

담배가루이 유인용 LED 선발과 기주식물이 초기 유인력에 미치는 영향

Identification of LED Lights for the Attraction of *Bemisia Tabaci* and Effect of Host Plant in the Initial Periods

권덕호*

D. H. Kwon*
국립한국농수산대학
채소학과¹
dhkwon1315@gmail.com

권민정

M. J. Kwon
국립한국농수산대학
채소학과¹
98_528@naver.com

양다영

D. Y. Yang
국립한국농수산대학
채소학과¹
rjaql245@naver.com

안울균

Y. K. Ahn
국립한국농수산대학
채소학과¹
aykyun@korea.kr

홍규현

K. H. Hong
국립한국농수산대학
채소학과¹
hongkh@korea.kr

박미리*

M. R. Park*
철원플라즈마산업기술연구원²
지역특화산업육성본부
mrpark@cpri.re.kr

Abstract

Four LEDs (blue, green, red, and white light) were tested to identify the most attractive wave length to utilize as the forecasting tools for the *B. tabaci* in glass houses. Attractiveness was evaluated by the total number of the *B. tabaci* attached to a yellow sticky trap. In the condition of no host plant supplement, the attraction efficacy was ordered from high to low as blue light (107.3±2.5), white light (83.0±12.1), red light (58±21.8), and green light (39.7±8.1). In the supplement of the host plant, the attraction was observed in the order of blue light (52±17.4), red light (38.7±5.8), green light (12.7±1.5), and white light (11.7±5.0). In both experimental conditions, blue light showed the highest attraction. In terms of the host plant effect to LED attraction, it varied following as white light (85.9%), green light (68.1%), blue light (51.6%), and red light (33.3%). This result suggests that red light is the least affected by the host plant. In the evaluation of the relative control efficacy, it was determined following as red light (66.7%), blue light (48.5%), green light (31.9%) and white light (14.1%) ($F_{3,8} = 14.7, P = 0.001$). Taken together, blue light had a very high initial attraction, and red light was revealed low attraction effect by the supplement of the host plant. In field demonstration experiments, a high attractive efficacy was not observed due to low-temperature conditions, but similar higher attractive efficacy was observed in blue and red lights compared to the control. The commercialization of LEDs using red and blue in the future is expected to provide important information regarding *B. tabaci* population density forecast in glass house.

Key words : Light emitting diodes, LED, Attraction, *Bemisia tabaci*, Forecasting

*교신저자

1 Korea National College of Agriculture and Fisheries. 1515, Kongwipatjwi-ro, Deokjin-gu, Jeollabuk-do, 54874, Korea
2 Cheorwon Plasma Research Institute. 4620, Hoguk-ro, Galmal-eup, Cheorwon-gun, Gangwon-do, 24047, Korea

I. 서론

담배가루이 총체 길이는 0.8mm 정도이고 앞에 산란하며 부화 약충은 4번의 탈피과정을 거쳐 잎 뒷면에서 성장하면서 노란색을 띤다. 담배가루이는 식물체의 즙액을 직접적으로 흡즙하여 생육 억제, 잎의 퇴색, 감로에 의한 그을음병 유발할 뿐만 아니라 식물 병원성 바이러스를 간접적으로 기주식물에 매개하여 수량 감소에 영향을 준다(De Barro et al., 2011; Oliveira et al., 2001). 담배가루이는 착색단고추의 경우, 25도 조건에서 암컷 성충 한 마리당 28일 정도 생존하며 약 195개의 알을 산란하는 것으로 보고되었다(한은정 등, 2008). 즉, 한 마리당 1일당 6.3개 산란하는 것으로 담배가루이의 초기 발생에 대한 예찰이 실패하면 밀도가 급격하게 증가하여 방제비용 증가를 초래한다. 따라서, 발생 초기 예찰은 즉각적인 방제 결정을 유도하여 작기 동안 담배가루이의 대량 증식과 확산을 줄이는데 도움이 된다.

담배가루이의 예찰 방법으로 기존에는 통상 황색 끈끈이트랩을 일반적으로 사용하였다(Tokumaru et al., 2009). 황색끈끈이트랩은 곤충행동 중 주광성을 이용하여 유인 후 밀도를 관찰하는 것으로(Jander, 1963), 태양의 광량과 인공광의 간섭에 의해 유인력이 불안정한 단점이 있다. 또한 가시광선이 존재하는 낮 기간 동안 사용이 제한되어 있어, 야간 활동성이 높은 해충에 적용하는데 한계가 있다.

이를 대체하고자 과거부터 인공광을 이용한 곤충 유인연구가 활발하게 진행되었다. 특히 UV 파장대의 광들은 밤나방과에 속하는 곤충에 대해서 유인력이 높은 것으로 보고되었으며(Aoki and Kuramitsu, 2007; Cowan and Gries, 2009), 이 중에서 파란색 형광등을 이용하여 만든 유인 트랩은 벼재배지에서 벼줄기에 피해를 주는 이화명나방을 유인하는데 효과적이라는 보고가 있다

(Ishikura, 1950). 국내에서는 농촌진흥청에서 1960년대부터 현재까지 약 140여곳의 예찰포에 유아등을 설치한 후 주요 해충 발생을 모니터링 하는데 활용하고 있다(김향용 등, 2002).

기존의 유인용 인공광은 수은을 성분으로 한 형광등으로 제작되었으나, 전력소모가 크고 수명이 짧은 단점이 있다. 발광다이오드(Light Emitting Diode, LED)는 이를 대체한 기술로서, 기존의 형광등에 비해 수명이 길고 전력소모가 적어 에너지 효율성이 높다(Cho et al., 2017). 국내 병해충 예찰 분야에서도 담배가루이를 모델 해충으로 선정하여 LED를 활용한 다양한 연구를 수행하였다. 다양한 파장을 지닌 LED등(371nm, 400-420nm, 430-440nm, 450-460nm, 455nm, 470nm, 520 nm, 526nm, 520-530nm, 570-580 nm, 590nm, 590-610nm, 625nm, 450-625nm)에 대한 담배가루이의 유인력 평가를 실내 조건이나 시설재배지 내에서 수행하였다(Kim et al., 2012; 이영수 등, 2019; 이중섭 등, 2017; 전주현 등, 2014). 이 가운데서 LED 유인력은 청색광, 초록광, 청색광 그리고 황색광에서 나타났으며, 비특이적이고 광범위하게 효과가 있는 것으로 보고 되었다. 즉, 파장대별 유인력은 평가 방법과 제조사별 LED 제조방식에 따라 다를 수 있음을 의미한다.

본 연구에서는 기존에 보고된 LED 파장대를 참고하여, 백색등(410-610nm), 청색등(450nm), 녹색등(520-525nm) 그리고 적색등(610nm) 선정하였으며, 유인용 평가 전용 아크릴 케이지를 제작하여 광원별 담배가루이 유인력을 평가하였다. 특히 광원 공급 후 담배가루이의 초기 반응을 시간대 별로 관찰하여, LED광에 대한 근본적인 유인력을 관측하는데 초점을 맞추었다. 또한 기주 식물이 LED등 유인에 미치는 간섭 효과를 이해하고자 하였다. 마지막으로 시설재배지에서 선발된 LED등의 실증 연구를 수행하였다.

II. 연구방법

1. 대상 해충 및 사육

담배가루이는 국립농업과학원에서 분양받은 계통을 누대사육한 것이다. 사육조건은 온도 24-26°C, 습도는 40-60%, 일장은 16:8(L:D)로 설정하였다. 먹이 교체는 약 30일마다 1회씩 이루어졌다. 먹이 식물은 가지를 선정하였으며, 사육실 내에서 원예용 상토에 종자를 발아시킨 후 식물생장등 아래에서 30-40일 정도 성장한 것으로, 담배가루이가 해충이 오염되지 않은 것을 사용하였다.

2. 처리 광의 종류

실험에 사용한 LED등은 종류는 백색등(410-610nm), 청색등(450nm), 녹색등(520-525nm), 적색등(610nm)이었다.

3. 실내 유인력 비교 평가

LED등 유인력 평가용 케이지(400 × 400 × 1000 mm)를 제작하였으며, 특징은 LED등의 설치가 용이하도록 전반부에는 간이 여닫이 문(상, 350 × 250mm; 하, 350 × 500mm)을 설치하였고, 후반부에는 대상 해충의 접종이 가능하도록 매쉬망을 부착하여 담배가루이 접종을 용이하게 하였다(Fig. 1). 공간의 활용성을 증대시키기 위해 가능한 평가용 케이지를 2 × 2로 배치하였으며, 각 평가용 케이지 사이에는 검정색 보드지를 이용하여 빛의 간섭을 차단하였다(Fig. 1B와 1C). LED광의 높이는 800mm에 설치하였고 LED등 아래에 황색끈끈이트랩을 수직으로 부착하였다. 기주식물로는 가지를 공급하였다. 광 공급 한 시간 전에 담배가루이 250마리를 접종하였으며, 전원공급 후 15분, 30분, 60분, 180분 그리고 360분 시점에 황색끈끈이트랩에 포집된 담배가루이를 밀도를 조사하였다. 실험에 사용한 기주 식물의 평균 높이는

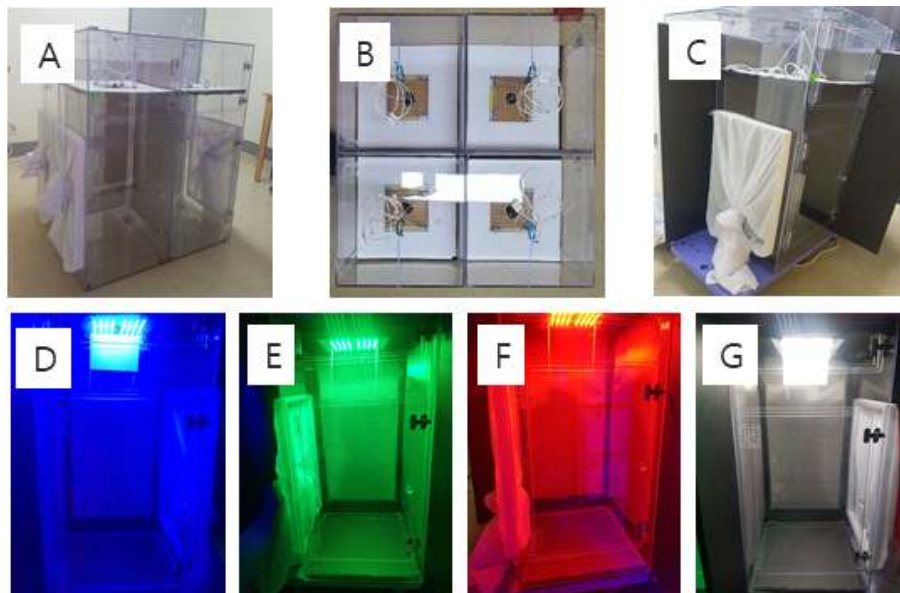


Fig. 1. Evaluation cages for LED attraction in *B. tabaci*. A, Side view; B, Over view; C, Side view after protecting the LED lights by black board; D, Blue light; E, Green light; F, Red light; G, White light

담배가루이 유인용 LED 선발과 기주 식물이 초기 유인력에 미치는 영향
권덕호 외 5인

110mm이며, 담배가루이 접종 마릿수는 성충 250마리이었다. 실험은 암조건에서 수행하였다. 암조건에서 유인력 평가는 빛을 완전히 차단한 후 기주식물과 황색끈끈이트랩만 설치 후 담배가루이의 밀도를 앞서 언급한 관찰시간에 조사하였다. LED등 유인력 평가는 먹이 부재 및 존재 조건 하에서 이루어졌다. 그리고 기주 식물이 LED 광의 유인에 미치는 영향을 산출하였다. 상대적인 방제가는 먹이 부재하의 유인력을 100%로 산정하고 상대적인 유인력을 산출하였다. 유인력 평가 실험은 3반복 수행되었으며, 통계적인 유의성 분석은 일월배치분산분석을 수행한 후 사후 검정은 Tukey's HSD 분석을 통해서 처리평균간 비교를 실시하였다(SPSS 12.0).

4. 실외 유인력의 비교 평가

유인력에 대한 실외 실증 평가는 3연동 비닐 하우스 재배지에서 수행하였다. 재배지는 약 660m² 규모에 독립실험이 가능한 소단위(1500×5000mm) 포장인 약 20개 구역으로 구성되어 있다. 해당 구역 4개 구역을 청색등, 적색등, 백색등 그리고 무광 조건 실험 구역으로 선정하였다(Fig. 2). 시험재료로 토마토 식물체를 사용하였는데, 2020년 10월 10일에 30cm 간격으로 2열로 식재하였다. 평균 토마토 초고는 500-700mm이었다. LED등과 담배가루이 이탈 가림막 설치를 위해서 철재 구조물(2900×2500×2000mm)을 설치하고, 담배가루이 이탈방지용 매쉬망(3000×2600×2200m)을 덮었다. LED등은 구조물의 1000mm 지점에 설치

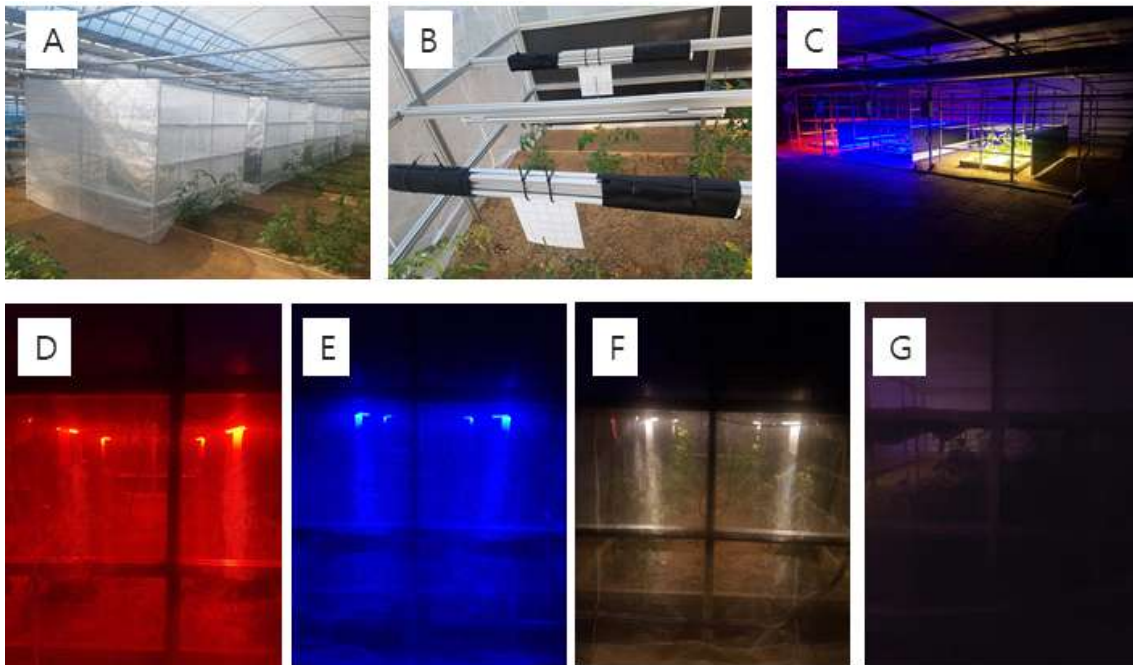


Fig. 2. Field demonstration experiment of LED light attraction effects for *B. tabaci*. A, Overview of field evaluation experiment; B, LED light and location of sticky trap; C, View in the night without mesh; D, Red light; E, Blue light; F, White light; G, No light

하였다. LED 빛의 분산을 막기 위해 LED등 양쪽 250mm는 검정색 포장재로 가리고 가운데 250mm 부분만 빛을 발하도록 하였다(Fig. 2B).

그리고 담배가루이의 유인을 확인할 수 있는 백색끈끈이트랩을 설치하였다. 또한 빛의 유인으로 인해 담배가루이가 LED등 위쪽으로 이동하는 것을 막기 위해 파란색가림막으로 덮어서 LED등의 빛과 대상 해충의 분산을 차단하였다. 측면에는 실험구간 빛의 산란으로 인한 분산을 막기 위해, 측면에 검정색보드지로 막았다(Fig. 2C). 대조구는 암조건 처리구를 선정하였으며, 처리구는 청색등, 적색등 그리고 백색등을 선정하였다(Fig. 2 D-G). 녹색등은 사전 처리에서 효과가 낮아 제외시켰다. 각 처리 구당 담배가루이 600마리를 150 마리씩 4개 지점에 분산하여 접종하였다. 조사는 2020년 11월 05일 오후 17:30에 접종을 완료하고 일몰 후 18:30분부터 30분, 1시간, 3시간, 12.5시간, 21시간에 백색 끈끈이 트랩에 유인된 담배가루이를 조사하였다. 실험 수행 온도는 평균 17-20°C이었다.

III. 결과 및 고찰

1. 암조건에서 담배가루이의 유인력

황색끈끈이트랩을 이용하여 암조건에서의 담배가루이 유인력을 시간대 별로 살펴보았다. 시간대 별로 분석 결과 관찰 6시간에 통계적으로 유의한 행동 반응이 관찰되었다($F_{5,18} = 33.46, P = 0.001$). 최대 마릿수는 약 19.3 ± 5.4 로서, 이동량은 전체 접종 마릿수에서 약 7.7%에 해당하는 것으로 나타났다. 즉, 암조건 하에서도 담배가루이가 자연적으로 움직임을 의미한다(Fig. 3).

2. 기주식물 부재 하에서 담배가루이의 유인력

담배가루이의 LED등에 의한 최대 유인력을 기주식물을 공급하지 않은 상태에서 조사하였다. 그 결과 유인력은 청색등(107.3 ± 2.5) > 형광등(83.0 ± 12.1) > 적색등(58 ± 21.8) > 녹색등(39.7 ± 8.1) 순서로

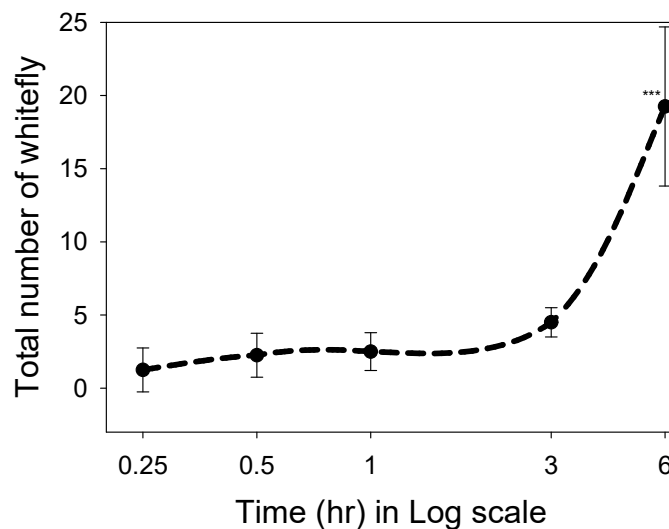


Fig. 3. Changes of the attractiveness of *B. tabaci* in dark conditions. Triple asterisks represent the statistical significance in 95% confidence interval by Tukey's HSD test

나타났다(Fig. 4). 이러한 결과는 본 실험을 통해 해당 케이지(400×400×800mm)에서 최대한 유인할 수 있는 LED등의 최대 유인력은 약 42.9%임을 의미한다. 통계적인 유의성은 0.25시간 관찰시점 이후부터 (0.25시간 $F_{3,8} = 4.6$, $P = 0.037$; 0.5시간 $F_{3,8} = 18.2$, $P < 0.001$; 1시간 $F_{3,8} = 21.7$, $P < 0.001$; 3시간 $F_{3,8} = 9.879$, $P = 0.005$; 6시간 $F_{3,8} = 15.1$, $P = 0.001$).

김민기(2012)에 의하면 청색광(470nm), 황색광(590nm), 녹색광(520nm) 및 적색광(625nm) LED를 대상으로 담배가루이를 대상으로 유인력을 평가한 결과, 실험 대상 파장대에서 모두 84.3 - 89.0%이상 범위의 유인력이 관찰되어 에너지 소비를 줄여 친환경적인 해충 방제가 가능한 것으로 나타났다. 또 다른 연구에서는 UV(371nm), 청색광(455nm), 녹색광(526nm)에서 실험 후 녹색광에서 유인력이 있음을 확인하고, 파장범위를 7종류로 확장한 후, 자색광(400-420nm), 남색광(430-440nm), 청색광(450-460nm), 녹색광(520-530nm), 황색광(570-580nm), 주황광(590-610nm) 그리고

적색광(610-630nm)에서 유인력을 평가하였다. 그 결과, 녹색광과 주황광에서 47.3-82.3%와 13.3-17.0%의 유인력이 통계적으로 유의하게 나타나는 것을 확인하였다(Jahan et al., 2014). 경기도 농업기술원에서도 담배가루이의 유인을 위한 LED등 평가를 수행하였다. 대상 광원은 복합등(450+660nm), 녹색등(520nm), 약적색등(660nm), 강적색등(730nm)에서 유인력을 평가하였으며, 그 결과 520nm에서 66.5%의 유인력이 관찰되었고, 복합등(450+660nm)에서는 기피효과가 있는 것으로 평가하였다(이영수 등, 2019). 본 연구에서는 황색광이 포함되지 않았으나, 앞선 결과와 달리 청색등에서 가장 높은 유인력이 있었다. 백색등에서 담배가루이가 많은 것은 가시광선이 황색끈끈이트랩의 광을 반사하기 때문에 담배가루이가 유인된 것으로 사료된다. 결론적으로 LED등에 대한 담배가루이의 유인력은 존재하는 것으로 추정되었으며, 그 유인력은 LED등의 종류와 실험 방법에 따라 다를 수 있는 것으로 사료된다.

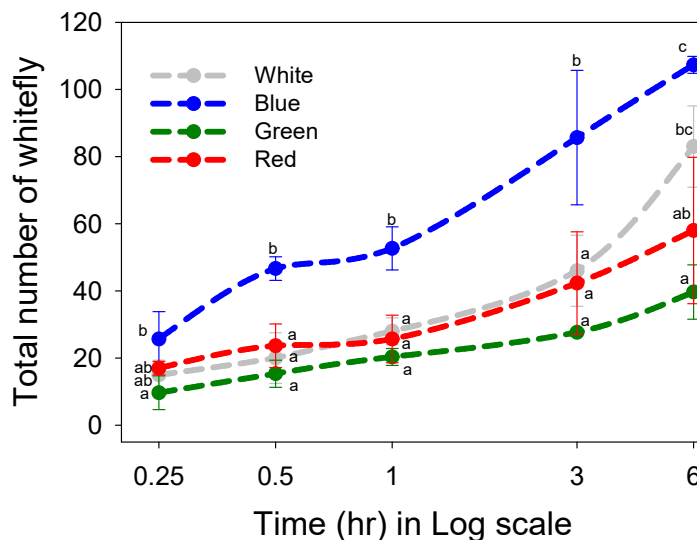


Fig. 4. Changes in the attractiveness of *B. tabaci* under four different LEDs without host plant supplement. Small alphabetical characters represent the statistical significance by Tukey's HSD test in each time zone

3. 기주 식물 존재 하에서 담배가루이의 유인력

상기 동일 조건에서 기주식물을 추가한 후 담배가루이의 유인력을 평가하였다. 그 결과 담배가루이의 유인력은 청색등(52 ± 17.4) > 적색등(38.7 ± 5.8) > 녹색등(12.7 ± 1.5) > 형광등(11.7 ± 5.0) 순

서로 높은 것으로 나타났다(Fig. 5). 통계적인 유의성은 3시간 이후부터 보였다(3시간 $F_{3,8} = 5.3$, $P = 0.027$; 6시간 $F_{3,8} = 13.1$, $P = 0.002$). 기주 공급 후에도 청색등과 적색등에서 통계적으로 유의한 유인력을 보였다.

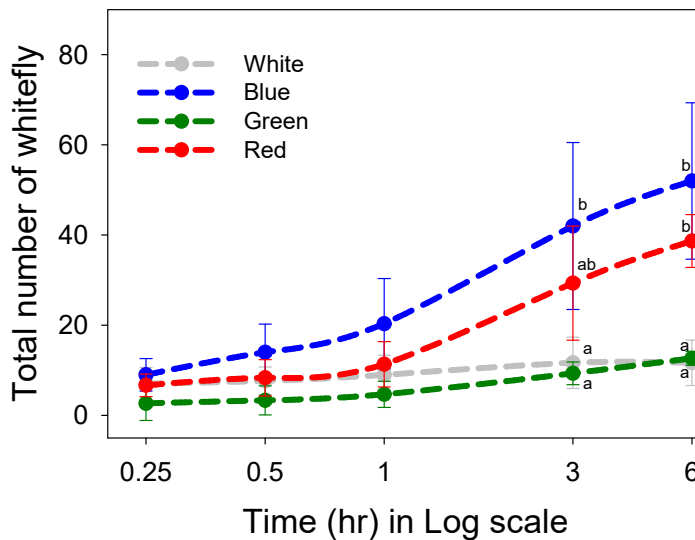


Fig. 5. Changes in the attractiveness of *B. tabaci* under four different LEDs with host plant supplement. Small alphabetical characters represents the statistical significance by Tukey's HSD test in each time zone.

4. 기주식물의 존재가 LED등의 유인력에 미치는 영향

기주식물의 존재 및 부재가 LED등 유인력에 미치는 영향을 평가하였다(Table 1). LED등에 노출한 6시간동안 관찰한 시점에서 기주식물의 영향을 가장 적게 받는 처리구는 적색등(33.3%)이었다. 그 다음 청색등(51.5%), 녹색등(68.1%) 그리고 백색등(85.9%) 순이었다. 이러한 결과는 기주식물이 LED등의 유인력을 간섭하는 것을 의미한다. 백색등의 경우 기주식물이 존재하지 않는 경우에는 유인력이 높았으나, 기주식물이 존재하면 유인력이 가장 크게 감소하는 것으로 나타났

다. 따라서 향후 LED등 선발 시에는 기주식물에 대한 간섭이 낮은 파장대 선발도 필요할 것으로 사료되었다.

5. LED등의 상대적 방제가 산출

LED등의 파장 별 상대적인 방제가를 산출하였다. 담배가루이의 방제가에 대한 평가는 실험 대상 공간, 실험 방식, 광의 종류, 관찰 시간에 따라서 영향을 받는다. 본 연구에서는 먹이가 존재하지 않는 조건에서 담배가루이의 반응을 100%로 선정하고 그에 대한 상대적인 유인력을 평가

담배가루이 유인용 LED 선발과 기주 식물이 초기 유인력에 미치는 영향
권덕호 외 5인

Table 1. Effect of host plant in the attraction of LEDs.

Time (hr)	Relative ratio of <i>B. tabaci</i> attracted by LEDs (%)			
	White	Blue	Green	Red
0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	53.3	64.9	72.4	60.8
0.5	61.7	70.0	78.3	64.8
1	67.9	61.4	77.0	55.8
3	74.6	51.0	66.3	30.7
6	85.9	51.6	68.1	33.3

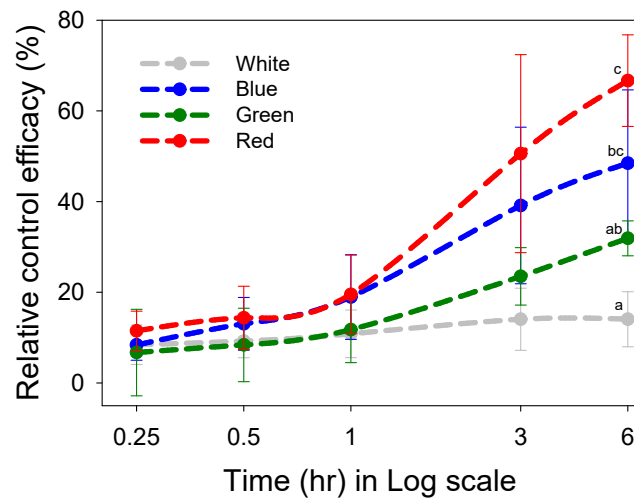


Fig. 6. Relative control efficacy by four different LEDs. Small alphabetical characters represents the statistical significance by Tukey's HSD test in each time zone

하였다. 그 결과 LED등 종류별로 방제가는 적색등(66.7%) > 청색등(48.5%) > 녹색등(31.9%) 그리고 백색등(14.1%) 순서로 높게 나타났으며, 통계적인 유의성은 6시간 관찰지점에서 보였다(6시간 $F_{3,8} = 14.7, P = 0.001$)(Fig. 6).

적색등은 작물의 유입에 영향을 받지 않고, 청색등은 초기 유인력이 매우 높다. 따라서 적색등과 청색등을 혼합한 파장을 선정하여 담배가루이의 유인을 위해 활용해야 할 것으로 사료된다.

6. LED등 야외 실증실험

시설 재배지 현장에서 LED등의 유인력을 평가

하였다. 그 결과 처리 3시간 후 담배가루이의 유인력은 청색등(40마리) > 적색등(45마리) > 백색등(10마리) > 무처리(2마리) 순서로 관찰되었다 (Fig. 7). 이러한 결과는 앞선 실내 실험과 마찬가지로 청색등과 적색등에서 유인력이 있음을 의미한다. 담배가루이의 전체 유인 밀도가 앞선 실험 결과 보다 현저하게 낮은 이유는 실내에 비해 상대적으로 낮은 시설 재배지의 온도로 인해 담배가루이의 활동성이 떨어져서 일어난 것으로 추정된다. 실내 실험에서 온도 범위는 24-26°C이었는데 반해 시설 재배지 내 토마토 기체부 부근의 온도는 처리 후 30분, 1시간, 3시간, 12.5시간, 21시간 관찰 시점에서 각각 20.9, 20.8, 20.2,

17.6, 20.9°C이었다. 추가 반복 실험을 통한 실증 연구가 필요하다.

전주현 등(2014)에 의하면 백색광(450-625nm)과 황색광(590nm)을 선정하여 담배가루이 포집 장치를 장착하여 제작한 후 토마토 시설 재배지에서 활용 가능성을 검토하였다. 그 결과 대조구 대비 실험구에서 유인력이 증가한 것을 확인하였다. 국립원예특작과학원 시설원예연구소에서는 야외에서 백색광과 황색광을 이용하여 토마토 재배

지의 담배가루이 유인력을 일주일간 평가하였다. 그 결과를 살펴보면 황색광에서 통계적으로 유의한 차이가 관찰됨을 확인하였으며, 백색광과 대조구에서는 유의성이 발견되지 않았다. 이는 실험 방식에 따라 유인력에 차이가 있음을 의미한다. 또한 황색광과 황색끈끈이트랩을 이용한 경우 유인력을 상승시킬 수 있음을 제시하였다(이중섭 등, 2017).

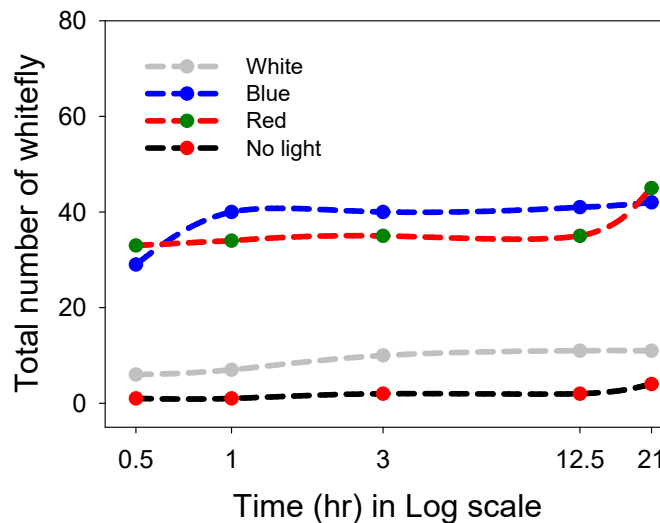


Fig. 7 Number of the *B. tabaci* by the LEDs on tomato plant in glass house

IV. 적요

시설 재배지 내 담배가루이의 밀도 예찰을 위하여 여러 종류의 LED등(청색등, 녹색등, 적색등, 백색등)에 대한 유인력을 평가하였다. 유인력 평가는 황색끈끈이트랩에 부착된 담배가루이의 포집 수를 대상으로 하였다. 평가용 케이지 내에서 기주식물이 없는 조건에서 유인력은 청색등(107.3±2.5마리) > 백색등(83.0±12.1마리) > 적색등(58±21.8마리) > 녹색등(39.7±8.1마리) 순서

로 나타났다. 먹이를 주입한 상태에서 유인력은 청색등(52±17.4) > 적색등(38.7±5.8) > 녹색등(12.7±1.5) > 백색등(11.7±5.0) 순서로 관찰되었다. 두 실험 조건에서 모두 청색등에서 유인력이 가장 높은 것으로 나타났다. 기주식물을 넣었을 때 LED등 유인력이 감소하는 것을 확인하였는데, 백색등(85.9%) > 녹색등(68.1%) > 청색등(51.6%) > 적색등(33.3%) 순서로 나타나 기주식물이 LED 등 유인력 감소에 영향이 있음을 확인하였다. 상대적인 방제력 평가에서는 기주식물을 처리한 6

담배가루이 유인용 LED 선발과 기주 식물이 초기 유인력에 미치는 영향
권덕호 외 5인

시간 이후에 적색등(66.7%) > 청색등(48.5%) > 녹색등(31.9%) > 백색등(14.1%) 순으로 높았다 ($F_{3,8} = 14.7, P = 0.001$). 따라서 청색등은 초기 유인력이 매우 높은 특징을 보였고, 적색등은 기주식물의 투입에 영향을 받지 않아 담배가루이 유인에 적합성이 있음을 확인하였다. 야외 실증 실험에서는 낮은 온도조건에 의해 높은 유인력은 관찰되지 않았지만, 청색등과 적색등에서 대조구 대비 높은 유인력이 관찰되었다. 향후 적색과 청색을 활용한 LED등은 시설재배지 내 담배가루이의 예찰에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

V. 참고문헌

- 김황용, 박창규, 한만위, 엄기백, 우건석. (2002). 논에 설치한 유아등에 채집되는 멸구류 동정을 위한 하이퍼텍스트 기반 검색표 개발. 한국응용곤충학회지. 41: 75-83.
- 이영수, 이희아, 이현주, 최종윤, 이상우, 홍순성, 장명준. (2019). Push-pull 전략을 이용한 시설 토마토 담배가루이 방제효과. 한국응용곤충학회지. 58: 209-218.
- 이중섭, 이재한, 박경섭, 여경환, 김진현, 권준국. (2017). 토마토 온실에서 담배가루이 성충에 대한 노란색 및 백색 트랩의 방제효과. 시설원예·식물공장. 26: 432-437.
- 전주현, 이상계, 이희선. (2014). 온실에 발생하는 담배가루이 성충에 대한 LED 트랩 방제효과. Journal of Applied Biological Chemistry. 57: 243-245.
- 한은정, 김황용, 박창규, 담배가루이 개체군 밀도 변동모델 개발. 국립농업과학원 시험연구사업보고서: 농업생물연구 2008-2: 1344-1359
- Aoki, S., Kuramitsu, O. (2007). Development of insect-attracting lighting fixture and evaluation of insect attractiveness by a new index. Journal of the Illuminating Engineering Institute of Japan 91: 195-198.
- Cho, J., Park, J.H., Kim, J.K., Schubert, E.F. (2017). White light-emitting diodes: History, progress, and future. Laser & Photonics Reviews. 11: 1600147.
- Cowan, T., Gries, G. (2009). Ultraviolet and violet light: attractive orientation cues for the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. Entomologia Experimentalis et Applicata. 131: 148-158.
- De Barro, P.J., Liu, S.-S., Boykin, L.M., Dinsdale, A.B. (2011). *Bemisia tabaci*: a statement of species status. Annual Review of Entomology. 56: 1-19.
- Ishikura, S. (1950). Subsequent fluorescent light trap. Journal of Agricultural Science. 5: 15-19.
- Jahan, S.M.H., Lee, G. S., Lee, S., Lee, K. Y. (2014). Acquisition of Tomato yellow leaf curl virus enhances attraction of *Bemisia tabaci* to green light emitting diodes. Journal of Asia-Pacific Entomology. 17: 79-82.
- Jander, R. (1963). Insect orientation. Annual Review of Entomology. 8: 95-114.
- 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: 567-569.
- Oliveira, M., Henneberry, T.E., Anderson, P. (2001). History, current status, and

- collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. Crop protection. 20: 709-723.
15. Tokumaru, S., Higuchi, T., Taguchi, Y. (2009). Control of the whiteflies, *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci*, in tomato greenhouse by yellow sticky long film. Annual Report of The Kansai Plant Protection Society. 51: 87-88.

VI. 사사

본 연구는 강원도와 철원군에서 지원하는 2020년도 플라즈마산업 상용화 기술개발사업으로 수행되었습니다.

논문접수일 : 2020년 11월 6일
논문수정일 : 2020년 12월 7일
게재확정일 : 2020년 12월 10일