

## 고추 온실에서 꽃노랑총채벌레의 축차표본조사법 개발

엄소은<sup>1</sup>, 박태철<sup>1</sup>, 손기문<sup>1</sup>, 박정준<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>경상국립대학교 식물학과, <sup>2</sup>경상국립대학교 농업생명과학연구원

## Development of sequential sampling plan for *Frankliniella occidentalis* in greenhouse pepper

SoEun Eom<sup>1</sup>, Taechul Park<sup>1</sup>, Kimoon Son<sup>1</sup> and Jung-Joon Park<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Plant Medicine, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

<sup>2</sup>Institute of Agriculture and Biological Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

### \*Corresponding author

Jung-Joon Park

Tel. 055-772-1928

E-mail. jungpark@gnu.ac.kr

Received: 6 June 2022

First Revised: 13 June 2022

Second Revised: 14 June 2022

Revision accepted: 15 June 2022

**Abstract:** *Frankliniella occidentalis* is an invasive pest insect, which affects over 500 different species of host plants and transmits viruses (*tomato spotted wilt virus*; TSWV). Despite their efficiency in controlling insect pests, pesticides are limited by residence, cost and environmental burden. Therefore, a fixed-precision level sampling plan was developed. The sampling method for *F. occidentalis* adults in pepper greenhouses consists of spatial distribution analysis, sampling stop line, and control decision making. For sampling, the plant was divided into the upper part (180 cm above ground), middle part (120–160 cm above ground), and lower part (70–110 cm above ground). Through ANCOVA, the *P* values of intercept and slope were estimated to be 0.94 and 0.87, respectively, which meant there were no significant differences between values of all the levels of the pepper plant. In spatial distribution analysis, the coefficients were derived from Taylor's power law (TPL) at pooling data of each level in the plant, based on the 3-flowers sampling unit. *F. occidentalis* adults showed aggregated distribution in greenhouse peppers. TPL coefficients were used to develop a fixed-precision sampling stop line. For control decision making, the pre-referred action thresholds were set at 3 and 18. With two action thresholds,  $N_{max}$  values were calculated at 97 and 1149, respectively. Using the Resampling Validation for Sampling Program (RVSP) and the results gained from the greenhouses, the simulated validation of our sampling method showed a reasonable level of precision.

**Keywords:** *Frankliniella occidentalis*, spatial distribution, fixed-precision stop line, decision-making

## 서 론

꽃노랑총채벌레는 북미 남서부 지방을 원산지로 하며

500종 이상의 기주를 가지며, 국내에는 1993년에 처음으로 제주도에서 발견된 이후 전국적 발생이 이뤄졌다(Han *et al.* 1998). 꽃노랑총채벌레는 알에서 2단계의 유충 형

태를 거친 후 용화하여 성충이 되는 생활사를 가진다. 이때 용화를 위해 기주에서 땅으로 이동하는 것이 특징이다 (Katayama 1997). 꽃노랑총채벌레의 수명은 온도에 따라 다른데, 실내 실험 조건 아래에서는 최소 2주에서 최대 5주까지 생존한다 (Katayama 1997; Ullah and Lim 2015). 꽃노랑총채벌레가 여러 국가에서 집중 방제가 필요한 해충으로 자리매김하게 된 이유는 넓은 기주 범위를 가지고 있음과 동시에 토마토반점시들음바이러스 (Tomato spotted wilt virus; TSWV)를 매개하기 때문이다. 이 바이러스는 기주를 흡즙하는 과정에서 감염되게 되는데 열매의 외관을 변형시키기 때문에 상품성이 떨어뜨려 심각한 경제적 손실을 야기한다 (Stafford *et al.* 2011; Reitz *et al.* 2020).

고추 (*Capsicum annuum*)는 국내 최대 재배면적 (31,146 ha)을 가지고 있는 채소이다 (KOSIS 2020). 고추에 발생하는 식물병은 모두 39종이 보고되고 있으며 (KCPA 2020), 이 가운데 바이러스에 의한 발병율이 가장 높는데, 특히 2000년 이후 현저히 높아져 1999년에 1.0%에 불과하던 발병율이 2000년 이후 30%를 넘어 2008년 36.7%까지 발병율을 보였다 (Kim 2000; Seo *et al.* 2011). 이러한 고추의 바이러스병은 매개충인 진딧물과 총채벌레에 의한 것으로 알려져, 이들의 방제가 고추병바이러스 발병율을 낮추는 중요한 요인이다 (Lee *et al.* 2004).

Kim *et al.* (2022)은 대한민국 안동지역의 시설고추에서 총채벌레류의 연중 발생상황을 보고하였는데, 고추포장에서 발생하는 총채벌레류가 혼재하는 것으로 나타났으며, 꽃노랑총채벌레가 가장 많이 나왔으나 (약 82%), 대만총채벌레 및 기타 총채벌레가 전체의 18% 정도라고 하였다.

꽃노랑총채벌레 방제는 국내에서 화학적 방제가 주로 이루어진다. 하지만 화학적 방제는 빠른 시간 내에 밀도를 감소시킬 수 있지만 살충제 저항성을 야기하게 된다 (Jensen 2000; Gao *et al.* 2012). 국내 원예작물 재배시설에서 발생한 꽃노랑총채벌레는 재배작물과 관계없이 acetamiprid (8%) SP, clothianidin (8%) SC, imidacloprid (10%) WP, thiacloprid (10%) WG와 같은 네오니코티노이드계 약제에 대한 저항성이 두드러지게 나타났다 (Lee *et al.* 2017). 이를 대응하기 위해 해충문제를 농업생태계의 한 요소로 보고 해충개체군 밀도의 경제적 가해수준에 영향을 미치는 여러 가지 요인을 합리적으로 조절하여, 해충에 의한 경제적 손실을 최소화하는 방제 기술의 전략적 선택 및 적용이 가능한 종합적 해충관리 전략이 필요하다

(Park *et al.* 2009, 2014). 종합적 해충관리는 무엇보다 고추 온실에서 꽃노랑총채벌레의 밀도변동에 따른 밀도추정으로 시작하며, 이를 위해서는 표본추출법과 의사결정법 개발이 필요하다 (Binns and Nyrop 1992; Pedigo and Buntin 1994).

대표적인 표본추출법들 중 미리 일정한 정확도를 지정한 후 밀도를 추정하는 방법인 Fixed precision level sampling plan은 Kuno (1969)와 Green (1970) 이후 많은 학자들에 의해 사용되어 왔으며 실제포장에서 해충밀도 조사에 큰 역할을 하고 있다. 의사결정을 위한 표본조사법은 미리 표본크기를 정하지 않고 임의로 관찰된 해충의 개체수를 누적하여 의사결정이 이루어지는 방법으로써, 사용이 용이하고 표본조사에 드는 시간과 노력을 줄일수 있는 장점이 있어 의사결정법에 많이 사용되고 연구되어 왔다 (Park *et al.* 1999; Choi and Park 2015).

본 실험의 목적은 고추 온실에서 해충인 꽃노랑총채벌레 종합 관리를 위한 밀도추정을 위해 공간분포분석 및 이를 이용한 고정된 정확도 수준에서 표본조사법과 의사결정법 개발에 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사장소 및 표본추출 (study plot and sampling)

해당 실험은 경상남도 진주시 대곡면에 있는 고추 온실에서 수행되었다. 표본을 추출한 온실의 크기는 2,940 m<sup>2</sup> (온실 1, 가로×세로, 32 m×92 m)이며, 가로 1 m, 세로 20 cm 마다 고추 1주씩 한줄심기로 식재되어 있었다. 실험은 입구효과와 측창효과를 고려하여 온실 남쪽 우측에 있는 출입문근처와 온실의 중앙부분, 그리고 입구에서 가장 먼 부분을 12×20 m의 블록으로 설정하고, 가로 4 m, 세로 5 m 간격을 기준으로 표본추출할 고추주를 총 62주 선정하였다. 표본추출은 2021년 4월 9일부터 2021년 7월 7일까지 매주 총 13회 수행되었다.

고추주 내에서 표본 추출은 고추주의 높이가 2 m 이상인 것을 고려하여 상단의 경우 지상으로부터 180 cm 이상, 중단의 경우 지상으로부터 120~160 cm, 하단의 경우 지상으로부터 70~110 cm 높이를 각각 상, 중, 하로 나누어 각 3개의 꽃을 임의로 선정한 후 70% 알코올이 담긴 바이엘에 꽃에 있는 모든 총채벌레류를 털어잡는 방법으로 채집하

였다. 따라서 매주 62주의 고추에서 558개의 고추꽃의 총채벌레를 표본추출하였다.

고추 온실에서 채집된 총채벌레류를 실험현미경으로 종 구분하고 각 종별 밀도를 기록한 후, 그 중 꽃노랑총채벌레 성충밀도를 연구에 사용하였다. 꽃노랑총채벌레 성충밀도는 채집 시기, 채집온실 내 위치, 식물체 내 위치를 구분하여 기록하였다.

## 2. 표본추출법 개발

### 1) 공간분포분석

표본추출 위치별 꽃노랑총채벌레의 공간분포는 Taylor (1961)의 Power Law (TPL)를 이용하여 분석하였다. TPL은 평균( $m$ )과 분산( $s^2$ )과의 관계( $s^2 = am^b$ )를 이용해서 개체군의 공간 분포상을 파악하는 방법으로 이것을 직선회귀식으로 표현하기 위해 로그화하면 다음과 같은 관계식이 나온다.

$$\log_e(s^2) = \log_e a + b \cdot \log_e m \quad (\text{Eq. 1})$$

위 식에서 기울기인  $b$ 는 집중도를 나타내는 것으로 1보다 커지면 집중분포하는 양상을 나타낸다. 절편인  $\log_e a$ 는 표본의 크기와 관계된 값이다(Southwood 1978).

TPL의 변수들은 직선회귀식(PROC REG; SAS Institute 2010)을 이용하여 고추의 위치별(상단, 중단, 하단)로 추정하였으며, 각 회귀 직선의 동질성 검정은 공분산분석(Analysis of Covariance, ANCOVA, PROC GLM; SAS Institute 2010)을 이용하여 기울기와 절편 값을 비교하여 조사하였다(Sokal and Rohlf 1981; Park *et al.* 1999; Choi and Park 2015).

### 2) 표본추출 정지선(Fixed precision levels sampling plan stop line)

TPL에서 추정된 두 회귀계수를 이용하여 고추꽃 3개에서 채집된 꽃노랑총채벌레의 고정된 정확도에서 표본추출 정지선은 Green (1970)이 제시한 방법으로 구하였다.

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

여기서  $T_n$ 는 누적된 꽃노랑총채벌레 수이며,  $D_0$ 은 평균과 평균의 표준오차의 비율( $SEM/m$ )로 나타낸 사전에 선정된 고정정확도로, 본 실험에서는 0.20, 0.25, 0.30으로 설정

하였다.  $a$ 와  $b$ 는 TPL에서 추정된 두 회귀계수이며,  $n$ 은 각 정확도에서 요구되는 조사표본수이다. Southwood (1978)는 해충방제를 위한 정확도는 0.25~0.30 정도를 추천하였는데 이는 밀도 추정에 관련된 정확도와 표본추출에 소비되는 시간과 노력을 모두 고려한 결과이다.

### 3) 방제의사결정

방제시점의 의사결정을 하기 위해 Iwao (1975)가 제시한 방법을 다음과 같이 변형하여 이용하였다(Wise and Lamb 1995).

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

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

UL과 LL은 각각 의사결정을 위해 필요한 누적된 꽃노랑총채벌레의 상한값과 하한값을 나타낸 것이며,  $n$ 은 조사된 표본수이고,  $t$ 는  $t$  통계량 값으로  $p=0.10$ 값인 1.64를 이용하였다.  $a$ 와  $b$ 는 TPL에서 추정된 두 회귀 계수이며,  $m_0$ 은 방제가 필요한 해충의 밀도인 경제적 피해 허용수준으로서 경제적 피해 수준과 관계되는 값이다. 만약 조사된 특정 표본수에서 누적된 해충 수가 상한값을 넘는다면 방제를 하게 되고, 하한값보다 밀이면 방제가 필요 없으며, 상한값과 하한값의 사이인 경우 계속 표본추출을 하게 된다(Iwao 1975).

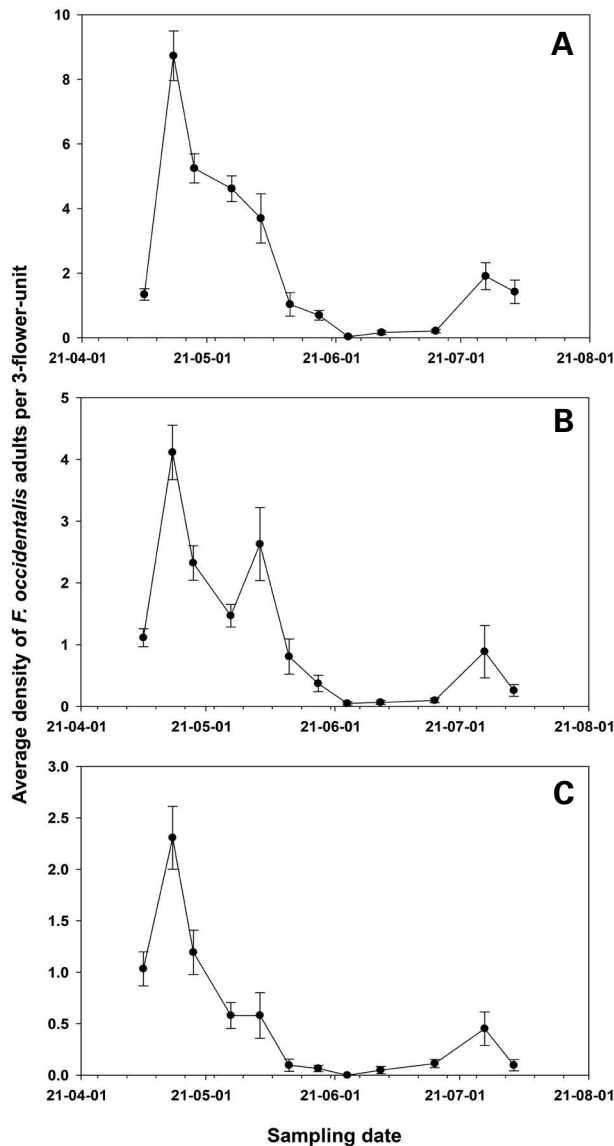
본 연구에서 꽃노랑총채벌레의 경제적 피해허용수준(action threshold)인  $m_0$ 은 고추꽃 당 성충 6마리로 알려져 있다(Demirozer *et al.* 2012). 다만, 문헌에 나온 고추에서 꽃노랑총채벌레의 경제적 피해허용수준은 미국 플로리다의 노지 고추에서 연구한 결과이므로, 국내 고추온실 상황과 차이가 있을 수 있으므로 본 실험의 표본추출단위인 3 고추꽃당 꽃노랑총채벌레 3마리와 18마리로 정하였다. 또한 방제의사결정시 표본수가 지속적으로 늘어나는 경우 이를 피하기 위한 최대표본수( $N_{max}$ )는 다음과 같이 구해진다(Iwao 1975).

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

$d$ 는 조사된 꽃노랑총채벌레의 평균 밀도와  $m_0$ 가 동일한 경우 조사된 평균 밀도의 신뢰구간으로  $d = t_{s_x}$  ( $s_x$  = 표본표준오차)로 표현될 수 있으며 나머지 변수들은 Eq. 3에서와 동일한 의미를 지닌다.

#### 4) 표본조사법의 적합성 분석

표본조사법의 적합성 분석을 위해 개발에 사용된 자료(2021년 자료) 이외에 동일한 조건의 독립자료(2022년 자료)를 Naranjo and Hutchison (1997)이 개발한 RVSP (Resampling Validation for Sampling Plan)에 탑재하여 분석하였다. 각 독립자료에 대해 1000회 시뮬레이션을 이용하여 고정정확도는 0.25, 그리고 공간분포분석에서 구한 TPL의  $a$ 와  $b$ 값을 이용하였다. 최소표본수는 10으로 설정하여 실제 자료와 비교하였다.



**Fig. 1.** The density of *Frankliniella occidentalis*: A is the top position, B is the middle position, and C is the bottom position, respectively.

## 결 과

### 1. 식물체 내 위치별 밀도변동

꽃노랑총채벌레 성충은 육안 조사 결과 식물체의 상부로 이동하려는 행동학적 특성으로 인해 상단이 중단과 하단보다 밀도가 상대적으로 높았다. 4월 23일까지 밀도가 증가하였고 이후에는 서서히 감소하였다(Fig. 1).

### 2. 공간분포분석

TPL을 이용하여 꽃노랑총채벌레 성충을 표본 추출한 고추 위치별 공간분포를 살핀 결과, 꽃노랑총채벌레 성충의 결정계수값이 상단, 중단, 하단 각각 0.92, 1.01, 0.92로 나왔다. 집중정도를 나타내는 기울기 값은 상단, 중단, 하단 각각 1.31, 1.35, 1.25였다(Table 1).

도출된 값으로 해석한 결과, 상, 중, 하단 모두  $b$ 값이 1보다 커 집중 분포를 하고 있는 것으로 조사되었다. TPL 직선회귀에서 나온 기울기와 결정계수값의 동질성 조사를 위한 ANCOVA 결과, 상단, 중단, 하단의 직선 모두 통계적으로 절편( $F=0.06$ ,  $df=2, 34$ ,  $p=0.94$ )과 기울기( $F=0.14$ ,  $df=2, 32$ ,  $p=0.87$ )가 차이가 없었다. 그래서 각 위치별 데이터를 통합하여 통합 TPL 계수값을 도출하였으며, 표본 추출정지선 및 방제의사결정 개발에 이용하였다.

### 3. 표본추출정지선

Green (1970)의 방법을 이용하여 정확도를 0.20, 0.25, 0.30으로 고정시켜 표본추출정지선을 계산한 결과, 꽃노랑총채벌레는 정확도가 높을수록 표본추출을 중지하기 위한 표본수가 많아졌다. 예를 들어, 꽃노랑총채벌레 꽃당 평균밀도가 10마리라면 가장 높은 정확도인  $D_0=0.20$  일 때는 표본추출을 중지하기 위해 필요한 표본은 약 312개이며,  $D_0=0.25, 0.30$ 일 때는 각각 약 151개, 84개가 각각 필요한 것으로 조사되었다(Fig. 2).

**Table 1.** Taylor's power law results for adult *Frankliniella occidentalis*

	Position	$\log a$ (SEM)	$b$ (SEM)	$r^2$
Adult	Top	0.92 (0.171)	1.31 (0.104)	0.94
	Middle	1.01 (0.233)	1.35 (0.138)	0.90
	Bottom	0.92 (0.195)	1.25 (0.105)	0.93
	Pooling	1.20 (0.171)	1.38 (0.102)	0.94

#### 4. 방제의사결정

누적 꽃노랑총채벌레 수가 방제의사결정 상한선과 하한선 사이에 존재할 경우, 이론상 계속해서 표본추출을 해야 한다. 이 점을 개선하기 위해 Iwao (1975)가 제시한 최대 표본수( $N_{max}$ )값이라는 개념을 사용했다. 누적 해충 수가 이 최대 표본수를 넘어서도 의사결정이 되지 않으면 방제를 수행하게 된다. 본 실험에서는  $m_0 = 3$ ,  $m_0 = 18$ 일 때 꽃노랑총채벌레의 최대 표본수는 각각 약 97개, 1149개로 각각 나왔다(Fig. 3). 최대 표본수는 경제적 피해 허용수준 값이 커질수록 증가하였다.

#### 5. 조사방법의 적합성 분석

표본추출법 개발을 위한 자료(2021년 자료)와 독립된

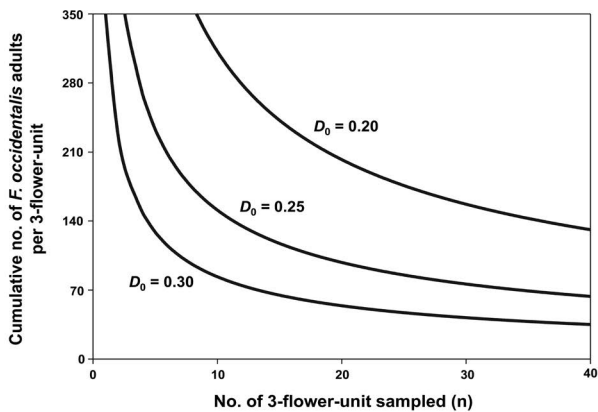


Fig. 2. Fixed-precision sequential sampling plan for estimating *Frankliniella occidentalis* adults population density in flowers at precision levels of  $D_0 = 0.20$ ,  $D_0 = 0.25$  and  $D_0 = 0.30$ . The top line is  $D_0 = 0.20$ , the middle line is  $D_0 = 0.25$  and the bottom is  $D_0 = 0.30$ , respectively.

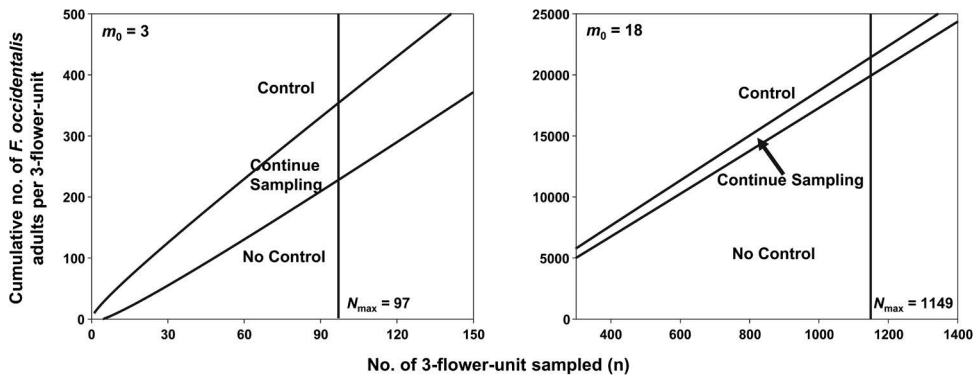


Fig. 3. Control decision making for adult *Frankliniella occidentalis*. The top is control action, the middle is continued sampling, and the bottom is no control action. Sampling is conducted using the maximum sample size in the middle line.

자료(2022년 자료)를 RVSP로 시뮬레이션을 한 결과, 육안조사 시 관찰했던 평균 밀도와 시뮬레이션을 통해 나온 평균 밀도 사이에 차이가 없었으며, 최소표본수에 상관없이 거의 모든 데이터가 분석 시 설정했던 고정정확도인  $D_0 = 0.25$ 에 가까운 값이 나왔다(Table 2). 따라서 본 연구에서 개발된 표본조사법의 적합도가 좋은 것으로 사료된다.

#### 고찰

본 실험과정에서 실제현미경 하에 총채벌레류의 종 동종 결과 꽃노랑총채벌레가 전체의 95% 이상으로 나타났다. 경북 안동에서 꽃노랑총채벌레가 전체의 82% 이상을 차지하고 있던 결과와 비교하면(Kim et al. 2022), 진주 지역 시설고추에서는 상대적으로 매우 높은 꽃노랑총채벌레 비율을 보였다. 2021년 꽃노랑총채벌레의 밀도는 4월 말경을 제외하고 매우 낮게 유지되고 있었는데(Fig. 1), 이는 시설에 일주일 간격으로 지속적인 화학적 방제가 실시되고 있었기 때문으로 보인다. 시설고추의 꽃노랑총채벌레에 의한 직, 간접피해 증가는 필연적으로 화학적 방제를 우선하며, 이로 인해 약제에 대한 저항성이 두드러지게 나타났다라는 보고가 있는 박(Lee et al. 2017), 시설고추에서 꽃노랑총채벌레의 종합적 해충관리 전략이 절실한 이유가 된다(Park et al. 2009, 2014).

본 연구에서 고추주 내 꽃노랑총채벌레의 분포는 위치와 상관없이 집중분포하였으며 각 위치별 TPL 계수 간 차이가 없어서, 모든 자료를 이용하여 통합 TPL 계수를 계

**Table 2.** Resampling Validation for Sample Plans (RVSP) results of adult *Frankliniella occidentalis*

<i>F. occidentalis</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
Adult	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

산할 수 있었다 (Table 1). Green (1970)이 제시한 고정된 정확도를 이용한 표본추출 정시선은 정확도의 증가에 따라 필요한 표본수가 많이 요구되었다 (Fig. 2). 통계적으로 예측 정확도 증가는 필연적으로 예측값의 오차를 줄이게 되며, 이를 위한 최선의 방법은 표본수를 늘리는 것으로 가능하며 (Zar 1999), 역으로 미리 정한 정확도를 증가시키면 필요한 표본수가 증가하게 된다 (Southwood and Henderson 2000). 이러한 현상은 다른 해충-작물시스템에서 개발된 표본추출정시선 결과들과 동일하다 (Park *et al.* 1999; Choi and Park 2015).

방제 의사결정은 미국 플로리다에서 기 발표된 경제적 피해허용수준인 3개 고추꽃당 꽃노랑총채벌레 18마리를 기준으로 사용하였으나 (Demirozer *et al.* 2012), 국내 고추 농가의 경우, 꽃노랑총채벌레 성충이 감지되면 바로 방제하는 현실을 반영하여 3개 고추꽃당 꽃노랑총채벌레 3마리 기준을 추가하였다 (Fig. 3). 표본추출여부와 상관없이 바로 방제를 실시해야 하는 최대표본수는 3마리 기준으로 97개, 18마리 기준으로 1149개로 차이가 크고, 기 발표된 문헌에 경제적 피해허용수준 (18마리/3 고추꽃)을 사용할 경우 매우 많은 수의 표본을 요구하였다. 이는 본 연구가 진행된 고추온실에서 지속적인 화학적방제로 인해 그 밀도가 매우 낮게 유지되었기 때문이다 (Fig. 1). 이러한 낮은 밀도 수준은 방제 의사결정을 no-control로 빠르게 할 수 있다. Demirozer *et al.* (2012)은 플로리다의 고추 포장에서 꽃노랑총채벌레의 종합적 해충관리를 위한 경제적 피해허용수준을 고추꽃당 6마리를 제시하였으나, 그보다 낮은 밀도에서 방제를 고려해야 한다고 하였는데, 그 이유로 성충기준 1마리인 경우, 그보다 매우 많은 수의 유충이 존재할 가능성이 있기 때문이라고 하였다. 이를 기준으로 한

다면 국내 시설고추에서 꽃노랑총채벌레의 경제적 피해허용수준은 본 연구에서 사용한 경제적 피해허용수준 값 사이에 있을 것으로 생각되나, 바이러스 등에 의한 피해를 고려한다면, 보독충의 유무에 따라 다르게 제시되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구 결과 개발된 고정된 정확도를 이용한 표본추출법의 적합성을 위해 개발에 사용되지 않은 동일 포장의 2022년 자료를 이용하여 RSVP 분석하였다 (Table 2). RSVP는 표본추출법 개발 후, 이를 기준으로 독립자료를 프로그램이 랜덤하게 표본추출하고 그 정확도를 나타내 주는 프로그램이다 (Naranjo and Hutchison 1997). 동일한 지역에서 2022년 자료는 총 6주간 수집되었으며, 꽃노랑총채벌레 평균성충밀도가 3고추꽃당 최대 7.22, 최소 0.26 마리로 2021년 자료와 비슷한 밀도수준이었다. RSVP 시뮬레이션 결과 Southwood (1978)가 제시한 작물의 해충 피해 관련 정확도인 0.2~0.3 사이로 나타나서, 개발된 표본추출법의 적합도가 좋은 것으로 나타났다 (Table 2).

본 연구를 통해 개발된 고추 온실에서 꽃노랑총채벌레의 표본조사법 및 의사결정법은 국내 고추 온실에서 적용하면 시간과 노력을 줄이는 효율적인 종합적 해충 방제 전략의 일부분으로 이용될 수 있다고 본다. 이후 국내 실정에 맞는 경제적 피해허용수준의 개발 및 이항 표본조사분석법의 개발, 그리고 빠른 밀도 확인을 위한 점착트랩을 이용한 연구 결과가 뒤따라야 할 것이다.

## 적 요

꽃노랑총채벌레 (*Frankliniella occidentalis*)는 500종 이

상의 기주를 가지고 토마토반점위조바이러스 (Tomato spotted wilt virus; TSWV)를 매개하는 해충이다. 전 세계적으로 방제를 위해 노력하고 있지만 살충제를 이용한 방제는 저항성 그리고 환경 및 경제적 부담으로 인한 한계를 보였기 때문에 고정 정확도를 설정한 표본조사법 (Fixed-precision level sampling plan)을 개발하였다. 고추 (*Capsicum annuum*)의 꽃노랑총채벌레 성충 방제를 위한 표본 조사법은 공간분포분석, 표본추출 정지선 그리고 의사결정법으로 구성되었다. 표본추출은 식물체를 상단 (지상에서 180 cm 이상), 중단 (지상에서 120~160 cm 이상), 하단 (지상에서 70~110 cm 이상)으로 나누어 각 높이별로 꽃 3개에서 나오는 꽃노랑총채벌레의 성충의 마리 수를 조사하였다. 표본 추출을 통해 꽃노랑총채벌레 성충의 밀도는 다른 식물체 위치 (중단, 하단)보다 상단에서 높은 것으로 나타났다. 공간분포분석에서는 Taylor's power law (TPL)를 통해 도출한 각 위치별 계수를 공분산분석 (ANCOVA)하여 차이를 비교하였다. ANCOVA 결과에서 도출된 절편과 기울기의  $P$  값이 각각 0.94, 0.87인 것을 통해 식물체 내 위치별로 차이가 없음을 확인한 후, 자료를 통합 (pooling)하여 계산된 TPL 계수를 이용하여 표본추출 정지선을 구하였다. 꽃노랑총채벌레의 방제 의사결정을 위한 방제밀도 수준 ( $m_0$ )은 문헌을 참조하여 3과 18로 설정하였으며 설정값 ( $m_0$ )을 이용해 최대표본수 ( $N_{max}$ )도 조사하였다. 조사 결과,  $m_0=3$ , 18일 때  $N_{max}$ 값은 각각 약 97개, 1149개로 계산되었다. 개발된 모델의 적합성 검정을 위해 분석에 사용하지 않은 독립자료를 이용해 Resampling Validation for Sampling Program (RVSP) 프로그램으로 개발된 표본추출법의 적합성 평가를 실시하였고 적합한 정확도를 보이는 것으로 조사되었다.

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ01578903)의 지원에 의해 이루어졌다.

## REFERENCES

Binns MR and JP Nyrop. 1992. Sampling insect populations for the purpose of IPM decision making. *Annu. Rev. Entomol.*

37:427-453.

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

Demirozer O, K Tyler-Julian, J Funderburk, N Leppla and S Reitz. 2012. *Frankliniella occidentalis* (Pergande) integrated pest management programs for fruiting vegetables in Florida. *Pest Manag. Sci.* 68:1537-1545.

Gao Y, Z Lei and SR Reitz. 2012. Western flower thrips resistance to insecticides: detection, mechanisms and management strategies. *Pest Manag. Sci.* 68:1111-1121.

Green RH. 1970. On fixed precision level sequential sampling. *Popul. Ecol.* 12:249-251.

Han MJ, IS Kim, SB Ahn, ML Lee, KJ Hong, GH Lee and DS Ku. 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.

Iwao SI. 1975. A new method of sequential sampling to classify populations relative to a critical density. *Popul. Ecol.* 16:281-288.

Jensen SE. 2000. Insecticide resistance in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Integr. Pest Manag. Rev.* 5:131-146.

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.

Kim C. 2000. Review of disease incidence of major crops in 2000. *Korean J. Pestic. Sci.* 5:1-11.

Kim C, D Choi, D Lee, F Khan, G Kwon, E Ham, JJ Park, EJ Kil and Y Kim. 2022. Yearly occurrence of thrips infesting hot pepper in greenhouses and differential damages of dominant thrips. *Korean J. Appl. Entomol.* 61:319-330.

KCPA. 2020. Agrochemicals User's Guide Book. Korea Crop Protection Association. Seoul. <https://www.koreacpa.org/ko/use-book>. (accessed on 05 May, 2022)

KOSIS. 2020. Area of cultivation of outdoor vegetables. Korean Statistical Information Service. Statistics Korea. Daejeon, Korea. [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1ET0013&vw\\_cd=MT\\_ZTITLE&list\\_id=K1\\_15&seqNo=&lang\\_mode=ko&language=kor&obj\\_var\\_id=&itm\\_id=&conn\\_path=MT\\_ZTITLE](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0013&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=K1_15&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE). (accessed on 05 May, 2002)

Kuno E. 1969. A new method of sequential sampling to obtain the population estimates with a fixed level of precision. *Popul. Ecol.* 11:127-136.

Lee S, J Lee, S Kim, H Choi, J Park, J Lee, K Lee and J Moon. 2004. The incidence and distribution of viral diseases in pepper by cultivation types. *Res. Plant Dis.* 10:231-240.

Lee YS, HA Lee, HJ Lee, SS Hong, CS Kang, YS Choi and MJ

- Jang. 2017. Insecticide susceptibility of western flower thrip, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on horticultural crops in Gyeonggi area. Korean J. Appl. Entomol. 56:179–186.
- Naranjo SE and WD Hutchison. 1997. Quantitative methods for designing and analyzing sampling programs for use in pest management. pp. 67–132. In: Handbook of Pest Management in Agriculture (Pimental D, ed.). CRC Press. Boca Raton, FL.
- Park HH, KH Kim, CG Park, BR Choi, JJ Kim, SW Lee and SG Lee. 2009. Damage analysis and control threshold of *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse eggplant and sweet pepper. Korean J. Appl. Entomol. 48:229–236.
- Park JJ, H Park, YH Kim and K Cho. 1999. Sampling plans for estimating and classifying population density of two spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on the greenhouse rose grown by arching method. Korean J. Entomol. 29:127–134.
- Park SH, JH Lee, JH Woo, SY Choi, SD Park and HH Park. 2014. Economic injury level of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) on oriental melon (*Cucumis melo* L.) in greenhouse. Korean J. Pestic. 18:196–201.
- Pedigo LP and GD Buntin. 1994. Introduction to sampling arthropod populations. pp. 1–11. In: Handbook of Sampling Methods for Arthropods in Agriculture (Pedigo LP and GD Buntin, eds.). CRC press. Boca Raton, FL.
- Reitz SR, Y Gao, WD Kirk, MS Hoddle, KA Leiss and JE Funderburk. 2020. Invasion biology, ecology, and management of western flower thrips. Annu. Rev. Entomol. 65:17–37.
- SAS Institute. 2010. SAS/STAT® 9.22. User's Guide. SAS Institute. Cary, NC.
- Seo J, Y Yi, B Kim, JM Hwang and SW Choi. 2011. Disease occurrence on red-pepper plants surveyed in Northern Kyungbuk province, 2007–2008. Res. Plant Dis. 17:205–210.
- Sokal RR and FJ Rohlf. 1981. Biometry. Macmillian Publish. NY.
- Southwood TRE. 1978. Ecological Methods. Chapman and Hall Publish. London.
- Southwood TRE and PA Henderson. 2000. Ecological Methods, 3rd ed. Blackwell Science, Ltd., Oxford, London.
- Stafford CA, GP Walker and DE Ullman. 2011. Infection with a plant virus modifies vector feeding behavior. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 108:9350–9355.
- Taylor LR. 1961. Aggregation, variance and the mean. Nature 189:732–735.
- Ullah MS and UT Lim. 2015. Life history characteristics of *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella intonsa* (Thysanoptera: Thripidae) in constant and fluctuating temperatures. J. Econ. Entomol. 108:1000–1009.
- Wise IL and RJ Lamb. 1995. Spatial distribution and sequential sampling methods for the popato aphid, *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Homoptera: Aphididae), in oilseed flax. Can. Entomol. 127:967–976.
- Zar JH. 1999. Biostatistical Analysis, 4th ed. Prentice Hall, Inc. Hoboken, NJ.