

## 온주밀감에서 귤응애의 공간분포분석 및 표본추출법

Dispersion Indices and Sequential Sampling Plan for the  
Citrus Red Mite, *Panonychus citri* (McGregor) (Acari:  
Tetranychidae) on Satsuma Mandarin on Jeju Island송정흡\* · 이창훈 · 강상훈 · 김동환<sup>1</sup> · 강시용<sup>2</sup> · 류기중<sup>2</sup>Jeong-Heub Song\*, Chang-Hoon, Lee, Sang-Hoon Kang,  
Dong-Hwan Kim<sup>1</sup>, Si-Yong, Kang<sup>2</sup> and Key-Zung Riu<sup>2</sup>

**Abstract** - Dispersion pattern of the citrus red mite (CRM), *Panonychus citri* (McGregor) was determined to develop a monitoring method in the satsuma mandarin fields, *Citrus unshiu* L., in Jeju-do, during 1999 and 2000. CRM population was sampled by collecting leaves. Taylor's power law provided better description of mean-variance relationship for the dispersion indices compared to Iwao's patchiness regression. Slopes and intercepts of Taylor's power law from leaf samples did not differ among surveyed groves. Fixed-precision levels ( $D$ ) of a sequential sampling plan were developed using Taylor's power law parameters generated from all motile stages of CRM in leaf sample. This sampling plan for leaf sample estimate was tested with resampling validation for sampling plan using 4 independent data sets. Resampling simulation analysis demonstrated that actual fixed-precision level values were better than desired  $D$  values of 0.20, 0.25 and 0.30. Required numbers for tree sampling at the density of more than 7 mites per tree were fewer than 18.

**Key Words** - Dispersion index, *Panonychus citri*, Citrus red mite, Citrus Satsuma mandarin, Sequential sampling

**초 록** - 귤응애의 예찰방법을 개발하기 위하여 제주지역의 온주밀감원에서 귤응애 분산형태에 대해 2개년(1999~2000년)에 걸쳐 잎 표본에 대하여 각 조사일에 평균밀도를 조사하였다. Taylor's power law와 Iwao's patchiness regression을 이용하여 분산지수를 비교하였으며, 잎 표본 조사에서는 일반적으로 Taylor's power law가 Iwao's patchiness regression보다 평균-분산 관계를 더 잘 나타내었다. Taylor's power law의 기울기와 절편은 조사한 포장간에 차이가 없었으며, 여기에서 얻어진 상수값을 이용하여 잎 표본 조사에 의한 귤응애 약·성충에 대한 고정정확도수준에서의 표본조사법을 개발하였다. 이 조사법에 대해 resampling 기법을 이용하여 독립된 4개의 조사자료를 이용하여 분석한 결과 실질 고정정확도( $D$ )값이 요구되는  $D$ 값보다 항상 낮았으며, 나무당 귤응애 밀도가 8마리 이상에서 필요한 조사 나무수는 18주보다 작았다.

**검색어** - 공간분포, *Panonychus citri*, 귤응애, 감귤, 온주밀감, 표본조사법

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

제주도농업기술원 농업환경과(Agricultural Environment Division, Jeju-do Agricultural Research and Extension Service, Jeju 690-815, Republic of Korea)

<sup>1</sup> 제주농업시험장 감귤시험장(Citrus Experiment Station, National Cheju Agricultural Experiment Station, Jeju 699-800, Republic of Korea)

<sup>2</sup> 제주대학교 아열대원예산업연구센터(Subtropical Horticulture Research Center, Cheju National University, Jeju 690-756, Republic of Korea)

제주도에서 온주밀감은 농업생산액의 60% 이상을 차지하는 기간작목이다. 온주밀감에 발생하는 해충 중 발생이 많은 것으로는 귤응애 *Panonychus citri* (McGregor), 조팝나무진딧물 *Aphis citricola* van der Goot, 귤굴나방 *Phyllocnistis citrella* Stainton 등을 들 수 있다. 그 중에 귤응애는 온주밀감에 가장 중요한 해충으로 연간 2~5회 적용 응애약을 이용하여 방제하고 있다. 귤응애의 방제적기 판단은 잎당 2~3마리에서 실시하고 있으나, 과학적으로 검증되지는 않은 실정이다. 귤응애에 의한 온주밀감의 피해는 밀감이나 나무의 발육에 직접적으로 작용하지는 않으나, 잎이나 어린 가지의 세포액을 흡즙하기 때문에 엽록소가 감소하여 광합성에 영향을 주며, 그 결과 수확량이나 나무의 발육에 관여하는 간접적인 영향이 있는 것으로 알려져 있다 (Furuhashi, 1978).

신뢰할 수 있고, 경제적인 해충 발생예찰은 병해충종합관리(IPM)에 절대적으로 필요한 구성요소이다 (Ruesink and Kogan, 1982). 병해충 종합관리에 있어 경제적이고 효과적인 의사결정을 위해서는 해충의 밀도를 정확히 추정하고, 밀도나 피해수준에 따라 방제여부를 결정하는 방법이 필요하다. 해충의 밀도 추정과 피해수준의 분류를 효율적으로 실천하기 위한 방법으로 표본추출법을 개발, 이용할 수 있다. 표본추출법은 다양하게 조사 표본수를 조정할 수 있기 때문에 고정된 조사 표본수에 기초한 방법보다 비용과 노력이 적게 드는 장점이 있다 (Waters, 1955).

본 연구는 Iwao's patchiness regression (Iwao, 1968)과 Taylor's power law (Taylor, 1961)에 기초하여 일정 정확도 수준에서 귤응애의 나무내 분포에서 조사된 표본단위를 기본으로 나무간 공간분포를 조사하여 표본추출법을 개발하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

제주도내 농가재배 온주밀감 과수원에서 1999년(3포장)과 2000년(5포장) 2년 동안 4월부터 11월까지 7~10일 간격으로 귤응애를 조사하였다. 조사시에 농가가 귤응애 방제를 위해 농약을 살포한 경우에는 살포후 10~15일이 지난 후에 조사하였다. 조사한 온주밀감의 품종은 궁천조생이었으며, 수령은 13~20년생이었고, 조사면적은 0.5~1.2 ha였다. 온주밀감의 재배는 지역의 농가관행에 의한 병해충 방제 및 시비를 실시하였으며, 농가가 스스로 병해충 방제시기 및 방제농약을 결정하였다.

### 나무내 분포

조사나무의 선정은 조사포장의 형태 및 면적에 따라 나무수(1나무/0.05 ha)를 조정하였으며, 조사잎은 조사나무당 지상 60~120 cm 높이에서 동, 서, 남, 북 4방향의 바깥쪽과 30 cm 안쪽에서 완전히 성숙된 잎을 각 1매씩 임의로 택하여 나무당 총 8잎을 채취하였다. 채취한 잎은 hairspray를 뿌려주어 귤응애가 이동을 못하도록 하였으며, 1~3분간 spray액을 완전히 말린 후 zipper bag에 넣고 실험실로 가져와 실체현미경( $\times 10$ ) 하에서 잎당 귤응애의 성충과 약충 밀도를 조사하였다. 잎당 귤응애의 밀도와 분산은 나무의 안쪽과 바깥쪽을 구분하여 각 조사일에 조사 포장별로 계산하였다. 고정 정확도( $D = \frac{SE}{m}$ )에서 잎의 위치에 따른 개체군 밀도 추정에 필요한 표본크기를 TPL에서 계산된 상수를 이용하여 결정할 수 있으며 (Green, 1970), 평균 밀도에 따라  $D$ 값을 유지하는데 필요한 표본 크기( $n$ )는

$$n = a m^{(b-2)} D^{-2}$$

식에 의해 구했다.

### 나무간 분포

나무당 귤응애의 밀도와 분산은 조사한 바깥쪽 4잎의 귤응애수를 합하여 각 조사일에 포장별로 계산하였다. 나무당 평균 귤응애 밀도는 0.06~30.75마리 범위에 있었다.

### 통계분석

분산지수는 Iwao's patchiness regression(IPR)과 Taylor's power law (TPL) 두 가지 방법을 이용하였다. IPR은 잎당 평균밀도( $m$ )에 대한 평균 군집도( $\bar{m}$ )

$$\bar{m} = m + \frac{s^2}{m} - 1$$

의 회귀식

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

이다 (Iwao, 1968; Lloyd, 1967).  $\beta$ 는 생물이 환경을 이용하는 형태(분포형태)와 관계되는 반면에  $\alpha$ 는 생물의 단위 면적당 밀도를 나타낸다 (Southwood, 1978).

TPL은 log 평균( $m$ )에 대한 log 분산( $s^2$ )의 회귀식

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

이다 (Taylor, 1961, 1971). 기울기( $b$ )는 종 특이적인

집중상수를 나타내는 것이고, 절편(log *a*)은 환경, 표본조사 과정과 이용된 표본 단위에 관계되는 규모 요인이다.

회귀식 상수를 추정하는데는 SAS (SAS Institute, 1995)의 일반선형회귀모델(PROC GLM)을 이용하였고, 각 선형 모델의 적합성은 결정계수(*r*<sup>2</sup>)의 추정에 의해 평가하였다. 또한 회귀선의 기울기가 1.0보다 크다는 것은 Student t-test를 이용하여 판정하였으며, 각 조사포장간 회귀식 절편과 기울기의 동일성은 공분산분석(ANCOVA)으로 검정하였다(Sokal and Rohlf, 1981).

주어진 *D*에서의 표본추출중지선은

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

으로 계산할 수 있으며, 이 때 *T<sub>n</sub>*은 표본 *n*에 대한 누적수, *n*은 표본 크기, *a*와 *b*는 TPL의 상수값이다. 중지선을 추정하는데 이용된 *D*는 0.20, 0.25 그리고 0.30을 이용했다. 이들 *D*는 정확도와 표본크기에 대해 일반적으로 받아들여지며, 대부분의 해충 관리에 알맞은 수준인 것으로 알려져 있다(Southwood, 1978).

**조사방법의 유효성**

특정 정확도 수준에 대한 잎 표본조사에서 얻어진 실질 정확도 수준은 표본추출법 개발에 이용되지 않았던 조사자료에 대해 Resampling Validation for Sampling Plans (RVSP) 프로그램(Naranjo and Hutchison, 1997)을 이용하여 평가하였다. 이를 위해 분석에 이용하지 않았던 독립된 4개의 조사자료를 이용하였으며, 이들의 표본수는 24~28개였다. 이 RVSP simulation은 고정 정확도 중지선 계획을 평가하는데 이용되며, 정확도 값의 분포, 평균 정확도, 평균밀도 그리고 평균 표본크기가 계산된다.

**결과 및 고찰**

**나무내 분포**

TPL의 결정계수(*r*<sup>2</sup>) 범위는 0.93~0.95이었으나, IPR의 *r*<sup>2</sup> 범위는 0.31~0.89로 굴응애의 공간분포는 TPL이 IPR보다 더 잘 설명하였다(Table 1). 또한, TPL의 상수값인 *a*와 *b*값이 IPR의 *α*와 *β*보다 변이가 작았다. 특히 TPL *b*값의 범위는 1.39~1.54이었으나, IPR의 *β*값은 2.00~3.36으로 넓게 나타났다. TPL의 *b*값과 IPR의 *β*값은 모두 1보다 컸는데(*P* < 0.05), 이는 굴응애가 온주밀감원에서 집중분포형태를 취하고 있음을 보여주는 것이다. 이는 레몬에서 굴응애의 분포(Jones and Parrella, 1984)와 사과에서 사과응애의 분포(Nyrop et al., 1989; Nyrop and Binns, 1991) 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

TPL의 절편(*a*)과 기울기(*b*)에 대해 공분산분석을 한 결과 둘다 연도 및 잎 위치간에 유의성이 없었다(*F* = 0.32, *df* = 2, 151, *P* > 0.1; *F* = 0.22, *df* = 2, 151, *P* > 0.1). 따라서, Taylor 일반 회귀식을 이용할 수 있으며, 평균과 분산간의 함수관계 모델에 이용할 수 있다.

TPL의 상수값을 이용하여 *D*가 0.25에서의 잎당 굴응애 평균밀도에 따른 잎 위치별 필요 표본수는 Fig. 1과 같았다. 잎 위치별로 보면 잎당 평균 굴응애 밀도가 1마리까지는 안쪽과 바깥쪽 잎을 모두 조사하는 것이 표본수를 줄일 수 있었으나, 그 이상에서는 바깥쪽 잎을 조사하는 것이 조사 표본수를 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 잎당 굴응애 평균밀도가 낮을수록 더 많은 표본수가 필요한 것으로 나타났다. 농가에서 일반적으로 이용되고 있는 잎당 굴응애 평균밀도 2마리를 기준으로 했을 때 필요한 표본수는 바깥쪽과 안쪽 잎 표본조사시에 각각 49와 55개로 나타났는데, 이는 나무간 분포조사시에 바깥쪽 잎만을 가지고 분석하는 것이 가능한 것으

**Table 1.** Intra-tree dispersion indices for motile stages of the citrus red mite, *P. citri*, on eight satsuma mandarin groves on Jeju island, 1999-2000

Year	Side <sup>a</sup>	<i>n</i> <sup>b</sup>	Taylor's power law			Iwao's patchiness regression		
			log <i>a</i> ± SEM	<i>b</i> ± SEM	<i>r</i> <sup>2</sup>	<i>α</i> ± SEM	<i>β</i> ± SEM	<i>r</i> <sup>2</sup>
1999	Outside	37	1.39 ± 0.09	1.43 ± 0.06	0.95	1.25 ± 0.43	2.34 ± 0.21	0.78
	Inside	37	1.37 ± 0.09	1.39 ± 0.06	0.95	1.40 ± 0.32	2.00 ± 0.12	0.89
2000	Outside	40	1.63 ± 0.09	1.42 ± 0.06	0.94	2.92 ± 0.98	2.91 ± 0.47	0.45
	Inside	40	1.76 ± 0.10	1.54 ± 0.07	0.93	3.21 ± 1.80	3.36 ± 0.81	0.31
Combined	Outside	77	1.52 ± 0.07	1.43 ± 0.04	0.94	2.05 ± 0.42	2.29 ± 0.22	0.60
	Inside	77	1.60 ± 0.07	1.48 ± 0.05	0.93	2.65 ± 0.91	2.52 ± 0.37	0.38
	Total	154	1.56 ± 0.05	1.46 ± 0.03	0.94	2.31 ± 0.50	2.45 ± 0.23	0.43

<sup>a</sup> The position of leaf sampled within the tree.

<sup>b</sup> The number of *m* and *s*<sup>2</sup> or *m*<sup>2</sup> pairs used to calculate the regression statistics.

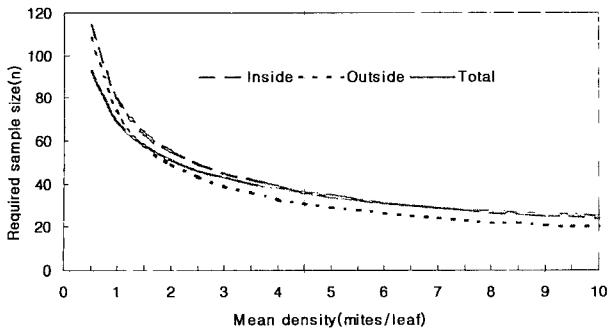


Fig. 1. Relationships between required the number of leaf per sample and mean density per leaf at a fixed-precision level of 0.25 by the position of leaf sampled within the tree for the citrus red mite on satsuma mandarin groves.

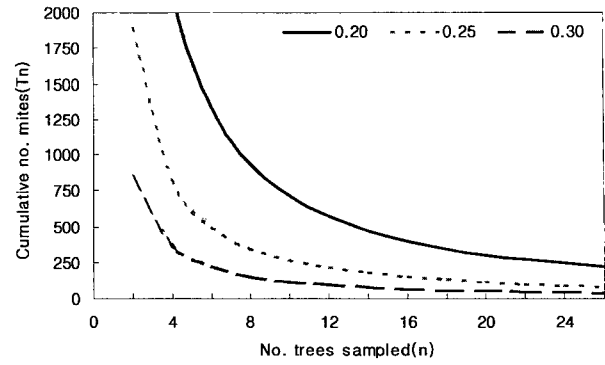


Fig. 2. Inter-tree sequential sampling stop lines for fixed-precision levels ( $D$ ) of 0.20, 0.25 and 0.30 on the satsuma mandarin groves.

로 나타났다.

**나무간 분포**

TPL과 IPR을 가지고 바깥쪽 잎의 굴응에 밀도를 이용하여 나무간 분포를 조사, 분석한 결과 굴응에가 집중분포하는 것으로 나타났으며, TPL이 나무간 분포를 더 잘 나타내었다(Table 2). TPL의 결정계수 ( $r^2$ ) 범위는 0.90~0.92였고, IPR의  $r^2$  범위는 0.69-0.89였다. TPL의  $b$ 값과 IPR의  $\beta$ 값은 모두 1보다 컸다 ( $P < 0.05$ ). 이는 레몬에서 굴응에 나무간 공간분포를 조사했을 때  $b$ 와  $\beta$ 값이 각각 1.71과 1.12라 하였는데(Jones and Parrella, 1984), 본 연구결과와 비슷하였다. 그러나 IPR의  $\alpha$ 상수값이 너무 작아 밀도가 아주 낮을 때에는 동일한 잎에 존재하는 굴응에의 수가 너무 적어 발견하기가 어렵다.

TPL과 IPR의 절편( $a, \alpha$ )과 기울기( $b, \beta$ )에 대해 공분산분석을 한 결과 모두 조사포장간에 유의성이 없었다( $a$ :  $F=2.72, df=2, 74, P>0.1$ ;  $\alpha$ :  $F=0.67, df=2, 74, P>0.1$ ;  $b$ :  $F=0.13, df=2, 74, P>0.1$ ;  $\beta$ :  $F=2.31, df=2, 74, P>0.1$ ). 따라서, 일반 Taylor의 회귀식을 이용할 수 있으며, 평균과 분산간의 함수관계 모델에 이용할 수 있다.

TPL의 상수값을 이용하여  $D$ 값이 0.20, 0.25와 0.30에서의 중지선은 Fig. 2와 같았다. 조사 나무수가 적을수록 그리고  $D$ 값이 높을수록 중지선까지의

누적 굴응애수가 증가하였다. 따라서 굴응애 조사에 있어 시간과 비용을 절약하기 위해서는 최소한 18주 이상을 조사하는 것이 알맞은 것으로 판단되었다. 18주 조사시 나무당 누적 굴응애수는 고정정확도수준 0.20, 0.25와 0.30에서 각각 347, 129와 57마리였다. 이는 나무당 바깥쪽 4잎을 조사했을 때,  $D=0.25$ 에서 요방제밀도를 잎당 2마리로 하면 18주를 조사하여 굴응애 밀도를 추정하더라도 충분히 정확도가 있다고 보여진다.

**조사방법의 유효성**

개발된 조사계획이 이용한계를 정하기 위하여 실제 포장에서의 조사자료에 의해 평가하는 것은 매우 중요하다(Naranjo and Hutchison, 1997). 본 연구에서는 이를 위해 resampling 기술인 Naranjo와 Hutchison (1997)이 개발한 RVSP simulation을 이용하여 평가하였다. 평가에 이용된 4개 포장의 나무당 굴응애 평균밀도는 4.18~37.29였다(Table 3). 실제 평균  $D$ 값은 모든 밀도에서 원하는  $D$ 값보다 낮았다. 이는 조사법이 약, 성충이 공존하는 포장에서 이용할 수 있다는 것을 보여주는 것이다. 굴응애 방제에 이용되고 있는 잎당 굴응애 평균밀도 2마리 이상의 조사에 필요한 조사나무수는  $D$ 가 0.25인 경우에 18주 정도인 것으로 나타났다. 또한, 나무당 굴응애 평균밀도가 7.6마리 이상일 때 필요한 나무수는

Table 2. Inter-tree dispersion indices for motile stages of the citrus red mite, *P. citri*, on eight satsuma mandarin groves on Jeju island, 1999-2000

Year	n <sup>a</sup>	Taylor's power law			Iwao's patchiness regression			Density range per tree
		log $a \pm SEM$	$b \pm SEM$	$r^2$	$\alpha \pm SEM$	$\beta \pm SEM$	$r^2$	
1999	37	0.87±0.12	1.56±0.09	0.90	0.97±0.91	1.89±0.11	0.89	0.17~30.75
2000	40	1.15±0.12	1.52±0.07	0.92	4.17±1.14	1.41±0.15	0.69	0.06~24.92
Combined	75	1.00±0.09	1.55±0.06	0.91	2.29±0.74	1.69±0.10	0.81	0.06~30.75

a The number of  $m$  and  $s^2$  or  $m^2$  pairs used to calculate the regression statistics.

**Table 3.** RVSP statistics of 500 sequential sampling simulation runs for tree sampling estimates of the citrus red mite on independent data sets

Groves	Data set (Year)	Data set		Simulation			
		Estimate density	n	Desired precision	Mean density	Mean sample size	Mean precision
Weolsan	6 July	4.18	28	0.20	— <sup>a</sup>	—	—
				0.25	4.30	24	0.23
				0.30	4.41	17	0.27
	5 October	13.64	28	0.20	13.94	22	0.18
				0.25	14.46	14	0.22
0.30	13.86	10	0.24	0.20	—	—	
							0.25
Hoecheon	27 April	7.63	24	0.30	8.05	13	0.25
				0.20	38.65	14	0.15
				0.25	38.18	10	0.17
	6 October	37.29	24	0.30	38.54	10	0.17
				0.20	38.54	10	0.17

<sup>a</sup> Results are not given at  $D=0.20$  because expected sequential sample size was higher than the sample number from data set.

18주 이하인 것으로 조사되었다.

이를 종합하여 보면, 귤응애는 온주밀감원에서 집 중분포를 하고 있다는 것을 보여주었으며, 고정정확도에서의 표본추출법을 이용하면 온주밀감원에서 귤응애 밀도를 효율적으로 추정할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 금후 감귤 병해충종합관리에 유용하게 이용될 것으로 기대된다.

## 사 사

본 연구는 한국과학재단 지정 RRC인 제주대학교 아열대원예산업연구센터(SHRC)의 연구과제로 수행되었으며, 연구비를 지원해준 SHRC에 감사드린다.

## Literature Cited

- Furuhashi, K. 1978. Economic threshold level of citrus red mite. *Plant Protec.* 30: 335~340.
- Green, R.H. 1970. On fixed precision sequential sampling. *Res. Popul. Ecol.* 12: 249~251.
- Iwao, S. 1968. A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal population. *Res. Popul. Ecol.* 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.
- Lloyd, M. 1967. Mean crowding. *J. Anim. Ecol.* 36: 1~30.
- Naranjo, S.E. and W.D. Hutchison. 1997. Validation of arthropod sampling plans using a resampling approach: Software and analysis. *Am. Entomol.* 43: 48~57.
- Nyrop, J.P., A.M. Agnello, J. Kovach and W.H. Reissig. 1989. Binomial sequential classification sampling plans for European red mite (Acari: Tetranychidae) with special reference to performance criteria. *J. Econ. Entomol.* 82: 482~490.
- Nyrop, J.P. and M. Binns. 1991. Quantitative methods for designing and analyzing sampling program for use in pest management. pp. 67~132. *In* D. Pimentel [ed.], *Handbook of Pest Management in Agriculture*, vol. 2. CRC Boca Raton, FL.
- Ruesink, W.G. and M. Kogan, 1982. The quantitative basis of pest management: sampling and measuring. pp. 315~352. *In* R.L. Metcalf and W.H. Luckmann [eds.], *Introduction to Insect Pest Management*. Wiley, New York.
- SAS Institute. 1995. The SAS system for window. release 6.11. SAS institute Inc. Cary, NC 27513, USA.
- Sokal, R.R. and F.J. Rohlf. 1981. *Biometry*. 2nd ed. Freeman, New York.
- Southwood, T.R.E. 1978. *Ecological methods*. 2nd ed. Chapman & Hall, London.
- 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* G.P. Patil, E.C. Pielou and W.E. Waters [eds.], *Statistical ecology*. Vol. 1. Penn. State Univ. Press, Philadelphia.
- Waters, W.E. 1995. Sequential sampling in forest insect surveys. *Forest Science* 1, pp. 68~79.

(Received for publication 18 December 2000; accepted 16 April 2001)