



## 우리나라 미국흰불나방 지역 개체군들의 살충제에 대한 반응

이대건<sup>1†</sup> · 김경우<sup>1†</sup> · 정영학<sup>2</sup> · 이상명<sup>2</sup> · 김동수<sup>3</sup> · 김이슬<sup>4</sup> · 이동운<sup>1,4\*</sup><sup>1</sup>경북대학교 생태과학과, <sup>2</sup>주에스엠바이오비전,  
<sup>3</sup>국립산림과학원 산림바이오소재연구소, <sup>4</sup>경북대학교 질병매개무척추동물연구소Insecticidal Responses of Regional Populations  
of the *Hyphantria cunea* in KoreaDae Geun Lee<sup>1†</sup>, Kyeong Woo Kim<sup>1†</sup>, Young Hak Jung<sup>2</sup>, Sang Myeong Lee<sup>2</sup>,  
Dong Soo Kim<sup>3</sup>, Yi-seul Kim<sup>4</sup>, and Dong-Woon Lee<sup>1,4\*</sup><sup>1</sup>Department of Ecological Science, and <sup>4</sup>Research Institute of Invertebrate Vector,  
Kyungpook National University, Sangju 37224, Republic of Korea<sup>2</sup>SM Biovision Co., Jinju 52849, Republic of Korea<sup>3</sup>Forest Biomaterial Center, National Institute of Forest Science, Jinju 52817, Republic of Korea.

(Received on March 30, 2025. Revised on April 25, 2025. Accepted on April 26, 2025)

**Abstract** The fall webworm, *Hyphantria cunea*, is a polyphagous pest found on trees in residential areas nationwide and causes significant damage by eating leaves. In comparison with pest control for crops, the frequency of pest control for trees in residential areas is relatively limited. However, in the case of the fall webworm, there are differences in the history of pesticide exposure by region. Therefore, this study examined the response to eight insecticides registered as fall webworm control agents (Carbaryl WP, Chlorfenapyr SC, Deltamethrin EC, Emamectin benzoate EC, Diflubenzuron SC, Fenitrothion EC, Flubendiamide SC, and Metaflumizone EC). The response was observed through the indoor controlled spraying of insecticide on third instar larvae collected from 17 cities and counties in different regions. The mortality of the fall webworm due to pesticides increased in a dose-dependent manner and the number of days after pesticide treatment. Furthermore, the mortality rate of fall webworm was variable and dependent on the type of pesticide used. Chlorfenapyr was determined to have the lowest efficacy rate while emamectin benzoate had the highest efficacy. At recommended concentrations, there were no differences after seven days of treatment between the efficacy of all insecticides on regional populations of fall webworm, with the exception of chlorfenapyr. In conclusion, this study determined that the fall webworm does not have resistance to these insecticides, and thus, they can be used practically and effectively.

**Key words:** Bioassay, Efficacy, Insecticide resistance, Living area trees, Mortality

## 서 론

미국흰불나방 [*Hyphantria cunea* (Drury)]은 북미와 멕시코가 원산지인 나비목 태극나방과 해충으로 3~4령기까지는 실을 토해 잎을 찢고 집단으로 섭식하다가 이후에는 분산하여

잎맥을 제외한 잎 전체를 갉아먹는 피해를 입히는데 1940년에 헝가리, 1945년 일본 등지에서 기록된 이후 유럽과 아시아 지역으로 확산되어 침엽수를 제외한 각종 조경수나 유실수, 작물들에 피해를 입히고 있다 (Johnson and Lyon, 1991; Emura et al., 2012; Hong et al., 2019). 미국에서는 미국흰불나방의 기주로는 최소 88종의 수목들이 알려져 있으며 유럽에서는 230종, 일본에서는 317종의 식물에 피해를 주는 것으로 알려져 있다 (Johnson and Lyon, 1991). 우리나라에서는 1958년 서울 이태원의 미군 주둔지 부근 가로수에서 처음 발견

<sup>†</sup>The authors contributed equally to this work

\*Corresponding author

E-mail: whitegrub@knu.ac.kr

(Woo, 1961) 된 이후 1967년에는 강릉, 영주, 대구, 이리, 광주 등으로 확산되었으며(Ko and Lee, 1968) 2011년 전국 단위 조사결과 제주를 제외한 전국의 35개 시·군에서 발생과 피해가 확인되었다(Kim and Kil, 2012). 우리나라에서 미국흰불나방의 기주식물로 기록된 식물들은 62과 219종으로 서식지는 가로수가 66.7%로 가장 많고, 조경수, 산림순으로 나타났다(Kim and Kil, 2012). 2019년부터 2021년까지 주요 생활권 수목인 벚나무류와 단풍나무류, 느티나무(*Zelkova serrata*), 철쭉류, 무궁화(*Hibiscus syriacus*)에서 나비목 곤충의 발생 양상을 조사한 결과 미국흰불나방은 느티나무를 제외한 모든 수종에서 발생이 확인되었는데 지역 간에 발생밀도에 차이가 있었다(Ahn et al., 2022). 한편 미국흰불나방은 전북지역의 뽕나무(*Morus alba*)에도 주요 해충으로 조사되었다(Lim et al., 2017). 미국흰불나방이 침입해충임에도 불구하고, 우리나라에서 다양한 천적류들이 보고되었는데 Kim et al.(1968)은 기생성 천적 27종과 포식성 천적 27종, 곤충병원성곰팡이 6종을 기록하였다. 이들 천적 이외에도 곤충병원성세균이나 곤충병원성선충도 미국흰불나방의 생물적 방제인자로 활용가능성이 보고되었으며(Cheon et al., 1995; Park et al., 2004) 뽕나무와 같이 화학농약의 사용이 제한적인 수목에 대해서는 적용 가능한 유기농자재의 살충 효과에 관한 연구도 수행되었다(Park et al., 2019). 다양한 생물적 방제인자들이 미국흰불나방 방제에 적용 가능성이 있음에도 불구하고, 과수나 작물과 같이 농작물을 가해하는 미국흰불나방 방제를 위해 다양한 농약들이 등록되어 사용되고 있는데 미국흰불나방 방제용 농약으로 등록된 품목 수는 56품목에 달한다(RDA, 2025). 미국흰불나방은 농경지뿐만 아니라 산림이나 생활권에 대발생하여 근거리에서 집단적으로 기주식물을 집중 가해하여 조경수로서의 기능을 저해하고, 급격한 개체군 증가로 지역민들에게 혐오와 위협의 대상이 되고 있다. 이로 인해 다른 생활권 수목에 발생하는 해충들과는 달리 방제 요구도가 높아 관엽류를 제외한 9종의 조경수에 106 종류의 농약이 등록되어 있다(RDA, 2025). 한편 생활권 수목의 병해충 방제는 국·공립 나무병원의 진

단과 처방에 의해 이루어지는데 2022년 해충에 의한 피해가 전체 생물적 원인에 의한 피해의 61.7%를 차지하였고(Park et al., 2023a), 2022년 생활권 공공지원 수목 진료 컨설팅 처방전 분석 결과 살충제로 처방된 농약은 139종이었는데, 아세타미프리드 수화제가 14.4%, 페니트로티온 유제가 8.1% 처방되어 특정 농약의 편중도가 높은 편이었다(Park et al., 2023b).

산림 내 수목의 경우 일반 농경지의 작물에 비해 농약 사용이 제한적이지만 생활권 수목의 경우 특정 해충이 매년 반복적으로 발생하고, 년 발생 횟수가 미국흰불나방과 같이 2~3회 발생될 경우 농약의 연속 사용이 불가피한 경우가 많다. 또한 Park et al.(2023b)의 보고서에서 분석된 자료처럼 특정 농약의 처방빈도가 14.4%에 이르는 경우와 같이 사용 농약의 편중도가 심화되면 반복적인 약제 노출에 의한 저항성 개체의 출현 위험성이 증가된다. 따라서 본 연구는 최근 우리나라에서 전국적으로 피해가 만연하고 있는 미국흰불나방 지역개체군의 약제별 반응을 평가하여 효과적인 방제의 기초자료를 얻기 위하여 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 농약

실험에 이용한 살충제는 미국흰불나방 방제 농약으로 등록되어 있는 살충제들 중 작용기작이 다른 살충제들을 선정하였는데 아세틸콜린에스트라제를 저해하는 1번 그룹의 약제에서는 1a에 속하는 카바메이트계와 1b에 속하는 유기인계 약제를 모두 선정하여 실험에 이용하였다(Table 1). 실험 농약들은 농약 판매상을 통해 구입하여 사용하였다.

### 공시충 채집

미국흰불나방의 채집지역은 경기도 안성과 경남 고성, 사천, 진주, 함안, 경북 구미, 상주, 문경, 의성, 전남 강진, 전북 김제, 부안, 충남 논산, 충북 괴산, 영동, 청주, 충주 지역에서 채집하였다. 미국흰불나방의 채집은 7월 하순에서 8월 상순에

**Table 1.** List of pesticides used in the experiment

Pesticide	IRAC mode of action classification	Active ingredient (%)	Recommended concentration (× fold)
Carbaryl WP <sup>a)</sup>	1a	50	1000
Chlorfenapyr SC	13	10	2000
Deltamethrin EC	3a	1	1000
Diflubenzuron SC	14	14	4000
Emamectin benzoate EC	6	2.15	2000
Fenitrothion EC	1b	50	1000
Flubendiamide SC	28	20	10000
Metaflumizone EC	22b	20	2000

발생지역의 피해 기주에서 기주식물과 함께 채집하였다. 분산기 이전의 미국흰불나방이 붙어있는 가지를 통째로 잘라 통풍이 잘되는 채집 용기에 넣어 실험실로 운반하였다. 채집한 미국흰불나방은 먹이가 충분히 공급될 수 있도록 기주식물을 충분히 넣어 운반하였다.

### 살충 활성 검증

지역별로 채집한 미국흰불나방 개체군들에 대한 실험 살충제들에 대한 약제 반응 생물 검증은 가정 원예용 손분무기를 이용하여 분무법으로 처리하였다. 뽕나무 잎에 각 지역에서 채집해 온 미국흰불나방 3령충 20마리를 접종한 뒤 가정 원예용 5 L 손분무기(AF652, Apollo, Daejeon)로 희석한 농약을 잎의 앞면과 뒷면에 고루 살포하였다. 각각의 살충제들을 제조사의 추천 농도와 추천 농도의 1/2배 그리고 1/4배 농도로 희석하여 살포하였고, 무처리구는 물만 살포하였다. 증류수에 적신 여과지 1매를 간 직경 9 cm, 높이 4 cm 곤충사육용기(10090, SPL, Pocheon)에 약제를 살포한 뽕잎을 넣고, 약제 처리 1, 3, 5, 7일 후에 움직임이 없는 치사된 개체수를 확인하였으며 실험은 한 개의 곤충사육용기를 한 반복으로 3 반복으로 수행하였다.

### 통계분석

미국흰불나방 채집 지역별과 처리 약제별로 처리 농도와 조사시기에 따른 약제반응 요인을 파악하기 위하여 각 인자에 대한 요인분석을 하였으며 채집지역별에 대한 약제별 살충율은 보정사충율을 구하여 SAS 프로그램을 이용하여 처리 평균간 차이를 분산분석하였다(SAS/STAT® 9.3 user's guide, 2011).

## 결 과

미국흰불나방 채집지역에 따른 살충제별 살충효과를 권장 농도와 1/2배량, 1/4배량 농도에서 조사한 결과 약종과 농도, 처리 후 경과 일수, 채집지역은 치사율에 영향을 미쳤다(Table 2).

모든 약제와 채집 지역 개체군들은 약량이 증가되거나 처리 후 경과 일수가 길어질수록 약효가 증가하였다(Table 2).

처리 살충제 종류별에 따라라도 약효에 차이를 보였는데(Table 2) 실험에 사용한 8종의 살충제들 중 클로르페나피르의 살충 효과가 가장 낮게 나타났으며(Table 4) 에마멕틴벤조에이트는 모든 채집 지역 계통에 대해 1/4배량에서도 처리 5일차부터 100% 치사율을 보였다(Table 7).

카바릴은 권장량 처리 시 처리 3일차와 5일차에는 지역 개체군별로 약효의 차이가 있었으나 처리 7일 후에는 모든 지역계통에서 89.8%이상의 보정사충율을 보여 지역간 차이가 없었다(Table 3).

클로르페나피르는 모든 미국흰불나방 지역 개체군에서 낮은 방제 효과를 보여 권장량 처리에서도 약제 처리 7일 후까지 20%미만의 낮은 치사율을 보였으며 안성, 부안, 충주, 강진, 김제, 진주, 사천 지역 개체군에서는 7일 후까지 치사되는 개체가 없었다(Table 6).

델타메트린 처리는 권장량의 1/2배량 처리에서도 약제 처리 3일후부터 대부분의 지역 개체군에서 95%이상의 치사율을 보였으며 7일후에는 모든 지역 개체군들이 권장량 농도에서 100% 치사되었다(Table 5). 또한 권장량의 1/4배량 처리에서도 처리 7일 후에 고성과 영동지역 개체군을 제외한 나머지 지역 개체군에서 90%이상의 치사율을 보였다(Table 5).

**Table 2.** Analysis of variance for main effects and interaction of locality, insecticide, concentration and day after treatment in mortality of *Hyphantria cunea*

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Locality (X1)	14	74723.36	5337.382	97.15	<.0001
Insecticide (X2)	7	2878820	411260.007	7485.42	<.0001
Concentration (X3)	2	71323.55	35661.776	649.09	<.0001
Day after treatment (X5)	2	169596.2	84798.098	1543.43	<.0001
X1*X2	95	198536.2	2089.855	38.04	<.0001
X1*X3	28	21712.67	775.453	14.11	<.0001
X1*X5	28	19030.63	679.665	12.37	<.0001
X2*X3	14	67295.15	4806.796	87.49	<.0001
X2*X5	14	243909.3	17422.091	317.1	<.0001
X3*X5	4	3509.047	877.262	15.97	<.0001
X1*X2*X3	189	57376.67	303.58	5.53	<.0001
X1*X2*X5	188	84516.74	449.557	8.18	<.0001
X2*X3*X5	28	6876.916	245.604	4.47	<.0001
X1*X2*X3*X5	431	30704.15	71.239	1.3	0.0002

**Table 3.** Lethal effect according to carbaryl treatment concentration and day after treatment on local strains of *Hyphantria cunea* in laboratory

Locality	Corrected mortality (%) ± standard deviation								
	3 days after treatment			5 days after treatment			7 days after treatment		
	1/4 R <sup>a)</sup>	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R
Anseong	70.2±16.1bc <sup>b)</sup>	94.7±5.3ba	100±0a	75.4±10.9b-c	96.5±3.1ba	100±0a	86.0±19.9b-c	100±0a	100±0a
Buan	95.0±5.0a	88.3±12.6b-c	93.3±5.8b-c	98.3±2.9a	90.0±10.0b-c	93.3±5.8ba	100±0a	93.3±7.6b-c	95.0±5.0a
Cheongju	46.7±7.6dc	90.0±8.7b-c	91.7±2.9b-c	71.7±2.9e-c	93.3±7.6b-c	93.3±2.9ba	78.3±7.6d-c	100±0a	100±0a
Chungju	33.3±10.4dc	50.0±13.2d	73.3±10.4bc	38.3±14.4gf	68.3±7.6dc	80.0±13.2b	76.7±12.6f-c	88.3±7.6b-c	96.7±5.8a
Gangjin	43.3±5.8dc	58.3±14.4dc	68.3±5.8c	54.4±3.1e-f	68.4±9.1dc	96.5±3.1ba	71.9±3.1f-e	86.0±13.2b-c	100±0a
Gimje	36.7±12.6dc	86.7±7.6b-c	88.3±12.6b-c	43.3±14.4e-f	86.7±7.6b-c	96.7±2.9ba	71.7±16.1f-c	95.0±5.0b-c	98.3±2.9a
Goesan	13.3±2.9d	46.7±15.3d	68.3±11.5c	15.0±5.0g	65.0±21.8dc	88.3±7.6ba	41.7±7.6fg	91.7±10.4b-c	100±0a
Goseong	39.0±5.1dc	47.5±7.7d	69.5±15.3c	44.1±5.1e-f	61.0±5.9d	84.7±5.1ba	62.7±2.9fe	79.7±5.1b-c	89.8±5.1a
Gumi	66.7±14.4bc	75.0±5.0b-c	91.7±2.9b-c	71.7±10.4e-c	85.0±5.0b-c	93.3±5.8ba	74.7±5.1f-c	88.2±2.9b-c	96.6±2.9a
Haman	60.0±26.5bc	91.7±7.6ba	91.7±5.8b-c	70.0±17.3e-c	91.7±7.6b-c	95.0±5.0ba	84.7±5.1b-c	93.2±5.9b-c	94.9±5.1a
Jinju	83.3±7.6ba	95.0±5.0a	86.7±15.3b-c	88.3±5.8ba	95.0±5.0a	95.0±5.0ba	91.7±2.9b-c	96.7±5.8ba	96.7±2.9a
Mungyeong	39.4±13.3dc	64.6±13.3b-c	91.6±2.9b-c	45.6±11.8e-f	71.1±2.9b-c	94.9±0.0ba	72.8±2.9f-c	76.2±7.8dc	98.3±2.9a
Nonsan	50.0±5.0dc	66.7±12.6b-c	73.3±14.4bc	53.3±2.9e-f	66.7±12.6dc	85.0±8.7ba	73.3±5.8f-c	78.3±2.9dc	91.7±2.9a
Sacheon	70.0±10bc	76.7±10.4b-c	95.0±8.7ba	73.3±7.6e-c	88.3±7.6b-c	95.0±8.7ba	85.0±5.0b-c	95.0±0.0b-c	98.3±2.9a
Sangju	66.7±14.4bc	75.0±5.0b-c	91.7±2.9b-c	71.7±10.4e-c	85.0±5.0b-c	93.3±5.8ba	74.9±5.2f-c	88.2±2.9b-c	96.6±2.9a
Uiseong	19.2±18.2dc	46.1±10.5b-c	52.8±10.5bc	83.2±5.8b-c	84.8±10.1b-c	96.6±2.9ba	96.6±2.9ba	98.3±2.9a	100±0a
Yeongdong	15.0±5.0d	65.0±8.7b-c	81.7±10.4bc	15.0±5.0g	68.3±5.8dc	88.3±2.9ba	18.3±2.9g	68.3±5.8d	93.3±2.9a

<sup>a)</sup>Recommended concentration.<sup>b)</sup>Means followed by same lower letters in each insecticide column are not significantly different (Tuckey's HSD test,  $P<0.05$ ).**Table 4.** Lethal effect according to chlorfenapyr treatment concentration and day after treatment on local strains of *Hyphantria cunea* in laboratory

Locality	Corrected mortality (%) ± standard deviation								
	3 days after treatment			5 days after treatment			7 days after treatment		
	1/4 R <sup>a)</sup>	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R
Anseong	0±0a <sup>b)</sup>	0±0a	0±0b	0±0b	0±0b	0±0b	0±0b	0±0c	0±0c
Buan	0±0a	0±0a	0±0b	0±0b	0±0b	6.7±11.5ba	0±0b	0±0c	0±0c
Cheongju	0±0a	0±0a	0±0b	0±0b	0±0b	1.7±2.9b	1.7±2.9b	5.0±5.0bc	10.0±5.0b-c
Chungju	1.7±2.9a	1.7±2.9a	0±0b	1.7±2.9ba	1.7±2.9ba	0±0b	1.7±2.9b	1.7±2.9c	0±0c
Gangjin	0±0a	0±0a	5.0±5.0ba	0±0b	0±0b	0±0b	0±0b	0±0c	0±0c
Gimje	0±0a	0±0a	0±0b	0±0b	0±0b	0±0b	0±0b	1.7±2.9c	0±0c
Goesan	0±0a	1.7±2.9a	6.7±5.8ba	0±0b	3.3±2.9ba	8.3±2.9ba	0±0b	5.0±5.0bc	8.3±2.9bc
Goseong	0±0a	0±0a	0±0b	0±0b	0±0b	0±0b	0±0b	1.1±2.0c	2.8±4.9c
Gumi	3.3±2.9a	6.7±7.6a	6.7±2.9ba	3.3±2.9ba	10±5a	13.3±2.9a	4.4±4.6ba	12.4±2.9ba	15.8±2.9ba
Haman	0±0a	0±0a	0±0b	1.7±2.9ba	3.3±2.9ba	1.7±2.9b	1.1±2.0b	2.3±2.0c	1.1±2.0c
Jinju	0±0a	0±0a	0±0b	0±0b	0±0b	0±0b	0±0b	0±0c	0±0c
Mungyeong	1.3±2.3a	0±0a	0±0b	1.0±1.8ba	2.7±4.7ba	1.0±1.8b	6.5±2.9ba	8.2±5.1b-c	13.3±0ba
Nonsan	0±0a	0±0a	0±0b	0±0b	0±0b	0±0b	1.7±2.9b	3.3±2.9c	1.7±2.9c
Sacheon	0±0a	0±0a	0±0b	0±0b	0±0b	0±0b	0±0b	0±0c	0±0c
Sangju	3.3±2.9a	6.7±7.6a	6.7±2.9ba	3.3±2.9ba	10±5a	13.3±2.9a	4.4±4.6ba	12.4±2.9ba	15.8±2.9ba
Uiseong	3.0±5.3a	6.0±7.3a	7.4±5.8ba	5.7±2.9a	10.8±7.7a	14.1±5.1a	10.8±2.9a	15.8±2.9a	19.2±8.7a
Yeongdong	1.7±2.9a	3.3±2.9a	10.0±5.0a	1.7±2.9ba	3.3±2.9ba	10.0±5.0ba	1.7±2.9b	5.0±0.0bc	10.0±5.0b-c

<sup>a)</sup>Recommended concentration.<sup>b)</sup>Means followed by same lower letters in each insecticide column are not significantly different (Tuckey's HSD test,  $P<0.05$ ).

**Table 5.** Lethal effect according to deltamethrin treatment concentration and day after treatment on local strains of *Hyphantria cunea* in laboratory

Locality	Corrected mortality (%) $\pm$ standard deviation								
	3 days after treatment			5 days after treatment			7 days after treatment		
	1/4 R <sup>a)</sup>	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R
Anseong	98.2 $\pm$ 3.1ba <sup>b)</sup>	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Buan	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Cheongju	86.7 $\pm$ 10.4b-c	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	95.0 $\pm$ 8.7a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Chungju	95.0 $\pm$ 5.0b-c	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	96.7 $\pm$ 5.8a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Gangjin	75.0 $\pm$ 15.0b-c	96.7 $\pm$ 5.8a	98.3 $\pm$ 2.9ba	87.7 $\pm$ 16.9a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Gimje	86.7 $\pm$ 12.6b-c	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	95.0 $\pm$ 5.0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	98.3 $\pm$ 2.9a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Goesan	60.0 $\pm$ 15.0dc	88.3 $\pm$ 2.9b	100 $\pm$ 0a	88.3 $\pm$ 2.9a	98.3 $\pm$ 2.9a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Goseong	55.9 $\pm$ 23.5d	96.6 $\pm$ 2.9a	98.3 $\pm$ 2.9ba	81.3 $\pm$ 15.5a	98.3 $\pm$ 2.9a	98.3 $\pm$ 2.9a	81.3 $\pm$ 15.5b	98.3 $\pm$ 2.9a	100 $\pm$ 0a
Gumi	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Haman	80.0 $\pm$ 13.2b-c	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	86.7 $\pm$ 15.3a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	98.3 $\pm$ 2.9a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Jinju	93.3 $\pm$ 7.6b-c	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	98.3 $\pm$ 2.9a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	98.3 $\pm$ 2.9a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Mungyeong	94.9 $\pm$ 0.0b-c	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Nonsan	78.3 $\pm$ 33.3b-c	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	75.0 $\pm$ 39.1a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	90.0 $\pm$ 13.2ba	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Sacheon	95.0 $\pm$ 8.7b-c	100 $\pm$ 0a	88.3 $\pm$ 10.4b	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Sangju	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Uiseong	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Yeongdong	68.3 $\pm$ 7.6b-c	85.0 $\pm$ 0.0b	100 $\pm$ 0a	81.7 $\pm$ 2.9a	91.7 $\pm$ 2.9b	100 $\pm$ 0a	81.7 $\pm$ 2.9b	95.0 $\pm$ 0.0b	100 $\pm$ 0a

<sup>a)</sup>Recommended concentration.<sup>b)</sup>Means followed by same lower letters in each insecticide column are not significantly different (Tuckey's HSD test,  $P < 0.05$ ).**Table 6.** Lethal effect according to diflubenzuron treatment concentration and day after treatment on local strains of *Hyphantria cunea* in laboratory

Locality	Corrected mortality (%) $\pm$ standard deviation								
	3 days after treatment			5 days after treatment			7 days after treatment		
	1/4 R <sup>a)</sup>	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R
Anseong	35.1 $\pm$ 18.5b-c <sup>b)</sup>	47.4 $\pm$ 10.6b-c	52.6 $\pm$ 5.3b	43.9 $\pm$ 2.7de	66.7 $\pm$ 10.9e-f	63.2 $\pm$ 15.8b	93.0 $\pm$ 3.0ba	91.2 $\pm$ 11.0a	96.5 $\pm$ 6.1a
Buan	20.0 $\pm$ 10.0dc	25.0 $\pm$ 10.0d-c	35.0 $\pm$ 17.3b	88.3 $\pm$ 11.5ba	95.0 $\pm$ 8.7b-c	90.0 $\pm$ 0.0ba	98.3 $\pm$ 2.9a	98.3 $\pm$ 2.9a	100 $\pm$ 0a
Cheongju	13.3 $\pm$ 2.9d	11.7 $\pm$ 2.9de	6.7 $\pm$ 2.9b	18.3 $\pm$ 2.9e	55.0 $\pm$ 5.0ef	68.3 $\pm$ 7.6b	65.0 $\pm$ 10.0a	88.3 $\pm$ 2.9a	93.3 $\pm$ 2.9a
Chungju	6.7 $\pm$ 2.9d	6.7 $\pm$ 2.9e	28.3 $\pm$ 7.6b	18.3 $\pm$ 12.6e	23.3 $\pm$ 11.5f	56.7 $\pm$ 12.6b	88.3 $\pm$ 2.9ba	93.3 $\pm$ 7.6a	98.3 $\pm$ 2.9a
Gangjin	21.7 $\pm$ 2.9dc	30.0 $\pm$ 10.0d-c	33.3 $\pm$ 7.6b	79.0 $\pm$ 9.1b-c	61.4 $\pm$ 11.0e-f	84.2 $\pm$ 19ba	85.9 $\pm$ 12.2ba	91.2 $\pm$ 3.0a	93.0 $\pm$ 8.0a
Gimje	56.7 $\pm$ 22.5b-c	80.0 $\pm$ 13.2ba	51.7 $\pm$ 10.4b	93.3 $\pm$ 2.9a	96.7 $\pm$ 5.8b-c	91.7 $\pm$ 2.9ba	96.7 $\pm$ 2.9a	98.3 $\pm$ 2.9a	98.3 $\pm$ 2.9a
Goesan	8.3 $\pm$ 5.8d	6.7 $\pm$ 2.9e	8.3 $\pm$ 5.8b	15.0 $\pm$ 5.0e	63.3 $\pm$ 5.8e-f	78.3 $\pm$ 2.9b	61.7 $\pm$ 7.6b	88.3 $\pm$ 7.6a	98.3 $\pm$ 2.9a
Goseong	27.1 $\pm$ 2.9b-c	18.6 $\pm$ 8.8de	22.0 $\pm$ 2.9b	74.6 $\pm$ 8.8b-c	72.9 $\pm$ 10.6e-f	74.6 $\pm$ 5.1b	89.8 $\pm$ 17.6ba	91.5 $\pm$ 5.9a	94.9 $\pm$ 5.1a
Gumi	23.3 $\pm$ 5.8dc	25.0 $\pm$ 5.0d-c	35.0 $\pm$ 10.0b	91.7 $\pm$ 2.9ba	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	98.3 $\pm$ 2.9a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Haman	65.0 $\pm$ 0.0ba	65.0 $\pm$ 5.0b-c	38.3 $\pm$ 37.5b	88.3 $\pm$ 7.6b-c	95.0 $\pm$ 5.0e-c	81.7 $\pm$ 18.9ba	98.3 $\pm$ 2.9a	100 $\pm$ 0a	98.3 $\pm$ 2.9a
Jinju	35.0 $\pm$ 25.0b-c	50.0 $\pm$ 45.8b-c	31.7 $\pm$ 54.8b	58.3 $\pm$ 22.5b-c	68.3 $\pm$ 46.5e-f	73.3 $\pm$ 18.9b	86.7 $\pm$ 7.6ba	90.0 $\pm$ 17.3a	93.3 $\pm$ 7.6a
Mungyeong	17.5 $\pm$ 7.7dc	19.2 $\pm$ 13.3de	29.3 $\pm$ 13.4b	38.8 $\pm$ 10.2de	50.7 $\pm$ 7.8f	64.3 $\pm$ 5.1b	86.4 $\pm$ 7.8ba	88.1 $\pm$ 5.9a	94.9 $\pm$ 5.1a
Nonsan	0 $\pm$ 0d	0 $\pm$ 0e	13.3 $\pm$ 2.9b	51.7 $\pm$ 12.6d-c	63.3 $\pm$ 10.4e-f	68.3 $\pm$ 7.6b	86.7 $\pm$ 2.9ba	91.7 $\pm$ 10.4a	98.3 $\pm$ 2.9a
Sacheon	55.0 $\pm$ 30.0b-c	38.3 $\pm$ 12.6d-c	33.3 $\pm$ 16.1b	73.3 $\pm$ 20.8b-c	65 $\pm$ 26.5e-f	68.3 $\pm$ 15.3b	91.7 $\pm$ 10.4ba	91.7 $\pm$ 5.8a	95.0 $\pm$ 5.0a
Sangju	23.3 $\pm$ 5.8dc	25.0 $\pm$ 5.0d-c	35.0 $\pm$ 10.0b	91.6 $\pm$ 2.8ba	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	98.3 $\pm$ 2.9a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Uiseong	76.4 $\pm$ 7.7a	88.2 $\pm$ 5.8a	94.9 $\pm$ 5.1b	93.2 $\pm$ 7.7a	98.3 $\pm$ 2.9ba	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a	100 $\pm$ 0a
Yeongdong	23.3 $\pm$ 7.6dc	30.0 $\pm$ 5.0d-c	43.3 $\pm$ 2.9a	45.0 $\pm$ 13.2de	63.3 $\pm$ 7.6e-f	80.0 $\pm$ 10.0b	61.7 $\pm$ 10.4b	83.3 $\pm$ 5.8a	85.0 $\pm$ 5.0a

<sup>a)</sup>Recommended concentration.<sup>b)</sup>Means followed by same lower letters in each insecticide column are not significantly different (Tuckey's HSD test,  $P < 0.05$ ).

**Table 7.** Lethal effect according to emamectin benzoate treatment concentration and day after treatment on local strains of *Hyphantria cunea* in laboratory

Locality	Corrected mortality (%) ± standard deviation								
	3 days after treatment			5 days after treatment			7 days after treatment		
	1/4 R <sup>a)</sup>	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R
Anseong	100±0a <sup>b)</sup>	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Buan	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Cheongju	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Chungju	96.7±5.8a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Gangjin	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Gimje	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Goesan	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Goseong	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Gumi	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Haman	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Jinju	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Mungyeong	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Nonsan	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Sacheon	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Sangju	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Uiseong	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Yeongdong	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a

<sup>a)</sup>Recommended concentration.<sup>b)</sup>Means followed by same lower letters in each insecticide column are not significantly different (Tuckey's HSD test,  $P < 0.05$ ).**Table 8.** Lethal effect according to fenitrothion treatment concentration and day after treatment on local strains of *Hyphantria cunea* in laboratory

Locality	Corrected mortality (%) ± standard deviation								
	3 days after treatment			5 days after treatment			7 days after treatment		
	1/4 R <sup>a)</sup>	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R
Anseong	100±0a <sup>b)</sup>	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Buan	85.0±17.3b-c	100±0a	100±0a	90.0±17.3ba	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Cheongju	56.7±17.6e-c	85.0±13.2e-c	95.0±5.0b-a	65.0±10.0e-c	91.7±7.6b-c	95.0±5.0ba	80.0±8.7dc	98.3±2.9ba	100±0a
Chungju	40.0±8.7e-g	73.3±17.6e-c	80.0±0.0dc	43.3±2.9e-f	76.7±20.2b-c	86.7±5.8b	48.3±2.9d	83.3±12.6bc	91.7±2.9c
Gangjin	51.7±7.6e-g	63.3±18.9e-f	95.0±5.0b-c	54.4±11.0e-f	66.7±16.1e-c	100±0a	73.7±5.3dc	82.5±8.0bc	100±0a
Gimje	46.7±15.3e-g	98.3±2.9ba	100±0a	58.3±7.6ed	100±0a	100±0a	61.7±7.6dc	100±0a	100±0a
Goesan	6.7±7.6g	63.3±15.3e-f	98.3±2.9ba	10.0±5.0f	83.3±5.8b-c	100±0a	55.0±10.0dc	100±0a	100±0a
Goseong	33.9±10.2e-g	61.0±5.9e-f	89.8±5.1b-c	45.8±10.6e-f	83±2.9b-c	100±0a	66.1±7.8dc	96.6±5.9ba	100±0a
Gumi	61.3±12.7e-c	78.1±12.7e-c	100±0a	64.3±13.5e-c	81.3±7.8b-c	100±0a	67.4±10.8dc	89.7±5.2b-c	100±0a
Haman	70.0±17.3e-c	98.3±2.9ba	100±0a	78.3±12.6b-c	100±0a	100±0a	81.4±17.9bc	100±0a	100±0a
Jinju	98.3±2.9ba	93.3±11.5bc	100±0a	100±0a	95.0±8.7ba	100±0a	98.3±2.9ba	93.3±11.5b-c	100±0a
Mungyeong	17.8±23.5fg	47.8±2.9ef	73.0±7.7d	42.2±2.9e-f	54.1±5.1ed	83.0±2.9b	64.3±5.1dc	74.5±8.8c	94.9±5.1bc
Nonsan	46.7±7.6e-g	65.0±13.2e-c	88.3±5.8b-c	53.3±2.9e-f	75.0±15.0b-c	100±0a	60.0±5.0dc	81.7±10.4bc	100±0a
Sacheon	80.0±15.0b-c	98.3±2.9ba	100±0a	88.3±10.4b-c	100±0a	100±0a	96.7±5.8ba	100±0a	100±0a
Sangju	50.0±0.0e-g	90.0±8.7b-c	98.3±2.9ba	55.0±5.0e-f	95.0±5.0ba	100±0a	61.3±2.9dc	98.3±2.9ba	100±0a
Uiseong	20.8±11.7fg	39.4±13.4f	78.1±24.9dc	24.2±13.4ef	42.7±7.7e	81.5±27.8b	61.3±7.7dc	74.7±5.1c	98.3±2.9ba
Yeongdong	45.0±5.0e-g	75.0±10.0e-c	85.0±8.7b-c	50.0±5.0e-f	78.3±10.4b-c	91.7±5.8ba	51.7±7.6d	81.7±11.5bc	93.3±2.9c

<sup>a)</sup>Recommended concentration.<sup>b)</sup>Means followed by same lower letters in each insecticide column are not significantly different (Tuckey's HSD test,  $P < 0.05$ ).

**Table 9.** Lethal effect according to flubendiamide treatment concentration and day after treatment on local strains of *Hyphantria cunea* in laboratory

Locality	Corrected mortality (%) ± standard deviation								
	3 days after treatment			5 days after treatment			7 days after treatment		
	1/4 R <sup>a)</sup>	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R
Anseong	33.3±16.9de <sup>b)</sup>	31.6±24.1ef	61.4±16.0de	56.2±29.9f-c	59.7±13.2f-e	78.9±10.6e-c	85.9±8.0ba	98.2±3.1a	100±0a
Buan	88.3±10.4ba	90.0±8.7b	85.0±10.0b-c	95.0±5.0ba	98.3±2.9a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Cheongju	91.7±2.9ba	86.7±5.8bc	93.3±2.9b-c	98.3±2.9ba	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Chungju	88.3±5.8b	93.3±2.9ba	100±0a	100±0a	95.0±0.0b-c	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Gangjin	10.0±5.0e	36.7±20.2ef	41.7±17.6e	52.6±27.8f-e	66.7±21.3f-c	79.0±19.0b-c	86.0±13.2ba	91.2±15.2ba	96.5±3.1ba
Gimje	31.7±17.6de	36.7±2.9ef	45.0±10.0e	76.7±17.6b-c	95.0±5.0ba	96.7±2.9b-c	86.7±12.6ba	100±0a	98.3±2.9a
Goesan	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Goseong	4.0±4.3e	52.6±5.8e-d	64.4±8.8d-c	54.2±5.1f-e	57.6±5.9fe	66.1±5.9e-f	83.0±2.9b	78.0±2.9bc	91.5±2.9b
Gumi	12.4±2.9e	20.9±2.9f	29.3±0.0e	57.5±7.8f-e	77.9±7.8b-c	93.2±5.9b-c	98.3±3.0ba	98.3±3a	100±0a
Haman	71.7±20.8bc	63.3±2.9e-d	78.3±20.2b-c	90.0±10.0b-c	100±0a	98.3±2.9ba	98.3±2.9ba	100±0a	100±0a
Jinju	16.7±15.3de	76.7±2.9b-d	88.3±2.9b-c	86.7±7.6b-c	95.0±5.0ba	100±0a	90.0±8.7ba	98.3±2.9a	100±0a
Mungyeong	17.5±11.7de	17.5±5.8f	20.9±10.5e	18.4±8.8f	25.2±2.9f	32.0±7.8f	91.5±5.9ba	91.5±2.9b-c	100±0a
Nonsan	5.0±5.0e	20.0±8.7f	55.0±5.0de	53.3±12.6f-e	56.7±2.9fe	56.7±5.8e-f	88.3±2.9ba	73.3±7.6c	90.0±5.0b
Sacheon	56.7±7.6dc	58.3±18.9ed	56.7±5.8de	93.3±7.6b-c	86.7±11.5b-c	95.0±5.0b-c	95.0±5.0ba	91.7±7.6b-c	98.3±2.9a
Sangju	11.7±5.8e	20.0±5.0f	31.7±5.8e	100±0a	96.7±5.8a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Uiseong	14.1±5.1de	19.2±5.1f	29.3±5.1e	29.3±5.1fe	32.6±2.9f	44.4±10.1ef	86.5±10.5ba	98.3±2.9a	100±0a
Yeongdong	78.3±2.9bc	78.3±10.4b-d	96.7±5.8ba	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a

<sup>a)</sup>Recommended concentration.

<sup>b)</sup>Means followed by same lower letters in each insecticide column are not significantly different (Tuckey's HSD test,  $P < 0.05$ ).

디플루벤주론은 처리 5일후에서는 12지역 개체군들이 90% 미만의 치사율을 나타내어 지역간 치사율에 차이를 보였다(Table 6). 그러나 처리 7일후에는 영동 지역 개체군을 제외한 모든 개체군들이 90%이상의 치사율을 나타내었고, 지역간 통계적 유의성은 없었다(Table 6).

에마멕틴벤조에이트는 모든 처리 농도에서 처리 3일차에도 96.7%이상의 치사율을 보여 시험에 사용한 농약들 중 가장 높은 살충 활성을 보였다(Table 7).

페니트로티온은 권장량 처리에서 약제 처리 5일후에 세 개 지역 개체군을 제외한 미국흰불나방에 대해 90%이상의 치사율을 보였으며 약제 처리 7일후에는 모든 지역 개체군들에 대해 91.7%이상의 높은 치사율을 보였다(Table 8).

플루벤디아미드는 권장량 처리 농도에서 약제 처리 5일 차까지는 지역 개체군별로 약제 반응의 차이가 있었지만 7일후에는 모든 지역 개체군에서 91.5%이상의 높은 치사율을 보였다(Table 9).

메타플루미다존은 처리 3일차부터 높은 치사율을 나타내었는데 처리 5일차에는 모든 처리 농도에서 91.7%이상의 치사율을 보였으며 7일차에는 문경의 1/4배량 처리를 제외한 모든 지역 개체군에 대해 100% 치사율을 보였다(Table 10).

## 고 찰

미국흰불나방 유충들은 실험에 사용한 살충제들에 대해

클로르페나피르를 제외하고 대부분 권장농도 처리에서 처리 7일차에 90%이상의 치사율을 보였고, 지역 개체군별로 치사율에 통계적 차이가 없었다. 또한 약효가 상대적으로 낮은 농약들의 경우 처리 3일차나 5일차에 지역별로 치사율에 차이를 보이는 경우들이 있었지만 에마멕틴 벤조에이트나 메타플루미존과 같이 약효가 우수한 약제들은 처리농도나 처리 후 조사 일에 관계없이 모든 지역 개체군들에 대해 높은 치사율을 나타내었다. 즉 살충활성이 높은 약제들의 경우 지역이나 처리일수에 관계없이 높은 치사율을 나타내지만 약효가 상대적으로 낮은 약제들의 경우 처리 후 경과 일수나 처리농도, 지역 개체군들에 따라 치사율에 편차가 있었다. 또한 권장량에서 90%이상의 치사율을 보이는 약제들 중에서도 에마멕틴 벤조에이트나 메타플루미존과 같이 가장 낮은 처리 농도인 1/4배량에서도 권장량과 대등한 약효를 보이는 살충제들이 있는 반면에 델타메트린과 같이 권장량에서는 모든 지역 개체군에 대해 100% 치사율을 보이지만 1/2배량이나 1/4배량에서는 지역 개체군별로 치사율에 차이를 보이는 경우도 있었다.

전체적으로 처리 후 경과 일수가 길어질수록 치사율이 높아지는 경향을 보였는데 플루벤디아미드나 디플루벤주론은 3일차에 비하여 5일차와 9일차로 갈수록 높은 치사율을 보여 처리 경과 일수에 따른 약효 차이가 많았다.

디플루벤주론은 benzoylurea 계통의 키틴 합성저해제로 지효성 약제이다. 동일 계통의 teflubenzuron이나 chlorfluazuron

**Table 10.** Lethal effect according to metaflumizone treatment concentration and day after treatment on local strains of *Hyphantria cunea* in laboratory

Locality	Corrected mortality (%) ± standard deviation								
	3 days after treatment			5 days after treatment			7 days after treatment		
	1/4 R <sup>a)</sup>	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R	1/4 R	1/2 R	R
Anseong	94.7±5.3a <sup>b)</sup>	98.2±3.1a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Buan	96.7±5.8a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Cheongju	91.7±5.8a	100±0a	98.3±2.9a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Chungju	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Gangjin	81.7±15.3a	98.3±2.9a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Gimje	95.0±8.7a	100±0a	98.3±2.9a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Goesan	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Goseong	94.9±5.1a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Gumi	94.9±5.1a	94.9±5.1a	100±0a	98.3±2.9ba	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Haman	86.7±5.8a	96.7±5.8a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Jinju	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Mungyeong	94.9±5.1a	100±0a	100±0a	96.6±2.9b	100±0a	100±0a	98.3±2.9a	100±0a	100±0a
Nonsan	90.0±13.2a	71.7±10.4b	96.7±5.8a	100±0a	91.7±2.9b	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Sacheon	98.3±2.9a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Sangju	98.3±2.9a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Uiseong	96.6±2.9a	98.3±2.9a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a
Yeongdong	98.3±2.9a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a	100±0a

<sup>a)</sup>Recommended concentration.

<sup>b)</sup>Means followed by same lower letters in each insecticide column are not significantly different (Tuckey's HSD test,  $P < 0.05$ ).

은 미국흰불나방 노숙유충에 대해 본 연구에 사용한 3령충보다 낮은 살충력을 보였지만 약제 처리 후 경과 일수에 따라 치사율이 점진적으로 서서히 증가하는 것으로 나타나(Kwon, 2025) 약제의 작용특성으로 인해 약효가 늦게 나타난 것으로 판단된다.

이러한 약제별에 따른 미국흰불나방의 약제반응이 농도나 처리 후 경과일, 지역간에 다양한 경향을 보임으로 인해 요인 분석의 결과가 지역이나 약종, 처리농도, 처리 후 경과일수 뿐만 아니라 지역과 약종, 지역과 농도, 지역과 처리 후 일수, 약종과 농도, 약종과 처리 후 경과 일수 등 전체 요인들의 상호작용이 있는 결과가 나온 것으로 생각된다.

약제의 농도나 처리 후 일수에 따른 살충력의 변화는 각각의 약제의 작용 특성에 의한 것으로 판단되는데 Kwon (2025)도 19종의 살충제를 이용한 미국흰불나방 노숙유충 대상 생물검정에서 약제의 종류에 따른 효과나 지속성의 차이를 보고하였다.

카바릴은 적용범위가 넓은 카바메이트계 살충제로 야외조건에서는 지속성이 낮은 것으로 알려져 있으며(Koshlukova and Reed, 2014) Kwon(2025)의 연구에서도 미국흰불나방 노숙유충에 대한 살충활성은 처리 5일차에 48.1%로 낮게 보고되었지만 본 연구에서는 권장량보다 낮은 농도에서는 치사율이 낮았

지만 권장량 처리의 경우 모든 지역 계통들에서 90%이상의 치사율을 나타내어 시험대상 해충의 채집지 차이에 따라 약제에 노출된 이력이 다른 것 때문일 것으로 추정된다.

클로르페나피르는 ADP를 ATP로 전환하는 것을 방해하여 곤충의 에너지 대사 장애를 유발시켜 치사 시키는 기작을 가진 살충제로 천연물인 디옥사피롤로마이신에서 유래된 N-치환 할로겐화 피롤 물질로 광범위한 해충들에 대한 활성이 알려져 있다(Huang et al., 2023). 클로르페나피르는 파밤나방(*Spodoptera exigua*), 담배거세미나방(*Spodoptera litura*), 배추흰나비(*Pieris rapae*), 배추좀나방(*Plutella xylostella*)과 같은 나방류 해충 뿐만 아니라 총채벌레, 응애, 노린재 등에도 활성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다(Ullah and Shad, 2017; Huang et al., 2023). 클로르페나피르가 다양한 해충들에 대한 살충활성이 알려져 있음에도 불구하고 실험에 이용한 모든 지역의 미국흰불나방에 대해서 치사효과가 낮거나 없는 결과를 보였다. 본 실험에서 클로르페나피르의 약효가 낮게 나타난 원인이 밤나방이나 좀나방과 해충에 비해 불나방과 해충에 대해 상대적으로 낮은 살충활성을 보이기 때문인지 대상해충에 대한 발육단계별에 따른 약효 반응의 차이가 많기 때문인지, 또는 저항성 발현에 의한 결과인지에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

파키스탄의 목화재배지에서 채집한 *Earias vittella* 푸른나방에 대한 다양한 계통들의 농약에 대한 약제반응 연구에서 기존의 다른 연구의 실험 대상 밤나방과 해충들[담배거세미나방이나 왕담배나방(*Helicoverpa armigera*)]에 비하여 감수성이 상대적으로 높게 나타났는데 이는 해충별에 따른 약제 감수성의 차이에 기인한다고 하였다(Ahmad and Arif, 2009). 한편 클로르피나피르가 상업적으로 사용되지 않았지만 파키스탄의 목화 재배지에서 채집한 *Earias vittella* 푸른나방은 1999년 채집 때에 비하여 2004, 2005, 2006년 채집 개체군의 저항성 비가 25, 31, 74로 증가되었는데 이는 피레스로이드계 살충제와 같은 타 살충제 살포로 인한 교차저항성 발현 때문일 것으로 추정하였다(Ahmad and Arif, 2008). 클로르페나피르에 대한 저항성 유도 점박이응애(*Tetranychus urticae*)의 경우 아미트라즈나 비펜트린, 클로펜테진, 디메티오에이트에 대한 교차저항성이 높게 나타났다(Leeuwen et al., 2004). 따라서 우리나라에서도 이러한 교차저항성 발현에 의한 약제 감수성의 변화여부나 저항성 발달 여부에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

에마멕틴벤조에이트나 메타플루미존의 경우 권장량 농도에서도 처리 3일후에도 95%이상의 치사율을 보였으며 특히 에마멕틴벤조에이트는 1/4배량에서도 처리 3일째에 95%이상의 치사율을 보였고, 권장량의 반량에서도 처리 3일째에 100% 치사율을 보였다. Kwon(2025)의 미국흰불나방 노숙 유충을 대상으로 한 실험에서도 메타플루미존 유제는 처리 4일후에 100% 치사율을 나타내었고, 에마멕틴 벤조에이트는 처리 2일차에 100% 치사율을 나타내었다. 따라서 에마멕틴 벤조에이트의 경우 현재 설정된 권장량의 반량 수준에서도 분산기 이전의 미국흰불나방 유충에 대해 충분한 방제 효과를 나타낼 수 있을 것으로 판단되지만 야외 생물검증을 통한 실증시험이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

델타메트린의 경우 권장량의 반량 농도에서도 처리 5일째에 모든 미국흰불나방 지역계통들에 대해 90%이상의 치사율을 나타내었으며 7일차에는 모든 지역 계통에서 100% 치사율을 나타내었는데 미국흰불나방 노숙유충에 대해서도 처리 2일차에 100% 치사되었다(Kwon, 2025).

본 연구에서는 감수성 계통에 대한 약제 반응 조사가 이루어지지 않았지만 실험에 이용한 전체 살충제들 중 클로르페나피르를 제외한 모든 약제들이 처리 7일차에 대부분 90%이상의 치사율을 보였고, 지역간 치사율의 통계적 유의성이 없는 것을 감안 할 때 이들 약제에 대한 저항성 발현은 나타나지 않은 것으로 판단된다. 다만 클로르페나피르의 약효 저하의 원인에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개

발사업 ‘(RS-2024-00405244)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다. 실내실험에 도움을 준 Rosmery Malory Noli Erquinio에 감사를 포함합니다.

## 이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

## Author Information and Contributions

Dae Geun Lee and Kyeong Woo Kim: Kyungpook National University, Master Student,

Young Hak Jung and Sang Myeong Lee: SM Biovision Co, Doctor,

Dong Soo Kim: Forest Biomaterial Center, Doctor, Yi-seul Kim: Kyungpook National University, Research Professor,

DongWoon Lee, Kyungpook National University, Professor, ORCID <http://orcid.org/0000-0001-9751-5390>.

Research design; Lee DW, Lee SM, Jung YH, Kim DS, Investigation; Lee DG, Kim GW, Jung YH, Kim DS, Kim YS, Data analysis; Lee DW, Writing – original draft preparation; Lee DW, Writing – review & editing; Lee DG, Kim GW, Jung YH, Lee SM, Kim DS, Kim YS, Lee DW.

## Literate Cites

- Ahmad M, Arif MI, 2009. Resistance of Pakistani field populations of spotted bollworm *Earias vittella* (Lepidoptera: Noctuidae) to pyrethroid, organophosphorus and new chemical insecticides. *Pest Manag. Sci.* 65:433-439.
- Ahn S, Lee S, Kim J, Nam Y, Choi S, et al., 2022. Occurrence of lepidopteran insects in urban forests. *Korean J. Appl. Entomol.* 61(3):481-496. (In Korean)
- Cheon HM, Cho JH, Kang SK, Seo SJ, 1995. Studies on the toxicity of  $\delta$ -endotoxin of *Bacillus thuringiensis* to the several tissues of *Hyphantria cunea* Drury. *Korean J. Seric. Sci.* 37(1):62-67. (In Korean)
- Emura K, Kubota S, Hirai K, 2012. Guide to pest arthropods and beneficials in Japan field. Hokuryukan, Tokyo. Japan. Pp99-100.
- Hong KJ, Kim CE, Kwon GH, Lee KJ, Moon HJ, Moon SC, Woo KS, 2019. Tree insect pest. Hyangmunsa, Seoul. Korea. Pp251-253. (In Korean)
- Huang P, Yan X, Yu B, He X, Lu L, Ren Y, 2023. A comprehensive review of the current knowledge of chlorfenapyr: synthesis, mode of action, resistance, and environmental toxicology. *Molecules*, 28, 7673. <https://doi.org/10.3390/molecules28227673>

- Johnson WT, Lyon HH, 1991. Insects that feed on trees and shrubs. Cornell University Press, Ithaca, USA. pp. 166-167.
- Kim CW, Noh YT, Kim JI, 1968. Study on the natural enemies proper in Korea attacking fall webworm, *Hyphantria cunea* Drury. *Gonchung-yeonguji*, 4:17-36. (In Korean)
- Kim DE, Kil J, 2012. A report on the occurrence of and crop damage caused by *Hyphantria cunea* (Drury) with in Korea. *Kor. J. Appl. Entomol.* 51(3):285-293. (In Korean)
- Ko JH, Lee SO, 1968. Research on the distribution and damage of the fall webworm *Hyphantria cunea* Durury. *J. Korean Soc. For. Sci.* 7(1):35-39. (In Korean)
- Koshlukova SE, Reed NR, 2014. Carbaryl. In *Encyclopedia of Toxicology*. Academic Press, Cambridge, MA, USA. pp. 668-672.
- Kwon G, 2025. Effect of 19 insecticides on mature larvae of fall webworm *Hyphantria cunea* Drury (Lepidoptera: Erebidae). *Kor. J. Appl. Entomol.* 64(1):17-20. (In Korean)
- Leeuwen TV, Stillatus V, Tirry L, 2004. Genetic analysis and cross-resistance spectrum of a laboratory-selected chlorfenapyr resistant strain of two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). *Exp. Appl. Acarol.* 2004, 32:24-261.
- Lim JR, Moon HC, Kim DW, Kwon SJ, Han SG, Kwak DO, 2017. Occurrences of insect pests on fruit producing mulberry plants in Jeonbuk province. *Korean J. Appl. Entomol.* 56(2):203-212. (In Korean)
- Park B, Lee SK, Jeong IH, Park SK, Lee SB, Lee SG, 2019. Susceptibility of *Metcalfa pruinosa* and *Hyphantria cunea* to some commercial organic materials. *Korean J. Pestic. Sci.* 23(4):274-279. (In Korean)
- Park HS, Kim HH, Chung HG, Cho YJ, Jeon HY, et al., 2004. Pathogenicity of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* against fall webworm, *Hyphantria cunea* (Lepidoptera: Arctiidae). *Kor. Turfgrass Sci.* 18(4):1-12. (In Korean)
- Park YH, Ryu HJ, Seo ST, Han HR, 2023a. 2022 National and public tree hospital annual report. Korea Forest Research Institute. Seoul, Korea. (In Korean)
- Park YH, Seo ST, Ryu HJ, Kim JH, 2023b. 2022 Living area public support tree treatment consulting prescription analysis results report. Korea Forest Research Institute. Seoul, Korea. (In Korean)
- Rural Development Administration (RDA), 2025. Pesticide Safety Information System. <https://psis.rda.go.kr/psis>. (In Korean)
- Ullah S, Shad SA, 2017. Toxicity of insecticides, cross-resistance and stability of chlorfenapyr resistance in different strains of *Oxycarenus hyalinipennis* Costa (Hemiptera: Lygaeidae). *Crop Prot.* 99:132-136.
- Woo KS, 1961. Studies on the *Hyphantria cunea* (Drury) a newly introduced insect pest. *Seoul Nat'l Univ. Bull. Agric. Biol.* 5:11-23. (In Korean)

## 미국흰불나방 지역 개체군들에 대한 살충제 약제 반응

이대건<sup>1\*</sup> · 김경우<sup>1\*</sup> · 정영학<sup>2</sup> · 이상명<sup>2</sup> · 김동수<sup>3</sup> · 김이슬<sup>4</sup> · 이동운<sup>1,4\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 생태과학과, <sup>2</sup>주에스엠바이오비전,  
<sup>3</sup>국립산림과학원 산림바이오소재연구소, <sup>4</sup>경북대학교 질병매개무척추동물연구소

**요약** 미국흰불나방은 광식성 해충으로 생활권 수목에 집단적으로 발생하여 잎을 갉아먹는 심각한 피해를 주고 있다. 생활권 수목에 발생하는 해충들은 농작물에 발생하는 해충들에 비하여 상대적으로 방제 빈도가 제한적이다. 그러나 전국적으로 발생하고 있는 미국흰불나방의 경우 지역별로 약제 노출 이력에 차이가 있다. 따라서 본 연구는 미국흰불나방 방제제로 등록되어 있는 8종의 살충제(Carbaryl 수화제, Chlorfenapyr 액상수화제, Deltamethrin 유제, Emamectin benzoate 유제, Diflubenzuron 액상수화제, Fenitrothion 유제, Flubendiamide 액상수화제, Metaflumizone 유제)에 대한 약제반응을 17개 시·군에서 채집한 미국흰불나방 3령충을 대상으로 실내에서 분무법으로 검정하였다. 미국흰불나방은 처리농도와 약제 처리 후 경과일 수 의존적으로 치사율이 증가되었다. 미국흰불나방의 치사율은 약제의 종류에 따라 차이를 보였는데 chlorfenapyr의 약효가 가장 낮았고, emamectin benzoate의 효과가 가장 높았다. 권장량 농도에서 처리 7일차에 chlorfenapyr를 제외한 모든 약제들의 약효는 미국흰불나방 지역개체군 간에 차이가 없었다. 따라서 이들 약제에 대한 미국흰불나방의 약제 저항성은 없어 실용적 사용이 가능할 것으로 판단된다.

**색인어:** 살충제 저항성, 생물검정, 생활권 수목, 치사율, 효과