

감귤원에서 귤녹응애 공간분포 분석과 표본조사법 개발

송정흠* · 홍순영 · 이신찬

제주특별자치도농업기술원 친환경연구과

Spatial Distribution and Sampling Plan for Pink Citrus Rust Mite, *Aculops pelekassi* (Acari: Eriophyidae) in Citrus Orchard

Jeong Heub Song*, Soon Yeong Hong and Shin Chan Lee

Jeju Agricultural Research and Extension Services

ABSTRACT: The dispersion indices, spatial pattern and sampling plan for pink citrus rust mite (PCRM), *Aculops pelekassi*, monitoring was investigated. Dispersion indices of PCRM indicated the aggregated spatial pattern. Taylor's power law provided better description of variance-mean relationship than Iwao's patchiness regression. Fixed-precision levels (D) of a sequential sampling plan were developed using by Taylor's power law parameters generated from PCRM on fruit sample (cumulated number of PCRM in cm^2 of fruit). Based on Kono-Sugino's empirical binomial the mean density per cm^2 could be estimated from fruit ratio with more than 12 rust mites per cm^2 : $\ln(m) = 4.61 + 1.23 \ln[-\ln(1-p_{12})]$. To determine the optimal tally threshold, the variance ($\text{var}(\ln m)$) for mean ($\ln m$) in Kono-Sugino equation was estimated. The lower and narrow ranged change of variance for estimated mean showed at a tally threshold of 12. To estimate PCRM mean density per cm^2 at fixed precision level 0.25, the required sample number was 13 trees, 5 fruits per tree and 2 points per fruit (total 130 samples).

Key words: Citrus, *Aculops pelekassi*, Dispersion index, Distribution pattern, Binomial sampling plan

초 록: 은주밀감에서 귤녹응애, *Aculops pelekassi*의 분산지수와 분포양상, 표본조사시 적정 표본수에 대하여 조사하였다. 귤녹응애는 집중분포를 하고 있었으며, 분산지수는 Taylor's power law가 Iwao's patchiness regression보다 더 잘 설명하고 있었다. Taylor's power law의 상수를 이용하여 고정 정확도 수준에서 열매 표면 cm^2 당 누적충수에 따라 조사를 중지할 수 있는 표본조사법을 만들었다. 경제적인 표본조사를 위하여 Kono-sugino의 경험적 이항모형을 개발하였으며, 이항모형을 이용하면 귤녹응애가 cm^2 당 12마리 이상 발생한 열매 비율을 이용하여 평균밀도를 추정할 수 있었다: $\ln(m) = 4.61 + 1.23 \ln[-\ln(1-p_{12})]$. 최적의 tally threshold를 결정하기 위하여 추정평균에 대한 분산을 계산한 결과 tally threshold가 12일 때 추정평균의 분산이 적었으며, 발생과율 0.1~0.5의 범위에서 분산의 변동이 거의 없어 다른 tally threshold에 비해 높은 정확도로 평균을 추정할 수 있었다. 적정 표본수를 결정하기 위하여 계층표본조사법을 이용하여 분석한 결과 고정 정확도 0.25수준에서 감귤원당 적정 조사 나무수는 13주였으며, 나무당 조사 열매수는 5개, 열매당 2지점에서 cm^2 당 귤녹응애수 조사가 바람직하였다(총 130표본).

검색어: 감귤, 귤녹응애, 분산지수, 분포양상, 이항표본조사법

귤녹응애, *Aculops pelekassi* Keifer는 흑응애과(Eriophyidae)에 속하며, 암컷 성충의 몸길이가 0.18mm 정도의 썩기형 응애이다(Umeyama and Okada, 2003). 이 해충은 감귤잎과 열매, 가지

에 발생하며, 다갈색의 녹증상을 일으킨다. 귤녹응애 피해는 구침으로 표피세포 1~3층까지 찢러 넣어 흡즙하는 것으로 알려져 있으며(Takagi, 1981), 열매에서 피해가 발생하면 껍질에 부스럼과 같은 증상이 나타나 상품성을 떨어뜨린다.

감귤에 발생하는 해충은 기후변화와 재배방식에 따라 변화하고 있다. 1990년대까지 감귤에 문제가 되는 해충으로는 귤응

*Corresponding author: sjheub@korea.kr

Received January 17 2012; Revised February 14 2012

Accepted March 30 2012

에, 진딧물, 네눈썹가지나방, 꽃노랑총채벌레 등이었다(Kim *et al.*, 2000). 1990년대 말부터 병해충종합관리기술(IPM)과 친환경 재배가 증가하면서 깍지벌레 발생이 증가하고 있으나, 그동안 문제해충이었던 굴녹애는 상대적으로 그 중요도가 감소하고 있다.

제주지역에서 굴녹애에 발생은 1990년대까지는 친환경재배나 대미수출 감귤과 같이 극히 적은 면적에 발생되고 있었다(Kim *et al.*, 2000). 그러나 2000년대 들면서 친환경재배에서 뿐만 아니라 일반재배에서도 발생이 증가하고 있다. 이와 같이 발생이 증가한 원인으로는 감귤에서 검은점무늬병 방제를 위하여 사용되는 만코지수화제와 굴녹애 방제를 위한 살비제 사용의 감소 등에 의한 것으로 추정되고 있다.

굴녹애에는 그 크기로 인해 농업인들이 감귤에 피해가 나타나기 전에 발생여부를 파악하는데 어려움을 겪고 있다. 특히 주로 고온기인 여름철에 발생밀도가 급격히 증가하여 피해를 주고 있어 방제시기를 놓쳐 경제적 손실을 입히고 있다. 지금까지 굴녹애가 문제해충으로 등장하지 않았기 때문에 국내에서 연구가 거의 없는 실정이다.

본 연구는 감귤원에서 확대경($\times 10$)을 이용하여 조사한 자료를 이용하여 굴녹애의 분산지수와 분포양상, 적정 표본수에 대하여 검토하였다.

재료 및 방법

감귤에서 굴녹애의 분포양상과 조사기준을 설정하기 위하여 제주특별자치도 제주시 조천읍 유기재배 감귤원에서 2006년 8월부터 2007년 10월까지 시험을 수행하였다. 조사 감귤원은 13년생의 궁천조생이 2.5 \times 2.5 m 간격으로 심겨져 있었으며, 전체면적은 6,270 m²(702주)이었다. 조산나무의 선정은 포장 전체를 20구획(구획당 30주 내외)으로 나누어 구획 내 1주를 임의로 선정하였다. 굴녹애 밀도조사는 잎의 뒷면의 가장자리를, 열매는 가운데 부분을 중심으로 조사하였다. 조사는 7~14 일 간격으로 하였으며, 확대경($\times 10$, 직경 18 mm)을 이용하여 1 cm²의 넓이 내에 있는 굴녹애 약성충수를 세었다. 시험기간 동안 굴녹애의 밀도에 영향을 주는 자재를 살포한 경우 10일 후에 조사하였다.

공간분포

굴녹애의 공간분포 분석에서 나무내(열매간) 분포에 이용한 자료는 감귤나무 바깥쪽에 위치한 열매를 나무당 10개씩 임의의 1지점에서 조사한 자료를 이용하였다. 나무간 분포는 동일

한 나무에서 조사한 10개 열매의 합을 나무당 자료로 이용하여 평균-분산의 관계분석에 이용하였다.

공간분포 특성에서 분산지수는 일반적으로 많이 사용되고 있는 Iwao's patchiness regression(IPR)과 Taylor's power law(TPL)를 이용하여 분석하였다. IPR은 평균밀도(m)에 대한 평균 군집도[$\bar{m}^* = m + (s^2/m) - 1$]의 회귀식,

$$\bar{m}^* = a + \beta m$$

이다(Iwao, 1968; Lloyd, 1967). 이 회귀식의 상수 β 는 생물이 환경을 이용하는 형태(분포형태)에 관계하며, a 는 생물의 단위 면적당 밀도에 관여한다(Southwood, 1978).

TPL은 자연로그를 취한 평균(m)에 대한 분산(s^2)의 회귀식,

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

이다(Taylor, 1961; 1971). 여기에서 기울기(b)는 종 특이적인 집중상수를 의미하며, $\ln(a)$ 는 규모요인으로 환경이나 표본조사과정, 표본단위에 관계되는 상수이다.

회귀식 상수의 추정은 SAS의 PROC GLM을 이용하였으며(SAS Institute, 1999), 선형모델의 적합성은 결정계수(r^2)를 이용하여 평가하였다. 또한, 회귀식의 기울기가 "1"보다 크다는 것은 Student- t test를 이용하여 판정하였다.

TPL 상수를 이용하여 고정 정확도 수준에서 표본조사를 중지할 수 있는 누적밀도를 추정할 수 있다:

$$\ln(T_n) = [\ln(D^2/a)/(b-2)] + [(b-1)/(b-2)] \ln(n)$$

여기서 T_n 은 표본 n 까지의 누적수, $D(=SE/m)$ 는 고정 정확도, n 은 표본크기, a 와 b 는 TPL 상수이다. 본 연구에서 표본 추출 중지를 결정하는데 이용한 D 값은 0.20과 0.25, 0.30이었으며, 일반적으로 해충관리에 이용되고 있는 정확도는 0.25이다(Southwood, 1978).

Kono and Sugino (1958)의 경험적 이항분포 모형을 이용하여 굴녹애의 cm²당 평균밀도와 T 마리 이상 발생한 과울(p_T)과의 관계를 조사하였다:

$$\ln(m) = a' + b' \ln[-\ln(1-p_T)]$$

여기서 a' 와 b' 는 일반선형모델의 상수값이다(SAS Institute, 1999). 이 모형에 이용한 T 값은 열매표면 cm²당 6과 8, 10, 12, 14 마리로 하였다. 이 선형회귀식의 적합성은 결정계수(r^2)와 잔차

의 제곱평균(MSE)를 이용하여 평가하였다. 또한, 이항표본조사법에 이용된 tally threshold의 정확도를 비교 평가하기 위하여 Schaalje *et al.* (1991)의 방법을 이용하여 $\ln(m)$ 의 분산($\text{var}(\ln m)$)을 추정하였다.

$$\begin{aligned} \text{var}(\ln m) &= c1+c2+(c4-c3) \\ c1 &= (b^2 p_T) / n(1-p_T) \ln(1-p_T)^2 \\ c2 &= \text{MSE} / N + \{ \ln[-\ln(1-p_T)] - P_m \}^2 s_b^2 \\ c3 &= \text{EXP} \{ \ln a + (b-2)[a' + b' \ln(-\ln(1-p_T))] \} / n \\ c4 &= \text{MSE} \end{aligned}$$

여기서 MSE는 선형회귀식 잔차의 제곱평균, N은 회귀식 추정에 이용된 자료수, P_m은 $\ln(-\ln(1-p_T))$ 의 평균값, s_b²는 b'의 분산, n은 표본수, a와 b는 TPL 상수이다.

Kono-Sugino 이항모델의 유효성을 평가하기 위하여 회귀식의 95% 신뢰한계를 계산하였다: $\ln m \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\text{var}(\ln m)}$.

적정 표본단위와 크기

귤녹응애를 현장에서 직접 조사하려면 확대경을 이용할 수 밖에 없으며, 이 때 잎과 열매 전체를 조사하려면 많은 시간과 노력이 필요하다. 따라서 열매조사에서 대표성이 있는 표본단위를 결정할 필요가 있다. 열매 비대가 거의 종료된 8월 하순에 20개의 열매에 대해 열매당 임의의 4지점에서 1 cm²내의 귤녹응애 밀도를 조사한 후 열매 전체를 70% 알코올에 10분간 담가 열매 전체의 밀도를 조사하였다. 이를 오차의 등분산성을 위하여 자연로그를 이용하여 수치를 변환한 후 일차 선형회귀식을 이용하여 분석하였다(PROC REG).

열매를 조사할 때 적절한 표본크기를 결정하기 위하여 임의의 열매 37개(1차 표본단위)에서 임의의 4지점(2차 표본단위)에 대하여 귤녹응애 약성충수를 조사하였다.

적정한 표본크기를 결정은 계층 표본조사법의 분산분석을 통해 분산의 변동폭이 가장 적어지는 표본수를 적정 표본크기로 하였다. 1차와 2차 표본단위에 의한 표본평균의 분산은 다음식에 의하여 산출하였다(Binns *et al.*, 2000):

$$V(n'_p, n'_s) = \frac{VC_b}{n'_p} + \frac{VC_w}{n'_p n'_s}$$

여기서 VC_b: 1차 표본단위간 분산, VC_w: 2차 표본단위간 분산, n_p'와 n_s': 1차와 2차 표본수를 나타낸다.

결과

공간분포 양상

귤녹응애의 분포특성을 분석한 자료의 1 cm²당 평균밀도는 0.2~7.2마리이었다. 나무내(열매간)에서 두 회귀식의 적합성을 나타내는 결정계수(r²)가 TPL과 IPR이 각각 0.92와 0.72로 TPL이 더 높아 TPL이 IPR보다 열매에서 귤녹응애*에 분포를 더 잘 설명하고 있었다(Table 1). 또한 두 회귀식의 기울기(b와 β)가 모두 “1”보다 커 집중분포를 하고 있었다(P<0.01). 나무간 분포특성에서도 TPL(r²=0.94)이 IPR(r²=0.88)보다 높아 TPL의 적합성이 더 좋았으며, 회귀식 기울기값 역시 모두 “1”보다 커 집중분포를 하고 있었다(P<0.01).

나무간 TPL 상수를 이용하여 고정 정확도(D) 수준 0.20과 0.25, 0.30에서 조사나무수에 따라 표본조사를 중지할 수 있는 귤녹응애 누적마리수를 추정하였다(Fig. 1). 고정 정확도 수준이 높을수록 일정 조사나무에서 표본조사 중지를 위한 누적 귤녹응애수가 증가하였다.

Kono-Sugino의 이항모델을 이용하여 귤녹응애 발생과율로부터 평균밀도를 추정할 수 있었다(Table 2). 직선회귀식의 결정계수는 T값이 12까지는 증가하였으나 그 이후는 감소하는 경향이었으며, 잔차의 제곱평균(MSE)은 그 반대의 경향이였다. Kono-Sugino의 이항모델에서 tally threshold(T)의 정확성을 평가하기 위하여 T가 10과 12, 14에 대하여 표본수가 100일 때의 평균에 대한 분산($\text{var}(\ln m)$)을 추정하였다(Fig. 2). T가 12일 때 분산이 10과 14에 비해 낮은 경향이였다. T가 10과 12, 14에서 분산이 0.2 이하인 발생과율의 범위는 각각 0.1~0.15과 0.1~0.5, 0.1~0.2로 tally threshold가 12일 때 넓은 범위에서 낮은 분산값을 유지하고 있었다. 따라서 cm²당 12마리 이상 발생한 열

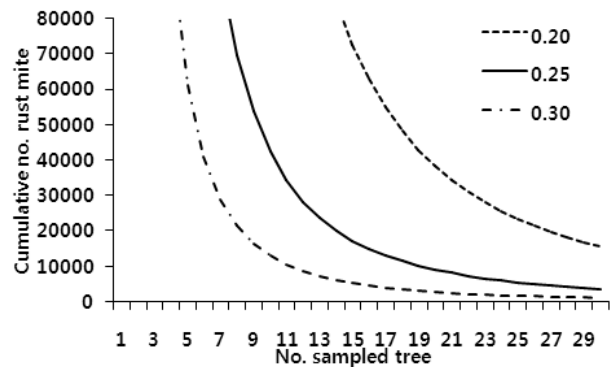


Fig. 1. Inter-tree sequential sampling stop lines for fixed precision levels (D) of 0.20, 0.25 and 0.30 on citrus fruit.

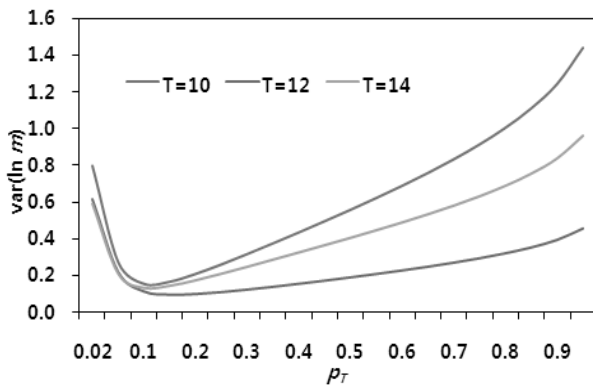


Fig. 2. Changes of estimated variance of mean ($\text{var}(\ln m)$) of Kono-Sugino's equation with different proportion of fruits (p_f) for tally thresholds of 10, 12 and 14. The number of sampled fruit was 100.

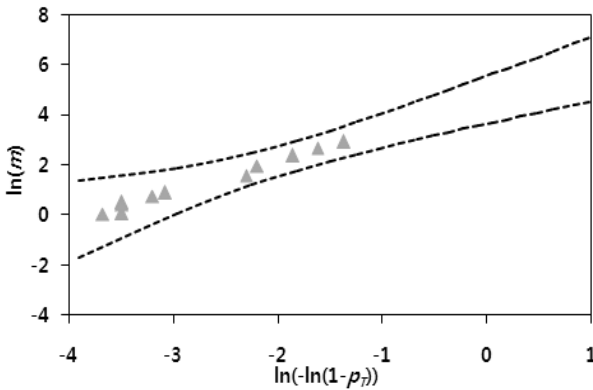


Fig. 3. The fit of the empirical binomial model for observation data set using the tally threshold of 12 rust mites per cm^2 on fruit surface. The dotted lines show 95% confidence intervals.

매 비율을 조사하는 것이 비교적 정확하게 평균밀도를 추정할 수 있는 것으로 나타났다.

추정한 Kono-Sugino 이항모델의 관측치는 모두 추정 회귀식의 95% 신뢰구간 내에 들어 있어 추정된 회귀식이 유효하였다 (Fig. 3).

적정 표본크기

굴녹응에 열매당 총수와 표본단위인 cm^2 당 밀도와와의 관계를 조사한 결과 높은 상관성을 갖고 있었으며, cm^2 당 평균밀도를 이용하여 열매 전체 밀도를 추정할 수 있었다(Fig. 4). 조사한 열매의 평균 크기는 황경이 32.2 cm(25.9~37.8 cm)이었으며, 열매당 굴녹응에 밀도는 2,417.6마리(91~7,976마리)이었다.

나무당 조사 열매수와 조사 나무수가 증가할수록 표준오차는 줄어들었다(Fig. 5). 나무당 조사열매수를 4개 이상으로 증가

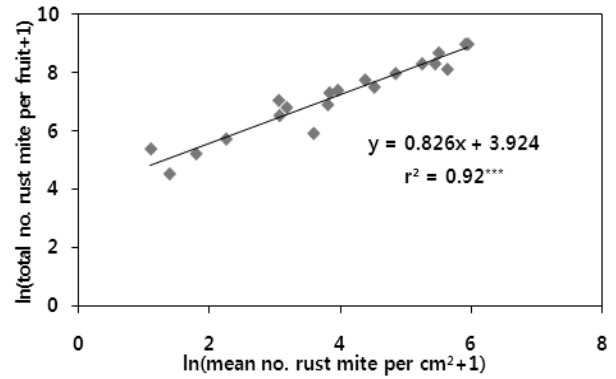


Fig. 4. The relationship between total number of *Aculops pelekassi* on a fruit and mean number per cm^2 sample unit.

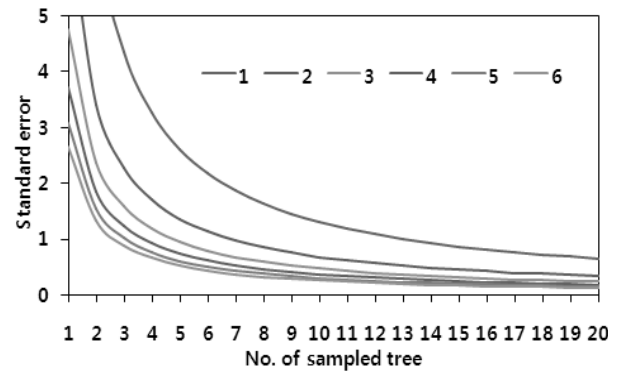


Fig. 5. The relationship between the estimated standard errors and sample size at different number of sampled fruit per tree.

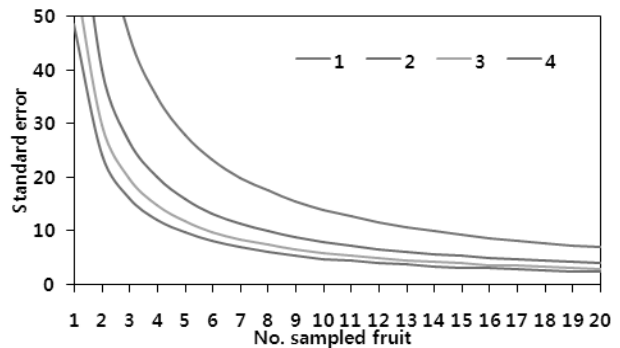


Fig. 6. The relationship between the estimated standard errors and sample size at different sampled number per fruit.

시키더라도 표준오차의 감소폭은 별다른 차이가 없어 나무당 적정 조사 열매수는 5개인 것으로 판단되었다.

열매당 조사 표본수와 조사 열매수가 증가할수록 표준오차는 줄어들었다(Fig. 6). 열매당 조사 표본수 2개 이상에서는 표준오차 차이는 크지 않았으며, 특히 표본수 3개와 4개의 표준오차는 거의 비슷한 수준이었다.

고찰

굴녹응애에 의한 감귤 피해는 1990년대까지 일반적으로 별도의 방제가 필요치 않은 해충으로 알려져 있었다(Kim *et al.*, 2000). 그러나 2000년대 들어서면서 유기재배 감귤원뿐만 아니라 일반 감귤원에서도 그 피해가 증가하고 있다. 굴녹응애는 크기가 작기 때문에 피해가 나타나기 전에는 발생상황을 파악하기 힘들어 방제시기를 놓치기 때문이다. 감귤 열매에서 굴녹응애에 대한 피해밀도에 대한 연구는 없지만 포장 관찰에서 열매 표면 cm^2 당 5마리 수준에서는 피해가 나타나지 않았으며, 피해가 나타나는 밀도는 cm^2 당 10마리 이상이었다(Personal observation).

TPL 분석에 있어 각 표본간의 독립성이 중요한데 이를 위해 공간통계분석 중 Moran I 를 이용하여 추정된 결과 나무간 거리 10 m에서 그 값이 “0”에 가장 가까웠다(Unpublished data by Song). 따라서 본 연구에서 조사한 포장의 경우 2.5 m 간격으로 감귤나무가 심겨져 있으므로 조사한 나무로부터 4주 떨어져 있는 나무를 조사해야 독립된 값을 얻을 수 있었다.

감귤 열매에서 굴녹응애의 분포특성을 평균과 분산을 이용하여 나무내(열매간)와 나무간에 대하여 분석한 결과 모두 집중 분포를 하고 있었다(Table 1). 또한, 분포특성 분석에 일반적으로 이용되고 있는 TPL과 IPR 중 TPL이 굴녹응애의 분포특성을 더 잘 설명하고 있었다. 이는 감귤 해충인 굴응애를 분석한 결과와 유사하였으며(Song *et al.*, 2001a), 해충은 일반적으로 집중 분포를 하고 있다는 것(Southwood, 1978)과 일치하였다. 나무내와 나무간의 직선회귀식의 기울기를 비교한 결과 두 기울기

간에 차이는 없었으나 나무간 집중도가 더 높은 경향이였다. 이는 굴녹응애 발생밀도가 동일한 나무에서 열매간 차이보다 나무 간 차이가 더 크다는 것을 의미한다. 따라서 굴녹응애 발생밀도를 조사할 때 동일 나무에서 조사 열매수를 증가하는 것보다 조사나무수를 증가하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

TPL 상수를 이용하여 조사 나무수에 따라 표본조사를 중지할 수 있는 누적 밀도를 추정된 결과 고정 정확도가 높을수록 표본조사를 중지하기 위한 누적밀도가 증가하였다(Fig. 1). 또한 일정 정확도 수준에서 조사나무수를 증가시키에 따라 더 낮은 밀도에서 표본조사를 중지할 수 있었다. 표본조사 중지를 위한 누적밀도 감소폭이 줄어드는 지점에서의 조사 나무수는 고정 정확도 0.20에서 20주, 0.25에서 13주, 0.30에서 9주이었다.

굴녹응애 cm^2 당 평균밀도는 cm^2 내에 12마리 이상의 녹응애가 발생한 열매 비율을 이용하여 추정할 수 있었다: $\ln(m) = 4.61 + 1.23 \ln[-\ln(1-p_{12})]$ (Table 2). Kono-Sugino의 이항모델에서 추정된 평균에 대한 분산($\text{var}(\ln m)$)을 정확하게 추정하는 방법은 없으나 일반적으로 Schaalje *et al.*(1991)의 방법을 이용하여 추정하고 있다. 이를 이용하여 분석에 이용한 tally threshold 10과 12, 14에 대해 발생과율에 따른 분산을 추정된 결과 tally threshold 12에서 분산값이 가장 낮고 발생과율 0.1~0.5 범위에서 분산값 변동이 적어 다른 tally threshold에 비해 더 넓은 밀도범위에서 정확하게 평균밀도를 추정할 수 있었다. Song *et al.*(2001b)이 굴응애 이항표본조사 모델에서 T 값이 1이었던 것보다 더 높았는데, 이는 굴녹응애가 단위 면적당 서식밀도가 굴응애보다 높았기 때문인 것으로 판단된다. 또한 녹응애류 *P. oleivora* 평균밀도를 추정하는데 부(-)의 이항분포(NBD)를 기

Table 1. Intra- and inter-tree dispersion indices for *Aculops pelekassi* on citrus fruit

	<i>n</i>	Taylor's power law			Iwao's patchiness regression		
		$\ln a \pm \text{SE}$	$b \pm \text{SE}$	r^2	$a \pm \text{SE}$	$\beta \pm \text{SE}$	r^2
Intra	15	2.90±0.14	1.46±0.12	0.92	11.54±4.18	6.86±1.14	0.72
Inter	15	2.12±0.40	1.69±0.11	0.94	36.34±19.26 ^{n.s.}	2.71±0.26	0.88

Table 2. Parameters of an empirical binomial model $\ln(m) = a' + b' \ln[-\ln(1-p)]$ relating mean rust mites per cm^2 to the proportion of fruits infested with more than T mites

T	N	$a' \pm \text{SE}$	$b' \pm \text{SE}$	r^2	MSE
6	11	4.27±0.38	1.37±0.16	0.87	0.1418
8	11	4.37±0.30	1.31±0.12	0.92	0.0895
10	11	4.42±0.26	1.24±0.10	0.94	0.0643
12	11	4.61±0.14	1.23±0.05	0.98	0.0187
14	11	4.53±0.22	1.14±0.07	0.96	0.0435
16	11	4.51±0.23	1.10±0.05	0.95	0.0516

초로 하여 1마리 이상 발생된 열매 비율을 이용하여 추정할 수 있다(Hall *et al.*, 1997)고 하였으나 밀도에 따라 NBD 상수 k 가 변하고 있어 평균 밀도 추정에는 한계가 있었다. 그러나 본 연구에서 T 가 12일 때 경험적 이항모형을 이용하여 다른 T 값보다 정확도를 높고 추정 가능한 밀도범위도 넓었는데 이는 굴녹응애가 이동성이 낮아 고도의 집중분포를 하기 때문인 것으로 판단된다. 특히 열매에서 햇빛을 받는 부위에 집중적으로 서식하는 것이 관찰되며, 이 경향은 가을철(저온기)에 특히 강하게 나타난다.

현장에서 굴녹응애를 조사하려면 확대경을 이용할 수밖에 없어 이를 가지고 잎과 열매 전체를 조사하기는 매우 어렵다. 열매 전체의 굴녹응애 밀도(y)와 단위 면적당(본 연구에서는 1 cm^2) 밀도(x)와의 관계를 조사한 결과 $\ln(y+1)=0.826\ln(x+1)+3.924$ 의 직선식으로 설명이 잘되고 있었다(Fig. 4). 이는 단위 면적당 굴녹응애 밀도 조사에서 얻은 자료가 대표성을 갖는다는 것으로 오렌지에서 녹응애류인 *P. oleivora*를 열매 표면 cm^2 내의 응애수를 조사하여 과수원 전체 열매의 cm^2 당 평균 밀도를 추정할 수 있다는 결과와 일치하였다(Hall *et al.*, 1994).

1차와 2차 표본단위에 따른 분산분석을 이용하여 적정 표본 크기를 추정하였다(Fig. 5와 6). 1차 표본단위에 대해 2차 표본 단위를 1개 조사한 것보다 2개 조사한 경우 표준오차 감소폭이 컸으나 2개 이상으로 증가시켰을 때 그 감소폭은 적어지는 경향이 있었다. 나무당 조사 열매수가 4와 5, 6개일 때 고정 정확도 수준 0.25에서 평균밀도 1.0마리를 추정하기 위하여 필요한 나무수는 각각 15주와 13주, 12주이었다. 따라서 나무당 조사열매수를 5개로 하고 조사 나무수를 13주로 하는 것이 적절한 것으로 판단된다. 표준오차는 1차 표본단위가 나무보다 열매에서 표준오차가 매우 컸는데, 이는 열매에서 조사 위치에 따라 밀도 차이가 컸기 때문이다. 또한 감귤열매는 7~8월에 열매 비대가 가장 왕성하게 일어나는 시기로 열매당 2지점을 조사하는 것이 효율적이라 판단된다.

해충의 발생밀도를 추정하는데 있어 표본단위와 표본크기를 결정하는 것이 중요하다. 오렌지에서 *P. oleivora* 평균밀도를 추정하는데 표본크기는 1 cm^2 , 표본수는 4 ha당 36개 내외를 조사하는 것이 효율적인 것으로 보고하고 있다(Hall *et al.*, 2005). 본 연구결과에서 나무당 적정 조사 열매수와 열매당 조사 지점수를 결정하였으며, 굴녹응애 평균 밀도 추정을 위한 적정 표본수에 대한 연구가 더 진행될 필요가 있다. 또한 본 연구에서 cm^2 당 굴녹응애 밀도 분포가 NBRD를 따르고 있기 때문에 굴녹응애 발생과율을 이용하여 평균밀도를 추정할 수 있을 것으로 기대된다(Southwood, 1978).

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ907187)의 지원으로 수행한 결과입니다.

Literature Cited

- Binns, M.R., J.P. Nyrop and W. van der Werf. 2000. Sampling and Monitoring in Crop Protection. 304 pp. CABI Pub. Oxford.
- Hall, D.G., C.C. Childers and J.E. Eger. 1994. Spatial dispersion and sampling of citrus rust mite (Acari: Eriophyidae) on fruit in 'Hamlin' and 'Valencia' orange groves in Florida. *J. Econ. Entomol.* 87: 687-698.
- Hall, D.G., C.C. Childers and J.E. Eger. 2005. Effects of reducing sample size on density estimates of citrus rust mite (Acari: Eriophyidae) on citrus fruit: simulated sampling. *J. Econ. Entomol.* 98: 1048-1057.
- Hall, D.G., C.C. Childers, J.E. Eger and J.C. Allen. 1997. Citrus rust mite (Acari: Eriophyidae) counts on fruit and the negative binomial distribution. *The Florida Entomol.* 80: 1-10.
- Iwao, S. 1968. A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal population. *Res. Popul. Ecol.* 10: 1-20.
- Kim, D.H., H.M. Kwon and K.S. Kim. 2000. Current status of the occurrence of the insect pests in the citrus orchard in Cheju island. *Korean J. Appl. Entomol.* 39: 274-276.
- Kono, T. and T. Sugino. 1958. On the estimation of the density of rice stem borer. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 2: 184-188.
- Lloyd, M. 1967. Mean crowding. *J. Anim. Ecol.* 36: 1-30.
- SAS Institute. 1999. SAS OnlineDoc, version 8. SAS Institute, Cary, NC.
- Schaalje, G.B., R.A. Butts and T.J. Lysyk. 1991. Simulation studies of binomial sampling: A new variance estimator and density predictor with special reference to russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae). *J. Econ. Entomol.* 84: 140-147.
- Song J.H., C.H. Lee, S.H. Kang, D.H. Kim, S.Y. Kang and K.Z. Riu. 2001a. Dispersion indices and sequential sampling plan for the citrus red mite, *Panonychus citri* (Mcgregor) (Acari: Tetranychidae) on satsuma mandarin on Jeju island. *Korean J. Appl. Entomol.* 40: 105-109.
- Song J.H., C.H. Lee, S.H. Kang, D.H. Kim, S.Y. Kang and K.Z. Riu. 2001b. Binomial sampling plans for the citrus red mite, *Panonychus citri* (Mcgregor) (Acari: Tetranychidae) on satsuma mandarin groves in Jeju. *Korean J. Appl. Entomol.* 40: 197-202.
- Southwood, T.R.E. 1978. Ecological methods. 2nd ed., 524 pp. Chapman & Hall, London.
- Takagi, K. 1981. The injuries on the citrus fruit caused by green leafhoppers, *Empoasca* spp., tea yellow thrips, *Scirtothrips dorsalis*

Hood, citrus red mite, *Panonychus citri* (Mcgregor), and citrus rust mite, *Aculops pelekassi* (keifer). Bull. Fruit Tree Res. Stn. D 3: 101-112.

Taylor, L.R. 1961. Aggregation, variance and the mean. Nature 189: 732-755.

Taylor, L.R. 1971. Aggregation as a species characteristic. pp. 357-377. In Statistical ecology. Vol. 1, eds. by G.P. Patil, E.C. Pielou and W.E. Waters, Penn. State Univ. Press, Philadelphia.

Umeya, K. and T. Okada. 2003. Agricultural Insect Pests in Japan. 1203 pp. Zennokyo, Tokyo.