



먹노린재에 대한 살충제의 감수성 및 방제 효과

이유경¹ · 전재범¹ · 최낙중¹ · 서보윤² · 임주락^{1*}¹국립식량과학원 작물기초기반과, ²국립농업과학원 작물보호과Susceptibility and Control Effect of Insecticides on the Rice Black Bug, *Scotinophara lurida* (Hemiptera : Pentatomidae)You Kyoung Lee¹, Jae Buhm Chun¹, Nak-Jung Choi¹, Bo Yoon Seo², Ju-Rak Lim^{1*}¹Crop Foundation Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea²Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

(Received on October 2, 2024. Revised on November 6, 2024. Accepted on November 6, 2024)

Abstract We evaluated the efficacy of eight insecticides against *Scotinophara lurida*, a major pest affecting rice crops. Two application methods were used: direct body spray and host plant spray. Among the insecticides tested, carbosulfan, fenobucarb, and clothianidin showed lower efficacy in the host plant spray method. In contrast, the other five insecticides achieved over 90% pest control rates. Notably, carbosulfan and clothianidin demonstrated 100% mortality in the direct body spray method, indicating high effectiveness when directly applied. Subsequent field tests involved four regional *S. lurida* populations, using four insecticides with different modes of action. Results revealed that the pests in the Yeosu region had the highest LC₉₀ values for all insecticides except for dinotefuran, while those in the Okcheon region had the lowest value. However, the insecticide, etofenprox showed a control efficacy index (CEI) ranging from 0.22 to 0.62 among the regional *S. lurida* populations, revealing regional differences in insecticidal activity. Despite the high insecticidal efficacy at both recommended and lower concentrations, care is needed in regions with higher LC₉₀ values and CEI. In pot tests, all four insecticides achieved over 93.3% mortality under both flooded and drained conditions compared to untreated controls. Furthermore, simplified field tests achieved control rates exceeding 97.8%. These findings provide a foundation for developing effective pest management strategies against *S. lurida*.

Key words *Scotinophara lurida*, Rice, Insecticides, Insecticidal activity, Control strategy

서 론

먹노린재(*Scotinophara lurida*)는 아시아 지역의 벼 재배지에서 주요 해충으로 자리잡고 있으며, 국내에서는 연 1세대 발생하고 성충으로 월동하며, 성충은 산기슭, 잡초, 낙엽과 돌 밑, 햇빛이 잘 비추는 남향에 물 빠짐이 좋은 미사질 양토 등에서 월동을 선호하는 것으로 알려져 있다(Kong et al., 2021). 먹노린재는 벼과 식물에서 10종의 산란 기주와 14종의 발육 기주가 보고되어 있으며(Fernando, 1960; Kuwana,

1930; Liu, 1933), 국내에서는 식용작물과 잡초 9종(벼, 보리, 밀, 옥수수, 피, 벼풀, 너도방동사니, 세모고랭이, 올방개)에서 기주식물로서의 가능성이 보고되고 있다(Lee et al., 2001). 먹노린재의 약충과 성충은 벼 줄기와 이삭을 가해하며, 벼의 성장 단계에 따라 먹노린재에 의한 피해 증상이 다르게 나타난다. 분얼기에는 잎의 황화와 분얼수를 감소시켜 성장을 억제하고 출수기에는 이삭이 비어있는 백수현상과 이삭에 갈색 반점을 유발하여 벼의 수확량과 품질에 직접적인 영향을 준다(Krishnaiah et al., 2007). 노린재류의 피해 증가는 작부체계 및 방식 등 농업생태계의 변화와 밀접한 관련이 있고, 기후 온난화에 의한 해충의 밀도 증가에 있으며(Lee et al., 2015), Shrestha (2019)는 온도가 1도 상승할 때

*Corresponding author
E-mail: gocnd0617@korea.kr

마다 해충으로 인한 작물 손실이 10~25% 증가한다고 보고 하였다.

이러한 해충을 효과적으로 방제하기 위해 살충제를 이용한 화학적 방제법이 널리 사용되고 있으며, 농작물의 생산성과 품질을 향상시키고, 저장성을 높여준다(Ihm et al., 2003). 그러나 해충을 방제하기 위해 살충제를 사용하는 경우 충분한 방제 효과가 나타나지 않으면 대부분 방제 효과가 떨어졌다고 생각하기 때문에 살충제의 농도를 높이거나 사용량과 횟수를 증가시킨다(Lee et al., 2022). 살충제의 효과는 살포 도구, 살포 방법, 작물 재배 방법, 그리고 사용되는 화학 물질의 특성에 따라 달라지기 때문에 살충제의 농도나 살포량을 증가시켜도 실질적인 방제 효과의 증가를 기대할 수 없다(Seo et al., 2015).

벼를 가해하는 먹노린재의 경우 약충과 성충 모두 같은 피해를 주기 때문에 알 기간을 제외한 모든 생육 단계에서 방제가 필요하며(Lee et al., 2001), 먹노린재의 월동 성충이 본답에 들어가는 시기에 적용약제를 살포하여 방제하도록 제안하지만 벼 포기 속에서 서식하는 습성 때문에 시기를 놓칠 경우 방제 효과는 매우 낮아지므로 세심한 관찰과 더불어 적기 방제가 중요하다(Choi et al., 2020).

이에 본 연구에서는 효율적으로 먹노린재를 방제하기 위해 단일 성분으로 구성되어 있는 4가지 계통(carbamates계, organophosphorous계, pyrethroids계, neonicotinoids계)의 살충제를 이용하여 살충 효과를 평가하였으며, 작용기작은 다음과 같다. Carbamates계와 organophosphorous계 살충제는 곤충의 중추신경계에서 중요한 역할을 하는 acetylcholinesterase (AChE)를 억제하여 접촉독과 소화 중독을 일으킨다(Fukuto 1990). 또한 carbamates계는 물에서 낮은 지속성을 가지며(Plese et al., 2005), organophosphorous계는 자외선 및 미생물 등에 의해 쉽게 분해가 일어나 잔효성이 적은 약제이다(Yoo et al., 2009). Pyrethroids계 살충제는 곤충의 활동전위를 생성시키는 Na⁺ 이온이 유입되는 통로에 이상을 일으켜 과도한 신경 자극으로 인하여 접촉독과 소화 중독을 일으키며(Narahashi, 1971), 환경 중 공기 및 광에

의해 쉽게 분해되는 안정성을 가지고 있다(Chun et al., 1999). Neonicotinoids계 살충제는 nicotinic acetylcholine receptor (nAChR)에 결합하여 acetylcholine의 분비 저해를 통해 마비시켜 곤충을 치사시키고 침투 이행하는 특성이 있어 낮은 농도에서도 흡입성 해충에 대한 효과가 높은 것으로 알려져 있다(Matsuda et al., 2001; Tomizawa and Casida 2005; Yang et al., 2010).

따라서 본 연구에서는 먹노린재에 대한 살충제의 처리 방법(기주분무, 충체분무)에 따라 살충 효과를 평가하였다. 또한 지역별 먹노린재 개체군에 대한 처리 농도별 약제 반응 및 논외의 담수 여부 조건에 따른 방제 효과 검정을 통하여 벼 재배 환경에서 효과적인 방제에 필요한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험 곤충

국내에서 지속적으로 피해가 보고되고 있는 충남 서천(36°4'N, 126°42'E), 충북 옥천(36°32'N, 127°76'E), 전남 곡성(35°8'N, 127°14'E), 전남 여수(34°72'N, 127°58'E) 등 친환경 벼 재배단지 4 지역에 발생한 먹노린재를 2022~2023년 두 해에 걸쳐 6~9월까지 채집하였다. 채집한 먹노린재를 실험실에서 누대 사육하면서 실험에 이용하였다. 실내 사육 조건은 온도 27 ± 1°C, 광주기 16L : 8D, 습도 60 ± 5%이며, 사육 먹이는 출수 된 벼(품종: 보람찬)를 공급하였다(Lee et al., 2023).

살충활성 검정

실내 검정

먹노린재의 약제 감수성 조사를 위하여 사용한 단일 계통 살충제 8종 목록은 Table 1과 같다. 살포 방법은 기주에 직접 약제를 살포하는 기주분무법과 곤충에 직접 약제를 살포하는 충체분무법을 이용하여 살충 활성 검정 후 비교하였다.

Table 1. Insecticides used in testing insecticidal activity against *Scotinophara lurida*

Group	Mode of action	Insecticides	Active ingredient (%)	Formulation	Recommended concentration (ppm)
Carbamates	1a	Carbosulfan	20	SC	200
		Fenobucarb	50	EC	500
Organophosphorous	1b	Phenthoate	47.5	EC	475
Pyrethroids	3a	Etofenprox	10	EW	100
Neonicotinoids	4a	Clothianidin	8	SC	40
		Dinotefuran	10	SL	100
		Imidacloprid	8	SC	40
		Thiamethoxam	10	WG	50

이때 살충 활성은 벼 3엽기 유묘가 들어 있는 아크릴 시험관(지름 6 cm, 높이 20 cm)을 사용하였다. 기주분무법 처리를 위해서는 벼 유묘에 살충제별 추천 농도로 희석한 후 360 mL 소형분무기(Apollo Industrial Co., Siheung, Korea)를 이용하여 충분히 살포하고 30분간 음건한 후, 벼 유묘를 시험관에 넣고, 먹노린재 성충을 10마리 접종하였다. 총체분무법 처리는 살충제별 추천 농도로 희석한 후 먹노린재 성충 10마리에 360 mL 소형분무기를 이용하여 충분히 살포한 후 벼 유묘가 든 시험관에 접종하였다. 각 살충제별로 두 가지 처리 방법을 각각 3 반복으로 수행하고 약제 처리 5일 후 살충 활성을 검정하였다(Lee et al., 2023).

지역별 개체군에 대한 농도별 살충활성 검정

충남 서천, 충북 옥천, 전남 곡성, 전남 여수 등 4 지역에서 채집된 먹노린재 성충개체군들에 대해 작용기작이 다른 4종의 살충제별로 각 추천농도(Table 1)를 기준으로 5개 범위의 농도(carbosulfan: 200, 100, 50, 20, 10 ppm; phenthoate: 475, 238, 119, 60, 30 ppm; etofenprox: 100, 50, 20, 10, 5 ppm; dinotefuran 100, 50, 20, 10, 5 ppm)로 희석하여 사용하였다. 벼 3엽기 유묘가 들어 있는 아크릴 시험관(지름 6 cm, 높이 20 cm)에 먹노린재 성충을 각각 10마리 접종하고, 360 mL 소형분무기를 이용하여 각 농도별 살충제를 충분히 살포하였다. 약제처리 5일 후 살충 활성을 검정하였으며, 각 지역의 약제 농도별로 3 반복씩 수행하였다.

담수 여부에 따른 방제효과 검정

포트 검정

지역별 개체군 살충 활성 검정을 위해 사용된 4종 약제에 대하여 실제 벼가 심겨진 포트에서 담수 여부가 살충 활성에 미치는 영향을 평가하였다. 사각수생분(가로 22 cm, 세로 22 cm, 높이 17 cm; 13S1; CHUNGUN CO., Gyeongsan, Korea) 포트에서 재배하여 출수한 벼(품종: 보람찬)를 물이 없는 낙수 조건과 5 cm 높이의 물이 있는 담수 조건으로 각각 만들었다. 사각망 케이지(60 mesh, 가로 40 cm, 세로 40 cm, 높이 60 cm) 안에 각 포트를 넣고 포트에 먹노린재 성충을 10마리씩 접종하고 먹노린재가 벼에 붙어 있음을 육안으로 확인한 후 추천 농도로 희석한 살충제를 360 mL 소형분무기(지름 7 cm, 높이 19 cm)로 경엽 살포하였다. 살충제별 3 반복으로 수행하였으며, 약제처리 5일 후 담수와 낙수 조건에서 살충 효과를 비교하였다(Lee et al., 2023). 살충률(%)은 Abbot (1925)의 계산식을 사용하였다(Abbott, 1925).

$$\text{살충률(\%)} = \left[\frac{\text{무처리구 생충률} - \text{처리구 생충률}}{\text{무처리구 생충률}} \right] \times 100$$

간이 포장 시험

위의 4종 살충제를 이용한 야외 간이 포장시험을 수행하였다. 전북 완주 소재 국립식량과학원 원내 논 포장(35°50'N, 127°2'E)에 '신동진' 벼를 2023년 6월 15일에 이앙하였다. 논에서 벼가 출수 된 후 9월 6일 논에 물이 없는 낙수 조건과 물이 있는 담수 조건을 각각 만들었다. 논에서 무작위로 선정된 벼 포기에 접종하는 먹노린재가 밖으로 도망가지 못하도록 망실(60 mesh, 가로 35 cm, 세로 40 cm, 높이 140 cm)을 설치하였고, 망실 당 4포기의 벼가 이용되었다. 망실에 먹노린재 성충을 30마리씩 접종하고, 2일 후 살충제별 추천 농도로 수동식 압축 분무기(4 L, 3.0 kgf/cm², B&C HITECH, Korea)를 이용하여 경엽 살포하였다. 약제 처리 후 3, 7일 후에 생충수를 조사하였으며, 모든 시험은 3 반복으로 수행하였다(Lee et al., 2023). 살충률은 위의 계산식과 동일하게 산출되었다.

자료 분석

각 살충제별 살충 활성 비교는 일일배치 분산분석(ANOVA) 후 평균 간 차이가 유의한 경우 Tukey's HSD Test를 통해 5% 유의수준에서 비교되었다. 또한 각 살충제별 기주분무와 총체분무, 담수와 낙수 조건 간 살충 활성의 통계적인 유의성 분석은 t-test를 통해 평균값을 분석하여 5% 유의수준에서 비교하였으며, R 통계 프로그램을 이용하였다(R Version 4.2.2). 지역별 개체군에 대한 살충 활성은 SPSS 13.0 (IBM Analytics, Armonk, NY)을 이용하여 Probit 분석을 통해 약제 처리 5일 후 결과를 토대로 LC₅₀과 LC₉₀ 값을 구하였다. 또한 LC₉₀ 값을 권장농도로 나누어 방제효과지수(Control efficacy index, CEI)로 표시하여, 그 수치를 비교해 지역간 상대적 저항성 정도 비교에 사용하였다. CEI 값이 1 이하면 감수성, 1 초과 5 미만이면 중도 저항성, 5 이상이면 고도 저항성이라고 판단하였다(Kang et al., 2023).

$$\text{CEI} = \text{LC}_{90} \text{ of value}$$

$$/ \text{recommended concentration of each insecticide}$$

결과 및 고찰

살충활성 검정

실내 검정

벼에 등록된 8종 살충제를 이용하여 기주분무법과 총체분무법으로 먹노린재에 대한 살충 활성을 검정한 결과는 Table 2와 같다. 기주분무법의 경우, 약제 처리 1일 후 carbosulfan 등 4종은 76.7%의 살충률을 보인 반면, etofenprox 등 4종은 90% 이상의 살충률을 보였다. 약제 처리 5일 후에는

Table 2. Insecticidal efficacy of 8 insecticides against *Scotinophara lurida* using two application methods: spraying to plants (SP) and spraying to insects (SI)

Insecticides	Mortality (% Mean±SD)								
	1 DAT ^{a)}			3 DAT			5 DAT		
	SP	SI	t-test ^{c)}	SP	SI	t-test	SP	SI	t-test
Carbosulfan	3.3 ± 5.8 d ^{b)}	100.0 ± 0.0 a	*	3.3 ± 5.8 c	100.0 ± 0.0 a	*	3.3 ± 5.8 b	100.0 ± 0.0 a	*
Fenobucarb	10.0 ± 10.0 d	63.3 ± 25.2 b	*	23.3 ± 15.3 c	66.7 ± 20.8 b	*	26.7 ± 20.8 b	66.7 ± 20.8 b	
Phenthoate	76.7 ± 11.5 bc	100.0 ± 0.0 a	*	93.3 ± 5.8 a	100.0 ± 0.0 a		100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	
Etofenprox	93.3 ± 5.8 ab	100.0 ± 0.0 a		96.7 ± 5.8 a	100.0 ± 0.0 a		100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	
Clothianidin	63.3 ± 11.5 c	100.0 ± 0.0 a	*	66.7 ± 15.3 b	100.0 ± 0.0 a	*	76.7 ± 15.3 a	100.0 ± 0.0 a	
Dinotefuran	93.3 ± 5.8 ab	96.7 ± 5.8 a		100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a		100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	
Imidacloprid	90.0 ± 10.0 ab	100.0 ± 0.0 a		90.0 ± 10.0 ab	100.0 ± 0.0 a		93.3 ± 11.5 a	100.0 ± 0.0 a	
Thiamethoxam	100.0 ± 0.0 a	86.7 ± 15.3 ab		100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a		100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	

^{a)}DAT, Days after treatment

^{b)}Means followed by a common letters in the same column are not significantly different by Tukey's HSD test at the 5% level of significance.

^{c)}* in the t-test column indicates that there was a significant difference between the two application methods by t-test ($\alpha = 0.05$).

phenthoate, etofenprox, dinotefuran, imidacloprid, thiamethoxam 5종에서 90% 이상의 살충률을 나타내었다. 총채분무법의 경우, 약제 처리 1일 후 carbosulfan 등 6종에서 90% 이상의 살충률을 보였고 3일 후에는 7종에서 100%의 살충률을 보였다. 기주분무와 총채분무를 이용한 두 가지 방법에서 phenthoate, etofenprox, dinotefuran, imidacloprid, thiamethoxam 5종은 약제 처리 3일 후부터 90% 이상의 높은 살충률을 나타내었다. 이외의 carbosulfan, fenobucarb, clothianidin 3종 살충제에서도 기주분무법보다 총채분무법에서 높은 살충률이 나타났으며, carbosulfan의 경우 약제 처리 1, 3, 5일 후 두 조건 간의 통계적으로 유의한 차이를 보였다($t = -29; p < 0.0001$). 대부분의 살충제는 먹노린재의 총체에 약제 처리 24시간 내에도 높은 살충 효과를 나타내었으며, 기주분무에서는 약제 처리 1일 후 살충 효과가 다소 낮았으나 5일 후에는 5종 살충제에서 90% 이상의 살충률을 나타내어 일부 약제는 잔효활성이 긴 것으로 판단된다.

Ahn et al. (2011)은 노린재목인 미국선녀벌레 성충에 총채분무 100%의 살충률을 나타낸 약제를 기주식물 침지 검정 결과, organophosphorous계는 100%의 살충률을 나타낸 반면 carbamates, pyrethroids, neonicotinoids계의 methomyl 살충제에서는 총채분무보다 기주식물 침지에서 살충 효과가 상대적으로 낮게 나타나 총체에 직접 접촉되어야 높은 살충 효과를 볼 수 있음을 보고하였으며, 본 실험과 유사한 결과를 보여주었다. 또한 Kim et al. (2019)은 pyrethroids계인 bifenthrin과 etofenprox에서 썩덩나무노린재 성충에 높은 접촉독성을 나타냄을 보고하였고, Lee et al. (2015)은 neonicotinoids계인 dinotefuran은 썩덩나무노린재와 갈색날개노린재에 대하여 높은 접촉독성을 나타내었음을 보고하였다. 이러한 결과로부터 효과적으로 먹노린재를 방제하기 위해서는 총체에 약제가 직접 닿도록 살포해야 하며, 접촉독성이

높거나 잔효활성이 긴 약제를 이용하여 효과적인 방제를 할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 먹노린재 방제를 위해 본 연구에서 사용된 살충제는 방제가 충분히 가능할 것으로 판단되나, fenobucarb, phenthoate 두 약제의 경우 벼에 발생하는 멸구류 방제용으로 등록되어 있지만 먹노린재 방제제로 등록되어 있지 않다. 따라서 추후 사용량 및 사용 시기 등 안전사용기준을 설정하여 방제제로 등록하기 위한 노력이 필요하다.

지역별 개체군에 대한 검정

작용 기작이 다른 4종의 살충제를 대상으로 먹노린재가 발생하는 전남 곡성과 여수, 충북 옥천, 충남 서천의 지역별 먹노린재 개체군에 대해 약제 처리 5일 후 약제 반응을 비교한 결과는 Table 3과 같다. 지역별 먹노린재 개체군에 대한 LC₉₀ 값은 carbosulfan에서 23.23~41.22 ppm, phenthoate는 63.43~95.45 ppm, etofenprox은 22.38~61.92 ppm으로 여수 개체군이 LC₉₀ 값이 가장 높았고 옥천 개체군이 가장 낮았다. Dinotefuran은 LC₉₀ 값이 13.49~24.87 ppm으로 서천 개체군이 가장 높았고 곡성 개체군이 가장 낮았다. 4 지역 개체군 중 4종의 살충제에 대해서 전반적으로 감수성이 높은 옥천 개체군을 기준으로 여수 개체군은 1.5~2.8배 LC₉₀ 값이 높게 나타났다. 이러한 결과는 동일 살충제에 대해 지역별 개체군들이 살충 활성의 차이를 보였는데, 이는 약제 저항성 발달 관점에서 사용 약제의 종류와 살포 횟수 등 방제 이력의 차이에 의해 직접적으로 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Yu et al., 2002). 그러나 본 연구에서는 개별 농가의 방제 이력에 대해 검토하지 못하여 직접적인 살충 활성의 차이를 확인할 수 없었지만 추후 이들 지역에서 약제 사용 형태와 저항성 발현 등에 대한 역학 조사가 필요할 것으로 생각된다.

Table 3. Toxicities (LC₅₀, LC₉₀) and control efficacy index (CEI) of 4 insecticides against *Scotinophara lurida* collected from rice paddies in 4 regions

Insecticides	Population ^{a)}	LC ₅₀ (95% CL)	LC ₉₀ (95% CL)	Slope ± SE	X ²	P	CEI ^{b)}
Carbosulfan	GS	14.03 (11.48~16.76)	26.89 (21.44~42.59)	4.53 ± 0.94	3.21	0.997	0.13
	YS	26.65 (18.16~54.44)	41.22 (28.55~245.39)	6.76 ± 1.16	52.25	0.000	0.21
	OC	16.08 (14.07~118.29)	23.23 (20.10~30.29)	8.02 ± 1.57	2.84	0.998	0.12
	SC	12.91 (10.20~15.50)	25.83 (20.46~42.13)	4.25 ± 0.93	2.98	0.998	0.13
Phenthoate	GS	37.08 (30.09~43.54)	66.99 (55.17~97.38)	4.99 ± 1.02	2.93	0.998	0.14
	YS	33.67 (22.0~43.34)	95.45 (72.93~155.56)	2.83 ± 0.58	3.39	0.996	0.20
	OC	38.43 (32.49~44.49)	63.43 (53.23~88.18)	5.89 ± 1.16	2.04	1.000	0.13
	SC	28.02 (16.77~35.66)	65.31 (51.45~107.70)	3.49 ± 0.78	3.74	0.994	0.14
Etofenprox	GS	10.16 (7.33~13.21)	39.7 (28.17~69.95)	2.16 ± 0.34	5.41	0.965	0.40
	YS	28.63 (23.68~34.70)	61.92 (48.88~88.92)	3.83 ± 0.53	7.33	0.884	0.62
	OC	11.96 (10.12~14.11)	22.38 (18.20~31.89)	4.70 ± 0.78	8.54	0.807	0.22
	SC	9.94 (7.71~12.42)	28.75 (21.43~47.10)	2.78 ± 0.44	3.51	0.995	0.29
Dinotefuran	GS	6.90 (5.60~8.19)	13.49 (10.89~20.13)	4.40 ± 0.85	3.52	0.995	0.13
	YS	7.41 (6.09~8.79)	14.50 (11.69~21.54)	4.40 ± 0.82	4.05	0.991	0.15
	OC	8.41 (7.21~9.81)	14.41 (11.95~19.99)	5.48 ± 0.95	2.86	0.998	0.14
	SC	9.44 (7.39~11.65)	24.87 (18.98~38.90)	3.04 ± 0.49	12.30	0.503	0.25

^{a)}GS, Gokseong; YS, Yeosu; OC, Okcheon; SC, Seochon.

^{b)}Control efficacy index, CEI = LC₉₀ value/Recommended concentration.

약제의 효력을 평가하여 해충의 저항성 발달 정도를 확인하고자 방제효과지수(control efficacy index, CEI)를 이용하였다(Kang et al., 2023). 4종 살충제의 각 추천 농도에 대한 지역별 먹노린재 개체군의 CEI 값은 곡성 개체군 0.13~0.40, 여수 개체군 0.15~0.62, 옥천 개체군 0.12~0.22, 서천 개체군 0.13~0.29로 나타났다. 4종의 살충제 중 etofenprox에서 0.22~0.62로 다소 높게 나타났지만, CEI 값이 1 미만으로 감수성을 나타냈다. 그러나 국내에 등록된 살충제 중 pyrethroids계가 가장 많고 1980년대부터 2010년대까지 지속적으로 점유비율이 높은 계통이며(Yu et al., 2020), 2015년 기준 벼에 사용되는 농약 중 단위 면적당 사용량이 가장 많은 살충제는 etofenprox로 보고된 바가 있기 때문에(Ha et al., 2016) 벼에 발생하는 해충 방제에 많이 이용되어 다른

약제보다 CEI 값이 다소 높을 것으로 생각된다. 또한 Bae et al. (2008)은 콩의 주요 노린재류 5종에 대해 약제 내성비를 조사한 결과 7종 살충제의 추천 농도에 대한 약제 내성이 1.0 이하로 나타났으며, 진딧물류, 가루이류, 총채벌레류 등의 흡즙성 해충보다 상대적으로 내성이 낮음을 보고하였다.

해충 방제 시 같은 계통의 살충제를 이용하여 반복적인 사용은 해충에 약제 저항성 발달을 유발하지만(Park, 2010), 대부분의 노린재류는 국내에서 연간 2세대 발생하기 때문에 감수성이 매우 높아 살포한 약제에 접촉되면 접촉독 및 소화 중독 작용에 의해 사망하게 된다고 보고되어 있다(Bae et al., 2008). 이에 먹노린재는 연 1세대 발생하기 때문에 고농도가 아니어도 접촉독에 의한 살충률이 매우 높아 다른 해충들에 비해 살충제 저항성의 발달 가능성은 높지 않을

것으로 사료된다.

담수 여부에 따른 방제 효과 검증

포트 검증

이전 연구에서 먹노린재에 살충 효과가 높게 나타난 유기농업자재를 벼의 담수와 낙수 조건에서 살충 활성을 평가한 결과, 담수 조건에서 살충 효과가 높은 것으로 보고하였다(Lee et al., 2023). 이에 본 연구에서는 작용 기작이 다른 4종의 살충제를 이용하여 벼의 담수와 낙수 조건 포트에서 살충 활성을 검증하였다(Table 4). 담수 포트 조건일 경우 1일차에 phenthoate, etofenprox 2종에서 100%, carbosulfan, dinotefuran 2종에서는 각각 80%, 86.7%의 살충률을 보였으며($F = 9; df = 3, 8; p = 0.006$), 3일차부터는 carbosulfan을 제외한 3종에서 100%의 살충률을 나타내었고 살충제 간 방제기는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다($F = 1; df = 3, 8; p = 0.441$). 낙수 포트 조건일 경우 1일차에 etofenprox 1종에서 100%, 나머지 3종에서 70~93.3%의 살충률을 보였고($F = 4.452; df = 3, 8; p = 0.041$) 5일차에서 phenthoate, etofenprox 2종에서 100%, carbosulfan, dinotefuran 2종에서 각각 93.3%, 96.7%의 살충률을 나타내었으며, 살충제 간 방제기는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($F = 1.833; df = 3, 8; p = 0.219$).

이에 본 연구에서는 작용기작이 다른 4종의 살충제를 이용하여 담수와 낙수 조건에서 살충 효과를 평가한 결과, 담

수 여부 조건에 상관없이 93.3% 이상의 높은 살충 활성이 나타났다. 따라서 벼 생육 단계에 알맞은 환경 조건에서 안전사용기준에 준수하여 먹노린재를 방제하면 높은 방제 효과를 볼 수 있을 것으로 생각한다.

간이 포장 시험

담수 여부에 따른 먹노린재의 방제 효과를 약충부터 성충까지 모든 령기가 발생하는 농가 포장에서의 이용가능성을 평가하기 위해 담수와 낙수 조건의 간이 포장에 먹노린재를 접종한 시험구에 작용기작이 다른 4종의 살충제를 처리하여 살충 활성을 검증한 결과를 Table 5에 정리하였다. 담수 조건일 경우 3일차에 carbosulfan, phenthoate, etofenprox 3종에서 100%, dinotefuran 1종에서 96.5%의 방제기를 보였고 통계적으로 유의한 차이가 없었으며($F = 3; df = 3, 8; p = 0.095$), 7일차는 4종 살충제에 대해 100%의 살충 활성을 나타내었다. 낙수 조건일 경우 7일차에 phenthoate, etofenprox 2종에서 100%, carbosulfan, dinotefuran 2종에서 각각 98.8, 97.8%의 방제기를 나타내었으며, 통계적으로 유의한 차이가 없었다($F = 1.79; df = 3, 8; p = 0.227$). 간이 포장 검증 결과에서도 포트 검증 결과와 마찬가지로 담수와 낙수 조건에 상관없이 전반적으로 높은 효과를 보였다. 그동안 농가에서 먹노린재의 방제는 논물이 낙수된 상태에서 진행해야 방제 효과가 높을 것으로 제안하기도 하였으나 명확한 실험적 결과가 부재한 상황이다(Lee et al., 2023). 또한 벼가 물을 가

Table 4. Insecticidal activities of 4 insecticides against *Scotinophara lurida* under flooding and drained conditions in rice plant pots

Insecticides	Mortality (% , Mean ± SD)					
	1 DAT ^{a)}		3 DAT		5DAT	
	Flooding	Drained	Flooding	Drained	Flooding	Drained
Carbosulfan	80.0 ± 10.0 b ^{b)}	93.3 ± 5.8 ab	90.0 ± 17.3 a	93.3 ± 5.8 a	96.7 ± 5.8 a	93.3 ± 5.8 a
Phenthoate	100.0 ± 0.0 a	93.3 ± 11.5 ab	100.0 ± 0.0 a	96.7 ± 5.8 a	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
Etofenprox	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
Dinotefuran	86.7 ± 5.8 ab	70.0 ± 17.3 b	100.0 ± 0.0 a	93.3 ± 11.5 a	100.0 ± 0.0 a	96.7 ± 5.8 a

^{a)}DAT, Days after treatment

^{b)}Means followed by a common letters in the same column are not significantly different by Tukey's HSD test at the 5% level of significance.

Table 5. Control value (%) of 4 insecticides against *Scotinophara lurida* under flooding and drained conditions in an experimental semi-paddy rice fields

Insecticides	Control value (% , Mean ± SD)			
	3 DAT ^{a)}		7 DAT	
	Flooding	Drained	Flooding	Drained
Carbosulfan	100.0 ± 0.0 a ^{b)}	98.8 ± 1.1 a	100.0 ± 0.0 a	98.8 ± 1.1 a
Phenthoate	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
Etofenprox	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
Dinotefuran	96.5 ± 3.3 a	97.8 ± 2.2 a	100.0 ± 0.0 a	97.8 ± 2.2 a

^{a)}DAT, Days after treatment

^{b)}Means followed by a common letters in the same column are not significantly different by Tukey's HSD test at the 5% level of significance.

장 많이 필요로 하는 시기에 물을 빼는 것은 벼의 품질과 수량에도 영향을 미치며, 먹노린재를 집중적으로 방제해야 하는 시기이기 때문에 본 연구 결과를 통해 논에 물을 빼지 않고도 효과적으로 먹노린재를 방제할 수 있을 것으로 생각된다.

Lee et al. (2015)는 이동성이 적고 밀도가 높은 해충에 대하여 접촉독성이 높은 약제를 이용하고 이동성이 강한 광범위 기주범위의 해충은 잔효활성이 긴 약제를 이용하여 어떻게 방제할 것인지 판단하는 것이 중요하다고 제시하고 있듯이, 먹노린재의 경우도 발생 밀도에 따라 효과적인 약제 및 처리법의 선택이 필요하다고 생각한다. 한편, 본 연구에서는 작용 기작이 다른 4종의 살충제에서 저농도에도 높은 살충 효과가 나타났지만, 지역별 개체군들마다 살충 활성의 차이를 보였다. 다만 벼 재배양식, 약제 제형, 실험 장소 및 기상 조건 등과 같은 요인에 따라 살충 효과가 달라질 수 있으며, 농가별 약제 살포 이력의 차이가 있으므로 지역 전체에 적용하기 위해서는 추가 연구가 필요하다.

본 연구 결과는 살충제를 이용하여 먹노린재 방제 시 직접 접촉을 통해 방제 효과를 높일 수 있으며, 벼 생육 조건에 따른 담수와 낙수 상태에서도 방제 효과가 높았음을 보여줌으로써 살충제의 남용을 막고 효율적인 방제 약제 선정에 도움이 될 것으로 생각된다. 또한 지역간 약제 반응 차이를 조사하고 저항성 발달 수준을 지속적으로 모니터링하여 먹노린재에 대해 효과적인 방제 전략을 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2024년도 농촌진흥청 국립식량과학원 전문연구원 과정 지원사업과 농촌진흥청 시험연구사업(PJ015967022024)에 의해 수행되었습니다.

Author Information and Contributions

You Kyoung Lee, Department of Crop Foundation Research Division, National Institute of Crop Science, Postdoctoral researcher, <https://orcid.org/0009-0002-8493-1533>

Jae Buhm Chun, Department of Crop Foundation Research Division, National Institute of Crop Science, Researcher

Nak-Jung Choi, Department of Crop Foundation Research Division, National Institute of Crop Science, Researcher

Bo Yoon Seo, Department of Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher

Ju-Rak Lim, Department of Crop Foundation Research

Division, National Institute of Crop Science, Researcher, <https://orcid.org/0009-0009-3318-6597>

Research design; YK Lee: Conceptualization, Investigation, Formal analysis, Writing - original draft, Writing - review & editing. JB Chun: Conceptualization, Analyzing data. NJ Choi: Conceptualization, Methodology. BY Seo: Analyzing data, Writing review. JR Lim: Conceptualization, Methodology, Project administration, Writing review.

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.
- Ahn KS, Lee GS, Lee KH, Song MK, Lim SC, et al., 2011. Susceptibility commercially of North American planthopper, *Metcalfa pruinosa* to commercially registered insecticides in Korea. *Korean J. Pestic. Sci.* 15(3):329-334.
- Bae SD, Kim HJ, Lee GH, Park ST, 2008. Susceptibility of stink bugs collected in soybean fields in Milyang to some insecticides. *Korean J. Appl. Entomol.* 47(4):413-419.
- Choi DS, Kim HJ, Oh SA, Lee JH, Cho AH, et al., 2020. Developmental ecology and temperature-dependent development model of *Scotinophara lurida* (Heteroptera: Pentatomidae). *Korean J. Org. Agric.* 28(2):251-261.
- Chun HJ, Lee HS, Jung SI, Kim IK, 1999. Analysis of residual concentration and half-life time in soils of pyrethroid insecticide cyfluthrin. *J. of Korean Soc. for Environ. Analysis.* 2(2):159-165.
- Fernando HE, 1960. A biological and ecological study of the rice Pentatomid bug, *Scotinophara lurida* (Burm.) in Ceylon. *Bull. Entomol. Res.* 51(3):559-576.
- Fukuto TR, 1990. Mechanism of action of organophosphorus and carbamate insecticides. *Environ. Health Perspect.* 87: 245-254.
- Ha HY, Park SE, You AS, Gil GH, Park JE, et al., 2016. Survey of pesticide use in leaf and fruit vegetables, fruits, and rice cultivation areas in Korea. *Weed Turf. Sci.* 5(4):203-212.
- Ihm YB, Kim KS, Kyung KS, Kim NS, Ha HY, et al., 2003. Survey of pesticide usage on fruits in Korea. *Korean J. Pestic. Sci.* 7(4):258-263.
- Kang DH, Lee YN, Kim SE, Moon HH, Kim SY, et al., 2023. Susceptibility assessment of cotton aphid, *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) field populations in Korea to 11 insecticides. *Korean J. Pestic. Sci.* 27(3):259-271.
- Kim SJ, Lee DH, Nam JC, Lee DY, Kim JW, 2019. Ecology and chemical control of two stink bugs in apple orchards.

- Korean J. Pestic. Sci. 23(4):280-288.
- Kong M, Jeon S, Kwon KH, Song SI, Kim KH, 2021. Evaluation of the effect of burning rice paddy fields on arthropods in rice paddy fields and agricultural fields. JESI. 30(12):993-1003.
- Krishnaiah NV, Jhansi LV, Pasalu IC, Padmavathi C, Padmakumari AP, et al., 2007. Rice black bug or Malayan black bug in India. In: Rice Black Bugs: Taxonomy, Ecology, and Management of Invasive Species. pp. 515-523. Joshi RC, Barrion AT, Sebastian LS (Eds.). Philippine Rice Research Institute, Science City of MuZoz, Philippines.
- Kuwana S, 1930. Important insect pests of the rice crop in Japan. pp. 209-215. In: Proceedings of the Fourth Pacific Science Congress, 1929, Java, Indonesia. pp. 209-215.
- Lee JS, Lee JH, Bang JW, Kim JH, Jang HS, 2022. Pest control effect using unmanned automatic pesticide spraying device in vegetable greenhouse. J. Bio-Env. Con. 31(1):52-59.
- Lee KY, Ahn KS, Kang HJ, Park SK, Kim TS, 2001. Host plants and life cycle of rice black bug, *Scotinophara lurida* Burmeister (Hemiptera: Pentatomidae). Korean J. Appl. Entomol. 40(4):309-313.
- Lee SY, Yoon C, Do YS, Lee DH, Lee JS, et al., 2015. Evaluation of insecticidal activity of pesticides against hemipteran pests on apple orchard. Korean J. Pestic. Sci. 19(3):264-271.
- Lee YK, Choi NJ, Lim JR, Choi JY, Seo BY, 2023. Controlling effect of environmentally friendly organic materials on the black rice bug, *Scotinophara lurida* (Hemiptera: Pentatomidae), depending on paddy flooding. Korean J. Environ. Biol. 41(4):463-472.
- Liu CY. 1933. Experiments on the location and submergence of the eggs of *Scotinophara lurida* (Burm.). Entomol. Phytopathol. 1(1):12-16.
- Matsuda K, Buckingham SD, Kleier D, Rauh JJ, Grauso M, et al., 2001. Neonicotinoids: insecticides acting on insect nicotinic acetylcholine receptors. Trends Pharmacol. Sci. 22(11):573-580.
- Narahashi T, 1971. Mode of action of pyrethroids. Bull. World. Health. Organ. 44(1-2-3):337-345.
- Park W, 2010. Successive spray of pesticide could be possible to raise resistance expression. Life and Agrochemicals. 258:38-40.
- Plese LP, Paraiba LC, FOLONI LL, Trevizan LRP, 2005. Kinetics of carbosulfan hydrolysis to carbofuran and the subsequent degradation of this last compound in irrigated rice fields. Chemosphere. 60(2):149-156.
- Seo MJ, Jin NY, Lee YK, Jun JH, Kim YS, et al., 2015. Optimal use of pesticides for controlling insect pests in apple orchards. J. Fac. Agr., Kyushu Univ. 60(2):363-370.
- Shrestha S, 2019. Effects of climate change in agricultural insect pest. Acta Scient. Agric. 3(12):74-80.
- Tomizawa M, Casida JE, 2005. Neonicotinoid insecticide toxicology: mechanisms of selective action. Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol. 45:247-268.
- Yang JO, Cho SR, Kwon YH, Yoon CM, Kim GH, 2010. Comparison of insecticidal activity and feeding behavior of *Nilaparvata lugens* by root uptake times against fenobucarb and imidacloprid. Korean J. Pestic. Sci. 14(2):175-182.
- Yoo JW, Kim DH, Moon BH, Ahn CJ, 2009. Studies on effective degradation of the insecticide fenitrothion. J. Korean Chem. Soc. 53(2):218-223.
- Yu JS, Kim JI, Kim GH, 2002. Insecticide susceptibilities of rose field-collected populations of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* in Korea. Korean J. Pestic. Sci. 6(2):80-86.
- Yu JS, Lim TH, Lee DW, 2020. Status of registered fungicides and insecticides by toxicity, formulation and classification in Korea since 1980s. Korean J. Pestic. Sci. 24(1):19-33.

먹노린재에 대한 살충제의 감수성 및 방제 효과

이유경¹ · 전재범¹ · 최낙중¹ · 서보윤² · 임주락^{1*}

¹국립식량과학원 작물기초기반과, ²국립농업과학원 작물보호과

요 약 벼의 주요 해충인 먹노린재를 대상으로 살충제 8종에 대한 살충 활성을 평가하였다. 실험방법은 총체분무법과 기주분무법을 사용하였다. 그 결과, Carbosulfan, fenobucarb, clothianidin 3종은 기주분무에서 다른 살충제보다 낮은 살충 효과를 보인 반면 이외의 5종은 90% 이상의 살충률을 나타내었다. Carbosulfan, clothianidin 2종의 경우 총체분무에서는 100%의 살충률을 나타내었으며, 이는 먹노린재에 직접 살포되어 접촉하는 경우 높은 살충 활성을 나타낼 수 있을 것으로 보여진다. 4 지역별 개체군에 대해 작용 기작이 다른 4종의 살충제를 이용하여 농도별로 검정한 결과, dinotefuran을 제외하고 여수 개체군에서 LC₅₀ 값이 가장 높았고, 옥천 개체군이 가장 낮았다. 또한 지역별 개체군의 방제효과지수(control efficacy index, CEI)는 4종의 살충제 중 etofenprox에서 0.22~0.62로 다소 높게 나왔으며, 지역별로 살충 활성에 대한 차이가 나타났다. 이에 추천 농도를 포함하여 저농도에서도 먹노린재에 대해 높은 살충 활성이 나타났지만, LC₅₀과 CEI 값이 높은 지역에 대해서는 살충제의 사용에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다. 또한 포트 검정을 통해 4종의 살충제를 담수와 퇴수 조건에서 살충 활성을 검정한 결과, 담수와 퇴수 조건에 상관없이 4종의 살충제 모두 무처리 대비 93.3% 이상의 살충률을 나타내었으며, 간이 포장 검정에서도 97.8% 이상의 방제가를 나타내었다. 결과적으로 본 연구는 먹노린재에 대해 효과적인 방제 전략을 위한 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

색인어 먹노린재, 벼, 살충제, 살충 활성, 방제전략