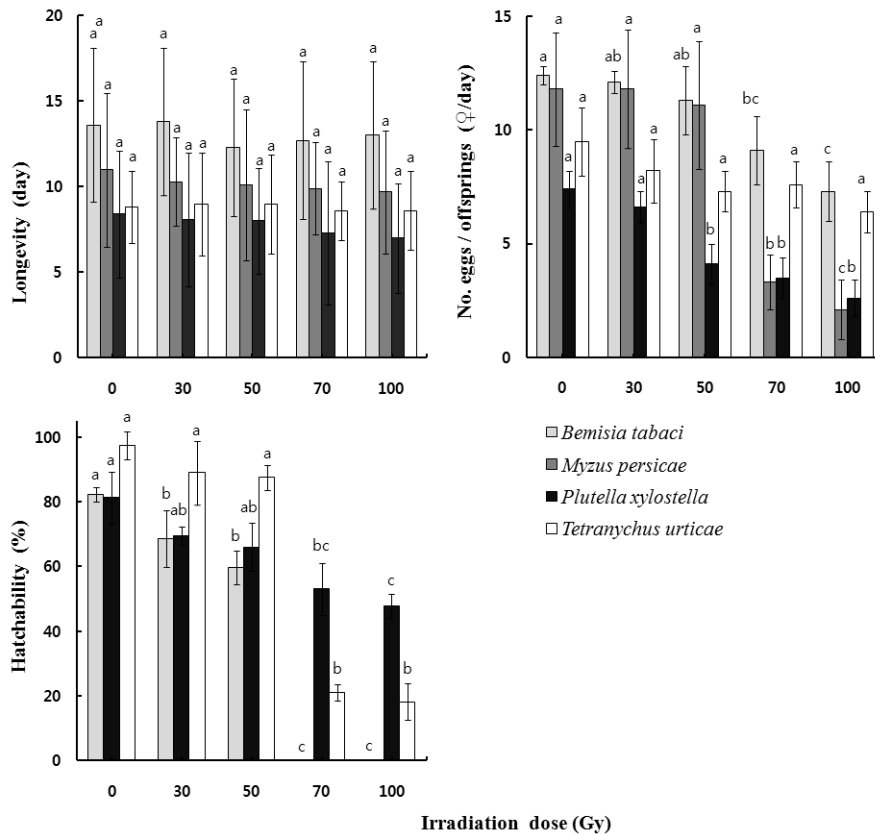


Fig. 2. Effect of electron beam on longevity, fecundity and hatchability from irradiated *B. tabaci*, *P. xylostella*, *M. persicae* and *T. urticae* adults.

Sample size, n=30~40.

^a The same letter over the bar are not significantly different at $P=0.05$ by Tukey's Studentized Range Test (SAS Institute, 2003). The data was analyzed following each irradiation dose.

으며, 특히 복숭아혹진딧물 우화성충의 산자가 100% 억제 되었다. 담배가루이, 배추좀나방, 점박이응애 우화성충이 산란한 알은 조사량이 많아질수록 부화율이 억제되었고, 특히 70, 100 Gy 조사량에서 담배가루이 우화성충이 산란한 알의 부화가 100% 억제되었다. 하지만 성충 수명에는 영향

을 미치지 않았다. Imamura *et al.* (2004b)은 거짓쌀도둑거 저리, 화랑곡나방, 팔바구미유충과 번데기에 저에너지 전자 빔(soft electron) 0.48 kGy-170 kV 이상 조사량으로 조사를 하면, 우화율이 감소하고, 특히 거짓쌀도둑거저리와 화랑곡나방 유충과 번데기는 100%우화가 억제되었다고 하였

Table 3. Effect of electron beam on pupation, emergence, longevity, fecundity and hatchability from irradiated *B. tabaci*, *P. xylostella*, *M. persicae* and *T. urticae* nymph/larvae

Insect	Dose (Gy)	n	Pupation (%)	Emergence (%)	n	Longevity (day)	No, eggs(offspring)/♀/total	Hatchability (%)
<i>Bemisia tabaci</i>	100	45	-	13.6 ± 4.3a ^b	6	9.6 ± 4.2a	11.5 ± 5.4a	0.0 ± 0.0a
	70	45	-	30.8 ± 9.9ab	14	9.0 ± 4.5a	12.6 ± 2.5a	0.0 ± 0.0a
	50	45	-	44.5 ± 4.4b	20	9.6 ± 4.0a	28.8 ± 13.6a	75.0 ± 7.1b
	30	45	-	50.4 ± 5.3b	23	9.7 ± 3.6a	36.9 ± 16.5a	80.5 ± 5.0b
	0	45	-	76.5 ± 2.2c	34	9.2 ± 4.1a	35.0 ± 13.0a	88.1 ± 6.7b
<i>Myzus persicae</i>	100	30	-	86.7 ± 5.8a	17	9.9 ± 2.9a	0.0 ± 0.0a ^a	-
	70	30	-	90.0 ± 10.0ab	18	10.3 ± 3.2a	0.0 ± 0.0a	-
	50	30	-	93.3 ± 5.8ab	19	10.9 ± 3.3a	11.5 ± 1.3b	-
	30	30	-	100.0 ± 0.0b	20	11.0 ± 4.4a	11.8 ± 1.8b	-
	0	30	-	100.0 ± 0.0b	20	11.2 ± 3.6a	14.5 ± 1.8b	-
<i>Plutella xylostella</i>	100	30	55.6 ± 7.7a	28.9 ± 3.8a	9	10.9 ± 3.5a	25.1 ± 3.9a	61.5 ± 7.5a
	70	30	62.2 ± 3.8ab	44.4 ± 3.8ab	13	10.5 ± 3.0a	25.9 ± 5.2a	73.1 ± 6.6a
	50	30	66.7 ± 6.7abc	48.9 ± 7.7b	15	11.3 ± 2.8a	59.5 ± 11.1b	79.9 ± 9.6ab
	30	30	80.0 ± 6.7bc	66.7 ± 6.7c	20	11.8 ± 2.7a	97.5 ± 8.9c	88.9 ± 4.0b
	0	30	84.4 ± 3.8c	77.8 ± 7.7c	23	10.3 ± 2.0a	94.4 ± 3.3c	94.5 ± 3.0b
<i>Tetranychus urticae</i>	100	49	-	63.3 ± 5.8a	31	6.3 ± 2.1a	10.5 ± 3.3a	39.3 ± 5.6a
	70	58	-	80.0 ± 10.0ab	46	6.9 ± 3.2a	14.4 ± 5.5a	48.2 ± 4.1a
	50	50	-	83.3 ± 5.8b	42	7.6 ± 1.9a	17.7 ± 4.0abc	68.1 ± 7.0b
	30	54	-	96.7 ± 5.8b	52	7.6 ± 2.7a	21.5 ± 2.9bc	71.7 ± 5.1bc
	0	65	-	96.7 ± 5.8b	63	8.1 ± 3.0a	25.7 ± 2.3c	88.3 ± 3.1c

^a The number of offsprings

^b Means followed by same letter are not significantly different at $P=0.05$ by Tukey's Studentized Range Test (SAS Institute, 2003).

다. 그리고 Mochida (1973)는 감마선 150 Gy 이상의 조사량에서 벼멸구 약충은 성충으로 우화는 하지만, 산란이 억제되었고, 조사량이 많을수록 산란수도 적을뿐 아니라, 부화율도 억제되었다고 하였다. 또 Aye *et al.* (2008)은 감마선을 화랑곡나방도 유충에 조사했을 때 250 Gy 이상의 조사량에서 용화가 억제되었다고 하였고, Aldryhim과 Adam (1999)은 감마선 30 Gy 이상의 낮은 조사량에서 그라나리아바구미 유충의 용화 및 우화에 큰 영향을 미쳤다고 하였다.

배추좀나방 번데기에 전자빔의 조사효과는 표 4와 같다. 우화성충의 산란수는 조사량이 많아질수록 감소하였으며, 100 Gy 조사량에서는 우화성충이 산란한 알의 부화가 100% 억제되었다. 하지만 성충의 수명에는 영향을 미치지 않았다. Aldryhim과 Adam (1999)은 그라나리아바구미 번데기에 감마선 300 Gy 이상 조사량에서 우화가 억제되었고, 또 Boshra와 Milhael (2006)은 명나방의 1종 (*Ephestia calidella*)에 감마선 조사량이 많아질수록 기형성충의 비율이 높았으며, 300 Gy 이상 조사량으로 조사했을 때 우화성충

이 산란한 알의 부화가 100% 억제되었다고 하였다. 이와같이 전자빔도 감마선과 같이 약충/유충이나 번데기 때에 처리했을 때 직접적인 치사에는 크게 작용하지 않지만 성충의 불임에는 영향을 주는 것으로 판단된다.

성충에 조사했을 때 생식에 미치는 영향

담배가루이, 복숭아혹진딧물, 배추좀나방, 점박이응애의 성충에 전자빔의 조사효과는 그림 2와 같다. 이들 해충의 산란/산자수는 70, 100 Gy 조사량에서 감소하였고, 성충이 산란한 알은 부화율이 억제되었다. 특히 담배가루이 알은 100% 부화가 억제되었다. 그러나 성충수명에는 영향이 없었다.

Aye *et al.* (2008)의 연구에 따르면 화랑곡나방 성충은 감마선에 250Gy 이상 조사에서 산란이 억제되고, 산란된 알의 부화가 억제되었다고 하였다. 또한 밀얼룩명나방 성충도 300 Gy 이상 조사량을 조사했을 때 화랑곡나방과 같은 효과를 보고 하였으나, 성충의 수명에는 영향을 미치지 않았

다고 하였다(Ayvaz *et al.*, 2006). 이와 같은 결과는 본 실험의 결과와도 일치하였다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 전자빔 조사는 유충이나 성충에 대한 직접적인 치사효과보다는, 알의 부화억제와 성충의 불임을 기대할 수 있다. 따라서 작물에 해충이 존재 하더라도 생식력을 제거할 수 있다면, 효과적인 방제가 가능 하리라 생각한다. 추후 F₁, F₂세대 성충의 생식에 미치는 영향에 대한 검토가 필요하다.

사 사

본 논문은 농림부/농림기술관리센터 지정 “수출화훼류의 전자빔 검역기술”의 연구비지원과 교육인적자원부의 제2단계 두뇌한국 21사업으로 수행한 결과이다.

Literature Cited

- Aldryhim, Y.N. and E.E. Adam. 1998. Use of radiation disinfestations in the control of *Oryzaephilus surinamensis*, a pest of stored dry dates. Saudi J. Bio. Sci. 5: 3-11.
- Aldryhim, Y.N. and E.E. Adam. 1999. Efficacy of gamma irradiation against *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). J. Stored Prod. Res. 35: 225-232.
- Aye, T.T., J.K. Shim, D.M. Ha, Y.J. Kwon, J.H. Kwon and K.Y. Lee. 2008. Effect of gamma irradiation on the development and reproduction of *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae). J. Stored Prod. Res. 44: 77-81.
- Ayvaz, A. and A.S. Tuncbilek. 2006. Effect of gamma radiation on life stages of the Mediterranean flour moth, *Ephestica kuehniella* zeller (Lepidoptera: Pyralidae). J. Pest Sci. 79: 215-222.
- Benhalima, H., M.Q. Chaudhry, K.A. Mills and N.R. Price. 2004. Phosphine resistance in stored product insects collected from various grain storage facilities in Morocco. J. Stored Prod. Res. 40: 241-249.
- Benschoter, C.A. 1984. Low temperature storage as a quarantine treatment for the Caribbean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Florida citrus. J. Econ. Entomol. 77: 1233-1235.
- Boshra, S.A. and A.A. Mikhael. 2006. Effect of gamma irradiation on pupal stage of *Ephestia calidella* (Guenee). J. Stored Prod. Res. 42: 457-467.
- Cleghorn, D.A., S.V. Nablo, D.N. Ferro and D.W. Hagstrum. 2002. Electron beam treatment parameters for control of stored product insects. Radiation Physics and Chem. 63: 575-579.
- Ghanem, I. and M. Shamma. 2007. Effect of non ionizing radiation (UVC) on the development of *Trogoderma granarium* Everts. J. Stored Prod. Res. 43: 362-366.
- Gould, W.P. 1988. A hot water & cold storage quarantine treatment for grapefruit infested with the Caribbean fruit fly. Proc. Fla. State Hort. Soc. 110: 190-192.
- Hallman, G.J. 1998. Ionizing radiation quarantine treatments. An. Soc. Entomol. Brasil 27: 313-323.
- Han, D.H. and B.N. Kim. 2003. Industrial application of electron beam accelerator. News & Inform. Chemical Engineers 21: 484-490.
- Ikediala, J.N., J. Tang, L.G. Neven and S.R. Drake. 1999. Quarantine treatment of cherries using 915 MHz microwave: temperature mapping, codling moth mortality and fruit quality. Postharvest Biol. Technol. 16: 127-137.
- Imamura, T., A. Miyanoshita, S. Todoriki and T. Hayashi. 2004a. Usability of a soft electron (low energy electron) machine for disinfestation of grains contaminated with insect pests. Radiation Physics and Chem. 71: 211-213.
- Imamura, T., S. Todoriki, N. Sota, H. Nakakita, H. Ikenaga and T. Hayashi. 2004b. Effect of soft electron (low energy electron) treatment on three stored product insect pests. 2004. J. Stored Prod. Res. 40: 169-177.
- Imamura, T., S. Todoriki, A. Miyanoshita, A.K. Horigane, M. Yoshida and T. Hayashi. 2009. Efficacy of soft-electron (low-energy electron) treatment for disinfection of brown rice containing different ages of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky. Radiation Physics and Chem. 78: 627-630.
- Kader, A.A. 1986. Potential applications of ionizing radiation in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. Food Technol. 40: 117-121.
- Kang, H.J., Y.J. Kwon, M.W. Byun, H.K. Kim, H.S. Chung, J.U. Choi and J.H. Kwon. 2003. Effects of gamma irradiation and methyl bromide fumigation on quarantine pest and physical quality of apples. Kor. J. Food Sci. Technol. 35: 783-790.
- Kwon, J.H., H.J. Kang, D.J. Jo, H.S. Chung, Y.J. Kwon, M.W. Byun, S.J. Choi and J.U. Choi. 2002. Effects of gamma radiation and methyl bromide fumigation on quarantine pest and quality of Asian pear. J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr. 31: 57-63.
- Kwon, J.H. 2003. Commercialization of food irradiation technology and the identification of irradiated foods. Food Sci. Industry 36: 50-55.
- Lee, J.E., S.R. Moon, H.G. Ahn, S.R. Cho, J.O. Yang, C.M. Yoon and G.H. Kim. 2009. Feeding behavior of *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae) and response on feeding stimulants of some plants. Kor. J. Appl. Entomol. 48: 467-477.
- Lester, P.J., D.J. Rogers, R.J. Petry, P.G. Connolly and P.B. Roberts. 2000. The lethal effects of gamma irradiation on larvae of the Huhu beetle, *Prionoplus reticularis*: a potential quarantine treatment for New Zealand export pine trees. Entomol. Exp. Appl. 94: 237-242.
- Miller, W.R. and R.E. McDonald. 1995. Low dose electron beam irradiation: a methyl bromide alternative for quarantine treatment of *Florida blueberries*. Proc. Fla. State Hort. Soc. 108: 291-293.
- Mochida, O. 1973. Effect of gamma radiation on the development and reproduction of the Brown Planthopper, *Nilaparvata*

- lugens* (Stal) (Homoptera: Delphacidae). Appl. Entomol. Zool. 8: 113-127.
- Moon, S.R., D.J. Noh, J.O. Yang, C.M. Yoon, K.S. Ahn and G.H. Kim. 2009. Seasonal occurrence and developmental characteristics of ussur brown katydid, *Paratlanticus ussuriensis* Uvarov (Orthoptera: Tettigoniidae). Kor. J. Appl. Entomol. 48: 11-19.
- NPQS. 2010. An export and import plants quarantine trends. National Plant Quarantine Service, Anyang.
- Park, J.H., G.R. Kim and J.H. Kwon. 2009. Microbiological and physiological qualities of electron-beam and gamma-ray irradiated Sprout Seeds (Radish, Red cabbage) during germination. Kor. J. Food Preserv. 16: 186-191.
- Park, J.H., J.M. Lee and S.C. Lee. 2006. Effect of electron-beam irradiation on the characteristics of Green tea (*Camellia sinensis* L.). Kor. J. Soc. Food Sci. Nutr. 35: 774-779.
- Palou, L., A. Marilla, C.R. Argudo, M. Alonso, J.A. Jacas and M.A. Rio. 2007. Effect of X ray irradiation and sodium carbonate treatments on postharvest *Penicillium* decay and quality attributes of *Clementine mandarins*. Postharvest Biol. Technol. 46: 252-261.
- Pimentel, D. 1991. Handbook of Pest Management in Agriculture. Vols. I. 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, Florida. 765 pp.
- Rami Reddy, P.V., S. Todoriki, A. Miyanoshita, T. Imamura and T. Hayashi. 2006. Effect of soft electron treatment on adzuki bean weevil, *Callosobruchus chinensis* (L.) (Coleoptera, Bruchidae). J. Appl. Entomol. 130: 393-399.
- Salimov, R.A., V.G. Cherepkov, N.K. Kuksanov and S.A. Kuznetzove. 2000. The use of electron accelerators for radiation disinfestations of grain. Radiation Physics and Chem. 57: 625-627.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide: statistics, version 9.1 Institute, Cary, N.C., U.S.A.
- Sharma, A.K. and R.K. Seth. 2005. Combined effect of gamma radiation and azadirachtin on the growth and development of *Spodoptera litura* (Fabricius). Current Sci. 89: 1027-1031.
- Shim, S.L., K.M. No, K.S. Kim and G.D. Song. 2010. Effect of electron beam irradiation on volatile organic compounds of *Vitis labrusca* L. Kor. J. Food Preserv. 17: 151-159.
- Shin, H.Y., D.W. Lee, H.Y. Choo and C.G. Park. 2001. Survey on the insect pests of major vegetable and floricultural crop in Gyeongnam province. J. Agric. Life Sci. 35: 105-115.
- Son, Y.R., K.H. Choi, Y. Kim and Y.G. Kim. 2010. Applicability of CATTs as a postharvest phytosanitation technology against the Peach fruit moth, *Carposina sasakii* Matsumura. Kor. J. Appl. Entomol. 49: 37-42.