



바이러스 감염 매개충 진단을 통한 고추 육묘장 토마토반점위조바이러스 발병 경보기술

김철영¹ · 이대홍² · 김용균^{1*}¹안동대학교 식물의학과, ²경상북도 농업기술원 영양고추연구소

Warning Technique of Tomato Spotted Wilt Virus Occurrence in Hot Pepper Nurseries by Diagnosing the Viruliferous Vectors

Chulyoung Kim¹, Dae-Hong Lee², Yonggyun Kim^{1*}¹Department of Plant Medicals, Andong National University, Andong 36729, Korea²Yeongyang Pepper Research Institute, GyeongsangBuk-Do, Agricultural Research & Extension Services, Yeongyang 36531, Korea

(Received on May 10, 2023. Revised on June 16, 2023. Accepted on June 17, 2023)

Abstract Tomato spotted wilt virus (TSWV) infects the hot pepper, *Capsicum annuum*, and causes a serious economic loss. This virus is transmitted by some thrips through their feeding behavior. It is necessary to prevent the expansion of the virus by monitoring the viral incidence before it causes the disease and expresses the disease symptom. To this end, this study devised a novel measure with a warning system by diagnosing the viruliferous thrips. To test this system, the overwintering populations of the thrips were assessed in their viruliferous rate by a multiplex PCR technology in Yeongyang, a main area cultivating the hot pepper in Korea. In nursery greenhouses, the overwintering thrips consisted of *Frankliniella occidentalis*, *Frankliniella intonsa*, and other thrips during Feb~Apr, 2023. *F. occidentalis* adults were captured since the installation of the traps at early February while *F. intonsa* adults began to be captured at March. Most viruliferous thrips were *F. occidentalis* with a maximal viruliferous rate at about 55% but some were detected in *F. intonsa* and other thrips. Following the TSWV occurrence warning, insecticides registered to thrips were applied and led to significant decrease in thrips population sizes and subsequent viruliferous rates. In contrast, hot peppers in the untreated nursery recorded about 30% infection with TSWV. These results suggest the application of the early diagnosis of the thrips in TSWV and subsequent insecticide treatment to prevent the viral infection to the hot pepper.

Key words control, diagnosis, thrips, tomato spotted wilt virus

서 론

국내 고추(*Capsicum annuum*) 경작 규모는 약 30,000 ha로서 조미 채소류 가운데 가장 넓은 재배면적을 차지하고 있으며 이 가운데 안동과 영양지역이 대표적 고추 산지로 주목받고 있다(KOSIS, 2020). 국내 고추에 발생하는 39종의 식물병 가운데 바이러스에 의한 발병율이 가장 높다(Seo et al., 2011). 이러한 고추의 바이러스병은 진딧물과 총채벌

레에 의해 전파되기에 이들 매개충 방제가 최선의 대책으로 고려되고 있다(Lee et al., 2004). 최근 기후변화로 다양한 외래 해충이 국내로 유입하는 속도가 증가하고 있는데 이와 더불어 고추에서 바이러스 발생률도 2000년 이후 현저히 높아져 이들 사이의 인과 관계에 관심을 두게 되었다(Kim, 2000; Seo et al., 2011).

전 세계적으로 고추를 가해하는 바이러스는 총 68종이 보고되고 있다(Kenyon et al., 2014). 이들 바이러스 가운데 국내에서는 총 16종이 보고되었으며, 이 가운데 오이모자이크 바이러스, 잠두위조바이러스2, 토마토반점위조바이러스, 사

*Corresponding author
E-mail: hosanna@anu.ac.kr

탕무황화바이러스, 고추모틀바이러스, 감자바이러스 Y, 고추약한모틀바이러스의 7종은 지속적으로 고추에서 발견된다(Cho et al., 2005; Lee et al., 2015). 특히 오이모자이크바이러스와 잠두위조바이러스2가 가장 높은 고추 바이러스 발병을 유발하였으며, 여기에 이들 바이러스의 복합 감염이 전체 감염 비율 가운데 85% 이상을 차지하였다(Kwon et al., 2017).

고춧잎과 열매에 동심원 모양의 병징을 보이고 열매 피해 부위가 수확 후 건조 이후에도 퇴색된 상태로 남아있어 상품성이 저하되는 일명 칼라병이 최근 들어 증가하고 있다(Moon et al., 2006; Seo et al., 2018). 이 칼라병을 유발하는 병원균이 tomato spotted wilt virus (TSWV)이며, 일부 총채벌레류에 의해 이 바이러스 전파가 이뤄지고 있다(Rotenberg et al., 2015). TSWV 매개 총채벌레는 전 세계적으로 9종이 알려져 있는데, 국내에는 이 가운데 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*), 대만총채벌레(*Frankliniella intonsa*), 파총채벌레(*Thrips tabaci*) 그리고 엉겅퀴총채벌레(*Thrips setosus*)를 포함한 4종이 분포하고 있다(Kim et al., 2022a). 안동지역의 시설재배지를 중심으로 고추를 가해하는 총채벌레를 조사한 결과 꽃노랑총채벌레와 대만총채벌레가 전체 총채벌레 발생의 96% 이상을 차지하는 우점종이라고 밝혀져 이들 두 종의 총채벌레가 고추의 TSWV를 전파하는 주요 매개충으로 제시되었다(Kim et al., 2021).

꽃노랑총채벌레는 1993년 제주도에서 처음으로 발견된 이후 다양한 기주 범위와 빠른 생활사(Katayama, 1997) 그리고 내한성(Katayama, 1995) 발달로 전국적으로 발생하였다(Han et al., 1998). 반면에 꽃노랑총채벌레와 동일한 속에 속하면서 국내 토착종인 대만총채벌레의 경우는 휴면기작으로 국내 노지에서 월동하는 것으로 알려졌다(Lee et al., 2001).

이들 총채벌레에 의한 고추의 피해는 크게 두 가지로 볼 수 있다. 하나는 직접 피해로서 섭식 또는 산란 행동 때문에 잎에 굵은 자국 및 은백화를 초래하여 광합성 능력을 떨어뜨리며, 과실에는 기형 또는 탈색으로 조기 낙화 및 부실한 열매 형성을 유발하여 수량 감소로 이어진다(Reitz et al.,

2020). 다른 하나는 간접피해로서 침샘에서 타액을 분비하는 섭식 행동 동안 침샘에 존재하는 TSWV 바이러스를 건전한 고추에 감염시키는 전염 피해이다(Stafford et al., 2011).

대부분의 식물병이 그렇듯이 병원균 감염으로부터 발병에 이르기까지는 일정 기간이 소요된다. 그러나 매개충에 의해 발병되는 경우, 기주 작물에서 병징을 확인하였을 때에는 벌써 매개충은 동일 재배지에 서식하는 여러 기주에게 병원균을 전파한 이후의 시점으로 간주할 수 있다. 따라서 본 연구는 TSWV 감염을 효과적으로 방제하기 위해 고추에 이 바이러스 증상이 나타나기 전에 발병 여부를 판단하려 하였다. 이를 위해 특정 지역에 발생한 총채벌레를 대상으로 체내에 증식하는 TSWV를 분자진단법으로 판별하여 매개충 방제를 하게 하는 발생 초기 경보기술을 개발하는 데 목적을 두었다. 이를 위해 이른 봄 육묘장에서 재배되는 고추 유묘에 발생하는 총채벌레를 모니터링하고, 포획된 총채벌레에서 TSWV 보독 유무를 다중 PCR 분석법으로 분석하였다.

재료 및 방법

시험장소

2023년 2월 3일부터 4월 21일까지 경북 영양읍, 청기면, 수비면에 소재한 시설 고추 육묘장(Fig. 1A)에서 황색점착 트랩(10 × 7.5 cm, Green Agrotech, Gyungsan, Korea)을 각 육묘장 당 실내와 외부 각각 3반복으로 설치하고, 매주 수거하였다. 총채벌레류의 밀도 조사를 위하여 수거한 트랩을 실험실로 가져와 해부현미경(M165FC, Leica, Wetzlar, Germany)을 이용해 총채벌레를 동정하였다. 총채벌레의 동정 Kim et al. (2021)의 방법을 따랐다.

고효율 모니터링 트랩 제작

Kim et al. (2021)에 개발된 꽃노랑총채벌레와 대만총채벌레 유인물질로서 이들의 집합페로몬 물질(Sigma-Aldrich Korea, Seoul, Korea)인 neryl(S)-2-methyl butanoate (0.25 mg)와 lavandulyl-3-methyl butanoate (1.75 mg)을 1 mL의

Table 1. Primer sequences used in multiplex PCR

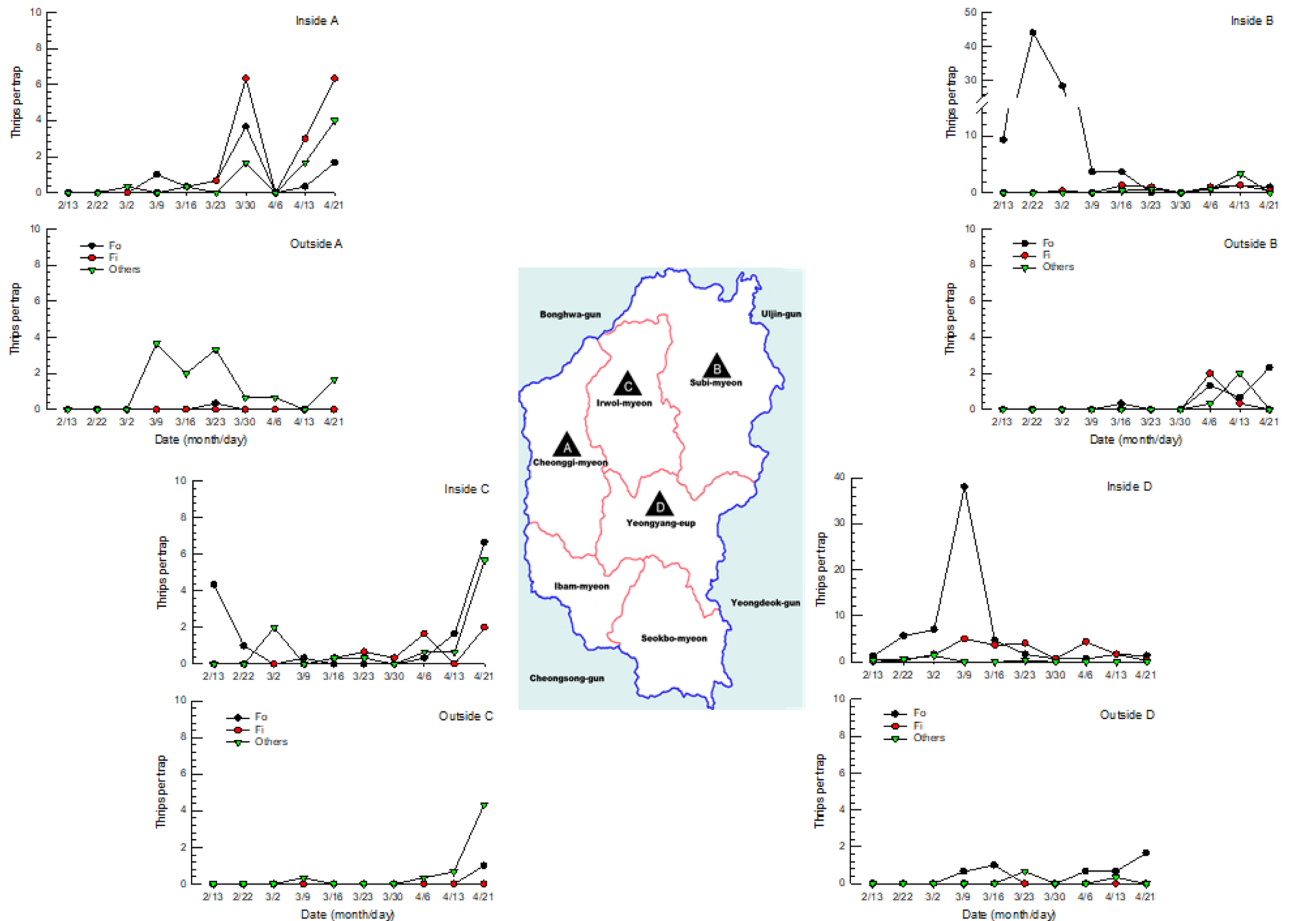
Genes ^{a)}	Orientation	Sequence	PCR product (bp)
Fi-ITS2	Forward	5'-GACCAGACTGTTCCGAGA-3'	367
	Reverse	5'-CTCTCCTGAACWGAGGCTG-3'	
Fo-ITS2	Forward	5'-GGTCGCTTCACCGCTTCCCG-3'	287
	Reverse	5'-CTCTCCTGAACWGAGGCTG-3'	
TSWV-N	Forward	5'-ATGTCTCAAGTGTTTATGAGT-3'	776
	Reverse	5'-TTTTGATCCTGAAGCATACGCT-3'	

^{a)} Acronyms stand for *Frankliniella intonsa* ('Fi'), *F. occidentalis* ('Fo'), tomato spotted wilt virus ('TSWV'), internal transcribed spacer ('ITS'), and N gene of TSWV ('TSWV-N')

핵산(Sigma-Aldrich Korea)에 용해시킨 뒤, 고무격막 방출기(Chemglass, Vineland, NJ, USA)에 100 μ l씩 분주 후 10

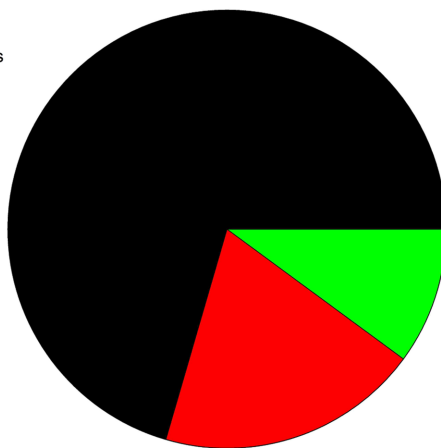
분 동안 건조하였다. 제작된 방출기를 트랩에 부착하여 상기의 육묘장에 설치하였다.

(A)

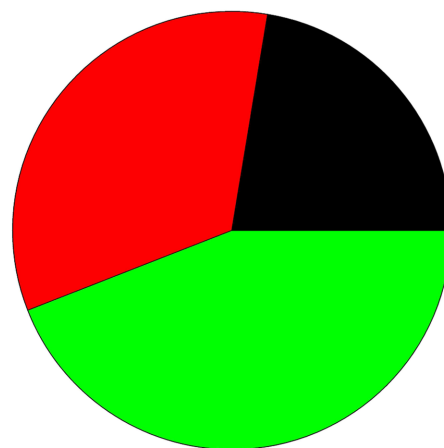


(B)

■ Fo
■ Fi
■ Others



250.7 thrips per trap in inside



47.7 thrips per trap in outside

Fig. 1. Thrips monitoring using yellow sticky traps in nursery farms at Yeongyang in 2023. (A) Total thrips numbers at four monitoring places (A-D) by individual species: *F. occidentalis* ('Fo'), *F. intonsa* ('Fi'), and unknown ('Others'). (B) Summary of total thrips during the monitoring period (Feb 6~Apr 21) in both inside and outside of the greenhouses.

다중 PCR 분자진단기술

황색점착트랩에 포획된 총채벌레의 TSWV 보독 여부를 다중 PCR 검정기술(Kim et al., 2022a)을 통하여 진단하였다. 감염 총채벌레 내부의 바이러스 RNA 계층 분해를 줄이기 위해 수거된 황색 트랩은 분전 직전까지 모두 -20°C 에 보관하였다. 다중 PCR 검정을 위해 총채벌레 성충 1마리를 점착 트랩에서 핵산을 이용하여 분리한 후 5분간 건조하였다. 건조된 시료는 QuickExtract RNA Extraction Solution (Bio-search, Hoddesdon, UK)을 이용하여 핵산을 추출하였다. 추출된 핵산은 Supreme RT-PCR premix (Genetbio, Daejeon, Korea)를 이용하여 50°C 에서 30분간 역전사시켰다. 다중 PCR 반응물 조성은 핵산 $4\ \mu\text{L}$, 각 특이적 프라이머(Table 1) $1\ \mu\text{L}$, RT-PCR premix $12\ \mu\text{L}$ 로 이뤄졌다. 이 반응물을 95°C 에서 2분간 초기 변성과정 이후 35회 PCR 반응이 95°C -30초, 55°C -30초, 72°C -45초의 온도 주기로 진행되었다. 이후 72°C 에서 10분 최종연장을 추가하였다. 진행 후 1% 아가로스젤에 전기영동하여 동정하였다.

TSWV 감염 고추 감염률 조사

고추 신초의 잎말림 및 잎의 동심원 병징을 기준으로 1차 이병체를 선발하였다. TSWV 발병율을 조사하기 위해 육묘장에 심재된 고추묘 3개 열을 임의로 선발하여 각 열에서 100 개체를 대상으로 앞에서 기술된 병징으로 계수하였다.

고춧잎 TSWV 진단

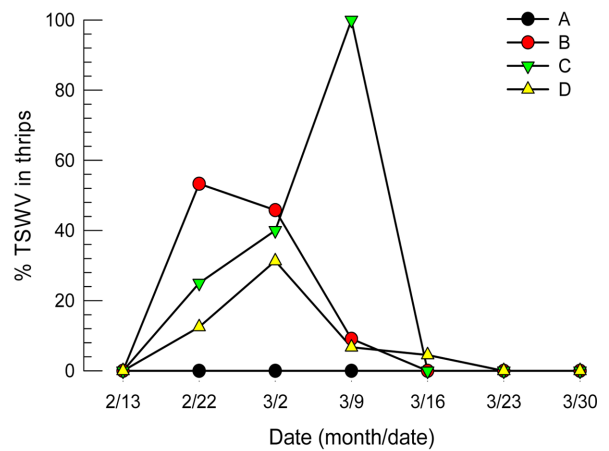
TSWV 특이적 진단키트(Agdia, Elkhart, IN, USA)를 이용하여 제조사에서 추천된 방법을 따라 진행하였다. 이 방법을 간략히 기술하면, 앞에서 기술한 TSWV 감염증상을 보이는 고춧잎 1개를 SEB1 추출완충용액이 담긴 플라스틱 봉지에 넣고 입구를 봉한 뒤 잎 부위를 중심으로 봉지 외부에서 문지르며 마쇄했다. 완충용액이 녹색으로 변하게 되면 플라스틱 봉지를 열고 TSWV 특이적 ImmunoStrip을 추출액에 삽입시켜 10분 후 지정된 위치에 띠 발색으로 확인하였다. 이때 추출 정도를 확인하기 위한 대조 띠를 확인한 후 TSWV 항체가 있는 부위에 발색 띠 유무를 바탕으로 이 바이러스 존재에 대한 음성 및 양성을 판정하였다.

결 과

고추 육묘장 총채벌레 발생

2023년 2~4월 기간 영양지역 고추 육묘장에서 발생한 총채벌레를 주별 조사하였다(Fig. 1). 이들 4개 지역(A-D)은 영양군의 3개 읍면에 분포하였고 이들 모든 지역에서 총채벌레가 발생하였다(Fig. 1A). 하지만 이들의 밀도는 지역마다 상이하였다. 즉, B와 D 지역 육묘장 내부에서는 주별 트랩 당 최대 40마리 이상이 발생하였으나, A와 C는 주별 최

(A)



(B)

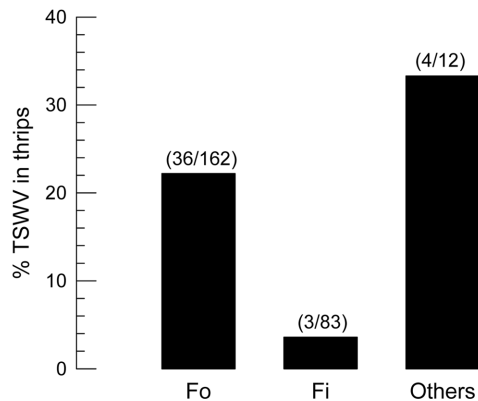


Fig. 2. TSWV-viruliferous thrips in four different nurseries (A-D) cultivating hot peppers. (A) Total viruliferous thrips at four monitoring places. (B) Viruliferous thrips in different species: *F. occidentalis* ('Fo'), *F. intonsa* ('Fi'), and others.

대 6마리를 넘지 못하였다. 육묘장 주변에서는 3월 이후부터 발생하였지만, 포획밀도는 낮았다.

조사 기간 육묘장 내부에서는 꽃노랑총채벌레가 우점하여 전체적으로 약 70% 이상을 차지하였다. 이어서 대만총채벌레가 약 20% 그리고 약 10%가 기타 총채벌레로 분류되었다(Fig. 1B). 반면 육묘장 주변에서는 꽃노랑총채벌레와 대만총채벌레가 50% 미만으로 기타 총채벌레가 다수를 차지하였으며 대만총채벌레가 꽃노랑총채벌레보다 우점하였다.

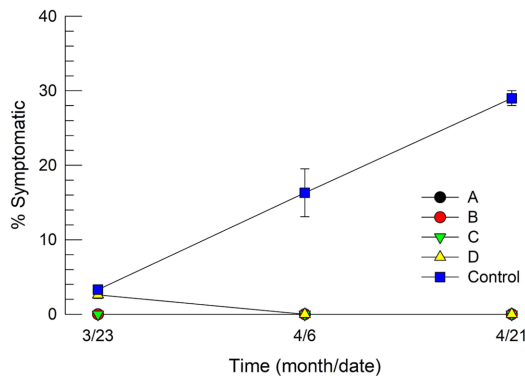
TSWV 보독 총채벌레 발생

황색 트랩에 포획된 총채벌레가 TSWV에 감염되었는지를 확인하기 위해 기주 총채벌레와 바이러스를 동시에 판정하는데 다중 PCR 분자진단기술을 이용하였다(Fig. S1). 이를 통해 육묘장에 발생한 총채벌레의 보독율을 분석한 결과, 월동세대로 추정되는 2월 집단인 경우(2월 22일 포획일) 최대 55% 이상의 보독율을 기록하였다(Fig. 2A). 그러나 이러

(A)



(B)



(C)

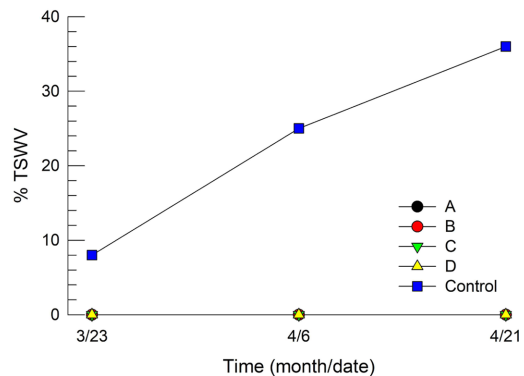


Fig. 3. Suppression of TSWV occurrence in four different nurseries (A-D) cultivating hot peppers by the early warning system compared to control. (A) Disease symptoms such as outward-curved leaves and subsequent diagnostic kit. (B) Symptomatic hot peppers in nurseries. TSWV infection rate was estimated from an experimental unit of 100 randomly chosen plants with three replications. (C) TSWV infection rate measured by the diagnostic multiplex PCR.

한 보독율은 지역에 따라 다양하였다. 즉, 전체적으로 포획 밀도가 낮은 A 지역에서는 전체 기간 보독충을 발견하지 못했다. 반면에 유사하게 포획 밀도가 낮은 C 지역은 높은 보독율을 보였다. 총채벌레 종별로 나누어 분석하여 보면(Fig. 2B) 두 우점종 가운데 꽃노랑총채벌레의 보독율이 대만총채벌레에 비해 약 6배 이상 높았다. 비록 포획 밀도는 낮았지만, 기타 총채벌레류에서 가장 높은 바이러스 보독율을 기록하였다.

총채벌레 방제 및 TSWV 감염 고추 발병 억제 효과

고추 육묘장(A-D)에서 발생한 총채벌레가 TSWV 보독충

으로 판명된 이후(2월 22일) 해당 농가에 방제 경보를 주었고, 이에 따라 살충제 처리가 이뤄졌다(Fig. S2). 대부분 총채벌레 적용 약제로서 처리 이후 육묘장에 발생했던 총채벌레 밀도가 억제되었고(Fig. 1A), 보독충의 비율이 급격하게 낮아졌다(Fig. 2A). 이러한 보독충의 비율이 낮아지는 것이 고추 TSWV 발병을 억제하였는지 분석하기 위해 대조구로서 약제 살포가 되지 않았던 육묘장 고추와 비교하였다(Fig. 3). 칼라병의 전형적 병징인 잎말림과 동심원 모양이 육묘에서도 나타났다(Fig. 3A). 이 병징을 기반으로 유관조사를 통해 병징을 확인한 후 항체진단키트를 이용하여 의심 시료를 판정하였다(Fig. 3B). 이때 칼라병 조기경보에 따라 약제 살

포된 육묘장에서는 발병이 나타나지 않았지만, 약제 처리가 이뤄지지 않았던 대조구 육묘장에서는 발병율이 증가하여 정식직전인 4월 말에 약 30%의 발병율을 기록하였다. 이러한 고추 발병 정도는 다중 PCR 분자진단을 통해 판정된 총체 보독율과 유사하였다(Fig. 3C).

고 찰

전 세계적으로 약 1,000종 이상의 기주 식물을 대상으로 TSWV는 농작물에 경제적 피해를 주고 있다(Parrella et al., 2003). 이 바이러스 감염을 알아내기 위해 PCR 진단기술 및 항체를 이용한 신속 진단법이 널리 사용되고 있다. 최근 상온에서도 DNA 증폭이 가능한 recombinase polymerase amplification (RPA) 기술을 이용하여 바이러스 특정 RNA 부위를 증폭하고 이를 lateral flow strips (LFS) 기술을 이용하여 증폭 결과를 수 분 내에 확인하는 진단기술까지 개발되었다(Lee et al., 2021). 그러나 이러한 진단기술은 기주 식물체의 병징이 확인된 이후에 TSWV 감염을 확인하는 것으로 감염 초기에 병징이 뚜렷이 나타나지 않았을 시기에 감염을 확인하기는 현실적으로 어렵다. TSWV가 총채벌레에 의해 전파되기 때문에 이 매개충을 대상으로 TSWV 감염 보독충을 확인하는 것이 이 바이러스에 기인한 고추 칼라병 확산을 억제하는 데 유효할 수 있다는 것이 본 연구의 제안이었다. 이를 본 연구에서는 TSWV 조기진단기술로 설정하였고, 이 기술의 효율성을 검증하기 위해 본 연구는 월동 이후 아직 TSWV 전파가 일어나지 않는 매개충 월동 직후시기의 고추 육묘장을 대상으로 분석하였다.

고추 육묘장에서 꽃노랑총채벌레, 대만총채벌레 그리고 기타 총채벌레가 발생하였다. 조사 지역인 영양은 안동과 더불어 국내 고추 최대 산지에 속해있다. 안동지역 고추재배지에서 조사한 연중 총채벌레를 분석하면 꽃노랑총채벌레와 대만총채벌레가 우점하였다(Kim et al., 2021). 특히 시설재배지에서는 99% 이상의 총채벌레가 이 두 종으로 구성되었으며, 이 가운데 꽃노랑총채벌레의 밀도가 더욱 많았다(Kim et al., 2022a). 다양한 총채벌레 분류군을 고려하여 볼 때 매우 특정 종들의 총채벌레류가 고추를 기주로 했다고 여겨진다. 왜냐하면 고생대 페름기에 기원한 총채벌레는 1,200속 이상으로 분류되어 여기에 약 7,700종 보고되고 있다(Sharov, 1972; Ghosh et al., 2021). 국내 총채벌레는 31속 58종이 알려져 있고, 이 가운데 총채벌레과(Thripidae)는 Dendrothripinae (벼룩총채벌레아과), Panchaetothripinae (그물총채벌레아과), Sericothripinae (방패총채벌레아과), 그리고 Thripinae (총채벌레아과)로 다시 세분되어 모두 45종이 보고되었다(Woo and Paik, 1971). 이들 가운데 26종이 해충이며 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*), 글라디올러스총채벌레(*Gladiolus thrips*), 난총채벌레(*Dichromothrips*

smithi), 오이총채벌레(*Thrips palmi*), 굴총채벌레(*Heliothrips haemorrhoidalis*), 그리고 포인세티아총채벌레(*Echinothrips americanus*) 등 6종의 외래종이 포함된다(Ahn et al., 1998; Lee et al., 2001). 본 연구에서 주목하는 꽃노랑총채벌레가 1994년도 제주에서 처음 발견된 이후 전국적으로 확산되었다(Lee et al., 2001). 한편 TSWV는 국내에서 2003년 충남 예산에 위치한 파프리카 재배지에서 최초로 발생이 보고되었다(Choi et al., 2004). 따라서 꽃노랑총채벌레 국내 유입과 TSWV 발생 사이의 인과 관계를 유추하여 볼 수 있다. 한편 꽃노랑총채벌레는 국내 시설재배지를 통해 겨울 기간 다양한 잡초에서 발견되어 월동하는 것으로 관찰되었다(Kim et al., 2022b). 반면 대만총채벌레는 휴면 기작으로 월동하는 것으로 알려져 있다(Murai, 1987). 본 연구에서 이들 총채벌레의 발생 시기를 살펴보면, 꽃노랑총채벌레는 2월 초부터 다수 포획된 것을 미뤄보았을 때 이 곤충이 휴면하지 않고 월동하는 것을 확인시켜 주었다. 이 시기에 육묘장 외부에서는 꽃노랑총채벌레가 거의 포획되지 않았다. 반면에 대만총채벌레는 2월에는 거의 포획되지 않다가 3월 이후에 육묘장 안과 밖에서 포획되기 시작하는 것을 미뤄 이들이 휴면발육 이후에 고추 기주로 옮겨오는 것으로 추정된다. 이러한 두 총채벌레의 월동 생태에 대해서는 이전의 연구 결과를 뒷받침하여 주었다(Kim et al., 2022b).

육묘장에 발생한 월동 총채벌레에서 TSWV가 발견되었다. 대부분 보독충은 꽃노랑총채벌레로 판명되었다. 대만총채벌레도 이 바이러스를 보독하지만, 보독율에서 꽃노랑총채벌레가 약 6배 이상 높아 육묘장 고추 칼라병 유발은 꽃노랑총채벌레에 의해 전파되는 것으로 추정된다. 또한, 발생 밀도는 낮지만, 기타 총채벌레로 분류되는 집단에서도 보독충이 발견되었는데 이들 모두는 파총채벌레로 판명되었다(Kim et al., 2023). 흥미로운 사실은 파총채벌레의 보독율이 꽃노랑총채벌레에 비해 높아 국내 고추 칼라병 전파에 주요한 매개충으로 자리할 수 있을 것으로 추정된다. 국내에서는 이들 3종의 총채벌레와 엉겅퀴총채벌레가 TSWV 매개충으로 알려져 있다. 고추에서는 많이 보고되지 않지만, 파총채벌레나 엉겅퀴총채벌레는 가지과 작물을 포함하여 다양한 기주 범위를 갖기에(Murai, 2001) 고추 재배지 주변의 선호성 기주가 존재할 경우 고추로 이동이 가능할 것으로 추정된다.

TSWV 보독충 발견과 동시에 살충제 처리는 총채벌레의 발생 밀도를 현격히 줄이고 아울러 TSWV 보독충의 밀도를 급감시켰다. 이러한 조기 방제 노력으로 무처리구에 비해 현격하게 낮은 TSWV 발병을 나타냈다. 대조구의 경우 4월 말 육묘장에서 약 30%의 발병율을 보였지만, 5월 초 정식할 때 일반적으로 선별 정식이 이뤄지기 때문에 아마도 노지에서는 이보다 낮아질 수 있다. 그러나 문제는 매개충 총채벌레의 보독율도 발병율과 상응하여 이들에 의한 추가

TSWV 감염은 불가피할 것으로 여겨진다. 따라서 육묘장에서 매개충 관리는 필수적으로 이뤄져야 한다. 이러한 점에서 본 연구에 개발하고자 하는 TSWV 조기경보기술은 고추 재배에서 필수적 요소로 자리 잡을 것으로 본다. 본 연구의 조사지역인 경북 영양의 경우 노지 고추 재배지에서 2012년부터 2016년까지 발생한 바이러스는 CMV 46.1%, BBWV2 41.5%, PepMoV 2.0%, PVY 2.0%, PMMoV 4.4%, TSWV 0.1%로 CMV와 BBWV2가 우점하는 바이러스이며 TSWV에 기인한 바이러스 병 발생은 비교적 낮은 것으로 기록되었다(Kwon et al., 2017). 그러나 TSWV 주요 매개충인 꽃노랑총채벌레의 발생 밀도 증가와 더불어 최근 이 바이러스에 기인한 칼라병의 발병 증가는 향후 고추 바이러스 발병 상대분포에서 우점종으로 자리할 가능성이 클 것으로 보고 있다. 따라서 이 바이러스에 대한 역학조사 및 조기관리가 선제적으로 이행될 필요가 있다.

이상의 결과는 고추 칼라병 방제를 위해서는 매개충 관리가 중요하다는 것을 재확인시켜 주었다. 특별히 육묘장에서 발생한 보독충은 이후 노지 정식에도 영향을 주기 때문에 초기에 TSWV 발생을 감지하는 것이 중요할 수 있다. Kim et al. (2022b)이 주목한 매개충의 월동 기주로서 시설재배지의 잡초제거가 육묘장 TSWV 전파를 막는데 유효하며, 분자진단기법을 이용한 보독충 관별도 바이러스 전염원을 초기에 차단하여 이후 노지로 유입되는 경로를 억제하는 효과를 줄 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01578901)의 지원에 의해 이루어졌다.

Author Information and Contributions

Chulyoung Kim, Andong National University, Post Master Researcher, <http://orcid.org/0009-0008-4221-9306>

Dea-Hong Lee, GyeongsangBuk-Do Agricultural Research & Extension Services Researcher

Yonggyun Kim, Andong National University, Professor, <http://orcid.org/0000-0002-6840-2167>

Research planning, Yonggyun Kim; Field monitoring, Chulyoung Kim, Dae-Hong Lee and Yonggyun Kim; TSWV analysis, Chulyoung Kim; Draft writing, Chulyoung Kim, Dae-Hong Lee and Yonggyun Kim; Review & editing, Chulyoung Kim, Dae-Hong Lee and Yonggyun Kim

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다

Literature cited

- Ahn SB, Kim IS, Lee MR, Ku DS, Kwon GM, et al., 1998. Distribution and kinds of pests on vegetables. in: Pest investigation reports on crops. NIAST, Suwon, Korea, pp. 435-485.
- Cho JD, Kim JS, Kim JY, Kim JH, Lee SH, et al., 2005. Occurrence and symptoms of tomato spotted wilt virus on vegetables in Korea (I). Res. Plant Dis. 11:213-216.
- Choi GS, Kim JH, Choi JK, Kim JH, 2004. Characterization of Tomato spotted wilt virus from paprika in Korea. Plant Pathol. J. 20:297-301.
- Ghosh A, Jangra S, Dietzgen RG, Yeh WB, 2021. Frontiers approaches to the diagnosis of Thrips (Thysanoptera): how effective are the molecular and electronic detection platforms? Insects 12:920.
- Han MJ, Kim IS, Ahn SB, Lee ML, Hong KJ, et al., 1998. Distribution and host plants of recently introduced western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) in Korea. RDA J. Crop Prot. 40:83-88.
- Katayama H, 1995. Overwintering of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* Pergande in the western region of Shizuoka Prefecture. B. Shizuoka Agric. Exp. Stn. 40:63-73.
- Katayama H, 1997. Effect of temperature on development and oviposition of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 41:225-231.
- Kenyon L, Kumar S, Tsai WS, Hughes J, 2014. Virus disease of peppers (*Capsicum* spp.) and their control. Adv. Virus Res. 90:297-354.
- Kim C, 2000. Review of disease incidence of major crops in 2000. Korean J. Pestic. Sci. 5:1-11.
- Kim C, Choi D, Kang J, Ahmed S, Kil E, et al., 2021. Thrips infesting hot pepper cultured in greenhouses and variation in gene sequences encoded in TSWV. Korean. J. Appl. Entomol. 60:387-401.
- Kim C, Choi D, Lee D, Khan F, Kwon G, et al., 2022a. Yearly occurrence of thrips infesting hot pepper in greenhouses and differential damages of dominant thrips. Korean J. Appl. Entomol. 61:319-330.
- Kim C, Choi D, Khan F, Hrithik TH, Hong J, et al., 2022b. Comparative analysis of cold tolerance and overwintering site of two flower thrips, *Frankliniella occidentalis* and *F. intonsa*. Korean J. Appl. Entomol. 61:409-422.
- Kim C, Abdisa E, Esmaily M, Khan F, Lee DH, et al., 2023. Detection of the TSWV-infected onion thrips, *Thrips tabaci*, and the viral multiplication in the insect vector. Korean J. Pestic. Sci. 27:135-144.

- Korean Statistical Information Service (KOSIS), 2020. Area of cultivation of outdoor vegetables. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0013&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=K1_15&seqNo=&lang_mode=ko&lang_uage=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE. E. (Accessed Aug. 18, 2021).
- Kwon OH, Lee JH, Jang KS, Kim DJ, Kim CY, et al., 2017. Incidence of viral diseases on red pepper in Yeongyang-Gun, Gyeongbuk province. *Res. Plant Dis.* 23:234-240.
- Lee GS, Lee JH, Kang SH, Woo KS, 2001. Thrips species (Thysanoptera: Thripidae) in winter season and their vernal activities on Jeju island, Korea. *J. Asia Pac. Entomol.* 4:115-122.
- Lee S, Lee J, Kim S, Choi H, Park J, et al., 2004. The incidence and distribution of viral diseases in pepper by cultivation types. *Res. Plant Dis.* 10:231-240.
- Lee JH, Hong JS, Ju HJ, Park DH, 2015. Occurrence of viral diseases in field-cultivated pepper in Korea from 2006 to 2010. *Korean J. Organic Agri.* 23:123-131.
- Lee HJ, Cho IS, Ju HJ, Jeong RD, 2021. Rapid and visual detection of tomato spotted wilt virus using recombinase polymerase amplification combined with lateral flow strips. *Mol Cell. Probes* 57:101727.
- Moon HC, Cho IK, Im JR, Goh BR, Kim DH, et al., 2006. Seasonal occurrence and damage by thrips on open red pepper in Jeonbuk Province. *Korean J. Appl. Entomol.* 45: 9-13.
- Murai T, 1987. Reproductive diapause of flower thrips, *Frankliniella intonsa*. In: Holman J, Pelikan J, Dixon AFG, Weismann L (Eds.), Population structure, genetics and taxonomy of Aphids and Thysanoptera. SPB Academic Publishing, Hague, pp. 467-479.
- Murai T, 2001. Life history study of *Thrips setosus*. *Entomol. Exp. Appl.* 100:245-251.
- Parrella G, Gognalons P, Gebre-Selassie K, Vovlas C, Marchoux G, 2003. An update of the host range of tomato spotted wilt virus. *J. Plant Pathol.* 85:227-264.
- Reitz SR, Gao Y, Kirk WDJ, Hoddle MS, Leiss KA, et al., 2020. Invasion biology, ecology, and management of western flower thrips. *Annu. Rev. Entomol.* 65:17-37.
- Rotenberg D, Jacobson AL, Schneweis DJ, Whitfield AE, 2015. Thrips transmission of tospoviruses. *Curr. Opin. Virol.* 15:80-89.
- Seo J, Yi Y, Kim B, Hwang JM, Choi SW, 2011. Disease occurrence on red-pepper plants surveyed in Northern Kyungbuk province, 2007-2008. *Res. Plant Dis.* 17:205-210.
- Seo MH, Lee SC, Yang CY, Yoon JB, Park J, 2018. Monitoring occurrence status of thrips populations on field-cultivated pepper at major cultivated region in west coast, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 36:544-549.
- Sharov AG, 1972. On phylogenetic relations of the order of thrips (Thysanoptera). *Entomol. Rev.* 54:854-858.
- Stafford CA, Walker GP, Ullman DE, 2011. Infection with a plant virus modifies vector feeding behavior. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108:9350-9355.
- Woo KS, Paik WH, 1971. Studies on the thrips (Thysanoptera) unrecorded in Korea (I). *Korean J. Plant Prot.* 10:69-73.

바이러스 감염 매개충 진단을 통한 고추 육묘장 토마토반점위조바이러스 발병 경보기술

김철영¹ · 이대홍² · 김용균^{1*}

¹안동대학교 식물외과, ²경상북도 농업기술원 영양고추연구소

요약 고추(*Capsicum annuum*)에 피해를 주는 일명 칼라병은 토마토반점위조바이러스(Tomato spotted wilt virus: TSWV)에 의해 유발된다. 이 바이러스의 전파는 총채벌레의 흡즙 활동에 의해 이뤄진다. 바이러스 감염 이후 발병까지의 경과 시간을 고려할 때 조기에 이 바이러스를 감지하는 것이 추가 병 발생을 효과적으로 억제하게 된다. 이를 해결하기 위해 본 연구는 매개충인 총채벌레의 보독 유무를 조기에 판정하여 방제 경보를 알리는 기술을 구상하였다. 이 기술을 검증하기 위해 고추 주산지인 영양지역을 대상으로 월동 초기 총채벌레의 발생을 모니터링하면서 이 바이러스 보독율을 다중 PCR 진단기술로 판정하였다. 2023년 2-4월에 육묘장 시설재배지에서 월동한 총채벌레는 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*), 대만총채벌레(*Frankliniella intonsa*) 및 기타 총채벌레로 구성되었다. 꽃노랑총채벌레는 모니터링이 시작하는 2월 초부터 포획되었으나, 대만총채벌레는 3월부터 포획되었다. 보독된 총채벌레는 대부분 꽃노랑총채벌레였고, 최대 약 55%의 보독충 비율을 나타냈다. 또한 대만총채벌레와 일부 기타 총채벌레에서도 바이러스 보독이 일부 판명되었다. 조기경보에 따른 총채벌레 적용 살충제를 처리한 결과 총채벌레의 밀도가 낮아졌고, 아울러 바이러스 보독충의 밀도가 급감하였다. 대조구에서는 상대적으로 보독충의 비율과 이에 따른 칼라병 발생(약 30%)이 높았다. 따라서 본 연구를 통해 보독 총채벌레의 진단 및 이에 따른 살충제 방제 처리가 고추에 TSWV 감염을 억제하는 데 유효하다는 것을 제시하였다.

색인어 진단, 처방, 총채벌레, 토마토반점위조바이러스

Supplementary data

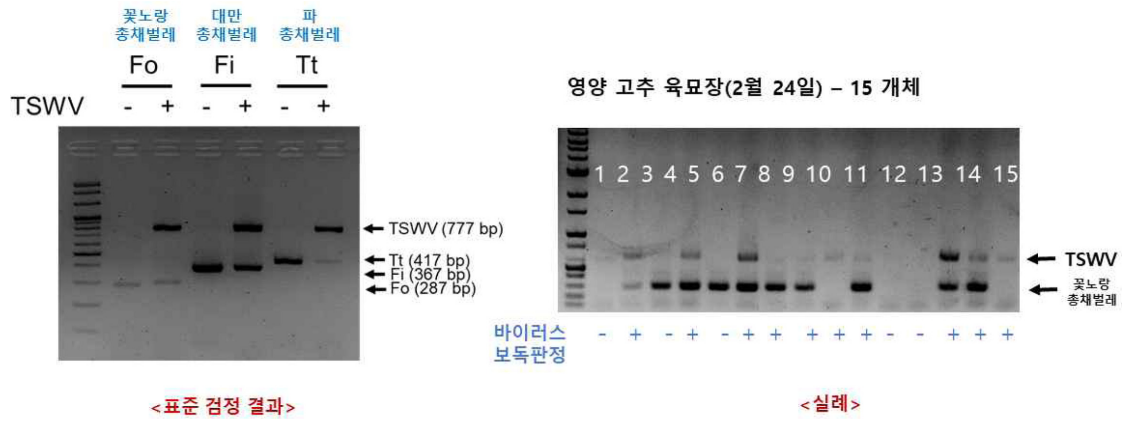


Fig. S1. Multiplex PCR to diagnose TSWV-positive thrips.

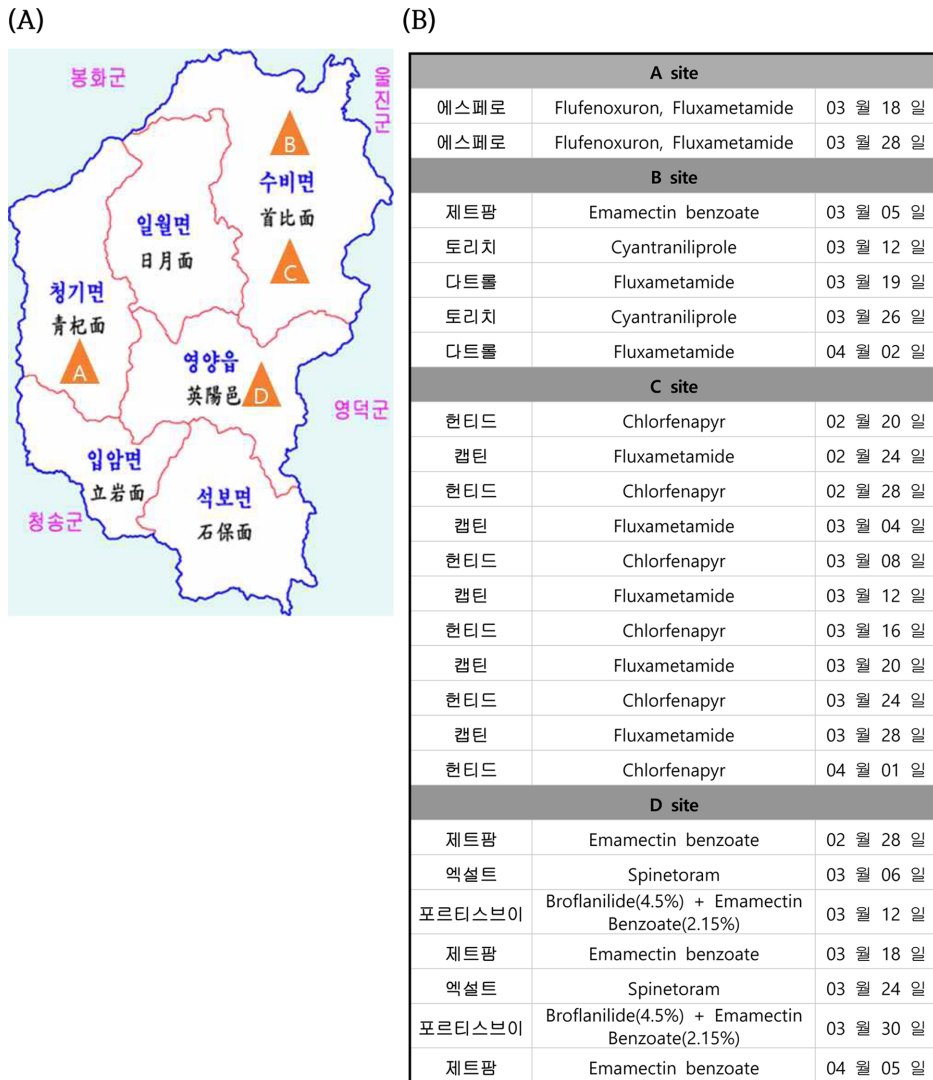


Fig. S2. Insecticide application in four nurseries cultivating hot peppers in Yeongyang. (A) Localities of the nurseries (B) History of insecticide sprays.