

이화명나방 發生의 Phenological Simulation에 관한 研究

宋裕漢 · 崔承允 · 玄在善 · 金昌洙

A Phenological Simulation of the Striped Rice Borer, *Chilo suppressalis* (Walker), Life System

Yoo Han Song*, Seung Yoon Choi**,
Jai Sun Hyun**, and Chang Hyo Kim*

ABSTRACT

A computer simulation model was constructed to explore the phenology of the Striped Rice Borer, *Chilo suppressalis* (Walker), in Korea. The phenological system model based on the concept of distributed time delay was written in the computer program "INSECT" and simulated with the estimated parameters of the effective day-degrees (DEL) and the order of time delay (K) for determining the validity of the system model.

The accumulated emergence curves obtained from the phenological model were slightly different from the observed light trap data at the early and late stage of the moth emergence in 1978. The differences between observed and simulated 50% emergence date were five to six days in the locations of Suweon and Chuncheon, while it was only two to three days in Iri, Daegu, Boseong, and Milyang.

The phenological model should be further improved for simulation of field population changes by adding the information of the time delay process in each developmental stage, the age distribution of overwintered population, and the limiting factors of the borer mortality.

緒 論

害虫은 個體 또는 集團으로서의 固有의 生理·生態學的 特性이 存在함과 同時에 寄主, 他 動植物群 等 生物的 要因과 氣象環境 等 無機的 要因의 刺戟如何에 따라 生理·生態學的 特性이 다르게 表現된다.¹⁾ Waters와 Ewing (1976)¹⁴⁾은 農業害虫問題는 그 密度와 被害에 있어서 時間과 空間에 따라 動的인 狀態에 있으므로 이들 害虫의 效果의인 管理를 위하여 研究者들은 이들의 發生과 分布 및 集團變動의 動向과 潛在的 加害能力 등을 豫測할 수 있어야 하며 따라서 害虫

의 動的 現象을 支配하는 要因과 寄與度에 대한 充分한 理解가 있어야 한다고 하였다.

이러한 農業害虫에 대한 生物的 또는 無機的 環境因子的 役割에 관한 研究는 주로 獨立의으로 이루어져 왔으므로 要因間의 相互依存의 機能을 소홀히 한 傾向이 있었다. 그러나 害虫의 集團變動에 미치는 環境要因은 獨立의이기 보다는 매우 複雜한 相互作用에 의해 이루어 지므로 害虫 및 環境要因의 相互作用을 分析하고 이들을 하나의 System Model로서 構成하브로서 害虫의 生命系를 綜合的으로 理解하려는 움직임이 1970 年代初부터 本格化되었다.²⁾

農業害虫과 周邊環境과의 相互關係를 System Model

*慶尙大學校 農科大學(College of Agriculture, Gyeongsang National University)

**서울大學校 農科大學(College of Agriculture, Seoul National University)

로서 表現한다는 것은 害虫問題를 動的으로 把握하고 害虫을 豫測할 수 있으며 Model을 利用하여 假想的 防除手段의 効率을 미리 評價하여 適切な 手段을 選擇 適用할 수 있는 綜合的 防除의 기술로서 活用할 수 있을 뿐만 아니라^{3,4)} 既存 研究結果를 綜合하고 評價하여 새로운 研究方向을 設定해 줄 수 있는 研究用 Model의 構成이라는 觀點에서도 매우 중요한 것으로 생각된다. 이와같은 研究用 Model을 構成하는데는 害虫과 各種 環境因子와의 상호관계에 대한 수많은 情報가 集積되어야 할 것이나 初期段階에 있어서는 最少限의 情報로서도 Model을 構成할 必要가 있다. Haynes 及 Tummala (1976)⁵⁾는 初期 Model은 追後 더 詳細한 Model의 기초로서 害虫의 Life System을 確實히 理解하고 研究의 方向을 設定하는데 큰 도움을 주며, 害虫 System의 研究에 있어서 이러한 初期 Model의 顯示없이 어떤 부분은 必要以上으로 詳細한 情報를 求하고자 努力하는 反面 또 다른 部分은 거의 無關心하게 되는 잘못을 犯할 可能性도 있고 System 內의 要素間的 相互作用을 소홀히 하기 쉽다고 하였다.

이러한 추세에 따라 本 研究者들은 지금까지 이루어져 온 이화명나방에 대한 研究結果 및 病虫害發生豫察所에서 調査한 誘殺資料를 基礎로 우선 이화명나방의 生命系를 Simulation 할 수 있는 研究用 Model을 構成하여 發生時期 豫察의 科學化를 기하고 아울러 今後 보다 詳細한 Model의 뼈대를 構成하여 研究方向을 提議코자 本 研究를 着手하였다.

本 研究에 앞서 필자등 (1982)¹²⁾은 統系 벼品種의 育及 등 耕種法의 급격한 變遷을 가져온 1970年代를 段階別로 區分하여 이화명나방의 發生相에 미친 影響을 論議한 바 있으며, 本 害虫의 發生量과 관계가 깊은 氣候要素들을 回歸的으로 類推해본바 1%의 유의수준에서 相關關係를 보인 要素들도 寄與도가 10% 미만으로서 量的變動의 要素로 적용시키기는 어려운 것으로 나타났다. 따라서 本 研究에서는 우선 有効積算溫度의 法則 및 Distributed Time Delay의 개념을 주축으로 害虫 Life System의 Simulation Model을 構成하여 이화명나방의 地域別 誘殺資料 및 氣象觀測資料를 利用하여 System 內의 Parameter 들을 推定한 후 本 害虫의 發生時期를 電子計算機를 利用하여 Simulation 하였으며 實測結果와 비교한 바 몇가지 結論을 얻었기 때문에 報告하는 바이다.

材料 및 方法

本 研究의 이화명나방 發生時期를 Simulation 하는 使用된 資料는 全國 41개 病虫害發生豫察所에서

1966년부터 1979년까지 14년간 日別로 調査한 이화명나방 誘殺燈 誘殺結果를 利用하였으며 氣象資料는 誘殺地點에서 가장 가까운 氣象觀測所의 日別 觀測資料를 中央氣象臺에서 분양받아 利用하였다. 이화명나방의 誘殺地點과 氣象觀測地點의 地名과 위치 및 調査年度는 필자등 (1982)¹²⁾이 前 報告에서 기술한 바와 같다. 이화명나방의 誘殺資料는 誘殺期의 環境變異에 의한 日別變異를 줄이기 위해 3日間隔의 移動平均으로 補正하였으며 本 害虫의 1世代 경과에 필요한 積算溫度와 이의 年次變異 또한 필자등 (1982)¹²⁾이 前報에서 수행한 것과 같은 方法으로 추정하여 그 結果를 利用하였다.

本 研究에 있어서 이화명나방의 Model 구성의 주축은 Distributed Time Delay⁹⁾의 개념을 利用하였으며 구체적인 이론적 배경은 研究結果에서 기술코자 한다. 構成된 Model은 對話式 機能이 우수한 BASIC-plus 電子計算言語로 프로그램되어 電子計算機 PDP-11/34 (256 KB)를 利用하여 Simulation 하였으며 그 結果를 이화명나방의 實測 誘殺資料와 比較하였다.

其他 詳細한 分析法은 研究結果에서 記述코자 한다.

結 果

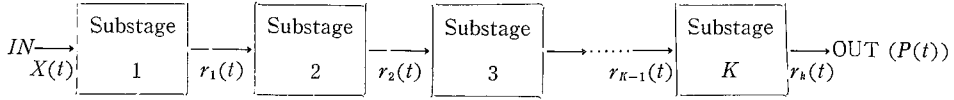
(1) Model의 構成

昆虫의 發育經過와 環境因子와의 聯關性은 매우 複雜한 因果關係에 基礎를 두고 있으므로 全體의 System을 簡單히 表現키란 매우 어렵다. Coulman 等¹¹⁾은 이러한 複雜한 System의 Modeling에 있어서 먼저 表現코자 하는 範圍를 限定하고 그 範圍內에서 細部의 事項을 把握하여 表現可能한것부터 Model化 하는 것이 重要하다고 하였다.

本 研究에서는 誘殺時期에 미치는 積算溫度의 影響이 50% 誘殺日을 表現하는데 매우 信憑性있는 資料가 될 것으로 생각되어 이를 利用하여 이화명나방의 Phenological Simulation Model을 構成하므로써 追後 量的變動에 미치는 環境因子의 役割을 Simulation 할 수 있는 Model의 기틀을 마련코자 하였다.

이화명나방의 發生時期를 中心으로한 Model의 構成에는 Distributed Time Delay의 概念을 應用하였으며 그 理論의 背景은 다음과 같다.

昆虫이 一定한 發育過程을 거치는데는 時間的 遲延 (Time Delay)을 隨伴하며 昆虫集團이 어떤 發育過程을 거칠 때 集團固有의 個體變異로 인하여 發育後 時間에 따른 分布가 결정된다. 어떤 昆虫集團의 發育過程中的 하나를 K 個의 細部過程(Substage)으로 나누어 생각한다면 시간 t 에서의 集團의 發育狀態는 다음과



같이 表現될 수 있을 것이다.

여기서 $r_i(t)$ 는 시간 t 에 있어서 i 번째 細部過程을 통과한 個體의 數를 표시한다. 만일 하나의 發育過程을 通過하는데 所要되는 平均時間을 DEL 로 表示한다면 하나의 細部過程을 通過하는 時間은 DEL/K 일 것이며 昆蟲集團이 時間 t 에 있어서 i 번째 細部過程을 通過中에 있는 量(Storage)을 $Q_i(t)$ 로 표시한다면 式(1)과 같을 것이다.

$$Q_i(t) = -\frac{DEL}{K} r_i(t) \quad (1)$$

왜냐하면 昆蟲集團이 時間 t 에 있어서 $i+1$ 번째의 細部過程으로 流入되고 있는 量 즉 $r_i(t)$ 가 DEL/K 時間 동안 i 번째 細部過程에 머물고 있을 것이기 때문이다.

한편 時間 t 에 있어서 i 번째 過程中에 있는 集團의 크기 $Q_i(t)$ 의 時間에 따른 變動量은 $\frac{d}{dt} Q_i(t)$ 인데 이는 i 번째 細部過程의 入力과 出力의 差로서 나타낼 수 있다.

$$\frac{d}{dt} Q_i(t) = r_{i-1}(t) - r_i(t) \quad (2)$$

式(1)과(2)에서 다음의 微分方程式이 誘導된다.

$$\frac{d}{dt} r_i(t) = \frac{K}{DEL} [r_{i-1}(t) - r_i(t)] \quad (3)$$

式(3)에서 K 의 값은 昆蟲의 發育後 時間에 따른 集團의 연령분포를 결정하는 固有의 Parameter로서 Erlang의 Density Function [式(4)]에 의해 DEL 의 分散인 $V_{ar}(DEL)$ 과 DEL 의 제곱에 의해 式(5)와 같이 정의된다.⁵⁾

$$f(t) = \left(\frac{DEL}{K}\right)^K (t)^{(K-1)} \frac{\exp\left[-\frac{Kt}{DEL}\right]}{(K-1)!} \quad (4)$$

$$K = \frac{(DEL)^2}{V_{ar}(DEL)} \quad (5)$$

以上の Time Delay Model은 追後 量의 變動要因의 考慮를 위해 다음과 같이 變形하였다. 즉, 昆蟲의 發育速度는 絕對時間보다는 有效積算溫度의 變化에 影響을 받으므로 通過時間 DEL 은 有效積算溫度로 代置하였다. 그리고 各 細部過程을 거치는 도중 부적합한 環境이나 天敵의 影響으로 일어나는 集團減少現象을 追加할 수 있는 다음과 같은 形態로 變形하였다.

$$\left\{ \begin{array}{l} IN_1(t) = X(t) \\ \frac{d}{dt} r_1(t) = \frac{K}{DEL} [IN_1(t) - r_1(t)] \\ IN_2(t) = (1 - AR \cdot DEL/K) r_1(t) \\ \frac{d}{dt} r_2(t) = \frac{K}{DEL} [IN_2(t) - r_2(t)] \\ \vdots \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} IN_k(t) = (1 - AR \cdot DEL/K) r_{k-1}(t) \\ \frac{d}{dt} r_k(t) = \frac{K}{DEL} [IN_k(t) - r_k(t)] \\ OUT(t) = (1 - AR \cdot DEL/K) r_k(t) \end{array} \right.$$

위의 一聯의 式은 式(3)에서 i 번째 細部過程에서 $i+1$ 번째 細部過程으로 進行되는 量 $r_i(t)$ 가 死亡率 AR 과 平均通過時間 DEL/K 의 乘(乘) 만큼 減少된다는 事實을 追加한 것이다.

以上の 變形된 Time Delay 개념을 적용하여 構成한 이화명나방의 Phenological Model의 概要는 그림 1에 나타내었으며 이의 Simulation을 위하여 電子計算 프로그램 "INSECT"로 作成되었다.

本 Phenological Model에 있어서 常數로 주어지는 이화명나방 1世代 경과에 필요한 有效積算溫度(DEL)와 Delay의 差數 K 값은 이화명나방 1, 2 화기 최성일 사이에 日別 최고·최저기온을 이용하여 地域別 年度別로 算出하였으며 選定地點에 대한 結果는 表 1에 要約하였다.

表 1에서 보는 바와 같이 地域別 이화명나방 1世代 經過에 所要되는 積算溫度의 推定値는 東南海岸地域인

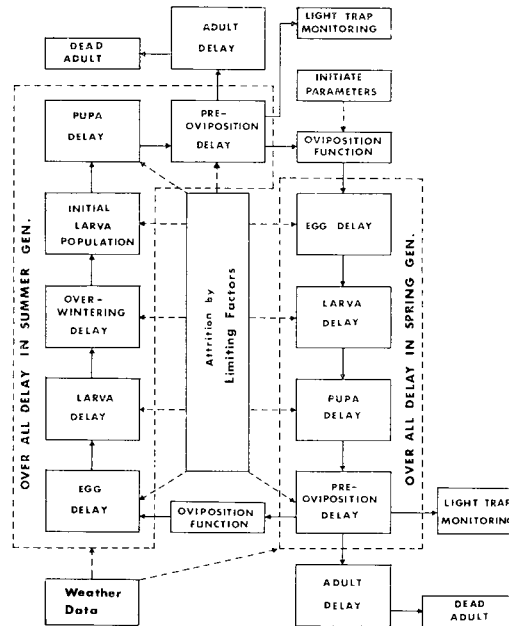


Fig. 1. The system flow of the striped rice borer phenology. Dark arrows indicate the data flow and dotted arrows indicate the information flow in the system.

Table 1. Accumulated effective day-degree, standard deviation, and order of time delay for completing one generation of *C. suppressalis*.

Location	Accumulated effective* Day Degree	Standard deviation	Order of time delay
Chuncheon	820	94	76
Myeongju	671	73	85
Suweon	843	97	75
Cheongju	805	89	82
Daejeon	731	77	91
Iri	876	93	89
Namweon	794	85	87
Boseong	742	74	109
Sangju	762	81	88
Daegu	688	72	92
Milyang	915	95	94
Gimhae	989	106	86
Jinju	863	93	86

*Day degree at upper threshold 30°C and lower threshold 10°C

金海, 晉州, 密陽 등지에서 各各 989DD(Day-Degree), 863DD, 915DD로서 中部地域인 春川, 溟州, 忠州 等地의 820DD, 671DD, 805DD 등에 비해 높은 傾向이였다. 한편 Time Delay의 差數 K 値는 寶城에서 109로 가장 컸으나 其他地域에서는 75~91 程度의 범위에 있었다.

(2) Model의 妥當性

誘蛾燈에 誘殺되는 이화명나방은 羽化當日과 그 다음날인 1日齡의 나방이 大部分이라고 하였다.⁶⁾ 따라서 本 研究에 使用된 誘殺資料는 蛹期에서 羽化되어 나오는 出力集團의 一部를 標本抽出한 것으로 생각할 수 있을 것이다. 構成된 Model의 妥當性檢定은 水原, 春川, 裡里, 大邱, 寶城, 密陽 地域에서 調査된 1978 年度의 地域別 日別 誘殺量을 實測資料로 하고 이미 推定된 地域別 有効積算溫度 DEL과 Delay의 差數 K 値를 適用하여 日別 氣象資料를 Model에 入力시켜 Simulation 한 結果는 그림 2에 累積羽化率曲線으로 表示하였다.

本 妥當性檢定에 있어서 實測資料의 未備로 다음과 같은 制約條件下에서 遂行하였다. 첫째로 그림 1에 表示한 System의 Simulation은 越冬後 幼虫集團으로부터 2化期成虫의 羽化過程까지로 限定하였다. 둘째로 越冬後 幼虫集團의 發育狀態는 1化期까지의 有効積算溫度와 이의 分散으로 算出한 k 値를 根據로 推定하였으며(表 2 參照) 이화명나방의 各 發育段階別 Dealy Process는

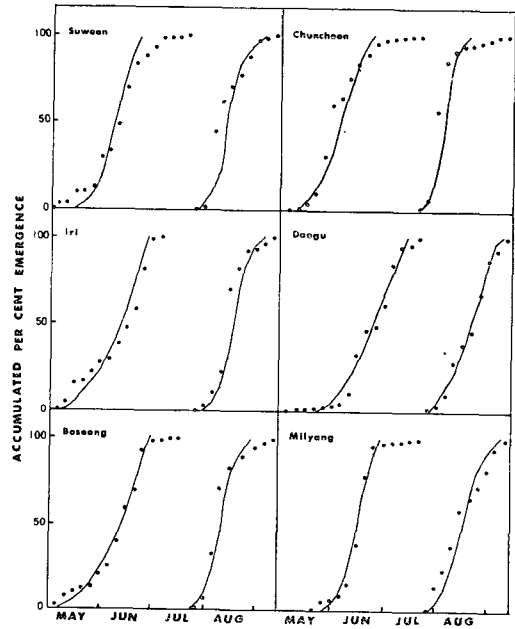


Fig. 2. Comparisons of simulated (solid lines) and observed (black circle) accumulated per cent emergence of *C. suppressalis*.

誘殺資料로는 推定이 불가능하였으므로 1世代 經過를 하나의 過程으로 하여 Simulation 하였다. 셋째로 Time Delay 過程中 集團의 增減은 없는 것으로 하였으며 成虫의 日齡에 따른 産卵比率은 Kurihara와

Table 2. Comparisons of simulated and observed fifty percent emergence dates of *C. suppressalis* in 1978.

Location	Substage after Overwintering	Mean DEL	Mean K	Emergence	50% emergence date		
					Estimated	Observed	Difference
Suweon	38	843	75	Spring	Jun. 8	Jun. 11	-3
				Summer	Aug. 12	Aug. 12	+6
Chuncheon	38	820	76	Spring	Jun. 2	May 27	+6
				Summer	Aug. 4	July 31	+5
Iri	66	876	89	Spring	Jun. 12	Jun. 15	-3
				Summer	Aug. 16	Aug. 13	+3
Daegu	58	688	92	Spring	Jun. 23	Jun. 25	-3
				Summer	Aug. 19	Aug. 21	-2
Boseung	81	742	109	Spring	Jun. 12	Jun. 14	-2
				Summer	Aug. 10	Aug. 13	-3
Milyang	65	915	94	Spring	Jun. 18	Jun. 16	+2
				Summer	Aug. 15	Aug. 14	+1

Kaburaki 등의 報告를 根據로 羽化다음날인 1日齡에서 60%, 2日齡에서 30%, 3日齡에서 10%로 假定하였다.⁷⁾

그 結果는 그림 2에서 나타난 대로 6個 檢定地域에서 Model에 의해 推定된 累積羽化曲線과 實測 累積誘殺曲線은 近似하게 一致하였으나 羽化初期와 羽化後期에서 偏在하는 傾向이었다. 특히 1化期에서 理論値와 推定値간의 差異가 羽化初期와 後期에서 甚한 傾向이 있었으나 2化期에는 이러한 差異가 적었다.

한편 本 Model에 의해 推定된 50% 羽化日과 實測 50% 誘殺日은 表 2에 나타나었는데 推定値와 實測値의 差異가 水原에서 2化期에 +6日, 春川에서 1化期에 +6日, 2化期에 +5日을 나타내어 비교적 큰 차이를 보였으나 其他地域에서는 ±3日 程度の 僅少한 差異를 보였다.

考 察

昆蟲의 經時的 發育經過를 Simulation 하는데는 Logistic 曲線, 累積正規分布曲線 등 多様な 方法이 紹介되고 있으나^{11), 13)} 本 研究에 있어서 이화명나방의 Phenological System Model은 Manetsch와 Park (1978)⁹⁾의 Time Delay의 概念을 適用하였는데 이 Model의 特徵은 一定時間 t에 있어서 昆蟲과 周邊環境間的 相互作用에 의해 일어나는 死亡要因을 包含할 수 있는 融通性을 갖고 있는 것이라 하겠다. 昆蟲의 羽化曲線은 羽化前 發育期の 溫度뿐만 아니라 制限因子에 의한 死亡率 및 死亡時期 등에 따라 그 形態가 달라지며 항

상 屈折이 없는 깨끗한 曲線으로 表現된다고는 볼 수 없다. 本 Model은 昆蟲이 發育中 일어나는 集團減少現象(Attrition)과 그 時期 등을 모두 考慮할 수 있는 長點이 있으나 이화명나방의 Phenological Simulation에 適用시켜 본 結果 電子計算時間이 매우 긴 것이 問題點으로 나타났다.

構成된 이화명나방의 Phenological System Model을 電子計算機로 Simulation 한 바 累積羽化曲線에서 實測 累積誘殺資料와 큰 差異가 없었으나 1化期の 羽化初期와 羽化後期에 多少 差異를 나타내었는데 이는 實測 圃場調査資料의 未備로 월동후의 幼蟲發育狀態, 日齡分布 등 多數의 假想的 條件下에 遂行된 때문인 것으로 생각된다. 그러나 이러한 差異에도 불구하고 本 Model에 의해 50% 誘殺日이 比較的 正確하게 推定될 수 있었던 것으로 볼 때 이 Model이 이화명나방의 Phenology를 比較的 잘 代變하고 있는 것으로 생각된다.

本 Phenological System Model의 正確度를 높이고 害虫集團의 量的變動까지 表現할 수 있는 擴張된 System으로 發展시키기 위해서는 前記한 多數의 假定條件을 具體的인 資料로 대치시키고 問題點을 把握하여 修正補完해야만 할 것이다. 따라서 다음과 같은 研究가 遂行되어야 할 것으로 생각된다.

첫째로 越冬後 幼蟲集團의 發育과 日齡分布에 관한 具體的인 調査가 이루어져야 할 것이다. 玄⁴⁾은 體重이 적은 幼蟲은 越冬中の 廢死率이 높았다고 報告하였는데 이러한 現象에 의해 越冬後의 日齡變異가 매우 적어질 것으로 생각되며 따라서 이러한 越冬中の 日齡

과 그 變異幅에 대한 研究가 遂行되어야 할 것으로 생각된다.

둘째로 이화명나방의 誘殺時期는 積算溫度에 主로 影響을 받는다 할지라도 羽化曲線의 變異幅 및 形態는 水稻의 品種, 栽培時期, 天敵, 氣象環境 等 各種 制限 因子에 의해 集團增減에 影響을 받을 것으로 이러한 制限因子에 대한 研究가 遂行되어야 할 것이다.

셋째로 이화명나방의 各 發育段階別 圃場調査資料가 補充되어야 할 것이다. 本 研究의 Model의 妥當性은 成虫의 羽化曲線만으로 비교하였으나 圃場에서의 主要 加害 Stage인 幼虫의 密度變化를 推定하기 위해서는 이러한 資料의 補充이 必要한 것으로 생각된다.

넷째로 이화명나방의 棲息處의 微氣象에 대한 考慮가 이루어져야 할 것이다. 이화명나방 棲息處의 微氣象의 變化와 氣象觀測資料와의 差異를 具體적으로 究明해야 할 것으로 생각된다.

다섯째로 이화명나방의 誘蛾燈 誘殺數와 氣象條件에 관한 具體적인 關係가 究明되어야 할 것이다.

위와 같은 事項들이 追加 補充된다면 本 Model의 妥當性이 더욱 正確히 評價될 수 있을 것으로 생각되며 追後 이화명나방의 死亡率과 이에 影響하는 各種 制限 因子와의 定量的 關係가 補充된다면 좀더 擴張된 System으로 發展되어 發生時期와 發生量 및 圃場에서의 發育經過에 대한 科學적인 豫測이 可能할 것으로 생각된다.

또한 構成된 Phenological Model은 이화명나방 뿐만 아니라 有効積算溫도와 發育經過에 관한 몇가지 정보만 얻어 진다면 若干의 修正을 加하므로써 他害虫에도 適用시켜 볼 수 있을 것으로 생각된다.

摘 要

Distributed Time Delay의 개념을 應用하여 이화명나방의 發生時期를 豫測할 수 있는 Phenological System Model을 構成하고 이의 妥當性檢定을 위해 기존 病害虫發生豫察資料 및 日別 氣象觀測資料를 利用하여 本 害虫의 1世代 經過에 소요되는 有効積算溫度(DEL)와 Delay의 差數 K值를 算出한 후 이화명나방의 累積 羽化率曲線을 電子計算機로 Simulation 하였다.

그 結果 Model에 의해 推定된 1978年의 6個 選定地點의 累積羽化率曲線은 實測 累積誘殺數比率曲線과 매우 유사하였으나 羽化 初期 및 後期에 多少 偏在하는 傾向이 있었다. 한편 實測 50% 誘殺日과 Model에 의해 推定된 50% 羽化日 間에는 水原에서 6日, 春川에서 5~6日의 差異를 보였으나 裡里, 大邱, 寶城 및 密陽地域에서는 2~3日의 僅少한 差異를 보였다.

이화명나방의 Phenological Simulation Model은 各 發育段階別 實測密度調査資料와 越冬後 幼虫集團의 發育 및 日齡分布, 그리고 死亡要因에 대한 考慮 등이 研究 補充되어지므로써 더욱 擴張된 System으로서 構成되어 질 것으로 생각된다.

引 用 文 獻

1. Coulman, G.A., S.R. Reice, and R.L. Tummala. 1972. Population modeling: a systems approach. Science 175 : 518-521.
2. Croft, B.A., J.L. Howes, and S.M. Welch. 1976. A computer-base, extention pest management dilivery system. Environ. Entcmol, 5(1) : 20-34.
3. Haynes, D.L., and R.L. Tummala. 1976. Development and use of predictive models in the management of cerial leaf beetle populations. In *Modeling for pest management*. MSU, East Lansing, Michigan.
4. Hyun, J.S. 1973. Study on the development of the overwintered larvae of rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Walker). Seoul Univ. Faculty Papers, 2(E) : 55-56.
5. Hyun J.S. 1978. Problems and prospect of plant protection technology in Korea-Crop insect pests. Korean J. Pl. Prot. 17(4) : 201-215.
6. Kamito, A. 1930. Phototropic response of the rice stem borer and the time of activity. Oyo-Dobuts. Zasshi, 2(4) : 269-73.
7. Kiritani, K. and S. Iwao. 1967. The biology and life cycles of *Chilo suppressalis* (Walker) and *Tryporyz* (*Schoenobius*) *incertulas* (Walker) in temperate-climate area. In *Major Insect Pests of Rice Plant*. Johns Hopkins: p. 45-101.
8. Manetsch, T.J. 1976. Time-varying distributed delays and their use in aggregative models of large systems. In *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. SMC-6 : 547-553.
9. Manetsch, T.J., and G.L. Park. 1978. Systems analysis and simulation with applications to economic and social systems, Part II. East Lansing: Div. Eng. Res., Michigan State Univ. Chapter 10.
10. Odum, E.P. 1976. *Fundamentals of Ecology*. 3rd ed., W.B. Saunders Co. p.547.
11. Ragan, T.E., R.E. Stinner, R.L. Rabb. and C.

- Tuttle. 1979. A simulation model depicting the production of overwintering hornworm on tobacco. *Environ. Entomol.* 8 : 268-273.
12. Song, Y.H., S.Y. Choi, and J.S. Hyun. 1982. A study on the phenology of the Striped Rice Borer, *Chilo suppressalis* (Walker), in relation to the introduction of new agricultural practices. *Korean J. Plant. Prot.* 21(1) : 38-48.
13. Stinner, R.E., R.L. Rabb, and J.R. Bradley. 1974. Population dynamics of *Heliothis zea* (B.) and *H. virescens* (F.) in North California: a simulation model. *Environ. Entomol.* 3 : 163-168.
14. Waters, W.E., and B. Ewing. 1976. Development and role of predictive modeling in pest management. MSU, East Lansing, Michigan.