

Research Article



CrossMark

Open Access

환경제어 조건에서 방충망 색과 크기가 담배가루이 및 꽃노랑총채벌레의 물리적 방제에 미치는 영향

정충렬^{1*}, 윤정범², 김광호³, 이광재⁴, 허정욱¹, 김현환¹

¹국립농업과학원 농업공학부 생산자동화기계과, ²국립원예특작과학원 원예특작환경과,
³국립농업과학원 농산물안전부 작물보호과, ⁴충청북도농업기술원 연구개발국 원예연구과

Colors and Sizes of Insect Screen Net Influence Physical Control of *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* under Controlled Environments

Chung-Ryul Jung^{1*}, Jung-Beom Yoon², Kwang-Ho Kim³, Guang-Jae Lee⁴, Jeong-Wook Heo¹ and Hyun-Hwan Kim¹
(¹Farming automation division, Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, Jeonju 54875, Korea ²Horticultural and herbal crop environment division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Wanju 55365, Korea ³Crop protection division, Department of Agro-food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea ⁴Horticulture research division, Research and Development, Chungbuk Agricultural Research and Extension Service, Cheongju 28130, Korea)

Received: 7 October 2015 / Revised: 26 October 2015 / Accepted: 2 November 2015

Copyright © 2016 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Jung-Beom Yoon

<http://orcid.org/0000-0002-7892-2115>

Abstract

BACKGROUND: The tobacco whitefly(*Bemisia tabaci* Gennadius) and western flower thrips(*Frankliniella occidentalis* Pergande) seriously damaged to several greenhouse crops and transmitted plant viruses such as the Tomato Yellow Leaf Curl Virus(TYLCV) and Tomato Spotted Wilt Virus(TSWV). Objective of this study was to elucidate exclusion effects of insect screen nets by various hole sizes and colors for control of the two insect pests in controlled environments such as a closed plant production system.

METHODS AND RESULTS: The exclusion effects to various hole sizes of three other colors with 30 individuals of two insect pests was evaluated. *B. tabaci* was not showed not difference to different colors and sizes. *F. occidentalis*

showed that 0.2 mm black screen was the most effective exclusion than other colors of 0.6 and 0.8 mm.

CONCLUSION: The two insects were different responses to various hole sizes of white and other color screen nets. It was proved that the 0.4 mm white screen net used in this experimental condition was suitable for exclusion of *B. tabaci* and 0.2 mm black for *F. occidentalis*.

Key words: *Bemisia tabaci*, *Frankliniella occidentalis*, insect screen net, exclusion effect

서론

담배가루이(*Bemisia tabaci* Gennadius)는 전 세계적으로 발생되며 흡즙피해와 함께 Tomato Infectious Chlorosis Virus(TICV, Duffus *et al.*, 1996) 병 등 25종 이상의 바이러스병을 매개하여 시설작물의 수량감소 및 품질저하에 큰 영향을 주는 해충이다(Bedford *et al.*, 1994). 또한 토마토에서는 황화잎말림병(Tomato Yellow Leaf Curl Virus, TYLCV)을 매개하며 병징이 발현 후 토마토 생산량이 크게

*Corresponding author: Chung-Ryul Jung
Phone: +82-63-238-4059; Fax: +82-63-238-4035;
E-mail: crjung7392@gmail.com

Table 1. The types of various insect screens used for exclusion test of *B. tabaci* and *F. occidentalis*

Size (mm)	Color	Raw material	Manufacturer	Country
0.2	White	Nylon	Sungjae MH TEC	Korea
	Black	Polypropylene		
0.3	White	Polyethylene	Sungjae MH TEC	Korea
0.4	White	Polyethylene	Sungjae MH TEC	Korea
0.6	White	Polypropylene	Sungjae MH TEC	Korea
	Black	Polyethylene	Textoma	Korea
	Red	Polyethylene	Nihon Widecloth, Co., Ltd.	Japan
0.8	White	Polypropylene	Sungjae MH TEC	Korea
	Red	Polyethylene	Nihon Widecloth, Co., Ltd.	Japan
TW30	White	Polyethylene	Takii & Co., Ltd.	Japan

감소한다(Horowitz *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2012). 담배가루이는 기주범위가 넓어 86과 700 여종 이상의 식물을 가해하며(Greathead, 1986), 지금까지 9 가지의 biotype이 보고되었다(Brown *et al.*, 1995).

꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis* Pergande)는 미국 북부지역이 원산지로서 1980년부터 널리 퍼지기 시작하여 현재 전 세계에 광범위하게 분포하고 있다(OEPP/EPPO, 1989). 특히 시설재배작물에 중요한 해충이며(Higgins and Mayer, 1992; Gerin and Hance, 1993), 국내에서는 1993년 8월 제주도 서귀포시 밀감하우스 재배농가에서 처음 발견되었다(Chung *et al.*, 2000). 꽃노랑총채벌레는 발육단계마다 서식처가 다르고 온실 내 높은 온도에서 번식력이 왕성하며 성충의 몸이 작기 때문에 잎 뒷면이나 꽃잎 사이 등에 숨기 좋아하는 습성과 빠른 약제 내성을 획득하기 때문에 전 세계와 우리나라에서 시설작물을 가해하는 주요해충으로 자리 잡았다(Scmidt and Frey, 1995; Immaraju *et al.*, 1992; Yu *et al.*, 2002; Chung *et al.*, 2013). 온실과 같은 재배시설에서 연중 발생하고 약제방제를 우선하였기 때문에 살충제에 대한 교차 또는 복합저항성을 증가시켰을 뿐만 아니라 이러한 살충제로부터 살아남은 해충들의 밀도가 더욱 증가되는 부작용을 가져왔다(Helyer & Brobyn, 1992; Immaraju *et al.*, 1992; Zhao *et al.*, 1995).

꽃노랑총채벌레는 고추, 토마토, 장미, 국화 등 62과 224종 식물의 잎과 꽃을 가해하고 산란을 통해 피해를 주며, 담배가루이처럼 약충이 Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV)와 Tobacco Streak Virus(TSV)를 매개하여 경제적으로 막대한 손실을 주고 있다(Salguero *et al.*, 1991, 1994; Helyer & Brobyn, 1992; Barbour and Brandenburg, 1994; Groves *et al.*, 2001).

시설재배지에서 총채벌레류 및 가루이류와 같은 미소해충의 유입 차단은 IPM(Integrated Pest Management)에 있어 가장 먼저 고려해야 할 사항으로 살충제 가격 상승으로 인한 농가의 경제적 부담과 살충제에 대한 저항성 증가를 감소시키기 위해서는 방충망의 사용이 가장 효과적이라 할 수 있다(Neal, 1992). 방충망 사용은 해충 개체군의 감소(Berlinger

et al., 1983, 1991, 1992; Robb and Parrella, 1988; Baker and Jones, 1989), 곤충 매개 식물병의 낮은 발병(Berlinger *et al.*, 1983; Baker and Jones, 1989) 및 살충제 살포횟수의 감소(Berlinger *et al.*, 1983; Robb and Parrella, 1988) 등에 있어 긍정적 효과를 보이고 있다. 시설재배지에서 총채벌레류와 가루이류 등의 유입 차단을 위한 방충망 사용은 재배적 방법의 하나로, 연중재배가 가능한 육묘장, 박과(*Cucurbitaceae*), 가지과(*Solanaceae*) 등의 과채류와 엽채류 및 화훼류 등 대부분의 작물에 적용 가능한 중요한 방제기술이라고 할 수 있다(Chung *et al.*, 2013).

따라서 본 연구에서는 시설재배지, 유리온실 및 식물공장과 같은 폐쇄형 작물재배 시스템 내 재배작물에 피해를 입히는 유입해충 중에서 바이러스 매개충인 담배가루이와 꽃노랑총채벌레의 유입 차단 및 방제 효율을 증가시킬 수 있는 방충망 크기와 색상별 차단 효과를 조사하였다.

재료 및 방법

실험곤충

실험에 사용한 담배가루이와 꽃노랑총채벌레는 국립농업과학원 작물보호과 곤충사육실(25±1 °C, 65-70%)과 국립원예특작과학원 원예특작환경과 온실(25±1 °C, 60-70%)에서 가지와 땅콩으로 누대 사육한 개체들을 각각 사용하였다.

담배가루이 방충망 처리

방충망 통과실험은 SPL LifeScience Co., Ltd. (Pochun, Korea)에서 판매하고 있는 두 종류의 직사각형 사육용기(72 × 72 × 100 mm, Product No. 310076, 310077)와 고정용 프레임(80.8 × 80.8 × 21 mm, Product No. 310074)을 사용하였다. 바닥면에 1개의 환기구를 가진 사육용기를 뒤집어 고정용 프레임에 고정시킨 후 담배가루이 성충 30 마리를 용기 안에 넣고 프레임 위에 백색 방충망(Table 1)을 덮은 후 사육용기 입구를 프레임에 고정시켰다. 담배가루이 성충은 30 마리를 1회 반복으로 한 후 5 반복 처리하였다. 성충 유인을 위해 토마토의 어린 잎 하나를 1.5 ml 튜브에 집어넣고 물을

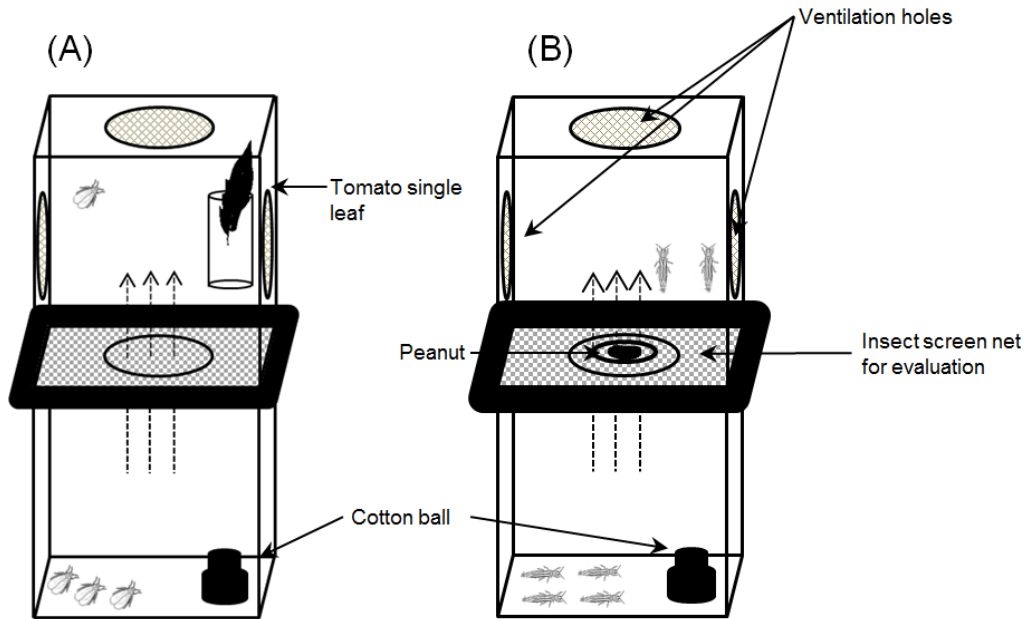


Fig. 1. The schematic diagrams for exclusion test of insect screens to *B. tabaci* and *F. occidentalis*. (A): *B. tabaci*, (B): *F. occidentalis*.

채운 후 사육용기 한 쪽 면에 투명 테이프를 부착하여 고정시켰다. 담배가루이 성충에 수분을 공급하기 위해 물에 적신 솜을 직경 1.5 cm 크기의 실험용기에 넣은 후 용기 바닥면에 고정하였다. 사육용기 안에 처리된 개체의 탈출을 방지하기 위해 방충망이 처리된 부분을 parafilm으로 추가 고정시켰다 (Fig. 1). 성충 처리 24 시간 뒤에 방충망 통과 여부를 조사하였다. 사육실 내 온도와 상대습도는 24 ± 1 °C, $60\pm 10\%$ 로 각각 설정하였고 낮과 밤의 처리시간은 각각 12 시간을 유지하였다.

담배가루이 색상별 방충망 처리

SPL LifeScience Co., Ltd.의 직사각형 사육용기 (Product No. 310076, 310077)와 고정용 프레임(Product No. 310074)을 사용하여 백색과 적색의 0.6 mm 및 0.8 mm 망(Table 1)을 설치 고정하였다. 담배가루이 성충 및 기주식물 처리 방법은 백색 방충망 처리 방법과 동일하다.

꽃노랑총채벌레 방충망 처리

방충망 처리 방법 및 개체수는 담배가루이에서 사용한 방법과 동일하다. 성충 유인을 위해 직경 2 cm 백색 플라스틱 튜브의 마개에 물에 불린 땅콩을 세로로 이등분하여 그 반쪽을 올린 후 방충망 위에 고정시켰다. 꽃노랑총채벌레 성충은 30 마리를 한 반복으로 하여 5 반복 처리하였다. 처리 24 시간 뒤에 방충망을 통과하여 땅콩에 유인된 개체와 사육용기 아랫면에 남아있는 개체를 구분하여 조사 기록하였다.

꽃노랑총채벌레 색상별 방충망 처리

2 종류의 0.2 mm 망(흑색과 백색), 3 종류의 0.6 mm 망

(적색, 흑색 및 백색), 2 종류의 0.8 mm 망(적색 및 백색)(Table 1)을 백색 방충망에서 사용한 것과 동일한 방법으로 꽃노랑총채벌레 성충을 대상으로 처리하였다.

통계처리

백색 및 흑색의 색상별 방충망에 대한 담배가루이와 꽃노랑총채벌레의 차단효과는 양측검정을 실시하였고 TW30을 포함한 5 가지의 백색 방충망의 크기별 차단효과에 대한 유의성 검정은 SAS 프로그램(SAS, 1989)의 PROC GLM을 이용하여 분산분석한 후 처리 간의 평균을 비교하였다. 분산분석에서 처리간 차이가 인정되는 경우 그 차이는 최소유의차검정(LSD)을 이용하여 비교하였다.

결 과

방충망 크기별 담배가루이 차단효과

6 가지 크기별 백색 방충망 중에서 0.2 mm 망은 담배가루이를 100% 차단하였다. 방충망 크기 중에서 0.3 mm와 0.4 mm의 망도 각각 97.8% 및 96.7% 이상의 차단효과를 나타냈지만 이들 3 종류의 방충망 사이에서는 크기별 유의성은 보이지 않았다(Fig. 2, $F = 862.25$; $df = 6$; $P = 0.0001$). 0.6 mm 이상의 방충망에서는 차단효과가 42.2%까지 감소하였고 일본에서 총채벌레 유입차단용으로 사용하고 있는 TW30에서는 12.5%의 차단율을 나타냈다. 이는 방충망 처리 없이 토마토 잎만을 처리하여 대조구로 사용한 무처리 결과와 유사하여 담배가루이 차단에는 효과가 없음을 보여 주었다. 방충망의 크기가 커질수록 담배가루이 또한 쉽게 통과할 수 있음을 보여주고 있는데 차단효과를 고려한다면 0.4 mm

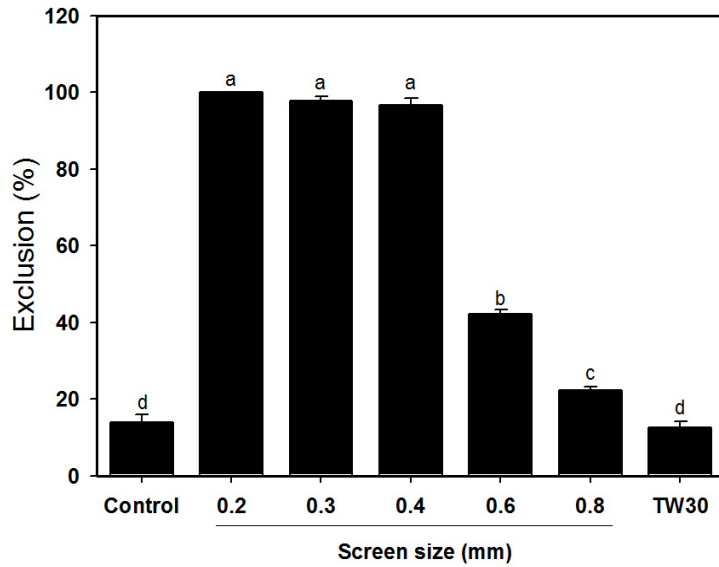


Fig. 2. Exclusion effects of *B. tabaci* to insect screens of various sizes with white color. Control means that cage not installed insect screen net. Each treatment consisted 30 individuals and was replicated three times. Different letters above standard error bars indicate significant difference among means at Type I = 0.05 (LSD test). Teitel (2007) was reported that the average thorax size of *B. tabaci* adult females and males were 245.5 and 184.4 μ m, respectively.

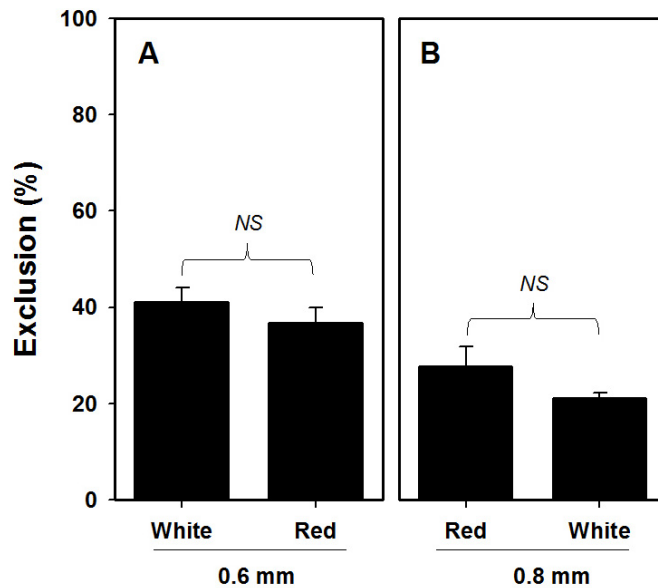


Fig. 3. Exclusion effects of *B. tabaci* to insect screens of two types with white and red colors. Each treatment consisted 30 individuals and was replicated three times. NS means not significant.

의 방충망 사용이 적합한 것으로 판단된다.
색상별 담배가루이 차단효과

두 종류의 망 크기(0.6 및 0.8 mm)와 두 종류의 색상(백색 및 적색)을 가진 방충망을 대상으로 색상별 차단효과를 비교 조사한 결과, 두 종류의 방충망 모두에서 색상별 차단효과에서는 차이가 없음을 확인하였다. 0.6 mm 망의 경우 백색이 적색보다 담배가루이 성충 차단율이 다소 높게 나타났지만 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 3A, $t =$

1.00; $P = 0.3745$). 0.8 mm 망에서는 백색보다 적색에서 다소 높게 나타났지만 통계적인 유의차가 없었다(Fig. 3B, $t = -1.60$; $P = 0.2334$). 이러한 결과는 방충망 색상은 담배가루이의 유입 차단에 유의한 영향을 미치지 않으나 방충망 크기가 차단효과에 영향을 미치는 요인임을 시사한다.

방충망 크기별 꽃노랑총채벌레 차단 효과

5 가지 크기(0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8 mm)별 백색 방충망

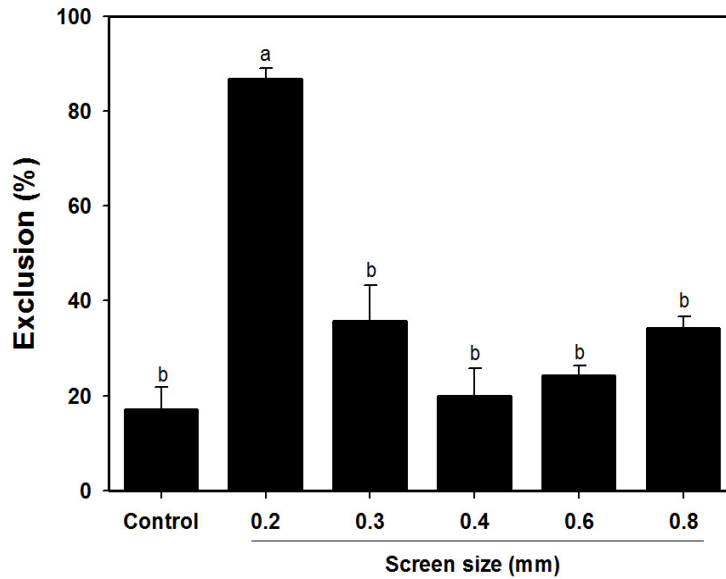


Fig. 4. Exclusion effects of *F. occidentalis* to insect screens of various sizes with white color. Control means that cage not installed insect screen net. Each treatment consisted 30 individuals and was replicated five times. Different letters above standard error bars indicate significant difference among means at Type I = 0.05 (LSD test). Teitel (2007) was reported that the average thorax size of *F. occidentalis* adult females and males were 261.3 and 215.8 μ m, respectively.

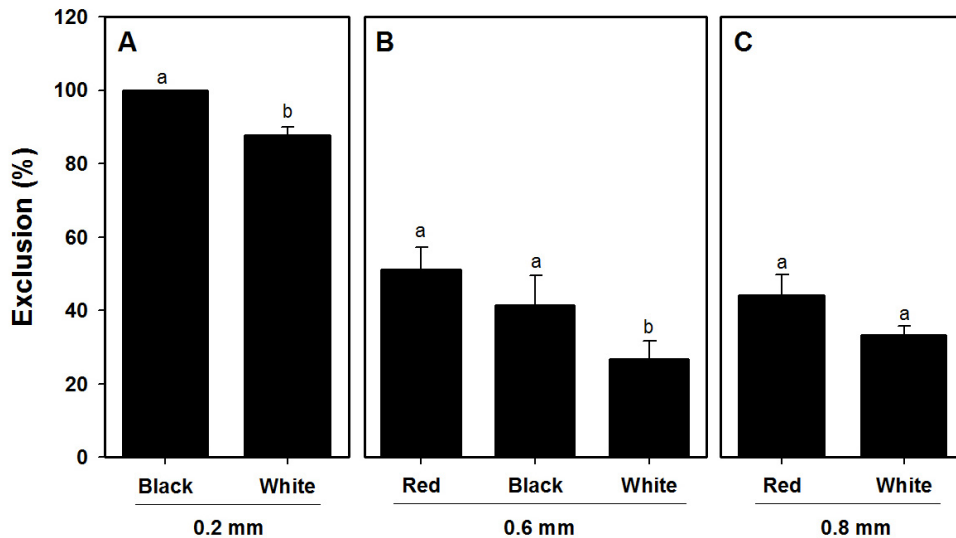


Fig. 5. Exclusion effects of *F. occidentalis* to different three colors. Each treatment consisted 30 individuals and was replicated five times. Different letters above standard error bars indicate significant difference among means at Type I = 0.05 (LSD test).

처리에서 0.2 mm의 방충망에서 86.8%의 차단효과를 나타낸 반면, 다른 방충망에서는 40% 미만의 차단효과를 보였다(Fig. 4, $F = 30.91$; $df = 5$; $P = 0.0001$). 0.3 mm 망에서는 35.8%까지, 0.4 mm에서는 20.0%까지 차단하였다. 그러나 0.6 mm 망 이상의 차단효과는 24.3%로 증가하여 0.8 mm에서는 34.2%까지 증가하였지만 서로 유의한 차이는 보이지 않았다. 시설재배지에서 꽃노랑총채벌레의 유입 차단을 위해서는 0.2 mm의 방충망 사용이 적합한 것으로 판단되며 0.2 mm의 망

보다 큰 방충망을 사용할 경우 유입된 개체의 이동을 억제하기 위해 점착트랩의 사용이 필요할 것으로 여겨진다.

색상별 꽃노랑총채벌레 차단효과

흑색과 백색의 0.2 mm 방충망을 비교한 결과, 흑색망에서는 100% 차단효과를, 백색에서는 87.8%의 차단효과를 나타내어 차단효과에서는 흑색이 백색보다 높았다(Fig. 5A, $t = 5.36$; $P = 0.0007$).

3 종류의 색상(적, 흑 및 백색)을 가진 0.6 mm 방충망과 2 종류의 색상(흑색과 백색)을 가진 0.8 mm 방충망 처리에서는 색상별 차단효과가 다르게 나타났다. 0.6 mm 망에서는 백색(26.6%) < 흑색(41.3%) < 적색(51.0%) 순으로 차단효과가 높게 나타난 반면(Fig. 5B, $F = 3.50$; $df = 2$; $P = 0.0635$), 0.8 mm 망에서는 적색망이 백색망 대비 약 1.3 배 차단효과가 높게 나타났지만 통계적 유의차는 없었다(Fig. 5C, $t = -1.79$; $P = 0.1302$).

본 연구를 통하여 백색과 적색간의 색상 차이 및 0.6, 0.8 mm 망 처리효과를 비교해 보면, 꽃노랑총채벌레는 방충망의 색상 차이를 인지하는 것으로 여겨지며 백색망보다는 적색망이 꽃노랑총채벌레 방제에 효과적인 것으로 조사되었다. 그러나 인공광을 사용하는 식물공장과 같은 폐쇄형 재배시스템 보다는 온실과 같은 반폐쇄형 시설재배지 등에서 꽃노랑총채벌레를 대상으로 유입차단을 위해서는 0.6 mm의 적색 방충망보다는 0.2 mm의 흑색 방충망을 사용하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

고 찰

시설 내 바이러스를 매개하는 담배가루이와 꽃노랑총채벌레는 연중 발생하기 때문에 연속적이며 효과적인 방제방법이 필요하다. 대부분의 농가에서는 주로 식물추출물 등의 친환경 자재나 살충제를 사용하는 화학적 방제가 중심을 이루고 있다. 그러나 살충제를 지속적으로 살포하는 화학적 방제는 결과적으로 살충제에 대한 저항성 증가와 함께 해충의 밀도를 증가시키는 결과를 초래하고 있다(Helyer & Brobyn, 1992; Immaraju *et al.*, 1992; Zhao *et al.*, 1995). 또한 친환경 재배의 한 방법으로 천적과 점착트랩 등을 사용하고 있으나, 천적 사용은 방제효율 대비 구입비용이 문제가 되며, 친환경자재인 점착트랩의 사용은 설치와 제거에 노동력이 소요되는 등의 문제점이 거론되고 있다.

Brown과 Czosneck(2002)은 TYLCV 매개충인 담배가루이 방제에 대해 병해충 관리보다는 원천 차단이 병해충 해결방법이라고 언급하였다. 병해충 원천차단의 한 방법으로 방충망을 이용한 담배가루이 차단효과를 폐쇄된 실내에서 조사하였다(Oida *et al.*, 2007). 0.4 mm 방충망을 사용할 경우 100% 차단은 안 되었지만 방충망 통과 개체수가 크게 줄어들었고 0.3 mm 이하 방충망에서는 유입 차단효과가 매우 높다고 하였다. 또한 온실 포장실험을 통해 0.4 mm와 0.35 mm 방충망을 처리한 결과, 가루이류 발생 수에 차이가 없음을 확인하였고 0.4 mm 이하의 방충망은 차단효과가 높다고 하였다. 본 연구에서는 온실 포장실험을 진행하지 않았지만 폐쇄된 실내실험을 통해 얻어진 결과와 유사하여 0.4 mm 방충망 처리가 담배가루이의 폐쇄공간 유입차단에 효과적임을 확인하였다. Matsuura 등(2005)은 같은 속(congener) *B. argentifolia*를 대상으로 방충망을 이용한 실내 및 온실 포장실험을 진행한 결과, 실내의 완전차단을 위해서는 0.4 mm 이하 방충망의 필요성과 함께 온실 포장실험에서는 0.2~0.4

mm 망과 0.3 × 0.4 mm 망을 사용하는 것이 차단율을 95% 이상으로 향상시킬 수 있는 효과적 방법이라고 하였다.

최근 Chung 등(2013)은 담배가루이를 대상으로 망사 규격별로 통과실험을 진행하였는데 방충망 크기가 54 mesh에서는 개체가 쉽게 통과할 수 있었던 반면, 직교로 직조된 60 mesh부터 83 mesh까지의 방충망은 통과하지 못하였으며 유의성도 없었다고 하였다. Fujinaga 등(2007)은 과총채벌레(*Thrips tabaci*)를 대상으로 꽃도라지(*Eustoma grandiflorum*) 시설재배 출입구에 0.6 mm 방충망을 설치하여 시설 내 과총채벌레 수의 현저한 감소를 보고하였으나 본 연구에서는 통계적으로는 유의하지 않았지만 차단율 비교에서는 0.6 mm (24.3%)보다 0.3 mm (35.8%)과 0.8 mm 망(34.2%)이 높게 나타나 과총채벌레와는 상반된 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 생물종 간의 특성 때문에 나타난 결과로 판단된다.

방충망의 색상을 달리하여 시설 외부에서 내부로 유입차단을 위한 연구가 진행되었는데, Kuwabara 등(2013)은 오이 노지재배 터널 바깥쪽에 0.8 mm 적색 PE 방충망을 설치한 후 점착트랩을 이용하여 담배가루이와 오이총채벌레의 유입차단효과를 조사하였다. 담배가루이의 경우 적색망이 0.8 mm 백색망보다 차단효과가 높았지만 0.4 mm 낮았다고 하였다. 오이총채벌레의 경우 적색망이 0.8 mm 백색망보다는 차단효과가 높았고, 0.4 mm 백색 방충망과는 차단효과가 유사하였으며 시설재배오이의 온실 포장시험에서도 유사한 결과를 보여 오이총채벌레에 대한 적색 방충망의 유입차단 효과를 증명하였다.

본 연구에서도 담배가루이와 꽃노랑총채벌레를 대상으로 0.6 및 0.8 mm 적색 방충망을 처리하여 색상별 차단효과를 조사하였다. 0.8 mm 망에서는 동일한 크기의 백색망보다도 담배가루이의 차단효과가 다소 높게 나타난 반면 0.6 mm 망에서는 백색망이 높게 나타나 상반된 결과를 보여 주었다. 0.6과 0.8 mm의 적색망은 동일한 크기의 백색망보다 꽃노랑총채벌레의 차단효과가 높게 나타나 Kuwabara 등(2013)의 결과와 유사하였다. 흑색망 처리에서는 0.2와 0.6 mm의 백색망보다 차단효과가 높게 나타나 방충망 색상에 따라 꽃노랑총채벌레 유입차단반응이 있음을 보여주었다. 본 연구에서는 0.2 mm의 적색망과 0.4 mm의 흑색, 적색망 및 0.8 mm의 흑색망을 확보하지 못해 비교실험을 진행하지 못했지만 방충망 크기와 색상 간의 상관관계를 고려하여 차단효과를 추정해 보면 망 크기가 커지더라도 적색과 흑색의 색상 간에는 차이가 없을 것으로 판단된다. 또한 색상 차이로 인한 온실 내 차광을 생각한다면 흑색보다는 적색이 농작물의 생육에 유리할 것으로 추측되지만 토마토 온실 재배포장에서의 비교실험이 필요하다고 생각된다.

오이총채벌레의 전기망막전도(ERG, electroretinography) 측정결과에 따르면 성충은 적색을 인식하는 것으로 알려져 있는데(Murai, personal communication), 적색망이 오이총채벌레의 어떤 행동에 영향을 끼쳐 차단효과 향상으로 이어지는지 그 기작 구명을 위한 연구가 필요하다. 꽃노랑총채

벌레의 적색과 흑색에 대한 유입차단효과 또한 오이총채벌레에서 보고된 사례와 유사할 것으로 추측된다. 색상에 대한 가루이류와 총채벌레류의 반응과 관련하여 가장 쉽게 판단할 수 있는 방법은 현재 시설재배 농가에서 많이 사용하고 있는 황색과 청색의 점착트랩이며, 발광다이오드(LED, Light-Emitting Diode) 또한 해충 방제를 위한 광반응 연구에 이용되고 있다. Kim 등(2012)의 보고에 따르면 흑색 LED 처리가 담배가루이 유인에 효과적이었고 그 다음으로 청색, 황색 및 녹색광이라고 하였다. 온실가루이에 대해서 Jeon 등(2014)은 청색광이 가장 효과적이었으며 그 다음으로 녹색, 백색, 적색, 자외선 및 황색광 순으로 다양한 반응을 나타내었다. 꽃노랑총채벌레의 반응에 대해서 Yang 등(2015)은 녹색광이 효과적이고 그 다음으로 청색, 적색 및 백색광 순이었다고 하였다. 한편 오이총채벌레는 470 nm의 청색광과 반사점착판을 같이 사용했을 때 유인율이 높다고 하였다(Nakamura et al., 2014).

Kuwabara 등(2013)은 0.4 mm 적색망이 설치된 온실 내부가 고온이 되지 않기 때문에 오이 생육에 영향이 적다고 하였지만, Chung 등(2013)은 극세사의 방충망을 온실에 설치할 경우 온실 내부 온도의 상승과 함께 환기불량으로 높은 습도가 유지되며 이러한 환경조건에서는 병 발생의 위험이 높고 차광의 부작용을 초래할 수 있다고 하였다. 또한 온실 내부 온도 분포에 영향을 주는 다양한 환경조건에 대한 반복적인 실험이 필요하다고 요구하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 온실 내부 공기유동과 온도분포 등의 자료를 이용하여 환경조건의 변화를 모의 추정하는 컴퓨터 및 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)의 기술이 필요하다(Bailey et al., 2003; Fatnassi et al., 2013). 이러한 CFD 기술의 활용은 방충망 설치가 온실 내 온도 상승 및 습도에 미치는 영향을 알 수 있을 것으로 판단된다.

측창을 열어 작물을 재배하는 개방된 시설재배지와 작물의 생육에 필요한 환경조건의 조절이 가능한 유리온실이나 식물공장(스마트팜)처럼 환경이 조절된 폐쇄공간 내에서 작물을 재배할 경우 염려되는 담배가루이와 꽃노랑총채벌레의 발생은 생물적 또는 화학적 방제 이외에 0.4 mm의 백색 방충망과 0.2 mm의 흑색 방충망 사용하여 효과적으로 방제할 수 있을 것으로 생각된다.

요 약

주요 온실해충인 담배가루이와 꽃노랑총채벌레를 대상으로 크기가 다른 백색의 여섯 가지의 방충망(0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8 mm과 TW30)과 세 종류의 색상(흑, 백, 적)을 가지고 차단율을 조사하였다. 담배가루이와 꽃노랑총채벌레는 0.2 mm 방충망에서는 각각 100%와 86%의 높은 차단효과를 보였다. 그러나 0.3 및 0.4 mm 망에서 담배가루이는 96% 이상의 높은 차단율을 보인 반면 꽃노랑총채벌레는 40% 미만의 낮은 차단효과를 나타냈다. 담배가루이에 대한 0.6와 0.8 mm의 백색과 적색망의 색상별 차단효과를 조사한 결과 0.6 mm 망

에서는 백색이, 0.8 mm 망에서는 적색이 우수하였지만 큰 차이는 보이지 않았다. 꽃노랑총채벌레에 대한 0.2 mm 백색과 흑색망에서는 백색보다 흑색에서 100%의 완벽한 차단효과를 나타낸 반면, 0.6과 0.8 mm의 흑, 백, 적 또는 백, 적의 반응에서 백색보다는 적색의 차단효과가 높았다. 공기 순환과 경제성 측면에서 생각해 보면 담배가루이 방제에는 0.4 mm 백색 방충망을, 꽃노랑총채벌레 방제에는 0.2 mm의 흑색 방충망을 사용하는 것이 효과적이다.

Acknowledgment

This work was supported by a grant from the Agenda Program (PJ011416), Rural Development Administration, Republic of Korea. We authors thank to two representatives, Kwon, S. Y.(Sungjae MH TEC Co., Ltd.) and Kim, J. W.(Textmoa Co., Ltd.) for supply of insect screens nets, respectively.

References

- Bailey, B. J., Montero, J. I., Parra, J. P., Robertson, A. P., Baeza, E., & Kamaruddin, R. (2003). Airflow resistance of greenhouse ventilators with and without insect screens. *Biosystems Engineering*, 86(2), 217-229.
- Baker, J. R., & Jones, R. K. (1989). Screening as part of insect and disease management in the greenhouse. *North Carolina Flower Growers' Bulletin*, 34, 1-9.
- Bedford, I. D., Briddon, R. W., Brown, J. K., Rosell, R. C., & Markham, P. G. (1994). Geminivirus transmission and biological characterisation of *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotypes from different geographic regions. *Annals of Applied Biology*, 125(2), 311-325.
- Berlinger, M. J., Gol'berg, A. M., Dahan, R., & Cohen, S. (1983). The use of plastic covering to prevent the spread of Tomato Yellow Leaf Curl Virus in greenhouses. *Hassadeh*, 63, 1862-1865.
- Brown, J. K., & Czosnek, H. (2002). Whitefly transmission of plant viruses. *Advances in Botanical Research*, 36, 65-100.
- Brown, J. K., Frohlich, D. R., & Rosell, R. C. (1995). The sweet potato or silverflies biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex. *Annual Review of Entomology*, 40(1), 511-534.
- Chung, B. K., Lee, H. S., & Kim, Y. B. (2013). Establishment of 60 mesh nets to reduce crop loss by *Bemisia tabaci* (Gennadius)(Homoptera: Aleyrodidae) in tomato greenhouse. *Korean Journal of Applied Entomology*, 52(1), 23-27.
- Chung, B. K., Kang, S. W., & Kwon, J. H. (2000).

- Chemical control system of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) in greenhouse eggplant. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 3(1), 1-9.
- Duffus, J. E., Liu, H. Y., & Wisler, G. C. (1996). Tomato infectious chlorosis virus—A new clostero-like virus transmitted by *Trialeurodes vaporariorum*. *European Journal of Plant Pathology*, 102(3), 219-226.
- Fatnassi, H., Boulard, T., & Bouriden, L. (2013). Development, validation and use of a dynamic model for simulate the climate conditions in a large scale greenhouse equipped with insect-proof nets. *Computers and Electronics and Agriculture*, 98, 54-61.
- Fujinaga, M., Furuhashi, S., Yoneyama, C., Miyamoto, K., Miyasaka, M., & Ogiso, H. (2007). Seasonal prevalence of *Iris Yellow Spot Virus* viruliferous *Thrips tabaci* on sticky blue sheets beside an onion field and the effect of insect-proof nets in preventing invasion. *Annual Report of the Kanto-Tosan Plant Protection Society*, 54, 89-92.
- Gerin, C., & Hance, T. (1993). Evaluation of the damage caused by *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) on the host plant. Influence of the predation by *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) (Acari: Phytoseidae). *Mededelingen - Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent*, 58, 409-425.
- Greathead, A. H. (1986). *Bemisia tabaci* - a literature survey on the cotton whitefly with an annotated bibliography (ed. Cock, M. J. W.), pp. 17-25. CAB International Institute of Biological Control, Ascot, UK.
- Groves, R. L., Sorenson, C. E., Walgenbach, J. F., & Kennedy, C. G. (2001). Effects of imidacloprid on transmission of tomato spotted wilt tospovirus to pepper, tomato and tobacco by *Frankliniella fusca* Hinds (Thysanoptera: Thripidae). *Crop Protection*, 20(5), 439-445
- Helyer, N. L., & Brobyn, P. L. (1992). Chemical control of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis* Pergande). *Annals of Applied Biology*, 121(2), 219-231.
- Higgins, C. J., & Myers, J. H. (1992). Sex ratio patterns and population dynamics of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae). *Environmental Entomology*, 21(2), 322-330.
- Horowitz, A. R., Kontsedalov, S., Khasdan, V., & Ishaaya, I. (2005). Biotypes B and Q of *Bemisia tabaci* and their relevance to neonicotinoid and pyriproxyfen resistance. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 58(4), 216-225.
- Immaraju, J. A., Paine, T. D., Bethke, J. A., Robb, K. L., & Newman, J. P. (1992). Western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) resistance to insecticides in coastal California greenhouse. *Journal of Economic Entomology*, 85, 9-14.
- Jeon, J. H., Kim, M. G., & Lee, H. S. (2014). Phototactic behavior 4: attractive effects of *Trialeurodes vaporariorum* adults to light-emitting diodes under laboratory conditions. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 57(2), 197-200.
- Kim, M. G., Yang, J. Y., Chung, N. H., & Lee, H. S. (2012). Photo-response of tobacco whitefly, *Bemisia tabaci* gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae), to light-emitting diodes. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 55(4), 567-569.
- Kuwabara, K., Takahashi, M., & Tadenuma, M. (2013). Effect of red thin thread screen for control of *Thrips palmi* and *Bemisia tabaci* in greenhouses cultivated cucumber. *Annual Report of the Kanto-Tosan Plant Protection Society*, 60, 107-109.
- Nakamura, Y., Shibao, M., Tanaka, H., & Yano, E. (2014). Timing of the attraction of melon thrips, *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae), to reflective-type traps combined with blue sticky board and a blue LED array. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 58(4), 313-318.
- Navas, S. E., Funderburk, J. E., Beshear, R. J., Olson, S. M., & Mack, T. P. (1991). Seasonal patterns of *Frankliniella* spp. (Thysanoptera: Thripidae) in tomato flowers. *Journal of Economic Entomology*, 84(6), 1818-1822.
- Nava, S. E., Funderburk, J. E., Mack, T. P., Beshear, R. J., & Olson, S. M. (1994). Aggregation indices and sample size curves for binomial sampling of flower-inhabiting *Frankliniella* species (Thysanoptera: Thripidae) on tomato. *Journal of economic entomology*, 87(6), 1622-1626.
- Neal, K. (1992). Screen pests out, reduce chemical use. *Greenhouse Manager*, 10(12), 54-55.
- Matsuura, A., Tamura, M., & Shima, S. (2005). Relationship between mesh size of insect-proof nets and invasion prevention effect for the silverleaf whitefly. *Kyushu Plant Protection Research*, 51, 64-68.
- Oida, H., Tsugane, T., Kubo, C., Kusakawa, T., Shimizu, K., Nonomiya H., Kazato, N., & Nakadai, K. (2007). Distribution, seasonal occurrence and physical control of sweet potato whitefly *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) Q-biotype and Chiba prefecture. *Annual Report of the Kanto-Tosan Plant Protection Society*, 54, 143-150.

- Park J. A., Hemayet Jahan, S. M., Song, W. G., Lee, H. J., Lee, Y. S., Choi, H. S., Lee, K. S., Kim, C. S., Lee, S. C., & Lee, K. Y. (2012). Identification of biotypes and secondary endosymbionts of *Bemisia tabaci* in Korea and relationships with the occurrence of TYLCV disease. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 15(1), 186-191.
- SAS Institute, Inc. 1989. SAS/STAT user's guide, release 6.03, Ed. Cary, N.C.
- Schmidt, M. E., & Frey, J. E. (1995). Monitoring of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* in greenhouse, Mededelingen - Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent, 60, 847-850.
- Teitel, M. (2007). The effect of screened openings on greenhouse microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 143(3), 159-175.
- Yang, J. Y., Sung, B. K., & Lee, H. S. (2015). Phototactic behavior 8: phototactic behavioral responses of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae), to light-emitting diodes. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 58(3), 359-363.
- Zhao, J. Y., Liu, W., Brown, J. M., & Knowles, C. O. (1995). Insecticide resistance in field and laboratory strains of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Economic Entomology*, 88(5), 1164-1170.