

〈Original article〉

## 딸기 온실에서 점박이응애의 축차표본조사법 개발

최호정 · 강주완 · 정효진 · 최시라 · 박정준<sup>1,\*</sup>

경상대학교 식물 의학과, <sup>1</sup>경상대학교 농업생명과학연구원

### Development of Sequential Sampling Plans for *Tetranychus urticae* in Strawberry Greenhouses

Hojeong Choe, Juwan Kang, Hyojin Jung, Sira Choi and Jung-Joon Park<sup>1,\*</sup>

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

<sup>1</sup>Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

**Abstract** - A fixed-precision-level sampling plan was developed to establish control of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*, in two strawberry greenhouses (conventional plot, natural enemy plot). *T. urticae* was sampled by taking a three-leaflet leaf (1 stalk) from each plant (3 three-leaflet leaves) from each sampling position. Each leaflet was divided into three different units (1-leaflet, 2-leaflet, and 3-leaflet units) to compare relative net precision (RNP) values for selection of the appropriate sampling unit. The relative net precision values indicated that a 1-leaflet unit was more precise and cost-efficient than other units. The spatial distribution analysis was performed using Taylor's power law (TPL). Homogeneity of the TPL parameters in each greenhouse was evaluated by using the analysis of covariance (ANCOVA). A fixed-precision-level sequential sampling plan was developed using the parameters of TPL generated from the combined data of the conventional plot and natural enemy plot in a 1-leaflet sampling unit. Sequential classification sampling plans were also developed using the action threshold of 3 and 10 mites for pooled data. Using the results obtained in the independent data, simulated validation of the developed sampling plan by Resampling validation for sampling plan (RVSP) indicated a reasonable level of precision.

**Keywords** : fixed-precision-level, relative net precision, ANCOVA, action threshold, RVSP

## 서 론

딸기 (*Fragaria × ananassa* Duchesne)는 장미목 장미과에 속하며 국내에서 재배하는 주요 품종으로는 설향, 매향, 장희, 육보, 담향 등이 있다. 그중에서도 매향은 외국 품종의 존도가 높은 딸기 산업의 국내 품종 육성 보급 목적하에 조

기 다수확이 가능한 축성용 품종으로써 육성되었다(Kim *et al.* 2004). 우리나라의 겨울 딸기 재배는 9~10월에 정식하여 당해 12월~익년 5월에 수확하는 것을 기본으로 하고 있으며 재배 지역은 논산, 밀양, 진주, 담양 등이다. 국내에서 생산하는 딸기는 홍콩, 싱가포르, 태국, 말레이시아, 베트남 등으로 수출되는데 2016년도 기준, 홍콩에서의 수출 점유율은 24.67%, 싱가포르에서 30.73%, 말레이시아에서 32.09%, 태국에서 29.06%를 차지하고 있다(KATI; 농수산식품수출지원정보).

\* Corresponding author: Jung-Joon Park, Tel. 055-772-1928, Fax. 055-772-1929, E-mail. jungpark@gnu.ac.kr

겨울 딸기 재배 시설 내부 온도는 일정 수준을 유지하기 때문에 잎응애류, 진딧물류, 나방류, 총채벌레류, 가루이류 등의 피해를 받는다. 이 중에서도 점박이응애 (*Tetranychus urticae* Koch)는 응애목 잎응애과에 속하는 해충으로 화훼류, 과수 등을 포함한 광범위한 기주식물을 대상으로 흡즙한다. 이는 과실에 직접적인 피해를 주지는 않으나, 엽록소의 감소로 광합성에 영향을 주어 식물체의 발육 및 수확량에 간접적인 피해를 주게 된다. 점박이응애는 세대기간이 약 16.1일로 기타 해충에 비해 짧아 (Laing 1969), 약제 저항성이 쉽게 발달되므로 화학적 방제가 어려운 해충이다 (Croft *et al.* 1984). 응애류의 약제저항성 및 국가별 농약사용기준의 차이와 더불어 저농약 또는 무농약 농산물에 대한 소비자의 수요 증가에 따라 안전한 농산물 생산을 위한 종합적 해충관리 전략의 필요성이 높아지고 있다 (Park *et al.* 2009, 2014).

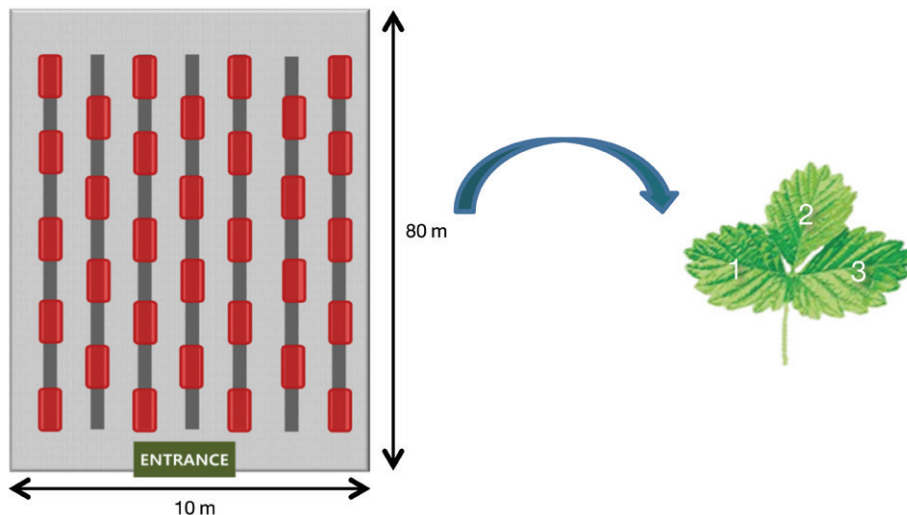
해충에 의한 작물의 피해 양상은 해충의 밀도의 증감에 따라 차이를 보이기 때문에 포장 내 해충 밀도 추정이 중요하다. 이를 위해서 대상 해충의 공간분포 확인과 표본추출법 및 의사결정 개발이 필요하다 (Pedigo 1989, 1994; Binns and Nyrop 1992). 해충의 밀도 추정방법으로는 Kuno (1969)와 Green (1970) 등이 사용했던 Fixed precision level sampling plan을 이용하여 사전에 일정 정확도를 지정한 후 밀도를 추정하는 방법이 주로 사용되고 있으며 (Park *et al.* 1999), 방제의 의사결정법으로는 순차적으로 관찰된 해충의 개체 수 누적 밀도에 따라 방제 및 표본추출을 계속할지 확인하는 축차표본법 (Sequential sampling plan)이 많이 연구되어 있다 (Iwao 1975).

본 연구에서는 국내 수출 딸기 온실에서의 점박이응애 종합 관리에 필요한 밀도 추정을 위해 공간분포 분석을 진행, 그리고 이를 기반으로 한 사전에 정해진 고정 정확도 수준에서의 축차표본조사법과 방제의사결정법 개발을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사 장소 및 포장 구성

본 실험은 경상남도 사천시 용현면 주문리에 위치한 2개의 수출 딸기 온실에서 점박이응애의 공간분포와 밀도조사를 진행하였다. 관행적 재배온실은 지역의 농가관행에 의한 병해충 방제 및 시비를 실시하였으며 농가가 스스로 병해충 방제시기 및 방제농약을 결정하였다. 천적을 이용한 재배온실은 조사자가 실험기간 동안 매주 육안조사를 통해 점박이응애 밀도가 높아지는 시기에 점박이응애 천적인 칠레이리응애 (*Phytoseiulus persimilis*)를 방사하여 방제하였다. 딸기의 품종은 매향이며, 고설재배 방식으로 2016년 10월 7일에 정식하였다. 수출 딸기 온실의 크기는 800 m<sup>2</sup> (10 m × 80 m, (가로 × 세로))이며, 가로 10 cm, 세로 10 cm마다 딸기가 2주씩 식재되어 전체 7열에 재배되었다. 밀도 추정을 위한 조사 표본은 7열에서 10 m 간격을 두고 지그재그 형태로 총 32개 구역에서 표본추출하였으며, 조사 지점당 3개의 엽으로 구성된 딸기 1줄기를 기준으로 3주를 조사하였다 (Fig. 1). 표본추출은 점박이응애의 밀도가 어느 정도 높아지는 2016년 11월 초부터 딸기 수확이 끝나는 2017년 3월 말까지 매주 총 20



**Fig. 1.** The greenhouse was divided into 32 areas and sampled for analysis. The two-spotted spider mite (TSSM) was sampled by taking three leaflets (1 stalk) from each plant (3 three-leaflet) leaves from each sampling position.

회 진행되었다.

### 2. 표본추출 및 조사 방법

조사지점에서 임의로 선정한 3개의 딸기주를 채취한 후 잎 뒷면에 접착스프레이를 분사하여 점박이응애를 고정시켜 딸기잎 내 이동을 방지하였다. 채취된 표본은 투명 비닐랩으로 감싼 후 비닐 지퍼백에 넣은 다음 실험실로 옮겨서 실체 현미경 하에서 조사하였다. 조사결과는 조사 날짜, 온실, 구역, 층태별로 구분하여 야장에 기록하였다. 통계분석은 알과 알을 제외한 층태는 조사자의 보는 관점에 따라 정확히 구별이 어렵기 때문에 유충, 제1약충, 제2약충, 성충을 통합하는 의미인 이동태(Motiles)를 대상으로 하였다.

### 3. 표본단위의 설정 (Sampling unit selection)

3개엽으로 구성된 복엽 중 가장 효율적인 표본단위 선정을 위해 세부 단위(1-leaflet unit, 2-leaflet unit, 3-leaflet unit)로 구분하여 relative net precision (RNP)을 이용한 단위별 표본추출 효율 비교를 진행하였다(Fig. 2). 1-leaflet unit은 가장 왼쪽에 위치한 1엽만으로 구성되었고, 2-leaflet unit은 가장 왼쪽에 위치한 1엽과 중앙에 위치한 1엽을 포함하여 구성되었으며, 3-leaflet unit은 3엽 전체로 하였다. RNP는 표본추출에 대한 정확도와 경제성이 함께 고려된 것으로 표본단위 선정에 기초적인 자료를 제공해주며, 그 값이 클수록 효율적인 표본단위가 된다(Ruesink 1980). RNP는 Ruesink (1980)가 제안한 다음 공식에 의해 계산되었다.

$$RNP = \frac{m}{SEM \times C_s} \quad (1)$$

여기서  $m$ 은 각 표본단위에서 점박이응애의 평균밀도,  $SEM$ 은 평균의 표준오차,  $C_s$ 는 표본의 수집 및 처리에 소비되는 노력을 시간으로 환산하여 경제적 비용으로 나타낸 값이다. 본 실험에서는 표본 처리에 소비되는 시간이 온실에서 표본추출에 소비하는 시간과 실험실에서 현미경으로 점박이응애 밀도를 조사하는 시간으로 구분된다. 각 표본단위 간 표본추출에 소비하는 시간은 동일하므로  $C_s$  값은 현미경 하에서 점박이응애 밀도조사 시간에만 영향을 받게 된다. 따라서 표본처리에 소요되는 시간은 세부 단위별 엽면적에 비례하게 되므로  $C_s$  값은 3개엽의 전체 평균면적을 1로 한 뒤 각 표본단위당 평균면적의 비율을 계산하여 나타냈다.

### 4. 공간분포 분석(Spatial Distribution Analysis)

각 표본추출 위치별 점박이응애의 공간분포는 Taylor

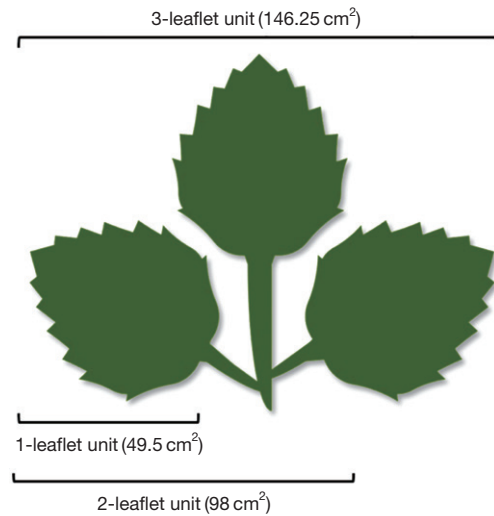


Fig. 2. Diagram of three different sampling units (1-leaflet, 2-leaflet, 3-leaflet unit) used to sample the two-spotted spider mite on the strawberry greenhouse. The areas of each sampling unit were 49.5, 98, 146.25 cm<sup>2</sup> for 1-, 2- and 3-leaflet units, respectively.

(1961)의 Power Law (TPL)를 이용하여 분석하였다. TPL은 평균( $m$ )과 분산( $s^2$ )의 관계( $s^2 = am^b$ )를 이용하여 개체군의 공간분포상을 파악하는 방법으로 이를 직선식으로 변형하면 다음과 같은 관계식이 나온다.

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

위 식에서 기울기  $b$ 는 집중도를 나타내는 것으로 1보다 크면 집중하는 양상을 나타내며, 절편인  $\log a$ 는 표본의 크기 및 환경요인이 관계된 값이다(Southwood 1978). TPL의 변수들은 직선회귀식(PROC REG, SAS Institute, 1995)을 이용하여 포장별로 추정하였으며, 각 회귀 직선 절편과 기울기의 동질성 검정은 공분산분석(Analysis of Covariance, ANCOVA)을 이용하여 기울기와 절편 값을 비교하여 조사하였다(Sokal and Rohlf 1981; Park *et al.* 1999).

### 5. 표본추출 정시선(Sampling stop line)

TPL에서 추정된 두 회귀계수를 이용하여 점박이응애의 고정 정확도에서 표본추출 정시선(stop line)은 Green (1970)이 제시한 방법으로 구하였다.

$$\log_e T_n = \frac{\log_e (D_0^2/a)}{b-2} + \left(\frac{b-1}{b-2}\right) \log_e n \quad (3)$$

여기서  $T_n$ 은 누적 점박이응애의 수(Cummulative number of mites)이고,  $D_0$ 은 사전에 선정된 고정정확도로 평균과 평

균의 표준오차와의 비율 ( $SEM/m$ )로 나타내며, 본 실험에서는 0.25, 0.30, 0.35를 사용하였다.  $a$ 와  $b$ 는 TPL에서 추정된 두 회귀계수이며,  $n$ 은 각 정확도에서 요구되는 조사표본수이다. Southwood (1978)는 해충방제를 위한 정확도로 0.25~0.30 정도를 추천하였는데 이는 밀도 추정에 관련된 정확도와 표본추출에 소비되는 시간 및 노력을 모두 고려한 결과이다.

## 6. 방제의사결정 (Control Decision-making)

방제시점의 의사결정 (Decision-making)을 위해 Iwao (1975)가 제시한 방법을 다음과 같이 변형하여 이용하였다 (Wise and Lamb 1995).

$$\begin{aligned} UL &= nm_0 + t\sqrt{(nam_0^b)} \\ LL &= nm_0 - t\sqrt{(nam_0^b)} \end{aligned} \quad (4)$$

UL과 LL은 각각 방제의사결정을 내리기 위해 필요한 누적된 점박이응애수의 상한값과 하한값을 나타낸 것이며,  $n$ 은 조사된 표본수,  $t$ 는 't 통계량'으로  $p=0.10$ 에서 1.64를 이용하였다.  $a$ 와  $b$ 는 TPL에서 추정된 두 회귀계수이며,  $m_0$ 은 방제가 필요한 해충의 밀도인 경제적 피해 허용 수준 값이다. 조사된 특정 표본수에서 누적된 해충 수가 상한값의 범위를 넘는다면 방제를 실시하고, 하한값의 범위 아래일 경우에는 방제가 필요하지 않으며, 상한값과 하한값 사이인 경우에는 계속 표본추출을 하게 된다 (Iwao 1975).

본 연구에서는 점박이응애의 이동태와 점박이응애의 알의 경제적 피해 허용 수준인  $m_0$ 을 3과 10으로 임의 지정하였다. 이는 작물보호제지침서 (2016) 중 경제적 피해 허용 수준과 같은 개념으로 생각할 수 있는 약제 사용적기 설명에서 딸기 한 잎당 2~3마리 발생 시 방제가 필요하다고 하였으나, 점박이응애는 크기가 작아 육안으로 관찰이 어려운 데다 실제로 실험을 실시한 딸기 온실 농가들의 경우 대부분 딸기 한 잎당 10마리 이상 관찰되어야 방제를 실시하는 경향이 있어서 앞서의 경우보다 훨씬 높은 경제적 피해 허용 수준인 10을 적용하여 각 충태별로 방제의사결정법을 계산하였다. 또한 방제의사결정 시 표본수가 지속적으로 늘어나는 경우를 피하기 위한 최대표본수 ( $N_{max}$ )는 다음과 같이 구하였다.

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

$d$ 는 조사된 점박이응애의 평균밀도와  $m_0$ 가 동일한 경우 조사된 평균밀도의 신뢰구간으로  $N_{max} = ts_x$  ( $s_x$  = 표본표준오차)로 표현될 수 있으며 나머지 변수들은 식 4에서와 동일한 의미를 지닌다.

## 7. 표본추출법의 적합성분석

개발된 표본추출법의 적합성 분석은 표본추출법 개발에 사용된 자료 이외에 동일한 조건의 독립자료를 이용하여 진행되었다. 본 연구에서는 Naranjo and Hutchison (1997)이 개발한 RVSP (Resampling Validation for Sampling Plan)에 딸기 온실 3의 표본추출 결과를 넣어 분석하였다. 각 독립된 자료에 대해 1000회 시뮬레이션을 실시하여 평균값을 계산하였으며, RVSP상 정확도는 Southwood (1978)이 해충방제에 필요한 정확도를 0.25에서 0.30 정도로 보고하였기 때문에 0.25로 설정하였고, 공간분포 분석 시 구한 TPL의  $a$ 와  $b$  값을 이용하였다. 점박이응애 이동태의 경우 최소표본수 (Minimum sample size)를 5로 설정하였으며 점박이응애 알의 경우 최소표본수를 20으로 설정하여 분석하였다.

적합성을 분석하기 위해 조사법 개발에 사용하지 않았던 딸기 온실 3 (천적을 이용한 재배온실의 재배방법과 동일함)의 점박이응애 표본추출 결과를 이용한 독립된 자료를 따로 데이터베이스화 하여 실제 자료와 비교하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 표본단위의 설정

각 표본단위별 평균 엽면적은 표본단위 1, 2와 3에서 각각 43.64 cm<sup>2</sup>, 86.62 cm<sup>2</sup> 및 129.06 cm<sup>2</sup>이었다 (Fig. 2). RNP를 계산하기 위해  $C_s$  값을 평균면적의 비율 (전체 표본단위; 표본단위 3기준)로 계산한 결과 표본단위 1은 0.33, 표본단위 2는 0.67로 조사되었다. RNP값은 모든 조사시기에서 표본단위 1이 표본단위 2, 3보다 항상 더 큰 값을 나타내었기 때문에 표본단위 1이 가장 효율적인 표본단위를 알 수 있다 (Table 1). 따라서 모든 결과 및 통계분석은 표본단위 1에서 추정된 점박이응애 밀도를 이용하여 계산하였다.

### 2. 공간분포 분석

TPL을 이용하여 점박이응애 이동태와 점박이응애 알을 표본추출한 딸기 온실의 공간분포상을 계산한 결과, 점박이응애 이동태의 TPL 결정계수 값이 농약살포포장 (0.99) 천적방사포장 (0.98), 점박이응애 알의 결정계수 값이 농약살포포장 (0.98), 천적방사포장 (0.98)이었다.

집중 정도를 나타내는 기울기  $b$  값은 TPL에서 계산 결과, 점박이응애 이동태의 경우 농약살포포장 (1.721), 천적방사포장 (1.797), 점박이응애 알의 경우 농약살포포장 (1.652), 천적방사포장 (1.683)이었다.



**Table 1.** Relative net precision of 1, 2, and 3-leaflet units for sampling the two-spotted spider mites

TSSM <sup>1</sup> stage	Date	1-leaflet			2-leaflet			3-leaflet		
		$\bar{x}^2$	SEM <sup>3</sup>	RNP <sup>4</sup>	$\bar{x}$	SEM	RNP	$\bar{x}$	SEM	RNP
Motiles	11-Nov-16	1.250	0.765	4.831	1.139	0.527	3.221	1.194	0.434	2.755
	18-Nov-16	0.167	0.139	3.549	0.347	0.155	3.341	0.269	0.110	2.440
	16-Dec-16	1.667	1.077	4.578	2.472	1.019	3.615	1.833	0.695	2.637
	23-Dec-16	3.361	1.244	7.993	3.111	0.913	5.080	2.954	0.704	4.194
	20-Jan-17	15.396	3.152	14.447	24.458	5.036	7.236	25.427	4.302	5.911
	25-Jan-17	13.594	3.718	10.811	13.854	2.562	8.056	13.830	2.294	6.028
	3-Feb-17	5.208	1.396	11.034	5.552	0.971	8.517	5.344	0.756	7.068
	24-Feb-17	11.698	3.336	10.369	12.297	2.529	7.246	12.108	2.031	5.960
	24-Mar-17	1.344	0.498	7.973	1.495	0.400	5.567	1.556	0.372	4.180
	31-Mar-17	5.260	1.870	8.318	5.443	1.304	6.217	5.594	1.030	5.430
Eggs	11-Nov-16	1.389	1.005	4.088	1.375	0.708	2.895	1.389	0.580	2.395
	18-Nov-16	0.472	0.466	2.999	0.764	0.373	3.052	0.639	0.280	2.281
	16-Dec-16	1.806	1.479	3.610	1.139	0.754	2.252	0.870	0.510	1.708
	23-Dec-16	4.806	1.945	7.308	5.125	1.567	4.874	4.769	1.158	4.117
	20-Jan-17	15.677	3.222	14.391	22.052	3.837	8.562	23.705	3.432	6.907
	25-Jan-17	18.688	7.135	7.746	23.370	5.780	6.025	20.323	4.248	4.785
	3-Feb-17	5.656	1.419	11.789	6.641	1.155	8.570	5.906	0.845	6.987
	24-Feb-17	15.302	3.845	11.771	17.505	3.226	8.085	16.771	2.481	6.759
	24-Mar-17	3.969	1.221	9.614	4.458	1.273	5.218	4.372	0.983	4.448
	31-Mar-17	15.219	4.653	9.672	15.339	3.344	6.834	16.024	2.710	5.913

<sup>1</sup>Two-spotted spider mite  
<sup>2</sup>Mean density per leaflet  
<sup>3</sup>Standard error of mean  
<sup>4</sup>Relative net precision

**Table 2.** Taylor’s power law results for the two-spotted spider mites motiles and eggs

Insect stages	Taylor’s power law			
	log <i>a</i> (SEM <sup>1</sup> )	<i>b</i> (SEM)	<i>r</i> <sup>2</sup>	
Conventional plot	Motiles	2.704 (0.084)	1.721 (0.039)	0.99
	Eggs	3.001 (0.144)	1.652 (0.059)	0.98
Natural enemy plot	Motiles	2.903 (0.011)	1.797 (0.069)	0.98
	Eggs	3.209 (0.138)	1.683 (0.071)	0.98
Pooling	Motiles	3.125 (0.101)	1.633 (0.055)	0.98
	Eggs	3.390 (0.091)	1.586 (0.041)	0.98

<sup>1</sup>Standard error of mean

본 실험에서 조사한 수출 딸기 온실 내 점박이응애는 *b* 값이 항상 1보다 커서 집중 분포하는 것으로 조사되었다( $p < 0.05$ ). 이러한 결과는 딸기 시설재배지의 점박이응애의 발생과 분포(Choi *et al.* 2014)에서 보고한 *b* (1.78) 값이 1보다 크므로 유사한 경향을 나타내었다.

점박이응애 충태별로 농약살포포장과 천적방사포장의 TPL 직선회귀 계산에서 나온 절편 (*a*)와 기울기 (*b*)의 동질성은 공분산분석(ANCOVA)을 이용하여 분석하였다. 동질성분석 결과, 점박이응애 이동태의 경우 집중도를 나타내는 기울기는 농약살포포장과 천적방사포장에서 유의차가 없었지만 ( $F = 1.02, df = 3, 33, p = 0.3203$ ), 절편은 농약살포포장과 천적방사포장에서 차이가 있는 것으로 ( $F = 7.27, df = 2,$

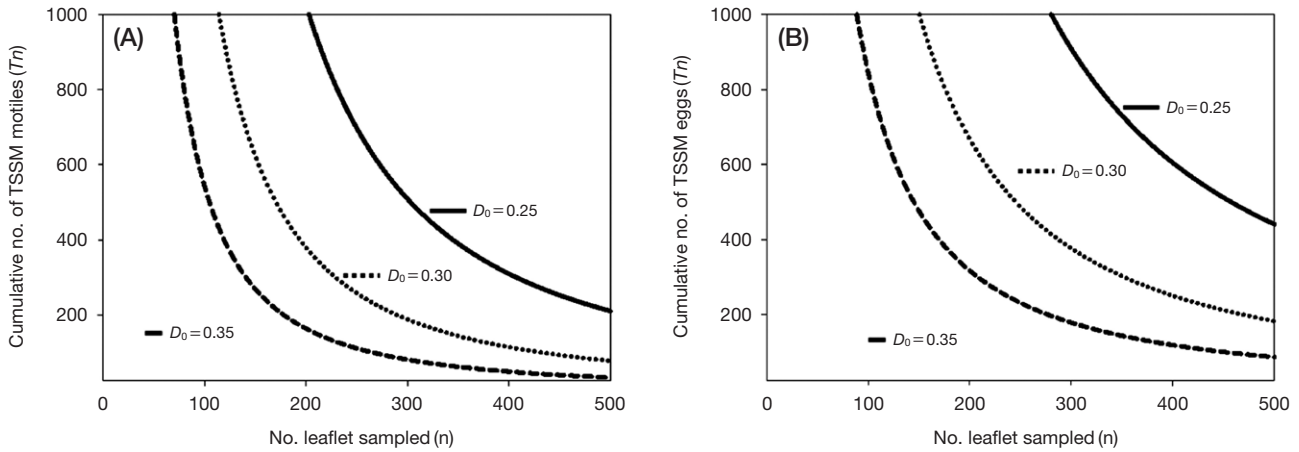
$34, p = 0.0108$ ) 조사되었다. 점박이응애 알도 마찬가지로 농약살포포장과 천적방사포장에서 기울기 ( $F = 0.11, df = 3, 31, p = 0.7387$ )는 차이는 없었지만, 절편 ( $F = 4.67, df = 2, 32, p = 0.0382$ )은 통계적으로 차이가 있는 것으로 조사되었다. 따라서 표본추출 정시선 및 방제의사결정 개발은 점박이응애 충태별로 농약살포포장과 천적방사포장의 자료를 통합(pooling)하고 TPL 회귀변수 값을 재 추정하여 계산하였다 (Table 2).

**3. 표본추출 정시선**

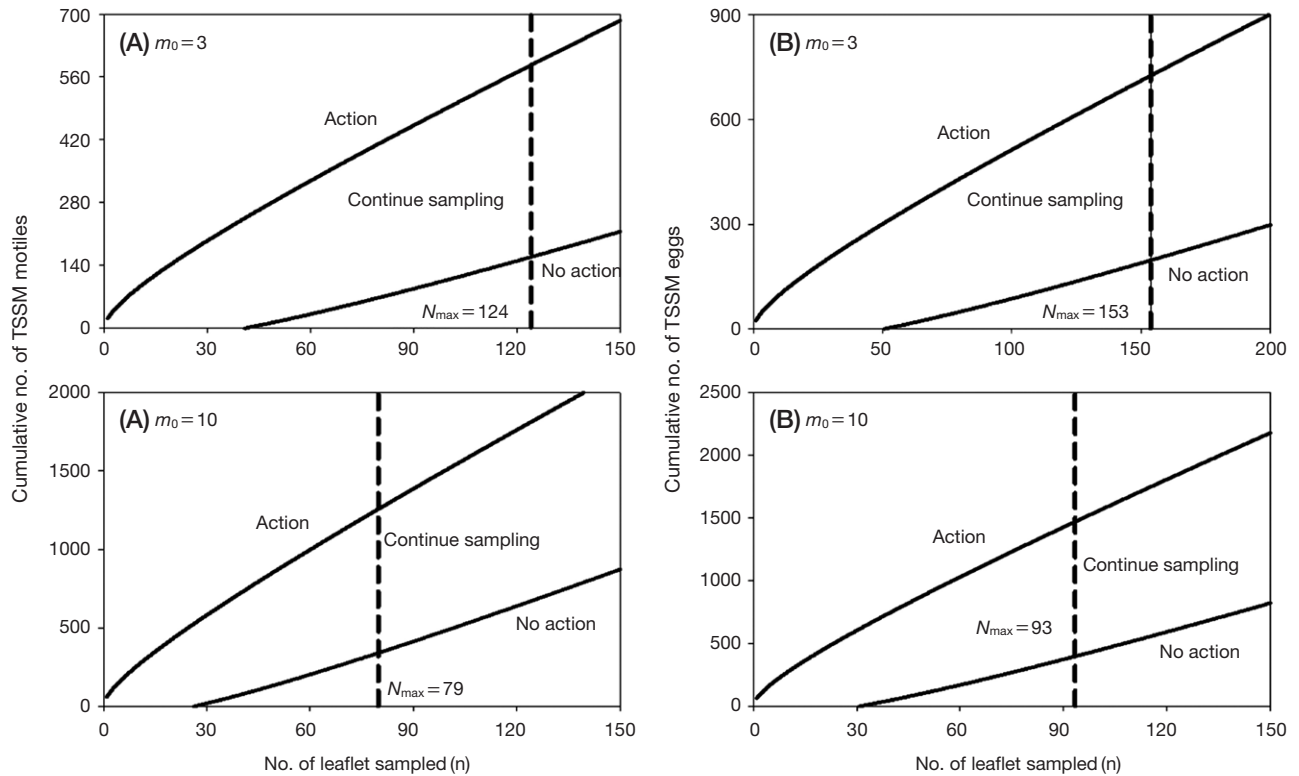
Green (1970)이 제시한 방법을 이용한 여러 고정 정확도

( $D_0=0.25, 0.30, 0.35$ )에서 표본추출 정시선을 구한 결과, 점박이응애 이동태, 알의 누적 밀도가 높을수록 표본추출을 중지하기 위한 표본수가 적어졌으며, 동일 밀도에서 정확도가 높을수록 많은 표본수가 필요한 것으로 조사됐다(Fig. 3). 예를 들어 수출 딸기 온실에서 점박이응애 엽당 평균밀도가 3

마리라면 점박이응애 이동태의 경우 0.25의 정확도에서 표본추출을 중지하기 위해 요구되는 표본단위 수는 약 243개이고, 0.30에서는 약 169개, 0.35에서는 약 124개로 나타났으며, 점박이응애 알의 경우 0.25의 정확도에서 표본추출을 중지하기 위해 요구되는 표본단위 수는 약 301개, 0.30에서



**Fig. 3.** Sampling stop lines (A: TSSM motiles, B: TSSM eggs) for fixed-precision levels of 0.25, 0.30 and 0.35 for the various densities of the two-spotted spider mite in strawberry greenhouses. The line on the top is  $D_0=0.25$ , the middle line is  $D_0=0.30$ , and the bottom line is  $D_0=0.35$ , respectively.



**Fig. 4.** Control of decision making for TSSM motiles (A) and eggs (B). The top is controlled action; the middle is continued sampling and bottom is no control action. Sampling is conducted using the maximum sample size in the middle line.

는 약 209개, 0.35에서는 약 154개로 조사되었다. 점박이응애 엽당 평균밀도가 표본단위당 10마리 정도로 증가하면 점박이응애 이동태의 경우 정확도가 0.25, 0.30, 0.35에서 필요한 표본수가 약 156개, 108개, 80개로 계산되었으며, 점박이응애 알의 경우 정확도가 0.25, 0.30, 0.35에서 필요한 표본수가 약 183개, 127개, 93개로 조사되었다. 이에 대한 유사한 결과는 찾기 어려웠지만, Hodgson *et al.* (2004)은 콩에서 고정정확도 0.10, 0.25일 때, 콩진딧물 (*Aphis glycines*) 성충 밀도가 엽당 3마리라면 표본추출을 중지하기 위해 필요한 표본수가 약 870개, 105개라고 하였다. 그리고 고정정확도 0.10, 0.25에서 콩진딧물 성충 밀도가 엽당 125개까지 증가하면, 중지하기 위해 요구되는 표본수는 약 130개, 15개라고 하였다. 이를 본 연구와 비교한다면 엽당 해충 밀도가 증가할수록 표본추출을 중지하기 위한 표본수는 감소하는 경향이 나타난다는 것을 확인할 수 있다.

점박이응애는 크기가 매우 작고, 운동성이 있기 때문에 딸기 온실에서 많은 수의 표본추출을 수행하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 표본추출에 따른 고정 정확도 값을 낮추어서 표본추출에 필요한 표본수를 감소시키는 것이 중요할 것이라고 사료된다. 고정 정확도를 0.25, 0.30, 0.35으로 설정한 것은 Southwood (1978)가 해충방제에 필요한 고정정확도를 0.25에서 0.30 정도로 보고하였고, Hutchison *et al.* (1988), Naranjo and Flint (1995)이 요구되는 표본수를 감소시키기 위해 고정 정확도 수준을 완화할 수 있다고 보고한

점을 참고하였다. 따라서 점박이응애와 같이 크기가 작은 해충들을 온실에서 효율적으로 표본을 조사하기 위해서는 고정 정확도 값을 온실 환경에 맞게 적절히 조절하여 표본추출을 중지하기 위해 요구되는 표본수를 감소시키는 것이 표본추출법의 실용성을 증대시킬 수 있을 것이다. 본 실험에서는 피해수준 정도의 밀도에서 요구되는 정확도를 0.25에서 0.35으로 변환할 경우, 약 50% 정도의 요구표본수를 감소시킬 수 있어 방제의사결정은 고정 정확도 0.35 수준에서 도출하였다.

4. 방제의사결정

방제의사결정 곡선에서 누적 점박이응애수가 방제상한선과 하한선 사이에 위치하면 표본추출을 계속하여야 한다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 Iwao (1975)는 방제의사결정에 필요한 최대 표본수 ( $N_{max}$ ) 값을 제시하였다. 만약 이 최대 표본수를 넘어서도 의사결정이 되지 않으면 점박이응애 밀도가 경제적 피해 수준을 넘은 것으로 판단하여 방제를 수행하게 된다. 본 실험에서는 고정 정확도 0.35에서  $m_0=3$ ,  $m_0=10$ 일 때 점박이응애 이동태의 경우 요구되는 최대표본수는 약 124개, 79개로 조사되었으며, 점박이응애 알의 경우 고정 정확도 0.35에서  $m_0=3$ ,  $m_0=10$ 일 때 약 153개, 93개로 조사되었다. 이러한 결과는 앞서 나타난 고정 정확도 0.35에서  $m_0=3$ ,  $m_0=10$ 일 때 요구되는 최소 표본수가 점박이응애 이동태의 경우 약 124개, 80개, 점박이응애 알의 경

Table 3. Resampling simulation results for validation of Green's fixed-precision sampling plans (1970) using desired fixed-precision levels of 0.25 for counts of motiles and eggs of TSSM in strawberry greenhouses

TSSM <sup>1</sup> stage	Observed data		Average statistics for 1000 sequential sampling iterations		
	Date	Mean density	Mean density	Estimated $D^2$ value (mean (min, max))	Sample number for density estimation (Mean ( $N_{max}$ , $N_{min}$ ))
Desired $D = 0.25$					
Motiles	16-Dec-16	22.78	22.94	0.23 (0.29, 0.13)	118 (166, 93)
	30-Dec-16	31.35	32.05	0.24 (0.32, 0.16)	105 (144, 77)
	13-Jan-17	50.69	51.41	0.23 (0.30, 0.17)	88 (122, 70)
	10-Feb-17	26.52	27.24	0.23 (0.31, 0.18)	111 (150, 86)
	17-Feb-17	17.71	17.84	0.19 (0.24, 0.15)	128 (162, 102)
	24-Feb-17	20.08	20.45	0.24 (0.34, 0.16)	123 (157, 90)
	10-Mar-17	13.92	14.19	0.21 (0.27, 0.15)	140 (179, 109)
	17-Mar-17	14.90	15.10	0.23 (0.28, 0.18)	137 (186, 105)
Eggs	18-Nov-16	22.08	22.59	0.24 (0.31, 0.18)	134 (190, 92)
	30-Dec-16	20.97	21.22	0.20 (0.25, 0.15)	137 (173, 100)
	10-Feb-17	29.74	29.79	0.20 (0.26, 0.15)	119 (148, 92)
	24-Feb-17	36.55	37.61	0.21 (0.28, 0.15)	108 (142, 81)
	10-Mar-17	24.86	25.13	0.20 (0.27, 0.16)	127 (164, 102)
	17-Mar-17	30.78	31.48	0.23 (0.29, 0.17)	117 (162, 88)
	24-Mar-17	17.44	17.75	0.18 (0.23, 0.15)	146 (186, 117)
	31-Mar-17	14.30	14.47	0.20 (0.27, 0.15)	160 (223, 124)

<sup>1</sup>Two-spotted spider mite  
<sup>2</sup>Fixed precision:  $SEM/m$

우 약 154개, 93개로 조사된 것과 유사하게 나온 것을 확인할 수 있다(Fig. 4).

결론적으로 온실 딸기에서 점박이응애 방제를 위한 의사결정은 딸기에서 점박이응애 이동태의 경우에 엽당 밀도가 >3일 경우 약 124개 정도의 표본추출이 요구되지만, 엽당 밀도가 >10일 경우 약 79개 정도면 충분할 것으로 사료된다. 점박이응애 알의 경우에 엽당 밀도가 >3일 경우 약 153개, 엽당 밀도가 >10일 경우 약 93개로 점박이응애 이동태의 경우보다 비교적 많은 표본수를 필요로 하였다. 그러나 점박이응애 알은 이동태에 비해 크기가 매우 작아 육안으로는 관찰이 힘들고, 확대경이나 현미경의 사용이 없는 정확한 밀도 추정은 현실적으로 불가능하다. 따라서 딸기 온실에서 표본추출을 할 때, 점박이응애 이동태를 중심으로 조사하는 것이 시간과 비용을 줄일 수 있는 방제의사결정을 수립하는데 도움을 줄 것으로 사료된다.

본 연구에서는 여러 가지의 표본추출법 중 축차표본조사

법을 이용하여 해충을 효과적으로 관리할 수 있는 방법을 연구하였다. 고정 정확도를 이용하는 축차표본조사법은 점박이응애 밀도 추정을 통해 전체 해충개체군 밀도를 파악하는 방법이다. 해충 밀도에 대한 정확한 산정은 방제의사를 결정하는 데 매우 중요하다. 예를 들어, 생물적방제법에서 해충 밀도가 경제적피해수준(EIL; economic injury level)보다 훨씬 낮을 때 생물적방제 인자를 방사하여 이 인자가 경제적피해수준 아래의 해충 개체군을 관리(management)할 수 있도록 충분한 시간을 준다면 지속적이고 성공적인 해충방제가 될 수 있다. 또한 해충 밀도를 파악하는 것은 생물인자의 방사비용을 결정하는 데 도움이 되므로 적은 비용(cost)으로 해충을 효과적으로 방제하는 데 도움을 줄 수 있다. 일반적으로, 점박이응애 개체군을 산정하기 위한 축차표본조사법은 작물을 점박이응애에 의한 경제적 피해로부터 보호하기 위해 농약 살포의 유무에 대한 방제의사결정에 주로 사용된다.

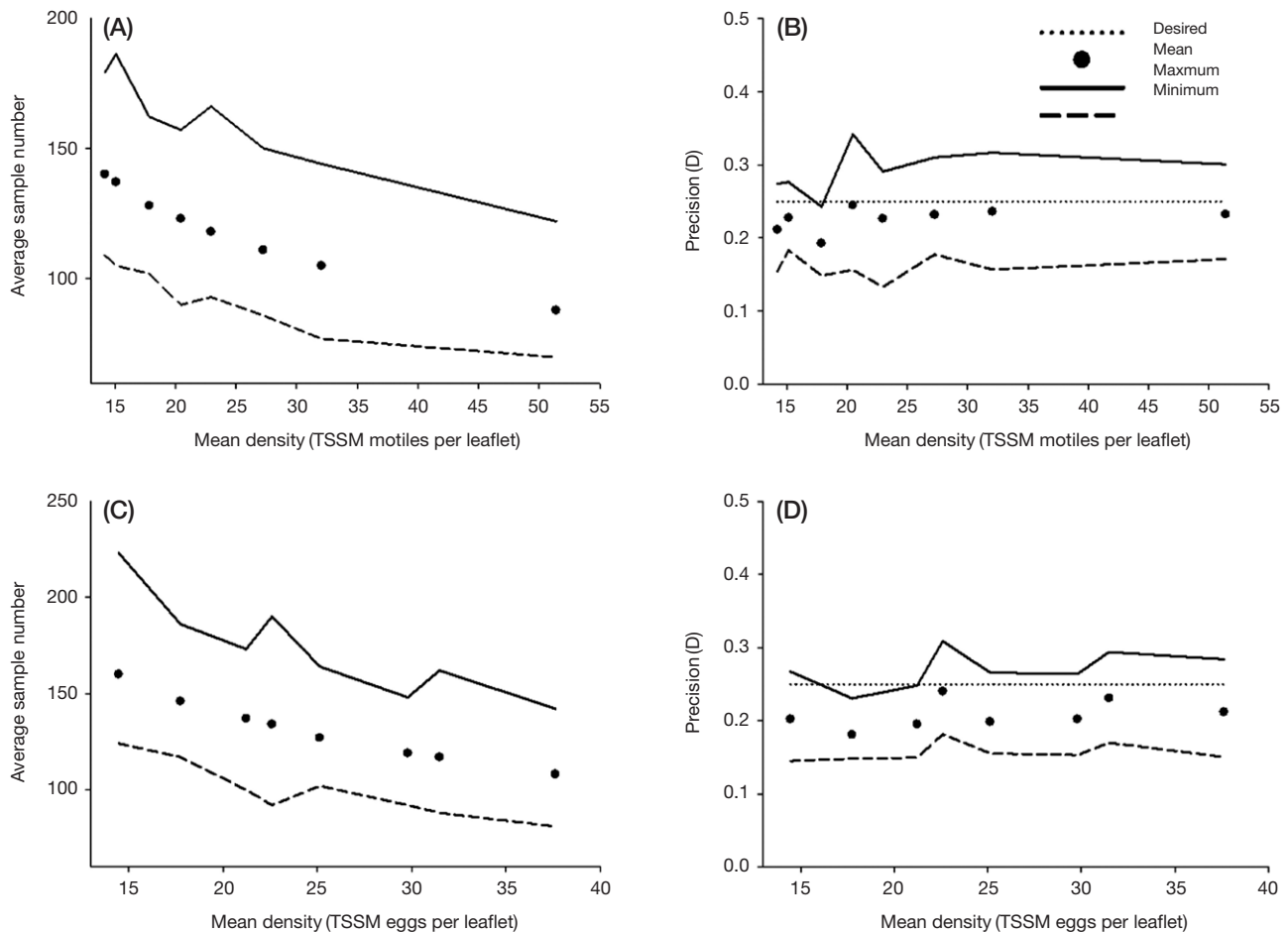


Fig. 5. Summary of resampling validation analysis for the count of TSSM motiles and eggs in strawberry greenhouses showing average sample number (graphs A and C) and average precision level (graphs B and D) for Green's (1970) sequential sampling plan over a range of TSSM densities. Precision levels for the sampling plan were 0.25.



### 5. 표본추출법의 적합성 분석

RVSP를 이용한 1000회 simulation 결과, 점박이응애 이동태와 알 모두 밀도조사 시 관찰되었던 평균 밀도와 시뮬레이션상 평균밀도가 차이가 없었으며, 최소표본수에 상관없이 거의 모든 데이터가 분석 시 설정하였던 고정정확도 ( $D_0=0.25$ )에 매우 근사한 값이 도출되었다(Table 3). 따라서 본 연구에서 개발된 표본추출법의 적합도가 우수한 것으로 판단된다.

각 충태별로 고정정확도에서 엽당 점박이응애 이동태, 알의 평균밀도가 증가함에 따라 원하는 정밀도(desired precision)를 이루기 위해 필요한 평균표본수(average sample number; ASN)가 급격히 감소하였다(Fig. 5A, C). 예를 들어 평균표본수가 100개 수준으로 추출하고 원하는 정밀도를 이루기 위해 점박이응애 이동태의 경우 엽당 평균밀도가 약 20마리, 점박이응애 알의 경우 엽당 평균밀도가 약 25마리 정도가 필요한 것으로 조사되었다. 평균 정밀도(Average precision)는 원하는 정밀도수준(0.25)에서 약간 위아래에 분포하였다(Fig. 5B, D). 이러한 결과는 점박이응애 이동태와 알의 TPL 계수의 유사성 때문에 동일한 표본추출법을 이용하여 이 두 충태의 밀도를 추정할 것이라고 사료된다. 따라서 딸기 온실에서 점박이응애의 이동태와 알의 밀도를 0.25 수준의 고정정확도로 추정하려면 약 100개 정도의 딸기엽을 표본추출하여 밀도조사를 실시한다면 충분할 것이다.

이상의 결과를 종합하였을 때, 딸기 온실에 효과적인 방제 의사결정을 위해서는 점박이응애 이동태와 알의 경제적 피해 허용 수준 값 설정이 필요하다. 하지만 국내에서는 점박이응애에 대한 약제 반응과 방제력 등의 부분에서 많은 연구가 이루어지고 있으나, 점박이응애 이동태와 알의 표본추출법에 관한 연구는 미진한 실정이다. 본 연구결과로 도출된 딸기 온실에서의 점박이응애 축차표본조사법 및 방제의사결정은 국내 딸기 온실에서 적용 가능한 경제적 피해 허용 수준 값 설정과 더불어 종합적 해충관리 전략에 이용이 가능할 것으로 사료된다.

### 적 요

두 개의 딸기 온실(농약살포포장, 천적방사포장)에서 점박이응애(*Tetranychus urticae* Koch)의 고정 정확도 수준에서 표본조사법(Fixed-precision sampling plan)을 개발하였다. 표본추출은 조사구역당 3개엽으로 이루어진 복엽 1줄기를 기준으로 하여 3줄기를 채취하였다. 각 복엽은 Relative

net precision (RNP) 값을 비교하기 위해 3개의 서로 다른 단위(1엽, 2엽, 3엽)로 나뉘어졌다. RNP 값 결과 1엽 단위가 다른 단위들보다 정확도와 효율적인 면에서 우수했다. 공간분포 분석은 Taylor's power law (TPL)를 이용하였으며, 각 딸기 온실별로 계산된 TPL 계수의 동질성검정에는 공분산분석(ANCOVA)을 이용하였으며, 분석결과 차이를 보이지 않았다. 표본추출 정시선을 구하기 위한 TPL 계수는 농약살포포장과 천적방사포장의 딸기 1엽 단위에서 점박이응애 밀도 자료를 합한 뒤 재계산하여 사용하였다. 그리고 점박이응애 발생밀도수준을 3마리와 10마리로 설정하여 방제의사를 결정하였다. 분석에 사용하지 않은 독립된 자료를 이용하여 개발된 표본추출법의 유효성을 Resampling Validation for sampling plan (RVSP)으로 확인한 결과 적합한 정확도를 보였다.

### 사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구과제(세부과제번호: PJ011575)의 지원에 의해 이루어졌습니다. 딸기 온실에서 연구를 진행할 수 있도록 실험포장을 제공해 주신 강신원 사장님께 감사 드립니다.

### REFERENCES

- Binns MR and JP Nyrop. 1992. Sampling insect population for the purpose of IPM decision making. *Annu. Rev. Entomol.* 37:427-453.
- Choi YS, IS Hwang, KS Kim, HY Jo, JH Seo, DG Park, YS Lee and YM Yu. 2014. Occurrence and distribution of *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae) in strawberry greenhouse. *Korean J. Agric. Sci.* 41:315-319.
- Croft BA, RW Miller, RD Nelson and PH Westgard. 1984. Inheritance of early-stage resistance to formetanate and cyhexatin in *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae). *J. Econ. Entomol.* 77:575-578.
- Green RH. 1970. On fixed precision level sequential sampling. *Res. Popul. Ecol.* 12:249-251.
- Hodgson EW, EC Burkness, WD Hutchison and DW Ragsdale. 2004. Enumerative and Binomial Sequential Sampling Plans for Soybean Aphid (Homoptera: Aphididae) in Soybean. *J. Econ. Entomol.* 97:2127-2136.
- Hutchison WD, DB Hogg, MA Poswal, RC Berberet and GW Cuperus. 1988. Implications of the stochastic nature of Ku-

- no's and Green's fixed-precision stop lines: sampling plans for the pea aphid (Homoptera: Aphididae) in alfalfa as an example. *J. Econ. Entomol.* 81:749–758.
- Iwao S. 1975. A new method of sequential sampling to classify populations relative to a critical density. *Res. Popul. Ecol.* 16:281–288.
- Kim TI, WS Jang, JH Choi, MH Nam, WS Kim and SS Lee. 2004. Breeding of Strawberry 'Maehyang' for Forcing Culture. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 22:434–437 (in Korean with English abstract).
- Korea Crop Protection Association. 2016. Crop protection Guidelines. KCPA. p. 451.
- Kuno E. 1969. A new method of sequential sampling to obtain the population estimates with a fixed level of precision. *Res. Popul. Ecol.* 11:127–136.
- Laing JE. 1969. Life history and life table of *Tetranychus urticae* Koch. *Acarologia*. pp. 32–42.
- Naranjo SE and HM Flint. 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.
- Naranjo SE and WD Hutchison. 1997. Quantitative methods for designing and analyzing sampling programs for use in pest management. D. Pimentel (ed), *Handbook of Pest Management in Agriculture*, Vol. 2, CRC Press, pp. 67–132.
- 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: Tetranychidae) on Greenhouse Eggplant and Sweet pepper. *Korean J. Appl. Entomol.* 48:229–236 (in Korean with English abstract).
- Park JJ, H Park, YH Kim and J Cho. 1999. Sampling plans for estimation and classifying population density of two spotted mite (Acari: Tetranychidae) on the greenhouse rose cultured with arching method. *Kor. J. Entomol.* 29:127–134 (in Korean with English abstract).
- 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 (in Korean with English abstract).
- Pedigo LP. 1989. *Entomology and Pest Management*. Macmillian Publish, NY.
- Pedigo LP. 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. FL.
- Ruesink WG. 1980. Introduction to sampling theory. pp. 61–78. In *Sampling Methods in Soybean Entomology* (Kogan M and DC Herzog eds.). Springer, NY.
- SAS Institute. 1995. *SAS user's guide*. SAS Institute, Cary, NC.
- Sokal RR and FJ Rohlf. 1981. *Biometry*, 2nd ed. W. H. Freeman and Company. NY.
- Southwood TRE. 1978. *Ecological methods*. 2nd ed. Chapman and Hall, London.
- Taylor LR. 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature* 189:732–735.
- Wise IL and RJ Lamb. 1995. Spatial distribution and sequential sampling methods for the potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Homoptera: Aphididae), in oilseed flax. *Can. Entomol.* 127:967–976.

Received: 18 October 2017

Revised: 1 November 2017

Revision accepted: 1 November 2017