

## 종합적 유해생물 관리 - 이론과 실제 -

현재선\*

농업과학기술원 농업해충과

## Integrated Pest Control - Principles and Practices -

Jai-Sun Hyun\*

Applied Entomology Division, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Republic of Korea

**ABSTRACT :** Although the history of IPM can be traced back to the late 19th century, when ecology was identified as the foundation for scientific plant protection, it has been more than thirty years since first enunciation. Since then, the concept of IPM has evolved in multiple paths not only in entomology but in plant pathology and in weed science, and the philosophy has become a firm foundation to the science of plant protection. The IPM concept has gained wide general acceptance, however, because of the many-facet aspects, there has been some controversy and/or misunderstanding by the students and practitioners. In this paper, I was tried to review the concepts of IPM and to resolve the contradiction between the philosophy and practical techniques. On this line, the historical background and the concept of economic injury level, which is the foundation of the concepts, are reviewed and discussed the sampling techniques and the population dynamics of single pest, which were basic to the rational and effective application of the management techniques. IPM is not a science *per se* but it is a technique and it should be applicable to the real conditions. For this purpose, the information on the pests should be transferred to the producers as fast as possible. From such, some of my own opinion is presented in relation to current systems of the pest occurrence forecasting.

**KEY WORDS :** IPM, EIL, Population ecology, Implementation

**초 록 :** 종합적 유해생물 관리(Integrated pest management)라는 용어가 최초로 제기된 것은 30년 전의 일이었다. 물론 그 기원은 방제에 있어서 생태학적 지식이 기초가 되어야 함을 주장하기 시작한 19세기 후반이었다. 그 후 종합적 유해생물관리의 개념은 해충 뿐 만 아니라 식물병이나 잡초 등 유해생물 전반에 걸쳐 다양한 발전을 거듭하여 왔으며 그 철학은 식물보호학의 기본으로 확고한 자리를 잡게 되었다. IPM의 개념은 현재 널리 인식되어 있으나 그 개념의 내용이 다면적이기 때문에 연구자나 기술자들 간에도 상당한 혼란이나 오해가 있어 왔다. 본 논문은 이와 같은 이론상의 혼란을 정리하고 IPM의 이념과 기술개발 간에 존재하는 괴리를 해소하려 노력 하였다. 이러한 측면에서 개념 발달의 역사적 배경과 개념의 기본이 되고 있는 EIL의 개념을 설명하여 기본개념의 이해를 돕고 관리수단의 합리적이고 효율적인 적용에 필수적인 해충 개체군 생태학과 관련 표본조사법과 밀도변동동태를 논하여 이론발전을 위한 중요한 연구 방향을 논하였다. 한편 IPM의 이론이나 실험적 연구가 아무리 발전하여도 IPM은 과학이기 이전에 기술이기 때문에 그것을 사용하는 현장의 조건에 맞는 것이어야 하며 그러기 위해서는 사용자인 농민에게 신속히 전달되어야 하며 현재와 같은 다양화된 농업생산체제에서는 농민각자의 자발적 참여가 중요하다고 생각되며 우리나라 병해충 발생예찰 체제와의 관계에 대하여 단견을 피력하였다.

**검색어 :** 종합적 유해생물 관리, 경제적 가해수준, 개체군 생태학, 적용

\*Corresponding author. E-mail: changgpark@rda.go.kr

해충관리(종합적 유해생물 관리; Integrated Pest Management; IPM)의 개념은 제 2차 세계대전을 전후하여 출현한 강력한 유기합성제의 폭발적 보급에 따라 야기된 심각한 부작용-환경오염, 생태계에 대한 교란 작용, 저항성 해충의 출현, 기타의 표면화에 따른 일종의 의식 개혁운동으로 발달한 것이다.

미국 California 대학교의 Stern 등(1959)이 화학적 방제와 생물학적 방제를 보완적으로 이용하는 것을 주요한 종합적 방제를 주장한 이래 미국에서는 동 대학교의 Huffaker를 중심으로 그때까지 살충제 사용이 많았던 목화과 감귤, 사용이 적었던 콩, 생물적 방제 성공 가능성이 큰 알팔파, 사과와 배, 감귤 그리고 비 농작물을 대표하는 소나무류 등 8개 작물을 대상으로 한 제 1차 대형 연구계획(1972-1978), 뒤 이은 Texas A & M의 Adkisson 교수가 주도한 종합적 유해생물관리 협의회(Consortium for Integrated Pest Management)의 제 2차 연구계획(1979-1981)이 있었고 일본에서는 1971-1975년과 1980-1984년 2회에 걸친 국가적 연구사업이 있었다. 우리나라에서도 1962년 본인이 Stern 등(1959)의 종합적 방제에 관한 논문을 소개한 이래(Hyun, 1962) 연구 인력의 질적, 양적 부족이나 어려운 경제적 지원에도 불구하고 이 개념은 벼, 사과, 소나무 등의 해충에 대한 기초적 연구나 실용적 연구의 기본이 되어 왔다.

한편 병해충을 둘러싸고 있는 농업 환경은 새로운 품종의 육성 보급을 비롯하여 재배 기술면에 많은 변화가 있었으며 그에 따라 IPM에 대한 인식에도 많은 변화가 있어왔다. 그동안 IPM의 기본 개념에는 변함이 없으나 1970년대 이후 IPM의 보급이 지지부진하다는 인식이 높아가고 있어 그 원인과 보급률 제고를 위한 논의도 활발해 지고 있다. 동시에 IPM은 여러 가지 방제기술의 이용을 뜻하는 것으로 여기에는 일관되고 통일된 이론은 찾아 볼 수 없다는 생각으로 IPM이라는 이름의 연구 중에는 이름만 IPM이지 당초의 IPM 이념과는 동떨어진 실태도 보이고 있다. “이념의 혼란은 기술개발 방향에 혼란을 초래할 뿐 아니라 명확한 목표의 상실도 우려된다”.

여기서는 작물보호의 원점으로 되돌아가 IPM의 이념과 기술개발에 대한 근본적 재검토를 목적으로 지금까지의 연구 결과를 종합하여 그 기본 개념의 이해를 돕고 그의 구체화에 기초가 되고 있는 개체군 생태학에 관하여 논하려고 한다. 충분한 분석이 객관적으로 이뤄지지 못하여 잘못되었거나 불충분한 점도 많을 것으로 생각되나 이런 부족한 점은 전적으로 본인의 이해 부족

에 기인된 것으로 이해하고 관용을 바라마지 않는다.

## 1. 개념 발달의 역사

강력한 유기합성 살충제가 출현하기 이전 해충방제(Insect pest control)는 주로 해충의 생물학적 특성과 재배학적 수단을 이용하였다. 즉 이때에는 주로 내충성품종, 재배시기의 조절 또는 비배관리법을 포함한 재배법의 개선으로 해충이 발생하기 어려운 환경조건을 조성하고 발생하였을 때는 발생량을 줄이기 위해 독제나 물리적 수단을 그 해충의 생물학적 특성을 참고로 가장 효과적으로 방제할 수 있는 시기에 가장 효과적인 방법으로 적용하였다. 이때까지의 해충 방제법은 사용되는 방제수단에 의하여 분류되었으며 해충방제란 작물이나 가축에 대한 해충의 피해를 피하거나 감소시키는 것으로 그 목표나 수단은 명백하였다.

제 2차 세계 대전을 전후하여 출현한 유기합성 살충제는 그때까지 사용하던 살충제에서는 찾아볼 수 없는 강력하고도 광범위한 살충작용과 긴 잔효성, 공업적 생산에 따르는 저렴한 값, 그리고 취급이 손쉽다는 장점을 가지고 있었다. 이러한 점들은 해충의 생물학적 특성이나 살충제 이외의 방제기술에 대한 영향에 대하여는 별로 관심을 두지 않고 살충효과가 큰 새로운 살충제의 개발에만 주력하게 하여 그의 남용 또는 오용에 따르는 약제 저항성 해충의 출현을 비롯한 여러 가지 부작용을 야기하는 소위 “살충제 암흑시대”를 자초하였다.

그러나 유기 합성 살충제의 보급에 따르는 부작용에 대한 인식이 높아지면서 해충 문제의 합리적인 해결을 위해서는 해충에 대한 보다 많은 생물학적 지식을 토대로 해야 한다는 소리가 1950년대에 들어서면서 거론되기 시작하였다. 처음에는 자연계의 생물적 억제요인에 영향을 가장 적게 미치는 방향으로 화학적 방제수단을 이용하도록 하는 데에 주목을 하게 되는데 이것이 “상호보완적 방제”(Complementary control) (DeBach, 1951), “상호 협력적 방제”(Coordinative control) (DeBach, 1951), “조화적 방제”(Harmonious control) (Fluiter, 1960), 또는 “수정방제력”(Modified spray program) (Pickett, 1948) 등이 그것이다 (van dent Bosch and Stern, 1962).

한편 종합적 방제(Integrated control)란 말을 처음 쓴 것은 California 대학교의 Bartlett 교수(Stern 등, 1959)였으며 동대학교의 Stern 등(1959)은 “The Integrated control”이라는 논문에서 경제적 방제(Economic control),

경제적 가해수준(Economic injury level), 경제적 피해 허용수준(Economic threshold) 등 IPM의 이론에서 중요한 개념을 도입하여 해충방제의 경제학적 이론을 발전시키고 화학적 방제와 생물학적 방제의 종합을 위해서는 ① 생태계 개념에 대한 인식, ② 개체군에 대한 표본조사법, ③ 생물적 방제 요인의 세력 증대, 그리고 ④ 천적에 대한 영향이 적은 방향으로의 살충제의 종류와 사용방법의 선택적 이용 등이 중요함을 주장하였다. 따라서 종합적 방제란 방제수단을 토대로 한 그때까지의 방제법의 분류와는 달리 방제수단의 이용방법에 대한 개념이라고 하겠으며 Stern 등의 이론은 그 후의 해충관리 이론의 기본이 되었다.

한편 해충 관리(Pest management)라는 말은 유해생물의 생물학적 특성을 감안하여 그에 알맞은 방제수단을 적용하는 보호적 해충 개체군 관리(Protective population management)(Geier와 Clark, 1966)의 준말인데 이들은 개체군이 시현하는 여러 가지 생물학적 현상은 그 종의 선천적 특성과 그 종을 둘러싸고 있는 유효환경의 특성(그들은 이것을 개체군 밀도의 공동결정 인자; co-determinant라 함)에 의하여 결정 된다고 하고 방제수단에는 불임성의 이용과 같은 자동적 방법(Autocidal methods)과 환경 요인을 해충의 발생이나 증식에 불리하게 변화시키는 수단(Modifications of environmental qualities)이 있다고 하여 방제에 대한 생물학적 해석을 내린바 있다.

해충관리의 개념은 1965년 London에서 개최된 제12차 세계 곤충학회에서 심도 있게 논의되었는데 여기서 호주의 학자들은 자연계에서 개체군의 밀도는 인간과는 관계없이 “Control” 되는 것이며 관리(Management)란 인간의 영구적 이익에 맞도록 자연을 지혜롭게 꾸미는 것을 말한다고 하였다. 이것은 개체군 밀도를 안정시키는 방향으로 작용하고 있는 생활계(Life system) 내의 밀도 의존적 치사요인들의 역할을 중시하는 Nicholson의 견해를 반영한 것으로 관리란 의도적인 의미를 갖는 포괄적 해결방법에 대한 개념으로 생태학적 실상을 강조하는 개념으로 이들은 보고 있는 것이다.

Stark(1971)는 종합적 방제와 해충 관리라는 용어는 구별하여 사용하여야 한다고 주장하였으나 1972년 FAO의 제 4차 전문위원회에서 두 용어는 동의어로 규정하였다.

Kogan(1998)에 따르면 종합적 유해생물관리(Integrated pest management)라는 말이 처음 출현하는 것은 Nixon 대통령의 1972년 2월의 연두교서에서 환경보호와 관련

하여서였다고 하는데 같은 해 11월에는 미국환경위원회(Council on Environmental Quality)가 Integrated pest management(41면)를 출간한다. 종합적 방제와 해충관리에 관하여 1960년대에 많은 논의가 있었으나 새로운 Paradigm의 발전은 없었고 다음과 같은 점에 대하여 대체적으로 의견이 모아졌다. 즉 ① “Integration”이란 여러 가지 다른 유해생물에 대한 영향을 감안 어떤 유해생물의 방제에 복수의 방제수단을 상호 모순 없이 조화롭게 사용하는 것을 뜻하며, ② “Pests”란 무척추동물, 척추동물, 병원미생물, 그리고 잡초를 포함 인간에게 유해한 생물을 말하며, ③ “IPM”은 여러 가지 전문분야에 걸친 행위로 ④ “Management”란 생태학적 원리와 사회경제적 측면을 고려한 일종의 판단규준이라는 것이다.

IPM 개념의 발전 과정을 보면 처음에는 살충제의 방제효과를 극대화하기 위하여 해충의 생물학적 특성의 중요성이 강조되었고 다음에 중요한 방제수단인 생물적 방제와 화학적 방제의 합리적 조합을 모색하게 되었다. 그러나 그 후 환경문제나 그 밖의 부작용 등에 대한 일반의 인식이 깊어짐에 따라 해충개체군의 합리적 억제를 위하여 “농업생산의 장인 생태계의 총체적 생산체계의 관리”라는 개념으로 발전하였다고 하겠다.

## 2. IPM의 기본개념

IPM 개념이 발달하기 이전에는 해충문제의 해결은 관리(Management)보다는 방제(Control)의 문제였다. 방제란 우위적 능력에 대한 것으로 그의 대표적 예는 살충제의 사용이라 하겠다. 반면 관리란 목적 달성을 위하여 여러 가지 수단의 현명한 이용을 말하는 것으로 전자의 직접적인 목표는 작물의 보호라기보다는 해충을 죽이는데 있는데 반하여 관리는 피해의 감소에 목적이 있는 고로 경제적 손실이 없을 때 또는 경제적 손실이 있어도 다른 이유(예를 들면 방제비가 손실액보다 많을 때)로 방제수단을 쓰지 않을 수도 있겠으며 여기서는 주로 해충이 작물에 미치는 영향을 감소시켜 피해를 감소시키는 것을 목표로 한다.

Bajwa와 Kogan(2000)은 지금까지의 종합적 방제(Integrated control), 유해생물관리(Pest management) 그리고 종합적 유해생물관리(Integrated pest management) 등에 대한 정의(67개)를 정리하고 그 기본이 된 것은 “종합적 방제”란 생물적 방제와 화학적 방제를 묶은 “응

용해충방제"로 화학적 방제는 필요한 때에 한하여 쓰며 쓸 때에는 생물적 방제에 최소한의 영향을 미치는 방향으로 써야하며 종합적 방제에서는 생물적 방제 요인의 인위적 개선이나 도입을 도모하는 생물적 방제는 물론 자연계에 존재하는 생물적 요인도 활용한다"는 Stern 등 (1959)의 정의라고 하였다.

가장 흔히 인용되는 정의는 FAO 전문위원회(1975)의 것으로 "IPM"이란 일종의 유해생물(Pest) 관리체계(System)로 유해생물을 둘러싸고 있는 환경과 그의 개체군 동태를 감안 모든 유용한 기술과 방법을 상호모순이 가장 적은 방향으로 동원하여 해충 개체군 밀도를 경제적 피해수준 이하로 억제하고 그 상태를 유지하는 것"이라는 정의이다. 이 정의에는 환경이나 인축에 대한 악 영향에 대한 고려가 포함되어 있지 않으나 IPM에 대한 정의의 기본이 되어왔다.

한편 대부분의 정의들이 해충을 대상으로 하고 있는데 이것은 이들 정의가 유해동물의 개체군과 경제적 가해수준을 강조하고 있어 병이나 잡초에 대하여는 개체군의 개념을 적용하는데 어려움이 많고 방제밀도와 관련 병원미생물의 식물병역학이나 잡초관리에서는 경제적 가해수준의 개념을 적용하기가 힘들기 때문이다. 이것은 식물병학이나 잡초학에서의 이 분야에 관한 성과가 없다는 것을 뜻하는 것은 아니다 특히 최근의 식물병학 특히 기상조건의 모니터링과 균 발생역학의 발달이나 잡초관리학의 발달(예: Postemergence herbicide의 출현)은 이 분야의 관심을 크게 증대 시키고 있다.

여러 가지 정의를 종합해보면 그 개념의 뼈대를 이루고 있는 것은 ① 농생태계의 개념을 바탕으로 ② 여러 가지 방제수단의 적절한 선택, 이때 사용되는 방제법은 하나일수도 있고 2개 이상 일수도 있다 ③ 생산자나 사회에 대한 경제적 이익 ④ 환경에 대한 악영향 ⑤ 방제 행위 선택에 도움이 되는 의사결정 지침 ⑥ 다른 생물에 미치는 영향에 대한 고려 등이라고 할 수 있겠다.

IPM은 단순한 사상이나 문화론은 아니고 기술론이다. 따라서 그 체계는 엄밀한 것이어야 하겠다. IPM의 기본 개념은 "유해생물은 농생태계의 한 구성요소로 그의 농생태계 내에서의 생물학적 동태는 구성요소들 간의 상호작용 결과"임을 바탕으로 유해생물 개체군밀도를 경제적 가해수준밀도 이하로 억제하고 그 상태를 항구적으로 유지하기 위한 최선의 방법의 개발과 그의 선택적 이용이라 하겠다.

### 3. 농생태계의 특성

어떤 공간 내에 존재하는 생물군과 그들을 둘러싸고 있는 무기 환경요소들은 물질교환이라는 기능적 연관을 통하여 하나의 통일체 즉 생태계를 이루고 있다. 농업생산의 장인 농생태계는 인위적 요인의 영향을 크게 받으면서 오랜 역사를 통하여 진화해온 생태계로 자연 생태계와는 상당한 차이가 있다.

Southwood와 Way(1970)(Shepard, 1973)는 IPM을 위한 기초로 농생태계의 특성에 대하여 농생태계는 자연생태계에 비하여 ① 일년생 작물에서 보는 바와 같이 시간적으로 그의 존속성이 짧고 ② 생산자인 작물은 인간의 욕구를 충족시키는 방향으로 선발되어 다른 식물에 비하면 경쟁력이 약하고 (예: 잡초와 비교) ③ 단일 식물의 재배로 종 다양도가 작은 동시에 품종이나 재배법의 제일화(균일화)로 종내 다양도(예: 어떤 시점의 작물의 생육단계)도 낮다. ④ 양분이나 수분 공급이 충분하여 해충에 대한 영양가가 높아 병해충 발생에 유리하여 ⑤ 병해충 발생에 취약하다고 하고 IPM의 목표는 생물적 방제법, 경종적 방제법 그리고 화학적 방제법을 통일성 있게 종합하는데 있다고 하고 방제법의 성공여부는 ① 농생태계 내의 식생 다양도 ② 농생태계 내의 작물의 지속성 ③ 기후적 조건의 안정성 그리고 ④ 인접 자연식물과의 독립성(격리정도) 등에 영향을 받는다고 하였다.

농업생산에서 유해생물에 의한 경제적 손실이란 작물과 그들 생물 개체군간의 상호 작용 결과이며 IPM은 유해생물의 작물에 미치는 경제적 영향을 최소한으로 억제할 수 있도록 그들의 발생이나 밀도 변동과 관련된 생태학적 요인을 계획적으로 변형하여 유해생물의 발생량을 경제적 가해수준 이하로 억제하고 그 상태를 유지하는 것이다.

표 1은 우리나라 벼 해충의 발생추이이다. 표에서 1970년대를 전, 후반기로 나눈 것은 1972년 통일계 품종의 보급이 시작되면서 신품종의 도입 뿐 아니라 이앙기의 조기화, 다비밀식 재배의 일반화, 기비중심에서 수비중심으로의 시비법 변화, 물 관리의 합리화 등 여러 가지 재배여건의 변화로 해충과 기주인 벼의 생육조건과의 관계가 크게 변하여 해충발생상이 크게 변화하였기 때문이다. 현(1978)은 벼의 품종과 재배방식의 변천과 해충문제를 논한 바 있으며 송 등(1982)은 이화명나방의 발생상 변동과 벼 경종양식의 변동과의 관계를 논하면서 1970년대 후반 이후의 이 해충의 발생추이 변동이

**Table 1.** Changes in the status of some rice insect pests in Korea (RDA<sup>1)</sup>, 1997)

Pest	1950's	1960's	1970's		1980'		1990's
			1st	2nd	1st	2nd	
<i>C. suppressalis</i>	+++	++	++	+	+	+	+
<i>C. medinalis</i>	+	+	++	++	++	+	+
<i>N. lugens</i>	+	++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>S. furcifera</i>	+	++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>L. striatellus</i>	+	+++	+	++	++	+	+
<i>N. cincticeps</i>	+	+	++	++	+	+	+
<i>Hydrellia spp.</i>	+	+	++	+++	+++	+	+
<i>O. oryzae</i>	+	+	++	++	++	++	+
<i>E. squameus</i>						+	+++

<sup>1)</sup>Rural Development Administration.

벼의 조기이앙과 깊은 관계가 있음을 지적한 바 있다. 엄과 현(1991)은 벼멸구와 흰등멸구 발생의 시비량과 재배밀도와와의 관계를 포장시험을 통하여 두 해충의 가해 특성을 분석한 바 있으며 이와 현(1983)은 벼멸구 발생과 벼의 생육단계와의 관계를 조사하여 벼의 생육 단계에 따라 벼멸구의 증식과 생육에 미치는 영향에 큰 차이가 있는데 그 원인은 일차적으로 벼의 체내 동화물질의 동태와 밀접한 관계가 있다고 하였다.

1980년대 이후의 애멸구 발생량 감소의 주요원인으로는 겨울 보리 재배면적의 감소를 들 수 있겠으나 묘상 침투성 살충제 처리에 의한 본답 침입세대와 그 다음 세대 유충의 방제도 한 요인으로 생각된다.

동남아 지방에서 벼 멸구류의 피해가 문제가 되기 시작한 것은 다수성품종의 보급에 따른 것이며 이를 방제하기 위한 살충제의 사용은 그들의 천적 특히 거미류에 대한 영향 때문임은 잘 알려져 있는 사실이며 그의 해결책으로 연구되었던 내충성 품종의 육성보급은 벼멸구의 생태형 출현이라는 또다른 문제점을 야기하기도 하였다.

이와 같이 해충문제는 농생태계의 가장 중요한 구성요소인 작물의 선천적 요인은 물론 생산을 위하여 투입되는 인위적 요소의 변화에 따라서도 크게 변화한다. 고로 해충 문제의 합리적 해결책을 모색하려면 농생태계의 본질에 대한 충분한 지식이 불가결이라고 하겠다.

한편 해충 문제와 관련 그의 일면을 반영하고 있는 우

리나라에서의 살충제 사용 실태를 그의 출하량을 통하여 보면 표 2와 같다. 살충제 출하 총량은 1978년 6755 M/T이었던 것이 2000년에는 8867 M/T으로 약 31%가 증가하고 있고 단위 면적당의 사용량은 1983년 5.78 kg/ha 이던 것이 2000년에는 12.43 kg으로 2.15로 증가하고 있다. 그런데 그 내용을 보면 수도용 살충제의 출하량은 1980년과 2000년의 그것이 거의 비슷하나 원예용 살충제의 1980년과 2000년의 출하량은 3070 M/T과 5499 M/T으로 1.77배로 증가하고 있어 대부분의 살충제 출하량 증가가 원예용에 기인함을 알 수 있다.

이러한 내용은 우리나라 농업에서 해충문제가 차지하는 정황을 다시 한번 되돌아보아야 함을 시사하고 있다고 하겠다. 주지하는 바와 같이 원예 작물은 수도와 달리 종류가 많아 발생하는 해충의 종류가 많고 재배양식이 다양하여 해충의 발생상황도 복잡하다. 또 원예작물은 작기가 짧아 연간 재배 회수가 많아 병해충에 대한 방제도 회수가 벼에 비하여 많아지는 것이 보통이다. 특히 원예작물은 수량 못지않게 품질을 중시하기 때문에 병해충의 발생에 생산자는 예민할 수 밖에 없다. 최근의 시설재배의 확대는 아열대나 열대지방 출신(?)의 해충도 큰 문제가 되고 있으며 계절과 관계없이 연중 해충 발생의 위협을 받고 있는 실정이다. 이런 실정을 감안 각각의 분야에 전문성을 띤 연구가 필수적이나 연구 인원의 부족은 이를 감당하기에는 역부족이라 아니 할 수 없다.

**Table 2.** Changes in the annual shipment of the pesticides (MAF, 2002)

	1978	1980	1985	1990	1995	2000
Rice	3544	3337	4396	5344	2885	3414
Horticulture	3211	3070	2656	3988	6007	5449
Total	6755	6407	7052	9332	8892	8867

한편 IPM은 실용적이어야 하는 고로 현장의 상황이 바탕이 되어야 한다. 해충의 종류 뿐 아니라 재배여건이 변하면 같은 종류의 해충에 대하여도 그에 대응한 적절한 방제책이 취해져야 한다. 우리나라 농업은 지금까지 IPM 연구의 선도적 역할을 해온 미국이나 서구 각국의 농업과 달리 경영규모가 작고 극단적인 집약경영을 하고 있어 농업생산이 지양하는 바는 이들 선진국들과는 상당한 차가 있다고 하겠다. 따라서 해충 문제의 합리적 해결을 위해서는 “농생태계를 소진화가 면전에서 일어나고 있는 무대”로 파악하고 그의 특성에 대한 충분한 이해를 바탕으로 대응적이며 탄력성 있는 해결책의 모색을 도모해야 할 것으로 생각된다.

#### 4. 경제적 가해수준과 경제적 피해허용한계의 개념

IPM은 모든 해충을 관리대상으로 하는 것은 아니고 어느 정도의 해충의 존재는 허용할 수 있다는 것을 전제로 하고 있다. 경제적 가해수준(Economic injury level) (이하 EIL)의 개념은 IPM의 기초를 이루고 있는 개념으로 이것은 허용할 수 있는 해충의 가해수준을 판단하는 기준이다. 이것은 어떤 해충과 그가 가해하는 작물이 받는 영향에 대한 생물학적 평가와 동시에 작물이 받는 영향의 경제적 가치와 관리수단의 비용에 대한 평가기준이다.

Stern 등(1959)은 EIL을 “경제적 손실(Economic damage)을 일으키는 최저의 해충 개체군 밀도”라고 하고 경제적 손실이란 “인위적 방제수단에 필요한 비용(방제비)에 맞먹는 해충의 가해량”이라고 하고 해충 개체군 밀도가 EIL에 달하는 것을 막기 위하여 실제로 취할 방제 수단을 결정해야 할 시점의 해충 개체군 밀도를 경제적 피해허용한계(Economic threshold, 이하 ET)라고 하였다. 또 그들은 해충류의 일반 평형밀도(General equilibrium level, 이하 GEL)(통상적인 환경조건이 크게 변동하지 않는 한 어떤 해충이 시현하는 상당히 긴 기간에 걸친 개체군의 평균적 밀도)와 ET와의 관계를 기준으로 ① 항상 경계해야 하는 관건종(Key pests) (GEL과 ET가 가까워 개체군 밀도가 ET를 넘는 빈도가 잦거나 넘는 정도가 큰 해충류) ② 때때로 문제가 되는 수시종(Occasional pests)(개체군 밀도가 가끔 ET를 넘는 해충류) 그리고 ③ 통상적으로는 문제가 되지 않으나 비정상적으로 환경조건이 변화하면 문제가 되는 잠재

종(Potential pests) 등으로 해충류를 경제적 중요도와 관련하여 분류하고 해충학의 주 대상은 ①과 ②라 하였다.

EIL과 ET에 관하여 논하기에 앞서 지금까지의 논문들을 살펴보면 이들과 관련된 상당히 많은 용어들이 출현하고 있는데 때로는 이 두 용어를 구별하여 사용하기도 하고 또는 같은 뜻으로 사용한 경우도 있어 상당한 혼란이 있어왔다. Pedigo 등(1986)은 Stern 등(1959)의 정의에는 EIL과 ET는 명백히 구별되어 있어 이들 간의 혼동은 있을 수 없으나 상당수의 학자들이 혼돈하고 있다고 하고 있다(예, Headley 1972, Mumford and Norton 1984, Norton 1976). EIL이나 ET와 관련하여서는 Action threshold (Cancelado and Radcliffe 1979), Action level (Chant 1966), Action threshold level (FAO 1966), Dynamic action threshold (Walgenbach and Wyman 1984), Inaction threshold (Sterling 1984), Control threshold (Sylvén 1968), Insect injury threshold, Critical injury threshold, Critical population threshold 등의 용어가 사용되어 왔다.

현(1962)은 Stern 등(1959)의 Economic injury level을 경제적 피해선이라고 하였으나 그 후(1994) 경제적 가해수준밀도라고 하였고 Economic threshold를 경제적 피해허용한계라고 하였다. 일본에서는 전자에 대하여 Fukaya 와 Kiritani(1973)는 경제적 피해수준이라고 하고 Economic threshold에 대하여는 경제역치 또는 방제역치(Control threshold)라고 하였다. 그 후 EIL에 대하여는 피해허용수준(Kidokoro and Kiritani 1982, Adachi and Nakasuji 1985)이 보편적으로 쓰이고 ET에 대하여는 Control threshold(요방제 밀도)가 실용화 되어 오고 있는 듯하다. 곤충용어집(1998)에는 EIL이 경제적피해수준, ET가 요방제밀도, 또는 경제적피해허용(인계)수준으로 되어 있다.

가해(Injury)란 해충의 섭식이나 산란, 기타의 행동이 식물에 생리적 영향을 미치는 것을 말하며 피해(Damage)란 가해로 야기되는 작물의 수량 감소나 품질 저하 등으로 생기는 작물의 유용성 감소를 뜻한다. 이런 뜻에서 EIL은 가해의 주체인 해충의 개체군 밀도에 관한 것이고 ET는 가해하는 해충의 방제를 강조하려 하였던 것이 Stern 등의 의도였던 것으로 보이는데 이 두 가지 개념은 모두가 작물이 받는 경제적 손실은 해충 밀도의 함수라는 것을 전제로 하고 있다.

한편 원래 EIL이나 ET의 개념은 즉각적인 방제 효과를 볼 수 있는 화학적 방제와 영구적이고 부작용의 문제가 되는 일이 없는 생물적 방제의 효율적 병용을 전

제로 제기되었던 것으로 해충의 살충제에 대한 저항성 발달이나 기타의 부작용에 대한 고려는 아직 크지 않을 시기의 것이다. 따라서 그 후에 제기된 Control threshold 나 Action threshold와 같은 용어는 경제적 의미 못지않게 어떤 방제법에 대하여 그의 방제효과가 가장 큰 시기의 해충 개체군 밀도라는 의미가 크다고 하겠다. ET의 개체군 밀도가 그대로 방제의 대상이 되는 경우 -예 솔나방의 월동 유충밀도와 방제대상인 월동 후 유충 -에는 ET와 CT는 동일하나 복숭아심식나방의 경우와 같이 방제대상이 아닌 성충밀도로 ET를 추정할 때는 ET와 CT의 대상 층태는 다르다 하겠다. 이런 점에서 EIL, ET 그리고 CT는 구별하여 사용하는 것이 옳을 것으로 생각한다.

해충의 개체군 밀도와 방제비 그리고 방제로 인한 수익성 등의 일반적 관계는 그림 1과 같이 생각할 수 있겠다. 해충 밀도가 증가하여도  $N_1$  이하의 밀도 범위 내에서는 가해는 있으나 수량 감소는 없다. Pedigo 등 (1986)은 이때까지의 밀도를 피해영역 하한 (Damage boundary) (Threshold level; Tammes 1961; Damage threshold; Fenemore 1982, Norgaard 1976)이라고 하였다. Iwao와 Kiritani(1973)는 이 밀도를 피해허용밀도(Tolerable injury level)이라고 하였다.  $N_1$ 을 넘으면 비로소 수량에 영향이 나타나기 시작한다.  $N_1$ 에서  $N_2$ 까지 해충 개체군 밀도가 증가할 때  $N_2$ 의 밀도이하에서는 방제로 얻는 수입증가(B)는 방제비 보다는 적어 방제를 하면 손해이다.  $N_2$ 는 수입증가(B)= 순익(C)이 되는 밀도로 Stern 등 (1959)의 EIL이다.  $N_1$ 이 생물적 과정에만 주목한데 반하여  $N_2$ 는 방제비까지를 고려한 경제적 피해허용 수준으로  $N_2$ 는  $N_1$ 보다 항상 큰 값이 되기 때문에 방제의 필요성은 생물적 피해허용밀도를 기준으로 하였을 때 보

다는 감소한다. 해충 개체군 밀도가  $N_2$  이상이 되면 방제로 생기는 순익은 점차 증가한다. 그러나 방제로 얻을 수 있는 순익은 어느 한계를 넘으면 그 이상은 증가하지 않는다. 이와 같이 IPM에서의 EIL의 도입은 “최대 수량 지향성에서 순수익 지향성의 방제전략”으로의 전환을 의미하며 방제의 경제적 효율의 증대를 도모하는 결과가 된다.

해충의 가해로 인한 경제적 손실에 관련된 요인에는 해충의 종류에 따르는 가해양식과 가해시기의 차, 해충 개체군밀도 그리고 작물의 경제적 가치 등이 일차적으로 중요하다. 해충의 가해양식과 작물의 경제적 가치란 해충의 종류나 작물의 종류에 따라 대체로 고정적이라 하겠으나 해충의 개체군 밀도는 공간적으로나 시간적으로 변동이 대단히 심한 것이 보통이다.

작물을 가해하는 해충의 종류는 대단히 많다. 예를 들면 한국식물보호학회(1986)에 따르면 벼의 해충 종류는 143종이나 되고 사과류의 해충류는 306종이나 된다. 그러나 이들 해충이 모두 문제가 되는 것은 아니고 그의 해충학적 중요성은 작물에 따라 지역적으로 대체적으로 정해져 있어 한 작물을 중심으로 보면 대체로 10종 내외이며 이것을 작물의 재배기간을 통하여 보면 어떤 시기의 주목해야 할 해충류만 수중에 불과한 것이 보통이다.

특정 작물에 대한 어떤 해충의 EIL은 재배조건이나 기상조건이 큰 변동이 없는 한 지역적으로는 대체로 정해져 있다고 하겠다. 그런데 작물은 성장하고 생육단계에 따라 해충의 가해에 대한 반응에 차가 있으며 해충도 발육함에 따라 가해상에 차가 있을뿐 아니라 개체군 밀도도 변한다. 이와 같은 시계열로 파악된 EIL을 시간 의존성 경제적 가해수준(Dynamic EIL, Shoemaker, 1980)이라고 하였는데 EIL의 결정에 중요한 작물의 값이나 방제비, 피해 등은 작물의 생육기간 동안 변하는 고로 EIL도 변한다. 따라서 EIL은 원래 시간 의존성이다.

시간의존성 EIL의 설정을 위해서는 작물의 성장 Model과, 해충의 개체군 동태 Model의 개발이 불가결이다. 그리고 여러 가지 종류의 해충이 같은 시기 또는 순차적으로 한 작물을 가해하는 수가 보통이어서 그의 총체적 피해량 평가를 위해서는 작물의 생육 모델을 포함한 시간 의존성 EIL의 연구가 필수적이라고 하겠다.

해충 개체군 밀도와 수익 관련 요인들 간의 관계를 보면 그림 2와 같다. 그림 2-A는 해충개체군의 밀도와 피해도가 직접적인 관계를 나타내는 경우로 이것은 수확 부위를 가해하는 직접해충의 경우나 수확물 이외의 부

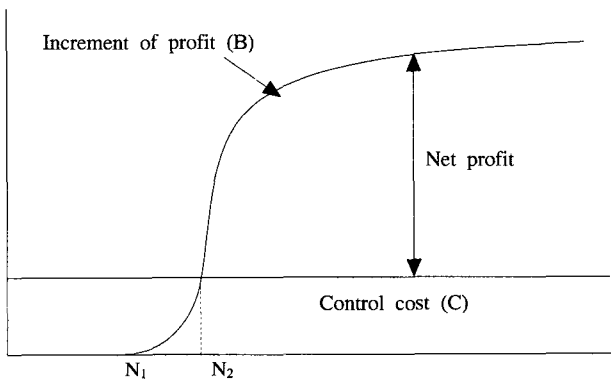


Fig. 1. Economics of pest control (Kidokoro & Kiritani 1982),  $N_1$ : Start of damage,  $N_2$ : EIL.

위를 가해하는 간접 해충 모두에서 볼수 있다. 즉 피해도는 해충 개체군 밀도에 비례하여 변동한다는 것으로 이것은 피해도와 다른 요인들과의 관계는 개체군 밀도와 다른 요인과의 관계로 대치(해석)할 수 있음을 말하는 것으로 개체군 동태학적 연구의 중요성을 반영하고 있다.

그림 2에서 B-E는 밀도와 수량간의 관계이다. B의 경우는 직접적인 가해의 경우로 낮은 개체군 밀도에서도 수량에 영향을 받는다. C부터 E까지는 간접가해에서 볼 수 있는 수량감소 양상이다. Poston 등(1983)은 해충 개체군 밀도의 변동에 따르는 수량변동 관계에는 개체군 밀도의 증가에 따라 수량이 서서히 감소하는 감수성 반응(Susceptive response, C), 개체군 밀도가 어느 정도에 달한 후에 비로써 수량감소가 일어나는 내성적 반응(Tolerant response, D) 그리고 낮은 밀도에서는 수량이 오히려 증가하다 어느 밀도 이상이 되면 그때부터 감소하는 보상적 반응(Overcompensatory response) 등이 있다고 하였다. 이들 중 내성적 반응이 가장 흔한 것이 Southwood 와 Norton(1973)에 의하여 지적된 바 있다.

그림 F-H는 해충 개체군 밀도와 품질과의 관계인데 품질의 척도는 시장 가격으로 하고 있다. 품질이란 생산물의 크기, 모양, 색, 상처의 유무, 수확물 내의 해충이나 그 잔체의 유무 등에 의하여 평가 된다. F의 경우는 낮은 개체군 밀도에서도 품질에 영향이 나타나는 직접 가해의 경우이다. G와 H는 간접 가해의 경우로 해충 개체군 밀도가 낮을 때는 G에서는 내성적 반응을 보이고 H에서는 보상적 반응을 보이고 있다. Southwood 와 Norton(1973)은 G와 같은 내성적 반응이 가장 일반적이라고 하였다.

수량과 품질을 묶은 수익성과 해충 개체군 밀도와의 관계를 나타낸 것이 그림 I와 J이다. I는 직접적인 가해의 경우이고 J는 간접적인 가해의 경우이다. 그림 J의 두 곡선은 수익 감소 시발점에 차가 있으나 결국은 Sigmoid 형을 따르는 것으로 생각할 수 있을 듯하다.

한편 방제비는 농약의 산포량, 산포횟수, 인건비, 기구대 등이 관여되어 있다. 농약 산포량과 해충의 치사율 간에는 Sigmoid 형의 관계가 일반적이라고 하겠는데 어느 정도의 개체군 밀도 이상에서는 방제효과가 크나 낮은 개체군 밀도에서는 방제가가 감소하는 것이 보통이다.

Pedigo 등(1986)은 EIL과 관련 EIL의 일차적 요소는 ① 생산물의 시장 가격 ② 관리비 ③ 해충에 의한 가해량 그리고 ④ 가해에 대한 작물의 피해 등을 들고 이런 요소 들은 2차적으로 가해와 피해와의 관계나 개체군 밀도와 가해량 과의 관계에 의하여 영향을 받으며 또 기후조건, 토양조건, 생물적 요인 그리고 사회적 여건 등은 2차적 요소에 영향을 미치게 되는 고로 EIL과 관련 해충학자들은 경제적 측면을 염두에 두고 생물학적인 문제를 해결하는 방향으로 연구를 진행시켜야 할 것이라고 하였다.

앞서 설명한 해충 개체군 밀도와 작물의 수량과의 관계는 생산물의 시장가격 변동에 관한 문제나 해충 개체군의 연령 구성(해충의 생육 단계에 따라 두당 가해량에 차이가 있다), 방제비의 수단간 차, 작물의 생육단계별 가해에 대한 반응의 차 기타 등은 고려하지 않은 상당히 단순화된 이론이다. Stone과 Pedigo(1972)는 콩에 대한 *Plathypena scabra* 밤나방의 각 생육단계별 잎의 섭식량, 최종생육단계의 섭식량에 대한 상대비율 등을

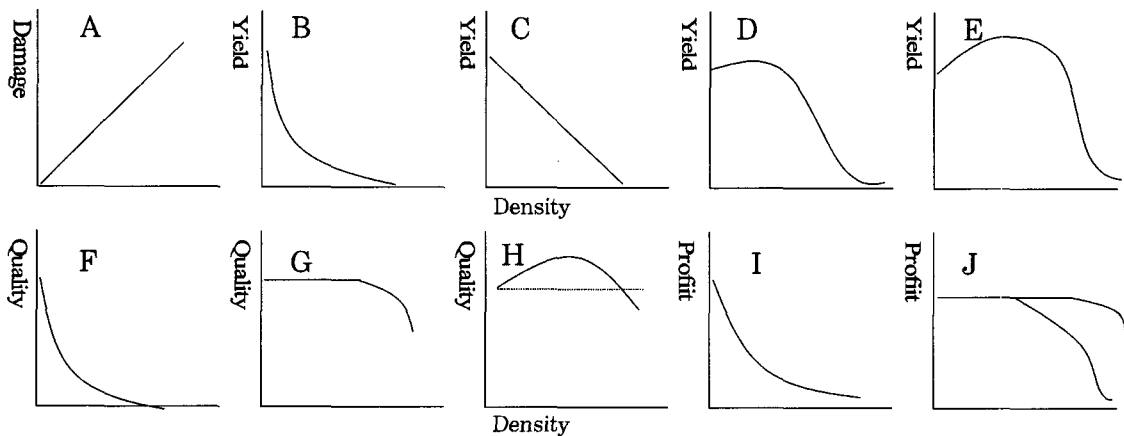


Fig. 2. Relation of pest density and the various aspects of produce (Atachi and Nakasugi, 1985). A: Density and damage, B-E: Density and yield, F-H: Density quality, I-J: Density and profit.



조사하여 어떤 시점에서의 총 섭식량을 계산한 바 있다. 본인(1968)은 솔나방 유충의 영기별 섭식량을 토대로 솔나방에 대한 방제 여부의 기준으로 10월중의 월동 유충 밀도가 송지면적 (송지의 잎이 있는 최초 소지의 분지점 단면직경×그 분지점 이원의 송지장) 100 cm<sup>2</sup> 당 2두를 제시한 바 있다.

한편 EIL이 어떤 시기에서의 생물학적 상태나 경제적 여건을 바탕으로 한 피해 평가의 기준이 되나 실제문제가 되는 것은 이 밀도에 달하는 것을 방지하기 위한 행동 즉 방제시점에서의 밀도 즉 ET이다. ET는 EIL에 직결되어 있는 고로 EIL이 변하면 ET도 변한다. Pedigo 등(1986)은 ET를 “어떤 방제 수단으로 앞으로 경제적 피해를 일으킬 정도로 해충 개체군 밀도가 증가하는 것을 방지하려 할 때 최종적으로 허용할 수 있는 가해량을 주는 해충밀도”라고 하였다. ET는 가해량이 EIL을 넘을 것을 추정할 방제시기와 밀접한 관계를 갖고 있다. 따라서 각 방제수단에 대하여 그에 알맞은 ET가 따로 따로 정해지는 것이 바람직스럽다.

일본에서 몇 가지 대표적 작물의 해충에 대한 EIL 또는 CT는 Nakasuji(1997), 미국에서의 사과 해충에 대한 AT는 Whalon과 Croft(1984), 목화해충에 대한 CT는 Fitt(1994, 호주), Ramalho(1994, 러시아) 등의 종합된 목록이 있다.

해충 문제는 농업의 발달과 더불어 끊임없이 복잡화하고 있다. EIL이나 ET의 개념에는 여러 가지 해결해야 할 문제점이 없는 것은 아니나 대체로 해충문제 해결은 이것을 토대로 해야 할 것이라는 데에는 의견이 일치하고 있는 듯하다. 실제로 가장 중요한 문제는 해충의 종류와 해충과 생산 현장에 관한 정보이다. 이를 위해서는 해충분야 뿐 아니라 작물학이나 기상학 그 밖의 농업 생산분야 전반에 걸친 학문간 협력이 무엇보다 중요하다고 하겠으며 특히 다음과 같은 몇 가지 문제가 중점적으로 연구되어야 할 것으로 생각된다.

- (1) 방제비용과 밀도관계가 실제로 측정된 예는 극히 적으나 이것은 IPM 계획 수립에 불가결의 정보이다. 비용으로는 방제비 뿐 아니라 농약잔류나 천적에 미치는 영향의 정량적 도입까지도 생각해야 할 것이다.
- (2) 여러 학자들이 지적한 바와 같이 EIL은 작물의 생산단계와 해충의 가해시기에 따라 변하는 고로 작물의 생리상태를 감안한 Dynamic 한 EIL 결정이 이루어져야 한다.
- (3) 가해 면에서 중요한 시기와 방제가 효과적인 시기

는 다른 것이 보통이다. 따라서 해충 개체군의 정확한 실제 정보와 개체군 변동에 관한 동태 분석은 필수적이다.

- (4) 작물은 재배기간을 통하여 여러 가지 종류의 해충의 가해를 받게 된다. 따라서 작물의 전 생육기간을 통한 전체 해충류에 대한 상대적 중요도를 시계열화한 방제 체계화를 위한 총체적 노력이 필요하다.
- (5) 가해 Guild 내의 여러 해충을 총체적으로 묶은 EIL에 관한 연구가 이루어져야 하겠다.

## 5. 개체군 생태학과 IPM

IPM 개념의 발달에 직접적 동기를 마련한 것은 살충제 사용에 따르는 부작용이었던 것은 부인할 수 없으나 그 이면에는 값싼 살충제의 강력하고도 확실한 살충작용이나 그 밖의 여러 가지 유용성 때문에 해충을 죽이는 일은 해결되었다고 생각하고 다른 방제 기술을 어떻게 묶어서 합리적으로 해충 문제를 해결하느냐가 문제가 되었던 것이다.

IPM 이전의 해충학은 해충의 종을 동정하고 그의 생활사를 밝혀 발생 시기나 살충제가 효과적으로 작용하는 생육단계 즉 방제효과가 큰 시기에 살충제를 산포하기 위한 생물학적 현상을 확인하고 살충제를 산포(Identify-and-spray)하는 것이 중요한 목표였다. 그러나 IPM 개념의 도입은 생물학적 문제뿐 아니라 경제 사회적 문제까지를 포함한 어떤 시점에서의 기술수준의 총체적 체제(State of art program)가 문제가 되게 된 것이다.

개체군 생태학은 “생물의 종을 개체군으로 파악하고 그의 시간적, 공간적 생활양식을 정량적으로 연구하는 과학”이라고 정의할 수 있다. 그리고 IPM은 어떤 시점에 한 포장 내에 발생한 해충의 개체군 밀도가 EIL 이상이나 여부, EIL 이하이면 그것이 앞으로 EIL을 넘을 것인지 여부, 그리고 가장 효과적으로 밀도를 제어하려면 어떤 방제 수단을 언제 어떻게 사용하는 것이 생산자 뿐 아니라 사회, 경제적으로 가장 합리적인가를 판단하여 실행하는 것을 목표로 하고 있다.

따라서 실제 포장조건 하에서의 해충 개체군 밀도를 파악하기 위한 표본 조사법의 개발과 개체군 밀도의 변동동태는 IPM의 중요한 기초가 되는데 개체군생태학은 해충 개체군의 공간적 분포양식이나 개체군 밀도 변동의 기구의 해명을 통하여 해충 문제 해결과 역사적으로

밀접한 관계를 가지면서 발전하여 왔다.

Morris 등이 중심이 되어 1947년부터 1960년까지 이어진 가문비나무 해충 *Choristoneura fumiferana* 잎말이나방에 관한 연구는 야외 해충 개체군에 대한 표본 조사방법, 생명표를 이용한 치사요인의 평가, 개체군 밀도변동관여요인을 이용한 개체군 밀도변동 Model의 작성 그리고 그를 이용한 변동예측 등 야외 해충개체군 동태학 발전에 중요한 계기를 마련하였다.

### (1) 야외 해충 개체군의 표본조사

어떤 포장에 존재하는 해충수를 전부 계수할 수는 없다. 따라서 야외포장에서 해충 개체군 밀도는 표본 조사를 통하여 추정하는 것이 보통이다. 모든 경우에 공통적으로 사용할 수 있는 표본조사방법은 없다. 따라서 표본조사는 명확한 목표 하에 그에 알맞은 표본조사방법이 선택되어야 하겠다.

표본조사와 관련 통계학적인 문제는 Cochran(1953)을 비롯하여 많은 연구가 있으며 야외 개체군 밀도의 표본조사 방법에 관하여는 Southwood와 Henderson(2000), Pedigo와 Buntin(1994), Krebs(1999) 등의 저서가 있으며 총설로는 Harcourt(1969), Morris(1960), Solomon(1964), Strickland(1961), Varley와 Gradwell(1970), Kuno(1991) 등 다수가 있다. 고로 여기서는 몇 가지 중요한 점만을 지적해 두려한다.

IPM을 위한 표본조사는 공간적 또는 시간적인 밀도의 파악을 위한 것이다. 따라서 밀도는 상호비교가 가능하여야 하는데 이를 위해서는 단위가 공통적이어야 한다. Southwood(1966)는 밀도를 ① 절대밀도(Absolute density): 단위 면적당의 개체수, ② 서식처당 밀도(Population intensity): 주당 또는 옆 당 개체수, ③ 기본개체군(Basic population): 지면적당 개체수 ④ 상대밀도(Relative density): 포충망 25회 왕복으로 잡힌 수, 그리고 ⑤ 개체군 지수(Population index): 나비류 유충의 배설물 수나 식혼수 등과 같은 것이 있다고 하였다. IPM에서는 서식처당 밀도, 기본개체군, 그리고 상대밀도 등이 흔히 이용된다.

한편 표본조사를 할 때 중요한 것은 조사치의 정확도이다. 생물의 공간적 분포양식에는 임의분포(Random distribution), 균일분포(Uniform distribution), 그리고 집중분포(Clumped distribution) 등의 범주가 있으나 환경조건의 불균질성이나 생물학적 이유 - 생식양식, 상호유인 기타 - 때문에 집중분포를 하는 경우가 많다. 분

포양식의 판단에는 흔히 표본 평균치, 분산 그리고 표본의 크기 등 간의 관계를 이용한다. 평균치에 대한 분산의 비가 1보다 크면 집중분포, 1보다 작으면 균일분포 그리고 같으면 임의분포를 하는 것으로 판단하는데 이 방법이 가장 간단하고 편리한 방법이다. 그러나 이것은 표본의 크기의 영향을 받는다. 또 다른 기준은 부의 이항분포에서의  $k$  값으로  $1/k$ 이 임의분포에서는 0이고, 집중분포에서는 0보다 크며, 균일분포에서는 0보다 작다. 그러나 이 경우에도  $k$  값은 평균치에 따라 변하게 되는 것이 문제이다.

분포양식이나 표본조사와 관련 Iwao의 Mean crowding regression 과 Taylor의 Power law가 평가에 흔히 이용되고 있다. Kuno(1991)는 이 두 방법의 장단점을 논하고 기술적인 면에서는 두 방법이 모두 대체로 자료에 적합하나 상관관계를 보면 Taylor의 Power law가 다소 높다고 하고 Mean crowding regression은 표본 평균치의 범위가 대단히 클 때는 Bias가 커지는 수가 많으나 그의 주요한 장점은 Parameter의 해석에 있으며 Taylor의 Power law는 경험적인 고로 자료와의 일치성이 대체로 높으나 곤충의 생육단계나 표본의 크기가 변하면 그에 따라 변하는데 문제가 있다고 하였다.

표본 조사 시 표본단위-조사대상에 대한 서식처 비율과 표본조사 방법은 표본조사의 목적이나 도입할 수 있는 자원-노동력이나 기구 등에 따라 정해지는데 표본단위는 조사대상 해충 개체군과 조사공간을 대표할 수 있는 것이어야 하며 상호 중복되지 않는 것이어야 한다.

임의 조사는 가장 흔히 쓰이는 방법인데 이때에는 표본단위가 동등하게 조사될 수 있어야 한다. 야외 개체군을 몇 개의 소 개체군-예를 들면 포장을 소 표본구로 나누고 한 구에서 몇 나무를 임의로 택하고 택한 나무에 대하여 방위나 층위로 나누어 조사하는 등-으로 나누어 따로 따로 조사하는 층화조사법이 흔히 이용된다.

층화표본조사시 적정 표본수의 결정은 비례적인 방법을 쓰거나 최적표본수 결정법을 이용한다. 최적표본수 결정법을 쓸 때에는 각 표본 층위에서의 변이 계수와 조사비용을 일차적으로 추정하고 요구하는 정확도와 표본 조사비용간의 최적화를 도모한다.

### (2) 해충 개체군 밀도 변동 모델

IPM을 위해서는 작물의 성장, 해충 개체군의 밀도 변동, 해충 밀도 변동과 작물의 성장과의 관계로 생기는 작물의 피해동태가 Model화 되고 이들 Model을 이용

한 각각의 변동이 예측될 필요가 있다.

개체군 밀도 변동과 관련 실험 개체군에 관한 밀도 변동 모델은 Lotka(1925)를 비롯하여 Nicholson과 Bailey (1935), Leslie(1945) 그리고 Thompson(1939) 등의 기생자와 기주, 또는 포식자와 피식자 간의 관계 모델이 있으나 이것은 실험실 개체군에 관한 것으로 극히 한정된 조건하에서의 Model로 실제 야외 개체군의 경우에는 관련 요인이 많고 그들 간의 관계도 극히 복잡하여 그대로 적용하는 데에는 한계가 있다.

Morris(1963b)는 *Choristoneura fumeferana* 잎말이나방의 야외 개체군 밀도의 영기별생명표(Age specific life table)을 작성하고 야외 개체군 밀도 변동에 관련된 변동 주요인분석(Key factor analysis)을 하고 이것을 이용한 개체군 밀도변동식을 발표한바 있으며 Varley와 Gradwell(1960)은 각 연령군의 사망률의 전 세대 사망률에서 차지하는 상대적 중요도를 그래프를 이용 평가한 바 있다. 이 방법은 개체군 밀도변동에 관여하는 주요한 요인을 연속되는 세대 또는 서로 다른 지역의 개체군을 대상으로 한 생명표를 이용하여 분석하는 것으로 야외 개체군 밀도 변동분석에 일반화 되어 왔다. 그러나 이 방법은 분석에 많은 자료가 필요하며 또 얻어진 결과가 재배 환경의 변동에 따라 변동하는 어려움이 있다.

Nakasuji(1997)는 Podoler와 Rogers(1975)의 분석 결과와 자신이 정리한 11가지 연구에 총 23종 해충의 사망요인을 정리하였다. 23개의 예 중 포식자나 기생자가 주요인으로 되어 있는 것이 9예였다. 현(1968)은 솔나방 야외 개체군에 대한 3년간에 걸친 동태학적 연구를 통하여 8월중의 강우가 변동주요인임을 밝히고 월동전의 유충 밀도조사를 통하여 다음해의 피해억제 가능성을 제시한바 있고 박과 현(1977)은 솔잎혹파리 개체군 동태학적 연구에서 용기간 중 토중 함수량 변동이 주요인임을 밝힌바 있다.

Hughes와 Gilbert(1968)는 양배추가루진딧물(*Brevicoryne brassicae*)의 개체군 밀도 변동 모델에 생리적 시간(Physiological time) 개념을 도입하였다. 이것은 일수가 아니고 온도에 따르는 발육 기간을 말하는 것으로 그 후 Gutierrez 등(목화의 *Hypera brunneipennis*, 1976), Ruesink(목화의 *Hypera postica* 1976), Shoemaker(1977) 등이 여러 해충에 대하여 이 방법을 이용하여 왔다.

일본에서는 해충관리를 위한 Systems model이 벼의 해충인 끝동매미충의 개체수 변동(Sasaba 등 1973, Sasaba와 Kiritani 1975) 그리고 이것이 매개하는 벼 위축병바

이러스(RDV) 전파모델(Nakasuji와 Kiritani 1972, Nakasuji 등 1975)이 있고 감귤에서는 화살까지벌레의 Model 연구(Inoue와 Ohgusi 1977) 있다(Nakasuji 1997).

한편 포장에서 종합적인 해충관리를 하려면 해충의 개체수 변동의 예측만으로는 충분치 못하고 작물의 성장과 해충에 대한 피해를 묶은 수량의 예측이 가능한 모델의 개발이 필요하다.

Gutierrez 등(1980)은 목화에 대하여 잎, 다래 등의 각 기관과 그들의 생육단계를 구별하여 기재하는 작물 성장 모델을 작성하고 작물의 동화물질이 작물 각 기관으로 유전하는 과정을 가정하고 해충의 가해에 따르는 각 기관이 받는 영향을 Simulation 하였다. 이와 같은 구상은 벼에 대한 3종의 식엽성 해충에 관한 Graf(1992)의 연구에도 이용되고 있다. 일본에서는 Sogawa 등이 중심이 되어 벼의 멸구류의 가해가 벼의 생육과 수량에 미치는 영향을 벼의 성장 모델과 묶어 Systems model 개발에 활용하고 있다.

지금까지 여러 가지 종류의 Model이 서로 다른 문제와 관련 개발되어 왔다. 작물생태계에 대한 Systems model은 기후적 조건을 비롯한 여러 가지 조건의 해충 개체군 밀도에 미치는 영향을 예측하고 각종 관리수단의 분석을 위하여 관련 개체군 간의 상호 관계를 이해하는데 이용되었다.

이런 문제들을 설명하는 Model의 가치는 생태계의 전체적 동태를 이해하기 위하여 작물 생태계를 구성하고 있는 여러 가지 요인들 간의 상호작용에 관하여 얻은 지식의 유용성을 증가 시킬 수 있다는데 있다고 하겠다. 물론 모델을 통하여 얻을 수 있는 추정치와 실측치 간에는 차가 있을 수 있다. 또 모델에 모든 요인을 포함시킬 수는 없는 일이다. 그러나 모델을 이용함으로써 우리가 밝힌 것 즉 설명이 가능한 부분이 분명해지고 앞으로 어떻게 하면 더 좋은 결과를 얻을 수 있는가에 대한 지향해야 할 방향을 추론할 수 있겠다. 문제는 모델이 완전한 해답을 주느냐가 아니고 이해의 정도나 예측 가능성 그리고 관리의 효과가 모델을 이용하지 않았을 때에 비하여 얼마나 향상되었는가에 달려 있다 하겠다.

Holt 등(1987)은 필리핀에서 1979년부터 1984년까지 5년간에 걸쳐 벼멸구 개체군 동태를 ① 장시형 침입 패턴 ② 벼와 다른 멸구류가 벼멸구의 증식과 생존에 미치는 영향 ③ 시형에 미치는 작물의 영향 ④ 포식자와 기생자의 영향 ⑤ 다른 멸구, 매미충류의 포식작용에 미치는 영향 등에 대하여 조사하고 Simulation 치와 실

측치는 대체적으로 잘 일치하였다고 하고 문제점으로 ① 침입개체의 질(생식과 관련) ② 포식작용의 과소평가(특히 포장주변과 초관발달 전) ③ 침입개체의 증식력 및 교미성공율의 과대평가 ④ 장시충 비산에 대한 불확실성 등을 들고 있다.

## 6. IPM과 발생 예찰 제도

우리나라에서는 병해충 방제의 효과를 증대시키기 위하여 병해충 발생상황이나 작물의 생육상황 그리고 기상정보 등을 조사하여 이들 정보를 토대로 병해충 방제에 도움이 될 수 있는 예찰 정보를 재배농민에게 전달하고 있다.

병해충 예찰사업을 총괄하고 있는 것은 농촌진흥청 기술지원국 친환경과이고 각 시, 도 농업기술원과 시군 단위로는 농업기술센터가 있어 담당자는 예찰포와 관찰포에 대한 정기조사와 농가포장에 대한 수시조사를 병해충 발생 예찰사업 실시요강 및 요령에 따라 수행하고 그 결과를 도를 통하여 중앙에 보고하게 되어 있다. 시, 도와 농촌진흥청은 이런 정보를 토대로 4-9월은 격주로 병해충의 발생상황에 따라 예보, 주의보, 그리고 경보로 구분 발표하고 있다.

일본에서는 최근 각 현이 중심이 된 컴퓨터를 이용한 발생예찰 시스템의 확립을 위한 사업이 적극적으로 추진되고 있으며 실제로 FLABS(감자역병), BLASTAM(벼도열병), BLIGHTAS(벼문고병), MELAN(감귤검은점무늬병), LLJET(벼의 멀구류), LRFOREC(벼의 흑명나방)은 실용화 되고 있고 중앙에는 발생예찰정보나 기상 자료의 수집전달을 위한 “식물방역정보종합 Network system(JPP-NET)”이 구축되어 있다.

우리나라의 병해충 발생예찰사업은 1960-1980년대까지는 농약산포를 중심으로 한 방제 행정과 일체가 되어 방제의 철저를 기하는 방향으로 운영되어 왔으나 1980년대 후반 이후에는 경제적 방제, 살충제 저항성 회피, 환경에 대한 영향의 문제 등을 중시하게 되면서 발생예찰 정보가 농약의 과용 억제라는 방향으로 이용되고 있다. 이런 의미에서도 될 수 있는 대로 많은 병해충에 대하여 “발생량”의 예찰이 과학적으로 이뤄지기 위한 기술의 확립과 그의 효과적 실천 방안이 강구되어야 하겠다. 전자는 전적으로 대학이나 농촌진흥청과 같은 연구기관에서 해결하여야 할 문제이나 실천방안은 기술문제와 더불어 행정이나 교육과 같은 복잡한 문제가 관련

되어 있다.

한편 병해충의 발생은 공간적 이질성이 있는 것이 보통이다. 따라서 공적기관이 대상으로 하고 있는 광역적 조사에 의한 발생량의 다소가 곧 각 농가 포장에 그대로 적용되는 것은 아니다. 각 농가가 방제 여부를 위한 의사결정은 광역 예찰정보를 참조하여 각 농가가 자기 포장에 대한 병해충의 발생 상황을 조사하여 그 결과에 따라 판단해야 한다.

미국을 비롯한 선진국에서는 전문 기술자와의 계약에 의하여 방제를 하고 있는데 우리나라에서와 같이 소규모 농가가 많은 경우에는 이것은 어려운 일이다.

우리나라에서는 예찰원이 소지역 병해충 발생상황을 조사하여 개별적인 예찰을 하고 있으나 예찰원의 질적 문제나 인원수 문제로 원활을 기하기는 어려운 실정인 듯하다. 현재 농업기술센터와 도 농업기술원은 지방자치체 실시로 인사권이나 예산권이 지방자치단체에 속하여 있으며 예찰원은 병해충 발생 조사업무 외에 다른 업무도 겸하고 있다. 품종이나 재배법은 재배대상 작물의 결정과 더불어 고정적이라고 할 수 있으나 병해충은 종류도 많고 발생상황도 다양하여 그의 합리적 방제에는 고도의 전문지식이 요구되나 현재의 체제하에서는 잦은 인사이동과 인사상의 매력부족으로 전문적 지식인의 확보가 어려운 실정이다. 더욱이 유기농산물에 대한 일반의 관심이 커지면서 농약을 쓰고 있는 95% 이상의 농산물에 대한 문제가 소홀이 취급되어 가고 있는 실정은 우리나라 농업을 위하여 크게 우려되는 바이다.

우리나라 농민은 품종의 선택이나 비배관리 등에 대한 기술수준은 상당히 높으나 병해충에 관한 지식수준은 상대적으로 낮은 것이 보통이다. 현재 우리나라의 농업 환경은 과거 수도중심의 농업생산과 달리 재배작물의 종류가 다양하여졌을 뿐 아니라 재배법도 다양하며 병해충 예찰사업도 전문화 바와 같이 크게 변화하고 있다.

따라서 병해충 발생예찰 사업도 과거와 같이 관 주도 형을 지양하여 관은 광역예찰을 통하여 농민에게 병해충 발생상황에 대한 정보를 제공하고 실천은 농민에게 위임하는 방향으로 수행되어야 할 것이다. 즉 공공기관은 보다 과학적인 예찰이 가능한 기술을 개발하여 농민이 활용할 수 있는 체제의 구축을 통하여 농민은 이 시스템 이용이 각자에게 Merit가 있다는 인식을 높일 수 있는 체제와 노력이 필요하다 하겠다. 이와 관련 동남아시아의 몇몇 나라에서 FAO의 해충 전문가가 제창한 현장농민학교(Farmer field school, F.F.S.) 사업의 성과

는 우리가 음미해 볼 만한 것이 아닌가 본다.

해충 방제의 합리화를 위해서는 과학적인 발생예찰이 불가결이며 예찰정보의 신속한 전달 System이 구축되어야 하겠다. 그리고 공공기관의 광역발생예찰과 농민의 개별예찰은 상호 보완적 기능을 가지고 있는 고로 양자의 긴밀한 연계 System의 구축은 효율적 실천의 기본조건이다.

종래의 IPM 이론은 대규모의 단일작물을 기업적으로 재배하는 조건을 전제하고 있다. 우리나라를 비롯한 Asia의 소규모 가족 경영농업에서의 병해충 관리 기술의 개발에는 여러 가지 특이한 점이 감안되어야 하겠다. 즉 모니터링에 비용이 많이 필요하다든지 또는 높은 정도의 모니터링이 불가능 한때는 모니터링이나 ET 수준을 필요로 하지 않는 기술 개발을 한다든지 발생시기는 예측되나 발생량 예측의 정도를 높이는 것이 비현실적일 때는 그에 대응한 기술을 개발할 필요가 있으며 단기예측은 가능하나 장기 예측이 불가능할 경우에는 그에 대응한 기술의 개발이 필요하다 하겠다. 그리고 여러 가지 병해충 관리 기술이 단순한 하나하나의 지식으로 끝나지 않고 일반성을 갖는 것이 되도록 노력해야 하겠다.

## 결 언

해충은 재배하는 작물과 같이 농업생산의 장인 농생태계의 한 구성원으로 작물의 종류나 품종이 변하고 새로운 재배기술이 투입되면 그에따라 발생하는 해충의 종류나 발생시기, 그리고 발생량 등이 변하게 되고 문화생활의 변화에 따라 소비자의 농산물에 대한 요구도 달라지게 되면서 해충문제는 복잡하여 지고 있다. 이와 같은 복잡한 해충문제를 효과적이고 합리적으로 해결하려는 것이 해충의 종합적 관리의 목적이다. 해충의 종합적 관리는 어떤 종류의 해충이 어디에, 언제, 얼마나 발생하였는가를 정확하게 파악하고, 해충 개체군동태와 작물의 생장동태를 과학적으로 예측하여 작물이 앞으로 받게 될 경제적 피해를 추정하여 그것을 방제비와 대비하여 방제할 것이냐 아니냐를 판단하고 방제를 해야한다면 효과적인 면에서 가장 효율적이고 경제적으로 합리적이며 환경에 대한 부작용이 가장 적은 방법을 선택 적용하는 것을 목표로 한다. 따라서, 해충의 종합적 관리의 성공을 위하여는 농업생산과 관련된 모든 과학분야의 총체적 지식이 기초가 된 농생태계의 기능

적 이해가 무엇보다 필요하다고 하겠다. 그리고 방제수단에는 모든 해충에 적용하여 반드시 성공할 수 있는 방법은 없다. 따라서 파악된 해충의 실태를 바탕으로 가장 적절한 수단이 선택적으로 사용되어야 하겠으며 이를 위하여 국가는 농민에게 종합적 해충관리에 관한 교육을 꾸준히 실시하여 농민의 해충방제에 관한 지식 수준을 제고하는 한편 적절한 해충발생 예찰정보를 제공하여 농민이 이에 적절히 대응할 수 있도록 해야하겠다.

## 사 사

본 종설을 정리하는 동안 많은 분들이 물심양면으로 큰 도움을 주었습니다. 농촌진흥청 해충과장 최동로 박사는 그간 본인이 아무런 부담 없이 문헌을 정리할 수 있도록 세심한 배려를 해주었습니다. 진심으로 감사드립니다.

농업해충과의 박흥현 박사와 김황용 박사는 여러 가지로 연구에 바쁘신 중에도 성심을 다하여 문헌 수집을 도와주었습니다. 두 분의 노력이 없었다면 광범위한 문헌 수집은 불가능 하였을 것으로 사료됩니다. 참으로 고맙습니다. 해충과 엄기백 박사는 논문의 내용에 관하여 많은 참고가 될 의견을 주었습니다. 그리고 박창규 박사는 바쁘신 중에도 성심껏 원고를 정리하고 편찬하여 주었습니다. 충심으로 감사드립니다.

## Literature Cited

- Abate, T., A. van Huis and J.K.O. Ampofo. 2000. Pest management strategies in traditional agriculture: An African perspective. *Annu. Rev. Entomol.* 45: 631~659.
- Adachi, I. and F. Nakasuji. 1985. Definition of economic injury level-Review and theoretical analysis. *Plant Protec.* 39: 301~309. (In Japanese).
- Allen, W.A. and E.G. Rajotte. 1990. The changing role of extension entomology in the IPM era. *Annu. Rev. Entomol.* 35: 379~397.
- Andow, D.A. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annu. Rev. Entomol.* 36: 561~486.
- Arakawa, A. and K. Okazaki. 2002. Management of deciduous fruit tree pests by using mating disruptants and natural enemies. *Plant Protec.* 56: 97~101. (In Japanese).
- Bae, Y.H. and J.S. Hyun. 1987. Studies on the effects of systematic applications of several insecticides on the population of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal. I. Effects of some systemic insecticides on the early population. *Korean J. Plant Protec.* 26: 9~12. (In Korean with English summary).
- Bae, Y.H. and J.S. Hyun. 1987. Studies on the effects of systematic applications of several insecticides on the population of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal. II. Some properties of

- Buprofezin (Applaud) and Isoprothiolane (Fuji-one) in their effects upon the BPH population. Korean J. Appl. Entomol. 28: 61~68. (In Korean with English summary).
- Bajwa, W.I. and M. Kogan. 2002. Compendium of IPM definitions. Integrated plant protection center. Oregon State University, Corvallis. 15 pp.
- Barder, R. and K.E. Fletcher. 1974. Insect infections and their effects on the growth and yield of field crops: a review. Bull. ent. Res. 64: 141~160.
- Bellows, Jr. T.S., R.G. Van Driesche and J.S. Elikinton. 1992. Life-table construction and analysis in evaluation of natural enemies. Annu. Rev. Entomol. 37: 587~614.
- Blommers, L.H.M. 1994. Integrated pest management in European apple orchards. Annu. Rev. Entomol. 39: 213~241.
- Bode, W.M., D. Asquith and J.P. Tette. 1973. Sex attractants and traps for tufted apple budmoth and redbanded leafroller males. J. Econ. Entomol. 66: 1129~1130.
- Bottrell, D.G. and P.L. Adkisson. 1977. Cotton insect pest management. Annu. Rev. Entomol. 22: 451~481.
- Brader, L. 1979. Integrated pest control in the developing world. Annu. Rev. Entomol. 24: 225~254.
- Brown, G.C., A.R. Lutgardo and S.H. Gage. 1980. Data based management systems in IPM programs. Environ. Entomol. 9: 475~480.
- Cancelado, R.E. and E.B. Rradcliffe. 1979. Action thresholds for potato leafhopper on potatoes in Minnesota. J. Econ. Entomol. 72: 566~569.
- Chalfant, R.B., W.H. Denton, D.J. Schuster and R. B. Workman. 1979. Management of cabbage caterpillars in Florida and Georgia by using visual damage thresholds. J. Econ. Entomol. 72: 411~413.
- Chang, Y.D. 1992. The changes of occurrence patterns of major insect pests. Korean J. Appl. Entomol. 31: 69~78. (In Korean with English summary).
- Cheng, J., W. Zhao, Y. Lou and Z. Zhu. 2001. Intra- and interspecific effects of the brown planthopper and white backed planthopper performance. J. Asia-Pacific Entomol. 4: 85~92.
- Cheng, J. 2001. The seasonal occurrence, forecasting and management strategy for brown planthopper in Zhejiang, China. J. Asia-Pacific Entomol. 4: 209~215.
- Chung, B.K. 2001. Analysis of damage by *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera:Thripidae) in egg plants. J. Asia-Pacific Entomol. 4: 149~155.
- Cochran, W.G. 1953. Sampling Techniques. 1st edition. Wiley, New York.
- Croft, B.A., J.L. Howes and S.M. Welch. 1976. A computer-based, extension pest management delivery system. Evinron. Entomol. 5: 21~34.
- Croft, B.A. and S.C. Hoyt. 1983. Integrated management of insect pests of pome and stone fruits. John Wiley and Sons. 454 pp.
- Denno, R.F. and G.K. Roderick. 1990. Population biology of planthoppers. Annu. Rev. Entomol. 35: 489~520.
- Denno, R.F., M.S. McClure and J.R. Ott. 1995. Interspecific interactions in phytophagous insects: Competition re-examined and resurrected. Annu. Rev. Entomol. 40: 297~331.
- Dixon, A.F.G. 1985. Structure of aphid populations. Annu. Rev. Entomol. 30: 155~174.
- Easterbrook, M.A., M.G. Solomon, J.E. Cranham and E.F. Souter. 1985. Trials of an integrated pest management programme based on selective pesticides in English apple orchards. Crop Protection. 4: 215~230.
- FAO. 1975. Report of FAO panel of experts on integrated pest control. 3rd. Sept. 10~16. Rome, Italy. 38 pp.
- Fitt, G.P. 1989. The ecology of *Heliothes* species in relation to agroecosystems. Annu. Rev. Entomol. 34: 17~52.
- Fitt, G.P. 1994. Cotton pest management: Part 3. An Australian perspective. Annu. Rev. Entomol. 39: 543~562.
- Fujie, A. 1985. Pest control and ecology- The past and the future of population ecology-. Plant protect. 39: 449~454. (In Japanese).
- Fukushima, S. and K. Kondo. 1962. The difference of structures of arthropod communities arising from pesticide operations in sprayed or unsprayed pear orchards. Res. Bull. Fac. Agric, Gifu Univ. 16: 73~91.
- Fulton, W.C. and D.L. Haynes. 1975. Computer mapping in pest management. Environ. Entomol. 4: 357~360.
- Fulton, W.C. and D.L. Haynes. 1977. The use of regression equations to increase the usefulness of historical temperature data in on-line pest management. Environ. Entomol. 6: 393~399.
- Furuhashi, K. 1988. Insect pest management in fruit orchards. Plant Protect. 42: 547~551. (In Japanese).
- Furuhashi, K. 1991. Role of pest management and forecasting for occurrence of citrus pest in the future. Plant Protect. 45: 200~205. (In Japanese).
- Gage, S.H., M.E. Whalon and D.J. Miller. 1982. Pest event scheduling system for biological monitoring and pest management. Environ. Entomol. 11: 1127~1133.
- Gaunes, J.C. 1957. Cotton insects and their control in the United States. Annu. Rev. Entomol. 2: 319~3.
- Geier, P.W. 1966. Management of insect pests. Annu. Rev. Entomol. 11: 471~490.
- Graf, B., R. Lamb, K.L. Heong and L. Fabellar. 1992. A simulation model for the population dynamics of rice leaf folders (Lepidoptera: Pyralidae) and their interactions with rice. J. Appl. Ecol. 29: 558~570.
- Gutierrez, A.P., J.B. Christensen, C.M. Merritt, W.B. Loew, C.G. Summers and W.R. Cothran. 1976. Alfalfa and the Egyptian alfalfa weevil (Colopyera:Curculionidae). Can. Entomol. 108: 635~648.
- Gutierrez, A.P., D.W. DeMichele, Y. Wang, G.L. Curry, R. Skeith and L.G. Brown. 1980. The systems approach to research and decision making for cotton pest control. in New Technology of pest control. 155~186.
- Hachiya, K. 1992. Ecology of the small brown planthopper, *Leodelphax striatellus* Fallen, and its feeding injury in Hokkaido. Plant Protect. 46: 200~202. (In Japanese).
- Harcourt, D.G. 1960. Distribution of the immature stages of the diamondback moth, *Plutella maculipennis* (Court.), on cabbage. Can. Ent. 92: 517~521.
- Harcourt, D.G. 1969. The development and use of life tables in the study of natural insect populations. Annu. Rev. Entomol. 14: 175~186.
- Hashiba, T., T. Ijiri, Y. Fujimaki, K. Iguchi, K. Yokoyama and H. Tsuji. 1991. Use and current status of computerised forecasting systems for rice sheath blight disease. Plant Protect. 45: 185~188. (In Japanese).
- Hassell, M.P. and J.K. Waage. 1984. Host-parasitoid population interactions. Annu. Rev. Entomol. 29: 89~114.
- Hawkins, C.P. and J.A. MacMahon. 1989. Guilds: The multiple meanings of concepts. Annu. Rev. Entomol. 34: 423~451.
- Haynes, D.L., R.K. Brandenburg and P.D. Fisher. 1973. Environmental monitoring network for pest management systems.

- Environ. Entomol. 2: 889-899.
- Headley, J.C. 1972. Economics of agricultural pest control. Annu. Rev. Entomol. 17: 273-286.
- Higley, L. and L.P. Pedigo ed. 1996. Economic Thresholds for Integrated Pest Management. Univ. Nebraska Press. 327 pp.
- Hirabayashi, H. 2002. Utilization of genes for resistance to planthoppers in rice. Plant Protec. 56: 483-487. (In Japanese).
- Hirai, K. 1992. Planthopper abundance and weather. Plant Protect. 46: 187-192. (In Japanese).
- Hirai, K. 1998. Overview of IPM for rice in Japan, Plant Protect. 52: 107-110. (In Japanese).
- Hirao, J. 1989. Dynamics of rice planthoppers in Malasia. Plant Protect. 43: 198-200. (In Japanese).
- Hokkanen, H.M. 1991. Trap cropping in pest management. Annu. Rev. Entomol. 36: 119-138.
- Holt, J., A.G. Cook, T.J. Perfect and G.A. Norton. 1987. Simulation analysis of brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) population dynamics on rice in the Philippines. Jour. Of Appl. Ecol. 24: 87-102.
- Hu, Guo-Webg, Tang Jian and Tang Jin-Yi. 1992. Recent prevalence of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* Horva' th in China. Plant Protect. 46: 219-222. (In Japanese).
- Huffaker, C.B., M. van de Vrie and J.A. McMurtry. 1969. The ecology of Tetranychid mites and their natural control. Annu. Rev. Entomol. 14: 125-174.
- Huffaker, C.B. ed. 1980. New technology of pest control. John Wiley and Son. 500 pp.
- Hughes, R.D. and N. Gilbert. 1968. Population dynamics of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.). J. Anim. Ecol. 37: 553-563.
- Hukusima, S. 1962. The influence of number and timing of selective pesticide applications upon the relationships among arthropod community components in apple orchards. Res. Bull. Fac. Agric. Gifu Univ. 16: 55-71.
- Hyun, J.S. 1962. Basic problems in insect control- Special reference to economic control-. Sanrock. 11: 45-50. (In Korean).
- Hyun, J.S. 1965. A study on the life table of the pine moth, *Dendrolimus spectabilis*. Bull. of Entomol. Inst. Korea Univ. 1: 29-57. (In Korean).
- Hyun, J.S. 1965. A study on the distribution pattern of the pine moth. Bull. of Entomol. Inst. Korea Univ. 1: 57-66. (In Korean).
- Hyun, J.S. 1968. A study on the forecasting of the pine moth occurrence. Bull. Entomol. Inst. Korea Univ. 4: 57-79. (In Korean).
- Hyun, J.S. 1968. Study on the major mortality factors of the pine moth, *Dendrolimus spectabilis*, and their effects on the population fluctuations. Korean Plant Protec. Supul. 1: 1-24. (In Korean with English Summary).
- Hyun, J.S. 1974. Study on the population of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Fallen). Research Report for MST. 1-23. (In Korean).
- Hyun, J.S. 1977. The regional occurrence pattern of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallen in Korea. Research Bull. Agri. Sci. SNU. 2: 133-146. (In Korean with English summary).
- Hyun, J.S. 1978. Insect problems with the changes in the plant variety and cultural practices. Research Bull. Agri. Sci. SNU. 3: 39-52. (In Korean with English summary).
- Hyun, J.S. 1983. The ecology and the control strategy of the pine needle gall midge, *Thecodiplosis japonensis* Uchida et Inouye. Bull. Korean Academy. 22: 337-363.
- Hyun, J.S. 1994. The principles of insect control. SNU. 325 pp. (In Korean).
- Iitomi, A. 1992. Population dynamics of the white-backed rice planthopper, *Sogatella furcifera* Horva' th in Akida Prefecture in recent years. Plant Protect. 46: 206-208. (In Japanese).
- Ikeda, F. 1981. Occurance and injury of *Thrips palmi* Karny to the musk melon in green houses in Shizuoka Prefecture. Plant Protect. 35: 289-290. (In Japanese).
- Ikemoto, T. and K. Takai. 2001. A new method for estimating the parameters of the law of total effective temperature. Plant Protect. 55: 311-315. (In Japanese).
- Imai, K. 1998. Control system by long residual effect pesticides. Plant Protect. 52: 111-114. (In Japanese).
- Inoue, H. 1992. Occurrence of rice planthoppers in Kagoshima Prefecture with a special reference to differential trans-planting time of rice plants. Plant Protect. 46: 215-218. (In Japanese).
- Ishiguro, K. 1998. The strategy and development for plant protection in north Japan. Plant Protect. 52: 115-118. (In Japanese).
- Ito, K. 1984. An introduction to recent studies on migration in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. Plant Protect. 38: 549-552. (In Japanese).
- Jeon, T.S., J.S. Hyun and J.S. Park. 1975. A study on the population dynamics of overwintered small brown planthopper *Laodelphax striatellus* (Fallen). Korean J. Entomol. 5: 21-32.
- Jung, C.R., Y.J. Park and K.S. Boo. 2003. Optimal sex pheromone composition for monitoring *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) in Korea. J. Asia-Pacific Entomol. 6: 175-182.
- Kamiwada, H. and H. Torigoe. 1998. Pest management in the southwest warm region of Japan. Plant Protect. 52: 119-124. (In Japanese).
- Kanno, K., M. Sato, K. Hirayae, T. Nakajima and Y. Fujita. 2002. Interspecific relationship between the white-backed planthopper and the rice blast fungus through the rice plant. Plant Protect. 56: 463-465. (In Japanese).
- Karley, A. J., W.E. Parker, J.W. Pitchford and A.E. Douglas. 2004. The mid-season crash in aphid populations: Why and how does it occur? Ecol. Entomol. 29: 383-388.
- Kato, T. 1985. An approach to pest management- Control of citrus insects and mites. Plant Protec. 39: 2-7. In Japanese.
- Kawai, A. 2000. Problems for the practice of the IPM. Plant Protect. 54: 222-225. (In Japanese).
- Kawai, A. 2001. Population management of *Thrips palmi* Karny. Jpn. J. Appl. Entomol. 45: 39-59. (In Japanese with English summary).
- Kidokoro, T. and K. Kiritani. 1982. Economic injury level and control strategy(1) -Development in the concept of EIL-. Plant Protect. 36: 5-10. (In Japanese).
- Kidokoro, T. and Kiritani, K. 1982. Economic injury level and control strategy (2)-Pest management and EIL-. Plant Protec. 36: 49-54. (In Japanese).
- Kiritani, K. 1979. Pest management in rice. Annu. Rev. Entomol. 24: 279-312.
- Klomp, H. 1964. Intraspecific competition and the regulation of insect numbers. Annu. Rev. Entomol. 9: 17-40.
- Kobayashi, F. 1985. Pest control and ecology -Integrated forest pest management-. Plant Protect. 39: 467-474. (In Japanese).
- Kodomari, S. 1992. A present status and prospects of use of sex pheromones for forecasting of pest occurrence: tea pests. Plant Protect. 46: 28-30. (In Japanese).
- Kogan, M. 1998. Integrated pest management: Historical perspectives

- and contemporary developments. *Annu. Rev. Entomol.* 43: 243-270.
- Kojima, A. 1988. Insect pest management in paddy field. *Plant. Protect.* 42: 539-542. (In Japanese).
- Kojima, A. and K. Emura. 1981. Some problems related to an endemic occurrence of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* in Niigata Prefecture. *Plant Protect.* 35: 532-535. (In Japanese).
- Komori, R. 1992. Fluctuation of viruliferous rate of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallen, in the Kitakanto district. *Plant Protect.* 46: 203-205. (In Japanese).
- Koyama, J. 1985. Pest control and ecology-Conditions for the establishment of integrated pest management in Japan-. *Plant Protect.* 39: 455-460. (In Japanese).
- Krebs, C.J. 1999. *Ecological Methodology*. 2nd ed. An imprint of Addison Wesley Longman, Co. 620 pp.
- Kudo, I. 1981. *Thrips palmi* Karny attacking some vegetables in Japan. *Plant Protect.* 35: 285-288. (In Japanese).
- Kuno, E. 1991. Sampling and analysis of insect populations. *Annu. Rev. Entomol.* 36: 285-304.
- Kuno, E. 1988. Problems on statistical estimation in insect pest control. *Plant Protect.* 42: 13-18. (In Japanese).
- Kuno, E. 1991. Sampling and analysis of insect populations. *Annu. Rev. Entomol.* 36: 285-304.
- Kuno, E. 1988. Insect pest management in Japan: An overview. *Plant Protect.* 42: 509-510. (In Japanese).
- Landis, D.A., S.D. Wratten and G.M. Gurr. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* 45: 175-201.
- Lawton, J.H. 1983. Plant architecture and the diversity of phytophagous insects. *Annu. Rev. Entomol.* 28: 23-39.
- Lee, J.H. and J.S. Hyun. 1984. Studies on the effects of the growth stages of the rice plant on the biological performance of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal. *Korean J. Plant Prot.* 23: 49-55. (In Korean with English summary).
- Lee, M.H. and J.S. Hyun. 1975. The regional occurrence pattern of the rice stem borer, *Chilo suppressalis*, in Korea. *Res. Bull. Seoul Univ. (B)*. 25: 27-46. (In Korean with English summary).
- Lee, S.C. 1992. Towards integrated pest management of rice in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 31: 205-240.
- Lee, S.C. and H.J. Park. 1991. Changes in the occurrence pattern of the striped rice borer, *Chilo suppressalis* Walker, in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 30: 249-257. (In Korean with English summary).
- Lee, S.W. and J.S. Hyun. 1985. A study on the population dynamics of the mites on apples. *Research Bull. Of Agriculture, SNU*. 10: 35-44. (In Korean with English summary).
- Lee, S.W. and J.S. Hyun. 1990. Studies on the insects and mites faunas on apple. *ORD*. 88pp. (In Korean).
- Leslie, P.H. 1945. On the use of matrices in certain population mathematics. *Biometrika* 33: 183-212.
- Levins, R. and M. Wilson. 1980. Ecological theory and pest management. *Annu. Rev. Entomol.* 25: 287-308. *Annu. Rev. Entomol.* 25: 258-308.
- Lincoln, C. and B.D. Blair. 1977. Extension entomology: A critique. *Annu. Rev. Entomol.* 22: 139-155.
- Liss, W.J., L.J. Gut, P.H. Westgard and C.E. Warren. 1986. Perspectives on arthropod community structure, and organization, and development in agricultural crops. *Annu. Rev. Entomol.* 31: 455-478.
- Logan, J.A., D.J. Wollkind, S.C. Hoyt and L.K. Tanigoshi. 1976. An analytic model for description of temperature developmental rate phenomena in Arthropods. *Environ. Entomol.* 5: 1133-1140.
- Loomis, R.S., W.A. Williams and A.E. Hall. 1971. Agricultural productivity. *Annu. Rev. Entomol.* 16: 431-468.
- Lotka, A.J. 1925. *Element of physical biology*. Williams and Wilkins, Baltimore. Reprinted as elements of mathematical biology. 1956. Dover N. Y. 465 pp.
- Luttrell, R.G., G.P. Fitt, F.S. Ramalho and E.S. Sugonyaev. 1994. Cotton pest management: Part 1. A worldwide perspective. *Annu. Rev. Entomol.* 39: 517-526.
- Luttrell, R.G. 1994. Cotton pest management: Part 2. A US perspective. *Annu. Rev. Entomol.* 39: 527-542.
- Ma, F., Z. Ding and X. Cheng. 2001. Chaos and predictable time-scale of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stal.) occurrence systems. *J. Asia-Pacific Entomol.* 4: 67-74.
- Madsen, H. and J.M. Vakenti. 1973. Codling moth: Use of codlemone-baited traps and visual detection of entries to determine need of sprays. *Environ. Entomol.* 2: 677-679.
- Matheson P.C. 2000. *Insect pest management in tropical Asian irrigated rice*. *Annu. Rev. Entomol.* 45: 549-574.
- Matsumura, M. 1992. Population dynamics of the white-backed rice planthopper, *Sogatella furcifera* Horva'th in the Hokuriku district. *Plant Protect.* 46: 209-211. (In Japanese).
- Matsumura, M. 2001. The current status of occurrence and forecasting system of rice planthoppers in Japan. *J. Asia-Pacific Entomol.* 4: 195-199.
- Matsumura, M. 2002. Interspecific interaction on wing dimorphism between rice planthoppers and its consequences on population dynamics. *Plant Protect.* 56: 466-469. (In Japanese).
- Matteson P.C., M.A. Altieri and W.C. Gagne. 1984. Modification of small farmer practices for better pest management. *Annu. Rev. Entomol.* 29: 383-402.
- McNeil J.N. 1991. Behavioral ecology of pheromone-mediated communication in moths and its importance in the use of pheromone traps. *Annu. Rev. Entomol.* 36: 407-430.
- Metcalf, R.L. and W.H. Luckmann eds. 1975. *Introduction to insect pest management*. John Wiley and Sons. 587 pp.
- Miyai, S. 1994. Simulation models of epidemics of insect-born plant viruses. *Plant Protect.* 48: 360-365. (In Japanese).
- Miyashita, T. 1992. Occurrence of the white-backed rice planthopper, *Sogatella furcifera* Horva'th, in Kagawa Prefecture and its forecasting model. *Plant Protect.* 46: 212-214. (In Japanese).
- Miyashita, T. 1994. A application of a simulation model to the forecasting of occurrence and its prospects. A case of rice leaf roller, *Cnaphalocrocis medinalis*. *Plant Protect.* 48: 366-369. (In Japanese).
- Mochizuki, F. 1992. Design and efficiency of pheromone traps. *Plant Protect.* 46: 17-23. (In Japanese).
- Morishita, M. 1992. A possible relationship between outbreaks of rice planthoppers in Japan and the EL Nin'o phenomenon. *Plant Protect.* 46: 193-195. (In Japanese).
- Morris, R.F. 1960. Sampling insect populations. *Annu. Rev. Entomol.* 5: 243-264.
- Morris, R.F. and C. A. Miller. 1954. The development of life tables for the spruce budworm. *Can. J. Zool.* 32: 283-301.
- Morris, R.F. 1963a. Predictive population equations based on key factors. *Mem. Entomol. Soc. Can.* 32: 16-21.
- Morris, R.F. 1963b. The dynamics of epidemic spruce budworm populations. *Mem. Entomol. Soc. Can.* 31: 1-332.
- Mumford, J.D. and G.A. Norton. 1984. Economics of decision making in pest management. *Annu. Rev. Entomol.* 29: 157-174.



- Myers, J.H., A. Savoie and Ed van Randen. 1998. Eradication and pest management. *Annu. Rev. Entomol.* 43: 471-491.
- Naba, K. 1991. Frequent outbreaks and population growth patterns of the white-backed rice planthopper, *Sogatella furcifera* Horva' th, in recent years. *Plant Protect.* 45: 41-45. (In Japanese).
- Nabirye, J., P. Nampala, S. Kyamanywa, M.W. Ogenga-Latigo, H. Wilson and E. Adipala. 2003. Determination of damage-yield loss relationships and economic injury levels of flower thrips on cowpea in eastern Uganda. *Crop Prot.* 22: 911-915.
- Nagata, T. and T. Kamimuro. 2002. Joint survey on insecticide susceptibility of the migratory rice planthoppers in Asian countries. *Plant Protect.* 56: 488-491. (In Japanese).
- Nakamura, K. 1980. IPM-The present status and the future-. *Plant Protect.* 34: 9-16. (In Japanese).
- Nakamura, K. 1980. Use of sex pheromone traps for pest forecasting. *Plant Protect.* 34: 223-228. (In Japanese).
- Nakasuji, F. 1988. Integrated pest management: Theory and implementation. *Plant Protect.* 42: 511-516. (In Japanese).
- Nakasuji, F. 1997. Integrated pest management. Yokendo Ltd. Tokyo. 273 pp. (In Japanese).
- Nakasuji, F. and K. Kiritani. 1972. Descriptive models for the system of the natural spread of infection or rice dwarf virus. *Res. popul. Ecol.* 16: 245-251.
- Narita, H. 1987. Various problems relating to control of peach fruit moth (*Carposina niponensis* Walsinam) on apple fruit. *Plant. Protect.* 41: 271-276. (In Japanese).
- Nemoto, H. 1992. A present status and prospects of use of sex pheromones for forecasting of pest occurrence: Vegetable pests. *Plant Protect.* 46: 24-27. (In Japanese).
- Nicholson, A. J. and V. A. Bailey. 1935. The balance of animal population. part I. *Proc. Zool. Soc. London.* 551-598.
- Ogawa, K. 1991. Application of remote sensing for the detection of plant diseases and the estimation of yield loss. *Plant Protect.* 45: 195-199. (In Japanese).
- Ohata, K. 1987. Historical changes of disease occurrence due to the improvements of cultural practices in rice cropping. (1). *Plant Protect.* 41: 255-259. (In Japanese).
- Ohata, K. 1987. Historical changes of disease occurrence due to the improvements of cultural practices in rice cropping. (2). *Plant Protect.* 41: 318-322. (In Japanese).
- Ohgushi, R. 1985. Pest control and ecology -Comments from the viewpoint of an ecologist-. *Plant Protect.* 39: 461-466. (In Japanese).
- Okada, T. 1991. Prospective systems of plant pests forecasting practice. *Plant Protect.* 45: 181-184. (In Japanese).
- Onstad, D.W. 1987. Calculation of economic-injury levels and economic thresholds for pest management. *J. Econ. Entomol.* 80: 297-303.
- Otake, A. 1986. Problems of integrated pest management particularly those of orchards and vineyards. *Plant Protect.* 40: 189-194. (In Japanese).
- Oyama, N. 1991. Report from pest forecast researchers: Apple. *Plant Protect.* 45: 216-217. (In Japanese).
- Palis, F.G. 1998. Changing farmer's perceptions and practices: The case of insect pest control in central Luzon, Philippines. *Crop Protect.* 17: 599-607.
- Park, K.N. and J.S. Hyun. 1977. Studies on the population dynamics of the pine needle gall midge, *Thecodiplosis japonensis* Uchida et Inouye. *Res. Bull. Forest Exp.* 24: 91-107. (In Korean with English summary).
- Pedigo, L.P., S.H. Hutchins and L.G. Higley. 1986. Economic injury levels in theory and practice. *Annu. Rev. Entomol.* 31: 341-368.
- Pedigo, L.P. and G.D. Buntin. 2000. Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture. CRC Press. 714 pp.
- Podoler, H. and D. Rogers. 1975. A new method for the identification in key factors from life table data. *J. Anim. Ecol.* 44: 85-115.
- Poston, F.L., L.P. Pedigo and S.M. Welch. 1983. Economic injury levels: Reality and practicality. *Bull. Entomol. Soc. Am.* 29: 49-53.
- Prokopy, R.J., W.M. Coli, R.G. Hislop and K.I. Hauschild. 1980. Integrated management of insect and mite pests in commercial apple orchards in Massachusetts. *J. Econ. Entomol.* 73: 529-535.
- Ramalho, F.S. 1994. Cotton pest management: Part 4. A Brazilian perspective. *Annu. Rev. Entomol.* 39: 563-578.
- Sakai, S. and T. Kimura. 1991. Meteorological information and its use for pest forecast: Long-range forecast. AMEDAS and mesh climatological data. *Plant Protect.* 45: 206-213. (In Japanese).
- Sasaba, T. 1974. Computer simulation studies in the life system of the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* Uhler. *Rev. Plant. Protec. Res.* 7: 81-98.
- Sasaba, T. and K. Kiritani. 1975. A systems model and computer simulation of the green rice leafhopper populations in control programmes. *Res. Popul. Ecol.* 16: 231-244.
- Sasaba, T., K. Kiritani and T. Urabe. 1973. A preliminary models to simulate the effect of insecticides on a spider-leafhopper system in the paddy field. *Res. Popul. Ecol.* 15: 9-22.
- Sato, R. 1992. Characteristics of insect monitoring by using sex pheromone trap. *Plant Protect.* 46: 12-16. (In Japanese).
- Senbongi, I. 2002. Yield loss analysis by the skippers, *Parnara guttata* (Bremer et Grey). *Plant Protect.* 56: 51-54. (In Japanese).
- Shepard, M. ed. 1973. *Insect Pest Management: Readings.* Mss Information Corporation N. Y. 268 pp.
- Shoemaker, C. A. 1977. *Pest management models of crop ecosystems.* Hall, C. A. S., and J. W. Day eds. Ecosystem modeling in theory and practice. John Wiley and Sons. N. Y. 545-574.
- Soga, K., H. Ichihashi and M. Taira. 1991. The outbreak of small brown planthopper and its related factors in Gifu Prefecture. *Plant Protect.* 45: 15-18. (In Japanese).
- Sogawa, K. 1982. The rice brown planthopper: Feeding physiology and host plant interactions. *Annu. Rev. Entomol.* 27: 49-73.
- Sogawa, K. 1989. Renovation of the brown planthopper control in Indonesia. *Plant Protect.* 43: 193-197. (In Japanese).
- Sogawa, K. 1992. Recent biological and ecological problems of the rice planthoppers. *Plant Protect.* 46: 183-186. (In Japanese).
- Sogawa, K. and T. Watanabe. 1991. Advanced systems for rice planthopper management. *Plant Proct.* 45: 189-194. (In Japanese).
- Solomonn, M. E. 1964. Analysis of processes involved in the natural control of insects. *Adv. Ecol. Res.* 2: 1-58.
- 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 Protect.* 21: 38-48. (In Korean with English summary).
- Southwood, T.R.E. and G.A. Norton. 1973. Economic aspects of pest management strategies and decisions in insects: Studies in population management. Ed. P.W. Geier, L.R. Clark, D.J. Anderson, H.A. Nix, 1: 168-184. Canberra: Ecol. Soc. Aust. Mem.

- Southwood, T.R.E and Henderson. 2000. Ecological methods. 3rd ed. Backwell Science Ltd. London. 575 pp.
- Stern, V.M., R.F. Smith, R. van den Bosch and K. S. Hagen. 1959. The integrated control concept. *Hilgardia* 29: 81~101.
- Stern, V.M. 1973. Economic thresholds. *Annu. Rev. Entomol.* 18: 259~280.
- Strickland, A. H. 1961. Sampling crop pests and their hosts. *Annu. Rev. Entomol.* 6: 201~220.
- Stinner, R.E., C.S. Barfield, J.L. Stimac and L. Dohse. 1983. Dispersal and movement of insect pests. *Annu. Rev. Entomol.* 28: 319~335.
- Stone, J.D. and Pedigo. 1972. Development and economic-injury level of the green clover-worm on soybean in Iowa. *J. Econ. Entomol.* 65: 197~201.
- Sugiura, T. 1984. Factors responsible for population dynamics of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* Walker. In Japanese. *Plant Protect.* 38: 303~307.
- Sugonyaev, S. 1994. Cotton pest management: Part 5. A Commonwealth of Independent States perspective. *Annu. Rev. Entomol.* 39: 579~592.
- Suzuki, Y. 1994. Reconstruction of pest management strategy and technology. *Plant Protect.* 48: 357~359. (In Japanese).
- Suzuki, Y. 2000. Critical review of IPM concept. *Plant. Protect.* 54: 217~221. (In Japanese).
- Suzuki, Y. 2002. Historical development of research on management of migratory rice planthoppers. *Plant Protect.* 56: 492~496. (In Japanese).
- Syobu, S. 2002. Improvements in the forecasting technique of rice planthopper occurrence. *Plant Protect.* 56: 474~478. (In Japanese).
- Takahashi, K. 1991. Report from pest forecast researchers: Vegetable Crops. *Plant Protect.* 45: 218~219. (In Japanese).
- Talekar, N.S. and A.M. Shelton. 1993. Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annu. Rev. Entomol.* 38: 275~301.
- Trumble, J.T., D.M. Kolodny-Hirsch and I.P. Ting. 1993. Plant compensation for arthropod herbivory. *Annu. Rev. Entomol.* 38: 93~119.
- Tsuboi, A., F. Tanaka and S. Yabuki. 1981. Recent problems on outbreak of *Chilo suppressalis* in Okayama Prefecture. *Plant Protect.* 35: 527~531. (In Japanese).
- Valentine, H.T., C.M. Newton and R.L. Talerico. 1976. Compatible systems and decision models for pest management. *Environ. Entomol.* 5: 891~900.
- van den Bosch, R. and V.M. Stern. 1962. The integration of chemical and biological control of arthropod pests. *Annu. Rev. Entomol.* 7: 367~386.
- van Lentern, J C. and J. Woets. 1988. Biological and integrated pest control in greenhouses. *Annu. Rev. Entomol.* 33: 239~ 269.
- Varley, G.C. and G.R. Gradwell. 1960. Key factors in population studies. *J. Anim. Ecol.* 29: 399~401.
- Varley, G.C. and G.R. Gradwell. 1970. Recent advances in insect population dynamics. *Annu. Rev. Entomol.* 15: 1~24.
- Visarto, P., M.P. Zalucki, H.J. Nesbitt and G.C. Jahn. 2001. Effect of fertilizer, pesticide treatment, and plant variety on the realized fecundity and survival rates of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal.) (Homoptera:Delphacidae) -generating outbreaks in Cambodia. *J. Asia-Pacific Entomol.* 4: 75~84.
- Walgenbach, J.F. and J.A. Wyman. 1984. Dynamic action threshold levels for the potato leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) on potatoes in Wisconsin. *J. Econ. Entomol.* 77: 1335~1340.
- Wallner, W.E. 1987. Factors affecting insect population dynamics: Differences between outbreak and non-outbreak species. *Annu. Rev. Entomol.* 32: 317~340.
- Watanabe, T. and K. Tanaka. 2002. Recent patterns of rice planthoppers and new technologies of weather analysis for forecasting their occurrence. *Plant Protect.* 56: 459~462. (In Japanese).
- Watanabe, T. 1992. Changes in the occurrence of rice planthoppers in Japan. *Plant. Protect.* 46: 196~199. (In Japanese).
- Watanabe, T. 2001. Internet technology in the recent pest management in Japan. *Plant Protect.* 55: 93~96. (In Japanese).
- Watson, T.F., L. Moore and G.W. Ware. 1975. *Practical Insect Pest Management*. W. H. Freeman and Co. San Francisco. 196 pp.
- Watt, K.E.F. 1961. Mathematical models for use in insect control. *Can. Ent. Suppl.* 19: 1~62.
- Watt, K.E.F. 1963. Mathematical population models for five agricultural crops. *Mem. Ent. Soc. Can.* 32: 83~91.
- Wearing, C.H.H. 1988. Evaluating the IPM implementation process. *Annu. Rev. Entomol.* 33: 17~38.
- Welch, S.M. 1984. Developments in computer-based IPM extension delivery systems. *Annu. Rev. Entomol.* 29: 359~381.
- Welch, S.M., B.A. Croft, J.F. Brunner and M.F. Michels. 1978. PETE: An extension phenology modeling system for management of multi-species pest complex. *Environ. Entomol.* 7: 487~494.
- Welch, S.M., B.A. Croft and M.F. Michels. 1981. Validation of pest management models. *Ecol. Entomol.* 10: 425~432.
- Whalon, M.E. and B.A. Croft. 1984. Apple IPM implementation in North America. *Annu. Rev. Entomol.* 29: 435~470.
- Wyman, J.A., J.L. Libby and R.K. Chapman. 1977. Cabbage maggot management aided by predictions of adult emergence. *J. Econ. Entomol.* 70: 327~331.
- Yamamura, K. 2001. Application of key-factor/key-stage analysis to repeated measurement data. *Plant Protect.* 55: 389~393. (In Japanese).
- Yamasaki, M. and H. Yasui. 2002. Genetic analysis of rice ovicidal response to planthoppers. *Plant Protect.* 56: 479~482. (In Japanese).
- Yang, C.Y., J.K. Jung, K.S. Han, K.S. Boo and M.S. Yiem. 2002. Sex pheromone composition and monitoring of the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) in Naju pear orchards. *J. Asia-Pacific Entomol.* 5: 201~207.
- Yano, E. 1988. Insect pest management in vegetables. *Plant Protect.* 42: 543~546. (In Japanese).
- Yasumatsu, K. and T. Torii. 1968. Impact of parasites, predators, and diseases on rice pests. *Annu. Rev. Entomol.* 13: 295~324.
- Yu, X., Z. Lu, G. Wu, L. Tao, J. Chen, X. Zheng and H. Xu. 2001. The biotypes, wing-forms and the immigration of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal, in Zhejiang Province, China. *J. Asia-Pacific Entomol.* 4: 201~207.

(Received for publication 1 February 2005;  
accepted 22 March 2005)