

Comparing the susceptibilities of green peach aphid populations against several insecticides

Ji-Hyun Min, Heon Yoon, Hay-Ri Kwon, Yong-Man Yu, Young-Nam Youn*

Department of Agricultural Biology, Graduate School, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: youngnam@cnu.ac.kr

Abstract

The green peach aphid, *Myzus persicae*, is one of the most serious insect pest and a vector for a multitude of viral diseases to many crops, vegetables, ornamentals, and fruit trees in the world. A large number of aphids can reduce plant vigor and cause defoliation. Many insecticides have been developed and applied to control the green peach aphid. However, this aphid has displayed a remarkable ability to establish resistance to almost every insecticide. We treated 5 different insecticides registered for *M. persicae* on pepper leaves and investigated the effects of the insecticides by measuring the time it took to achieve 90% control of the aphids. Acetamiprid worked faster than any other insecticides while cyantranilprole showed the slowest insecticidal effect. Pymetrozine, pyrifluquinazon, and spirotetramet provided 90% control within similar time. Iwol population's control value was higher than any other populations 24 hours after treatment. When five different unregistered insecticides for *M. persicae* were treated on pepper leaves, no insecticidal effect was found for gamma-cyhalothrin and novaluron and spinosad showed an insecticidal effect of up to 70% in Iwol population only. Although chlorfenapyr and dinotefuran were not registered for *M. persicae*, their insecticidal effects were found to be 90% or higher.

Keywords: control value, green peach aphid, insecticide, susceptibility

Introduction

복숭아혹진딧물(*Myzus persicae* Sulzer)은 노린재목(Hemiptera) 진딧물과(Aphididae)에 속하며, 우리나라에서 기주식물은 66과(科) 300여종이 기록되어 있으며(Shim et al., 1977), 세계적으로도 50과 이상의 식물을 섭식하는데 농작물(감자, 사탕수수, 담배 등), 원예작물(십자화과, 가지과, 박과식물), 핵과류(복숭아, 살구, 체리 등)의 손실을 유발한다(Van Emden et al., 1969; Weber, 1985; Blackman, 1987). 이렇게 넓은 기주 범위를 가질 수 있는 이유는 다양한 식물-방어메커니즘에 대응할 수 있는 능력 때문인 것으로 보인다(Francis et al., 2005, 2006; Harmel et al., 2008; Cabrera-Brandt et al., 2015).

이러한 복숭아혹진딧물의 방제방법으로 화학적 방제방법을 주로 의존해왔으나, 최근에는 종합적 해충관리방법(IPM)과 동시에 인축에 독성이 적거나 거의 없는 신규약제의 사용이 확대



CrossMark
click for updates

OPEN ACCESS

Citation: Min JH, Yoon H, Kwon HR, Yu YM, Youn YN. 2017. Comparing the susceptibilities of green peach aphid populations against several insecticides. Korean Journal of Agricultural Science 44:348-358.

DOI: <https://doi.org/10.7744/kjoas.20170032>

Editor: Young Tae Kim, Chungnam National University, Korea

Received: May 30, 2017

Revised: June 15, 2017

Accepted: June 22, 2017

Copyright: © 2017 Korean Journal of Agricultural Science.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

되고 있는 실정이다(Tantau and Lange, 2003). 또한 최근에는 RNAi를 이용하여 해충을 방제하고자 하는 연구와 친환경농자재를 이용하려는 연구들과(Kwon et al., 2011; Ko and Youn, 2015; Kim et al., 2015) 살충제의 살포방법을 개선함으로써 살충제의 사용량을 줄이고 최대한의 방제효과를 얻기 위한 연구 등이 다른 해충들에서 연구되고 있어(Kim, et al., 2016) 이러한 연구 결과들이 복숭아혹진딧물에 적용확대 될 것으로 기대하고 있다. 그러나 짧은 세대기간과 엄청난 생식력으로 인해 천적 혹은 재배법을 통한 생물학적 방제에는 한계가 있다(Moran, 1988; Li et al., 2016). 또한 수년에 걸쳐 연속적이고 반복적인 약제사용으로 광범위하고 다양한 형태의 저항성 발달이 보고되어 있다(Bass et al., 2014). 기록된 바에 의하면, 적어도 70여개의 다른 합성화합물에 대해 저항성이 발달되어 있다(Silva et al., 2012). 예를 들어, carboxylesterases 과잉활성으로 인한 organophosphorus계, carbamate계, pyrethroid계 살충제(Needham and Sawicki, 1971; Field et al., 1988), acetylcholinesterase의 변이로 carbamate계, organophosphorus계 살충제(Moores et al., 1994; Andrews et al., 2004), 전압 개폐 나트륨 통로에서 knockdown 및 super-knockdown 돌연변이로 pyrethroid계 살충제(Martinez-Torres et al., 1997, 1999), GABA수용체 subunit유전자의 복제와 돌연변이로 cyclodiene계 살충제(Unruh et al., 1996), Cytochrome P450의 과잉발현과(Philippou et al., 2010; Puinean et al., 2010), nicotinic acetylcholine 수용체 β -subunit의 돌연변이(Bass et al., 2011), 살충제의 침투감소 기작으로 neonicotinoid계 살충제(Bass et al., 2013)에 저항성이 발달되는 등 많은 생리적인 기작을 통하여 저항성을 나타내고 있다.

본 실험에 사용한 약제는 모두 단일 유효성분으로 복숭아혹진딧물이 적용병해충으로 등록되어있는 5가지 약제와 등록되어있지 않은 5가지 약제이다. 등록 약제 선발기준은 작용기작 및 계통이 다른 성분 중에서 새로운 작용기작을 갖거나, 저항성 진딧물 방제에 효과를 갖는 약제를 임의로 선발하였으며, 비등록 약제 선발기준은 작용 기작 및 계통이 다른 성분 중에서 흡즙성 해충(총채벌레류, 노린재류, 가루이류 등)을 적용해충으로 갖는 약제를 임의로 선발하였다. Acetamiprid는 neonicotinoid계 살충제로, nicotinic acetylcholine receptor (nAChR) 조절자로 작용하여 신경전달물질을 과잉 전달하여 살충효과를 보인다(Takahashi et al., 1998). Cyantraniliprole은 diamide계 살충제로, 곤충의 근형질 망상조직에 세포내 저장된 칼슘의 방출을 조절하는 ryanodine 수용체와 결합하여 칼슘을 소모시켜 점진적으로 근육이 수축되며 마비에 이르게 한다(Jeanguenat, 2013). Pymetrozine과 pyrifluquinazon은 pyridine azomethine계 살충제로, 곤충의 현상기관의 일시적 수용체 전위차 통로(TRP) 중 특히 칼슘 선택적인 TRPV를 조절하여 기주를 섭식할 때 톡 쏘는 자극을 생성하여 구침 삼입을 저해하므로(Kayser et al., 1994), 즉각적이고 지속적인 섭식방해를 야기한다(Fuog et al., 1998). 두 성분의 차이는 침투이행성의 유무로 pymetrozine만 침투이행성을 갖는다. Spirotetramat은 tetramic acid계 살충제로(Bretschneider et al., 2007), 지질생합성을 저해하므로 흡즙성 해충의 유충단계에서 특히 효과적이다(Nauen et al., 2006, 2008). Chlorfenapyr은 pyrazole계 살충제로, 미토콘드리아 막을 가로질러 pH 기울기를 방해하여 ATP를 생산하는 미토콘드리아의 기능을 저해하는데, 이는 세포에 영향을 주어 끝내 장기괴사로 이어져 살충효과를 나타낸다(Treacy et al., 1994). Dinotefuran은 neonicotinoid계 살충제로, nicotinic acetylcholine receptor (nAChR) 조절자로 작용하여 신경전달물질을 과잉 전달하여 살충효과를 갖는다(Wakita et al., 2003). Gamma-cyhalothrin은 pyrethroid계 살충제로, 전압 개폐 나트륨 통로를 조절하여 신경자극을 일으켜 살충효과를 나타낸다(Narahashi, 1971). Novaluron은 benzoylureas계 살충제로, 키틴합성을 저해하는 곤충 성장조절제로 식독 및 접촉독에 의해 작용한다(Ishaaya et al., 1996; Cetin et al., 2006). Spinosad는 spinosyns계 살충제로, nicotinic acetylcholine receptor (nAChR) allosteric 조절자로 작용하여 살충효과를 갖는다(Salgado, 1997; Pietrantonio and Benedict, 1999) (Table 1).

본 연구는 복숭아혹진딧물의 화학합성살충제에 대한 활발한 저항성 발달을 고려하였을 때, 다른 살충제에 대한 살충효력평가를 통해 대안적인 방제방법을 모색할 수 있을 것으로 사료된다.

Materials and Methods

공시충과 기주

본 실험에서 사용된 복숭아혹진딧물 개체군들 가운데 이월개체군은 충청북도 진천군 이월면에 위치한 배추밭에서 채집한 진딧물로 이 지역에서는 2013 - 14년 진딧물에 의해 전염되는 CMV, WMV2, ZYMV 등의 바이러스병이 만연된 지역이다(Lee et al., 2015). 또한 노은개체군은 대전 유성구 노은동에 위치한 배추밭에서 채집한 개체군으로 매년 복숭아혹진딧물을 방제하기 위하여 살충제를 지속적으로 사용한 지역이며, 실험실개체군은 실험실에서 장기 누대 사육하면서 살충제와의 접촉이 없는 개체군이다.

각 지역에서 채집한 복숭아혹진딧물은 실험실에서 고추(품종: 금빛)를 기주로 하여 누대사육하였으며, 포트(Ø6.5 × 6.5 cm)에 파종하여 5 - 6주가 경과된 유묘를 기주로 사용하였고, 아크릴케이지(30 × 30 × 50 cm)에 넣어 온도 25 ± 1°C, 상대습도 50 - 60%, 광주기 16L : 8D의 조건하에서 사육하였다.

시험약제

약제는 단일 유효성분으로 이루어져 있는 약제를 선택하였으며, 2016 작물보호제 지침서(발행처: 한국작물보호협회)상에 복숭아혹진딧물이 적용병해충으로 등록되어있는 5가지 약제와 등록되어있지 않은 5가지 약제를 선택하였다. 등록 약제 선발기준은 작용기작 및 계통이 다른 성분 중에서 새로운 작용기작을 갖거나, 저항성 진딧물 방제에 효과를 갖는 약제를 임의로 선발하였으며, 비등록 약제 선발기준은 작용 기작 및 계통이 다른 성분 중에서 흡즙성 해충(총채벌레류, 노린재류, 가루이류 등)을 적용해충으로 갖는 약제를 임의로 선발하였다. 각 약제의 처리는 추천농도와 추천농도의 1/2배로 나누어 처리하였었다(Table 1).

Table 1. A list of insecticides used in the experiment.

| Category | Insecticide | Chemical group | Formulation, A.I. (%) | Mode of action | Systemic action |
|-------------------------------------|-------------------|----------------|-----------------------|---|-----------------|
| Registered for <i>M. persicae</i> | Acetamiprid | neonicotinoids | WP, 8% | Nicotinic acetylcholine receptor competitive modulators | O |
| | Cyantraniliprole | diamides | DC, 5% | Ryanodine receptor modulators | X |
| | Pymetrozine | pyridine | WP, 25% | Chordotonal organ TRPV Channel modulators | O |
| | Pyrifluquinazon | azomethine | SC, 6.5% | | X |
| | Spirotetramat | tetramic acid | SC, 22% | Inhibitors of acetyl-CoA carboxylase | O |
| Unregistered for <i>M. persicae</i> | Chlorfenapyr | Pyrazole | EC, 5% | Uncouplers of oxidative phosphorylation via disruption of the proton gradient | X |
| | Dinotefuran | Neonicotinoids | SG, 50% | Nicotinic acetylcholine receptor competitive modulators | O |
| | Gamma-cyhalothrin | pyrethroids | CS, 1.4% | Sodium channel modulators | X |
| | Novaluron | benzoylureas | SC, 10% | Inhibitors of chitin biosynthesis, type 0 | X |
| | Spinosad | spinosyns | WG, 10% | Nicotinic acetylcholine receptor allosteric modulators | X |

약제처리

약제에 대한 실험은 개체군 별 복숭아혹진딧물의 살충효력과 섭식행동에 있어서 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 처리방법을 달리하여 진행하였으며, FAO (1979)에서 고안한 진딧물 성충을 위한 살충효력·시험방법을 참고하여 진행하였다. Insect dish (SPL, Ø100 × 40 mm)에 1.5% agarose gel을 만들어 깊이 1 - 2 cm 정도 채워 넣

고 gel이 다 굳기 전에 건전 유묘에서 잘라낸 고추 잎을 gel 표면에 밀착, 고정시키고 1시간 정도 굳혀 leaf-disc를 완성하였다. 완전히 식힌 leaf-disk에 복숭아혹진딧물 무시형 성충 및 노령 약충 20 마리를 접종한 후 약 1시간의 정착기를 갖게 하였다. 그 후 1/2 추천농도 및 추천농도의 각 약제 2 mL를 spray tower (Burkard, UK)를 통해 leaf-disc 전반에 고루 살포하였다. 각 약제살포 전에 70% 에탄올과 물을 이용해 spray tower 내부를 소독하여 잔류하는 약제를 제거하였다. 검정시간은 살포 후 24 시간 단위로 6일간 검정하여 생충수를 조사하였다. 일련의 과정은 각 약제 농도별로 3반복 수행하였다.

통계분석

모든 약제를 각 농도별로 처리한 처리구와 무처리구는 총 6시간 동안 3회 반복 실험을 수행하였고 살충효력 실험 결과는 SPSS (IBM SPSS Statistics 22.0) 일원배치분산분석(ONE way analysis of variance, ANOVA)을 통해 각 기록 결과 간 $p < 0.05$ 범위에서 유의성 검정을 수행하였으며, 사후검정은 Duncan 분석을 통해 약제간의 유의차를 확인하였다.

Results and Discussion

Spray tower를 이용해 분무 처리한 다음 24, 48, 72, 96, 120, 144시간 후의 생충수를 조사하여 방제가로 나타내었으며 방제가는 다음과 같이 구하였다.

$$\text{방제가(control value)} = (\text{무처리구의 발생밀도} - \text{처리구의 발생밀도}) / \text{무처리구의 발생밀도} \times 100 (\%)$$

그 결과, cyantraniliprole을 제외한 나머지 약제에서 농도 구분 없이 144시간 경과 후 방제가는 100%로 나타났고, 모든 개체군에서 조사시간대별 약제간 통계적 차이는 $p < 0.01$ 로 유의차를 보였다(Table 2, 3 and 4). Acetamiprid 기준량의 1/2 처리구를 기준으로 한 방제가는 이월 및 실험실 개체군의 경우, 48시간 경과 후 약 97% 이상, 72시간 경과 후 100%를 나타냈다. 동일한 조건에서 노은 개체군은 각각 약 86%, 94%로 조금 낮게 나타났다. Cyantraniliprole의 경우 농도에 따른 방제가의 차이를 보였으며, 96시간 경과 후 약 55%의 최고 방제가(최종 방제가가 45%)를 나타낸 실험실 개체군을 제외하고 40% 미만의 방제가를 나타냈다. 특히 기준량의 1/2배 처리 후, 이월 개체군은 144시간 동안 무처리보다 더 많은 산자수를 기록하여 살충효력이 없는 것으로 나타났다. Pymetrozine의 경우 최종 방제가는 100%로 나타내 살충효력을 확인하였다. 세 개체군 간의 방제가가 차이는 다른 개체군 보다 이월 개체군에서 24시간 경과 후 30 - 40%정도 더 높게 나타났으며, 120시간 경과 후 개체군 내 방제가가 차이는 줄었다. 72시간 경과 후 이월 개체군에서 약 90%의 방제가를 나타냈지만, 동일한 시간에서 노은 개체군은 77%, 실험실 개체군은 약 60%의 방제가를 나타냈다. Pyrifluquinazon의 경우, 동일한 계통, 작용기작의 침투이행성을 갖는 pymetrozine의 방제가와 매우 유사하게 나타났다. 72 시간 경과 후 이월 개체군은 약 95% 이상의 방제가를 보였지만, 동일한 시간에서 추천농도를 처리한 노은 개체군에서는 85%, 실험실 개체군에서는 58%의 방제가를 나타냈다. Spirotetramat의 경우 세 개체군 중 이월 개체군에서 24시간 경과 후 20 - 50%정도 더 높게 나타났으며, 96시간 경과 후 세 개체군 내 방제가가 차이가 줄어들었다.

복숭아혹진딧물에 미등록 살충제 5가지에 대한 살충실험 결과, 24시간 경과 후 몇 개의 방제가를 제외하고 모든 개체군에서 조사시간대별 약제간 통계적 차이는 $p < 0.05$ 로 유의차를 보였다(Table 5, 6 and 7). Gamma-cyhalothrin과 novaluron의 경우 모든 개체군에서 농도에 상관없이 최대 50%의 가장 낮은 방제가를 보였으며 살충효력이 없었다. Spinosad 처리구도 기준량 처리 후, 최종 방제가는 노은 개체군 -4%, 실험실 개체군 37%로 매우 낮은 수치를

Table 2. The control value of Iwol population of *Myzus persicae* according to 2 different concentrations of 5 different registered insecticides for *M. persicae*.

| Treatment | Concentration (fold) | Control value (%) | | | | | |
|------------------|----------------------|-------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 24 h | 48 h | 72 h | 96 h | 120 h | 144 h |
| Acetamiprid | 1/2 | 82.6 ± 7.3a | 99.1 ± 0.8a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a |
| | 1 | 83.8 ± 5.4a | 99.6 ± 0.8a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a |
| Cyantraniliprole | 1/2 | -20.4 ± 16.5c | -17.5 ± 11.8c | -31.2 ± 9.8c | -30.7 ± 4.6c | -25.5 ± 3.6b | -20.6 ± 7.8b |
| | 1 | 34.1 ± 15.7c | 33.6 ± 17.1c | 23.7 ± 15.2c | 16.1 ± 8.0b | 14.6 ± 1.9b | 15.7 ± 5.0b |
| Pymetrozine | 1/2 | 52.7 ± 5.8b | 74.7 ± 3.0b | 92.9 ± 2.4ab | 98.2 ± 1.0ab | 99.3 ± 1.3a | 99.8 ± 0.3a |
| | 1 | 46.7 ± 7.3bc | 62.4 ± 13.1b | 83.1 ± 5.0b | 97.5 ± 2.6a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a |
| Pyriproxyfen | 1/2 | 54.5 ± 9.2b | 85.6 ± 9.1b | 99.1 ± 0.9a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a |
| | 1 | 50.9 ± 5.8b | 65.9 ± 1.3b | 94.4 ± 3.7ab | 98.6 ± 2.4a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a |
| Spirotetramat | 1/2 | 60.5 ± 8.2b | 76.0 ± 4.6b | 88.1 ± 3.4b | 94.3 ± 2.4b | 98.2 ± 1.1a | 99.6 ± 0.3a |
| | 1 | 49.1 ± 2.7bc | 69.0 ± 2.0b | 84.9 ± 2.7b | 94.3 ± 3.4a | 97.3 ± 2.9a | 98.2 ± 2.6a |
| p (1/2 fold) | | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.000** |
| p (1 fold) | | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.000** |

Values represent by means ± SD, *p < 0.05, **p < 0.01; Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 22.0.

Table 3. The control value of Noeun population of *Myzus persicae* according to 2 different concentrations of 5 different registered insecticides for *M. persicae*.

| Treatment | Concentration (fold) | Control value (%) | | | | | |
|------------------|----------------------|-------------------|---------------|----------------|---------------|--------------|--------------|
| | | 24 h | 48 h | 72 h | 96 h | 120 h | 144 h |
| Acetamiprid | 1/2 | 41.7 ± 15.0a | 86.0 ± 10.4a | 93.9 ± 7.4a | 96.1 ± 4.6a | 96.7 ± 3.6a | 97.2 ± 4.2a |
| | 1 | 23.6 ± 6.4a | 88.2 ± 4.9a | 98.6 ± 1.2a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a |
| Cyantraniliprole | 1/2 | 12.5 ± 0.0b | 7.5 ± 10.4c | 11.6 ± 11.2c | 17.6 ± 10.5b | 21.4 ± 7.6b | 24.5 ± 14.7b |
| | 1 | -63.9 ± 42.8b | -93.5 ± 70.3b | -100.0 ± 72.8b | -28.3 ± 30.6b | 9.8 ± 10.3b | 36.2 ± 14.6b |
| Pymetrozine | 1/2 | 13.9 ± 6.4b | 40.9 ± 11.3b | 77.6 ± 2.0b | 90.6 ± 0.7a | 97.9 ± 1.0a | 99.8 ± 0.4a |
| | 1 | 20.8 ± 4.2a | 40.9 ± 4.9a | 70.1 ± 4.7a | 90.6 ± 4.9a | 98.8 ± 1.4a | 100.0 ± 0.0a |
| Pyriproxyfen | 1/2 | 19.4 ± 2.4b | 34.4 ± 3.7b | 64.6 ± 4.7b | 91.0 ± 3.4a | 98.5 ± 1.9a | 99.5 ± 0.8a |
| | 1 | 12.5 ± 4.2a | 48.4 ± 8.5a | 85.0 ± 4.7a | 96.6 ± 2.7a | 99.7 ± 0.5a | 100.0 ± 0.0a |
| Spirotetramat | 1/2 | 13.9 ± 2.4b | 43.0 ± 10.4b | 74.8 ± 9.6b | 90.6 ± 5.2a | 95.2 ± 4.4a | 96.8 ± 3.9a |
| | 1 | 19.4 ± 10.5a | 50.5 ± 12.2a | 77.6 ± 10.8a | 88.4 ± 6.8a | 94.6 ± 3.9a | 96.3 ± 2.6a |
| p (1/2 fold) | | 0.004** | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.000** |
| p (1 fold) | | 0.001** | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.000** |

Values represent by means ± SD, *p < 0.05, **p < 0.01; Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 22.0.

보였지만, 이월 개체군에서는 66%로 좀 더 높게 나타났다. Dinotefuran의 경우 복숭아혹진딧물에 대상 살충제 성분으로 등록되어 있지만, 본 실험에서 사용한 입상수용제 제형은 2016 작물보호제 지침서 상에 대상 미등록 약제이다. 기준량 처리 결과, 실험실 개체군에서 72시간 경과 후 방제가 95%의 높은 살충효력을 나타냈지만 동일한 시간대에 이월 개체군에서는 76%, 노은 개체군에서 75%의 방제가를 나타냈다. 그리고 기준량의 1/2배 처리 시 최종 방제가는 이월 개체군 88%, 실험실 개체군 97%로 나타난 것과 달리 노은 개체군의 경우 60%대로 가장 낮게 나타났다. Chlorfenapyr의 경우 dinotefuran과 같이 비등록 약제 중 기준량 처리 시 살충효력을 나타냈으며, 특히 노은 개체군의 경우, 72시간 경과 후 97%로 나타났다. 또한 이월 개체군에서 120시간 경과 후 최대 84%, 실험실 개체군

Table 4. The control value of laboratory population of *Myzus persicae* according to 2 different concentrations of 5 different registered insecticides for *M. persicae*.

| Treatment | Concentration (fold) | Control value (%) | | | | | |
|------------------|----------------------|-------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 24 h | 48 h | 72 h | 96 h | 120 h | 144 h |
| Acetamiprid | 1/2 | 64.8 ± 12.2a | 96.6 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a |
| | 1 | 63.4 ± 2.4a | 97.6 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a | 100.0 ± 0.0a |
| Cyantraniliprole | 1/2 | 5.6 ± 14.8b | 10.3 ± 24.9c | 18.9 ± 27.0d | 21.1 ± 31.0b | 30.8 ± 40.0b | 26.6 ± 60.1b |
| | 1 | 18.3 ± 6.5b | 35.6 ± 5.3b | 50.0 ± 8.6c | 55.6 ± 18.6c | 51.5 ± 18.0b | 44.9 ± 28.9b |
| Pymetrozine | 1/2 | 8.5 ± 6.5b | 31.0 ± 3.4bc | 56.6 ± 4.0bc | 83.9 ± 19.5a | 96.0 ± 5.8a | 98.1 ± 3.3a |
| | 1 | 14.1 ± 10.6b | 32.2 ± 7.2b | 59.0 ± 5.1bc | 81.7 ± 4.4b | 93.8 ± 0.8a | 98.6 ± 1.4a |
| Pyriproxyfen | 1/2 | 4.2 ± 8.8b | 11.5 ± 16.3c | 36.9 ± 19.7cd | 70.6 ± 6.9a | 94.3 ± 4.2a | 98.1 ± 2.2a |
| | 1 | 8.5 ± 2.4b | 31.0 ± 3.4b | 58.2 ± 7.4bc | 75.0 ± 6.0b | 93.8 ± 1.3a | 97.6 ± 2.2a |
| Spirotetramat | 1/2 | 8.5 ± 10.6b | 43.7 ± 11.1b | 70.5 ± 4.9ab | 88.9 ± 4.2a | 96.5 ± 5.0a | 97.1 ± 5.0a |
| | 1 | 21.1 ± 8.8b | 40.2 ± 22.4b | 65.6 ± 8.5b | 92.2 ± 6.3ab | 99.1 ± 1.5a | 100.0 ± 0.0a |
| p (1/2 fold) | | 0.000** | 0.000** | 0.001** | 0.002** | 0.004** | 0.029** |
| p (1 fold) | | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.002** | 0.000** | 0.001** |

Values represent by means ± SD, *p < 0.05, **p < 0.01; Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 22.0.

Table 5. The control value of field population of *Myzus persicae* according to 2 different concentrations of 5 different unregistered insecticides for *M. persicae*.

| Treatment | Concentration (fold) | Control value (%) | | | | | |
|-------------------|----------------------|-------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 24 h | 48 h | 72 h | 96 h | 120 h | 144 h |
| Chlorfenapyr | 1/2 | 17.5 ± 8.6b | 28.7 ± 9.6b | 47.7 ± 12.2b | 60.9 ± 17.1a | 62.8 ± 25.5a | 49.9 ± 39.1bc |
| | 1 | 38.2 ± 15.0a | 62.3 ± 8.0a | 76.8 ± 4.7b | 82.2 ± 8.8a | 84.0 ± 12.5a | 79.8 ± 16.9a |
| Dinotefuran | 1/2 | 59.4 ± 9.6a | 73.4 ± 4.2a | 80.1 ± 6.7a | 80.7 ± 5.4a | 85.3 ± 5.9a | 88.0 ± 4.7a |
| | 1 | 40.1 ± 4.1a | 58.4 ± 2.9a | 73.0 ± 5.0b | 76.9 ± 6.9a | 75.5 ± 7.1a | 73.5 ± 10.6a |
| Gamma-cyhalothrin | 1/2 | 26.9 ± 12.2b | 24.9 ± 14.5b | 22.8 ± 10.3c | 19.7 ± 10.1b | 21.4 ± 10.3b | 15.0 ± 12.7c |
| | 1 | 42.5 ± 3.6a | 31.1 ± 2.7b | 24.3 ± 8.5bc | 21.9 ± 15.2c | 17.7 ± 21.7b | 13.8 ± 24.6b |
| Novaluron | 1/2 | 38.2 ± 15.8b | 34.4 ± 15.7b | 28.5 ± 12.6bc | 33.3 ± 11.1b | 34.5 ± 9.3b | 35.2 ± 7.1bc |
| | 1 | 12.7 ± 19.6a | 7.5 ± 14.8b | 15.5 ± 8.9c | 19.0 ± 5.2c | 29.6 ± 17.2b | 26.0 ± 20.4b |
| Spinosad | 1/2 | 18.4 ± 7.8b | 23.4 ± 12.6b | 42.7 ± 15.7bc | 59.8 ± 17.1a | 67.8 ± 12.4a | 71.3 ± 9.8ab |
| | 1 | 16.5 ± 25.9a | 15.9 ± 23.1b | 35.8 ± 19.1b | 52.6 ± 13.5b | 63.8 ± 11.2a | 66.6 ± 11.9a |
| p (1/2 fold) | | 0.005** | 0.002** | 0.001** | 0.001** | 0.002** | 0.007** |
| p (1 fold) | | 0.130 | 0.001** | 0.000** | 0.000** | 0.001** | 0.003** |

Values represent by means ± SD, *p < 0.05, **p < 0.01; Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 22.0.

에서 96시간 경과 후 최대 79%의 방제가를 보였다.

Rawat et al. (2013) 에 따르면, 복숭아혹진딧물의 저항성 발달에 맞춰 실험실 및 현장, 온실조건에서 진딧물에 대해 다른 그룹에 속한 몇 가지 새로운 화합물을 포함한 다양한 살충제의 효율성과 경제적 중요성이 보고되고 있지만, 이러한 살충제 대부분은 타겟이 아닌 생물체에 높은 독성과 높은 잔류성 및 환경에 유해한 다른 영향 때문에 내성이 생기게 된다. 따라서 적은 잔류성, 안정성, 효율적인 방제방법의 대안책으로 진딧물에 대한 다른 살충제의 독성평가가 필요하다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 복숭아혹진딧물의 체내 작용기작이 다른 8 계통의 10개

Table 6. The control value of Noeun population of *Myzus persicae* according to 2 different concentrations of 5 different unregistered insecticides for *M. persicae*.

| Treatment | Concentration (fold) | Control value (%) | | | | | |
|-------------------|----------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 24 h | 48 h | 72 h | 96 h | 120 h | 144 h |
| Chlorfenapyr | 1/2 | 11.1 ± 10.5a | 24.7 ± 12.2a | 47.6 ± 13.6a | 58.8 ± 10.1a | 63.4 ± 9.1a | 67.7 ± 4.3a |
| | 1 | 45.8 ± 29.2a | 87.1 ± 9.7a | 97.3 ± 3.1a | 98.7 ± 2.2a | 98.8 ± 2.1a | 98.9 ± 2.0a |
| Dinotefuran | 1/2 | 9.7 ± 6.4a | 23.7 ± 13.4a | 49.0 ± 10.8a | 50.2 ± 5.2ab | 60.1 ± 5.9a | 61.5 ± 5.5a |
| | 1 | 2.8 ± 2.4b | 39.8 ± 4.9b | 59.2 ± 10.2b | 75.1 ± 3.7a | 86.9 ± 1.4a | 87.4 ± 2.0a |
| Gamma-cyhalothrin | 1/2 | 4.2 ± 4.2a | 0.0 ± 12.9a | 23.8 ± 11.2b | 18.0 ± 10.3c | 17.0 ± 7.8b | 16.5 ± 9.2b |
| | 1 | 6.9 ± 9.6b | 14.0 ± 13.4bc | 27.2 ± 16.5c | 25.8 ± 8.2b | 40.8 ± 18.2b | 47.0 ± 21.1b |
| Novaluron | 1/2 | 8.3 ± 4.2a | 17.2 ± 8.1a | 31.3 ± 10.5ab | 31.8 ± 11.6bc | 27.4 ± 4.6b | 24.1 ± 10.3b |
| | 1 | 13.9 ± 4.8b | 16.1 ± 17.1bc | 25.9 ± 9.6c | 23.2 ± 11.1bc | 19.0 ± 17.7bc | 18.8 ± 23.4bc |
| Spinosad | 1/2 | -19.4 ± 6.4b | -24.7 ± 16.2b | -22.4 ± 14.7c | -27.0 ± 13.9d | -17.6 ± 7.2c | -14.0 ± 4.9c |
| | 1 | 0.0 ± 14.4b | -11.8 ± 25.1c | -3.4 ± 28.6c | -1.7 ± 28.5c | -1.2 ± 22.2c | -4.4 ± 21.1c |
| p (1/2 fold) | | 0.001** | 0.004** | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.000** |
| p (1 fold) | | 0.026* | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.000** | 0.000** |

Values represent by means ± SD, *p < 0.05, **p < 0.01; Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 22.0.

Table 7. The control value of laboratory population of *Myzus persicae* according to 2 different concentrations of 5 different unregistered insecticides for *M. persicae*.

| Treatment | Concentration (fold) | Control value (%) | | | | | |
|-------------------|----------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 24 h | 48 h | 72 h | 96 h | 120 h | 144 h |
| Chlorfenapyr | 1/2 | 31.5 ± 10.2a | 54.4 ± 8.6a | 59.6 ± 12.5ab | 67.0 ± 8.3ab | 62.1 ± 9.9ab | 46.2 ± 13.3b |
| | 1 | 36.0 ± 14.9ab | 68.3 ± 10.9a | 76.5 ± 8.2ab | 79.2 ± 4.7ab | 74.9 ± 4.4ab | 66.0 ± 5.3ab |
| Dinotefuran | 1/2 | 34.2 ± 9.5a | 67.2 ± 9.8a | 91.9 ± 4.0a | 96.3 ± 1.8a | 97.2 ± 2.2a | 97.2 ± 3.9a |
| | 1 | 56.8 ± 2.7a | 77.2 ± 10.2a | 95.0 ± 1.3a | 99.4 ± 1.0a | 99.7 ± 0.5a | 100.0 ± 0.0a |
| Gamma-cyhalothrin | 1/2 | 21.6 ± 30.5a | 35.0 ± 31.2ab | 33.1 ± 34.4bc | 27.1 ± 23.3c | 17.9 ± 20.1cd | 20.1 ± 28.5bc |
| | 1 | 17.1 ± 33.0b | 33.3 ± 29.5bc | 30.0 ± 32.9c | 31.1 ± 27.8c | 21.7 ± 22.0c | -5.2 ± 6.3c |
| Novaluron | 1/2 | 39.6 ± 12.2a | 52.2 ± 15.8a | 53.5 ± 16.6ab | 51.0 ± 14.3bc | 36.2 ± 16.0bc | 2.8 ± 6.4bc |
| | 1 | 36.0 ± 10.2ab | 47.2 ± 12.3ab | 51.9 ± 7.4bc | 46.7 ± 6.5bc | 32.5 ± 3.1bc | 10.1 ± 4.8c |
| Spinosad | 1/2 | 1.8 ± 26.7a | 4.4 ± 30.8b | -1.9 ± 31.2c | -5.7 ± 28.0d | -13.4 ± 37.5d | -24.3 ± 53.0c |
| | 1 | -1.8 ± 22.0b | 7.2 ± 19.3c | 23.5 ± 28.5c | 36.2 ± 44.1bc | 40.7 ± 44.7bc | 37.2 ± 52.9bc |
| p (1/2 fold) | | 0.230 | 0.040* | 0.006** | 0.000** | 0.001** | 0.003** |
| p (1 fold) | | 0.038* | 0.005** | 0.006** | 0.021* | 0.008** | 0.002** |

Values represent by means ± SD, *p < 0.05, **p < 0.01; Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 22.0.

약제를 선발하였으며, 이 중에서 복숭아혹진딧물에 등록된 acetamiprid, cyantraniliprole, pymetrozine, pyrifluquinazon, spirotetramat와 비등록 약제인, chlorfenapyr, dinotefuran, gamma-cyhalothrin, novaluron, spinosad를 처리하였을 경우에 복숭아혹진딧물에 미치는 영향을 관찰하고자 하였다.

살충효력에 대한 비교를 수행한 결과, 등록된 약제의 경우 cyantraniliprole을 제외한 나머지 약제에서는 모두 최종 방제기는 100%에 육박하여 그 살충효력에서 세 개체군 사이의 큰 차이는 확인할 수 없었지만, chlorfenapyr와 dinotefuran과 같이 등록되지 않은 약제의 경우 새로운 성분의 살충제 개발 혹은 실제 적용방법 모색과 밀접하게 연

결 지을 수 있는 결과를 도출하였다. 복숭아혹진딧물에 chlorfenapyr와 dinotefuran, spinosad에서 유의한·차이의 방제가를 얻었다. 복숭아혹진딧물에 대상 등록이 된 약제를 처리하였을 때, acetamiprid는 다른 약제들에 비해 가장 빠른 살충효과를 나타낸 반면, cyantraniliprole은 복숭아혹진딧물에 살충효력이 없었다. Pymetrozine과 pyrifluquinazon의 90%이상 방제가를 보이는 시점은 개체군내에서 각각 동일하게 나타났으며 spirotetramat은 두 약제와 유사한 흐름의 방제가를 나타냈다. 이월 개체군은 24시간 경과 후 방제가가 다른 개체군과 달리 높게 나타나, 그 살충효력이 더욱 빨리 나타남을 알 수 있었다. 복숭아혹진딧물에 대상 등록되지 않은 5가지 약제를 처리하였을 때 gamma-cyhalothrin, novaluron은 복숭아혹진딧물에 살충효력이 없는 것으로 나타났고, spinosad는 이월 개체군에서만 최대 70%의 방제가를 보였다. Chlorfenapyr와 dinotefuran은 비등록약제임에도 불구하고, 각각 특정 개체군에서 90%이상의 방제가를 나타내어, 살충효력을 확인할 수 있었다. 따라서 이러한 약제는 추후에 복숭아혹진딧물에 등록을 하여 사용하는 것을 적극 검토해 볼 필요가 있다고 사료된다. 반면에 cyantraniliprole의 경우, 각 지역 개체군에 따라서 방제가가 많은 차이를 나타내고 있었고, 아울러 모든 개체군에서 아주 낮은 살충효과를 나타내고 있었다. 이에 대한 정확한 이유는 추후에 충분한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

Conclusion

복숭아혹진딧물은 세계적으로 많은 농작물, 원예작물, 과수류를 기주로 가지고 있으면서 경제적으로도 많은 피해를 주고 있다. 복숭아혹진딧물이 어린 잎을 공격하면 잎이 활력이 떨어지고 결국엔 고사하게 된다. 이러한 복숭아혹진딧물을 방제하기 위하여 많은 약제들이 개발되고 사용되고 있다. 그렇지만, 이러한 살충제들의 오용과 남용으로 인한 저항성의 발달은 약효의 감소로 인한 더 많은 살충제를 사용하게 되는 악순환을 거치고 있다. 이에 국내에서 복숭아혹진딧물이 지역에 따라 발생할 수 있는 저항성 정도를 파악하기 위하여 3개의 개체군을 선별하여 등록되어 있는 살충제와 미등록된 살충제에 대한 감수성 정도를 비교하였다. 그 결과, 복숭아혹진딧물에 대상 등록이 된 약제를 처리하였을 때, acetamiprid는 다른 약제들에 비해 가장 빠른 살충효과를 나타낸 반면, cyantraniliprole은 복숭아혹진딧물에 살충효력이 없었다. Pymetrozine과 pyrifluquinazon의 90%이상 방제가를 보이는 시점은 개체군내에서 각각 동일하게 나타났으며 spirotetramat은 두 약제와 유사한 흐름의 방제가를 나타냈다. 이월 개체군은 24시간 경과 후 방제가가 다른 개체군과 달리 높게 나타나, 그 살충효력이 더욱 빨리 나타남을 알 수 있었다. 복숭아혹진딧물에 대상 등록되지 않은 5가지 약제를 처리하였을 때 gamma-cyhalothrin, novaluron은 복숭아혹진딧물에 살충효력이 없는 것으로 나타났고, spinosad는 이월 개체군에서만 최대 70%의 방제가를 보였다. Chlorfenapyr와 dinotefuran은 특정 개체군에서 90%이상의 방제가를 나타내어, 살충효력을 확인할 수 있었다.

Acknowledgements

본 연구는 충남대학교 자체연구비에 의하여 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

References

- Andrews MC, Callaghan A, Field LM, Williamson MS, Moores GD. 2004. Identification of mutations conferring insecticide-insensitive AChE in the cotton melon aphid, *Aphis gossypii* Glover. *Insect Molecular Biology* 13:555-561.
- Bass C, Puinean AM, Andrews M, Cutler P, Daniels M, Elias J, Paul VL, Crossthwaite AJ, Denholm I, Field LM, Foster SP, Lind R, Williamson MS, Slater R. 2011. Mutation of a nicotinic acetylcholine receptor β subunit is associated with resistance to neonicotinoid insecticides in the aphid *Myzus persicae*. *BMC Neuroscience* 12:51.

- Bass C, Puinean AM, Zimmer CT, Denholm I, Field LM, Fosterand SP, Williamson MS. 2014. The evolution of insecticide resistance in the peach potato aphid, *Myzus persicae*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 51:41-51.
- Bass C, Zimmer CT, Riveron JM, Wilding CS, Wondji CS, Kausmann M, Field LM, Williamson MS, Nauen R. 2013. Gene amplification and microsatellite polymorphism underlie a recent insect host shift. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110:19460-19465.
- Blackman RL. 1987. Morphological discrimination of a tobacco-feeding form from *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae), and a key to new world *Myzus* (Nectarosiphon) species. *Bulletin of Entomological Research* 77:713-730.
- Bretschneider T, Fischer R, Nauen R. 2007. Inhibitors of lipid synthesis (acetyl-CoA-carboxylase inhibitors). In *Modern Crop Protection Compounds*, edited by Krämer W, Schirmer U. pp. 909-925. John Wiley & Sons Ltd. Weinheim.
- Cabrera-Brandt MA, Verdugo JA, Ramírez CC, Lacroze JP, Sauge MH, Figueroa CC. 2015. Intra-specific variation of behavioral signals in suppressing plant defenses in the green peach aphid *Myzus persicae*, feeding on the resistant wild peach *Prunus davidiana*. *Journal of Pest Science* 88:259-266.
- Cetin H, Erler F, Yanikoglu A. 2006. Larvicidal activity of novaluron, a chitin synthesis inhibitor, against the housefly, *Musca domestica*. *Journal of Insect Science* 6:50.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1979. Recommended methods for the detection and measurement of resistance of agricultural pests to pesticides: Method for adult aphids - FAO method no. 17. *FAO Plant Protection Bulletin* 27:29-32.
- Field LM, Devonshire AL, Forde BG. 1988. Molecular evidence that insecticide resistance in peach-potato aphids (*Myzus persicae* Sulz.) results from amplification of an esterase gene. *Biochemical Journal* 251:309-312.
- Francis F, Gerkens P, Harmel N, Mazzucchelli G, De Pauw E, Haubruge E. 2006. Proteomics in *Myzus persicae*: Effect of aphid host plant switch. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 36:219-227.
- Francis F, Vanhaelen N, Haubruge E. 2005. Glutathione S-transferases in the adaptation to plant secondary metabolites in the *Myzus persicae* aphid. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 58:166-174.
- Fuog D, Fergusson SJ, Flückiger C. 1998. Pymetrozine: A novel insecticide affecting aphids and whiteflies. In *Insecticides with Novel Modes of Action*, edited by Ishaaya I, Horowitz AR. pp. 40-49. Springer Berlin Heidelberg.
- Harmel N, Létocart E, Cherqui A, Giordanengo P, Mazzucchelli G, Guillonnet F, Francis F. 2008. Identification of aphid salivary proteins: A proteomic investigation of *Myzus persicae*. *Insect Molecular Biology* 17:165-174.
- Ishaaya I, Yablonski S, Mendelson Z, Mansour Y, Horowitz AR. 1996. Novaluron (MCW-275), a novel benzoylphenyl urea, suppressing developing stages of lepidopteran, whitefly and leafminer pests. *Brighton Crop Protection Conference: Pests and Diseases* 1013-1020.
- Jeanguenat A. 2013. The story of a new insecticidal chemistry class: The diamides. *Pest Management Science* 69:7-14.
- Kayser H, Kaufmann L, Schurmann F, Harrewijn P. 1994. Pymetrozine (CGA 215'944): A novel compound for aphid and whitefly control. An overview of its mode of action. *Brighton Crop Protection Conference: Pests and Diseases* 2:737-742.
- Kim JH, Seo EY, Kim JK, Lim HS, Yu YM, Youn YN. 2015. Gene expression in plant according to RNAi treatment of the tobacco whitefly. *CNU Journal of Agricultural Science* 42:81-86.
- Kim YS, Kim KS, Jin NY, Yu YM, Youn YN, Lim CH. 2016. Influence of plant surface spray adhesion of dinotefuran and thiodicarb on control of apple leafminer. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:346-352.
- Ko N, Youn YN. 2015. Change of population density of tobacco whitefly (*Bemisia tabaci*, Aleyrodidae, Hemiptera) by RNAi. *CNU Journal of Agricultural Science* 42:7-13.

- Kwon HR, Kim SH, Park MW, Jo SH, Shin HS, Cho HS, Seo MJ, Yu YM, Youn YN. 2011. Environmentally-friendly control of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) by environmental friendly agricultural materials. *CNU Journal of Agricultural Science* 38:413-419.
- Lee KH, Ban YH, Yoon BH, Seo BM, Lee MW, Kim SK, WB Chang, Kim YG. 2015. The Korean Society of Plant Pathology: M; field study: M-6; Occurrence of diseases in cucumber in Chungbuk province. *Plant Disease Research* 21:155-155.
- Li Y, Xu Z, Shi L, Shen G, He L. 2016. Insecticide resistance monitoring and metabolic mechanism study of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae), in Chongqing, China. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 132:21-28.
- Martinez-Torres D, Devonshire AL, Williamson MS. 1997. Molecular studies of knockdown resistance to pyrethroids: Cloning of domain II sodium channel gene sequences from insects. *Pesticide Science* 51:265-270.
- Martinez-Torres D, Foster SP, Field LM, Devonshire AL, Williamson MS. 1999. A sodium channel point mutation is associated with resistance to DDT and pyrethroid insecticides in the peach-potato aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Insect Molecular Biology* 8:339-346.
- Moores GD, Devine GJ, Devonshire AL. 1994. Insecticide-insensitive acetylcholinesterase can enhance esterase-based resistance in *Myzus persicae* and *Myzus nicotianae*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 49:114-120.
- Moran NA. 1988. The evolution of host-plant alternation in aphids - evidence for specialization as a dead end. *American Naturalist* 132:681-706.
- Narahashi T. 1971. Mode of action of pyrethroids. *Bulletin of the World Health Organization* 44:337.
- Nauen R, Bretschneider T, Elbert A, Fischer R, Reckmann U, Van Waetermeulen X. 2006. Biological and mechanistic considerations on the mode of action of spirotetramat. pp 6-10. In 11th IUPAC International Congress of Pesticide Chemistry.
- Nauen R, Reckmann U, Thomzik J, Thielert W. 2008. Biological profile of spirotetramat (Movento®)-A new two-way systemic (ambimobile) insecticide against sucking pest species. *Bayer Crop Science Journal* 61:245-278.
- Needham PH, Sawicki RM. 1971. Diagnosis of resistance to organophosphorus insecticides in *Myzus persicae* (Sulz.). *Nature* 230:125-126.
- Philippou D, Field L, Moores G. 2010. Metabolic enzyme(s) confer imidacloprid resistance in a clone of *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) from Greece. *Pest Management Science* 66:390-395.
- Pietrantonio PV, Benedict JH. 1999. Effect of new cotton insecticide chemistries, tebufenozide, spinosad and chlorfenapyr, on *Orius insidiosus* and two *Cotesia* species. *Southwest Entomology* 24:21-29.
- Puinean AM, Foster SP, Oliphant L, Denholm I, Field LM, Millar NS, Bass C. 2010. Amplification of a cytochrome P450 gene is associated with resistance to neonicotinoid insecticides in the aphid *Myzus persicae*. *PLoS Genet.* 6: e1000999.
- Rawat N, Singh R, Sharma PL. 2013. Evaluation of some insecticides against the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Indian Journal of Entomology* 75:113-117.
- Salgado VL. 1997. The modes of action of spinosad and other insect control products. *Down to Earth.* 52:35-43.
- Shim JY, Park JS, Paik WH, Lee YB. 1977. Studies on the life history of green peach aphid, *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera). *Korean Journal of Applied Entomology* 16:139-144.
- Silva AX, Jander G, Samaniego H, Ramsey JS, Figueroa CC. 2012. Insecticide resistance mechanisms in the green peach aphid *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) I: A transcriptomic survey. *PLoS one.* 7:e36366.
- Takahashi H, Takakusa N, Suzuki J, Kishimoto T. 1998. Development of a new insecticide, acetamiprid. *Journal of Pesticide Science* 23:193-198.
- Tantau HJ, Lange D. 2003. Greenhouse climate control: An approach for integrated pest management. *Computers*

- and Electronics in Agriculture 40:141-152.
- Treacy M, Miller T, Black B, Gard I, Hunt D, Hollingworth RM. 1994. Uncoupling activity and pesticidal properties of pyrroles. *Biochemical Society Transactions* 22:244-247.
- Unruh T, Knight A, Bush MR. 1996. Green peach aphid (Homoptera: Aphididae) resistance to endosulfan in peach and nectarine orchards in Washington State. *Journal of Economic Entomology* 89:1067-1073.
- Van Emden HF, Eastop VF, Hughes RD, Way MJ. 1969. The ecology of *Myzus persicae*. *Annual Review of Entomology* 14:197-270.
- Wakita T, Kinoshita K, Yamada E, Yasui N, Kawahara N, Naoi A, Nakaya M, Ebihara K, Matsuno H, Kodaka K. 2003. The discovery of dinotefuran: A novel neonicotinoid. *Pest Management Science* 59:1016-1022.
- Weber G. 1985. Genetic variability in host plant adaptation of the green peach aphid, *Myzus persicae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 38:49-56.