

감귤원에서 가을철 귤응애 성충의 공간분포와 표본조사

송정흡* · 김수남 · 류기중¹

제주도농업기술원 농업환경과, ¹제주대학교 아열대원예산업연구센터

Spatial Dispersion and Sampling of Adults of Citrus Red Mite, *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) in Citrus Orchard in Autumn Season

Jeong-Heub Song*, Su-Nam Kim and Key-Zung Riu¹

Agricultural Environment Division, Jeju-do Agricultural Research and Extension Services, Jeju 690-815, Republic of Korea

¹Subtropical Horticulture Research Center, Cheju National University, Jeju 690-756, Republic of Korea

ABSTRACT : Dispersion pattern for adult citrus red mite (CRM), *Panonychus citri* (McGregor) using Taylor's power law (TPL) and Iwao's patchiness regression (IPR) was determined to develop a monitoring method on citrus orchards, on Jeju, in Autumn season, during 2001 and 2002. CRM population was sampled by collecting leaves and fruits. The relationships of CRM adults between leaf and fruit were analyzed by different season. The regression equation for CRM adults between leaf (X) and fruit (Y) was $\ln(Y + 1) = 1.029 \ln(X + 1)$ ($r^2 = 0.80$). The density of CRM was higher on fruit than on leaf according to fruit maturing level. TPL provided better description of mean-variance relationship for the dispersion indices compared to IPR. Slopes and intercepts of TPL from leaf and fruit samples did not differ between sample units and surveyed years. Fixed-precision levels (D) of a sequential sampling plan were developed using Taylor's power law parameters generated from adults of CRM in leaf sample. Sequential sampling plans for adults of CRM were developed for decision making CRM population level based on the different action threshold levels (2.0, 2.5 and 3.0 mites per leaf) with 0.25 precision. The maximum number of trees and required number of trees sampled on fixed sample size plan on 2.0, 2.5 and 3.0 thresholds with 0.25 precision level were 19, 16 and 15 and their critical values $T_{critical}$ were 554, 609 and 659, respectively.

KEY WORDS : Dispersion index, *Panonychus citri*, Citrus red mite, Citrus, Sequential sampling, Fixed sample size

초 록 : 귤응애 성충의 표본추출법을 개발하기 위하여 2개년(2001-2002년) 동안 8월부터 11월까지 잎과 열매에 대해 각 조사일에 평균밀도를 조사하였다. 잎과 열매에서 귤응애 성충 밀도의 관계를 시기별로 비교하였으며, Taylor's power law (TPL)와 Iwao's patchiness regression (IPR)을 이용하여 분산지수를 비교하였다. 잎(X)과 열매(Y)에서 귤응애 성충 밀도의 관계는 $\ln(Y + 1) = 1.029 \ln(X + 1)$ ($r^2 = 0.80$)의 직선적인 관계가 있었으며, 열매가 성숙될수록 잎보다 열매에서 귤응애 밀도가 높아지는 경향이였다. 잎과 열매의 표본조사에서 TPL이 IPR보다 평균-분산 관계를 더 잘 나타내었으며, TPL의 기울기와 절편은 두 표본단위간, 연도간에 차이가 없었다. 정확도 0.25일 때 요 방제밀도 2.0, 2.5와 3.0에서의 의사결정을 위한 표본추출조사법을 개발하였으며, 조사에 필요한 최대조사나무수(고정표본크기에서 필요 나무수)는 각각 19, 16과 15주였으며, 이 때의 의사결정 임계값 $T_{critical}$ 은 각각 554, 609와 659였다.

검색어 : 공간분포, *Panonychus citri*, 귤응애, 감귤, 표본추출법, 고정표본크기

*Corresponding author. E-mail: sjheub@hanmail.net

귤응애 *Panonychus citri* (McGregor)는 제주지역 감귤의 가장 중요한 해충으로 연간 3-5회 방제를 하고 있으며, 연간 농약값의 25% 이상을 차지하고 있다 (Song *et al.*, 2001). 주로 사용하는 방제농약이 유기합성농약이며, 이들 약제에 대한 저항성 발달로 인해 방제가 더욱 어려워지고 있다(Kim *et al.*, 2000). 제주지역에서 귤응애는 주로 봄철(5-6월)과 가을철(9-10월)에 발생이 많다. 특히 가을철은 감귤이 수확기에 접어드는 시기이기 때문에 귤응애 방제가 제대로 이루어지지 않으면 열매의 엽록소 등 색소를 흡수하기 때문에 착색이 늦어질 뿐만 아니라 착색도 고르게 되지 않는다. 그러나 가을철 귤응애에 대해 잎과 열매에서의 밀도 관계와 두 표본단위에서 귤응애의 분포양상에 대한 연구는 없는 실정이다.

병해충종합관리(IPM)에서 표본조사법은 불필요한 농약살포를 최소화하며, 해충을 경제적 피해수준 이하로 유지시키기 위한 다른 방제방법의 이용가능여부의 판단을 위한 해충밀도 평가에도 이용할 수 있다 (Binns and Nyrop, 1992). 표본조사법은 표본조사의 형태, 표본단위와 크기를 정의하는데, 이들은 해충의 분산과 더불어 얻어진 추정밀도의 정확도에 의하여 결정된다. 두 가지 수준(과수원 내에서 나무, 나무 내에서 잎)에서 표본단위 조합의 선택은 각 수준에서의 공간분포를 반영하게 되어 중요하다(Shelton and Trumble, 1991).

본 연구는 가을철 열매에 직접적으로 피해를 주는 귤응애에 대해 잎과 열매에서의 분포양상을 조사하고, 효율적인 표본조사법을 개발함으로써 귤응애 피해를 최소화하는 귤응애 관리방안 모색의 일환으로 수행되었다. 귤응애 성충에 대한 일정 정확도 수준에서 나무 내(잎과 열매)와 감귤원내의 분포양상에 대해서는 Iwao's patchiness regression (Iwao, 1968)과 Taylor's power law (Taylor, 1961)의 모델을 가지고 비교 분석하였다. 그리고 이를 기초로 다단계표본조사법을 이용한 고정표본크기에서의 표본추출중지선과 요방제밀도에서의 축차표본조사법의 개발에 초점을 맞췄다.

재료 및 방법

제주도내 농가재배 감귤원에서 2001년(4포장)과 2002년(15포장) 2년 동안 8월 하순부터 11월까지 10-15일 간격으로 귤응애 성충을 육안조사하였다. 조사시

에 농가가 병해충 방제를 위해 농약을 살포한 경우에는 이로 인한 인위적인 귤응애 분포를 제외시키기 위하여 약제살포후 10-15일이 지나서 조사하였다. 조사한 감귤은 조생은주(품종: 궁천조생)였으며, 수령은 13-20년생이었고, 조사포장의 면적은 0.8-1.2 ha였다. 병해충 방제와 시비는 조사지역의 농가관행에 의해 실시하였으며, 농가 스스로 병해충 방제시기 및 방제 농약을 결정하였다.

조사나무의 선정은 조사포장당 임의로 15주를 선택하였으며, 조사잎과 열매는 조사나무당 지상 60-120 cm 높이에서 10매를 네 방향에서 골고루 임의로 택하였다. 귤응애의 밀도와 분산은 잎과 열매로 구분하여 각 조사일에 조사 포장별로 계산하였다. 잎과 열매에서의 귤응애 밀도 관계는 열매의 성숙시기가 달라지는 8월부터 10월까지 월별로 잎과 열매의 귤응애 성충 밀도에 대해 일반선형회귀모델(PROC GLM)을 이용하여 회귀식을 구하였고, 조사시기별 회귀식의 절편과 기울기의 동일성은 공분산분석(ANCOVA)으로 검정하였다.

나무당 귤응애의 밀도와 분산은 조사한 모든 잎의 귤응애수를 합하여 각 조사일에 포장별로 계산하였다.

공간분포

분산-평균 모델은 가장 일반적인 Iwao's patchiness regression (IPR)과 Taylor's power law (TPL) 두 가지 방법을 이용하였다. IPR은 잎당 평균밀도(m)에 대한 평균 군집도(\bar{m}^*)와의 관계식으로 ;

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

여기서 $\bar{m}^* = m + \left(\frac{s^2}{m} - 1\right)$ 이다(Iwao, 1968; Lloyd, 1967). 상수 α 는 기본분산지수를 나타내는 상수이고, β 는 밀도분산상수이다.

TPL은 $\log m$ 에 대한 $\log s^2$ 의 회귀식

$$\log s^2 = \log a + b \log m$$

이다(Taylor, 1961, 1984). 상수 a 는 표본단위의 크기와 표본 환경에 관계되며, b 는 분포 형태, 즉 $b > 1$ 이면 집중분포, $b = 1$ 이면 임의분포, $b < 1$ 이면 균일분포를 나타낸다.

회귀식 상수를 추정하는데는 SAS (SAS Institute, 1999)의 일반선형회귀모델(PROC GLM)을 이용하였

고, 각 선형 모델의 적합성은 결정계수(r^2)의 추정에 의해 평가하였다. 또한 회귀선의 기울기가 1.0보다 크다는 것은 Student t -test를 이용하여 판정하였으며, 조사연도 및 표본단위의 회귀식간 절편과 기울기의 동일성은 공분산분석(ANCOVA)으로 검정하였다(Sokal and Rohlf, 1981).

TPL의 상수 a 와 b 값을 이용하여 일정 정확도(D)에서 개체군 밀도를 추정하기 위해 필요한 표본수를 결정하는데, 표본추출중지선은

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

으로 계산할 수 있으며, 이 때 T_n 은 표본 n 에 대한 누적수, n 은 표본수, a 와 b 는 TPL의 상수값이다. $D = 0.25$ 에서 잎과 열매에 대한 중지선을 추정하였다. 이 D 는 정확도와 표본크기에 대해 일반적으로 받아들여지며, 대부분의 해충 관리에 알맞은 수준인 것으로 알려져 있다(Southwood, 1978).

고정표본크기

고정표본크기의 표본조사법은 미리 결정한 정확도 수준에서 개체군 밀도를 추정하기 위해 밀도에 따른 필요 표본수를 결정한다. 두가지 표본수준(본 시험에서는 잎과 나무)을 이용할 때 추정평균에 대한 표준 오차는

$$S_m = \sqrt{\frac{n_L S_B^2 + S_W^2}{n_L n_T}}$$

으로 계산되며, 이 때 n_L 은 나무당 조사엽수, n_T 는 조사나무수, S_B^2 는 나무간 분산이며, S_W^2 는 나무내 엽간 분산이다. Pringle and Giliomee (1992)는 S_B^2 와 S_W^2 는 TPL에 의해 계산되는 것을 보여주었으며, 이로부터 주어진 정확도 수준과 나무당 조사엽수에 대해 조사해야할 나무수를 구할 수 있다.

$$n_T = \frac{1}{(Dm)^2} \left(\frac{n_L a_B m^{b_B} + a_W m^{b_W}}{n_L} \right)$$

축차표본조사

축차표본조사에서 표본크기는 미리 정해져 있지 않으며, 조사과정에서 누적된 정보를 기초로 조사자가 계속 조사할 것인지를 결정할 수 있다. 이는 개체군 밀도가 요방제밀도에 비해 매우 떨어져 있다면 조사

를 적게할 수 있음을 나타낸다(Shepard, 1980; Wilson, 1985). 본 연구에서는 SCS (sequential cluster sampling method)에 의해 나무간 분산과 잎간 분산을 이용한 조사법을 만들었다. 이 방법은 표본평균에 대한 $1-\alpha$ 신뢰구간을 이용한 것으로 나무와 잎 수준 조사에서의 표준오차 신뢰구간은 다음 식과 같다:

$$m \pm z_{\alpha/2} \left[\frac{S_W^2 + n_L S_B^2}{n_T n_L} \right]^{1/2}$$

이를 SCS 방법에 의해 표본평균에 대한 신뢰구간을 구하기 위해 $n_T n_L$ 을 곱해주어 조사한 해충수(T_n)에 대한 중지선은 다음 식에 의해 구해진다.

$$n_T n_L \left(m_T \pm z_{\alpha/2} \left[\frac{S_W^2 + n_L S_B^2}{n_T n_L} \right]^{1/2} \right)$$

이 때, n_L 은 나무당 조사엽수, n_T 는 조사나무수, S_B^2 는 나무간 분산, S_W^2 는 나무내 엽간 분산이며, $z_{\alpha/2} = 1.96$ (95% 신뢰수준)이다.

SCS 방법에 따르면 나무당 조사할 잎수 n_L 이 우선 결정되면 요방제밀도 m_T 에 대한 일정 정확도 수준(D)을 충족시키는 최대 조사나무수 n_{Tmax} 를 계산할 수 있다. 각 나무로부터 잎을 조사하여 누적응답수 T_n 을 구하며, 이 T_n 값이 상한선보다 위인지 아닌지를 비교한다. 그 값이 상한선 위에 있으면 조사를 중지하고 방제가 필요하다고 결정하며, 하한선보다 작을 때에도 조사는 중지하지만 방제가 불필요한 것으로 결론을 내린다. 그러나 그 값이 두 선 사이에 있으면 결정이 내려지거나 최대조사나무수가 조사될 때까지 다른 나무를 조사한다. 최대조사나무수를 조사하였으나 T_n 이 조사선 사이에 있으면 의사결정을 위해 임계값을 사용해야만 한다. 임계값 $T_{critical}$ 을 계산하는 세 가지 방법은 다음과 같다: 경계값 $n_{Tmax} n_L m_T$, 평균에 대한 신뢰구간의 상한 ($n_{Tmax} n_L$) ($m_T + z_{\alpha} d m_T$) 그리고 평균에 대한 신뢰구간의 하한 ($n_{Tmax} n_L$) ($m_T - z_{\alpha} d m_T$). 본 연구에서는 평균에 대한 신뢰구간의 상한값을 이용하였으며, 최대나무수에 도달하면 $T_n > T_{critical}$ 일 때에만 방제를 실시한다(Agrov et al., 1999).

결과 및 고찰

공간분포

잎과 열매에서 굴응에 성충의 밀도범위는 잎은 0.5-

1.3마리, 열매는 0.1-1.8마리였다(Table 1). 열매의 성숙도가 다른 8-10월까지 잎(X)과 열매(Y)에서 굴응애 성충 밀도는 $\ln(Y+1)=1.029\ln(X+1)$ ($r^2=0.80$)의 직선적인 관계가 있었다. 모든 조사시기에서 절편은 0과 차이가 없었고, 회귀식의 기울기는 차이가 있는 것으로 나타났다(기울기: $F=17.07$, $df=3,59$, $P<0.001$). 즉, 열매의 성숙도가 높아지면 굴응애가 잎보다 열매에 더 많은 것으로 나타났으며, 이는 잎에서 열매로의 분산이 증가하는 것으로 판단되지만 이에 대한 연구는 구체적으로 실시해야 할 것으로 생각된다.

잎과 열매에 대한 TPL의 결정계수(r^2) 범위는 0.97-0.98이었으나, IPR의 r^2 범위는 0.89-0.98로 굴응애 성충의 공간분포 특성에 대해 TPL이 IPR보다 더 잘 설명하였다(Table 2). 또한, TPL의 상수값인 $a(0.59-0.89)$ 와 $b(1.16-1.31)$ 값이 IPR의 $\alpha(0.30-0.80)$ 와 $\beta(1.30-1.61)$ 보다 변이가 작았다. TPL의 b 값과 IPR의 β 값은 모두 1보다 컸는데($P<0.05$), 이는 굴응애가 나무 내에서 잎간에 집중분포형태를 취하고 있음을 보여주는 것이다. 이는 온주밀감에서 굴응애 약·성충의 분포(Song *et al.*, 2001), 레몬에서 굴응애의 분포(Jones and Parrella, 1984)의 결과와 유사한 경향이였다.

TPL 회귀식의 절편(a)과 기울기(b)의 동일성을 알아보기 위하여 공분산분석을 실시한 결과 잎의 연도별(a : $F=1.40$, $df=2, 44$, $P>0.2$; b : $F=1.06$, $df=2, 44$, $P>0.3$), 열매의 연도별(a : $F=1.58$, $df=2, 44$, $P>0.2$;

b : $F=0.07$, $df=2, 44$, $P>0.7$)과 잎과 열매간(a : $F=2.50$, $df=2, 91$, $P>0.1$; b : $F=0.98$, $df=2, 91$, $P>0.9$)에 모두 차이가 없었다. 따라서, Taylor 일반 회귀식을 이용하여 평균과 분산간의 함수관계 모델을 이용할 수 있을 뿐만 아니라 잎에 대한 조사를 통해 열매에서의 굴응애 밀도도 추정이 가능하다.

TPL의 상수값을 이용하여 $D=0.25$ 일 때 잎과 열매에 대한 중지선은 Fig. 1과 같았다. 조사 잎수와 열매수가 적을수록 중지선에 도달할 때까지의 누적 굴응애수는 증가하였으며, 잎보다 열매의 중지선이 낮았다. 본 시험에서 사용한 나무당 잎 또는 열매를 10개씩 조사하는 경우 $D=0.25$ 에서 표본조사를 중지하기 위한 누적 굴응애 성충의 수는 각각 51.9와 39.7마리였다.

잎의 굴응애 성충 밀도를 이용하여 나무간 공간분포를 분석한 결과 집중분포를 하는 것으로 나타났다(Table 3). TPL의 결정계수(r^2) 범위는 0.88-0.94였고, IPR의 r^2 범위는 0.97-0.98로 IPR이 더 잘 설명하였다. TPL의 b 값과 IPR의 β 값은 모두 1보다 컸다($P<0.05$). 그러나 TPL의 2001년 절편과 IPR의 2002년

Table 1. Relationships of \ln (mean number + 1) of citrus red mite adults between per leaf and per fruit for different seasons

Season	n^a	Intercept \pm SE	Slope \pm SE	r^2
Aug.	5	0.014 \pm 0.023 ^b	0.312 \pm 0.044	0.94
Sept.	25	0.013 \pm 0.063 ^b	1.124 \pm 0.075	0.88
Oct.	33	0.052 \pm 0.053 ^b	0.722 \pm 0.099	0.70
Combined	63	-0.005 \pm 0.046 ^b	1.029 \pm 0.065	0.80

^aThe number of sample used to calculate the regression statistics.

^bCoefficient not significantly different from 0.

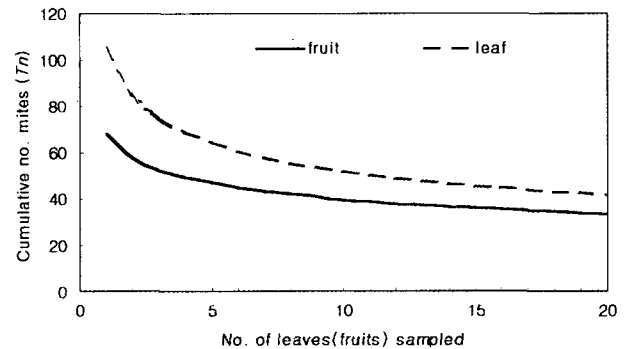


Fig. 1. Stop lines for fixed-precision levels (D) of 0.25 for adult citrus red mite generated using parameters for Taylor's power law on the citrus orchards.

Table 2. Inter-leaf dispersion indices for adults of citrus red mite on citrus orchards, during 2001-2002

	Year	n^a	Taylor's power law			Iwao's patchiness regression		
			$\log a \pm$ SEM	$b \pm$ SEM	r^2	$\alpha \pm$ SEM	$\beta \pm$ SEM	r^2
Leaf	2001	17	0.89 \pm 0.08	1.31 \pm 0.06	0.97	0.80 \pm 0.21	1.35 \pm 0.08	0.95
	2002	30	0.69 \pm 0.06	1.19 \pm 0.03	0.98	0.30 \pm 0.08	1.61 \pm 0.09	0.92
Fruit	2001	17	0.75 \pm 0.09	1.24 \pm 0.06	0.97	0.39 \pm 0.11	1.51 \pm 0.05	0.98
	2002	30	0.59 \pm 0.06	1.16 \pm 0.03	0.98	0.39 \pm 0.11	1.30 \pm 0.09	0.89
Combined	Leaf	47	0.78 \pm 0.05	1.24 \pm 0.03	0.98	0.53 \pm 0.09	1.41 \pm 0.05	0.94
	Fruit	47	0.65 \pm 0.05	1.19 \pm 0.03	0.97	0.33 \pm 0.08	1.45 \pm 0.05	0.95

^aThe number of m and s^2 or \bar{m} pairs used to calculate the regression statistics.

Table 3. Inter-tree dispersion indices for adults of citrus red mite on citrus orchards, during 2001-2002

Year	n^a	Taylor's power law			Iwao's patchiness regression			Density range per tree
		$\log a \pm \text{SEM}$	$b \pm \text{SEM}$	r^2	$\alpha \pm \text{SEM}$	$\beta \pm \text{SEM}$	r^2	
2001	17	0.11 ± 0.31 ^b	1.60 ± 0.15	0.88	2.73 ± 1.22	1.11 ± 0.04	0.98	0.6-104.6
2002	30	0.51 ± 0.11	1.37 ± 0.07	0.94	0.47 ± 0.43 ^b	1.28 ± 0.04	0.97	0.2-35.2
Combined	47	0.41 ± 0.12	1.45 ± 0.07	0.91	1.65 ± 0.52	1.15 ± 0.03	0.97	0.2-104.6

^aThe number of m and s^2 or \bar{m} pairs used to calculate the regression statistics.

^bCoefficient not significantly different from 0.

Table 4. Required number of trees sampled on fixed number of leaf sampling of citrus red mite adults for thresholds of 2.0, 2.5 and 3.0, with 0.20, 0.25 and 0.30 precision

No. leaves	Total number of trees sampled								
	$m_T=2.0$			2.5			3.0		
	$D=0.20$	0.25	0.30	0.20	0.25	0.30	0.20	0.25	0.30
2	42	27	19	37	23	16	32	21	14
4	34	22	15	30	19	13	27	17	12
6	31	20	14	27	17	12	25	16	11
8	30	19	13	26	17	12	24	15	10
10	29	19	13	26	16	11	23	15	10

절편은 유의성이 없었다. 이는 레몬에서 귤에 암컷 성충의 나무간 공간분포를 조사했을 때 b 와 β 값이 각각 1.50과 1.09라 하였는데(Jones and Parrella, 1984), 본 연구에서도 각각 1.45와 1.15로 비슷한 결과가 나왔다. 그러나 IPR의 α 상수값이 너무 작아 밀도가 아주 낮을 때에는 동일한 잎에 존재하는 귤에 성충수가 너무 적어 발견하기가 어렵다.

TPL과 IPR의 절편(a, α)과 기울기(b, β)에 대해 공분산분석을 한 결과 모두 조사연도간에 유의성이 없었다($a: F=0.10, df=2, 44, P>0.7$; $\alpha: F=1.21, df=2, 44, P>0.2$; $b: F=0.66, df=2, 44, P>0.4$; $\beta: F=1.57, df=2, 44, P>0.2$). 따라서, 일반 Taylor의 회귀식을 평균과 분산간의 함수관계 모델에 이용할 수 있다.

고정표본크기

지금까지 귤에 성충의 나무내($\ln S_w^2 = 0.78 + 1.24 \ln m$) 및 나무간($\ln S_b^2 = 0.41 + 1.45 \ln m$) 공간분포를 분석하였는데, 이로부터 귤에 성충의 추정평균에 대한 표준오차는 다음과 같다:

$$S_m = \sqrt{\frac{n_L 1.51 m^{1.45} + 2.18 m^{1.24}}{n_L n_T}}$$

또한 이를 이용하여 정확도 수준별로 평균밀도(m)와 조사엽수에 따라 필요한 조사나무수를 구하는 식은 다음과 같다:

$$n_T = \frac{1}{(Dm)^2} \left(\frac{n_L 1.51 m^{1.45} + 2.18 m^{1.24}}{n_L} \right)$$

이 식을 이용하여 요방제밀도 2.0, 2.5와 3.0별로 정확도 수준 0.20, 0.25와 0.30에서 조사엽수에 따른 조사나무수는 Table 4와 같았다. 조사엽수와 요방제밀도가 작을수록 조사해야 하는 나무수는 증가하였으며, 동일한 조사엽수와 요방제밀도에서 정확도 수준이 높을수록 조사나무수는 증가하였다. 해충관리프로그램에 알맞은 것으로 알려진 $D=0.25$ (Southwood, 1978)에서 조사엽수는 본 연구에서와 같은 10개로 했을 때 요방제밀도 2.0, 2.5와 3.0에 대해 요구되는 조사나무수는 각각 19, 16과 15주였다. 예를 들면 요방제밀도 잎당 2.5마리에서 나무당 잎을 10매씩 16나무에서 조사하는 경우 총조사잎수는 160매가 된다. 이는 상대적으로 큰 표본조사를 해야 되는 것이기 때문에 $D=0.30$ 으로 조사하는 것이 더 바람직할 것으로 생각된다. Song *et al.* (2001)은 귤에 약·성충에 대해 조사나무당 4엽을 조사하는 경우 $D=0.25$, 요방제밀도 2.0마리로 했을 때 18주를 조사해야 하는 것으로 보고하였으나, 본 연구결과 귤에 성충을 조사하는 경우 나무당 4엽을 요방제밀도 2마리에서 필요한 나무수는 각각 22주로 많게 나왔는데, 이는 Song *et al.* (2001)의 보고는 나무간 분산만을 가지고 분석하였으나, 본 연구에서는 잎간 분산을 동시에 고려했기 때문인 것으로 판단된다.

Table 5. Sequential sampling plan for adults of citrus red mite, for decision making at threshold action level (m_T) of 2.0, 2.5 and 3.0 mites per leaf, with $D=0.25$

No. of trees	Total number of adults for decision making					
	$m_T = 2.0$		2.5		3.0	
	Lower line	Upper line	Lower line	Upper line	Lower line	Upper line
1	—	62	—	74	—	86
2	—	100	—	120	—	140
3	—	133	—	161	—	188
4	—	164	1	199	7	233
5	6	194	14	236	24	276
6	17	223	29	271	42	318
7	28	252	44	306	61	359
8	41	279	60	340	81	399
9	53	307	77	373	101	439
10	67	333	94	406	122	478
11	80	360	111	439	143	517
12	94	386	129	471	165	555
13	108	412	147	503	187	593
14	122	438	165	535	209	631
15	137	463	183	567	659	
16	151	489	609			
17	166	514				
18	181	539				
19 ^a	554					

^aFor fixed sample size. The maximal sample size is 19 trees for 2.0 mites, 16 trees for 2.5 mites and 15 trees for 3.0 mites. If no decision is reached by the number of trees for the fixed sample size plan, then a decision is taken by the upper confidence limit.

축차표본조사

축차표본조사법에서 표본크기는 나무마다 누적한 해충수에 의해 결정된다. 감귤원에서 조사할 때 직접 이용하기 위해 Table 5와 같이 조건표를 만들었다. 조사일수는 나무당 10개로 하였으며, $D=0.25$ 로 하였다. 요방제밀도 2.0, 2.5와 3.0에서의 최대조사나무수 임계값 $T_{critical}$ 은 각각 554, 609와 659였다. $D=0.25$ 수준을 가지고 모든 요방제밀도에서 방제필요에 대한 의사결정은 1 나무를 조사하면 가능했지만, 방제 불필요에 대한 의사결정을 위해서는 요방제밀도 2.0은 5주, 2.5와 3.0은 4주를 조사해야 가능한 것으로 나타났다. 의사결정을 위한 곱응에 성충의 누적 상한선과 하한선의 간격은 요방제밀도가 클수록 커지는 경향을 보였다.

이상의 결과를 종합하여 보면, 감귤원에서 곱응에 성충은 잎과 열매 모두에서 집중분포를 하고 있었으며, 잎과 열매에 대한 분산-평균 관계의 회귀식이 등

일하였기 때문에 가을철 곱응에 성충의 밀도를 조사할 때 잎만 조사하여 방제여부를 결정해도 충분한 것으로 나타났다. 축차표본조사법을 이용하면 조사에 드는 시간과 노력을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

Literature Cited

- Argov, Y., Y. Rossler, H. Voet and D. Rosen. 1999. Spatial dispersion and sampling of citrus whitefly, *Dialeurodes citri*, for control decisions in a citrus orchard. *Agri. and Forest Entomol.* 1: 305-318.
- Binns, M.R. and J.P. Nyrop. 1992. Sampling insect populations for the purpose of IPM decision making. *Annu. Rev. Entomol.* 37: 427-453.
- Iwao, S. 1968. A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal population. *Res. Popul. Ecol. (Kyoto)* 10: 1-20.
- Jones, V.P. and M.P. Parrella. 1984. Dispersion Indices and sequential sampling plans for the citrus red mite (Acari: Tetranychidae). *J. Econ. Entomol.* 77: 75-79.
- Kim, D.H., H.M. Kwon and K.S. Kim. 2000. Current status of the occurrence of the insect pests in the citrus orchards in Cheju island. *Korean J. Appl. Entomol.* 39: 267-274.
- Lloyd, M. 1967. Mean crowding. *J. Anim. Ecol.* 36: 1-30.
- Pringle, K.L. and J.H. Giliomee. 1992. Dispersion statistics and sample size estimates for monitoring mite populations in commercial apple orchards. *J. Appl. Ecol.* 29: 143-149.
- SAS Institute. 1999. The SAS system for window. release 8.01. SAS institute Inc. Cary, NC 27513, USA.
- Shelton, A.M. and Trumble, J.T. 1991. Monitoring insect populations. pp. 45-62. *In Handbook of Pest Management in Agriculture.* vol. 2. 2nd, ed. by D. Pimentel, CRC Boca Raton, FL.
- Shepard, M. 1980. Sequential sampling plans for soybean arthropods. pp.79-93. *In Handbook of Pest Management in Agriculture,* eds. by M. Kogan and D.C. Herzog, Springer-Verlag, NY.
- Sokal, R.R. and F.J. Rohlf. 1981. *Biometry.* 2nd ed. Freeman. New York.
- Song, J.H., C.H. Lee, S.H. Kang, D.H. Kim, S.Y. Kang and K.Z. Riu. 2001. 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
- Southwood, T.R.E. 1978. *Ecological methods.* 2nd ed. p. 524. Chapman & Hall, London.
- Taylor, L.R. 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature* 189: 732-755.
- Taylor, L.R. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Annu. Rev. Entomol.* 29: 321-357.
- Wilson, L.T. 1985. Estimating the abundance and impact of arthropod natural enemies in IPM systems. pp. 303-322. *In Biological Control in Agricultural IPM Systems* eds. by M.A. Hoy and D.C. Herzog, Academic Press Inc. NY.

(Received for publication 2 December 2002; accepted 27 January 2003)