

농약살포용 드론을 이용한 배추 주요해충 3종의 방제기준 설정

최덕수* · 마경철 · 김효정 · 이진희 · 오상아 · 김선곤

전남농업기술원 친환경농업연구소

Control Standards of Three Major Insect Pests of Chinese Cabbage (*Brassica campestris*) Using Drones for Pesticide Application

Duck-Soo Choi*, Kyung-Cheol Ma, Hyo-Jeong Kim, Jin-Hee Lee, Sang-A Oh and Seon-Gon Kim

Environment-friendly Agricultural Research Institute, JARES, Naju 58213, Korea

ABSTRACT: In order to setting the control standard of Chinese cabbage pests using a drone, the downward wind speed, spraying width, and the number of falling particles and particle size were examined using a water sensitive paper with spray different heights (3, 4, 5 m) and flying speeds (3, 4 m/sec). Fore kinds of pesticides for aviation control were used to test the perfect lethal concentration and dose for major pests of Chinese cabbage such as *Plutella xylostella*, *Spodoptera exigua* and *Spodoptera litura*. The number of falling particles in spraying pesticides with drones was 80.5% on the upper side, 14.8% on the vertical side, and 4.7% on the back side. The number of falling particles as different spray heights were 3 m = 53, 4 m = 40 and 5 m = 39 particles cm⁻². The number of falling particles as different flying speeds were 3 m sec⁻¹ = 62 and 4 m sec⁻¹ = 25 particles cm⁻². In the laboratory test, the perfect lethal concentration and dose of *Plutella xylostella* was chlorfenapyr SC (20 times, 0.5 µl) and bistrifluron·chlorfenapyr SC (25 times, 0.5 µl). The perfect lethal concentration and dose of *Spodoptera exigua* was chlorfenapyr SC (20 times, 1 µl), bistrifluron·chlorfenapyr SC (20 times, 1 µl), and chlorfenapyr SC (20 times, 1 µl) and bistrifluron·chlorfenapyr SC (20 times, 0.5 µl) for *Spodoptera litura*. Therefore, the main pest control method of Chinese cabbage using drones is 20 times diluted chlorphenapyr SC or bistrifluron·chlorphenapyr SC, sprayed at 3 m height by 3 m sec⁻¹ of going speed. This spraying method will be effective for control of Chinese cabbage pest.

Key words: Chinese cabbage, Drone spray standard, *Plutella xylostella*, *Spodoptera exigua*, *Spodoptera litura*

조 록: 드론을 이용한 배추 해충 방제기준을 설정하기 위하여, 드론의 살포높이(3, 4, 5 m), 진행속도(3, 4 m/sec) 에 따른 하향풍 속도, 살포 폭, 그리고 낙하 입자수와 입자크기를 감수지를 이용하여 조사하였고, 항공방제용 농약 4종을 이용하여 배추 주요해충인 배추좀나방, 파밤나방, 담배 거세미나방에 대하여 완전치사농도와 약량을 실험실에서 검정하였다. 드론의 농약 살포시 면별 낙하입자비율은 표면 80.5, 수직면 14.8, 밑면 4.7%였고, 살포높이에 따른 낙하입자수는 3 m = 53, 4 m = 40, 5 m = 39개/cm²였다. 비행속도별 낙하입자수는 3 m/sec = 62, 4 m/sec = 25 개/cm²였다. 실내시험에서 배추좀나방의 완전치사농도와 치사량이 클로르페나피르액상수화제(20배, 0.5 µl) 비스트리플루론·클로르페나피르액상수화제(25배, 0.5 µl)였다. 파밤나방에 대하여는 클로르페나피르액상수화제(20배, 1 µl), 비스트리플루론·클로르페나피르액상수화제(20배, 1 µl)였고, 담배거세미나방에 대하여는 클로르페나피르액상수화제(20배, 1 µl), 비스트리플루론·클로르페나피르액상수화제(20배, 0.5 µl)였다. 따라서 드론을 이용하여 배추 주요해충을 방제하는 방법으로 클로르페나피르액상수화제 또는 비스트리플루론·클로르페나피르액상수화제를 20배액으로 희석하여 3 m 높이에서 3 m/sec 속도로 살포하면 72개/cm²의 농약입자가 낙하하므로 해충방제에 효과적일 것으로 판단된다.

검색어: 배추, 드론 살포기준, 배추좀나방, 파밤나방, 담배거세미나방

근현대사에서 드론의 시작은 군사적 이용이 목적이었는데 급격한 발전을 통해 항공촬영, 배송, 농업, 재해, 보건, 인터넷 등

다양한 민간 분야로 확대되고 있는데 그 중 드론 판매의 80%를 농업관련 분야가 차지할 것으로 전망되고 있다(Park et al., 2015).

무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)를 활용한 농업분야 연구는 농업환경 감시 및 모니터링 연구(Herwitz et al., 2004; Dieter et al., 2005; Jung et al., 2015) 와 토지피복 분류와

*Corresponding author: cds1218@korea.kr

Received July 26 2018; Revised September 20 2018

Accepted November 22 2018

관련된 연구(Hassan et al., 2011; Fuyi et al., 2012; Feng et al., 2015)를 시작으로 작황 분석 및 생육 추정에 관한 연구로 확대되었다. Candiago et al. (2015)은 다중분광센서를 이용하여 취득한 영상을 식생지수로 변환 정밀농업의 자료 생성방안을 연구하였고, Lee et al. (2015)은 촬영영상을 통한 녹비작물의 질소 생산량의 공간적 분포 특성을 추정하였다. 또한, UAV와 현장 측정자료를 활용하여 원격탐사 기반 맥류 작황추정을 위한 최적 식생지수를 선정하였고(Na et al., 2016), 공중 영상촬영을 이용하여 농업재해 및 농경지 정보파악, 논밭 작물의 구분에 적용 활용가능성을 제시하였다. 재해분야에서는 드론으로 촬영된 정밀지형도를 이용하여 정확한 피해면적을 산정하여 피해규모를 정밀하게 파악하는데 이용하고 있다(Park and Park, 2015; Park and Park, 2015).

드론이 농업현장에서 실용화되기 위해서는 신뢰성 있는 장애물 인식 및 회피기술, 강건한 제어 및 효율적 운용기술이 필요하며 장기체공을 위한 기술개발, 안정적이고 신뢰성 있는 통신기술이 필요하다고 하였다(Kim et al., 2018). 드론을 이용한 농약살포의 장점은 작업자의 농약 노출을 최소화하고, 노동 부담을 경감시킬 수 있으며 공중으로 농작물에 접근이 쉬우며 작물의 훼손이 거의 없다. 또한 일반적인 방제의 경우 농약이 작물의 아래쪽까지 침투하기 어려운데 드론은 저공비행을 통해 날개에서 발생하는 하향풍이 작물을 누힘으로써 약제가 지면까지 골고루 침투하는 장점이 있으며, 인력이나 광역방제의 경우 1 ha당 농약 살포량은 약 1,000 L 이상이지만 드론 방제의 경우 8~10 L의 적은 양으로 해당부분에 집중 살포함으로써 효과적으로 방제할 수 있다(Kim et al., 2018).

농업기술실용화재단은 농약살포용 드론에 대하여 농약 배출성능, 균일살포, 살포작업 능률 등에 대한 검정과 무인항공살포기의 이착륙과 공중에서 정지하는 기능, 조작의 난이도, 안전성 등을 검정항목으로 드론 성능을 검증하여 농작업의 안전성과 효율성을 도모하고 있다. 그러나 농약 살포시 작물의 생육 형태도 다양하고 발생하는 병해충이 다르기 때문에 농작물에 따라 방제방법도 달라져야 하지만 구체적인 방제기준에 대한 깊은 연구가 현재까지 진행되지 못한 실정이다.

국내 배추의 연간 총생산량은 2017년 기준 239만 5천 톤으로 전체 엽채류 생산량의 83%를 차지하므로 재배지역은 전국적으로 매우 광범위하다(KOSIS, 2017).

배추좀나방(*Plutella xylostella*)은 전 세계적으로 분포하며 배추에 가장 피해가 심한 해충이며, 파밤나방(*Spodoptera exigua*)이나 담배거세미나방(*Spodoptera litura*) 또한 다양한 농작물에 피해를 주는 해충이다(Kim et al., 2002).

따라서 본 시험은 농약살포용 드론의 살포높이, 진행속도 등

살포조건에 따른 살포특성을 조사하고, 발작물 중 비교적 광범위한 면적을 재배하며 빈번한 방제작업이 필요한 배추를 대상으로 배추좀나방 등 3종의 주요해충에 대한 완전치사농도 및 처리약량을 구명하여 드론을 이용한 배추 약제방제 기준을 설정하고자 수행하였다.

재료 및 방법

드론의 농약살포 특성 구명

시험에 사용한 드론(Model ONETOP A1, (주)탑플라이트, 광주, Fig. 1)의 기체특성과 성능은 폭 1,200 mm/500 mm, 높이 490 mm, 날개수 6개, 중량 12 kg, 적재량 10 L, 비행속도 2~10 m/s, 살포폭 3~6 m, 1회 비행시간 12~16분이며 수동과 GPS 비행모드로 살포 가능한 드론을 이용하여 농약살포 특성을 조사하였다. 드론이 지면에서 2.5 m부터 5 m까지 0.5 m 간격의 높이에 정지해 있을 때 지표면에 도달하는 하향풍 속도를 조사하였고, 2 m/sec의 속도로 진행하며 살포높이별 농약이 살포되는 폭을 조사하였다. 이 때 살포여부의 판단기준이 불명확하여 다수의 입자가 떨어진 것을 육안으로 확인 가능한 범위로 판정하였다. 또 드론으로 약제를 살포할 때 어느 정도 크기의 입자로 분해되어 분산되는지를 알아보기 위하여, 실내에서 수동미량주사장치(Hand microapplicator)를 이용하여 약량 0.25, 0.5, 1, 2, 5 μ l을 감수지(52 \times 76 mm, Teejet)에 떨어뜨릴 때 표시되는 입자크기를 조사하였고, 실외에서는 드론의 농약 살포높이와 비행속도를 다르게 운용하며 지면에 낙하하는 입자 크기별 낙하량을 조사하였다. 농작물의 다양한 높이와 각도에서 농약 낙하량을 감수지를 이용하여 조사하기 위하여 높이조절이 가능한 감수지 설치대를 제작하여 이용하였고, 농작물을 경작하지 않은 밭에 감수지 설치대를 설치한 후 높이 3, 4, 5 m, 속도 3, 4 m/sec로 농약 살포시 낙하하는 입자수를 조사하였다. 감수지는 지면에서 10, 30, 60, 90 cm 높이에 3반복으로 설치하여 조사하였고, 감수지에 표시된 입자크기는 0.5 mm 이상, 0.5~0.2 mm, 0.2 mm 미만으로 구분하여 단위면적당 낙하입자수를 조사하였다. 식물체 잎의 부착각도에 따라 농약입자의 부착정도를 조사하기 위하여 윗면(0°), 수직면(90°), 뒷면(180°)별 농약 부착량을 동일한 방법으로 조사하였다.

드론 이용 배추 주요해충 방제기준 설정

가을배추 재배에 가장 피해가 심한 해충은 배추좀나방(*Plutella xylostella*), 파밤나방(*Spodoptera exigua*), 담배거세

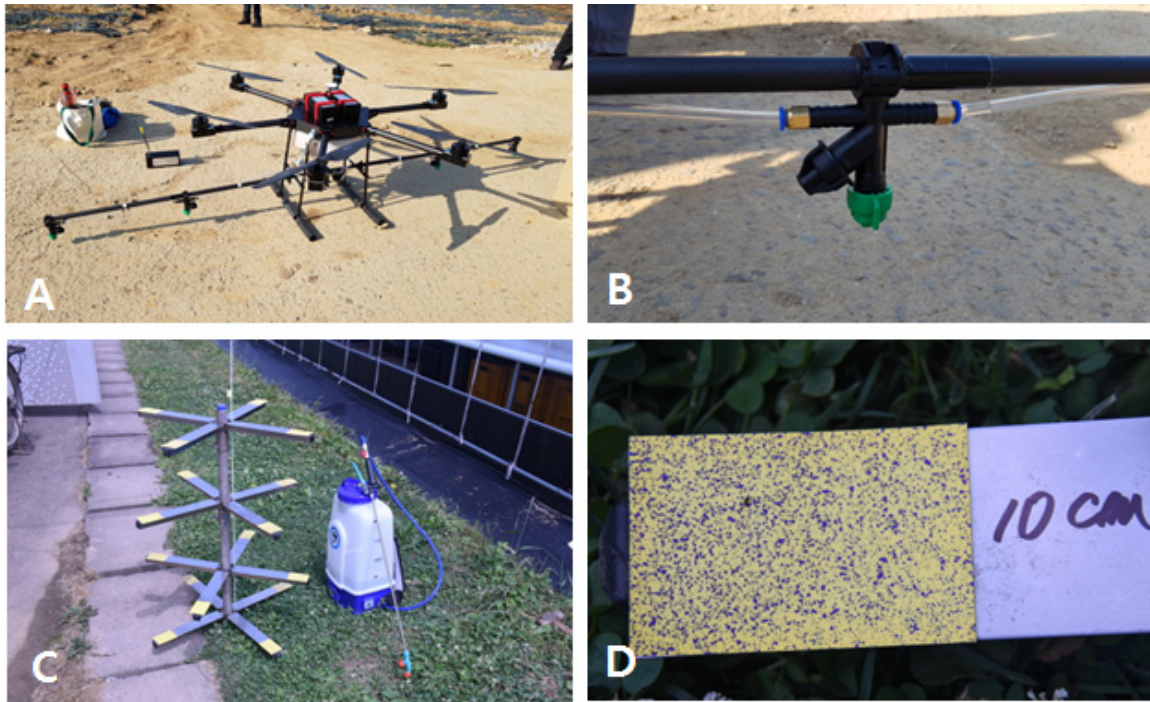


Fig. 1. Tested drone and measurement equipment. A, Drone main body; B, Spray nozzle; C, Water sensitive paper (WSP) installation equipment; D, Spotted WSP.

미나방(*Spodoptera litura*)이다. 이 해충 3종에 대하여 항공방제용 농약으로 등록된 4종의 살충제 즉 비스트리플루론·플루벤디아마이드액상수화제, 메톡시페노자이드·설펍사플로르액상수화제, 클로르페나피르액상수화제, 비스트리플루론·클로르페나피르액상수화제의 치사농도 및 약량을 구명하기 위하여 실내시험을 수행하였다. 시험에 사용한 배추좀나방과 담배거세미나방은 전남농업기술원 작물보호 실험실에서 2016년부터 누대사육한 해충을 이용하였고, 파밤나방은 2017년 9월 전남 진도의 대파 재배단지에서 발생한 난괴를 채집하여 배추를 기주식물로 실험실에서 사육하여 이용하였다.

농약의 처리농도는 5, 10, 15, 20, 25배의 5수준으로, 해충 개체별 처리약량은 0.25, 0.5, 1, 2 μ l의 4수준으로 처리한 3일 후에 살충율을 조사하였다. 뚜껑에 망사가 달린 플라스틱 샤페(직경 90 mm, 높이 25 ml) 바닥에 배추 잎을 놓고 증류수에 적신 탈지면으로 잎의 주맥을 덮어 배추 잎이 시들지 않도록 하였다. 배추좀나방 3령 유충의 흉부 등쪽에 미량주사기(Hand micro-applicator)를 이용하여 농도 및 처리약량별로 처리한 후 페트리디쉬에 10마리씩 접종하고 뚜껑을 닫아 실험실 상온에 관리하며 3일 후 생사여부를 확인하였다. 저 농도 및 소량의 약량에서 살충율이 높았던 약제에 대하여는 농도를 더 낮추고 약량은 더 줄여서 2차 시험을 추진하였다. 파밤나방과 담배거세미나방에 대하여도 처리방법은 이와 동일하게 하였는데, 총체

가 배추좀나방에 비하여 크기 때문에 샤페당 5마리씩 접종하여 관리하였다. 동시에 많은 양의 시험곤충이 소요되는 특성상 시험처리는 반복 없이 수행하였지만, 특이한 결과가 발생할 경우에는 반복시험을 수행하여 보완하였다.

농약의 농도별 약해 유무를 조사하기 위하여 발포장에 정식한지 25일된 배추에 농도별로 희석한 약제를 스프레이 분무기를 이용하여 약액이 충분히 흐를 정도로 살포한 후 1일, 3일, 7일 후에 약해 발생여부를 조사하였다. 각 처리별 5주에 대하여 처리하였으며, 약해 판단은 3단계로 구분하였는데 잎이 변색하거나 변형되어 기형이 되는 것은 약해가 발생한 것으로 조사하였고, 변색되기는 하였지만 변형 없이 원상복귀 되는 경우 회복이 되는 경우에는 경미, 전혀 변화가 없는 것은 약해가 없는 것으로 표시하였다.

결과 및 고찰

드론의 농약살포 특성 구명

드론의 살포높이에 따른 하향풍은(Table 1) 지면에서 가까울수록 바람속도는 빠르고 멀수록 느린 경향으로 2.5 m 높이에서 하향풍 속도는 4.3 m/sec였다. 대체적으로 2.5~4 m 사이에서는 하향풍 속도 차이가 다소 적었으나 4 m에서 5 m로 올라가

면 매우 많은 차이를 보였다. Kang et al. (2010)은 항공방제용 무인헬기의 하향풍이 3 m 높이일 때 최대 7.8 m/sec였는데 드론은 4.2 m/sec로 조사되어 무인헬기에 비해 드론의 하향풍 속도는 월등하게 느린 것으로 조사되었다. 살포높이 3, 4, 5 m에서 살포시 살포 폭은 각각 3.6, 4.0, 4.2 m로 조사되었지만 야외의 바람조건에 따라 다소 편차가 심하게 나타나는 경향이었다. 드론의 종류나 프로펠러 개수에 따라 하향풍의 세기 그리고 농약의 살포 폭은 매우 다양할 것으로 예측되므로 기종에 따른 농약의 살포특성 또한 차이가 많을 것으로 판단된다. 약량에 따른 감수지에서의 입자크기는 Table 2와 같다.

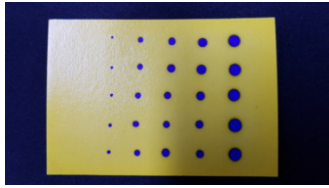
드론의 농약 살포높이와 비행속도를 다르게 하여 낙하하는 농약입자수를 조사한 결과(Table 3), 비행속도 3 m/sec이고 살포높이 3, 4, 5 m일 때 총 낙하량은 60, 69, 42개/cm²였으며, 비

행속도 4 m/sec이고 살포높이 3, 4, 5 m일 때 총 낙하량은 29, 14, 27개/cm²개로 비행속도가 빠를수록 낙하량은 급격하게 감소하는 경향을 보인 반면, 살포높이간의 차이는 그다지 크지 않았다. 약량이 0.25 µl일 때 입자크기가 1.4 mm임을 고려한다면 드론으로 살포시 낙하한 입자 53.1%가 0.5~0.2 mm 크기였는데 실제 약제는 0.1 µl 정도로 잘게 나뉘어져 공중에 분사된다는 것을 알 수 있었으며, 일반적으로 0.2 µm 이하의 지름을 갖는 입자는 편류의 가능성이 많은 것으로 여겨지므로(Lim and Song, 2009) 드론으로 살포하는 농약은 편류의 영향을 많이 받는다고 할 수 있다. Kang et al. (2010)은 항공방제용 무인 헬리콥터의 분무압력이 선형노즐은 0.4 MPa, 쌍선형 노즐과 콘 노즐은 0.6 MPa일 때 분무입경이 100 µm 정도로 나타난 것으로 보아 쌍선형 노즐이었기 때문에 분무압력은 0.6 MPa이었을 것

Table 1. Downward wind speed and spray width at different spray heights by drone

Spray height of drone (m)	Mean downward wind speed (m/sec)	Spray width (m)
2.5	4.3	-
3	4.2	3.6
3.5	3.9	-
4	3.5	4
5	1.7	4.2

Table 2. Spot size on water sensitive paper when different agricultural chemical dosages are dropped

Agricultural chemical dosage (µl)	Spot size on WSP ^a (mm)	Picture of spot size on WSP (from left 0.25, 0.5, 1, 2, 5 µl)
0.25	1.4	
0.5	1.8	
1	2.3	
2	3.1	
5	4	

^aWSP, water sensitive paper.

Table 3. Number of spots dropped per cm² according to the setting of the drone and the range of spot size

Setting of drone		Range of spot size			Total
Flying height (m)	Flying speed (m/sec)	>0.5 mm	0.5~0.2 mm	0.2 mm<	
3	3	8	27	25	60
	4	2	14	13	29
4	3	10	43	16	69
	4	1	8	5	14
5	3	3	20	19	42
	4	1	16	10	27
Rate (%)		10.4	53.1	36.5	

으로 추정된다.

드론으로 살포한 농약입자가 식물체 표면별 낙하비율을 조사한 결과(Table 4), 윗면이 80.5%로 가장 많았고 수직면과 뒷면이 각각 14.8%와 4.7%였다. 즉 농약살포용 드론은 농약 입자의 중력과 드론의 프로펠러가 만들어내는 하향풍 그리고 자연풍에 의하여 식물체 위에서 아래로 내려오는 원리이기 때문에 당연한 결과이지만 배추, 콩과 같은 광엽작물일 경우 잎 뒷면에 서식하는 해충류에는 직접 도달하는 비율이 낮기 때문에 방제 효율이 저하하는 결과를 초래할 우려가 있다. 따라서 광엽작물일 경우 잎 뒷면에 약제가 많이 부착되게 하기 위하여 하향풍이 많이 발생하는 4 m 이내의 높이에서 살포하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 살포높이별 단위면적당 평균 낙하입자수는 3, 4, 5 m 가 각각 53, 40, 39개/cm²로 높이별로는 많은 차이는 보이지 않았다. 그러나 비행속도 3, 4 m/sec에서 단위면적당 평균 낙하입자수는 62, 25개/cm²로 비행속도에 따라 많은 차이를 보였다. Jee et al. (2016)은 무인헬리콥터에 의한 항공 방제시 이상적인 방법으로 비행고도 3 m와 속도 15 km/h를 유지하는 것이 중요하지만 사용자의 조종습관 및 방법, 바람의 변화 같은 환경적 요인이 작용하여 대단히 어렵기 때문에 균일살포 가능한 항공방제용 스마트 살포 제어 시스템을 제안하였는데, 속도는 7.2~17.6 km/h까지, 살포높이는 2.32~3.47 m까지 변화를 주며 비행하면 균일한 입자개수가 분포하며 7.5 m의 유효살포 영역을 형성한다고 보고하였다.

드론 이용 배추 주요해충 방제기준 설정

각각의 해충에 대한 완전치사농도와 살포량을 설정하는데

있어서 희석배수가 높으며 적은 약량으로 해충을 죽일 수 있는 농도를 실내시험을 수행하여 산출하였다.

배추좀나방 약충에 대한 약제별 완전치사농도와 살포량은 (Table 5), 비스트리플루론·플루벤디아마이드액상수화제는 10배, 2 µl, 메톡시페노자이드·설펡사플로르액상수화제는 15 배, 1 µl, 클로르페나피르액상수화제는 20배, 0.5 µl, 그리고 비스트리플루론·클로르페나피르액상수화제는 25배, 0.5 µl로 클로르페나피르액상수화제와 비스트리플루론·클로르페나피르액상수화제가 비교적 높은 희석배수와 적은 약량으로 배추 좀나방 방제효과가 높게 나타났다.

파밤나방은(Table 6) 비스트리플루론·플루벤디아마이드액상수화제는 5배 희석액을 2 µl 처리하여도 살충율이 70%로 낮았으며, 메톡시페노자이드·설펡사플로르액상수화제도 살충율이 60% 이하로 낮았다. 클로르페나피르액상수화제와 비스트리플루론·클로르페나피르액상수화제는 파밤나방 완전치사농도와 살포량이 20배와 1 µl이었다.

담배거세미나방에 대하여는(Table 7) 비스트리플루론·플루벤디아마이드액상수화제와 메톡시페노자이드·설펡사플로르액상수화제가 희석배수와 살포량의 모든 시험처리에서 비교적 낮은 살충률을 보였다. 클로르페나피르액상수화제의 완전치사농도와 살포량은 20배와 1 µl이었고, 비스트리플루론·클로르페나피르액상수화제는 20배와 0.5 µl로 가장 좋은 결과를 보였다.

상술한 네 가지 약제의 처리농도별 배추에 대한 약해를 조사한 결과(Table 8, Fig. 2), 비스트리플루론·플루벤디아마이드액상수화제와 클로르페나피르액상수화제는 10배 이상의 고농도 처리에서 배추 잎이 하얗게 변하는 약해를 보였으며, 메톡시

Table 4. Spray characteristics of the agriculture chemical spray drone at different spray heights and speeds

Setting of drone		Installed position of water sensitive position		
Flying heights (m)	Flying speeds (m/sec)	Upper side (0°)	Vertical side (90°)	Back side (180°)
3	3	72 (85.4)	6 (7.5)	6 (7.1)
	4	33 (58.6)	16 (28.4)	7 (13.0)
4	3	67 (74.0)	22 (24.2)	2 (1.8)
	4	13 (100)	0	0
5	3	48 (77.7)	12 (19.0)	2 (3.3)
	4	30 (87.4)	3 (9.7)	1 (2.9)
Percent of spots dropped on each side		80.5	14.8	4.7
Average	No. of dropped spots dropped per cm ² in different spray height	3 m = 53, 4 m = 40, 5 m = 39		
	No. of spots dropped per cm ² in different spray speed	3 m/sec = 62, 4 m/sec = 25		

페노자이드·설폭시플로르엑상수화제는 5배 처리에서 약간의 약해증상을 보였지만 비스트리플루론·클로르페나피르엑상수화제는 5배의 고농도 처리에서도 약해가 없었다. 그러나 약해 시험을 할 때 약이 배추 잎에서 흐를 정도의 충분한 양을 처리하였는데, 실제로 드론을 이용한 농약살포 현장에서는 이처럼 많은 양을 살포하지는 않기 때문에 약해 발생 정도는 이보다 적을 것으로 예상된다. 현재까지 항공방제용 약제는 대부분이 벼

에 사용할 수 있도록 등록되었고 2~3가지의 약제 혼용가능 조합 선발(Jin et al., 2008)도 마찬가지이다. 그러나 발작물에 대하여도 항공방제용 농약 등록이 활성화되고 여러 가지 약제 혼용에 따른 약해시험도 추가로 이루어져야 할 것이다.

Kang et al. (2010)은 무인 헬리콥터를 이용한 항공방제시 피복 면적비가 10% 이상을 유효살포로 판단하였는데, 3 m 높이에서 살포할 때 좌우 살포거리 2.4 m 이내에서의 피복면적비는

Table 5. Mortality (%) of *Plutella xylostella* third larva at 3 days after the treatment with agricultural chemicals

Agricultural chemical	Dosage (μl)	No. of treated	Dilution rate (%)				
			×5	×10	×15	×20	×25
Bistrifluron · flubendiamide SC	0.5	10	80	80	90	60	
	1	10	90	70	50	70	
	2	10	100	100	70	70	
Methoxyfenozide · sulfoxaflor SC	0.5	10	80	60	60	80	
	1	10	80	50	100	80	
	2	10	70	100	90	90	
Chlorfenapyr SC	0.25	15				60	66.7
	0.5	10	100	100	100	100	80
	1	10	100	100	100	100	100
	2	10	100	100	100	100	
Bistrifluron · chlorfenapyr SC	0.25	15				60	60
	0.5	10	100	100	100	100	100
	1	10	100	100	100	100	100
	2	10	100	100	100	100	
Control		10			0		

Table 6. Mortality (%) of *Spodoptera exigua* third larva at 3 days after the treatment with agricultural chemicals

Agricultural chemicals	Dosage (μl)	No. of treated	Mortality as different dilution rate (%)			
			×5	×10	×15	×20
Bistrifluron · flubendiamide SC	0.5	10	60	30	60	50
	1	10	70	70	40	40
	2	10	70	60	40	40
Methoxyfenozide · sulfoxaflor SC	0.5	10	50	20	30	10
	1	10	40	50	10	20
	2	10	60	40	20	10
Chlorfenapyr SC	0.5	10	100	90	60	60
	1	10	90	90	100	100
	2	10	100	90	100	100
Bistrifluron · chlorfenapyr SC	0.5	10	100	90	100	80
	1	10	100	100	100	100
	2	10	100	100	100	100
Control		10			0	

Table 7. Mortality (%) of *Spodoptera litura* third larva at 3 days after the treatment with agricultural chemicals

Agricultural chemicals	Dosage (μl)	No. of treated	Mortality as different dilution rate (%)			
			×5	×10	×15	×20
Bistrifluron · flubendiamide SC	0.5	15	26.7	66.7	73.3	46.7
	1	15	46.7	53.3	53.3	60.0
	2	15	66.7	86.7	53.3	66.7
Methoxyfenozide · sulfoxaflor SC	0.5	15	20.0	6.7	6.7	6.7
	1	15	26.7	33.3	6.7	6.7
	2	15	13.3	40.0	13.3	46.7
Chlorfenapyr SC	0.5	15	100	80.0	100	73.3
	1	15	100	86.7	100	100
	2	15	100	100	100	93.3
Bistrifluron · chlorfenapyr SC	0.5	15	93.3	100	93.3	100
	1	15	100	100	100	100
	2	15	100	100	100	100
Control		15			0	

Table 8. Phytotoxicity of agrochemicals on Chinese cabbage (variety: Chu kwang)

Agricultural chemicals	No. of test plants	Dilution rate			
		×5	×10	×15	×20
Bistrifluron · flubendiamide SC	5	○ ^a	○	×	×
Methoxyfenozide · sulfoxaflor SC	5	△	×	×	×
Chlorfenapyr SC	5	○	○	×	×
Bistrifluron · chlorfenapyr SC	5	×	×	×	×

^aPhytotoxicity level. ○; severe, △; slight, ×; none.

약 15~25% 이상으로 나타났고, 2.4~3.5 m에서는 10~15%로 나타나 유효 살포폭은 7 m 내외라고 하였는데, 이는 병해충 방제효과 보다는 균일한 살포에 중점을 두고 설정한 것이라 판단된다. 하지만 본 시험에서 방제효과에 중점을 둔 드론 이용 배추 주요해충 방제방법으로 항공방제용 약제인 클로르페나피르엑상수화제나 비스트리플루론· 크로르페나피르엑상수화제를 20 배액으로 희석하여 3 m 높이에서 3 m/sec의 진행속도로 살포하면 농약 낙하 입자수가 72개/cm²로 배추좀나방을 비롯한 파밤나방과 담배겨세미나방 방제에 효과적일 것으로 판단된다. 단, 각각의 해충에 대한 치사농도와 치사량 시험이 실험실에서 이루어졌기 때문에 실제 배추 재배현장에서 좋은 방제효과가 나타나는지에 대한 확인은 추가시험이 이루어져야 할 것이다.

Literature Cited

Candiago, S., Remondino, F., Giglio, M.D., Dubbini, M., Gattelli, M., 2015. Evaluating multispectral selection of optimal vegetation

indices for estimation of barley & wheat growth based on remote sensing -495- Images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote Sens.* 7, 4026-4047.

Dieter, H., Werner, Z., Gunter, S., Peter, S., 2005. Monitoring of gas pipelines - a civil UAV application. *Aircr. Eng. Aerosp. Technol.* 77, 352-360.

Feng, Q., Liu, J., Gong, J., 2015. UAV remote sensing for urban vegetation mapping using random forest and texture analysis. *Remote Sens.* 7, 1074-1094.

Fuyi, T., Chun, B.B., Mat Jafri, M.Z., San, L.H., Abdullah, K., Tahrin, M., 2012. Land cover/use mapping using multi-band imageries captured by cropcam Unmanned Aerial Vehicle Autopilot (UAV) over Penang Island, Malaysia. *Proc. of SPIE*, 8540, 1-6.

Hassan, F.M., Lim, H.S., Mat Jafri, M.Z., 2011. CropCam UAV for land use/land cover mapping over Penang Island, Malaysia. *Pertanika J. Sci. Technol.* 19, 69-76.

Herwitz, S.R., John, L.F., Dunagan, S.E., Higgins, R.G., Sullivan, D.V., Zheng, J., Lobitz, B.M., Leung, J.G., Gallmeyer, B.A., Aoyagi, M., Slye, R.E., Brass, J.A., 2004. Imaging from an

- unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. *Comput. Electron. Agric.* 44, 49-61.
- Jee, S.H., Jeon, B.I., Cho, H.C., 2016. Implementation of aerial application system for application uniformity. *J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc.* 17, 597-604.
- Jin, Y.D., Lee, H.D., Park, Y.K., Kim, J.B., Kwon, O.K., 2008. Drift and distribution properties of pesticide spray solution applied aerially by manned-helicopter. *Korean J. Pestic. Sci.* 12, 351-356.
- Jung, K.S., Kim, Y.S., Oh, S.R., 2015. Technical development of flood damage estimation using UAV. *Mag. Korea Water Resour. Assoc.* 51-59.
- Kang, T.G., Lee, C.S., Choi, D.K., Jun, H.J., Koo, Y.M., Kang, T.H., 2010. Development of aerial application system attachable to unmanned helicopter. Basic spraying characteristics for aerial application system. *J. Biosyst. Eng.* 35, 215-223.
- Kim, S.H., Lee, K.H., Ryu, K.H., 2018. Trends and Tasks of Agricultural Drone Technology. Institute of Control, Robotics and Systems, pp. 34-42.
- Kim, S.M., Choi, H.J., Kim, H.Y., Lee, D.K., Kim, T.H., Ahn, M.S., 2002. Survey on pesticide use by Chinese cabbage grower in Gangwon alpine farmland. *Korean J. Pestic. Sci.* 6, 250-256.
- KOSIS., 2017. Survey of agriculture product : Amount of vegetable product (leaf vegetables). <http://kosis.kr/> (accessed on 11 September, 2018).
- Lee, K.D., Na, S.I., Baek, S.C., Park, K.D., Choi, J.S., Kim, S.J., Kim, H.J., Yun, H.S., Hong, S.Y., 2015. Estimating the amount of nitrogen in hairy vetch on paddy fields using unmaned aerial vehicle imagery. *J. Soil Sci. Fert.* 48, 384-390.
- Lim, S.H., Song, B.H., 2009. Measuring the characteristic of aerial spray by rotary wing. *J. Korean Soc. Aeronaut. Flight Oper.* 17, 46-51.
- Na, S.I., Park, C.W., Cheong, Y.K., Kang, C.S., Choi, I.B., Lee, K.D., 2016. Selection of optimal vegetation indices for estimation of barley & wheat growth based on remote sensing - An application of unmanned aerial vehicle and field investigation data. *Korean J. Remote Sens.* 32, 483-497.
- Park, J.H., Park, J.K., 2015. ICT-based agricultural disaster prediction/response technology development and pilot application - rice damage assessment prediction technology development. Ministry of Science, ICT and Future Planning, pp. 68-70.
- Park, J.K., Das, A., Park, J.H., 2015. Utilization trend of unmanned aerial vehicles in agriculture; Reviews and suggestions. *Agricultural Science Research*, pp. 269-276.
- Park, J.K., Park, J.H., 2015. Monitoring and identification of reservoir damage using UAV aerial image. *Korea Crisis Management*, pp. 156-167.