

實際被害嚴重度 Model과 累積被害日 Model의 개발

Development of Damage Index Model and Cumulative Damage Days Model

呂 龍 石
Long Shi Lu

초 록 본문은 가지의 포진시험자료에 근거하여 점박이용애붙이(*Tetranychus cinnabarinus*(Boisduval))의 밀도와 피해증정도간의 관계를 검토하였는데 그 결과 응애밀도와 피해증정도간의 農藥을 살포하기전 혹은 응애가 확산하기 전에는 正相關性($r=0.865^{**}$)을 나타냈으나 通用적인 수량적 관계는 나타내지 않았다. 계통적조사에 근거하여 實際被害嚴重度(DI) 증가율 model과 實測被害嚴重度 model을 작성한 후 그 두 model로 實際被害嚴重度 측정 model을 구성하였다. 피해정도를 잘 반영할 수 있는 累積被害日(cumulative damage days, CDD) 개념을 제출하고 그 수학적 model을 세웠다. 累積被害日은 實際被害嚴重度曲線 아래의 면적으로서 적분으로 표할 수 있는데 그 속에 피해의 점차적이며 누적적인 기본 과정이 뒷받침 되어 있지 않다. 여러 가지 被害程度 표기법을 서로 서로 비교한 결과 CDD가 가장 합리적이었고 또한 동일한 생태조건(同地)하에서는 CDD와 DI가 일정한 等價性이 있었다

검 색 어 점박이용애붙이, 피해, 실제피해증정도, 누적피해일, 모델

中國 棉花를 加害하는 응애들이 점박이용애(*Tetranychus urticae* Koch), 점박이용애붙이(*T. cinnabarinus* (Boisduval)), 截形응애(*T. truncatus* Ehata) 등으로 명확히 분류되기 전(王善夫 1979)에는 여러종들의 學名이 혼란하였다. 그후 内田(1982), 吳千紅 등(1985), 李順遠 등(1986), 曹煜(1988), Mishra *et al* (1989), 朴小得 등(1990) 등 적지 않은 학자들이 점박이용애 및 점박이용애붙이에 대하여 연구하였는데 그 대부분 연구는 棉花나 사과 또는 강남콩에서 진행되었다. 응애의 被害程度를 표함에 있어서 單位葉 응애수(吳孔明 등 1990)로 표한 것이 있는가 하면 被害指數(陳杰林 1988)로 표한 것도 있으며 Cumulative Insect Days(秦玉川 등 1990)로 표한 것도 있는데 서로 장단점이 있음과 아울러 다른 작물에서의 그 효과도 서로 다른 형편이다(陳杰林 1988) 가지에서는 응애 피해가 심하다(小林 1982, 심재영 1990, 雷 雷 등 1991 등)는 보고만 있을 뿐 아직 상세한 연구는 되어 있지 않고 있는데 특히 被害程度를 여

실히 반영할 수 있는 표기법에 관한 연구는 아직 없는 형편이다.

본문은 가지 포장에서 점박이용애 붙이의 피해와 그 정도의 표기법을 確立하고자 체계적인 조사와 세밀한 관찰에 근거하여 單葉의 被害級別(D)의 劃分標準과 被害植株 혹은 被害小區의 被害嚴重度 계산공식을 제출하고 응애 密度와 被害嚴重度간의 관계를 검토하였으며 實際被害嚴重度 측정 model(f(t))를 작성하고 累積被害日(Cumulative Damage Days, CDD) 개념을 제출함과 동시에 그 수학적 model의 작성방법과 그 의의를 서술하고 여러가지 被害程度 표기법을 비교하였다.

재료 및 방법

1991년, 重慶에서 自然消長區 3개와 A, B, C, D, E 5개 被害區 및 未被害區(CK)를 설치하여 점박이용애붙이가 가지를 加害하는 전반과정을 定株, 定葉,

定期적으로 系統적 관찰을 진행하였다. 짐박이응애 불이가 포전으로 遷入해 들어올 때 調査植株主莖에서 아래로부터 위로 꽃피는 순서에 따라 果下葉을 ① ② ③...으로 표하고 每週에 한번씩 응애수와 피해정도를 조사함과 동시에 被調査葉의 길이와 넓이를 측정한 후 상응한 시기의 葉形指數(leaf index)에 근거하여 葉面積으로 환산하였다. 미피해구는 농약으로 전면보호하고 5개 피해구는 일정한 被害層次가 생기게끔 처리하였다.

單葉의 피해정도는 피해과정을 고찰한데 근거하여 葉面の 黃色斑點의 크기에 따라 7개 기본 被害級別(D)로 획분하였는데 그 구체표준은 아래와 같다.

- 0級: 葉背과 葉面に 응애도 없고 被害狀도 없는 것;
 1級: 葉背과 葉面に 응애 혹은 被害狀이 있고 葉面黃色斑點이 5% 이내;
 2級: 葉背과 葉面に 응애 혹은 被害狀이 있고 葉面黃色斑點이 5~25% 이내;
 3級: 葉背과 葉面に 응애 혹은 被害狀이 있고 葉面黃色斑點이 25~50% 이내;
 4級: 葉背과 葉面に 응애 혹은 被害狀이 있고 葉面黃色斑點이 50~75% 이내;
 5級: 葉背과 葉面に 응애 혹은 被害狀이 있고 葉面黃色斑點이 75~100% 이내;
 6級: 被害로 하여 落葉(3급 이상 피해를 입은 후)된 것.

植株(혹은 小區)의 被害程度는 被害嚴重度(DI)로 표하고 아래의 공식으로 계산하였다.

$$DI = \frac{\sum_{i=1}^n (Di \cdot Si)}{\sum_{i=1}^n Si} \quad i=1, 2, 3, \dots, n. \quad (1)$$

(1)식에서 n는 調査葉數이고 Di는 제 i葉의 被害級別이며 Si는 제 i葉의 葉面積이다 實質上 DI는 植株各被害葉의 被害級別(D)이 葉面積에 대한 加權平均數이다 이는 부동한 葉面積이 平均被害級別에 주는 영향을 충분히 고려한 것으로서 葉面積差異가 비교적 큰 가지 植株의 被害程度를 비교적 진실하게 반영할 수 있겠다.

응애밀도는 單位葉의 응애수(LD)로도 표하고 부동한 葉面積의 크기를 고려하여 單位葉面積(cm²)의 응애수(PD)로도 표하였으며 累積蟲日(Cumulative Insect Days, CID)은 상용적 방법(Ruppel 1983)에 따라

單位葉 응애수 曲線의 積分으로 구하였다. 포전에서 조사한 實測被害嚴重度(DI)의 계통조사에 대한 분석으로 被害落葉(6급)을 포함한 實際被害嚴重度(DI)를 구하였다. 피해구와 미피해구의 계통적 수확량 조사에 근거하여 피해구의 收穫量損失率을 구하였다.

1992년에 龍井에서 이와 비슷한 시험을 진행하였는데 그 결과가 비슷하였기에 본문 작성에서 참고하였을 뿐이다.

결 과

응애밀도와 피해엄중도간의 관계

3개 自然消長區의 조사결과를 바탕으로 그림 1을 작성하였다.

3개 自然消長區간의 거리는 비교적 가까왔는데도 응애 고봉기는 한주일씩 뒤로 밀리웠고 응애밀도도 점점 더 낮은 것으로 보아 각 소구지간의 차이가 큰 것으로 보인다. 이점을 밝히기 위하여 각 소구의 피해엄중도와 응애밀도를 標準化하여 서로 비교할 수 있도록 표 1을 작성하였다.

표 1에 근거하여 분산분석을 하였는데 결과 각 小區지간과 부동한 급별지간의 응애밀도는 모두 현저한 차이를 나타냈다. 自然消長區간의 응애 밀도 차이는 주요하게 遷入한 응애 基數의 차이로 하여 초래된 것이라고 생각된다. 자연소장구간의 응애 密度 차이는 같은 피해엄중도하에서 각 小區의 응애 密度가 현저한 차이가 있다는 것을 설명하므로 通用적인 응애밀도와 피해엄중도간의 관계식을 작성하는 것은 그다지 타당치 못하겠다

5개 被害區의 조사결과를 바탕으로 그림 2를 작성하였다.

그림 2에서와 같이 개체군이 피크에 오르기전 혹은 農藥을 살포하기전에는 피해엄중도와 응애 밀도간에 正相關(r=0.866**)을 이루었는데 그후 응애 밀도는 급격히 하강하나 피해엄중도는 계속 상승하는 추세를 보이고 있다. 그러므로 응애 밀도 혹은 응애 밀도를 기초로한 累積蟲日(CID)로 피해정도를 표하는 것보다 被害嚴重도로 표하는 것이 더 타당하겠다.

實際被害嚴重度 측정 Model의 작성 및 그 應用

그림 2에는 두 가지 피해엄중도가 있는데 하나는

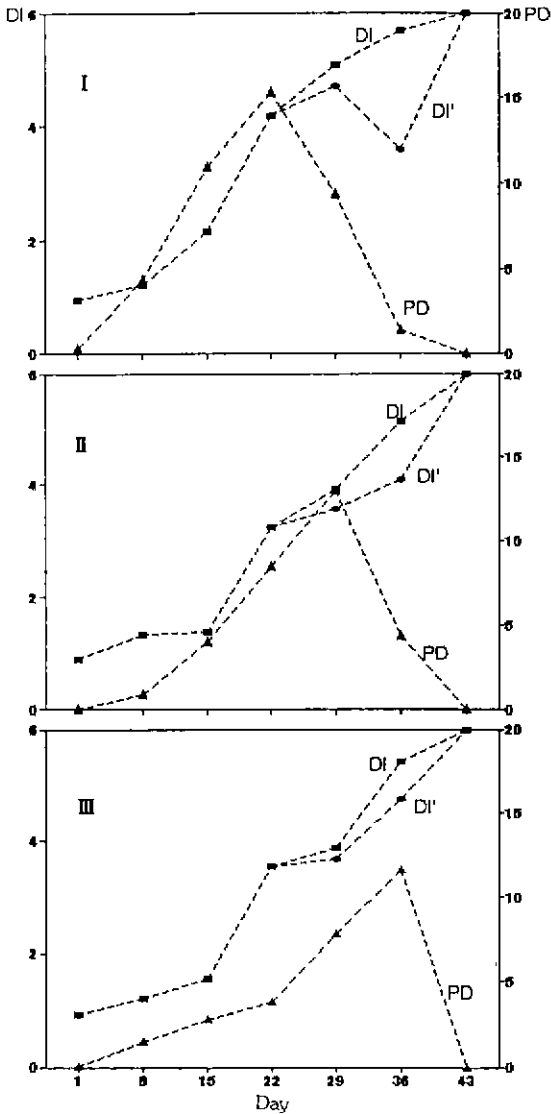


Fig. 1. Changes of damage index (DI) and mite density (PD) with time in untreated plots, Chongqing, 1991.

피해낙엽을 포함한 實體被害嚴重度(DI)이고 다른 하나는 피해낙엽을 포함하지 않는 實測被害嚴重度(DI')

이다. 實測被害嚴重度(DI')는 被害落葉(6급)을 포함하지 않는 것이므로 매우 피해정도를 제대로 반영하기 어렵겠다. 그러나 포장에서 實際被害嚴重度を 파악하기는 매우 어려운 일이다. 그러므로 실측피해염증도(DI')와 실제피해염증도(DI) 간의 관계를 검토하는 것은 매우 필요하겠다.

실제피해염증도(DI)에서 실측피해염증도(DI')를 덜어낸 것을 실제피해염증도 증장량(DIΔ)이라고 한다 (DIΔ=DI-DI'). A, B, C 세소구의 실제피해염증도 증장량을 계산하고 분산분석을 진행한 결과 차이가 현저하지 못하므로 그들의 평균치로 調査日에 따른 실제피해염증도 증장량 model(fΔ(dd))를 세웠다.

$$f\Delta(dd) = 3.593 / [1 + \exp(6.436 - 0.108 \text{ dd})]$$

$$R^2 = 0.977 \quad 22 \leq dd \leq 63 (\text{被害日}) \quad (2)$$

그림 1의 수치에 근거하여 실측피해염증도 model (f'(DD))를 세울 수 있다.

$$f'(DD) = 3.212 / [1 + \exp(2.082 - 0.106 \text{ DD})]$$

$$R^2 = 0.991 \quad 1 \leq DD \leq 63 (\text{被害日}) \quad (3)$$

實際被害嚴重度 측정 model(f(Dd))은 이상의 두식을 더한 것과 같다. 즉

$$f(Dd) = f'(DD) + f\Delta(dd) \quad (4)$$

(4)식에 근거하여 실제를 모방하였는데 그 효과가 상당히 좋았다($\chi^2 = 0.067$). f(Dd) model은 두개의 logistic 子 model로 이루어졌는데 주요하게 피해식주의 葉面積손실 및 피해로 인한 낙엽과정을 반영하였다 그러므로 f(Dd) model은 피해엽의 失綠과 落葉으로 인하여 초래된 모 시기의 피해정도를 비교적 사실적으로 반영할 수 있는 것이다. 뿐만 아니라 f(Dd) 곡선은 피해후 여러 가지 원인(농약살포, 강우, 天敵 등)으로 응에 個體群의 밀도가 하강하나 식주의 피해정도는 계속 엄중해지는 가장 기본적인 사실을 여실히 반영하였다. 실제응용의 편리를 도모하고자

표 1. 自然小長區의 被害嚴重도와 응애 密度

(重慶 1991)

小區	密度/DI	0級	1級	2級	3級	4級
I	PD(마리/cm ²)	0.0000	2.9008	7.1769	11.4532	15.7295
II	PD(마리/cm ²)	0.0000	0.7630	4.7044	8.6458	12.5873
III	PD(마리/cm ²)	0.0000	0.5710	2.8565	5.1419	7.4274

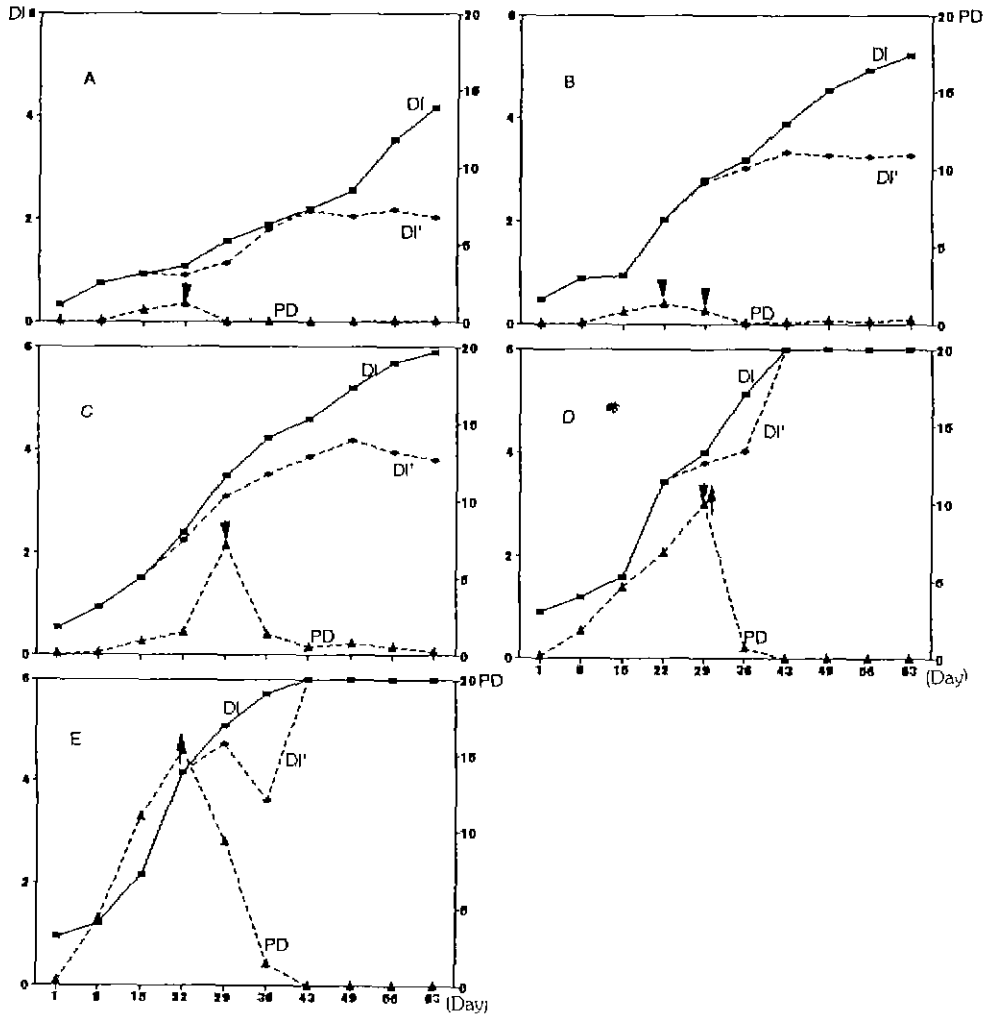


Fig. 2. Changes of damage index (DI) and mite density (PD) with time in five treated plots, Chongqing, 1991.

(2)식에 근거하여 피해일수(dd)에 따른 실제피해염증도 증장량 대조표(略)를 작성하였다. 전간에서 피해염증도(DI')를 측정 한 후 피해일수에 따라 대조표에서 피해증장량을 찾아 더하면 실제피해염증도가 된다.

실제피해염증도 측정 model(f(Dd))은 전간피해정황을 기본상 진실하게 반영하였으며 모방효과도 매우 좋다. 그러나 이 model은 응애의 遷入時期를 정확하게 파악할 것을 요구하고 있다. 일정한 생태조건하에서(某 地方)의 응애 遷入時期는 비교적 고정되어 있으므로 실제적인 조사를 통하여 이러한 문제는 해결될 수 있다고 생각한다. 지적해야 할 것은 fΔ(dd) model은 피해정도가 좀 낮은 각 소구의 평

균치로 건립한 것이기에 염중히 피해받은 소구에는 그다지 적합하지 않을 것이므로 이를 유의하여야 할 것이다.

累積被害日 개념 및 Model의 작성과 意義

응애의 피해를 받은 가지는 잎의 생장이 억제되고 落葉을 초래함과 아울러 또한 많은 葉綠素의 손실로 하여 유효엽면적을 현저히 손실보는데 이로 하여 수확량의 감산을 초래한다. 그림 1에서도 볼 수 있는바 응애의 피해는 점차적이며 누적적인 것이다. 被害嚴重度(DI)는 피해후 某時刻의 피해정도를 반영할 뿐 피해의 점차적이며 누적적인 전반과정을 반

영하지 못한다. 피해가 점차적이며 누적적인 것인바 피해정도도 점차적이며 누적적인 형식으로 표하는 것이 더욱 합리할 것이다.

가지식주가 응애 피해를 받은 후 모시각의 누적적인 피해정도를 累積被害日(cumulative damage days, CDD)라 한다. 누적피해일(CDD)은 실제피해업증도 함수f(Dd)가 被害日數에 따른 積分으로 표할 수 있다. 즉

$$CDD = \int_0^t f(t) dt \tag{5}$$

(5)식에서 t는 피해일수(Dd)이다. 그러므로 f(t)는 f(Dd)와 같다. 누적피해일(CDD)은 실제피해업증도(DI)의 연선으로 이루어진 f(Dd) 曲線 아래의 면적으로서 그속에 피해의 점차적이며 누적적인 기본과정이 안 받침하여 있다. 그러므로 누적피해일(CDD)로 피해정도를 표시하며 비교적 합리적이고 또한 진실에 접근한다.

부동한 생태조건하에서 상등한 피해업증도는 부동한 수확량손실을 초래할 수 있다. 예를 들면 1991년 중경의 A區는 피해 20일후의 피해업증도가 1.078였고 1992년 룡정의 A區는 피해 22일후에 업증도가 0.986으로서 被害程度가 매우 비슷하였으나 수확량손실은 각기 20.48%와 4.16%였다. CDD model로 피해업증도(DI)가 1일 때의 두 곳의 누적피해일을 구하여 그림 3을 작성하였다.

그림 3에서 보는 바와 같이 重慶과 龍井에서의 累積被害日(CDD)은 각기 12.64(級, 日)과 243(級, 日)이었다. 重慶의 응애는 遷入基數가 크고 DI가 천천히 1에 도달하였으므로 CDD가 컸으나 龍井 응애의 遷入基數는 작았고 또한 천입초기엔 DI가 매우 낮은 수준으로 천천히 증가하다가 후기에야 급격히 1에 도달하였기에 CDD가 작게 나타났다. 이상에서 볼 수 있는바 다른 생태조건하에서 동일한 피해업

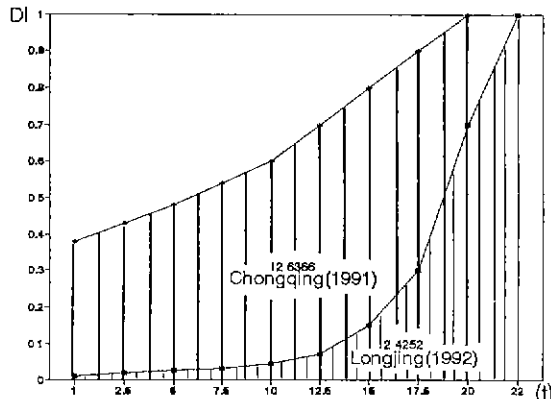


Fig. 3. Different cumulative damage days (CDD) with the same damage index (DI) in different ecological conditions.

증도가 다른 수확량손실을 빚어내는 원인을 누적피해일(CDD)의 현저한 차이로 해석할 수 있는 것이다.

동일한 생태조건(同地)하에서 피해업증도와 누적피해일은 일정한 等價性을 나타낸다. DI와 CDD지간의 등가성을 확인하고 또한 부동한 被害表示法(LD와 CID)과 비교하고자 표 2를 작성하였다.

표 2에서 볼 수 있는바 수확량손실(YLP)은 누적피해일(CDD)과 相關성이 제일 좋고 피해업증도(DI)과의 상관성이 그 버금이며 또한 CDD와 DI지간의 상관성도 제일 좋다. CDD와 DI지간의 높은 상관성 또한 이들과 YLP지간의 높은 상관성은 같은 생태조건하에서 CDD와 DI는 일정한 등가성이 있다는 것을 설명한다 LD와 YLP 혹은 CID와 YLP지간의 상관성도 괜찮은 편이나 CDD와 DI에 비하면 일정한 차이가 있겠다. 그러므로 누적피해일(CDD)로 피해정도를 표하는 것이 제일 좋고 동일한 생태조건하에서는 실제피해업증도(DI)를 체납하여도 무방하겠다고 생각한다

누적피해일(CDD)의 기본유형 추세를 탐구하고저

표 2. YLP, DI, CDD, LD, CID 간의 相關性

(重慶 1991)

性 狀	YLP	DI	CDD	LD
DI(級)	0.9786** (7.9336)			
CDD(級, 日)	0.9810* (7.4851)	0.9639**		
LD(마리/葉)	0.8277* (21.65)	0.9111*	0.8128*	
CID(마리/葉, 日)	0.8695* (19.06)	0.9457**	0.8471*	0.9126*

*p=0.05, **p=0.01에서 유의성이 인정됨 ()의 수치는 직선방정의 표준오차이다

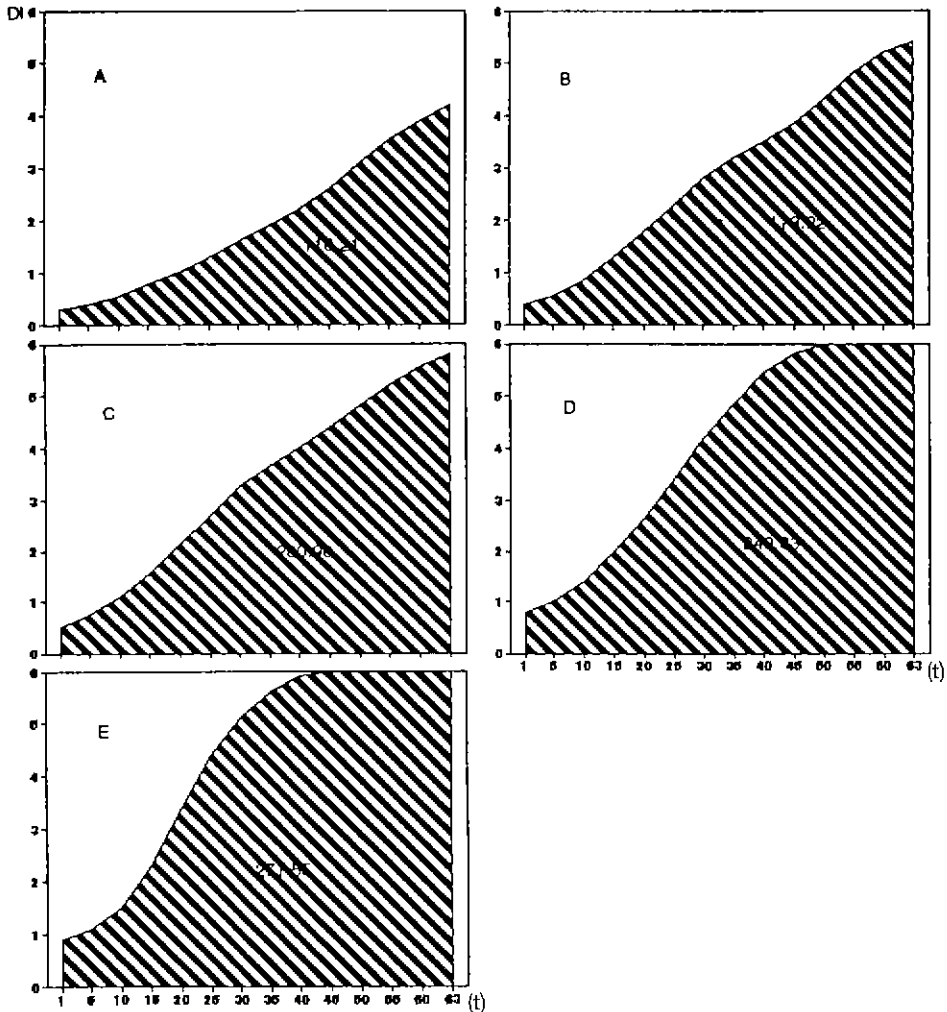


Fig. 4. Changes of cumulative damage days (CDD) in five treated plots. Chongqing, 1991.

그림 2의 조사자료에 근거하여 각 소구의 $f(Dd)$ 를 구하고 적분을 취해 그림 4를 작성하였다.

그림 2에서 볼 수 있는바 농약으로 응애피해를 금지시킨 후에도 DI는 계속 증가되고 있다. 그림 4에서 볼 수 있는바 실제피해증도(DI) 곡선아래 면적으로서의 CDD도 이러한 특점을 계속 보존함으로써 여실하게 피해정도를 표할 수 있는 것이다. LD와 CID는 농약의 살포 혹은 降雨等 影響하에 종종 피해정도가 더 증가되지 않는 것으로 나타나는데 이는 진실성을 떠난 것이라고 생각한다. 조사결과에 따르면 응애가 모종의 원인으로 이미 없어졌다 하여 피해정도가 더 악화되지 않는 것이 아니였고 응애의

피해를 받은 식주는 자체생리평형을 유지하는데 일정한 시일이 소요되었다는 것으로 보이며 이에 따른 수확량 손실율도 같을 수 없다($f(Dd)$) 고선 아래서의 면적(CDD)이 같을 수 없다(陳杰林 1988)고 생각한다. 그러므로 흡즙성해충(응애)들의 피해정도를 표함에 있어서 CDD가 가장 좋고 동일한 생태 조건하에서 DI를 채용하여도 무방하겠다고 생각한다.

고찰

일반적으로 해충의 밀도와 피해정도는 일정한 수량관계가 존재한다. 즉 일정한 피해정도에는 상응한

해충밀도가 존재한다고 생각한다. 이러한 論斷은 食葉性 해충일 경우에는 적합할 수 있으나 吸汁性 해충인 경우에는 다시 한번 검토할 필요가 있겠다고 생각한다. 본문에서 점박이응애붙이로 연구한 결과 피해정도와 응애밀도간에 외부의 영향을 받기전 혹은 확산하기 전에는 일정한 正相關성을 나타냈으나 딱 대응되는 수량적 관계는 나타내지 않았다. 그 주요원인은 응애의 포전분포가 집중분포(雷 雷 1991)로서 명확한 中心食主가 존재하기 때문이다. 그러므로 만약 중심식주의 응애밀도와 피해정도지간의 수량적 관계를 일반식주에 응용한다면 매우 큰 오차를 빚어낼 수 있는 것이다.

일반적으로 포전에서 집적 조사한 실측피해정도로 실제피해정도를 대체하는데 被害後期에는 오차가 매우 크므로 수확량과의 相關성에 매우 큰 영향을 주게 된다. 그러나 실제피해정도를 파악하기는 손쉬운 일이 아니므로 실제피해정도 model를 적성하는 것은 매우 필요하겠다. 본문에서 계통적 조사에 근거하여 실제피해엄중도를 확인한 다음 실제피해엄중도 증장을 model($f(\Delta(dd))$)과 실제피해엄중도 측정 model($f(Dd)$)를 적성하고 실제를 모방하였는데 그 결과가 상당히 좋았다. 이러한 model들은 포전조사의 편리를 도모함과 아울러 피해정도와 수확량손실율간의 高相關性을 확보하므로 실제응용에 투입할 수 있겠다고 생각한다.

실제상 피해과정은 점차적이며 누적적인 것이다 CID도 점차적이며 누적적인 과정을 반영하였으나 害蟲密度曲線을 기준으로 하였기에 손쉽게 외부영향을 받으며 이로 하여 부동한 해충밀도곡선 아래의 면적(CID)이 같은 현상을 초래함과 동시에 그에 상응한 수확량 손실이 서로 다른 등 문제들을 해석할 수 없다(陳杰林 1988) 吸汁性害蟲인 경우에 일정한 해충밀도가 상응한 피해를 일으킨다고 할지라도 수확량 손실의 직접적인 원인은 피해정도이지 결코 해충밀도가 아니다. 왜냐하면 흡즙성 해충의 가해특징으로 부터 볼 때 加害後 被害葉에 毒汁이 남아 있으므로 외부의 영향으로 해충밀도가 零으로 될지라도 피해정도는 제자리에 머물러 있지 않고 계속 증가하기 때문이다. 그러므로 점차적이며 누적적인 피해과정을 피해정도로 표하는 것이 더욱 합당할

것이다. 본문에서 피해엄중도 곡선아래의 면적을 累積被害日(CDD)이라 하고 적분으로 model를 작성하였는데 분석결과 CDD는 적지않은 장점들이 있었다. CDD와 수확량손실율간의 상관성이 제일 좋았고 동일한 생태조건하에서 같은 CDD가 존재할 수 없고 부동한 CDD에는 꼭 부동한 수확량손실율이 존재할 것이며 부동한 생태조건하에서 존재하는 같은 피해정도가 부동한 수확량손실율을 초래하는 현상과 그 원인을 해석할 수 있다.

인 용 문 헌

王慧芬. 1979. 我國爲害棉花的葉滿(紅蜘蛛) 有幾重? 昆蟲知識 16(3): 144-145.
 劉孝純, 吳孔明. 1988. 不同寄主植物對朱砂葉滿種群增殖作用研究. 華北農學報 3(4): 86-91.
 陳杰林. 1988. 害蟲防治經濟學. 重慶大學出版社, 22-45
 吳千紅, 丁兆榮. 1985. 光照對朱砂葉滿生長發育的影響 生態學雜誌 4(3): 22-26.
 吳孔明. 1990. 朱砂葉滿密度效應研究. 昆蟲知識 27(4): 213-216.
 秦玉川, 蔡寧華. 1990. 利用‘蟲(滿)日’ 建立時間動態經濟受害水平的研究方法 應用生態學報 1(3): 225-230.
 曹煜. 1988. 新鄉棉花葉優勢種消長的初步調查. 植物保護 14(4): 10-11.
 雷雷. 向光蟾, 林清, 張宗美, 趙志模, 劉英紅, 張昌倫. 1991. 朱砂葉滿, 側雜食線滿在茄子, 辣椒和豆豆上的空間分布型. 西南農學學報 4(3): 86-90
 Mishra, K. K. et al. 1989. Seasonal incidence of *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) on some selected accessions of brinjal and their susceptibility in West Bengal condition. Orissa-Journal-of Agricultural-Research 2(1): 50-54.
 Ruppel, R. F. 1983. Cumulative insect-days as an index of crop protection. J. Econ. Entomol. 76: 375-377.
 小林 義明. 1982. 野菜ハダニ類の發生と防除上の問題点 植物防疫 36(6): 435-439.
 李順遠, 金貞煥, 崔貴文. 1988. 溫室內 점박이응애에 接種水準別 密度變動과 강남콩의 葉被害 및 收量農試論文集(作物保護篇) 30(1): 52-57.
 朴小得, 鄭奇琛, 秋淵大, 朴善道, 崔大雄, 尹在卓. 1990. 慶北地方에 있어서 사과나무응애類의 發生生態에 관한 研究. 韓應昆誌 29(1): 20-24.
 심제영. 1990. 소채류의 응애 발생 현황과 대책 최신훈원 (4): 48-51.