



ORIGINAL ARTICLES

드론을 이용한 쪽파 파밤나방(*Spodoptera exigua*)과 무 배추좀나방(*Plutella xylostella*)의 방제효과

박부용 · 정인홍 · 조점래*

국립농업과학원 농산물안전성부 작물보호과

Control Efficacy of *Spodoptera exigua* on Welsh onion and *Plutella xylostella* on White Radish Field using Drone

Bueyong Park, In-Hong Jeong, Jum Rae Cho*

Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration,
Wanju, Jeollabuk-do, 55365, Republic of Korea

(Received on January 29, 2020. Revised on February 14, 2020. Accepted on February 17, 2020)

Abstract The beet armyworm, *Spodoptera exigua* and diamondback moth, *Plutella xylostella* are major insect in various crops. It is effective to control them at the early stage of larval development, because they have different susceptibility to some insecticides depending on the larval stage. Drone-based insect pest control can be considered as an alternative to solve problems such as an aging society and labor shortage in the farming field. But there are not enough empirical data on the use of drone. Therefore, we investigated the control efficacy of drone allied pesticides against *S. exigua* on Welsh onion and *P. xylostella* on White radish field. In white radish field, after spraying five insecticides including spinetoram SC at the recommended concentration, all showed high control effects above 90%. There was no damage to seven surrounding crops at standard and 2 times amount.

Key words Drone, Insecticide, Multi-copter, *Spodoptera exigua*, *Plutella xylostella*

서 론

파밤나방은 나비목(Lepidoptera) 밤나방과(Noctuidae)에 속하는 해충으로서 채소, 과수, 화훼 등 광범위한 농작물에 피해를 주는 문제 해충이며 시설재배지에서는 월동이 가능할 정도로 내한성이 있어 연중 발생할 경우 연 4-5회 발생하는 것으로 알려져 있다(Goh et al., 1993; Kim and Kim, 1997; Taylor and Riley, 2008). 배추좀나방은 나비목(Lepidoptera) 좀나방과(Plutellidae)에 속하며 주로 배추과 식물을 가해하며, 전 세계적으로 분포하고 있는 광역 해충이다(Zalucki et al., 2012). 이들 해충을 방제하기 위해 유기인계, 피레스로이드계, 디아미드계 등 여러 가지 계통의 약제가 사용되고 있지만(Cho et al., 2018), 저항성 발달이 빠르고,

특히 4령 이후 노숙유충에는 약효가 감소하는 경향을 보인다(Park and Goh, 1992). 따라서 해충 발생초기에 방제하는 것이 방제 효율을 높일 수 있겠으나 농촌 고령화 및 농업인구 감소 등으로 인하여 농작업에 어려움이 많은 상황이다(Kim, 2015). 이에 대한 대안으로 새로운 약제 방제 방법이 필요한 상황인데, 드론(멀티콥터)을 이용한 약제 방제방법이 대안의 하나로 거론되고 있으며 이에 대한 기초적인 연구가 이루어지고 있는 상황이다(Lee et al., 2019; Park et al., 2019). 국가적으로도 드론 등을 이용한 항공방제의 보급을 위해 항공방제용 농약을 등록하고(KCPA, 2019), 농약 및 원제의 등록 기준을 개정하여 많은 농약이 등록될 수 있도록 하였으며, 농업기술실용화재단을 통해 방제용 드론의 규격과 성능을 검정토록 하고 있다(RDA, 2019). 그러나 농업 현장에서 병해충 방제 시 준용해야 할 세부적인 기준은 아직 없는 상황인데 이는 실증 실험을 통한 약해, 비산, 잔류 및 단위면적당 적정 살포량 등 세부적인 자료가 부족하기

*Corresponding author
E-mail: jrcho82@korea.kr



Fig. 1. Control experimental processes using drone ((A) Insect breeding, (B) White radish field, (C) Welsh onion field, (D) Mortality survey, (E-F) Insecticide treatment using drone).

때문이며 현재 솔수염하늘소, 파밤나방 등 산림지, 농경지 해충 2종에 대한 방제 실증 결과가 보고되어 있는 상황이다 (Lee et al., 2019; Park et al., 2019). 따라서 본 연구는 쪽파에 발생하는 파밤나방과 무에 발생하는 배추좀나방을 대상으로 드론을 이용한 항공방제 시험을 통하여 약효 및 작물 약해를 검정하고 농업 현장에서 드론 방제 시 사용 기준을 설정하기 위한 근거자료를 확보하고자 수행되었다.

재료 및 방법

시험포장

방제시험은 충북 청주시 청원구 오창읍 소재 쪽파밭, 전북 익산시 성당면 소재 무밭에서 실시하였다. 청주 쪽파밭은 24×100 m(1줄의 폭 약 1.5 m), 총면적 $2,400 \text{ m}^2$, 구당면적 450 m^2 이며, 익산 무밭은 6×20 m(1줄의 폭 약 0.5 m), 총면적 480 m^2 , 구당면적 120 m^2 이고(Fig. 1), 단구제 3반복 실험을 할 수 있게 구획하였다. 쪽파밭은 농가 포장을 사용하였고, 무밭은 직접 포장을 조성하여 수행하였다. 무밭에서는 약해 검정을 위해 주변 작물로 작물의 식물분류학적 특

성을 고려하여 중복을 최소화한 가지, 고추, 들깨, 오이, 옥수수, 쪽파 및 대두(콩)를 선정하여 약해를 조사하였다.

시험해충

본 시험에 사용한 파밤나방과 배추좀나방은 국립농업과학원 작물보호과 해충사육실에서 계대사육한 집단이다. 이는 아크릴 사육케이지($40.0 \times 45.0 \times 40.0$ cm)에서 배추를 먹이로 하여 사육하였다($24 \pm 1^\circ\text{C}$, $60 \pm 5\%$ RH, 14L:10D). 해충의 생육 단계별 방제효과를 검정하기 위해 파밤나방과 배추좀나방을 2령 유충과 5령 유충으로 구분하여 2가지 영기를 대상으로 시험을 수행하였다. 시험해충 50마리를 약제 살포 2일 전 대상 작물에 집중하여 24시간 이상의 정착기간을 두었다. 무의 경우 해충과 작물 특성상 이탈하는 개체를 막기 위해 망치리를 하여 이를 방지하였다. 약제 처리 직전에 파밤나방과 배추좀나방의 영기별 개체수를 세어 그 수를 처리 전 밀도로 하였다. 약제 처리 후 7일차에 생충수를 조사하였고 충체를 자극하였을 때 움직임이 있는 개체를 살아있는 개체로 계수하였다. 처리 전 밀도 대비 생사가 파악되지 않는 개체가 있는 경우에는 더 이상 해당 농작물을 가해하지

않는 것으로 보아 이탈한 것으로 간주하여 생충수에 포함시키지 않았다.

시험약제

시험약제는 5종이며 쪽파에 chlorfenapyr 액상수화제, pyridalyl 유탁제, 무에는 spinetoram 액상수화제, Metaflumizone 유제, etofenprox+metaflumizone 유현탁제를 사용하였다. 이들은 무인항공기 방제용으로 등록되어 있는 약제들이며 작물보호제 지침서를 참고하여 안전사용기준과 추천 희석배수를 준수하여 처리되었다. 약제는 추천 희석배수의 배량(×2배)을 살포한 후 검정하였다. 약제는 농작물 canopy 2 m 상공에서 3 m/s의 운항속도로 평행 살포되었다. 노즐은 비산방지 드리프트가 장착된 DG계열 노즐을 사용하였으며 청주 포장에서는 DG11002, 익산 포장에서는 DG8002 노즐을 사용하였다.

드론

시험에 사용한 드론은 청주 포장은 헥사콥터이며 규격은 1,760 (L) × 1,760 (W) × 690 mm (H), 중량은 11.9 Kg (전지 포함), FC (flight controller)는 A3 ag이며, 약제통 용량은 10L이다. 이 기종은 약 1 ha의 면적에 방제제를 살포하는데 10분 내외가 걸리며 노즐을 4개까지 장착할 수 있다. 익산 포장은 쿼드콥터로 규격은 1,550 (L) × 1,500 (W) × 480 mm (H), 중량은 9.6 Kg(전지 미포함), FC는 xAircraft SuperX2이며 약제통 용량은 10 L이다. 이 기종 역시 약 1 ha를 10분 내외로 방제할 수 있으며 4개의 노즐을 장착할 수 있다. 이 드론을 이용하여 청주 포장은 2019년 5월 10일과 17일 (pyridalyl 2차), 익산 포장은 2019년 10월 30일 오전 5시경 약제를 살포하였다. 시험 수행 중 환경조건 측정을 위해 Vernier software & Technology company의 센서형 데이터 로거 Labquest2 LQ_LE를 이용하여 시험 당시의 온·습도 및 풍속을 측정하였는데 청주, 익산 포장 둘 다 약제 처리 전후로 약효 및 약제 시험에 영향을 미칠 만한 기상은 발생하지 않았다. 청주 포장 1차 약제 살포시(5월 10일) 기상 상황은 맑았으며 동남동풍이 평균 0.9m/s, 최대 1.2 m/s의 속도로 불었고 기온은 7.9°C였다. 2회 살포하는 Pyridalyl 유탁제 살포시(5월 17일) 기상 상황은 맑고 바람은 거의 불지 않았

다. 기온은 16.9 였다. 익산 포장의 약제 처리일(10월 30일)에는 서북서풍이 평균 0.8 m/s, 최대 1.7 m/s의 속도로 불었으며 기온은 12.7°C, 습도는 82%였고 강우는 없었다.

통계처리

대상 해충에 대한 해충 영기별 드론 방제 효과의 유의성을 검정하기 위해 SAS(SAS Institute, 1999) 프로그램을 이용하여 다중검정(Tukey)을 실시하여 결과값의 평균간 차이를 분석하였다.

결과 및 고찰

파밤나방 유충에 대한 드론방제 효과는 전반적으로 우수한 것으로 나타났다. 청주 포장에서 chlorfenapyr 액상수화제를 처리하였을 때 쪽파의 파밤나방 2령 유충에 대한 살충률은 약제처리 7일 후 92.3%, 5령 유충은 91.3%로 나타났다. pyridalyl 유탁제의 경우 약제처리 7일 후 2령 유충의 살충률은 97.9%, 5령 유충의 살충률은 96.5%로 높은 살충 활성을 나타냈다(Table 1). 익산포장의 배추좀나방의 경우 spinetoram 액상수화제를 처리하였을 때 약제처리 7일 후 2령과 5령 유충 모두 100%로 우수한 살충효과를 보여주었다. Metaflumizone 유제에 대한 살충률은 처리 7일 후 2령 유충은 100%, 5령 유충은 98.7%로 나타났다(Table 2). Etofenprox+metaflumizone 유현탁제 처리에 대한 살충 효과는 처리 7일 후 2령 유충이 97.3%, 5령 유충이 95%로 나타났다. 익산 포장에서 처리 14일 후까지 주변작물에 대한 약해는 발생하지 않았다.

이상의 결과로 미루어 보아 시험 대상 약제에 대한 파밤나방과 배추좀나방에 대한 방제 효과는 우수한 것을 확인할 수 있었다. 영기에 따른 살충 효과는 유의한 차이를 보이지 않았지만 상대적으로 2령 유충에 비하여 노숙 유충인 5령의 방제 효과가 약간 낮은 것으로 나타났다.

쪽파, 대파, 양파 등 부추속(Allieae) 작물들은 잎이 길고 힘이 없는 특성을 가지고 있는데 2 m 상공에서 드론을 운항할 경우 잎이 꺾이는 피해가 일부 발생하였다. 또한 파밤나방 유충도 드론의 하향풍을 이기지 못하고 일부 개체가 불어있던 앞에서 물리적으로 날려가는 경우가 발생하였는데,

Table 1. Mortality of *Spodoptera exigua* to insecticides treated with multi-copter in Welsh onion field, Cheongju

Treatment	Mortality (%) ± standard deviation		Corrected mortality (%)	
	2 nd instar	5 th instar	2 nd instar	5 th instar
Chlorfenapyr	92.3 ± 3.2a ¹⁾	91.6 ± 2.2a	92.3	91.3
Control	0.0 ± 0.0b	4.1 ± 1.7b	-	-
Pyridalyl	97.9 ± 2.1a	96.5 ± 2.4a	97.8	96.3
Control	8.0 ± 3.5b	6.2 ± 3.0b	-	-

¹⁾Means followed by same lowercase letters between the rows are not significantly different (Tukey test).

Table 2. Mortality of *Plutella xylostella* to insecticides treated with multi-copter in white radish field, Iksan

Treatment	Mortality (%) ± standard deviation		Corrected mortality (%)	
	2 nd instar	5 th instar	2 nd instar	5 th instar
Spinetoram	100 ± 0.0a ^{a)}	100 ± 0.0a	100	100
Control	18.0 ± 2.6b	23.1 ± 3.6b	-	-
Metaflumizone	100 ± 0.0a	97.3 ± 1.2a	100	96.4
Control	23.5 ± 2.0b	26.9 ± 3.5b	-	-
Etofenprox+ Metaflumizone	94.7 ± 2.2a	90.0 ± 2.0a	93.1	87.0
control	23.5 ± 2.6b	23.1 ± 3.0b	-	-

^{a)}Means followed by same lowercase letters between the rows are not significantly different (Tukey test).

이는 차후 문제의 소지가 발생할 가능성이 있다고 보며 이를 감안하여 부추속 작목에 대한 드론 방제 시 살포 고도의 조정이 필요하다고 판단된다. 노즐의 경우 저비산 노즐인 DG계열로도 적절한 방제가 가능한 것으로 나타나 대상 작물, 포장 상황 등에 따른 예외적인 경우가 아니라면 가급적 XR, TP계열 등 다른 유형의 노즐보다 비산방지 드리프트 가드가 있는 DG계열을 사용하는 것이 좋다고 판단되며 공통적으로 분무 액적이 2 bar 압력 기준 medium 이상인 노즐을 사용하는 것이 비산 최소화를 위해 적절할 것으로 여겨진다. 한편 약제처리 7일차의 무처리구 생충수가 70~80% 수준으로 다소 낮게 나타났다는 것과 실내 사육된 감수성 개체를 사용하였다는 점이 한계점으로 남는다. 무처리구의 경우 망을 설치하여 이탈을 최소한으로 억제하였음에도 주변으로 이탈된 개체수가 적지 않았지만 처리구의 사충률이 높아 신뢰도에 큰 영향을 주지는 않았다. 감수성 문제로는 해충 특성상 일반 포장에서 자연 발생하는 파밤나방은 약제 저항성을 가지고 있을 가능성이 높기 때문에 실제 방제시에는 방제가가 다소 떨어질 가능성이 있다. 파밤나방과 배추좀나방은 약제저항성이 빠르게 나타나는 해충 중 하나이며 다양한 화합물과 유기물 및 BT제에 대한 저항성이 있다고 보고되었다(Meinke and Ware, 1978; Park and Goh, 1992; Aldosari et al., 1996). 실제로 최근 파밤나방 지역계통별 살충제 감수성 연구결과 지역별로 감수성 편차가 매우 크며 flubendiamide의 경우 100,000배 이상의 높은 저항성이 나타난 지역도 있는 것으로 나타났으며 배추좀나방 역시 flubendiamide에 대하여 192배, cyantraniliprole에는 106배의 높은 저항성비를 나타냈다고 보고하였다(Cho et al., 2018). 저항성 발현을 억제하기 위해 다양한 계통의 약제를 이용하여 방제를 실시하는 것이 필요하지만, 무인항공 방제용 파밤나방 약제는 9개로 많이 부족한 상황이며 작용점도 신경-근육계(3, 5, 28)와 성장-탈피계(15, 18)의 합제인 경우가 대부분이다(IRAC, 2019; RDA, 2019). 따라서 약제의 범위를 확대할 필요성이 있으며 드론 실증 시험을 통한 등록 약제의 추가가 필요하다고 판단된다. 또한 약해로 인한 피

해를 최소화하기 위해 다양한 작물에 대한 약해 발생 유무에 대한 실증이 이루어져야 할 것이며 전착제 등 약제의 보조제 첨가에 따른 차이점도 확인할 필요성이 있다. 더불어 현장 적용과 별개로 등록 약제의 추가를 위한 시험 기준과 방법에도 작목별로 특성을 고려하여 살포폭이나 살포경로, 비행고도와 속도, 노즐, 풍속 등을 고려한 실증 시험데이터를 감안할 필요성이 있다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원의 공동연구사업(과제번호: PJ01342602) 지원으로 수행되었으며, 연구 지원에 감사 드립니다.

Literature cited

- Aldosari SA, Watson TF, Sivasupramaniam S, Osman AA, 1996. Susceptibility of field populations of beet armyworm (*Lepidoptera: Noctuidae*) to cyfluthrin, methomyl, and profenofos, and selection for resistance to cyfluthrin. *J. Econ. Entomol.* 89(6):1359-1363.
- Cho SR, Kyung Y, Shin S, Kang WJ, Jung DH, et al., 2018. Susceptibility of field populations of *Plutella xylostella* and *spodoptera exigua* to four diamide insecticides. *Korean J. Appl. Entomol.* 57:347-354.
- Goh HK, Choi JS, Uhm KB, Choi KM, 1993. Seasonal fluctuation of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hubner), adult and larva. *Korean J. Appl. Entomol.* 32(4): 389-394.
- IRAC, 2019. IRAC Mode of action classification scheme. <https://www.ircac-online.org/mode-of-action/>.
- Kim JS, 2015. Hired farm labor and policy direction on agricultural labor markets. *Korean J. Agri. Extension and Community Dev.* 22(2):145-158.
- Kim YG, Kim NH, 1997. Cold hardiness in *Spodoptera exigua* (*Lepidoptera: Noctuidae*). *Environ. Entomol.* 26(5):1117-1123.
- Korea Crop Protection Association (KCPA), 2019. Manual of

- pesticide. Korea Crop Protection Association. Seoul, Korea
- Lee SM, Jung YH, Jung CS, Kim DS, Lee SG, et al., 2019. Control efficacy of aerial spray using unmanned aerial vehicle (drone and helicopter) against Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) in pine forest. Korean J. Pestic. Sci. 23(2):70-78.
- Meinke LJ, Ware GW, 1978. Tolerance of three beet armyworm strains in Arizona to methomyl. J. Econ. Entomol. 71(4): 645-646.
- Park JD, Koh HG, 1992. Control of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae), using synthetic sex pheromone.-(1)-Control by mass trapping in *Allium fistulosum* field. Korean J. Appl. Entomol. 31(1):45-49.
- Park B, Lee SK, Jeong IH, Park SK, Lee, SB, et al., 2019. Susceptibility of *Spodoptera exigua* to UVA insecticides using agricultural multi-copter on cabbage field. Korean J. Appl. Entomol. 58(4):271-280.
- Taylor KE, Riley DG, 2008. Artificial infestations of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae), used to estimate an economic injury level in tomato. J. Crop. Prot. 27(2):268-274.
- Rural Development Administration (RDA), 2019. Rural Development Administration Official notice (RDA-2019-33). <https://nongsaro.go.kr/portal/>.
- Zalucki MP, Shabbir A, Silva R, Adamson D, Shu-Sheng L, et al., 2012. Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): just how long is a piece of string?. J. Econ. Entomol. 105(4):1115-1129.

드론을 이용한 쪽파 파밤나방(*Spodoptera exigua*)과 무 배추좀나방(*Plutella xylostella*)의 방제효과

박부용 · 정인홍 · 조점래*

국립농업과학원 농산물안전성부 작물보호과

요약 파밤나방과 배추좀나방은 채소, 과수, 화훼 등 다양한 농작물에 피해를 주는 중요 해충이다. 이 해충은 저항성 발달이 빠르기 때문에 발생 초기에 방제하는 것이 효율적이다. 그러나 농업 노동력 부족으로 인한 적기 방제가 어려운 상황이며 방제시기를 놓쳐 더 큰 피해를 야기하고 있다. 이에 대한 대안으로 드론을 활용한 무인방제가 제시되고 있지만 충분한 실증 데이터가 부족한 상황이다. 쪽파의 파밤나방과 무에 발생하는 배추좀나방에 대하여 드론을 이용하여 spinetoram 액상수화제 등 5종 살충제를 살포한 결과 추천농도에서 모두 90% 이상의 우수한 살충 효과를 보여주었다. 주변작물 7종에 대한 약해는 기준량 및 배량에서 발생하지 않았다.

색인어 드론, 멀티콥터, 살충제, 파밤나방, 배추좀나방