



## 조명나방(*Ostrinia furnacalis*) 유충에 대한 6종 살충제의 섭식독성, 접촉독성, 그리고 잔류독성 효과 평가

정인홍\* · 김이선 · 김은영<sup>1</sup> · 이시우<sup>2</sup> · 정진교<sup>1</sup>국립농업과학원 작물보호과, <sup>1</sup>국립식량과학원 재배환경과, <sup>2</sup>국립한국농수산대학 산학협력단

### Oral, Contact, and Residual Toxicity of Six Insecticides to Asian Corn Borer, *Ostrinia furnacalis* Larvae

In-Hong Jeong\*, Leesun Kim, Eun Young Kim<sup>1</sup>, Si Woo Lee<sup>2</sup>, Jin Kyo Jung<sup>1</sup>

Crop Protection Division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

<sup>1</sup>Crop Cultivation and Environment Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea<sup>2</sup> Industry-Academy Cooperation Foundation, Korea National University of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

(Received on March 28, 2023. Revised on May 1, 2023. Accepted on May 9, 2023)

**Abstract** The insecticidal efficacy of several chemical insecticides on young larvae (1-3 instar) of Asian corn borer (*Ostrinia furnacalis*), the main pest of corn in Korea, was investigated. The feeding toxicity of all six pesticides examined in this study showed excellent mortality (more than 90%), but the contact toxicity was relatively low (6.2 times on average) compared to feeding toxicity. Based on the 90% lethal concentration value (LC<sub>90</sub>), the 2nd and 3rd instar larvae were 13.6 times and 18.0 times higher than the 1st instar in feeding toxicity and 8.3 times and 14.7 times higher in contact toxicity, respectively. The residual toxicity also showed high efficacy for 10-15 days in the tested three insecticides. Based on these results, it can be inferred that the efficiency of these chemicals can be sufficient to control the corn borer larva. To control the corn borer before the 3rd instar period using the insecticides is the most efficient because it can be difficult to manage the pest which generally digs into the corn stalk in that period. Therefore, it is highly recommended that farmers should intensively monitor when the young larvae occur in the emergence period (late May and early July in Korea). Based on the occurrence data, a quick control action should be taken.

**Key words** Asian corn borer larva, Corn crop, Insecticide, Insecticidal efficacy

## 서 론

조명나방(*Ostrinia furnacalis*)은 동아시아와 동남아시아, 인도 동부지역에서 주로 분포하고 아프리카와 호주 일부 지역에서 발견되고 있는 해충으로 국내 옥수수 재배에 있어서 중요 해충의 하나이다(CABI, 2022), 우리나라에서 조명나방은 대체로 연 2~3회 발생하고, 이 중 1세대와 2세대 유충

(총 영기수 5~7령)이 6~8월에 노지 옥수수 포장에서 큰 피해를 준다(Lee et al., 1980; Kim et al., 2020; Jung et al., 2021). 조명나방 유충은 옥수수의 뿌리를 제외한 모든 기관(잎, 줄기, 이삭 등)을 가해하여 작물의 생육을 저해하고 생산 수량을 감소시킨다. 또한, *Fusarium*속 곰팡이에 의한 이삭썩음병 등 2차 피해를 발생시킨다(Wang et al., 2008; Blandino et al., 2015).

국내외에서 다양한 조명나방의 방제기술들이 연구되어 왔다. 인축-환경 잔류, 저항성 발달 등 화학적 살충제의 부작용

\*Corresponding author  
E-mail: ihjeong1@korea.kr

용에 대한 보고가 많아 유용동물과 환경에 친화적이라 할 수 있는 재배적 관리나 생물적 방제법을 접목한 종합방제전략(IPM)을 추구하고 있다(Felkl, 1988; Nafus and Schreiner, 1991; Pimentel et al., 1993). 아시아지역의 옥수수 주 생산국인 중국 및 필리핀 등에서 조명나방 방제에 대한 연구가 집중 수행되었다. 조명나방의 천적으로서 *Trichogramma* 속 알기생벌들(Huang et al., 2020; Zang et al., 2021; Wang et al., 2022)과 곤충병원성 미생물인 *Beauveria bassiana* (Feng et al., 2023)을 방제수단으로 활용하고 있다. 특히, 사료용으로 재배되는 작물에 유전자변형 Bt-옥수수가 개발되어 많은 지역에서 재배되고 있다(Guo et al., 2022; Thompson et al., 2010; Wu, 2006). 이러한 화학살충제의 대체 수단들은 부분적으로 성공하였음에도 불구하고 현실적으로 해충 밀도 억제에 충분한 역할을 하지 못하고 있다(Deguine et al., 2021). 유전자 변형 작물은 안전성에 대한 의구심으로 우리나라를 포함한 아시아 및 많은 유럽 국가에서 재배가 허용되지 않거나 엄격히 제한되고 있다(GLP, 2021). 또한 유전자 변형 작물에 대해 해충의 저항성 발달로 인한 방제 효율 저하도 보고되고 있다(Xu et al., 2015; Smith et al., 2019).

국내 옥수수 재배면적은 2017년 기준 27천 ha로, 이 중에서 16천 ha는 간식용 풋옥수수이며, 나머지 11천 ha는 알곡 및 사일리지용이다. 사료를 포함한 옥수수 식량자급률은 3.3%에 불과하다(Baek et al., 2020). 관행농가에서는 조명나방의 피해를 줄이기 위하여 화학 살충제에 대한 의존성이 높은 실정이다. 현재 사용 등록되어 있는 방제약제로는 델타메트린 유제 등 21개 품목의 경엽처리제와 토양처리제인 카보퓨란 입제가 있다(RDA, 2023). 알에서 부화한 유충은 어린 시기(1~2령)에 잎이나 엽초를 가해하다가 3령이 되면 이삭이나 줄기를 파고 들어가 살충제에 의한 방제 효율을 떨어뜨린다. 이러한 피해는 육안으로 관찰하기 어려워 그동안 방제 적기를 예측하고자 하는 연구가 수행되어 왔다(Lee

et al., 1980; Jung et al., 2021). 한편, 조명나방과 같이 비교적 광식성 나방류 해충의 방제에 있어서 살충제의 감수성은 유충이 성장하면서 낮아지는 경향을 보이므로(Yu and Hsu, 1993; Bouvier et al., 2002), 영농현장에서는 유충의 어린 시기에 방제하기를 권하고 있다.

본 연구에서는 조명나방 유충에 대한 살충제 섭식 및 직접 접촉독성의 차이를 조사하였다. 또한 옥수수 잎에서의 살충제 잔류독성 유지기간에 대해 발육 영기별 방제효율의 차이를 살펴 조명나방의 발생 양상에 따른 화학적 방제의 효율 증진 방안을 마련해 보고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 대상 곤충 및 시험약제

본 연구에 사용된 조명나방은 국립식량과학원 중부작물부(경기도 수원 소재)의 옥수수 포장에서 채집한 유충에서 처음 사육을 시작하여 1~3년 간격으로 충북 괴산 등 야외 계통을 섞어주면서 20년 이상 유지한 실험실 계통이었다. 사육시 유충은 직접 제조한 인공사료(Jung et al., 2005)를 공급하고 우화한 성충에는 10% 설탈물을 공급하였으며, 유산지에 산란을 받았다. 모든 사육은 곤충사육실에서 수행하였으며 그 사육 조건은 온도 25±2°C, 상대습도 60±10%, 광주선 15L:9D이었다. 사용한 약제는 옥수수의 조명나방 방제에 상업적으로 등록되어 있는 피레스로이드계인 델타메트린(유제)과 에토펜프록스(유제), 옥사디아진계 인독사카브(액상수화제), 합제로서 디플루벤주론·에토펜프록스(유현탁제), 에토펜프록스·독사카브(수화제), 램다사이할로트린·아메톡삼(수화제) 6종을 사용하였다(Table 1). 살충 약제는 증류수를 이용하여 제품 추천농도(recommended concentration)로 희석하였다. 또한 이를 기준으로 1/2씩 희석한 농도구배액을 제조하여 시험에 사용하였다.

**Table 1.** Insecticides investigated and their recommended concentrations

Chemical group (IRAC classification)	Insecticide	Active ingredient (%) & Formulation <sup>a)</sup>	Recommended dilution factor (concentration, ppm)
Pyrethroids (3A)	Etofenprox	20% EC	1,000 (200)
	Deltamethrin	1% EC	1,000 (10)
Oxadiazines (22A)	Indoxacarb	5% SC	1,000 (50)
Pyrethroids (3A) + Oxadiazines (22A)	Etofenprox + indoxacarb	11.5(10+1.5)% WP	1,000 (115)
Benzoylureas (15) + Pyrethroids (3A)	Diflubenzuron + etofenprox	15(7+8)% SE	1,000 (150)
Pyrethroids (3A) + Neonicotinoids (4A)	Lamda cyhalothrin + thiamethoxam	8.1(1.4+6.7)% WP	2,000 (40.5)

<sup>a)</sup> EC, emulsifiable concentrate; SC, suspension concentrate; SE, suspended emulsion; WP, wettable powder

## 생물 검정

섭식독성은 인공사료에 살충제를 처리하고 유충 섭식에 따른 살충률을 산출하였다. 인공사료를 적당한 크기(8×8×30 mm<sup>3</sup>)로 잘라 약제 농도구배액에 30초간 침지 한 후, 원형 페트리접시(SPL #310202, Φ100×h40 mm<sup>2</sup>, Korea)에 넣고 30분간 건조하였다. 조명나방 실내계통 1~3령 유충을 각각 30마리씩 접종하고, 처리 후 하루 간격으로 5~6일 동안 유충 사충수를 조사하였다. 접촉독성은 흑백복사기용 투명필름(polypropylene carbonate 재질)을 원형(Φ98 mm)으로 잘라 약제 농도구배액을 살포하고 2시간 동안 건조한 후 유충 접종용 플라스틱 페트리접시(SPL #310202, Φ100×h40 mm<sup>2</sup>, Korea)의 뚜껑 안쪽에 끼워 넣고, 그 위에 1~3령 유충을 각각 30마리 접종 후 페트리접시를 뒤집어 놓아 유충이 약제에 접촉하도록 하였으며, 1시간 후에 페트리접시 내부에 적당한 크기(8×8×30 mm<sup>3</sup>)의 인공사료를 공급한 후 5일 동안 매일 유충 사충수를 조사하였다. 잔류독성은 포장에서 발육 중인 7-8엽기의 옥수수(일미찰)를 포트에 이식하여 1주일 간 활착을 확인한 후, 살충제를 추천 농도로 살포하였다. 살포 후 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15일에 옥수수 잎을 약 7 cm 크기로 잘라 원형 페트리접시에 넣고, 조명나방 실험 실계통의 갓 부화한 1령 유충을 30마리 접종하였다. 접종 후 하루 간격으로 5일간 유충 사충수를 조사하였다. 상기 모든 시험은 3반복 처리하였으며, 곤충사육실 내 조건에서 수행하였다.

## 통계 분석

조사된 유충 살충률은 Abbott의 보정사충률(Abbott, 1925)을 이용하여 산출하였으며, 섭식독성과 접촉독성의 반수치사농도(LC<sub>50</sub>)값과 90% 치사농도(LC<sub>90</sub>)값은 인독사카브 수화제(4일)를 제외한 5종 약제 처리 후 3일 조사결과를 사용하고, SAS/STAT통계프로그램(SAS Institute, 2009)의 probit 분석을 이용하여 도출하였다.

## 결 과

### 섭식독성 평가

Fig. 1은 조명나방 어린 유충에 대한 6종 살충제의 농도별 섭식 독성을 비교한 결과이다. 모든 살충제들은 그 추천농도에서 1~3령 유충에 대하여 90% 이상의 높은 살충력을 보였다. 그러나 다음 영기가 되면서 약제 민감도가 떨어져 약제들의 90% 치사농도(LC<sub>90</sub>)는 1령 대비 2령 유충은 1.8~35.5(평균 13.6)배, 3령 유충은 4.4~41.5(평균 18.0)배가 되었다(Table 2). 피레스로이드 살충제인 에토펜프록스와 델타메트린은 1령 유충에 대하여 추천농도의 32배 희석배수(dilution factor)에서 높은 활성을 보였다. 그러나 3령 유충의 경우 4배 희석배수에서도 비슷하거나 더 낮은 활성을 보

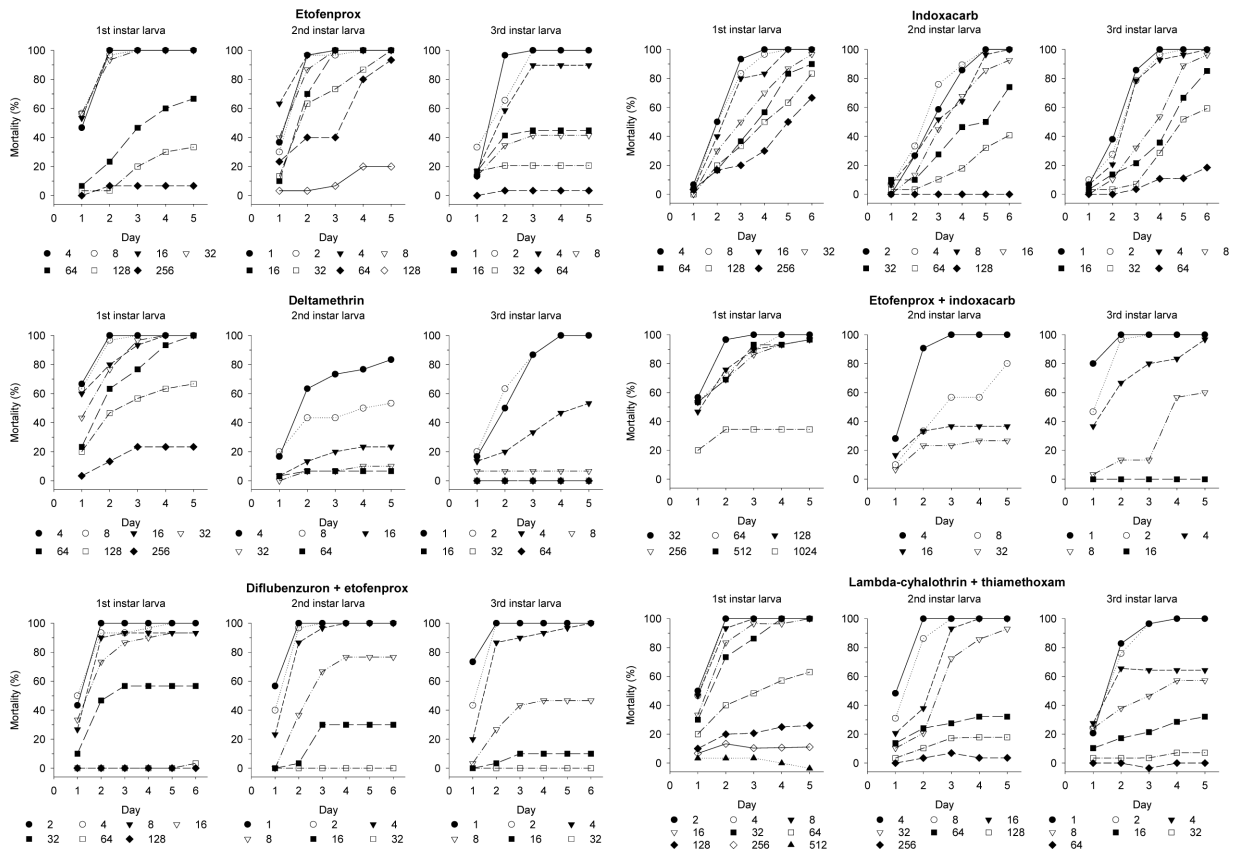
여 영기가 높아질수록 살충제 독성이 현저히 낮아졌다. 또한 이들 살충제는 처리 1~2일 후까지 살충력이 크게 증가하다 점차 완만해지는 약효가 비교적 신속히 나타나는 경향을 보였다. 반면 인독사카브는 처리 3일차 반수치사농도에서 피레스로이드 살충제의 중간 수준이었으나, 처리 5~6일 후에는 피레스로이드와 달리 훨씬 낮은 농도(128배 희석)에서도 높은 살충력(80% 이상)을 보였다. 즉 피레스로이드계 살충제와 달리 시간에 따른 살충력이 초기에는 낮다가 점차 증가하는 경향을 보였으며 영기에 따른 충체의 내성도 상대적으로 작게 나타났다.

### 접촉독성 평가

도포한 필름 위에 1시간 동안 노출시킨 조명나방 유충의 사충수를 조사한 접촉독성의 결과는 상기 섭식독성에 비하여 상대적으로 평균 6.2배 낮게 나타났다. 섭식독성처럼 1령 유충에서는 높은 약효를 발휘하나 2령 유충부터는 급격히 약효가 줄어드는 경향을 보였고, 3령 유충에서는 추천농도에서조차 살충률이 40% 이하인 약제가 관찰되었다. 전체적으로 LC<sub>90</sub> 값은 1령 유충 대비 2령 유충은 3.9~13.7배(평균 8.3배), 3령 유충은 4.4~29.0배(평균 14.4배) 높았다(Fig. 2, Table 3). 에토펜프록스는 3일을 기준으로 본 접촉독성의 LC<sub>90</sub>값이 1령 유충의 경우 추천농도의 5.9배 희석농도였으나, 2령 유충의 경우 1.5배 희석농도로 급격하게 높아졌고, 3령 유충의 경우 추천농도보다 더 높은 농도를 필요로 하였다(Table 3). 델타메트린과 디플루벤주론·에토펜프록스도 LC<sub>90</sub>값이 추천농도 이상이었으며, 인독사카브, 에토펜프록스·인독사카브, 람다사이할로트린·티아메톡삼도 비슷한 수준(1~1.5배 희석배수)으로써 포장에서 조명나방 3령 유충에 접촉독성 효과를 기대하긴 힘들어 보였다. 3령 유충은 옥수수 줄기 내로 침입하여 가해하기 때문에 실제 접촉독성 효과는 1-2령 유충의 방제에 적합할 것으로 판단된다. 다만 본 연구에서는 노출시간이 1시간으로 한정되어 있어 만일 접촉시간을 충분히 늘린다면 영기에 따른 살충활성도 현재 보다 높아질 것으로 예측된다.

### 잔류독성 평가

살충제를 살포한 옥수수 잎에 대한 조명나방 유충의 잔류독성을 3종 약제에 대하여 확인하였다(Fig. 3). 에토펜프록스와 람다사이할로트린·티아메톡삼은 처리 후 10일차까지 100%의 살충력을 보였으며, 15일차에는 60% 수준까지 살충력이 낮아졌다. 인독사카브는 처리 후 15일차까지 조명나방에 대한 90%의 높은 살충력을 보였다. 이로써 이들 살충제들은 어린 유충에 대해 2주간 살충력이 유지된다는 것을 확인할 수 있었다.

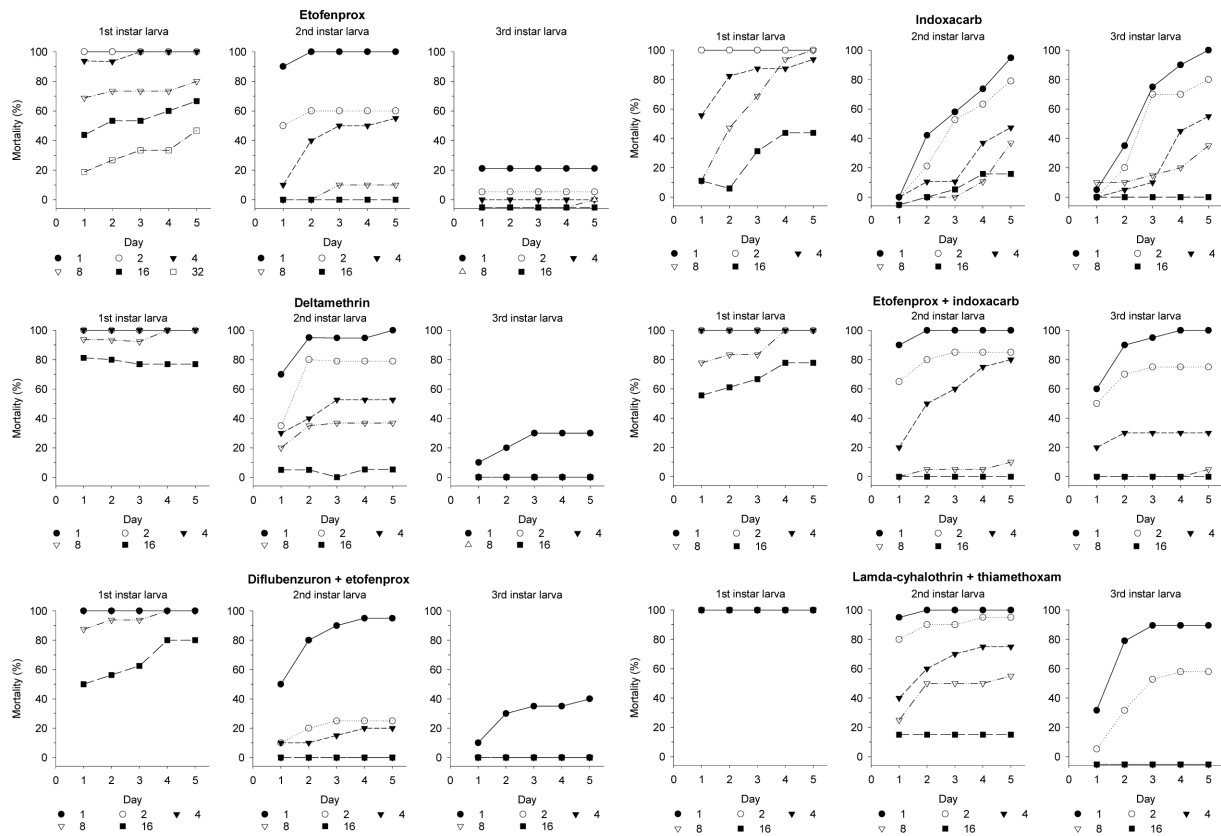


**Fig. 1.** Oral toxicity of six insecticides to *Ostrinia furnacalis* larvae over days after treatment (DAT). The numbers (1-512) of each symbol represents the dilution factors of recommended concentration for each insecticide.

**Table 2.** Oral toxicity of six insecticides to *Ostrinia furnacalis* larvae

Insecticide	Larval instar	LC <sub>50</sub> (ppm) <sup>a)</sup>	T1 <sup>b)</sup>	LC <sub>90</sub> (ppm) <sup>a)</sup>	T2 <sup>b)</sup>
Etofenprox	1st	2.83		5.81	
	2nd	3.17	1.1	10.26	1.8
	3rd	16.26	5.7	60.61	10.4
Indoxacarb	1st	0.49		4.07	
	2nd	1.85	3.8	13.51	3.3
	3rd	3.47	7.1	16.67	4.1
Deltamethrin	1st	0.06		0.26	
	2nd	1.32	20.9	7.14	27.3
	3rd	2.22	35.3	7.69	29.4
Etofenprox + Indoxacarb	1st	0.09		0.77	
	2nd	7.42	85.7	27.38	35.5
	3rd	17.69	204.4	31.94	41.5
Diflubenzuron + Etofenprox	1st	4.05		11.45	
	2nd	11.19	2.8	23.08	2.0
	3rd	15.46	3.8	32.61	2.8
Lambda-cyhalothrin + thiamethoxam	1st	0.58		1.67	
	2nd	0.73	1.2	2.38	1.4
	3rd	2.60	4.5	9.42	5.6

<sup>a)</sup> LC<sub>50</sub> and LC<sub>90</sub>, concentration lethal to 50% and 90%, respectively. <sup>b)</sup> T1 and T2, ratio of LC value of larval instar to that of 1st instar.

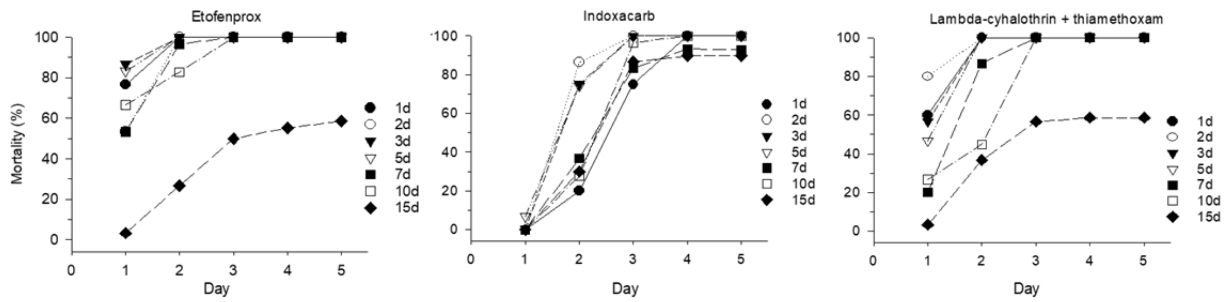


**Fig. 2.** Contact toxicity six insecticides to *Ostrinia furnacalis* larvae over days after treatment (DAT). The numbers (1-16) of each symbol represents the dilution factors of recommended concentration for each insecticide.

**Table 3.** Contact toxicity of six insecticides to *Ostrinia furnacalis* larvae

Insecticide	Larval instar	LC <sub>50</sub> (ppm) <sup>a)</sup>	T1 <sup>b)</sup>	LC <sub>90</sub> (ppm) <sup>a)</sup>	T2 <sup>b)</sup>
Etofenprox	1st	10.26	-	33.90	-
	2nd	47.62	4.6	133.33	3.9
	3rd	250.00	24.4	666.67	19.7
Indoxacarb	1st	2.72	-	8.77	-
	2nd	17.86	6.6	125.00	14.3
	3rd	11.11	4.1	38.46	4.4
Deltamethrin	1st	0.34	-	1.15	-
	2nd	1.92	5.6	7.14	6.2
	3rd	11.11	32.6	33.33	29.0
Etofenprox + Indoxacarb	1st	5.16	-	14.94	-
	2nd	23.47	4.6	47.92	3.2
	3rd	31.08	6.0	76.67	5.1
Diflubenzuron + Etofenprox	1st	7.61	-	15.63	-
	2nd	68.18	9.0	214.29	13.7
	3rd	150.00	19.7	214.29	13.7
Lambda-cyhalothrin + thiamethoxam	1st	-	-	-	-
	2nd	5.40	1.0	17.61	-
	3rd	19.29	3.6	40.50	2.3

<sup>a)</sup> LC<sub>50</sub> and LC<sub>90</sub>, concentration lethal to 50% and 90%, respectively. <sup>b)</sup> T1 and T2, ratio of LC value of larval instar to that of 1st instar and, in the case of lambda-cyhalothrin+thiamethoxam, ratio of LC value to that of 2nd instar.



**Fig. 3.** Residual toxicity of insecticides to *Ostrinia furnacalis* larvae (1st instar). Leaf feeding bioassay with insecticide-treated corn leaf from 1 DAT (day after treatment) to 15 DAT.

### 고찰

본 연구에서 조명나방 유충에 대한 독성이 유충 영기에 따라 영향을 받고 있음을 확인할 수 있었다. 어린 시기인 1령 유충(약충)이 살충제에 가장 민감하고 영기가 증가함에 따라 내성도 증가하는 현상은 다양한 해충들 및 살충제 연구에서 관찰되어왔다(Ahdam and Forgashk, 1975; McGaughey, 1978; Prabhaker et al., 1989; Bouvier et al., 2002; Wang et al., 2003; Salehi et al., 2013, Rodriguez-Saona et al., 2016; Roy et al., 2021). 또한 이러한 현상이 해충 체내에서 독성 물질을 배출시키는 해독효소의 양 및 활성의 증가와 밀접한 상관관계가 있다고 밝혀졌다. 특히 많은 해충들에서 대표적인 해독효소인 esterases, cytochrome P450s, glutathione S-transferases의 활성이 영기에 따라 증가한다고 보고된 바 있다(Strode et al., 2006; Zin et al., 2008; Sanil et al., 2014, Roy et al., 2021). 따라서, 조명나방 유충의 경우도 유사한 기작이 작용하고 있을 것으로 짐작할 수 있다.

작용기작이 다른 2종 이상의 살충 원제를 혼합한 합제 (pre-formulated insecticide mixture)는 해충의 방제 효율의 향상, 노동력 절감 및 저항성 발달 지연 등의 장점때문에 광범위하게 개발되어 사용되고 있다(Cloyd, 2011). 에토펜프로क्स·인독사카브 합제의 경우, 높은 농도에서는 에토펜프로क्स의 속효성 특성을 보이고 낮은 농도에서는 인독사카브의 지속형 특성을 보여주었다. 어린 영기에서는 약효가 단제보다 낮으나 3령기로 갈수록 오히려 더 높은 활성을 보임으로써 약효의 발효시간은 빨라지고 지속시간은 길어지는 혼합 효과를 확인할 수 있었다. 피레스로이드 살충제와 디플루벤주론(키틴 합성 저해제) 및 티아메톡삼(네오니코티노이드계)의 합제에서도 약제 특성에 따른 약효 지연 효과를 확인할 수 있었다.

본 연구에서의 6종 살충제의 독성 평가는 제반 조건이 갖춰진 안정된 실험실 내에서 수행된 것으로서 우수한 방제 효과를 보였다. 그러나 다양한 환경조건에서 대상 작물의 생육 단계나 해충의 발육 생태 등을 고려해야 하는 포장조건에서는 동일한 결과를 기대하기는 힘들다. 따라서 실제

옥수수 포장에서 약제에 의한 조명나방의 방제효율을 직접 평가하고 최적 살충제 살포시기를 결정하는 연구들이 수행되어 왔다(Lee et al., 1980; Jung et al., 2021). Jung et al. (2021)은 중부지방 찰옥수수 재배지에서 적정 파종시기인 4월말에 파종할 때 최적 방제 시기를 1세대 어린 유충이 발생하는 옥수수의 영양생장기중 7~11엽기 사이로 가정하고, 에토펜프로क्स 처리에 의해 조명나방의 피해가 71~82% 억제되는 것을 확인하였다. 또한 살충제 처리시기를 (1) 옥수수 잎의 출현 시기, (2) 성충 최대 밀도 형성기, 그리고 (3) 성충 밀도 누적 50%시기 등 세가지 기준으로 예측해보고자 하였다. 또한, 이러한 예측 결과를 통한 살충제 처리시기의 정확한 예측을 위해서는 작물 및 품종 간 생육, 매년 달라지는 기후 환경과 검증된 해충 발생 예측 모형 개발 등 많은 연구를 통한 합리적 데이터 축적이 필요함도 같이 제시하였다.

조명나방의 피해를 최소화하기 위하여 현 시점에서 재배 농가가 가장 주의를 기울여야 하는 것은 포장내 해충의 발생 여부를 신속히 살피고 제때에 방제작업을 수행하는 것이라고 생각된다. 유충의 발생이 시작되는 시기는 지역에 따라 다소 차이가 있겠으나 주로 1세대 유충은 5월 하순, 2세대 유충은 7월 초순, 3세대 유충은 8월 초순부터 발생하므로(Lee et al., 1980; Kim et al., 2020; Jung et al., 2021), 이 시기에 포장 내 알몸치나 유충의 발생여부를 집중 관찰하여야 한다. 조명나방 유충생육기간 중 어린 유충기(1~3령)가 10~15일 전후 인 것과 살충제의 잔류 독성(2주 이상)을 고려하면 주 1회씩 2~3회 살충제 처리가 바람직할 것으로 사료된다. 또한 실제 등록 약제들도 발생초기부터 2~3회 처리를 권장하고 있다. 본 연구에서 사용된 살충제들은 조명나방 유충 방제에 우수한 효과를 보였고 국내 조명나방에 대한 약제저항성 발달 여부가 보고된 바가 없어 살충제 선택에는 크게 문제가 없을 것으로 생각된다. 다만 방제 효율 증대와 저항성 관리 차원에서 단제보다는 합제나 작용기작이 서로 다른 살충제를 교대하여 사용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 기관고유연구사업(과제번호: PJ015003)의 연구비지원에 의해 수행되었다.

## Author Information and Contribution

In-Hong Jeong, Division of Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-4625-2268>, Writing manuscript & Analysis.

Leesun Kim, Division of Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, Postdoctoral researcher, Writing - editing & review

Eun Young Kim, Crop Cultivation and Environment Research Division, National Institute of Crop Science, Researcher, Insect rearing & methodology

Si Woo Lee, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Researcher, Research Design, Investigation & Data analysis

Jin Kyo Jung, Crop Cultivation and Environment Research Division, National Institute of Crop Science, Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-4625-2268>, Analysis & Original draft writing

## 이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

## Literature cited

Abbott WS, 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18(2):265-267.

Ahmad S, Forgash A, 1975. Toxicity of Carbaryl and Diazinon to gypsy moth larvae: changes in relation to larval growth. *J. Econ. Entomol.* 68(6):803-806.

Baek SB, Son BY, Kim JT, Bae HH, Go YS, et al., 2020. Changes and prospects in the development of corn varieties in Korea. *Korean J. Breed. Sci.* 52(S):93-102. (In Korean)

Bouvier JC, Boivin T, Beslay D, Sauphanor B, 2002. Age-dependent response to insecticides and enzymatic variation in susceptible and resistant codling moth larvae. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 51(2): 55-66.

Blandino M, Scarpino V, Vanara F, Sulyok M, Krska R, et al., 2015. Role of the European corn borer (*Ostrinia nubilalis*) on contamination of maize with 13 *Fusarium* mycotoxins. *Food Addit. Contam. A*, 32(4):533-543.

CABI, 2022. *Ostrinia furnacalis* (Asian corn borer). <https://plantwiseplusknowledgebank.org/doi/10.1079/pwkb.species.38026> (accessed on 6 March, 2023).

Cloyd RA, 2011. Pesticide mixtures. pp. 69-80. In: Stoytcheva M (Ed). *Pesticides – formulations, effects, fate*. IntechOpen. London, UK.

Felkl G, 1988. Effect of detasseling corn plants on egg deposition, larval infestation and tunneling damage of Asian corn borer. *Ostrinia furnacalis* Guenee (Lepidoptera: Pyralidae), in the Philippines. *J. Plant Dis. Protect.* 95(5): 476-485.

GLP, 2021. Where are GMO crops and animals approved and banned? [online] <https://geneticliteracyproject.org/gmo-faq/where-are-gmo-crops-and-animals-approved-and-banned/> (accessed on 7 March, 2023)

Feng M, Zhang Y, Castes BS, Du Q, Gao Y, et al., 2023. Assessment of *Beuveria bassiana* for the biological control of corn borer, *Ostrinia furnacalis*, in sweet maize by irrigation application., *BioControl* 68: 49-60.

Guo Y, Feng Y, Ge Y, Tetreau G, Chen X, et al., 2022. The cultivation of Bt corn producing Cry1Ac toxins does not adversely affect non-target arthropods., *PLoS ONE* 9, e114228.

Huang NX, Jaworski C, Desneux N, Zhang F, Yang PY, et al., 2020. Long-term, large-scale releases of *Trichogramma* promote pesticide decrease in maize in northeastern China. *Entomol. Gen.* 40(4):331-335.

Jung JK, Park JH, Im DJ, Han TM, 2005. Parasitism of *Trichogramma evanescens* and *T. ostrinae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to eggs of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 44(1):43-50. (In Korean)

Jung JK, Seo BY, Jeong IH, Kim EY, Lee SW, 2021. Application timings of insecticides to control the first generation of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* in waxy maize field. *Korean J. Appl. Entomol.* 60(4):431-448. (In Korean)

Lee YB, Hwang CY, Choi KM, 1980. Study on effective control timing of *Ostrinia furnacalis*. In: Research Report, Agricultural Sciences Institute, Rural Development Administration, Suwon, Pp.472-479. (In Korean)

McGaughey WH, 1978. Effects of larval age on the susceptibility of almond moths and Indianmeal moths to *Bacillus thuringiensis*. *J. Econ. Entomol.* 71(6):923-925.

Nafus DM, Schreiner IH, 1991. Review of the biology and control of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Lep: Pyralidae). *Trop. Pest Manage.* 37(1):41-56.

Pimentel D, McLaughlin L, Zepp A, Lakitan B, Kraus T, et al., 1993. Environmental and economic effects of reducing pesticide use in agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 46(1-4): 273-288.

Prabhaker N, Toscano NC, Coudriet DL, 1989. Susceptibility of the immature and adult stages of the sweet potato

- whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) to selected insecticides. *J. Econ. Entomol.* 82(4):953-958.
- RDA, 2023. Pesticide safety information system. Rural Development Administration. <https://psis.rda.go.kr> (accessed on 7 March, 2023). (In Korean)
- Rodriguez-Saona C, Wanumen AC, Salamanca J, Holdcraft R, Kyrzyzenko-Roth V, 2016. Toxicity of insecticides on various life stages of two tortricid pests of cranberries and on a non-target predator. *Insects* 7(2):15-34.
- Thompson GD, Dalmacio SC, Criador AR, Alvarez ER, Hechanova RF, 2010. Field performance of TC1507 transgenic corn hybrids against Asian corn borer in Philippines. *Philipp. Agric. Sci.* 93(4):375-383.
- Sanil D, Shetty V, Shetty NJ, 2014. Differential expression of glutathione s-transferase enzyme in different life stages of various insecticideresistant strains of *Anopheles stephensi*: a malaria vector. *J. Vector Borne Dis.* 51(2):97-105.
- SAS Institute, 2009. SAS/STAT 9.2 user's guide, 2nd ed., SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Smith JL, Farhan Y, Schaafsma AW, 2019. Practical resistance of *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) to Cry1F *Bacillus thuringiensis* maize discovered in Nova Scotia, Canada. *Sci. Rep.* 9:18247.
- Strode C, Steen K, Orтели F, Ranson H, 2006. Differential expression of the detoxification genes in the different life stages of the malaria vector *Anopheles gambiae*. *Insect Mol. Biol.* 15(4):523-530.
- Wang KY, Kong XB, Jiang XY, Yi MQ, Liu TX, 2003. Susceptibility of immature and adult stages of *Trialeurodes vaporariorum* (Hom., Aleyrodidae) to selected insecticides. *J. Appl. Entomol.* 127(9-10):527-553.
- Wang Y, Hou YY, Benelli G, Desneux N, Ali A, et al., 2022. *Trichogramma ostrinae* is more effective than *Trichogramma dendrolimi* as a biocontrol agent of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*. *Insects*, 13(1):70-81.
- Wang Z, Qian H, Dong H, Wang J, Wang Z, et al., 2008. Studies on the damage degree and yield loss by Asian corn borer. *Plant Protection* 34(1): 112-115. (In Chinese)
- Wu F, 2006. Mycotoxin reduction in Bt corn: potential economic, health, and regulatory impacts. *Transgenic Res.* 15(3):277-289.
- Xu LN, Wang YQ, Wang ZY, Hu BJ, Ling YH, et al., 2015. Transcriptome differences between Cry1Ab resistant and susceptible strains of Asian corn borer. *BMC Genom.* 16(1):173-187.
- Yu SJ, Hsu EL, 1993. Induction of detoxification enzymes in phytophagous insects: roles of insecticide synergists, larval age, and species. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 24(1):21-32.
- Zang LS, Wang S, Zhang F, Desneux N, 2021. Biological control with *Trichogramma* in China: History, present status, and perspectives. *Annu. Rev. Entomol.* 66:463-484.
- Zin T, Minn ZM, Shetty NJ, 2008. Estimation of proteins and enzymes in different developmental stages of neem susceptible and resistant strains of *An. stephensi* Liston 1901. *Universities Res. J.* 1:185-193.

## 조명나방(*Ostrinia furnacalis*) 유충에 대한 6종 살충제의 섭식독성, 접촉독성, 그리고 잔류독성 효과 평가

정인홍\* · 김이선 · 김은영<sup>1</sup> · 이시우<sup>2</sup> · 정진교<sup>1</sup>

국립농업과학원 작물보호과, <sup>1</sup>국립식량과학원 재배환경과, <sup>2</sup>국립한국농수산대학 산학협력단

**요약** 옥수수의 주요 해충인 조명나방(*Ostrinia furnacalis*)의 어린 유충(1~3령)에 대한 화학살충제의 살충효과를 검정하였다. 조사한 6종 살충제의 섭식독성은 모두 높은 살충력(90% 이상)을 보였고 접촉독성은 섭식독성에 비해 상대적으로 낮게(평균 6.2배) 나타났다. 90% 치사약량(LC<sub>90</sub>)값을 기준으로 1령 유충 대비 2, 3령 유충이 섭식독성에서는 13.6배, 18.0배, 접촉독성에서는 8.3배, 14.7배 각각 높아 유충의 발육영양이 증가할수록 살충제에 대한 내성도 급격히 커지는 것을 확인하였다. 잔류 독성은 조사한 3종 살충제에 대하여 10~15일간 높은 살충력(80~100%)을 유지하였다. 이상의 결과로 현재 조명나방용 살충제들은 충분한 방제 효율을 갖고 있다는 것을 알 수 있었다. 조명나방은 옥수수 줄기로 침투하여 방제가 어렵게 되는 3령 유충기 이전에 방제를 하는 것이 가장 바람직하다. 따라서 어린 유충이 발견되기 시작하는 시기(5월 하순, 7월 초순)에 집중적으로 발생 여부를 관찰하여 약제살포 시기를 결정하는 것이 가장 중요할 것으로 생각된다.

**색인어** 조명나방 유충, 옥수수, 살충제, 살충 효과