

농업용 멀티콥터를 활용한 무인항공기용 작물보호제 살포양상에 대한 상용노즐별 차이

박부용^{1,2} · 정인홍² · 김선우³ · 김길하^{4*}

¹국립농업과학원 기화조정과, ²국립농업과학원 농산물안전성부 작물보호과, ³군산대학교 컴퓨터정보통신공학부, ⁴충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과

Comparison of Each Commercial Nozzle on the Application Pattern of Pesticide for Unmanned Aerial Vehicles (UAV)

Bueyong Park^{1,2}, In-Hong Jeong², Sun Woo Kim³ and Gil-Hah Kim^{4*}

¹Planning and Coordination Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, 55365, Korea

²Crop Protection Division, Department of Agro-Food Safety and Crop protection, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

³School of Computer Information and Communication Engineering, Kunsan National University, Gunsan 54150, Korea

⁴Department of Plant Medicine, College of Agriculture, Life and Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

ABSTRACT: This study investigated spray patterns and coverage generated by three types of commercial nozzles for spraying pesticides with Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) using a multi-copter. Flufenoxuron+metaflumizone SC and bifenthrin EC were sprayed. The falling particles of the spraying agent were measured using WSP (Water and oil Sensitive Paper) and the coverage was determined. The results showed that the uniformity of falling particles was different according to the difference in wind strength, and there was no difference for different formulations. The injection amount for each nozzle was found to be different from the official information provided by the manufacturers. These results could be used to establish guidelines for the control of UAVs and pesticide registration testing.

Key words: Multi-copter, Pesticide, Falling particle, Coverage, Nozzle

조 록: 본 연구에서는 멀티콥터를 이용한 무인항공기용 방제약제 살포시 사용하는 상용 노즐에 3가지 타입에 따른 살포양상과 피복도를 조사하였다. 처리구에 플루페녹수론·메타플루미존(flufenoxuron+metaflumizone) 액상수화제와 비펜트린(bifenthrin) 유제를 살포하고 난 뒤, 살포 약제의 낙하입자를 감수지를 이용하여 측정하고 감수지의 피복도를 조사하였다. 낙하입자 분석결과 풍속의 차이에 따라 노즐별 낙하입자 균일도에 차이를 보였으며 제형별 차이는 없었다. 노즐별 분사량은 공식 제공정보와 실제 분사량에 차이를 보였다. 이 결과들은 무인항공기 이용 농업현장 방제 및 약제등록시험 가이드라인 설정에 근거자료로 활용될 수 있을 것이다.

검색어: 멀티콥터, 드론, 농약, 피복도, 노즐

멀티콥터(드론)는 군사적인 목적으로 개발되었으나 점차 그 활용 범위가 확대되어 농업분야에서는 작물생육이나 작황예측, 병해충 방제 등에 이용되고 있다(Herwitz et al., 2004; Feng et al., 2015). 이는 농촌 고령화, 인력 부족 등 국내농업의 현실상 농작업의 생력화, 자동화 등이 요구되고 있는 것과 맞물려

지속적으로 확산되고 있고(Kim and Jun, 2011; Kim, 2015), 멀티콥터의 농업적 활용은 적기 방제와 방제 시간 절감을 모두 아우를 수 있는 대안이 될 수 있다(Park et al., 2019). 농업용 멀티콥터는 현재 무인 항공살포기로 분류되어 등록약제와 현장 사용에 대하여 농촌진흥청 고시로 관리하고 있으며, 멀티콥터 기체는 농업기술실용화재단의 등록기준을 충족한 모델만 사용이 가능하다(KCPA, 2020; RDA, 2019). 무인항공살포기는 무인 헬리콥터, 무인멀티콥터, 무인고정익비행기 및 무인기구 등으

*Corresponding author: khkim@chungbuk.ac.kr

Received December 28 2020; Revised April 26 2021

Accepted May 24 2021

로 세분할 수 있으나 현재 약제살포용으로는 무인 멀티콥터가 가장 많이 사용되고 있다.

멀티콥터가 갖는 여러 장점들로 인해 이를 활용한 병해충 방제 횟수와 면적은 증가하고 있지만, 농약허용기준강화를 위해 실행되고 있는 농약허용물질목록관리제도(PLS, Positive List System)의 시행으로 농약 비산에 대한 문제가 발생하고 있다. 이는 각 작물별 등록약제의 차이로 인하여 살포 약제가 주변의 다른 작물에 낙하되어 발생하는 비의도적 오염으로 인해 친환경 인증 취소나 농산물 폐기와 같은 부작용이 발생되고 있다 (Park et al., 2018). 이는 멀티콥터를 이용한 방제가 풍향, 풍속과 같은 바람이나 지형과 같은 환경조건의 영향을 많이 받기 때문이기도 하지만, 환경조건이 같아도 로터에서 발생하는 하향풍과 분사장치인 노즐의 종류에 따라서도 영향을 많이 받게 된다. 이에 본 연구에서는 농업용 멀티콥터를 이용한 방제시 사용이 가능한 상용 노즐에 대하여 노즐별 약제 토출량을 비교하고 살포 양상과 비산 및 피복도를 분석하여 실제 무인항공용 약제를 이용한 현장 방제 및 약제등록 기준설정에 참고할 수 있는 근거데이터를 제시하고자 한다.

재료 및 방법

시험장소

시험은 전북 완주군 이서면 소재 대지에서 추진되었다. 규모는 15m × 35m (줄간 폭 1.65 m), 총면적 525 m²이고 각각 좌우 5 m, 상하 7.5 m의 완충지대(buffer zone)를 설정하였다(Fig. 1). 완충지대는 실제 드론 방제시 약제가 주변으로 비산되어 비의도적 오염을 야기하는 경우가 있어 노즐별로 비산의 정도를 참고하기 위함이 목적이다. 처리구는 Park et al. (2019)의 방식으로 단구제 3반복 시험을 할 수 있도록 구획하였다. 평행살포된 약제의 낙하입자 분석을 위해 시험포장에 감수지(water and oil sensitive paper, TeeJet technologies, 76 × 52 mm)를 시험포장 내부에 30개, 완충지대(buffer zone)에 40개를 각각 배치하였다.

시험약제

2020년 현재 무인항공용으로 등록되어있는 약제는 총 386 품목인데(RDA, 2020), 이를 제형별로 구분하면 액상수화제가 242종으로 가장 많으며, 유현탁제가 47종, 유제 31종, 액제 23종의 순으로 비중을 차지하고 있다. 이중 해충 방제를 위해 현장에서 많이 사용되고 있는 제형인 액상수화제와 유제를 대상으로, 플루페녹수론·메타플루미존(flufenoxuron+metaflumizone)

액상수화제와 클로르피리포스·알파사이퍼메트린(chlorpyrifos+alpha cypermethrin) 유제를 선정하여 시험에 사용하였다.

약제처리는 농약 및 원제의 등록기준 고시(RDA, 2019)를 참고하여 농작물 캐노피(canopy)를 약 80 cm로 가정하고 캐노피 2 m 상공에서 10 km/h의 비행속도로 약제를 평행 살포하였으며 시험약제의 제형, 유효성분 및 추천 희석농도는 Table 1과 같다.

약제는 작물보호제 안전사용기준(KCPA, 2020)에 근거하여 조제하였으며, 두 약제 모두 16배(10 a 당 1.6 L)로 희석하여 사용하였다.

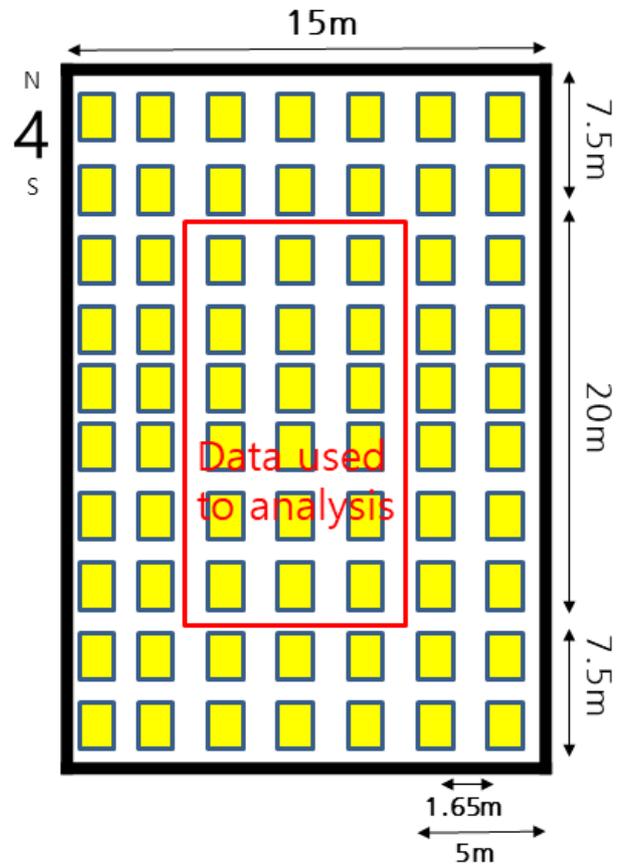


Fig. 1. Tested field information.

Table 1. Information of insecticide used in this experiment

Common name	AI ¹	Formulation ²	Recommended dilution (X)
Flufenoxuron+ Metaflumizone	5	SC	16
chlorpyrifos+ alpha cypermethrin	8 + 6.2	EC	16

¹Active Ingredient.

²SC: Suspension Concentrate. EC: Emulsifiable Concentrate

멀티콥터 및 노즐

시험에 사용된 멀티콥터는 (유)동아하이테크에서 제작한 쿼드콥터로(모델명: Hexacopter-DA-BAT10L) 규격은 1,550 mm (L) × 1,500 mm (W) × 480 mm (H), 중량은 9.6 Kg (전지 미포함), 펌프는 PLD-1206 Micro diaphragm pump (12 V 45 W), 배터리는 TATTU 6S 15C 22.2 V 16,000 mA (8AWG)이며, 10 L 약제통을 탑재할 수 있다. 약제통과 몸체는 일체형이며, 약제통 내부에 격벽이 있어 실제 방제시 기울임으로 인한 약제의 요동을 최소화할 수 있다. FC (Flight controller)는 xAircraft SuperX2이며, 약 1 ha의 면적을 10분 내외로 방제할 수 있으며 노즐은 4개까지 장착할 수 있는 기체다. 이를 이용하여 2020년 9월 29일 오전 5시경 10 km/h의 비행속도로 약제를 살포하였다. 시험 당일의 온·습도 및 풍향·풍속은 Vernier Software and Technology社의 센서형 데이터수집장치 Labquest2 LQ-LE를 이용하여 측정하였다.

살포약제 낙하입자의 분석은 농약 및 원제의 등록기준의 낙하분산 조사법을 참고하였는데, 이는 낙하액적의 입경을 기준으로 4단계로 구분하고, 단위면적(cm^2)당 낙하액적의 수를 가지고 8단계로 구분하여 약제의 낙하입자 패턴을 구분하고 있다 (RDA, 2019).

노즐은 DG 11002, XR110015 및 TP110067을 사용하였으며, 이는 실제 무인방제시 사용되고 있는 모델이다. 노즐별 분사량은 멀티콥터의 펌프 압력과 연계하여 9단계로 구성되어 있는데, 이를 1단계부터 9단계까지 높여가며 노즐별로 토출되는 약량을 측정하였다.

통계처리

노즐별 약제 살포 양상, 피복도의 유의성을 검증하기 위해 SAS (SAS Institute, 2002)를 이용하여 Tukey의 다중검정을 실시하였다. 또한 감수지를 이용한 약제의 낙하입자 분석은 Park et al. (2019)의 방법을 참고해 Image J (NIH, National Institute of Health)를 사용하여 감수지에 나타난 낙하액적의 피복도 (coverage)를 측정하고 노즐별 목표 지점(field)의 피복도 차이는 Tukey 검정을 통해 유의성을 확인하였다.

결과 및 고찰

시험당일 처리구의 온·습도 및 풍속을 측정한 결과 온도는 16.4°C , 바람은 남동풍, 평균 풍속 0.9 m/s , 최대 풍속 1.5 m/s 이었다(Fig. 2).

약제의 입자낙하 양상은 제형별로는 차이가 거의 없었는데, 액상수화제, 유제 모두 물에 희석하여 액상화되어 있는 상태에서 노즐을 통한 고압분무로 살포되기 때문인 것이라 판단되며 이에 가장 많이 등록되어 있는 액상수화제를 대표로 하였다.

그러나 노즐의 종류별로는 차이가 있었는데, 먼저 DG 모델은 입경단계 A (0.2 mm)의 수는 적고, 입경단계 B (0.5 mm)의 액적도 한두개씩 나타났다. 그러나 XR과 TP 모델은 입경단계 A의 수가 700개까지 나오는 등 DG 노즐에 비하여 입경 크기가 작은 경향을 보여주었다. 입경 C단계는 세 노즐 모두 나타나지 않았다(Fig. 3) Image J를 활용한 감수지 피복도는 DG노즐은 2.29(필드 평균 2.17, 완충지대 평균 0.82)로 나타났으며, XR노즐은 1.44(필드 평균 1.45, 완충지대 평균 0.45), TP노즐은 0.98(필드 평균 0.98, 완충지대 평균 0.36)으로 나타났다(Fig. 4). 이



Fig. 2. Pesticide treatment using multi-copter.

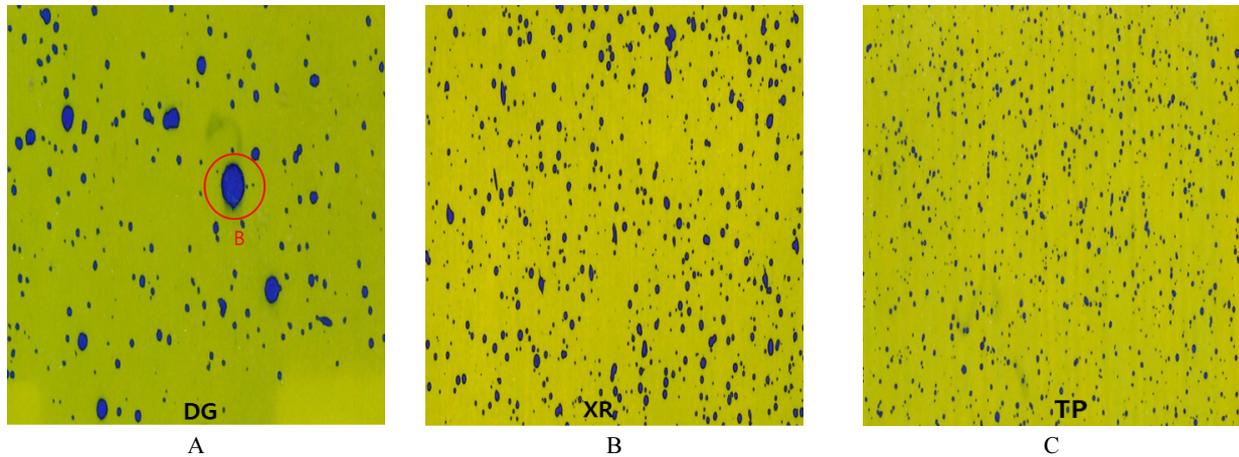


Fig. 3. Comparison of falling particle on Water Sensitive Paper of three nozzle (Red circle: diameter B, except B: diameter A).

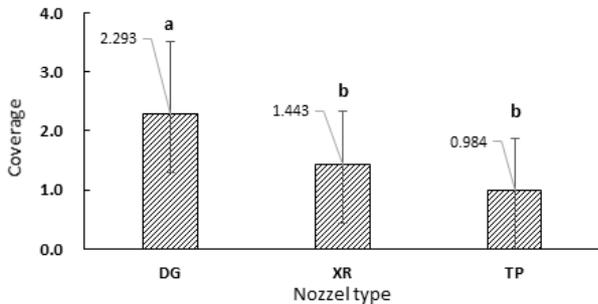


Fig. 4. Comparison of three nozzle spray pattern in field ($p < 0.05$, Tukey's studentized range test).

는 DG 노즐이 주 방제 타겟이 되는 필드 안에 약제를 가장 많이 낙하시킨 것을 의미하며 피복도가 낮을수록 필드와 완충지대에 낙하되지 않고 주변으로 비산되어 손실된 약제가 많다는 것이라 볼 수 있다.

감수지 피복도는 노즐별로 차이점을 보였는데, DG노즐은 목표 지점(Field)을 중심으로 높은 피복도가 형성되었으나 XR과 TP노즐은 피복도가 상대적으로 낮게 형성되었다. 감수지 위치별 액적분포는 노즐별로 낙하 패턴은 유사하였다. 시험 당일 발생한 남동풍으로 인하여 낙하입자가 서북쪽으로 쏠리는 현상이 발생하였으며, 완충지대에 설치한 감수지에서도 약제의 낙하액적이 나타났다(Fig. 5). 이는 노즐의 입자경 차이때문인 것으로 판단되는데, DG노즐은 통상압력인 3 bar 기준 입자경 등급이 보통(Moderate)입에 반해 XR과 TP노즐은 미세(Fine)로 분사되는 입자 크기가 더 작다. 따라서 바람의 영향을 더욱 많이 받게 되어 비산되는 약량이 많아 낙하입자 패턴과 피복도가 다른 결과를 나타낸 것이라 판단된다. 이는 노즐별 총 피복도의 차이에 근거할 수 있는데, DG노즐은 총 피복도가 81.4,

XR과 TP노즐은 각각 49.6, 36.2로 나타났는데, 이 차이는 동일한 약제를 동일한 속도로 살포하였을 때 DG노즐에 비하여 XR과 TP노즐을 사용하였을 때 field zone이나 buffer zone에 낙하지 않고 다른 곳으로 비산된 약제량이라 할 수 있다. 실제 방제작업을 가정한다면 약제가 목표 지점(field)에 중점적으로 낙하가 이루어져야 하는데, field 지점의 피복도는 DG 노즐이 2.17, XR 노즐이 1.45, TP 노즐이 0.98로 나타나 DG 노즐의 목표 지점에 대한 약제 낙하가 가장 양호한 것으로 판단되며 XR, TP 노즐간 field 지점의 피복도는 수치상 소폭 차이는 있으나 통계적인 유의성은 없어 두 노즐간 우위는 판단할 수 없었다(Fig. 4).

노즐별 분사량은 DG노즐은 압력 단계에 따라 1분당 최저 160 ml에서 최대 320 ml로 단계별로 20 ml씩 증가하였고, XR노즐은 최저 160 ml에서 최대 270 ml로 단계별로 15 ml씩 증가하였으나 압력 8단계 이후에는 증가하지 않았다. TP노즐은 최저 140 ml에서 최대 145 ml로 나타났는데, 1에서 6단계까지는 140 ml, 7단계 이상에서는 145 ml로 나타나 압력에 따른 분사량의 차이가 적었다(Table 2). 이는 노즐 제조사인 티젯에서 제공하는 분사량 정보(TeeJet, 2020)와 다소 차이를 보였는데, DG11002 노즐의 분사량 정보는 분당 0.65에서 1.02 l/min이었지만 본 시험에서는 0.96에서 1.92 l/min으로 나타났고, XR110015와 TP1100067의 분사량은 0.34에서 0.68 l/min, 0.21에서 0.30 l/min이지만 본 시험에서는 각각 0.96에서 1.62 l/min, 0.84에서 0.87 l/min으로 나타나 공식 정보와 일치하지 않았으며 실제의 경우가 토출량이 약간 많은 경향을 보였다. 다만 공식정보의 기준 압력은 최소·최대 범위가 1 bar에서 4 bar입에 반해, 일반적인 멀티콥터에서 설정하는 압력 단계는 9단계로 수평비교는 불가능하지만 압력의 최소·최대에 따른 토출량의

70	60	50	40	30	20	10	70	60	50	40	30	20	10	70	60	50	40	30	20	10
69	59	49	39	29	19	9	69	59	49	39	29	19	9	69	59	49	39	29	19	9
68	58	48	38	28	18	8	68	58	48	38	28	18	8	68	58	48	38	28	18	8
67	57	47	37	27	17	7	67	57	47	37	27	17	7	67	57	47	37	27	17	7
66	56	46	36	26	16	6	66	56	46	36	26	16	6	66	56	46	36	26	16	6
65	55	45	35	25	15	5	65	55	45	35	25	15	5	65	55	45	35	25	15	5
64	54	44	34	24	14	4	64	54	44	34	24	14	4	64	54	44	34	24	14	4
63	53	43	33	23	13	3	63	53	43	33	23	13	3	63	53	43	33	23	13	3
62	52	42	32	22	12	2	62	52	42	32	22	12	2	62	52	42	32	22	12	2
61	51	41	31	21	11	1	61	51	41	31	21	11	1	61	51	41	31	21	11	1
DG Total coverage : 81.4							XR Total coverage : 49.6							TP Total coverage : 36.2						

Fig. 5. Pattern of falling particle on Water Sensitive Paper of three nozzle (A: DG, B: XR, C: TP, Wind direction: SE 0.9 m/s).

Table 2. Discharge amount by three type nozzles per minute

unit: L/min.

Pressure stage	DG		XR		TP	
	Practice ¹	Official ²	Practice	Official	Practice	Official
1	0.96		0.96		0.84	
2	1.08		1.05		0.84	
3	1.2		1.14		0.84	
4	1.32		1.23		0.84	
5	1.44	0.65 ~ 1.02	1.32	0.34 ~ 0.68	0.84	0.21 ~ 0.30
6	1.56		1.41		0.84	
7	1.68		1.5		0.87	
8	1.8		1.62		0.87	
9	1.92		1.62		0.87	

¹This experiment

²Manufacturer official information

범위로서는 충분이 비교가 가능하다고 여겨진다. 또한 멀티콥터별로 장착된 펌프의 성능 차이에서 기인할 수도 있다고도 여겨진다. 이처럼 공식 성능과 실제의 토출량 차이는 농업 현장에서 방제작업시 살포되는 약량과 비산량이 실제로는 더 많아질 가능성이 있으므로 방제용으로 등록되어 있는 농업용 무인항공살포기별로 노즐별 분사량의 기초정보를 파악해야 할 필요성이 요구된다.

농업용 무인헬기의 약제 살포 기준에서도 외기 환경을 감안하여 풍속 3 m/s 이하에서 기기를 운용할 것을 정해두었지만 (KAUHA, 2017), 실제 방제시에는 대류가 거의 일어나지 않을 때 멀티콥터를 운항하는 것이 좋으며, 적정 노즐의 선택도 비산을 최소화 할 수 있을 것이라 여겨진다. 또한 대상 작물이나 해충 및 약제의 제형에 따라 종류를 확대할 필요가 있으며 이를

위해 향후 작물잔류나 비산문제를 변수로 고려한 실증시험을 통해 대상 농작물, 해충 및 기상상황을 감안한 등록시험 가이드라인 설정이 필수적이라고 판단된다.

사사

이 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(PJ01342602)의 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

지자 직책 & 역할

박부용: 국립농업과학원, 농업연구사(Ph.D.); 연구설계 및 실험수행, 논문작성

김선우: 군산대학교, 책임연구원(Ph.D.); 실험수행
정인홍: 국립농업과학원, 농업연구사(Ph.D.); 자료작성 및
결과정리
김길하: 충북대학교, 교수(Professor); 연구설계 검토 및 결과
분석 등

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였습니다.

Literature Cited

- 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.
- 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.
- KAUHA, 2017. Pesticide Manual using Unmanned Helicopter. KAUHA, Hwaseong.
- KCPA, 2020. Manual of pesticide. Korea Crop Protection Association. KCPA, Seoul.
- Kim, B.R., Jun, I., 2011. Current condition and policy implication of Korean agricultural labor. *Journal of Agricultural Management and Policy* 38, 689-708.
- Kim, J.S., 2015. Hired farm labor and policy direction on agricultural labor markets. *Journal of Agricultural Extension & Community Development* 22, 145-158.
- Park, B., Lee, S.K., Jeong, I. H., Park, S.K., Lee, S.B., 2018. Insecticidal activities and repellent effects of methylcinnamate and essential oils from *Alpinia galangal* against *Metcalfa pruinosa* nymphs and adults. *J. Appl. Biol. Chem.* 61, 291-295.
- Park, B., Lee, S.K., Jeong, I. H., Park, S.K., Lee, S.B., Kim, G.H., 2019. Susceptibility of *Spodoptera exigua* to UVA Insecticides using agricultural multi-copter on cabbage Field. *Korean J. Appl. Entomol.* 58, 271-280.
- RDA, 2019. Registration Standard of Pesticide. Notification No. 2019-26, Rural Development Administration, Jeonju.
- RDA, 2020. Pesticide Information Service. <http://pis.rda.go.kr/> (accessed on 31 July, 2020)
- SAS Institute, 2002. SAS system for windows, SAS institute, Cary, NC.
- TeeJet, 2020. Teejet technology catalog 51A-M. <http://teejet.co.kr/> (accessed on 10 October, 2020)