한국응용곤충학회지
Korean J. Appl. Entomol. 53(4): 479-483 (2014)
DOI: http://dx.doi.org/10.5656/KSAE.2014.11.0.057

ⓒ The Korean Society of Applied Entomology
pISSN 1225-0171, eISSN 2287-545X

시설 온실에서 진딧물에 대한 무인 연무방제기의 방제 효과 보고

강택준[1] · 김세진[1,2]* · 김동환[1] · 양창열[1] · 김형환[1] · 조명래[3]

[1]농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예특작환경과, [2]서울대학교 농생명공학부, [3]농촌진흥청 국제협력과

A Report on the Control Effects of Automatic Dry Fog Sprayer on Aphids in Greenhouse Crops

Taek-Jun Kang[1], Se-Jin Kim[1,2]*, Dong-Hwan Kim[1], Chang Yeol Yang[1], Hyeong-Hwan Kim[1] and Myoung-Rae Cho[3]

[1]Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Suwon 441-440, Korea
[2]Entomology Program, Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University (SNU), 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-742, Korea
[3]International Technology Cooperation Center, RDA, Jeonju 560-500, Korea

ABSTRACT: The area of greenhouse horticulture has increased dramatically since the early 1990s in Korea. However, area per farmer still very small and diverse pest species occurs in greenhouse abundantly because of its protected condition. To manage pests, farmers use many pesticides frequently. Incessant and improper use of chemicals provoked pesticide resistance in pest and poisoning of farmers. In this study, we investigated the efficiencies of automatic dry fog sprayer for controlling two aphid species, *Aphis gossypii* and *Myzus persicae*, in greenhouse horticulture. When doors and side windows were completely closed in automatic dry fog sprayer treatment greenhouse, aphids were controlled similar level with conventional spraying method (percent control: 61.0~94.1%). However, when half of the doors and side windows of the greenhouse were opened, aphids were controlled poorly (percent control: 36.0~54.4%).

Key words: Pesticide, Labor saving, Pesticide poisoning, *Aphis gossypii*, *Myzus persicae*

초 록: 1990년대 초반 이후 국내 시설 원예작물 재배면적은 급격히 증가하였지만 농가당 재배면적은 협소하여 생산성 증대를 위한 생력관리기술 개발이 절실히 요구되고 있다. 하지만 시설하우스에서는 해충들이 다발생하고 방제가 어려워 많은 양의 살충제를 사용하고 있어 생력재배를 어렵게 하고 있다. 또한 과도하고 부적절한 살충제의 사용은 저항성 해충의 출현과 농약중독이라는 문제를 야기하였다. 본 연구에서는 시설 재배 온실에서 무인 연무방제기를 이용한 목화진딧물(*Aphis gossypii*)과 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*)의 효율적 방제 가능성을 조사하였다. 무인 연무방제기를 가동시키는 동안 시설 내 측창과 출입구가 완전히 폐쇄된 조건하에서는 시설 내 상대습도가 높게 유지되었고(>95%) 관행방제 약제처리구와 유사한 방제 효과를 보였다(방제가 61.0～94.1%). 반면 무인 연무방제기 가동 시간 동안 측창과 출입구를 50% 정도 개방한 조건에서는 시설 내 상대습도가 상대적으로 낮았고(<95%) 측창과 출입구가 모두 폐쇄된 온실 조건보다 방제 효율이 낮았다(방제가 36.0～54.4%).

검색어: 살충제, 생력화, 농약중독, 목화진딧물, 복숭아혹진딧물

시설하우스는 그 특성상 외부 환경으로부터 보호되고 겨울에도 가온하는 농가가 많아 다양한 해충이 높은 밀도로 발생하기에 좋은 조건을 갖추고 있다. 실제로 시설 채소 및 과채류 재배지에서 해충상을 조사한 결과 응애류, 아메리카잎굴파리, 꽃노랑총채벌레, 대만총채벌레, 목화진딧물, 복숭아혹진딧물, 온실가루이, 파밤나방, 담배거세미나방, 목화바둑명나방, 검은무늬밤나방 등(Cho, 2003; Jeon and Kim, 2006; Moon et al., 2008; Paik et al., 2009; Lim et al., 2012) 다양한 종이 발견되었다.

이러한 해충 방제를 위해 농가에서는 다양한 종류의 살충제를 사용하고 있다. 오이, 토마토 등 9개 작물에 대하여 관행시설재배 농가를 조사한 결과, 연 평균 11회, 34종의 농약을 사용하고 있었는데, 이중 절반가량이 살충제였다(Lee et al., 2005). 하지만 농약을 많이 사용하더라도 약제가 해충에 적절히 접촉되지 않는다면 살충효과를 기대하기 어려우며(Kunimoto et al., 1998) 시설 내에서의 빈번한 농약 사용과 적절치 못한 살포 방

***Corresponding author:** sejin.kim78@gmail.com
Received October 13 2014; **Revised** November 4 2014
Accepted November 5 2014

The Korean Society of Applied Entomology (KSAE) retains the exclusive copyright to reproduce and distribute for all KSAE publications.
The journal follows an open access policy.

식은 해충의 살충제 저항성 발현을 촉진시키는 문제를 낳기도 하였다(Choi et al., 2005). 또한 시설 내에서 병해충 방제 작업을 실시하는 작업자들은 피부가 농약에 직접 노출되거나 농약 증기를 흡입할 가능성이 매우 높다(Bjugstad and Torgrimsen, 1996).

여러 연구자들에 의해 시설하우스에서 농약 사용의 안전과 효율적 방제를 위한 무인방제기의 개발이 시도되어 왔으며 (Kang et al., 1999; Sammons et al., 2005; Huang et al., 2009), 이는 무인방제기가 사용자의 농약에 대한 노출 위험을 감소시키는 반면 방제효율을 증가시키고 적기에 방제가 가능해 방제 횟수 및 농약 사용량을 줄일 수 있기 때문이다(Austerweil and Grinstein, 1997). 최근 국내에서도 고추 비가림 하우스에서 무인방제기를 이용한 꽃노랑총채벌레 방제 효과 조사가 이루어지는 등(Kwon et al., 2014) 시설 내에서 무인방제기를 이용한 자동약제 살포 및 생력화에 대한 연구가 이루어지고 있다. 하지만 현재 우리나라에는 다양한 종류의 무인 방제기들이 시설재배 농가에 보급되어 있지만 외국에 비해 이들 기기들의 성능에 대한 검증연구가 거의 이루어지고 있지 않다. 따라서 본 연구는 시설 재배 온실에서 발생하는 두 종의 진딧물에 대한 무인 연무방제기의 방제효율을 기존 분무방식 방제 방법과의 비교를 통하여 구명하고자 한다.

재료 및 방법

연구 포장

시설 재배 온실에서 무인 연무방제기를 이용한 진딧물 방제 효과를 구명하기 위하여 경기도 수원에 위치한 국립원예특작과학원 시설 하우스 온실(latitude: 37.1555°, longitude: 126.5828°)에서 2014년 5월부터 9월까지 연구를 실시하였다. 처리구별 비교 조사를 위하여 같은 규격의 비닐하우스(width: 5 m, length: 25 m) 3동을 약제 무처리구, 분무방식 약제 처리구, 무인 연무방제기 약제 처리구로 구분하였으며 시험기간 동안 약제 처리 방법을 제외하고 동일하게 관리하였다. 조사 기간 동안 온습도 측정을 위하여 온실내부 중앙 약 1.5 m 높이에 온도기록장치 (HOBO® Pro v2 U23-001, Onset Co., USA)를 설치하였다.

무인 연무방제기 원리 및 특성

시험에 사용된 기기는 하나(주)에서 개발한 제품(모델명: 4N-H-A1)으로 특수 압축 노즐을 이용하여 고농도로 희석된 약제들을 초미립자(5～10 ㎛) 상태로 만든 다음 내부에 공급된 압축공기를 이용하여 약제를 외부로 분사 확산시키는 비가열식 연무방제기이다. 방제기 내부의 공기압력은 공업용 컴프레셔(5 HP)를 이용하여 평균 0.5 MPa가 유지되도록 설정하였다.

공시충 및 기주 식물 준비

시험에 사용한 오이와 배추는 화분(diameter: 13 cm, height: 12 cm)에 파종하여 격리된 온실에서 재배하였으며 목화진딧물 (*Aphis gossypii*)과 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*)은 2013년 이후 실험실에서 각각 오이(*Cucumis sativus*. L., 백다다기)와 배추(*Brassica campestris* L., 춘광) 유묘에서 누대 사육해 온 개체들이다. 약체 처리 일주일 전, 각각 파종 후 30일과 40일 정도 되는 건전한 오이와 배추 유묘를 선택하여 목화진딧물과 복숭아혹진딧물 성충을 주당 10～20마리씩 접종하여 증식하도록 하였다.

처리구별 약제 처리 및 방제 효과 조사

진딧물 방제를 위한 약제로는 유제(Chlorpyrifos·alpha-cypermethrin, Esfenvalerate 1.5%) 5회, 수화제(Acetamiprid 8%) 1회, 그리고 입상수화제(Thiamethoxam 10%)를 2회 사용하였다(Table 1). 분무방식 약제 처리는 오후 4～5시 사이에 각각의 약제를 농약안전사용지침서(KSCS, 2014)의 권장 농도로 희석한 후 수동식 압축분무기를 이용하여 진딧물들이 접종되어 있는 식물 전체에 주당 30 ml 정도씩 고르게 살포하였다. 무인 연무방제기 처리구의 경우 재배자들의 경험을 토대로 온실 전체 면적(125 m^2)에 살포할 때 필요한 예상 약량을 100 L로 추정하였고 이에 소요되는 농약 양을 계산하여 물 5 L에 희석한 후 살포하였다. 무인 연무방제기는 일몰이 시작되는 오후 6시부터 가동하였으며 약제가 완전히 살포되면 작동이 멈추도록 설정하였고 다음날 아침 9시에 출입문과 측창을 완전히 개방하였다. 무인 연무방제기가 가동되는 동안 측창과 출입문의 개방 여부가 방제 효과에 미치는 영향을 검증하기 위하여 총 8차례 중 3차례는 온실 출입구와 측창을 각각 50%씩 개방하여 시험을 수행하였다(Table 1).

시험 일주일 전 화분에 심은 오이와 배추에 접종하여 증식된 목화진딧물과 복숭아혹진딧물 밀도를 약제 처리 당일 오전에 조사한 후 각 온실 당 10～20개의 화분을 0.6 m 높이의 베드에 일정한 간격으로 배치하였으며 약제 처리 24시간 후 살아있는 진딧물 개체수를 조사하여 생충율을 계산하였다. 무인 연무방제기 처리구의 경우 원거리까지 충분히 도달하여 방제 효과가 발현되는 것이 중요하므로 온실 내에서 기주 식물과의 거리를

Table 1. The details of experimental condition for the evaluation of fog sprayer on the control effect against aphids: study dates, chemicals with dilution rates and the handling of door or window during spraying

Date	Spray method	Insecticide	Dilution	Aphid	Door and window
19 May	Conventional	Thiamethoxam WG (10%)	2,000	*A. gossypii*	opened
	Automatic dry fog		100	*M. persicae*	closed
20 May	Conventional	Chlorpyrifos·alpha-cypermethrin EC	1,000	*A. gossypii*	opened
	Automatic dry fog		50	*M. persicae*	closed
09 Jun	Conventional	Esfenvalerate EC (1.5%)	1,000	*A. gossypii*	opened
	Automatic dry fog		50	*M. persicae*	closed
30 Jun	Conventional	Acetamiprid WP (8%)	2,000	*A. gossypii*	opened
	Automatic dry fog		100	*M. persicae*	closed
02 Jul	Conventional	Benfuracarb WG (3%)	1,000	*A. gossypii*	opened
	Automatic dry fog		50	*M. persicae*	closed
11 Sep	Conventional	Esfenvalerate EC (1.5%)	1,000	*A. gossypii*	opened
	Automatic dry fog		50		50% opened
17 Sep	Conventional	Esfenvalerate EC (1.5%)	1,000	*A. gossypii*	opened
	Automatic dry fog		50		50% opened
18 Sep	Conventional	Esfenvalerate EC (1.5%)	1,000	*A. gossypii*	opened
	Automatic dry fog		50		50% opened

20 m로 유지하였다.

약제들이 효율적으로 부착되었는지를 비교하기 위해 감수지(width: 50 mm, length: 70 mm, TeeJet[R])를 사용하였으며 무인 연무방제기 처리구에는 온실내 1.5 m 높이에 일정 간격으로 총 20장 설치하였고 관행약제 처리구에는 화분 위에 수평과 원통형으로 각각 10장씩 설치하였다.

자료 분석

약제 살포 방식의 차이에 따른 방제효과를 비교하기 위하여 각 처리구의 생존율을 Abbott의 공식(수식 1)에 따라 무처리구 대비 방제가(percent control or corrected mortality)를 계산하였다(Abbott, 1925).

$$(x-y)/x \times 100 = percent\ control \quad (1)$$

여기서 x는 무처리구의 생존율, y는 처리구의 생존율이다. 분무방식 처리구와 무인 연무방제기 처리구의 방제가 자료는 정규분포를 보이지 않아(PROC UNIVARIATE) 비모수적 분석방법인Kruskal-Wallis test(PROC NPAR1WAY)를 실시하였다(SAS Institute Inc., 2011). 측창과 출입문의 개방 정도를 달리한 실험은 짧은 기간 내에 동일한 조건에서 실험이 이루어졌으므로 반복수를 늘리기 위해 각 처리군 별로 3회의 실험자료를 합쳐서 분석하였다.

약제 부착율은 온실에서 수거한 감수지를 그림 파일로 스캔한 후 *ImageJ 1.47u* (http://imagej.nih.gov/ij) 프로그램을 이용하여 감수지의 노란색(비부착 부분)과 파란색(부착 부분)을 흑백으로 전환한 후 부착 영역의 넓이를 측정하여 전체 감수지 면적 대비 약제 부착 영역의 비율로 계산하였다.

결과 및 고찰

대조구 대비 분무방식 약제 처리구와 무인 연무방제기 약제 처리구에서 목화진딧물과 복숭아혹진딧물에 대한 방제가를 비교한 결과 목화진딧물은 5월 19일과 20일, 복숭아혹진딧물은 5월 19일 자료를 제외하고 두 처리구의 방제가에 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 2). 무인 연무방제기 가동 시간 동안 온실 출입구와 측창을 50% 개방한 경우 대조구 생충률은 평균(표준오차) 97.6(1.75)%였으며 분무방식 처리구의 생충률은 평균 11.5(2.30)%, 무인 연무방제기 처리구의 생충률은 평균 53.0 (3.09)%이었다. 무처리구 대비 방제가는 각각 88.2%, 45.7%로 두 처리구 사이에 유의한 차이가 존재하였다(χ^2=35.73, df=1, p<0.0001). 이는 무인방제기에서 발산된 미립자들이 외부로 유출되었거나 시설 내부가 건조한 환경에서 증발되어 약제들이 기주와 해충 표면에 충분히 도달하지 못하였기 때문으로 추정된다. 본 연구와 비슷한 작동원리의 무인방제기를 이용하여 시설 고추에서 발생하는 꽃노랑총채벌레에 대한 방제 시험에서 관행 방식 처리구(방제가 94%)보다 높은 방제가(96.6～99.1%)

Table 2. Survival rate (Mean±SE, %), percent control (%) and results of nonparametric Kruskal-Wallis test on the percent control of *A. gossypii* and *M. persicae* after 24 hours of insecticide treatments

Species	Date	Control (opened)*	Conventional sprayer (opened)*		Automatic dry fog sprayer (closed)*		test	
		Survival rate	Survival rate	percent control**	Survival rate	percent control	χ^2 (df=1)	p
A. gosypii	19-May	94.1±2.20	20.5±2.89	78.2	39.1±2.89	58.8	12.77	0.0004
	20-May	100.0±0.0	1.9±1.72	98.1	11.1±2.24	88.9	20.52	<0.0001
	09-Jun	100.0±0.0	14.1±2.37	85.9	20.5±4.24	79.5	0.80	0.3725
	30-Jun	99.1±0.91	21.7±5.49	78.1	15.1±3.60	84.8	1.09	0.2969
	02-Jul	99.0±1.04	27.2±5.15	72.5	28.5±3.72	71.2	0.0000	1.0000
M. persicae	19-May	99.8±0.24	13.1±1.91	86.9	5.9±1.20	94.1	8.51	0.0035
	20-May	91.5±3.34	16.5±3.57	82.0	19.4±3.47	78.8	1.11	0.2930
	09-Jun	100.0±0.0	20.7±5.98	79.3	16.3±4.54	83.7	0.30	0.5830
	30-Jun	91.5±3.37	9.0±2.81	90.2	13.2±6.03	85.6	0.0008	0.9768
	02-Jul	97.9±2.08	9.5±3.19	90.3	8.2±2.49	91.6	0.014	0.9076

*The entrance door and side windows of greenhouse were opened or closed during insecticide spraying.
**Percent control = [(Survival rate of control − survival rate of treatment)/survival rate of control] x 100

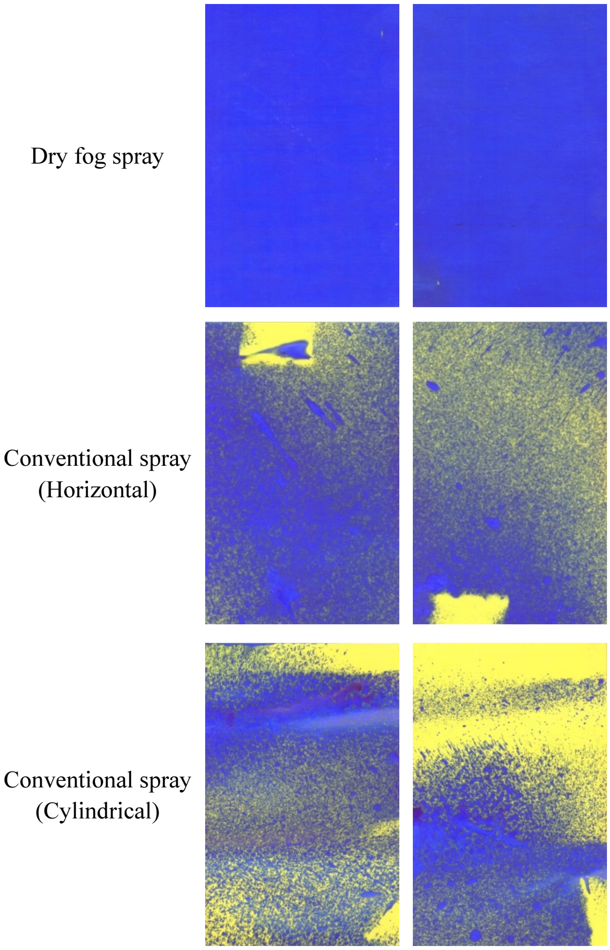

Fig. 1. Results of water sensitive papers in different spray methods in the greenhouse.

를 보였으며 균등하고 높은 약제 부착율을 보였다(Kwon et al., 2014). 본 연구에서도 무인 연무방제기 처리구의 감수지는 100% 부착율을 보였으나(n=20) 분무방식 약제 처리구의 경우 수평 방향으로 배치한 감수지에서는 평균(표준오차) 73.2(5.63)%(n=17), 원통형 감수지에서는 43.9(2.54)%(n=19) 부착율을 보여 무인 연무방제기 처리구에서 약제들이 효율적으로 부착되었다(Fig. 1). 한편 장미에 발생하는 꽃노랑총채벌레의 방제를 위하여 본 연구와 동일한 방법으로 2차례의 예비실험을 수행한 결과 두 처리구 모두 살충률이 22.9~42.2%로 방제효과가 거의 없었다(Kang, T.-J. and S.-J. Kim, unpublished data). 이는 같은 종의 해충이라도 발생하는 기주식물과 그 해충이 기주식물에서 서식하는 부위에 따른 특성이 가장 큰 원인으로 추정된다. 즉, 고추의 경우 꽃노랑총채벌레의 주 발생 부위는 개화된 꽃과 어린 과실 표면으로 대부분 개체들이 기주 표면에 노출되어 있어서 약제가 살포되었을 때 약제와의 접촉기회가 많으므로 방제 효율이 높게 나왔을 것으로 추정된다. 반면 장미에서 꽃노랑총채벌레는 외부에 노출된 식물체 표면에는 거의 서식하지 않고 틈이 벌어지지 않은 꽃잎들 사이 깊숙이 서식하면서 가해하기 때문에 아무리 작은 미립자 형태로 약제가 살포되더라고 약제와의 접촉 기회가 낮았을 것으로 추정된다. 이러한 점들을 고려하면 아무리 초미립자로 약제를 살포하더라도 모든 종류의 작물과 해충에서 다 효과적으로 적용이 되지는 못할 것이므로 향후 연무방제기 사용에 있어서 작물과 발생하는 해충들의 특성을 고려해야 할 것이다.

시설에서는 작물의 특성과 농약의 살포 방식에 따라 농약의

부착 정도가 달라지는데(Braekman et al., 2010) 이러한 사실을 간과하고 관행적으로 농약을 살포한다면 기대하는 방제효과를 얻지 못한 채 살포 횟수만 증가시키게 될 것이며 이는 해충의 살충제 저항성을 유발하는 가장 주요한 원인이 될 수 있다. 농촌진흥청 자료에 따르면 2013년 한 해 동안 농업인의 업무상 손상 중 2.15%(1453건)가 농약중독이었다(RDA, 2013).

따라서 향후 노동력 절감을 위한 생력화나 관행 약제 살포시 농약에 노출되기 쉬운 작업자 안전을 위해서 무인방제기의 효율 검정과 잔류농약, 토양 오염 여부, 그리고 기계적 특성과 작물과 해충의 상호관계에 따른 표준 사용 지침 등에 대한 연구가 적극적으로 이루어져야 할 것이다.

Literature Cited

Abbott, W.S., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18, 265-267.

Austerweil, M., Grinstein, A., 1997. Automatic pesticide application in greenhouses. Phytoparasitica 25, S71-S80.

Bjugstad, N., Torgrimsen, T., 1996. Operator safety and plant deposits when using pesticides in greenhouses. J. Agr. Eng. Res. 65, 205-212.

Braekman, P., Foque, D., Messens, W., Van Labeke, M.V., Pieters, J.G., Nuyttens, D., 2010. Effect of spray application technique on spray deposition in greenhouse strawberries and tomatoes. Pest Manage. Sci. 66, 203-212.

Cho, M.R., 2003. Control of major insect pests in greenhouse crops. Kor. Res. Soc. Protected Hort. 16, 14-21.

Choi, B.R., Lee, S.W., Park, H.M., Yoo, J.K., Kim, S.G., Baik, C.H., 2005. Monitoring on insecticide resistance of major insect pests in plastic house. Korean J. Pestic. Sci. 9, 380-390.

Huang, Y., Hoffmann, W.C., Lan, Y., Wu, W., Fritz, B., 2009. Development of a spray system for an unmanned aerial vehicle platform. Appl. Eng. Agric. 25, 803-809.

Jeon, H.Y., Kim, H.H., 2006. Damage and seasonal occurrence of major insect pests by cropping period in environmentally friendly lettuce greenhouse. Korean J. Appl. Entomol. 45, 275-282.

Kang, C.T., Lee, K.J., Kim, T.H., Jang, I.J., 1999. Development of an auto-spray car for a greenhouse. J. Kor. Soc. Agri. Mach. 24, 209-216.

KSCS, 2014. The Korean Society of Crop Science (http://www.cropscience.or.kr).

Kunimoto, Y., Nishino, S., Otuji, J., Inda, K., 1998. Effect of uneven acaricide application on effective control of spider mites in chrysanthemum fields. Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 42, 135-140.

Kwon, O.H., Jang, J.S., Jeon, S.K., Hwang, J.E., Kim, C.Y., Park, S.D., Kwon, T.Y., 2014. Control effect of thrips by using unmanned sprayer in greenhouse peppers. Proceedings of 2014 Korean Society of Applied Entomology pp. 132.

Lee, M.G., Hwang, J.M., Lee, S.R., 2005. The usage status of pesticides for vegetables under greenhouse cultivation in the southern area of Korea. Korean J. Pestic. Sci. 9, 391-400.

Lim, J.R., Park, S.H., Moon, H.C., Kim, J., Choi, D.C., Hwang, C.Y., Lee, K.S., 2012. An investigation and evaluation of insect pests in greenhouse vegetables in Jeonbuk province. Korean J. Appl. Entomol. 51, 271-280.

Moon, H.C., Kim, W., Choi, M.K., Kwon, S.H., Shin, Y.K., Kim, D.H., Hwang, C.Y., 2008. Seasonal occurrences of insect pests in watermelon under greenhouses as affected by cropping season. Korean J. Appl. Entomol. 47, 345-352.

Paik, C.-H., Lee, G.-H., Kim, D.-H., Choi, M.-Y., Kim, S.S., 2009. Biological control of major pests in eggplant greenhouse. Kor. J. Org. Agric. 17, 227-236.

RDA, 2013. Rural Development Administration (http://www.rda.go.kr).

Sammons, P.J., Furukawa, T., Bulgin, A., 2005. Autonomous pesticide spraying robot for use in a greenhouse. Australian Conference on Robotics and Automation, pp. 1-9.

SAS Institute Inc., 2011. *SAS/STAT® 9.3 User's guide*, Cary, NC: SAS Institute Inc.