



무인항공살포용 농약 Ametoctradin+Dimethomorph 47(27+20)% 액상수화제의 풍향 및 풍속에 의한 비산량 측정

노현호 · 김창조 · 문병철* · 노진호 · 김단비 · 오민석 · 권혜영¹ · 김흥태² · 경기성³

농촌진흥청 국립농업과학원 화학물질안전과, ¹농촌진흥청 기획조정관실, ²충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과, ³충북대학교 농업생명환경대학 환경생명화학과

Measurement of Drift Amount of Ametoctradin+Dimethomorph 47(27+20)% Suspension Concentrate for Unmanned Aerial Spraying Caused by Wind Direction and Speed

Hyun Ho Noh, Chang Jo Kim, Byeong-chul Moon*, Jin-ho Ro, Danbi Kim, Min-seok Oh, Hyeyoung Kwon¹,
Hueng Tae Kim², Kee Sung Kyung³

Chemical Safety Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration,
Wanju 55365, Korea

¹Planing and Coordination Bureau, Rural Development Administration, Jeonju 55365, Korea

²Department of Plant Medicine, College of Agriculture, Life and Environment Science, Chungbuk National University,
Cheongju 28644, Korea

³Department of Environmental and Biological Chemistry, College of Agriculture, Life and Environment Science,
Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

(Received on February 17, 2020. Revised on March 1, 2020. Accepted on March 2, 2020)

Abstract This study was carried out to determine pattern of pesticide drift by unmanned aerial spraying with agricultural multi-copter. The test pesticides were ametoctradin+dimethomorph 47(27+20)% SC that is used for protection to shallot from downy mildew disease in Korea. In order to measure the amount of drift, cellulose patches were placed up the outside of treatment plot in 8 direction from 3 m to 15 m and then sprayed pesticide. The pesticide solution was prepared in multi-copter's reservoir at 16-fold diluted (i.g, recommended) concentration of the active ingredient. The spraying altitude and speed were 2 m and 3 m/s, respectively. The AWS (auto weather stations) was set to measure climatic conditions, such as wind direction and speed at intervals of 5 seconds, during the application period. The patches were taken immediately after spraying pesticides and shallots closest to the patch were collected and then analyzed for the pesticide residues. The pesticide residue analysis was performed by QuEChERS method. Average recoveries of ametoctradin and dimethomorph in patch and shallot were found to be 82.07-105.30%. As a result, ametoctradin and dimethomorph were drifted to 5 m at a wind speed of 0 m/s. At 2.5 m/s, pesticides were drifted up to 10 m in the forward direction of the wind, indicating that pesticide drift was determined caused by wind direction and speed.

Key words Multi-copter, Aerial spray, Pesticide drift, Pesticide residue

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

서 론

우리나라 농업현장에서는 고온다습한 6월에서 8월에 농약 살포가 집중되기 때문에 고령화와 부녀화가 가속화된 농업인들이 많은 어려움을 겪고 있다(Seong et al., 2014). 이를 극복하기 위하여 무인항공기를 이용한 농약 살포 방법이 도입되었다. 무인항공기는 2차 세계대전을 거치면서 군사용으로 개발되었지만 현대 사회에서는 건설, 농업 등 각종 산업에서 활용되고 있다(Park et al., 2015). 무인항공기는 사람이 탑승하지 않은 상태에서 조종기 등을 이용하여 비행하는 항공기를 말하는데(Park et al., 2015) 농업현장에서는 무인헬기와 드론으로 알려져있는 초경량비행장치 무인멀티콥터를 파종, 병해충 예찰 및 방제 등에 활용하고 있다.

무인헬기를 이용한 수도작물의 병해충 방제 면적은 매년 증가하여 노동력 감소에 결정적인 역할을 수행했을 뿐만 아니라 고품질의 쌀을 생산하는데도 크게 기여하였다는 보고가 있다(Jin et al., 2008). 또한 항공방제는 살포자가 경작지에 직접 들어가지 않고 농약을 살포함으로써 농약 노출에 대한 위험도를 감소시키는 장점도 있다(Yoon et al., 2011). 하지만 무인헬기는 매우 비싸고 보험료 및 수리비 등 이를 운영하는데 적지 않은 비용이 발생하고 대규모 단지에만 적용되는 단점 때문에 무인헬기보다 저렴하고 이동성이 좋은 멀티콥터가 그 대안으로 급부상하고 있다.

무인헬기 및 멀티콥터를 이용한 항공방제는 적은 노동력으로 병해충을 효과적으로 방제할 수 있는 시스템이지만 농약을 살포하면서 비산(Schaafsma et al., 2017)으로 인해 주변 작물에 비의도적으로 농약이 잔류하여 농약허용물질관리 목록제도(positive list system, PLS)를 위반할 가능성이 있는 단점을 내포하고 있다. 또한 이러한 문제로 인해 농민간의 갈등이 빈번히 발생할 가능성이 있기 때문에 항공살포 농약의 비산 특성 등의 연구를 통하여 비산으로 인한 비의도적 농약 잔류 저감 방안을 강구해야 한다.

항공살포 농약의 비산은 환경조건(풍향, 풍속, 온도 습도 등)과 노즐, 기체제원, 살포농약의 제형 등 다양한 요인이 있지만 이 연구에서는 쪽파 노균병 방제를 위하여 항공방제 농약으로 등록되어 있는 ametoctradin+dimethomorph 47(27+20)% 액상수화제의 풍향 및 풍속을 고려한 비산량을 비산저감 노즐로 측정하기 위하여 수행되었다. 또한 cellulose patch를 이용한 비산량 측정 가능성에 대하여 검토하였다.

재료 및 방법

대상농약

시험농약은 배추 및 쪽파 등에 발생한 노균병을 무인항공 살포로 방제하는데 사용되고 있는 ametoctradin+dimethomorph 47(27+20)% 액상수화제이었으며, 시험농약은 제품

을 16배 희석하여 10 a 당 1.6 L를 살포하는 것으로 안전사용기준이 설정되어 있다.

비산량 측정 방법

쪽파 포장에 400 m²의 처리구를 배치하고 안전사용기준의 추천 희석배수로 희석한 농약을 살포하고 살포 구역에서 3, 5, 7, 10 및 15 m 이격된 지점의 농약 잔류량을 산출하는 방법으로 항공살포 농약의 비산량을 측정하였으며, 시시각각 변하는 풍향을 예측할 수 없기 때문에 모든 방향의 풍향에 따른 비산량을 측정하기 위하여 Fig. 1에 제시한 바와 같이 8방위(동, 서, 남, 북, 북동, 북서, 남동, 남서 방향)에 시료 채취 지점을 표시한 후 시료를 채취하였다. 또한 농작업자의 농약 노출량 산출 연구(Farahat et al., 2010; Nuyttens et al., 2009; Choi et al., 2006)에서 신체 부위별 농약 노출량을 산출하는데 사용되고 있는 cellulose patch (78.5 cm²)를 쪽파 시료 채취 지점에 설치하여 쪽파와 함께 수거하였다.

포장시험

포장시험은 충북 청주시 청원구 오창읍 탑리의 쪽파 재배 단지에서 수행하였으며, 해당 지역은 관제권(공항주변)으로 설정되어 있어 초경량비행장치 비행 승인 신청 후 시험을 수행하였다. 처리구의 면적은 400 m² (8 m W. × 50 m L.)이었으며, 안전사용기준의 추천 살포 농도로 희석하여 살포한 후 쪽파와 patch를 채취하였다. 약제는 2회 살포하였으며, 1차 살포 후에는 쪽파와 patch 모두 시료를 채취하였으며, 2차 살포 후에는 쪽파에 이미 시험농약이 살포되었기 때문에 patch 만 채취하였다. 시험에 사용된 기체는 헬릭옵터(OneTop A1, Topflight Co., LTD, Korea)이었으며, 노즐은 저비산 노즐인 DG110002 (TeeJet, USA) 제품 2개를 장착하였다. 살포고도와 살포속도는 농촌진흥청에서 2018년 12월에 배포한 “작물 병해충 방제용 무인항공방제기 안전사용 매뉴얼”에서 제시한 항공살포 기준에 준하여 2m와 3 m/s로 설정하였으며, 해당 기체의 유효 살포폭은 약 4 m이었다. 토출량은 안전사용기준에 제시된 단위면적 당 살포량을 쪽파 처리구 면적으로 환산하고 3 m/s의 속도로 처리구 면적을 비행하는데 소요되는 시간을 측정하여 해당시간에 분사되는 양을 조절하는 방식으로 설정하였으며, 최종 설정된 토출량은 1,200 mL/min이었다. 또한 시험포장에서 농약 살포는 Fig. 1에 제시한 바와 같이 왼쪽(K-L열 0 m 지점)에서 시작하여 오른쪽 끝(K-L열 100 m 지점)에서 분사를 종료한 후 I-J열로 이동한 후 100 m 구간을 살포하였다. 또한 약제는 실제 농가에서 주로 살포하는 이른 새벽시간에 살포하여 농업현장에서 살포하는 환경을 최대한 반영하였다. 항공살포 동안의 온습도, 풍속 및 풍향을 측정하기 위하여 CR1000X series가 장착된 Cambell Scientific사(USA)의 자동기상측정장치(Auto weather station, AWS)를 설치하였으며, 온습도

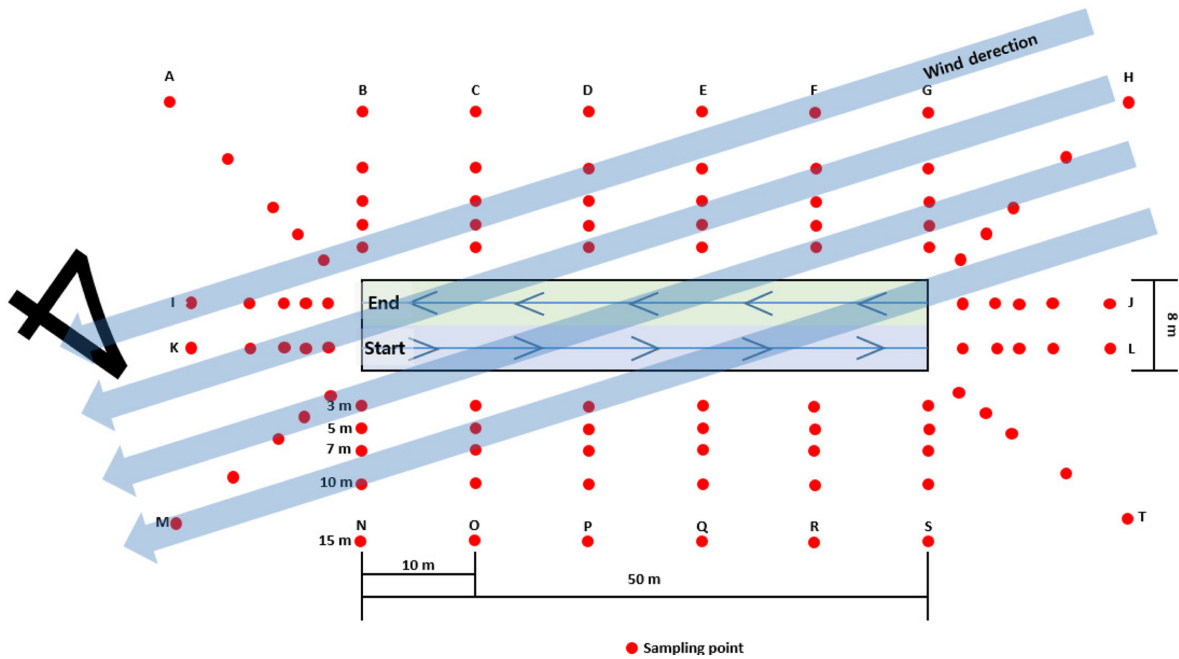


Fig. 1. Diagram of field trial and sampling point for the pesticide drift test with multi-copter and wind direction at second spraying.

측정센서(모델명: EE181)와 풍향 및 풍속 측정센서(모델명: 03002)를 장착하여 5초 간격으로 측정하였다.

시약 및 기구

Ametoctradin과 dimethomorph 표준품의 순도는 각각 99.7와 99.0%이었으며, Dr. Ehrenstofer GmbH사(Germany)에서 구매하여 사용하였다. 잔류농약 분석에 사용된 acetonitrile은 Merck사(Darmstadt, Germany)의 PR (pesticide residue)등급을 사용하였으며, 분석기기의 이동상으로 사용된 formic acid는 Sigma-Aldrich사(Massachusetts, USA)의 제품을 이용하였다. 잔류농약 분석 과정에서 사용된 QuEChERS 추출 pouch와 d-SPE tube는 Agilent사(California, USA)의 제품을 사용하였으며, 원심분리기와 추출기는 각각 한일과학산업(주)사(Incheon, Korea)의 combi-514R 제품과 Collomix GmbH사(Gaimersheim, Germany)의 VIBA 330 제품을 사용하였다.

표준용액 조제

Ametoctradin과 dimethomorph 표준품을 각각 약 20.06와 20.20 mg을 칭량하여 20 mL의 acetonitrile로 용해하여 1,000 mg/L stock solution을 조제하였으며, 이를 acetonitrile로 희석하여 100, 50, 25, 10 및 5 mg/L의 working solution으로 조제하였다. 검량선 작성용 표준용액을 조제하기 위하여 1, 2, 10, 20, 40 및 100 ug/L의 농도로 되도록 acetonitrile을 이용하여 희석하였으며, LC-MS/MS 분석 시 matrix effect를 저감하기 위하여 무처리 시료 추출용액을

이용하여 matrix matched standard를 조제하였다. 이를 LC-MS/MS에 주입하여 얻은 peak 면적을 이용하여 calibration curve를 작성한 후 농약 잔류량을 정량하였다.

잔류농약 분석법

쪽파 시료 10 g을 50 mL conical centrifuge tube (Falcon™, USA)에 정확히 칭량하고 acetonitrile 10 mL을 첨가한 후 690 rpm으로 10분간 진탕 추출하였다. 추출한 시료에 4 g MgSO₄, 1 g NaCl, 1 g trisodium citrate dohydrate, 0.5 g disodium hydrogencitrate sesquihydrate를 첨가하고 손으로 격렬하게 흔든 후 연속해서 690 rpm으로 5분간 진탕하였으며, 이 추출물을 3,500 rpm으로 5분간 원심 분리한 후 상정액을 정제용 시료로 사용하였다. 정제는 MgSO₄ 150 mg, PSA (primary secondary amine) 25 mg 및 GCB (graphitized carbon black) 2.5 mg가 들어있는 d-SPE (dispersive-solid phase extract) tube를 사용하였으며, 추출 후 원심 분리한 상정액 1 mL를 d-SPE tube에 가하고 약 30 초간 vortex mix한 후 이를 다시 12,000 rpm으로 5분간 원심 분리하였다. 원심분리 후 상정액은 acetonitrile을 이용하여 2배 희석하는 방식으로 matrix matching한 후 이를 0.2 µm syringe filter로 여과하여 Table 1에 제시한 방법으로 기기 분석하였다.

Patch의 경우 20 mL의 acetonitrile을 첨가하여 690 rpm으로 20분간 진탕 추출한 후 0.2 µm syringe filter로 여과하고 acetonitrile로 2배 희석하는 방법으로 matrix matching하여 Table 1에 제시한 방법으로 기기 분석하였다.

Table 1. LC-MS/MS conditions for the residual analysis of ametoctradin and dimethomorph

| <LC condition> | | | | | |
|------------------|---|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|--------|
| Instrument | ExionLC™, AB SCIEX, USA | | | | |
| Column | Halo C ₁₈ , 2.1 mm I.D. × 150 mm L. (2.7 μm particle size) | | | | |
| Flow rate | 0.3 mL/min | | | | |
| Mobile phase | A: 0.1% formic acid in distilled water B: 0.1% formic acid in acetonitrile A:B=(50:50, v/v) | | | | |
| Injection volume | 1 uL | | | | |
| <Mass condition> | | | | | |
| Instrument | QTRAP 5500 system, AB SCIEX, USA | | | | |
| Ionspray voltage | 5500 V | Nebulizer gas | 50 psi | | |
| Curtain gas | 20 psi | Drying gas | 50 psi | | |
| Collision gas | 10 psi | Scan type | MRM mode | | |
| Drying gas Temp. | 500°C | Ion source | ESI+ | | |
| <MRM condition> | | | | | |
| Compound | Precursor ion (<i>m/z</i>) | Ion transition | | | |
| | | Quantitation ion (<i>m/z</i>) | CE ^{a)} (eV) | Confirmation ion (<i>m/z</i>) | CE(eV) |
| Ametoctradin | 276.2 | 149.1 | 51 | 176.2 | 49 |
| Dimethomorph | 388.1 | 301.1 | 27 | 165.2 | 45 |

^{a)}Collision energy

잔류농약 분석법 검증

확립된 ametoctradin과 dimethomorph의 기기분석법의 재현성을 확인하기 위하여 정량한계(limit of quantitation, LOQ)와 정량한계의 10배 농도의 matrix matched standard를 제조하여 각각 7회 반복 분석한 후 peak 면적, 높이 및 머무름 시간의 변이를 조사하였다. 또한 쪽파와 patch 중 ametoctradin과 dimethomorph의 잔류 분석법을 검증하기 위하여 회수율 시험을 수행하였다. 쪽파 중 시험농약의 회수율 시험은 무시료에 전체 농도가 0.005, 0.05 및 0.25 mg/kg이 되도록 표준용액을 3반복 처리하였으며, Patch의 경우 무처리 patch에 0.05, 0.5 및 2.5 mg/kg의 표준용액을 1 mL 처리한 후 확립된 분석법을 이용하여 분석하였다. 회수율은 처리량 대비 회수량으로 회수율을 산출하였으며, FAO(2016)을 참고하고 분석법의 적합성을 판단하였다.

결과 및 고찰

기상측정 결과

1차 살포시 평균 온도와 습도는 각각 15.2°C와 85.1%이었으며, 풍속은 0 m/s로 약제살포 동안에 바람의 영향은 거의 없었다. 2차 살포시 평균 온도와 습도는 각각 17.6°C와 65.3%로 1차 살포시보다 온도는 높아지고 습도는 낮아졌으며, 2.5 m/s 풍속으로 복서풍이 불었다.

분석기기의 재현성 및 회수율

Patch와 쪽파 ametoctradin의 peak 면적 및 높이의 상대표준편차(Relative standard deviation, RSD)는 Table 2에 제시한 바와 같이 모두 1.7% 미만이었으며, peak의 머무름 시간에 대한 RSD는 0.2% 미만이었다. Dimethomorph의 경우 peak 면적, 높이 및 머무름 시간의 RSD는 모두 3.3% 미만으로 확립된 기기분석 조건에서 시험농약은 재현성 있는 분석이 가능하다고 판단되었다(Melgar et al., 2010). 또한 patch와 쪽파 중 ametoctradin의 평균 회수율은 각각 84.89-99.47%와 87.34-101.82%이었으며, dimethomorph의 경우 각각 82.07-105.30%와 85.10-104.74%로 확립한 분석법은 적합하다고 판단되었다.

비산량 측정 결과

Patch 중 ametoctradin의 잔류분석 결과는 Table 4에 제시한 바와 같이 풍속이 0 m/s일 때 3 m 지점에서 <LOQ-29.96 μg이 검출되었으며, 5 m 지점의 경우 <LOQ-2.38 μg이 검출되었다. Dimethomorph의 patch 중 검출량은 3 m와 5 m 지점에서 각각 <LOQ-20.75 μg과 <LOQ-2.06 μg으로 ametoctradin과 합체로 살포되었기 때문에 잔류지점과 검출량이 유사한 경향으로 보였다(Table 5). 이와 같이 풍속이 거의 없는 상황에서도 살포구역 이외의 지점에서 농약이 검출되었는데 이를 기류에 의한 비산이라고 단정하기는 어려

Table 2. Reproducibility test of ametoctradin and dimethomorph for instrumental analysis using matrix matched standard in matrices of cellulose patch and shallot with LC-MS/MS

| Pesticide | Matrix | Concentration (mg/kg) | Peak area | | RSD ^{b)} (%) | Peak height | | RSD (%) | Retention time | | RSD (%) |
|--------------|---------|-----------------------|------------|------------------|-----------------------|-------------|--------|---------|--|--------------------|--------------------|
| | | | Mean | SD ^{a)} | | Mean | SD | | Mean | SD | |
| Ametoctradin | Patch | 0.005 | 1,254,143 | 10,383 | 0.83 | 278,528 | 4,624 | 1.66 | 3.17 | 0.00 | 0.00 |
| | | 0.05 | 10,572,857 | 147,616 | 1.40 | 2,333,857 | 35,536 | 1.52 | 3.16 | 0.01 | 0.17 |
| | Shallot | 0.005 | 1,041,000 | 13,038 | 1.25 | 223,029 | 2,591 | 1.11 | 3.17 | 0.01 | 0.17 |
| | | 0.05 | 9,497,429 | 66,098 | 0.70 | 2,093,286 | 19,508 | 0.93 | 3.17 | 0.00 | 0.12 |
| Dimethomorph | Patch | 0.005 | 775,957 | 14,460 | 1.86 | 177,366 | 3,201 | 1.80 | (E) ^{c)} 2.71 (Z) ^{c)} 2.99 | (E)0.00 (Z)0.01 | (E)0.00 (Z)0.18 |
| | | 0.05 | 6,911,429 | 204,028 | 2.95 | 1,583,029 | 51,349 | 3.24 | (E)2.71 (Z)2.99 | (E)0.00 (Z)0.00 | (E)0.00 (Z)0.00 |
| | Shallot | 0.005 | 650,886 | 7,603 | 1.17 | 151,081 | 2,540 | 1.68 | (E)2.71 (Z)2.71 | (E)0.00 (Z)0.00 | (E)0.18 (Z)0.14 |
| | | 0.05 | 6,024,286 | 42,205 | 0.70 | 1,376,614 | 10,315 | 0.75 | (E)2.71 (Z)2.99 | (E)0.00 (Z)0.00 | (E)0.16 (Z)0.13 |

^{a)}Standard deviation, ^{b)}Relative standard deviation, ^{c)}Peaks of dimethomorph were found to be (E)- and (Z)-dimethomorph form

Table 3. Results of recovery test for the ametoctradin and dimethomorph residue analysis in cellulose patch and shallot

| Pesticide | Matrix | Fortification (mg/kg) | Mean recovery (\pm SD ^{a)} , %) | RSD ^{b)} (%) |
|--------------|---------|-----------------------|---|-----------------------|
| Ametoctradin | Patch | 0.005 | 84.89 \pm 2.87 | 3.38 |
| | | 0.05 | 91.97 \pm 1.21 | 1.31 |
| | | 0.25 | 99.47 \pm 0.86 | 0.87 |
| | Shallot | 0.005 | 87.34 \pm 1.67 | 1.92 |
| | | 0.05 | 101.12 \pm 1.74 | 1.72 |
| | | 0.25 | 101.82 \pm 2.36 | 2.32 |
| Dimethomorph | Patch | 0.005 | 82.07 \pm 3.89 | 4.73 |
| | | 0.05 | 97.06 \pm 1.36 | 1.40 |
| | | 0.25 | 105.30 \pm 2.12 | 2.01 |
| | Shallot | 0.005 | 85.10 \pm 1.69 | 1.98 |
| | | 0.05 | 104.74 \pm 2.12 | 2.02 |
| | | 0.25 | 103.94 \pm 2.39 | 2.23 |

^{a)}Standard deviation, ^{b)}Relative standard deviation

을 것으로 판단되었다. 왜냐하면 설정한 살포폭은 유효 살포폭이지 해당 살포폭 이외로 농약이 분사되지 않는다는 것은 아니기 때문이다. 또한 멀티콥터는 비행시 환경조건 및 하드웨어적 문제로 기체의 흔들림 현상이 발생할 수밖에 없기 때문에 완벽하게 일자로 비행하는 것이 사실상 불가능하다. 따라서 비산의 영향보다 overspray일 가능성이 더 높다고 판단되었지만 추가적인 반복 연구를 통해 구명해야 할 것으로 판단되었다.

또한 Kilgore et al. (1964)와 Marshall et al. (1963)의 보고에 의하면 로터가 회전하면서 발생하는 하향풍(downwash)이 비산을 줄여주고 부착량을 증가시키는 역할을 한다고 하지만 무인헬기와 같이 강력한 하향풍이 발생하지 않고 하향

풍이 농약을 원하는 지점에 전량 살포되도록 할 수 없다. 따라서 비표적 작물 또는 구역에 영향이 있을 수밖에 없게 되는 것이다. 비행속도와 압력의 차이로 발생하는 와류현상으로 인해 비표적 작물 또는 구역에 농약이 살포되었을 가능성도 배제할 수 없다. 하지만 2.5 m/s의 풍속에서는 ametoctradin과 dimethomorph 모두 바람의 정방향으로 10 m 지점까지 비산됨을 확인하였으며, 최대 비산량은 ametoctradin과 dimethomorph 각각 1.39와 1.24 μ g이었다.

쪽파 중 ametoctradin의 잔류농약을 분석한 결과 일부 지점(G, H, J, K, L, M)을 제외하고 3 m 지점에서 0.021-0.360 mg/kg이 검출되었으며, I, O, P, Q, R, S의 5 m 지점에서 0.012-0.028 mg/kg이 검출되었다. Dimethomorph의 경우 G,

Table 4. Drift amount of ametoctradin caused by unmanned aerial spray on cellulose patch

| Point | Amount of ametoctradin ($\mu\text{g}/78.5 \text{ cm}^2$) | | | | | | | | | |
|-------|--|------|-----|------|------|---|-------|------|------|------|
| | Trial 1 (0 m/s ^b) | | | | | Trial 2 (2.5 m/s ^b , NW ^c) | | | | |
| | Distance from spraying plot | | | | | Distance from spraying plot | | | | |
| | 3 m | 5 m | 7 m | 10 m | 15 m | 3 m | 5 m | 7 m | 10 m | 15 m |
| A | - ^a | - | - | - | - | 28.74 | 7.91 | 2.64 | - | - |
| B | 1.60 | - | - | - | - | 2.79 | - | - | - | - |
| C | 3.92 | - | - | - | - | 1.76 | - | - | - | - |
| D | 3.08 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| E | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| F | 1.52 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| G | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| H | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| I | - | - | - | - | - | 14.61 | 13.93 | 3.58 | - | - |
| J | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| K | - | - | - | - | - | 25.88 | 11.66 | 2.68 | 1.39 | - |
| L | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| M | - | - | - | - | - | 4.67 | 1.43 | 1.15 | - | - |
| N | 2.56 | - | - | - | - | 2.34 | - | - | - | - |
| O | 3.94 | - | - | - | - | 4.73 | 2.81 | - | - | - |
| P | 6.09 | 1.23 | - | - | - | 2.23 | - | - | - | - |
| Q | 1.96 | 1.59 | - | - | - | 4.22 | 1.67 | - | - | - |
| R | 29.96 | 2.38 | - | - | - | 2.82 | - | - | - | - |
| S | 4.36 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

^a<LOQ (limit of quantitation), ^bWind speed, ^cNorthwesterly wind

Table 5. Drift amount of dimethomorph caused by unmanned aerial spray on cellulose patch

| Point | Amount of dimethomorph ($\mu\text{g}/78.5 \text{ cm}^2$) | | | | | | | | | |
|-------|--|------|-----|------|------|---|-------|------|------|------|
| | Trial 1 (0 m/s ^b) | | | | | Trial 2 (2.5 m/s ^b , NW ^c) | | | | |
| | Distance from spraying plot | | | | | Distance from spraying plot | | | | |
| | 3 m | 5 m | 7 m | 10 m | 15 m | 3 m | 5 m | 7 m | 10 m | 15 m |
| A | - ^a | - | - | - | - | 19.6 | 5.79 | 1.95 | - | - |
| B | 1.12 | - | - | - | - | 2.13 | - | - | - | - |
| C | 3.00 | - | - | - | - | 1.32 | - | - | - | - |
| D | 2.37 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| E | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| F | 1.20 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| G | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| H | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| I | - | - | - | - | - | 11.55 | 10.72 | 3.32 | - | - |
| J | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| K | - | - | - | - | - | 20.76 | 5.24 | 2.47 | 1.24 | - |
| L | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| M | - | - | - | - | - | 3.53 | 1.23 | - | - | - |
| N | 2.25 | - | - | - | - | 2.13 | - | - | - | - |
| O | 3.54 | - | - | - | - | 3.77 | 2.61 | - | - | - |
| P | 4.50 | 1.07 | - | - | - | 2.06 | - | - | - | - |
| Q | 1.71 | 1.38 | - | - | - | 3.31 | 1.56 | - | - | - |
| R | 20.75 | 2.06 | - | - | - | 2.70 | - | - | - | - |
| S | 3.07 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

^a<LOQ (limit of quantitation), ^bWind speed, ^cNorthwesterly wind

Table 6. Drift amount of ametoctradin and dimethomorph caused by unmanned aerial spray under wind speed of 0 m/s on shallot

| Point | Ametoctradin residue (mg/kg) | | | | | Dimethomorph residue (mg/kg) | | | | |
|-------|------------------------------|-------|-----|------|------|------------------------------|-------|-----|------|------|
| | Distance from spraying plot | | | | | Distance from spraying plot | | | | |
| | 3 m | 5 m | 7 m | 10 m | 15 m | 3 m | 5 m | 7 m | 10 m | 15 m |
| A | 0.024 | - | - | - | - | 0.020 | - | - | - | - |
| B | 0.035 | - | - | - | - | 0.032 | - | - | - | - |
| C | 0.151 | - | - | - | - | 0.148 | - | - | - | - |
| D | 0.058 | - | - | - | - | 0.056 | - | - | - | - |
| E | 0.033 | - | - | - | - | 0.034 | - | - | - | - |
| F | 0.025 | - | - | - | - | 0.025 | - | - | - | - |
| G | ^{a)} | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| H | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| I | 0.021 | 0.018 | - | - | - | 0.023 | 0.024 | - | - | - |
| J | - | - | - | - | - | 0.013 | - | - | - | - |
| K | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| L | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| M | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| N | 0.043 | - | - | - | - | 0.032 | - | - | - | - |
| O | 0.042 | 0.015 | - | - | - | 0.034 | 0.013 | - | - | - |
| P | 0.067 | 0.012 | - | - | - | 0.056 | 0.012 | - | - | - |
| Q | 0.360 | 0.020 | - | - | - | 0.302 | 0.020 | - | - | - |
| R | 0.335 | 0.024 | - | - | - | 0.307 | 0.021 | - | - | - |
| S | 0.043 | 0.028 | - | - | - | 0.037 | 0.026 | - | - | - |
| T | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

^{a)}<LOQ (limit of quantitation)

H, K, L, M 지점을 제외하고 3 m 지점에서 0.013-0.307 mg/kg이 검출되었으며, 5 m 이격된 거리에서는 I, O, P, Q, R, S 지점에서 0.012-0.026 mg/kg이 검출되어 합제로 살포된 ametoctradin과 dimethomorph의 잔류 패턴은 유사하였다 (Table 6).

무인헬기 및 무인멀티콥터 등을 이용한 농약살포에 의한 비산은 Craig et al. (1998)이 보고한 바와 같이 풍속, 풍향, 살포고도, 살포입자 크기와 형태 등의 요인에 의해 결정된다. 특히 유인항공기를 이용하여 농약을 살포한 결과 바람의 정방향으로 20 m 지점까지 농약이 비산되었으며, 역방향으로는 10 m 지점까지 비산되었다는 보고(Park et al., 2007)와 유인헬기로 농약을 살포했을 경우 바람의 정방향으로 30 m 지점까지 농약이 비산되었으며, 역방향으로는 20 m 지점까지 비산되었다고 보고(Jin et al., 2008)와 같이 항공살포 농약의 비산은 풍속 및 풍향이 주요한 요인이라고 판단되었다.

농약의 보조제로 사용되는 계면활성제, 유화제, 오일 등이 액적의 크기를 증가시켜 비산을 저감한다는 보고(Bissell and Brown, 2019)와 같이 제형 및 보조제의 특성에 따라 비산 패턴이 달라질 수 있다. 하지만 이 연구에서 사용된 농약은 액상수화제로 유효성분 이외에 계면활성제, 증량제 등 53%의 보조제가 포함되어 있지만 각각의 보조제가 첨가된

정확한 양과 종류가 공개되어 있지 않아 보조제의 종류에 따른 비산 정도를 판단할 수 없었다. 하지만 환경조건, 농약의 제형 및 보조제 등 비산을 저감시키거나 증가시킬 수 있는 다양한 변수를 포함하는 항공살포 농약의 비산 특성을 구명하는 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

또한 patch에 잔류한 농약은 농도(mg/kg)로 산출할 수 없고 양(μ g)으로만 정량할 수밖에 없는 점을 고려하더라도 실제 작물(쪽파)을 이용한 비산량 측정 결과와 patch의 결과가 유사한 패턴을 보였기 때문에 다양한 환경조건과 비행조건에서 반복적인 비산량을 측정하여 비산 패턴을 구명할 때 patch가 활용될 수 있을 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ3426032020)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

Literature cited

Bissell DC, Brown D, 2019. Drift reduction adjuvant com-

- positions and methods of using same. U.S. Patent Application No. 16/023, 790.
- Choi H, Moon JK, Liu KH, Park HW, Ihm YB, et al., 2006. Risk assessment of human exposure to cypermethrin during treatment of mandarin field, Arch. Environ. Contam. Toxicol. 50(3):437-442.
- Craig I, Woods N, Dorr G, 1998. A simple guide to predicting aircraft spray drift. Crop Protec. 17(6):475-482.
- Farahat FM, Fenske RA, Olson JR, Galvin K, Bonner MR, et al., 2010. Chlorpyrifos exposure in Egyptian cotton field workers, Neurotoxicology 31(3):297-304.
- Food and Agriculture of the United Nations (FAO), 2016. Submission and evaluation of pesticide residues data for the estimation of maximum residue levels in food and feed.
- Jin YD, Lee HD, Park YK, Kim JB, Kwon OK, 2008. Drift and distribution properties of pesticide spray solution applied aerially by manned-helicopter. Kor. J. Pestic. Sci. 12(4): 351-356.
- Kilgore WW, Yates WE, Ogawa JM, 1964. Evaluation of concentrate and dilute ground air-carrier and aircraft spray coverage. Hilgardia 35(19):527-536.
- Marshall J, McMechan AD, Williams K, 1963. Low-volume air-blast spraying in British Columbia orchards. Canada Dept. Agri. Bull. 1191:1-18.
- Melgar MJ, Santaefemia M, Garcia MA, 2010. Organophosphorus pesticide residues in raw milk and infant formulas from spanish northwest. J. Environ. Sci. Health. B 45(7):595-600.
- Nuyttens D, Braekman P, Windey S, Sonck B, 2009. Potential dermal pesticide exposure affected by greenhouse spray application technique, Pest Manag. Sci. 65(7):781-790.
- Park JK, Das A, Park JH, 2015. Application trend of unmanned aerial vehicle (UAV) image in agricultural sector: Review and proposal. Korean Journal of Agricultural Science. 42(3):269-276.
- Park SW, Yoo JH, Oh KS, Park BJ, Kim SS, et al., 2017. Uptake and Translocation of the Soil Residual Pesticides into the Vegetable Crop. Korean J. Pest. Sci. 21(3):298-309.
- Schaafsma AW, Limay-Rios V, Forero LG, 2017. The role of field dust in pesticide drift when pesticide-treated maize seeds are planted with vacuum-type planters. Pest. Manag. Sci. 74(2):323-331.
- Seong DG, Bea SM, Kim YG, Cho YC, Lee SD, et al., 2014. Efficacy of foliar herbicide treatment by unmanned helicopter under water-seeded rice cultivation. Weed. Truf. Sci. 3(4): 323-328.
- Yoon CS, Bae CH, Lee SC, Kim KH, Lee KH, et al., 2011. Herbicidal effects on the differential rice cultivation condition and damage of no-target plants of macro granule herbicide for remote-controlled aerial application. Korean J. Weed. Sci. 31(4):375-383.

무인항공살포용 농약 Ametoctradin+Dimethomorph 47(27+20)% 액상수화제의 풍향 및 풍속에 의한 비산량 측정

노현호 · 김창조 · 문병철* · 노진호 · 김단비 · 오민석 · 권혜영¹ · 김흥태² · 경기성³

농촌진흥청 국립농업과학원 화학물질안전과, ¹농촌진흥청 기획조정관실, ²충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과, ³충북대학교 농업생명환경대학 환경생명화학과

요약 이 연구는 쪽파 노균병 방제를 위하여 항공방제 농약으로 등록되어 있는 ametoctradin+dimethomorph 47(27+20)% 액상수화제의 항공방제 시 비산량을 측정하고 비산 양상을 구명하기 위하여 수행하였다. 비산량을 측정하기 위하여 쪽파 포장에 cellulose 재질의 patch를 농약 살포 구역의 8 방향에 일정한 간격으로 15 m 지점까지 설치한 후 안전사용기준의 추천 희석배수인 16배(1.6 L/10a)로 희석하여 2 m의 고도에서 3 m/s의 속도로 농약을 살포하였다. 농약 살포 동안의 풍속 등의 기상을 측정하기 위하여 자동기상측정장치(auto weather station, AWS)를 설치하였으며, 5초 간격으로 기상상황을 측정하였다. 약제 살포 직후 patch를 채취하였으며, patch와 가장 인접한 쪽파를 채취하여 잔류 분석하였다. 잔류농약 분석은 QuEChERS 방법에 준하여 수행하였으며, patch와 쪽파 중 시험농약의 평균 회수율은 82.07-105.30%이었다. 잔류농약 분석 결과 0 m/s의 풍속에서 ametoctradin과 dimethomorph는 5 m 지점까지 비산되었으며, 2.5 m/s의 풍속에서는 바람의 정방향으로 10 m 지점까지 비산되어 풍속과 풍향이 비산을 결정하는 원인으로 작용하는 것으로 판단되었다.

색인어 멀티콥터, 항공방제, 농약비산, 잔류농약