

시설토마토에서 황색트랩을 이용한 담배가루이 표본조사법

송정흠* · 이광주 · 양영택 · 이신찬

제주특별자치도농업기술원 친환경연구과

Sampling Plan for *Bemisia tabaci* Adults by Using Yellow-color Sticky Traps in Tomato Greenhouses

Jeong Heub Song*, Kwang Ju Lee, Young Taek Yang and Shin Chan Lee

Division of Sustainable Agricultural Research, Jeju Agricultural Research and Extension Services, Seogwipo 697-828, Korea

ABSTRACT: The sweetpotato whitefly (SPW), *Bemisia tabaci* Gennadius, is a major pest in tomato greenhouses on Jeju Island because they transmit viral diseases. To develop practical sampling methods for adult SPWs, yellow-color sticky traps were used in commercial tomato greenhouses throughout the western part of Jeju Island in 2011 and 2012. On the basis of the size and growing conditions in the tomato greenhouses, 20 to 30 traps were installed in each greenhouse for developing a sampling plan. Adult SPWs were more attracted to horizontal traps placed 60 cm above the ground than to vertical trap placed 10 cm above the plant canopy. The spatial patterns of the adult SPWs were evaluated using Taylor's power law (TPL) and Iwao's patchiness regression (IPR). The results showed that adult SPWs were aggregated in each surveyed greenhouse. In this study, TPL showed better performance because of the coefficient of determination (r^2). On the basis of the fixed-precision level sampling plan using TPL parameters, more traps were required for higher precision in lower SPW densities per trap. A sequential sampling stop line was constructed using TPL parameters. If the treatment threshold was greater than 10 maximum adult SPWs on a trap, the required traps numbered 15 at a fixed-precision level of 0.25. In estimating the mean density per trap, the proportion of traps with two or more adult SPWs was more efficient than whole counting: $\ln(m) = 1.19 + 0.90 \ln(-\ln(1-p_r))$. The results of this study could be used to prevent the dissemination of SPW as a viral disease vector by using accurate control decision in SPW management programs.

Key words: Tomato, *Bemisia tabaci*, Yellow-color sticky trap, Sampling plan, Dispersion index

초록: 담배가루이, *Bemisia tabaci*는 바이러스병의 매개로 인해 제주지역 시설재배 토마토에서 가장 중요한 해충으로 인식되고 있다. 황색끈끈이 트랩을 이용한 담배가루이 성충의 실용적인 발생밀도 추정방법을 개발하기 위하여 2011과 2012년 제주 서부지역의 농가재배 토마토 포장에서 포장 상황에 따라 20~30개의 트랩을 설치하여 7~10일 간격으로 조사하였다. 황색끈끈이 트랩을 지상 60 cm 높이에 수평방향으로 설치한 것이 작물 상단 10 cm 위에 수직으로 설치한 것보다 더 많은 담배가루이가 유인되었다. 황색끈끈이 트랩에 유인된 담배가루이 성충의 분포형태를 Taylor's power law (TPL)과 Iwao's patchiness regression (IPR)을 이용 분석한 결과 두 회귀식의 기울기값이 모두 "1"보다 커 담배가루이 성충이 집중분포를 하고 있었다. TPL의 결정계수(r^2)값이 IPR보다 더 높아 TPL이 담배가루이 성충의 공간분포 특성을 더 잘 설명하고 있었다. 담배가루이 성충 밀도를 추정하는데 필요한 황색끈끈이 트랩의 수를 TPL 상수를 이용하여 추정하였는데 정확도 수준이 높을수록, 평균밀도가 낮을수록 필요한 트랩수는 증가하는 경향이 있었다. TPL 상수를 이용하여 고정 정확도 수준에서 조사를 중지하더라도 트랩당 평균밀도를 추정이 가능한 누적밀도를 계산하였다. 담배가루이 성충의 방제시기를 트랩 최고 밀도 10마리로 가정했을 때 이 밀도에서 필요한 포장당 트랩수는 고정 정확도 0.25수준에서 15개이었다. 담배가루이 성충의 트랩당 평균밀도는 트랩마다 모든 성충수를 계수하는 것보다 2마리 이상 유인된 트랩의 비율을 가지고 추정하는 이항모델 [$\ln(m) = 1.19 + 0.90 \ln(-\ln(1-p_r))$]을 이용하는 것이 더 효율적이었다. 본 연구결과는 담배가루이 성충에 대한 정확한 방제 의사 결정을 통해 담배가루이가 매개하는 바이러스병 확산을 막는데 일조할 것으로 기대된다.

검색어: 토마토, 담배가루이, 황색트랩, 표본조사법, 분산지수

*Corresponding author: sjheub@korea.kr

Received August 4 2014; Revised October 14 2014

Accepted October 28 2014

담배가루이(*Bemisia tabaci* (Gennadius))는 시설재배 채소류와 관상용 식물에 주로 피해를 주는 해충으로 500여종의 기주식물이 알려져 있으며, 세계적으로 발생되고 있다. 이 해충은 24개 이상의 생태형(biotype)이 알려져 있으며, 그 중 B와 Q 생태형이 농작물에 피해가 크다(van Lenteren, 1988; Oliveira et al., 2001). 국내에서 담배가루이발생은 1998년 충청북도 진천군의 시설장미에서 B 생태형이 처음 확인되었으며, Q 생태형은 2004년 경남과 전남지역의 토마토에서 발생이 확인되었고(Lee et al., 2005), 현재는 강원도를 제외한 전국에 발생하는 것으로 보고 있다.

담배가루이는 흡즙을 통한 직접적인 피해뿐만 아니라 분비된 감로에 의해 그을음병이 발생되어 광합성이 억제되는 간접적인 피해를 주고 있다. 그러나 최근 담배가루이는 이러한 피해보다 토마토황화잎말림바이러스(TYLTV) 등 100여종의 식물바이러스병을 매개하는 것으로 밝혀졌으며 이 바이러스병으로 인한 피해가 더 심각하다(Muñoz, 2000; Navas-Castillo et al., 2011; Zhang et al., 2005). 국내에서도 TYLTV가 2008년 처음 발생이 확인된 후 남부지방을 중심으로 확산되면서 토마토 재배에서 가장 중요한 병해충으로 관리되고 있다(Park et al., 2012).

합리적인 담배가루이 관리를 위해서는 신뢰할 수 있는 조사방법과 방제밀도 등이 결정되어야 하며, 이를 통해 살충제 사용과 저항성 해충의 출현을 줄일 수 있다(Tonhasca et al., 1994; Naranjo and Flint, 1995; Palumbo et al., 1994). 특히 바이러스병 피해를 줄이기 위해서는 담배가루이 성충을 예찰하기 위한 간편하고 신뢰할 수 있는 조사법 개발이 요구되고 있다.

제주지역에서 토마토재배는 주로 제주시 한경면과 서귀포시 대정읍 지역에서 이루어지고 있으며, 봄재배 작형은 3~7월, 가을재배 작형은 9~12월에 재배되고 있다. 토마토에서 담배가루이는 봄작형에서는 5월 중순부터, 가을작형에서는 정식 직후인 9월 상순부터 발생밀도가 높은 경향을 보이고 있다(Song, J.H., unpublished observation). 이와 같은 발생양상은 봄작형에서는 4월 하순부터 온도조절을 위하여 하우스 환기부를 개폐하게 되는데 이 시기부터 담배가루이 밀도가 상승하는 경향을 보였다(Song, J.H., personal observation). 가을작형(정식시기: 8월 하순~9월 하순)의 경우 정식직후부터 담배가루이 밀도가 높은 경향이었으며, 담배가루이가 매개하는 바이러스병이 확산되면서 정식시기가 10월중하순으로 늦춰지고 있다.

본 연구에서는 가루이, 잎굴파리, 진딧물 등의 해충발생을 조사하는데 일반적으로 이용하고 있는 황색끈끈이트랩으로 시설재배 토마토에 발생하는 담배가루이 성충의 효율적인 표본 조사 방법을 개발하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

황색끈끈이트랩을 이용한 담배가루이 성충의 밀도조사는 2011~2012년 봄과 가을 재배작형에 대해 제주시 한경면과 서귀포시 대정읍 토마토 재배포장에서 실시하였다. 본 연구에 이용한 자료는 발생밀도가 낮았던 봄재배 작형의 지역별 각 3개씩 총 6개 포장에서 얻은 자료를 이용하였다. 토마토 재배 하우스 형태는 폭 5.5 m, 길이는 40~70 m의 연동 하우스로 면적은 1,400~3,400 m²로 조사포장에 따라 차이가 있었다. 조사포장의 토마토 줄기유인방법은 장기재배를 하는 1개 포장에서는 장기재배를 위해 줄기내림유인정지법을 이용하였으나 다른 포장은 토마토 재배에 가장 일반적인 주지 1본 정지법으로 재배하였다. 토마토 재배 시에 수확이 완료된 화방의 아랫부분의 잎은 대부분 제거하였으며, 일부 제거하지 않은 포장도 있었다.

트랩 설치 및 조사

황색끈끈이트랩은 10×15 cm 크기의 평판트랩(Greenagrotech, Korea)을 이용하였다. 포장당 트랩수는 외곽에 위치한 하우스 동부터 하우스 길이와 연동수, 면적 등을 고려하여 하우스 전체에 고르게 20~30개를 배치하였다. 트랩설치는 조사포장 중 하엽을 제거하지 않는 주지 1본정지법으로 재배하는 4개 포장에는 일반적으로 사용되고 있는 방법인 토마토 유인줄을 이용하여 작물 상단 위 10 cm 부근에 트랩을 고정시켰다(수직방향). 하엽을 제거하는 주지 1본정지법과 줄기내림유인정지법을 이용하는 2개 포장은 “T” 모양의 지주대를 이용하여 지상 60 cm 높이에 지면과 수평으로 위쪽이 끈끈한 면이 오도록 하였다(수평방향).

수직방향으로 트랩을 설치하고 조사간격을 7일 단위로 하는 경우 트랩에 토마토 잎이 붙기도 하고 재배 후기에 작물길이가 너무 높아 트랩을 교체하기 힘든 단점이 있었다. 트랩은 7~10일 간격으로 랩필름을 씌워 수거한 후 실험실로 가져와 실체현미경(×7배) 하에서 담배가루이 성충수를 조사하였다. 황색끈끈이트랩에 유인된 담배가루이는 온실가루이와의 구분이 어렵기 때문에 조사기간 동안 가루이 성충을 채집하여 동정한 결과 모두 담배가루이로 판명되어 본 연구에서 발생한 가루이는 담배가루이로 판단하였다.

트랩 설치방법과 담배가루이 유인과의 관계

트랩 높이와 방향에 따른 담배가루이 성충의 유인수를 비교하기 위하여 2011년 서귀포시 대정읍 시설토마토에서 임의의 토마토 9주를 선정하여 황색끈끈이트랩을 수직방향과 수평방

향으로 각 1개씩 트랩을 설치하여 비교하였다. 본 시험 포장은 하엽을 제거하는 주지1본정지법으로 재배되고 있었다. 시험은 3월31일부터 6월 1일까지 7~10일 간격으로 교체하여 유인된 담배가루이 성충수를 조사하였다. 조사일별로 설치방법에 따른 담배가루이 유인수 차이는 Student *t*-test로 검정하였다.

자료분석

분산지수는 일반적으로 이용되고 있는 Taylor's power law (TPL)과 Iwao's patchiness regression (IPR) 두가지 방법을 사용하였다. TPL은 자연로그를 취한 평균(m)과 분산(s^2)의 일반선형회귀식

$$\ln(s^2) = \ln(a) + b \ln(m) \quad (1)$$

이다(Taylor, 1961). IPR은 평균밀도(m)과 평균군집도($m^* = m + (s^2/m) - 1$)의 일반선형회귀식

$$m^* = a + \beta m \quad (2)$$

이다(Iwao, 1968; Lloyd, 1967). 분산형태는 일반선형 회귀식의 기울기값(b , β)가 1.0보다 크면 집중분포를 의미하는데, 이는 Student-*t* test를 이용하여 판정하였다. 또한 조사연도와 트랩설치 방법에 따른 회귀식의 기울기와 절편의 동일성은 공분산분석(ANCOVA)로 검정하였다(Sokal and Rohlf, 1981).

군중의 분포형태가 집중분포를 하고 있어 방제의사를 결정할 때 평균밀도를 이용하면 일부에서는 이미 경제적 피해수준을 넘어서는 경우가 발생하기도 한다. 이를 최소화하기 위하여 평균밀도(m)와 최고밀도(W_{mx})와의 관계를 회귀선의 적합성을 높이기 위하여 자연로그(ln)로 수치를 변환한 후 일반선형회귀식

$$\ln(W_{mx}) = c + d \ln(m) \quad (3)$$

을 이용하였다.

TPL 상수를 이용하여 발생밀도 추정에 필요한 표본수와 표본조사를 중지할 수 있는 누적밀도를 추정할 수 있다. 담배가루이 성충의 트랩당 평균밀도(m)를 추정하는데 필요한 표본수(n)는 Green (1970)의 방법을 이용하였으며:

$$n = am^{b-2}D^{-2} \quad (4)$$

표본조사중지선은

$$\ln(T_n) = [\ln(D^2/a)/(b-2)] + [(b-1)/(b-2)] \ln(n) \quad (5)$$

식에 의하여 추정하였다. 여기서 T_n 은 표본 n 까지의 누적수, $D(=SE/m)$ 는 고정 정확도, n 은 표본크기, a 와 b 는 TPL 상수이다. 본 연구에서 필요 표본수와 표본조사중지선을 결정하는데 이용한 D 값은 0.20과 0.25, 0.30이었으며, 일반적으로 해충관리에 이용되고 있는 정확도는 0.25이다(Southwood, 1978).

일반선형 회귀식 상수의 추정은 SAS의 PROC GLM을 이용하였으며(SAS Institute, 1999), 적합성은 결정계수(r^2)으로 평가하였다.

조사현장에서 황색끈끈이트랩에 유인된 담배가루이 성충을 조사하는데 포획된 충수를 모두 조사하려면 많은 시간이 필요하기 때문에 이를 손쉽게 추정하는 방법으로 이항표본조사법을 이용하고 있다. 평균밀도(m)와 담배가루이 성충이 T 마리보다 많이 유인된 트랩비율(p_T)간의 관계를 Kono and Sugino (1958)의 경험이항모델

$$\ln(m) = a' + b' \ln(-\ln(1-p_T)) \quad (6)$$

을 이용하였다. 여기서 a' 과 b' 은 회귀식 상수이며, 최적의 T 값은 회귀식의 결정계수(r^2)와 회귀식 잔차의 제곱평균(MSE)을 이용하여 결정하였다.

결과 및 고찰

트랩 설치방법과 담배가루이 유인과의 관계

온실가루이, *Trialeurodes vaporariorum*는 황녹색광(500~600 nm)에 반응하여 유인 및 착지가 이루어지는 것으로 알려

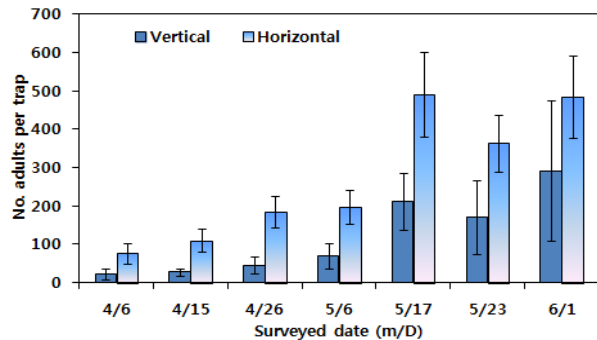


Fig. 1. Comparison of the number of *Bemisia tabaci* adults caught on yellow-color sticky traps placed vertically 10 cm above plant height and horizontally 60 cm above ground in a tomato greenhouse. Error bars represent \pm SEM. All surveyed data were significantly different at $P < 0.05$.

져 있으며(Coombe, 1982), 담배가루이도 이와 유사하다. 트랩 높이와 방향에 따른 담배가루이 성충의 유인수를 비교한 결과 수평방향의 트랩이 수직방향보다 많은 성충이 유인되었으며 ($t=2.75, p<0.01$), 조사기간 동안 담배가루이 성충의 밀도변동은 유사한 경향을 보였다(Fig. 1). 담배가루이가 수직방향 트랩의 부착가능한 표면적이 수평방향보다 더 넓음에도 불구하고 수평방향 트랩에 더 많이 유인된 것은 담배가루이 성충의 분산행동과 관련이 있는 것으로 생각된다(Gerling and Horowitz, 1984). 그러나 토마토 유인방법은 동일하였지만 하엽을 제거하지 않은 다른 토마토 포장에서 동일한 시험을 수행한 결과 수평방향에 거의 유인되지 않았다(Song, J.H., unpublished observation). 이는 토마토 하엽을 제거하지 않은 포장에서는 토마토 잎이 수평방향 트랩을 가리기 때문에 트랩표면의 광반사율이 낮아 유인력이 떨어졌던 것으로 추정된다. 트랩의 광반사율과 담배가루이 유인력의 관계에 대한 구체적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

분산지수

분산지수 분석 자료는 낮은 밀도에서 정확도가 높은 표본조사법을 개발하기 위하여 조사한 자료 중 트랩당 평균밀도가 12.0마리 이하의 자료만을 이용하였으며, 공간분포의 특성 분석에는 일반적으로 많이 이용되고 있는 TPL과 IPR을 이용하였다.

트랩설치 방법과 연도별 회귀식의 절편과 기울기의 차이를 공분산분석(ANCOVA)를 이용하여 검정한 결과 모두 유의성이 없었다(트랩설치 방법: $F_{1,36}=0.79, p>0.1$; $F_{1,36}=2.46, p>0.1$, 연도: $F_{1,36}=12.85, p>0.1$; $F_{1,36}=2.30, p>0.1$). 따라서 TPL 분석에서 모든 자료를 통합하여 평균과 분산간의 관계 모델에 적용이 가능하였다.

공간분포를 분석한 결과 TPL의 결정계수가 IPR보다 높으

면서 변이 폭이 작아 TPL이 담배가루이 성충의 공간분포 특성을 더 잘 설명하는 것으로 나타났다(Table 1). TPL의 결정계수(r^2)의 범위는 0.85~0.93인 반면 IPR에서는 0.54~0.94로 TPL의 변이폭이 작아 더 안정적이었으며, 2012년을 제외한 나머지 결정계수가 TPL이 IPR보다 높았다. 이 두 회귀식의 기울기값(b 와 β)가 모두 “1”보다 커 집중분포를 하는 것으로 나타났다($P<0.05$). 이는 목화에서 트랩의 형태와 설치위치에 따른 TPL 상수가 1.49~1.88로 집중분포를 하고 있다는 결과와 유사하였다(Naranjo, 1996).

표본조사법

최근 국내에서 담배가루이가 매개하는 바이러스병 피해가 확산되고 있어 담배가루이 방제에서 성충을 조기에 발견하는 것이 중요하다. 이에 따라 담배가루이 성충 발생을 예측하기 위하여 설치한 황색끈끈이트랩의 트랩당 평균밀도보다 작물에서의 발생여부를 파악하는 것이 방제의사 결정에 더 중요하다. 토마토에서 담배가루이 발생과 황색끈끈이트랩 유인밀도와의 상

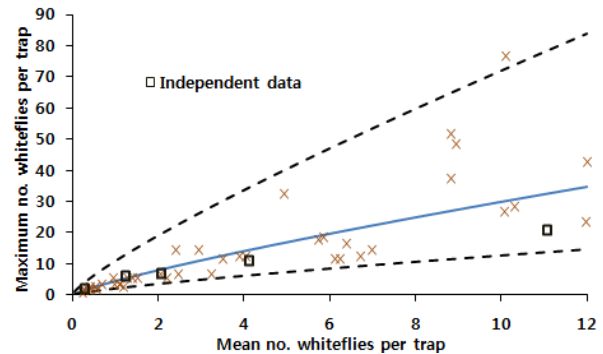


Fig. 2. Relationship between maximum and mean numbers of *Bemisia tabaci* adults caught in a trap in a tomato greenhouse. The dotted lines represent 95% confidence intervals around the predicted equation (solid line).

Table 1. Dispersion indices for *Bemisia tabaci* adults caught on yellow-color sticky traps in tomato greenhouses

	n	Taylor's power law			Iwao's patchiness regression		
		$\ln a \pm SE$	$b \pm SE$	r^2	$\alpha \pm SE$	$\beta \pm SE$	r^2
Trap Direction							
Horizontal	21	0.64±0.14	1.66±0.10	0.93	-0.54±0.93	2.18±0.19	0.88
Vertical	19	0.49±0.22	1.38±0.14	0.85	0.02±2.27 ^{n.s.}	1.65±0.37	0.54
Year							
2011	24	0.73±0.18	1.58±0.12	0.88	-0.09±1.80 ^{n.s.}	2.14±0.32	0.68
2012	16	0.42±0.14	1.31±0.10	0.92	-0.09±0.50 ^{n.s.}	1.34±0.09	0.94
Combiend	40	0.59±0.14	1.49±0.09	0.87	-0.10±1.17 ^{n.s.}	1.85±0.21	0.67

관관계에 대한 구체적인 연구는 없으나 트랩을 7일 동안 설치했을 때 10마리 이상 유인된 트랩이 나타나는 시기에 토마토에서 담배가루이 성충이 관찰되고 있어(Song, J.H., unpublished observation) 이를 담배가루이 방제시기로 이용하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

조사포장별 조사일의 트랩당 평균밀도(m)와 최고밀도(W_{mx})와의 관계를 두 값에 대하여 선 적합성을 높이기 위하여 자연로그를 취한 후 일반선형회귀식으로 추정한 결과 $\ln(W_{mx}) = 1.52 + 0.82 \ln(m)$ ($F_{1,40}=310.82, p<0.001, r^2=0.89$)이었다(Fig. 2). 이 식으로부터 최고밀도가 10마리(신뢰구간 : 6~31)일 때의 트랩당 평균밀도는 3.6마리로 추정되었다. 분산지수 분석에 이용한 자료에 대해 적합성을 검정한 결과 1개의 자료를 제외한 나머지는 모두 95% 신뢰구간 내에 들어와 있었으며, 분산지수 분석에 이용하지 않은 다른 포장에서 얻은 독립된 자료는 모두 95% 신뢰구간 내에 있어 적합도가 높았다.

시설토마토에서 담배가루이 성충을 황색끈끈이트랩을 이용하여 표본조사할 때 고정 정확도(D) 0.20과 0.25, 0.30에서 필요한 트랩수를 TPL 상수를 이용하여 계산하였다(Fig. 3). 고정 정확도 수준이 높아질수록 일정 평균밀도 추정에 필요한 트랩수는 증가하였다. 최고 밀도가 10마리 이상이 되는 트랩당 평균 밀도 3.6마리일 때 고정 정확도 0.25와 0.30 수준에서 각각 15개와 10개였다.

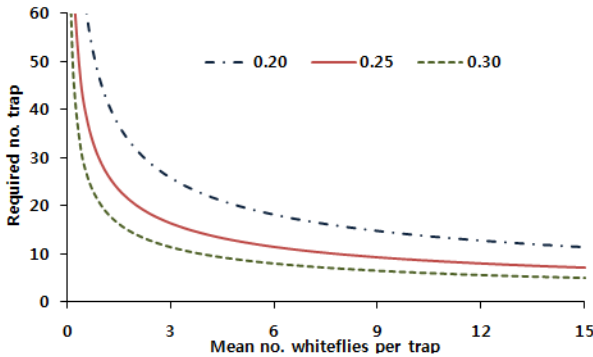


Fig. 3. Required number of trap per greenhouse on the basis of different mean numbers of *Bemisia tabaci* adults per trap at a fixed-precision level of 0.20, 0.25, and 0.30 in a tomato greenhouse.

일정 고정정확도 수준에서 담배가루이 평균밀도가 증가함에 따라 필요한 트랩수는 감소하는 경향이였다. 고정정확도 0.25 수준에서 트랩당 평균밀도가 1.0 마리, 5.0 마리, 10.0 마리 일 때 필요한 트랩수는 각각 29개와 13개, 9개가 필요한 것으로 나타났다.

시설토마토에서 담배가루이 발생을 예찰하는 경우 포장당 트랩을 5개 정도로 고정하여 조사하고 있다. 본 연구결과에 의하면 해충관리에서 일반적으로 적용하고 있는 고정정확도 0.25수준에서는 포장당 트랩 5개를 설치하는 경우 추정 가능한 트랩당 평균밀도는 26마리 이상으로 그 이하의 낮은 밀도를 추정하는 것은 어려웠다. 트랩당 평균밀도 10마리 이하를 추정하기 위해서는 포장당 트랩을 최소한 9개 이상 설치해야 하는 것으로 나타났다.

표본조사를 할 때 표본수를 고정하여 전체를 조사하는 것보다 조사한 표본에서의 개체 누적수를 이용하면 조사비용을 줄일 수 있다. 이는 트랩에 유인된 담배가루이 성충 누적수가 표본조사중지선을 넘어서는 경우 표본조사를 중지하고 평균밀도를 추정할 수 있게 된다. 이를 위해 TPL 상수를 이용하여 고정 정확도 수준별로 조사를 중지하는 시점에서의 누적 밀도를 계산하였다(Fig. 4). 고정정확도 수준이 높을수록 표본조사를 중지할 수 있는 누적밀도가 증가하였으며, 조사 트랩수가 증가하면 조사중지를 위한 누적 성충수는 감소하였다. 트랩당 평균밀

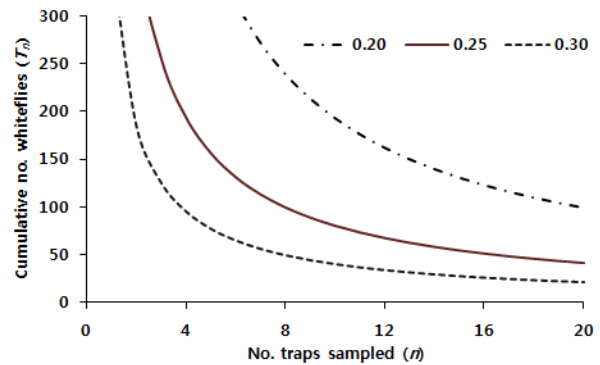


Fig. 4. Sequential sampling stop lines for estimating the densities of *Bemisia tabaci* adults at a fixed precision level of 0.20, 0.25 and 0.30.

Table 2. Parameters of an empirical binomial model, $\ln(m) = a' + b' \ln(-\ln(1-p))$, that relates the mean number of *Bemisia tabaci* adults per trap to the proportion of traps that caught more than T whiteflies

T	$a' \pm SE$	$b' \pm SE$	N	r^2	MSE
0	0.519±0.065	1.259±0.073	35	0.90	0.1493
1	1.187±0.055	0.895±0.043	39	0.92	0.1059
2	1.593±0.074	0.744±0.055	34	0.85	0.1392
3	1.800±0.072	0.632±0.048	32	0.85	0.1116

도가 10마리를 추정하기 위하여 조사를 중지할 수 있는 트랩수와 누적 가루이수는 고정 정확도 수준 0.20에서는 14개와 140마리, 0.25에서 9개와 89마리, 0.30에서 6개와 64마리였다.

트랩에 유인된 담배가루이 $T=0$ 마리과 1마리, 2마리, 3마리보다 많은 성충이 유인된 트랩의 비율(p_T)과 평균밀도(m)와의 관계를 경험이항모형을 이용하여 분석하였다(Table 2). $T=1$ 일 때 회귀식의 결정계수(r^2)가 가장 높고, 회귀식 잔차의 제곱평균(MSE)이 가장 낮았다[$\ln(m) = 1.19 + 0.90 \ln(-\ln(1 - p_T))$, $F_{1,37}=443.31, p<0.001$]. 이 식을 이용하면 현장에서 담배가루이가 2마리 이상 유인된 트랩의 비율로부터 조사포장의 평균밀도를 쉽게 추정할 수 있다.

본 연구결과 시설토마토에서 황색끈끈이트랩을 이용하여 담배가루이 성충을 예찰하는 경우 재배방법에 따라 트랩 설치 방법을 달리할 필요가 있었다. 트랩설치는 수확한 열매부위 아래쪽 하엽을 제거하는 주지1본정지법이나 줄기내림유인정지법을 이용하여 토마토를 재배하는 포장에서는 지상 60 cm 높이에 수평방향으로 하는 것이 좋았다. 토마토에서 담배가루이 성충의 발생초기를 정확하게 추정하려면 조사포장당 15개 이상의 트랩이 필요로 했다. 본 연구결과는 트랩유인 밀도와 작물에서 발생밀도와 상관관계에 대한 연구가 부족하였지만 이에 대한 연구가 이루어지면 바이러스 확산을 최소화하는 담배가루이 관리방안 수립에 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

사사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업인 오이, 국화 등 15작물의 돌발해충 예찰방법 표준화기술개발 과제(과제번호: PJ00919413)의 지원으로 수행한 결과입니다

Literature Cited

Coombe, P.E., 1982. Visual behavior of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*. *Physiol. Entomol.* 7, 243-251.
 Gerling, A., Horowitz, A.R., 1984. Yellow traps for evaluating the population levels and dispersal patterns of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77, 753-759.
 Green, R.H., 1970. On fixed precision sequential sampling. *Res. Popul. Ecol.* 12, 249-251.
 Iwao, S., 1968. A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal population. *Res. Popul. Ecol.* 10, 1-20.
 Kono, T., Sugino, T., 1958. On estimation of the density of rice stem

borer. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 2, 184-188.
 Lee, M.H., Kang, S.K., Lee, S.Y., Lee, H.S., Choi, J.Y., Lee, G.S., Kim, W.Y., Lee, S.W., Kim, S.G., Uhm, K.B., 2005. Occurrence of the B- and Q-biotype of *Bemisia tabaci* in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 44, 169-175.
 Lloyd, M., 1967. Mean crowding. *J. Anim. Ecol.* 36, 1-30.
 Muñiz, M., 2000. Host suitability of two biotypes of *Bemisia tabaci* on some common weeds. *Entomologia Experimentalis et Applicata.* 95, 63-70.
 Naranjo, S.E., 1996. Sampling *Bemisia* for research and pest management applications, in Gerling, D., Mayer, R.T. (Eds.), *Bemisia 1995: Taxonomy, Biology, Damage, Control and Management*. Intercept Ltd. Andover, Hants, UK, pp. 209-224.
 Naranjo, S.E., Flint, H.M., 1995. Spatial distribution of adult *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in cotton and development and validation of fixed-precision sampling plans for estimating population density. *Environ. Entomol.* 24, 261-270.
 Navas-Castillo, J., Fiallo-Olive, E., Sanchez-Campos, S., 2011. Emerging virus diseases transmitted by whiteflies. *Ann. Rev. Phytopathol.* 49, 219-248.
 Oliveira, M.R.V., Henneberry, T.J., Anderson, P., 2001. History, current status and collaborative research project for *Bemisia tabaci*. *Crop Protec.* 20, 709-723.
 Palumbo, J.C., Tonhasca Jr., A.J., Byrne, D.N., 1994. Sampling plans and action thresholds for whiteflies on spring melons. *Univ. Arizona, Coop. Ext. Publ. No. 196004, IPM Series 1*, 2pp.
 Park, J., Hemayyet Jahan, S.M., Song, W.G., Lee, H., Lee, Y.S., Choi, H.S., Lee, K.S., Kim, C.S., Lee, S., Lee, K.Y., 2012. Identification of biotypes and secondary endosymbionts of *Bemisia tabaci* in Korea and relationships with the occurrence of TYLCV disease. *J. Asia Pac. Entomol.* 15, 186-191.
 SAS Institute, 1999. SAS OnlineDoc, version 8. SAS Institute, Cary, NC.
 Sokal, R.R., Rohlf, F.J., 1981. *Biometry*. 2nd ed., 887 pp. Freeman, New York.
 Southwood, T.R.E., 1978. *Ecological methods*, 2nd ed., Chapman and Hall, London.
 Taylor, L.R., 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature* 189, 732-755.
 Tonhasca, A., Palumbo, J.C., Byrne, D.N., 1994. Distribution patterns of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in cantaloupe fields in Arizona. *Environ. Entomol.* 23, 949-954.
 van Lenteren, J.C., Woets, J., 1988. Biological and integrated pest control in greenhouses. *Ann. Rev. Entomol.* 33: 239-269.
 Zhang, L.P., Zhang, W.J., Wu, Q.J., Xu, B.Y., Chu, D., 2005. Analysis of genetic diversity among different geographical populations and determination of biotypes of *Bemisia tabaci* in China. *J. Entomol.* 129, 121-128.