

파프리카 온실에서 담배가루이의 축차표본조사법 개발

최원석¹ · 박정준^{1,2*}

¹경상대학교 식물의학과, ²경상대학교 농업생명과학연구원

Development of Sequential Sampling Plan for *Bemisia tabaci* in Paprika Greenhouses

Wonseok Choi¹ and Jung-Joon Park^{1,2*}

¹Department of Plant Medicine, Gyeongsang National University, Jinju

²Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju

ABSTRACT: In order to establish *B. tabaci* control in paprika greenhouses a fixed-precision-level sampling plan was developed. The sampling plan consisted of spatial distribution analysis, a sampling stop line, and decision making. Sampling was conducted simultaneously in two independent greenhouses (GH 1, GH 2). GH 1 and 2 were surveyed every week for 22 consecutive weeks, using 19 sampling locations in GH 1 and 9 sampling locations in GH 2. The plant in both greenhouses were divided into top (180-220 cm from the ground), middle (80-120 cm from the ground) and bottom (30-70 cm from the ground) sections and *B. tabaci* adults and pupae were observed on three paprika leaves at each position and recorded separately. GH 2 data were used to validate the fixed-precision sampling plan, which was developed using GH 1 data. In this study, spatial distribution analysis was performed using Taylor's power law with the pooled data of the top and bottom position (*B. tabaci* adults), and the middle and bottom positions (*B. tabaci* pupae), based on a 1-leaf sampling unit. Decision making was undertaken using the maximum of action threshold in accordance with previously published method, and the value was decided by the price of the plants. Using the results obtained in the greenhouse, simulated validation of the developed sampling plan by RVSP (Resampling Validation for Sampling Plan) indicated a reasonable level of precision.

Key words: Paprika, *Bemisia tabaci*, Spatial distribution, Fixed precision level sampling plan stop line, Control decision making

초 록: 파프리카(*Capsicum annuum* var. *angulosum*)의 주요해충인 담배가루이(*Bemisia tabaci*)의 고정 정확도 수준에서 표본조사법(Fixed-precision sampling plan)을 개발하였다. 개발된 표본 조사법은 파프리카 온실의 담배가루이 방제체계 확립을 위해 공간분포분석, 표본추출 정시선 그리고 의사결정법으로 이루어 졌다. 자료 수집은 식물체를 상단(지상으로부터 180-220 cm), 중단(지상으로부터 80-120 cm), 하단(지상으로부터 30-70 cm)로 나누어 각 위치별 3개의 파프리카 잎에서 담배가루이 성충, 번데기를 관찰하고 그 총 수를 기록하였다. 담배가루이 성충은 식물체의 상부에서 움직이고 신초에 주로 산란하며 일정부분이 하단으로 내려오기 때문에 상단과 하단에 많이 분포하였으며, 번데기의 경우 상부에 알을 낳았지만 식물체가 크면서 알을 낳은 잎이 아래부분이 되고 부화한 유충은 잎 뒤에 고착 상태로 우화까지 움직임이 거의 없기 때문에 중단과 하단에서 많이 분포하였다. 공간분포분석은 Taylor's power law (TPL)를 이용하였으며, TPL계수의 차이를 공분산분석(ANCOVA)하여 차이가 없는 경우 자료를 통합하여 계산된 새 TPL 상수값을 이용하여 표본추출 정시선을 구하였다. 그리고 담배가루이 성충과 번데기의 방제밀도수준을 2.0마리와 10.0마리로 설정하여 방제의사를 결정하였다. 마지막으로 분석에 사용하지 않은 독립된 자료를 이용하여 개발된 표본추출법의 유효성을 Resampling Validation for Sampling Plan (RVSP) 프로그램으로 평가한 결과 적합한 정확도를 보였다.

검색어: 파프리카, 담배가루이, 공간분포, 표본추출 정시선, 방제의사결정

파프리카(*Capsicum annuum* var. *angulosum*)는 재배면적

증가와 안전성 관리 강화로 수출물량이 꾸준히 증가하고 있어 국내 농산물 중 단일품목으로 수출액이 가장 큰 수출주력 농산물이다. 파프리카는 수출량의 99%가 일본으로 수출되고, 2000년 이후 안정적인 수출과 내수기반을 갖추면서 고소득 작물이

*Corresponding author: jungpark@gnu.ac.kr

Received April 21, 2015 ; Revised June 1, 2015

Accepted June 2, 2015

라는 인식이 확산되어 2013년 약 770여 농가에서 재배면적이 452 ha으로 2000년 대비 4배 이상 증가하였다. 또한 2013년 생산량은 54,427톤으로 수출이 22,050톤, 40.5%를 차지하고 있으며 내수가 32,377톤, 59.5%로 파프리카가 영양, 건강식품으로 알려지면서 국내 소비도 꾸준히 증가하고 있다(Choi, 2008; Kim, 2014).

파프리카 주요 발생 해충은 총채벌레류, 가루이류, 진딧물류, 나방류, 잎응애류 등이다. 이중 담배가루이(*Bemisia tabaci*)는 흡즙성 해충으로 시설재배지의 확대에 따라 피해가 증가하고 있고 작물손실의 20-100% 정도로 영향을 주는 Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV)와 같은 100개 이상의 바이러스 성 질병을 전염시킨다고 보고되어 있으며(Lee et al., 2005; Jones, 2003), 흡즙과정에서 배출되는 감로에 의한 그을음병(Sooty mold)의 2차적 피해가 있다(Byrne, 1999). 현재까지 우리나라에는 담배가루이는 카바메이트계와 유기인계 농약에 저항성을 보이는 B계통과 네오니코티노이드계 농약에 저항성을 보이는 Q계통이 보고되었는데, 주로 Q계통이 많이 발생한다(Lee et al., 2005). 담배가루이를 방제하기 위해 현재 일정한 시기별로 꾸준히 농약을 살포하고 있으나, 저항성 개체군 출현 가능성이 높아 향후 방제에 문제가 있고, 수출시 안전한 농산물 생산에도 큰 걸림돌이 되고 있어 종합적 방제전략이 필요하다(Park et al., 2009; Park et al., 2014).

종합적 해충관리는 무엇보다 파프리카 온실에서 담배가루이의 밀도추정으로 시작하며, 이를 위해서는 표본추출법 및 의사결정 개발이 필요하다(Pedigo, 1989, 1994; Binns and Nyrop, 1992).

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 사용되어져 왔으며 실제 포장에서 해충밀도조사에 큰 역할을 하고 있다. 의사결정을 위한 표본조사법은 미리 표본 크기를 정하지 않고 임의로 관찰된 해충의 개체수를 누적하여 의사결정이 이루어지는 방법으로 사용이 용이하고, 표본조사에 드는 시간과 노력을 줄일 수 있는 장점이 있어 의사결정법에 많이 사용되고 연구되어 왔다(Park et al., 1999).

본 실험의 목적은 우리나라의 수출 주요 상품인 파프리카 온실에서 해충인 담배가루이 종합 관리를 위한 밀도추정을 위해 공간분포분석 및 이를 이용한 고정된 정확도 수준에서의 표본 조사법과 의사결정법 개발에 있다.

재료 및 방법

조사 장소 및 포장 구성

본 실험은 경상남도 진주시 대곡면에 있는 파프리카 온실에서 수행되었다. 표본을 추출한 온실의 크기는 12,000 m² (온실 1, 가로 × 세로, 120 m × 100 m)이며, 가로 5 m, 세로 20 cm마다 파프리카 1주씩 암면배지(Rock-wool)에 식재되어 전체 25열에 약 2,160주가 재배되고 있었다. 파프리카는 지상에서 약 3.0 m~3.5 m 높이로 자라고 있었고 자가 수정으로 수분되고 있었으며 양액재배 온실로(주당 약 100 cc/회, 5회/일), 해충 방제는 농약을 이용한 관행적 재배가 이루어지고 있었다. 파종일은 2013년 8월 1일이었으며 정식은 2013년 9월 1일이었다. 실험은 총 19 개의 구역을 온실 남쪽 중앙에 위치한 출입문을 기준으로 가로의 경우 30 m 마다, 세로의 경우 양 끝과 정 중앙 열은 50 m간격 그리고 나머지 열은 폭 25 m간격으로 조사를 실시하였다. 개발

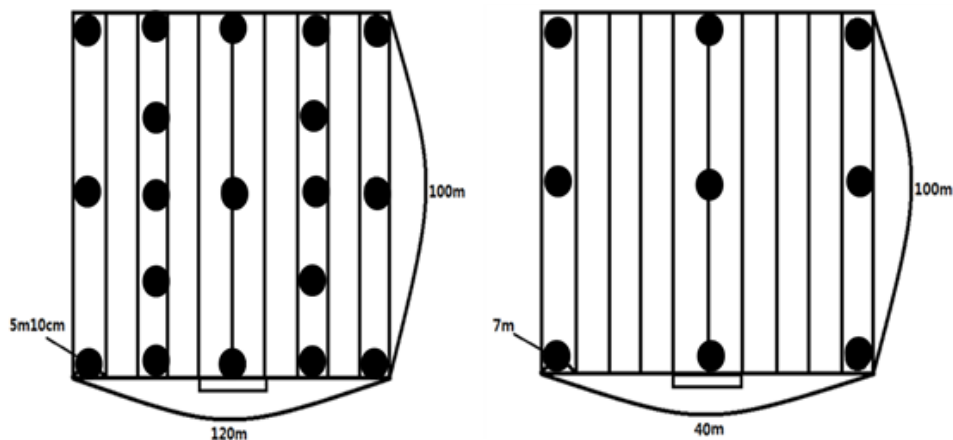


Fig. 1. The first greenhouse was divided into 19 areas and sampled for analysis, whereas the second greenhouse was divided into 9 areas and was sampled to validation analysis results for the first greenhouse.

된 표본조사법의 적합성 검증을 위한 독립 자료 추출을 위해, 동일 지역에서 동일한 방법으로 재배하는 파프리카 온실을 선택하여 조사하였다. 조사한 파프리카 온실(온실 2, 가로 × 세로, 50 m × 100 m)은 온실 1보다 크기가 작으므로, 비슷한 표본추출 위치를 고려하여, 9개의 구역을 가로의 경우 20 m, 세로의 경우 50 m마다 위치를 지정하여 지정된 위치에서 임의로 1주를 선택하여 조사하였다(Fig. 1). 표본추출은 2014년 1월 24일부터 2014년 6월 27일까지 특별한 경우를 제외하고 매주 총 22회 수행되었다. 다만 온실 2의 경우 작기가 4주 일찍 종료되어 18주 자료를 수집하였다.

표본 추출 및 조사 방법

파프리카의 식물체를 높이에 따라 상, 중, 하로 나누어서 각 3개의 잎을 임의로 선정하여 잎 뒷면의 담배가루이(*Bemisia tabaci*) 성충과 번데기를 관찰, 기록하였다. 표본 추출 높이는 실험 시작부터 파프리카의 크기가 2 m 이상을 보였기 때문에 각각 하단의 경우 지상으로부터 30-70 cm, 중단의 경우 지상으로부터 80-120 cm, 상단의 경우 지상으로부터 180-220 cm 위의 높이를 조사하였다. 이 온실의 파프리카는 줄내림 방식을 택하고 있었으며 실험 시작 시 크기가 2 m 이상을 보였기 때문에 항상 비슷한 위치에 비슷한 태가 존재하고 있었다. 조사 결과는 조사 시기, 온실, 구역, 위치, 해충 별로 구분하여 야장에 기록하였다. 담배가루이 성충은 식물체의 상부에서 움직이고 신초에 주로 산란하며 일정부분이 하단으로 내려오기 때문에 상단과 하단에서 가장 많이 분포한다. 번데기의 경우 담배가루이가 식물체 상부에 알을 낳았지만 식물체가 크면서 알을 낳은 잎이 아래부분이 되고, 부화한 유충은 잎 뒤에 고착 상태로 우화까지의

움직임이 거의 없기 때문에 중단과 하단에 많은 밀도가 있다(Kim, 2009). 따라서 결과의 경우 성충은 상단과 하단을 위주로 분석하였으며, 번데기의 경우 중단과 하단을 위주로 분석하였다.

표본 단위의 설정(Sampling unit selection)

가장 효율적인 표본단위를 선정하기 위해 표본 추출한 3개 엽을 표본단위 1, 표본단위 2 그리고 표본단위 3으로 임의로 구분하여(Fig. 2), relative net precision (RNP)으로 각 표본단위의 표본추출 효율을 비교, 분석하였다. 표본단위 1은 엽 1개로 구성되었으며 표본단위 2는 2개 그리고 표본단위 3은 표본추출된 3개 엽 전체로 하였다. RNP는 표본추출에 관련된 정확도와 경제성이 동시에 고려된 것으로 표본단위 선정에 기초적인 자료를 제공해주는 값으로 그 값이 클수록 효율적인 표본단위가 된다(Ruesink, 1980). RNP는 Ruesink (1980)가 제안한 다음 공식에 의해 계산되었다.

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

식 (1)에서 m 은 각 표본단위에서 담배가루이 성충, 번데기의 평균밀도이며 SEM 은 평균의 표준오차 그리고 C_s 는 조사비용으로 본 실험에서는 표본의 수집 및 처리에 소비되는 노력을 시간으로 환산해 나타낸 값이다. 표본처리에 소비되는 시간은 온실에서 표본 추출에 소비하는 시간을 이용하였다. 본 실험에서 각 표본단위 간 엽면적은 평균 23 cm²로 동일하기 때문에 C_s 는 담배가루이 성충, 번데기의 밀도 조사에 소비되는 시간에만 영향을 받게 된다.

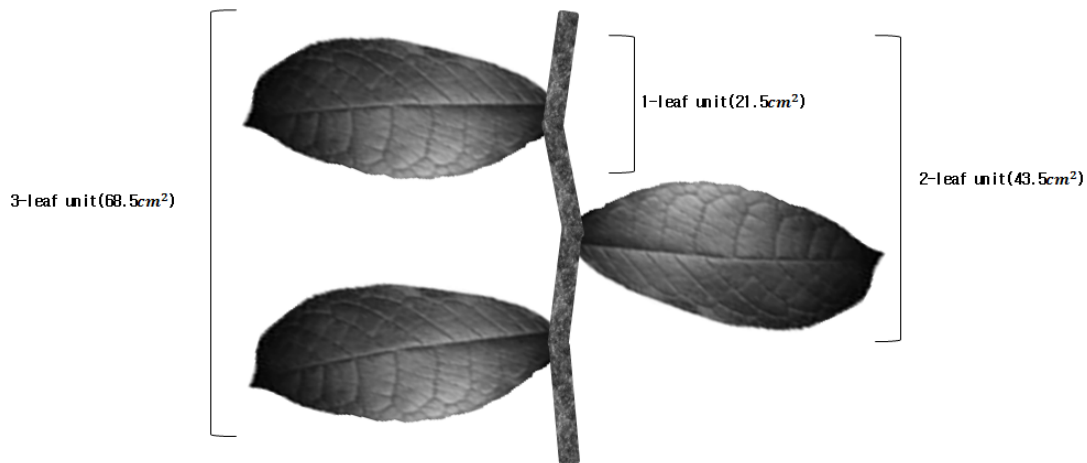


Fig. 2. The average size of paprika leaves is 23 cm², A 1-leaf unit is one leaf at the top, a 3-leaf unit is three leaves at the top and a 9-leaf unit is a compound leaf.

공간분포분석 (Spatial Distribution Analysis)

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

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

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, 1995)을 이용하여 파프리카의 위치별(상단, 중단 및 하단)로 추정하였으며, 각 회귀 직선의 동질성 검정은 공분산분석(Analysis of Covariance, ANCOVA)을 이용하여 기울기와 절편 값을 비교하여 조사하였다(Sokal and Rohlf, 1981; Park et al., 1999).

표본추출 정시선(Fixed precision levels sampling plan stop line)

TPL에서 추정된 두 회귀계수를 이용하여 담배가루이 성충과 담배가루이 번데기의 고정된 정확도에서 표본추출 정시선(stop line)은 Green (1970)이 제시한 방법으로 구하였다(식 2).

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

여기서 T_n 은 누적된 담배가루이 성충, 담배가루이 번데기 수이며, D_0 은 사전에 선정된 고정정확도로 평균과 평균의 표준오차와의 비율(SEM/ m)로 나타내며, 본 실험에서는 0.20, 0.25, 0.30을 사용하였다. 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 밀도추정에 관련된 정확도와 표본추출에 소비되는 시간과 노력을 모두 고려한 결과이다.

방제의사결정(Decision-making)

방제시점의 의사결정(Decision-making)을 하기 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 담배가루이 성충과 담배가루이 번데기의 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 회귀계수이며, m_0 은 방제가 필요한 해충의 밀도인 경제적 피해 허용수준으로서 경제적 피해 수준과 관계되는 값이다. 만약 조사된 특정 표본수에서 누적된 해충 수가 상한값의 범위를 넘는다면 방제를 하게 되고, 하한값의 범위 밑이면 방제가 필요 없으며, 상한값과 하한값의 사이인 경우 계속 표본추출을 하게 된다(Iwao, 1975).

본 연구에서는 담배가루이 성충과 담배가루이 번데기의 경제적 피해 허용수준인 m_0 을 2와 10으로 임의 지정하였다. 이는 기 연구된 문헌(Naranjo and Flint, 1995)에서 경제적 피해 허용수준을 표본단위 당 최대값을 10으로 설정한 사례가 있었고, 반면 조사를 실시한 수출 파프리카 재배 지역 농가들의 경우 파프리카 과식의 경제적 가치를 고려하여 통상적으로 표본 단위당 2마리 정도만 관찰되어도 대부분 방제를 실시하는 경향이 있어서 앞서의 경우보다 훨씬 낮은 경제적 피해 허용수준인 2를 적용하여 각 경우에서 의사결정법을 조사하였다. 또한 방제의사 결정시 표본수가 지속적으로 늘어나는 경우 이를 피하기 위한 최대표본수(N_{\max})는 다음과 같이 구해진다(식 5).

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

d 는 조사된 담배가루이 성충과 담배가루이 번데기의 평균밀도와 m_0 가 동일한 경우 조사된 평균밀도의 신뢰구간으로 $d = t_{s_x}$ (s_x =표본표준오차)로 표현될 수 있으며 나머지 변수들은 식 4에서와 동일한 의미를 지닌다.

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 온실 2의

자료를 넣어 분석하였다. 각 독립된 자료에 대해 1000회 시뮬레이션을 실시하여 평균값을 계산하였으며, RVSP상 정확도는 0.25, 그리고 공간분포 분석 시 구한 TPL의 a 와 b 값을 이용하였다. 담배가루이 성충의 경우 최소표본수를 5로 설정하였으며 담배가루이 번데기의 경우 최소표본수를 20으로 설정하여 분석하였다.

적합성을 분석하기 위해 조사법 개발에 사용하지 않았던 두 번째 온실의 표본추출 결과를 이용한 독립된 자료를 따로 데이터베이스화 하여 실제 자료와 비교하였다.

결과 및 고찰

식물체 부위별 발생동태

담배가루이 성충의 경우 중단의 밀도가 상대적으로 낮아 상단과 하단의 밀도를 위주로 조사하였다. 상단의 경우 본 실험을

한 농가에서는 1주일에 약 2회 정도 약제를 살포하기 때문에 밀도 증감이 반복되었고, 특히 하단에서 많은 밀도가 발견되었다 (Fig. 3 - A, B). 그리고 용의 경우도 마찬가지로 밀도 증감이 반복되었고 중단보다 하단에서 많은 밀도가 발견되었다(Fig. 3 - C, D).

표본 단위의 설정

각 표본단위별 C_s 값은 엽면적이 평균 23 cm^2 으로 거의 동일하였기 때문에 조사한 시간으로 정하였다. 표본단위 1의 경우 3.88, 2의 경우 7.63, 3의 경우 9.09로 조사되었다. RNP값은 모든 조사시기에서 표본단위 1이 표본단위 2, 3보다 더 크게 조사되었기 때문에 가장 큰 표본단위 1이 효율적인 표본단위임을 알 수 있다(Table 1). 따라서 모든 결과 및 통계분석은 표본단위 1에서 추정된 밀도를 이용하여 수행하였다.

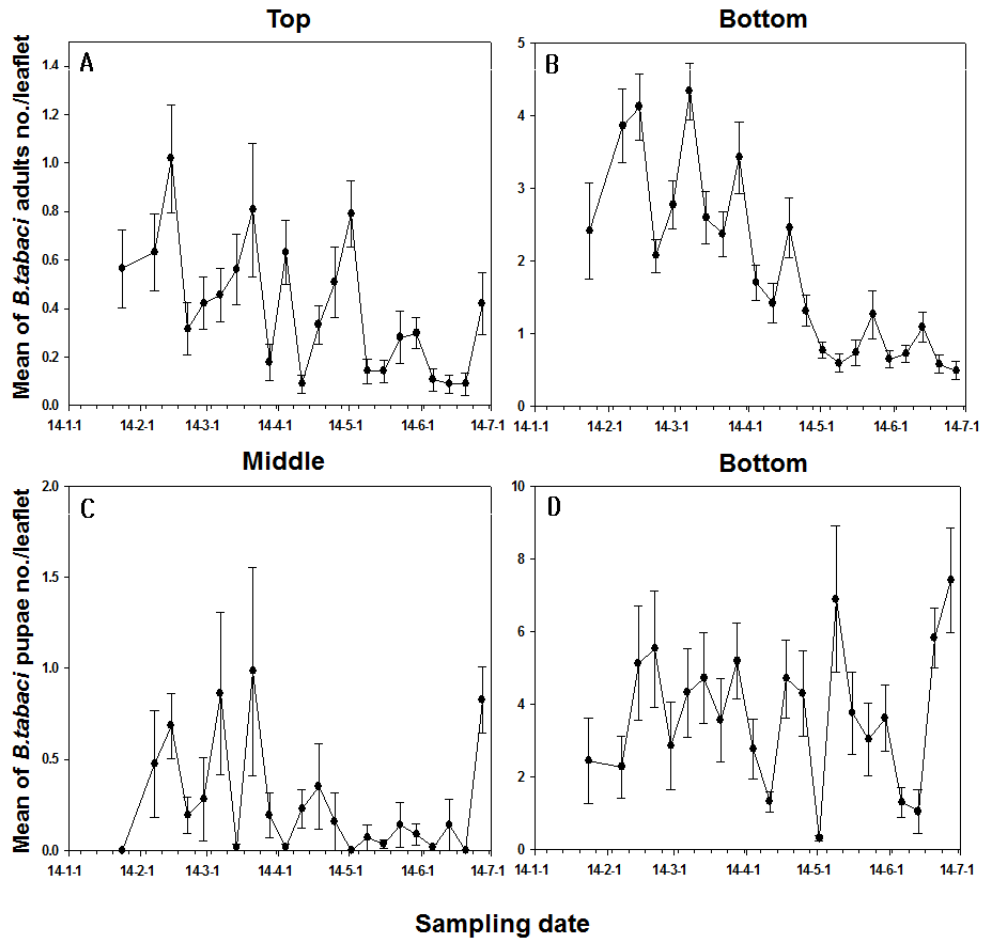


Fig. 3. The density of *B. tabaci* adults (A, B) and pupae (C, D) : A is the top position, B is bottom position (*B. tabaci* adults), C is the middle position, and D is the bottom position (*B. tabaci* pupae).

Table 1. Relative net precision of 1-, 2-, and 3-leaf units for sampling *B. tabaci* adults and pupae

| Date | 1-leaf | | | 2-leaf | | | 3-leaf | | | |
|--------|-------------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|------|
| | \bar{x}^1 | SEM | RNP | \bar{x} | SEM | RNP | \bar{x} | SEM | RNP | |
| Adults | 24-Jan. | 1.85 | 0.58 | 0.81 | 3.04 | 0.94 | 0.42 | 2.41 | 0.66 | 0.40 |
| | 14-Feb. | 4.00 | 0.41 | 2.49 | 3.92 | 0.43 | 1.20 | 4.12 | 0.46 | 0.99 |
| | 28-Feb. | 3.16 | 0.79 | 1.04 | 2.84 | 0.42 | 0.88 | 2.77 | 0.34 | 0.91 |
| | 14-Mar. | 2.95 | 0.55 | 1.38 | 2.55 | 0.36 | 0.94 | 2.60 | 0.35 | 0.81 |
| | 28-Mar. | 2.89 | 0.79 | 0.94 | 3.39 | 0.66 | 0.67 | 3.42 | 0.49 | 0.76 |
| Pupae | 24-Jan. | 3.08 | 2.41 | 0.33 | 2.73 | 1.54 | 0.23 | 2.44 | 1.17 | 0.23 |
| | 14-Feb. | 5.32 | 2.70 | 0.51 | 5.37 | 2.04 | 0.35 | 5.12 | 1.57 | 0.36 |
| | 28-Feb. | 3.32 | 2.60 | 0.33 | 2.89 | 1.46 | 0.26 | 2.86 | 1.20 | 0.26 |
| | 14-Mar. | 6.16 | 3.29 | 0.48 | 4.74 | 1.75 | 0.35 | 4.72 | 1.25 | 0.41 |
| | 28-Mar. | 4.47 | 1.38 | 0.84 | 4.84 | 1.20 | 0.53 | 5.19 | 1.03 | 0.55 |

¹Mean density per leaf.

Table 2. Taylor's power law result for *B. tabaci* adults and pupae

| Position | $\log a(SEM^1)$ | $b(SEM)$ | r^2 | Density range (per leaf) | |
|----------|-----------------|-------------|-------------|--------------------------|-----------|
| Adults | Top | 0.93(0.134) | 1.38(0.096) | 0.91 | 0.08-1.01 |
| | Bottom | 0.66(0.107) | 1.40(0.133) | 0.84 | 0.49-4.33 |
| | Pooling | 0.76(0.063) | 1.30(0.055) | 0.92 | 0.08-4.33 |
| Pupae | Middle | 2.37(0.263) | 1.54(0.117) | 0.91 | 0.01-0.98 |
| | Bottom | 1.71(0.241) | 1.80(0.179) | 0.83 | 0.31-7.42 |
| | Pooling | 2.16(0.101) | 1.48(0.056) | 0.94 | 0.01-7.42 |

¹Standard error of mean.

공간분포분석

TPL을 이용하여 담배가루이 성충과 담배가루이 번데기를 표본 추출한 파프리카 위치별 공간분포상을 살핀 결과, 담배가루이 성충의 TPL 결정계수 값이 상단(0.91), 하단(0.84)로 나왔으며, 담배가루이 번데기는 중단(0.91), 하단(0.86)으로 나왔다.

집중정도를 나타내는 기울기 b 값은 TPL에서 조사 결과, 담배가루이 성충의 경우 상단(1.38), 하단(1.40)이었으며, 담배가루이 번데기의 경우 중단(1.54), 하단(1.80)이었다.

본 실험에서는 담배가루이 성충의 경우 상, 하단에서 b 값이 1보다 컸으며 담배가루이 번데기의 경우 중, 하단에서 b 값이 1보다 커 집중분포하는 것으로 조사되었다($p < 0.05$). 그리고 담배가루이 성충의 경우 상단과 하단, 담배가루이 번데기의 경우 중단과 하단의 TPL 직선회귀 계산에서 나온 기울기와 절편의 동질성을 ANCOVA를 이용하여 분석하였다. 동질성 조사 결과, 담배가루이 성충은 상단과 하단에서 절편($F=2.55$, $df=2$, 41 , $p=0.1183$)과 기울기($F=0.01$, $df=3$, 40 , $p=0.9401$)는 통계적으로 차이가 없었으며, 번데기도 마찬가지로 중단과 하단에

서 절편($F=2.62$, $df=2$, 38 , $p=0.1138$)과 기울기($F=1.43$, $df=3$, 37 , $p=0.2393$) 역시 차이가 없었다. 따라서 성충의 상단과 하단 자료를, 번데기의 중단과 하단 자료를 통합(pooling)하여 TPL 회귀변수 값을 재 추정하였으며, 이 결과를 표본추출정시선 및 방제 의사결정 개발에 이용하였다(Table 2).

표본추출 정시선

Green (1970)의 방법을 이용한 고정 정확도($D_0=0.20$, 0.25 , 0.30)에서 표본추출정시선을 그린 결과, 담배가루이 성충, 번데기의 누적밀도가 높을수록 표본추출을 중지하기 위한 표본수가 적어졌으며, 동일 밀도에서 정확도가 높을수록 많은 표본수가 필요한 것으로 조사됐다. 예를 들어, 담배가루이 성충의 경우 엽당 평균 밀도가 2마리라면 표본 추출을 중지하기 위해 요구되는 표본수는 $D_0=0.20$ 일 경우, 약 33개이고, 0.25 에서는 약 21개, 0.30 에서는 약 15개로 나타났다. 그리고 담배가루이 번데기의 경우 엽당 평균밀도가 10마리라면 $D_0=0.20$ 일 경우, 표본 추출을 중지하기 위해 요구되는 표본수는 약 65개, 0.25 에

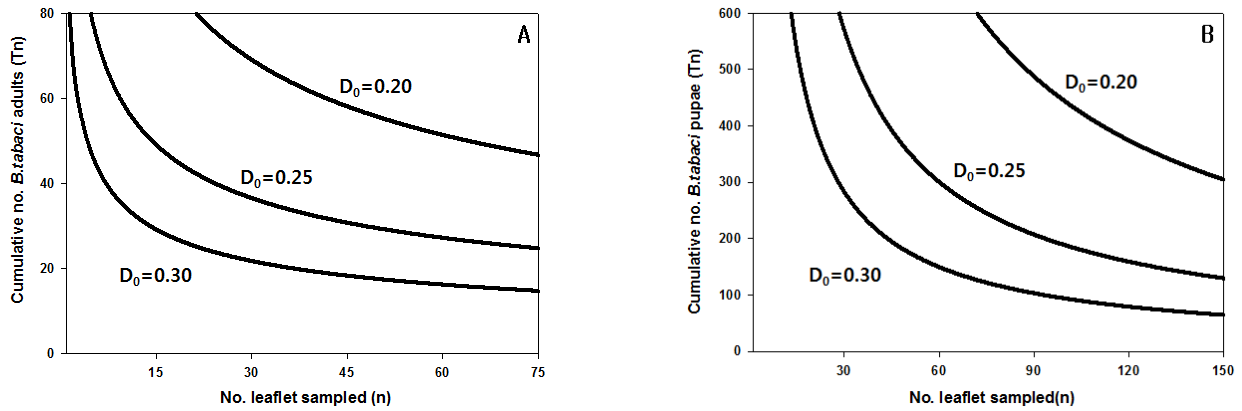


Fig. 4. Fixed precision levels sampling plan stop line (A: *B. tabaci* adults, B: *B. tabaci* pupae). The line on the top is $D_0 = 0.20$, the middle line is $D_0 = 0.25$ and the bottom line is $D_0 = 0.30$.

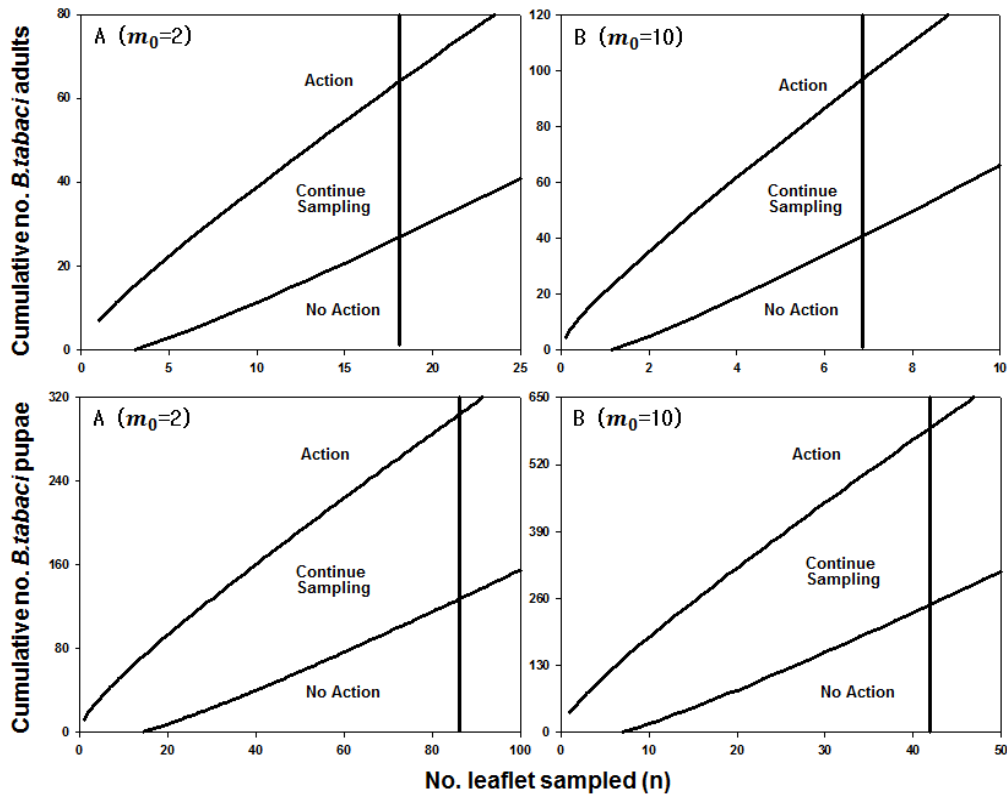


Fig. 5. Control decision making for *B. tabaci* adults (A) and pupae (B). The top is control action, the middle is continued sampling and bottom is no control action. Sampling is conducted using the maximum sample size in the middle line.

서는 42개, 0.3에서는 29개로 나타났다(Fig. 4). Naranjo와 Flint (1994)는 목화에서 $D_0 = 0.25$ 를 기준으로 담배가루이 성충 밀도가 엽당 10마리일 경우, 중지하기 위해 요구되는 표본 수는 20개라고 하였는데 본 연구와 비교한다면 파프리카와 목화에서 조사를 중지하기 위해 요구되는 표본수는 비슷한 것을 알 수 있다. 실험에서 피해허용수준 정도의 밀도에서 요구되는 정확도를 0.20, 0.25, 0.30으로 설정한 이유는 Southwood (1978)이

해충방제에 필요한 정확도를 0.25에서 0.30 정도로 보고하였기 때문이다. 담배가루이와 같이 크기가 작은 곤충들은 포장에서 많은 수의 표본을 조사하는 것은 조사 시간과 노력(cost)에 비해 경제적 피해 없이 방제가 가능한 결정(benefit)의 비교가 필요하므로, 정확도 값을 적절히 조정하여 요구표본수를 감소시키는 것이 중요할 것으로 사료된다.

방제의사결정

방제의사결정 곡선에서 누적 해충수가 방제 상한선과 하한선 사이에 존재하게 되면, 이론적으로 무한정 표본 추출을 하여야 한다. 이러한 단점을 극복하기 위해 의사결정에 필요한 최대 표본수가 필요하다. 만약 이 최대 표본수를 넘어서도 의사결정이 되지 않으면 방제를 수행하게 된다(Iwao, 1975). 본 실험을 바탕으로 고정정확도 0.25에서 $m_0=2$, $m_0=10$ 일 때 요구되는 최대표본수는 담배가루이 성충의 경우 각각 약 19개, 7개로 조사되었으며, 담배가루이 번데기의 경우 약 87개, 42개로 조사되었다(Fig. 5). 최대표본수는 경제적 피해 허용수준 값이 커질수록 감소하는 것을 알 수 있다.

하지만 본 실험에서 사용한 경제적 피해 허용수준 값은 목화에서 사용되는 경제적 피해 허용수준 값이며(엽당 10마리, Naranjo and Flint, 1994), 엽당 2마리의 경제적 피해 허용수준은 실제 수출 파프리카 온실에서 농민이 해충 방제 결정을 내릴 때 사용되는 값으로, 향후 본 연구에서 개발된 표본 추출법을 이용하여 정확한 의사결정을 하기 위해서는 여러 실험결과를 종합하여, 담배가루이의 올바른 경제적 피해 수준 값을 설정하여야 한다.

표본추출법의 적합성 분석

RVSP를 이용한 simulation 결과, 담배가루이 성충과 번데기 모두 육안조사 시 관찰하였던 평균 밀도와 시뮬레이션 상 평균 밀도가 차이가 없었으며, 최소표본수에 상관없이 거의 모든 데이터가 분석 시 설정하였던 고정된 정확도($D_0 = 0.25$)에 가깝거나 좋은 값이 나왔다(Table 3). 따라서 본 연구에서 개발된 표본추출법의 적합도가 좋은 것으로 사료된다.

파프리카는 주요 수출작물로 해충 피해를 받게 되면 상품 가치가 현격히 떨어지고 수출이 불가하므로 적절한 방제전략이 매우 중요하다. 특히 담배가루이의 경우 생활사가 짧고 수명이 길며 약제에 대한 강한 저항성을 가지고 있고 여러 식물 바이러스병 및 2차적 그을음병을 유발하는 파프리카의 주요 해충이다. 대부분 수출 농가에서는 해충이 보일 경우 화학적 방제를 바로 실시하기 때문에 경제적인 또한 환경에 피해를 주는 문제가 나타난다. 본 연구에서는 표본추출법을 이용하여 시간과 비용을 줄일 수 있는 방법을 연구하였다. 결론적으로 올바른 표본추출을 위해서는 담배가루이 성충은 상단과 하단, 번데기는 중단과 하단을 위주로 표본 추출하여 본 실험에서 만들어진 표본추출법을 기본으로 파프리카에서 담배가루이 방제전략을 준비한다면 파프리카 농가에서 사용되는 농약을 무분별한 처리와 방제비용의 감소가 가능할 것으로 사료된다. 국내에는 담배가

Table 3. Resampling Validation for Sampling Plan (RVSP) results of *B. tabaci* adults and pupae

| <i>B. tabaci</i> stage | Observed data | | | Simulated results | | |
|---------------------------|-----------------|--------|--------------|-------------------|--|---|
| | Min sample size | Date | Mean density | Mean density | Estimated D^1 value (mean (min, max)) | Sample number for density estimation |
| Adults | 5 | 28-Feb | 2.78 | 2.86 | 0.21 (0.00, 0.44) | 7 |
| | | 14-Mar | 1.89 | 2.02 | 0.27 (0.07, 0.47) | 8 |
| | | 21-Mar | 2.00 | 2.08 | 0.29 (0.05, 0.46) | 8 |
| | | 28-Mar | 2.00 | 2.11 | 0.27 (0.00, 0.47) | 8 |
| | | 11-Apr | 1.78 | 1.81 | 0.20 (0.00, 0.32) | 9 |
| | | 9-May | 3.22 | 3.31 | 0.19 (0.00, 0.39) | 6 |
| | | 23-May | 3.56 | 3.64 | 0.23 (0.06, 0.39) | 6 |
| | | 30-May | 5.22 | 5.21 | 0.11 (0.00, 0.21) | 5 |
| Pupae | 20 | 14-Feb | 3.11 | 3.15 | 0.19 (0.11, 0.28) | 21 |
| | | 21-Feb | 1.78 | 1.82 | 0.24 (0.15, 0.35) | 27 |
| | | 11-Apr | 2.44 | 2.47 | 0.11 (0.06, 0.14) | 22 |
| | | 25-Apr | 1.78 | 1.81 | 0.24 (0.12, 0.35) | 27 |
| | | 9-May | 2.33 | 2.37 | 0.21 (0.11, 0.31) | 23 |
| | | 16-May | 3.44 | 3.51 | 0.35 (0.18, 0.49) | 21 |
| | | 23-May | 3.11 | 3.12 | 0.23 (0.13, 0.35) | 21 |

¹Fixed precision : SEM/m

루이에 대한 약제 반응과 저항성 계통에 따른 분류 등 많은 연구가 이루어지고 있으나 파프리카에서 담배가루이 성충과 번데기의 표본추출법에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구결과에서 도출된 파프리카 온실에서 담배가루이의 표본추출법 및 의사결정법은 국내 파프리카 온실에서 적용할 수 있는 담배가루이의 경제적 피해허용수준 값의 연구와 더불어 시간과 노력을 줄일 수 있는 해충 방제전략이 가능할 것으로 사료된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구과제(세부과제번호: PJ01085103)의 지원에 의해 이루어졌습니다. 파프리카 온실에서 연구를 할 수 있도록 도와준 양승희님께 감사드립니다. 실험을 도와준 윤준호, 강주완, 김현후, 강배홍, 박희택님께 감사드립니다.

Literature cited

- Binns, M. R., Nyrop, J. P., 1992. Sampling insect population for the purpose of IPM decision making. *Annu. Rev. Entomol.* 37, 427-453.
- Byrne, D. N., 1999. Migration and dispersal by the sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci*. *Agri. Forest Meterol.* 97, 309-316.
- Jung, E. M., Kim, W. T., Kim, S. L., Yoon, S. H., 2008. Trend and challenge of paprika industry. C2008-22. Korea Rural Economic Institute. (in Korean).
- Green, R. H., 1970. On fixed precision level sequential sampling. *Res. Popul. Ecol.* 12, 249-251.
- Iwao, S., 1975. A new method of sequential sampling to classify populations relative to a critical density. *Res. Popul. Ecol.* 16, 281-288.
- Jones, D., 2003. Plant viruses transmitted by whiteflies. *Eur. J. Plant Pathol.* 109, 197-221.
- Kim, J. K., 2009. The population dynamics and management strategies of sweetpotato White fly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae). M. D. Dissertation, Gyengsang National University, Jinju, Korea. (in Korean with English abstract).
- Kim, H. S., 2014. A Study on the Improvement of Management Activities in Paprika Industry. M. D. Dissertation, Gyengsang National University, Jinju, Korea. (in Korean with English abstract).
- 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.
- Lee, M. H., Kang, S. Y., 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-biotypes of *Bemisia tabaci* in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 44, 169-175. (in Korean with English abstract).
- Naranjo, S. E., Flint, H. M., 1994. Spatial distribution of Preimaginal *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in Cotton and development of fixed-precision sequential sampling plans. *Environ. Entomol.* 23, 254-266.
- Naranjo, S. E., Flint, H. M., 1995. Spatial distribution of adult *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in cotton and development and validation of fixed-precision sequential sampling plans for estimation population density. *Environ. Entomol.* 24, 261-270.
- Naranjo, S. E., Hutchison, W. D., 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, J.-J., Park, H., Kim, Y. H., Cho, J., 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, H. H., Kim, K. H., Park, C. G., Choi, B. R., Kim, J. J., Lee, S. W., Lee, S. G., 2009. Damage analysis and Control threshold of *Frankliniella occidentalis Pergande* (Thysanoptera: Tripidae) on Greenhouse Eggplant and Sweet pepper. *Korean J. Appl. Entomol.* 48, 229-236. (in Korean with English abstract).
- Park, S. H., Lee, J. H., Woo, J. H., Choi, S. Y., Park, S. D., Park, H. H., 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, L. P., 1989. *Entomology and Pest Management*. Macmillian Publish, NY.
- Pedigo, L. P., 1994. Introduction to sampling arthropod populations. In: Pedigo, L. P. and G. D. Buntin (ed), *Handbook of Sampling Methods for Arthropods in Agriculture*. CRC press. FL., 1-11.
- Ruesink, W.G., 1980. Introduction to sampling theory. In: M.Kogan and D.C. Herzog (ed), *Sampling Methods in Soybean Entomology*. Springer, NY, pp. 61-78.
- SAS Institute, 1995. *SAS user's guide*. SAS Institute, Cary, NC.
- Sokal, R. R., Rohlf, F. J., 1981. *Biometry*, 2nd ed. W. H. Freeman and Company. NY.
- 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. L., Lamb, R. J., 1995. Spatial distribution and sequential sampling methods for the potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Homoptera: Aphididae), in oilseed flax. *Can. Entomol.* 127, 967-976.