



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

고설재배 딸기에서 황색점착트랩을  
이용한 주요해충의 예찰연구

Studies on the monitoring system of major pests using yellow sticky traps in  
strawberry farms with high bed system

濟州大學校 大學院

農學科

金相熹

2020年 2月

# 고설재배 딸기에서 황색점착트랩을 이용한 주요해충의 예찰연구

指導教授 金 桐 淳

金 相 熹

이 論文을 農學 碩士學位 論文으로 提出함

2019年 12月

金相熹의 農學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 \_\_\_\_\_ ①

委 員 \_\_\_\_\_ ①

委 員 \_\_\_\_\_ ①

濟州大學校 大學院

2019年 12月

# 목 차

LIST OF TABLES .....	iii
LIST OF FIGURES .....	v
ABSTRACT .....	1
I. 서론 .....	2
II. 연구사 .....	4
1. 유색 점착트랩에 대한 연구 .....	4
2. 무인자동예찰기기에 대한 연구 .....	5
III. 재료 및 방법 .....	7
1. 황색점착트랩 설치각도에 따른 주요해충의 유살특성 .....	7
1-1. 트랩설치 농장 .....	7
1-2. 트랩설치 및 딸기 발생 해충 조사 .....	7
1-3. 분석방법 .....	8
2. 황색점착트랩 유살수와 포장 발생밀도와의 관계 .....	11
2-1. 트랩설치 농장 및 조사시기 .....	11
2-2. 설치 트랩의 종류 .....	12
2-3. 포장내 점착트랩의 설치 .....	14
2-4. 조사방법 .....	15
2-5. 분석방법 .....	15
IV. 결과	
1. 황색점착트랩 설치각도에 따른 주요해충의 유살특성 .....	17
1-1. 총채벌레 .....	17

1-2. 뿌리과리류 .....	17
1-3. 애매미충류 .....	18
1-4. 진딧물류 .....	18
1-5. 가루이류 .....	18
1-6. 트랩 각도별 반사광도 측정 .....	18
2. 황색점착트랩 유살량과 포장 발생생밀도와의 관계 .....	25
2-1. 총채벌레의 발생밀도 .....	25
2-2. 총채벌레의 꽃 당 평균밀도와 분산 및 서식비율과의 관계 .....	29
2-3. 총채벌레 유살수와 꽃 감염비율과의 관계 .....	31
2-4. 일반 황색점착트랩과 점착테이프의 꽃 당 밀도의 관계 .....	33
V. 고찰 .....	35
1. 설치각도에 따른 주요해충의 유살특성 .....	35
2. 황색점착트랩 유살량과 포장 발생생밀도와의 관계 .....	37
VI. 적요 .....	39
VII. 인용문헌 .....	40

## LIST OF TABLES

<b>Table 1.</b> The attractiveness of yellow sticky trap for thrips species according to the installation angle of traps in strawberry farms .....	<b>19</b>
<b>Table 2.</b> The attractiveness of yellow sticky trap for Sciaridae species according to the installation angle of traps in strawberry farms .....	<b>20</b>
<b>Table 3.</b> The attractiveness of yellow sticky trap for Cicadellidae species according to the installation angle of traps in strawberry farms .....	<b>21</b>
<b>Table 4.</b> The attractiveness of yellow sticky trap for Aphid species according to the installation angle of traps in strawberry farms .....	<b>22</b>
<b>Table 5.</b> The attractiveness of yellow sticky trap for white fly species according to the installation angle of traps in strawberry farms .....	<b>23</b>
<b>Table 6.</b> The intensity of illumination measured at perpendicular line of 10, 15 and 20 cm apart from YST surface. For the purpose of comparison (namely reference), the intensity of illumination was measured open space inside and outside of greenhouse .....	<b>24</b>
<b>Table 7.</b> Mean numbers of thrips species caught on yellow sticky cards (normal type <sup>a</sup> ) and found on strawberry plants in farm 1, 2019 .....	<b>26</b>
<b>Table 8.</b> Mean numbers of thrips species caught on yellow sticky cards (non-contact type <sup>a</sup> ) and found on strawberry plants in farm 1, 2019 .....	<b>26</b>
<b>Table 9.</b> Mean numbers of thrips species caught on yellow sticky cards (normal type <sup>a</sup> ) and found on strawberry plants in farm 2, 2019 .....	<b>27</b>
<b>Table 10.</b> Mean numbers of thrips species caught on yellow sticky cards (non-contact type <sup>a</sup> ) and found on strawberry plants in farm 2, 2019 .....	<b>27</b>
<b>Table 11.</b> Mean numbers of thrips species caught on yellow sticky cards (normal type <sup>a</sup> ) and found on strawberry plants in farm 3, 2019 .....	<b>28</b>
<b>Table 12.</b> Mean numbers of thrips species caught on yellow sticky cards (non-contact type <sup>a</sup> ) and found on strawberry plants in farm 3, 2019 .....	<b>28</b>

<b>Table 13.</b> Estimated parameter of the nonlinear equation for the relationships between mean number of thrips per sticky card and proportion of flowers infested with thrips .....	<b>32</b>
<b>Table 14.</b> Estimated parameters of the nonlinear equation for the relationships between mean number of thrips per sticky card and the mean number of thrips per flower .....	<b>34</b>

## LIST OF FIGURES

- Fig. 1.** The diagram of trap installation method at different angles in a strawberry farm with high-bed system. Yellow sticky trap (YST) were in vertical direction with one surface, horizontal direction with upper and lower surface, and angle of  $45^\circ$  with upper and lower sticky surface. .... 9
- Fig. 2.** The intensity of illumination was measured at perpendicular line of 10, 15 and 20 cm apart from YST surface using a light meter (LI-250, Seial No. LMA-1169, USA). For the purpose of comparison (namely reference), the intensity of illumination was measured open space inside and outside of greenhouse. The measurements were repeated 10 times on 10 May, 2019 (14:00 – 17:00) in a strawberry farm. .... 10
- Fig. 3.** The Structure of automatic monitoring system of insect pests with sticky roll tape (SR-AMS). A = Overall appearance of SR-AMS; the box indicates the rotating part of sticky roll tape and attraction and attachment part of insect pests, B = the rotating part of sticky roll tape, C = Schematic diagram of attraction and attachment part, and D = Simulated traps for the attraction and attachment part. .... 13
- Fig. 4.** The relationships between mean and variance of thrips found on flowers. A = The relationships between the mean number of thrips per flower (x) and variance (y), and B = The relationships between the mean number of thrips per flower and the proportion of flowers infested with thrips. The observed data sets are based on combined data from three strawberry farms. .... 30
- Fig. 5.** The relationships between the mean number of thrips per sticky card and the proportion of flowers infested with thrips. A = Normal yellow sticky cards, and B = Non-contact sticky card. .... 32
- Fig. 6.** The relationships between the mean number of thrips per sticky card and the mean number of thrips per flower. A = Normal yellow sticky cards, and B =



Non-contact sticky card. .... 34

**Fig. 7.** A example for the decision-making system using yellow sticky traps for the control of thrips species in strawberry farms. A = Direct estimation module for the proportion of flowers infested with thrips, and B = Estimation module via thrips density per flower for the proportion of flowers infested with thrips. .... 38

## ABSTRACT

The purpose of this study was to find a method for the use of an automatic pest monitoring machine with a sticky-roll tape type for the purpose of automating pest monitoring in crop cultivation. First, the attraction characteristics of several pests to the yellow sticky trap (YST) were evaluated according to the installation angle. Second, we investigated the relationship between the pest density on sticky traps and plants to use in the control decision making by using the pests caught on YST. The first experiment was conducted to examine the attractiveness of YST for insect pests by the angle of inclination of the trap surface. In strawberry farms with high bed system, YSTs were installed to attract insect pests in vertical direction with one surface, horizontal direction with upper and lower surface, and angle of 45° with upper and lower sticky surface. Thrips and Sciaridae species were more attracted on upper surface of 45° angle trap, vertical surface and upper surface of horizontal trap than on lower surface of 45° angle trap or horizontal trap. Cicadellidae species were caught more on vertical surface and upper surface of 45° angle trap than on other traps. There were no specific trend in capture of aphid and white fly species among traps, probably because of a low density of the pest species.

Pest adhesive part of the automatic pest monitoring machine is composed of sticky-roll tape (SRT) and attraction plate (yellow color), which placed about 5 cm away from SRT. Using YST and simulated SRT, the numbers of thrips caught were compared in strawberry farms with high bed system, and the relationship between thrips density on sticky traps and actual strawberry plants was analysed. The thrips caught on YST was higher about twice than on SRT. For the two traps of YST and SRT, the parameters of nonlinear equations that describe the relationships of thrips density per flower vs. flowers infested with thrips, thrips caught on sticky trap vs. flowers infested with thrips, and thrips caught on sticky trap vs. thrips density per flower were estimated. Consequently, a decision making strategy for the control of thrips was suggested using the estimated parameters of nonlinear equations.

## I. 서론

정보통신기술(ICT)를 활용해 원격으로, 자동으로 시간과 노동력의 제약 없이 재배시설의 생태환경을 관측하고 최적의 상태로 관리하는 과학 기반의 농업방식인 '스마트팜(Smart Farm)'이 주목받고 있다. 이미 농업 선진국에서는 ICT기술을 원예와 축산, 유통 등 농축산업 전반에 걸쳐 적용, 경비절감, 생산성과 효율성을 크게 향상시키고 있다(MSI, 2018).

네덜란드는 척박한 토양과 부족한 인력 등을 이겨내기 위하여 첨단 농업기술을 개발하였으며, 이스라엘은 넓지 않은 경지면적과 농업용수의 부족 등을 극복하기 위하여 첨단 IT 기술을 개발 및 접목하여 작물의 생산 경쟁력을 확보하였다(NIA, 2013). 또한 일본의 경우에도 노령화로 인한 부족한 노동력을 대체하기 위하여 편리성 등에 초점을 맞춘 기술개발 및 작업 효율 향상 등의 실질적인 효과를 위해 IT 융합 기술의 활용을 적극적으로 추진하고 있다(Yeo et al., 2016).

우리나라에서 현재 사용되고 있는 예찰기기들은 수동으로 사람이 일정간격으로 방문하여 트랩을 교체하는 방식을 기본기술로 하고 있다. 앞선 해외사례들을 살펴보면 일부 작물에 대하여는 무인예찰 기술이 실용화단계에까지 이르렀으나 해충 예찰 기술에 있어서는 중형이나 대형 해충 위주에 그치고 있다. 향후 이들 기술의 활용을 위해서는 미소곤충까지 확인 가능한 국내 기술 개발이 요구되며 현재는 이에 따른 기초자료가 부족한 실정이다. 이에 기술 활용에 필요한 세부적인 데이터를 얻기 위하여 무인예찰기와 해충 유인기작이 유사한 황색점착트랩을 이용하여 실험을 진행하였다.

황색점착트랩(yellow sticky trap)은 재현성이 부족하고 변이가 크기는 하지만 사용법이 간단하고 편리하여 시설재배 작물에서 해충의 조사기술로 가장 널리 사용하고 있는 방법 중 하나이다(Reviewed in Pinto-Zevallos and Vanninen, 2013). 실제, 대상해충과 작물에서 최적 설치지점이 결정되는 경우 의사결정을 위한 표본조사법으로 유용하게 사용되고 있다(Ekbom and Rumei, 1990). 특히, 해당 작물이 표준 재배법에 따라 잘 관리되는 온실조건에서는 방제 의사결정에 적용할 수 있는 연구 결과가 산출되고 있다(Gillespie and Quiring, 1987; Yano, 1987; Kim et

al., 2001; Park et al., 2011).

시설에서도 재배식물에 따라 각기 다른 해충의 종류가 매우 많고 피해양상도 다양하여 효율적인 방제의사결정이 필요한 실정이다(Yang et al., 2017). 해충 방제의 필요 여부에 따라 시기, 목적 해충, 해충 밀도 수준이 어느 정도일 때 방제할 것인가를 결정하는 가이드라인으로 요방제수준은 해충관리체계에 있어 중요한 역할을 한다(Pedigo et al., 1986). 기존의 해충발생 정보를 실시간 수집하는데 노동력과 시간 소모가 커 해충 유입에 대한 해석 및 분석의 어려움이 있었다. 그러나 IT 기술을 적용한 무인화가 가능한 예찰기기들의 개발로 보다 손쉬운 방제의사결정에의 실마리가 제공되고 있다. 그리고 이들 무인예찰 기기를 통한 해충 예찰 정보의 해석과 효율적 방제전략 수립에는 무엇보다도 해충의 발생시기, 발생량과 연계한 기초자료의 수립이 시급하다.

본 연구에서 황색점착트랩의 해충유살특성을 구명하기 위하여 시설딸기에 발생하는 주요 해충에 대하여 트랩 설치각도에 따른 유살특성을 평가하였다. 또한 황색점착트랩에 유살된 해충의 정보를 활용하여 방제의사결정에 활용하고자 총채벌레류 해충을 사례로 트랩밀도와 식물체 발생과의 관계를 구명하였다.

## II. 연구사

### 1. 황색 점착트랩에 대한 연구

식물 및 곤충 연구관련 학자들은 대부분의 곤충들이 특정한 빛의 파장을 선호한다는 사실을 이용하여 모니터링 도구들과 전략을 개발하였다. 도구들 중 대표적으로 많이 사용되는 유색점착트랩의 이용이다(Reviewed in Pinto-Zevallos and Vanninen, 2013). 특히 황색점착트랩(YST)은 오랜 기간 동안 연구 대상이었으며, 가루이, 총채벌레, 잎굴파리, 물가파리, 버섯파리등 과 같은 시설작물 해충의 IPM 프로그램에 사용되었다(Steiner et al., 1999; Kaas, 2005; Park et al., 2011a). 황색점착트랩은 온실가루이 및 담배가루이의 발생과 확산 활동의 모니터링, 상대적 풍부도의 평가 및 조기 발견을 가능하게 한다(Gillespie and Quiring, 1992; Heinz et al., 1992; Naranjo et al., 1995). 또한 성충 집단의 억제를 생물학적 방제 또는 유치작물과 함께 감소시키는 잠재력을 가지고 있다(Yano, 1987a, Gu et al., 2008; Moreau, 2010; Moreau and Isman, 2011).

트랩을 이용한 예찰의 목표는 곤충의 현재 밀도를 파악하고 향후의 동향을 예측하여, 적절한 시기에 작물의 피해, 상품의 손실 유발을 통제 조치를 취할 수 있도록 하는 것이다. 해충 밀도는 작물에서 트랩에 포획되는 해충 수의 정보를 통해 간접적으로 예찰되며, 트랩에 유입되는 해충의 개체수, 실제 포장에 존재하는 해충의 개체수, 그에 따른 작물 수확량의 손실 사이에 관계를 규명하는 것은 올바른 방제의사 결정을 내리는데 중요하다(Kim, 2019).

황색점착트랩은 낮은 비용, 쉬운 사용법으로 농가에게 많은 이점이 있어 널리 사용되었음에도 불구하고 일부 작물의 해충 밀도 추정에 있어 일관성 없는 도구로 간주되어 현장 조건에서 의사결정 도구로써 적합하지 않았다(Palumbo et al., 1995; Naranjo et al., 1995, 2010). 그럼에도 불구하고 실내 가온에서는 가루이가 트랩에 유인된 성충 밀도를 참고하여 방제 의사결정이 결정되며(Kaas, 2005), 또한 EKBom과 Rumei (1990)에 따르면 황색점착트랩은 온실조건에서 대상해충과 작물에서 최적 설치지점이 결정되는 경우 가장 유효한 의사결정 도구가 될 수 있다.

광학트랩(visual trap)의 일종인 점착트랩의 해충에 대한 유인력을 평가하기 위하여 트랩의 크기, 형태, 색깔 등 다양한 연구가 수행된 바 있다. 즉 정사각형, 직사각형, 원통형, 리본형 등 황색점착트랩의 형태가 온실해충 유인력에 영향을 미치는 것으로 알려졌다(Byrne et al., 1986; Quiring, 1986; Kim et al., 2001; Kim and Lim, 2011; Idris et al., 2012). 또한 해충에 따라 황색 색조(hues)나 음영(shades)에 대한 선호도가 온실해충 유인에 영향을 미치기도 한다(Quiring, 1986). Kim and Lim (2011)은 검은색 바탕에 부착한 황색점착판의 기하학적 형태가 담배가루이 포획효율을 증가시켰다고 보고하였다. 기타 휘발성 유기성분이나 트랩의 방위, 온도조건 등 환경요인이 트랩의 유인력에 영향을 줄 수 있는 것으로 보고되고 있다(Górski, 2004; Biffi Urteaga, 2009; Saleh et al., 2010).

## 2. 무인자동예찰기기에 대한 연구

국내에 시판되고 있는 예찰도구의 시장규모는 시설채소에서 방제비용의 10~20%를 차지하는 것으로 보인다. 사용되고 있는 예찰도구의 연구개발 대상으로는 유색점착트랩, 유살등, 페로몬 트랩, 기타 단백질 트랩이 있다.

유색점착트랩은 온실 해충인 총채벌레류, 진딧물류, 가루이류, 과실파리류, 잎굴파리류, 흑파리류, 뿌리파리류 등에 적용되어지고 있다. 유살등은 나방류, 풍뎅이 방제를 위한 농업용 유아등 포집기, 대중 음식점소의 전기유살 유아등 등에 활용되어지고 있으며, 페로몬 트랩은 나방류 성페로몬 트랩, 노린재 집합페로몬에 사용되어지고 있고, 기타 단백질 유인제(먹이유인트랩)를 이용한 트랩(맥페일 트랩)이 검역해충 예찰용으로 사용되고 있다.

무인예찰을 위하여 페로몬 트랩에 감지센서를 장착하여 하고, 원격으로 포획량을 송신하는 시스템을 개발하여 멸강나방과 흑명나방 등 나방류에 대하여 적용한 바 있다. 기존 트랩들은 짧은 지속 기간과 효과 감소로 인해 이들을 교체하는 인적, 물적 비용이 소요되고, ICT기술을 접목하더라도 장기 예찰에 어려움이 있다.

몸 크기가 큰 나방류 해충에 대한 적용기술은 확립되어 있는 것으로 평가되었지만 아직 현장 활용은 지연되고 있다. 기타 페로몬 트랩과 카메라를 연계하여 이미지를 이용한 무인예찰이 시도되고 있으나 아직 실용화 단계에는 와 있지 못

하고 있다.

무인예찰이라 하더라도 주기적으로 방문하여 점착판 이나 유인 미끼를 교체해야 하는 단점이 있다. 또한, 기타 센서의 정밀도와 노이즈 처리 기술 및 이미지 처리기술의 한계가 무인화를 가로막고 있다.

국외 기술 수준을 살펴보면, 무인예찰의 원조인 유아등은 미국의 Hitosi(1929)가 특허를 출원한 바 있다. 이는 전 세계적으로 유아등을 이용한 해충 예찰의 기초가 되었다.

미국에서는 이미 90년 전후 페로몬 트랩에 적외선 센서 설치하고 계수기를 장착하여 해충발생을 자동으로 예찰하는 방법을 시도하였으며, 그 당시 무선통신 기술의 미발달로 실용화되지 못한 것으로 알려져 있다. 이러한 기술을 바탕으로 Garreton(1998)은 적외선 센서를 이용한 무인 예찰 기술을 특허 출원 하였다.

Potamitis et al.(2014)은 과실파리 무인예찰용으로 맥페일 트랩에 센서를 내장하여 과실파리의 비행 시 날개 빈도수를 감지하는 방안을 제시하였다.

스페인 Lopez et al.(2012)는 저전력영상센서를 활용한 해충트랩을 제안하였으며, 캐나다 Ding and Taylor(2016)는 페로몬 트랩 점착판에 포획된 나방류의 이미지를 분석하여 판정하는 기술을 제시하였다.

대만 국립대학교 Chuang and Jiang(2014) 페로몬 등 유인물질을 트랩에 내장하고, 트랩 입구에 센서를 부착하여 유입되는 곤충의 수를 인식하여 GIS 표출 및 DB에 저장관리는 네트워크 시스템을 개발하고 있다.

### Ⅲ. 재료 및 방법

#### 1. 설치각도에 따른 주요해충의 유살특성

##### 1-1. 트랩설치 농장

제주특별자치도 서귀포시 대정읍 소재의 하우스 고설(하이 베드)재배 딸기 농장 2곳에서 실험을 수행하였다. 조사 시기는 2018년 4월 28일 부터 2018년 5월 17일 까지 총 4차례에 걸쳐 7일 간격으로 조사하였다.

두 농가 모두 친환경 농가로서 실내가온(8℃ 이상 유지)을 실시하였다. 전년도 2017년 9월에 딸기 묘를 이식하였고(품종 : 설향), 수확은 2017년 12월 초부터 2018년 5월말까지 이루어 졌다. 조사포장의 하우스는 모두 연동하우스였으며, 시설형태는 1번 농가(0.4 ha)는 베드의 크기가 폭 20 × 높이 90 cm 이었 으며, 2번 농가(0.35 ha)도 같은 크기의 베드를 사용하였다. 한 동당 베드 4개를 배치하였으며, 딸기는 15 cm 간격 두 줄로 재배하였다.

##### 1-2. 트랩설치 및 딸기 발생 해충 조사

두 농가 모두 9동 중 중간 5동에 트랩을 배치하였다. 각 농가는 1동당 4베드로 구성되어 있으며 입구에서 안쪽에 위치한 두번째 베드에 1열씩 트랩을 배치하였다. 해충 조사는 트랩의 설치각도에 따라 해충의 유인수를 조사하기 위하여 수직(단면), 45도 아랫면, 45도 윗면, 수평 아랫면, 수평 윗면 등 총 5처리를 하였다(Fig. 1). 5개의 각도에 통로 측에서 가까운 순서로(바람이 잘 통하는 창가로부터 먼 순서로) 난괴법으로 5구역을 나누어 5반복으로 동당 5개씩 각 5 m 간격으로 설치하였다.

황색끈끈이판(150 × 250 mm; Greenagrotech, Korea)의 한쪽 면을 검정 포맥스(200 × 260 mm, 2T) 판에 부착하여 다른 한쪽 면만 사용하였다. 트랩의 설치대는 건축자재(PVC) (200 × 250 mm 판)와 분재용 철사로 각도 조절이 가능도록 제작하였다. 설치위치는 2줄 딸기 중앙에 설치하였고, 식물체 상단 30 cm 위에서 트랩 중심부가 위치하도록 사무용 집게를 이용하여 고정 하였다. 또한 각도가 기울어지지 않도록 스테인리스철사로 추가 하여 지지해주었다. 트랩은 7일 간격으

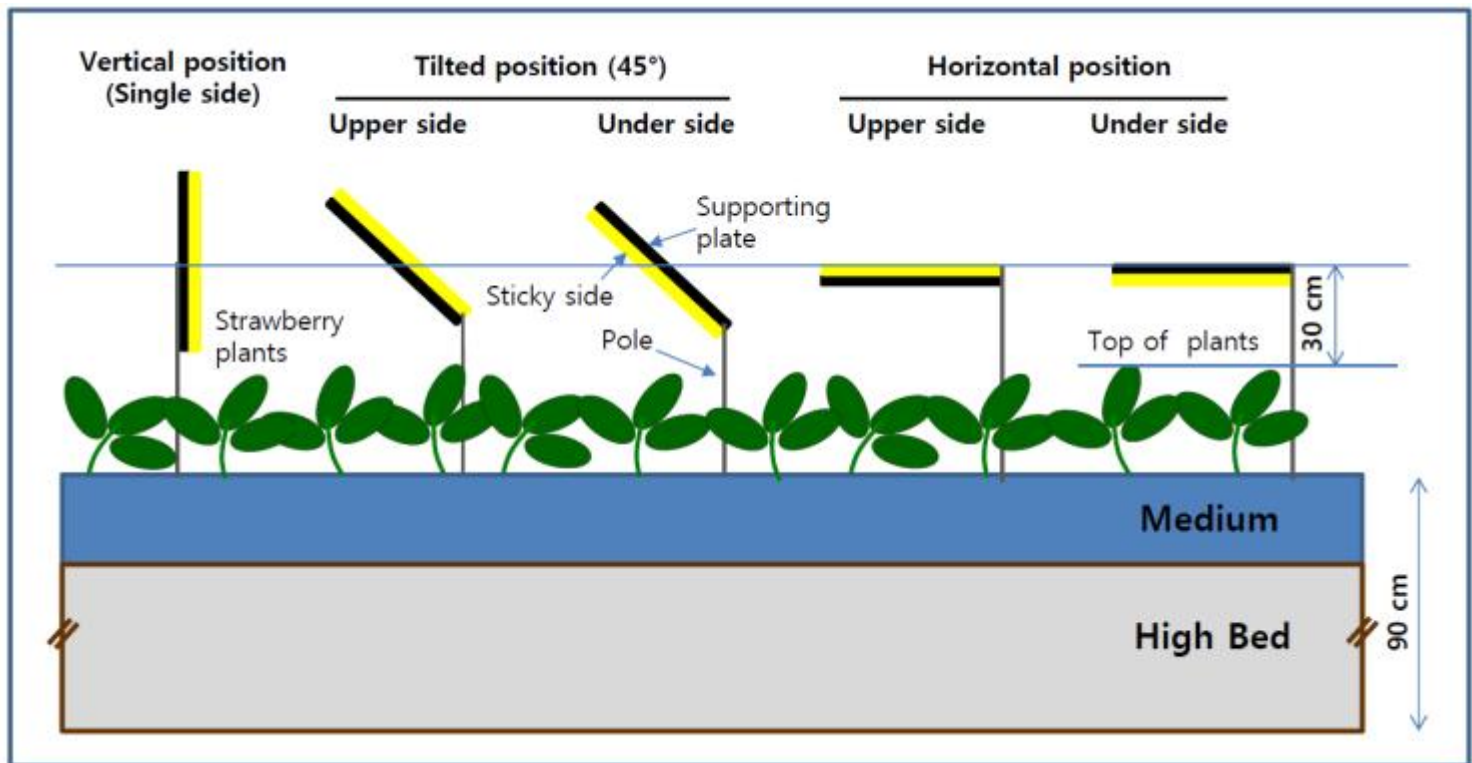


로 교체하였으며, 포맥스에 붙여진 황색끈끈이판이 서로 붙지 않도록 수거한 후 실험실에서 실체현미경(45x)하에서 발견된 해충을 기록하였다. 제주 딸기 해충 목록은 Yang et al. (2016)의 결과를 참조하여 포획량이 많은 총채벌레류(꽃노랑총채벌레 *Frankliniella occidentalis* 우점), 뿌리파리류(작은뿌리파리 *Bradysia agrestis* 우점), 애매미충류(괴테애매미충 *Empoasca vitis* 우점), 진딧물류(목화진딧물 *Aphis gossypii* 우점), 가루이류(딸기가루이 *Trialeurodes packardii* 우점)로 구분하여 조사하였다.

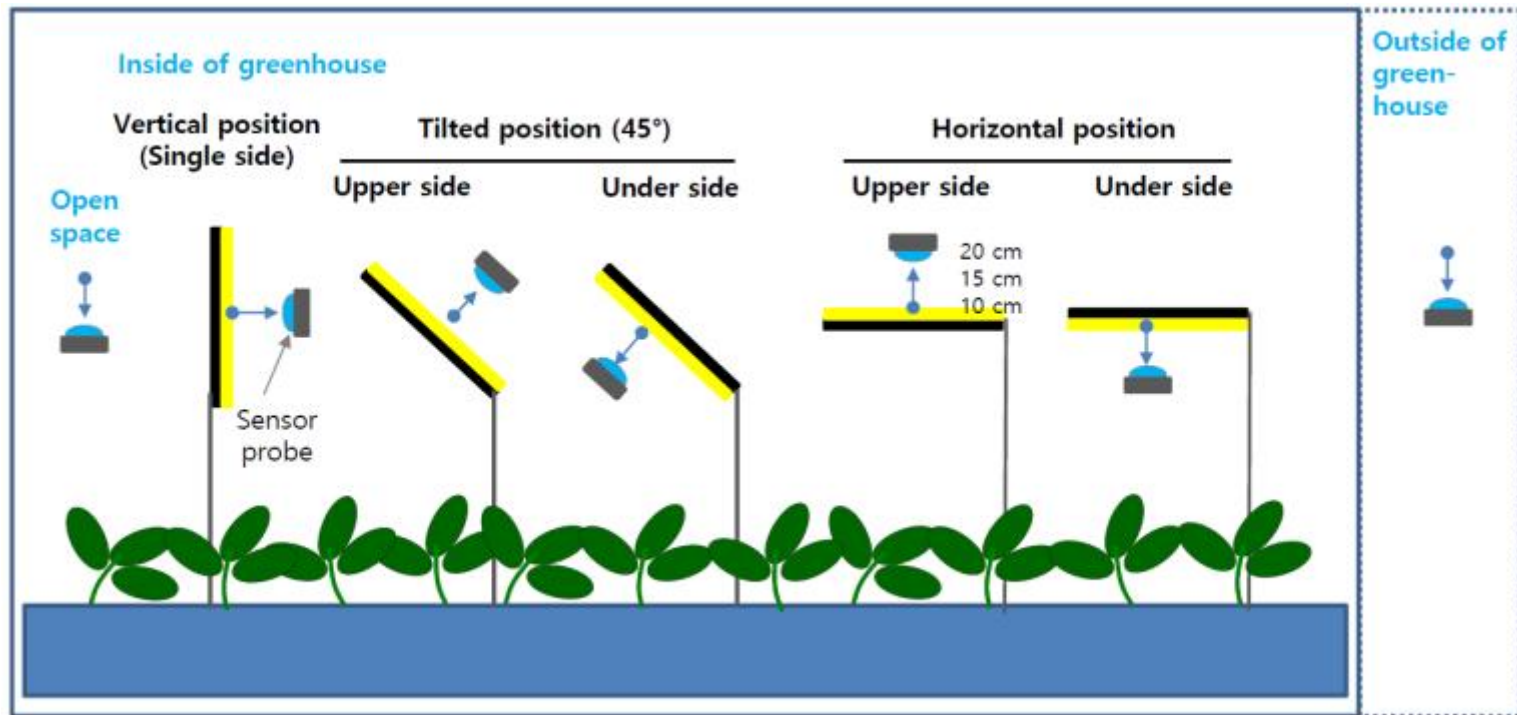
분석에 참고자료로 활용하기 위하여 각 각도별 트랩의 직각면 10, 15 및 20 cm 지점과 온실 내외부 개방공간에서 광도를 측정하여 비교하였다(Fig. 2).

### 1-3. 분석방법

트랩 각도에 따른 해충 유인수의 유의성 검정은 정규성 평가 후 난괴법을 적용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, Tukey's Studentized Range Test (HSD)를 이용하여 평균간 비교( $P = 0.05$ )를 실시하였다(SAS Institute, 1999).



**Fig. 1.** The diagram of trap installation method at different angles in a strawberry farm with high-bed system. Yellow sticky trap (YST) were in vertical direction with one surface, horizontal direction with upper and lower surface, and angle of 45° with upper and lower sticky surface.



**Fig. 2.** The intensity of illumination was measured at perpendicular line of 10, 15 and 20 cm apart from YST surface using a light meter (LI-250, Seial No. LMA-1169, USA). For the purpose of comparison (namely reference), the intensity of illumination was measured open space inside and outside of greenhouse. The measurements were repeated 10 times on 10 May, 2019 (14:00 – 17:00) in a strawberry farm.

## 2. 황색점착트랩 유살수와 포장 발생밀도와의 관계

### 2-1. 트랩설치 농장 및 조사 시기

제주특별자치도 서귀포시 대정읍 소재의 하우스 고설재배 딸기 농장 3곳에서 실험을 수행하였다. 조사 시기는 첫 번째 농가는 2019년 4월 9일 첫 조사를 시작하였으며, 일주일 간격으로 4월 16일부터 6월 11일까지 총 10번 조사하였다. 농가 2와 3번째는 2019년 4월 23일부터 6월 11일까지 7일 간격으로 총 8회 조사를 실시하였다.

실험을 실시한 농가 모두 친환경 재배 농가로써 연동하우스 형태이고, 고설재배 방식으로 재배하였다. 고설재배를 위하여 지상에 70~90cm 높이(농장 1은 70cm, 농장2와 3은 90cm), 넓이 27.5cm의 선반(철제앵글)을 설치하고, 그 위에 딸기 재배용 베드(벤치)를 설치하였다. 베드의 크기가 폭 20cm 높이 90cm 이었으며, 베드 당 딸기묘를 15cm 간격으로 두 줄로 식재하였다. 하우스 동 당 4개의 베드를 일렬로 배치하였다.

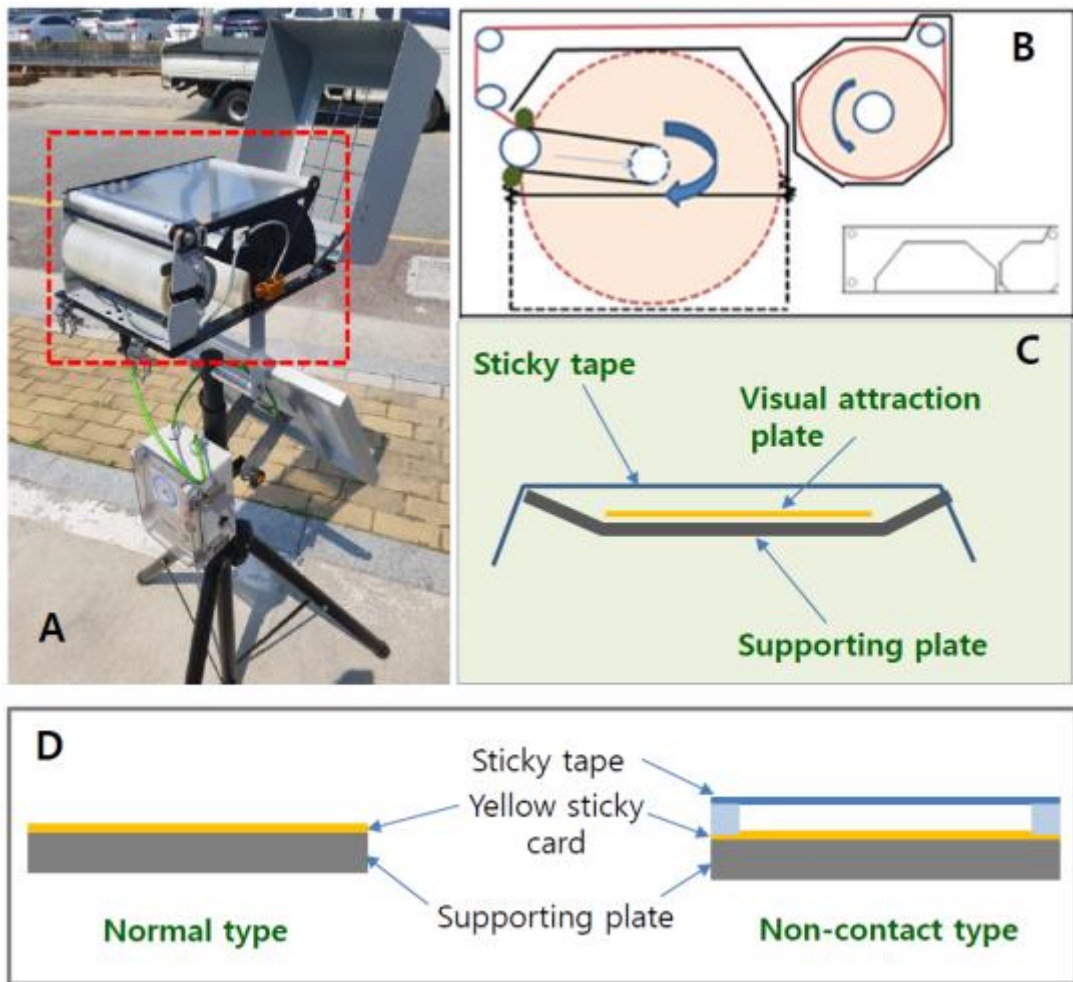
실험에 들어간 모든 농가는 모두 딸기 품종 설향을 재배하고 있었으며 이 품종은 대부분 축성재배 방법으로 재배된다. 베드에 상토를 충전한 후 3월 중·하순에 모주를 정식하여 신장줄기(런너, sunner) 및 자묘의 발생을 유도 후에 일정크기로 생장한 자묘를 모주로부터 분리하여 개별 식물체로 육성한 후, 9월 중순경 본 포장에 정식된 것이었다.

농장 1은 면적이 0.4ha로 2018년 9월 15일경에 딸기묘를 식재하였고 최저 8°C 가온하여 12월 중순부터 수확을 실시하였다. 딸기 수확이 종료 되는 시점인 5월 초에 토마토로 교체하여 재배하였다(토마토 줄을 매단 것이 5월말). 농장 2는 0.33ha로 2018년 9월 15일 경에 딸기묘를 식재하였다. 최저 8°C~10°C로 가온하여 12월 중순부터 수확을 시작하였다. 농장 3은 0.6ha 면적이며, 다른 농가와 다르게 상시로 영양번식을 하여 식재 하였다. 가온은 최저 8°C~10°C로 유지하며 수확은 12월 중순에 실시하였다.

## 2-2. 설치 트랩의 종류

본 실험은 현재 개발 중에 있는 롤트랩 자동예찰 장치(특허 출원 중)의 향후 활용을 목적으로 수행하였다. 이 자동예찰기의 해충 포획부위는 광학적으로 해충을 유인하는 황색유인판과 유인된 해충을 포획하는 점착테이프로 구성되어 있다. 점착테이프는 롤(roll) 형태로 감겨 있어서 일정시간 간격으로 회전시켜서 해충 포획(부착)부위를 교체할 수 있으므로 무인으로 장기간 야외사용이 가능하다. 유인판과 점착테이프와는 5~7mm의 간격이 있고, 회전할 때 점착테이프에 부착된 해충의 이미지를 스캔 촬영하여 저장하고 사용자에서 무선으로 보낼 수 있다.(Fig. 3)

실험의 목적을 위하여 자동예찰기의 해충 포획부만을 제작하여 사용하였다. 즉 황색 포맥스 판(20 x 26 cm, 2T)에 기존 시판되는 황색점착판(150 × 250 mm; Greenagrotech, Korea)을 붙여서 유인판(황색)의 역할을 대신하였다. 또한 포맥스 판 양쪽 가장자리에 5~7mm 높이의 받침을 세우고 이를 지지대로 하여 점착테이프를 팽팽하게 설치하였다. 결과적으로 자동예찰기와 같은 형태로 유인판과 5~7mm 이격된 포획부가 마련되었다(비접촉점착트랩). 점착테이프는 별도의 공정을 통하여 제작하였다. 또한 황색 포맥스판에 비접촉점착트랩과 동일한 크기로 기존 황색점착트랩을 붙여 사용하였다(기존트랩 = 접촉점착트랩). 이렇게 제작한 두 가지 형태의 황색점착트랩을 실험에 사용하였다.



**Fig. 3.** The Structure of automatic monitoring system of insect pests with sticky roll tape (SR-AMS). A = Overall appearance of SR-AMS; the box indicates the rotating part of sticky roll tape and attraction and attachment part of insect pests, B = the rotating part of sticky roll tape, C = Schematic diagram of attraction and attachment part, and D = Simulated traps for the attraction and attachment part.

### 2-3. 포장내 점착트랩의 설치

실험을 실시한 연동하우스는 동과 동 사이 기둥(철제 파이프)으로 구분되어 있었다. 따라서 하우스 기둥에 트랩을 수직으로 설치하고 점착면이 베드와 마주보는 형태로 직각을 유지 하도록 설치하였다. 농장 1에서는 딸기와 트랩 간의 간격이 약 50cm 이격되었고, 농장 2와 3은 딸기와 약 20cm 정도 이격되었다. 농장의 땅이 고르지 않아 철제파이프 높이 차이가 있어서 지지대의 높이를 고려하여 딸기 베드 높이에 설치되도록 조절하였다. 딸기 농장 당 각각 점착트랩 8개(기존트랩 및 비접촉점착트랩 각 4개)를 2m 간격으로 일정하게 이격하여 설치하였다.



#### 2-4. 조사 방법

두 가지 형태의 점착트랩으로 조사하고, 포장 발생정도와 관계를 구명하기 위하여 식물체에서 직접 밀도조사를 실시하였다. 밀도조사는 점착트랩 설치된 동 사이를 구분하는 기둥을 중심으로 구간의 2m 이내 있는 베드에서 수행하였다. 점착트랩의 경우는 수거하여 실험실에서 해부현미경(45x)을 이용 조사하였다.

한 베드 당 두 줄로 딸기가 재식되어 있었으므로 두 줄 중 무작위로 꽃, 잎, 타락법을 적용하여 조사하였다. 각 점착트랩 위치에서 꽃과 잎은 1주에서 5개씩 임의로 추출하여 총 5주에서 25개를 조사하였다. 타락법은 무작위 위치에서 5번 털어서 조사하였다.

유살된 총채벌레류는 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis* (Pergande))가 우점하였으며, 파총채벌레(*Thrips tabaci* Lindeman), 대만총채벌레(*Frankliniella intonsa* (Trybom)), 볼록총채벌레(*Scirotothrips dorsalis*) 등이 일부 포함되어 있었다.

#### 2-5. 분석 방법

점착트랩 유살량과 포장발생과의 관계를 구명하여 방제 의사결정에 활용하기 위하여 평균과 분산, 평균과 서식비율 관계를 분석하였다. 분석용 자료를 마련하기 위하여 각 농장별 수집 자료를 바탕으로 점착트랩의 유인수는 트랩 당 평균 유인수로 나타냈으며(즉 4개 트랩의 평균), 포장발생밀도는 꽃당 마리수(마리/꽃), 잎당 마리수(마리/잎), 타락법 1회당 마리수(마리/타락)으로 정리하였다.

총채벌레는 딸기 과실피해와 밀접히 연관되어 있고, 꽃의 발생밀도가 잠재적인 과실피해로 나타나기 때문에 꽃의 발생밀도를 이용하여 평균과 분산, 평균과 서식비율의 관계를 분석하였다.

평균과 분산의 관계는 Taylor의 지수법칙(power law)을 적용하였다(Taylor, 1961).

$$s^2 = a\bar{X}^b$$

여기서  $s^2$  = 분산,  $\bar{X}$  = 평균, a와 b는 추정해야하는 매개변수(모수)이다.

평균과 서식비율(총채벌레에 감염된 꽃의 비율)의 관계는 곤충개체군이 부의(=음수)이항분포를 보일 때 평균과 서식비율을 설명하는 다음 식을 이용하였다(Wilson and Room, 1983).



$$P(I) = 1 - \exp\left[-\bar{X} \log(a\bar{X}^{b-1}) / (a\bar{X}^{b-1} - 1)\right]$$

여기서 a, b는 Taylor의 지수법칙에서 추정된 매개변수 값이다.

자동예찰기의 결과를 직접 활용하기 위해서는 예찰기의 유인수와 포장발생과의 관계를 구명하는 것이 필요하다. 따라서 점착트랩의 평균밀도와 총채벌레류 꽃감염율(서식비율)과의 관계를 위 평균과 서식비율 관계식을 이용하여 경험적으로 추정하였다. 분석과정에서 농장1의 자료는 이상치가 출현하여 분석에서 제외하였다. 또한 트랩밀도와 꽃당 밀도와의 관계도  $y=ax^b$  식을 이용하여 추정하였다.

위 비선형식의 매개변수는 TableCurve2D 전문 소프트웨어를 이용하여 추정하였다(Jandel Scientific, 2002).

## IV. 결과

### 1. 설치각도에 따른 주요해충의 유살특성

#### 1-1. 총채벌레류

총채벌레류 유살량은 2번 농장보다 1번 농장에서 많은 경향 이었다(Table 1). 농장 1에서는 수확중기에 해당되는 4월 하순 (4월 28일)에 높은 유살량을 보이다가 수확이 종료되는 시기인 5월 중순에는 급격히 감소하여 낮게 유지되는 경향을 보였다.

그러나 농장 2에서는 조사기간 동안 큰 차이 없이 유살수가 유지되었다.

트랩설치 각도에 따른 총채벌레류 유살수는 농장 1 (4/28 :  $F = 5.22$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.0025$ , 5/3 :  $F = 5.77$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.0015$ , 5/10 :  $F = 6.43$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.0008$ , 5/17 :  $F = 2.86$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.0350$ )과

농장 2 (4/28 :  $F = 9.56$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P < 0.0001$ , 5/3 :  $F = 16.34$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P < 0.0001$ , 5/10 :  $F = 6.93$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.0005$ , 5/17 :  $F = 3.54$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.0151$ ) 모두 통계적으로 차이가 있었다. 트랩각도 45도 윗면, 수직, 수평 윗면은 45도 뒷면이나 수평 뒷면보다 많은 수가 유인되었다. 45도 윗면, 수직, 수평 윗면 간에는 통계적으로 유의성은 없었으나 농장 1에서 유인수는 45도 윗면, 수직, 수평 윗면 순으로 나타났으며, 농장 2에서는 수직, 45도 윗면, 수평 윗면 순으로 농장 1과는 순위가 달랐다.

#### 1-2. 뿌리파리류

트랩설치 각도에 따른 뿌리파리류 유살량은 변이가 매우 심하였다(Table 2). 농장 1에서 평균 유살량은 다른 트랩각도보다 수직트랩에서 높은 경향이었으나, 통계적 차이는 없었다(4/28 :  $F = 0.81$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.6039$ , 5/3 :  $F = 0.66$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.7204$ , 5/10 :  $F = 1.00$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.4726$ , 5/17 :  $F = 1.45$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.2487$ ). 그러나 농장 2의 경우는 5월 3일 조사를 제외하고 트랩각도에 따라 뿌리파리류 유살량에 통계적 차이가 있었다(4/28 :  $F = 0.71$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.6830$ , 5/10 :  $F = 1.00$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.4726$ ). 이 경우 수직, 45도 윗

면, 수평 윗면의 순으로 유살량이 45도 뒷면이나 수평 뒷면보다 유의하게 많았다.

### 1-3. 애매미충류

농장 2에서는 발생이 되지 않았으며 농장 1에서 조사기간 동안 지속적으로 발생하였다(Table 3). 수직, 45도 윗면 트랩에서 통계적으로 많은 수가 유살되었다(4/28 :  $F = 5.27$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.0024$ , 5/3 :  $F = 3.42$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.0174$ , 5/10 :  $F = 17.30$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P < 0.0001$ , 5/17 :  $F = 1.34$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.2923$ ). 전체적으로 45도 뒷면, 수평 윗면이나 뒷면은 적은 수가 유살되었다.

### 1-4. 진딧물류

두 농장 모두 진딧물류의 유살량은 많지 않았다. 전체적으로 45도 윗면과 수평 윗면의 유살량이 높은 경향이었으나 통계적 차이는 없었다(Table 4).

### 1-5. 가루이류

가루이류의 발생은 농장 1과 2 모두 매우 적었다. 트랩설치 각도에 따른 차이를 비교하기 어려우나 농장 1에서 모든 트랩에 유사하게 유살되는 경향이었다(Table 5).

### 1-6. 트랩 각도별 반사광도 측정

온실내부와 외부 개방공간에서 광도는 점착트랩 몇 수직거리 10, 15, 20cm 지점의 광도보다 매우 높았다. 거리 10cm에서 45도 수평트랩 윗면에서 광도가 유의하게 높았고, 수직트랩과 수평 뒷면 그리고 45도 뒷면으로 광도가 갈수록 낮았다. 트랩 면에서 거리를 떨어트려 15cm 거리에서는 45도와 수평트랩 윗면에서 여전히 광도가 높았고, 수직, 수평 뒷면 그리고 45도 뒷면은 상대적으로 낮았으나, 10cm의 광도에 비하여 훨씬 높아졌다. 트랩 면에서 거리를 더 떨어트려 20cm 거리에서는 수평 뒷면과 45도 뒷면 부분의 광도가 유의하게 높아지고 오히려 윗면의 광도가 낮은 경향을 나타냈다(Table 6).

**Table 1.** The attractiveness of yellow sticky trap for thrips species according to the installation angle of traps in strawberry farms

Date investigated	Vertical position (Single side)	Tilted position (45°)		Horizontal position	
		Upper side	Under side	Upper side	Under side
<b>Farm 1</b>					
2018-04-28	224.4 ± 46.09ab <sup>1</sup>	362.2 ± 64.66a	16.8 ± 6.81b	208.2 ± 83.80ab	9.8 ± 5.26b
2018-05-03	96.6 ± 19.22ab	145.8 ± 39.46a	13.4 ± 4.23c	56.4 ± 4.80bc	2.8 ± 0.80c
2018-05-10	38.2 ± 4.61ab	53.8 ± 13.71a	2.6 ± 0.40c	15.2 ± 3.02bc	0.2 ± 0.20c
2018-05-17	4.0 ± 1.70ab	22.4 ± 9.53a	0.0 ± 0.00b	5.0 ± 1.30ab	0.4 ± 0.24b
Sub-mean	90.8 ± 48.46	146.1 ± 76.70	8.2 ± 4.08	71.2 ± 47.00	3.3 ± 2.25
<b>Farm 2</b>					
2018-04-28	4.8 ± 0.80a	3.8 ± 0.37a	0.8 ± 0.37b	1.6 ± 0.40b	0.0 ± 0.00b
2018-05-03	4.2 ± 0.66a	3.0 ± 0.55a	0.8 ± 0.58b	0.8 ± 0.37b	0.0 ± 0.00b
2018-05-10	5.0 ± 1.26a	4.8 ± 0.97a	0.0 ± 0.00b	1.6 ± 0.60b	0.2 ± 0.20b
2018-05-17	4.6 ± 1.50a	2.8 ± 0.92ab	0.2 ± 0.20b	1.0 ± 0.32b	0.0 ± 0.00b
Sub-mean	4.7 ± 0.17	3.6 ± 0.45	0.5 ± 0.21	1.3 ± 0.21	0.1 ± 0.05

<sup>1</sup> Means with same letters in a row are not significantly different by Tukey test ( $P = 0.05$ ).

**Table 2.** The attractiveness of yellow sticky trap for Sciaridae species according to the installation angle of traps in strawberry farms

Date investigated	Vertical position (Single side)	Tilted position (45°)		Horizontal position	
		Upper side	Under side	Upper side	Under side
<b>Farm 1</b>					
2018-04-28	15.2 ± 7.73a <sup>1</sup>	3.0 ± 1.10a	3.0 ± 1.00a	2.4 ± 0.93a	2.6 ± 1.47a
2018-05-03	1.0 ± 0.45a	1.6 ± 0.40a	1.0 ± 0.32a	2.0 ± 0.55a	0.6 ± 0.24a
2018-05-10	12.0 ± 6.82a	7.6 ± 4.92a	1.4 ± 0.51a	1.8 ± 0.73a	0.8 ± 0.37a
2018-05-17	2.8 ± 1.16a	3.0 ± 0.71a	2.0 ± 0.63a	2.0 ± 0.32a	2.4 ± 0.81a
Sub-mean	7.75 ± 3.46	3.8 ± 1.30	1.9 ± 0.43	2.1 ± 0.13	1.6 ± 0.52
<b>Farm 2</b>					
2018-04-28	14.8 ± 3.54a	12.0 ± 2.55ab	2.6 ± 1.21bc	7.6 ± 2.06abc	0.4 ± 0.24c
2018-05-03	3.6 ± 0.93a	3.6 ± 0.93a	2 ± 1.26a	4.0 ± 1.52a	0.2 ± 0.20a
2018-05-10	11.2 ± 1.71a	10.4 ± 1.60a	2.8 ± 0.49b	8.0 ± 0.95a	0.2 ± 0.20b
2018-05-17	13.8 ± 1.96a	14.2 ± 2.03a	2.4 ± 0.93bc	9.2 ± 2.24ab	1.4 ± 0.51c
Sub-mean	10.9 ± 2.53	10.1 ± 2.30	2.5 ± 0.17	7.2 ± 1.10	0.6 ± 0.29

<sup>1</sup> Means with same letters in a row are not significantly different by Tukey test ( $P = 0.05$ ).

**Table 3.** The attractiveness of yellow sticky trap for Cicadellidae species according to the installation angle of traps in strawberry farms

Date investigated	Vertical position (Single side)	Tilted position (45°)		Horizontal position	
		Upper side	Under side	Upper side	Under side
<b>Farm 1</b>					
2018-04-28	16.2 ± 1.59a <sup>1</sup>	5.8 ± 2.96b	4.0 ± 1.87b	3.6 ± 1.75b	1.6 ± 1.17b
2018-05-03	11.0 ± 0.84a	6.2 ± 1.93ab	2.2 ± 0.80b	2.4 ± 1.91b	2.0 ± 1.14b
2018-05-10	27.2 ± 3.22a	10.4 ± 1.83b	2.2 ± 0.73bc	2.4 ± 0.75bc	2.0 ± 0.71c
2018-05-17	16.4 ± 9.84a	16.0 ± 5.65a	4.2 ± 1.53a	3.0 ± 1.58a	3.2 ± 0.92a
Sub-mean	17.7 ± 3.40	9.6 ± 2.37	3.2 ± 0.55	2.9 ± 0.29	2.2 ± 0.35
Farm 2, No available data					

<sup>1</sup> Means with same letters in a row are not significantly different by Tukey test ( $P = 0.05$ ).

**Table 4.** The attractiveness of yellow sticky trap for Aphid species according to the installation angle of traps in strawberry farms

Date investigated	Vertical position (Single side)	Tilted position (45°)		Horizontal position	
		Upper side	Under side	Upper side	Under side
<b>Farm 1</b>					
2018-04-28	0.6 ± 0.40a <sup>1</sup>	1.6 ± 1.17a	0.0 ± 0.00a	3.0 ± 1.55a	0.4 ± 0.24a
2018-05-03	0.0 ± 0.00a	2.4 ± 1.50a	0.2 ± 0.20a	0.8 ± 0.37a	0.2 ± 0.20a
2018-05-10	1.8 ± 0.92a	2.2 ± 0.66a	0.0 ± 0.00a	1.6 ± 0.51a	0.2 ± 0.20a
2018-05-17	0.2 ± 0.20a	2.8 ± 1.80a	0.0 ± 0.00a	1.6 ± 0.75a	0.2 ± 0.20a
Sub-mean	0.7 ± 0.40	2.3 ± 0.25	0.1 ± 0.05	1.8 ± 0.46	0.3 ± 0.46
<b>Farm 2</b>					
2018-04-28	0.2 ± 0.20a	0.0 ± 0.00a	0.0 ± 0.00a	0.4 ± 0.24a	0.0 ± 0.00a
2018-05-03	0.0 ± 0.00a	0.0 ± 0.00a	0.0 ± 0.00a	0.2 ± 0.20a	0.0 ± 0.00a
2018-05-10	0.4 ± 0.24a	1.0 ± 0.77a	0.0 ± 0.00a	0.6 ± 0.40a	0.2 ± 0.20a
2018-05-17	0.0 ± 0.00a	0.4 ± 0.24a	0.0 ± 0.00a	0.6 ± 0.40a	0.0 ± 0.00a
Sub-mean	0.2 ± 0.10	0.4 ± 0.24	0.0 ± 0.00	0.5 ± 0.10	0.1 ± 0.05

<sup>1</sup> Means with same letters in a row are not significantly different by Tukey test ( $P = 0.05$ ).

Farm 1 - 4/28 :  $F = 2.88$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.0343$ , 5/3 :  $F = 1.78$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.1560$ , 5/10 :  $F = 1.91$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.1280$ , 5/17 :  $F = 1.39$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.2717$ .

Farm 2 - 4/28 :  $F = 1.00$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.4726$ , 5/3 :  $F = 1.00$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.4726$ , 5/10 :  $F = 1.00$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.4726$ , 5/17 :  $F = 1.75$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.1621$ .

**Table 5.** The attractiveness of yellow sticky trap for white fly species according to the installation angle of traps in strawberry farms

Date investigated	Vertical position (Single side)	Tilted position (45°)		Horizontal position	
		Upper side	Under side	Upper side	Under side
<b>Farm 1</b>					
2018-04-28	0.8 ± 0.20a	0.6 ± 0.24a	0.2 ± 0.20a	1.2 ± 0.73a	0.4 ± 0.24a
2018-05-03	0.6 ± 0.24a	0.2 ± 0.20a	0.2 ± 0.20a	0.4 ± 0.24a	0.4 ± 0.40a
2018-05-10	0.0 ± 0.00a	0.4 ± 0.24a	0.4 ± 0.24a	0.4 ± 0.24a	0.2 ± 0.20a
2018-05-17	0.6 ± 0.24a	0.2 ± 0.20a	0.0 ± 0.00a	0.0 ± 0.00a	0.4 ± 0.24a
Sub-mean	0.5 ± 0.17	0.4 ± 0.10	0.2 ± 0.08	0.5 ± 0.25	0.4 ± 0.05
<b>Farm 2</b>					
2018-04-28	0.0 ± 0.00a	0.2 ± 0.20a	0.2 ± 0.20a	0.0 ± 0.00a	0.0 ± 0.00a
2018-05-03	0.0 ± 0.00a	0.0 ± 0.00a	0.0 ± 0.00a	0.0 ± 0.00a	0.0 ± 0.00a
2018-05-10	0.0 ± 0.00a	0.0 ± 0.00a	0.0 ± 0.00a	0.2 ± 0.20a	0.0 ± 0.00a
2018-05-17	0.0 ± 0.00a	0.0 ± 0.00a	0.0 ± 0.00a	0.0 ± 0.00a	0.0 ± 0.00a
Sub-mean	0.0 ± 0.00	0.1 ± 0.05	0.1 ± 0.05	0.1 ± 0.05	0.0 ± 0.00

<sup>1</sup> Means with same letters in a row are not significantly different by Tukey test ( $P = 0.05$ ).

Farm 1 - 4/28 :  $F = 0.81$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.6039$ , 5/3 :  $F = 0.66$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.7204$ , 5/10 :  $F = 1.00$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.4726$ , 5/17 :  $F = 1.45$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.2487$ .

Farm 2 - 4/28 :  $F = 0.71$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.6830$ , 5/10 :  $F = 1.00$ ;  $df = 8, 16$ ;  $P = 0.4726$ .



**Table 6.** The intensity of illumination measured at perpendicular line of 10, 15 and 20 cm apart from YST surface. For the purpose of comparison (namely reference), the intensity of illumination was measured open space inside and outside of greenhouse.

Trap position	Distance from trap surface (cm)		
	10	15	20
Vertical	596.3 ± 25.81b1	1,223.9 ± 34.06b	912.1 ± 17.80b
45° under	392.6 ± 54.38c	1,201.0 ± 70.61b	1,849.4 ± 52.43a
45° upper	1,236.1 ± 24.15a	2,203.7 ± 138.15a	722.2 ± 33.41bc
Horizontal under	438.2 ± 61.09b	1,014.8 ± 40.23b	1,786.3 ± 90.00a
Horizontal upper	1,155.8 ± 37.04a	2,307.5 ± 136.79a	573.2 ± 10.21c
Inside of greenhouse	10,975.0 ± 683.66		
Outside of greenhouse	18,800.1 ± 561.16		

<sup>1</sup>Means with same letters in a row are not significantly different by Tukey test ( $P = 0.05$ ): 10 cm ( $F = 87.09$ ;  $df = 4, 45$ ;  $P < 0.0001$ ), 15 cm ( $F = 41.36$ ;  $df = 4, 45$ ;  $P < 0.0001$ ) and 20 cm ( $F = 144.05$ ;  $df = 4, 45$ ;  $P < 0.0001$ ).

## 2. 황색점착트랩 유살수와 포장 발생밀도와의 관계

### 2-1 총채벌레의 발생밀도

기존점착트랩과 딸기에서 조사된 총채벌레의 발생밀도는 각 농장별 Table 6, Table 8, Table 10와 같았다. 전체적으로 점착트랩에서 발생정도가 높았으며 그 다음 타락법 조사에서 높았다. 반면, 꽃이나 잎에서는 발생밀도가 낮게 났으며, 잎에서는 발생밀도가 매우 낮았고 발견되지 않는 경우가 많았다.

비접촉트랩과 주변 딸기에서 조사된 총채벌레 발생밀도는 Table 7, Table 9, Table 11과 같았다. 기존점착트랩과 비교하여 다소 적은 수의 총채벌레가 비접촉점착트랩에 유살되었다. 꽃, 잎, 타락법의 발생정도는 기존점착트랩의 딸기에서와 유사한 경향이였다.

**Table 7.** Mean numbers of thrips species caught on yellow sticky cards (normal type<sup>a</sup>) and found on strawberry plants in farm 1, 2019

Date investigated	Thrips/card	Sampling method (No. thrips per each unit)		
		/Flower	/Leaf	/5 beatings
April 9	0.75	0.00	0.00	0.05
April 16	1.75	0.00	0.00	0.00
April 23	3.75	0.01	0.00	0.00
April 30	6.50	0.07	0.00	0.05
May 7	8.75	0.03	0.01	0.15
May 14	12.75	0.09	0.00	0.35
May 21	25.50	0.17	0.00	0.57
May 28	78.25	0.34	0.00	0.95
June 4	51.25	0.23	0.00	0.35
June 11	0.00	0.00	0.00	0.00

<sup>a</sup> This type means commercial yellow sticky cards (150 × 250 mm; Greenagrotech, Korea)

**Table 8.** Mean numbers of thrips species caught on yellow sticky cards (non-contact type<sup>a</sup>) and found on strawberry plants in farm 1, 2019

Date investigated	Thrips/card	Sampling method (No. thrips per each unit)		
		/Flower	/Leaf	/5 beatings
April 9	0.00	0.01	0.01	0.00
April 16	2.25	0.00	0.00	0.00
April 23	2.75	0.02	0.00	0.00
April 30	4.25	0.02	0.00	0.10
May 7	7.75	0.06	0.00	0.30
May 14	6.00	0.16	0.00	0.15
May 21	20.00	0.27	0.00	0.30
May 28	47.25	0.45	0.00	1.95
June 4	28.25	0.49	0.01	0.65
June 11	0.00	0.00	0.00	0.00

<sup>a</sup> Non-contact type means that sticky tape was away as a 5-7 mm from visual attraction plate.

**Table 9.** Mean numbers of thrips species caught on yellow sticky cards (normal type<sup>a</sup>) and found on strawberry plants in farm 2, 2019

Date investigated	Thrips/card	Sampling method (No. thrips per each unit)		
		/Flower	/Leaf	/5 beatings
April 9	0.00	0.00	0.00	0.00
April 16	0.00	0.00	0.00	0.00
April 23	0.00	0.00	0.00	0.00
April 30	0.50	0.01	0.00	0.00
May 7	1.50	0.01	0.00	0.10
May 14	5.75	0.07	0.00	0.10
May 21	4.50	0.32	0.00	0.05
May 28	15.75	0.70	0.04	1.10
June 4	41.00	1.09	0.04	2.30
June 11	72.00	4.79	0.02	8.40

<sup>a</sup> Contact type means that sticky tape was adhered to visual attraction plate

**Table 10.** Mean numbers of thrips species caught on yellow sticky cards (non-contact type<sup>a</sup>) and found on strawberry plants in farm 2, 2019

Date investigated	Thrips/card	Sampling method (No. thrips per each unit)		
		/Flower	/Leaf	/5 beatings
April 9	0.00	0.00	0.00	0.00
April 16	0.00	0.00	0.00	0.00
April 23	0.00	0.00	0.00	0.00
April 30	0.25	0.01	0.00	0.05
May 7	1.50	0.04	0.02	0.10
May 14	2.50	0.04	0.00	0.05
May 21	2.75	0.22	0.01	0.15
May 28	7.00	0.75	0.03	1.15
June 4	16.25	1.23	0.03	2.00
June 11	28.25	4.76	0.00	8.70

<sup>a</sup> Non-contact type means that sticky tape was away as a 5-7 mm from visual attraction plate.

**Table 11.** Mean numbers of thrips species caught on yellow sticky cards (normal type<sup>a</sup>) and found on strawberry plants in farm 3, 2019

Date investigated	Thrips/card	Sampling method (No. thrips per each unit)		
		/Flower	/Leaf	/5 beatings
April 9	0.00	0.00	0.00	0.00
April 16	0.00	0.00	0.00	0.00
April 23	0.00	0.00	0.00	0.00
April 30	0.00	0.00	0.00	0.00
May 7	0.00	0.00	0.00	0.00
May 14	0.50	0.01	0.00	0.00
May 21	0.50	0.00	0.00	0.00
May 28	2.50	0.04	0.00	0.15
June 4	5.50	0.41	0.00	0.40
June 11	0.00	0.00	0.00	0.00

<sup>a</sup> Contact type means that sticky tape was adhered to visual attraction plate

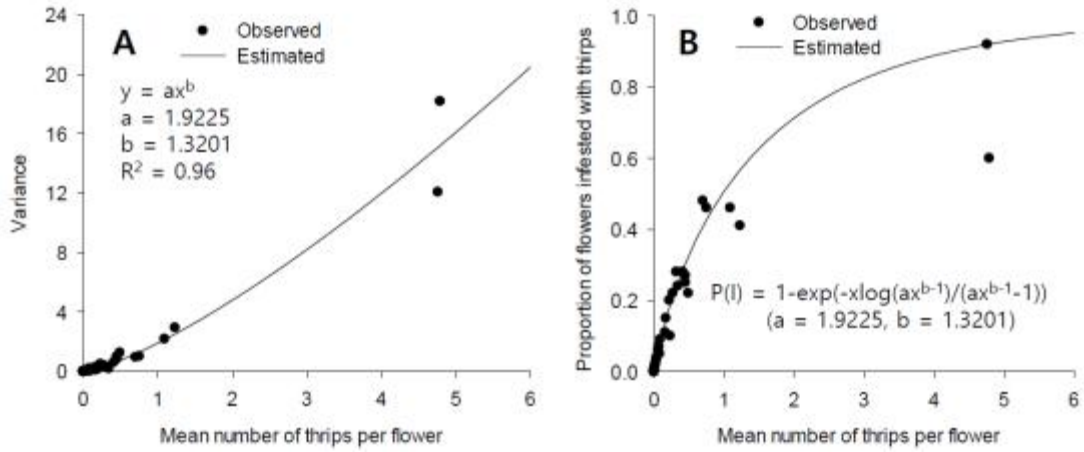
**Table 12.** Mean numbers of thrips species caught on yellow sticky cards (non-contact type<sup>a</sup>) and found on strawberry plants in farm 3, 2019

Date investigated	Thrips/card	Sampling method (No. thrips per each unit)		
		/Flower	/Leaf	/5 beatings
April 9	0.00	0.00	0.00	0.00
April 16	0.00	0.00	0.00	0.00
April 23	0.00	0.00	0.00	0.00
April 30	0.00	0.00	0.00	0.00
May 7	0.00	0.00	0.00	0.00
May 14	0.50	0.00	0.00	0.00
May 21	2.50	0.00	0.00	0.00
May 28	2.50	0.08	0.00	0.10
June 4	8.50	0.45	0.00	0.45
June 11	0.00	0.00	0.00	0.00

<sup>a</sup> Non-contact type means that sticky tape was away as a 5-7 mm from visual attraction plate.

## 2-2. 총채벌레의 꽃 당 평균밀도와 분산 및 서식비율과의 관계

꽃에서 총채벌레 꽃 당 밀도의 평균과 분산의 관계는 Fig. 4A와 같이 Taylor의 지수법칙(Taylor, 1961)에 잘 적합 되었다( $df = 45$ ,  $F = 826.82$ ,  $P < 0.001$ ). 추정된 매개변수 값은  $a = 1.9225 \pm 0.34366$ ,  $b = 1.3201 \pm 0.11613$ 로 추정되었다( $R^2 = 0.96$ ). 매개변수  $a$ 가 1보다 큰 값으로 총채벌레는 꽃에서 집중분포를 보인 것으로 나타났다. Taylor의 지수법칙에서 얻은 매개변수를 이용하여 총채벌레의 꽃 당 밀도에 따른 꽃 감염비율을 추정한 결과는 Fig. 4B과 같았다. 꽃에서 밀도의 증가에 따라 처음에는 감염비율이 급격히 증가하다가 밀도가 꽃 당 3마리 수준이 후에는 느리게 증가하였으며 평행하게 변화하였다.



**Fig. 4.** The relationships between mean and variance of thrips found on flowers. A = The relationships between the mean number of thrips per flower ( $x$ ) and variance ( $y$ ), and B = The relationships between the mean number of thrips per flower and the proportion of flowers infested with thrips. The observed data sets are based on combined data from three strawberry farms.

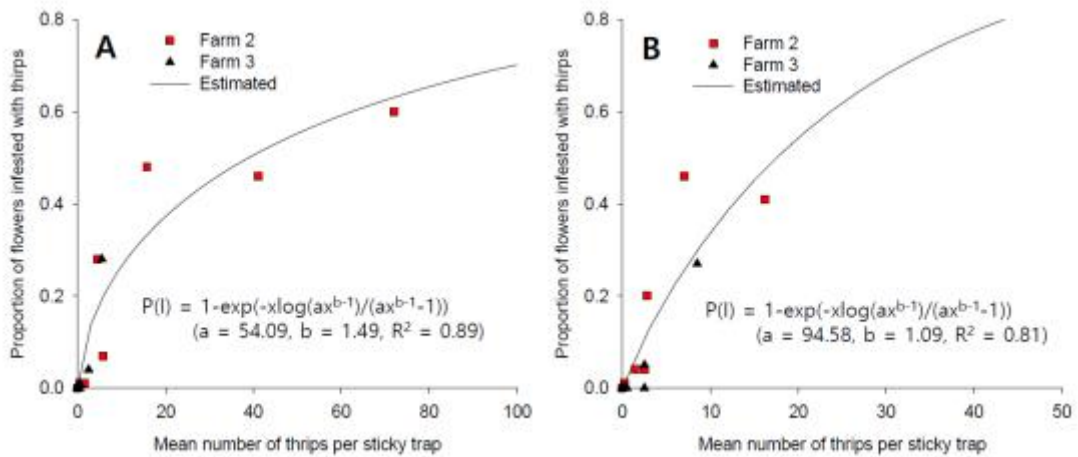
### 2-3. 총채벌레 유살수와 꽃 감염비율과의 관계

황색점착트랩 평균 총채벌레 유인수와 감염비율(꽃) 간 관계를 분석한 결과 Table 12과 같이 비선형식의 매개변수가 추정되었으며, Fig. 5와 같은 관계가 있었다. 기존점착트랩과 비접촉점착트랩 모두 결정계수가 0.80 이상으로 회귀식은 통계적으로 유의하였다(기존점착트랩 :  $df = 18$ ,  $F = 144.44$ ,  $P < 0.001$ ; 비접촉점착트랩 :  $df = 17$ ,  $F = 70.40$ ,  $P < 0.001$ ). 황색점착트랩의 유인수가 증가함에 따라 저밀도에서는 급격하게 총채벌레에 감염된 꽃의 비율이 증가하였으며, 높은 밀도에서는 감염비율의 증가율이 감소하였다.



**Table 13.** Estimated parameter of the nonlinear equation for the relationships between mean number of thrips per sticky card and proportion of flowers infested with thrips

Parameter	Normal yellow sticky card		Non-contact sticky card	
	Estimated	SE	Estimated	SE
a	54.09	19.494	94.58	50.049
b	1.49	0.106	1.09	0.233
R <sup>2</sup>	0.89		0.81	



**Fig. 5.** The relationships between the mean number of thrips per sticky card and the proportion of flowers infested with thrips. A = Normal yellow sticky cards, and B = Non-contact sticky card.

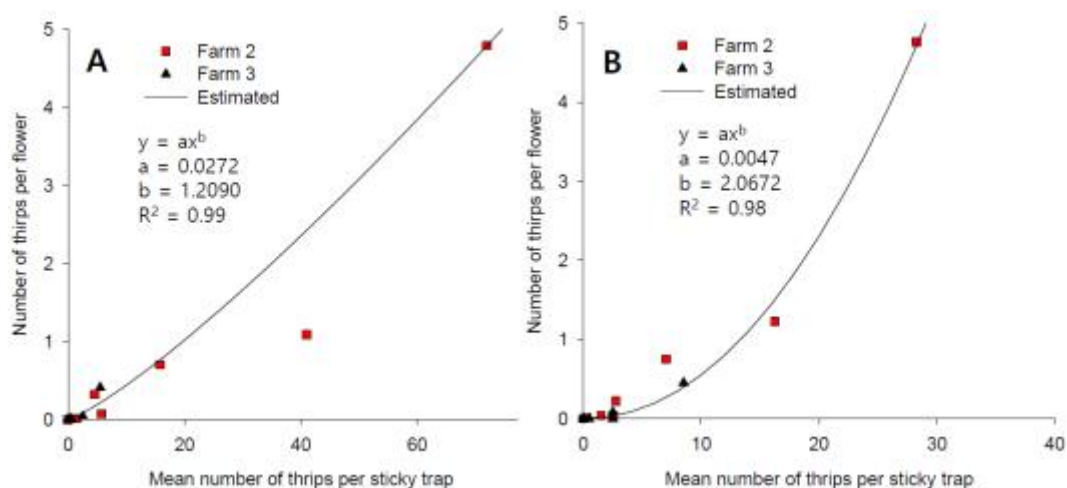
#### 2-4. 일반 황색점착트랩과 점착테이프의 꽃 당 밀도의 관계

황색점착트랩과 황색유인판 비접촉점착트랩의 각 꽃 당 밀도의 관계를 분석한 결과는 Fig. 6와 같이 비선형모형식( $y=ax^b$ )에 잘 적합 되었다. 비선형모형식의 매개변수 값은 Table 13과 같았다. 기존점착트랩과 비접촉점착트랩 모두 결정계수가 0.95 이상으로 회귀식은 통계적으로 유의 하였다(기존점착트랩 :  $df = 11$ ,  $F = 2430.7$ ,  $P < 0.001$ ; 비접촉점착트랩 :  $df = 11$ ,  $F = 628.7$ ,  $P < 0.001$ ).

두 트랩 모두 트랩밀도가 증가함에 따라 처음에는 꽃당밀도가 서서히 증가하나 바로 급격히 증가하는 지수함수적 관계를 보였다. 그림상으로 볼 때 기존점착트랩과 비교하여 비접촉점착트랩의 유살량은 약 50% 정도를 보였다. 즉 트랩유살밀도 20에서 기존트랩은 꽃당밀도가 1.0마리 정도이었으나, 비접촉점착트랩은 2.0마리에 대응되었다.

**Table 14.** Estimated parameters of the nonlinear equation for the relationships between mean number of thrips per sticky card and the mean number of thrips per flower

Parameter ( $y = ax^b$ )	Normal yellow sticky card		Non-contact sticky card	
	Estimated	SE	Estimated	SE
a	0.0272	0.00708	0.0047	0.00281
b	1.2090	0.06149	2.0672	0.18147
$R^2$	0.99		0.98	



**Fig. 6.** The relationships between the mean number of thrips per sticky card and the mean number of thrips per flower. A = Normal yellow sticky cards, and B = Non-contact sticky card.

## V. 고찰

### 1. 설치각도에 따른 주요해충의 유살특성

오이나 토마토에서 점착트랩(황색)의 설치는 작물 방향으로 점착 면이 평행하도록 하고 수직으로 설치하는 것이 일반화되어 있다(Gu et al., 2008; Zhang and Yu, 2009). 또한 작물 정상으로부터 15~30 cm 아래 부분에서 50 cm 또는 그 이하로 이격 하여 점착트랩을 설치한다(Webb et al., 1985; Qiu and Ren, 2006). 이러한 설치위치와 방향은 점착트랩 차체가 광학적 원리(즉 visual trap)로 해충을 유인하는 것이기 때문에 작물재배 구조에서 해충의 주요 발생부위와 트랩 사이에 장애요인을 최소화하고 시각을 최대한 활용하는 전략으로 해석할 수 있다 (Reviewed in Pinto-Zevallos and Vänninen, 2013).

딸기작물의 경우 오이나 토마토와는 식물체 재배구조 형태가 매우 상이하다. 즉, 구조적으로 딸기 엽상 위쪽에 점착트랩을 설치할 수밖에 없는 조건이다. 따라서 해충의 서식부위와 직선거리에 있는 수평트랩 뒷면(아랫면)이 식물체와 평행하고 시각적 장애가 없는 형태로 해충이 유인되기 가장 적합한 위치에 있다. 하지만 조사대상 해충류 모두 수평 뒷면의 유살수는 통계 적으로 유의하게 적은 양상을 보였다. 또한 수평 뒷면과 유사한 45도 뒷면도 적은 수의 해충이 유인되었다.

점착트랩에 영향을 미치는 요인은 트랩의 색깔, 크기, 위치 뿐만 아니라 온도, 광도, 바람 등 환경요인이 관여하는 것으로 알려져 있다. 온도는 비행활동(온실가루이)에 영향을 미치고 (Biffi Urteaga, 2009), 바람은 해충의 이륙과 비행행동에 영향을 주어서 트랩 효율에 영향을 미칠 수 있다(Byrne and von Bretzel, 1987; Riis and Nachman, 2006). 일반적으로 빛의 세기와 포획수와는 양의 상관관계가 있다(El-Helaly et al., 1981; Byrne and von Bretzel, 1987; Chu et al., 1998). 즉, 빛이 강할수록 유인력이 높은 것으로 알려져 있으나, 본 실험에서 측정한 각도별 광도는 유인수와는 차이가 있었다(Supp. Table 1). 식물체 등 주변에서 반사하는 광의 영향으로 트랩 직각면 10 cm에서 측정한 광도가 반사량을 제일 잘 대표한다고 가정할 때, 45 도 윗면, 수평 윗면의 광도가 월등히 높았고, 수직이나 45도

뒷면 및 수평 뒷면은 낮았다. 수직면에서 반사 광도는 낮으나 해충유인수가 많은 것은 유인해충의 행동적인 요소가 관여되어 있는 것으로 보인다. 기타 10, 15, 20 cm 거리에 따라 광도는 크게 변화하였는데, 향후 이와 관련하여 황색점착트랩에 어떠한 과정을 통하여 특정 해충이 유인되는지 기작연구가 필요해 보인다.

블루베리혹파리의 경우 지면에 수평으로 놓은 점착트랩에 효과적으로 유인되었는데(Kang, et al., 2012), 토양 번데기에서 우화하는 성충과 직접 접해 있기 때문으로 보인다. 트랩의 설치각도에 따른 파리류 유인실험에서 고자리파리 등 *Delia* 속 해충은 수평 윗면에 많이 유살되었고, 당근혹파리(가칭, *Psila rosae*)는 45도에 뒷면에 많이 유살되어 해충 종별 다른 반응을 보였다(Muirhead-Thompson, 1991). 점착트랩에 유살되는 해충반응을 해석하기 위해서는 앞으로 해충의 이륙과 착륙과 관련된 비행행동에 대한 이해가 필요할 것으로 보인다.

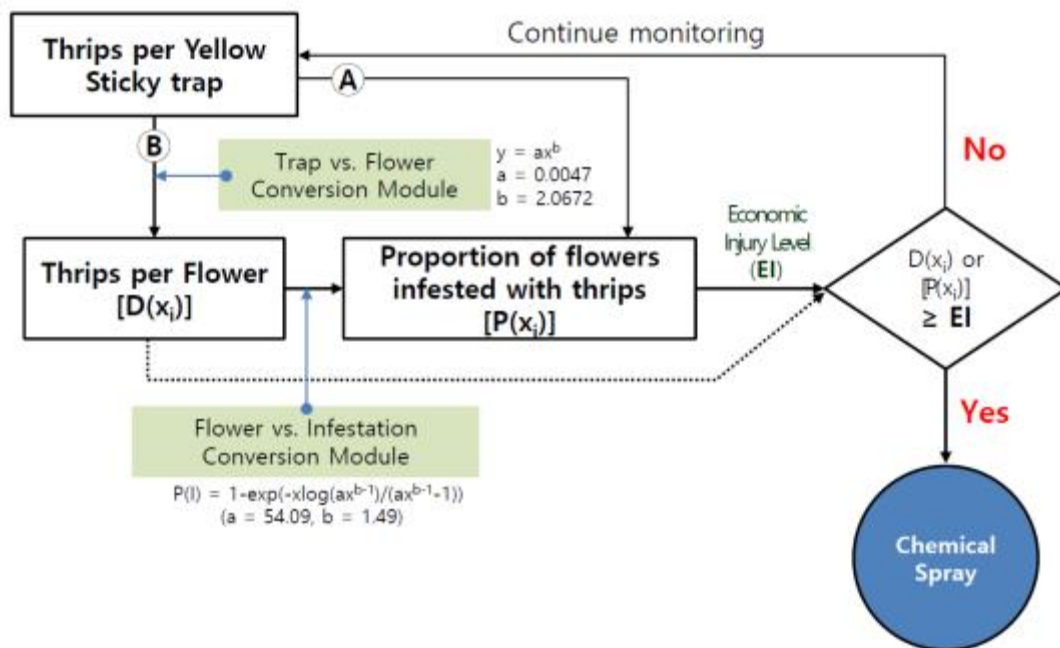
무인자동예찰기기는 트랩의 설치, 수거부터 포획 곤충의 분류, 분석까지의 공정을 모두 자동화하여 농업생태계의 예찰작업에 있어서 인력의 소모를 최소화하는 것을 목적으로 한다. 트랩을 이용한 예찰은 트랩의 포획효율이 100%가 아닌 이상 포장 내의 곤충 밀도를 그대로 반영할 수는 없었으나, 포획수와 실제 밀도는 서로 밀접한 상관관계를 지니고 있다. 이러한 트랩의 포획효율은 곤충의 종에 따라, 트랩의 종류에 따라, 기후 환경에 따라 다양하게 변할 수 있다. 따라서 무인예찰기기를 적용하려는 포장환경과 해충 종에 따라 포획수와 포장환경간의 관계가 구명될 필요가 있다.

본 연구의 결과 범위 내에서 판단하자면 총채벌레류, 뿌리파리류, 애매미충류에 대해서는 수직, 45도 윗면, 수평 윗면의 트랩 각도로 설치가 가능하다고 판단되며, 트랩 설치 각도를 변경시킬 수 있는 자동트랩(unpublished data)의 운영시 참고가 될 것이다. 그리고 기존 수직으로 설치하는 점착트랩은 가장 표준적인 방법으로 재확인된다.

## 2. 황색점착트랩 유살수와 포장 발생밀도와의 관계

본 조사결과에서 총채벌레의 꽃에서 분포는 집중분포를 하는 것으로 나타났으며 평균과 분산 관계에서 잘 설명되었다. 총채벌레 평균밀도와 감염비율 관계는 꽃을 조사하여 방제의사 결정을 하는 경우 표본조사법 개발에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 이번 실험에서는 점착트랩과 식물에서 발생밀도에 관심을 두었기 때문에 추가 분석을 생략하였다.

즉, 본 연구에서는 점착트랩에 유인된 총채벌레 수를 바탕으로 방제의사결정을 내리는데 관심이 있었으므로 점착트랩 포획수에 따른 총채벌레에 감염된 꽃의 비율을 별도 추정하였다(Fig. 5). 이 관계를 이용하면 점착트랩의 포획수를 조사하여 총채벌레에 감염된 꽃의 비율을 추정할 수 있다(Fig. 7A). 총채벌레에 감염된 꽃은 잠재적 피해과실이 될 수 있으므로 방제비용과 딸기의 경제적 가치에 따라 방제여부를 판단할 수 있을 것이다. 또한 점착트랩밀도를 꽃당밀도로 변환시키고(Fig. 6), 다시 꽃당밀도를 바탕으로 감염된 꽃의 비율을 추정(Fig. 4)하여 방제의사결정을 할 수 있을 것이다(Fig. 7B). 후자의 방식을 이용하는 경우 꽃당밀도를 추정하여 꽃에서 가해하는 총채벌레의 마리수를 추정할 수 있으므로 더 실질적으로 피해위험도를 감지할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 기존점착트랩과 비접촉점착트랩(무인자동예찰기)의 의사결정에 필요한 매개변수를 모두 제공하였으므로 향후 무인자동예찰기의 활용도 제고와 더불어 기존트랩과 비교함으로써 현장에서 활용도를 더욱 높일 수 있을 것이다.



**Fig. 7.** A example for the decision-making system using yellow sticky traps for the control of thrips species in strawberry farms. A = Direct estimation module for the proportion of flowers infested with thrips, and B = Estimation module via thrips density per flower for the proportion of flowers infested with thrips.

## VI. 적요

본 연구는 작물재배에서 해충예찰을 자동화하기 위하여 기존 황색점착트랩을 대체할 수 있는 점착테이프 형태의 자동예찰기에 대한 이용방법을 찾고자 수행되었다. 첫째, 황색점착트랩의 설치각도에 따른 몇 가지 해충의 유살특성을 평가하였다. 둘째, 황색점착트랩의 해충 유살량을 이용하여 방제의사결정에 활용하고자 총채벌레류 해충을 사례로 트랩밀도와 식물체 발생과의 관계를 구명하였다.

황색점착트랩의 설치각도에 따른 고설재배 딸기해충의 유인 특성을 구명하기 위해 수직, 수평 앞면 및 뒷면, 45도 앞면 및 뒷면 등으로 달리 설치하고 유인된 해충수를 조사하였다. 모든 트랩은 딸기 포기 정상부로부터 30cm 높이에 트랩의 중심이 오도록 설치하였다. 총채벌레류(*Frankliniella occidentalis* 우점)의 경우 45도 윗면, 수직, 수평 윗면은 45도 뒷면이나 수평 뒷면보다 많은 수가 유인되었다. 다른 각도의 트랩은 위치에 따른 경향성이 없었다. 뿌리파리류(*Bradysia agrestis* 우점)는 수직, 45도 위면, 수평 윗면 순으로 많은 유인수를 보였으며, 45도 뒷면과 수평 뒷면보다 유인수가 높았다. 애매미충류(*Empoasca vitis* 우점)는 수직 또는 45도 위면 트랩에서 통계적으로 많은 수가 유살 되었고 전체적으로 45도 뒷면, 수평 윗면이나 뒷면은 적은 수가 유살 되었다. 진딧물류(*Aphis gossypii* 우점)와 가루이류(*Trialeurodes packardii* 우점)는 발생밀도가 낮은 관계로 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다.

자동무인예찰기의 해충 점착부는 점착테이프와 그 아래 약 5mm 이격된 유인판(황색)으로 구성되어 있다. 기존 황색점착트랩과 별도 제작한 자동무인예찰기의 점착테이프 트랩을 이용하여 고설재배 딸기에서 총채벌레류 유살수를 비교하고, 트랩 유인량과 딸기에서 실제 발생밀도와 관계 분석하였다. 기존 황색점착트랩의 총채벌레 유살량은 점착테이프 보다 2배 정도 많았다. 기존 황색점착트랩과 점착테이프에 대하여 각각 총채벌레류 꽃당밀도와 꽃감염비율, 트랩밀도와 꽃감염비율, 트랩밀도와 꽃당밀도의 관계를 나타내는 비선형 회귀식의 매개변수를 추정하였다. 최종적으로 추정한 비선형식을 이용하여 총채벌레에 대한 방제의사결정에 활용방안에 대하여 제시하였다.



## VII. 인용문헌

- Biffi Urteaga, U.A., 2009. Development of an autonomous flying insect scouting system for green house environments. MS Thesis, Ohio State University.
- Byrne, D.N., Bretzel, P.K., 1987. Similarity in flight activity rhythms in coexisting species of Aleyrodidae, *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes abutilonea*. Entomologia Experimentalis. et Applicata. 43, 215-219.
- Byrne, D.N., Von Bretzel, P.K., Hoffman, C.J., 1986. Impact of trap design and placement when monitoring for the banded winged whitefly and the sweet potato whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae). Environ. Entomol. 15, 300-304.
- Chu, C.C., Henneberry, T.J., 1998. Arthropod management: development of a new whitefly trap. J. Cotton Sci. 2, 104-109.
- Chuang, C.L., Jiang, J.A., 2014. ICT-based remote agroecological monitoring system—a case study in Taiwan. Journal of Communication, Navigation, Sensing and Services. 1, 67-92.
- Ding, W.E., Taylor, G.R., 2016. Automatic moth detection from trap images for pest management. Computers and Electronics in Agriculture. 123, 17-28.
- Ekbom, B.S., Rumei, X., 1990. Sampling and spatial patterns of whiteflies, in: Gerling, D. (Ed.), Whiteflies: Their Bionomics, Pest Status and Management. Intercept Ltd. Hants, UK, pp.107-122.
- El-Helaly, M.S., Rawash, I.A., Ibrahim, E.G., 1981. Phototaxis of the adult whitefly, *Bemisia tabaci* Gennadius to the visible light. II. Effects of both light intensity and sex of the whitefly adults on the insect's response to different wavelengths of light spectrum. Acta. Phytopathol. Acad. Sci. Hung. 16, 389-398.
- Garretson, J.E., 1998. Automatic insect trap using infrared beam of radiation. No. 5,815,982. U.S. Patent.
- Gillespie, D.R., Quiring, D., 1987. Yellow sticky traps for detecting and monitoring greenhouse whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) adults on greenhouse tomato crop.

- J. Econ. Entomol. 80, 675-679.
- Gillespie, D.R., Quiring, D.J., 1992. Flight behavior of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae), in relation to yellow sticky traps. Can. Entomol. 124, 907-916.
- Górski, R., 2004. Effectiveness of natural essential oils in the monitoring of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood). Folia. Hortic. 16, 183-187.
- Gu, X., Bu, W., Xu, W., Bai, Y., Liu, B., Liu, T., 2008. Population suppression of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) using yellow sticky traps and *Eretmocerus* nr. *rajasthanicus* (Hymenoptera: Aphelinidae) on tomato plants in greenhouses. Insect Sci. 15, 263-270.
- Heinz, K.M., Parrella, M.P., Newman, J.P., 1992. Time-efficient use of yellow sticky traps in monitoring insect populations. J. Econ. Entomol. 85, 2263-2269.
- Hitosi, S.I., 1929. Automatic insect trap using lamps. No. 1,701,674. U.S. Patent.
- Hou, M.L., Lu, W., Wen, J., 2006a. Trap catches and control efficiency of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) adults in greenhouse by yellow sticky traps. Sci. Agric. Sin. 39, 1934-1939.
- Idris, A.B., Khalid, S.A.N., Roff, M.N.M., 2012. Effectiveness of sticky trap designs and colours in trapping alate whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae). Pertan. J. Trop. Agric. Sci. 35, 127-134.
- Jandel Scientific, 2002. TableCurve 2D. In: Automated Curve Fitting and Equation Discovery: Version 5.01. Jandel Scientific, San Rafael, CA.
- Kaas, J.P., 2005. Vertical distribution of thrips and whitefly in greenhouses and relative efficiency of commercially available sticky traps for population monitoring. Proc. Neth. Entomol. Soc. Meet. 16, 109-115.
- Kang, T.-J., Cho, M.-R., Ahn, S.-J., Kim, H.-H., Kim, S.-J., Lee, S.-C., Lee, H.-S., 2012. Monitoring and environment-friendly management of blueberry gall midge, *Dasineura oxycoccana* (Diptera: Cecidomyiidae), on Blueberry. Korean J. Org. Agric. 20, 607-618.

- Kim, G., 2019. The effects of non-target insect-blocking net on the capture of insect pests in yellow sticky traps. MS Thesis, University of jeju.
- Kim, J.K., Park, J.J., Park, H., Cho, K., 2001. Unbiased estimation of greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, mean density using yellow sticky trap in cherry tomato greenhouses. Entomol. Exp. Appl. 100, 235-243.
- Kim, S., Lim, U.T., 2011. Evaluation of a modified sticky card to attract *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) and a behavioural study on their visual response. Crop Prot. 30, 508-511.
- López, O., Rach, M., Migallon, H., Malumbres, M., Bonastre, A., Serrano, J., 2012. Monitoring pest insect traps by means of low-power image sensor technologies. Sensors, 12, 15801-15819.
- Ministry of Science and ICT(MSI), 2018. R&D, KIOSK, NO.53 Seoul, Korea, pp.1-6.
- Moreau, T., 2010. Manipulating whitefly behaviour using plant resistance, reduced-risk sprays, trap crops and yellow sticky traps for improved control for sweet pepper greenhouse crops. Ph.D, University of British Columbia.
- Moreau, T.L., Isman, M.B., 2011. Trapping whiteflies? A comparison of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) responses to trap crops and yellow sticky traps. Pest Manag. Sci. 67, 408-413.
- Muirhead-Thompson, R., 1991. Trap responses of flying insects: The influence of trap design on capture efficiency. Academic Press, 304pp.
- Naranjo, S.E., Flint, H.M., Henneberry, T.J., 1995. Comparative analysis of selected sampling methods for adult *Bemisia tabaci* (Homoptera, Aleyrodidae) in cotton. J. Econ. Entomol. 88, 1666-1678.
- Naranjo, S.E., Castle, S.J., Barro, P.J., Liu, S.S., 2010. Population dynamics, demography, dispersal and spread of *Bemisia tabaci*. In: Stansly, P.A., Naranjo, S.E. (Eds.), *Bemisia: Bionomics and Management of a Global Pest*. Springer Science, Dordrecht, pp.185-226.
- National Information Society Agency (NIA), 2014. Strategies of new ICT

- convergence of food, agriculture and forestry. Seoul, Korea, pp.1-34.
- Palumbo, J.C., Tonhasca, A., Byrne, D.N., 1995. Evaluation of three sampling methods for estimating adult sweet potato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) abundance on cantaloupes. *J. Econ. Entomol.* 88, 1393-1400.
- Park, J., Lee, J., Shin, K., Lee, S.E., Cho, K., 2011. Geostatistical analysis of the attractive distance of two different sizes of yellow sticky traps for greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae), in cherry tomato greenhouses. *Aust. J. Entomol.* 50, 144-151.
- Pedigo, L.P., Hutchins, S.H., Higley, L.G., 1986. Economic injury levels in theory and practice. *Ann. Rev. Entomol.* 31, 341-368.
- Pinto-Zevallos, D.M., Vänninen, I., 2013. Yellow sticky traps for decision-making in whitefly management: What has been achieved? *Crop Protec.* 47, 74-84.
- Potamitis, I., Rigakis, I., Fysarakis, K., 2014. The electronic McPhail trap. *Sensors.* 14, 22285-22299.
- Qiu, B.L., Ren, S.X., 2006. Using yellow sticky traps to inspect population dynamics of *Bemisia tabaci* and its parasitoids. *Chin. Bull. Entomol.* 43, 53-56.
- Quiring, D., 1986. Early detection, monitoring and control of greenhouse whiteflies on cucumber using yellow sticky traps and *encarsia formosa*. MS Thesis, Simon Fraser University.
- Riis, L., Nachman, G., 2006. Migration, trapping and local dynamics of whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae). *Agricultural and Forest Entomology.* 8, 233-241.
- Saleh, S.M.M., Al-Shareef, L.A.H., Al-Zahrany, R.A.A., 2010. Effect of geomagnetic field on whitefly *Bemisia tabaci*(Gennadius) flight to the cardinal and halfway directions and their attraction to different colors in Jeddah of Saudi Arabia. *Agric. Biol. J. North Am.* 1, 1349-1356.
- SAS Institute, 1999. SAS System for Window, Release 8.02. SAS Institute, Cary, NC.
- Shen, B.B., Ren, S.X., 2003. Yellow card traps and its effects on population of *Bemisia tabaci*. *J. South China Agric. Univ.* 24, 40-43.

- Steiner, M.Y., 1993. IPM practices in greenhouse poinsettia crops in Alberta, Canada. Bull. OILB/SROP 16, 133-134.
- Steiner, M., Spohr, L., Barchia, I., Goodwin, S., 1999. Rapid estimation of numbers of whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) and thrips (Thysanoptera: Thripidae) on sticky traps. Aust. J. Entomol. 38, 367-372.
- Taylor, L.R., 1961. Aggregation, variance and the mean. Nature 189, 732-735.
- Webb, R.E., Smith, F.F., Affeldt, H., Thimijnn, R.W., Dudley, R.F., Webb, H.F., 1985. Trapping greenhouse whitefly with colored surfaces: variables affecting efficacy. Crop Prot. 4, 381-393.
- Wilson, L.T., Room, R.M., 1983. Clumping patterns of fruit and arthropods in cotton with implications for binomial sampling. Environ. Entomol. 12, 50-54.
- Yang, C.J., Song, J.H., Yang, Y.T., Kim, H.J., Song, M.A., Jwa, C.S., 2017. Efficient occurrence monitoring by yellow sticky traps for major flying pests in strawberry greenhouses. Korean J. Appl. Entomol. 56, 309-314.
- Yang, C.J., Yang, Y.T., Song, M.A., Song, J.H., 2016. Pest biodiversity and their characteristic damage caused to greenhouse strawberries in Jeju. Korean J. Appl. Entomol. 55, 431-437.
- Yano, E., 1987a. Control of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Homoptera: Aleyrodidae) by the integrated use of yellow sticky traps and the parasite *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae). Appl. Entomol. Zool. 22, 159-165.
- Yano, E., 1987b. Quantitative monitoring techniques for the greenhouse whitefly. Bull. OILB/SROP. 10, 198-202.
- Yeo, U.H., Lee, I.B., Kwon, K.S., Ha, T., Park, S.J., Kim, R.W., Lee, S.Y., 2016. Analysis of research trend and core technologies based on ICT to materialize smart farm. Protected Horticulture and Plant Factory, 25, 30-41.
- Zhang, N., Yu, L., 2009. Impact and control efficiency of yellow trap to *Bemisia tabaci* adults on tomato in greenhouse. Hubei Agric. Sci. 48, 1884-1886.

## 감사의글

학부를 졸업하고 대학원을 진학하고자 교수님을 찾아 뵈던 지 엇그제 같은데 석사과정이 마무리를 맺는 것이 실감이 나지 않습니다. 쏠살같이 지나간 2년 동안 실험실 생활을 하며 방황하고 철이 없는 저를 따끔한 조언과 따뜻한 위로를 해주신 모든 분들께 감사의 마음을 표현하고자 합니다.

학부시절부터 석사과정까지 많은 가르침을 주신 지도교수님 김동순 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 학문적인 가르침뿐만 아니라 깨어 있는 삶의 자세를 숭수범으로 보여주셔서 많은 것을 배울 수 있었습니다. 앞으로 배우고 보여주시는 은혜와 지혜들을 잊지 않고 최선을 다하는 제자가 되도록 노력 하겠습니다.

학부생 시절부터 많은 가르침과 인자하게 웃어주시며 인사를 받아주신 전용철 교수님, 언제나 파이팅 넘친 응원과 관심을 가져주신 정용석 교수님, 아낌없는 조언과 꼼꼼한 검토를 해주신 덕분에 부족하지만 좋은 논문이 될 수 있었습니다. 진심으로 감사드립니다. 학생들의 눈높이로 열정적인 강의와 삶의 지혜를 가르쳐 주신 현해남 교수님, 학부생 시절부터 따뜻한 관심과 조언을 주신 김주성 교수님, 온화한 미소를 띠며 칭찬과 격려를 해주신 송창길 교수님께 깊은 감사의 마음을 드립니다.

실험실에 백지상태로 들어온 저를 선배로써 모범을 몸소 보여주시면서 따라올 수 있게 도와주신 수빈언니, 부족한 후배를 학문적 뿐만 아니라 부드러운 조언과 배려를 해주셔서 정말 감사의 마음을 드립니다. 앞장서서 굿은일 도맡아서 도와 주신 건이오빠, 부족함이 많은 선배를 항상 잘 도와준 진우, 희정이 에게 감사의 마음을 전합니다.

대학원에 들어와 삶의 방향성에 대한 진심어린 조언과 바쁘신 중에 늘 실험실에 많은 도움을 주신 신용균 선생님, 현승용 선생님, 태옥오빠 덕분에 논문이 나올 수 있었습니다. 진심으로 감사합니다. 학생연구원 시절부터 실험실의 귀감을 보여주신 권순화 박사님, 정훈오빠, 성오오빠, 경훈오빠, 명수, 곤충생태학 실험실의 가족으로서 후배에게 애정 어린 관심과 응원을 아낌없이 주신 장용석 박사님, 김용근 선생님, 하영삼 선생님, 최경산 박사님, 황록연 연구사님, 김종갑 연구사

님, 이수영 선생님, 양경식 선생님, 민동원 선생님, 김경범 선생님, 이영돈 선생님, 양진영 선생님, 강성혁 선생님께 감사의 말씀 올립니다. 바쁜 업무에도 불구하고 찾아 뵈실 때 마다 꼼꼼하게 챙겨주신 이종훈 선생님, 이희선 선생님께 감사드립니다.

2년 동안 동고동락하며 버팀이 되어준 용호에게 감사의 마음을 전합니다. 올림 있는 말 한마디로 큰 의지가 된 강해, 지원이, 승필이, 막다 언니, 경찰오빠에게 감사드립니다. 언제나 따뜻한 차 한 잔으로 응원과 위로를 해주신 고평열 박사님, 박원표 박사님께 감사의 말씀을 드립니다. 학부 시절부터 대학원 생활 동안 웃음과 힘을 보내준 은주, 지순언니, 재신오빠, 민아언니, 성문오빠, 동은오빠, 선미언니, 한희언니, 진영언니, 송희언니, 용하오빠, 강무용 선생님, 김태근 박사님, 이광주 선생님, 미래, 도희, 민아, 상휘, 형민이, 찬영이, 원정이, 민주, 승건이, 지영이, 현수 든든한 선후배님들 덕분에 무사히 마무리 지을 수 있었습니다. 정말 감사드립니다.

스쳐가는 인연으로 남을 수 있던 관계를 단단하게 잡아주신 의전원 김수영 교수님께 감사의 말씀을 올립니다. 항상 애정과 관심으로 지켜봐주신 이정희 선생님, 강원석 선생님, 어디서든 살뜰히 챙겨주는 지연이, 박가람 선생님, 송하나 언니께 감사의 마음을 드립니다.

저기압 일 때 고기 앞으로 란 글귀를 분기마다 실천해준 동아리 선배님 형준오빠, 소현이, 서현이, 승호 후배님들에게 감사의 말을 전합니다. 커피한잔과 행복 바이러스를 전해주시는 산학협력단 이인경 팀장님, 김경철 팀장님께도 감사드립니다.

논문 발표 때 누구 보다 먼저 와서 응원 해준 내 동기 진아, 난희, 대호, 송이, 황이, 지환이, 주영이, 예인이, 한나, 힘들 때 마다 많은 위로가 되어주던 미래, 하리, 주희, 연주, 한솔이 에게 감사의 마음을 전합니다. 짧은 인생에서 가장 힘들 때나 행복 할 때 옆에 있어준 나의 절친 예진이, 주연이, 미정이, 금영이, 지연이, 가현이 에게 이전에도 앞으로도 항상 감사의 마음을 전하고자 합니다.

마지막으로 언제 어디서든 저의 선택을 지지해주시는 사랑하는 어머니, 부족한 들쭉을 묵묵히 챙겨주는 오빠와 살뜰하게 응원해주는 동생 소연이 그리고 늘 보고 싶고 그리운 아버지께 사랑한다는 말과 감사의 마음을 전합니다.