



패치법을 이용한 동력 및 원격조종 살포 중 살균제 Difenoconazole에 대한 감귤 과수원 농작업자의 노출 비교 평가

류갑희^{1,†} · 조형욱^{2,†} · 선정훈² · 문준관^{3*}

¹농산업발전연구원, ²한경대학교 산학협력단 한살림농식품분석센터, ³한경대학교 식물자원조경학부

Comparison of Exposure Assessment of Mandarin Orchard Workers to the Fungicide Difenoconazole Using Patch Method on Stationary Power and Remote-Control Sprayer

Gap-Hee Ryu^{1,†}, Hyeong-Wook Jo^{2,†}, Jung-Hun Sun², Joon-Kwan Moon^{3*}

¹Reserch Institute of Agribusiness Development, Suwon 16432, Korea

²Hansalim Agro-Food Analysis Center, Hankyong National University Industry Academic Cooperation Foundation, Suwon 16500, Korea

³Department of Plant Resources and Landscape Architecture, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

(Received on December 19, 2022. Revised on March 1, 2023. Accepted on March 2, 2023)

Abstract This study was carried out to compare the risk assessment of the stationary power sprayer and the remote-control sprayer of the fungicide difenoconazole in mandarin orchards. Commercial pesticide, difenoconazole 10% WP was diluted 2,000 times. After spraying 1,000 L using the stationary power sprayer and the remote-control sprayer, samples for each body part were collected and pesticide residues were analyzed by GC-MS/MS. The limit of quantitative was 0.005 mg/L, and the recovery rates were 85.7~101.9%. As a result of residual pesticide analysis, the total exposure level was 14,168.6 and 2,108.8 µg for power spraying and remote-control spraying, respectively. And the total detection amount is 0.028 and 0.004% of the spraying amount. The margin of safety of difenoconazole calculated based on the exposure amount was 55.23 and 8.32 for remote control and power spraying, respectively. When difenoconazole 10% WP was sprayed, the risk assessment of farm workers was evaluated to be low. It has been proven to be 6.6 times safer when sprayed using the remote-control sprayer than the stationary power sprayer.

Key words Difenoconazole, Mandarin orchard, Stationary power sprayer, Remote-control sprayer, Risk assessment

서 론

농약은 소비자에게 저렴한 가격으로 농산물을 안정적으로 공급하고, 농산물의 품질을 향상시키며, 농민에게는 높은 수익을 보장하는 핵심적인 역할을 해오고 있지만(Damalas and Eleftherohorinos, 2011), 농산물 및 환경 중 잔류농약 및 농작업자에 대한 위해성 등 부정적 영향을 동반하고 있다(Noh et al., 2017). 하지만 농산물 또는 환경 중 잔류농약

에 대해서는 농촌진흥청, 식품의약품안전처, 국립농산물품질관리원 및 환경부 등 여러 기관에서 관리하고 있지만 농작업자에 대한 위해성 연구는 식품 및 환경에 비해 미비한 부분이 있다. 또한 농약의 노출은 농약의 생산, 조제, 살포, 수확 등 여러경로로 노출될 수 있다(Choi et al., 2006). 농작업자의 경우, 살포액을 조제하고 살포하는 과정에서 피부 및 호흡을 통하여 주로 노출되며 이는 급성 및 만성독성을 일으킬 수 있다(Atabila, 2017; Ramos et al., 2010; Damalas et al., 2016). 이러한 위해성을 최소화하기 위하여 국가별로 농약의 등록 신청 단계 또는 등록된 농약의 실제 사용에 대한 평가를 위해서 농작업자 노출량과 독성을 평가하는 모델이

[†]The authors contributed equally to this work

*Corresponding author

E-mail: jkmoon@hknu.ac.kr

개발되어 사용되고 있으며, 국내에서는 2009년부터 농약 등록 시 영국의 UK-POEM을 국내 농작업자 상황에 맞게 변형한 한국형 농작업자 노출량 산정 모델(Korean Pesticide Operator Exposure Model; Ko-POEM)을 활용하여 농작업자 위해성 평가를 실시하고 있다(Lee et al., 2019). 국내에서는 농작업자 위해성평가를 위하여 수동적 노출량을 산출하는 방법으로 패치법과 전신복장법(whole body dosimetry, WBD)을 이용하고 있다(농촌진흥청, 2022).

Durham and Wolfe (1962)가 고안한 패치법은 작업복에 50 cm² 크기의 cellulose 재질의 종이를 신체의 주요 부위(가슴, 상박, 하박 등)에 부착한 후 농약을 살포하고 이를 수거하여 분석하는 방법으로 노출량을 산출하고 이를 신체 표면에 적에 외삽하는 방식이며, 한국 성인남성에 맞춰 주요 부위별로 신체표면비율을 제시하였다(Kim et al., 2011). 국내에서 이 방법은 포장시험이 간단하고 분석 시료의 양이 적어 경제적이고 간편한 시험법으로 국내에서 주로 사용되어 왔으며(Kang et al., 2004; Kim et al., 2013; Choi et al., 2006; Moon et al., 2013), 노출량을 외삽하는 과정에서 노출량이 과소평가되거나 과대평가될 수 있고 (Cao et al., 2015), 패치 재질이 실제 농약 살포에 사용되는 작업복과 상이하기 때문에 살포액 흡착 및 흡수되는 양이 상이할 수 있다는 단점을 가지고 있다(Kim et al., 2014). 이러한 패치법의 단점을 보완하기 위하여 전신복장법(WBD)은 패치법과 달리 실제 작업복을 신체 부위별로 구분하여 노출량을 산출하기 때문에 패치법보다 비효율적이고 비경제적이지만, 외삽 과정이 제외되어 정확한 노출량을 측정할 수 있기 때문에(Grobkopt et al., 2013; Abukari, 2015; Noh et al., 2017)

2014년 이후 농작업자의 노출량 평가를 위하여 WBD법으로 위해성 평가 및 노출량 산출을 하고 있다(Lee et al., 2016, Noh et al., 2017, Cho et al., 2018)

호흡노출량을 측정하는 방법으로 일반적으로 personal air pump에 XAD-2 등의 고체 흡착제가 들어 있는 유리컬럼을 부착하여 이를 착용하고 농약을 살포한 후 고체 흡착제를 수거하여 분석하는 방식으로 측정을 하였으나, 최근에는 IOM (The Institute of Occupational Medicine) 포집기에 유리섬유필터를 장착하여 측정하고 있다(Katinka et al., 2004; Grobkopf et al., 2013; Kim et al., 2014; Noh et al., 2017).

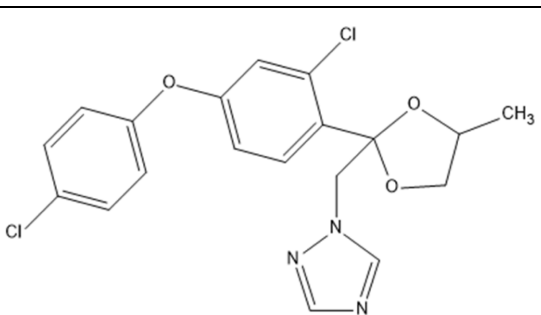
본 연구가 진행된 감귤 과수원은 제주도의 특산물로써 재배인구가 감소하고 노령화에 따라 인력이 부족한 실정이며 최근 월동온주비가림에서 하우스감귤 전환농가가 증가하고 있어(Jeju Special Self-Governing Provincial Agricultural & Extension Services, 2020) 사방이 막힌 공간인 하우스감귤 농원에서의 농약 살포는 농작업자 노출량이 증가할 것으로 예측된다. 따라서 본 연구에서는 동력분무기를 이용한 직접 살포와 비교적 살포자와 살포기와의 거리가 이격된 원격조종분무기를 이용한 직접살포 간 농작업자의 노출 평가를 포장시험이 간단하고 분석 시료의 양이 적어 경제적인 patch법을 이용하여 노출 평가를 실시하였고 살포방법에 따른 비교평가를 실시하였다.

재료 및 방법

시약, 재료 및 기구

시험농약은 감귤더태이병 방제에 사용하는 difenoconazole

Table 1. Physico-chemical properties of difenoconazole

Common name	Difenoconazole
Chemical structure	
IUPAC name	3-Chloro-4-[(2RS,4RS;2RS,4SR)-4-methyl-2-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)-1,3-dioxolan-2-yl]phenyl 4-chlorophenyl ether
Molecular weight	406.3
Log <i>K_{ow}</i>	4.36
Vapor pressure	3.32 × 10 ⁻⁵ mPa (25°C)
Solubility	In water 15.0 (mg/L, 20-25°C) In acetone (>500), dichloromethane (>500), ethyl acetate (>500), hexane 3, methanol (>500), octanol 110, toluene (>500) (in g/L, 20-25°C)
Stability	Stable up to 150°C. Hydrolytically stable

10% 수화제(푸르겐, (주)경농)이었으며, 분석에 사용된 표준 용액 difenoconazole (1,000 µg/ml)은 Accustandard (New Haven, CT, USA)로부터 구입하여 사용하였다. 증류수는 초순수 제조장치 Zeneer Power II (Seoul, Korea)를 이용하여 18.2 MΩ의 저항값을 갖는 3차 증류수를 사용하였다. 피부 노출 측정용 패치(Dermal patch)인 α-cellulose 종이(17CHR, 46 × 57 cm)는 cytiva(Marborough, MA, USA)를 구입하여 사용하였고 알루미늄 종이패치 포켓은 주문 제작하였다. Nitrile 장갑은 SafeTouch (Medicom, Quebec, Canada)를 사용하였다. 또한 호흡노출량 측정에 사용된 개인용 호흡펌프는 GilAir 3RC (Sensidyne, St. Petersburg, FL, USA)를 사용하였고, 유리섬유필터(25 mm)가 장착된 IOM 포집기(225-70A, SKC, USA)를 사용하였다. 마스크는 시중에 판매하고 있는 보건용(KF94)을 사용하였다. 분석용 시료 조제에 사용된 acetonitrile은 HPLC급(Burdick & Jackson, Muskegon, MI, USA)을 사용하였다.

포장시험

시험포장은 제주특별자치도 서귀포시 남원읍 태위로에 위치한 감귤 시설재배지에서 2022년 6월 21일에 수행하였으며, 시험농약은 시험농약은 2,000배 희석하여 동력분무기 (THS-150A, Taehwaspray, Korea)와 원격조종분무기(SMH100, KBOBE, Korea)로 1,000 L 살포하였으며(Table 2), 노출량 측정을 위하여 살포 시간을 측정하였다.

피부 및 호흡 노출 측정

농약 살포 시, 작업복, 마스크, 모자 및 nitrile 장갑을 착용

하였으며, 작업복은 부위별(가슴, 등, 배, 허리, 상박 좌/우, 하박 좌/우, 허벅지 좌/우, 정강이 좌/우)로 패치를 부착하여 측정하였고, 작업 종료 후 각 분석시료들은 호일을 이용하여 오염이 되지 않도록 지퍼백에 담아 냉동상태로 실험실로 운반하여 -20°C로 보관하였다. 호흡 노출 측정을 위해서 개인용 호흡펌프를 농약 살포 시 허리에 장착하고, 필터는 호흡기에 가깝게 고정시킨 후 펌프를 작동시켜 공기 중 농약을 포집하였다. 포집 유속은 2 L/min으로 보정 후 실험을 수행하였으며, 작업 종료 후 필터는 준비한 코니칼 튜브에 담아 냉동상태로 실험실로 운반하여 -20°C로 보관하였다.

기기조건 및 방법

분석시료(패치, 모자, nitrile 장갑 및 유리섬유필터)는 Table 3에 표기된 양의 acetonitrile을 첨가하여 700 rpm에서 60분동안 진탕추출하여 상등액 1 ml를 취하여, syringe filter (0.2 µm, PTFE)로 여과하여 분석하였다. 시료 중 difenoconazole의 분석은 GC-MS/MS(TQ8040, Shimadzu, Tokyo, Japan)로 분석하였으며, 기기조건은 Table 4와 같다.

검출한계, 정량한계, 표준용액 조제 및 검량선 작성

Difenoconazole 표준용액(1,000 µg/ml, in acetonitrile)을 acetonitrile로 단계적으로 희석하여 0.005, 0.01, 0.02, 0.05 및 1.0 µg/ml의 working solution을 조제하였다. 조제한 표준용액을 매질보정(추출 시료/acetonitrile, 1/1, v/v)을 하여 GC-MS/MS에 1 µl씩 주입하여 검량선의 직선성을 확인하였다. 검출한계(limit of detection, LOD)는 크로마토그램상의 signal to noise ratio (S/N)가 3 이상인 농도를 검출한계

Table 2. Plot design for spraying pesticides onto mandarin

Pesticides	A.I ^{a)}	Formulation	Spraying method	Spraying time	Dilution rate
Difenoconazole	10%	WP ^{b)}	Stationary Power spray	35 m 41 s	2,000
			Remote-control spray	38 m 21 s	

^{a)} Active ingredient

^{b)} Wettable powder

Table 3. Preparation of sample for the analysis of difenoconazole

Body part	Acetonitrile for extraction solvent volumes (mL)	Extraction method
Patch	Head	Shaking for 1 hour at 700 rpm
	Chest and stomach	
	Back and hip	
	Upper arm	
	Forearm	
	Thigh	
Shin	1000	
Glove (Hand)	1,000	
Mask (Face)	1,000	
Glass fiber filter (Inhalation)	10	

Table 4. GC-MS/MS conditions for difenoconazole

Instrument	GCMS-TQ8040 with GC-2010 (Shimadzu, Japan)				
Injection mode	Splitless mode				
Injection volume	1 µL				
Injection port & Transferline temperature	280°C				
Flow rate	Const flow, 1.5 mL/min				
Column	DB-5 MS UI (30 m × I.D 0.25 mm, 0.25 µm)				
Oven temperature	50°C (1.1 min) → 25°C/min → 235°C → 10°C/min → 300°C (3.5 min)				
Ionization source	Electron ionization (EI)				
Ionsource temperature	230°C				
Nebulizing gas flow	3 L/min				
CID Gas	230 kPa				
MRM condition					
Compound	Precursor ion (m/z)	Quantifier ion (m/z)	CE (V)	Qualifier ion (m/z)	CE (V)
Difenoconazole	323.0	265.0	15	267.0	20

로 설정하였고, 정량한계(limit of quantitation, LOQ)는 검출한계의 5배 수준 농도로 설정하였다. 또한 분석기기의 재현성 검증을 위하여 LOQ 및 LOQ의 10배의 농도를 6회 반복하여 기기 분석한 후 피크 면적의 평균과 표준편차 및 변이계수를 산출하여 신뢰성을 확보하였다.

회수율 시험

시험농약의 회수율 시험은 패치, 마스크, nitrile 장갑 및 유리섬유필터에 대하여 수행하였으며, 각 분석 대상시료에 표준용액을 LOQ, 10xLOQ 및 100xLOQ 수준으로 처리한 후 시료분석 방법과 동일하게 분석하였다.

노출량 산출

피부 노출량(µg)은 시료 별 검출농도에 추출 용매량을 곱하여 각 부위별[머리, 가슴, 배, 허리, 상박, 하박, 허벅지, 정강이, 얼굴(마스크), 손(장갑)]로 산출하였으며, 패치의 경우 Kim et al. (2011)에서 제시한 외삽을 적용하여 총 부위별 노출량을 산출하였다. 호흡 노출량(µg)의 경우, 실제 사람의 호흡량은 1,270 L/hr이고 실험에 사용한 펌프의 유량은 2 L/min이므로 산출된 노출량에 10.58을 곱하여 산출하였다.

위해성 평가

시험농약의 안전한계(Margin of safety, MOS)는 Severn (1984)의 식을 변형(잠재적호흡노출량 삽입)하여 농작업자의 노출 및 호흡 노출량을 바탕으로 실제 피부 노출량(actual dermal exposure, ADE)과 잠재적 호흡 노출량(potential inhalation exposure, PIE)을 산출하고 이를 노출 허용량(acceptable exposure, AE)와 비교하는 방법으로 다음의 식을 이용하여 산출하였다(Kim et al., 2012; Kim et al., 2014; Noh et al., 2017; Cho et al., 2018; Kwon et al., 2018).

$$MOS = \frac{AE}{ADE \times AF + PIE} \times SF \quad (2)$$

(AE: 노출허용량; ADE: 실제 피부 노출량; AF: 흡수계수, PIE: 잠재적 호흡 노출량; SF: 안전계수)

피부와 호흡 노출량을 바탕으로 안전한계를 식(1)과 같이 산출하여 안전한계가 1 이상이면 안전한 것으로, 1 미만이면 안전하지 않은 것으로 판단하여 살포 농약에 대한 농작업자의 안전성을 평가하였다. 또한 LOQ 미만으로 검출된 경우는 1/2 LOQ를 적용하였다. 이는 위해성 평가 시, 값이 없을 경우 평가를 진행할 수 없으므로 정량한계를 낮추거나 정량한계(0.005 mg/L)의 1/2를 적용하여 평가를 실시하였다(Großkopf et al., 2013). 실제 피부 노출량의 경우, 흡수계수를 피부 침투율 10%을 적용하였고(Nachado-Neto, 2001; Kim et al., 2014; Kwon et al., 2018), 잠재적 호흡 노출량은 호흡 노출량의 특성상 호흡기로 직접 노출이 이루어지기 때문에 흡수율 100%를 적용하였다. 또한 노출허용량은 해당농약의 최대무독성량(no observed adverse effect level, NOAEL) 0.16 mg/kg bw/day에 2020년 기준 한국평균남성 몸무게 73.8 kg (KOSIS, 2022)을 적용하여 산출하였으며, 안전계수는 1을 적용하였다.

결과 및 고찰

검출한계, 정량한계, 표준용액 검량선

본 실험에서의 검출한계는 S/N 3.0인 0.001 mg/L (1 ng)이었으며, 정량한계는 이의 5배로 0.005 mg/L (5 ng)이었다. MS/MS 분석을 위하여 각 매질별 matrix matched를 진행하여 매질보정표준용액을 분석하여 검량선의 직선성을 확인한

Table 5. Linear equations of calibration curves and limit of quantitation

Pesticides	Linear equation	R ²	LOQ (mg/kg)
Patch	y = 13,514,804.8x - 36,441.7	0.9999	0.005
Glove	y = 13,928,587.5x - 18,491.4	0.9997	
Mask	y = 14,949,850.1x - 22,734.6	0.9999	
Glass fiber filter	y = 48,033.6x - 1,808.2	0.9998	

Table 6. Recoveries of the analytical method of difenoconazole from exposure matrices

Matrices	Fortification (mg/kg)	Replicate (Peak area)						Average (%)	CV ^{a)} (%)
		1	2	3	4	5	6		
Patch	LOQ	61191	61846	62648	61346	61645	61345	61670.2	0.9
	10 LOQ	634693	645367	635697	636548	636512	642136	638492.2	0.7
Mask	LOQ	73592	73694	73589	74695	74632	76952	74525.7	1.7
	10 LOQ	743695	753649	756485	756632	754698	765368	755087.8	0.9
Glove	LOQ	113415	122564	123524	113695	116458	117895	117925.2	3.7
	10 LOQ	1365418	1362544	1324658	1365221	1321856	1345621	1347553.0	1.5
Glass fiber filter	LOQ	10741	10654	11362	11264	11236	11468	11120.8	3.0
	10 LOQ	123648	122364	120364	126524	124628	126324	123975.3	1.9

^{a)} Coefficient of variation = (standard deviation/average) × 100

Table 7. Recoveries of the analytical method of difenoconazole from exposure matrices

Matrices	Fortification (mg/kg)	1 replicate	2 replicate	3 replicate	Average (%)	CV ^{a)} (%)
Patch	LOQ	89.2	93.5	95.2	92.6	3.3
	10 LOQ	96.3	91.4	93.5	93.7	2.6
	100 LOQ	100.2	99.5	94.6	98.1	3.1
Mask	LOQ	92.1	93.4	88.0	91.2	3.1
	10 LOQ	95.4	100.6	103.5	99.8	4.1
	100 LOQ	94.3	91.2	95.4	93.6	2.3
Glove	LOQ	84.3	88.6	88.2	87.0	2.7
	10 LOQ	90.3	95.4	92.3	92.7	2.8
	100 LOQ	99.6	95.4	96.6	97.2	2.2
Glass fiber filter	LOQ	83.3	88.4	85.4	85.7	3.0
	10 LOQ	101.1	105.2	99.4	101.9	2.9
	100 LOQ	95.6	99.5	94.7	96.6	2.6

^{a)} Coefficient of variation = (standard deviation/average) × 100

결과, R² > 0.99 이상으로 직선성을 확보하였다. LOQ 및 LOQ의 10배의 표준용액을 6회 반복 기기분석한 후, 농도별 피크 면적의 변이계수는 0.7~3.7%로 분석기기의 재현성은 매우 양호한 것으로 판단되었다(Table 6).

회수율 시험

총 4가지의 노출 시료별(패치, 마스크, 장갑 및 유리섬유 필터) difenoconazole의 평균 회수율은 Table 7과 같이 평균 85.7~101.9%이었으며, 변이계수도 2.2~4.1%로 노출량 분석을 위한 분석법으로 적합한 것으로 판단되었다.

농약 살포 시, 노출량 측정 결과

Difenoconazole 10% 수화제를 살포할 때, 부위별 노출량(μg)은 Table 8과 Fig. 1에 나와 있는 것과 같이 부위별 농도값에 추출용매량을 곱하여 산출하였다. 동력분무기로 살포하였을 때, difenoconazole의 총 노출량은 14,168.6 μg으로 총 살포량 대비 0.028% 수준이었고 분포는 몸통(31.1%), 팔(24.3%), 다리(39%), 얼굴 및 머리(3.5%), 손(2.2%) 순이었다. 원격조종분무기를 이용하여 살포하였을 때, difenoconazole의 총 노출량은 2,108.8 μg으로 총 살포량 대비 0.004% 수준이었고 분포는 다리(35.5%), 몸통(29.9%), 얼굴 및 머

Table 8. Exposure level and Distributions of difenoconazole on body parts including Exposure level of difenoconazole during application

Body part	Stationary power spray		Remote-control spray		
	Exposure level (µg)	Distribution (%)	Exposure level (µg)	Distribution (%)	
Patch	Head	497.6	3.5	366.6	17.4
	Chest and stomach	2,515.3	17.8	545.1	4.1
	Back and hip	1,878.2	13.3	86.4	9.8
	Upper arm	2,2028.8	14.3	206.9	7.2
	Forearm	1,413.3	10.0	151.0	20.0
	Thigh	4,053.8	28.6	420.9	15.5
	Shin	1,472.0	10.4	326.0	0.1
Glove (Hand)	306.8	2.2	2.5 ^{a)}	0.1	
Mask (Face)	2.5 ^{a)}	0.0	2.5 ^{a)}	0.0	
Glass fiber filter (Inhalation)	0.26	0.0	0.85	0.0	
Total (Dermal + Inhalation)	14,168.6	100.0	2,108.8	100.0	

^{a)} As not detection, applied 1/2 LOQ

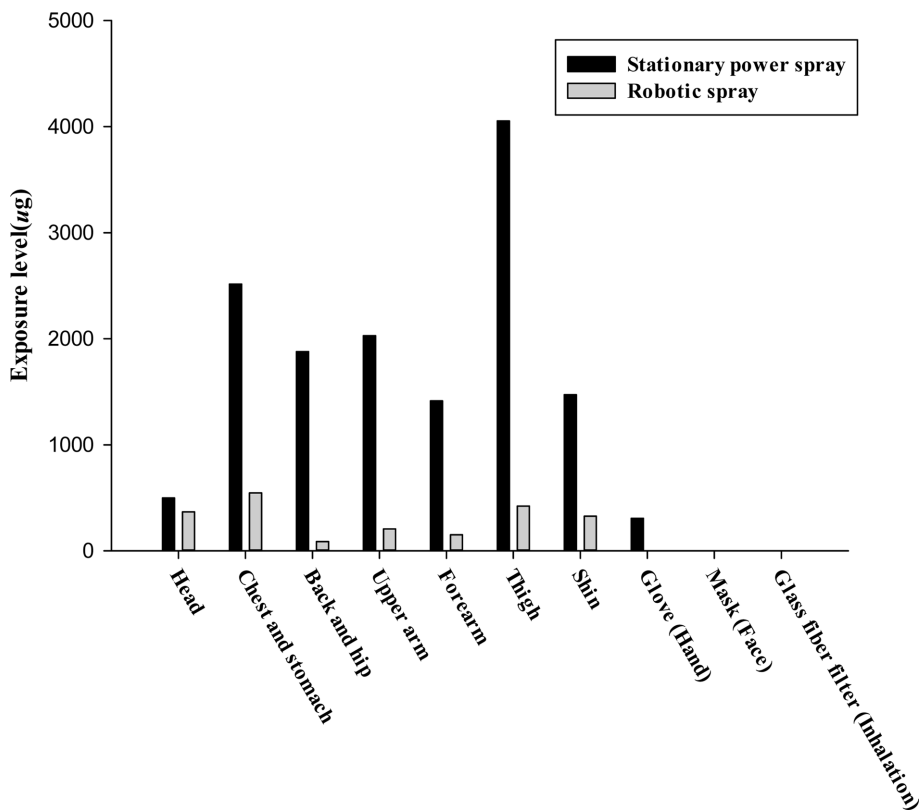


Fig. 1. Dermal and inhalation exposure on body part during application.

리(17.5%), 팔(17%), 손(0.1%) 순이었다. 동력살포기로 살포하였을 때 원격조종분무기로 살포하였을 때보다 노출량이 머리(1.4배), 몸통(7.0배), 팔(9.6배), 다리(7.4배), 손(122.7배) 높았으며, 호흡노출량은 반대로 0.3배로 낮았다. 특히 약제를 살포할 때 직접 분무기를 사용하는 것과 원격조종분무기의 유선조종기를 사용함에 따라 손으로 노출되는 양이 가장

크게 차이가 난 걸로 판단되며, 원격조종분무기를 이용하였을 때 피부노출량이 낮은 이유는 약제 살포를 위하여 감귤 나무 사이를 다니지 않기 때문으로 판단된다. 반대로 호흡노출량은 원격조종분무기로 살포하였을 때가 더 높게 측정되었는데, 시설재배라는 특성에 따라 바람에 의한 영향은 미비한 것으로 판단되며, 동력분무기로 살포할 때는 전방을



Fig. 2. Remote-control sprayer.

향해 약제를 살포하고 1구 노즐을 사용하므로 호흡기로 유입되는 농약의 비산이 적은 것으로 판단된다. 그러나 원격조종분무기로 살포할 때는 원격조종이 바닥에 굴러가는 형태이고 6구 노즐이 위쪽으로 향해 있고(Fig. 2) 살포시간이 동력분무기(35분 41초) 및 원격조종분무기(38분 21초)로 더 오랜시간 분무함에 따라, 이에 따른 비산이 동력분무기보다 많아 호흡노출량이 큰 것으로 판단된다.

농작업자 위해성 비교

동력분무기를 이용한 살포와 원격조종분무기를 이용한 살포를 안전한계로 계산을 하였을 때, 각각 8.32와 55.23으로 1보다 크기 때문에 위해성은 적은 것으로 판단할 수 있다. 또한 원격조종분무기를 이용하였을 때 피부노출량이 6.7배가 낮았고, 호흡노출량이 3.2배 높았으며, 안전한계는 6.6배 낮았다. 이러한 비교실험 결과, 일반 동력분무기로 약제를 살포할 때보다 원격조종분무기로 살포하면 농작업자에 대한 안전성이 더욱 높아질 수 있음을 입증할 수 있는 근거가 될 것이다. 본 연구에서 이용한 patch법은 노출량이 다소 과소 평가되거나 과대평가가 될 수 있으나 동력분무기와 원격조종분무기에서의 노출량 경향 및 비교를 위한 기본 실험으로 추후 정확한 비교 실험을 위해서 WBD법을 이용하고 포장간 반복수를 늘려 측정하면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2022년도 “농촌진흥청 연구사업(PJ01564820 21)”의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

저자정보

Gap-Hee Ryu, Research Institute of Agribusiness Development, <https://orcid.org/0000-0001-9690-1839>

Hyeong-Wook Jo, Hansalim Agro-Food Analysis Center, Hankyong National University Industry Academic Cooperation Foundation, Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-2271-9767>

Jung-Hun Sun, Hansalim Agro-Food Analysis Center, Hankyong National University Industry Academic Cooperation Foundation, Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-1531-9690>

Joon-Kwan Moon, Department of Plant Resources and Landscape Architecture, Hankyong National University, Professor, <https://orcid.org/0000-0001-9944-7475>

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literature cited

- Abukari W, 2015. Pesticides applicator exposure assessment: a comparison between modeling and actual measurement. *J. Environ. Earth Sci.* 5(11):101-115.
- Atabila, A, 2017. On dermal exposure of applicators to chlorpyrifos on rice farms in Ghana. *Chemosphere.* 178, 350-358.
- Cao L, Chen B, Zheng L, Wang D, Liu F, et al., 2015. Assessment of potential dermal and inhalation exposure of workers to the insecticide imidacloprid using whole-body dosimetry in China. *J. Environ. Sci.* 27:139-146.
- Cho IK, Kim SJ, Kim JM, Oh YG, Seol JU, et al., 2018. Risk assessment of operator exposure during treatment of fungicide dithianon on apple orchard. *Korean J. Environ. Agric.* 37(4):302-311.
- Choi H, Kim JH, 2014. Risk assessment of agricultural worker's exposure to fungicide thiophanate-methyl during treatment in green pepper, cucumber and apple fields. *J. Appl. Biol. Chem.* 57(1):73-81.
- Choi H, Moon JK, Liu KH, Park HW, Ihm YB, et al., 2006. Risk assessment of human exposure to cypermethrin during

- treatment of mandarin fields. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 50:437-442.
- Damalas CA, Koutoubas SD, 2016. Farmers' exposure to pesticides: toxicity types and ways of prevention. *Toxics*. 4(1):1.
- Damalas CA, Eleftherohorinos IG, 2011. Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 8(5):1402-1419.
- Durham WF., Wolfe HR, 1962. Measurement of exposure of workers to pesticides. *Bull. Wld. Hlth. Org.* 26(1):75-91.
- Großkopf C, Mielke H, Westphal D, Erdtmann-Vourliotis M, Hamey P, et al., 2013. A new model for the prediction of agricultural operator exposure during professional application of plant protection products in outdoor crops. *J. Verbr. Lebensm.* 8(3):143-153.
- Kang TS, Kim GJ, Choi IJ, Kwon YJ, Kim KR, et al., 2004. Exposure assessment of Korean farmers while applying chlorpyrifos, and chlorothalonil on pear and red pepper. *Korean J of Rural Med.* 29(2):249-263.
- Kantinka VDJ, Tielemans E, Links I, Brouwer D, Hemen JV, 2004. Effectiveness of personal protective equipment: relevance of dermal and inhalation exposure to chlorpyrifos among pest control operators. *J. Occup. Environ. Hyg.* 1(6): 355-362.
- Kim EH, Lee HR, Choi H, Moon JK, Hong SS, et al., 2011. Methodology for quantitative monitoring of agricultural worker exposure to pesticides. *Korean J. Pestic. Sci.* 15(4):507-528.
- Kim EH, Moon JK, Choi H, Hong SM, Lee DH, et al., 2012. Exposure and risk assessment of insecticide methomyl for applicator during treatment on apple orchard. *J. Korean Soc. Biol. Chem.* 55:95-100.
- Kim EH, Moon JK, Lee HR, Kim SH, Hwang YJ, et al., 2013. Exposure and risk assessment of operators to insecticide acetamiprid during treatment on apple orchard. *Horticultural Science & Technology.* 31(2):239-245.
- Kim EH, Lee JH, Sung JH, Lee JH, Shin YH, et al., 2014. Exposure and risk assessment for operator exposure to insecticide acetamiprid during water melon cultivation in greenhouse using whole body dosimetry. *Korean J. Pestic. Sci.* 18(4):247-257.
- KOSIS, 2022. Current status of average weight distribution by age and gender by city and province. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=350&tblId=DT_35007_N132
- Kwon GH, Moon JK, Jung YM, Lee MS, Lee JH, et al., 2018. Visitor exposure and risk assessment of insecticide fenitrothion applied to tree in public living space. *J. Korean Soc. For. Sci.* 107(2):229-236.
- Jeju Special Self-Governing Province Agricultural Research & Extension Services, 2020. 2021 Green-house Mandarin Cultivation Technology, Jeju, Korea. (In Korean)
- Lee HD, Ihm YB, Kwon HY, Kim JB, Kyung KS, et al., 2005. Dissipation pattern of pesticide residues in/on different varieties of lettuce applied with foliar spraying under greenhouse condition. *Korean J. Pestic. Sci.* 9(4):354-358.
- Lee JY, Noh HH, Park HK, Jeong HR, Jin MJ, et al., 2016. Exposure assessment of apple orchard workers to the insecticide imidacloprid using whole body dosimetry during mixing/loading and application. *Korea J. Pestic. Sci.* 20(3): 271-279.
- Lee S, Paik MK, Lee MJ, Shin HS, Jeong MH, et al., 2019. Pesticide reduction effect of agricultural workers according the wearing degree of personal protective equipment. *Korean J. Pestic. Sci.* 23(4):339-347.
- Machado-Neto JG, 2001. Determination of safe work time and exposure control need for pesticide applicators. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 67:20-26.
- Moon JK, Park SE, Kim EH, Lee HR, Kim JH, 2013. Risk assessment of the exposure of insecticide operators to fenvalerate during treatment in apple orchards, *J. Agric. Food Chem.* 61(2):307-311.
- Noh HH, Park HK, Lee JW, Jin MJ, Lee JY, et al., 2017. Exposure and risk assessment of clothianidin for agricultural worker during spraying onto rice-growing paddy field. *Korean J. Pestic. Sci.* 21(3):332-340.
- Ramos LM, Querejeta GA, Flores AP, Hughes EA, Zalts A, et al., 2010. Potential dermal exposure in greenhouses for manual sprayer: analysis of the mix/load, application and re-entry stages. *Sci. Total. Environ.* 408(19):4062-4068.

패치법을 이용한 동력 및 원격조종 살포 중 살균제 Difenoconazole에 대한 감귤 과수원 농작업자의 노출 비교 평가

류갑희^{1,†} · 조형욱^{2,†} · 선정훈² · 문준관^{3*}

¹농산업발전연구원, ²한경대학교 산학협력단 한살림농식품분석센터, ³한경대학교 식물자원조경학부

요 약 본 연구는 감귤 과수원에서 살균제 difenoconazole의 동력분무기와 원격조종분무기의 위해성 평가 비교를 위하여 수행되었다. 시험농약인 difenoconazole 10% 수화제이었으며, 2,000배 희석액, 1,000 L를 동력분무기와 원격조종분무기를 이용하여 살포한 후 신체분위별 시료를 채취하여 GC-MS/MS로 잔류농약을 분석하였다. 시험농약의 정량한계는 5 ng이었으며, 회수율은 85.7~101.9%이었다. 잔류농약 분석 결과, 총 노출량은 동력살포와 원격조종살포 각각 14,168.6 및 2,108.8 µg이었으며, 총 검출량은 살포량 대비 0.028 및 0.004%이었다. 노출량을 바탕으로 산출한 difenoconazole의 안전한계는 동력살포와 원격조종살포 각각 55.23과 8.32로 difenoconazole 10% 수화제를 살포할 때에 농작업자의 위해도는 모두 낮은 것으로 평가되었으며, 동력분무기를 이용할 때보다 원격조종분무기를 이용하여 살포하였을 때 6.6배 더 안전한 것으로 입증되었다.

색인어 디페노코나졸, 감귤 과수원, 동력살포, 원격조종살포, 농작업자 위해성 평가