

시설토마토에 발생하는 담배가루이 방제를 위한 허브식물의 유인효과

서미혜, 양창열, 신용습, 윤정범, 최병렬, 박정준^{1,*}

국립원예특작과학원 원예특작환경과, ¹경상대학교 식물 의학과, 농업생명과학연구원

Attracting effect of herbal plants for *Bemisia tabaci* control in a tomato greenhouse

Mi Hye Seo, Chang Yeol Yang, Yong Seub Shin, Jung Beom Yoon, Byeong Ryeol Choi and Jung-Joon Park^{1,*}

Horticultural and Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

¹Department of Plant Medicine, Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

*Corresponding author

Jung-Joon Park
Tel. 055-772-1928
E-mail. jungpark@gnu.ac.kr

Received: 23 November 2020

Revised: 3 December 2020

Revision accepted: 3 December 2020

Abstract: The problem of increased resistance to pesticides is caused by the management of *Bemisia tabaci*, which depends almost entirely on pesticides, and to solve this problem, we investigated the host preference of *B. tabaci* among herbal plants to develop a possible attractant for alternative control methods. Experiments were conducted in greenhouse tomatoes at the National Institute of Horticultural Science and Herbal Science in Wanju-gun. Major herbal plants such as lemon balm, chocolate mint, rose geranium, and apple geranium were installed 50 cm from the ground and 30 cm from the top of the tomatoes, then the density of *B. tabaci* was investigated. As a result of examining the density of *B. tabaci* by the location of the herbal plants, it was found that the lemon balm location showed the highest *B. tabaci* density while rose geranium and apple geranium were rather avoided. These results are expected to be helpful in the development of alternative *B. tabaci* control methods using herbal plants including attractants, repellents, and trap plants.

Keywords: *Bemisia tabaci*, greenhouse tomatoes, herbal plants, trap plants

서 론

담배가루이는 시설재배 채소류와 관상용 식물에 주로 피해를 주는 해충으로 500여 종의 기주식물이 알려져 있으며 세계적으로 발생되고 있다. 담배가루이는 흡즙에 의한 식물체 약화와 배설물인 감로로 인한 2차적 피해인 그

을음병 발생을 일으켜 대상 작물의 광합성 능력을 떨어트리며 상품성을 저하시킨다. 또한, 토마토황화잎말림바이러스(TYLTV; tomato yellow leaf curl virus)를 매개하여 간접적인 피해가 더 큰 해충이다(Byrne and Bellows 1991; RDA 2009).

담배가루이 방제는 조기발견 직후 화학적 방제가 가장

효과적인 것으로 알려져 있다. 다만, 담배가루이의 약충과 번데기는 주로 잎 뒷면에서 고정형태로 움직이지 않고, 성충은 크기가 작고 이동성이 좋아 밀도가 증가하기 전까지는 조기발견이 어려워 방제시기를 놓치기 쉽다. 조기 방제시기를 놓쳐 밀도가 증가하게 되면 담배가루이 전충태가 대상 포장 내에 혼재되므로 피해가 증가하게 되고, 다양한 약제에 대한 저항성 발달로 방제가 어려운 해충으로 보고되어 있다(Wardlow 1976; Byrne and Bellows 1991; Horowitz *et al.* 1994; Devine *et al.* 1999; Kim *et al.* 2000; Lee *et al.* 2014; Park *et al.* 2014; Choi *et al.* 2017). 국내에서 이러한 문제를 해결하기 위해 포식성 천적인 응애(Kim *et al.* 2008) 및 곤충병원성곰팡이(Park *et al.* 2013)를 이용한 환경친화적 방법인 생물적 방제기술이 시도되었다. 또한, 작물 품종별 섭식행동분석(Yang *et al.* 2009), 식물정유(Choi *et al.* 2004)를 이용한 친환경적 방제기술도 연구가 진행되고 있으나, 아직까지 화학적 방제가 주를 이루고 있다. 담배가루이의 살충제 저항성 문제를 해결하기 위해 유기합성농약 사용을 최소화하는 연구 중 해충을 유인하여 방제하는 트랩식물에 관한 연구는 국외에서는 이미 활발히 이루어지고 있으며 최근 들어 국내에서도 이루어지고 있다(Al-Musa 1982; Cohen *et al.* 1986; Al-Hitty *et al.* 1987; Landis *et al.* 2000; Choi *et al.* 2014; Choi *et al.* 2016; Lee *et al.* 2019). 트랩식물은 해충이 대상작물보다 선호하는 식물로 경제성 있는 작물을 공격하는 것을 교란시키거나 트랩식물로 유인하여 방제효율을 높일 수 있는 것으로 알려져 있다(Hokkanen 1991). Choi *et al.* (2015)는 담배가루이 성충이 토마토에 비해 가지를 더 선호하며, 가지를 성충의 트랩식물로 이용하여 침투이행성 살충제인 dinotefuran과 동시에 이용하여 담배가루이의 성충의 방제가 가능하다고 보고한 바 있다. 하지만, 일반적 온실에서 담배가루이는 온실가루이(*Trialeurodes vaporariorum*)와 혼재되어 있으며, 혼재된 상황에서는 가지의 유인력이 담배가루이에 크게 영향을 주지 못한다는 보고가 있다(Lee *et al.* 2009). 따라서 트랩식물로서 가지 이외의 다른 식물에 대한 연구가 요구되는 실정이다. Lee *et al.* (2019)는 토마토 온실에서 담배가루이 방제에 push-pull 전략을 사용하였는데, 이는 화학적방제를 제외한 식물정유, 유인트랩의 비교, 트랩식물로 메밀을 이용하는 종합적 친환경적 방제이며, 이를 통해 무방제에 비해 방제효율이 68.7% 증가했다고 하였다.

허브식물은 다른 식물에 비해 번식력이 강해 재배가 비교적 쉽고 주변에서 구하기 쉬운 식물이며, Spearmint 및

Wildmint와 같은 허브에서 추출한 식물정유를 이용한 친환경 방제에 관한 연구는 일부 이루어졌으나(Choi *et al.* 2004; Jeong *et al.* 2010), 허브 식물 자체를 트랩식물로 이용하기 위한 연구는 아직 미비한 실정이다(Choi 1990; Nauen *et al.* 2002).

본 연구는 담배가루이 방제 시 해충을 유인하여 방제에 도움이 되는 트랩식물로서 허브식물의 효용성을 알아보기 위해, 여러 허브식물의 담배가루이 유인효과를 시설토마토에서 실행하고 그 결과를 비교 분석하였다.

재료 및 방법

1. 시험곤충

실내실험과 시설하우스에 사용한 담배가루이는 충청남도농업기술원 농업환경연구과에서 분양받아 원예특작환경과 해충관리사육실에서 오이 유묘로 누대 사육하여 실험에 사용하였다. 실내 사육조건은 25~28°C, 광주기 16:8 (L : D), 상대습도 50~60%로 하였다. 실내실험에 사용된 곤충사육용 아크릴케이지의 규격은 80×50×50 cm를 사용하였으며 세 면에는 담배가루이가 빠져나가지 못하면서 공기가 통하도록 스테인레스 망을 설치하였으며 입구는 아크릴로 제작한 여닫이 형태로 고리를 이용하여 외부에서 잠글 수 있도록 하였다. 방울토마토(품종: 스마트사마)와 레몬밤, 초코민트, 애플제라늄, 로즈제라늄은 플라스틱 화분(Ø15×15 cm)에서 육묘하였고 초장은 15~20 cm로 동일하게 자란 유묘를 실험에 사용하였다.

2. 담배가루이 유인효과 실내실험

예비 실험으로 원예특작과학원 홍보관 온실에서 10종(스테비아, 클라리세이지, 애플제라늄, 초코민트, 페퍼민트, 레몬밤, 장미허브, 스피아민트, 로즈제라늄, 바질)의 허브식물을 이용하여 황색끈끈이트랩에 유인된 성충수를 조사하여 유인 효과가 우수한 허브식물 3종을 선발하였다(레몬밤, 초코민트, 로즈제라늄; unpublished data). 허브식물에 따른 담배가루이의 유인 효과를 조사하기 위해 기주식물인 토마토와 3종의 허브식물을 이용하여 유인력을 조사하였다. 케이지 내 조건은 실험을 하는 동안 온도 26.1°C, 습도 54%를 유지하였고, 아크릴케이지 벽 안쪽에 토마토가 심겨진 플라스틱 화분을 넣고 반대쪽에 토마토

와 초장 (15~20 cm)이 동일한 각 허브식물이 담긴 화분을 넣었다. 케이지 중앙에 50 mL 삼각플라스크 (Conical Flask Class A4980; Borosil, India)에 30 mL의 증류수를 넣고 성충이 되기 직전 번데기 상태의 담배가루이가 있는 잎을 꽃아 플라스크의 입구를 파라필름 (Parafilm M PM-996, 폭 10 cm × 길이 38 cm)으로 감싼 뒤 물이 마르지 않도록 하였다. 담배가루이의 번데기는 실체현미경 (SteREO Discovery V8; Carl Zeiss, Germany)을 이용하여 100마리를 확인 후 나머지 번데기는 제거한 뒤 케이지에 넣어 주고 우화되어 나온 담배가루이가 움직이는 것을 확인하였다. 담배가루이 번데기가 모두 성충이 된 후 산란된 알이 최초로 번데기가 되는 시점인 10일째부터 한 달간 매일 번데기 수를 확인하였다. 본 과정은 3종의 허브식물을 바꾸어 가며 실험을 진행하였다.

3. 담배가루이 유인효과 실외검정

허브식물 (레몬밤, 초코민트, 애플제라늄, 로즈제라늄)의 담배가루이 유인 효과를 조사하기 위해 정식 전 20일 동안 토양소독을 하고, 국립원예특작과학원 시설하우스 (길이 40 m × 폭 7 m)에 25일 된 토마토 유묘를 재식거리 50 cm 간격으로 250주를 정식 (2020년 4월 21일)한 후 9월 29일까지 조사하였다. 재배기간 동안 시설 외부에서 유입되는 진딧물의 증가로 5월 하순에 진딧물 약제를 1회 살포하고, 흰가루병 발생으로 살균제를 2회 살포하였다. 정식 1개월 후 사육한 담배가루이 성충 500마리를 에어필터식 흡충관 (SL13014; Shinill Science, Korea)을 이용하여 포획한 뒤 흡입병 (Ø26 × H67 mm)에 담아 상단부 250마리, 하단부 250마리를 방사하였다. 하단부는 흡입병을 바닥에 두었고 상단부는 지주대에 매달아 성충이 자연스럽게 빠져나가 정착할 수 있도록 하였다. 방사 2주 뒤, 허브식물을 상단부와 하단부로 나누어 설치하였다 (Fig. 2). 상단부는 토마토 작물의 끝으로부터 30 cm 위 지점에 고리를 이용하여 매달았고 (Fig. 2B) 하단부는 과일 수확 상자 (525 × 365 × 320 mm)를 세워 지면으로부터 50 cm 지점에 설치하였다 (Fig. 2A). 8 m 간격으로 각 2개의 화분을 순서대로 레몬밤, 초코민트, 애플제라늄, 로즈제라늄이 심겨진 화분을 두고 5일 간격으로 8회 조사하였으며 조사 시마다 식물체를 한 칸씩 이동하여 위치를 변경하였다.

담배가루이의 성충은 80 mesh 망을 각 허브 식물에 씌워 성충이 빠져나가지 못하도록 한 다음 생충수를 조사하

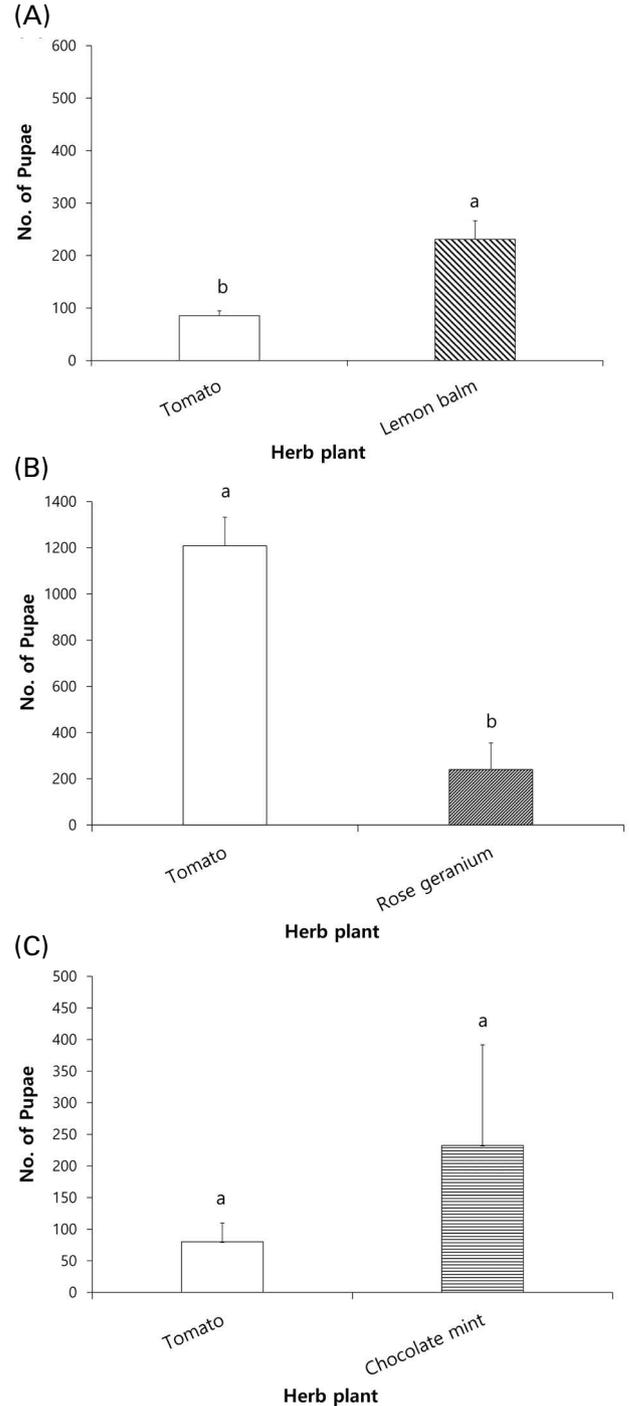


Fig. 1. Comparing the attracting effect of three herbal plants (A) lemon balm, (B) rose geranium, and (C) chocolate mint on *Bemisia tabaci* in nursery tomatoes. Different letters indicate significant differences (*t*-test, $P < 0.05$).

였고 알과 번데기는 토마토와 허브 식물의 잎의 크기와 위치가 동일한 지점에서 무작위로 3엽을 채취하여 그 밀도

를 관찰하였다. 알의 경우 채취한 알은 실험실로 가져와 현미경 검경($\times 100$)을 통해 확인하였다.

4. 통계분석

케이지에서 토마토와 각 허브식물 간 담배가루이 유인력 차이는 Student's t-tests로 유인된 담배가루이 평균 밀도를 비교하였으며, 허브식물의 설치 위치에 따른 담배가루이 생육단계별 발생 밀도는 분산분석(Analysis of variance)을 이용하여 비교하였으며, 유의한 차이를 보이는 경우 ($P < 0.05$), Tukey's HSD procedure를 사용하여 분석하였다 (SAS Institute 2018).

결과 및 고찰

1. 담배가루이 유인 효과 실내실험

가루이류 성충은 이동성이 있어, 외부의 작은 충격에 동시에 비산하는 특징을 가진다. 또한 알에서 깨어난 유충의 경우 일부 이동성을 가지게 되고 곧 잎 뒷면에서 고정태로 번데기까지 성장하므로, 유인력 비교를 위한 밀도조사는 성충이 어디에 산란을 많이 하는지를 기준으로 보아야 하며, 식물체 내 밀도조사는 육안조사가 용이한 번데기를 기준으로 판단함이 마땅하다 (Byrne and Bellows 1991). 따라서 실내실험의 결과는 사육실의 케이지 내에서 각 식물별 담배가루이 번데기 밀도로 비교하였다. 토마토와 허

브 식물을 이용하여 담배가루이의 번데기 수를 조사한 결과 토마토와 레몬밤의 경우 레몬밤에서 유인수가 높게 나타났다 ($T = 8.98, df = 3, P = 0.0122$; Fig. 1). 반면, 토마토와 로즈제라늄을 비교한 경우 오히려 토마토에서 담배가루이가 약 6배 높게 발생하였다 ($T = -25.03, df = 3, P = 0.0016$). 토마토와 초코민트는 초코민트에서 유인수가 다소 높았으나, 통계적 유의성이 없었다 ($T = 1.33, df = 3, P = 0.3142$). 실내실험에서 담배가루이는 유인식물의 가장 어린잎에 많이 분포하고 있으며, 유인식물로서 레몬밤이 토마토에 비해 효과적으로 유인되고, 로즈제라늄은 기피되는 것을 확인하였다. 레몬밤은 Citronellal, Geraniol, neral이 주요 구성성분으로 알려져 있으며 (Chae *et al.* 2014), 그중, Geraniol은 곤충을 유인하거나 다른식물의 생장을 방해하는 물질로 알려진 Terpene의 일종이다 (Martina *et al.* 2015). 이를 통해 레몬밤의 Geraniol 성분이 해충 유인 활성물질로 작용할 것이라 생각된다. 에센셜 오일성분의 일부는 해충의 특정 부위 (Kostyukovsky *et al.* 2002; Priestley *et al.* 2003; Isman 2008)에만 작용하여 해충 저항성을 감소시킬 수 있다 (Chae *et al.* 2011; Kim *et al.* 2011b)는 연구도 보고된 바 있어, 앞으로 본 실험에서 좋은 유인력을 보인 허브식물 유래 휘발성물질을 이용한 친환경 해충 방제 연구가 이루어질 것으로 생각된다.

2. 담배가루이 유인효과 실외검정

실내실험에서의 결과가 포장에서 동일하게 나타나는지

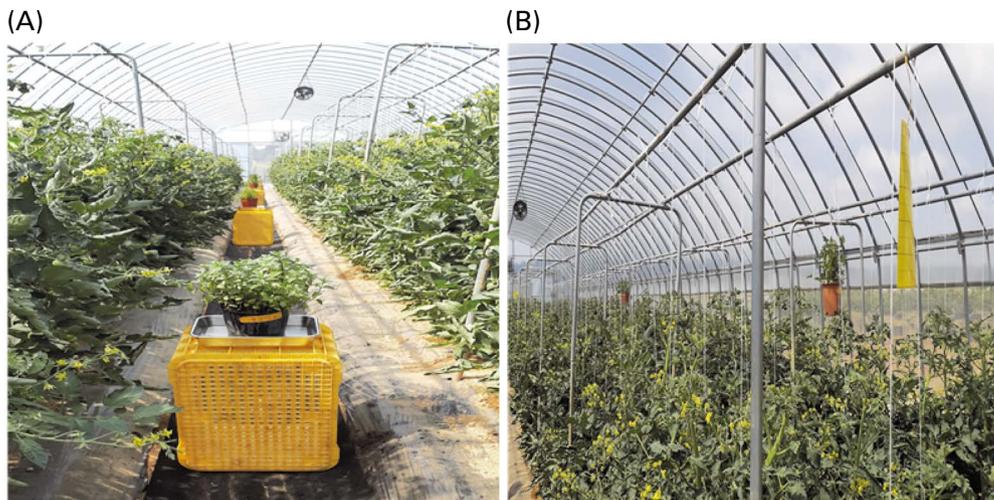


Fig. 2. Location of herb plants in the greenhouse. (A) Bottom (placed 50 cm above the ground) and (B) herb plants installed on the top (30 cm at the top of the crop).

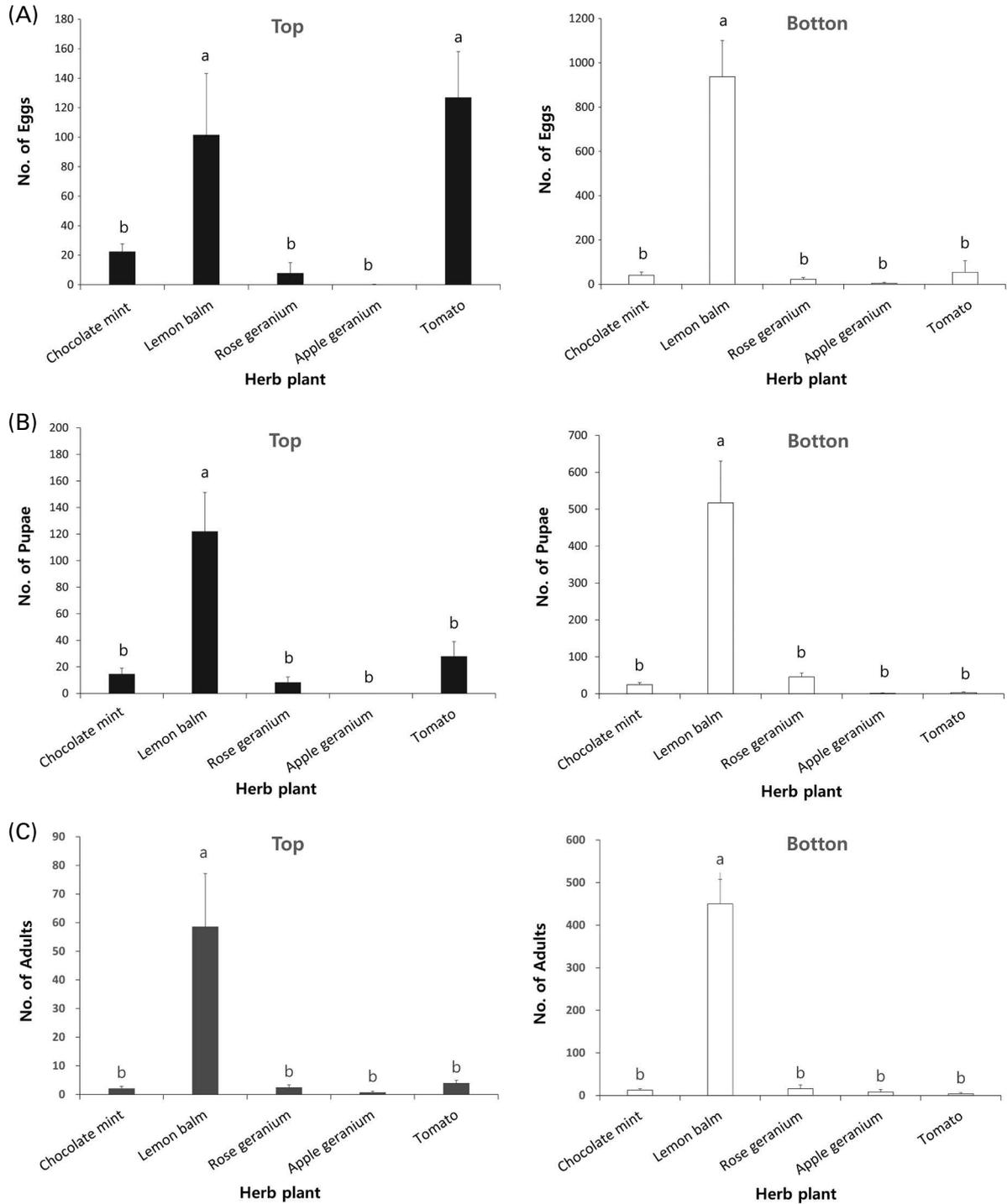


Fig. 3. Comparing the attraction of *Bemisia tabaci* to herb plants installed at two different heights near tomato plants. Herb plants were installed on the top and bottom. (A) The number of eggs, (B) number of pupae, and (C) number of adults. Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

확인해 보기 위해 토마토가 재배되는 시설하우스에 허브 식물을 두고 관찰하였다. 하우스 내에서는 기주식물인 토

마토가 성장하면서 작물체의 상단부와 하단부의 높이에 차이가 생기므로 상단부와 하단부로 나누어 설치하였다

(Fig. 2). 그 결과 식물체 잎 뒷면에 있는 담배가루이의 알의 수는 상단부의 경우 레몬밤에 비해 토마토에서 다소 높게 발생하였고 로즈제라늄은 발생이 매우 낮았고 애플제라늄은 담배가루이의 산란율이 극히 낮았다(Fig. 3A). 하단부는 레몬밤에 담배가루이의 산란수가 토마토보다도 약 10배 가까이 높았다. 번데기의 경우는 상단부와 하단부 모두 레몬밤이 높게 나타났고 애플제라늄과 로즈제라늄은 기주식물인 토마토보다 담배가루이 밀도가 낮았다(Fig. 3B). 성충 수 또한 번데기 수와 유사한 패턴으로 나타났다(Fig. 3C). 초코민트는 담배가루이의 알, 번데기, 성충의 모든 생육단계에서 유인수가 토마토보다 낮거나 거의 유사한 패턴을 나타내었다.

본 실험에서 토마토에 유인되는 담배가루이는 주로 하단부보다 상단에서 많이 발생하였고, 이는 담배가루이와 온실가루이의 성충과 알은 작물의 상단에 주로 서식하고(Gerling and Horowitz 1984; Kim *et al.* 1986; Park *et al.* 1998; Choi and Park 2015), 토마토에서도 성충과 알은 기주 상단에 주로 분포한다는(Kim *et al.* 1999; Arno *et al.* 2006) 내용과도 일치하였다. 일반적으로 가루이는 특히 노란색에 유인이 잘되어 끈끈이를 도포한 황색점착트랩이 가루이 발생을 관찰하는 데 효과적인 것으로 알려져 있다(Kim *et al.* 2011a; Park *et al.* 2012). Kim *et al.* (2010)의 연구에 따르면 황색점착트랩을 높이에 따라 담배가루이의 성충이 하단에 상당수 유인되었으며 이는 약층에서 막 우회한 성충이 아직 상단으로 이동하지 못하고 황색점착트랩에 포획되었기 때문이라 했다. 본 실험에서도 허브식물의 설치 위치에 따른 담배가루이 성충의 유인은 상단부보다 하단부에서 높은 것을 확인하였다. 특히, 레몬밤은 담배가루이를 유인하고, 로즈제라늄과 애플제라늄은 기피효과를 보이는 것으로 확인하였다. 허브 식물의 경우 체내에 생물활성을 나타내는 활성물질이 있으며 이 물질에 의해 유인 및 기피효과를 보이는 것으로 알려져 있다(Jeong *et al.* 2010; Kim *et al.* 2011b; Chae *et al.* 2011, 2014). 본 실험에서 레몬밤, 로즈제라늄과 애플제라늄의 활성물질을 분석하지는 못하였으나, 허브를 상단부에 설치하는 경우는 이 물질이 시설 내에서 위로 확산되어 나가 허브의 유인 효과가 떨어지는 것으로 생각된다. 반면, 허브의 하단부 설치하는 유효물질이 휘발되어 나가더라도 시설 내 재배중인 토마토에 의해 멀리까지 확산되어 나가지 못하고 하단부에 머물렀을 것으로 판단된다. 다만, 트랩식물로서 허브식물을

이용하는 경우 담배가루이 단독 효과이므로, 일반적인 한국의 온실에서 온실가루이와 담배가루이 혼재 시 그 영향력이 낮아질 가능성이 있으므로(Lee *et al.* 2009), 본 실험에 사용된 허브식물의 활성물질의 연구가 진행된다면, 고농도의 활성물질을 이용한 유인제 및 기피제의 개발이 가능할 것으로 생각된다.

본 연구 결과를 토대로, 담배가루이는 시설하우스 입구와 측창으로 유입이 많으므로 허브를 트랩식물로 이용 시 시설 밖에는 기피 식물인 로즈제라늄을 하단부에 설치하여 담배가루이가 시설 내로 유입되는 것을 막고, 내부는 레몬밤을 측창, 중앙의 하단부에 설치하여 유입된 담배가루이를 유인하며, Lee *et al.* (2019)의 결과처럼 다양한 친환경 방제법과 접목한다면, 화학적 방제를 주 방제수단이 아닌 보조 수단으로 사용한 친환경 방제법을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

적 요

담배가루이 방제는 대부분 화학적 방제에 의존하므로 약제저항성 증가가 야기되므로, 트랩식물을 이용한 대체 방제법 개발을 위해 허브식물들에 대한 담배가루이의 기주 선호성을 조사하였다. 완주군에 있는 국립원예특작과학원 내 토마토온실에서 실험을 진행하였으며, 허브 식물로 레몬밤, 초코민트, 로즈제라늄, 애플제라늄을 지면으로부터 50 cm와 작물 상단부의 30 cm 위치에 각각 설치하여 담배가루이 밀도를 조사하였다. 허브식물의 설치 위치별 담배가루이 밀도를 각각 조사한 결과 레몬밤이 설치된 곳에서 높았으며 로즈제라늄과 애플제라늄은 오히려 기피하는 것으로 나타났다. 이 결과는 유인제, 기피제 및 트랩식물을 포함한 허브 식물을 사용하는 담배가루이의 대체 방제법 개발에 도움이 될 것으로 기대된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구과제 ‘담배가루이의 유인제 선별 및 이용방법 개발(세부과제번호: PJ01353801)’의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Al-Musa A. 1982. Incidence, economic importance, and control of tomato yellow leaf curl in Jordan. *Plant Dis.* 66:561–563.
- Al-Hitty A and HL Sharif. 1987. Studies on host plant preference of *Bemisia tabaci* (Genn.) on some crops and effect of using host trap on the spread of Tomato Yellow Leaf Curl Virus to tomato in the plastic house. *Arab. J. Plant Prot.* 5:561–563.
- Arnó J, R Albajes and R Gabarra. 2006. Within-plant distribution and sampling of single and mixed infestations of *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) in winter tomato crops. *J. Econ. Entomol.* 99:331–340.
- Byrne DN and TS Bellows. 1991. Whitefly biology. *Annu. Rev. Entomol.* 36:431–457.
- Cohen S and MJ Berlinger. 1986. Transmission and cultural control of whitefly-borne viruses. *Agric. Ecosyst. Environ.* 17:89–97.
- Chae SH, SI Kim, SH Yeon, SW Lee and YJ Ahn. 2011. Adulticidal activity of phthalides identified in *Cnidium officinale* rhizome to B- and Q-biotypes of *Bemisia tabaci*. *J. Agric. Food Chem.* 59:8193–8198.
- Chae SH, SI Kim, SH Yeon, H Oerumalsamy and YJ Ahn. 2014. Fumigant toxicity of summer savory and lemon balm oil constituents and efficacy of spray formulations containing the oils to B- and Neonicotinoid-Resistant Q-Biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Am. Entomol. Soc.* 22:286–292.
- Choi GM. 1990. Ecology and Control of Vegetable Insect Pests. National Institute of Agricultural Sciences. Wanju, Korea. p. 224.
- Choi WS and JJ Park. 2015. Development of sequential sampling plan for *Bemisia tabaci* in paprika greenhouses. *Korean J. Appl. Entomol.* 54:159–167.
- Choi YM and GH Kim. 2004. Insecticidal activity of spearmint oil against *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci* adults. *Korean J. Appl. Entomol.* 43:323–328.
- Choi YS, KS Kim, HR Jo, JH Seo, IS Hwang, GJ Kim and SC Choe. 2014. Investigation of trap plants to attract *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 53:435–440.
- Choi YS, IS Hwang, GJ Lee and GJ Kim. 2016. Control of *Bemisia tabaci* Genn (Hemiptera: Aleyrodidae) adults on tomato plants using trap plants with systemic insecticide. *Korean J. Appl. Entomol.* 55:109–117.
- Dvinem GJ and I Denholm. 1998. An unconventional use of piperonyl butoxide of managing the cotton whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Bull. Entomol. Res.* 88:601–610.
- Devine GJ, I Ishaaya, AR Horowitz and I Denholm. 1999. The response of pyriproxyfen-resistant and susceptible *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) to pyriproxyfen and fenoxycarb alone and in combination with piperonyl butoxide. *Pestic. Sci.* 55:405–411.
- Gerling DAN and AR Horowitz. 1984. Yellow traps for evaluating the population levels and dispersal patterns of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77:753–759.
- Hokkanen HMT. 1991. Trap cropping in pest management. *Annu. Rev. Entomol.* 36:119–138.
- Horowitz Jk and E Lichtengerg. 1994. Risk-reducing and risk-increasing effects of pesticides. *J. Agric. Econ.* 45:82–89.
- Isman MB. 2008. Botanical insecticides: for richer, for poorer. *Pest Manag. Sci.* 64:8–11.
- Jeong JW, SR Moon, SR Cho, TH Shin and GH Kim. 2010. Repellent effect of wild mint oil against sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*. *Pestic. Sci.* 14:433–439.
- Kim HY, YH Lee, JH Kim and YH Kim. 2008. Comparison on the capability of four predatory mites to prey on the eggs of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 47:429–433.
- Kim IS, CY Hwang, JH Kim and MH Lee. 1986. Studies on host plants, development, and distribution within plants of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood). *Korean J. Plant Prot.* 25:201–207.
- Kim JK, JJ Park, CH Pak, HS Park and K Cho. 1999. Implementation of yellow sticky trap for management of greenhouse whitefly in cherry tomato greenhouse. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 17:659–659.
- Kim J, JR Lim, SG Lee, SH Park, SS Jung, DC Choi and CY Hwang. 2010. Attractive effect of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) by sticky trap. p. 213. In: Proceedings of the Korean Society of Applied Entomology Annual Conference. Korean Society of Applied Entomology. Jinju, Korea.
- Kim J, JR Lim, SS Jung, DC Choi, DH Kim and CY Hwang. 2011a. Effect of sticky trap for density inhibition of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). p. 241. In: Proceedings of the Korean Society of Applied Entomology Annual Conference. Korean Society of Applied Entomology. Hongcheon, Korea.
- Kim SI, SH Chae, HS Youn, SH Yeon and YJ Ahn. 2011b. Contact and fumigant toxicity of plant essential oils and efficacy of spray formulations containing the oils against B- and Q-biotypes of *Bemisia tabaci*. *Pest Manag. Sci.* 67:1093–1099.
- Kostyukovsky M, A Rafaeli, C Gileadi, N Demchenko and E Shaaya. 2002. Activation of octopaminergic receptors by essential oil constituents isolated from aromatic plants: possible mode of action against insect pests. *Pest Manag. Sci.* 58:1101–1106.

- Landis DA, SD Wratten and GM Gurr. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* 45:175–201.
- Lee DH, JP Nyrop and JP Sanderson. 2009. Attraction of *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia argentifolii* to eggplant, and its potential as a trap crop for whitefly management on greenhouse poinsettia. *Entomol. Exp. Appl.* 133:105–116.
- Lee MH, HK Lee, HG Lee, SG Lee, JS Kim, SE Kim, YS Kim, JK Suh and YN Youn. 2014. Effect of cyantraniliprole against of *Bemisia tabaci* and prevention of tomato yellow leaf curl virus (TYLCV). *Biol. Control* 18:33–40.
- Lee SL, HA Lee, HJ Lee, JY Choi, SW Lee, SS Hong and MJ Jang. 2019. Push-pull strategy for control of sweet-potato whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in a tomato greenhouse. *Korean J. Appl. Entomol.* 58:209–218.
- Lee SW, MK Song, KS Ahn, YJ Kim, YS Moon and HN Koo. 2013. Insecticidal activity and behavioral disorders by pyrifluquinazon to *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci*. *Korean J. Pestic. Sci.* 17:33–40.
- Nauen R, N Stumpf and A Elbert. 2002. Toxicological and mechanistic studies on neonicotinoid cross resistance in Q-type *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Manag. Sci.* 58:868–875.
- Omer AD, TF Leigh and J Granett. 1992. Insecticide resistance in field populations of greenhouse whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) in the San Joaquin Valley (California) cotton cropping system. *J. Econ. Entomol.* 85:21–27.
- Park HR, YH Ryu, IK Yeon, SH Nam, DG Kim and MS Han. 2014. Identification and characterization of entomopathogenic fungi isolated from *Bemisia tabaci* in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 53:27–34.
- Park JD, DI Kim and U Park. 1998. Occurrence and within-plant distribution of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) and *Encarsia formosa* (Gahan) in greenhouse. *Korean J. Appl. Entomol.* 37:117–121.
- Pillai GK, PN Ganga Visalakshy, A Krishnamoorthy and M Mani. 2014. Evaluation of the indigenous parasitoid *Encarsia transversa* (Hymenoptera: Aphelinidae) for biological control of the whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in greenhouses in India. *Biocontrol Sci. Technol.* 24:325–335.
- Priestley CM, EM Williamson, KA Wafford and DB Sattelle. 2003. Thymol, a constituent of thyme essential oil, is a positive allosteric modulator of human GABA receptors and a homo-oligomeric GABA receptor from *Drosophila melanogaster*. *Br. J. Pharmacol.* 140:1363–1372.
- RDA. 2009. Tomato Culture (Standard Textbook for Farming). Rural Development Administration, RDA Press, Jeonju, Korea. p. 393.
- SAS Institute, 2018. SAS OnlineDic, version 8. SAS Institute, Cary, NC.
- The Korean Intellectual Property Office. 2015. Plant Volatile Oil. Korean Intellectual Property Office. Deajeon, Korea.
- Wardlow LR, AB Ludlam and LF Bradley. 1976. Pesticide resistance in glasshouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) west. *Pest Manag. Sci.* 7:320–324.
- Yang JO, EH Kim, CM Yoon, KS Ahn and GH Kim. 2009. Comparison of feeding behavior of B and Q biotypes of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) against red pepper and tomato varieties. *Korean J. Appl. Entomol.* 48:179–188.
- Yang YC, MY Lim and HS Lee. 2003. Emodin isolated from *Cassia obtusifolia* (Leguminosae) seed shows larvicidal activity against three mosquito species. *J. Agric. Food Chem.* 51:7629–7631.
- Yang YC, SG Lee, HK Lee, SH Lee and HS Lee. 2002. A piperidine amide extracted from *Piper longum* L. fruit shows activity against *Aedes aegypti* mosquito larvae. *J. Agric. Food Chem.* 50:3765–3767.