

온실재배 오이의 생육단계별 목화진딧물의 주내 분포 특성에 기초한 축차표본조사법

정부근 · 송정흠^{1*} · 이흥수 · 최병렬²

경남농업기술원 친환경연구과, ¹제주특별자치도농업기술원 친환경연구과, ²국립농업과학원 작물보호과

Sequential Sampling Plan for *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) based on Its Intra-plant Distribution Patterns in Greenhouse Cucumber at Different Growth Stages

Bu-Keun Chung, Jeong-Heub Song^{1*}, Heung-Su Lee and Byeong-Ryul Choi²

Div. of Plant Environ., Gyeongsangnam-do Agric. Res. & Extn Serv., Jinju 52733, Korea

¹Div. of Sustainable Agric. Res., Jeju Special Self-governing Province Agric. Res. & Extn Serv., Seogwipo 63556, Korea

²Crop Protection Div., National Academy of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea

ABSTRACT: This study describes the development of a method for monitoring *Aphis gossypii* in greenhouse cucumber fields that was used during 2013 and 2014. The dispersion pattern of *A. gossypii* was determined by commonly used methods: Taylor's power law (TPL) and Iwao's patchiness regression (IPR). The sample unit was determined by linear regression analysis between mean density of sample unit versus whole plant. The optimum sample unit for different plant growth stages was two leaves (median and the lowest + 1 leaf) when the total number of leaves was less than nine, and three leaves (4th, 7th from canopy, and the lowest + 1 leaf) when the total number of leaves was greater than nine. *A. gossypii* showed an aggregated distribution pattern, as the slopes of both TPL and IPR lines were greater than 1. TPL provided a better description of the mean-variance relationship than did IPR. The slopes and intercepts of TPL and IPR from leaf samples did not differ between the surveyed years. Fixed precision levels (D) for a sequential sampling plan were developed using Green's and Kuno's equations based on the number of aphid in a leaf sample. Green's method was more efficient than Kuno's to stop sampling. The number of samples needed to estimate the density of *A. gossypii* increased at higher D levels and lower mean densities. The cumulative number of aphids needed to stop sampling increased at higher D levels and with fewer plants sampled. Thus to estimate 10 aphids per leaf, 13 plants needed to be sampled, and the cumulative number of aphids to stop sampling was 131.

Key words: Cucumber, *Aphis gossypii*, Sampling plan, Spatial distribution

조 록: 온실재배 오이에 발생하는 목화진딧물의 발생밀도를 추정하는 표본조사법을 개발하기 위하여 2개년(2013-2014년) 동안 주 전체의 잎별 발생밀도를 조사하였다. 목화진딧물의 공간분포 특성은 일반적으로 사용되는 Taylor's power law(TPL)와 Iwao's patchiness regression (IPR) 두 가지 방법을 이용하여 분포특성을 조사하였다. 목화진딧물의 주 전체 밀도를 대표할 수 있는 표본단위를 일정 잎 위치의 평균밀도와 주 전체의 잎당 평균밀도와 일반선형 회귀식을 이용하여 결정하였다. 적정 표본단위는 오이 생육기에 따라 달랐는데, 총엽수가 9매 미만일 경우 2매(중위엽과 최하위+1번째 엽), 그 이상인 경우에는 3매(위로부터 4번째, 7번째, 최하위+1번째 엽)를 조사하는 것이 적합하였다. 오이에서 목화진딧물의 공간분포 특성은 TPL과 IPR의 기울기가 모두 "1"보다 커 집중분포를 하고 있었으며, 진딧물의 평균-분산 관계를 TPL이 IPR보다 더 잘 설명하였다. TPL의 기울기와 절편은 연차간에 차이가 없었으며, Green과 Kuno의 식을 이용하여 고정 정확도(D) 수준에서의 축차표본조사법을 개발하였다. 목화진딧물의 축차표본조사법은 Green의 방법이 Kuno에 비해 더 효율적이었다. 목화진딧물의 일정 평균밀도를 추정하기 위해 필요한 조사 주수는 D 값과 잎당 평균밀도가 낮을수록 증가하는 경향이었고, 표본조사를 중지할 수 있는 누적 진딧물 수는 D 값이 낮을수록, 조사 주수가 적을수록 증가하는 경향이었고, 목화진딧물 잎당 10마리의 밀도를 추정하기 위해 필요한 조사 주수는 13주이었고, 이 때 조사를 중지하기 위한 누적 진딧물수는 131마리이었다.

검색어: 오이, 목화진딧물, 표본조사법, 공간분포

*Corresponding author: sjheub@korea.kr

Received August 12 2015; Revised October 21 2015

Accepted October 29 2015

목화진딧물, *Aphis gossypii*는 온실에서 재배되는 대표적인 과채류인 오이에 발생하는 주요 해충종의 하나이다(Cho et al., 1998; Chung and Son, 2001; Hou et al., 2007; Park et al., 2001; Jeon et al., 2006). 온실 내에서 목화진딧물의 발생량에 영향을 미치는 요인으로 비래 최성기(Kwon et al., 2002; Lee et al., 2000)와 그 시기의 발생량, 바이러스 매개(Gera et al., 1979) 등이 알려져 있다. 목화진딧물의 효율적인 관리를 위해서는 발생 밀도를 정확하게 추정하는 모델개발도 중요하다. 온실재배 오이의 목화진딧물이 정식초기에 바이러스를 매개하게 되면 온실 내 작물 생육이 불규칙하게 되어 재배관리가 복잡해진다. 영양생장이 활발하게 이루어지는 생육 전반기에 하엽에서 증식한 목화진딧물은 측아를 통해 상부로 이동하여 오이의 생장점을 가해하여 순댓이 현상이 발생하기도 하며 부차적으로 생식생장이 지연되면서 출하시기가 늦어지는 등 생산성이 낮아진다. 또한 생장점 부위에는 농약 침투가 어려워 목화진딧물이 지속적으로 발생하게 되어 농약 의존성이 더욱 높아지기 때문에 장기재배 온실에서는 농약 저항성 발달이 쉽다(Herron et al., 2001). 또한 농약 의존도가 높아지면 선택독성의 측면에서 기생성 혹은 포식성 천적보다 해충인 목화진딧물의 증식에 유리한 환경이 형성되는 악순환이 반복된다. 이는 농가에서 생육초기부터 주기적인 방제를 통해 목화진딧물을 관리하는 원인 중 하나이며 이를 개선하기 위해 정확도가 높은 발생밀도 추정모델이 필요하다.

표본조사법과 경제적 피해허용 수준 설정은 IPM의 성공적인 정착을 위한 필요조건일 뿐만 아니라 두 가지 기술은 신뢰성과 실용성을 담보한 해충방제 의사결정의 필수적인 구성요소이다(Hutchison, 1994). 오이에서 표본조사법은 꽃노랑총채벌레(Cho et al., 1998; Wang and Shipp, 2001), 담배가루이(Hou et al., 2007) 등에 대한 표본조사법 연구가 진행되었다. 목화진딧물에 대한 기존의 표본조사법은 Park et al. (2001)이 황색끈끈이 트랩을 이용 목화진딧물 유시충의 발생밀도를 손쉽게 추정하는 모델을 개발하였으나 작물에서의 진딧물 발생밀도와의 연관성에 대한 연구는 없다. Burgio et al. (1994)과 Kang et al. (2012)은 이항표본조사법을 제안한 바 있으나 주 내 분포에 근거한 조사잎의 선정 등 구체적인 조사절차에 대한 정보는 부족한 실정이다.

대표적인 온실작물인 오이는 재배작형이 매우 다양하다. 재배시기뿐만 아니라 재배방식(토경, 수경 등)에 따라서 재배기간에 큰 차이가 있다. 남부지방에서 수경재배를 하는 경우 온실 내 기온이 아주 높은 여름철을 제외하고 연중 재배가 되고있다. 토경재배하는 경우는 병해충의 발생과 온실 재배 환경의 관리, 토양 중 오이에 필요한 양분공급의 지속 가능성, 겨울철 난방

비, 농가소득 중 오이의 비중등에 따라 재배기간을 단기에서 중기까지 다양하게 유지하고 있다. 따라서 목화진딧물의 비래 최성기가 6월 상·중순이라고 하더라도 농가 온실 내 오이는 정식초기 단계부터 작기 종료 후 다음 작기를 준비하는 오이까지 다양한 생육단계가 존재한다고 할 수 있다. 따라서 오이에서 진딧물의 표본조사법 개발은 오이의 생육단계별 정보를 기반으로 하여 작성되어야 한다.

본 연구는 시설재배 오이에서 목화진딧물 발생밀도 추정의 정확도를 높이기 위하여 오이의 다양한 생육단계별 주내 수직 분포를 분석하고 밀도추정에 적합한 적정 표본조사 잎의 위치와 수를 결정하였으며, 이를 이용한 축차표본조사법을 개발하였다.

재료 및 방법

오이 재배와 자료수집

오이에서 목화진딧물의 표본조사법을 개발하기 위하여 3연동 비닐하우스에서 시험을 수행하였다. 오이를 정식하기 전 농가에서 일반적으로 재배하는 방식으로 토양분석 후 오이의 시비량을 결정, 시비 하였으며, 낙동청장마디오이를 2013년 4월 30일과 2014년 4월 2일 40 × 170 cm 간격으로 가로세로 약 25 m 되는 온실의 9개 이랑에 정식하였다. 오이 재배기간 중 목화진딧물에 영향이 적은 작물보호제를 이용하여 다른 병해충을 관리하였다. 오이재배는 1주지 수직유인법을 이용하였으며 오이 하엽의 제거는 열매를 수확하기 시작하면서 열매를 기준으로 하위 2엽을 남기고 그 아래 잎은 모두 제거하였다. 조사기간 동안 오이의 1주당 엽수는 4 ~ 19장이었다.

목화진딧물의 조사 구는 이랑에 정식된 오이를 기준으로 온실 앞과 뒤의 출입문으로부터 3주를 제외하고 온실을 2013년에 18개, 2014년에 총 25개 구획으로 나누었는데 이는 이랑 길이가 해에 따라 다소 달랐기 때문이다. 구획 내에서 조사주는 4번째 주마다 1주씩을 택하여 총 4주를 선택하여 조사하였다. 오이 잎의 위치는 엽폭이 약 6 cm되는 최상위 오이 잎을 첫 번째 잎으로 하여 아래로 내려가면서 최하위 잎까지 순위를 부여하였고 각각의 잎에 발생한 목화진딧물 수를 성충과 약충 모두 합하여 육안으로 조사하였다.

자료분석과 통계분석

적정 표본조사 잎을 선정하기 위하여 수직으로 유인하고 있는 오이의 개별 주내에서 잎의 위치별로 발생하는 목화진딧물의 분포 특성을 검토하였다. 주 전체 잎에 발생한 목화진딧물의

총수와 잎 위치별 발생비율 자료를 이용하여, 오이 1주 전체의 조사일당 평균밀도와 주당 잎 수가 9엽 미만인 경우 중위엽과 차상위엽 2매의 평균밀도와 주당 잎 수가 9매 이상인 경우 제4엽과 제7엽, 차상위엽 3엽의 평균밀도와와의 관계를 엑셀프로그램(Microsoft Excel)으로 선형회귀분석으로 적합성을 검정하였다.

조사 구획 별로 선정된 주의 목화진딧물 일당 평균밀도와 그 분산을 구하였다. 공간분포 분석은 일반적으로 이용하고 있는 Taylor's power law (TPL, Taylor, 1961)와 Iwao's patchiness regression (IPR, Iwao, 1968) 두 가지 방법을 사용하였다.

TPL은 $s^2 = a \cdot m^b$ 식을 근거로 자연대수로 변환하여 얻은 회귀식($\ln s^2 = \ln a + b \ln m$)으로 결정하였다(Taylor, 1961, 1971). 여기서 s^2 은 표본분산이고 m 은 표본의 평균값이다. a 와 b 는 평균과 분산의 자연대수 값을 사용하여 회귀분석(PROC REG, SAS Institute, 1999)을 통하여 얻어진 모수로 기울기 b 값은 종 특이적인 상수이면서 분포의 집중도를 판단하는 지수로 $b=1$ 이면 임의분포를 하고, $b > 1$ 이면 집중분포를, $b < 1$ 이면 균등분포를 하고 있음을 의미한다. 절편 a 값의 역자연대수 값은 환경, 표본조사 과정과 이용된 분포단위에 관계되는 규모 요인이다(Southwood, 1978). IPR은 Lloyd의 평균군집도 [$\bar{m} = m + s^2 / m - 1$]와 평균(m) 간의 회귀모델($\bar{m} = a + \beta m$)에 기초하고 있다(Iwao, 1968; Lloyd, 1967). 기울기(β)는 TPL에서와 같은 의미이다. β 는 생물이 환경을 이용한 분포형태와 관계되는 반면에 절편(a)는 생물의 단위 면적당 밀도를 나타낸다(Southwood, 1978). 회귀식의 모수를 추정하는 데는 GLM (PROC GLM, SAS Institute, 1999)을 사용하였다. 각 선형모델(TPL과 IPR)의 적합도는 회귀식의 결정계수 r^2 의 값을 이용하여 평가하였다. Student t -test를 회귀직선의 기울기(b 와 β)와 분산지수의 지표값 1.0과의 차이를 검정하는 데 사용하였다. 연차간 Taylor와 Iwao 회귀식의 기울기와 절편 값의 동일성을 공분산분석(ANCOVA)으로 검정하였다(Sokal and Rohlf, 1981). 연차간 검정에서 차이가 없으면 자료를 통합하여 기울기와 절편 값을 구하였다.

Taylor's power law에 근거한 주어진 D 에서 측차 표본조사 중지선은 다음 식(Green, 1970)을 사용하여 계산하였다.

$$\ln(T_n) = \frac{\ln(D^2/a)}{b-2} + \frac{b-1}{b-2} \ln(n)$$

여기서 T_n 은 식물체 당 누적 목화진딧물 수(표본 n 에 대한 누적수)이고, D 는 고정된 정확도, a 와 b 는 TPL 상수 값, n 은 표본수이다. 중지선을 추정하는데 이용된 D 값은 정확도와 표본크기에 대해 일반적으로 받아들여지며, 대부분의 해충관리에 알

맞은 수준인 것으로 알려져 있다(Southwood, 1978). IPR에 근거한 고정 정확도에서의 측차표본조사는 Kuno (1969)의 방법을 사용하였다. $T_n \geq (a+1) / \{D^2 - (\beta - 1) / n\}$ 여기서 T_n 은 표본 n 에서 계수된 누적 개체 수이고, D 는 SEM/m 으로 측정된 정확도 수준이고, a 와 β 는 $\bar{m} - m$ 회귀식의 상수 값이다. 이 조사 중지선은 최소표본크기(minimum sample size) $> (\beta - 1) / D^2$ 인 경우에 한정되어 사용될 수 있다.

결과 및 고찰

오이에서 목화진딧물의 발생밀도를 추정함에 있어 조사의 정확도와 효율성을 높이기 위하여 오이 전체에 발생한 목화진딧물의 일당 평균 마리수와 표본조사 일당 평균 마리수에 대하여 2013년과 2014년도 자료를 통합하여 분석한 결과이다(Fig. 1). 이 그림에서 보는 바와 같이 결정계수가 0.95로 오이 주당 잎수 9매를 기준으로 주당 2매와 3매를 조사하여 구한 일당 평균밀도가 조사주 전체의 일당 평균밀도를 잘 표현하고 있었다 ($t = 40.05, p < 0.01$). 이는 온실재배 오이의 재배방법과 목화진딧물의 발생특성과 관련된 것이다. 진딧물 유시충이 처음에 온실 내부로 이동, 신초부분에서 증식하게 되는데 오이가 자람에 따라 줄기를 밑으로 내리므로 발생 잎이 아랫쪽으로 이동하게 된다. 따라서 진딧물 발생단계(유입기, 정착기, 증식기)에 따라 발생 잎의 위치가 달라지기 때문에 밀도를 조사할 때 오이 생육단계에 따라 조사 잎의 위치를 달리해야 한다.

오이에서 목화진딧물의 공간분포양상을 나타내는 분산지수는 총 30개의 자료를 이용하여 TPL과 IPR 분석을 하였다(Table 1). TPL의 결정계수는 2013년에 0.74로 IPR과 차이가 없었으나 2014년에 TPL에서 0.87로 IPR의 0.76 보다 높았고 2013년과 2014년을 통합한 결과도 같은 경향으로 TPL이 IPR보다 오이에서 목화진딧물의 공간분포 특성을 더 잘 설명하고 있었다. 연도별 회귀식의 기울기와 절편 값의 동일성을 공분산분석(ANCOVA)으로 검정한 연도간 회귀식이 차이가 없었다($p > 0.1$). 따라서 2013년 자료와 2014년 자료를 통합하여 기울기와 절편 값을 구하였다. 통합 TPL 회귀식 기울기 값($b = 1.36$)이 1.0보다 유의하게 높아($t = 3.201, p < 0.01$) 집중분포를 하고 있었다.

Burgio et al. (1994)는 오이 100주에서 임의로 150~400 잎을 조사하여 TPL로 분석하였을 때, 결정계수가 0.97~0.98 사이로 매우 높았다. 그러나 조사 잎을 대상으로 목화진딧물의 발생 여부를 기준으로 하는 이항표본조사법을 적용하여 분석한 결과, $D = 0.30$ 수준에서 개체군의 크기를 50, 100, 150 마리의 진딧물로 추정하기 위해 필요한 표본크기는 723, 596, 532잎으로 많은 조사비용이 요구되었다. Burgio et al. (1994)가 적용한

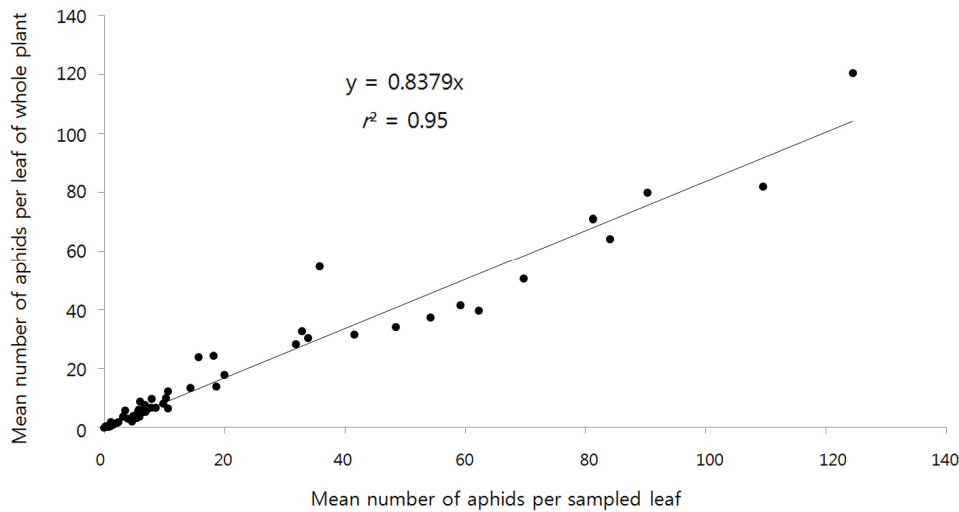


Fig. 1. Regression between mean number of aphids per leaf of whole plant and mean number of aphids per sampled leaf. Leaves sampled were selected two leaves from the middle leaf and immediate upper leaf of the lowest leaf when total number of leaves were less than nine leaves per plant, early stage of cucumber growth, and three leaves from the 4th, 7th, and immediate upper leaf of the lowest leaf when more than 9 leaves, later stage. Slope \pm SE: 0.837871 ± 0.020922 ; $t = 40.04805$, $p < 0.01$.

Table 1. Dispersion indices for melon aphids on cucumber leaf by Taylor's power law (TPL) and Iwao's patchness regression (IPR)¹⁾

| Year | No. of data sets | TPL | | | IPR | | |
|-------|------------------|------------------------|-----------------|-------|------------------------|-----------------|-------|
| | | $\ln(a)$ | b | r^2 | a | β | r^2 |
| 2013 | 15 | $0.15 \pm 0.68^{n.s.}$ | 1.83 ± 0.30 | 0.74 | $1.99 \pm 2.53^{n.s.}$ | 1.54 ± 0.24 | 0.74 |
| 2014 | 15 | 1.36 ± 0.24 | 1.37 ± 0.14 | 0.87 | $3.16 \pm 1.94^{n.s.}$ | 1.61 ± 0.25 | 0.76 |
| Total | 30 | 1.27 ± 0.22 | 1.36 ± 0.11 | 0.84 | $2.98 \pm 1.47^{n.s.}$ | 1.51 ± 0.16 | 0.77 |

¹⁾Both slopes and intercepts by the analysis of covariance are $p > 0.1$, which indicates yearly data can be analyzed together. All slopes of TPL and IPR was > 1 with $t = 2.76667$, $p = 0.00496$ for 2013, $t = 2.64286$, $p = 0.00665$ for 2014 and $t = 3.272273$, $p = 0.00142$ for 2013-2014 in TPL and with $t = 2.25$, $p = 0.01625$ for 2013, $t = 2.44$, $p = 0.01064$ for 2014 and $t = 3.1875$, $p = 0.00176$ for 2013-2014 in IPR.

$D = 0.30$ 보다도 더 높은 정확도인 $D = 0.25$ 를 적용했을 때 목화진딧물의 누적 마리수가 202 마리로 추정되었는데 이 때 필요한 조사주수는 6주이었다(Fig. 3). 이것을 조사잎수로 환산하면 오이 식물체의 잎수가 9매 이상일 때 조사해야 하는 잎수는 18매에 불과해 본 연구결과의 조사비용이 훨씬 적음을 보여 주고 있다. Burgio et al. (1994)에서 과도한 크기의 표본크기가 요구되는 원인으로서 조사대상 잎을 임의로 설정함으로써 오이 식물체 주 내에 발생하는 목화진딧물의 수가 잎의 위치에 따라 다르다는 정보가 반영되지 못하였기 때문이다. Kang et al. (2012)은 하위엽부터 제 3 엽과 6 엽을 대상으로 목화진딧물을 7~10일 간격으로 조사한 결과를 근거로 tally threshold를 설정하여 이항표본조사법을 제시하면서 단순성, 신속성, 미소곤충에서 유효성 측면에서 실효적이라고 하면서 잎당 5마리 이상 발생한 엽수(tally threshold = 5)를 이용하는 경우 이항표본조사 모델의 안정성과 이용성을 높일 수 있다고 하였으나 정확도 수준이 0.346~0.380으로 낮아 개선이 필요하였다. 측차표본

조사법의 경우 발생한 진딧물수를 모두 계수해야 하기 때문에 표본조사 시간 증가(비용증가), 조사구역 내 국지적인 고밀도 발생 등으로 인한 데이터의 편중문제가 발생하기도 한다. 그러나 본 연구에서와 같이 발생밀도가 낮은 경우에는 조사비용과 조사의 오차를 줄일 수 있다. 일반적으로 농가 재배포장에서 진딧물 발생밀도는 잎당 200마리 이상으로 증가하는 경우는 거의 없으며, 보통 30 마리 내외로 표본조사에 소요되는 시간이 길어지는 일은 없었다.

해충의 방제시기를 결정할 때 일반적으로 평균밀도나 발생률을 근거로 하고 있다. 평균밀도를 기준으로 방제시기를 결정하는 경우 해충이 집중분포를 하고 있어 포장 전체의 잎당 평균 밀도가 낮더라도 일부에서는 피해가 발생된 것을 종종 볼 수 있다. 이를 최소화하기 위하여 잎당 목화진딧물의 평균 마리수와 최대 마리수의 자연대수를 적용한 관계식을 구한 결과 결정계수가 0.788로 높은 설명력을 나타내고 있었다(Fig. 2). 본 표본조사법은 잎당 평균 마리수에 근거를 두고 있음을 고려할 때 실

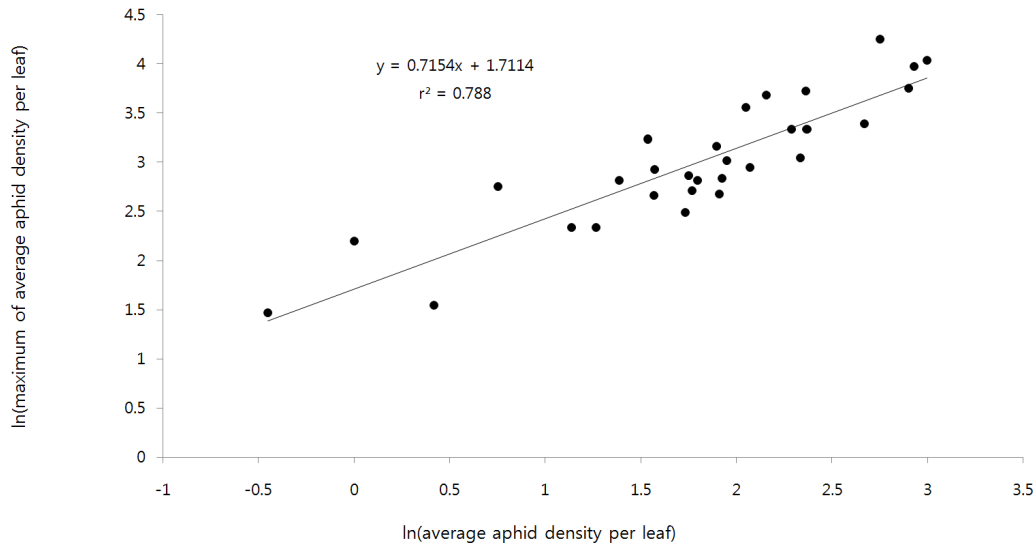


Fig. 2. Relationship between mean and maximum numbers of melon aphid per leaf in a cucumber greenhouse.

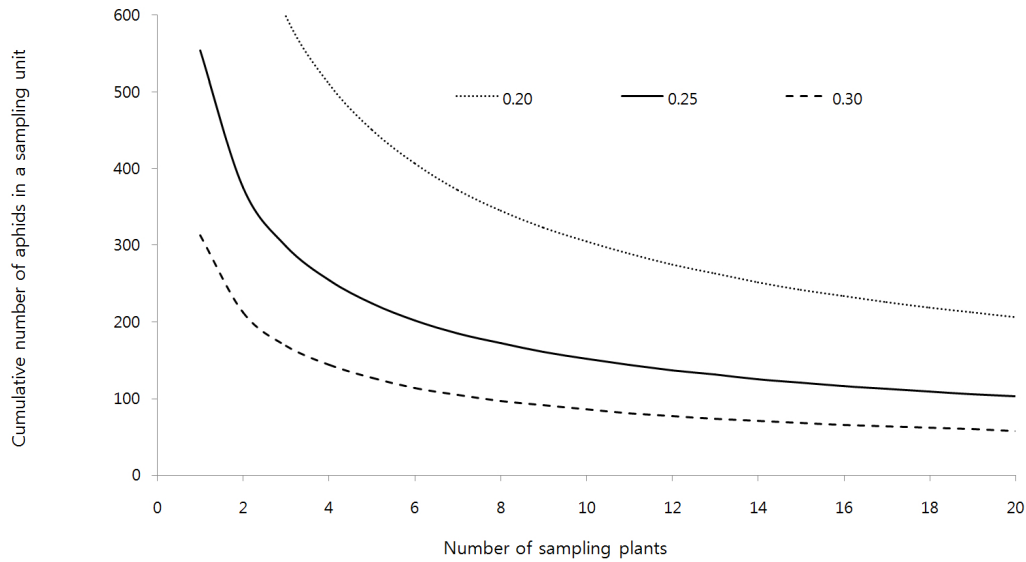


Fig. 3. Green's sequential sampling stop-lines for estimating the densities of melon aphids in cucumber at a fixed precision level of 0.20, 0.25, and 0.30.

제 포장상황은 최대 발생 마리수를 염두에 두고 보수적으로 본 모델을 이용하는 것이 바람직할 것이다. 잎당 평균 5, 10, 15, 20 마리일 때 최대 마리 수는 각각 18, 29, 38, 47 마리로 평균치의 2.4~3.6배 더 높았고 평균밀도가 낮을수록 평균 마리수 대비 최대 마리수의 차이가 더 크게 증가하는 경향이였다. 오이에서 목화진딧물의 방제수준에 대한 연구결과는 없으나 보통 25%의 발생엽율로 하고 있다. Kang et al. (2012)에 의하면 25%의 발생엽율일 때 잎당 밀도가 약 20마리로 추정하고 있는데, 이를 본 연구결과에 적용하면 잎당 목화진딧물 평균 마리수가 6마리일 때 잎당 최대 마리수가 20 마리로 추정되였다. 따라서 오이

에서 목화진딧물 피해를 최소화하기 위해서는 잎당 평균밀도를 6.0마리로 하는 것이 타당하다고 여겨진다.

Fig. 3은 식물체 주수로 표현된 표본단위수와 주어진 D 에서 TPL의 모수 값을 이용하여 Green (1970)의 식에 적용하여 산출한 표본조사를 중지하는 누적 목화진딧물 마리수와의 관계를 나타낸 것이다. 표본조사를 중지하기 위한 누적 진딧물수는 정확도 수준이 높을수록, 조사 주수가 적을수록 증가하는 경향이였다. $D=0.25$ 일 때, 표본조사 단위 5, 10, 15, 20 앞에서 표본조사를 중지하기까지 필요한 목화진딧물의 누적 마리수는 각각 224, 152, 121, 103, 마리가 필요한 것으로 나타났다. 10주를

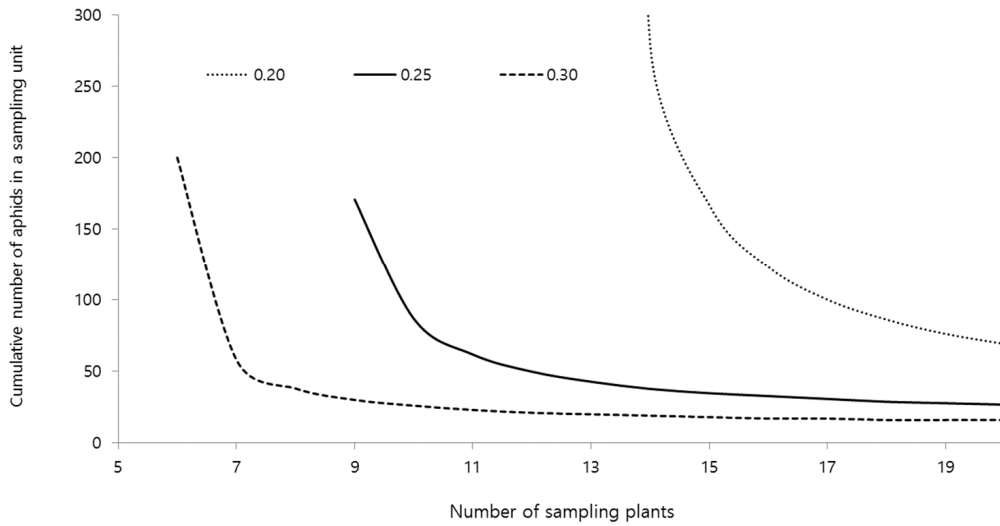


Fig. 4. Kuno's sequential sampling stop lines for melon aphids in greenhouse cucumber at a fixed-precision levels, 0.20, 0.25 and 0.30.

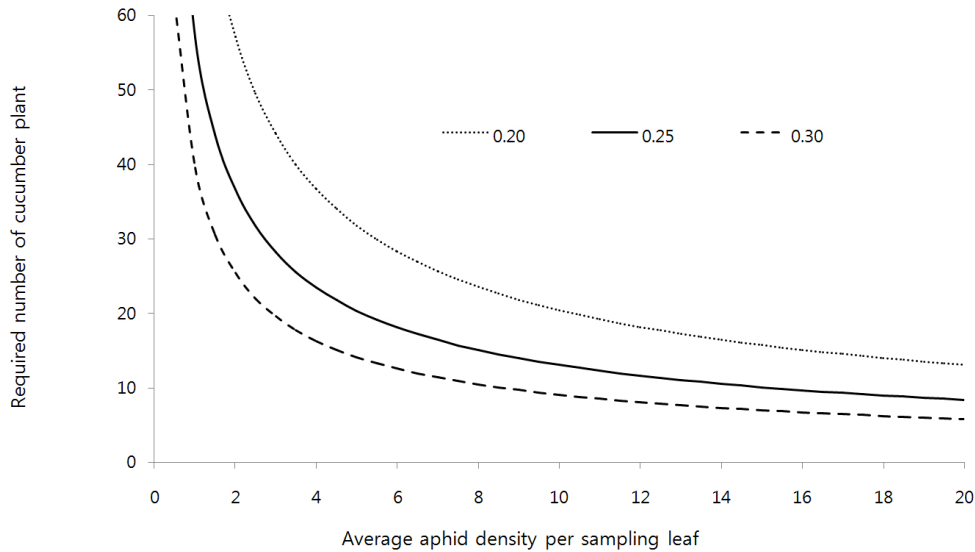


Fig. 5. Required number of sampled cucumber plants on the basis of different mean numbers of melon aphids per sampled leaf at a fixed precision level of 0.20, 0.25 and 0.30.

조사한 경우 정확도 수준 0.20, 0.25, 0.30에서 조사를 중지할 수 있는 진딧물 누적밀도는 각각 305, 152, 86 마리이었다.

Fig. 4는 Kuno (1969)의 식에 의하여 IPR의 모수 값을 이용하여 고정 정확도 수준별 표본조사 중지선을 구한 것이다. 고정 정확도 수준이 높을수록, 조사 주수가 적을수록 표본조사를 중지할 수 있는 누적 진딧물수가 증가하는 경향으로 Green의 방법과 일치하는 경향이였다. 고정 정확도 수준 0.20, 0.25, 0.30에서 표본조사를 중지하기 위하여 필요한 최소 표본조사 주수는 13, 9, 6 주이었으며, 그 지점에서 누적 진딧물수가 각각 1,300, 171, 200 마리 이상 발생하는 조건에서 가능하였다. $D=0.25$ 수준에서 조사대상 식물체의 수가 10, 15, 20 주로 증가함

에 따라 누적 목화진딧물의 수는 87, 35, 27 마리로 감소하는 경향도 동일한 양상을 보여주면서도 오히려 누적 목화진딧물의 수가 적어 낮은 밀도에서도 표본조사를 중단할 수 있는 장점이 있었다. Green의 방법에서는 필요한 표본조사 주수가 $D=0.20, 0.25, 0.30$ 에서 각각 1 주 정도로도 표본조사 중단이 가능한 반면 Kuno의 방법으로 할 경우 13, 9, 6주 이상이 필요하여 모델의 안정적인 이용에 다소 한계가 있음을 알 수 있었다.

일정 정확도 수준에서 밀도를 추정하는 데 필요한 조사 주수를 분석한 결과 잎당 평균밀도가 증가할수록 정확도 수준이 낮을수록 조사해야 하는 주수는 감소하는 경향이였다(Fig. 5). 정확도 0.25 수준에서 잎당 평균밀도가 5, 10, 15, 20 마리를 추

정하는데 필요한 조사 주수는 각각 20, 13, 10, 8주이었다. 앞당 평균밀도가 10마리일 때 정확도 0.20, 0.25, 0.30 수준에서 조사해야 하는 주수는 각각 20, 13, 9주이었다. 따라서 오이에서 목화진딧물의 발생량은 20주 내외를 조사하면 정확하게 추정할 수 있다. 포장에서 목화진딧물 발생에 대한 보다 정확한 예측 정보는 1) 약제방제 효율을 보다 신속 정확하게 측정할 수 있음은 물론, 2) 온도에 따른 기생자나 포식자의 발육 속도뿐만 아니라 목화진딧물의 발육 속도와 연계한 동적인 발생동태 정보를 바탕으로 천적의 투입량을 결정하는 데 유용한 정보를 제공하며, 3) 천적에 의한 목화진딧물의 방제효율에 대한 평가에 있어서도 보다 정확한 판단 근거를 제시할 것이다.

Literature Cited

- Burgio, G., Ferrari, R., Antomiacci, R., 1994. Spatial distribution and binomial sampling of *Aphid gossypii* (Hemiptera: Aphididae) infesting protected cucumber and melon in northern Italy. *Boll. Ist. Ent., G. Grandi Univ. Bologna* 48, 229-237.
- Cho, K., Kang, S.H., Lee, J.O., 1998. Spatial distribution of thrips in greenhouse cucumber and development of a fixed-precision sampling plan for estimating population density. *J. Asia-Pac. Entomol.* 1, 163-170.
- Chung, B.K., Son, K.A., 2001. Control system of whitefly, *Trialeuodes vaporariorum* in cucumber by the alternate application of insecticides within each conventional group. *Korean J. Appl. Entomol.* 40, 327-335.
- Gera, A., Loebenstein, G., Raccach, B., 1979. Protein coats of two strains of cucumber mosaic virus affect transmission by *Aphis gossypii*. *Phytopathology* 69, 396-399.
- Green, R.H., 1970. On fixed precision sequential sampling. *Res. Popul Ecol.* 12, 1-20.
- Herron, G.A., Powis, K., Rophail, J., 2001. Insecticide resistance in *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) a serious threat to Australian cotton. *Australian J. Entomol.* 40, 85-91.
- Hou, M., Lu, W., Wen, J., 2007. Within-plant distribution of *Bemisia tacaci* (Homoptera: Aleyrodidae) adults and immatures on greenhouse-grown winter cucumber plants. *J. Econ. Entomol.* 100, 160-1165.
- Hutchison, W.D., 1994. Sequential sampling to determine population density. 207-243, in: Pedigo, L.P., Buntin, G.D. (Eds), *Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture*. CRC Press, Boca Raton, Florida. 714pp.
- Iwao, S., 1968. A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal population. *Res. Popul. Ecol.* 10, 1-20.
- Jeon, H.Y., Kim, H.H., Yang, C.Y., 2006. Control threshold of the cotton caterpillar (*Palpita indica* S.) on cucumber in greenhouse. *Korean J. Hort. Sci. Technol.* 24, 465-470.
- Kang, T.J., Park, J.J., Cho, K., Lee, J.H., 2012. A binomial sampling plans for *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) in greenhouse cultivation of cucumbers. *Korean J. Hort. Sci. Technol.* 30, 596-602.
- 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.
- Kwon, M., Park, C.S., Hamh, Y.I., Lee, S.H., 2002. Yearly fluctuation of migrated aphids and PLRV transmission rate at Daegwallyeong highland region in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 41, 247-253.
- Lee, G.H., Choi, M.Y., Lee, S.C., Park, H.M., 2000. Effects of temperature on the development and seasonal occurrences of *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysopidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 39, 245-250.
- Lloyd, M., 1967. Mean crowding. *J. Anim. Ecol.* 36, 1-30.
- Park, J.J., Kim, J.K., Park, H., Cho, K., 2001. Development of time-efficient method for estimating aphids density using yellow sticky traps in cucumber greenhouses. *J. Asia-Pac. Entomol.* 4, 143-148.
- 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.
- SAS Institute, 1999. *SAS OnlineDoc*[®], Version 8, SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Taylor, L.R., 1961. Aggregation, variation and the mean. *Nature* 189, 732-735.
- Taylor, L.R., 1971. Aggregation as a species characteristic, in: Patil, G.P., Pielou, E.C., Waters, W.E. (Eds), *Statistical ecology*. Penn. State Univ. Press, Philadelphia, pp. 357-377.
- Wang, K., Shipp, J.L., 2001. Sequential sampling plans for western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse cucumbers. *J. Econ. Entomol.* 94, 579-585.