

농업용 멀티콥터를 활용한 감자의 복숭아혹진딧물과 콩의 툽다리개미허리노린재의 약제방제 효율

박부용

국립농업과학원 작물보호과, 국립농업과학원 기획조정과

Susceptibility of *Myzus persicae* on Potato field and *Riptortus clavatus* on Soybean field to Insecticides treated by Multi-copter

Bueyong Park

Crop Protection Division, Department of Agro-Food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, Planning and Coordination Division, National Institute of Agricultural Sciences

요약 복숭아혹진딧물과 툽다리개미허리노린재는 농작물 수량을 감소시키는 문제 해충들이지만 이를 방제하기 위해 시간과 노동의 투자가 많이 발생하고 있다. 이에 본 연구는 농업용 멀티콥터를 이용하여 감자에 발생하는 복숭아혹진딧물과 콩에 발생하는 툽다리개미허리노린재에 대한 약제의 효과를 검증하였다. 약제의 액적 및 피복도를 분석하기 위해서 약제 처리전 포장의 안과 밖에 감수지를 부착하고 감자밭에는 설피사플로르 액상수화제(16배)를, 콩밭에는 에토펜프록스, 메톡시페노자이드 유현탁제(8배)를 각각 살포하였으며 해당 약제들은 무인항공용 방제약제로 등록된 농약이다. 두 약제 모두 드론살포 7일 후 감자의 복숭아혹진딧물에 76.4%의 보정 살충률을, 콩의 툽다리개미허리노린재의 2령과 5령 유충에 대해 각각 97.5%, 94.4%의 보정 살충률을 보여주어 감자 복숭아혹진딧물에 대하여는 방제효율이 다소 기준에 부족하였으나 콩의 툽다리개미허리노린재에 대하여는 2령과 5령 모두 방제효과가 인정되는 것을 보여주었다. 살충제 낙하 액적 분포는 2지역 모두 0.5mm 이하로 나타났으며, 피복도 분석 결과 밭 내부는 평균 약 3.1, 외부에서 평균 약 1.6 정도로 나타나, 약제를 살포한 밭의 주변부에도 약제의 영향을 일부 받는 것으로 나타나 비산이나 작물체 잔류 발생에 대한 가능성도 함께 보여주었다. 이러한 결과는 향후 농업용 멀티콥터를 활용한 농작물 주요 해충의 무인방제의 확대 보급과 안전사용범위 설정에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract The Aphid, *Myzus persicae*, and the bean bug, *Riptortus clavatus*, are major insects in crops. This study examined the insecticide susceptibility and phytotoxicity of insecticides dispersed using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV, multi-copter) against the insects. Sulfoxaflor suspension concentrate (SC, 16X) on potato fields and etofenprox, methoxyfenzide suspo-emulsion(SE, 8X) on soybean fields were dispersed after deploying water-sensitive paper within the field to measure the distribution pattern and coverage index of the falling insecticide. Both insecticides showed a controlled mortality of 76.4% against aphids and 97.5% and 94.4% against the 2nd nymphal, and 5th nymphal stage of the bugs, respectively. The droplet distribution was less than 0.5mm, and coverage analysis revealed an inside and outside coverage of 3.1 and 1.6, respectively. The surrounding area was affected by insecticide spraying using a multi-copter. This study is expected to help expand UAV control and use it safely in the future.

Keywords : Multi-copter, Insecticide, Phytotoxicity, Potato, Soybean, Susceptibility

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(PJ01342602)의 지원에 의해 이루어진 것임.

*Corresponding Author : Bueyong Park(National Institute of Agricultural Sciences)

email: florigen1@korea.kr

Received August 18, 2020

Accepted January 8, 2021

Revised September 14, 2020

Published January 31, 2021

1. 서론

기후변화와 관련된 정부간 패널(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)의 기후변화 보고서에 따르면 전 세계적으로 평균기온이 상승하고 있으며, 특히 우리나라의 경우 그 상승폭이 세계 평균을 상회하고 있다[1]. 이는 국내에 발생하는 해충의 밀도 변화에도 영향을 줄 것으로 예상되며 또한 해충 방제를 위한 노동과 비용에도 영향을 줄 것으로 판단된다.

국내에서 문제되는 해충에는 진딧물과 노린재를 꼽을 수 있는데, 진딧물은 전 세계적으로 각각 4,000여종, 호리허리노린재류는 200여종이 분포하는 주요 해충이다[2, 3]. 이중 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*)은 식물의 줄기에 붙어 즙액을 빨아들이고 감로를 배출하여 잎의 그을음 증상 및 위축, 성장저하 및 수확량 감소로 이어지는 직접적인 피해뿐만 아니라 100여종에 달하는 바이러스를 매개해 2차적인 피해까지 주는 농작물의 대표적인 해충이다[4]. 또한 톱다리개미허리노린재(*Riptortus clavatus*)는 주로 콩 등 두과 작물과 수수, 기장 등 화본과 작물에서 문제가 되는 해충으로 이들의 피해를 입은 작물은 생육이 저하되고 콩의 경우에는 꼬투리가 생기지 않아 수확량을 크게 감소시키고, 또한 효모반점병(Soybean yeast-spot disease)을 매개하는 피해도 주는 해충으로 알려져 있다[5, 6].

이러한 해충의 방제에는 기존에 농약을 이용한 인력 방제가 주를 이루었으나, 농업 인구의 감소와 농촌고령화로 인한 노동력 부족 현상이 심화되면서, 이를 극복하기 위해 농업용 멀티콥터(드론)를 이용한 방제방법이 대안으로 떠오르고 있고 이와 관련한 기초적인 연구가 시도되고 있는 상황이다[7, 8].

드론은 본래 군사적인 목적으로 개발 및 활용되었는데, 농업을 포함한 다양한 분야로 확대되었고 농업 분야에서는 토양분류나 작물생육 점검 등을 시작으로 점차 활용도가 증가하고 있다[9, 10].

한편 농업용 멀티콥터를 이용한 방제는 무인항공방제기로 구분하여 농촌진흥청 고시로 농약 등록 및 현장 사용에 대하여 관리하고 있으며, 방제에 사용되는 멀티콥터 기체는 농업기술실용화재단의 시험기준을 통과한 기체만 사용 가능토록 등록·관리하고 있다[11, 12]. 그리고 2019년 농약허용물질목록관리제(PLS: Positive List System)의 시행으로 농작물별로 등록약제가 상이할 경우 인근 작물에 비의도적 비산으로 인하여 농약 잔류가 문제될 가능성이 있다[13].

따라서 본 연구는 평균기온의 상승 추세와 이에 따른 해충 발생의 증가로 방제에 들어가는 비용과 노력의 가중이 예상되는 상황에서, 이에 대한 대안으로 농업용 멀티콥터를 이용한 항공방제 실증을 통하여 방제 효과 및 작물체 약해를 검정하여 향후 멀티콥터의 방제 활용과 관련한 규정을 개선하고 기준설정에 참고가 될 수 있는 근거자료를 확보하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 시험장소

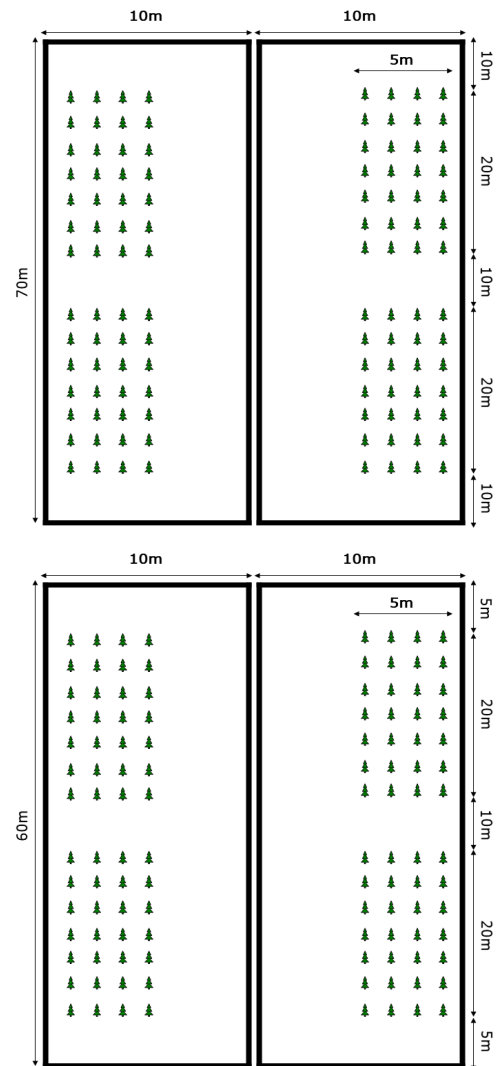


Fig. 1. Tested field (Up: Potato, Down: Soybean)

시험은 전북 익산시 성당면 소재 감자밭과 전북 완주군 이서면 소재 콩밭에서 추진되었다. 익산 감자밭은 25 X 70m (고랑 사이폭 약 0.5m) 총 면적 400m² 구당면적 100m² 이며, 완주 콩밭은 25 X 60m(고랑 사이폭 약 0.7m) 총 면적 350m² 구당면적 100m² 이며, 단구제 3반복으로 구획하였다. Fig. 1은 시험장소의 개략적인 모식도를 나타낸 것이다.

2.2 대상해충

시험에 사용한 해충은 복숭아혹진딧물과 톱다리개미허리노린재로서 이들은 농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과 해충사육실에서 누대사육한 개체군이다. 사육방법은 복숭아혹진딧물은 아크릴 사육케이지 (40 X 40 X 40cm) 내에서 피망을 먹이로 사육한 집단이며, 톱다리개미허리노린재는 원형 플라스틱 사육상자 (∅10cm) 내에서 콩을 먹이로 사육한 집단이다. 사육 조건은 온도: 24 ± 17°C, 습도: 60 ± 5% RH, 광주기: 14L:10D 이다. 곤충의 특성상 성장 단계가 조금씩 다르기 때문에 선행 연구의 방법을 적용하여 노린재류는 그 생태적 차이를 감안한 전기(2령)와 후기(5령)로 집단을 나누어 방제 시험을 추진하였다[7, 8]. 이들 해충을 대상 농작물에 접종하여 24시간 정착기를 두었으며, 관행상 복숭아혹진딧물은 작물당 약 200마리, 톱다리개미허리노린재는 약 50마리를 기준으로 하였다. 특히 노린재류는 이동성이 활발하기 때문에 작물에 백색 천으로 고정시켜 이탈개체를 최소화시켰다(Fig. 2). 생사 여부는 약제 처리 후 7일째를 기준으로 생충수를 조사하였으며 실험용 붓으로 자극하였을 때 조금이라도 반응이 있는 개체들은 살아있는 것으로 간주하였다.



Fig. 2. Set-up of test field

2.3 대상약제

시험에 사용된 약제는 2종으로 설풍사플로르 (sulfoxaflor) 액상수화제, 에토펜프록스.메톡시페노자이드(etofenprox+methoxyfenozide) 유현탁제이며 이들은 모두 무인항공용 방제약제로 등록된 약제이다. 이들 약제는 작물보호제 지침서를 준용하여 안전사용기준과 추천 희석농도로 제조하여 처리하였다(Table 1).

Table 1. Experimental insecticide information

Insecticides	AI	Formulation	Recommended Dilution(X)
Sulfoxaflor	7	SC	16
Etofenprox+ Methoxyfenozide	11.2 (8+3.2)	SE	8

* AI: Active ingredient

* SC: suspension concentrate, SE: suspo-emulsion

2.4 멀티콥터

멀티콥터의 사양은 쿼드콥터로 1,550mm(L) X 1,500mm (W) x 480mm (H)의 규격이고 중량은 9.6Kg (배터리 제외), 펌프는 PLD-1206 Micro diaphragm pump (12V, 45W), 배터리 TATTU 6S 15C 22.2 V 16,000mA (8 AWG)이다. 이 기체는 (유) 동아하이테크에서 제작되었으며 농업기술실용화재단에 농업방제용 멀티콥터로 등록된 기종이다(BAT-HEXA 001). 이 멀티콥터는 본체와 약제통이 일체형이며 약제통 내부에 격벽이 있어 방제시 기체의 움직임이나 기울임으로 인한 약액의 요동을 줄여주도록 설계되어 있으며,

최대 10L 의 약제를 탑재할 수 있다. FC(Flight Controller)는 xAircraft SuperX2이고 노즐은 4개가 부착될 수 있다(Fig. 4). 이 멀티콥터를 이용하여 감자밭은 2020년 6월 2일 오전 6시 경, 콩밭에는 2020년 6월 19일 오전 5시 30분 경에 약제를 살포하였다. 살포 조건은 작물체 기준(canopy) 2m 상공에서 3m/s 의 속도로 평행살포하였다(Fig. 3). 살포노즐 규격은 비산방지 드리프트 가드 노즐(DG8002)을 사용하였다. 시험 당일의 환경정보는 Vernier software & Technology company 에서 제작된 센서형 데이터로거 (LQ2: LabQuest2 LE) 를 이용하여 온·습도 및 풍향·풍속을 측정하였다(Fig 4).



Fig. 3. Insecticide treatment using multi-copter



Fig. 4. External environment conditions

2.5 낙하입자 및 통계분석

대상 해충에 대한 방제 효율과 해충의 생태별 방제효

과의 유의성 검정은 SAS 프로그램 (SAS Institute, US) 을 이용하여 다중검정 (Tukey)을 실시하고, 도출된 결과 값의 평균 차이를 분석하였다. 살포된 약제의 낙하입자 및 비산도는 감수지 (Water Sensitive Paper)를 이용하여 측정하였고(Fig. 5, 6), 이는 Image J 프로그램 (National Institute of Health, US)을 이용하여 낙하입자와 피복도 (coverage)를 분석하였다.

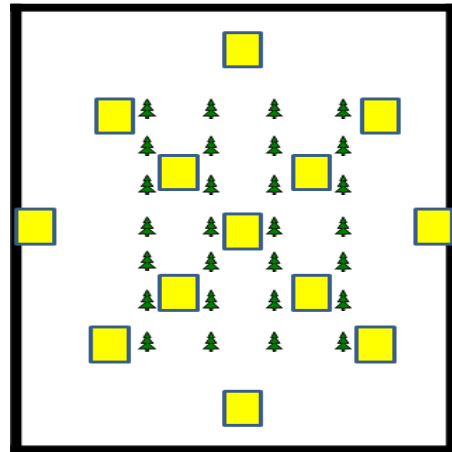


Fig. 5. Water sensitive paper deployed

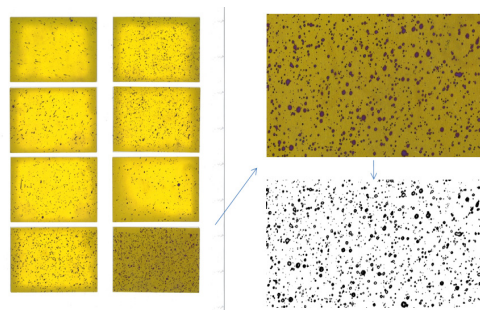


Fig. 6. Water sensitive paper analysis

3. 결과 및 고찰

감자의 복숭아혹진딧물과 콩의 톱다리개미허리노린재에 대한 멀티콥터 방제효과는 Table 2~3 과 같다. 멀티콥터 방제약제 처리 7일 후에 감자 복숭아혹진딧물은 82.5%의 치사율을 보여주었고, 콩 톱다리개미허리노린재의 경우 2령충은 98.1%, 5령충은 95.4%의 치사율을 보여주었다. 약제처리 후 14일 까지 농작물의 약해는 발생하지 않았다. 시험 당일의 감자밭의 외기 조건은 평균

기온 17.6℃, 평균습도 88%, 풍향은 서풍, 풍속은 평균 0.4m/s, 최대 1.0m/s 이고, 콩밭은 평균기온 20.5℃, 평균습도 84%, 풍향은 남남서풍, 풍속은 평균 0.2m/s, 최대 0.5m/s 였다. 조사 완료일까지 이상의 결과에 영향을 미칠 만한 외부 변수는 없었으며 시험 기간 중 외부환경 조건은 Tabel 4와 같다.

Table 2. Susceptibility of aphid to insecticides treated with multi-copter in Potato field

Treatment	Mortality (%) ± SD	Corrected mortality (%)
Sulfoxaflor	82.5±2.55 ^a	76.4
Control	25.8±3.30 ^b	-

C. V 3.094

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

Table 3. Susceptibility of bug to insecticides treated with multi-copter in Soybean field

Treatment	Mortality (%) ± SD		Corrected mortality (%)	
	2 nd instar	5 th instar	2 nd instar	5 th instar
Etofenprox + Methoxyfenozide	98.1±1.96 ^a	95.4±1.13 ^a	97.5	94.4
Control	20.5±1.28 ^b	18.9±3.70 ^b	-	-

C. V 1.999(2nd), 1.186(5th)

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

Table 4. External environment conditions in tested field during experiment

Date	Field	Temp.(℃) low/high	Rainfall (mm/day)
6. 2.	Potato	14/23	0.0
6. 3.		19/26	0.5
6. 5.		19/27	0.0
6. 9.		19/33	0.0
6. 16.		20/26	0.0
6. 19.		18/29	0.1
6. 20.	Soybean	19/28	0.0
6. 22.		20/32	0.0
6. 26.		20/27	0.1
7. 3.		19/25	4.0

이상의 결과로 미루어볼 때 해당 약제들은 각각 감자의 복숭아혹진딧물과 콩의 톱다리개미허리노린재를 방제 하는데 효과가 있는 것으로 볼 수 있다. 그러나 농약관리법 상 방제약제의 등록·관리를 관할하는 농촌진흥청의 고시는 일반적으로 해충의 방제 농약으로 등록 또는 약효를 검증할 경우 방제효과가 90% 이상 나타나는 것을 방제효과가 있는 것으로 간주한다. 이 기준에 적용할 경

우 콩의 톱다리개미허리노린재에 대해서 방제효과가 있는 것으로 간주할 수 있지만 감자의 복숭아혹진딧물에 대해서는 그 기준에 약간 못미치는 것으로 보여진다. 이는 곤충의 생태적 특성 때문에 나타나는 것으로 여겨지는데, 진딧물류는 보통 식물의 잎 뒷면에 군집하여 가해하는 특성이 있다. 따라서 멀티콥터를 이용하여 방제약제를 살포하였을 때 잎 뒷면에까지 충분히 살포되지 못할 가능성이 존재한다. 노린재류의 경우 잎의 앞뒤를 구분하지 않으며, 빠른 움직임을 보이고, 성충이 경우 날개를 이용한 비행이 가능하기 때문에 이동성이 매우 큰 해충이다. 이번 시험에서는 이러한 높은 이동성을 제어하기 위해 흰 천을 이용하여 농작물에 고정하여 이동성을 최대한 억제시켰지만 실제 농업 현장에서 멀티콥터 방제를 할 경우 주변으로 이동하는 회피 행동이 나타날 가능성이 있다고 여겨진다.

살포된 약제의 낙하입자 분석결과 입경은 0.5mm 이하만 나타나고 1.0mm 이상의 입자는 나타나지 않아 약액이 고루 분사되는 것으로 여겨진다. 또한 약제의 피복도 역시 밭 전체적으로 큰 편차없이 살포되는 것으로 나타났다(Table 5).

Table 5. Coverage index of water sensitive paper and air-dropped distribution in tested field

Field	Coverage	Index (no. of dropped particle/cm ²)			
		A (0.2mm)	B (0.5mm)	C (1.0mm)	D (1.5mm)
Potato	1.7	74	2	-	-
	2.3	253	1	-	-
	3.1	194	2	-	-
	3.5	418	1	-	-
	1.5	71	-	-	-
	3.6	206	2	-	-
	2.7	128	2	-	-
	1.3	53	-	-	-
	1.6	83	1	-	-
	Mean	2.4	164.4	1.2	-
Soybean	0.7	114	1	-	-
	2.1	185	1	-	-
	3.5	248	1	-	-
	2.9	285	-	-	-
	6.1	242	-	-	-
	9.1	245	-	-	-
	3.3	227	-	-	-
	1.1	251	-	-	-
	1.9	199	-	-	-
	Mean	3.7	221.8	0.3	-

* particle diameter

그러나 완충지대 (buffer zone)에도 일부 약액이 나타났는데 이점은 본 실험에서 비산을 최소화한 DG계열의 노즐을 사용하였음에도 발생한 결과로서 현재 현장에서 쓰이고 있는 다른 계열의 노즐(XR, TP 등)의 경우 더

많이 비산될 가능성이 있다고 판단된다. 멀티콥터의 특성 상 야외에서 중간에 작업이 이루어지기 때문에 자연풍 등 환경의 영향에 민감한 편이다. 따라서 대기가 안정되어 대류가 일어나기 직전인 해뜰 무렵에 작업을 실시하는 것이 좋다고 보며 기상청 지역상세관측 (AWS)도 일출 전후에 상대적으로 바람이 가장 적은 것을 보여준다. 그러나 일출 이전인 새벽은 식물체에 이슬 등 물기가 묻어 있기 때문에 약제의 효과를 반감시킬 우려가 있으며 시야 확보에도 불리하다.

멀티콥터를 이용한 무인방제는 농약 비산, 타작물의 농약잔류문제 및 양봉 등 동물에 미치는 문제 등 극복해야 할 점도 존재하지만, 방제를 위한 작업 시간과 노력의 절감이라는 큰 장점이 있다. 향후 무인항공방제용 농약의 등록이 확대되고, 작물별로 특성을 고려하여, 살포 고도나 살포 폭, 살포 경로 등을 최적화한 방제 매뉴얼이 보급되어야 한다고 판단되며 방제 대상작물뿐 아니라 주변의 동식물까지 감안한 안전성을 확보하기 위한 근거 마련이 필수적이라 보며, 이를 위한 다양한 실증연구가 이루어져야 된다고 판단된다.

References

[1] IPCC, Climate Change 2014 Synthesis Report, 2014, pp.151.

[2] R. L. Blackman, V. F. Eastop, Aphids on the World's crops: An Identification and Information Guide, 2nd edition, 2001, pp. 476

[3] H. Ghahari, D. L. Carpintero, P. Moulet, R. E. Linnavuori, H. Ostovan, "Annotated catalogue of the Iranian broad-headed bugs (Hemiptera: Heteroptera: Alydidae)" *Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae*, Vol.50, No.2, pp.425-436. 2010.
DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3571.1.5>

[4] J. Y. Lee, W. H. Paik, "Studies on the aphid transmission of some cruciferous viruses", *Korean J. Plant Prot.* Vol.16, pp.93-100. 1977.

[5] N. Suzuki, N. Hokyō, K. Kiritani, "Analysis of injury timing and compensatory reaction of soybean to feeding of the southern green stink bug and the bean bug", *Appl. Ent. Zool.*, Vol.26, pp.279-287. 1991.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1303/aez.26.279>

[6] S. Kimura, S. Tokumaru, K. Kuge, "Eremothecium ashbyi causes soybean yeast-spot and is associated with stink bug, *Riptortus clavatus*", *J. Gen. Plant Pathol.*, Vol.74, pp.275-280. 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10327-008-0097-1>

[7] B. Park, S. K. Lee, I. H. Jeong, S. K. Park, S. B. Lee, G.

H. Kim, "Susceptibility of *Spodoptera exigua* to UVA Insecticides Using Agricultural Multi-copter on Cabbage Field", *Korean J. Appl. Entomol.*, Vol.58, No.4, pp.271-280. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.5656/KSAE.2019.10.0.039>

[8] B. Park, I. H. Jeon, J. R. Cho, "Control Efficacy of *Spodoptera exigua* on Welsh onion and *Plutella xylostella* on White Radish Field using Drone", *Korean J. Pestic. Sci.*, Vol.24, No.1, pp.14-18. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.7585/kjps.2020.24.1.14>

[9] 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. Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. *Comput. Electron. Agric.* Vol.44, No.1, pp49-61, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.02.006>

[10] 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.
DOI: <https://doi.org/10.3390/rs70101074>

[11] KCPA, Manual of pesticide. Korea Crop Protection Association. 2019, pp.1599.

[12] Rural Development Administration, Rural Development Administration Official notice (RDA-2019-33), 2019.

[13] B. Park, S. K. Lee, I. H. Jeong, S. K. Park, S. B. Lee, "Insecticidal activities and repellent effects of methylcinnamate and essential oils from *Alpinia galangal* against *Metcalfa pruinosa* nymphs and adults", *J. Appl. Biol. Chem.*, Vol.61, No.3, pp.291-295. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.3839/jabc.2018.041>

박 부 용(Bueyong Park)

[정회원]



- 2016년 2월 : 충북대학교 농업경제학과 경영분석·평가(경제학석사)
- 2021년 2월 : 충북대학교 농생명학과 응용곤충학(농학박사)
- 2014년 4월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사

<관심분야>

농업곤충, 해충방제, 천적곤충