

토마토 온실내 담배가루이의 축차표본조사법 개발

엄소은¹ · 박태철¹ · 손기문¹ · 정지원¹ · 박정준^{1,2*}

¹경상국립대학교 식물의학과, ²경상국립대학교 농업생명과학연구원

Development of Sequential Sampling Plan of *Bemisia tabaci* in Greenhouse Tomatoes

SoEun Eom¹, Taechul Park¹, Kimoon Son¹, Jiwon Jeong¹ and Jung-Joon Park^{1,2*}

¹Department of Plant Medicine, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

²Institute of Agriculture and Biological Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

ABSTRACT: *Bemisia tabaci* is one of polyphagous insect pests that transmits Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV) and Cassava Brown Streak Disease (CBSD). Insecticides are primarily applied to control *B. tabaci*, but it has limits due to the development of resistance. As a result, a fixed precision sampling plan was developed for its integrated pest management (IPM). The tomato plants were divided into top (more than 130cm from the ground), middle (70 cm to 100 cm above the ground), and bottom (50 cm or less above the ground) strata, before visual sampling of the larvae of *B. tabaci*. The spatial distribution analysis was conducted using Taylor's power law coefficients with pooled data of top, middle, bottom strata. Fixed precision sampling plan and control decision-making were developed with precision levels and action threshold recommended from published scientific papers. To assess the validation of the developed sampling plans, independent data not used in the analysis were evaluated using the Resampling Validation for Sampling Plan (RVSP) program.

Key words: Tomato, *Bemisia tabaci*, Taylor's power law, Fixed precision sampling plan, Control decision making

초 록: 담배가루이(*Bemisia tabaci*)는 광식성 해충으로 토마토황화잎말림바이러스(Tomato Yellow Leaf Curl Virus; TYLCV), 카사바갈색줄무늬병(Cassava Brown Streak Disease; CBSD)를 매개하는 해충이다. 담배가루이 방제를 위해 화학적 방제가 주로 시행되지만 저항성으로 인한 한계로 인해 종합적해충방제를 위한 고정정확도를 이용한 표본조사법(Fixed precision sampling plan)을 개발하였다. 표본추출은 토마토 식물이 50 cm 높이의 레일 위에 위치한 배지를 이용해 재배되고 있어 배지로부터 130 cm 이상(지상에서 180 cm 이상)을 상단, 70 cm~100 cm (지상에서 120 cm~150 cm)를 중단, 50 cm 이하(지상에서 100 cm 이하)를 하단으로 나누어 각 위치별 토마토 7엽의 잎 뒷면에서 관찰된 담배가루이 노숙 유충 마리 수를 조사하였다. 담배가루이 노숙유충은 이동성이 거의 없어 앞에서 우화한 뒤 고착화하여 용과 성충 단계를 거치기 때문에 중단, 하단에 밀도가 높았다. 공간분포분석은 Taylor's power law (TPL)를 이용하여 도출된 TPL의 회귀계수를 통해 분석하였고, TPL 계수의 차이는 공분산분석(ANCOVA)하여 차이가 없어 자료를 통합(pooling)하여 계산된 새로운 TPL 계수를 이용하여 표본추출정지선과 방제의사결정법을 개발하였다. 개발된 표본추출법의 적합성을 판단하기 위해 분석에 사용하지 않은 독립된 자료를 이용하여 Resampling Validation for Sampling Plan (RVSP) 프로그램으로 평가하였다.

검색어: 토마토, 담배가루이, 공간분포, 표본추출정지선, 방제의사결정

담배가루이(*Bemisia tabaci*)는 1889년부터 해충으로 여겨졌고 1980년대 후반에 관상용 식물을 수출입하면서 원산지인 중동 아시아 국가(이란, 이스라엘, 요르단, 쿠웨이트 등)에서 미국, 아르헨티나, 브라질, 중국 등 54개 국 이상에 침입하면서 전 세계에

서 주요 방제해충이 되었다(Cheek and Macdonald, 1994; Brown et al., 1995). 담배가루이는 광식성 해충으로 콩과, 가지과, 박과 작물 등에 주로 피해를 입힌다(Oliveira et al., 2001; Cruz-Estrada et al., 2013). 담배가루이는 체관부 흡즙을 통해 기주에 직접적인 피해를 입히고 감로 배설을 통한 광합성 효율 저해와 약 350종 이상의 바이러스 매개를 통한 간접적 피해를 입히기도 한다(Jones, 2003).

*Corresponding author: jungpark@gnu.ac.kr

Received November 8 2023; Revised November 15 2023

Accepted November 16 2023

토마토(*Solanum lycopersicum* L.)는 세계에서 가장 많이 재배되는 과채류 작물 중 하나로, 국내에서는 2022년 기준 재배 면적은 6,111ha이고 생산량은 378,808톤에 달하며 전년 대비 각각 1.7%, 2.6% 증가하였다(KOSIS, 2022). 시설토마토에 주요 발생해충은 온실가루이(*Trialeurodes vaporariorum*), 담배가루이(*Bemisia tabaci*), 아메리카잎굴파리(*Liriomyza trifolii*), 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*), 점박이응애(*Tetranychus urticae*) 등이 있다(Nault and Speese, 2002; Chavan et al., 2013). 특히 시설재배 면적 증가로 가루이의 월동과 번식에 좋은 조건이 제공되면서 피해 문제가 심화되는 추세다(Jeon et al., 2009). 특히 담배가루이는 토마토휘화잎말림바이러스(Tomato Yellow Leaf Curl Virus; TYLCV), 카사바갈색줄무늬병(Cassava Brown Streak Disease; CBSD)를 매개하여 토마토 생장과 생산량에 영향을 미친다(Byrne and Bellow, 1991). 담배가루이가 섭식한 기주는 잎이 노랗게 되거나 말리고, 성장 속도가 느려져 생산량에 영향을 미치고 과실의 외관에 문제가 생겨 상품성이 떨어지게 되며(Khan and Wan, 2015) 담배가루이 밀도 조절을 위해 화학적방제가 주로 이루어진다(Perring et al., 2018). 하지만 전국에 여러 기주(고추, 토마토, 오이, 애호박)에서 채집된 담배가루이는 dinotefuran, spinosad, emamectin benzoate, chlorfenpyr 및 bifenthrin에서 높은 저항성을 가지고 있으며 유기인계 및 피레스로이드계 약제에 대한 저항성 돌연변이는 이미 포화상태인 것으로 보고되었다(Kim et al., 2021). 따라서 이에 대응하기 위한 종합적해충관리(integrated pest management; IPM) 수립을 위해 빠르게 의사결정을 하면서 이용하기 쉬운 효율적인 표본추출법을 개발하는 것이 필요하다(Namvar et al., 2011; Naranjo et al., 1997).

표본추출법 중 고정된 정확도를 설정하여 밀도를 추정하는 Fixed precision sampling plan은 기존의 표본추출법과 달리 조사 대상 시설의 규모에 따라 필요한 표본 수가 달라지기 때문에 표본조사에 드는 노력을 35~50% 줄일 수 있다(Binns, 2020; Fernandes et al., 2011).

본 실험의 목적은 토마토 온실에 담배가루이 종합적해충관리를 위한 밀도추정을 위해 공간분포분석 및 설정된 고정정확도에서 표본조사법과 방제의사결정법 개발에 있다.

재료 및 방법

조사 장소 및 표본 추출

본 실험은 경남 진주시 대곡면에 위치한 상업용 토마토 온실에서 진행하였으며, 온실 크기는 약 3300 m² (가로 x 세로, 33 m

x 100 m)이다. 토마토는 20 L 배지 기준으로 가로 1 m, 세로 25 cm 간격으로 한 배지당 토마토 4주씩 수경재배 방식으로 식재되어 있었다. 실험을 위해 온실내 좌표는 가로, 세로 모두 총 10 m씩 간격을 두고 설정하여 총 44개의 좌표 기준으로 식물체를 선정하여 육안조사를 진행하였다. 육안조사는 2022년 5월 13일부터 2022년 6월 24일까지 총 7주동안 진행하였다.

육안조사는 3, 4령유충(third and fourth instar larvae)인 노숙유충(old sedentary stages)을 대상으로 실시하였는데, Ohnnesorge and Rapp (1986)은 고정된 노숙유충시기가 실제 밀도를 예측하는데 가장 적절하다고 언급하였기 때문이다.

육안조사는 토마토 식물이 50 cm 높이의 레일 위에 위치한 배지를 이용해 재배되고 있다는 점을 고려하여 배지로부터 130 cm 이상(지상에서 180 cm 이상)을 상단, 70 cm~100 cm (지상에서 120 cm~150 cm)를 중단, 50 cm 이하(지상에서 100 cm 이하)를 하단으로 나누어 각 위치별 토마토 7엽의 잎 뒷면에서 관찰된 담배가루이 노숙 유충 마리 수를 세는 방식으로 진행하였다. 이때 토마토 7엽에 숫자 1부터 7까지 번호를 매긴 후 각 엽에서 관찰된 노숙유충의 마리 수를 기록하였다.

토마토 온실에서 관찰된 노숙유충의 밀도는 채집 시기, 채집된 온실위치, 좌표, 식물체내 위치를 구분하여 기록하였다.

측차표본추출법 개발

공간분포분석

표본 추출한 위치에 따른 담배가루이 공간분포는 평균(m)과 분산(s^2)과의 관계식($s^2 = am^b$)인 Taylor의 Power law를 이용하여 분석하였다(Taylor, 1961). TPL은 개체군의 공간 분포상을 파악하는 지수적 방법으로 이것을 로그화하여 직선회귀식으로 표현하면 다음과 같은 관계식이 나온다.

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

위 식에서 b 는 기울기로, 밀도의 집중도를 나타내며 $b > 1$ 이면 집중분포를 나타낸다. $\log_e a$ 는 절편으로 표본의 크기를 나타내는 값이다(Southwood, 1978).

토마토 위치별 공간분포를 추정하기 위해 TPL의 변수를 SAS를 통해 직선회귀식으로 표현하여 분석하였고(PROC REG; SAS Institute, 2011), 각 회귀 직선의 동질성은 공분산분석(Analysis of Covariance, ANCOVA, PROC GLM; SAS Institute)을 이용하여 기울기와 절편 값을 비교하였다(Sokal and Rohlf, 1981; Park et al., 1999; Choi and Park, 2015).

표본추출정지선

TPL의 두 회귀계수를 이용하여 엽당 관찰한 담배가루이 노숙유충의 고정된 정확도에서 표본추출정지선은 식 (2)를 이용하여 구하였다(Green, 1970).

$$\log_e T_n = \frac{\log_e(D_0^2/a)}{b-2} + \left(\frac{b-1}{b-2}\right)\log_e n \quad (2)$$

여기서 T_n 은 담배가루이 노숙유충의 누적 수이며, D_0 은 평균과 평균의 표준오차의 비율(SEM/m)로 나타낸 고정정확도로, 본 실험에서는 Southwood (1978)가 해충방제를 위해 추천한 정확도인 0.20, 0.25, 0.30으로 설정하였다. a 와 b 는 TPL로 추정된 회귀계수이며, n 은 각 정확도에서 요구되는 조사표본수를 말한다.

방제의사결정

본 실험은 방제시점을 결정하기 위해 Iwao (1975)가 제시한 방법을 다음과 같이 변형하여 이용하였다(Wise and Lamb, 1995).

$$UL = nm_0 + t\sqrt{nam_0^b} \quad (3)$$

$$LL = nm_0 - t\sqrt{nam_0^b} \quad (4)$$

UL 과 LL 은 각각 의사결정을 위해 필요한 누적 담배가루이 노숙유충 수의 상한값과 하한값을 나타내며, n 은 조사된 표본 수, t 는 t 통계값으로, $p = 0.01$ 인 1.64를 이용하였다. a 와 b 는 TPL의 회귀계수이며, m_0 은 경제적 피해 허용수준으로서 방제를 실시해야 하는 해충의 밀도를 말한다. 조사된 표본 수에서 해충의 누적 수가 상한값보다 높으면 방제를 하게 되고, 하한값보다 낮으면 방제가 필요 없으며, 상한값과 하한값 사이면 계속 표본추출을 하게 된다(Iwao, 1975).

기 발표된 문헌에 따르면 담배가루이 노숙 유충의 피해 허용 수준은 엽당 10~20마리인 것으로 알려져 있다. 따라서 경제적 피해 허용수준인 m_0 을 상업용 토마토 온실인 것을 고려하여 5와 10으로 설정하였다(Kletter, 1993; Ellsworth and Martinez-Carrillo, 2001). 또한 방제의사결정시 표본수가 지속적으로 늘어날 경우를 피하기 위해 최대표본수(N_{max})를 다음과 같이 설정하였다(Iwao, 1975).

$$N_{max} = \frac{t^2}{d^2}(am_0^b) \quad (5)$$

d 는 관찰된 담배가루이 노숙유충의 평균 밀도와 m_0 가 동일한 경우 조사된 평균 밀도의 신뢰구간으로 $d = ts_x$ (s_x = 표본표준오차)로 표현될 수 있으며 나머지 변수는 식 (3)에서와 동일한 의미를 가진다.

표본조사법의 적합성 분석

표본조사법의 적합성 분석을 위해 개발에 사용된 자료(진주시 대곡면에서 수집) 이외에 유사한 조건의 독립자료(전북 장수군에서 수집)를 RVSP (Resampling Validation for Sampling Plan)에 탑재하여 분석하였다(Naranjo and Hutchison, 1997). 각 독립자료에 대해 1000회 시뮬레이션을 이용하여 고정정확도는 0.25, 그리고 공간분포분석을 통해 구한 TPL의 a 와 b 값을 이용하였다. 최소표본수는 10으로 설정하여 실제 자료와 비교하였다.

결과 및 고찰

식물체 내 위치별 밀도

밀도 조사 결과 담배가루이 노숙유충은 상단에 비해 중단과 하단에 밀도가 높은 것으로 나타났다. 이는 담배가루이 성충이 식물체의 하단 부분에 주로 알을 산란하고 담배가루이 노숙 유충은 이동성이 없어 알에서 우화한 후 그 자리에 고착하여 용화하고 성충이 되기 때문에 중단과 하단에 밀도 수준이 높다(Choi and Park, 2015). 담배가루이 노숙 유충의 밀도는 5월 26일에 증가하다 이후 서서히 감소하였다(Fig. 1).

공간분포분석

TPL을 이용하여 담배가루이 노숙유충을 표본추출한 토마토 위치별 공간분포 유형을 살펴본 결과, 담배가루이 노숙 유충의 TPL 결정계수값($\log a$)은 상단, 중단, 하단 각각 1.83, 1.66, 1.99로 나왔다. 집중도를 나타내는 기울기값(b)은 1.52, 1.60, 1.93였다 (Table 1).

본 실험에서는 담배가루이 노숙 유충의 상단, 중단, 하단에서 b 값이 모두 1보다 커 집중분포하는 것으로 조사되었다. TPL 직선회귀 계산에서 나온 기울기와 절편의 동질성을 ANCOVA를 이용하여 분석한 결과, 상단, 중단, 하단에서 절편($F = 1.69$,

df = 2, 17, $p = 0.21$), 기율기($F = 0.58$, df = 2, 15, $p = 0.57$)가 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 따라서 각 위치별 밀도 데이터를 통합(pooling)하여 TPL 회귀변수 값을 도출하였으며, 표본 추출정지선 및 방제의사결정 개발에 이용하였다.

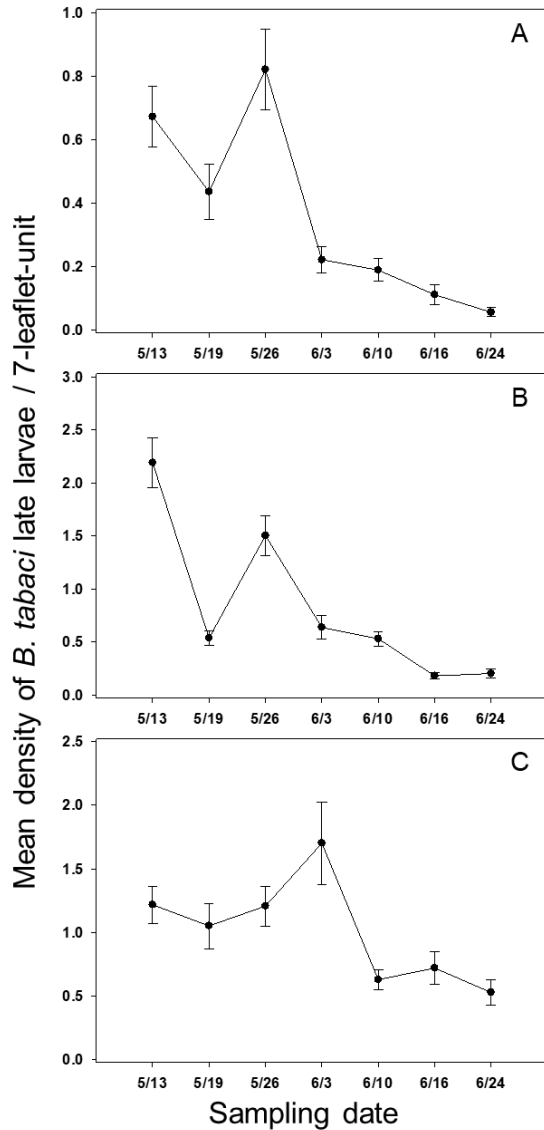


Fig. 1. The density of *B. tabaci* per stratum: A is the upper stratum, B is middle stratum, and C is bottom stratum.

Table 1. Taylor's power law results of *B. tabaci* late larvae

	Position	log a (SEM)	b (SEM)	r^2
Late larvae	Top	1.83 (0.19)	1.52 (0.12)	0.97
	Middle	1.66 (0.13)	1.60 (0.13)	0.97
	Bottom	1.99 (0.17)	1.93 (0.44)	0.80
	Pooling	1.84 (0.10)	1.59 (0.08)	0.95

표본추출정지선

Green (1970)의 방법을 이용한 고정정확도($D_0 = 0.20, 0.25, 0.30$)에서 표본추출정지선을 계산한 결과, 담배가루이 노숙 유충은 정확도가 높을수록 표본추출을 중지하기 위해 많은 표본 수가 필요한 것으로 조사되었다. 예를 들어, 담배가루이 노숙 유충이 엽당 50마리라면 $D_0 = 0.20$ 일 경우, 표본 추출 정지를 위해 요구되는 표본 수는 443개, 0.25, 0.30일 때는 각각 209, 115개로 조사되었다(Fig. 2).

Green (1970)이 제시한 고정정확도를 이용하면 정확도가 높아짐에 따라 요구되는 표본 수가 증가하게 된다(Fig. 2). 이러한 결과는 다른 해충과 작물에서 개발된 표본추출정지선에서도 동일하게 나타났다(Choi and Park, 2015; Eom et al., 2022). 하지만 담배가루이의 경우 크기가 작아 표본조사를 많이 할수록 시간과 비용이 많이 들며 토마토황화잎말림병 바이러스(Tomato Yellow Leaf Curl Virus; TYLCV)를 매개하여 방제 시기를 놓치면 작물손실에 의한 피해가 발생할 수 있기 때문에 경제적 피해 없이 방제가 가능하도록 결정하기 위해선 정확도를 적절히 조절하여 요구되는 표본 수를 감소시키는 것이 중요할 것으로 사료된다(Jones, 2003).

방제의사결정

방제의사결정 이론에 따르면 누적 담배가루이 노숙 유충 수가 방제 상한선과 하한선 사이에 존재하면 계속해서 표본추출을 해야 한다. 그러면 무한정으로 표본 추출을 해야 하기 때문

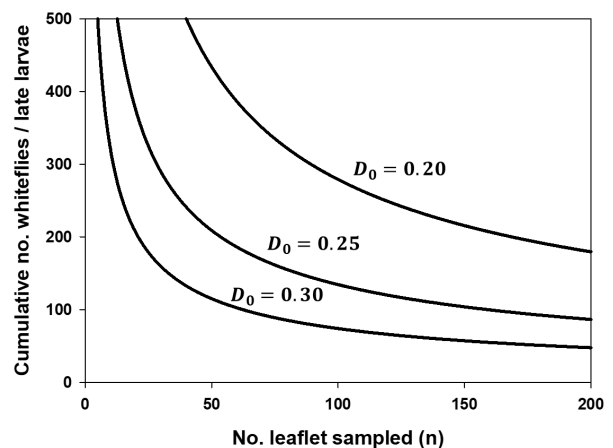


Fig. 2. Fixed-precision sequential sampling plan for estimating *B. tabaci* late larvae population density on leaves at precision levels of $D_0 = 0.20, 0.25, 0.30$. The upper line is $D_0 = 0.20$, the middle line is $D_0 = 0.25$ and the bottom line is $D_0 = 0.30$.

에 이를 극복하기 위해 최대 표본수(N_{max})를 설정하였다(Iwao, 1975). 본 실험에서는 경제적 피해 허용수준인 m_0 가 5, 10일 때 담배가루이 노숙유충의 최대 표본수는 각각 541개, 1417개로 나왔다(Fig. 3). 최대표본수는 경제적 피해 허용수준 값이 커질 수록 증가하는 것으로 조사되었다.

본 실험에 이용된 경제적 피해 허용수준은 선행 연구 논문에서 제시한 피해허용수준인 엽당 10~20마리와 상업용 온실이라는 것을 참고 및 고려하여 5와 10으로 설정하였다(Kletter, 1993; Ellsworth and Martinez-Carrillo, 2001). 표본추출여부에 상관없이 무조건 방제를 실시하여야 하는 최대표본수는 m_0 가 5, 10일 때 각각 541개, 1417개로 차이가 크고, 요구되는 표본수도 많다. 이는 실험을 진행한 토마토 온실에서 주기적으로 화학적 방제를 실시하여 낮은 밀도 수준을 유지하였기 때문이다(Fig. 1). 낮은 밀도는 방제의사결정에서 no-control로 의사결정을 하도록 유도한다. 하지만 담배가루이는 알에서 부화하여 용화하고 성충으로 우화할 때까지 이동성이 거의 없고 알에서 성충으

로 성장하는데 16일에서 30일이 걸리고 노숙 유충이 섭식하는 과정에서 식물 생리에 영향을 미치는 효소를 분비하여 과실의 숙성도가 균일하지 않고 착색을 지연시키기 때문에 본 실험에서 제시한 피해허용수준과 온실 상황을 고려하여 경제적 피해 허용수준을 설정해야 할 것으로 사료된다(Sani et al., 2020).

표본추출법의 적합성 분석

표본추출법 개발에 사용한 자료 이외에 독립된 자료를 RVSP를 이용해 시뮬레이션한 결과, 육안 조사 시 관찰했던 평균 밀도와 시뮬레이션을 통해 도출된 평균 밀도 사이에 차이가 없었으며, 최소표본수에 상관없이 거의 모든 데이터가 분석 시 설정했던 고정 정확도($D_0 = 0.25$)에 가까운 값이 나왔다(Table 2). 따라서 본 연구에서 개발된 표본조사법의 적합도가 좋은 것으로 사료된다.

본 실험에는 개발된 표본추출법의 적합성 분석을 위해 실험

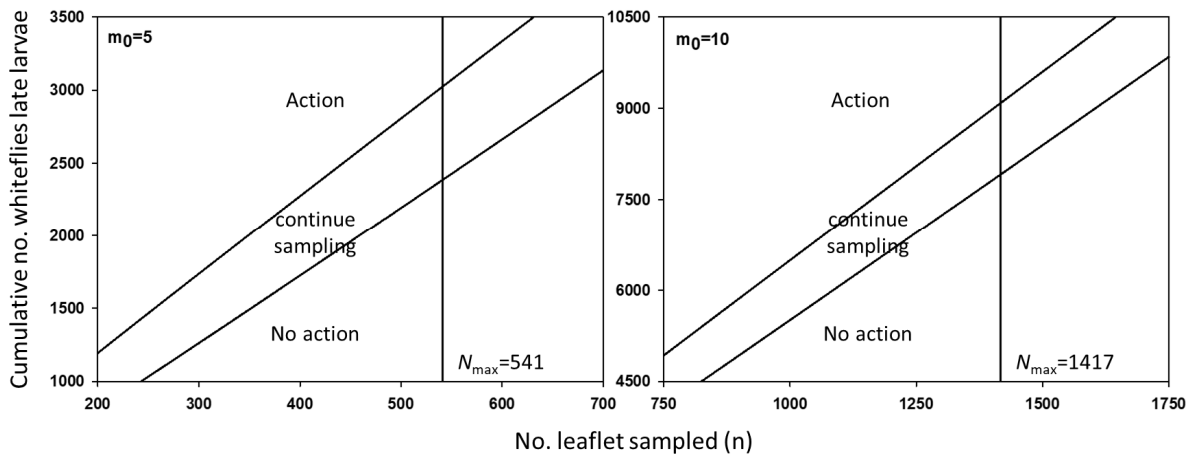


Fig. 3. Control decision making for *B. tabaci*/late larvae. The upper part is control action, the middle part is continued sampling and the bottom part is no control action. Sampling is conducted using the maximum sample size in the middle line.

Table 2. Resampling Validation for Sampling plans (RVSP) results of *B. tabaci* late larvae

<i>B. tabaci</i>	Observed data			Simulated results		
	Min sample size	Date	Mean density	Mean density	Estimated <i>D</i> value (mean (min, max))	Sample number for density estimation
Late larvae	10	11-Mar	0.76	0.79	0.24 (0.17, 0.33)	65
		18-Mar	1.90	1.95	0.27 (0.17, 0.50)	38
		25-Mar	7.22	7.55	0.26 (0.13, 0.50)	17
		01-Apr	0.26	0.27	0.22 (0.17, 0.31)	124
		08-Apr	0.40	0.41	0.25 (0.18, 0.34)	96
		15-Apr	0.48	0.50	0.23 (0.17, 0.32)	85
		27-Apr	0.92	0.99	0.30 (0.19, 0.45)	57

에 사용된 자료 이외에 전북 장수에서 2022년 9월 1일부터 10월 26일까지 표본 추출한 독립적인 육안 데이터를 이용하여 RSVP 분석을 하였다(Table 2). RSVP는 실제 표본추출한 독립적 데이터를 임의로 추출하여 적합성을 분석하는 프로그램이다(Naranjo and Hutchison, 1997). 전북 장수에서 표본 추출한 데이터에 실험에 사용한 TPL 회귀계수값과 고정정확도를 이용해 프로그램을 시행하여 실제 밀도와 예측 밀도 간에 큰 차이가 없었고 정확도도 Southwood (1978)가 제시한 0.2~0.3 사이로 나타나 개발된 표본추출법의 적합도가 좋은 것으로 나타났다.

본 실험에서 개발된 토마토 온실에 담배가루이의 표본추출법 및 방제 의사결정법은 국내 토마토 온실에 적용하여 시간과 노력을 줄여 효율적인 해충 방제전략 중 하나로 이용될 수 있다고 사료된다. 다만 국내 경기도 지역 여름재배 시설토마토에서 담배가루이의 TYLCV와 ToCV (tomato chlorosis virus)의 보독률이 42.7%에 달하는 것으로 알려져 있고, 두 종의 바이러스에 의한 수확량 감소가 약 10%로 알려져 있으므로(Kwon et al., 2022), 본 연구에서 나온 표본 추출법을 보수적으로 적용할 필요가 있다. 즉 보독률에 따른 수확량 감소에 따라 방제시기를 결정하는 방제허용수준 밀도를 낮추어서 조기 방제가 실시될 필요가 있다(Czosnek et al., 2002). 또한 국내 토마토 온실 상황에 맞는 담배가루이 노숙 유충의 경제적 피해허용수준 및 이항 표본조사법 개발이 추후 연구되어야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구과제(세부과제번호: PJ0157490 22023)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

저자 직책 & 역할

박정준: 경상국립대, 교수; 실험설계 및 논문작성
 엄소은: 경상국립대, 대학원생; 표본추출 모니터링 및 논문 작성
 박태철: 경상국립대, 대학원생; 표본추출 모니터링
 정지원: 경상국립대, 대학원생; 표본추출 모니터링

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

Literature Cited

Binns, M.R., 2020. Sequential sampling for classifying pest status, in: Pedigo, L.P., Buntin, G.D. (Eds.), Handbook of sampling

methods for arthropods in agriculture. CRC Press, Florida, pp. 137-174.

Brown, J.K., Frohlich, D.E., Rosell, R.C., 1995. The sweetpotato or silverleaf whiteflies: biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex? *Annu. Rev. Entomol.* 40, 511-534.

Byrne, D.N., Bellow, T.S., 1991. Whitefly biology. *Annu. Rev. Entomol.* 36, 431-457.

Chavan, S.M., Kumar, S., Arve, S.S., 2013. Population dynamics and development of suitable pest management module against major insect pests of tomato (*Solanum lycopersicum*). *J. Appl. Hortic.* 15, 150-155.

Cheek, S., Macdonald, O., 1994. Statutory controls to prevent the establishment of *Bemisia tabaci* in the United Kingdom. *Pest. Sci.* 42, 135-142.

Choi, W., Park, J.-J., 2015. Development of sequential sampling plan for *Bemisia tabaci* in paprika greenhouses. *Korean J. Appl. Entomol.* 54, 159-167.

Cruz-Estrada, A., Gamboa-Angulo, M., Borges-Argáez, R., Ruiz-Sánchez, E., 2013. Insecticidal effects of plant extracts on immature whitefly *Bemisia tabaci* Genn. (Hemiptera: Aleyroideae). *Electron. J. Biotechnol.* 16, 1-9.

Czosnek, H., Ghanim, M., Ghanim, M., 2002. The circulative pathway of begomoviruses in the whitefly vector *Bemisia tabaci* - insights from studies with Tomato yellow leaf curl virus. *Ann. Appl. Biol.* 140, 215-329.

Ellsworth, P.C., Martinez-Carrillo, J.L., 2001. IPM for *Bemisia tabaci*: a case study from North America. *Crop Prot.* 20, 853-869.

Eom, S.E., Park, T.C., Son, K.M., Park, J.-J., 2022. Development of sequential sampling plan for *Frankliniella occidentalis* in greenhouse pepper. *Korean J. Environ. Biol.* 40, 164-171.

Fernandes, M.G., Spessoto, R.R., Degrande, P.E., Rodrigues, T.R., 2011. Sequential sampling of *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) and *Frankliniella schultzei* Trybom (Thysanoptera: Thripidae) on cotton crop. *Neotrop. Entomol.* 40, 258-263.

Green, R.H., 1970. On fixed precision level sequential sampling. *Popul. Ecol.* 12, 249-251.

Iwao, S.I., 1975. A new method of sequential sampling to classify populations relative to a critical density. *Res. Popul. Ecol.* 16, 281-288.

Jeon, H., Kim, H., Yang, C., Kang, T., Kim, D., 2009. A tentative economic injury level for greenhouse whitefly on cucumber plants in the protective cultivation. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 27, 81-85.

Jones, D.R., 2003. Plant viruses transmitted by whiteflies. *Eur. J. Plant Pathol.* 109, 195-219.

Khan, I.A., Wan, F.H., 2015. Life history of *Bemisia tabaci* (Gennadius)(Homoptera: Aleyrodidae) biotype B on tomato and cotton host plants. *J. Entomol. Zool. Stud.* 3, 117-121.

Kim, S., Kim, S.J., Cho, S., Lee, S.H., 2021. Insecticide Resistance Monitoring of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in Korea.

- J. Appl. Entomol. 60, 167-173.
- Kletter, E., 1993. Threshold level for *Bemisia tabaci* on cotton. *Phytoparasitica*. 21, 178-179.
- KOSIS, 2022. Area of cultivation and production of greenhouse vegetables. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0027&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=K1_19&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE (accessed on 06 November, 2023).
- Kwon, Y., Cha, B., Kim, M., 2022. Patterns of the Occurrence of TYLCV and ToCV with Whitefly on Summer-Cultivated Tomato in Greenhouse in Gwangju, Gyeonggi Province. *Res. Plant Dis.* 28, 39-45.
- Namvar, P., Safaralizadeh, M. H., Baniameri, V., Pourmirza, A.A., 2011. Fixed precision sequential sampling plans for leaf mines of *Liriomyza sativae* Blanchard (Diptera: Agromyzidae) in cucumber greenhouses. *Egypt. Acad. J. Biolog. Sci.* 4, 55-63.
- Naranjo, S.E., Diehl J.W., Ellsworth P.C., 1997. Sampling whiteflies in cotton: validation and analysis of enumerative and binomial plans. *Environ. Entomol.* 26, 777-788.
- Naranjo, S.E., Hutchison, W.D., 1997. Validation of arthropod sampling plans using a resampling approach: software and analysis. *Am. Entomol.* 43, 48-57.
- Nault, B.A., Speese, J., III, 2002. Major insect pests and economics of fresh-market tomato in eastern Virginia. *Crop Prot.* 21, 359-366.
- Ohnesorge, B., Rapp G., 1986. Monitoring *Bemisia tabaci*: a review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 17, 21-27.
- Oliveira, M.R.V., Henneberry, T.E., Anderson, P., 2001. History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. *Crop Prot.* 20, 709-723.
- Park, J-J., Park, H., Kim, Y.H., Cho, K., 1999. Sampling plans for estimating and classifying population density of two spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on the greenhouse rose grown by arching method. *Korea J. Entomol.* 29, 127-134.
- Perring, T.M., Stansly, P.A., Liu, T.X., Smith, H.A., Andreason, S.A., 2018. Whiteflies: Biology, ecology, and management, in: Wakil, W., Brust, G.E., Perring, T.M. (Eds.), Sustainable management of arthropod pests of tomato. Academic Press, Cambridge, pp. 73-110.
- Sani, I., Ismail, S.I., Abdullah, S., Jalinas, J., Jamian, S., Saad, N., 2020. A review of the biology and control of whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), with special reference to biological control using entomopathogenic fungi. *Insects.* 11, 619.
- SAS Institute, 2011. SAS/IML 9.3 user's guide. SAS Institute, Cary, New York.
- Sokal, R.R., Rohlf, F.J., 1981. *Biometry*, 2nd ed., Chapman and Hall, London.
- Southwood, T.R.E., 1978. *Ecological methods*, 2nd ed., Chapman and Hall, London.
- Taylor, L.R., 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature.* 189, 732-735.
- Wise, I., Lamb, R., 1995. Spatial distribution and sequential sampling methods for the potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Homoptera: Aphididae), in oilseed flax. *Can. Entomol.* 127, 967-976.