

## 감자뽕나방에 대한 16종 살충제의 살충활성과 생물적 특성에 미치는 영향

안정진 · 박준원 · 김주일<sup>1</sup> · 김현경 · 구현나 · 김길하\*충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과, <sup>1</sup>국립식량과학원 고령지농업연구센터Insecticidal Activity and Effect on Biological Characteristic of 16 Insecticides Against *Phthorimaea Operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae)Jeong-Jin An, Jun-Won Park, Ju-Il Kim<sup>1</sup>, Hyun Kyung Kim, Hyun-Na Koo and Gil-Hah Kim\*Department of Plant Medicine, College of Agriculture, Life and Environment Sciences,  
Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Republic of Korea<sup>1</sup>Highland Agriculture Research Center, Rural Development Administration,  
Pyeongchang 232-955, Republic of Korea

(Received on October 30, 2013. Revised on November 12, 2013. Accepted on November 29, 2013)

**Abstract** Susceptibility of each developmental stage of *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) were investigated using 16 insecticides which are available in the market in Korea. For the eggs and pupae, only spinosad showed a 71.1% inhibition rate for egg hatchability and a 66.7% inhibition rate for emergence. For the 3rd instar larvae, the feeding toxicities were over 90% for fenitrothion (LC<sub>50</sub> 336.6 ppm), esfenvalerate (LC<sub>50</sub> 8.6 ppm), ethofenprox (LC<sub>50</sub> 35.7 ppm), and emamectin benzoate (LC<sub>50</sub> 0.05 ppm). Furthermore, the contact toxicities were over 90% for esfenvalerate (LC<sub>50</sub> 0.87 ppm), ethofenprox (LC<sub>50</sub> 16.5 ppm), emamectin benzoate (LC<sub>50</sub> 0.53 ppm), and spinosad (LC<sub>50</sub> 2.48 ppm) at the recommended concentrations. Deltamethrin and spinosad yielded 100% mortality for adult *P. operculella* 48 h after treatment. The adult female fecundity was inhibited by deltamethrin, esfenvalerate, emamectin benzoate, spinosad and dinotefuran, which were significantly different from the control. The adult longevities (7.3-8.3 days) were reduced by approximately 1-2 days compared with the control (9.3 day). The emamectin benzoate maintained 100% insecticidal activity 14 days after treatment and ethofenprox maintained over 90% activity 7 days after treatment.

**Key words** *Phthorimaea operculella*, Feeding toxicity, Contact toxicity, Systemic effect, Residual effect

## 서 론

감자뽕나방(*Phthorimaea operculella* Glover)은 뽕나방과(Gelechiidae)에 속하며 주로 담배, 감자, 가지 등 가지과 작물과 까마중, 가시독말풀, 구기자, 파리류 등의 식물에 피해를 주는 세계적인 중요 해충으로 알려져 있다(Kirkham, 1995). 유충이 이들 식물의 성장점과 잎, 줄기, 과실 등의 조직 속에 파고들어가 서식함으로써 재배지(Rothschild, 1986;

Fenemore, 1988)와 저장고에 있는 감자의 생장을 정지시키고 품질을 저하시켜 생산에 많은 감소를 주는 해충이다(Raman, 1988a, b; Fenemore, 1988; Rothschild, 1986; Gilboa and Podoler, 1994). 대부분의 피해는 감자수확 이전과 수확 후 저장하는 단계에서 발생하게 되는데, 주로 작물의 잎과 줄기에 피해를 주다가 잎이 마르고 토양이 가물어 갈라지게 되면 유충은 땅속으로 들어가 감자 덩이줄기에 피해를 주게 된다. 또한, 감자뽕나방 유충들은 작물의 조직 속에 파고들어가면서 생긴 구멍으로 균류나 세균에 의한 2차적인 피해를 준다(Hanafi, 1999).

감자뽕나방 방제를 위해 살충제의 살충활성 효과에 관한

\*Corresponding author

Tel: +82-43-261-2555, Fax: +82-43-271-4414

E-mail: khkim@chungbuk.ac.kr

연구가 보고 되어있지만(Dillard et al., 1993; Symington, 2003), 국내에 보고된 연구로는 본 해충의 생활사와 피해에 관해 보고된 것이 대부분이고(Choe and Park, 1980; Choe et al., 1980), 살충활성에 관해 보고된 연구는 없다. 국내에서 감자뽕나방에 대한 등록약제가 없으며, 해외에서는 일반적으로 성페로몬트랩을 이용하여 유살하는 방법을 사용하고 있기는 하나, 국내 연구는 미미한 실정이다(Voerman and Rothschild, 1978). 본 연구는 감자뽕나방에 대하여 화학적 방제제로 사용 가능한 약제를 선정하기 위해 염육을 식해하고 갱도를 형성(Trumble et al., 1985)하는 감자뽕나방 유충과 가해습성이 비슷한 아메리카잎굴파리의 방제에 사용된 약제(Kim et al., 2001)와 나방에 효과 있는 약제 중 국내에 등록된 16종의 살충제(KCPA, 2012)를 이용하여 감자뽕나방의 발육단계별(알, 유충, 번데기, 성충)로 약제감수성을 평가하여 살충활성이 높고, 잔효성과 침투이행성이 높은 약제를 선발하여 이 해충의 방제에 기초자료로 제공하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 시험곤충

실험에 사용된 감자뽕나방(*Phthorimaea operculella*)은 2011년 7월에 국립식량과학원 고령지농업연구센터에서 분양받아 살충제 접촉 없이 충북대학교 곤충사육실에서 누대 사육한 실내계통을 사용하였다. 감자뽕나방의 성충은 아크릴 케이지(30×30×60 cm)에 번데기를 넣고 성충 우화시 먹이 원으로 10%의 설탕물을 제공하였다. 산란 유도를 위해서는 여과지에 직선의 홈집을 5 cm 간격으로 낸 후 부채주름을 만들어 케이지 천장에 매달아 알을 받았다. 산란된 여과지는 브리딩디쉬(φ 10 cm×5 cm)에 넣고 감자 덩이줄기를 잘라 넣어주면 부화유충이 감자 속으로 파고들어가 발육과 섭식을 하게 된다. 번데기는 감자의 표피와 감자 속에서 골라내어 성충 케이지에 넣어 다시 산란을 유도하였다. 실내 사육 조건은 온도 25±2°C, 광주기 16L: 8D, 상대습도 50~60%의 조건 하에서 플라스틱 사육용기(15 cm×23 cm×8 cm)에 감자를 주기적으로 먹이로 공급하면서 사육하였다.

### 시험약제

실험에 사용된 살충제는 농업해충 전문약제로서 유기인계 2종, 카바메이트계 1종, 피레스로이드계 3종, 네오니코티노이드계 5종, IGR계 3종, 기타 2종 등 모두 16 종을 선발하였다. 이들 살충제에 대한 일반명, 제형, 유효성분량 및 추천농도(ppm)는 Table 1과 같다.

### 약제 처리 방법에 따른 살충활성 조사

유충에 대한 약효 시험으로 섭식독성과 접촉독성을 조사하였다. 섭식독성 시험은 페트리 디쉬(φ 5.5 cm×1.5 cm)에

**Table 1.** List of tested insecticides

Insecticide	AI <sup>a</sup> (%)	Formulation <sup>b</sup>	RC <sup>c</sup> (ppm)
<b>Organophosphates</b>			
Fenitrothion	40	WP	400
Fenthion	50	EC	500
<b>Carbamate</b>			
Benfuracarb	30	WG	300
<b>Pyrethroids</b>			
Deltamethrin	1	EC	10
Esfenvalerate	1.5	EC	15
Ethofenprox	10	WP	100
<b>Neonicotinoids</b>			
Acetamiprid	8	WP	40
Clothianidin	8	SC	40
Dinotefuran	10	WP	100
Imidacloprid	8	SC	40
Thiamethoxam	10	WP	50
<b>Insect Growth Regulators</b>			
Bistrifluron	10	EC	50
Diflubenzuron	25	WP	100
Pyriproxyfen	10	EC	50
<b>The others</b>			
Emamectin benzoate	2.15	EC	10.75
Spinosad	10	WG	50

<sup>a</sup> Active ingredient

<sup>b</sup> EC = emulsifiable concentrate, SC = suspension concentrate, WG = water dispersible granule, WP = wettable powder

<sup>c</sup> Recommended concentration

여과지(φ 5.5 cm, Hyundai Micro Co., Anseong, Korea)를 깔고, 실험약제를 추천농도로 증류수에 희석하여 5 mm 두께로 얇게 자른 감자를 30초간 침지 시킨 후 3령 유충(10마리/페트리디쉬)을 접종하였고, 48시간 후에 사충률을 조사하였다.

접촉독성 시험은 추천농도로 희석된 약제를 3령 유충(10마리/페트리디쉬)에 충분히 적셔지도록 일반 분무용 스프레이(입자크기: 400 μm, 분사력 0.8~1.2 ml/회, 팁노즐 0.30 mm dia.)를 이용하여 3회 살포한 후 신선한 감자를 페트리디쉬에 넣고 유충을 접종시킨 후 48시간 후에 사충률을 조사하였다.

성충에 대한 약효 시험은 충체에 직접 약제 희석액을 스프레이법을 이용하여 3회 살포한 후 성충을 접종하고 48시간 후 사충률을 조사하였다. 모든 실험은 농도당 10마리씩 3반복으로 수행하였다.

반수치사농도(LC<sub>50</sub>) 값은 추천농도에 의한 실험을 진행한 후 추천농도를 기준으로 10배씩 약제희석 배율로 실험하여, 약 50%의 사충률 보인 농도를 기준으로 5-6 농도로 반수 희석하여 50% 이하와 50% 이상의 사충률을 보이는 농도를 구하여 유의성을 검정하였다.

### 부화율 및 우화율 억제 활성 조사

알에 대한 약효 시험을 위해 흙집 낸 여과지( $\phi$  5.5 cm)에서 감자뽕나방 성충을 24시간 동안 산란시켰다. 산란된 알은 현미경을 이용하여 개수를 확인하였고, 알(30~50개/paper)을 약제 희석액에 30초간 침지한 후 부화율을 조사하였다.

번데기에 대한 약효 시험은 용화된 지 1~2일 된 번데기를 약제 희석액에 30초간 침지한 후 우화율을 조사하였다.

### 성충의 산란수 및 수명에 미치는 영향

우화한지 24시간 이내의 성충에 대해 추천농도로 희석된 약제가 충분히 적셔지도록 스프레이를 이용하여 3회 살포하였다. 약제가 완전히 건조된 후 각각의 사각통(6.8 cm  $\times$  6.8 cm  $\times$  9.6 cm)에 암컷 10마리와 수컷 성충 20마리(1:2 비율)을 접종하였다. 2일 주기로 여과지를 교체하며 산란수 및 성충수명을 조사하였다. 실험은 3반복으로 수행하였다.

### 약제의 침투이행성 시험

잎과 뿌리로 약제의 침투이행성을 알아보기 위해 가지 유묘(파종 후 5주)를 사용하였다. 실험 살충제는 상기의 실험에서 높은 살충활성을 보인 약제 5종(emamectin benzoate, esfenvalerate, ethofenprox, fenitrothion, spinosad)을 선발하여 추천농도에 대해 시험하였다.

잎 침투이행성 시험에서는 가지 유묘의 한쪽 잎에 약액을 30초간 침지하고 24시간 후 처리 잎을 제거 하였으며, 원통형 아크릴 사육상( $\phi$  9 cm  $\times$  18 cm)에 기주식물과 감자뽕나방 3령 유충 20마리를 접종하고 48시간 후에 사충률을 조사하였다.

뿌리의 침투이행성 시험은 약액(20 ml)을 가지 유묘가 식재된 포트( $\phi$  7.0 cm  $\times$  6.5 cm)의 흙에 관주처리 하였다. 그리고 24시간 후 가지 유묘를 원통형 아크릴 사육상( $\phi$  9 cm  $\times$  18 cm)에 넣고 3령 유충 20마리를 접종하여 48시간 후 사충률을 구하여 침투이행성 여부를 검정하였다. 모든 시험은 3반복으로 수행하였다.

**Table 2.** Insecticidal toxicity to 3<sup>rd</sup> instar larvae of *Phthorimaea operculella* treated with recommended concentrations

Insecticide	n <sup>a</sup>	Mortality (%; Mean $\pm$ SE) <sup>b</sup>	
		Feeding toxicity	Contact toxicity
Organophosphates			
Fenitrothion	30	100 $\pm$ 0.0a	81.1 $\pm$ 1.9bc
Fenthion	30	66.7 $\pm$ 5.8abc	60.0 $\pm$ 3.3de
Carbamate			
Benfuracarb	33	86.7 $\pm$ 23.1abc	72.2 $\pm$ 1.9cd
Pyrethroids			
Deltamethrin	30	73.3 $\pm$ 11.5abc	42.2 $\pm$ 6.9fgh
Esfenvalerate	30	93.3 $\pm$ 11.5abc	93.3 $\pm$ 3.3a
Ethofenprox	33	93.3 $\pm$ 11.5ab	100 $\pm$ 0.0a
Neonicotinoids			
Acetamiprid	30	33.3 $\pm$ 11.5c	38.9 $\pm$ 5.1hg
Clothianidin	30	80.0 $\pm$ 0.0abc	52.2 $\pm$ 8.4feg
Dinotefuran	30	46.7 $\pm$ 11.5abc	42.2 $\pm$ 5.1fgh
Imidacloprid	30	40.0 $\pm$ 20.0bc	31.1 $\pm$ 3.8h
Thiamethoxam	30	46.7 $\pm$ 23.1abc	54.4 $\pm$ 3.8fe
Insect Growth Regulators			
Bistrifluron	30	80.0 $\pm$ 11.5abc	41.1 $\pm$ 3.8fgh
Diflubenzuron	30	73.3 $\pm$ 11.5abc	40.0 $\pm$ 6.7hg
Pyriproxyfen	30	80.0 $\pm$ 20.0abc	38.9 $\pm$ 8.4hg
The others			
Emamectin benzoate	30	100 $\pm$ 0.0a	100 $\pm$ 0.0a
Spinosad	30	86.7 $\pm$ 11.5abc	100 $\pm$ 0.0a
Control	30	0.0 $\pm$ 0.0d	0.0 $\pm$ 0.0i

<sup>a</sup> Number of observations

<sup>b</sup> Means followed by the same letter within a column are not significantly different at  $P < 0.05$  by Tukey's studentized range test (SAS Institute, 2009).

**약제의 잔효성 검증**

감자뽕나방 유충에 대한 5종의 약제(emamectin benzoate, esfenvalerate, ethofenprox, fenitrothion, spinosad)의 잔효성 시험을 실시하였다. 추천농도로 기주식물인 가지 잎(파종 후 5주)에 약제를 처리하고 1, 3, 5, 7, 10, 14일 후 20마리 씩 접종하고 처리 48시간 후 살충율을 평가하였다. 모든 실험은 3반복으로 수행하였다.

**자료분석**

실험결과에 대한 통계분석은 Tukey's studentized range test로 살충율을 비교하였고, LC<sub>50</sub> (ppm)은 probit 계산법으로 산출하였다(SAS Institute, 2009). 약제의 추천농도와 비교한 상대독성(RT; relative toxicity)값은 각 약제의 추천농도(RC; recommaned concentration)/각 약제의 LC<sub>50</sub>값으로 계산하였다.

**결과 및 고찰**

**약제 처리 방법에 따른 살충활성**

시판되고 있는 16종의 농업용 살충제를 추천농도(ppm)로 희석하여 감자뽕나방의 3령 유충과 성충에 대한 살충활성을 조사하였다.

3령 유충에 대해서는 섭식독성과 접촉독성을 실험한 결과(Table 2), 섭식독성 시험에서는 fenitrothion, emamectin benzoate가 100%의 살충율을 보였고, 90% 이상의 살충율을 나타낸 약제는 피레스로이드계의 esfenvalerate, ethofenprox 등 2종이었다. 접촉독성 시험에 대해서는 ethofenprox, emamectin benzoate, spinosad가 100%의 살충율을 보였고, esfenvalerate가 93.3%의 높은 살충율을 나타내었다. Ema-

mectin benzoate는 섭식 독성과 접촉독성 시험에서 모두 100%의 높은 살충율을 보였다.

추천농도를 이용한 섭식독성과 접촉독성 시험에서 효과가 좋았던 5종 약제를 선별하여 반수치사농도를 구하였다(Table 3). 48시간 후 섭식독성 시험에 대한 반수치사농도(LC<sub>50</sub>)는 emamectin benzoate가 0.05 ppm으로 가장 높은 활성을 보였고, spinosad (0.56 ppm) > esfenvalerate (8.6 ppm) > ethofenprox (35.7 ppm) > fenitrothion (336.6 ppm)순으로 나타났다. 접촉독성 시험에 대한 반수치사농도는 emamectin benzoate가 0.53 ppm으로 가장 높은 활성을 보였고, esfenvalerate (0.87 ppm) > spinosad (2.50 ppm) > ethofenprox (16.52 ppm) > fenitrothion (430.3 ppm)순으로 나타났다. Fenitrothion과 emamectin benzoate, spinosad는 접촉독성보다 섭식독성에서 반수치사 농도가 더 낮게 나타나 섭식으로 더 활성이 높음을 알 수 있었다. 각 약제의 추천농도와 반수치사농도를 비교한 결과, 24시간 후에는 emamectin benzoate와 spinosad의 섭식독성에서 각각 44.8배와 52.1배 더 높은 활성을 보임을 알 수 있었다. Hu et al. (2008)은 배추좀나방(*Plutella xylostella*)에 대해 세가지 약제(abamectin, ivermectin, emamectin benzoate)의 살충효과 비교에서 emamectin benzoate이 섭식독성 효과가 가장 좋았다고 보고하였다. 본 실험의 결과에서도 실험 약제 중 emamectin benzoate가 섭식독성 및 접촉독성에서 가장 좋은 효과를 나타내었다.

**부화율 및 우화율 억제 활성**

감자뽕나방의 알과 번데기에 대해 16종의 살충제를 처리하여 부화율과 우화율을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 감자뽕나방 알과 번데기에 대해서 시험약제 중 spinosad가 70.3%와 66.7%로 가장 높은 부화억제율과 우화억제율을 보

**Table 3.** Median lethal concentration (LC<sub>50</sub>, ppm) of insecticides against the 3<sup>rd</sup> instar larvae of *Phthorimaea operculella*

Insecticides	Time (h)	Feeding toxicity			Contact toxicity		
		LC <sub>50</sub> (ppm, 95% CL)	Slope (± SE)	RT <sup>b</sup>	LC <sub>50</sub> (ppm, 95% CL)	Slope (± SE)	RT
Fenitrothion	24	657.6 (529.8-1236.9)	2.22 ± 0.60	0.6	440.5 (417.9-459.2)	9.03 ± 1.16	0.9
	48	336.6 (319.1-353.0)	6.89 ± 0.65	1.2	430.0 (407.3-448.1)	9.51 ± 1.20	0.9
Esfenvalerate	24	10.0 (9.9-11.0)	6.66 ± 0.65	1.5	1.35 (0.22-8.38)	0.99 ± 0.21	11.1
	48	8.6 (8.1-9.0)	6.92 ± 0.74	1.7	0.87 (0.65-1.18)	1.40 ± 0.13	17.2
Ethofenprox	24	89.5 (68.8-142.1)	1.18 ± 0.25	1.1	33.3 (11.9-92.8)	0.87 ± 0.21	3.0
	48	35.7 (29.8-41.3)	2.25 ± 0.26	2.8	16.52 (6.7-39.4)	1.05 ± 0.10	6.1
Emamectin benzoate	24	0.24 (0.19-0.29)	1.79 ± 0.23	44.8	0.87 (0.64-1.18)	1.73 ± 0.51	12.4
	48	0.05 (0.02-0.08)	1.36 ± 0.26	215.0	0.53 (0.12-2.35)	2.20 ± 0.48	20.3
Spinosad	24	0.96 (0.11-7.9)	0.64 ± 0.20	52.1	5.9 (1.4-24.0)	1.05 ± 0.10	8.5
	48	0.56 (0.32-0.87)	0.69 ± 0.10	89.3	2.5 (1.8-3.2)	1.23 ± 0.28	20.0

<sup>a</sup> Number of observations

<sup>b</sup> RT denotes relative toxicity, RC (Recommended concentration of each pesticide) / LC<sub>50</sub> value of each pesticide

**Table 4.** Rate of hatchability and emergence of *Phthorimaea operculella* treated with recommended concentrations after 48 h

Insecticide	n <sup>b</sup>	Egg hatchability rate (%, Mean ± SE) <sup>a</sup>	n	Emergence rate (%, Mean ± SE)
<b>Organophosphates</b>				
Fenitrothion	132	91.7 ± 1.3bc	30	93.3 ± 1.2b
Fenthion	144	92.3 ± 1.3b	30	93.3 ± 1.2b
<b>Carbamate</b>				
Benfuracarb	135	76.7 ± 0.3de	30	76.7 ± 0.9cde
<b>Pyrethroids</b>				
Deltamethrin	123	65.7 ± 1.2ef	30	66.7 ± 2.0ef
Esfenvalerate	144	93.3 ± 1.8b	30	92.7 ± 0.9b
Ethofenprox	126	54.0 ± 2.1f	30	56.7 ± 1.7f
<b>Neonicotinoids</b>				
Acetamiprid	141	92.0 ± 1.0b	30	93.3 ± 1.7b
Clothianidin	147	100 ± 0.0a	30	100 ± 0.0a
Dinotefuran	120	92.0 ± 1.5b	30	90.0 ± 0.0bc
Imidacloprid	147	93.3 ± 0.9b	30	93.0 ± 2.1b
Thiamethoxam	126	96.7 ± 0.3b	30	93.3 ± 0.9b
<b>Insect Growth Regulators</b>				
Bistrifluron	132	100 ± 0.0a	30	100 ± 0.0a
Diflubenzuron	129	82.0 ± 1.0cd	30	87.3 ± 3.7bcd
Pyriproxyfen	120	74.3 ± 1.8de	30	72.7 ± 1.2def
<b>The others</b>				
Emamectin benzoate	123	66.7 ± 1.7ef	30	57.7 ± 3.2f
Spinosad	138	29.0 ± 2.1g	30	33.0 ± 3.0g
Control	156	100 ± 0.0a	30	100 ± 0.0a

<sup>a</sup> Means followed by the same letter within a column are not significantly different at  $P < 0.05$  by Tukey's studentized range test (SAS Institute, 2009).

<sup>b</sup> Number of observations

였으나 그 외 약제에서는 낮거나 효과를 보이지 않았다. Saour (2008)은 감자빨나방에 대해 네오니코티노이드계인 thiacloprid의 효과를 보고하였는데 알에 대한 약제 처리시 부화율이 무처리와 차이가 크지 않았으나, 유충에 대한 약제 처리 후의 우화율은 크게 감소하는 결과를 보고하였다. 하지만 본 실험에서는 thiacloprid를 사용하지 않았지만 같은 네오니코티노이드계의 약제들은 낮은 우화억제율을 보였는데 이는 번데기 단계에 약제를 처리하였기 때문에 차이가 있는 것으로 판단된다. Galvan et al. (2005)은 Asian lady beetle의 발육단계별로 spinosad를 처리한 후 살충력과 생존에 미치는 영향에 대해 보고하였는데 번데기단계에 대한 우화억제율은 약제의 농도가 높아질수록 생존율이 낮아지는 결과를 보고하였다.

#### 암컷 성충의 수명과 산란수에 미치는 영향

감자빨나방 성충에 대해 16종의 살충제를 추천농도(ppm)로

처리하고 살충율과 성충수명, 산란수를 조사한 결과는 Table 5와 같다. 성충의 살충율은 deltamethrin과 spinosad가 100%를 보였지만, 대부분의 약제는 효과가 낮게 나타났다. 성충수명에 대해서는 무처리의 9.3일에 비하여 몇몇 약제들은 7.3~8.3일로 짧아졌다. 암컷성충의 산란수는 무처리의 101개에 비하여 esfenvalerate, emamectin benzoate과 dinotefuran이 각각 3, 6.7, 8.3개로 크게 억제되었고, benfuracarb와 ethofenprox, clothianidin, thiamethoxam, diflubenzuron은 무처리와 통계적 유의차가 없었다. Deltamethrin과 spinosad의 경우 추천농도에서 100%의 살충력을 보여 조사하지 못했다. Collantes et al. (1986)은 6종의 피레스로이드계 약제 중 deltamethrin이 감자빨나방에 가장 높은 살충활성을 보임을 보고하였다. 본 실험에서도 같은 피레스로이드계인 deltamethrin이 성충에 대해서 100%의 높은 살충율을 보였고 약 56%의 살충율을 보인 esfenvalerate는 수명기간에는 큰 영향을 미치지 않았지만 산란수는 유의성 있게 억제 되었다.

**Table 5.** Effect of insecticides on mortality, longevity and fecundity of *Phthorimaea operculella* female adult treated with recommended concentrations

Insecticide	Mean $\pm$ SD <sup>a</sup>		
	Mortality (%)	Longevity (day)	Fecundity (No. of eggs)
Organophosphates			
Fenitrothion	0.0 $\pm$ 0.0e	8.3 $\pm$ 0.6abc	12.6 $\pm$ 3.3de
Fenthion	23.3 $\pm$ 5.8d	8.1 $\pm$ 0.5abc	59.4 $\pm$ 6.0b
Carbamate			
Benfuracarb	0.0 $\pm$ 0.0e	8.3 $\pm$ 0.7abc	84.0 $\pm$ 6.6a
Pyrethroids			
Deltamethrin	100.0 $\pm$ 0.0a	0.0 $\pm$ 0.0d	0.0 $\pm$ 0.0e
Esfenvalerate	56.7 $\pm$ 5.8b	8.0 $\pm$ 0.3bc	3.0 $\pm$ 2.2e
Ethofenprox	46.7 $\pm$ 5.8c	8.2 $\pm$ 0.7abc	83.3 $\pm$ 7.7a
Neonicotinoids			
Acetamiprid	16.7 $\pm$ 5.8d	9.3 $\pm$ 0.3a	57.3 $\pm$ 5.4b
Clothianidin	0.0 $\pm$ 0.0e	8.4 $\pm$ 0.2abc	92.3 $\pm$ 7.5a
Dinotefuran	0.0 $\pm$ 0.0e	8.3 $\pm$ 0.3abc	8.3 $\pm$ 3.0e
Imidacloprid	0.0 $\pm$ 0.0e	7.8 $\pm$ 0.5c	35.3 $\pm$ 6.9c
Thiamethoxam	43.3 $\pm$ 5.8c	9.3 $\pm$ 0.6a	89.7 $\pm$ 8.0a
Insect Growth Regulators			
Bistrifluron	0.0 $\pm$ 0.0e	9.2 $\pm$ 0.4ab	64.7 $\pm$ 5.1b
Diflubenzuron	0.0 $\pm$ 0.0e	8.3 $\pm$ 0.3abc	92.7 $\pm$ 7.4a
Pyriproxyfen	0.0 $\pm$ 0.0e	9.3 $\pm$ 0.3a	26.7 $\pm$ 5.0cd
The others			
Emamectin benzoate	0.0 $\pm$ 0.0e	8.0 $\pm$ 0.7bc	6.7 $\pm$ 2.3e
Spinosad	100.0 $\pm$ 0.0a	0.0 $\pm$ 0.0d	0.0 $\pm$ 0.0e
Control	0.0 $\pm$ 0.0e	9.3 $\pm$ 0.6a	101.7 $\pm$ 9.4a

<sup>a</sup> Means followed by the same letter within a column are not significantly different at  $P < 0.05$  by Tukey's studentized range test (SAS Institute, 2009).

### 침투이행성 및 잔효성

감자뽕나방 3령 유충에 대한 침투이행성 시험을 위해 유충의 섭식독성과 접촉독성 시험에서 90% 이상의 살충율을 나타낸 5종의 약제(fenitrothion, esfenvalerate, ethofenprox, emamectin benzoate, spinosad)에 대해 엽면 및 뿌리 침투이행 여부를 조사한 결과, 시험 약제 모두 효과가 거의 없는 것으로 나타났다(Table 6). Kim et al. (2010)은 꽃매미 성충에 대해 chloropyrifos 등 4종 약제의 근부와 엽면 침투이행성을 조사하였는데 dinotefuran과 etofenprox + diazinon은 엽면보다 뿌리 침투이행 효과가 우수함을 보고되었다.

감자뽕나방 3령 유충에 대한 잔효성은 섭식독성 시험에서 90% 이상의 살충효과를 보인 약제를 선발(Table 2)하여 14 일차까지 조사하였다(Fig. 1). 감자뽕나방 3령 유충에 대해서 fenitrothion은 처리 후 1일, esfenvalerate는 처리 후 3일, emamectin benzoate는 처리 후 14일까지 100%의 살충효과를 보였고, ethofenprox는 7일차까지 90% 이상의 살충율을 나타내었다. Fenitrothion, esfenvalerate 그리고 ethofenprox

**Table 6.** Systemic effects of five insecticides against 3<sup>rd</sup> instar larvae of *P. operculella* with recommended concentrations

Insecticide	n <sup>a</sup>	Mortality (%), mean $\pm$ SD) <sup>b</sup>
Foliar systemic test		
Fenitrothion	60	0.0 $\pm$ 0.0a
Esfenvalerate	60	3.3 $\pm$ 5.8a
Ethofenprox	60	0.0 $\pm$ 0.0a
Emamectin benzoate	60	0.0 $\pm$ 0.0a
Spinosad	60	0.0 $\pm$ 0.0a
Root-uptake systemic test		
Fenitrothion	60	0.0 $\pm$ 0.0b
Esfenvalerate	60	0.0 $\pm$ 0.0b
Ethofenprox	60	0.0 $\pm$ 0.0b
Emamectin benzoate	60	10.0 $\pm$ 0.0a
Spinosad	60	0.0 $\pm$ 0.0b

<sup>a</sup> Number of observations

<sup>b</sup> Means followed by the same letter within a column are not significantly different at  $P < 0.05$  by Tukey's studentized range test (SAS Institute, 2009).

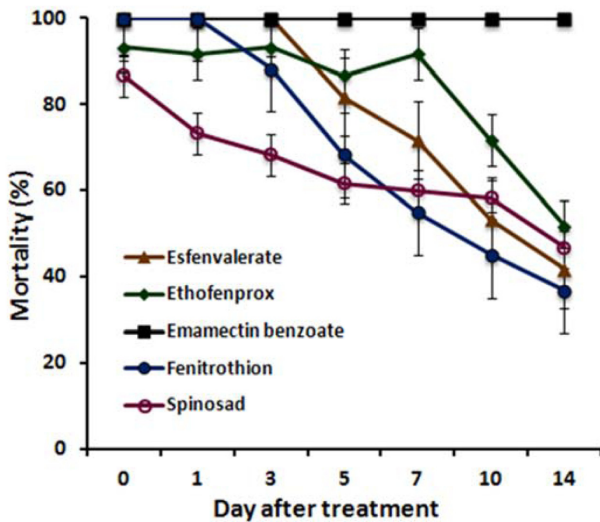


Fig. 1. Residual effects of five insecticides against the 3<sup>rd</sup> instar larva *Phthorimaea operculella* treated with recommended concentrations.

는 각각 3일차, 5일차 그리고 10일차부터 잔효성이 감소하는 것으로 나타났고, emamectin benzoate의 경우 14일차까지도 가장 우수한 잔효성을 나타내었다. Isaac et al. (2002)은 담배거세미나방과 왕담배나방에 대한 emamectin benzoate의 잔효성을 보고하였는데 담배거세미나방은 3일까지만 효과가 좋았고, 왕담배나방은 28일차까지도 90% 이상의 우수한 잔효성의 결과를 보고하였다. Lee et al. (2006)은 아메리카잎굴파리에 대한 4종 약제의 산란억제 잔효성 검정에서 abamectin, emamectin benzoate, spinosad는 7일까지 효과가 있었다고 하였다. Kim et al. (2010)은 꽃매미 성충에 대해 chlorpyrifos 등 4종 약제의 잔효성을 조사하였는데 dinotefuran과 etofenprox + diazinon은 14일까지 100%의 지속효과를 보였다고 하였다.

약제의 살충효과는 발육단계별로 차이가 있었다. 특히 dinotefuran은 유충과 성충에 대해서 살충율이 낮았지만, 높은 산란억제율을 나타내었고(Table 4), deltamethrin은 유충에서 낮은 살충율을 보였지만, 성충에서는 높은 살충율을 나타내었다.

이상의 결과를 종합하여 보면, 감자뽕나방의 발육단계 모두에서 효과적인 약제는 없었으나 알과 번데기 그리고 성충에 대해서는 spinosad가, 성충에 대해서는 deltamethrin이 효과가 우수하였다. 유충에 대해서는 섭식독성과 접촉독성에서 esfenvalerate, ethofenprox 및 emamectin benzoate가 90% 이상의 높은 살충효과를 보였으며, 특히 emamectin benzoate는 14일차까지도 우수한 잔효성을 나타내었다. 현재 감자뽕나방 방제에 등록된 약제가 없어, 향후 본 실험 결과에서 얻어진 우수한 약제들이 등록된다면 종합방제에 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다.

## 감사의 글

이 논문은 2013년도 농림수산식품기술기획평가원이 추진하는 Golden Seed Project 사업(No. 213001-04-1-WT631)의 연구비 지원에 의하여 연구되었다.

## Literature Cited

- Choe, K. R. and J. S. Park (1980) Distribution of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), in Korea. Korean J. Plant Prot. 19:103-107.
- Choe, K. R., C. G. Yoo, and Y. D. Chang (1980) Studies on the life history of potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae). Korean J. Plant Prot. 19:97-101.
- Collantes, L. G., K. V. Ramana and F. H. Cisnerosa (1986) Effect of six synthetic pyrethroids on two populations of potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), in Peru. Crop Prot. 5:355-357.
- Dillard, H. E., T. J. Wicks and B. Philp (1993) A grower survey of diseases, invertebrate pests, and pesticide use on potatoes grown in South Australia. J. Exp. Agri. 33:653-661.
- Fenimore, P. G. (1988) Host-plant location and selection by adult potato moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae): A review. J. Insect. physiol. 3:175-177.
- Galvan, T. L., R. L. Koch and W. D. Hutchison (2005) Effects of spinosad and indoxacarb on survival, development, and reproduction of the multicolored Asian lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae). Biol. Control. 34:108-114.
- Gilboa, S., and H. Podoler (1994) Population dynamics of the potato tuber moth on processing tomatoes in Israel. Entomol. Exp. Appl. 72:197-206.
- Hanafi, A. (1999) Integrated pest management of potato tuber moth in field and storage. Potato Res. 42:373-380.
- Hu, J., P. Liang, X. Shi and X. Gao (2008) Effects of insecticides on the fluidity of mitochondrial membranes of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, resistant and susceptible to avermectin. J. Insect Sci. 8:3.
- Isaac, I., S. Kontsedalov and A. R. Horowitz (2002) Emamectin, a novel insecticide for controlling field crop pests. Pest Manag. Sci. 58:1091-1095
- KCPA. (2012) User's manual of pesticides. pp.446, 761. Korea Crop Protection Association.
- Kim, K. H., Y. S. Lee, S. Y. Park, Y. S. Park and J. H. Kim (2001) Activity and control effects of insecticides to American serpentine leafminer, *Liriomyza trifoli* (Diptera: Agromyzidae). Korean J. Pestic. Sci. 5:46-54.
- Kim, S. K., G. Y. Lee, Y. H. Shin and G. H. Kim (2010). Chemical control effect against spot clothing wax cicada, *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae) nymphs and adults. Korean J. Pestic. Sci. 14:440-445.
- Kirkham, R. (1995) Potatoes. In: Coombs, B. (Ed.), Horticulture

- Australia. Khai Wah-Ferco Pty. Ltd., Singapore. pp. 250-256.
- Lee, J. E., D. K. Seo and G. H. Kim (2006). Effect of antibiotics insecticides on survival and reproduction of the serpentine leafminer, *Liriomyza trifoli*. Korean J. Pestic. Sci. 10:329-334.
- Raman, K. V. (1988a) Integrated insect pest management for potatoes in developing countries. C. I. P. Circular. 16:1-8.
- Raman, K. V. (1988b) Control of potato tuber moth *Phthorimaea operculella* with sex pheromones in peru. Agric. Ecosyst. Environ. 21:85-99.
- Rothschild, G. H. L. (1986) The potato moth-an adaptable pest of short-term cropping systems, pp. 142-162. In R. L. Kitching (ed.), The ecology of exotic animals and plants. Jacaranda-Wiley, Queensland, Australia. pp. 144-462.
- Saour, G. (2008) Effect of thiacloprid against the potato tuber moth *phthorimaea operculella* Zeller (Lepidoptera: Gelechiidae). J. Pest Sci. 81:3-8.
- SAS Institute (2009) SAS user' s guide; statistics, version 9. 1ed. SAS Institute, Cary, NC.
- Symington, C. A. (2003) Lethal and sublethal effects of pesticides on the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae) and its parasitoid *Orgilus lepidus* Muesebeck (Hymenoptera: Braconidae). Crop Prot. 22:513-519.
- Trumble, J. T., I. P. Ting and L. Bates (1985) Analysis of physiological growth and yeild responses of celery to *Liriomyza trifolii*. Entomol. Exp. Appl. 38:15-21.
- Voerman, S. and G. H. L. Rothschild (1978) Synthesis of the two components of the sex pheromone system of the potato tuberworm moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechidae) and field experience with them. J. Chem. Ecol. 4:531-542.

## 감자뽕나방에 대한 16종 살충제의 살충활성과 생물적 특성에 미치는 영향

안정진 · 박준원 · 김주일<sup>1</sup> · 김현경 · 구현나 · 김길하\*

충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과, <sup>1</sup>국립식량과학원 고령지농업연구센터

**요 약** 시판중인 16종의 살충제를 이용하여 감자뽕나방(*Phthorimaea operculella*)의 발육단계별 약제감수성을 조사하고, 효과가 뛰어난 약제를 선발하여 접촉 및 섭식독성과 잔효성을 조사하였다. 또한 성충에 대한 사충률과 수명 및 산란수에 미치는 영향을 조사하였다. 감자뽕나방의 알과 번데기에 대해서는 spinosad만이 추천농도에서 71.1%의 부화억제율과 66.7%의 우화억제율을 나타내었다. 3령 유충에 대한 섭식독성과 접촉독성 평가에서 90% 이상의 섭식 독성을 나타낸 약제는 fenitrothion (LC<sub>50</sub> 336.6 ppm), esfenvalerate (LC<sub>50</sub> 8.6 ppm), ethofenprox (LC<sub>50</sub> 35.7 ppm), emamectin benzoate (LC<sub>50</sub> 0.05 ppm)이고, 90% 이상의 접촉독성을 나타낸 약제는 esfenvalerate (LC<sub>50</sub> 0.87 ppm), ethofenprox (LC<sub>50</sub> 16.5 ppm), emamectin benzoate (LC<sub>50</sub> 0.53 ppm), spinosad (LC<sub>50</sub> 2.48 ppm)이었다. 성충에 대해서 추천농도로 살충율을 조사한 결과, 약제처리 48시간 후 deltamethrin과 spinosad가 100%, esfenvalerate, ethofenprox, thiamethoxam이 40~60%였으며, 그 외 약제는 효과가 거의 없었다. 암컷성충의 산란수는 무처리의 101개에 비하여 esfenvalerate 3.0개, emamectin benzoate 6.7개, dinotefuran 8.3개로 크게 억제되었다. 성충수명은 무처리의 9.3일에 비하여 시험약제는 7.3~8.3일로 약간 짧았다. 잔효성은 emamectin benzoate가 처리 후 14일까지도 100%의 높은 살충효과를 나타내었고, ethofenprox가 7일차까지 90% 이상의 살충효과를 보였다.

**색인어** *Phthorimaea operculella*, 섭식독성, 접촉독성, 잔효성, 반수치사농도(LC<sub>50</sub>)