

동절기 대파 재배지 파총채벌레 발생 보고

김철영 · 최두열 · 김용균*

안동대학교 식물의학과

Report on an Outbreak of the Onion Thrips, *Thrips tabaci*, Infesting Welsh Onion during Winter Season

Chulyoung Kim, Dooyeol Choi and Yonggyun Kim*

Department of Plant Medicals, College of Life Sciences, Andong National University, Andong 36729, Korea

ABSTRACT: An outbreak of the onion thrips, *Thrips tabaci*, was observed in welsh onion cultured in greenhouse during winter season (Jan ~ Feb). The thrips was identified using DNA barcode. Weekly occurrence was around 240 ~ 700 adults per trap. Trap color gave significant influence on the capture efficiency with a preference on yellow compared to blue sticky trap. Subsequently, most (> 90%) onions exhibited a damage symptom induced by the thrips. This outbreak was observed only in a specific area but not in nearby greenhouses. This discontinuous occurrence pattern was further investigated by analyzing flight behavior through in- and out- door tests. About 1.5 mm-body length adults could jump up to about 5 cm and fly up to 2 m in altitude, which was the top of the greenhouse. This suggested their migrating potential to nearby (< 2 m) greenhouses. However, few were detected in the neighboring places probably due to physical hindrance with low temperatures between greenhouses. This is reasoned why the onion thrips forms a patch distribution among greenhouses during winter season.

Key words: Onion thrips, Welsh onion, Winter, Trap, Behavior

초 록: 동절기(1 ~ 2월) 시설재배지 대파에 파총채벌레(*Thrips tabaci*)가 발생하였다. 파총채벌레의 동정은 트랩에 포획된 개체의 DNA 바코드를 중심으로 확인하였다. 주별 파총채벌레 발생은 끈끈이판 하나당 약 240 ~ 700 마리의 포획 밀도를 나타냈다. 포획 효율은 트랩 색상에 따라 차이를 보여 황색이 청색 트랩에 보다 우수하였다. 또한 대부분(90% 이상) 대파는 이들 파총채벌레의 식흔을 보였다. 이러한 파총채벌레 발생은 특정 비닐하우스에 국한되었다. 이러한 국부적 파총채벌레의 발생 양상을 분석하고자 이들 행동을 실내외에서 관찰하였다. 실내 분석은 약 1.5 mm 정도 몸길이의 성충이 약 5 cm 까지 도약하였다. 야외에서는 이들 성충이 시설재배지 최대 높이인 2 m 까지 비행 행동을 보였다. 이러한 비행 행동은 인근(2 m 이내) 시설재배지까지 이동이 가능할 것으로 추정되었으나 실제로 전파되지 않은 것은 야외 저온 조건이 물리적 장벽을 제공하여 준 것으로 해석되었다. 따라서 겨울기간 파총채벌레의 대발생은 특정 소지역에 국한되었다.

검색어: 파총채벌레, 대파, 동절기, 트랩, 행동

파총채벌레(Onion thrips, *Thrips tabaci* Lindeman)는 파, 마늘, 양파 등 백합과 작물과 감자, 가지, 고추 등 가지과에 속하는 여러 가지 작물의 잎, 줄기, 꽃을 가해하는 주요 해충으로 알려져 있다(Woo et al., 1991). 이들 기주와 더불어 시설지역에서 재배되는 아스파라거스(*Asparagus officinalis* L.), 난과(Orchidaceae)

에 속한 심비디움(*Cymbidium* spp.) 그리고 뽕나무과(Moraceae)에 속한 무화과(*Ficus carica* L.)에서도 파총채벌레의 발생이 보고되었다(Cho et al., 2013; Choi et al., 2014; Kim et al., 2014). 이렇게 다양한 기주를 갖는 파총채벌레는 엽육조직 속에 산란을 하며 알에서 부화한 유충은 잎의 내면에서 엽육조직을 가해하여 기주에 큰 경제적 손실을 주는 것으로 알려져 있다(Wolfenbarger and Hibbs, 1985). 한편 국내에서는 보고되지 않고 있지만 파총채벌레는 오소토스포바이러스(orthotospovirus) 속에 속한 Irish yellow spot virus (IYSV)를 매개하여 파 재배지의 경

*Corresponding author: hosanna@anu.ac.kr

Received March 29 2021; Revised May 21 2021

Accepted May 27 2021

제적 피해를 가중시키는 것으로 알려져 있다(Gent et al., 2006). 국내 대파 재배지에서도 IYSV에 의한 유사 감염증상이 관찰되기에 이러한 추가적 파충채벌레의 해충성도 면밀히 검토될 필요가 있다. 따라서 이러한 복합적 피해를 효과적으로 줄이려면 대파 생육 초기에 발생한 파충채벌레 집단을 관리할 필요가 있다(Kang et al., 2011). 이를 위해 우선 화학 방제 기술인 네오니코티노이드(acetamiprid, chlothianidin, imidacloprid, thiamethoxam), 스피노사드(spinetoram), 유기인계(dimethoate) 또는 곤충생장 조절제(methoxyfenozide) 계통의 단계 또는 합제를 중심으로 높은 실내 살충력을 검토한 바 있고, 이들 약제를 발생초기에 7일 간격으로 2회 살포하였을 때 90% 이상의 높은 야외 방제효과를 보여 주어 농가 적용이 가능한 것으로 본다(Kim et al., 2009; Kim et al., 2010; Park et al., 2019). 다만 외국의 사례에서 보듯 이러한 화학약제를 지속적으로 살포함에도 불구하고 대파 재배지에서 이들 파충채벌레의 발생이 누그러들지 않는 것이 현실이고(Hsu et al., 2010), 복합 살충제 저항성 기작을 보유하고 있다는 점(Adesanya et al., 2020)은 대체 방제 기술의 개발이 필요한 시점이다.

야외 약제 저항성 집단의 발생은 파충채벌레의 이동성에 대해서 관심을 갖게 하였다. 이러한 이유는 단순히 이들 저항성 집단의 이동뿐만 아니라 이들 집단 가운데 IYSV를 지닌 보독성 개체들의 이동 가능성 때문에 면밀한 분석이 필요하였다. 곤충의 이동은 특별한 방향성이 없이 주변 지역으로 단거리 이동하는 분산(dispersal)과 방향성을 갖고 비교적 장거리 이동하는 이주(migration)로 구분된다(Dingle and Drake, 2007). 이를 총채벌레와 같은 미소 곤충에 적용하기 쉽지 않아 또 다른 방식으로 이동하는 곤충의 고도 높이로 판정할 수 있다. 작물 최대 높이의 약 2.5배 고도지역까지를 표면한계층(surface boundary layer: SBL)으로 보고 이 이상의 높이에서는 바람의 흐름에 따라 비교적 장거리로 이동할 수 있는 영역으로 간주하게 된다(Oke, 1987; Isard and Gage, 2001). 이를 기준으로 대파(0.5 ~ 0.75 m)에 적용하면 약 2 m의 높이까지가 SBL에 속하게 되고, 이 높이 아래에서는 분산 이동으로 간주하고, 이 이상의 높이에서는 장거리 이주로 간주할 수 있다(Smith et al., 2015). 이 관점에서 파충채벌레의 이동 행동을 분석한 결과 분산은 물론이고 이주 행동이 나타났으며, 이주 행동을 보이는 개체들에서 보독성이 판정되어 IYSV 전파가 이주 때문에 가능하다는 결론에 다다르게 되었다(Smith et al., 2015). 활발한 파충채벌레의 이주행동은 이들 행동을 이용한 비화학적 해충 방제 기술을 개발하는 데 방향을 제시하고 있다.

파충채벌레의 이주 행동과 야외 조건에서 파충채벌레의 발생은 기주 작물의 재배 시기와 더불어 연중 지속적으로 이뤄진

다고 볼 수 있다. 미국 뉴욕 지역에서는 5월경에 월동한 파충채벌레 개체가 나오면서 유묘기 파(3 ~ 4개 잎 형성)에 대해 가해를 시작하면서 6 ~ 8월 재배 시기 동안 약 5세대가 발생한다고 보고하였다(Larentzaki et al., 2007; Hsu et al., 2011). 이를 뒷받침하듯 국내 마늘 재배지에서 파충채벌레 발생 양상은 3월 중순에 발생하기 시작하여 5월 중하순경 부터 밀도가 급격히 증가하였다(Park et al., 2019). 사과 과수원을 대상으로 파충채벌레를 포함한 총채벌레류의 연중 발생을 4월부터 10월까지 조사한 결과 5회 발생 최성기를 나타냈다(Kim et al., 2018). 총채벌레가 시설재배 작물을 중심으로 발생한다는 점을 고려해본다면, 이들의 겨울철 시설재배지의 발생도 가능할 것으로 추정되었다. 특히 대파의 경우 시설재배지에서 겨울철 재배가 일반적이기에 이를 대상으로 동계 발생 상황을 점검할 필요가 있었다.

본 연구는 겨울철 파충채벌레의 발생 및 피해 현황을 분석하기 위해 유기농 재배지를 중심으로 1 ~ 2월 동계 기간에 발생을 조사하였다. 아울러 이 기간 이들의 분산 행동을 실내 및 야외 실험을 통해 추적하였다.

재료 및 방법

조사지역 및 기간

안동시 송천동에 소재한 대파 재배지를 대상으로 동계 모니터링이 2021년 1월 28일에서 2월 14일까지 이뤄졌다. 대파 재배는 비가온 시설재배로서 10월에 정식하여 2월말에 재배하는 추파 재배법(<http://www.nongsaro.go.kr>)을 따랐다.

트랩설치 및 모니터링

황색 및 청색 끈끈이 트랩(15 × 25 cm)을 (주) 그린아그로텍(경산, 한국)에서 구입하였다. 트랩은 대파 최고 높이에서 50 ~ 70 cm 위치에 설치하였다. 시설재배지(10 × 100 m)에서 각 트랩은 중앙 위치에서 서로 20 m 간격으로 떨어져 배치하였다. 매주 트랩을 교체하며 포획 총채벌레 및 파리류를 계수하였다.

시험충 분자동정

끈끈이 트랩에 포획된 개체를 핵산을 이용하여 끈끈이 물질을 제거하고 개체별로 슬라이드글라스에서 커버글라스로 누르며 생체를 마쇄한 후 200 μL의 Chelex 100 Resin (Bio-Rad, Hercules, CA, USA) 10% 용액을 이용하여 마쇄된 개체 추출물을 회수하고 95°C에서 10분 가열하였다. 이 추출액을 12,000 × g

에서 5분간 원심분리한 후 상등액을 PCR 반응액의 주형 DNA로 사용하였다. PCR 반응에 사용된 CO-I 프라이머는 C1-J-2195 (5'-TTGATTTTTTGGTCATCCAGAAGT-3')와 TL2-N-3014 (5'-TCCAATGCACTAATCTGCCATATTA-3')였다(Simon et al., 2006). PCR 온도 조건은 95°C에서 1분 열처리 이후에 35회 증폭 온도를 95°C에서 1분, 52°C에서 1분 그리고 72°C에서 1분으로 구성되었다. 이후 72°C에서 10분간 최종 시슬연장 반응 후에 1% 아가로스 젤을 이용하여 PCR 증폭 유무를 확인하였다. 이후 PCR 증폭물을 클로닝 벡터(PCR2.1-TOPO Vector, Invitrogen, Hercules, CA, USA)에 재조합하여 염기서열 분석에 이용하였다. 양방향으로 얻어진 염기서열을 통해 공통서열을 얻고 이를 NCBI-GenBank에 수록된 염기서열을 대상으로 BlastN 검색엔진으로 서열 정보를 확인하였다. GenBank에 수록된 총채벌레류 염기서열을 모아 본 연구에서 얻어진 서열과 함께 MEGA X (Tamura et al., 2011) 프로그램의 Neighbor-Joining (NJ) 분석을 통해 분자계통수를 얻었다. 이 분자계통수의 가지별 Bootstrap 수치는 1,000회 반복 분석으로 얻었다.

파총채벌레 도약행동

실내에서 파총채벌레의 도약행동에 분석된 성충은 대파 재배지에서 채집된 개체들로 구성되었다. 이들 성충을 대상으로 Fig. 3A의 도형에 따라 제작된 기구물을 이용하여 도약행동을 분석하였다. 도약 기구물에서 일정 높이에 끈끈이 판을 부착한 후 1 시간 총채벌레를 방치한 후 부착된 개체를 계수하였다. 각 높이에서 시행된 성충 수는 반복 당 10 마리였으며 3 반복으로 측정하였다.

파총채벌레 비행 고도 분석

대파를 재배하는 시설 재배지의 높이는 최대 2m였다. 따라서 대파 최고 높이로부터 재배지 정점까지 황색 끈끈이를 연결한 트랩을 Fig. 4A와 같이 설치하였다. 이 연결된 트랩을 지상 75 cm에서 25 cm 간격으로 5 개 구간을 설정하고 이들 영역에 포획된 개체수를 확인하였다. 각 트랩은 3 반복으로 설치하고 주별 포획 밀도를 2 회 모니터링하였다.

통계분석

처리 효과는 SAS의 PROC GLM (SAS Institute, 1989)을 이용하여 one-way ANOVA 분석을 실시하였다. 처리 평균간 비교는 LSD 방법을 이용하여 제I형 오류 확률 0.05를 기준으로 판별하였다.

결과

파총채벌레에 의한 대파 피해와 분자 동정

총채벌레류는 찌르고 빠는(pierce-sucking) 구기를 가지고 있다(Childers and Achor, 1995). 큰턱 구침이 식물체 표면에 구멍을 내면 이때 1쌍의 작은턱 구침이 상호 맞물려 침샘통로와 먹이통로를 형성한다. 이때 침샘통로로 효소액이 들어 있는 침을 분비하여 체외 소화가 이뤄지면 먹이통로를 통해 체내로 섭취하는 방식을 취하게 된다. 경북 안동시에 유기농법으로 재배하는 대파에서 총채벌레의 피해흔을 발견하였다(Fig. 1A). 피해흔은 파의 엽육조직이 손실되어 흰색 반점의 모양을 나타냈다. 이 지역에 설치된 황색 끈끈이 트랩에 다수의 총채벌레가 포획되

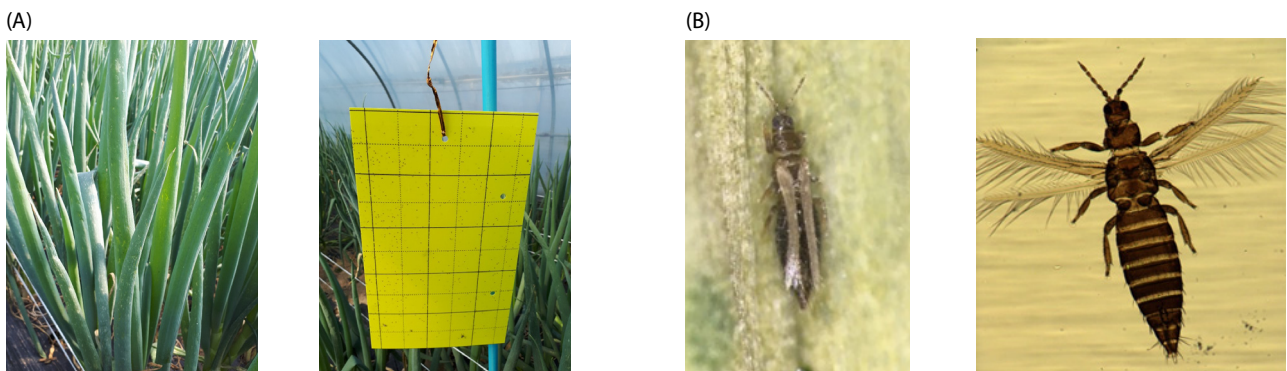


Fig. 1. Thrips damage on welsh onion and its identification. (A) Damage symptom and thrips capture on yellow sticky trap. (B) Adult thrips on host plant (left) and its view on specimen slide. (C) Molecular identification using DNA barcode. Phylogeny tree was constructed by Neighbor-joining method using MEGA6 and bootstrap values were obtained with 1,000 repetition.

(C)

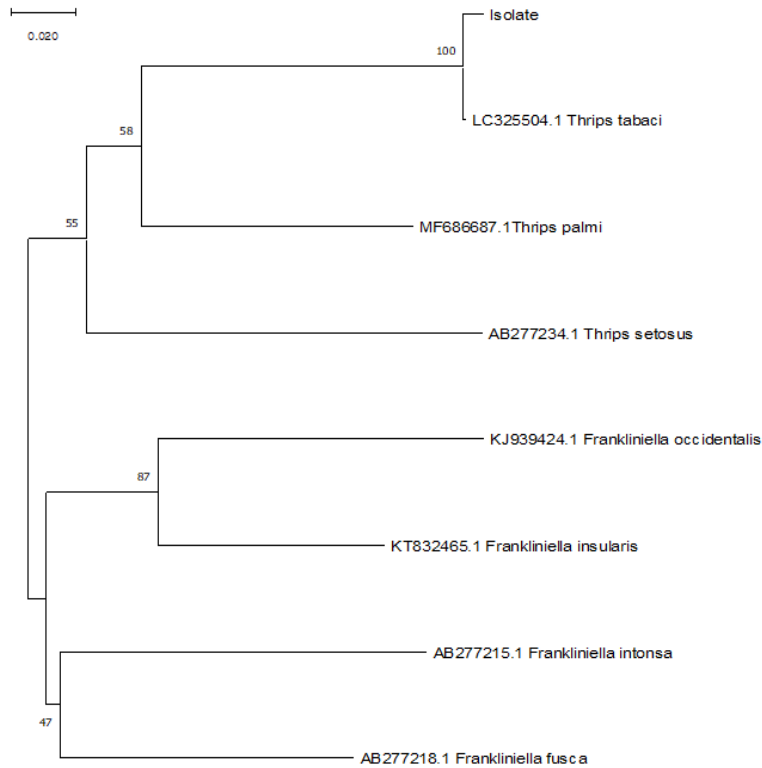


Fig. 1. Continued

어 이러한 대파의 피해흔이 총채벌레에 의한 것이라는 것을 뒷받침하였다. 육안으로 검은 체색을 보이며 현미경 아래에서 날개를 펼 모습을 통해 파총채벌레로 추정되었다(Fig. 1B). 이를 동정하기 위해 게놈 DNA를 추출하고, cytochrome oxidase I 유전자 일부 서열을 판독한 결과 파총채벌레와 가장 근접한 유사도를 나타냈다(Fig. 1C). 이 서열은 NCBI-GenBank에 MW-786735의 유전자 번호로 등록되었다.

파총채벌레 동계 모니터링

겨울 기간(1월 28일 ~ 2월 17일) 시설재배지에 발생한 파총채벌레의 시기별 발생 밀도를 끈끈이 트랩에 포획된 밀도로 추적하였다(Fig. 2). 이 평판 트랩에는 파총채벌레는 물론이고 작은뿌리파리(*Bradysia agrestis*) 및 고자리파리(*Delia antiqua*)가 포획되었다. 그러나 포획밀도 면에서 파총채벌레가 주별 약 240 ~ 700마리로서 가장 많은 우점종을 차지하였다.

파총채벌레 도약행동

파총채벌레의 이동을 조사하기 위해 우선 실내에서 성충을

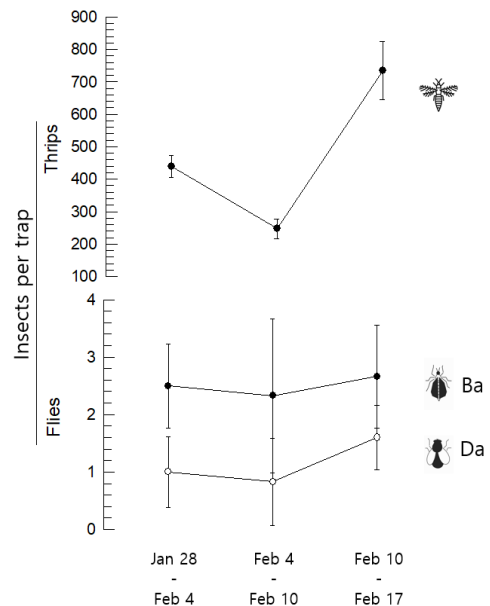


Fig. 2. Occurrence of *T. tabaci* in organic farm culturing welsh onion during winter season (Jan 28 ~ Feb 17, 2021). Monitoring was performed weekly with yellow sticky traps. Each monitoring was replicated with three different traps. Two different flies of onion maggot (*Delia antiqua*: 'Da') and fungus gnat (*Bradysia agrestis*: 'Ba') were also captured on the same sticky traps used for thrips monitoring. Error bars indicate standard deviation.

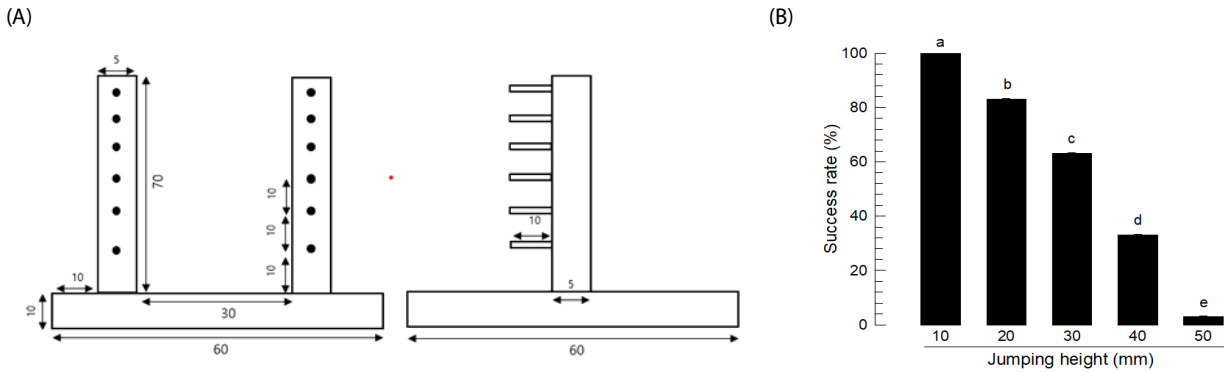


Fig. 3. Jumping behavior of adult *T. tabaci*. (A) Instrument to measure jumping height of the thrips. Size dimension is mm. Two vertical poles have hanger sticks at every 10 mm, where sticky plates are loaded to hold the jumping thrips. A behavioral test was performed at each height. (B) Frequency of jumping thrips at different heights. Each treatment was replicated with different ten adults. Different letters above standard deviation bars indicate significant difference among means at Type I error = 0.05 (LSD test).

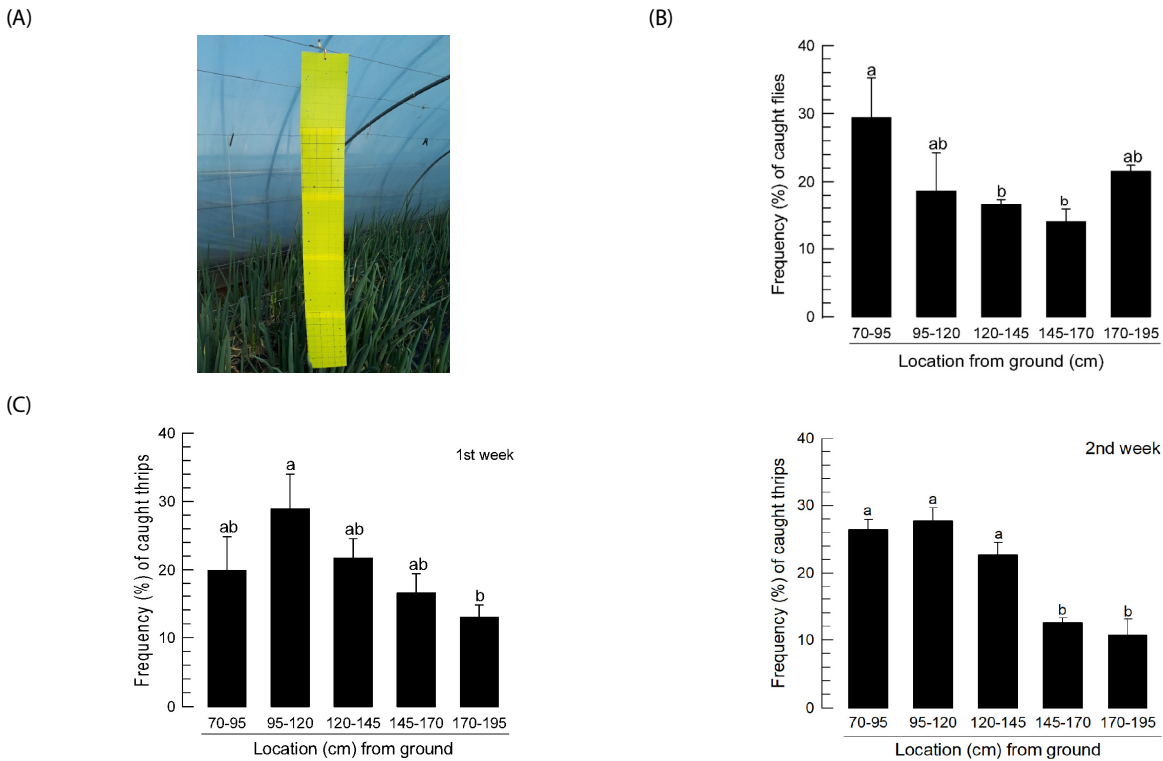


Fig. 4. Flight behavior of adult *T. tabaci*. (A) A photo representing a long sticky plate hanging from the top to plant canopy. (B) Vertical distribution of flying flies (onion maggot + fungus gnat) captured on the sticky traps. (C) Vertical distribution of thrips captured on the sticky traps during two weeks: 1st week (Feb 4 ~ Feb 10) and 2nd week (Feb 10 ~ Feb 14). Each treatment was replicated three times. Different letters above standard deviation bars indicate significant difference among means at Type I error = 0.05 (LSD test).

대상으로 도약 기구물(Fig. 3A)을 이용하여 행동을 분석하였다. 끈끈이 판의 부착 높이가 증가할수록 포획된 파총채벌레 밀도는 감소하여 5 cm 높이에서는 거의 모든 총채벌레가 관찰되지 않았다(Fig. 3B) 대부분 파총채벌레의 도약 높이 한계는 5 cm 이하로 간주하였다.

파총채벌레 비행행동 및 색상 선호도

대파 재배 현장에서 파총채벌레의 비행 높이를 분석하기 위해 끈끈이 판을 위치별로 설치하고 포획된 밀도를 통해 이들이 선호하는 비행 고도를 분석하였다(Fig. 4A). 조사 당시의 대파

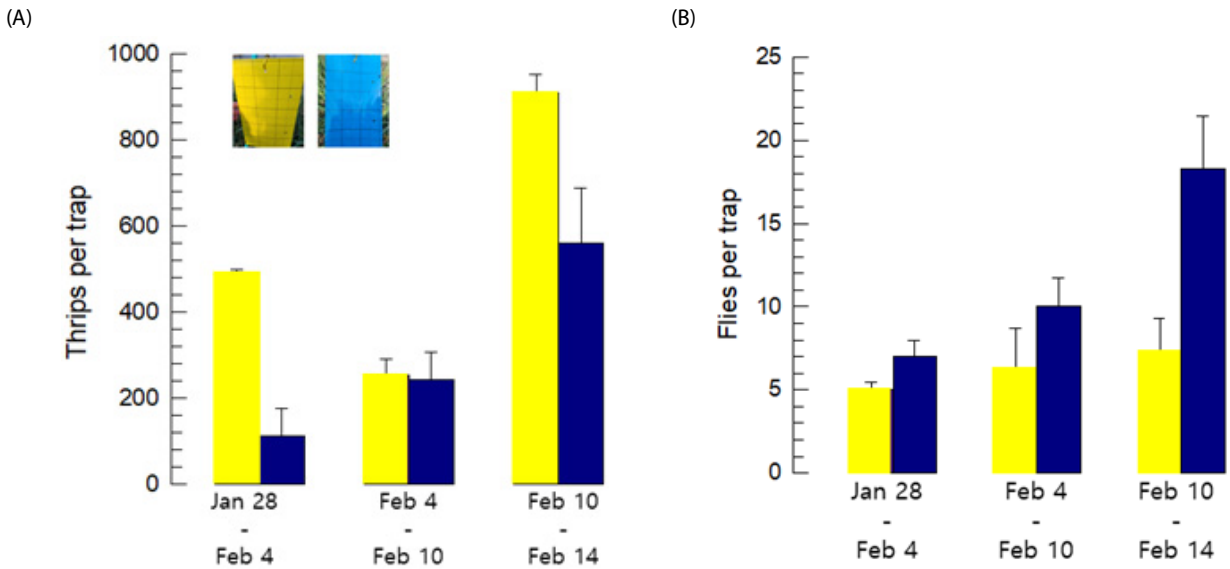


Fig. 5. Preference of trap color for *T. tabaci* adults (A) with comparison of flies (onion maggot + fungus gnat) (B) from three week monitorings. Each treatment was replicated three times. Error bars indicate standard deviation.

는 약 60 ~ 70 cm의 신장을 보였다. 약 70% 이상의 총채벌레는 작물체로부터 75 cm 이하의 높이에서 비행하였고, 나머지는 시설재배지 높이(2 m)까지 비행활동을 보인 것으로 판명되었다 (Fig. 4B). 이러한 비행 행동 양상은 두 조사 시기에서 큰 차이 없이 나타났다(Fig. 4C).

끈끈이 판 색깔에 따른 파충채벌레 포획밀도 변이가 나타났다(Fig. 5). 황색 트랩이 청색 트랩에 비해 높은($F = 7.27$; $df = 5, 1$; $P = 0.0195$) 포획 능력을 나타냈다(Fig. 5A). 반면에 파리류 (Fig. 5B)는 청색 트랩을 선호하였다($F = 4, 21$; $df = 5, 1$; $P = 0.014$).

고찰

본 연구는 파충채벌레의 대발생이 겨울 동안 대파 유기농 농가에서 있었다는 것을 보고한다. 시설재배지의 확충은 온대지역의 겨울 동안 저온 피해로부터 물리적 보호를 줄 수 있어 해충의 월동 가능성을 높였다(Kim and Kim, 1997). 채소를 가해하는 해충은 14목 86과 318종에 이르지만, 시설재배지에는 이들 가운데 일부만 발생하게 되는 데 주로 발육 기간이 짧고, 생식력이 높고, 발생세대수가 많은 특징을 갖는 해충들로서 진딧물, 응애, 온실가루이, 총채벌레 등을 포함하고 있다(Lee et al., 2000; Paik et al., 2009). 이러한 경향은 전북지역에서 재배되는 시설 채소류 5과 20종의 작물을 대상으로 해충 종류 및 발생 양상을 조사한 결과에서도 22과 39종의 해충 목록이 집계된 바 있다(Lim et

al., 2012). 이들 가운데 대파와 마늘이 속한 백합과 주요 해충은 파충채벌레, 파좁나방, 파밤나방, 파굴파리 4종이 포함되었다. 국내 시설재배는 1960년대 부터 시작되어 2000년에 90,627 ha에 이르기까지 꾸준히 증가하였다(MFAFF, 2010). 이러한 증가 추세는 이후 다소 감소하여 2020년 말경에는 80,611 ha로 유지하고 있다. 이 가운데 파충채벌레가 발생하는 대파는 약 2.1%의 면적인 1,461 ha 규모로 추정되고 있다(통계청: kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0017). 파충채벌레 발생 조사가 주로 봄철 및 여름철 대파 생육기를 중심으로 이뤄진 반면 시설재배지를 중심으로 겨울철 이들의 발생은 보고되지 않았다.

본 연구는 겨울철 시설재배지에서 파충채벌레의 대발생과 활발한 비행활동을 보고하고 있다. 도약행동은 비록 5 cm 이하이지만, 비행 고도가 2 m에 다다랐다. 이는 작물체의 높이보다 최소 2.5 배 이상의 높이로서 단순 분산 행동이라기보다는 장거리 이동으로 간주할 수 있다(Smith et al., 2015). 그러나 겨울 동안 야외의 낮은 온도는 이들 집단의 이동을 막아 비교적 불연속적 발생 양상을 보였다. 한편, 파충채벌레의 활발한 이주 행동 가능성은 이를 이용한 비화학적 방제 기술 개발을 제시하였다. 즉, 이들 이동 행동을 효과적 유인제로 유발하여 대량 유살이 가능할 것으로 고려된다. 이는 유기농 재배지에서는 더욱 의미 있는 방제 기술이 될 수 있다. 실제로 식물휘발성화합물인 *p*-anisaldehyde, methyl iso-nicotinate, ethyl iso-nicotinate (EI), ethyl nicotinate 등이 파충채벌레 유인제로 이용되었다(Teulon et al.,

2017). Binyameen et al. (2018)은 또 다른 식물체 유래 물질인 eugenol을 EI에 첨가한 경우 파총채벌레에 대해서 높은 유인력을 가진다고 보고하였다. 따라서 끈끈이 트랩에 이들 유인물질을 첨가할 경우 효과적 모니터링 기술과 더불어 대량유살 방제 기술을 개발할 것으로 사료된다.

파총채벌레의 피해를 막기 위한 여러 노력이 시도되었다. 화학약제를 선발하기 위해 실내 검정 결과 파총채벌레에 대하여 clothianidin SC, chlorfenapyr EC, dimethoate EC, imidacloprid WP, cyantraniliprole + thiamethoxam WG가 100%의 살충효과를 보였으며, 야외 조건에서는 처리 3일차에서 90% 이상의 방제 효과를 나타내었다(Park et al., 2019). 이러한 약제 방제를 기반으로 파 생육 초기 파총채벌레 발생밀도에 따른 방제 적기를 결정하기 위해 이 해충의 노출 시기와 파의 수량감소를 분석하였고 이를 기반으로 파총채벌레 경제적피해허용수준(economic injury level: EIL)은 30 누적밀도일(cumulative insect duration: CID)로 추정되었으며, 이를 기초로 요방제밀도는 EIL의 80%가 되는 24 CID로 추정되었다(Kang et al., 2011). 파 생육후기(정식 후 120일 접종)에는 파총채벌레의 밀도가 높은 경우는 수확량이 감소하지만 낮은 밀도에서는 오히려 수량이 증가하는 경향을 보였다. Poston et al. (1983)은 해충밀도와 수량 간의 관계를 밀도증가에 따라 수량이 서서히 감소하는 감수성 반응(susceptible response), 처음에는 수량감소가 없다가 밀도가 어느 정도에 도달함에 따라 수량감소가 일어나는 내성적 반응(tolerant response) 그리고 낮은 밀도에서는 오히려 수량이 증가하다가 어느 밀도 이상이 되면 비로소 수량감소가 일어나는 보상적 반응(over-compensatory response)으로 나누었다. 여기서 내성적 반응이 가장 흔한 경우라고 Southwood and Norton (1973)은 보고한 바 있다. 따라서 파는 파총채벌레에 대해서 생육 초기에는 감수성 반응을 보이다가 생육 후기에 전형적 보상성 반응을 보였다고 볼 수 있다. 이를 토대로 파총채벌레의 효과적 방제는 파의 생육초기라는 것을 알 수 있다. 특히 CID를 토대로 파총채벌레의 발생밀도에 따라 방제시기를 탄력적으로 적용할 수 있다(Ruppel, 1983). 즉, 요방제밀도가 24 CID인 경우 파총채벌레의 밀도가 파 한주 당 6마리였다면 4일 이내에 방제 처리가 이뤄져야 하지만, 3마리가 발생하였다면 8일 이내 방제를 권하기에 단순 마릿수로 표현된 EIL에 비해 신속적으로 방제 처리 시기를 결정하게 된다. 이러한 방제의 전략 가운데 고려해야 할 사항이 본 연구가 보고하는 겨울철 월동집단의 발생이다. 즉, 추파재배에서 춘파재배로 연작재배가 이뤄지는 시설재배지의 경우 월동집단이 춘파재배 초기에 대발생하여 대파 생육 초기방제에 어려움을 줄 수 있음을 제시하고 있다.

본 연구는 파총채벌레의 겨울 동안 대발생과 이 곤충의 장거

리 이동 행동가능성을 보고한다. 이를 이용한 추후 연구에서 이 해충 집단의 발생예찰 변화 및 비화학적 방제 기술이 개발되기를 기대한다.

사 사

본 연구는 2021년 농림축산식품부에서 지원하고 농림식품기술기획평가원에서 관리하는 작물바이러스 및 병해충대응 산업화기술개발 사업(연구개발과제번호321100-3)으로 수행되었다.

저자 직책 & 역할

김철영 : 안동대, 대학원생; 총채벌레 행동분석

최두열 : 안동대, 대학원생; 총채벌레 분자진단 실험수행

김용균 : 안동대, 교수; 실험설계 및 논문작성

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

Literature Cited

- Adesanya, A.W., Waters, T.D., Lavine, M.D., Waish, D.B., Lavine, L.C., Zhu, F., 2020. Multiple insecticide resistance in onion thrips population from Western USA. *Pestic. Biochem. Physiol.* 165, 104553.
- Binyameen, M., Ejaz, M., Shad, S.A., Razaq, M., Shah, R.M., Schlyter, F., 2018. Eugenol, a plant volatile, synergizes the effect of the thrips attractant, ethyl iso-nicotinate. *Environ. Entomol.* 47, 1560-1564.
- Childers, C.C., Achor, D.S., 1995. Thrips feeding and oviposition injuries to economic plants, subsequent damage and host responses to infestation. in: Parker, B.L., Skinner, M., Lewis, T. (Eds.), *Thrips Biology and Management*. Springer, Boston, MA. pp. 31-51.
- Cho, M.R., Jeon, S.W., Kang, T.J., Kim, H.H., Ahn, S.J., Yang, C.Y., 2013. Pests occurring on *Cymbidium*. *Korean. J. Appl. Entomol.* 52, 403-408
- Choi, K.S., Song, J.H., Yang, J.Y., Choi, H., Ki, D.S., 2014. Pest species, damages and seasonal occurrences on greenhouse cultivated asparagus in Jeju, Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 53, 231-237.
- Dingle, H., Drake, V.A., 2007. What is migration? *Bioscience* 57, 113-121.
- Gent, D.H., du Toit, L.J., Fichtner, S.F., Mohan, S.K., Pappu, H.R., Schwart, H.F., 2006. Iris yellow spot virus: an emerging threat to onion bulb and seed production. *Plant Dis.* 90, 1468-1480.

- Hsu, C.L., Hoepfing, C.A., Fuchs, M., Shelton, A.M., Nault, B.A., 2010. Temporal dynamics of iris yellow spot virus and its vector, *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae), in seeded and transplanted onion fields. *Environ. Entomol.* 39, 266-277.
- Hsu, C.L., Hoepfing, C.A., Fuchs, M., Smith, E.A., Nault, B.A., 2011. Sources of Iris yellow spot virus in New York. *Plant Disease* 95, 735-743.
- Isard, S.A., Gage, S.H., 2001. Flow of life in the atmosphere: An airscape approach to understanding invasive organisms. Michigan State University Press, East Lansing, MI.
- Kang, T.J., Cho, M.R., Kim, H.H., Jeon, H.Y., Kim, D.S., 2011. Economic injury level of *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) on welsh onions (*Allium fistulosum* L. var) in the early transplanting stage. *Korean J. Appl. Entomol.* 50, 289-293.
- Kim, Y., Kim, N., 1997. Cold hardiness in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ. Entomol.* 26, 1117-1123.
- Kim, S.G., Kim, D.I., Kang, B.Y., 2009. Efficacy of insecticides against *Thrips tabaci* on spring onion. Research Report. Rural Development Administration, Jeonju, pp. 1381-1382.
- Kim, S.G., Kim, D.I., Ko, S.J., Kang, B.Y., 2010. Efficacy of insecticides against *Thrips tabaci* on spring onion. Research Report. Rural Development Administration, Jeonju, pp. 1189-1190.
- Kim, D.H., Cho, M.R., Yang, C.Y., Kang, T.J., Kim, H.H., Jeon, S.W., 2014. Occurrence and damage by thrips on greenhouse-cultivated fig. *Korean J. Appl. Entomol.* 53, 485-490.
- Kim, J.W., Kim, S.J., Lee, S.Y., Lee, D.H., Do, Y.S., Kim, M.S., 2018. Seasonal occurrence and insecticide susceptibility by thrips on apple orchards in Gyeongbuk area. *Korean J. Pest. Sci.* 22, 1-7.
- Larentzaki, E., Shelton, A.M., Musser, F.R., Nault, B.A., Plate, J., 2007. Overwintering locations and hosts for onion thrips (Thysanoptera: Thripidae) in the onion cropping ecosystem in New York. *J. Econ. Entomol.* 100, 1194-1200.
- Lee, G.H., Lee, S.C., Choi, M.Y., Kim, D.H., 2000. Prey consumption and suppression of vegetable aphid by *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysopidae) as a predator. *Korean J. Appl. Entomol.* 39, 251-258.
- Lim, J.R., Park, S.H., Moon, H.C., Kim, J., Choi, D.C., Hwang, C.Y., Lee, K.S., 2012. An investigation and evaluation of insect pests in greenhouse vegetables in Jeonbuk province. *Korean J. Appl. Entomol.* 51, 271-280.
- MFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2010. Present condition of greenhouse and the results of product in vegetables greenhouse. Seoul, p. 77.
- Oke, T.R., 1987. Boundary layer climates. Methuen, London, p. 435.
- Paik, C.H., Lee, G.H., Kim, D.H., Choi, M.Y., Kim, S.S., 2009. Biological control of major pests in eggplant greenhouse. *Korean J. Organic agric.* 17, 227-236.
- Park, Y.U., Lee, J.S., Jeong, J.H., Min, J.H., Chang, W.B., Kim, G.H., 2019. Occurrence and susceptibility to several insecticides of *Thrips tabaci* and *Acrolepiopsis sapporensis* on northern-type garlic fields in Chungbuk Province. *Korean J. Appl. Entomol.* 58, 251-258.
- Poston, F.L., Pedigo, L.P., Welch, S.M., 1983. Economic injury levels: reality and practicality. *Bull. Entomol. Soc. Am.* 29, 49-53.
- Ruppel, R.F., 1983. Cumulative insect-days as an index of crop protection. *J. Econ. Entomol.* 76, 375-377.
- SAS Institute, 1989. SAS/STAT user's guide. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- Simon, C., Buckley, T.R., Frati, F., Stewart, J.B., Beckenbach, A.T., 2006. Incorporating molecular evolution into phylogenetic analysis, and a new compilation of conserved polymerase chain reaction primers for animal mitochondrial DNA. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37, 545-579.
- Smith, E.A., Fuchs, M., Shields, E.J., Nault, B.A., 2015. Long-distance dispersal potential for onion thrips (Thysanoptera: Thripidae) and Iris yellow spot virus (Bunyaviridae: Tospovirus) in an onion ecosystem. *Environ. Entomol.* 44, 921-930.
- Southwood, T.R.E., Norton, G.A., 1973. Economic aspects of pest management strategies and decisions. in: Geier, P.W., Clark, L.R., Adnerson, D.J., Nix, H.A., (Eds.), *Insects: studies in population management*. Ecol. Soc. Aust. Mem. Canberra, pp. 168-184.
- Tamura, K., Peterson, D., Peterson, N., Stecher, G., Nei, M., Kumar, S., 2011. MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Mol. Biol. Evol.* 28, 2731-2739.
- Teulon, D.A.J., Davidson, M.M., Perry, N.B., Nielson, M.C., Castane, C., Bosch, D., Riudavets, J., van Tol, R.W.H.M., de Kogel, W.J., 2017. Methyl isonicotinate, a non-pheromone thrips semiochemical and its potential for pest management. *Intl. J. Trop. Insect Sci.* 37, 50-56.
- Wolfenbarger, D., Hibbs, E.T., 1985. Onion thrips (*Thrips tabaci* Lind.) infesting cabbage. *J. Econ. Entomol.* 78, 394-396.
- Woo, K.S., Kweon, O.K., Cho, K.S., 1991. Studies on distribution, host plants and taxonomy of Korean thrips (Insecta: Thysanoptera). *Seoul Nat' Univ. J. Agric. Sci.* 16, 133-148.