

## 논 담수 여부에 따른 유기농업자재의 먹노린재 방제 효과

이유경, 최낙중, 임주락, 최준열<sup>1</sup>, 서보윤\*

국립식량과학원 작물기초기반과, <sup>1</sup>전라북도 농업기술원

### Controlling effect of environmentally friendly organic materials on the black rice bug, *Scotinophara lurida* (Hemiptera: Pentatomidae), depending on paddy flooding

You Kyoung Lee, Nak-Jung Choi, Ju-Rak Lim, Jun-Yeol Choi<sup>1</sup> and Bo Yoon Seo\*

Crop Foundation Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

<sup>1</sup>Jeonbuk Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Republic of Korea

#### Contribution to Environmental Biology

- The control of *Scotinophara lurida*, a major rice pest in Korea, is highly dependent on spraying chemical insecticides.
- This study introduced a tactic to effectively control *S. lurida* in rice paddies using environmentally friendly organic materials to preserve the environment.

#### \*Corresponding author

Bo Yoon Seo

Tel. 063-238-5341

E-mail. seoby@korea.kr

**Received:** 14 November 2023

**First revised:** 28 November 2023

**Second revised:** 29 November 2023

**Revision accepted:** 13 December 2023

**Abstract:** The insecticidal activities of 27 different commercial products with environmentally friendly organic material (EFOM) against *Scotinophara lurida*, a major rice pest, were evaluated in the laboratory using spraying methods on plants and insects. Seven plant-derived organic farming materials (EFOM-8, -10, -12, -13, -19, -20, and -26) with high insecticidal effects when sprayed directly on the insect's body rather than on the plant were selected. In the indoor rice pot test, all 7 EFOMs showed an insecticidal rate of over 73.3% under flooding conditions. Notably, EFOM-13 and EFOM-20 demonstrated much higher insecticidal rates, ranging from 1.5 to 1.8 times, in flooding conditions compared to drained conditions. In the semi-paddy field test, EFOM-10 (80% garlic extract), EFOM-13 (62% neem extract), and EFOM-26 (70% sophora extract + 28% ethyl alcohol + 2% pyrethrum extract) exhibited a higher control value of 88.9% in the irrigated paddy on the 7th day, surpassing the control values in the drained paddy by 1.4 to 1.9 times. The control value in the irrigated rice paddy field sprayed with EFOM-10 reached 86.2% on the 7th day, which was 1.4 times higher than 61.9% in the drained paddy. Taken together, the findings suggest that direct contact of the insect's body with sufficient amounts of spray solution and the maintenance of paddy irrigation can enhance the controlling effect of EFOMs. These findings will be valuable in developing an optimal *S. lurida* control strategy for application in rice paddy fields in the near future.

**Keywords:** stink bug, insecticidal activity, control strategy, organic farming, plant extracts

## 1. 서 론

벼의 주요 해충인 먹노린재 (*Scotinophara lurida*)는 노린재목(Hemiptera) 노린재과(Pentatomidae)에 속하는 종으로 한국을 비롯하여 일본, 중국, 필리핀, 대만, 인도 등 벼를 재배하는 아시아 지역에 분포하고 있다(Zhang 1985; Mochida 1998). 먹노린재의 성충은 크기가 8~10 mm 정도이며 표면이 거칠고 광택이 없는 검은색이고, 약충은 갈색이나 암갈색을 띤다(Lee *et al.* 2001). 먹노린재 성충의 앞가슴 등판 앞 가장자리 양 끝에 옆쪽으로 난 가시 모양의 돌기가 있고 방패판은 혀 모양이며 거의 배 끝까지 뻗어 있는 특징을 보인다(NAAS 2005). 먹노린재는 1971년에 국내에서 처음 보고되었으며(Lee 1971), 연 1회 발생하지만, 필리핀의 경우 연 2회 발생한다(Reissig *et al.* 1986). 국내에서 월동이 가능한 해충으로 벼 수확기인 10월 상순 이후부터 발생 지역 주변의 논둑, 제방, 산기슭의 낙엽 밑이나 돌 밑에서 월동한다(Lee *et al.* 2004). 이듬해 5월까지 성충태로 월동한 후 6월 상순부터 이양한 논으로 이동하기 시작하여 7월 하순에 발생 최성기를 보인다(Choi *et al.* 2020). 월동 성충이 7월 중순부터 산란하면 부화한 약충이 발육한 후 8월 중순부터 1세대 신 성충이 출현하고 벼 수확기까지 발견된다(Choi *et al.* 2020). 성충과 약충 모두 벼 줄기를 흡즙하고 출수기 이후에는 이삭을 흡즙한다(NAAS 2005). 피해는 이화명나방 피해양상과 유사하게 주로 논둑 가장자리에서 나타나는데, 심한 포기는 초장이나 분얼을 억제시켜 잎의 고사와 벼의 백수 현상, 반점미를 유발한다(Kawata 1978; Goh *et al.* 1988).

국내에서 먹노린재의 전국 발생면적은 1999년에 7,112 ha로 처음 보고된 이후 친환경농업이 전국적으로 확대되는 2013년부터 발생면적이 더 넓어져 2020년에는 40,506 ha에 달하였다(NCPMS, <https://ncpms.rda.go.kr/npms>). 이때 발생면적이 증가했던 원인으로, 겨울철 기후 변화에 따른 기온 상승 효과로 먹노린재 월동 개체의 생존율 증가와 친환경 벼 재배면적 확대에 따른 합성농약 사용 감소와 항공방제기 사용에 의한 방제 효율 저하에 따른 먹노린재의 사망률 감소 등이 제시된 바 있다(Choi *et al.* 2020). 최근 2021년과 2022년에는 먹노린재의 발생면적이 각각 4,511 ha와 2,222 ha로 2020년에 비해 급격히 감소하였다(NCPMS, <https://ncpms.rda.go.kr/npms>). 그러나 전남과 충남의 친환경 벼 재배 지역에서는 먹노린재 밀도가 여전히

높아 먹노린재 피해를 예방하기 위해 방제에 신경을 쓰고 있다. 먹노린재는 벼 포기 속에서 서식하는 습성 때문에 시기를 놓칠 경우 벼가 무성해지면 방제 효과는 매우 낮아지므로 세심한 관찰과 더불어 적기 방제가 중요하다. 따라서 친환경 벼 재배 농가에서 유기농업자재를 이용할 경우 특히 방제 효과가 우수한 농자재 선정이 우선 필요하고, 농자재 살포 시 벼 포기 속에서 서식하는 먹노린재를 효과적으로 방제할 수 있는 방법이 필요한 실정이다. 그동안 국내에서 먹노린재의 월동처와 생활사 및 기주식물(Lee *et al.* 2001; Lee *et al.* 2004), 휴면유도 및 타파조건(Cho *et al.* 2004), 온도의존 발육모형(Kim *et al.* 2005; Choi *et al.* 2020)에 대한 연구가 진행되었으나 유기농업자재를 이용한 친환경 방제 기술에 관한 현장 연구는 부족한 실정이다.

기존에는 벼 재배기간 동안 화학비료와 살충제 등을 사용하여 벼의 생산량을 증가시키는데 기여를 했지만, 무분별한 사용으로 인해 인간의 건강뿐만 아니라 농업생태계 내 생물 다양성을 위협하고 있다(Bang *et al.* 2022). 이로 인해 화학 농약의 단점을 보완하고 친환경적인 생산을 위해 식물추출물 등을 활용한 친환경 유기농업자재를 이용하기 위한 노력을 하고 있다(Scott *et al.* 2003). 미국의 경우, 생물농약 관리를 위해 1994년부터 미국 환경보호청(U.S. Environmental Protection Agency) 산하 생물농약 및 오염 방지부를 설치하여 생물농약 등록을 용이하게 하고 있으며, 309개의 생물농약 활성 성분과 1,401개 생물농약이 등록되어 있다(KREI 2020). 국내에서는 국립농산물 품질관리원에서 유기농업자재를 등록 관리하고 있으며, 현재 1,925개의 유기농업자재가 등록되어 있고 그중 해충방제용으로 302개가 등록되어 있다(국립농산물품질관리원, <https://www.naqs.go.kr/contents/orfList.do>). 그러나 친환경농자재의 효과·효능·안전성에 대한 농업인들의 불확실성과 높은 가격은 친환경농자재에 대한 농업인들의 접근성을 떨어뜨리고 있다(KREI 2020). 또한 부정·불량 저급의 친환경농자재의 사용과 친환경농자재의 잘못된 활용은 오히려 친환경농업의 지속 가능성에 부정적인 영향을 미치고 있어, 친환경농업 진입의 유인을 증가시켜 최근 담보 상태인 친환경농업을 확산시키기 위해서는 농업인이 가지고 있는 농자재 이용 관련 문제를 보다 적극적으로 해소할 필요가 있다(KREI 2020). 유기농업자재는 화학 농약 대비 방제 효과가 낮고 가격이 비싼 단점이 있기 때문에 이를 극복하기 위해 농업 현장에서 먹노린재의 방제 효과를 높이

기 위한 보완이 필요하다.

본 연구에서는 벼의 주요 해충인 먹노린재에 대해 높은 살충 활성을 나타내는 시판 중인 유기농업자재를 실내에서 선발하고, 유기농업자재 살포 시 벼 포기 속에 숨어있는 먹노린재를 담수를 통해 밖으로 노출시킴으로써 방제 효과를 높일 수 있는지, 실내 포트와 야외 논에서 평가를 수행하고 그 결과를 보고한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 시험 곤충

국내에서 지속적으로 피해가 보고되고 있는 충남 서천(36°4'N 126°42'E), 전남 곡성(35°8'N 127°14'E) 등 친환경 벼 재배단지에서 발생한 먹노린재를 7~8월에 채집하여, 전북 완주 소재 국립식량과학원 곤충 사육실(35°50'N 127°2'E)에서 출수된 벼(품종: 보람찬)를 기주로 누대 사육하여 시험에 이용하였다. 사육 및 살충 활성 실험 조건은 온도  $27 \pm 1^\circ\text{C}$ , 광주기 16L:8D, 습도  $60 \pm 5\%$ 로 설정하였다.

### 2.2. 유기농업자재 선발을 위한 살충 활성 검증

#### 2.2.1. 유기농업자재 선정

국내에서 주로 벼를 가해하는 먹노린재의 친환경 방제를 위한 유기농업자재의 선발 시험을 위해 국립농산물품질관리원 유기농업자재에 공시되어 있으면서 식물추출물이 주성분인 27종의 시판 제품을 시험 대상으로 모두 선정하였다. 먹노린재에 대해 기주분무법과 충체분무법의 살충 효과를 비교하기 위하여, 먹노린재에 등록된 농약 중 식물에 침투이행성 기작을 가지는 dinotefuran과 해충에 접촉 독성을 가지는 etofenprox의 혼합제인 화학농약(chemical insecticide, 이하 CI) dinotefuran + etofenprox (5%+8%)을 대조로 이용하였다(Choi *et al.* 2017). 제품별 주요 성분과 함량 및 희석농도는 Table 1과 같다.

#### 2.2.2. 살충 활성 검증

먹노린재에 대해 살충 효과가 우수한 유기농업자재를 선발한 후, 유기농업자재마다 효과적인 살포 방법을 제시하고자 하였다. 기주에 약제를 직접 살포하는 기주분무법과 곤충에 직접 약제를 살포는 충체분무법을 이용하여 살

충 활성을 검증 후 비교하였다. 이때 살충 활성은 벼 3엽기 유묘가 들어 있는 아크릴 시험관(지름 6 cm, 높이 20 cm)을 사용하였다. 기주분무법 처리를 위해서는 벼 유묘에 유기농업자재 희석액을 360 mL 소형분무기(지름 7 cm, 높이 19 cm)를 이용하여 충분히 살포하고 30분간 음건한 후 벼 유묘를 시험관에 넣고 먹노린재 성충을 10마리 접종을 하였다. 먹노린재 성충 10마리에 유기농업자재 희석액을 360 mL 소형분무기로 충분히 살포한 후 벼 유묘가 든 시험관에 접종하였다. 각 유기농업자재별로 두 가지 처리 방법을 각각 3 반복으로 수행하고 5일 차까지 살충 활성을 검증하였다.

### 2.3. 담수 여부에 따른 방제 효과 검증

#### 2.3.1. 포트 검증

시험관을 이용한 충체분무 검증에서 먹노린재 성충에 대해 살충 활성이 높은 유기농업자재 7종을 이용하여 실제 벼가 심겨진 포트에서 담수 여부가 미치는 살충 효과를 비교하였다. 사각수생분(가로 22 cm, 세로 22 cm, 높이 17 cm) 포트에서 재배하여 출수 한 벼(품종: 보람찬)를 물이 없는 퇴수된 조건과 5 cm 높이의 물이 있는 담수된 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 각 유기농업자재의 추천 농도 희석액을 360 mL 소형분무기(지름 7 cm, 높이 19 cm)를 이용하여 경엽 살포하였다. 유기농업자재별 3반복으로 수행하였으며 5일차까지 살충 활성을 검증하였다.

#### 2.3.2. 포장 방제 효과 검증

##### 2.3.2.1. 간이 포장 시험

담수 여부에 따른 포트 검정을 통해 담수 시 살충 활성이 85% 이상으로 높게 나타난 유기농업자재 3종으로 야외 간이 포장 시험을 수행하였다. 전북 완주 소재 국립식량과학원 원내 논 포장(35°50'N 127°2'E)에 '신동진' 벼를 2023년 6월 15일에 이앙하였다. 논에서 벼가 출수된 후 9월 6일 논에 물이 없는 퇴수된 조건과 물이 있는 담수된 조건을 각각 만들었다. 논에서 무작위로 선정된 벼 포기에 접종하는 먹노린재가 밖으로 이동하지 못하도록 망실(60 mesh, 가로 35 cm, 세로 40 cm, 높이 140 cm)을 설치하였다. 망실

**Table 1.** List of environmentally friendly organic materials (EFOM) in the insecticidal activity test of *Scotinophara lurida*

EFOM	Active ingredients (composition rate, %)	Dilution (times)
1	Camphor tree oil (10)	1,000
2	Cinnamon oil (34) + Plant extract (Chinese scholar tree, Goosefoot, Subtripinnata) (45) + Paraffin oil (10)	1,000
3	Cinnamon oil (4) + Sophora extract (1) + Paraffin oil (40)	1,000
4	Citrus oil (10)	500
5	Clove oil (10) + Clove extract (50) + Pyrethrum extract (2)	1,000
6	Derris extract (70)	1,000
7	Derris (30) + Cinnamon oil (5) + Lemongrass (5) + Jicama extract (2) + Ethyl alcohol (51) + Pyrethrum (2)	1,000
8	Derris extract (60) + Clove oil (10)	1,000
9	Derris extract (50) + Paraffin oil (10)	1,000
10	Garlic extract (80)	1,000
11	Karanja oil (95)	1,000
12	Monkshood extract (40) + Pyrethrum extract (4)	1,000
13	Neem extract (62)	1,000
14	Paraffin oil (65) + Orange extract (15)	1,000
15	Plant oil (Camphor oil) (55)	1,000
16	Pyrethrin (1.5) + Oleis acid (1.5)	1,000
17	Pyrethrum extract (10) + Ethyl alcohol (70)	1,000
18	Pyrethrum extract (10) + Paraffin oil (40)	1,000
19	Pyrethrum extract (15) + Plant extract (Chinese scholar tree, Goosefoot, Subtripinnata) (10)	1,000
20	Pyrethrum extract (3) + Sophora extract (67) + Pyroligneous liquor (30)	1,000
21	Soap (78) + Orange extract (10)	1,000
22	Sophora extract (70)	1,000
23	Sophora extract (80)	1,000
24	Sophora extract (25) + Cinnamon oil (15) + Paraffin oil (10)	1,000
25	Sophora extract (34) + Ethyl alcohol (64) + Pyrethrum extract (2)	1,000
26	Sophora extract (70) + Ethyl alcohol (28) + Pyrethrum extract (2)	1,000
27	Sophora extract (65) + Paraffin oil (10)	1,000
Cl <sup>a</sup>	Dinotefuran (5) + Etofenprox (8)	1,000

<sup>a</sup>Cl, chemical insecticide

에 먹노린재 성충을 30마리씩 접종 2일 후 유기농업자재별 ( $n=3$ ) 추천 농도로 수동식 압축 분무기(4L, 3.0 kgf cm<sup>-2</sup>, B&C HITECH, Korea)를 이용하여 경엽 살포한 후 처리 3, 7일차에 살충 활성을 검정하였다.

### 2.3.2.2. 농가 현장 시험

먹노린재에 살충 활성이 높게 나타난 유기농업자재 EFOM-10 (마늘 80%) 1종을 실제 농가 포장에 살포하여 야외에서 발생하고 있는 먹노린재에 대해 방제 효과를 검정하였다. 먹노린재 발생 지역인 전라남도 장흥군 유치면 소재의 친환경 벼 재배단지(34°48'N 126°49'E)에서 2023년 8월 31일에 출수된 '새청무' 벼를 논에 물이 없는 퇴수된 조건과 물이 있는 담수된 조건을 농가의 협조를 통해 조성

하였다. 유기농업자재 살포 전에 각각의 퇴수된 논과 담수된 논에서 벼 50주(포기)에서 먹노린재의 사전 밀도를 육안으로 조사하고 각 주(포기)마다 1 m 노란색 폴대로 위치를 표시하였다. 유기농업자재 EFOM-10을 추천 농도로 준비하고 농가의 일반적 살포 방법인 고압 스프레이(MACH Series; Newrun Motors, Korea)를 이용하여 각각의 논에 살포 처리하였다. 처리 후 3, 7일차에 먹노린재가 발생한 벼 50주에서의 먹노린재 밀도를 육안 조사하고 살충 활성을 검정하였다.

## 2.4. 통계 분석

모든 통계분석은 R 통계 프로그램(R Version 4.2.2)을 이

용하였다. 유기농업자재별 살충 활성 비교는 일원배치 분산분석(ANOVA) 후 평균 간 차이가 유의한 경우 Tukey's HSD Test를 통해 5% 유의수준에서 비교되었다. 각 유기농자재별 담수 조건과 퇴수 조건 간 살충 활성 비교를 위해 *t* 검정을 통해 평균값을 분석하여 5% 유의수준에서 비교하였다. 포장 검정에서의 유기농업자재별 방제가(Control value, %)는 [(무처리구 생충률 - 처리구 생충률)/무처리구 생충률] × 100으로 산출하였다(Abbott 1925).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 유기농업자재의 살충 활성 실내 검정

기주분무법과 총체분무법을 이용하여 시판 중인 유기농업자재 27종의 먹노린재에 대한 살충 활성을 검정한 결과를 Table 2에 정리하였다. 기주 식물인 벼에 직접 약제를 살포한 후 먹노린재를 접종하는 기주분무법의 살충 효과를 확인한 결과, 유기농업자재 3종(EFOM-2, -20, -25) 처리

**Table 2.** Insecticidal activity of 27 environmentally friendly organic materials against *Scotinophara lurida* based on two application methods: spraying to plants (SP) and spraying to insects (SI)

EFOM <sup>a</sup>	Dilution (times)	Mortality (% , Mean ± SD)								
		1 DAT <sup>d</sup>			3 DAT			5 DAT		
		SP	SI	<i>t</i> -test <sup>f</sup>	SP	SI	<i>t</i> -test	SP	SI	<i>t</i> -test
1	1,000	0.0±0.0 c <sup>e</sup>	0.0±0.0 h		0.0±0.0 d	10.0±10.0 hi		0.0±0.0 d	13.3±11.5 hi	
2	1,000	0.0±0.0 c	6.7±11.5 gh		16.7±5.8 b	6.7±11.5 hi		16.7±5.8 b	6.7±11.5 hi	
3	1,000	0.0±0.0 c	0.0±0.0 h		0.0±0.0 d	0.0±0.0 i		0.0±0.0 d	0.0±0.0 i	
4	500	3.3±5.8 bc	0.0±0.0 h		6.7±5.8 cd	6.7±5.8 hi		10.0±10.0 bcd	6.7±5.8 hi	
5	1,000	0.0±0.0 c	10.0±10.0 fgh		3.3±5.8 d	10.0±10.0 hi		10.0±10.0 bcd	10.0±10.0 hi	
6	1,000	0.0±0.0 c	70.0±17.3 b	*	0.0±0.0 d	73.3±20.8 bc	*	3.3±5.8 cd	86.7±11.5 ab	*
7	1,000	0.0±0.0 c	23.3±5.8 defg	*	3.3±5.8 d	23.3±5.8 fgh	*	10.0±10.0 bcd	26.7±5.8 defgh	*
8	1,000	0.0±0.0 c	100.0±0.0 a	*	3.3±5.8 d	100.0±0.0 a	*	6.7±5.8 bcd	100.0±0.0 a	*
9	1,000	0.0±0.0 c	0.0±0.0 h		0.0±0.0 d	0.0±0.0 i		0.0±0.0 d	6.7±5.8 hi	
10	1,000	0.0±0.0 c	100.0±0.0 a	*	3.3±5.8 d	100.0±0.0 a	*	6.7±5.8 bcd	100.0±0.0 a	*
11	1,000	0.0±0.0 c	20.0±10.0 efg	*	0.0±0.0 d	20.0±10.0 ghi	*	0.0±0.0 d	20.0±10.0 fghi	*
12	1,000	0.0±0.0 c	93.3±5.8 a	*	0.0±0.0 d	96.7±5.8 a	*	0.0±0.0 d	100.0±0.0 a	*
13	1,000	0.0±0.0 c	100.0±0.0 a	*	0.0±0.0 d	100.0±0.0 a	*	0.0±0.0 d	100.0±0.0 a	*
14	1,000	0.0±0.0 c	23.3±20.8 defg		0.0±0.0 d	40.0±26.5 def		0.0±0.0 d	46.7±32.1 cd	
15	1,000	0.0±0.0 c	70.0±20.0 b	*	0.0±0.0 d	76.7±25.2 b	*	0.0±0.0 d	76.7±25.2 b	*
16	1,000	3.3±5.8 bc	23.3±15.3 defg		3.3±5.8 d	36.7±5.8 efg	*	6.7±5.8 bcd	40.0±10.0 cdef	*
17	1,000	0.0±0.0 c	33.3±5.8 cde	*	0.0±0.0 d	36.7±5.8 efg	*	0.0±0.0 d	36.7±5.8 cdefg	*
18	1,000	6.7±5.8 b	26.7±15.3 def		6.7±5.8 cd	56.7±15.3 cd	*	10.0±10.0 bcd	56.7±15.3 c	*
19	1,000	0.0±0.0 c	100.0±0.0 a	*	0.0±0.0 d	100.0±0.0 a	*	0.0±0.0 d	100.0±0.0 a	*
20	1,000	3.3±5.8 bc	26.7±15.3 def		3.3±5.8 d	90.0±10.0 ab	*	13.3±15.3 bc	100.0±0.0 a	*
21	1,000	0.0±0.0 c	40.0±10.0 cd	*	0.0±0.0 d	40.0±10.0 def	*	0.0±0.0 d	43.3±15.3 cde	*
22	1,000	0.0±0.0 c	6.7±5.8 gh		0.0±0.0 d	6.7±5.8 hi		0.0±0.0 d	10.0±10.0 hi	
23	1,000	0.0±0.0 c	0.0±0.0 h		0.0±0.0 d	6.7±5.8 hi		6.7±5.8 bcd	13.3±15.3 hi	
24	1,000	0.0±0.0 c	0.0±0.0 h		3.3±5.8 d	0.0±0.0 i		10.0±10.0 bcd	23.3±5.8 efg	
25	1,000	3.3±5.8 bc	50.0±20.0 c	*	13.3±5.8 bc	53.3±20.8 de	*	13.3±5.8 bc	56.7±15.3 c	*
26	1,000	0.0±0.0 c	100.0±0.0 a	*	0.0±0.0 d	100.0±0.0 a	*	0.0±0.0 d	100.0±0.0 a	*
27	1,000	0.0±0.0 c	10.0±10.0 fgh		6.7±11.5 cd	16.7±5.8 hi		6.7±11.5 bcd	16.7±5.8 ghi	
CI <sup>b</sup>	1,000	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	
NT <sup>c</sup>	-	0.0±0.0 c	0.0±0.0 h		0.0±0.0 d	0.0±0.0 i		0.0±0.0 d	0.0±0.0 i	

<sup>a</sup>EFOM, environmentally friendly organic material

<sup>b</sup>CI, chemical insecticide

<sup>c</sup>NT, no treatment

<sup>d</sup>DAT, days after treatment

<sup>e</sup>Means followed by a common letter in the same column were not significantly different by Tukey's HSD test at the 5% level of significance.

<sup>f</sup>\*indicates a significant difference between the two application methods by the *t*-test ( $\alpha=0.05$ ).

구에서 5일차에 13.3~16.7%의 살충률을 나타내었고, 나머지 유기농업자재에서는 10% 이하의 더 낮은 살충률을 보였다. 반면에 먹노린재에 직접 약제를 살포하는 총체분무법의 살충 효과를 확인한 결과, 유기농업자재 5종(EFOM-8, -10, -13, -19, -26) 처리구에서 1일차에 100% 살충률을 나타내었으며, 2종(EFOM-12, -20) 처리구에서는 5일차에 100%의 살충률을 나타내었다. 유기농업자재 4종(EFOM-6, -15, -18, -25) 처리구에서는 5일차에 56.7~86.7%의 살충률을 나타내었으며 나머지 유기농업자재 16종에서는 5일차에 46.7% 이하의 낮은 살충률을 보였다. 유기농업자재 1종(EFOM-3)은 무처리(NT)와 같이 살충률이 5일차에도 0.0%로 살충 활성이 매우 낮았다. 유기농업자재 3종(EFOM-2, -4, -5)은 5일차 살충률이 기주분무법보다 총체분무법에서 더 낮거나 같았으나 나머지 유기농업자재는 모두 총체분무법이 기주분무법보다 살충률이 높았다. 대조구인 화학농약(CI)은 기주분무법과 총체분무법 모두에서 1일차 살충률이 100.0%였다. 이러한 결과로부터 시판 유기농업자재 중 먹노린재에 살충 효과가 높은 유기농업자재 7종(EFOM-8, -10, -12, -13, -19, -20, -26)이 선발되었으며 모두 총체에 직접 살포되어 접촉하는 경우에만 높은 살충 효과가 기대되었다.

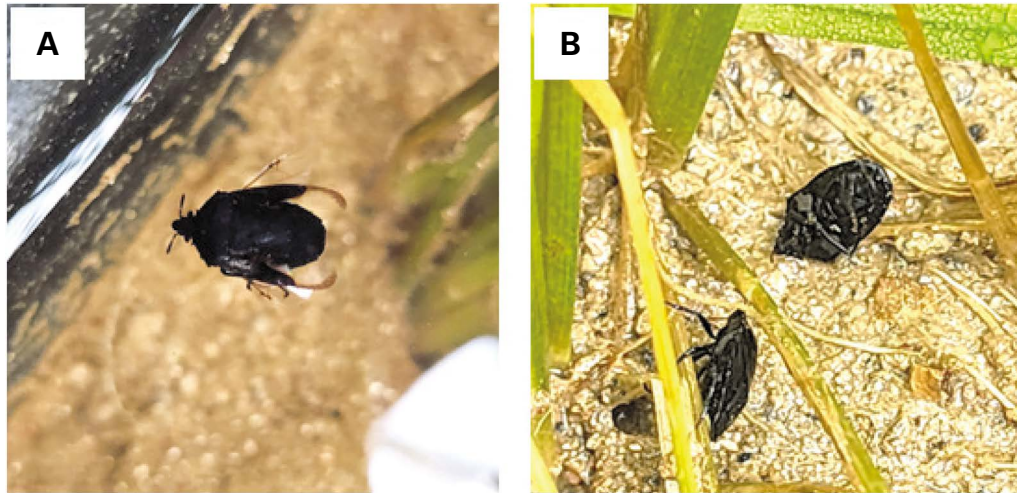
Kwon *et al.* (2011)은 유기농업자재를 톱다리개미허리노린재(*Riptortus pedestris*) 총체에 직접 처리하는 것이 기주 식물에 처리하는 것보다 효율적이라고 보고하였다. 따라서 본 연구에서도 기주분무 처리 시 먹노린재에 살충효과가 매우 낮았고 총체분무 처리에서 더 높았던 것으로 사료된다. 본 연구에서 먹노린재에 살충 활성이 높았던 7종 유기농업자재가 함유하는 주요 식물추출물과 함량은 다음과 같다: EFOM-8 (데리스 60% + 정향유 10%), EFOM-10 (마늘 80%), EFOM-12 (초오 40% + 제충국 4%), EFOM-13 (넙 62%), EFOM-19 (제충국 15% + 식물추출물(회화나무, 양명아주, 멀구슬나무) 10%), EFOM-20 (제충국 3% + 고삼 67% + 목초액 30%) 및 EFOM-26 (고삼 70% + 에틸알콜 28% + 제충국 2%). 각 식물추출물에서 알려진 살충성분의 종류와 살충 메커니즘은 다음과 같다. 데리스의 rotenone 성분은 곤충의 전자전달계를 교란시켜 전자 흐름을 저해함으로써 살충 효과가 보고된 바 있다(Rich 1996). 마늘의 diallyl disulfide와 diallyl sulfide 성분은 소화효소 활성 억제와 기피 효과 및 신경계 아세틸콜린에스터라제의 활성 억제 효과(Singh and Singh 1996; Talepour *et al.*

2021)가 보고되었다. 제충국의 pyrethrin은 신경전달 교란을 일으켜 해충을 죽게 하는 기작(Soderlund 2008)과 고삼의 matrine 성분은 해충의 신경 마비와 호흡을 억제하는 기작(Yu *et al.* 2011)이 보고되었다. 넙의 azadirachtin 성분은 섭식 저해와 산란 및 성장 억제 등에 관여한다고 알려져 있으며(Schmutterer 1990), 초오의 aconitine은 노린재목인 벼멸구(*Nilaparvata lugens*)에 knockdown 효과(Wei *et al.* 2019)가 보고되었다. 이러한 기작으로 인해 본 연구에서 선발된 식물추출물 유래 유기농업자재 7종이 먹노린재 성충에 대해 높은 방제 효과를 나타내는 것으로 판단된다. 한편, 본 연구에서 주요 식물추출물이 동일하지만 살충효과가 매우 다른 ① EFOM-8과 EFOM-9, ② EFOM-22, EFOM-23과 EFOM-26의 사례처럼 식물추출물의 유효성분 간 조합의 차이도 먹노린재의 살충 활성에 매우 큰 영향을 미칠 수 있음이 확인되어 앞으로 이 부분에 대한 추가 연구가 필요해 보인다.

### 3.2. 담수 여부에 따른 방제 효과 검증

#### 3.2.1. 포트 검증

먹노린재에 총체분무 처리를 통해 살충 효과가 높게 나타난 7종의 유기농업자재를 이용하여 벼의 담수 포트와 퇴수 포트 조건에서 살충 활성을 검증하고 그 결과를 Table 3에 정리하였다. 5일차 결과, 담수 포트에서는 유기농업자재 2종(EFOM-10, -26) 처리구에서 90%, 4종(EFOM-8, -12, -13, -19) 처리구에서 83.3~86.7%, 1종(EFOM-20) 처리구에서 73.3%의 살충률을 보였다. 반면에 퇴수 포트에서는 유기농업자재 3종(EFOM-8, -19, -26) 처리구에서 70.0~73.3%, 2종(EFOM-10, -12) 처리구에서 63.3~66.7%, 2종(EFOM-13, -20) 처리구에서 40.0~56.7%의 살충률을 나타내었다. 먹노린재에 살충 활성이 있는 유기농업자재를 이용하여 추천농도 처리 시 담수 조건의 살충률의 평균값이 퇴수 조건의 살충률보다 1.1~1.8배 다소 높았다. 특히 EFOM-13(넙 62%)과 EFOM-20(제충국 3% + 고삼 67% + 목초액 30%)은 퇴수 조건에서 다른 유기농업자재보다 살충률이 낮았으나 통계적으로 유의하지 않았으며( $F=2.533$ ,  $df=6, 14$ ;  $p=0.071$ ), 담수 조건에서도 다른 유기농업자재와 살충률이 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다( $F=0.795$ ,  $df=6, 14$ ;  $p=0.589$ ). 또한 EFOM-13과 EFOM-20은 나머지 5종의 유기농업자재와 달리 담수 조건에서 퇴수 조건보다 살충률이 1.5~1.8배 통계적



**Fig. 1.** Adult *Scotinophara lurida* black rice bugs that were knocked down within one hour after spraying environmentally friendly organic materials under flooding (A) and drained (B) conditions in the rice plant pot test.

**Table 3.** Insecticidal activity of 7 selected environmentally friendly organic materials against *Scotinophara lurida* under flooding and drained conditions in rice plant pots (L 22 cm, W 22 cm, H 17 cm)

EFOM <sup>a</sup>	Dilution (times)	Mortality (% , Mean $\pm$ SD)								
		1 DAT <sup>c</sup>			3 DAT			5 DAT		
		Flooding	Drained	<i>t</i> -test <sup>e</sup>	Flooding	Drained	<i>t</i> -test	Flooding	Drained	<i>t</i> -test
8	1,000	26.7 $\pm$ 20.8 b <sup>d</sup>	10.0 $\pm$ 10.0 d		53.3 $\pm$ 5.8 b	23.3 $\pm$ 5.8 c	*	83.3 $\pm$ 11.5 a	73.3 $\pm$ 11.5 a	
10	1,000	76.7 $\pm$ 20.8 a	46.7 $\pm$ 15.3 bc		86.7 $\pm$ 17.3 a	60.0 $\pm$ 20.0 ab		90.0 $\pm$ 17.3 a	63.3 $\pm$ 15.3 a	
12	1,000	83.3 $\pm$ 5.8 a	50.0 $\pm$ 10.0 abc	*	83.3 $\pm$ 5.8 a	53.3 $\pm$ 5.8 ab	*	83.3 $\pm$ 5.8 a	66.7 $\pm$ 15.3 a	
13	1,000	66.7 $\pm$ 15.3 a	40.0 $\pm$ 10.0 c	*	80.0 $\pm$ 10.0 a	46.7 $\pm$ 5.8 b	*	86.7 $\pm$ 5.8 a	56.7 $\pm$ 11.5 a	*
19	1,000	76.7 $\pm$ 15.3 a	70.0 $\pm$ 10.0 a		80.0 $\pm$ 10.0 a	70.0 $\pm$ 10.0 a		83.3 $\pm$ 5.8 a	70.0 $\pm$ 10.0 a	
20	1,000	40.0 $\pm$ 10.0 b	33.3 $\pm$ 15.3 c		43.3 $\pm$ 20.8 b	40.0 $\pm$ 10.0 bc		73.3 $\pm$ 15.3 a	40.0 $\pm$ 10.0 a	*
26	1,000	80.0 $\pm$ 17.3 a	63.3 $\pm$ 11.5 ab		86.7 $\pm$ 15.3 a	70.0 $\pm$ 20.0 a		90.0 $\pm$ 10.0 a	73.3 $\pm$ 15.3 a	
NT <sup>b</sup>	-	0.0 $\pm$ 0.0 c	0.0 $\pm$ 0.0 d		0.0 $\pm$ 0.0 c	0.0 $\pm$ 0.0 d		0.0 $\pm$ 0.0 b	0.0 $\pm$ 0.0 b	

<sup>a</sup>EFOM, environmentally friendly organic material

<sup>b</sup>NT, no treatment

<sup>c</sup>DAT, Days after treatment

<sup>d</sup>Means followed by a common letter in the same column were not significantly different by Tukey's HSD test at the 5% level of significance.

<sup>e</sup>\* indicates a significant difference between the two application methods by the *t*-test ( $\alpha=0.05$ ).

으로 유의하게 높은 차이를 보였다( EFOM-13:  $t=4.025$ ,  $p=0.016$ ; EFOM-20:  $t=3.162$ ,  $p=0.034$ ). 이러한 결과를 토대로 특정 유기농업자재는 담수 여부에 따라 방제 효과가 차이가 클 수 있기 때문에 담수된 조건에서 유기농업자재를 먹노린재의 충체에 닿게 고르게 살포하면 안정적으로 방제 효과를 얻을 수 있음을 추론할 수 있었다. 이는 퇴수 조건에서보다 담수 조건에서는 먹노린재가 벼대 아래 포기 속으로 숨지 못하고 더 위쪽으로 올라와 유기농업자

재 살포 시 충체에 직접 묻을 가능성이 더 높기 때문으로 사료된다. 또한 유기농업자재의 유효성분과 보조제의 영향으로 담수 시 수면 위에 뒤집혀 떨어진 먹노린재가 빨리 회복하여 벼대로 올라오지 못하고 수면에서 사망에 이를 확률이 높아졌기 때문으로 사료된다(Fig. 1). 이러한 담수 조건의 영향은 야외 포장에서도 나타날 것으로 기대되었고 간이 포장 시험과 능가 포장 시험을 통해 방제 효과를 확인하고자 하였다.

### 3.2.2. 포장 방제 효과 검증

#### 3.2.2.1. 간이 포장 시험

먹노린재의 약충과 성충이 혼재하는 농가 포장에서 선 발된 유기농업자재의 이용가능성과 야외에서 방제 효과를 평가하기 위해서 먼저 간이 포장시험을 수행하였고 그 결과를 Table 4에 정리하였다. 먹노린재를 접종한 시험구에 3종(EFOM-10, -13, -26)의 유기농업자재를 살포한 결과, 처리 7일 후 담수 조건일 경우 EFOM-10 처리구는 88.9%, EFOM-13 처리구는 91.1%, EFOM-26 처리구는 93.3%의 방제가를 보였으며, 유기농업자재 간 방제가는 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $F=0.228$ ,  $df=2, 6$ ;  $p=0.803$ ). 퇴수 조건일 경우 EFOM-10 처리구는 64.4%, EFOM-13 처리구는 48.9%, EFOM-26 처리구는 54.4%의 방제가를 나타내었고, 유기농업자재 간 방제가는 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $F=0.953$ ,  $df=2, 6$ ;  $p=0.437$ ). 그러나 3종의 유기농업자재 모두 담수한 논 조건의 방제가가 퇴수한 논 조건의 방제가보다 처리 후 7일차에 1.4~1.9배 높았다. 특히 EFOM-13(님 62%)과 EFOM-26(고삼 70%+에틸알콜 28%+제충국 2%)은 통계적으로 유의한 차이를 보였다(EFOM-13:  $t=7.452$ ,  $p=0.002$ ; EFOM-26:  $t=3.865$ ,  $p=0.018$ ). EFOM-10(마늘 80%)은 담수한 논과 퇴수한 논 모두에서 방제가가 통계적으로 유의하게 차이를 보이지 않아( $t=2.157$ ,  $p=0.097$ ) 담수와 퇴수에 상관 없이 다소 높은 방제 효과가 기대된다. 간이 포장 검증 결과에서도 포트 검증 결과와 마찬가지로 퇴수된 논보다 담수된 논에서보다 높은 살충 활성을 나타내어, 농가 포장에서도 담수

된 논 조건에서 유기농업자재 살포 시 유사한 방제 효과가 기대되었다. 이는 먹노린재의 습성상 외부에서 자극이 있으면 벼 포기나 주변 잡초 속으로 숨을 수 있으므로(NAAS 2005; Choi *et al.* 2020) 퇴수된 논에서는 땅이 갈라진 틈새나 흠덩이 등에 먹노린재가 숨어 유기농업자재를 충분히 살포해도 충체에 접촉이 쉽지 않고 유기농업자재에 묻어 논바닥에 떨어져도 물이 없어 천천히 회복해도 죽지 않고 다시 벼대로 돌아올 수 있기 때문으로 보인다. 반면에 담수된 논에서는 먹노린재가 수면 위 벼대로 올라와 있어 유기농업자재 살포액에 더 접촉이 용이하고 수면 위로 떨어진 먹노린재가 바로 회복하지 못할 경우 사망에 이를 확률이 더 높기 때문으로 보인다. 따라서 야외 포장에서도 퇴수와 담수 조건에서 살충 효과의 차이가 나타나는 것으로 사료된다.

#### 3.2.2.2. 농가 현장 시험

먹노린재의 약충과 성충이 혼재하는 친환경 벼 재배단지에서 살충 활성이 높게 나타난 유기농업자재 EFOM-10(마늘 80%)를 이용하여 일반적인 살포방법(고압스프레이)을 이용하여 담수된 논과 퇴수된 논에 먹노린재의 방제 효과를 검증하였다. 약제 처리 3일 후 담수된 논은 66.4%, 퇴수된 논은 33.9%의 방제가를 나타내었으며, 약제 처리 7일 후 담수된 논은 86.2%, 퇴수된 논은 61.9%의 방제가를 나타내었다(Table 5). 이는 앞서 보여준 포트 검증 결과(Table 3)와 간이 포장 검증 결과(Table 4)와 크게 다르지 않았다. 그동안 농가에 먹노린재의 방제는 논물이 퇴수된 상태에서 실시해야 방제 효과가 높을 것이라고 제안하기

**Table 4.** Control value (%) of 3 selected environmentally friendly organic materials against *Scotinophara lurida* under flooding and drained conditions in an experimental rice paddy field (semi-paddy field)

EFOM <sup>a</sup>	Control value (%)							
	3 DAT <sup>c</sup>				7 DAT			
	Flooding (F)	Drained (D)	F/D	t-test <sup>e</sup>	Flooding (F)	Drained (D)	F/D	t-test
10	82.2±6.9 a <sup>d</sup>	58.9±23.4 a	1.4		88.9±9.6 a	64.4±17.1 a	1.4	
13	88.9±8.4 a	42.2±1.9 a	2.1	*	91.1±8.4 a	48.9±5.1 a	1.9	*
26	78.9±22.7 a	44.4±17.1 a	1.8		93.3±5.8 a	54.4±16.4 a	1.7	*
NT <sup>b</sup>	2.2±3.8 b	4.4±5.1 b	0.5		2.2±3.8 b	5.6±5.1 b	0.4	

<sup>a</sup>EFOM, environmentally friendly organic material

<sup>b</sup>NT, no treatment

<sup>c</sup>DAT, days after treatment

<sup>d</sup>Means followed by a common letter in the same column were not significantly different by Tukey's HSD test at the 5% level of significance.

<sup>e</sup>\*indicates a significant difference between the two application methods by the t-test ( $\alpha=0.05$ ).



**Table 5.** Control value (%) of an environmentally friendly organic material (80% garlic extract) against *Scotinophara lurida* under flooding and drained conditions in rice paddy fields

EFOM <sup>a</sup>	Dilution (times)	Rice paddy condition	Control value (%)			
			3 DAT <sup>b</sup>	Ratio (F/D)	7 DAT	Ratio (F/D)
10	1,000	Flooding (F)	66.4	2.0	86.2	1.4
		Drained (D)	33.9		61.9	

<sup>a</sup>EFOM, environmentally friendly organic material<sup>b</sup>DAT, days after treatment

도 하였으나 명확한 실험적 결과가 부재한 상황이었다. 더욱이 먹노린재를 집중방제하는 벼의 생육단계 중 영양생장기인 착근기와 생식생장기인 유수형성기, 출수기에는 물을 가장 많이 필요로 하는 시기이기 때문에 먹노린재 방제를 위해 이 시기에 물을 빼는 것은 벼 수량에 큰 영향을 미칠 것으로 보인다(Son and Chung 2002). 본 연구 결과를 통해 먹노린재에 살충 효과가 우수한 유기농업자재를 선택하면 논에 물을 빼지 않고도 유기농업자재를 이용하여 효과적인 방제를 할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 담수된 논에서는 먹노린재가 대부분 수면 부근이나 벼대 위쪽으로 올라오기 때문에 친환경자재의 접촉성을 증대시켜 방제 효과를 나타낼 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 논문이 유기농업자재를 이용한 먹노린재 방제 시 직접 접촉과 논외의 담수 조건이 방제 효과를 높일 수 있음을 보여줌으로써 앞으로 농가에서 실천할 수 있는 최적의 먹노린재 방제전략 수립에 도움이 될 것이라고 기대한다.

## 적 요

벼의 주요 해충인 먹노린재에 대해 실내에서 총체분무법과 기주분무법을 통해 시판 중인 유기농업자재(EFOM) 27종을 대상으로 살충 활성을 평가하였다. 그 결과, 유기농업자재 7종(EFOM-8, -10, -12, -13, -19, -20, -26)에서 기주식물에만 살포하는 것보다 총체에 직접 살포되어 접촉하는 경우에만 높은 살충 효과를 보였다. 실내 벼 포트 검정에서는 선발된 7종 모두 담수 조건에서 살충률이 73.3% 이상이었으며, 특히 EFOM-13과 EFOM-20은 퇴수 조건에서보다 담수 조건에서 살충률이 1.5~1.8배 높은 차이를 보였다. 야외 간이 검정에서 EFOM-10(마늘 80%), EFOM-13(넙 62%), EFOM-26(고삼 70% + 에틸알콜 28% + 제충국 2%)는 7일차 담수한 논에서 88.9%의 높은 방제가를

보였고 퇴수한 논보다 방제가는 1.4~1.9배 높았다. 선발된 EFOM-10을 살포한 농가의 담수한 논에서도 7일차 방제가는 86.2%로 퇴수한 논외의 방제가 61.9%보다 1.4배 높았다. 종합적으로 살포액의 충분한 총체 접촉과 논외의 담수 조건이 유기농업자재의 방제 효과를 높일 수 있음을 보여주었다. 이러한 연구 결과가 앞으로 농가에서 적용할 수 있는 최적의 먹노린재 방제전략 수립에 도움이 되기를 기대한다.

## CRedit authorship contribution statement

**YK Lee:** Conceptualization, Investigation, Formal analysis, Writing - Original draft, Writing - Review & editing. **NJ Choi:** Conceptualization, Methodology. **JR Lim:** Analyzing data, Writing review. **JY Choi:** Conceptualization, Analyzing data. **BY Seo:** Conceptualization, Methodology, Project administration, Writing review.

## Declaration of Competing Interest

The authors declare no conflicts of interest.

## 사 사

본 연구는 2023년도 농촌진흥청 국립식량과학원 전문연구원 과정 지원사업과 농촌진흥청 시험연구사업(PJ 015967022023)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

- Abbott WS. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18:265-267.
- Bang JH, MK Kim, SK Choi, JU E, SJ Yeob and MH Kim. 2022.

- Fish fauna and characteristics of *Misgurnus anguillicaudatus* and *Aphyocypris chinensis* populations in environmentally friendly and conventional paddy fields. Korean J. Environ. Biol. 40:138–147. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2022.40.2.138>
- Cho JR, MH Lee, HS Kim and KS Boo. 2004. Induction and termination of the reproductive diapause in the black rice bug, *Scotinophara lurida* Burmeister. p. 134. In: Proceedings of the Korean Society of Applied Entomology Spring Conference. Korean Society of Applied Entomology. Daejeon, Korea.
- Choi DS, HJ Kim, SA Oh, JH Lee, AH Cho and KC Ma. 2020. Developmental ecology and temperature-dependent development model of *Scotinophara lurida* (Heteroptera: Pentatomidae). Korean J. Org. Agric. 28:251–261. <https://doi.org/10.11625/KJOA.2020.28.2.251>
- Choi YS, HY Seo, SH Jo, IS Whang and DK Park. 2017. Selection of systemic chemicals and attractiveness of sunflower to *Ricania* spp. (Hemiptera: Ricaniidae) adults. Korean J. Appl. Entomol. 56:345–350. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2017.10.0.026>
- Goh HG, YH Kim, YI Lee and GM Choi. 1988. Occurrence of peckey rice and species of bugs at paddy field, RDA. J. Agri. Sci. 30:47–51.
- Kawata A. 1978. Dictionary of Disease and Pests in Crops. Yang Hyeon Dang. p. 299.
- Kim HS, ST Kim, MP Jung and JH Lee. 2005. Temperature-dependent development model of *Scotinophara lurida* (Heteroptera: Pentatomidae). p. 169. In: Proceedings of the Korean Society of Applied Entomology Spring Conference. Korean Society of Applied Entomology. Cheongju, Korea.
- KREI. 2020. Research on the Eco-friendly Agricultural Input Industry and Policy Recommendations. Korea Rural Economic Institute. Naju, Korea. p. 216.
- Kwon HR, SH Kim, MW Park, SH Jo, HS Shin, HS Cho, MJ Seo, YM Yu and YN Youn. 2011. Environmentally-friendly control of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) by environmental friendly agricultural materials. Korean J. Agri. Sci. 38:413–419. <https://doi.org/10.7744/cnujas.2011.38.3.413>
- Lee CU. 1971. Diagnosis of animal and plant in Korea (XII) (Insect. Hemiptera). The Ministry of Education. Seoul, Korea. pp. 163–164.
- Lee KY, KS Ahn, HJ Kang, SK Park and TS Kim. 2001. Host plants and life cycle of rice black bug, *Scotinophara lurida* Burmeister (Hemiptera: Pentatomidae). Korean J. Appl. Entomol. 40:309–313.
- Lee KY, SK Park, KS Ahn and BR Choi. 2004. Overwintering site and seasonal occurrence of the rice black bug *Scotinophara lurida* (Hemiptera: Pentatomidae) in the rice paddy field. Korean J. Appl. Entomol. 43:291–296.
- Mochida O. 1998. Nonseedborne rice pests of quarantine importance. pp. 117–129. In: Rice Seed Health. International Rice Research Institute. Manila, Philippines.
- NAAS. 2005. Diagnosis and Control of Diseases, Insect Pests and Weeds in Food Crops. National Institute of Agricultural Sciences. Suwon, Korea. pp. 153–155.
- Reissig WH, EA Heinrichs, JA Litsinger, K Moody, L Fieldler, TW Mew and AT Barrion. 1986. Illustrated Guide to Integrated Pest Management in Rice in Tropical Asia. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines. pp. 147–153.
- Rich RP. 1996. Quinone binding sites of membrane proteins as targets for inhibitors. Pestic. Sci. 47:287–296. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9063\(199607\)47:3<287::AID-PS405>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199607)47:3<287::AID-PS405>3.0.CO;2-B)
- Schmutterer H. 1990. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree. Annu. Rev. Entomol. 35:271–298. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.35.010190.001415>
- Scott IM, H Jensen, JG Scott, MB Isman, JT Arnason and BJ Philogene. 2003. Botanical insecticides for controlling agricultural pests: piperamides and the Colorado Potato Beetle *Leptinotarsa decemlineata* say (Coleoptera: Chrysomelidae). Arch. Insect Biochem. Physiol. 54:212–225. <https://doi.org/10.1002/arch.10118>
- Singh VK and DK Singh. 1996. Enzyme inhibition by allicin, the molluscicidal agent of *Allium sativum* L. (garlic). Phytother. Res. 10:383–386. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1573\(199608\)10:5<383::AID-PTR855>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1573(199608)10:5<383::AID-PTR855>3.0.CO;2-9)
- Soderlund DM. 2008. Pyrethroids, knockdown resistance and sodium channels. Pest Manag. Sci. 64:610–616. <https://doi.org/10.1002/ps.1574>
- Son SH and SO Chung. 2002. Effects of ponding depth treatment on water balance in paddy fields. J. Korean Soc. Agri. Eng. 44: 67–74.
- Talepour F, A Zibae, MA Seyahooei and JJ Sendi. 2021. Toxicity and physiological effects of diallyl sulfide and diallyl disulfide on *Tuta absoluta* Meyrick. Physiol. Mol. Plant Pathol. 116:101741. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101741>
- Wei S, H Zhang, B Li, J Ji and X Shao. 2019. Insecticidal effect of aconitine on the rice brown planthoppers. PLoS One 14:e0221090. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221090>
- Yu HB, HF Zhang, DY Li, X Zhang, HZ Xue and SH Zhao. 2011. Matrine inhibits matrix metalloproteinase-9 expression and invasion of human hepatocellular carcinoma cells. J. Asian Nat. Prod. Res. 13:242–250. <https://doi.org/10.1080/10286020.2010.551641>
- Zhang SH. 1985. Economic Insect Fauna of China, Volume 31: Hemiptera 1. Science press. Beijing, China. pp. 84–85.