

최 종
연구보고서

오이, 고추, 토마토의 주요 해충에 대한
경제적피해수준 설정, 간이에찰법 개발
및 발생생태 연구

Development of economic injury level, simple
sampling methods and study of occurrence for major
pests on cucumbers, hot peppers and tomatoes

연구기관
서울대학교
고려대학교
경상대학교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “오이, 고추, 토마토의 주요 해충에 대한 경제적피해수준 설정, 간이에찰법 개발 및 발생생태 연구에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004 년 11 월 일

주관연구기관명 : 서울대학교

총괄연구책임자 : 이 준 호

연 구 원 : 강 택 준

연 구 원 : 이 선 화

연 구 원 : 백 성 훈

연 구 원 : 김 봉 수

추가

협동연구기관명 : 고려대학교

협동연구책임자 : 조 기 종

연 구 원 : 박 정 준

연 구 원 : 이 두 형

협동연구기관명 : 경상대학교

협동연구책임자 : 송 유 한

연 구 원 : 강 수 응

연 구 원 : 김 동 길

연 구 원 : 이 기 성

요 약 문

I. 제 목

오이, 고추, 토마토의 주요 해충에 대한 경제적피해수준 설정, 간이에찰법 개발 및 발생생태 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

주요 시설과 노지의 원예 작물의 주요 해충에 대한 경제적피해수준 설정 및 간이에찰법 개발을 위해서 오이에서는 목화진딧물과 오이총채벌레, 고추에서는 복숭아혹진딧물과 담배나방(제 1세부과제), 시설토마토의 경우 온실가루이와 아메리카잎굴파리, 담배거세미나방(제 1협동과제)에 대하여 연구를 수행하였다. 제 2협동과제에서는 오이, 고추, 토마토, 수박에서 시설내 재배형태, 기본환경 및 시기별 해충발생동태연구를 수행하였다. 또한 연구 결과들을 DB로 구축하여 상기 해충의 조기 예찰진단/방제 인터넷 서비스 체계 구축을 수행하였다.

이러한 연구는 농약 사용량을 줄이고 과도한 농약 사용으로 인한 환경오염과 생태계 교란 등의 문제를 감소시킬 수 있을 것이다. 그리고 인터넷 서비스와 연결된 해충진단, 예찰조사방법 전수, 피해수준 제공은 농민들 스스로가 손쉽게 습득하여 시행할 수 있는 해충 간이에찰 기술을 확립하는 계기가 되며 적절한 시기에 방제할 수 있게 할 것이다. 더 나아가 지역별, 시기별 다양한 온실형태별로 해충의 발생상황을 파악함으로써 다양하게 변화되고 있는 농업형태에 따라 적합한 의사결정 수단을 제공할 수 있을 것이다. 이를 활용한 농약사용의 절감과 적정 시기의 방제는 경제적인 측면에서도 농민에게 안정적인 소득과 방제비용의 절감효과를 가져 올 수 있다. 현재 세계적인

추세를 보더라도 OECD 내에서 농약 사용을 의무적으로 줄이도록 하고 있는 실정이며 본 연구는 필수적이며 소비자들의 안전 농산물에 대한 요구를 수용할 수 있는 계기가 될 것이라 생각한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

제 1세부과제에서는 오이에서 목화진딧물, 오이총채벌레, 고추에서 복숭아혹진딧물과 담배나방에 대한 경제적피해수준과 간이에찰법 개발을 위한 연구를 수행하였다. 오이에서의 목화진딧물의 경제적피해수준을 설정하기 위해 먼저 오이에 대한 직접피해와 간접피해에 대한 분석 및 생육시기에 따른 진딧물에 의한 오이 수량피해 분석을 실시하였다. 또한 경제적피해수준의 각 항목을 설정하여 경제적피해수준을 설정하였고 이 수치를 이용해서 피해율에 따라 경제적피해허용수준을 설정하였다. 간이에찰법의 경우 목화진딧물의 오이 주내 및 주간 공간분포를 파악하여 점착트랩에 잡힌 유시성충수와 주(株)당 목화진딧물의 관계, 주당 목화진딧물의 수와 주당 전체 목화진딧물의 수와의 관계 및 공간분포를 도출하였다. 이러한 결과를 바탕으로 주당 진딧물 밀도를 대표할 수 있는 주내 표본조사단위를 설정하였고 표본추출법 및 효율성을 검증하였다. 이를 종합하여 주내 3, 6엽의 밀도를 조사할 경우 표본단위 설정 및 축차표본조사법을 도입하여 간이에찰법을 개발하였다.

오이에서의 오이총채벌레의 경제적피해수준을 설정하기 위해 오이총채벌레와 피해 엽면적과의 상관관계 및 생장 시기별 오이총채벌레의 초기밀도에 따른 피해분석을 실시하였다. 여기에 피해수준의 각 항목을 설정하여 경제적피해수준을 설정하였고 이 수치를 이용해서 피해율에 따라 경제적피해허용수준을 설정하였다. 간이에찰법의 경우 오이총채벌레의 오이에서 공간분포를 파악하여 잎을 기본조사단위로 한 경제적인 주내 표본추출법 설정과 점착트랩을 이용한 표본조사법을 도출하여 검증하였다.

고추에서의 복숭아혹진딧물의 경제적피해수준을 설정하기 위해 초기 진딧물 밀도에 따른 고추의 피해, 감염기간에 따른 고추의 피해, 고추의 생육시기에 따른 피해를 계량화하였다. 또한 경제적피해수준의 각 항목을 설정하여 경제적피해수준을 설정하였고 이 수치를 이용해서 피해율에 따라 경제적피해허용수준을 설정하였다. 간이에

찰법의 경우 복숭아혹진딧물의 개체군 동태 및 공간분포를 파악하여 점착트랩에 잡힌 유시성충 수와 주내 복숭아혹진딧물 수와의 관계, 고추 주내 복숭아혹진딧물 성충 수와 전체 밀도와의 관계 및 공간분포를 조사하였다. 이중 엽충 당 복숭아혹진딧물 밀도를 대표할 수 있는 주내 표본단위 설정과 표본 추출법 및 효율성을 검정하였다.

고추에서의 담배나방의 경제적피해수준을 설정하기 위해 담배나방 유충이 가해하는 고추의 수를 실내, 하우스, 야외 조건에서 조사하였고, 이를 바탕으로 다른 실험과 덧붙여 유충에 의한 피해를 정량화하였다. 여기에 덧붙여 피해수준의 각 항목을 설정하여 경제적피해수준을 설정하였고 이 수치를 이용해서 피해를, 순이익에 따라 경제적피해허용수준을 설정하였다. 간이에찰법의 경우 담배나방의 개체군 동태 및 공간분포를 파악하여 담배나방 유충에 의한 피해과 수와 발견주율과의 관계 및 공간분포를 조사하였다. 이를 바탕으로 표본조사에 필요한 적정 표본수를 도출하고 축차표본조사법을 도입하여 간이에찰법을 개발하였다.

제 1협동과제에서는 실험실과 온실에서 토마토에 대한 아메리카잎굴파리, 온실가루이 및 담배거세미나방의 피해수준의 각 항목을 설정하여 경제적피해수준을 개발하였고 온실 토마토내 트랩을 이용한 간이에찰법을 개발하였다. 마지막으로 토마토 잎의 표준 7가지 온도에서 개체군 동태 모형을 개발하였다.

제 2협동과제에서는 4개 작목(오이, 토마토, 고추, 수박)에 대한 재배형태 및 시기별 병해충 조사를 위해 재배유형, 해충 발생상황, 밀도, 피해도, 증상, 방제방법, 진단상황, 온·습도 등의 기본환경 들을 조사하였다. 작부체계와 해충의 발생동향과의 관계, 재배형태와 관리방법에 따른 해충의 발생동향을 비교분석하였으며 시설의 형태, 재배시기, 재배형태, 발생환경 등에 따른 해충의 발생동태를 유형화하였다. 그리고 세부과제와 협동과제의 자료와 함께 연구결과를 데이터베이스를 구축하여 체계적 검색에 의한 조기 진단/방제체계 구축 및 인터넷 서비스를 제공할 수 있게 하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

목화진딧물에 의한 오이의 피해는 성장시기에 따라 다르게 나타났다. 오이가 영양생장시기(5엽기)에 가해를 받기 시작한 경우, 경제적 피해수준 밀도는 430마리/주(株)였으며 영양생식성장시기(10엽기)에 진딧물의 가해를 받기 시작한 경우, 경제적 피해수준의 진딧물 밀도는 2,110마리/주였다. 경제적 피해허용수준은 식물체 지체부로부터 하위 3엽과 6엽의 밀도합을 기준으로 나타내었으며 Weinzierl(1987)과 Pedigo(1989)의 방법에 따라 영양생장시기에서 64.2마리/(3+6)엽, 영양생식성장시기에서 391마리/(3+6)엽으로 나타났다. Taylor's Power Law(TPL)에 의한 목화진딧물의 공간분포는 시설 온실에서 주내, 주간 모두 집중분포 경향을 보였다. 목화진딧물의 간이에 찰을 위해서 영양생식성장시기 오이주내 하위 3, 6엽을 대상으로 육안조사를 실시하였다. 앞서 제시된 경제적 피해허용수준에서 조사해야할 표본수(株)는 1000평 온실 기준으로 최대 60주가 필요하였다. 이를 바탕으로 15개 주를 한 세트로 하는(주당 하위 3, 6엽만 조사) 축차표본조사법을 활용하면 조사에 필요한 비용을 줄일 수 있었다. 또한 격자(grid)나 임계밀도를 설정하여 평균발생밀도를 예측하는 방법을 활용하여 간편하게 평균발생밀도를 예측할 수 있었다.

오이총채벌레에 의한 오이의 피해는 목화진딧물과 마찬가지로 오이의 성장시기에 따라 다르게 나타났다. 영양생장시기 오이의 경우 오이총채벌레의 경제적 피해수준은 140마리/주(株)이며 영양생식성장시기 오이의 경우 경제적 피해수준은 308마리/주였다. 경제적 피해허용수준은 영양생장시기의 경우 123마리/주, 영양생식성장시기의 경우 238마리/주로 계산되었다. 영양생식성장시기 오이의 경우 오이총채벌레의 경제적 피해허용수준(238마리/주)은 포장 내 오이총채벌레 성충 6마리/트랩/1주일로 조사되었다. 오이총채벌레의 발생조사는 평균 800평의 포장에서 10개 트랩을 세트로 조사하는 축차표본조사법(최대 30개 트랩 조사)이 가장 효율적이었다.

복숭아혹진딧물에 의한 고추의 피해는 고추의 생육시기에 따라 다르게 나타났다. 정식 후 15일 고추의 경우, 경제적 피해수준은 166마리/주(株) [6마리/엽총(葉叢; cluster)]였으며 정식 후 30일 고추의 경우, 경제적 피해수준은 249마리/주 [9마리/엽총]였다. 경제적 피해허용수준은 정식 후 15일의 고추의 경우 5마리/엽총, 정식 후 30

일의 고추의 경우 8마리/엽층으로 나타났다. TPL 분석 결과에 의한 조사 표본수(주)는 400평 기준으로 최대 40개가 필요하였다. 이를 바탕으로 10개 주를 한 세트로 하는 축차표본조사법을 활용하면 조사에 필요한 비용을 줄일 수 있었다. 또한 임계밀도를 설정하여 평균발생밀도를 예측하는 방법을 활용하여 간편하게 평균발생밀도를 예측할 수 있었다.

고추에서 담배나방은 유충 한 마리당 실내, 온실, 야외 실험의 결과를 종합해 보면 평균 5.8개 정도의 고추를 가해했다. 유충 피해에 따른 수확량 감소 곡선은 $Y = 63.6 - 3.76X$ (Y: 주당 생산량(건중량), X: 주당 담배나방 유충수)로 나타낼 수 있었다. 이에 따른 경제적피해수준은 0.7-1.4(마리/주)였고 피해를 입은 과실 수준으로는 4.1-8.1(개/주)가 되었다. 경제적피해허용수준은 3가지 방법에 의거했는데, 최대 순이익을 찾는 방법에 의해서는 피해과 2개/주, 유충수 0.3마리/주가 되고 방제비용동가수량을 이용하여 생산량 대비 4% 수준에서 0.6마리/주이며, Weinzierl(1987)과 Pedigo(1989)의 방법으로 피해과 2.9-5.8개/주, 0.6마리/주가 되었다. 고추에서 담배나방에 의한 피해과의 공간분포는 주내 상위부위에 75%가 분포하고 좌, 우 동일하였다. 주간 피해가 심한 곳은 임의분포, 피해가 적은 곳은 집중분포하는 경향이 있었으나 임의분포가 일반적인 것으로 보였다. 간이예찰법은 일반적인 경우 200평당 고추 주를 15주 조사하면 되는데, 이때 피해주의 발견주율이 86% 이상에서 방제하면 된다. 피해과가 집중분포하는 경우는 200평당 28개 주를 조사하여 피해과가 79% 이상이면 방제하면 된다. 조사해야 할 최대 표본수를 28개로 설정하였을 때 7개 주를 한 세트로 하는 축차표본조사법을 활용하면 조사에 필요한 비용을 줄일 수 있었다.

본 실험에서는, 정량화된 인위적인 피해 수준 (엽당 5%, 10%, 15%, 20%)을 설정하여, 그에 따른 인위적인 피해를 토마토 식물체에 가해줌으로서, 정량화된 피해와 그에 따른 수확량 저하간의 관계를 파악하여 보았다. 이러한 인위적 피해 실험 결과, 인위적 피해율이 증가함에 따라 광합성률, 엽록소 함량 모두가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 인위적 피해에 의해 식물체 대사활동이 유의하게 영향 받고 있음을 시사하는 결과이며, 또한 해충에 의한 주된 피해인 광합성률 저하 피해를 인위적 피해가 잘 대별하고 있음을 나타내는 결과이다. 수량감소의 경우, 5%의 피해비율에서는 약 13%, 20% 피해구간에서는 약 30%의 수확중량 감소를 발생시켰다. 하지만, 당도 및 과실의

외형을 통한 품질비교 결과, 작물의 품질에는 유의한 영향이 없는 것으로 나타났다.

잎굴파리 갱도에 의한 피해분석 결과, 유충의 갱도 피해에 의해 발생한 엽면적의 6-9%의 면적 손실은 약 10%의 과실 수확중량 손실을 발생시키는 것으로 나타났다. 이는 인위적인 피해에 따른 수확량 감소 실험의 결과보다 약 3-10% 정도의 수량 손실이 덜 발생한 결과이다. 온실가루이에 의한 피해 분석 결과, 유충의 흡즙에 의한 직접적인 엽록소 감소 발생은 유의한 피해를 발생 시키지 않는 것으로 나타났지만, 이들의 배설에 의한 감로피해는 일주일 단위로 유충 당 약 1mm^2 면적의 광합성 저해 피해를 유발하는 것으로 나타났다. 마지막으로 담배 거세미 나방의 유충 피해조사 결과, 노숙유충인 5, 6령 중의 경우 발육일수가 증가하면서, 24시간 동안 약 11-17%의 엽면적 손실을 유발하는 것으로 나타났다. 이는 피해구간 약 15% 정도에 해당하는 피해수준이며, 그에 따른 수확량 저하는 약 20%정도에 해당하는 것으로 사료된다.

이러한 해충별 피해분석 결과를 바탕으로, 본 연구과제 실험에서는 각 해충별 표본추출법의 개발을 다양한 방법으로 실시하였다. 그 결과로, 먼저 적절한 표본단위의 설정은 본 실험에서 RNP 값을 이용하여 3엽으로 이루어진 토마토의 복엽을 선정하였으며, 육안조사 방법은 시설 토마토의 중단부위 (지상에서 지상에서 90 - 120cm 높이)에서 온실가루이의 경우 노숙 유충과 번데기의 합을 아메리카 잎굴파리의 경우, 육안조사를 통한 조사가 힘들기 때문에, 아메리카 잎굴파리의 유충이 가해한 엽의 가해 갱도수를 이용한 간접적인 조사방법을 선정하였으며, 황색 점착 트랩을 이용한 조사는 황색 점착 트랩의 크기 등을 비교하여 적절한 크기의 트랩을 선정하였다. 각 해충 개체군의 밀도조사를 통하여 얻어진 밀도 수준으로 Taylor's Power Law (TPL)를 이용하여 각 해충 개체군 별로 그 공간적 분포 특성을 파악 할 수 있었다. 그 이후 enumerative sampling 은 TPL 계수를 이용한 Green (1970)의 방법을 이용하였고, binomial sampling plan은 Kono와 Sugino (1958)의 경험적 이항 표본 방법을 이용하여 각각의 표본 추출법을 개발 하였다. 이러한 표본 추출법을 이용하여 밀도의 추정이 가능하였으며, 이항 표본 추출법의 경우, 육안조사에서 온실가루이 노숙유충과 번데기의 밀도와 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수 공히 Tally threshold가 3인 경우가 가장 최적의 수로 나타났으며, 분할된 황색 점착 트랩을 이용한 이항 표본 조사에서 온실가루이의 경우는 각 cell 당 tally threshold 3마리, 아메리카 잎굴파리는 tally threshold

1마리로 나타났다. 개발된 표본 추출법에 의거한 방제 의사 결정식 역시 구해져서 그래프로 알아보기 쉽게 나타냈으며, 각 표본 추출법을 resampling 방법을 이용하여 검증하였다. 표본 추출에 가장 많은 영향을 미칠 수 있는 표본 조사 위치를 각 개체군별, 각 조사 방법별로 각 위치별 거리를 이용한 geostatistics 방법을 이용하여 계산하였으며, 농민이 쉽게 사용가능한 표본 추출 도구인 개량화된 황색 점착 트랩의 시제품도 역시 제작 하였다. 또한 한번의 개체군 밀도조사를 위한 표본 추출 이후에 계속적인 밀도 조사가 불가능 할 경우, 식물체의 엽면의 온도를 표준화하여 총 7개의 온도변화 패턴과 exponential 개체군 동태 모형을 이용한 20일 간의 밀도 증가 모형 역시 제공하였으므로, 본 과제에서 나타내는 시설 토마토의 주요 해충 개체군의 경제적 피해수준과 이에 따른 통계적으로 의미있고 효율적인 표본 추출법의 개발을 완료하였다. 따라서, 본 세부과제의 연구결과를 활용하면 최적의 시간과 노력 및 경제적 상황이 고려된 시설 토마토 해충 개체군의 방제 및 관리가 가능할 것으로 사료된다.

제 2협동과제에서는 5개 작목(오이, 토마토, 고추, 수박, 딸기)에 대한 재배 형태 및 시기별 병해충 조사를 위해 재배유형, 해충 발생상황, 밀도, 피해도, 증상, 방제 방법, 진단상황, 온·습도 등의 기본환경 들을 조사하였다. 작부체계와 해충의 발생동향과의 관계, 재배형태와 관리방법에 따른 해충의 발생동향을 비교분석하였으며 시설의 형태, 재배시기, 재배형태, 발생환경 등에 따른 해충의 발생동태를 유형화하였다. 그리고 세부과제와 협동과제의 자료와 함께 연구결과를 데이터베이스를 구축하여 체계적 검색에 의한 조기 진단/방제체계 구축 및 인터넷 서비스를 제공할 수 있게 하였다.

S U M M A R Y

I. Title

Development of economic injury level, simple sampling methods and study of occurrence for major pests on cucumbers, hot peppers and tomatoes

II. Goal and Importance of the research

Economic injury levels and simple sampling methods were developed for the major insect pests in greenhouse and on field crops. In detailed subject I, *Aphis gossypii* Glover and *Thrips palmi* Karny were studied on cucumbers in greenhouse and *Myzus persicae* Sulzer and *Helicoverpa assulta* Guenee on hot peppers in greenhouse and in the field. In cooperative subject I, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood, *Liriomyza trifolii* Burgess and *Spodoptera litura* Fabricius were investigated on tomatoes in greenhouse. In cooperative subject II, we investigated cropping systems, basic environments and seasonal occurrences of major pests on cucumbers, hot peppers, tomatoes and watermelons. Then, a data base and a forecasting system were developed to provide farmers a tool to make a early diagnosis and decision for controlling target pests.

This study can result in reducing the pesticide use and, therefore decrease the environmental pollutions and ecological disturbances caused by pesticide overuse. The newly developed internet forecasting system will allow farmers an easy access to sampling methods and assist them to make their own decision. Moreover, the occurrence patterns of target pests studied from various greenhouse conditions will provide a proper decision making tool to cope up with

ever changing agricultural management methods. The reduced pesticide use and timely spray can bring a economic stability to farmers by reducing the management costs. Also, for the safety of publics reducing the pesticide use is worldwide demand and trends, the results from this study will be very useful in reducing pesticide use as mentioned above.

III. Research Contents and Scope

In detailed subject I, economic injury levels and simple sampling methods were developed for *A. gossypii* and *T. palmi* on cucumbers in green house and *M. persicae* and *H. assulta* on hot peppers in greenhouse and field respectively. To establish economic injury levels of *A. gossypii* on cucumbers, we analyzed direct and indirect damages of *A. gossypii* on cucumber, loss of fruits at different growth stages and then, set up the economic injury levels at different damage levels. To develop a simple sampling method, we investigated the spatial distribution of *A. gossypii* between and within the plants, the relationship between the number of winged adults caught on sticky traps and the number of aphids on the plants, and the relationship between the number of aphids on the plants and the total number of aphids. Based on the spatial distribution within the plants, the sampling unit was determined. After validating the several sampling methods, we developed a simple sampling method and a sequential sampling plan. The sampling unit which can represent the density of aphid on a plant was lower 3rd and 6th leaf within a plant.

To establish economic injury level of *T. palmi* on cucumber, we investigated relationship between the density of *T. palmi* and the area of damaged leaf and conducted damage analysis at different growth stages with different initial densities of *T. palmi*. To develop a simple sampling method, we investigated the spatial distribution of *T. palmi* between plants and determined the sampling unit.

After validating the sampling methods, we developed a simple sampling method and a sequential sampling plan using sticky trap as a sampling unit.

To establish economic injury level of *M. persicae* on hot pepper plants, we conducted damage analysis at different growth stages with different initial densities and infection periods of *M. persicae*. To develop a simple sampling method, we investigated the distribution of *M. persicae* in the field and found out the relationship between the number of alate caught on sticky traps and the number of aphids on the plants. A simple sampling method was developed using the cluster as a sampling unit. Validations were conducted on the developed the sampling method and sequential sampling plan.

To establish economic injury level of *H. assulta* on red peppers, we investigated the relationship between the number of larvae and the number of damaged fruit attacked by larvae in laboratory, greenhouse and field conditions. Also, several studies were conducted to find out the relationship between the number of damaged fruits and the length of damaged fruits and between the length and the dry weight hot pepper fruits. Based on the results, the number of damaged pepper fruits were standardized into dry weight of pepper fruits. developed EIL. Economic threshold was developed using three different methods. To develop a simple sampling method, we investigated the spatial distribution of damaged fruits and the relationship between the number of damaged fruits and the plants with damaged fruits. The optimum sample size was determined and a sequential sampling plan was developed.

In cooperative subject I, we developed the economic injury levels on greenhouse tomatoes with *in vitro* and *in vivo* conditions. Also we developed enumerative and binomial sampling plan for visual count and presence-absence sampling plan for trap counts of *Trialeurodes vaporariorum*, and *Liriomyza trifolii* on commercial greenhouse tomatoes. We also applied exponential population dynamic (growth) model by seven types of standardized temperature fluctuation on

tomato leaflet condition.

In cooperative subject II, we investigated cropping systems, seasonal occurrences of pests, damage rates, symptoms, control methods and environmental conditions in greenhouses for cucumbers, hot peppers, tomatos and watermelons. From these results, we classified the occurrences of major pests in different greenhouse conditions. Then, we constructed the data base system based on the results from the detailed subject I and the cooperative subject I. The system will allow farmers an easy access to systematically retrieve informations, and to make an early diagnosis and decision for controlling the pests.

IV. Results and their applications

Damage analysis for *A. gossypii* on cucumbers was conducted at different growth stages of cucumber. Economic injury level of *A. gossypii* at vegetative growth stage of cucumber was 430 aphids/plant, and economic injury level of *A. gossypii* at vegetative-reproductive growth stage of cucumber was 2,110 aphids/plant. Economic thresholds of *A. gossypii* was calculated using Weinzierl & Pedigo's methods. The economic thresholds of *A. gossypii* at vegetative and vegetative-reproductive growth stage of cucumber were 64.2 aphids/(3rd+6th leaf) and 391 aphids/(3rd+6th leaf) respectively. *A. gossypii* in greenhouses showed clumped distribution within and between plants. When we count *A. gossypii* on the lower 3rd and 6th leaf within the plant, the maximum number of samples were 60 plants. The number of sampling unit was determined using fixed precision level sampling method. Then the sequential sampling plan was developed using the minimum number of samples. Additionally, a simple sampling method using grid and tally threshold was also presented.

Damage analysis for *T. palmi* on cucumber was conducted at different growth stage of cucumber. Economic injury level of *T. palmi* at vegetative growth

stage of cucumber was 140 thrips/plant, and economic injury level of *T. palmi* at vegetative-reproductive growth stage of cucumber was 308 thrips/plant. Economic thresholds of *T. palmi* was calculated using Weinzierl & Pedigo's methods, and ET at vegetative and vegetative-reproductive growth stage of cucumber were 123 thrips/plant and 238 thrips/plant respectively. *T. palmi* in greenhouse showed clumped distribution between plants. ET of *T. palmi* at vegetative-reproductive growth stage of cucumber was 238 thrips/plant which equals to 6 thrips/trap when the trap was exposed for 7 days in greenhouse. When we investigated *T. palmi* caught on sticky traps, maximum number of sampling units were 30 traps. The number of sampling unit was determined using fixed precision level sampling method. Then the sequential sampling plan was developed using the minimum number of samples.

Damage analysis for *M. persicae* was conducted at different growth stages of hot peppers. Economic injury level of *M. persicae* on hot peppers which were transplanted 15 days before, the artificial infestation was 166 aphids/plant, and economic injury level of *M. persicae* on hot peppers which were transplanted 30 days before the artificial infestation was 249 aphids/plant. Economic thresholds of *M. persicae* was calculated using Weinzierl & Pedigo's methods. ET of *M. persicae* on hot peppers which were transplanted 15 and 30 days before the artificial infestation showed 5 and 8 aphids/cluster, respectively. To develop a simple sampling method for *M. persicae* on hot peppers, we transformed the number of *M. persicae* on hot peppers to the number of *M. persicae* in the clusters on the plants. *M. persicae* in the fields showed clumped distribution between plants. Maximum number of sampling unit required for fixed precision level sampling plan was 40 plants. The number of sampling unit was determined using fixed precision level sampling method. Then the sequential sampling plan was developed using the minimum number of samples. Additionally a simple sampling method using grid and tally threshold was also presented.

On hot peppers, the larva of *H. assulta* eat 5.8 fruits in average until it completed the larval stage. Using the relationships between larvae and damaged peppers on the plants, yield loss(y) was regressed against the number of larvae(x). The linear equation was obtained as $y = 63.6x - 3.76$. The economic injury level of the oriental tobacco budworm(OTB) is 0.7-1.4 larva per plant. If the number of larvae transformed into the number of damaged fruits, it becomes 4.1-8.1 fruits per plant. Economic threshold was calculated using 3 different methods. Using the method of finding the net profit, it was 2 fruits or 0.3 larvae per plant. Using the fixed yield loss (4% of total yield), it was 0.6 larvae or 3 fruits per plant. Using the method of Weinzierl and Pedigo, it was 2.9-5.8 fruits or 0.6 larvae per plant. Totally, ET of *H. assulta* on hot peppers is 3 fruits per plant.

75% of damaged hot pepper fruits were found in upper position but horizontally there was no difference between the both sides of the plant. Generally, It showed random distribution between plants. However it showed clumped distribution when there were low occurrence level of the OTB, high occurrence of plant disease and frequent pesticide uses. To develop a simple sampling method, we investigated 15 plants per 660m². If the ratio of infected plants is higher than 0.86, immediate control action is required. When the damaged fruits shows clumped distribution, sample unit is 28 plant per 660 m². If the ratio of infected plants is higher than 0.79, immediate control action is required. Sequential sampling plan was also presented to save the sampling time.

To establish the economic injury levels of insect pest population on greenhouse tomatoes, we standardized injury levels with in vitro and in vivo experiments. We correlated artificial damage experiments in laboratory and greenhouse with the real damage on tomatoes by each of target insect pest population in greenhouses. However, in the case of *L. trifolii*, we could not surveyed direct density in commercial greenhouses, because of their activities and sizes, thus we could evaluated indirectly, that is we counted the mine that damaged by the larval stage of *L. trifolii*, on greenhouse tomatoes. We concluded that the

action threshold of *T. vaporariorum* is about 29 late larvae and pupae per leaflet, and *L. trifolii* is 2 mines per leaflet in middle position (i.e. 90 - 120 cm from the ground) of commercial greenhouse tomatoes that cultured by applied central cordon systems, respectively.

We analyzed the spatial distribution by Taylor's power law (TPL) that using sample means and variances. After analyzing spatial distribution, we developed the enumerative sampling plans with Green's method with TPL parameters (Green, 1970). We also developed the empirical binomial sampling plan with Kono and Sugino's empirical binomial models (Kono and Sugino, 1958). The enumerative and empirical binomial sampling plans for *T. vaporariorum* and *L. trifolii* densities with visual and trap counts. For trap counts of *T. vaporariorum* and *L. trifolii*, we develop the presence-absence binomial sampling plans with divided yellow sticky traps. We validated all of developed sampling plans with RVSP.

We also evaluated Moran's *I* indices for analyzing proper and reasonable sampling positions. And the Moran's *I* indices showed that in case of visual counts, *T. vaporariorum* and *L. trifolii* should be sampled with 11 meters and 18 meters spaced at each sample positions, respectively, in case of trap counts, the traps should be spaced over 18 meters for *T. vaporariorum*, and over 25 meters for *L. trifolii*, respectively.

Analyzing of microenvironment in commercial greenhouse tomatoes were evaluated. The air temperatures in commercial greenhouse were critically different of the leaf surface temperatures. Thus we standardized the leaf surface temperature that direct affect to insect pest populations with seven different patterns. We also applied exponential population dynamic (growth) models for predicting future densities with standardized leaf surface temperature patterns.

We developed standardized yellow sticky traps for easy estimation of insect pests (*T. vaporariorum* and *L. trifolii*) in commercial greenhouse tomatoes.

In cooperative subject II, we investigated cropping systems, seasonal occurrences of pests, damage rates, symptoms, control methods and environmental conditions in greenhouses for cucumbers, hot peppers, tomatoes, strawberries and

watermelons. From these results, we classified the occurrences of major pests in different greenhouse conditions. Then, we constructed the data base system based on the results of from the detailed subject I and the cooperative subject I. The system will allow farmers on easy access to systematically retrieve informations, and to make an early diagnosis and decision for controlling the pests.

CONTENTS

Chapter 1. General introduction -----	42
Section 1. The objectives and scopes of research -----	42
Section 2. The importances of research -----	44
Chapter 2. Current developmental status -----	46
Section 1. Current developmental status of domestic country -----	46
Section 2. Current developmental status of overseas country -----	47
Chapter 3. Research contents and scopes -----	48
Section 1. Development of economic injury level and simple sampling methods for major pest on cucumbers -----	48
1-1. Development of economic injury level for the <i>Aphis gossypii</i> (Glover) on cucumber in greenhouse -----	48
가) Damage analysis of the <i>A. gossypii</i> on cucumber -----	48
1) The establishment of damage factors -----	48
가) Direct damage of the <i>A. gossypii</i> on cucumber -----	48
나) Direct/indirect damage of the <i>A. gossypii</i> on cucumber -----	55
2) Damage assessment of the <i>A. gossypii</i> on cucumber growth stage --	58
가) Vegetative growth stage -----	58
나) Vegetative-reproductive growth stage -----	63

다)	Quality analysis of cucumber fruits -----	68
나.	Development and application of economic injury level -----	71
1)	Establishment of items of economic injury level -----	71
2)	Development of economic injury level -----	75
3)	Development of economic threshold -----	79
1-2.	Development of a simple sampling method for the <i>Aphis gossypii</i> on cucumber in greenhouse -----	83
가.	Population dynamics and spatial distribution of the <i>A. gossypii</i> -----	83
1)	Materials and methods -----	83
가)	Monitoring sites and methods -----	83
나)	The analysis of spatial distribution -----	88
2)	Results -----	89
가)	The pattern of occurrence for the <i>A. gossypii</i> -----	89
나)	The relationship of the winged adults captured on sticky trap and the number of the <i>A. gossypii</i> within a plant -----	90
다)	The relationship of the number of adult aphids within a plant and the total density of aphids within a plant -----	92
라)	The spatial distribution -----	94
나.	Decision of sample units, development of simple sampling method and validation of efficiency per a cluster -----	100
1)	Development of effective simple sampling method and validation of efficiency based on leaves as a basic sample unit -----	101
2)	Effective sampling method of estimating the density of <i>A. gossypii</i> per plant -----	110

다. Decision of sample units and development of simple sampling method	123
1) Decision of a sample unit and development of a sampling method in sampling for total leaves per plant	123
2) Decision of a sample unit and development of a sampling method in sampling for 3th leaf and 6th leaf per plant	129
3) conclusion	136
1-3. Development of economic injury level for the <i>Thrips palmi</i> (Karny) on cucumber in greenhouse	138
가. Damage of cucumber by <i>T. palmi</i>	138
나. Damage analysis of the <i>T. palmi</i> on cucumber	140
1) Relationships between the <i>T. palmi</i> and the damage of cucumber leaves	140
2) Damage analysis of the <i>T. palmi</i> by cucumber growth stage	143
가) Vegetative growth stage	144
나) Vegetative-reproductive growth stage	148
다) Quality analysis of cucumber fruits	152
다. Development and application of economic injury levels	153
1) Establishment of items of economic injury levels	153
2) Development of economic injury levels	155
3) Development of economic thresholds	161
1-4. Development of a simple sampling method for the <i>T. palmi</i> on cucumber in greenhouse	163
가. Population dynamics and spatial distribution of the <i>T. palmi</i>	163
1) Materials and methods	163

가) Monitoring sites and methods -----	163
나) The analysis of spatial distribution -----	168
2) Results -----	169
가) The pattern of occurrence for the <i>T. palmi</i> -----	169
나) The spatial distribution -----	174
나. Decision of sample units, development of simple sampling method and validation of efficiency per a cluster -----	181
1) Development of effective simple sampling method and validation of efficiency based on leaves as a basic sample unit -----	181
2) The development of simple sampling method using sticky trap -----	186
다. Validation of simple sampling method -----	197
라. Conclusion -----	201
Section 2. Development of economic injury level and simple sampling methods for major pest on hot peppers -----	202
2-1. Development of economic injury level for the <i>Myzus persicae</i> (Sulzer) on green peppers -----	202
가. Damage of green pepper by <i>M. persicae</i> -----	202
나. Damage analysis of the <i>M. persicae</i> on green pepper -----	203
1) Damage analysis by initial density of the <i>M. persicae</i> -----	203
2) Damage analysis by infestation periods of the <i>M. persicae</i> -----	206
3) Damage analysis by growth stage of green pepper -----	210
다. Development and application of economic injury level -----	217
1) Establishment of items of economic injury level -----	217
2) Development of economic injury level -----	219
3) Development of economic threshold -----	223

2-2. Development of simple sampling method for <i>M. persicae</i> on green pepper -----	226
가. The population dynamics and spatial distribution of the <i>M. persicae</i> -----	226
1) Materials and methods -----	226
가) Monitoring sites and methods -----	226
나) The analysis of spatial distribution -----	227
2) Results -----	228
가) The pattern of occurrence for the <i>M. persicae</i> -----	228
나) The relationship of the winged adults captured on sticky trap and the number of the <i>Myzus persicae</i> within a plant -----	230
다) The relationship of the number of adult aphids within a plant and the total density of aphids within a plant -----	231
라) The spatial distribution -----	233
나. The establishment of sample units, the development of simple sampling method and the validation of efficiency per cluster -----	234
1) The development of effective simple sampling method and the validation of efficiency -----	234
2) The development of simple sampling method by the investigation of aphid density per cluster -----	237
다. Valuation of simple sampling method -----	242
라. Conclusion -----	244
2-3. Development of economic injury level for oriental tobacco budworm on red peppers -----	245
가. The life cycle of the oriental tobacco budworm -----	245

나. Damage analysis -----	247
1) The relationship between the number of damaged fruits and larvae -----	247
2) The standardization of damaged pepper fruits -----	254
3) The reduction of yield depending on the number of larva per plant -----	262
다. Development and application of economic injury level -----	264
1) Establishment of items of economic injury level -----	264
2) Development economic injury level -----	266
3) Development economic threshold -----	267
라. Validation of economic injury level -----	272
2-4. Development of a simple sampling method for oriental tobacco budworm on red peepers -----	275
가. The pattern of occurrence for oriental tobacco budworm on red peepers -----	276
1) The pattern of occurrence for adults -----	276
2) The pattern of occurrence for damaged fruits -----	282
나. Spatial distribution of oriental tobacco budworm -----	287
1) The intra-plant distribution -----	287
2) The inter-plant distribution -----	292
다. Development of a simple sampling method -----	296
1) Development of a simple sampling method using naked eyes -----	296
2) Prediction the mean damaged fruits using sex-pheromone trap ----	305
3) Validation of the simple sampling method -----	307
4) Conclusion -----	310

Section 3. Development of economic injury level and simple sampling methods for major pest on tomatos -----	314
3-1. Damage analysis for <i>Liriomyza trifolii</i> on tomatoes -----	314
가. Artificial damage experiment in greenhouse conditions -----	316
1) The effect of photosynthetic rate depending on artificial damage ---	319
2) The effect of total chlorophyll content depending on artificial damage -----	323
3) The yield exchange depending on artificial damage -----	329
나. Development of mines by larvae in greenhouse conditions -----	336
1) Image analysis and temperature development to analyze the area of leaves and mines -----	336
2) Research of mines damage by larvae in commercial greenhouse ---	339
3) Damage analysis using a portable chlorophyll meter in commercial greenhouse -----	348
다. The yield exchange depending on inoculating larvae in greenhouse -	353
라. Development of economic injury level and application -----	357
3-2. The damage analysis for on <i>Trialeurodes vaporariorum</i> tomatoes --	361
가. Damage analysis for tomato plants depending on the level of nitrogen treat -----	362
1) Effect on tomato plants depending on the level of nitrogen treat ---	362
2) Effect on food attractancy depending on the level of nitrogen treat -	372
3) Effect on development of <i>T. vaporariorum</i> depending on the level of nitrogen treat -----	375

4) Effect on production of honeydew depending on the level of nitrogen treat -----	380
나. Damage analysis using a portable chlorophyll meter in commercial greenhouse -----	395
다. Damage analysis depending on the density of pests -----	399
라. Development of economic injury level and application -----	400
3-3. The damage analysis for on <i>Spodoptera litura</i> tomatoes -----	404
가. Development and survival rate for <i>S. litura</i> on tomatoes -----	405
나. Research of consumption rate by larvae on tomato' leaves -----	408
다. Development of economic injury level and application -----	411
3-4. Density fluctuation of pest on tomatoes in greenhouse -----	415
가. Monitoring site -----	415
나. Methods of monitoring -----	416
1) Naked eyes -----	416
가) Decision of sampling unit for sampling using naked eyes -----	416
나) Methods of sampling for each pests using naked eyes -----	419
2) Yellow sticky traps -----	423
가) Deciding position and size of traps -----	423
나) Removal of traps and research of pests density on sticky trap -----	426
다. Density fluctuation of pest on tomatoes in greenhouse -----	426
1) The curves of mean pest density fluctuation on tomatoes in greenhouse -----	426
2) The fluctuation of pest density depending on sampling date using naked eyes in greenhouse tomatoes -----	435

3)	The curves of mean pest density fluctuation using sticky traps in greenhouse tomatoes -----	456
4)	The fluctuation of pest density depending on sampling date using stick traps in greenhouse tomatoes -----	462
5)	The fluctuation of micro-temperature on tomatoes in greenhouse --	477
3-5.	Development of a sampling method model -----	493
가.	Classification and model of sampling methods -----	493
나.	The spatial distribution for sampling model; Taylor's power law ---	493
다.	Applying to enumerative sampling model based on pests density researched using naked eyes and sticky traps -----	495
1)	Sequential sampling -----	495
2)	Decision of sampling stop line for enumerative sampling plan -----	496
3)	Decision making for management using enumerative sampling plan -	498
라.	Applying to binomial sampling model based on pests density researched using naked eyes -----	500
1)	The model of binomial sampling -----	500
2)	The model of empirical binomial sampling; The expectation of mean using Kono-Sugino's empirical equation -----	503
3)	Decision making of empirical Binomial sampling plan -----	505
4)	Validation of decision making empirical Binomial sampling plan -----	506
마.	Applying to divided binomial sampling model based on pests density researched using sticky traps -----	510
3-6.	Development of a sampling methods for major pests on greenhouse tomatoes -----	511

가.	The spatial distribution for sampling plan -----	514
나.	Enumerative sampling plan based on pests density researched using naked eyes and sticky traps -----	515
다.	Enumerative sampling plan based on pests density researched using naked eyes -----	528
라.	Binomial sampling plan based on pests density researched using divided sticky traps -----	544
3-7.	Improvement of a sampling plan; Decision of patch size using Moran I's index -----	551
가.	The geostatistics method for grasping an exact spatial distribution of pests and natural enemies -----	551
나.	Decision of patch size using Moran I's index -----	554
3-8.	Population dynamics for pests on greenhouse tomatoes -----	558
가.	Population dynamics for pests on greenhouse tomatoes -----	558
나.	Temperature fluctuation and data required for population dynamics ---	558
3-9.	Divided yellow sticky traps -----	564
3-10.	Summery and conclusion -----	564
Section 4. Study of occurrence for major pest with different agriculture systems and seasons ----- 571		
4-1.	The monitering of the pest occurrence and the planting type on the cucumber and the tomato -----	571
가.	Materials and methods -----	571

1) The investigation area and farm -----	571
2) Monitering periods and methods -----	574
㉠. Results -----	577
1) Environments and the type of planting of the cucumber and the tomato in monitering area -----	577
2) Growth pattern of the cucumber and the tomato in monitering area -	585
3) Physiological problems of the cucumber and the tomato in monitering area -----	589
4) Dynamics of insect pests on the cucumber and the tomato in monitering area -----	590
5) Important disease pests of the cucumber and the tomato in monitering area -----	601
6) Habitual management of pests on the cucumber and tomato in monitering area -----	603
7) Advaced required problem -----	604
4-2. Monitering of the pest occurrence and the planting type on the hot pepper and the watermelon -----	605
가. Materials and methods -----	605
1) The investigation area and farm -----	605
2) Monitering periods and methods -----	608
㉠. Results -----	611
1) Environments and the type of planting of the hot pepper and the watermelon in monitering area -----	611
2) Growth pattern of the hot pepper and the watermelon in monitering area -----	614

3) Physiological problems of the hot pepper and the watermelon in monitoring area -----	617
4) Dynamics of insect pests on the hot pepper and the watermelon in monitoring area -----	617
5) Important disease pests of the hot pepper and the watermelon in monitoring area -----	630
6) Habitual management of pests on the hot pepper and the watermelon in monitoring area -----	631
4-3. Monitoring of the pest occurrence and the planting type on the strawberry -----	635
ㄱ. Materials and methods -----	635
1) The investigation area and farm -----	635
2) Monitoring periods and methods -----	636
ㄴ. Results -----	640
1) Environments and the type of planting of the strawberry in monitoring area -----	640
2) Dynamics of insect pests on the strawberry in monitoring area -----	643
3) Important disease pests of the strawberry in monitoring area -----	648
4) Habitual management of pests on the strawberry in monitoring area -----	648
Section 5. Construction of the database for investigated pests data and forecasting system for economic damage on cucumber, hot pepper, and tomato -----	649
5-1. The object of the system -----	649

5-2. The tools for constructing and operating the system -----	649
5-3. The design of the system -----	651
가. The forecasting system for the economic damage on cucumber, hot pepper, and tomato -----	651
1) The construction of the system -----	651
2) The design of the database -----	652
나. The questionnaire system -----	654
1) The construction of the system -----	654
2) The design of the database -----	655
가) The management of the user information -----	655
나) The management of the questionnaire information -----	660
다. The diagnosis system for the pests and the physiological problems -	665
1) The construction of the system -----	665
2) The design of the database -----	667
가) The table of the information management -----	667
나) The management of the pests by diagnosis -----	680
5-4. The embodiment of the system -----	682
가. The administrator's page -----	682
1) The management of users -----	683
2) The management of the questionnaire -----	686
3) The management of the pests -----	690
4) The diagnosis system for pests and physiological problems -----	696
나. The questionnaire system -----	697

다. The forecasting system for the economic damage on cucumber, hot pepper, and tomato -----	702
라. The diagnosis system for pests and physiological problems -----	707
마. Library -----	714
5-5. Conclusion -----	718
Chapter 4. Achievement of the result of the research -----	719
Section 1. The objectives and contents of research -----	719
Section 2. The aspects and accomplishment of evaluation -----	723
Section 3. The contributions of technical improvement in related fields ---	726
Chapter 5. Applications of the result of the research -----	728
Chapter 6. Current status of international study -----	729
Chapter 7. References -----	736

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요 -----	42
제 1절	연구개발의 목적 및 범위 -----	42
제 2절	연구개발의 필요성 -----	44
제 2 장	국내외 기술개발 현황 -----	46
제 1절	국내기술현황 -----	46
제 2절	국외기술현황 -----	47
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과 -----	48
제 1절	시설오이에서 주요 해충의 경제적 피해수준설정 및 간이에찰법 개발 -----	48
1-1.	목화진딧물의 오이에 대한 경제적 피해수준 설정 -----	48
가.	목화진딧물의 오이에 대한 피해 분석 -----	48
1)	피해요인 설정 -----	48
가)	목화진딧물의 오이에 대한 직접피해 -----	48
나)	목화진딧물에 의한 오이의 직·간접피해요인 분석 -----	55
2)	오이생육시기에 따른 진딧물에 의한 오이수량 피해 분석 -----	58
가)	영양생장시기의 피해분석 -----	58
나)	영양생식생장시기의 피해분석 -----	63

다) 오이생육시기에 따른 목화진딧물 피해에 의한 오이품질의 변화 -----	68
나. 경제적 피해수준의 설정 및 응용 -----	71
1) 경제적 피해수준 항목 설정 -----	71
2) 경제적 피해수준의 결정 -----	75
3) 경제적 피해허용수준의 설정 -----	79
1-2. 오이에서의 목화진딧물 간이에찰법 개발 -----	83
가. 목화진딧물의 개체군동태 및 오이 주내 및 주간 공간분포 -----	83
1) 재료 및 방법 -----	83
가) 조사 포장 및 조사 방법 -----	83
나) 공간분포 분석 -----	88
2) 결과 -----	89
가) 개체군 동태 -----	89
나) 점착트랩에 잡힌 목화진딧물 유지성충 수와 주당 목화진딧물 수와의 관계 -----	90
다) 오이 주당 목화진딧물 성충 수와 주당 전체 목화진딧물 수와의 관계 --	92
라) 공간분포 -----	94
나. 주당 진딧물 밀도를 대표할 수 있는 주내 표본단위 설정과 표본추출법 및 효율성 검정 -----	100
1) 잎을 기본 조사단위로 한 경제적인 주내 표본추출법 설정 및 효율성 검정 -----	101
2) 주당 목화진딧물 밀도를 추정할 수 있는 효율적인 조사법 -----	110
다. 표본단위 설정 및 조사법 개발 -----	123
1) 주내 모든 엽(葉)의 밀도를 조사할 경우 표본단위 설정 및 조사법 개발 -----	123

2) 주내 3, 6엽의 밀도를 조사할 경우 표본단위 설정 및 조사법 개발 ---	129
3) 결론 -----	136
1-3. 오이에서 오이총채벌레의 경제적 피해수준의 결정 -----	138
가. 오이총채벌레의 오이 피해 -----	138
나. 피해분석 -----	140
1) 오이총채벌레와 피해엽면적과의 상관관계 -----	140
2) 생장 시기별 오이총채벌레의 초기 밀도에 따른 피해분석 -----	143
가) 영양생장시기의 오이총채벌레의 초기 밀도에 따른 피해 -----	144
나) 영양생식생장시기의 오이총채벌레의 초기 밀도에 따른 피해 -----	148
다) 오이 생육시기에 따른 오이 총채벌레 피해에 의한 오이 품질의 변화 -	152
다. 경제적 피해수준(Economic threshold)의 설정 및 응용 -----	153
1) 경제적 피해수준의 각 항목의 설정 -----	153
2) 경제적 피해수준의 설정 -----	155
3) 경제적피해허용수준(Economic threshold)의 설정 -----	161
1-4. 오이에서 오이총채벌레의 간이 예찰법 개발 -----	163
가. 오이총채벌레의 개체군동태 및 오이 주내 및 주간 공간분포 -----	163
1) 재료 및 방법 -----	163
가) 조사 포장 및 조사 방법 -----	163
나) 공간분포 분석 -----	168
2) 결과 -----	169
가) 오이총채벌레 발생 특성 -----	169
나) 공간분포 -----	174
나. 주당 오이총채벌레 밀도를 대표할 수 있는 주내 표본단위 설정과 표본추출	

법 및 효율성 검토 -----	181
1) 잎을 기본조사단위로 한 경제적인 주내 표본추출법 설정 및 효율성 검토 -----	181
2) 트랩을 이용한 오이충채벌레 표본조사법 -----	186
다. 개발된 조사법의 평가 -----	197
라. 결론 -----	201
제 2절 고추에서 주요 해충의 경제적 피해수준설정 및 간이예찰법 개발 ---	202
2-1. 복숭아혹진딧물의 고추에 대한 경제적 피해수준 설정 -----	202
가. 복숭아혹진딧물의 고추 피해 -----	202
나. 피해 분석 -----	203
1) 초기 진딧물 밀도에 따른 고추의 피해 계량화 -----	203
2) 감염기간에 따른 고추의 피해 계량화 -----	206
3) 고추의 생육시기별 고추의 피해 계량화 -----	210
다. 경제적 피해수준의 설정 및 응용 -----	217
1) 경제적 피해수준의 각 항목의 설정 -----	217
2) 경제적 피해수준의 결정 -----	219
3) 경제적 피해허용수준의 설정 -----	223
2-2. 고추에서 복숭아혹진딧물의 간이 예찰법 개발 -----	226
가. 복숭아혹진딧물의 개체군동태 및 공간분포 -----	226
1) 재료 및 방법 -----	226
가) 조사 포장 및 조사 방법 -----	226
나) 공간분포 분석 -----	227
2) 결과 -----	228

가) 복숭아혹진딧물의 발생 특성 -----	228
나) 점착트랩에 잡힌 유시성충 수와 주내 복숭아혹진딧물 수와의 관계 ---	230
다) 고추 주내 복숭아혹진딧물 성충 수와 전체 밀도 관계 -----	231
라) 공간분포 -----	233
나. 엽충 당 복숭아혹진딧물 밀도를 대표할 수 있는 주내 표본단위 설정과 표본 추출법 및 효율성 검정 -----	234
1) 엽충을 기본조사단위로 한 경제적인 주내 표본추출법 설정 및 효율성 검정 -----	234
2) 엽충 밀도조사를 이용한 복숭아혹진딧물 표본조사법 -----	237
다. 개발된 조사법의 평가 -----	242
라. 결론 -----	244
2-3. 담배나방의 고추에 대한 경제적피해수준 설정 -----	245
가. 담배나방의 생활사 -----	245
나. 피해분석 -----	247
1) 담배나방 유충에 의한 피해과수 -----	247
2) 담배나방 유충에 의한 피해의 정량화 -----	254
3) 고추의 생산량과 담배나방에 의한 피해와의 관계 -----	262
다. 경제적피해수준의 설정 및 응용 -----	264
1) 경제적피해수준의 각 항목의 설정 -----	264
2) 경제적피해수준의 설정 -----	266
3) 경제적피해허용수준의 설정 -----	267
라. 경제적피해수준의 검증 -----	272
2-4. 고추에서 담배나방의 밀도 추정을 위한 간이예찰법 개발 -----	275

가. 담배나방의 개체군동태 -----	276
1) 성페르몬 트랩을 이용한 성충의 발생패턴 파악 -----	276
2) 육안조사를 통한 피해과의 발생패턴 파악 -----	282
나. 해충의 공간분포 패턴 파악 -----	287
1) 주내 공간분포 패턴 -----	287
2) 주간 공간분포 패턴 -----	292
다. 담배나방의 표본조사법 -----	296
1) 육안조사를 이용한 담배나방에 의한 피해과의 표본조사법 -----	296
2) 성페르몬 트랩을 이용한 평균 피해과의 예측 -----	305
3) 개발된 조사법의 평가 -----	307
4) 결론(간이예찰법) -----	310
제 3절 시설토마토에서 주요 해충의 경제적피해수준 설정 및 간이예찰법 개발 -----	314
3-1. 토마토에서 아메리카 잎굴파리에 의한 피해분석 실험 -----	314
가. 실험실 온실조건에서의 인위적 피해실험 -----	316
1) 인위적 피해에 따른 광합성량 변화 측정 -----	319
2) 인위적 피해에 따른 엽록소량 변화 -----	323
3) 인위적인 피해에 따른 수확량의 변화 -----	329
나. 실험실 온실 환경에서 아메리카 잎굴파리의 유충에 의한 갱도발육 ---	336
1) 엽 면적 및 갱도면적 분석을 위한 화상분석 및 온도발육 -----	336
2) 실제 상업적 포장에서의 잎굴파리 유충에 의한 갱도피해 조사 -----	339
3) 실제 포장에서 간이 엽록소 측정기를 이용한 피해해석 -----	348
다. 실험온실 환경에서 잎굴파리 집중을 통한 수확량 변화 -----	353

라. 경제적 피해수준의 설정 및 응용 -----	357
3-2. 토마토에서 온실가루이에 의한 피해분석 실험 -----	361
가. 작물의 질소 수준에 따른 온실가루이 피해분석 -----	362
1) 질소처리 수준별 토마토 식물체에 대한 영향평가 -----	362
2) 질소처리 수준별 온실가루이의 기주선호성에 대한 영향평가 -----	372
3) 질소처리 수준별 온실가루이의 발육에 대한 영향평가 -----	375
4) 질소처리 수준별 온실가루이의 감로생산 대한 영향평가 -----	380
나. 실제 포장에서 간이 엽록소 측정기를 이용한 피해해석 -----	395
다. 해충 밀도에 따른 피해분석 -----	399
라. 경제적 피해수준의 설정 및 응용 -----	400
3-3. 토마토에서 담배거세미나방에 의한 피해분석 실험 -----	404
가. 토마토에서 담배거세미 나방의 온도발육 및 생존율 조사실험 -----	405
나. 담배거세미 나방의 토마토 잎에서의 섭식량 조사실험 -----	408
다. 경제적 피해수준의 설정 및 응용 -----	411
3-4. 시설토마토 해충의 시설내 밀도 변동 -----	415
가. 조사포장 -----	415
나. 조사방법 -----	416
1) 육안조사 -----	416
가) 육안조사를 위한 시설토마토의 표본추출 단위 결정 -----	416
나) 각 시설토마토 해충별 육안조사 방법 -----	419
2) 황색점착트랩조사 -----	423
가) 황색점착트랩조사를 위한 트랩의 설치위치, 크기 설정 -----	423
나) 황색점착 트랩의 수거 및 유인된 해충의 밀도 조사방법 -----	426

다. 시설토마토 해충의 시설내 밀도변동 조사결과 -----	426
1) 시설토마토 해충 육안조사의 평균 밀도 변동 곡선 -----	426
2) 시설토마토 해충육안조사의 각 표본추출일별 시설내 밀도변동 -----	435
3) 시설토마토 해충의 황색점착트랩조사의 평균 밀도 변동 곡선 -----	456
4) 시설토마토 해충의 황색점착트랩조사에서 각 표본추출일별 시설내 평면적 인 밀도변동 -----	462
5) 시설토마토 포장내의 미세 기온의 변화 -----	477
3-5. 표본추출방법의 모형 설정 -----	493
가. 표본추출방법의 분류와 각 모형 -----	493
나. sampling 모형을 위한 공간분포 분석 - Taylor's power law -----	493
다. 육안조사와 황색점착트랩에 유인된 시설토마토 해충 개체군 밀도를 이용한 enumerative sampling 모형 적용 -----	495
1) 축차표본조사 (Sequential Sampling) -----	495
2) Enumerative sampling plan의 표본추출 정시선 (sampling stop line) -	496
3) Enumerative sampling에서 해충방제를 위한 의사결정 (Decision making) -----	498
라. 육안조사에 관찰된 시설토마토 해충 개체군 밀도를 이용한 binomial sampling 모형 적용 -----	500
1) Binomial sampling 의 모형 -----	500
2) Empirical Binomial sampling의 모형; Kono-Sugino's Empirical Equation 을 이용한 평균추정 -----	503
3) Empirical Binomial sampling 모형의 의사결정 -----	505
4) Empirical Binomial sampling 모형의 의사결정의 평가 -----	506

다. 황색 점착 트랩에 유인된 시설토마토 해충 개체군 밀도를 이용한 divided binomial sampling 모형 적용 -----	510
3-6. 시설토마토의 주요해충의 표본 추출법 개발 -----	511
가. 표본추출법 개발을 위한 공간분포 분석 -----	514
나. 육안조사와 트랩조사 결과를 이용한 Enumerative sampling plan ----	515
다. 육안조사를 이용한 Enumerative sampling plan -----	528
라. 분할된 황색점착트랩조사를 이용한 Binomial sampling plan -----	544
3-7. 표본추출 방법의 개선 - geostatistical값인 Moran I's index를 이용한 Patch size 결정 -----	551
가. 해충 및 천적개체군의 정확한 공간분포파악을 위한 Geostatistics법 --	551
나. Moran's I index를 이용한 patch size 결정 -----	554
3-8. 시설 토마토 해충 개체군 동태모형 - exponential 모형을 이용한 개체군의 밀도증가모형 -----	558
가. 시설 토마토 해충 개체군 동태 예측을 위한 예측모형 -----	558
나. 온도변화와 해충 개체군의 밀도 변동 예측에 필요한 자료 -----	558
3-9. 분할된 황색 점착 트랩을 이용한 이항 표본 추출법을 위한 황색 점착 트랩의 제작 -----	564
3-10. 요약과 결론 -----	567
제 4절 시설작물의 재배형태 및 시기별 해충발생동태연구 -----	571
4-1. 오이와 토마토에서 재배형태 및 시기별 해충발생상황 조사 -----	571
가. 재료 및 방법 -----	571

1) 작물별 조사지역과 농가 -----	571
2) 조사주기 및 방법 -----	574
나. 연구결과 -----	577
1) 조사 대상지역에서 오이 토마토의 시설 유형 및 재배환경 -----	577
2) 조사 대상지역에서 오이 토마토의 재배형태 및 유형 -----	585
3) 조사 대상지역에서 오이 토마토에 발생하는 생리장해 -----	589
4) 조사 대상지역에서 오이 토마토에 발생하는 해충의 동태 -----	590
5) 조사 대상지역에서 오이 토마토의 중요 발생병해 -----	601
6) 조사 대상지역에서 오이 토마토의 농가 관행 병해충 방제방법 -----	603
7) 금후 검토가 요망되는 사항 -----	604
4-2. 고추와 수박에서 재배형태 및 시기별 해충발생상황 조사 -----	605
가. 재료 및 방법 -----	605
1) 작물별 조사지역과 농가 -----	605
2) 조사주기 및 방법 -----	608
나. 연구결과 -----	611
1) 조사 대상지역에서 고추 수박의 시설 유형 및 재배환경 -----	611
2) 조사 대상지역에서 고추와 수박의 재배형태 및 유형 -----	614
3) 조사 대상지역에서 고추 수박에 발생하는 생리장해 -----	617
4) 조사 대상지역에서 고추 수박에 발생하는 해충의 동태 -----	617
5) 조사 대상지역에서 고추 수박의 중요 발생병해 -----	630
6) 조사 대상지역에서 고추 수박의 농가 관행 병해충 방제방법 -----	631
4-3. 딸기에서 재배형태 및 시기별 해충발생상황 조사 -----	635
가. 재료 및 방법 -----	635

1) 작물별 조사지역과 농가 -----	635
2) 조사주기 및 방법 -----	636
나. 연구결과 -----	640
1) 조사 대상지역에서 고추 수박의 시설 유형 및 재배환경 -----	640
2) 조사 대상지역에서 딸기에 발생하는 해충의 밀도변화 -----	643
3) 조사 대상지역에서 딸기의 중요 발생병해 -----	648
4) 병해충방제 실태조사 -----	648
제 5절 해충 조사 자료 DB 구축에 의한 경제적피해수준 예측 시스템 -----	649
5-1. 시스템의 목적 -----	649
5-2. 시스템의 개발 및 운영 환경 -----	649
5-3. 시스템의 설계 -----	651
가. 오이, 고추, 토마토 해충의 경제적 피해 예측 시스템 -----	651
1) 시스템 구성도 -----	651
2) 데이터베이스 설계 -----	652
나. 설문조사 시스템 -----	654
1) 시스템 구성도 -----	654
2) 데이터베이스 설계 -----	655
가) 사용자 정보 관리 -----	655
나) 설문조사 정보 관리 -----	660
다. 병해충 및 생리장해 진단 시스템 -----	665
1) 시스템 구성도 -----	665
2) 데이터베이스 설계 -----	667
가) 정보 관리 테이블 -----	667

나) 진단별 해충 관리 -----	680
5-4. 시스템의 구현 -----	682
가. 관리자 페이지 -----	682
1) 회원 관리 -----	683
2) 설문조사 관리 -----	686
3) 병해충 관리 -----	690
4) 병해충 및 생리장해 진단시스템 -----	696
나. 설문조사 시스템 -----	697
다. 오이, 고추, 토마토 해충의 경제적 피해 예측 시스템 -----	702
라. 병해충 및 생리장해 진단시스템 -----	707
마. 라이브러리 -----	714
5-5. 결론 -----	718
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 -----	719
제 1절 연차별 연구목표 및 내용 -----	719
제 2절 연구평가의 착안점 및 달성도 -----	723
제 3절 관련분야의 기술발전예의 기여도 -----	726
제 5 장 연구개발결과의 활용계획 -----	728
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 -----	729
제 7 장 참고문헌 -----	736

제 1장. 연구개발과제의 개요

제 1절. 연구개발의 목적 및 범위

오이, 고추, 토마토의 주요 해충에 대한 경제적 피해수준 결정, 간이 예찰법 개발 및 재배법에 따른 해충발생 동태 구명을 최종 목적으로 한다.

제 1세부과제는 시설오이와 고추의 주요 해충의 경제적 피해수준설정 및 간이 예찰법 개발을 목적으로, 오이에서는 목화진딧물과 오이총채벌레를 연구하였고 고추에서는 복숭아혹진딧물과 담배나방에 대한 연구를 수행하였다.

오이에서 목화진딧물의 경우 국내 온실조건에 적용할 수 있는 피해요인을 찾아 생육을 예측하고, 목화진딧물의 초기 정착위치와 주간 및 주내 발생분포 자료를 이용한 밀도조사법 수립하여 간이에찰법을 개발, 평가하였으며 오이의 재배형태 및 성장시기별 목화진딧물밀도에 따른 피해 구명하여 경제적피해수준 설정과 예찰프로그램 개발을 그 내용으로 하고 있다. 오이총채벌레의 경우 오이총채벌레 포장 내 발생 밀도 변동 및 공간분포 구명하고 점착트랩에 잡힌 성충 밀도와 식물체 내 발생밀도와의 관계 구명 및 간이에찰법 개발, 평가하며 오이총채벌레의 경제적피해수준 설정과 예찰 프로그램을 개발을 그 내용으로 하고 있다.

고추에서 복숭아혹진딧물은 고추 포장 내 복숭아혹진딧물의 공간분포를 조사하여 간이에찰법 개발을 개발하고 고추의 성장시기별 복숭아혹진딧물에 의한 피해를 구명하여 경제적 피해수준 설정과 예찰프로그램 개발을 그 내용으로 한다. 담배나방의 경우는 담배나방에 의한 피해과의 주간 및 주내 발생분포 자료를 수립하여 간이에찰법을 개발하였고 고추 포장내 성페로몬 트랩에 의해 조사된 담배나방 성충 발생소장과 표본조사에 의한 고추 피해과의 상관관계 설정의 가능성을 살펴보았다. 그리고 고추의 전 세대기간 동안 피해과의 발생량과 유충과 피해과의 관계를 설정하고 경제적피해수준의 각 요소를 설정하여 경제적피해수준을 설정하는 것을 그 내용으로 하였다.

제 1협동과제는 시설토마토 주요 해충의 경제적 피해수준 설정 및 간이 예

찰법 개발을 목적으로, 시설토마토에서 온실가루이, 아메리카잎굴파리, 담배거세미나방에 대한 연구를 실시하였다.

온실가루이의 경우 온실가루이 밀도 변동 및 공간분포 구명하고 사용될 표본추출도구의 효율성 검정과 조사자료 분석을 통해 간이에찰법 개발을 개발하였으며 개발된 간이에찰법을 기본으로 해충 밀도 변동을 예측할 수 있는 간단한 수리적 모형을 개발하고 적합성을 검증하다. 그리고 시설내 온도·습도등의 물리적 변동을 지속적으로 조사하여 이를 토마토생육단계 및 온실가루이 발생밀도와 연관지어 상관관계를 설정하고 토마토의 생장시기별 온실가루이에 의한 피해도 구명하여 온실가루이의 경제적피해수준 설정하는 것을 그 내용으로 한다. 아메리카잎굴파리의 경우 토마토에서의 공간분포 조사 및 기존 연구 결과와 비교 구명하여 사용될 표본추출도구 효율성을 검정하고 조사자료를 분석하여 간이에찰법을 개발하였다. 그리고 개발된 간이 예찰법을 기본으로 아메리카잎굴파리 밀도 변동을 예측할 수 있는 간단한 수리적 모형을 개발하여 적합성을 검증하였고 아메리카잎굴파리의 공간분포 양상 및 발생 밀도와 토마토의 피해의 상관관계 조사 및 각 경우에 따라 모의실험을 실시하여 경제적피해수준 설정을 그 내용으로 하였다. 담배거세미나방의 경우 성페로몬 트랩을 이용한 성충발생소장과 토마토 식물체 육안 조사에 의한 유충 발생소장의 상관성을 분석하여 이를 기초로 하여 간이에찰법 개발하고 경제적피해수준 설정을 그 내용으로 하였다.

제 2협동과제는 시설작물의 재배형태 및 시기별 해충발생동태연구를 목적으로, 오이, 고추, 토마토의 재배형태 및 시기별 해충 발생동태를 조사하고 시설 내에서 재배되고 있는 오이, 토마토, 고추, 수박의 지역별 재배형태 파악하였다. 그리고 지역적으로 다른 형태의 재배환경과 작부체계 내에서 해충의 발생동향을 일정주기별로 밀도 및 온도, 습도와 같은 기본환경, 관별증상, 농가의 대처방법 등을 조사하였다. 이를 바탕으로 작부체계, 재배형태, 관리방법 등에 따른 해충의 발생동향과의 관계를 비교 분석하고 이러한 결과를 데이터베이스로 구축하여 이를 체계적으로 검색하여 조기에 진단/방제할 수 있는 인터넷 서비스 체계를 구축하는 것을 그 내용으로 하였다.

제 2절. 연구개발의 필요성

기술적 측면에서 살펴보면 우리나라의 작물 병해충은 발생종류와 방제 대상이 많아 (예: 노지 및 시설 채소 해충) 유기합성농약의 사용 횟수 및 사용량이 심각한 수준이다. 이번 연구개발 과제인 오이의 경우 발생 해충수가 38종, 고추는 19종, 토마토는 39종이 알려져 있다 (자료: 채소해충생태와 방제, 1990; 응용곤충학논총, 1991).

유기합성농약의 사용량 증가로 인해 환경오염과 생태계의 교란이 점차 심해지고 있는데, 이를 방지하기 위해서는 IPM (해충종합관리) 기술이 확립되어야 한다. IPM은 단기적으로 해충에 의한 경제적 피해를 최소화하고, 장기적으로는 해충 발생을 경제적으로 문제가 되지 않을 정도로 낮은 수준으로 유지되도록 관리하는 친환경 해충제어수단이다. 이러한 IPM의 핵심기술은 해충발생예찰과 해충 발생시 방제여부를 결정하는 의사결정기술인데, 해충발생예찰기술은 숙련된 전문가가 하는 정밀예찰기술도 중요하지만, 농민들 스스로가 손쉽게 습득하여 시행할 수 있는 해충 간이에찰 기술 확립이 중요하다. 그리고 해충방제 의사결정기술의 핵심은 해충에 대한 경제적 피해허용수준 (요방제수준) 설정이다. 그러나 시설재배가 늘어나면서 작물의 재배형태에 따른 해충의 발생상황이 많이 변화하였음에도 불구하고 이에 대한 구체적인 자료가 부족한 실정이다.

주요 작물의 경제적 피해수준설정 및 간이에찰프로그램이 요망되는 해충은 굉장히 많으나, 그 중 시설오이에이에서 목화진딧물과 오이충채벌레, 시설 및 노지 고추의 복숭아혹진딧물과 담배나방, 시설토마토의 온실가루이, 담배거세미나방 등이 우선 시급하다. 그리고 오이, 토마토, 고추 등의 해충은 시설 내에서의 작물재배유형과 작기는 지역과 농가에 따라 매우 다양한 양상을 띠고 있는데, 농산물의 청정생산과 수출을 위해서는 해충의 발생상황과 그 변화를 지속적으로 파악하는 것이 매우 중요함에도 불구하고, 다양한 재배환경을 고려한 연구가 수행되고 있지 못한 실정이다. 따라서 지역별, 시기별로 다양한 온실형태별로 해충의 발생상황을 노지작물과 비교하여 체계적이고 지속적으로 파악할 필요가 있다.

경제·산업적 측면을 살펴보면 해충 방제용 농약 종류가 다양하고 방제효과 증진을 위하여 2-3종 이상을 동시에 혼용하므로 방제비용 부담이 높고 천적 등 생태계 파괴

현상이 우려된다. 이러한 현상을 막기 위한 IPM은 최대수량을 목표로 하지 않고 방제비용, 이익, 위험정도를 비교하여 순수익의 최대화를 지향하는 방제체계이다. 따라서 농약의 과도한 사용을 억제하고 농업의 안전성, 환경친화성, 지속성을 지향하며 이에 따라 국제 경쟁력을 갖게 될 수 있다.

IPM은 해충과 천적에 대한 식별, 해충의 생활사와 생태, 경제적 피해수준, 작업관리 및 사회경제적 요인 등에 대한 이해를 기반으로 성립될 수 있다. 따라서 장기적인 측면에서는 방제비용을 낮추며 농업의 생산성을 제고할 수 있는 방법이라 하겠다. 사회·문화적 측면을 살펴보면 세계 선진 경제개발 기구인 OECD에서는 90년대 초반부터 농업과 환경을 통합 연계하여 논의되고 있는 '지속가능한 농업' 개념의 도입하고 있다. 이는 화학비료와 농약을 최소화하여 생산한 안전한 농산물로 소비자에게는 건강과 생명을 농민에게는 안정된 소득을 보장함을 그 목적으로 한다. 이러한 '지속가능한 농업'은 농약과 화학비료의 투입량을 최소한도로 억제하여 지역자원과 환경을 보전하면서, 장기적으로 일정한 생산성과 수익성을 확보하고 안전한 식품생산에 기여할 수 있다.

WTO 체제하에서 한국적인 농업이 경쟁력과 지속성을 가질 수 있는 길은 환경친화형 농업일 것이다. 이에 발맞추어 우리나라도 환경농업법 제정 및 친환경농업 육성정책을 추진하고 있다. 이러한 예는 2004년까지 화학비료·농약을 '98 대비 30% 감축, 2002년까지 친환경농산물 생산량을 3.0%로 확대, 병해충분야 세부목표로 IPM 실천으로 농약 10% 감축 추진(2000년)등이 있다. 그리고 소비자의 신선 안전 농산물에 대한 인식이 높아지고 있는 현상이나 이에 발맞추어 약제살포 절감을 중심으로 한 국내 환경농업 실천 농가의 증가현상 등이다. 따라서 이러한 IPM 농업의 기반이 될 주요 작물에 대한 간이에찰법 개발이나 경제적피해수준 설정 및 개체군 동태에 대한 기초적인 지식은 반드시 연구되어야 할 것이다.

제 2장. 국내외 기술개발 현황

제 1절. 국내기술현황

현재 국내 해충방제는 몇몇 주요 작물을 제외하고는 시기에 맞추어 실시하는 관행적인 화학적방제가 중심이 되고 있는 실정이다. 국내에서 보이는 관행적인 방제는 생물적인 면에 있어서나 경제적인 면에 있어 매우 비효율적이고, 비과학적인 양상을 보이므로, 과도한 화학적 방제 비용과 더불어 환경의 파괴라는 이차적인 문제를 내포하고 있다. 해충방제비용을 최소로 줄이기 위해서는 각 작물에서 해충에 의한 경제적 손실이 방제비와 같아지는 밀도인 경제적 피해수준 (Economic injury level)을 설정하여 해충방제를 하는 것이 가장 적절하지만, 현재까지 국내에서 과학적이고 정확한 해충방제 기준인 경제적 피해수준은 몇몇 주요 과수 등에서의 방제수준 밀도를 제외하고는 전무한 실정이다. 또한 해충의 밀도를 추정하기 위한 표본추출법의 개발은 장미에서 점박이응애를 대상으로 한 연구결과만이 일부 발표되었을 뿐이다 (Cho et al., 1998; 박 등., 1999).

표 1. 국내의 주요 해충의 요방제수준 설정 및 연구현황

작물종류	주요해충수	기설정 해충 및 실험중인 해충
식량작물		
벼	7종	벼멸구, 흰등멸구, 벼물바구미 (3종)
콩	10종	툽다리개미허리노린재 (1종)
과수작물		
사과	9종	점박이응애, 사과응애, 사과혹진딧물, 조팝나무진딧물, 복숭아심식나방 (5종)
배	12종	점박이응애, 조팝나무진딧물, 복숭아심식나방 (3종)
계	38종	12종

제 2절. 국외기술현황

미국과 유럽을 비롯한 선진국에서는 최적의 방제를 위해 방제 시기 결정 및 해충 밀도의 정확한 예측을 위한 표본추출법의 개발과 해충의 경제적피해수준 연구 등이 매우 넓은 범위의 해충과 작물에서 활발하게 이루어지고 있다 (Binns and Nyrop, 1992, Boys and Burbutis, 1972, Field and Hoy, 1986, Fowler and Lynch, 1987, Green, 1966, Headley, 1975, Iwao, 1975, Jesiotr, 1978, Kuno, 1969, Naranjo and Flint, 1995, Wilson et al., 1989). 지속적인 연구로 인해 선진 각국은 자국의 환경에서 정확한 해충의 경제적 피해수준을 파악하여 해충방제비의 절감을 이루고 있으며, 이를 기반으로 IPM을 실행하고 있는 실정이다. 현재 외국의 경우에는 해충 예찰 및 관리용 전문가 시스템 개발연구가 진행되고 있으며 일부는 실용화단계에 와있다.

가까운 일본의 경우도 벼에서 주요 해충에 대한 요방제수준들이 현장에서 어느 정도 실용화 되어 있다. 표 2에서는 농민수준 (A)이나 지도기관 수준 (B)에서 사용되어지고 있는 현들의 수치이다.

표 2. 일본의 벼 해충에 대한 요방제수준 실용화 현황

주요해충	실용화단계별 현 수		
	A	B	C
이화명나방	6	8	4
흰등멸구	4	14	6
벼멸구	6	15	11
애멸구	1	4	1
끝동매미충	2	6	4
반점미 노린재류	-	5	1
벼잎벌레	3	7	2
벼물바구미	7	16	3

A: 현장 실용화, B: 현장 실용화 불명, C: 현장 실용화 곤란

제 3장. 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절. 시설오이에서 주요 해충의 경제적피해수준 설정 및 간이에찰법 개발

1-1. 목화진딧물의 오이에 대한 경제적 피해수준 설정

가. 목화진딧물의 오이에 대한 피해 분석

1) 피해요인 설정

가) 목화진딧물의 오이에 대한 직접피해

(1) 재료 및 방법

본 실험은 서울대학교 부속농장 유리온실에서 수행하였다. 오이(백미 백다다기 오이)는 원예상토(바로커)를 채운 플라스틱 포트(직경 60cm)에서 재배하였으며 본엽이 5엽기에 도달할 때 실험을 실시하였다. 지제부로부터 4번째 엽(하위 4엽)에 진딧물 접종구와 무접종구를 설치하였으며 각 구의 면적은 8 cm^2 였다. 각 구는 클립케이지(직경 8 cm^2)로 감쌌으며 접종구에는 목화진딧물 성충 10마리를 넣었다(그림 1-1). 실험은 5반복으로 구성하였으며 10일 후 클립케이지를 제거하고 진딧물 밀도를 조사한 후 순광합성량($\text{mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)과 기공전도력($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), 녹색도(Greenness)를 측정하고 나서 가해부위를 오려내어 90% 알콜에 침전시켜 엽록소를 추출하여 엽록소량을 측정하였다.



그림 1-1. 목화진딧물 피해요인 분석에 사용된 오이(좌)와 클립-케이지(우)

이를 수행하기 위해 광합성 측정기(Li-6400 portable photosynthesis system [LiCor, Lincoln, NE])와 엽록소 측정기(Chlorophyll meter [SPAD-502, Minolta]), 스펙트로포토미터(Spectrophotometer [V-550, JASCO])를 사용하였다(그림 1-2). 목화진딧물에 의한 오이의 피해요인 분석을 위해 진딧물의 밀도는 진딧물 밀도일(aphid-days)로 변환하였다. 진딧물 밀도일은 다음과 같이 계산된다(Ruppel, 1983).

$$\text{진딧물 밀도일(aphid-days)} = [(Y_t + Y_{t+\Delta t})/2] \times \Delta t \text{ ----- (식 1-1)}$$

(Y_t = 시간 t 에서의 진딧물 밀도, $Y_{t+\Delta t}$ = 시간 $t+\Delta t$ 에서의 진딧물 밀도, Δt = 두 밀도 조사의 시간차)



그림 1-2. 실험에 사용된 기기(좌: 광합성 측정기, 우: 엽록소 측정기)

(2) 결과

진딧물 밀도일이 증가함에 따라 순광합성량 감소율은 증가하는 경향을 보였으나 감소율과 총 진딧물 밀도일간의 상관은 매우 낮아 진딧물 흡즙에 의한 순광합성량 감소는 매우 적은 것으로 추정된다(그림 1-3). 성충 진딧물 밀도일과 순광합성량 감소율과의 관계는 이보다는 약간 높게 나타났다. 하지만 전반적으로 볼 때 목화진딧물 흡즙에 의한 오이잎의 광합성 감소는 비교적 낮은 것으로 판단된다.

기공전도력은 진딧물 밀도일이 증가함에 따라 감소하는 경향이 순광합성량 감소 경향보다 뚜렷하였으며(그림 1-4), 총 진딧물 밀도일보다 성충 진딧물 밀도일과의 관계에서 높았다. 기공전도력은 약 100이하의 성충 진딧물 밀도일에서는 오히려 증가하는 경향을 보였다. 진딧물의 구침에 의한 잎의 피해로 저밀도에서는 잎의 피해부위를 통해 공기 출입이 증가하여 고밀도에 비해 기공전도력이 증가하는 것으로 보인다. 그러나 총 진딧물 밀도일이 700 이상인 경우 그때부터는 잎의 기공전도력이 감소하는 것으로 보인다. 이러한 기공전도력 감소는 호흡량 감소로 연결되고 결국에는 광합성량 감소로 연결될 것으로 추정된다.

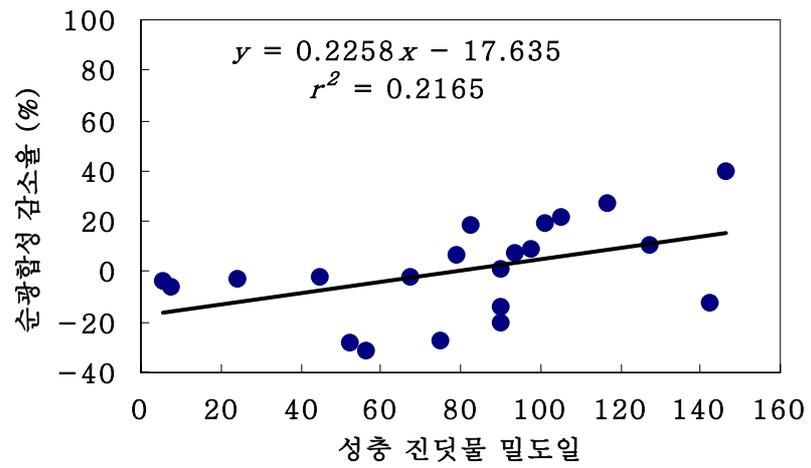
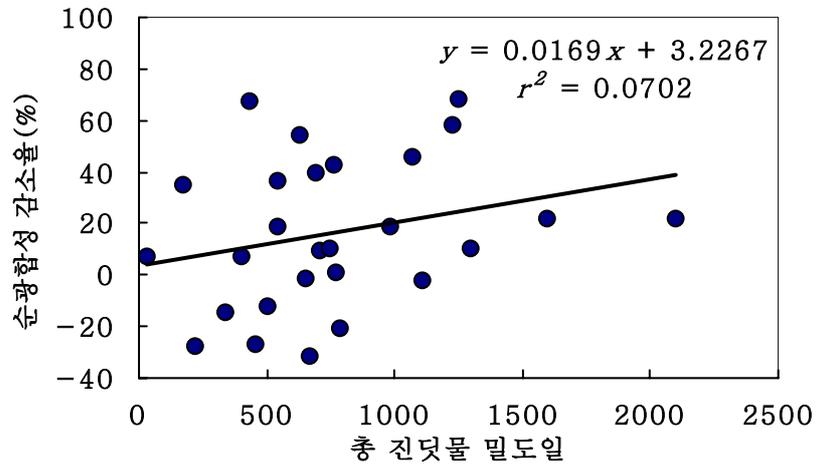


그림 1-3. 진딧물 밀도일과 순광합성량 감소율 간의 관계

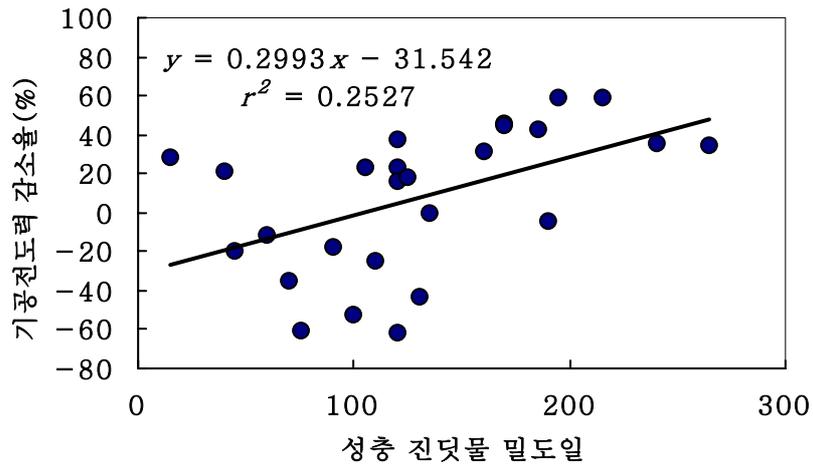
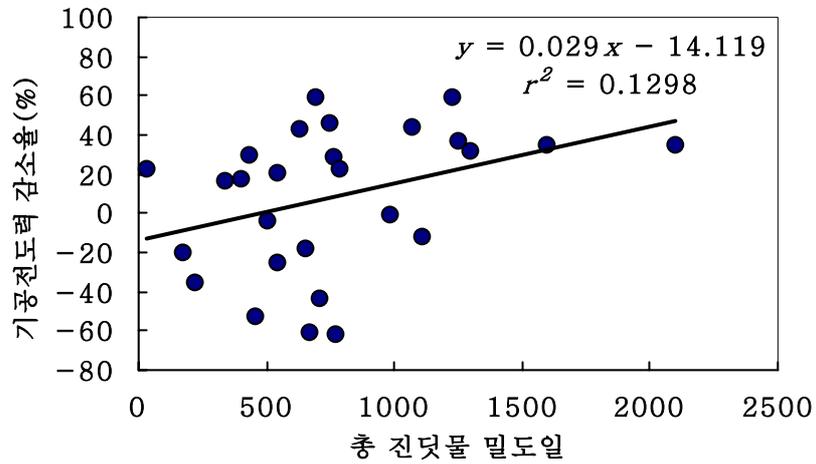


그림 1-4. 진딧물 밀도일과 기공전도력 감소율 간의 관계

진딧물 밀도일과 엽록소량 감소와는 상관관계가 없었다(그림 1-5). 이는 진딧물의 흡즙이 엽록소량에 영향을 미치지 않는 것으로 해석된다. 이러한 이유는 목화 진딧물의 주요 가해 부위가 잎의 체관이기 때문에 엽록체를 섭식하는 점박이응애의 경우와는 달리 엽록소 손실에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 보인다. 진딧물 밀도일과 녹

색도 감소율 간에도 뚜렷한 상관성을 보이지 않았다(그림 1-6).

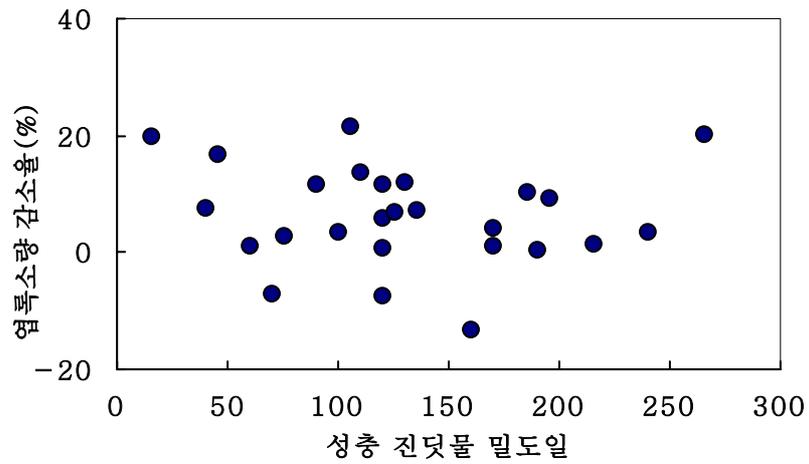
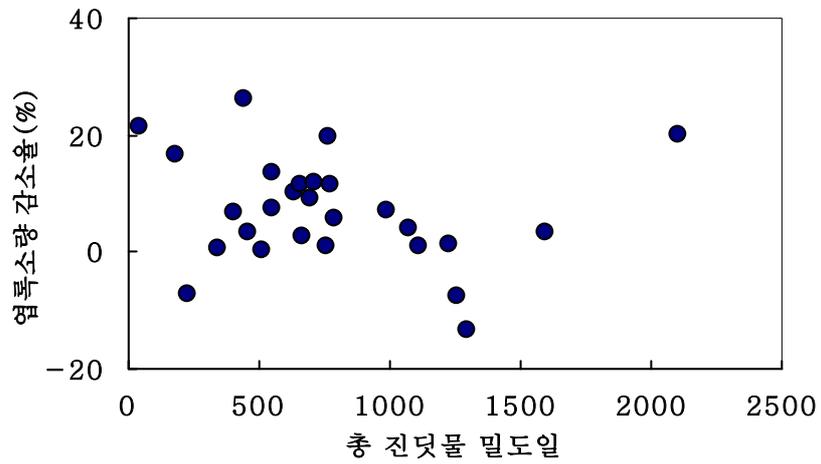


그림 1-5. 진딧물 밀도일과 엽록소량 감소율간의 관계

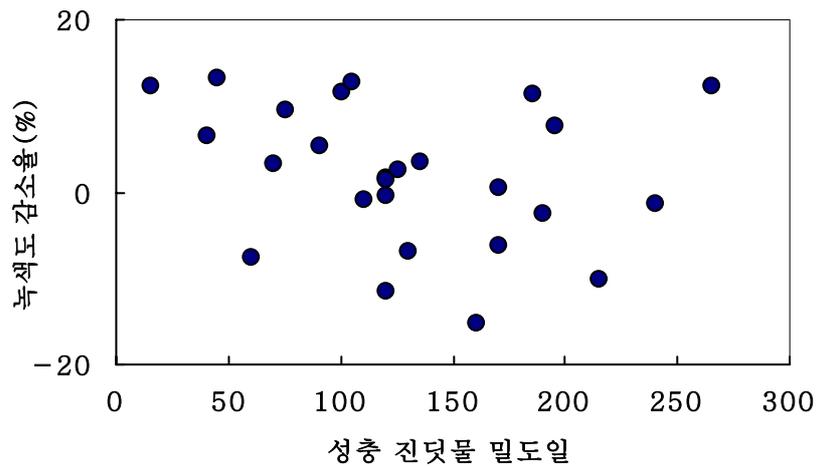
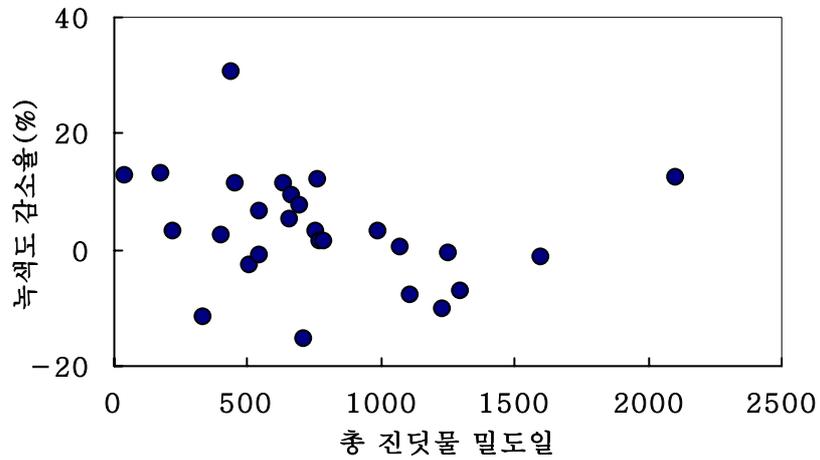


그림 1-6. 진딧물 밀도일과 녹색도 감소율간의 관계

지금까지의 결과를 요약하면 목화진딧물의 진딧물 밀도일이 임계밀도를 넘어 증가할수록 순광합성량 감소율과 기공전도력 감소율은 증가하는 추세를 보였다. 그러나 엽록소량과 녹색도는 진딧물 밀도일과 뚜렷한 관계를 보이지 않았다. 이는 목화진딧물이 주로 오이의 체관에 구침을 찔러 흡즙하는 직접적인 피해를 주고 광합성과

호흡 수준의 감소는 진딧물 밀도가 아주 높게 증가하면 일어나는 것으로 해석된다. 따라서 목화진딧물에 의한 피해는 진딧물의 흡즙으로 인한 광합성 및 호흡 수준의 감소에 기인한다고 할 수 있다.

나) 목화진딧물에 의한 오이의 직·간접피해요인 분석

(1) 재료 및 방법

실험에 사용한 오이 품종, 오이재배방식 및 실험장소는 앞의 실험과 동일하였다. 오이 본엽이 5엽기에 도달하였을 때 하위 4엽에 목화진딧물 성충을 엽당 10마리씩 5반복 처리하여 접종하였으며 감염 10일 후 진딧물로 인한 피해를 조사하였다. 진딧물의 감로 분비로 인한 그을음병을 전체 피해에 포함시켰다. 진딧물 밀도는 진딧물 밀도일로 전환하였으며 생산된 과실을 지속적으로 수거하여 생체량을 측정하였다.

(2) 결과

진딧물 밀도일이 증가함에 따라 순광합성량은 진딧물이 분비한 감로와 이로 인한 그을음병에 의해 아주 크게 감소하였다(그림 1-7). 또한 가)항의 실험에서와 달리 총엽록소량도 진딧물 밀도일이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 감로로 인해 유발된 그을음병이 주된 원인이라 볼 수 있다(Bergstrom 등, 1982).

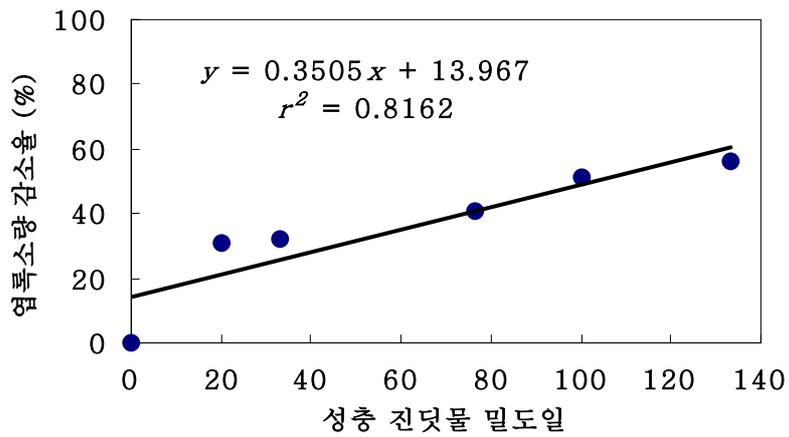
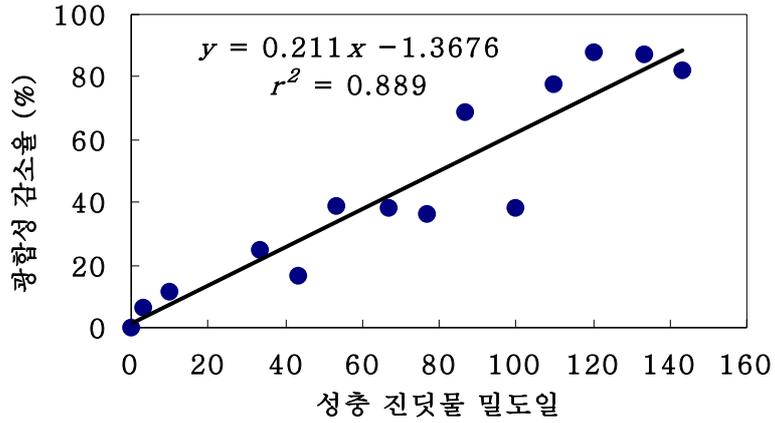


그림 1-7. 성충 진딧물 밀도일과 순광합성량, 총엽록소량 간의 관계

진딧물 밀도일이 증가함에 따라 오이의 평균 엽면적도 감소하였다(그림 1-8). 진딧물의 구침에 의한 기관 수준의 파괴가 엽면적 감소의 한 원인으로 추정되나, 무엇보다 진딧물의 흡즙에 의한 동화양분의 손실이 잎의 성장 감소의 주요 원인으로 보인다. 진딧물 밀도일이 증가함에 따라 오이 과실의 생산량은 감소하는 추세를 나타내

었다(그림 1-9).

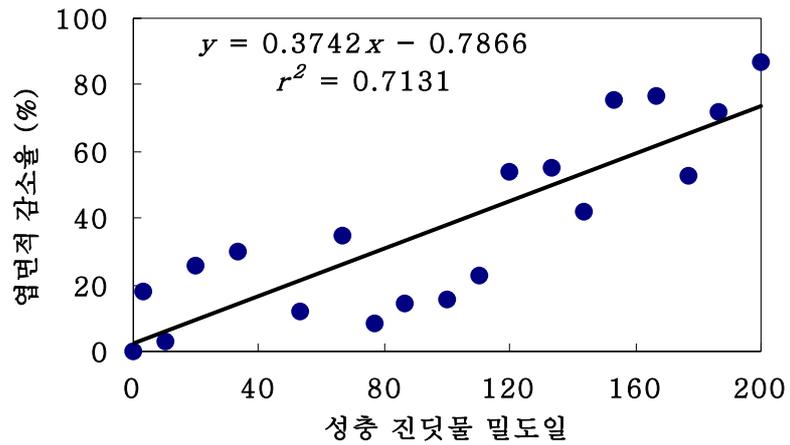


그림 1-8. 성총 건물질 밀도일과 엽면적 감소율 간의 관계

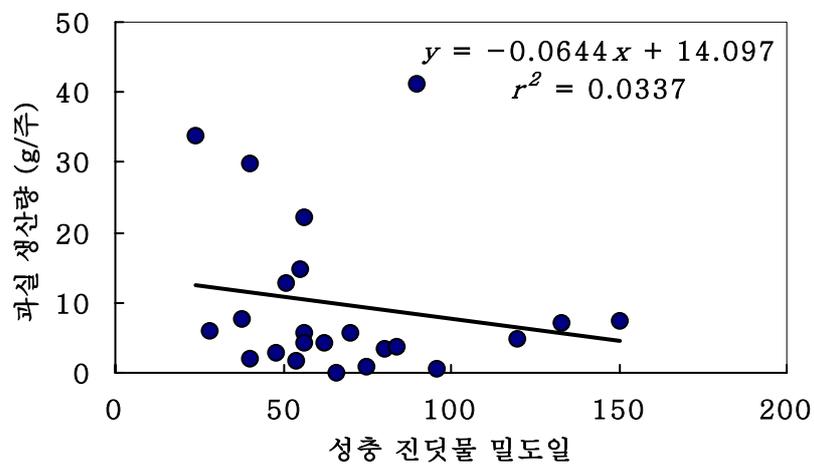


그림 1-9. 성총 건물질 밀도일과 오이 과실 생체량의 관계

두 실험의 결과를 요약하면, 목화진딧물의 오이에 대한 주요 피해요인은 진딧물이 배설한 감로와 이로 인한 그을음병에 의한 잎의 광합성 감소, 흡즙에 의한 엽면적 감소로 분석된다. 이는 목화진딧물의 가해로 엽면적이 감소하고 궁극적으로 광합성량이 절대적으로 부족하게 되어 오이의 과실 생체량이 감소하는 경제적 손실을 가져오는 것으로 분석된다.

2) 오이생육시기에 따른 진딧물에 의한 오이수량 피해 분석

목화진딧물은 흡즙과 감로 분비를 통해 오이의 순광합성량 및 기공전도력의 감소와 엽면적 감소를 유발하여 결국 과실 생산량의 감소를 통한 경제적 손실을 초래한다. 경제적 피해를 분석하기 위해 먼저 목화진딧물에 의한 오이의 수량 피해수준을 계량화할 필요가 있다. 이를 위해 목화진딧물의 오이 생산량 피해분석 실험을 수행하였다.

오이는 생육 후기에 비해 생육 초기에 더 큰 피해를 입는다(Lee, 2000). 따라서 오이의 생육시기를 영양생장만이 이루어지는 영양생장시기와 영양생장과 생식생장이 함께 이루어지는 영양생식생장시기로 생육시기 두 부분으로 나누어 실험을 수행하였다. 영양생장시기는 오이의 본엽이 5엽기에 도달할 때, 영양생식생장시기는 오이의 본엽이 10엽기에 도달할 때로 설정하였다.

가) 영양생장시기의 피해분석

(1) 재료 및 방법

실험에 사용된 오이 품종은 ‘은성 백다다기’로 안성종묘센터에서 육묘한 접목묘(3엽기)를 사용하였다. 접목묘는 실험장소의 토양에 정식하였으며, 정식 후 5엽기까지 결가지와 화방은 모두 제거하여 영양생장만을 유지시켰다. 5엽기 이후에는 덩굴손의 밀착으로 인한 물리적인 불량과를 방지하기 위하여 덩굴손만 제거하였다.

목화진딧물은 평택의 오이재배 농가에서 채집하여 서울대학교 부속농장

유리온실에서 한냉사망을 설치하여 누대 사육하였다($25\pm 2^{\circ}\text{C}$, 80% 상대습도). 기주는 실험에 사용된 접목묘와 동일한 품종을 사용하였으며 플라스틱 포트를 이용해 재배하였다. 실험에 사용된 진딧물은 모두 간모 세대의 무시충이었다.

실험은 2003년 2월부터 4월까지 농촌진흥청 농업과학기술연구원 부속농장 비닐하우스($15 \times 6\text{m}$)에서 수행하였다. 비닐하우스 내 4열의 이랑을 조성하였고 이랑의 폭은 0.5m, 이랑간의 거리는 1m였다. 각 이랑에는 오이를 1열로 30주(株)씩 재식하였으며 각 오이간의 거리는 0.5m를 유지하였다. 총 120주의 오이를 재식하였으며 재식 직후 해충들의 오염을 막기 위해 코니도(Imidacloprid, 8% a.i.)를 살포하였다. 온실 측면과 출입구에는 한냉사망을 설치하였다. 비닐하우스 안은 농업용 온풍기로 가온하였으며 실내 온도는 $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ 로 유지되었다.

실험은 5반복의 이원배치법(two way ANOVA)으로 두 가지 요인을 설정하였다. 첫 번째 요인은 초기 진딧물 밀도수준으로 각각 주당 0, 2, 4, 6, 8마리의 무시성충을 5엽기 오이의 하위 3엽에 접종하였다. 두 번째 요인은 진딧물 가해기간으로 21일과 35일로 설정하였다. 진딧물은 매주 육안으로 전수 조사하였다. 엽폭-엽면적 간의 관계식(Lee, 2000)을 통해 엽면적을 산출하기 위해 매주 엽폭을 측정하였다. 성숙한 과실은 매주 수확하여 바로 무게와 만곡도를 측정하였다. 물은 매일 관주하였으며 진딧물 가해기간이 종료되는 21일, 35일 시점에서 각각의 실험구에 코니도(Imidacloprid, 8% a.i.)를 살포하여 진딧물을 제거하였다.

(2) 결과

영양생장시기의 오이를 가해하는 목화진딧물의 밀도는 초기 진딧물 밀도 및 가해기간이 증가함에 따라 증가하였다(그림 1-10). 목화진딧물의 밀도는 진딧물 접종 후 28일까지 계속 증가하였으며 밀도는 초기 진딧물 접종 수준 순으로 증가하였다. 그러나 28일 이후에는 초기 진딧물 밀도가 높은 실험구에서 오히려 진딧물 밀도가 감소하는 경향을 나타냈는데, 이는 오이 기주가 진딧물의 가해로 인해 상태가 나빠졌기 때문에 다른 기주로 진딧물의 분산이 일어난 것으로 분석된다. 이 같은 경향은 성충 진딧물 밀도에 대해서도 유사하게 나타났다. 성충 진딧물 밀도 역시 28일을 기점으로 초

기 8마리 접종구에서 크게 감소하였다.

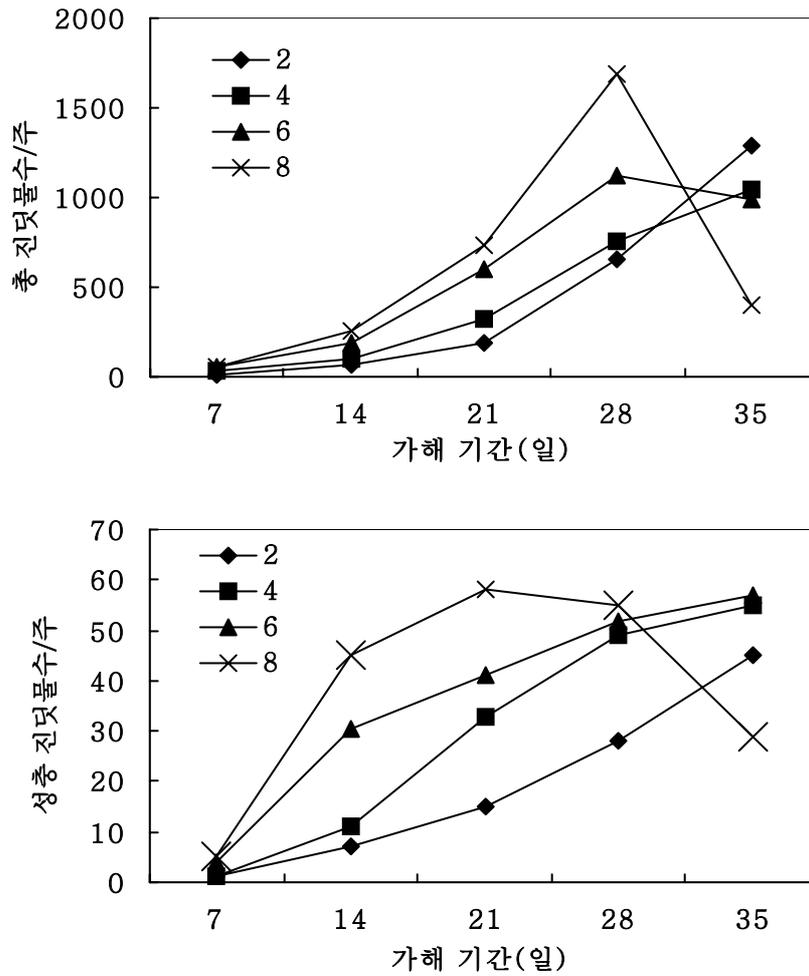


그림 1-10. 영양생장시기 오이에서 초기 진딧물 밀도 및 가해기간에 따른 진딧물 밀도 변화

진딧물에 의한 오이의 피해는 진딧물 밀도와 가해기간과 밀접한 관계가

있기 때문에 단순히 특정시간에서의 밀도만으로 분석하는 것은 무리가 있다. 따라서 목화진딧물의 밀도를 가해기간과 연결하여 진딧물 밀도일(aphid-days)로 전환하였다.

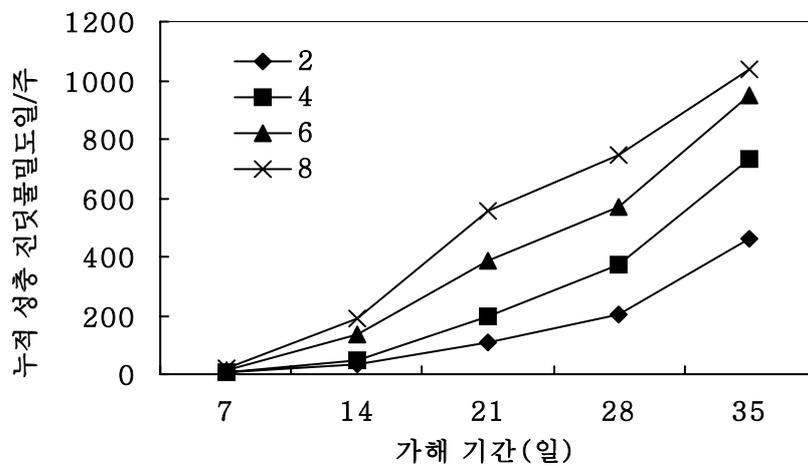
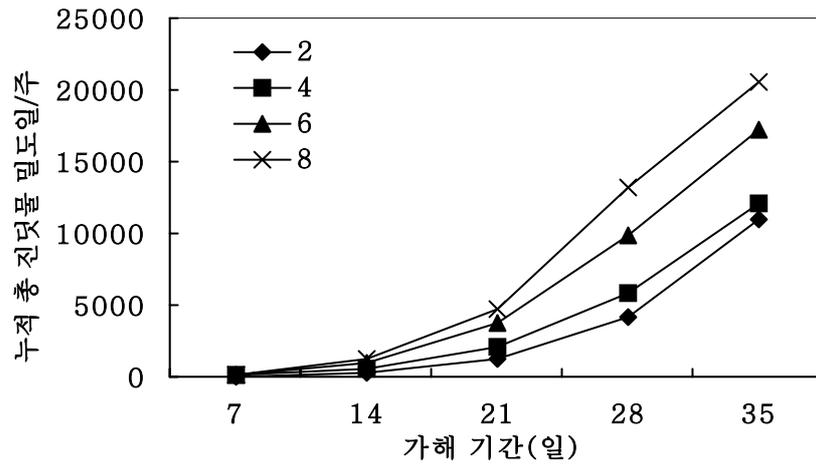


그림 1-11. 영양생장시기 오이에서의 초기 진딧물 밀도 및 가해기간에 따른 누적 진딧물 밀도일 변화

영양생장시기 오이에서 목화진딧물의 누적 진딧물 밀도일은 지수적으로

증가하는 경향을 보였다(그림 1-11). 또한 누적 진딧물 밀도일은 초기 진딧물 밀도 순서로 실험기간 내내 순위를 유지하였다. 누적 진딧물 밀도일은 진딧물 밀도일이 특정 시기별 진딧물 밀도를 나타내는 것과 달리 기주에 지속적으로 피해를 주는 진딧물 밀도를 대표하는 잇점이 있다. 이런 경향은 누적 성충 진딧물 밀도일에서도 유사하게 나타났다으며 누적 성충 진딧물 밀도일 역시 초기 진딧물 밀도 순위와 같았다. 목화진딧물의 가해에 대한 경제적 손실을 나타내는 오이 과실의 생산량은 표 1-1과 같다.

표 1-1. 영양생장시기 오이에서의 초기 진딧물 밀도 및 가해기간에 따른 주당 과실 생산량(g/주)

가해기간 (일)	초기 진딧물 수/주				
	0	2	4	6	8
21	2286±287.6a	1799±276.3ab	1515±48.2ab	1417±130.1ab	1020±182.9b
35	1819±191a	1011±219.9b	569±221.9bc	191±128.1c	169±80.7c

동일 행에서 같은 문자를 가진 평균치는 유의한 차이를 나타내지 않음(P>0.05; Tukey).

주(株)당 과실 생산량은 초기 진딧물 밀도가 높아질수록 감소하는 것으로 나타났다. 또한 가해 기간이 길어짐에 따라 동일한 초기 진딧물 밀도의 실험구에서도 큰 감소율을 나타냈다. 특히 가해 기간이 35일인 경우 초기 진딧물 밀도가 주당 6, 8마리인 오이에서는 과실 생산이 거의 정지하였다. 일반적으로 시설 백다다기의 주당 평균 생산량은 2,635(g/주)로 나타났다(농촌진흥청, 1996). 본 실험에서는 약간 낮은 수준을 보였는데, 이는 실험구의 상태 및 재배상의 차이에 기인한 것으로 보여진다.

그림 1-12는 진딧물 밀도일과 과실 생산율간의 관계이다. 약 1,800 진딧물 밀도일 이전에서는 유의한 과실 생산량 감소가 나타나지 않았으며 이는 이 때의 진딧물에 의한 피해가 과실 생산량에 영향을 주지 않았음을 뜻한다. 오이는 목화진딧물의 가해에 어느 정도의 밀도수준까지는 생산량 감소를 보이지 않는 내성(Tolerance)이 있

는 것으로 추정되며 영양생장시기 오이의 경우 이 수준은 주당 1,800 누적 총 진딧물 밀도일인 것으로 분석되었다. 경제적 피해수준의 산출에 있어서 산출 기준은 이 내성도를 고려하였다. 1800 진딧물 밀도일 이후부터의 진딧물 밀도일과 생산량과의 관계는 고도의 상관관계를 보였다.

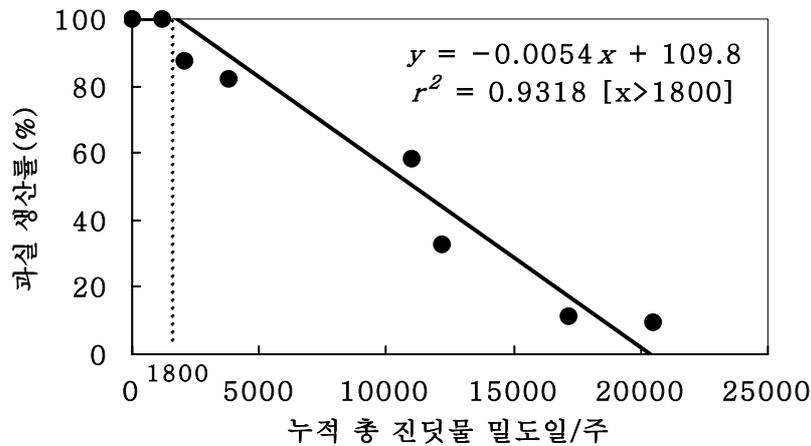


그림 1-12. 영양생장시기 오이에서의 주당 누적 총 진딧물 밀도일과 과실 생산율간의 관계

나) 영양생식생장시기의 피해분석

(1) 재료 및 방법

실험에 사용된 오이 품종과 오이재배방법 및 실험에 사용된 목화진딧물은 영양생장시기 피해실험과 동일하였다. 실험은 2002년 8월부터 10월까지 경기도 농업기술원 비닐온실에서 실시하였다. 실험 온실의 면적은 25×6 m였으며 총 3열의 이랑을 조성하였다. 이랑의 폭은 0.5m, 이랑간의 거리(고랑)는 1m였다. 각 이랑에는 50주씩 2열로 오이를 재식하였으며 각 오이간의 거리는 0.5m, 열 간의 거리는 0.5m를 유지하였다. 총 300주의 오이를 재식하였으며 재식 직후 기타 해충의 오염을 막기 위해 코니도

(Imidacloprid, 8% a.i.)를 살포하였다. 온실 측면과 출입구에는 한냉사망을 설치하였다. 실내온도는 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 유지되었다.

영양생장시기 실험과 마찬가지로 5반복의 이원배치법으로 두 가지 요인을 설정하였다. 첫 번째 요인은 초기 진딧물 밀도수준으로서 주당 각각 0, 10, 20, 30, 40마리의 무시 성충을 10엽기 오이의 하위 3엽에 접종하였다. 두 번째 요인은 진딧물 가해기간으로 14, 28, 35일로 설정하였다. 진딧물은 매주 육안으로 전수 조사하였으며 엽면적을 산출하기 위해 매주 엽폭을 측정하였다. 성숙한 과실은 매주 수확하여 무게와 만곡도를 측정하였다. 물은 매일 관주하였으며 진딧물 가해기간이 종료되는 14, 28일, 35일 시점에서 각각의 실험구에 코니도(Imidacloprid, 8% a.i.)를 살포하여 진딧물을 제거하였다.

(2) 결과

영양생식생장시기 오이에서 목화진딧물의 밀도는 영양생장시기와 마찬가지로 초기 진딧물 밀도 및 가해기간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다(그림 1-13). 특히 목화진딧물의 밀도는 진딧물 접종 후 21일까지는 크게 증가하였다. 그러나 21일 이후에는 초기 진딧물 밀도가 높은 오이에서 진딧물 밀도가 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 오이의 상태가 진딧물의 가해로 매우 열악해졌기 때문이다. 이 같은 경향은 성충 진딧물 밀도에 대해서도 유사하게 나타났다.

영양생식생장시기 오이에서 목화진딧물의 진딧물 밀도일은 초기 진딧물 밀도 및 가해기간이 증가함에 따라 거의 지수적으로 증가하는 경향을 보였다(그림 1-14). 가해 기간 21일까지는 초기 진딧물 밀도와 같은 순위로 진딧물 밀도일이 높았으나 21일 이후부터는 진딧물의 초기밀도가 높았던 오이에서는 증가가 둔화되는 경향을 나타냈다. 이 같은 경향은 성충 진딧물 밀도일에 대해서도 유사하게 나타났다.

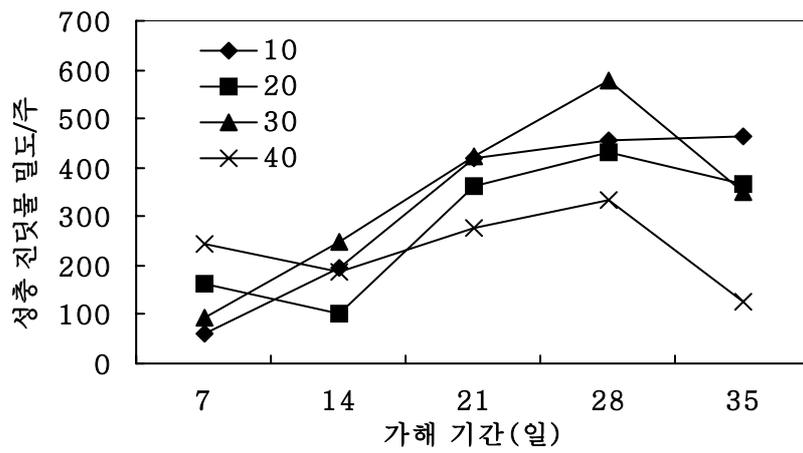
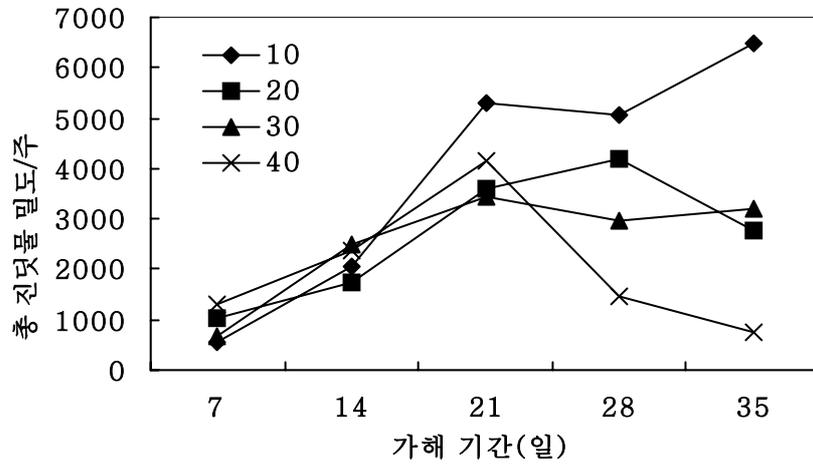


그림 1-13. 영양생식생장시기 오이에서의 초기 진딧물 밀도 및 가해기간에 따른 진딧물 밀도 변이

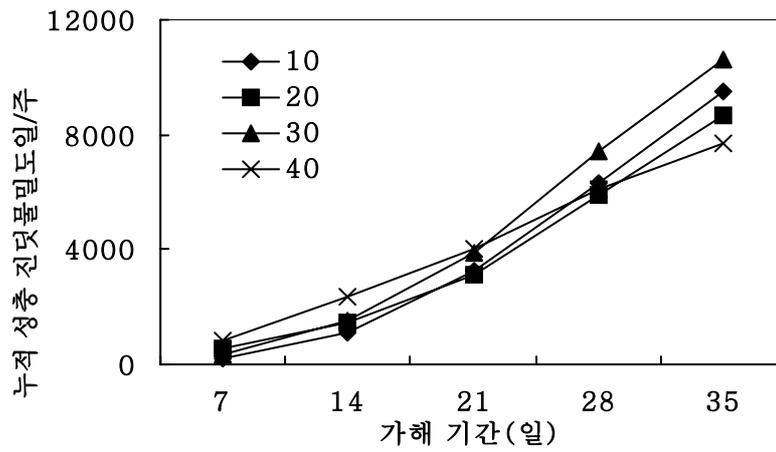
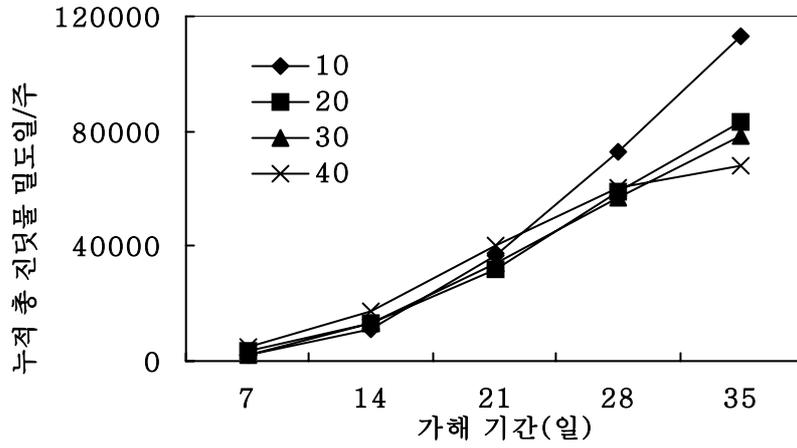


그림 1-14. 영양생식성장시기 오이에서의 초기 진딧물 밀도 및 가해기간에 따른 진딧물 밀도일 변화

초기 진딧물 접종수에 따른 오이의 과실 생산량은 표 1-2와 같았다.

표 1-2. 영양생식생장시기 오이에서의 초기 진딧물 밀도 및 가해기간에 따른 주당
과실생산량(g/주)

가해기간 (일)	초기 진딧물 수/주				
	0	10	20	30	40
14	1565±153.7a	1371±62.7a	1291±144.2ab	1248±165.1ab	746±169.1b
28	1318±139.1a	522±191.4b	735±153.9b	704±51.8b	766±80.0b
35	1249±143.4a	671±126.9b	728±105.7b	616±123.3b	734±125.5b

동일 행에서 같은 문자를 가진 평균치는 유의한 차이를 나타내지 않음(P>0.05; Tukey).

주(株)당 과실 생산량은 초기 진딧물 밀도가 높을수록 감소하였으며 가해기간이 길어짐에 따라 동일한 초기 진딧물 밀도에서도 크게 감소하였다. 특히 가해기간 28일과 35일에서는 대조구에 비해 과실 생산량이 크게 감소하여 경제적 피해가 크게 발생하였다.

그림 1-15는 영양생식생장시기 오이에서 진딧물 밀도일과 과실 생산율간의 관계이다. 약 12,000 진딧물 밀도일 이전에서는 유의한 과실 생산량 감소가 나타나지 않았으며 이후부터 유의한 회귀관계식이 구해졌다. 따라서, 영양생식생장시기의 경우 내성도는 12,000 진딧물 밀도일로 설정할 수 있다.

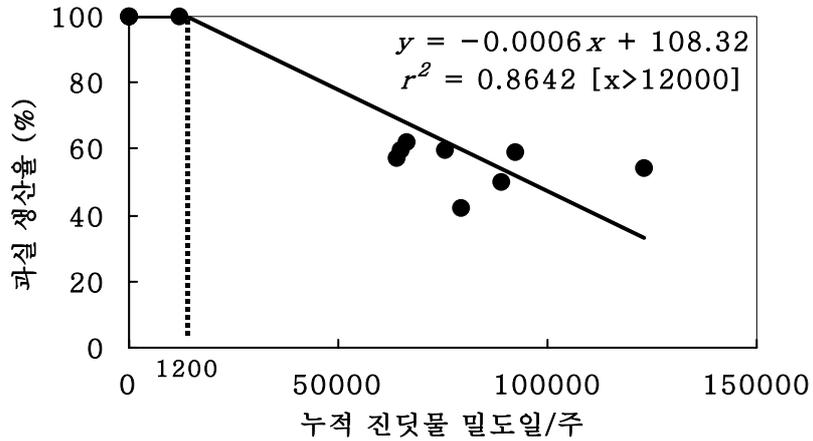


그림 1-15. 영양생식생장시기 오이에서의 주당 누적 총 진딧물 밀도와 과실 생산율간의 관계

다) 오이생육시기에 따른 목화진딧물 피해에 의한 오이품질의 변화

진딧물 밀도일과 과실 생산량간의 관계를 계량화 하였으나 경제적피해수준을 계산하기 위해서는 오이생산량을 판매가격(시장가격)으로 환산하여야 한다. 한편 오이 과실은 각각의 등급에 따라 가격이 달라지기 때문에 오이의 시장가격을 설정하기 위해서는 먼저 생산된 과실의 품질을 구별할 필요가 있다. 오이의 생산 등급은 만곡도를 기준으로 설정하였다. 만곡도는 오이의 흰 정도를 뜻하며 만곡도가 1.5 cm이내인 오이를 1등급, 만곡도가 3 cm이내인 오이를 2등급, 나머지 오이를 3등급으로 나눈다(국립농산물품질관리원, 2003).

영양생장시기 오이의 경우 21일간 진딧물 가해를 받은 오이는 그렇지 않은 오이에 비해 등급 하락이 있었으나 초기 진딧물 밀도가 과실 등급에 유의한 영향을 끼치지 못했다(그림 1-16). 그러나 35일간 가해를 받은 오이는 초기 진딧물 밀도가 증가함에 따라 1등급 과실의 생산비율이 크게 감소하는 반면 2등급 이하 과실의 비율은 크게 증가하였다. 이는 진딧물 가해 초기에는 진딧물로 인한 피해가 오이 과실의 품질에는 영향

을 크게 주지는 않으나 진딧물 가해 후기에는 오이 과실의 품질에도 영향을 크게 준다는 것을 나타낸다.

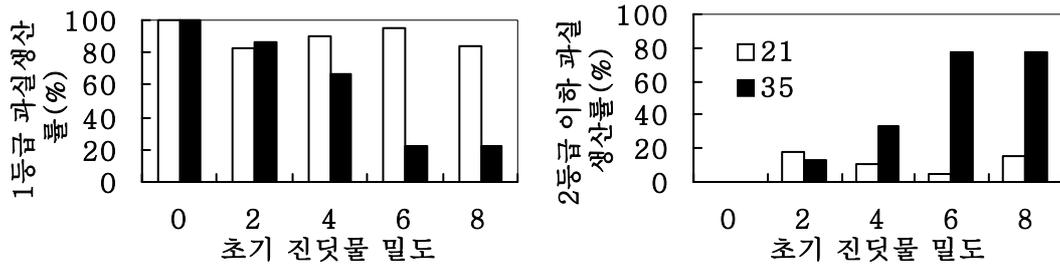


그림 1-16. 영양생장시기 오이에서의 초기 진딧물 밀도 및 가해기간에 따른 과실 품질(좌: 1등급, 우: 2등급 이하)

영양생식생장시기 오이에서는 영양생장시기에 비해 각 처리간의 과실 품질 차이가 유의하게 나타나지는 않았다(그림 1-17). 초기 진딧물 밀도가 40마리인 오이는 가해 기간에 관계없이 비교적 높은 등급하락을 보였으나 영양생장시기 오이만큼 큰 차이를 보이지는 않았다. 이는 영양생식생장시기에 비해 영양생장시기 오이가 진딧물 가해에 대한 감수성이 높기 때문에 진딧물에 의해 과실 품질 저하가 더 잘 유발되는 것으로 해석된다.

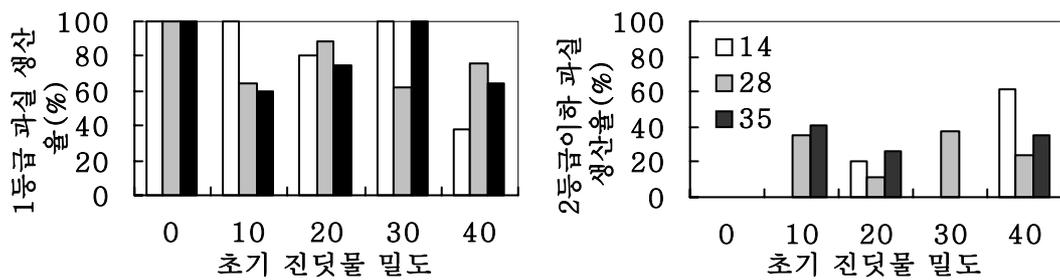


그림 1-17. 영양생식생장시기 오이에서의 초기 진딧물 밀도 및 가해기간에 따른 과실 품질(좌: 1등급, 우: 2등급 이하)

과실 가격은 과실의 중량 이외에도 과실의 품질에 따라 다르게 결정된다. 앞서 설명한 누적 진딧물 밀도일과 과실 수확량간의 관계를 과실의 시장가와 비교하여 산출하였다. 그러나 시장가는 매년 지속적으로 변동하는 값이므로 이를 시장가율(%)로 변환하였다(그림 1-18, 1-19).

해충밀도와 이에 따른 작물의 생산량 감소간의 회귀식은 해충이 작물에 끼치는 손실의 크기를 나타내는데, 기율기의 절대치가 증가함에 따라 작물은 낮은 밀도에서도 많은 피해를 입게 됨을 의미한다. 위 수식에서 영양생장시기의 회귀식 기율기의 절대치는 0.0058이고 영양생식생장시기의 회귀식 기율기의 절대치는 0.0007이다. 이 값은 앞서 나온 진딧물 밀도일과 과실 생산율간의 상관식의 기율기에 비해 크게 나타났는데, 이는 진딧물에 의한 피해를 입은 기주가 생산한 과실의 품질이 대조구에 비해 더 낮기 때문이다. 이 기율기는 경제적 피해수준 계산에 이용되었다.

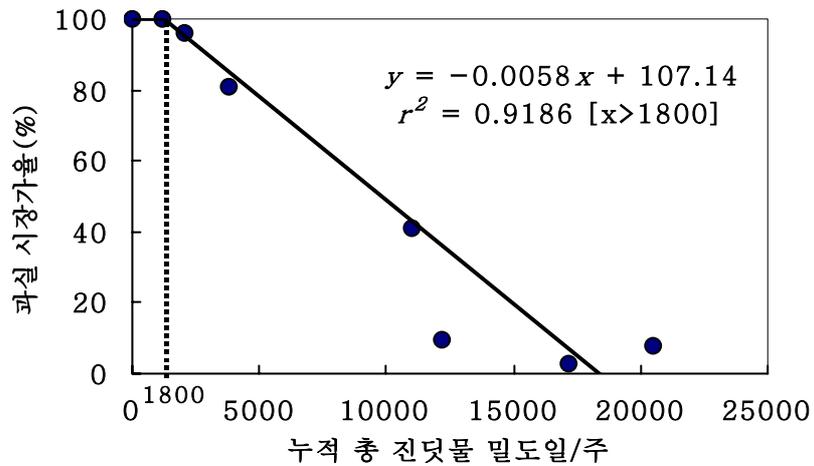


그림 1-18. 영양생장시기 오이에서의 주당 누적 총 진딧물 밀도일과 생산 오이 시장가율(%) 간의 관계

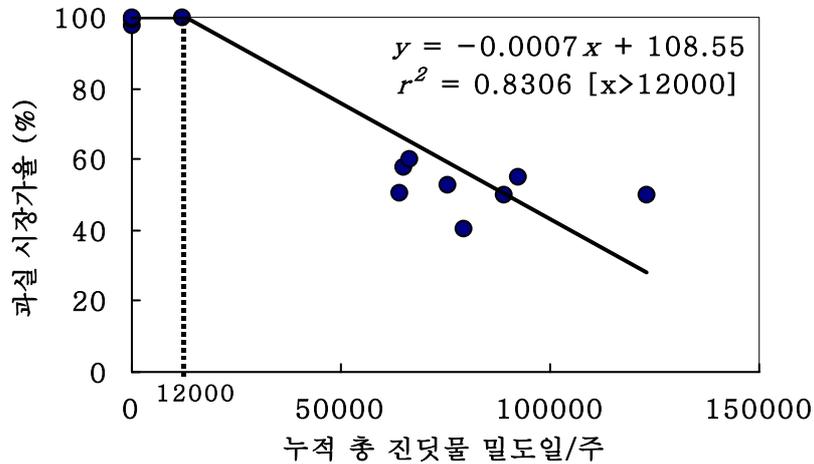


그림 1-19. 영양생식생장시기 오이에서의 주당 누적 총 진딧물 밀도와 생산 오이 시장가율(%) 간의 관계

나. 경제적 피해수준의 설정 및 응용

1) 경제적 피해수준 항목 설정

경제적 피해수준(Economic Injury Level; EIL)은 해충에 의해 손실된 작물의 가격과 방제를 실시하였을 때에 소요되는 비용이 동일한 해충밀도를 의미한다(Stone & Pedigo, 1972). 즉 경제적 피해수준의 일반식은 다음과 같이 표현된다.

$$EIL = \frac{C}{VIDK} \text{ ----- (식 1-2)}$$

(C=단위면적 당 방제 비용, V=단위생산량 당 시장가격, I=단위 해충 밀도에 의해 발생한 단위면적 당 작물 피해량, D=단위 피해로 인한 경제적 손실량, K=방제 효율)

해충은 작물의 가해습성에 따라서 직접 가해해충과 간접 가해해충으로 나눌 수 있다. 직접 가해해충은 과실이나 괴경 등 작물의 생식부위를 가해하여 작물의 생산부위에 직접적인 피해를 주는 것으로 고추에서 담배나방이나 사과, 배, 복숭아에서 복숭아심식나방이 있다. 간접 가해해충은 잎의 엽육을 갉아먹거나 유관속에 구침을 찔러 영양분을 흡즙하고 흡즙의 부산물들이 광합성 효율을 떨어지게 하여 생육의 저하와 생산량의 손실을 가져오는 해충들로서 오이에서 오이총채벌레나 목화진딧물 등이 그 예이다(Elizabeth, 1989). 간접 가해해충의 경우 식 1-2에서 내성(tolerance)의 개념이 추가된다. 내성은 해충의 가해에 대하여 작물이 보상작용을 통해 피해를 극복하는 것으로 이 수준에서는 유의한 피해가 일어나지 않는다(Norton & Mumford, 1993).

경제적 피해수준의 설정에서 방제비용에 대한 오이시장가격의 비율을 본 연구에서는 방제비용 동가수량(Gain threshold)으로 나타냈다. 방제비용 동가수량은 경제적 피해수준 계산의 기본이 된다(Higley and Pedigo, 1996). 오이에서의 목화진딧물 경제적 피해수준은 내성도의 개념을 이용한 식 1-3을 이용하여 계산하였다.

$$EIL = T + \frac{C}{PDK} \text{ ----- (식 1-3)}$$

(T=작물의 해충에 대한 내성도, C=단위면적 당 방제 비용, P=단위생산량 당 시장가격, D=단위 해충밀도로 인한 작물 손실량, K=방제 효율)

가) 방제비용

방제비용은 단위면적 당 사용한 살충제의 가격, 제형, 살포 회수 및 노동비를 종합하여 계산되는 값이다. 인건비 단가(원/10a)는 8시간에 50,000원, 1시간에 6,250원, 10분에는 1,041원이 지불된다(친환경농업실천 현장연구보고서). 대부분의 목화진딧물의 농약은 경엽처리를 한다. 따라서 경엽처리제를 기준으로 계산하면 소요시간 30분, 필요인원 3명으로 총 노동비는 9,375원/10a이다.

나) 오이의 시장가격

오이의 시장가격은 산지가격이 아닌 시장 구매가를 사용하였다. 실제 농민들의 생산소득은 유통마진을 제외한 농가 수취율로 계산할 수 있다. 오이의 가격은 매년(1999년-2003년) 증가추세를 보였다(가락시장, 2003). 본 연구에서는 오이의 시장가격을 최근 5년간의 월별 구매가를 평균하여 1,285원/kg으로 설정하였다.

다) 방제비용 동가수량

방제비용 동가수량(Gain threshold: GT)은 방제비용과 해충으로 인해 소실되는 곡물가가 동일한 시점에서의 작물 피해량을 의미한다. 방제비용 동가수량은 일반적으로 다음과 같이 표현된다.

$$GT = \frac{\text{단위면적당방제비용(원/10a)}}{\text{단위무게당곡물가격(원/kg)}} \text{----- (식 1-4)}$$

실제 목화진딧물을 방제하는데 쓰이는 대표적인 살충제의 가격과 방제 인건비(9,375원/10a, 경엽처리시), 5개년 평균 오이 가격(1,285원/kg)을 이용하여 농약 종류에 따른 방제비용 동가수량을 산정하였다(표 1-3).

표 1-3. 시설 오이의 목화진딧물의 주요 농약에 대한 방제비용 동가수량

이름	성상	가격 ¹ (원/10a)	방제가 (원/10a)	곡물가 (원/kg)	GT (kg/10a)
Imidacloprid	WP	4,480	13,855		10.782
	SC	4,640	14,015		10.907
Thiametoxam	WG	5,600	14,975		11.654
Purathiocarb	EC	2,240	11,615		9.039
Pimethrozone	WP	4,256	13,631	1,285	10.608
Espenbalerate -parathion	EC	2,300	11,675		9.086
Acetamiprid	SP	4,960	14,335		11.155
Thiacloprid	SC	4,416	13,791		10.733
평균		4,112	13,487		10.496

¹농약공업협회, 2004

약제의 성상 및 가격은 한국농약공업협회의 자료집(2004)을 참조하였으며 단위 면적은 10a를 기준으로 계산하였다. 실제 농가에서 약제를 살포하였을 경우 평균적으로 10a당 160-180l의 약제를 소모한다. 방제가 약제+인건비이며 방제비용 동가수량은 방제가와 곡물가에 의해 변화하는데 방제가가 증가할수록 방제비용 동가수량은 증가하는 경향을 보이며 곡물가가 증가할수록 방제비용 동가수량은 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 방제비용 동가수량이 낮을수록 진딧물에 의한 피해가 낮아도(즉, 저 밀도에서도) 방제를 실시하여야 함을 뜻한다. 방제비용 동가수량을 이용하여 경제적 피해수준을 설정하면 다음과 같다.

$$EIL = T + \frac{C}{PDK} = T + \frac{(GT)}{DK} \text{ ----- (식 1-5)}$$

라) 내성도

내성도는 해충의 가해에 대한 작물의 내성으로 이 수준에서는 무처리와의 비교하여 유의한 피해를 나타내지 않는 수준을 말한다. 목화진딧물에 대한 오이의 내성도는 영양생장시기에서 1,800 누적 진딧물 밀도일/주, 영양생식생장시기에서 12,000 누적 진딧물 밀도일/주가 산출되었다(그림 1-12, 1-15).

마) 피해계수

피해계수의 I와 D(식 1-2 참고)는 각각의 독립된 실험으로 얻기 힘들므로 해충 밀도당 경제적 피해($I \times D$)로 나타내었다. 단위 해충 밀도에 의해 발생한 경제적 피해는 오이의 성장시기에 따라 진딧물의 초기 유입밀도별 피해분석 실험을 통해서 회귀식($y = a - bx$, x = 해충의 밀도, y = 오이 생산량)의 기울기(b)를 사용하였다. b 의 값은 영양생장시기에서 0.0058, 영양생식생장시기에서 0.0007로 나타났다.

바) 방제효율

방제효율은 농가의 경영방식, 재배환경, 살충제의 종류 등에 따라 달라질 수 있으므로 본 실험에서는 평균적인 수치인 $K = 0.9$ (90%방제효과)로 설정하였다.

2) 경제적 피해수준의 결정

진딧물에 의한 피해를 경제적 피해수준으로 전환하기 위해 앞서 먼저 진딧물의 밀도를 진딧물 밀도일로 변환하여 산출하였다. 진딧물 밀도일이 증가함에 따라 오이의 생산량은 유의하게 감소하였고, 이를 토대로 경제적 피해수준을 산출하였다. 정식 후

목화진딧물의 내성도는 SAS(PROC ANOVA; SAS Institute, 1999)을 이용해 Tukey의 표준화 범위 검정법으로 분석하였다. 또한 정식 후 목화진딧물의 누적 진딧물 밀도일/주와 생산량간의 회귀식에서 기울기를 구하여 누적 진딧물 밀도일/주 당 오이생산량의 감소율로 나타내어 경제적 피해수준 수식의 D로 사용하였다(Pedigo, 2002).

단위 해충 밀도에 의해 발생한 경제적 피해는 오이의 성장시기에 따라 진딧물의 초기 유입밀도별 피해분석 실험을 통해서 1차식($y = ax + b$, $x =$ 해충의 밀도, $y =$ 오이 생산량)의 기울기(a)를 사용하였다. 영양생장시기에서 경제적 피해는 상관식의 기울기인 0.0058, 영양생식성장시기에서 0.0007로 나타났다. 여기에서 실제 매개변수 D값을 산출하였다.

경제적 피해계수는 그림 1-18과 1-19의 추세 방정식의 기울기와 같은 값을 가지게 된다. 그러나 경제적 피해계수의 단위가 %형식으로 나타나므로 이를 중량단위로 전환하였다. 본 실험에서 무피해구의 생산량(대조구의 생산량)은 영양생장시기에서는 약 2,000(g/주), 영양생식성장시기에서는 약 1,300(g/주)이나 실제 오이의 경우 주당 평균 2,635g을 생산하므로(농촌진흥청, 1996) 실험값을 실제 생산된 생산량으로 전환할 필요가 있다. 기대생산량은 실제 전 기간동안 생산할 수 있는 총 생산량을 뜻하며 여기서는 2,635(g/주)로 설정하였고, D는 경제적 피해계수와 기대 생산량의 곱으로 나타내었다.

[영양생장시기]

$$D = \text{피해계수} \times \text{기대 생산량} = 0.0058/100(\%) \times 2635 = 0.1528(\text{g/밀도일}) \quad \text{-- (식 1-6)}$$

[영양생식성장시기]

$$D = \text{피해계수} \times \text{기대 생산량} = 0.0007/100(\%) \times 2635 = 0.0184(\text{g/밀도일}) \quad \text{-- (식 1-7)}$$

방제가는 현재 사용되고 있는 목화진딧물 농약의 평균 가격을 기준으로 하여 설정하였으며 이를 이용하여 경제적 피해수준을 설정하였다. 피해계수의 단위가 (g/밀도일)의 형태이나 실제 방제비용 동가수량의 단위는 (kg/10a)의 형태로 산출되므로 피해계수의 단위를 (kg/밀도일)의 형태로 전환하여 수식을 산출하였다.

[영양생장시기]

$$EIL(>1,800) = GT/DK = 10.907/(0.0001528 \times 0.9) = 79,312(\text{밀도일}/10a) \text{ -- (식 1-10)}$$

[영양생식생장시기]

$$EIL(>12,000) = GT/DK = 10.907/(0.000184 \times 0.9) = 658,635(\text{밀도일}/10a) \text{ -- (식 1-11)}$$

내성도의 단위가 (밀도일/주)의 형태이나 실제 산출한 값은 (밀도일/10a)의 형태로 나타났다. 보통 10a당 2,000주의 오이를 재식하므로 (밀도일/주)의 단위로 전환한 실제 경제적 피해수준은 다음과 같다.

[영양생장시기]

$$EIL = T+GT/DK = 1,800+(79,312/2,000) = 1840(\text{밀도일}/\text{주}) \text{ -- (식 1-10)}$$

[영양생식생장시기]

$$EIL = T+GT/DK = 12,000+(658,635/2000) = 12329(\text{밀도일}/\text{주}) \text{ -- (식 1-11)}$$

영양생장시기에서 목화진딧물의 오이에 대한 경제적 피해수준은 주(株)당 1,840 누적 진딧물 밀도일(CAD; Cumulative Aphid Days)이며 영양생식생장시기에서 목화진딧물의 오이에 대한 경제적 피해수준은 주당 12,329 진딧물 밀도일로 나타났다.

누적 진딧물 밀도일로 표현된 경제적 피해수준을 주당 진딧물 밀도로 환산하여 간이예찰법의 기준으로 활용할 수 있도록 하였다. 진딧물 가해일수와 진딧물 밀도간의 관계에서 실제 주당 경제적 피해수준에 해당하는 주당 목화진딧물의 밀도는 영양생장시기에서 431마리, 영양생식생장시기에서 2,109마리로 나타났다(그림 1-20).

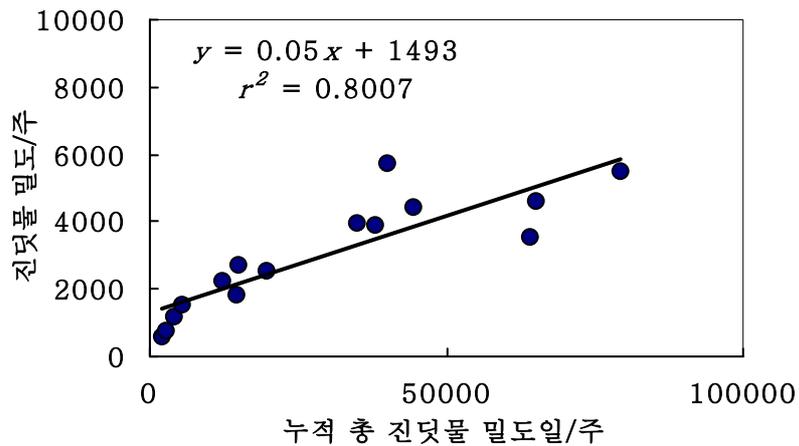
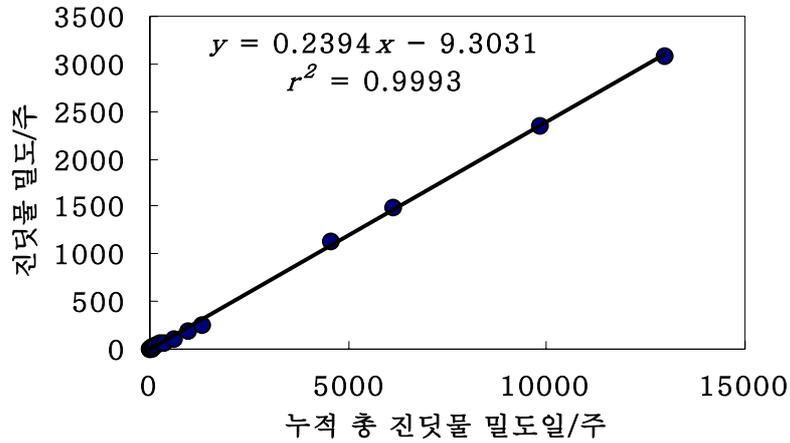


그림 1-20. 진딧물 밀도일과 진딧물 밀도의 관계(위: 영양생장시기, 아래: 영양생식생장시기)

경제적 피해수준은 각 포장의 상황에 따라 다르게 나타날 수 있다. 방제가와 과실 시장가는 농산물의 수급 특성상 변동이 심하므로 본 실험에서 설정한 기준과 다를 수 있다. 본 실험에서는 10a당 약제 160L-180L를 방제 적정수준으로 살포하였으나 많은

농가에서는 약제를 기준보다 많이 살포하는 경향이 있어 실제 피해가 발생하는 시점은 제시된 경제적 피해수준보다 조금 높은 수준에서 나타날 것이다. 또한 조사를 통해 예측한 목화진딧물 밀도와 실제 밀도간의 차이도 생길 수 있다. 본 실험에서 육안조사 시 영양생식성장시기의 경우 주당 50마리, 영양생장시기의 경우 20마리 정도의 오차가 각각 발생하였다. 이를 실제 경제적 피해수준에 도입하면 경제적 피해수준은 주당 약 430-450마리(영양생장), 주당 2110-2160마리(영양생식성장)수준으로 볼 수 있다. 이 값은 Lee & Lee(1996)가 제시한 목화진딧물의 경제적 피해수준인 주당 약 30 진딧물 밀도일(영양생장시기, 방제비 15,000원, 시장가 1250원의 경우)과 상당한 차이를 보였다. 그러나 경제적 피해수준에서 과실 손실률은 0.2-0.3%로, Lee & Lee의 경제적 피해수준에서 과실손실률(0.3%)과 유사하게 나타났다. 이는 목화진딧물의 가해에 대한 오이의 보상작용으로 인해 초기에 받은 피해가 많이 상쇄되었으나 경제적 피해수준을 결정하는 방제비용 동가수량은 크게 다르지 않음을 뜻한다. 실제 농가에서는 작물의 생육환경 및 재배기술 등과 여러 요인으로 인한 오이의 보상작용의 차이에 의해 피해수준의 차이가 발생할 것으로 예상된다.

3) 경제적 피해허용수준의 설정

가) Weinzierl(1987) 및 Pedigo(1989)의 방법

경제적 피해허용수준은 방제 행위가 취하여질 때의 해충의 수로, 요방제수준(Action Threshold, AT)라고도 한다. 경제적 피해허용수준은 경제적 피해수준보다 더 낮게 설정함으로써 이 수준의 방제효과가 시간적으로 늦게 나타나더라도, 해충 개체군이 이 수준에 도달하면서 경제적 손실이 생기기 것보다 더 이른 시간에 방제하는 것이 더 적절하다고 보는 것으로 다른 한 편으로 경제적 피해수준에 도달하기 전에 방제를 할 수 있는 시간을 가질 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 Weinzierl(1987) 및 Pedigo(1989)의 방법을 사용하여 경제적 피해허용수준을 설정하였다. 경제적 피해수준의 75% 수준에서 결정되며, 이는 해충마다 개체군 성장률이 다르기 때문에 각 해충의 개체군 성장률이 3-4 일내에 25%를 넘지 않는 해충에 적용할 수 있다.

(영양생장시기)

$$\text{경제적 피해허용수준} = 1,840 \times 0.75 = 1,380 (\text{밀도일/주}) \text{ ----- (식 1-12)}$$

(영양생식생장시기)

$$\text{경제적 피해허용수준} = 12,329 \times 0.75 = 9,247 (\text{밀도일/주}) \text{ ----- (식 1-13)}$$

이 때의 주당 경제적 피해허용수준은 영양생장시기에서 321마리, 영양생식생장시기에서 1,955마리로 산출하였다. 또한 간이에찰의 기준이 되는 하위 세번째와 여섯 번째 엽의 진딧물 밀도합은 평균적으로 주당 진딧물 밀도의 약 20% 수준에 달하므로(그림 1-32 참조) 3, 6엽 밀도합은 영양생장시기에서 64.2마리, 영양생식생장시기에서 391마리로 산출하였다. 경제적 피해허용수준은 경제적 피해수준이 달라짐에 따라 변동하는 수치이다. 경제적 피해수준이 오이 가격과 방제비용의 영향을 받으므로 오이 가격과 방제비용의 변동에 따른 경제적 피해허용수준은 표 1-4와 같다.

표 1-4 오이 가격 및 방제비용, 방제효율에 따른 경제적 피해허용수준(마리/*엽)

방제비용 (원/10a)	생육시기	오이 시장가(원/kg)							
		1000		1200		1400		1600	
		k=0.9	k=0.7	k=0.9	k=0.7	k=0.9	k=0.7	k=0.9	k=0.7
10000	영양생장	86.1	86.6	85.7	86.2	85.6	85.9	85.4	85.7
	영양생식생장	421.6	422.5	421.1	421.8	420.8	421.4	420.5	421.0
20000	영양생장	87.8	88.8	87.2	88.1	86.8	87.2	86.5	87.1
	영양생식생장	424.6	425.1	423.6	425.1	422.9	424.1	422.4	423.5
30000	영양생장	89.5	91.0	88.7	89.9	88.1	89.1	87.6	88.5
	영양생식생장	427.8	428.3	426.1	428.3	425.1	426.9	424.3	425.9
40000	영양생장	91.3	93.3	90.1	91.8	89.3	90.7	88.7	89.9
	영양생식생장	430.7	431.5	428.7	431.5	427.2	429.7	426.1	428.3

* 엽당 피해허용수준 = 하위 세 번째 엽과 여섯 번째 엽의 밀도 합계

나) 피해율별 요방제수준 설정

경제적 피해허용수준(ET; Economic Threshold)은 해충의 밀도가 경제적 피해수준에 도달하지 않도록 방제가 필요한 해충밀도수준을 말하며 일반적으로 과실(작물)가와 방제가를 포함한 수식으로 표현되나 이 수치는 재배자가 원하는 수준의 값이 아닌 경우가 있다. 즉 재배자에 따라 경제적 피해수준 개념을 고려치 않고 방제를 실시하기를 원하는 경우도 있고 어느 정도의 피해를 감수하더라도 방제시기를 늦추기를 원하는 경우도 있을 수 있기 때문이다. 앞서 제시한 경제적 피해수준은 수식에 의해 산출된 값이며 작물생산피해율(손실률)에 따른 주내, 엽내 요방제수준은 표 1-5와 같다.

표 1-5 피해율별 요방제수준

피해율/생육시기		누적 진딧물 밀도일	주당 요방제수준	엽*당 요방제수준
0%	생장	<1,350	<314	<62
	생식	<9,000	<1,943	<388
1%	생장	1,500	350	70
	생식	11,625	2,074	415
3%	생장	1,744	408	82
	생식	14,175	2,202	440
5%	생장	2,063	485	97
	생식	16,650	2,326	465

* 엽당 요방제수준 = 하위 세 번째 엽과 여섯 번째 엽의 밀도 합계

재배자가 오이생산손실을 1% 수준까지 허용한다면 요방제수준은 영양생장 시기의 경우 하위 3엽과 6엽의 진딧물 밀도 합이 70마리 수준일 때이다. 또한 영양생식생장시기의 오이에서 피해를 5% 수준에서 허용한다면 요방제수준은 하위 3엽과 6엽의 진딧물 밀도 합이 465마리일 때이다.

본 실험의 결과 오이의 해충인 목화진딧물에 대한 적절한 경제적 피해허용 수준은 영양생장시기에서 세 번째 엽과 여섯 번째 엽의 진딧물 밀도합이 65마리, 영양생식생장시기에서 3, 6엽 진딧물 밀도합이 392마리일 때로 나타났다. 농가에 따라 방제를 준비하는데 소요되는 시간이 길다면 제시된 수준 이전에서 방제를 결정하여야 하며 방제에 소요되는 시간이 짧다면 제시된 수준 이후에서 방제를 결정하는 것이 좋다. 제시된 목화진딧물의 경제적 피해수준은 진딧물 방제가와 진딧물로 인한 피해가가 동일한 수준을 의미한다. 그러나 단위 면적에서 방제가에 비해 오이의 생산가가 훨씬 크게 나타나므로 경제적 피해수준은 비교적 낮은 진딧물 밀도 수준에서 결정된다. Lee & Lee(1996)에 따르면 영양생장시기(4-5엽기)에 침입한 진딧물은 주당 30 진딧물 밀도일을 형성할 때 경제적 피해가 발생한다(본 실험과 동일한 방제비용 동가수량일 경우). 그러나 내성도의 개념을 사용하여 재분석 한 결과 경제적 피해수준은 이 경우 약 1320밀도일 수준에서 결정되었다. 이 수준은 본 실험의 영양생장시기 경제적 피해수준(1380밀도일)과도 유사하게 나타났다.

경제적 피해허용수준에 도달하였을 때 방제를 실시하는 것이 가장 이상적이거나 농가 상황에 따라 요방제수준은 달라질 수도 있다. 진딧물에 의한 피해가 없도록 하려면 요방제수준은 3, 6엽 진딧물 밀도합이 62마리(영양생장시기), 388마리(영양생식생장시기) 이전에 결정하여야 하며 진딧물에 의한 피해를 5%수준까지 용인하는 경우 요방제수준은 97마리(영양생장시기), 465마리(영양생식생장시기)에서 결정되어야 한다.

1-2. 오이에서의 목화진딧물 간이에찰법 개발

국내 시설오이 재배농가에서 많이 이루어지고 있는 재배작형은 유묘시기부터 생육중기까지 온도가 낮고 해가 짧은 조건하에서 가온을 해서 이루어지는 축성재배와 축성재배가 끝난 후에 이어 이뤄지는 반축성재배가 주류이다. 시설 내 관리방식은 주지형 횡유인 방식으로 이는 초기에는 오이에 줄을 내려 유인을 하다가 오이가 성장함에 따라 줄기를 내리면서 옆으로 이동시키는 재배방법이다. 이런 재배방식을 이용하는 대부분의 시설에서 영양생식생장기 이상으로 자란 오이의 경우 주내의 총 엽수는 평균 18-20엽 정도로 유지되는데 이는 하위의 노화된 엽들을 일정한 시간간격으로 제거하기 때문에 수확이 마무리되는 시기까지 일정한 높이(1.4-1.7m)로 유지된다. 이러한 재배 특성으로 인하여 시설 오이포장에 발생하는 목화진딧물의 밀도 조사법을 개발하기 위해서는 우선 목화진딧물들의 발생동태, 시설 내 위치별 발생패턴, 주내(株內) 수직분포 및 주간(株間) 공간분포 등을 구명하고 이에 따른 합리적이고 경제적인 간이에찰 방법을 개발하는 것이 방제의사결정(decision making)을 내리는데 중요하다.

가. 목화진딧물의 개체군동태 및 오이 주내 및 주간 공간분포

1) 재료 및 방법

가) 조사 포장 및 조사 방법

목화진딧물 간이에찰법 개발을 위한 목화진딧물 발생조사는 2001년부터 2003년까지 경기도 농업기술원 비닐하우스, 서울대 농생대 부속농장 유리온실 및 평택의 시설농가 비닐하우스에서 수행하였으며 실험포장, 조사기간, 오이 품종 등 실험포장 개요는 표 1-6 및 그림 1-21과 같다. 경기도 농업기술원 비닐하우스온실(5.5 × 30m)에서는 오이를 주지형유인 하우스 억제재배방식으로 재배하였다. 이랑의 폭은 1.5-1.7m, 고랑은 0.4-0.6m, 이랑의 길이는 20m였으며, 재식거리는 0.3m로 양쪽 창가 이랑에는 외줄로 50주씩 가운데 이랑에는 2줄로 100주씩 각각 재배하였다. 오이가 영양생장 시기

인 10엽기가 되었을 때 온실 내에서 약 0.8 m 간격으로 양쪽 통로에서 각각 25주씩 총 50주의 오이를 선택하여 주내 엽순별(그림 1-22)로 목화진딧물을 영기별로 육안 전수 조사 하였다. 온실 내 밀도 조사는 자연 발생한 목화진딧물을 대상으로 하였으며 조사는 8월 21일, 28일 그리고 9월 5일 모두 세 번에 걸쳐 실시하였다. 실험기간 동안에 농약은 살포하지 않았고 조사기간 동안 오이의 주내에서 하위엽은 제거하지 않아 마지막 조사시기에는 대부분의 오이주내에 엽수가 20-25 수준까지 성장하였다.

표 8-6 조사포장 개요

조사 포장	조사기간	면적	정식 주수	품종	기타
경기도 농업기술원 비닐하우스온실	2001년 8월-9월	약 50 평	200	청장계	단동 비닐하우스
서울대 농생대 유리온실	2001년 11월 2002년 3월 - 4월	약 20평	50	반백계	유리온실
평택 시설농가	2002년 5월 - 6월 2003년 3월 - 6월	1,000 평	6,000	반백계	연동식

서울대 농생대 부속농장 유리온실에서는 하우스 축성재배방식으로 오이를 재배하였다. 3-5엽기의 오이를 포트(30 × 30cm)에 모두 50주 정식하여 주지형유인방식으로 재배하였다. 오이가 10엽기까지 성장하였을 때 오이 주내 하위 2-3엽에 목화진딧물 성충들을 밀도별(대조구, 3마리/주, 9마리/주, 15마리/주, 21마리/주, 27마리/주)로 접종하였으며 각 처리별로 5반복하였다. 오이가 15엽기가 되었을 때 1주일 간격으로 주내 엽순별로 목화진딧물의 밀도를 육안 전수조사 하였다. 실험기간 동안 농약은 살포하지 않았고 하위엽은 제거하지 않았다.



그림 1-21. 조사 포장(순서대로 경기도 농업기술원 비닐하우스온실, 평택시 진위면 관행방제 농가 비닐하우스)

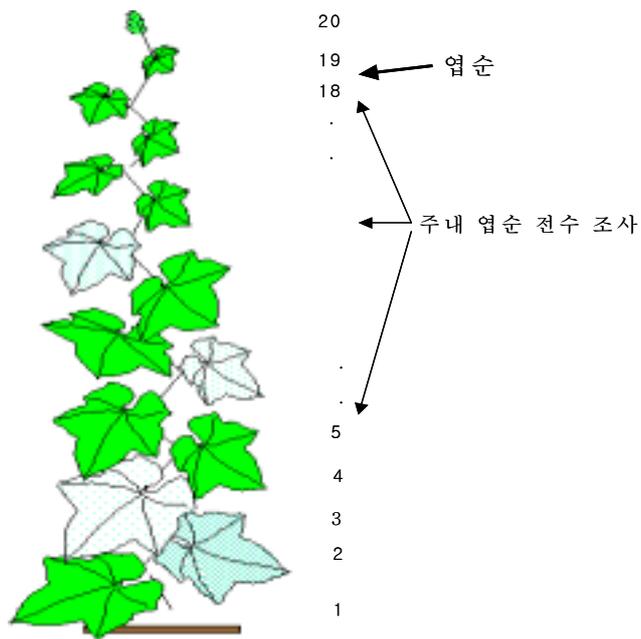


그림 1-22. 오이 주내 엽들의 수직분포 패턴

일반 농가 포장은 경기도 평택에 있는 연동 비닐하우스(60 × 70m)를 선정하여 목화진딧물의 주내(株內), 주간(株間) 발생분포를 조사하였다. 재배방식은 반촉성 재배로 주지형 황유인 방식이었고 이랑은 1.5-1.7m, 고랑은 0.4-0.6m, 재식거리는 0.3m로 한 이랑에 2줄 재배하였다. 농약은 관행방제에 준하여 농가에서 살포하였는데 2002, 2003년 모두 같은 이미다졸린계 약제를 사용하였다. 농약살포는 2002년에는 5월 5일과 30일, 2003년에는 3월 25일과 4월 25일 각각 두 차례 이루어졌다. 목화진딧물 밀도 조사는 1주일 간격으로 실시하였는데 2002, 2003년 모두 하우스 내에서 일정한 간격(8-10m)으로 황색점착트랩 (12.5×7.5cm, 양면형)을 30개 설치하여(그림 1-23, 1-24) 트랩조사를 하였다. 또한 매 조사시기마다 트랩주위 2m 범위 내에서 오이거주를 임의로 1주씩 선별하여 각 엽순별로 목화진딧물의 밀도를 영기별로 육안 전수조사 하였다.

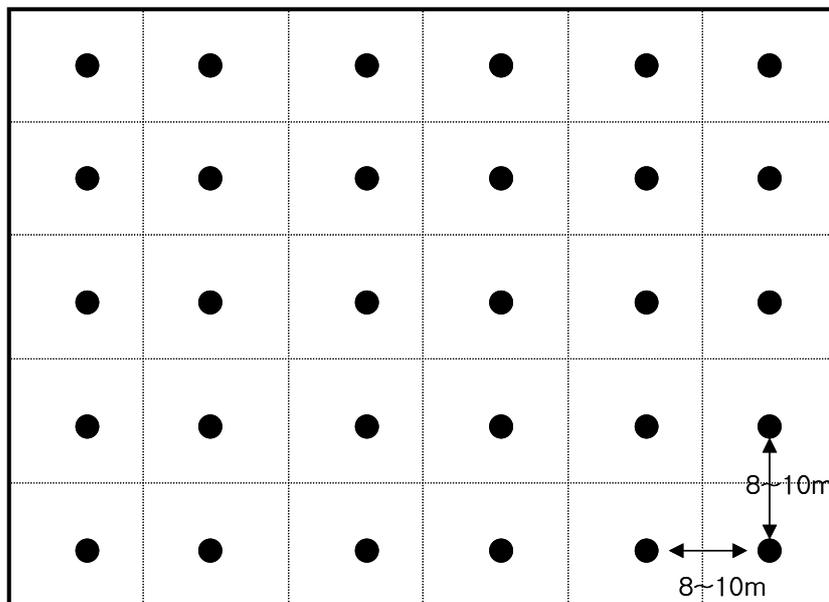


그림 1-23. 오이 포장 내 목화진딧물 밀도 조사 위치(경기 평택 농가, 2002-2003년)



그림 1-24. 평택 농가 포장 및 황색점착트랩(2002년, 평택 농가포장)

2002년에는 5월 1일부터 6월 13일까지 목화진딧물의 밀도 조사를 수행하였다. 황색점착트랩은 1주일 간격으로 수거·교체하였고 실험실 내로 가져와 트랩에 잡힌 목화진딧물 유시 성충 밀도를 조사하였다. 2003년에는 3월 27일부터 5월 1일까지 조사를 수행하였다. 2003년에는 육안 전수조사 시 격자(grid)(그림 1-25)를 이용한 엽내 밀도 조사를 병행하였다.

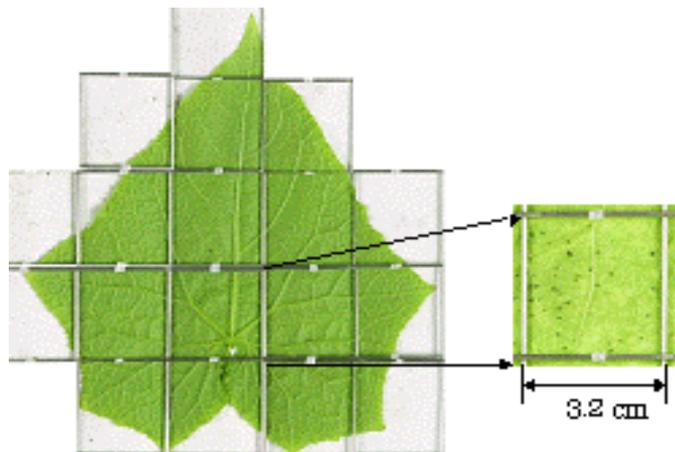


그림 1-25. 격자(grid)를 이용한 오이 엽내 밀도 조사

나) 공간분포 분석

(1) 주내분포

목화진딧물의 주(株)내 분포는 경기도 농업기술원 비닐하우스온실, 서울대 농생대 부속농장 유리온실 및 평택의 시설농가 비닐하우스에서 수행한 밀도조사 자료를 이용하여 분석하였다.

(2) 주간분포

목화진딧물의 포장내 공간분포는 2002-2003년 평택의 시설농가 비닐하우스에서의 밀도조사 자료를 이용하여 분석하였다. 목화진딧물의 포장내 공간적 발생 관계는 포장내 오이 주(株)간 목화진딧물 발생밀도의 평균과 분산간의 관계를 Taylor's power law(TPL)와 Iwao's patchiness regression(IPR)을 이용하여 분석하였다. 따라서 평균과 분산은, $\ln(s^2) = \ln(a) + b \ln(m)$ 의 관계가 있다 ($b > 1$: 집중분포, $b = 1$: 임의분포, $b < 1$: 균일분포) (Taylor, 1961). Taylor모형에 따르면 해충 밀도 평균과 분산의 로그변환 값들은 직선적인 관계가 있으며 기울기 b 는 개체군의 집중 정도를 나타낸다. IPR은 표본단위에 대한 평균(m)과 평균 밀집도(m^* : mean crowding index)와의 관계식으로 $m^* = a + \beta m$ 이다. Iwao의 모형에 의하면 해충 밀도의 평균과 Lloyd의 평균 밀집도는 $m^* = m + s^2/m - 1$ 의 관계가 있다(Iwao, 1968). 기울기 β 는 TPL의 b 와 같이 해석된다. 평균과 회귀계수의 추정은 SAS(SAS Institute, 2004)의 일반 직선회귀 모형(PROC REG)을 사용하였으며, 각 직선 모형의 적합성 검정은 r^2 값을 이용하였다.

2) 결과

가) 개체군 동태

그림 1-26은 경기도 평택 관행방제 농가 오이포장에서의 목화진딧물 개체군의 경시적 변동이다. 2002년의 경우 주(株)당 평균밀도가 최대 4,000-6,000마리에 달하여 아주 높은 밀도를 보였다. 2003년의 경우 목화진딧물의 밀도는 낮게 발생하였다. 2002년에는 이미다졸린계 살충제를 5월 5일과 5월 30일 두 차례 살포하였으나 목화진딧물의 후기 발생은 억제되지 않았다. 목화진딧물 유시성충들은 기주 중·상위에 많이 발생하였다.

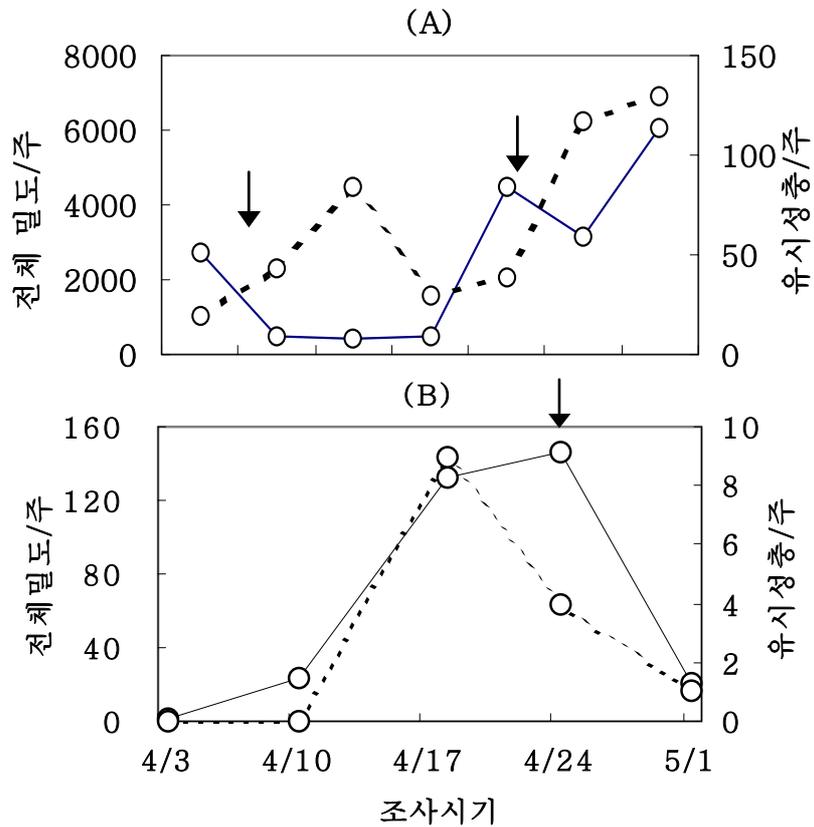


그림 1-26. 포장 내에서 조사시기별 목화진딧물 평균 발생 밀도 변동(A: 2002년 평택 농가 포장, B: 2003년 평택 농가 포장, 실선: 목화진딧물 전체밀도, 점선: 유시성충)

나) 점착트랩에 잡힌 목화진딧물 유시성충 수와 주당 목화진딧물 수와의 관계

2002년 평택 오이재배 비닐하우스의 황색점착트랩에 잡힌 목화진딧물 유시성충수와 오이 주당 총 목화진딧물 수 및 유시성충 수 사이의 상관관계를 구하였다 (표 1-7). 육안조사와 같은 시기에 황색점착트랩에서 잡힌 유시성충 밀도와 주내 유시

충 밀도와의 피어슨 상관계수 값 (r)은 0.71($p < 0.001$)로 어느 정도 두 변수 간에 높은 상관성을 나타냈다. 그리고, 황색점착트랩에서 잡힌 유시성충 밀도와 1주일 전에 육안 조사 한 주내 유시성충과의 상관계수 또한 0.65($p < 0.001$)로 어느 정도 상관관계를 보였다(PROC CORR, SAS Institute, 1999). 그러나, 트랩의 유시성충과 주내 전체 목화진딧물밀도와의 관계는 발생시기에 관계없이 상관계수가 각각 0.37, 0.53으로 모두 낮은 상관을 나타내어 트랩에 잡힌 유시성충의 수를 이용하여 주내 발생 수를 정량적으로 예측하는 것은 다소 어려울 것으로 사료된다(그림 1-27). 다만 목화진딧물이 온실 공간 내에서 초기 발생 예측이나 외부로부터의 유입하는 것을 트랩에 잡힌 유시성충의 수를 이용하여 예측하는 것은 가능할 것으로 보인다.

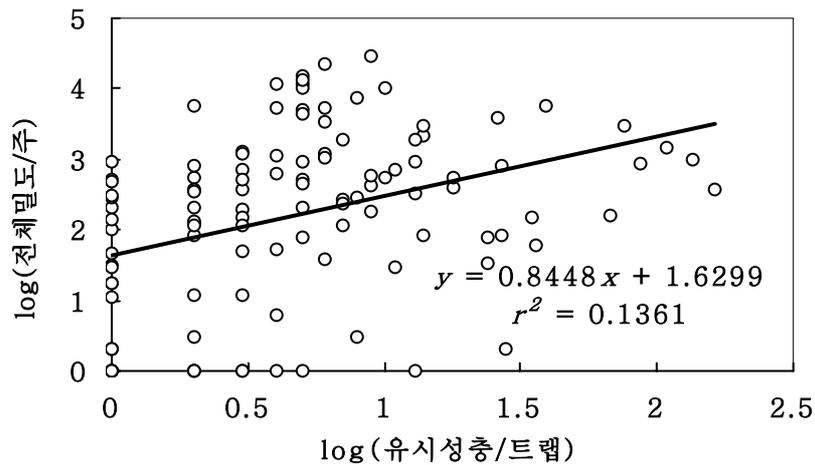


그림 1-27. 점착트랩에 잡힌 유시성충과 주당 목화진딧물 전체 밀도와의 관계(2002년, 평택 농가 포장)

표 1-7. 점착트랩에 잡힌 유시성충과 주당 목화진딧물 밀도와의 상관관계 (2002년, 평택 농가 포장)

트랩조사와 육안조사 시기의 차이	표본수	상관계수(r)	
		주내 전체 밀도	주내 유시충 밀도
밀도 조사와 동일 시기	114	0.37	0.71
밀도 조사 1주일 전	96	0.53	0.65

다) 오이 주당 목화진딧물 성충 수와 주당 전체 목화진딧물 수와의 관계

그림 1-28는 각 조사실험(경기도 농업기술원, 서울대 농생대 유리온실, 평택 농가 비닐하우스)별 오이 주당 목화진딧물 성충 수와 목화진딧물 전체 밀도와의 회귀관계를 나타낸 것이다. 전반적으로 목화진딧물들이 낮은 밀도로 발생한 경우 주당 성충 밀도와 전체 밀도 간에 상관관계가 높았다($r = 0.894-0.964$). 각 조사 장소에 따라 발생하는 주당 성충 수와 주당 전체 목화진딧물 수의 관계들의 동질성 여부를 알아보기 위해 공분산 분석을 실시하였다. 실험온실 두 군데 자료와 농가 포장 자료간의 상호작용은 $p=0.0005$ 로 고도로 유의하여 각 조사장소별 자료들의 동질성이 인정되지 않아 자료들을 통합하여 분석을 수행하기에는 적절치 않았지만 밀도가 저밀도 수준으로 형성되었던 실험온실 두 군데 자료만을 가지고 자료의 동질성을 분석한 결과 어느정도 동질성이 인정되어 목화진딧물 밀도가 낮은 수준으로 발생한 초기 상황에서는 주내 성충 밀도 수를 조사하여 주내 목화진딧물 전체 발생 밀도 예측이 가능하리라 분석되며 주내 전체밀도는 성충 수의 9.7배 정도였다(그림 1-29). 그러나 회귀식에서 보듯이 성충과 전체 밀도의 비율이 각 실험간 차이가 커서(4.9-10배) 모든 밀도 수준에서 주당 성충의 수를 이용하여 주당 전체 목화진딧물 수를 예측하는 일관된 관계식을 얻는 것은 어려운 것으로 판단된다. 목화진딧물성충이 전체 발생밀도 중에 차지하는 비율은 오이 생육기간 및 장소, 환경요인에 따라 차이가 발생하는 것으로 여겨진다. 특히 관행약

제 살포구와 무방제구에서의 목화진딧물 개체군의 연령구조는 상당히 다를 것이다. 실제로 2002-2003년 평택 농가 포장의 경우, 살충제 살포 후에는 주내 목화진딧물의 평균밀도는 감소하였지만 주내 유시성충의 밀도가 급격히 증가하였고 이들 대부분이 주내 상위로 이동하였다. 이와 같이 목화진딧물 개체군 연령구조는 살충제 살포와 같은 재배환경 조건의 영향을 크게 받는 것으로 추정된다. 따라서 유시성충이나 무시성충 목화진딧물 발생 밀도에 의한 총 목화진딧물 밀도의 추정은 진딧물 발생 초기 비교적 안정된 시설 환경 조건에서 제한적으로 적용이 가능할 수 있을 것으로 사료된다.

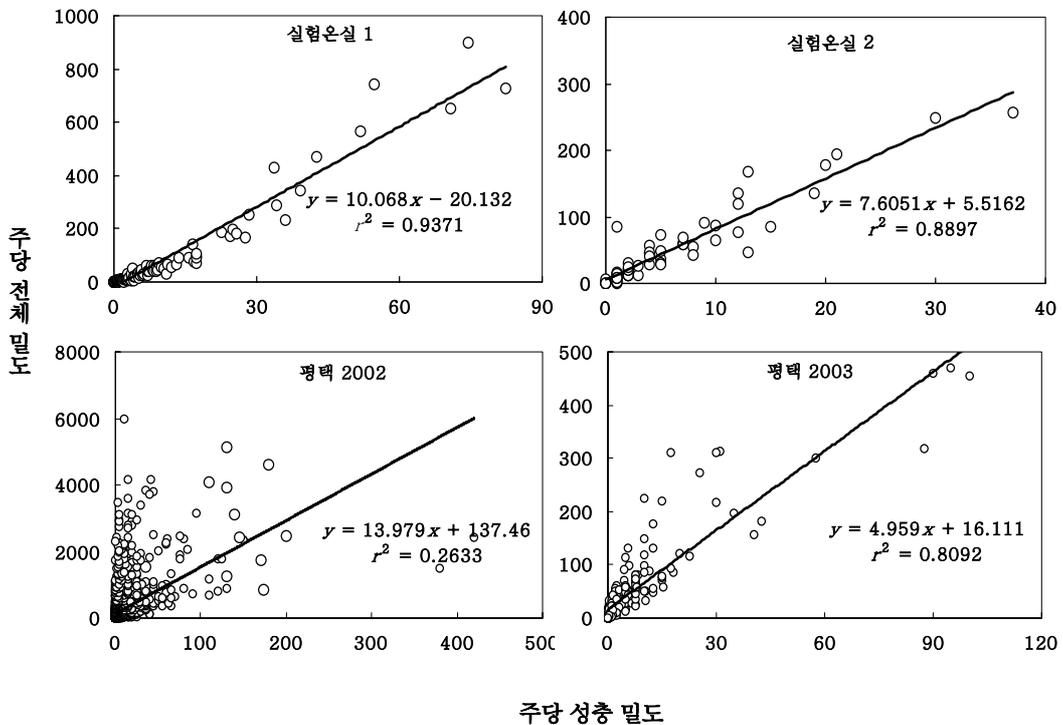


그림 1-28. 조사시기 및 장소별 주당 목화진딧물 성충과 전체밀도 사이의 회귀관계 (실험온실 1, 2 : 서울대 농생대 실험온실, 평택 2002, 평택 2003: 평택 농가 포장)

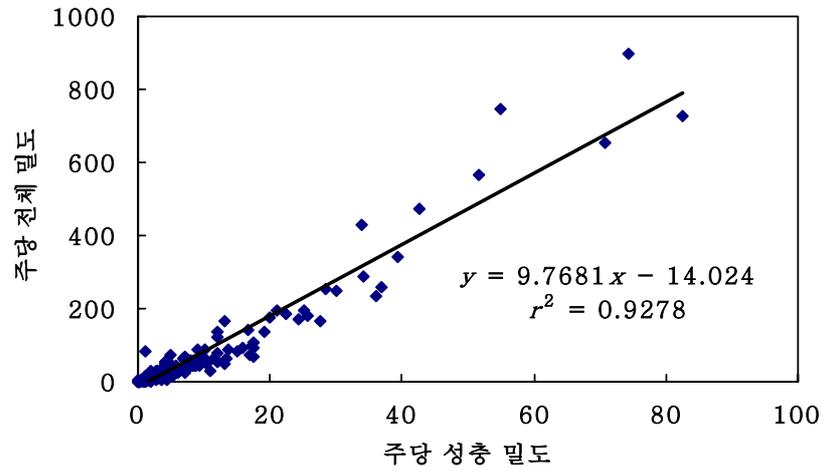


그림 1-29. 저밀도 수준에서 목화진딧물 주내 성충수와 주내 전체 밀도 수와의 관계(실험온실 1과 실험온실 2자료 통합)

라) 공간분포

(1) 주내 분포

그림 1-30은 경기도 농업기술원 오이 비닐하우스에서의 목화진딧물의 오이 주내 수직분포패턴의 경시적 변동이다. 초기에는 목화진딧물 평균 밀도는 낮았지만 오이주내 하위엽에서 대부분의 밀도가 형성되었으며 시간이 흐름에 따라 밀도가 증가하였고 하위 엽에서 주내 중·하위로 이동하여 밀도를 주로 형성하는 패턴을 보였다.

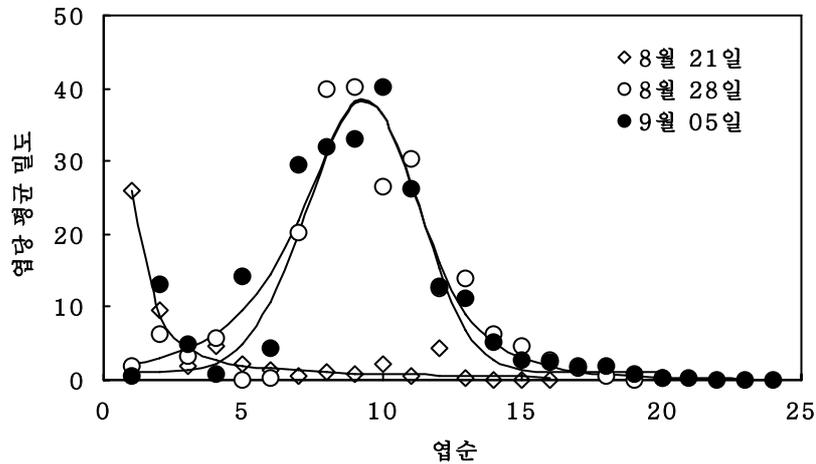


그림 1-30. 목화진딧물의 오이 주내 수직분포 패턴(경기도 농업기술원 비닐하우스, 2001)

그림 1-31은 서울대 농생대 부속농장 실험온실에서 목화진딧물의 하위 2-3엽에 초기 접종밀도를 달리하여 목화진딧물 성충을 접종한 후 7주 동안의 진딧물의 주내분포패턴의 경시적 변동이다. 각 처리마다 정도의 차이는 있었지만 목화진딧물은 밀도가 증가함에 따라서 처음 목화진딧물들이 접종된 위치인 기주 하부에서 점차로 증가하기 시작하였다. 오이주내 엽수가 증가하고 성장함에 따라 목화진딧물의 밀도가 주내 하위에서 위쪽으로 이동하면서 중위엽 부분에서 높게 형성되는 일관된 발생패턴을 보였다. 이 결과는 앞서 경기도 농업기술원 온실에서 조사한 목화진딧물의 주내 수직분포 패턴(그림 1-30)과 같은 양상을 보이는 것이다. 이것은 목화진딧물들이 활력이 왕성한 오이 엽으로 집중하는 것을 의미한다. 즉 오이의 성장 패턴에 맞추어서 목화진딧물들도 오이 주내에서 활력이 다한 하위엽들에서 중위엽으로 이동하는 것으로 분석된다.

대부분의 오이 재배농가에서는 지주형 횡유인방식으로 재배하며 상위에서부터 밑으로 약 18-20엽을 기준으로 그 이하의 잎은 활력이 다하여 시들어 버리기 때문에 제거하거나 지제부에 쌓이게 된다. 즉 실제 대부분 농가에서는 오이주내 엽수가 18-20엽 전후로 오이 줄기 재배 높이가 1.4-1.7m 수준으로 일정하게 유지된다. 따라서

실제 재배 농가 오이포장의 경우 목화진딧물 주내 밀도의 대부분이 주내 하위엽에 분포한 상태로 유지될 것이다.

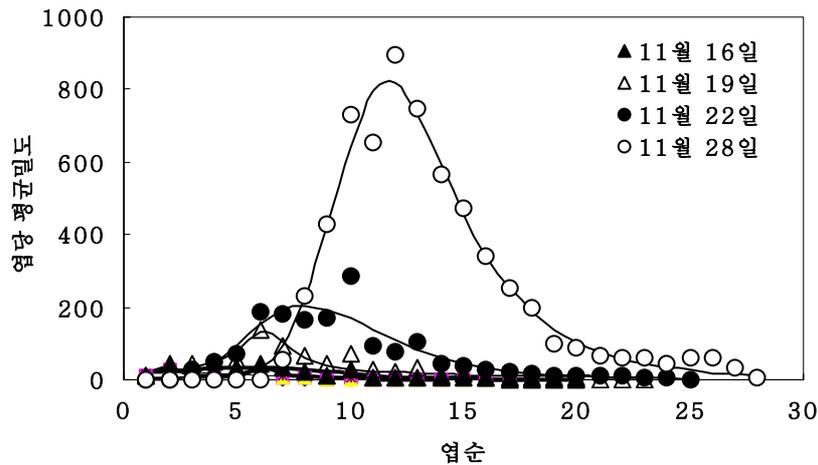


그림 1-31. 목화진딧물의 오이주내 수직분포의 경시적 변동(서울대 농생대 부속농장 유리온실, 2001)

그림 1-32는 2002-2003년 평택 농가 오이 비닐하우스에서 조사한 목화진딧물 발생 수를 엽순위별로 평균을 계산하여 구한 주내 수직분포이다. 평균적으로 하위 1-7엽 사이의 목화진딧물 밀도가 전체 밀도의 70%, 중위 8-12엽 사이의 밀도가 20%, 상위 13엽 이상에서 10%를 구성하였고 특히 초기발생밀도 수준에서는 대부분의 목화진딧물들이 주내 하위엽에 분포하였다. 이와 같이 일반 농가에서의 오이 재배 경우 노화된 하위 엽은 주기적으로 제거를 해주며 지주형 횡유인 방식으로 오이를 일정 높이로 재배하기 때문에 하위엽이 항상 활력이 좋은 상태로 유지되어 오이 주내 목화진딧물 수직분포패턴은 그림 1-32과 같이 나타난다고 분석된다.

일반적으로 기주 내 진딧물들은 발생 초기 낮은 밀도 수준에서 잘 분산하지 않고 집중분포하는 특성을 보이고, 특히 주내 수직분포에서는 상위엽보다는 하위엽을 더 선호하는 것으로 알려져 있다(Van Emden, 1971). 진딧물이 오이주내 하위엽을

선호하는 이유는 진딧물들이 기주내 충분히 성장한 노화된 엽을 더 선호하기 때문으로 알려져 있는데(Jansson et al., 1985) 이는 엽내 질소 농도와 상관성이 높은 것으로 보인다. 실제로 오이 주내에서 하위엽은 질소 밀도가 다른 부위의 엽보다 높은 것으로 알려졌다. 그러므로 오이주내에서 목화진딧물의 발생 밀도 수준을 알아보기 위한 효율적인 표본조사를 위해서는 주내 대부분 목화진딧물들이 분포하는 하위엽을 주 조사부분으로 하여 가중치를 높게 두고 상대적으로 발생 확률이 낮은 중위엽과 매우 낮은 상위엽 부분으로 설정하여 밀도조사를 실시하는 것이 합리적이라 생각된다. 그런 다음 각 조사 방법별 표본조사 효율성을 비교하여 가장 경제적인 표본조사법을 선택하는 것이 합리적인 표본조사방법이라고 사료된다.

따라서 주내 발생 밀도 조사를 위한 효율적인 표본조사법 개발을 위해서는 오이주내 밀도 수준별로 3개의 계층(하위 1-7엽까지를 하위층, 하위 7-12엽까지를 중위층 13엽 이상을 상위층; 그림 1-32)으로 구분하여 표본추출분석을 할 필요가 있다.

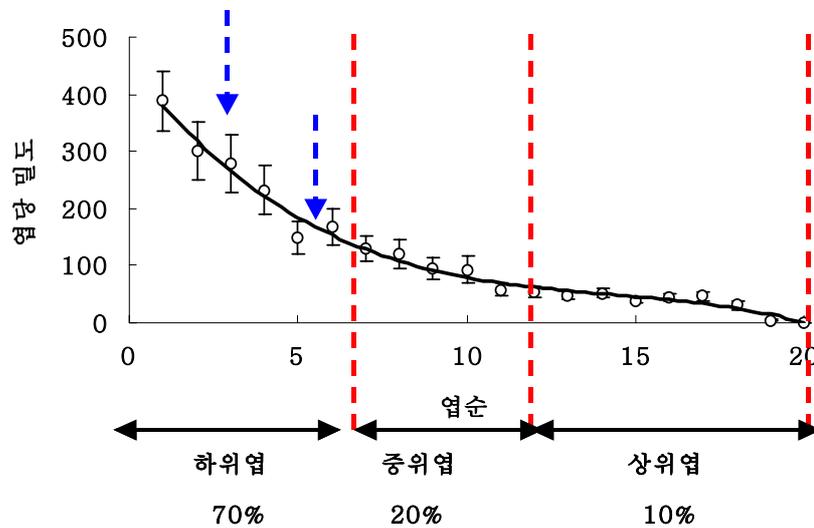


그림 1-32. 오이 주내 엽순별 엽당 평균밀도(±SE) 수준 (2002-2003년, 평택 농가 온실 포장)

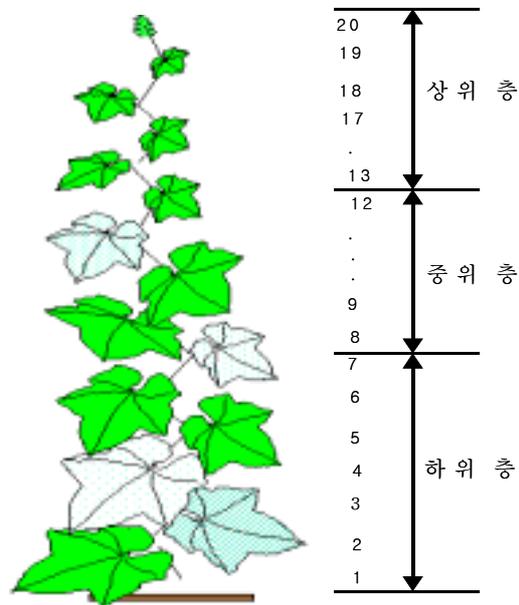


그림 1-33. 오이 엽부위 3계층

(2) 주간(株間) 분포

오이 재배 포장에서의 목화진딧물 밀도 추정을 위한 표본 조사법 개발을 위해서는 먼저 포장 내 목화진딧물의 공간분포를 알아야 한다. 이를 위해서 목화진딧물의 주(株)당 평균과 분산간의 관계를 Iwao 모형과 Taylor 지수법칙을 이용하여 분석하였다. 2002년과 2003년 모두 Iwao 모형보다($r^2 = 0.48-0.70$) Taylor 모형의 적합성이 높았다($r^2 = 0.92-0.96$) (표 1-8). 공간분포양식을 결정하는 Taylor 모형의 기울기 b값을 t-test한 결과 모두 b값이 1보다 유의하게 커서, 목화진딧물은 포장 내에서 집중 분포하는 것으로 나타났다.

표 1-8. 목화진딧물의 TPL과 IPR 분석에 의한 공간분포 패턴 분석 결과
(2002-2003년, 평택)

조사시기	Iwao's patchiness regression			Taylor's power law			주당 평균밀도
	$a \pm \text{SEM}$	$b \pm \text{SEM}$	r^2	$\ln a \pm \text{SEM}$	$b \pm \text{SEM}$	r^2	
2002	2092±2708	2.11±0.89	0.48	3.63±1.44	1.63±0.20	0.92	198-6053
2003	143.1±452.7	13.32±4.96	0.70	2.73±0.67	1.97±0.17	0.96	3-146
통합 ¹	1646±1360	2.37±0.57	0.61	3.78±0.55	1.63±0.09	0.97	3-6053

¹ 2002년, 2003년 평택 밀도 자료 통합

표 1-9는 포장 내에서 목화진딧물의 오이 주(株)당 밀도와 주(株)내 엽당 밀도의 변이 분석 결과이다. 모든 시기에서 주간(between plants) 주당 평균밀도의 변이가 주내(within plant) 엽당 밀도의 변이보다 컸다. 즉, 목화진딧물은 주내보다 주간 집중분포가 높고 변이가 높은 특성을 보였다. 따라서 짧은 시간 내에 신속하게 이루어져야 하는 간이예찰법개발에 있어서 오차를 줄일 수 있는 방법은 밀도 조사시 제한된 시간 내에 조사 가능한 오이 식물체 수(株)를 늘리고 주내 조사 엽(葉)수를 줄이는 것이 더 효과적인 밀도 조사방법이 될 것이다.

표 1-9. 목화진딧물의 오이 엽당 밀도 및 주당 밀도의 변이(2002-2003년, 평택 농가 포장)

조사시기	표본 수(주)	밀도/주	주간변이	표본 수(엽)	밀도/엽	주내변이
2002-05-01	18	2,757	4.8E+07	340	147.1	2.4E+05
2002-05-08	18	580	1.9E+06	342	30.5	3.3E+04
2002-05-15	30	249	2.0E+05	581	12.9	4.6E+03
2002-05-22	30	461	4.4E+05	555	25	2.8E+03
2002-05-29	30	4,342	3.2E+07	560	231.8	2.4E+05
2002-06-06	30	3,175	1.1E+07	536	182	3.4E+05
2002-06-13	30	6,053	3.6E+07	503	365	4.1E+05
2003-04-03	30	3.3	2.2E+02	600	0.16	6.8
2003-04-10	30	23	1.5E+04	600	1.16	72.9
2003-04-18	30	139	3.8E+05	600	6.96	1.7E+03
2003-04-24	30	146	1.6E+05	600	6.94	1.0E+03
2003-05-01	30	20	5.5E+03	600	0.92	72.0

나. 주당 진딧물 밀도를 대표할 수 있는 주내 표본단위 설정과 표본추출법 및 효율성 검토

오이 주(株)당 목화진딧물 수를 추정하는 데 있어서 황색점착트랩 이용은 정확성이 너무 떨어져 사용하기 어렵다는 것은 앞에서 설명한 바 있다. 다만 점착트랩을 이용하는 방법은 목화진딧물의 경우 초기 발생을 예찰하는 데 유용할 것으로 판단된다. 주당 유시성충 수를 이용해서 주당 총진딧물 수를 추정하는 것은 농약살포와 같은 간섭이 적고 안정된 재배 환경에서 진딧물 발생 밀도가 적을 경우 어느 정도 이용

가능성이 있을 것으로 판단되나 매우 제한적으로 쓰일 수밖에 없으며 이를 위한 관계식은 앞에서 제시한 바 있다(1-1절 참조). 따라서 대부분의 경우 오이에서의 목화진딧물 예찰은 육안조사를 하는 것이 가장 이상적인 방법이라고 판단된다.

그러나 각 오이 주내 모든 엽들을 전수 조사하는 것은 현실적으로 많은 시간과 노력이 소요되어 간이에찰법으로서 활용될 수 없다. 그러므로 육안 밀도조사를 실시할 때 주당 진딧물 수 추정의 정확도는 높고 간편하고 빠르게 조사할 수 있는 간이에찰방법을 제시하는 것이 매우 중요하다. 따라서 효율적인 주내 표본추출법을 설정하기 위하여 주내 목화진딧물 전수 조사 자료를 이용하여 각각 표본선택을 달리한 표본추출법의 효율성과 정확도를 비교 검토하였다.

1) 잎을 기본 조사단위로 한 경제적인 주내 표본추출법 설정 및 효율성 검토

목화진딧물의 주내 수직분포는 집중분포 정도가 매우 높아(그림 1-32), 하위 1-7엽 사이의 목화진딧물 밀도가 전체 밀도의 70%, 중위 8-12엽 사이의 밀도가 20%, 상위 13엽 이상에서 10%를 구성하고 있음을 앞에서 이미 분석한 바 있다. 이런 경우 정확한 밀도 예측을 위해서 주내 표본조사 위치를 합리적으로 선택하는 체계적인 조사 방법이 필요하다. 즉, 오이 주내에서 밀도 수준의 대표성을 나타낼 수 있는 위치를 제시하고 간편한 밀도 조사방법을 추가로 개발하여 앞서의 표본 조사계획과 병행하여 밀도 조사하는 것이 필요하다. 주내 밀도를 대표할 수 있고 주내 전체 엽 중 조사해야 하는 표본의 수도 합리적으로 줄일 수 있는 표본추출방법을 설정하기 위하여 표본추출방법간 비교분석을 다음과 같이 하였다. ① 오이 주내 엽들을 하위 엽으로부터 순서대로 3개의 계층(stratum)로 나누어 각 계층마다 일정 엽들을 resampling 프로그램(PopTools, version 2.3.7)을 이용하여 100회 반복 추출하여 조사하였다. 이와 같은 층별임의표본추출법(cut-off method, stratified sampling)은 기본적으로 모집단을 그 성격에 따라 동질적인 몇 개의 부분집단 또는 여러 계층으로 나눈 다음, 각 계층에서 각각 임의로 표본을 추출하는 방법이다. 이런 방법은 개체들의 분포가 이질성이 크거나 모집단의 분포가 한편으로 치우쳐 있다고 생각될 때, 또는 부분집단별로 자세한 정보가 필

요할 때 효과적인 조사방법이다. ② 단순임의추출법(simple random sampling)은 주내 수직분포 유형에 관계없이 일정한 비율(50-10%)로 엽들을 resampling 프로그램을 이용하여 임의로 추출하는 과정으로 마찬가지로 100회 무작위 반복을 하여 조사결과의 최대·최소 값을 비교하였다. ③ 일정한 순서의 엽만을 선택적으로 추출하여 조사하는 체계적 표본조사법(systematic sampling)으로 최대 조사 표본 수를 주내 전체 엽의 50%에서 최소 10%까지 추출하거나 주내 하위 특정 엽(1, 4, 7 엽; 3, 6엽)을 선택하는 방법으로 설정하였다.

표 1-10. 층별임의표본추출법(cut_off method, stratified sampling)에 따른 오이 주내 표본 추출 방법

선택 엽 비율(%)	하위층에서 선택 엽 수	중위층에서 선택 엽 수	상위층에서 선택 엽 수
50 %	7	2	1
40 %	5	2	1
35 %	4	2	1
25 %	3	1	1
20 %	3	1	0
	2	1	1
15 %	2	1	0
	1	1	1

표 1-11에서처럼 각 추출방법에 따라 표본을 조사한 결과를 보면 주내 추출 엽의 비율이 50-40% 조건에서는 100번의 반복 실행 값 중 최대·최소값이 전수조사자료의 값과 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고 전체 평균으로 보면 20% 수준까지 주내 표본 추출비율을 줄이더라도 앞서 경제적 피해수준 설정에서 제시된 주당 경제적 피해허용수준으로 추정되는 주당 목화진딧물 1,960마리 밀도 수준을 판별하기 위한 간이에찰방법으로 활용이 충분히 가능하리라 여겨진다.

표 1-11. 설정된 층별무작위표본추출법에 따라 표본조사 결과 (2002-2003년, 평택
농가 온실 포장)

조사시기	2002년												
	5월 1일		5월 8일		5월 15일		5월 22일		5월 29일		6월 6일		
	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	
전수조사	2757	1629	580	328	249	74	461	121	4342	1028	3175	617	
50%	최소값	2628	1463	699	406	156	67	315	77	3849	903	3548	720
	최대값	2933	1696	712	411	184	70	348	92	4573	1092	3613	723
40%	최소값	2388	1249	387	182	94	31	314	90	3783	921	2376	620
	최대값	3126	1860	882	506	234	93	400	109	4886	1225	4405	871
35%	최소값	2425	1335	230	135	76	17	343	98	3521	818	1492	438
	최대값	3226	1984	1023	572	267	111	444	114	5329	1258	4786	1003
25%	최소값	2219	1146	402	228	77	22	295	97	3138	827	908	300
	최대값	3734	2290	1157	762	352	155	424	95	5261	1254	6118	1269
20%	최소값	2158	1155	290	213	36	8	272	101	3128	780	2397	754
	최대값	3672	2308	1202	698	302	152	406	100	5310	1313	6278	1309
20%	최소값	2141	1090	110	77	86	24	306	100	3030	852	1201	398
	최대값	3934	2638	1315	892	440	219	530	126	5527	1426	5965	1454
15%	최소값	2056	1039	181	125	41	15	260	84	3045	869	583	171
	최대값	4045	2685	1206	696	370	213	437	120	5839	1377	6035	1348
15%	최소값	1898	1030	119	73	92	31	369	102	2361	565	793	191
	최대값	4199	3083	1576	924	204	58	653	170	5973	1712	5517	1094

표 1-11. (계속)

조사시기	2002년				2003년								
	6월 13일		4월 3일		4월 10일		4월 18일		4월 24일		5월 1일		
	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	
전수조사	6053	1102	3.3	2.7	23	22	139	112	146	74	20	14	
50%	최소값	5952	1102	3.3	2.6	23	21	136	106	149	78	25	17
	최대값	6190	1138	4.1	3.4	24	23	148	117	158	81	25	17
40%	최소값	5094	1058	0.4	0.3	17	17	125	93	130	64	13	8
	최대값	7110	1251	5.4	4.5	26	25	154	123	179	93	32	22
35%	최소값	4365	999	0.3	0.3	16	15	127	93	120	59	9	5
	최대값	7823	1372	6.3	5.4	30	28	161	133	179	97	37	26
25%	최소값	4570	1032	0.1	0.1	13	13	116	72	110	58	5	4
	최대값	8096	1491	8.9	7.4	33	31	164	141	192	102	38	26
20%	최소값	3813	894	0.2	0.1	14	13	118	87	118	60	5	4
	최대값	7515	1383	9.2	7.8	32	30	166	141	204	115	46	32
20%	최소값	3903	849	0.1	0.1	12	11	105	58	104	46	3	3
	최대값	8907	1558	12.0	10.5	36	33	188	164	208	116	50	35
15%	최소값	3284	755	0.1	0.1	32	29	106	72	80	37	4	3
	최대값	8638	1546	12.5	10.9	23	23	178	157	213	124	52	36
15%	최소값	3512	666	0.2	0.2	11	10	94	51	75	41	0	0
	최대값	9391	1650	13.2	13.0	46	41	174	157	211	114	53	37

표 1-12. 단순임의표본 추출법(simple random sampling method)을
이용한 표본 추출방법

주내 전체 업체 선택한 업체의 비율 (%)
전체 업체 중 50 % 무작위 선택
전체 업체 중 35 % 무작위 선택
전체 업체 중 25 % 무작위 선택
전체 업체 중 20 % 무작위 선택
전체 업체 중 15 % 무작위 선택
전체 업체 중 10 % 무작위 선택

단순임의표본추출법(simple random sampling method)에서도 앞서 방법과 같이 표본을 추출하는 과정을 resampling 프로그램을 이용하여 각각 100번의 반복을 실행하여 결과 값들의 최소값과 최대값을 구하여 전수 밀도 조사값과 비교하였다. 그러나, 주내 표본의 추출 위치선정은 앞서의 방법과 같이 밀도 수준이나 분포에 따라 계층을 설정하여 표본을 따로 선택하지 않았고 주내 모든 업체를 대상으로 하였다. 표 1-13의 결과에서처럼 모든 조사방법에서 최대·최소값이 전수조사자료의 값과 큰 차이를 보였다. 즉, 오이와 같이 주내 목화진딧물의 분포가 고르지 못하고 특정부위에 집중 발생하고 있는 표본 모집단에서 조사할 표본을 추출하는 과정에서 주내의 분포 특성을 고려하지 않는 단순임의표본추출법은 적합한 표본조사법이 될 수 없음을 알 수 있다.

표 1-13. 단순임의표본추출법에 따라 표본조사 결과 (2002-2003년, 평택 농가 온실 포장)

조사시기		2002년											
		5월 1일		5월 8일		5월 15일		5월 22일		5월 29일		6월 6일	
		평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE
전수조사		2757	1629	580	328	249	74	461	121	4342	1028	3175	617
50%	최소값	1954	1084	110	53	143	27	393	87	3063	681	2097	650
	최대값	4399	2637	1100	628	357	122	599	177	6192	1512	5180	1077
40%	최소값	1913	1005	44	17	126	34	364	81	2944	768	1041	230
	최대값	4180	2556	985	468	380	145	634	198	6299	1535	5275	1082
35%	최소값	1657	922	62	28	138	37	568	159	3031	735	1857	702
	최대값	4851	2935	1432	814	419	166	476	124	7048	1761	6229	1393
25%	최소값	1146	649	62	28	108	26	392	88	2688	572	903	211
	최대값	4994	3361	1432	814	488	216	689	200	6811	1764	7190	1617
20%	최소값	1058	694	36	16	111	28	349	88	1663	645	701	170
	최대값	5662	3580	1709	797	530	269	738	239	6388	1492	6812	1813
15%	최소값	828	444	30	14	67	15	351	99	3121	738	925	239
	최대값	5393	3046	1907	1507	638	346	755	234	3421	1043	10270	2621
10%	최소값	502	280	22	11	85	26	257	60	951	224	749	210
	최대값	6540	4711	3366	1847	979	511	788	194	6901	1729	11745	3259

표 1-13. (계속)

조사시기	2002년				2003년								
	6월 13일		4월 3일		4월 10일		4월 18일		4월 24일		5월 1일		
	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	
전수조사	6053	1102	3.3	2.7	23	22	139	112	146	74	20	14	
50%	최소값	5535	1161	2.0	0.1	11	11	82	65	73	35	0	0
	최대값	8433	1432	192	8.0	34	32	195	161	226	116	34	23
40%	최소값	6524	1212	2.5	0.1	10	10	78	56	43	21	2	2
	최대값	6403	1204	230	9.8	37	35	210	166	243	128	46	32
35%	최소값	5566	1260	2.9	0.1	9	9	65	56	36	18	0	0
	최대값	9105	1647	257	11	44	41	251	190	239	126	45	31
25%	최소값	4489	867	4.0	0.2	2	2	30	28	24	16	0	0
	최대값	10388	2012	336	15.0	48	45	281	221	297	168	53	37
20%	최소값	3439	705	0	0	28	28	24	22	50	38	0	0
	최대값	11907	2021	390	17.8	15	14	235	183	270	149	69	48
15%	최소값	3046	754	6.7	0.3	0	0	12	12	18	11	0	0
	최대값	10207	2082	406	18.4	52	46	319	270	429	250	92	64
10%	최소값	2613	574	0	0	0	0	22	20	7	7	0	0
	최대값	11635	2665	780	35.6	77	71	340	308	404	218	92	64

표 1-14. 체계적 표본조사법(systematic sampling)에 따른 오이 주내 표본 추출방법

선택한 엽 비율(%)	주내 전체 엽 중 선택한 엽
60 %	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20
35 %	1, 4, 7, 10, 16, 16, 19 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20 3, 6, 9, 12, 15, 18
25 %	1, 5, 9, 13, 17 3, 7, 11, 15, 19
20 %	1, 6, 11, 16 3, 8, 13, 18
15 %	4, 9, 14
10 %	4, 12
하위 1-7엽에서 선택	1, 4, 7 3, 6

표 1-15의 결과에서 각 조사방법에 따라 표본을 추출한 결과를 보면 주내 전체 엽중 낮은 비율(20-25%)로 잎을 선택하여 조사하더라도 전수조사자료의 값과 큰 차이를 보이지 않았다. 특히 주내 전체 밀도의 70% 이상을 차지하는 하위(1-7엽)엽에서 중간부위인 3, 6엽만을 조사하여 주내 전체 밀도를 예측한 결과는 다른 조사방법에서의 결과에서처럼 전수조사한 밀도와 크게 차이가 나지 않았고, 전체 주내 엽 중에서 하위부분 2엽만을 선택하여 간이예찰을 실행할 경우에도 효율적인 간이예찰법이 될 것으로 여겨진다. 앞서 그림 1-32에서 주내 목화진딧물 수직분포를 평균적으로 조사한 결과 오이 주내 하위 1-7엽이 주내 전체 밀도의 70%를 차지하였고 그 중 3, 6엽이 주내 전체 밀도의 20% 를 차지하고 있어서 경제적인 간이예찰법을 실행하여 신속하게 주내 평균밀도 수준을 예측하기에는 하위 3, 6엽의 밀도수준을 조사하여 예측하는 것이 효과적일 것이다.

표 1-15. 체계적 표본조사법에 따라 표본조사 결과(2002-2003년, 평택 농가 온실 포장)

조사시기	2002년												
	5월 1일		5월 8일		5월 15일		5월 22일		5월 29일		6월 6일		
	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	
전수조사	2757	1629	580	328	249	74	461	121	4342	1028	3175	617	
50%	홀수엽	2810	1610	762	352	340	122	165	113	4456	1007	3473	775
	짝수엽	2704	1649	398	335	158	42	456	134	4230	1071	2878	725
35%	1	3385	2150	753	309	402	156	508	133	4790	1178	3726	753
	2	2073	1108	474	424	160	42	439	117	4138	1041	2611	754
25%	3	2420	1428	430	276	149	39	369	108	3479	802	2735	825
	1	3262	1921	865	336	528	222	494	113	5299	1205	3838	728
20%	2	2359	1302	660	428	151	41	436	122	3611	881	3107	1030
	1	3949	2289	1031	412	591	265	541	132	5808	1287	4875	1053
15%	2	2453	1461	727	465	171	35	449	129	3845	1036	3918	1304
	-	2670	1552	244	452	227	70	488	173	5422	1457	3169	1097
10 %	-	3483	2270	333	230	156	46	731	250	4869	1530	4221	1602
1, 4, 7 엽	1, 4, 7 엽	1474	803	194	121	15	6	171	63	2886	836	1452	540
	3, 6 엽	2828	1557	715	477	24	10	184	77	3548	852	4014	1385

표 1-15. (계속)

조사시기	2002년				2003년								
	6월 13일		4월 3일		4월 10일		4월 18일		4월 24일		5월 1일		
	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	
전수조사	6053	1102	3.3	2.7	23	22	139	112	146	74	20	14	
50%	홀수엽	6377	1119	0.3	0.3	27	25	153	123	174	97	27	19
	짝수엽	5728	1157	6.1	5.3	19	19	126	101	118	54	13	9
35%	1	6928	1285	1.6	1.5	31	28	151	110	143	72	33	22
	2	5646	1095	1.8	1.8	16	16	122	99	147	73	10	7
25%	1	7692	1406	0.1	0.1	34	32	168	125	188	111	33	23
	2	5062	1021	0.5	0.5	20	19	138	122	160	84	21	15
20%	1	8349	1624	10.2	10.2	39	36	163	121	172	91	44	30
	2	6174	1302	3.0	3.0	23	23	114	103	172	94	23	16
15%	-	6641	1573	2.7	2.7	28	28	164	128	155	95	17	13
10 %	-	7810	1920	4.3	4.3	41	41	174	134	177	97	25	20
1, 4, 7 엽	1, 4, 7 엽	3165	719	1.8	1.8	14	13	108	86	79	40	12	8
	3, 6 엽	5692	1340	10.0	10.0	22	21	141	129	172	93	26	18

2) 주당 목화진딧물 밀도를 추정할 수 있는 효율적인 조사법

오이 포장에서 목화진딧물의 방제 의사 결정을 내리기 위해서는 우선 효율적인 밀도 예찰법이 확립되어야 한다. 이를 위하여 앞에서 목화진딧물의 오이 주내 및 주간 분포 패턴과 주당 무시성충 수와 전체 목화진딧물 수와의 관계를 구명한 바 있다. 즉, 밀도 추정 오차를 줄이면서 경제적인 밀도조사를 할 수 있는 방법은 우선 표본 조사에 필요한 표본수를 선정한 다음, 표본으로 선발한 각 주당 발생 밀도의 대표성을 나

타낼 수 있는 엽들을 선정하여 밀도 조사를 병행하는 것이 효율적인 밀도 조사방법이 될 수 있다는 결과를 앞서 제시하였다. 이런 방법으로 실제 1,000평이 되는 농가온실에서 일정 간격(8-10m)으로 30-50개의 표본조사 위치를 선정하고 각 조사 위치에서 주내 전체 엽의 25% 정도의 엽을 선택하여 조사한다면 대략 150-250개의 오이 잎을 모두 전수 조사하여야 한다. 이는 조사에 시간과 노력이 많이 소요되어 경제적인 간이에찰법이 될 수 없다. 주내 목화진딧물 수직분포를 평균적으로 조사한 결과 오이 주내 하위 1-7엽이 주내 전체 밀도의 70%를 차지하였고 그 중 3, 6엽이 주내 전체 밀도의 20%를 차지하고 있어서 경제적인 간이에찰법을 실행하여 신속하게 주내 평균밀도 수준을 예측하기에는 하위 3, 6엽의 밀도수준을 조사하여 예측하는 것이 더 효과적일 것이다. 그러나 이런 방법 또한 조사자가 오이 하위엽을 대상으로 엽내 발생한 목화진딧물들의 발생상태를 직접 육안 조사해야하는 번거로움이 있어서 경제적인 간이에찰법으로는 미흡한 점이 있다. 그러므로 이와 같이 제시된 조사방법을 개발하여 밀도 조사의 기본 단위가 되는 엽 내에서 밀도 조사의 시간적 비용을 줄이면서 실제 평균밀도를 오차가 크지 않게 효율적으로 조사할 수 있는 방법이 훨씬 경제적인 간이에찰법이 될 것이다.

가) 주내 전체 조사 엽 중 목화진딧물 감염비율 이용법

그림 1-34은 2002-2003년 평택농가온실에서 조사하였던 주내 모든 엽에서 임계밀도에 따라 전체 엽에서 임계밀도 이상의 목화진딧물이 발견된 엽들의 비율과 온실 내 주당 평균발생 밀도와의 회귀관계를 나타낸 것이다. 임계밀도가 1과 80(T=1인 경우 주내 밀도 조사시 엽내 목화진딧물 1마리라도 있으면 감염된 엽으로 처리)인 경우 두 가지 경우 모두 주당 평균발생밀도의 관계($r^2 = 0.85, 0.98$)를 각각 잘 설명해 주고 있어서 간이에찰을 위한 보조수단으로 활용이 가능 하리라 본다.

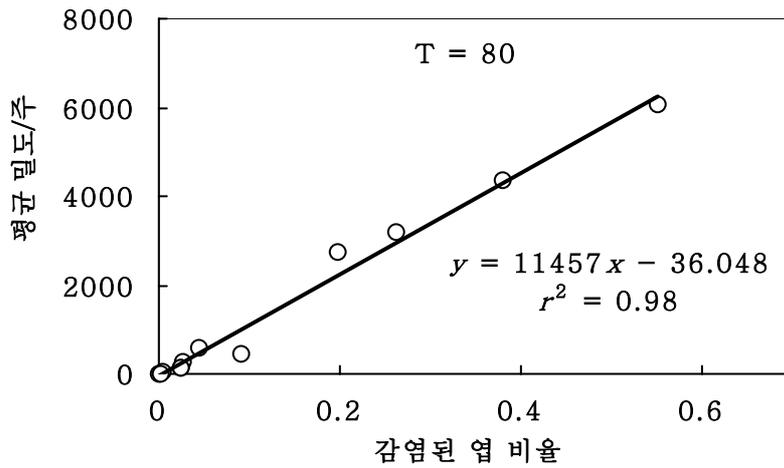
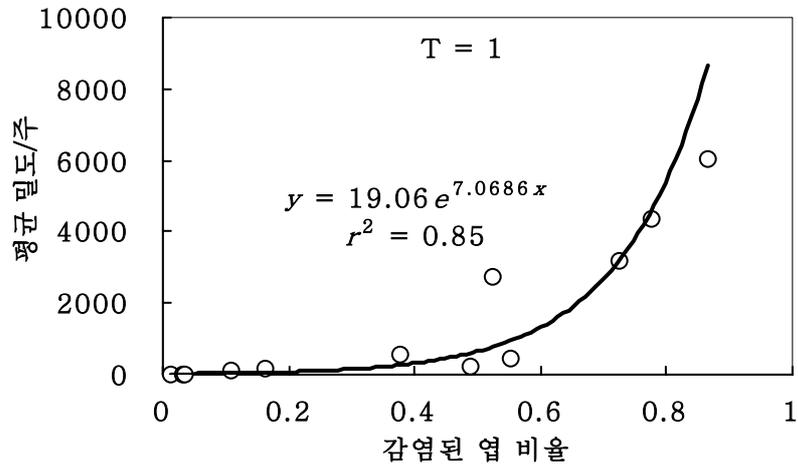


그림 1-34. 임계밀도를 기준으로 주당 평균 목화진딧물 밀도와 주내 전체 조사 엽 중 목화진딧물 감염비율과의 관계(임계 밀도 기준: T = 1마리/엽, T = 80 마리/엽, 2002-2003년, 평택 농가 포장)

임계밀도를 1과 80으로 설정하여 조사한 결과 모두 주당 목화진딧물 평균 발생밀도 관계를 잘 설명하여 주고 있지만 실제로 포장에서 발생밀도 간이에찰법으로

이용할 경우 임계밀도 수준은 조사자가 엽 내 발생밀도 수준을 보고 임계밀도 수준 초과 여부를 빠르게 판별 할 수 있어야 하기 때문에 일반적으로 임계밀도 수준은 5마리(5마리/엽)를 넘지 않게 제시하여야 하고 이에 대한 알맞은 관계식을 개발하는 것이 적절할 것으로 여겨진다. 이런 이유로 앞서 제시했던 임계밀도 80은 임계밀도가 1인 수준보다 더 적합도가 높은 관계를 보여주고 있지만 빠른 판단을 내려야하는 밀도 조사자에게 권장하기에는 적합지 않다.

그림 1-35는 두 추정식을 이용하여 실제로 포장 내에 밀도조사가 실행되었을 때 조사한 전체 엽중에서 임계밀도이상 목화진딧물이 있는 엽 수와 주당 평균 목화진딧물 수와의 관계이다. 예를 들면, 온실내에서 일정한 간격(8-10m)으로 30개의 오이 주를 선정하고 모든 엽들(약 600엽)을 대상으로 전수조사 한 경우 임계밀도가 1인 수준에서 오염된 엽들이 전체 조사한 엽수의 63%(약 395엽)수준까지 존재하였다면 앞서 경제적 피해허용수준에서 제시했던 수치 즉, 평균 발생 밀도로 주당 전체 목화진딧물 1,960마리 수준인 것이다.

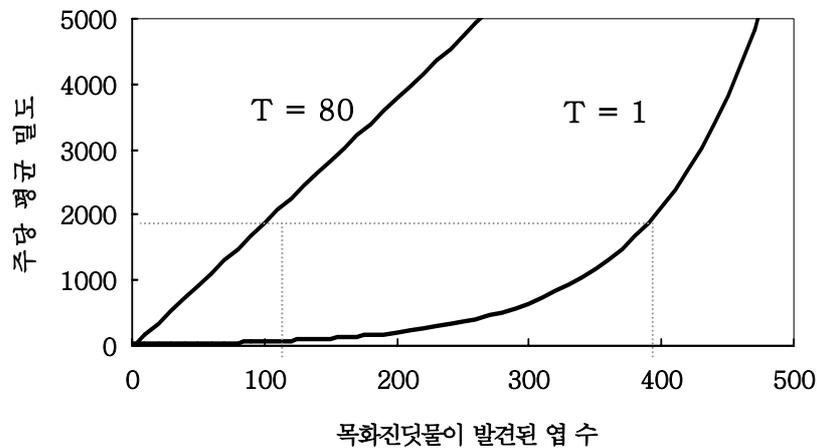


그림 1-35. 고정표본조사법에서 목화진딧물이 임계밀도 이상 발견된 엽 수와 주 당 목화진딧물 평균 밀도와의 관계(조사 표본수(株)는 30개 주 600엽, 2002-2003년, 평택 농가 포장)

나) 주내 하위 3, 6 엽 조사 엽 중 목화진딧물 감염비율 이용법

그림 1-36은 온실에서 오이 주내 하위 3, 6엽들을 대상으로 목화진딧물 발생밀도를 조사한 경우 임계밀도에 따라 전체 엽에서 임계밀도 이상 감염된 엽들의 비율과 온실 내 주당 평균발생 밀도와의 관계를 나타낸 것이다. 임계밀도가 1과 80(T=1; 주내 밀도 조사시 엽에 목화진딧물 1마리라도 있으면 감염된 엽으로 처리)인 경우 두 가지 경우 모두 주당 평균발생밀도의 관계($r^2 = 0.87, 0.97$)를 각각 잘 설명해 주고 있었다. 앞서 오이 주내 모든 엽들을 전수 조사한 결과에서 뿐만 아니라 주내 하위 3, 6엽의 발생 밀도자료들을 이용하여 추정된 결과도 주내 발생밀도 관계를 잘 설명하여 주고 있어서 간이예찰의 보조수단으로 충분히 활용이 가능하리라 여겨진다.

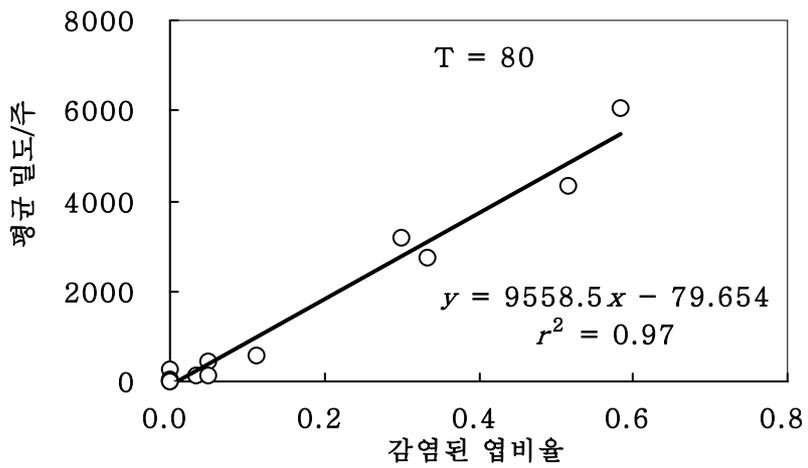
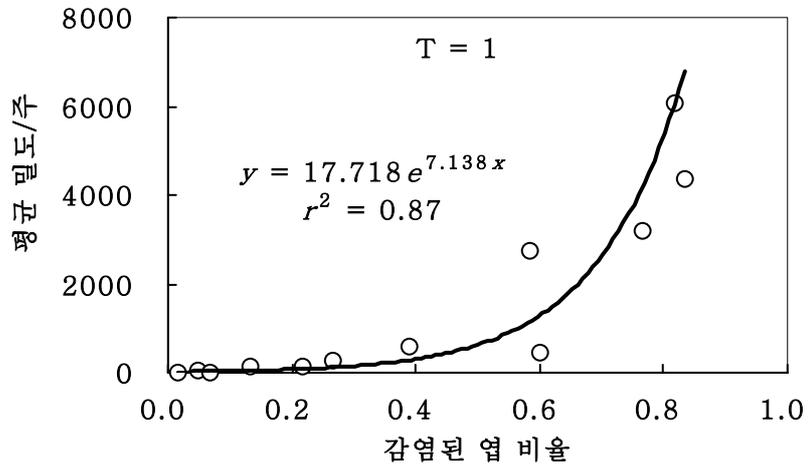


그림 1-36. 임계밀도를 기준으로 주당 평균 목화진딧물 밀도와 주내 하위 3, 6엽 중 감염비율과의 관계(임계밀도 기준: T = 1마리/엽, T = 80 마리/엽, 2002-2003년, 평택 농가 포장)

그림 1-37는 앞의 결과와 같이 두 추정관계식을 이용하여 실제로 포장에서 주내 하위 3, 6엽을 대상으로 고정 표본조사법을 시행하였을 때 임계밀도 이상 목화

진딧물이 발견된 엽수와 주당 평균발생 밀도와와의 관계를 나타낸 것이다. 예를 들면 포장 내에서 조사해야할 표본수를 오이 60주로 설정하고 주내 하위 3, 6 엽들(약 120엽)을 대상으로 전수 조사한 경우라면 임계밀도가 1인 수준에서 오염된 엽들이 전체 엽수의 67%(79엽)수준까지 존재하였다면 앞의 경제적 피해허용수준에서 제시했던 수치인 평균 발생 밀도인 주당 1,960마리 수준이다.

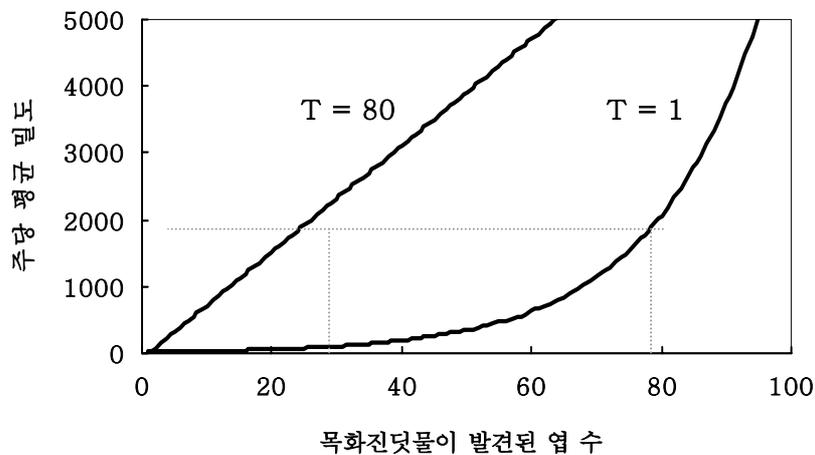


그림 1-37. 주내 3, 6엽을 표본조사 대상으로 한 고정 표본 조사법에서 목화진딧물이 임계밀도 이상 발견된 엽 수와 주당 목화진딧물 평균 밀도와의 관계(조사 표본수(株)는 60개주 120엽, 2002 -2003년, 평택 농가 포장)

다) 격자(grid)를 이용한 밀도 조사법

오이 주내(株內) 엽에 있는 목화진딧물 전수를 육안 조사하는 것은 조사 시간과 인력이 많이 소요되어 경제적 밀도 조사 방법이 될 수 없다. 그래서 엽내(葉內) 밀도 조사시 간단한 보조수단인 격자(grid)를 활용하는 방법이 엽내 밀도 수준에 대한 정확도를 유지하면서 신속하게 조사할 수 있는 대체 수단이 될 수 있는지를 분석하여

보았다. 격자는 3.2×3.2 cm의 셀의 10구(2×5 셀)와 20구(4×5 셀)로 구성된 두 가지 유형으로 제작하였다. 두 가지 유형의 격자를 이용한 엽 내 밀도 조사의 효율성을 비교하기 위하여 같은 조사 엽들에서 두 가지 격자를 모두 활용하여 밀도 조사를 수행하였다. 격자를 이용하여 조사한 목화진딧물 수와 엽 내 전체 목화진딧물 수의 회귀관계와 격자 내 셀 단위 조사 밀도시 임계밀도를 설정하여 격자 내 임계밀도 이상의 목화진딧물이 있는 셀의 비율과 격자당 평균 목화진딧물 수와의 회귀관계를 분석하였다. 조사는 엽 내 전수조사를 실시하여 엽 내 전체 밀도를 조사하고 10구, 20구 격자를 이용하여 각 격자 조사에서 각 셀내에 있는 목화진딧물을 전수 조사하였다. 격자를 이용한 밀도 조사시 격자를 엽내 특정한 위치에서만 조사하여 목화진딧물 밀도가 잘못 추정되는 것을 최대한 방지하기 위해서 격자의 위치를 엽 내에서 가능한 여러 방향으로 회전시키면서 조사를 실시하였는데 완전히 성장한 엽(엽폭: 28-32cm, 엽면적: 500-660cm²)에서는 최대 10회까지 격자의 회전위치를 달리하면서 밀도를 조사하였다.

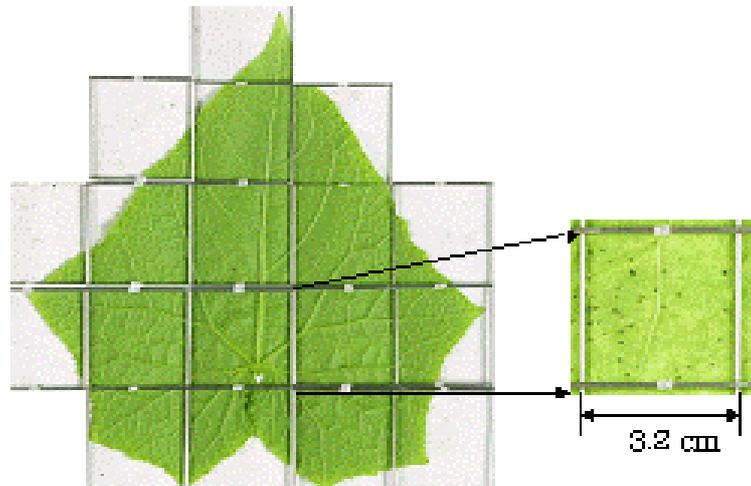


그림 1-38. 격자(grid)를 이용한 엽내 목화진딧물 밀도 조사

조사 결과 그림 1-39과 그림 1-41에서와 같이 격자를 이용하여 추정된 엽 밀도와 실제엽 밀도와의 관계의 기본 추세는 비슷하게 나타났지만 20구 격자를 이용하

여 추정한 결과에서 더 높은 회귀관계($r^2 = 0.96$)를 보였다. 또한 그림 1-40와 그림 1-42에서 각 임계밀도($T=1, T=2$)를 설정하였을 때 격자 내 감염된 셀들의 비율과 셀 당 평균 밀도와의 회귀관계를 분석한 결과 또한 모두 20구 격자를 이용한 조사 결과에서 더 높은 회귀관계($r^2 = 0.76, 0.83$)를 보였고 임계밀도를 2마리로 설정하였을 때 정밀도가 높았다. 그러므로 격자를 이용하여 엽 내 목화진딧물 밀도를 조사할 경우 전체 격자의 크기는 되도록이면 큰 것을 이용하여 조사하는 방법으로 더 정확히 엽내 목화진딧물 수를 예측할 수 있고 각 격자 내 셀당 임계밀도는 조사자가 빠르게 감염 여부를 판별 할 수 있게 셀당 임계밀도를 2마리를 설정하는 것이 올바른 밀도 조사 방법이 될 것이다.

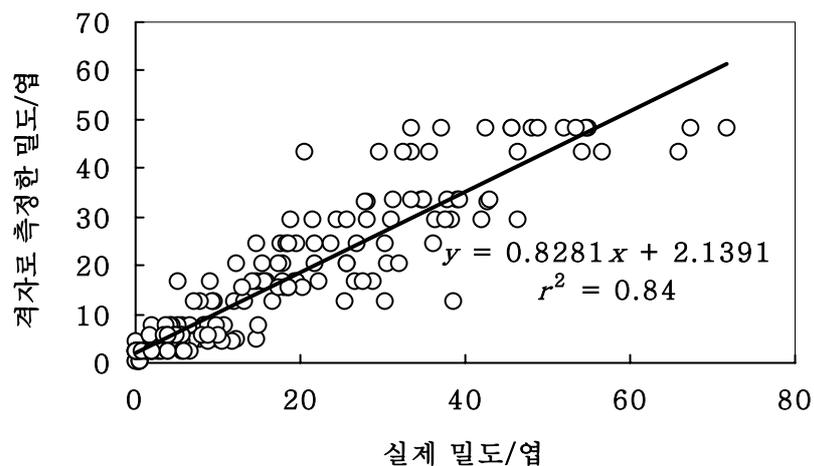


그림 1-39. 10구 격자를 이용하여 추정된 엽당 밀도와 실제 엽 밀도와의 관계 및 조사 방법(2002-2003년, 평택농가 포장 및 2001년 실험 온실 자료)

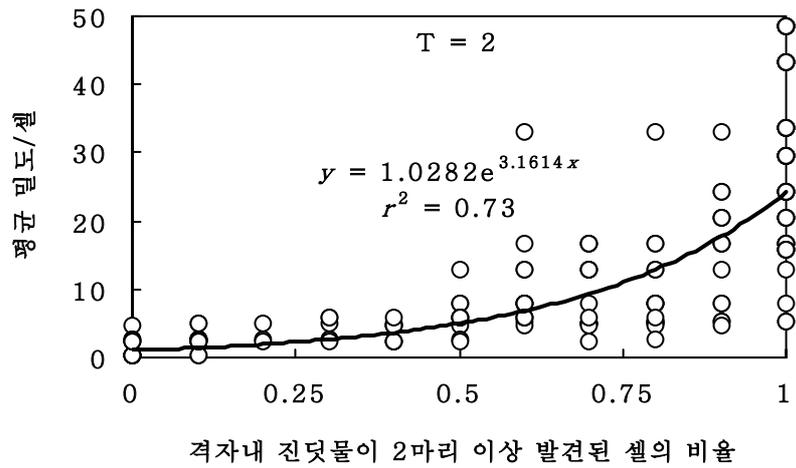
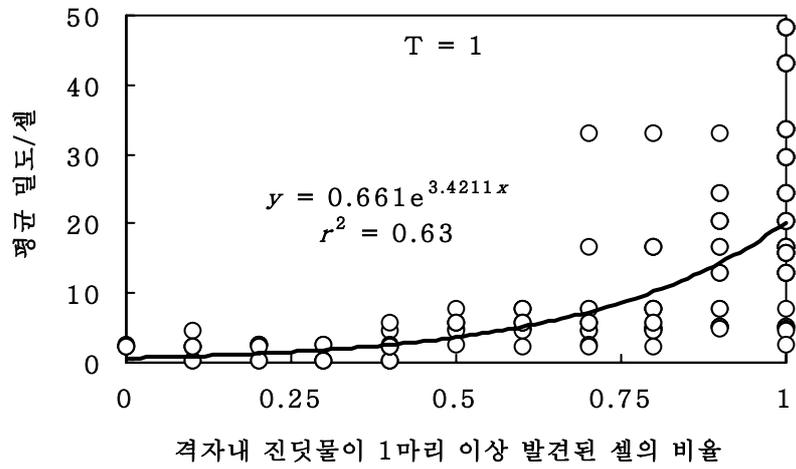


그림 1-40. 10구 격자를 이용하여 조사한 셀 당 추정 밀도와 격자 내 감염된 셀의 비율간의 관계(2002-2003년, 평택농가 포장 및 2001년 실험 온실 자료)

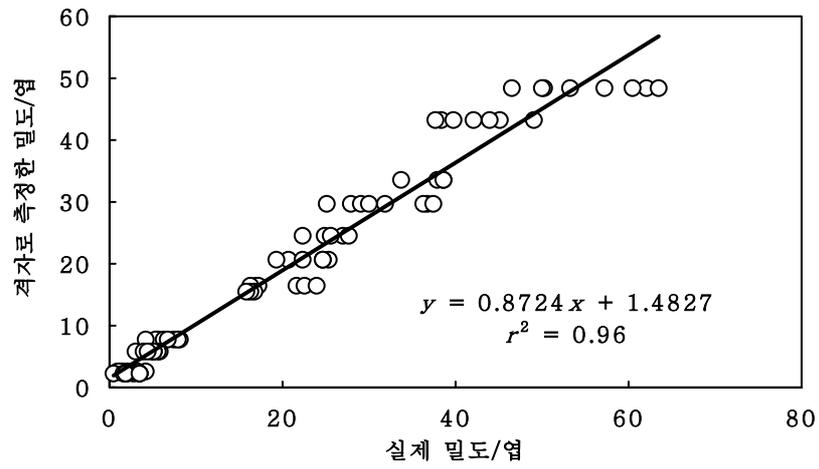


그림 1-41. 20구 격자를 이용하여 조사한 엽당 추정 밀도와 실제 엽 밀도와의 관계 및 조사 방법(2002-2003년, 평택농가 포장 및 2001년 실험 온실 자료)



그림 1-41. (계속)

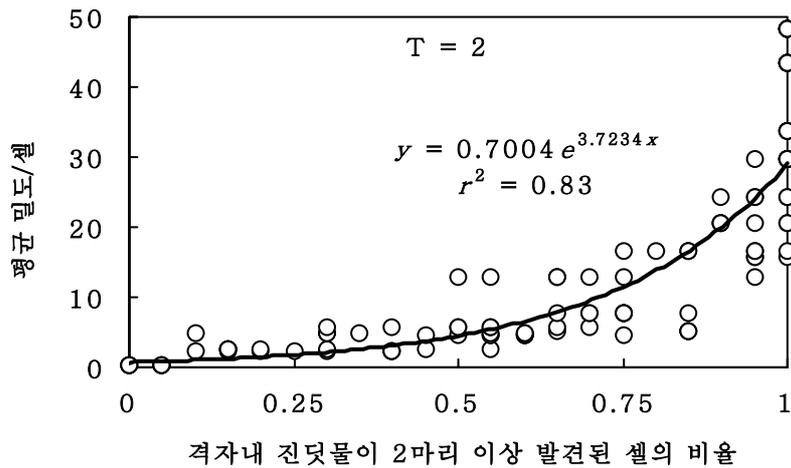
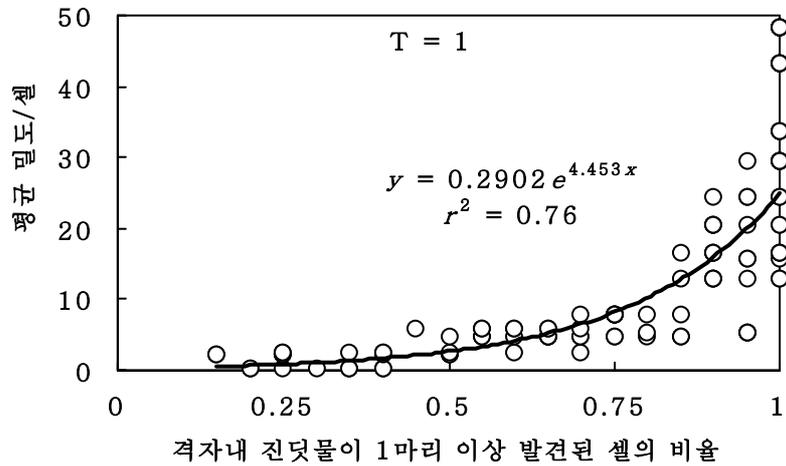


그림 1-42. 20구 격자를 이용하여 조사한 셀 당 추정 밀도와 격자 내 감염된 셀의 비율간의 관계(2002-2003년, 평택농가 포장 및 2001년 실험 온실 자료)

표 1-18은 앞의 결과에서 가장 높은 회귀관계를 나타내었던 방법인 20구 격자를 이용하여 셀 당 임계밀도를 2마리로 설정하여 조사하였을 때 추정된 관계식을 이용하였다. 엽 내 밀도 수준과 이에 따른 격자 내 목화진딧물이 임계밀도 이상으로 오

염된 셀의 비율을 정리한 것이다. 앞의 오이 주내 표본 조사 위치인 하위 3, 6엽을 밀도 조사 위치로 설정하여 조사하였을 때 2002-2003년 평택 농가 포장에서의 자료에 따르면 평균적으로 엽 폭이 25-28cm 정도이고 이때 엽 면적은 400-500cm² 수준이었다. 앞서 경제적 피해허용수준에서 제시된 밀도 수준인 주당 목화진딧물 밀도 수준은 1,960마리였고 주내 하위 3, 6엽의 밀도가 평균적으로 주당 전체밀도의 20%를 차지한다고 본다면 오이 주내 3, 6엽의 경제적 피해허용수준은 391마리/(하위 3, 6엽)가 될 것이다. 이런 전반적인 추정관계를 가지고 오이 주내에서 하위 3, 6엽을 대상으로 20구 격자를 이용하여 밀도 조사를 실시하였다. 격자 내 셀당 임계밀도수준이 2마리일 때 격자 내 오염된 셀의 비율이 40-50% 수준일 때 표 1-18의 결과에서처럼 3, 6엽 각각의 밀도가 엽당 135-250마리 수준으로 경제적 피해허용밀도에 접근한 수준이라고 여겨진다.

표 1-18. 20구 격자를 이용하여 엽내 목화진딧물 밀도(마리/엽)를 추정한 결과(T= 2)

엽폭(cm)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
엽면적(cm ²)	241	268	296	326	358	391	425	461	499	539	580
격자내 오염된 셀의 비율(%)	엽당 평균 목화진딧물 밀도(마리/엽)										
10 %	27	30	33	37	40	44	48	52	56	61	65
20 %	39	44	49	53	59	64	70	76	82	88	95
30 %	57	64	70	78	85	93	101	110	119	128	138
40 %	83	92	102	113	123	135	147	159	172	186	200
50 %	121	134	148	163	179	196	213	231	250	270	290
60 %	175	195	215	237	260	284	309	335	363	391	421
70 %	254	282	312	344	377	412	448	487	526	568	611
80 %	369	410	453	499	547	598	651	706	764	824	887
90 %	535	595	658	724	794	867	944	1025	1109	1196	1287
100 %	777	863	954	1051	1152	1259	1370	1487	1609	1736	1868

다. 표본단위 설정 및 조사법 개발

1) 주내 모든 엽(葉)의 밀도를 조사할 경우 표본단위 설정 및 조사법 개발

가) 고정정밀도 표본조사법(Fixed-precision-level sampling method)

앞서 일반화된 TPL모형을 만들고 여기서 구해진 a값과 b값을 이용하여 원하는 정밀도에서 밀도추정을 위한 축차표본 추출시 표본추출 정지선을 구하였다. 일정한 정밀도에서 축차표본 조사시 표본추출의 정지선(식 1-14)(Green, 1970)과 조사에 필요한 표본수(식 1-15)(Reusink, 1980)는 다음에 제시한 방법에 따라 구하였다.

$$\ln Tn = \frac{\ln(D^2/a)}{b-2} + \frac{b-1}{b-2} \ln n \text{ -----(식 1-14)}$$

$$\text{조사 표본 수}(n) = \frac{a \times m^{(b-2)}}{D^2} \text{ -----(식 1-15)}$$

a, b 는 Taylor 모형의 파라미터, Tn = 누적 마릿수, n = 표본 크기(株), D는 평균에 대한 표준오차 비율인 고정된 정밀도(0.20, 0.25, 0.30 등)를 나타낸다.

그림 1-43은 2002-2003년 평택농가 포장의 주간에 발생한 전체 목화진딧물 발생자료를 이용하여 구한 TPL 파라미터(표 1-8 참조)를 이용하여 고정정밀도 수준에 따른 표본추출정지선을 나타낸 것이다. 1,000평이 되는 관행방제 농가에서 오이의 영양생식시기의 경제적 피해허용수준을 주당 목화진딧물 1,960마리라 설정한 경우 평균 발생밀도 추정을 위한 구해진 표본추출 정지선에서 밀도 조사를 위해 필요한 표본 수(株)를 예상하면 고정 정밀도가 0.20인 수준에서 약 30개 정도의 조사 표본수를 선택하면 충분할 것으로 여겨진다.

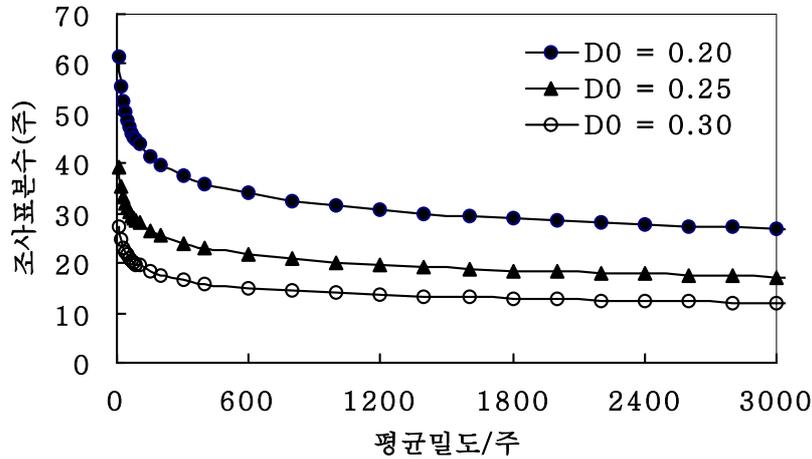


그림 1-43. 각 고정 정밀도 수준별 표본추출 정지선(2002-2003, 평택 농가 포장)

나) 축차표본조사법을 이용한 방제의사 결정

앞서 공간분포 분석에서 구한 TPL 계수와 시뮬레이션 모형 프로그램 (Binns *et al.*, 2000)을 이용하여 방제의사 결정수준과 필요한 표본수를 설정하였다. OC 함수(operation characteristic function)모형은 평균밀도를 예측하여 조사결과가 경제적 피해 허용수준인 임계밀도(critical density)를 넘는지를 확률적으로 표현하는 방법이다 (그림 1-44). 즉, OC함수는 특정 밀도에서 방제를 하지 않을 확률을 연속선으로 표현한 함수이고 ASN(average sampling number)은 방제의사 결정을 내릴 때 필요한 표본의 수(株)를 나타낸다. 임계밀도는 경제적 피해 허용수준과 같은 개념으로 방제가 이루어지기까지 여러 가지 요인들을 고려한 개념으로 실제로 해충방제 의사결정이 이루어질 때 밀도예측에 대한 여러 요인들의 불확실성들을 고려하므로 일반적으로 경제적 피해수준 보다는 낮게 설정된다.

축차표본조사법(sequential sampling)은 고정 표본조사법이 개발되어 조사

해야할 최대 표본수를 결정한 다음 실제 표본조사를 수행할때 최소표본 수를 설정한 뒤 표본조사를 수행하면서 최대 표본수에 도달할때까지 연속적으로 조사하는 방법이다. 각 조사시기마다 목화진딧물 밀도 누적상한선과 하한선이 존재하는데 조사 밀도가 누적상한선 밀도를 넘으면 조사를 중단하고 즉시 방제를 실시해야하는 경우이고 상한선과 하한선 사이에 있으면 계속 조사를 실행해야 하는 경우를 나타낸다. 누적밀도 상한선과 하한선은 다음의 공식으로 프로그램을 이용하여 구하였다 (식 1-16).

$$\begin{aligned}
 L_i &= i \times n_B \left(cd - z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{V}{i \times n_B}} \right) \\
 U_i &= i \times n_B \left(cd + z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{V}{i \times n_B}} \right) \\
 L_I &= U_I = I \times n_B cd
 \end{aligned}
 \quad \text{----- (식 1-16)}$$

(L_i = 하한선, U_i = 상한선, $L_I=U_I$: 최대 표본 조사 한계치, n_B = 표본조사 단위 크기, cd : 임계밀도(경제적피해허용수준), i = 각 표본 조사 수준별 조사 횟수, V = 분산, $Z_{\alpha/2} = 1.96$)

축차표본조사법 설정에서 1,000여 평 규모의 시설 내에서 조사해야 할 적정 표본수를 앞서 표본추출정지선을 통하여 구하여진 30개(株)로 설정했을 때 각각의 최소 표본 단위의 크기를 각각 5, 10, 15개(株)로 설정하였다. 우선 최소표본 조사수를 5주씩을 설정하여 6번 연속 조사하는 방법, 그리고 10주씩을 세 번씩 연속 조사하는 방법과 마지막으로 한번에 15주씩을 2번 연속 조사하는 방법으로 설정한 후 고정표본조사법으로 축차표본 조사수를 설정하였다(그림 1-45).

우선 최소 표본단위를 5개로 설정한 축차표본조사법에서 최초 5개의 오이주내 모든 엽을 전수 육안조사하였을 때 전체 목화진딧물 누적밀도 수가 누적상한선인 약 20,000마리 수준 이상이였다면 표본조사를 중지하고 즉시 방제를 수행해야하는 상황이고 매 조사시기마다 누적밀도가 누적상한과 누적하한 사이였다면 의사결정이 이루어

질 때까지 밀도조사를 계속 진행하는 방법이다. 이렇게 축차표본조사법을 수행한다면 고정표본조사법에서처럼 방제의사를 결정하기위해서 필요한 표본수를 다 조사할 필요 없이 표본조사 중간에 누적 상한밀도 이상(즉시 방제해야하는 상황)이나 누적하한밀도 이하(표본조사 중단), 또는 두 밀도 중간(표본조사 계속)사이에 있느냐를 결정할 수 있어서 효과적인 표본조사법이 될 것이다. 경제적 피해허용수준인 임계밀도(요방제밀도; CD)를 앞의 경제적 피해수준 설정 과정에서 제시된 밀도수준인 주당 1,960마리로 설정한 후 시뮬레이션프로그램에 각 조사결과와의 파라미터(TPL a, b; 경제적 피해허용수준; 최소표본단위; 고정밀도)들을 입력한 후 각각 1,000회 반복 실행하였다. 분석결과는 최대 조사 표본수 수준을 달리함에 따라 OC함수와 ASN함수의 경우 기울기가 거의 비슷하였고 그때 방제의사결정에 필요한 표본수가 조금 달라졌는데 경제적 피해허용수준 밀도인 CD(1,960 마리/주)에서는 OC확률이 조사방법간에 거의 비슷한 0.5였고 필요한 표본수도 최대 표본수에 가까운 30개(株)였다(그림 1-45).

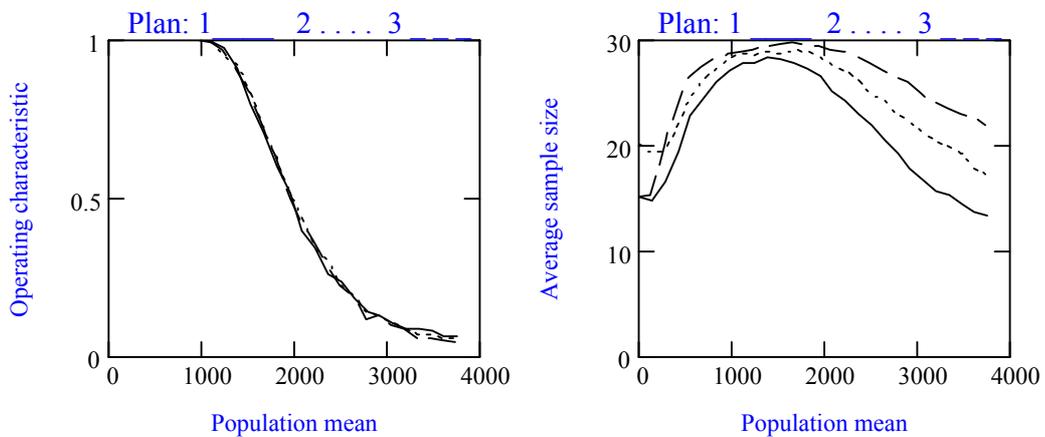
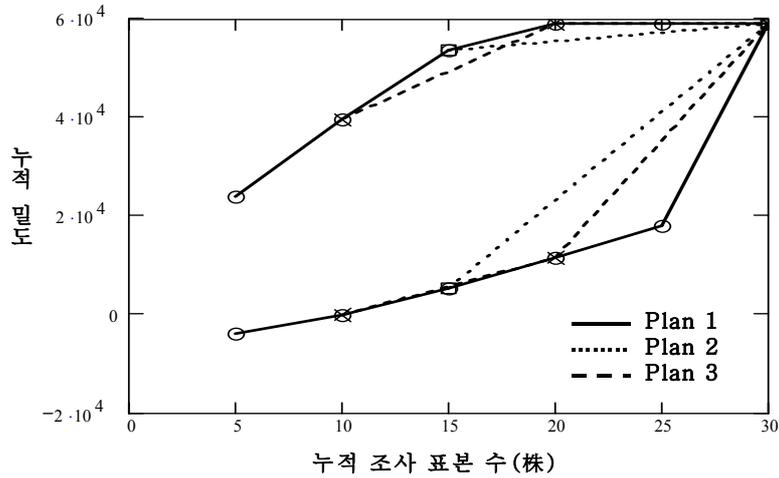


그림 1-44. 방제의사결정계획에서 OC 함수와 평균 표본 수와의 관계(경제적 피해 허용수준 1,960마리/주)



1

그림 1-45. 축차표본추출(sequential sampling) 계획(경제적 피해 허용수준 = 1,960마리/주)

다) 개발된 조사법의 평가

2002-2003년 평택 농가 온실에서 목화진딧물 밀도를 전수 조사한 결과를 분석하여 개발한 고정정밀도 표본조사법의 타당성을 검증하고 이를 기반으로 한 목화진딧물 밀도의 표본조사법을 개발하고자 밀도조사법을 평가하였다. 앞에서 개발된 표본조사법의 타당성을 평가하기 위하여 RVSP(Resampling Validation for Sampling Plan)(Naranjo와 Hutchison, 1997) 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 실행하여 개발된 밀도 조사방법의 정밀성을 평가하였다. 표 1-19는 육안 표본조사법을 평가한 결과이다. 2002-2003년 총 12회 조사 자료를 입력하여 분석한 결과 총 12개의 평가세트 중 7개의 평가세트에서 실제 시뮬레이션 D값이 희망하는 고정정밀도 D가 0.25인 값보다 같거나 낮게 나타났다. 이때의 평균 D값은 500번 반복 시뮬레이션 결과의 평균값인데 밀도조사법의 검증을 위해 더욱 중요한 것은 500번 반복결과의 실측 D값의 분포인데 정밀도

가 높게 나타난 7개의 평가세트 중 2002년 5월 1일과 8일 조사 자료를 제외하고는 모든 평가세트에서 D값이 희망하는 D값인 0.25보다 낮게 나타난 비율이 각각 80% 이상으로 정밀도가 높게 나타났다(Nyrop 과 Binns 1991).

표 1-19. 주내 전수 육안 표본조사법 이용하여 목화진딧물 밀도를 예측할 경우 RVSP 시뮬레이션을 이용한 표본조사법의 평가 결과(시뮬레이션은 고정정밀도(D=0.25)에서 500회 반복)

조사 자료			시뮬레이션		
조사 시기	예측 밀도	평균 D	평균밀도	평균 표본크기	% 시뮬레이션 D ≤ 희망하는 D
2002/05/01	2757	0.39	2999	39	1.6
2002/05/08	580	0.27	636	66	17.8
2002/05/15	257	0.17	250	92	100
2002/05/22	460	0.16	454	74	100
2002/05/29	4342	0.22	4271	33	87.2
2002/06/06	3175	0.17	3131	37	100
2002/06/13	6025	0.18	5983	29	100
2003/04/03	3.3	0.23	2.1	543	96.2
2003/04/10	23.1	0.35	24.6	224	0.0
2003/04/18	139	0.41	149	117	0.0
2003/04/24	146	0.26	154	112	46.0
2003/05/01	20.2	0.24	21.7	229	86.0

2) 주내 3, 6엽의 밀도를 조사할 경우 표본단위 설정 및 조사법 개발

앞에서 언급하였듯이 포장에서 목화진딧물 밀도 수준을 조사하기 위해서 주내 모든 엽의 목화진딧물의 수를 세는 것은 많은 노력과 시간이 소요되어 경제적 간이에찰법이 될 수 없다. 그 대안으로 제시된 경제적 간이에찰법은 앞에서 언급되었듯이 주내 발생한 목화진딧물의 밀도를 대표할 수 있는 주내 하위 3, 6엽을 대상으로 밀도 조사를 실시하고 이 조사법에 엽내 목화진딧물 밀도 수준을 간편하게 조사할 수 있는 조사방법을 병행하여 실시하는 것이라고 하였다. 이렇게 제시된 밀도조사방법으로 간이에찰을 실시 할 경우 주내 모든 엽을 대상으로 전수 조사한 자료를 가지고 구하여진 TPL 파라미터 및 공간분포 결과들을 바탕으로 설정된 표본단위설정 및 표본조사법을 사용해서는 안되므로 새롭게 계획된 밀도조사법개발과 그 평가가 이루어져야 한다. 따라서 3, 6엽 조사 자료를 바탕으로 목화진딧물의 공간분포를 분석하고 표본조사법을 수립하고 평가하여 경제적간이에찰법으로써 활용이 가능할 것인지를 분석하였다.

가) 주간 공간분포 분석

오이 주내 하위 3, 6엽에서 목화진딧물의 주(株)당 평균과 분산간의 관계를 Iwao 모형과 Taylor 지수법칙을 이용하여 분석하였다. 2002년과 2003년 모두 Iwao 모형보다($r^2 = 0.61-0.79$) Taylor 모형의 적합성이 높았다 ($r^2=0.96-0.98$)(표 1-20). 공간분포양식을 결정하는 Taylor 모형의 기울기 b값을 t-test한 결과 모두 b값이 1보다 유의하게 커서, 이 경우에도 목화진딧물은 포장 내에서 집중 분포하는 것으로 나타났다.

표 1-20. 목화진딧물의 TPL과 IPR 분석에 의한 공간분포 패턴 분석 결과
(2002-2003년, 평택)

조사시기	Iwao's patchiness regression			Taylor's power law			주내 3엽+ 6엽 평균밀도
	$\bar{m} \pm \text{SEM}$	$\bar{P} \pm \text{SEM}$	r^2	$\ln a \pm \text{SEM}$	$b \pm \text{SEM}$	r^2	
2002	277.9±279.6	2.92±0.89	0.68	1.75±0.61	1.90±0.12	0.98	2-569
2003	25.1±67.9	14.4±6.7	0.61	2.84±0.53	1.92±0.26	0.96	1-17
통합 ¹	170.2±126.4	3.2±0.52	0.79	2.76±0.41	1.73±0.10	0.97	1-569

¹ 2002년, 2003년 평택 밀도 자료 통합

나) 고정정밀도 표본조사법(Fixed-precision-level sampling method)

일반화된 TPL모형을 만들고 여기서 구해진 a, b값을 이용하여 Reusink (1980)의 방법으로 원하는 정밀도에서 밀도추정을 위한 고정표본 조사시 필요한 표본수를 구하였다.

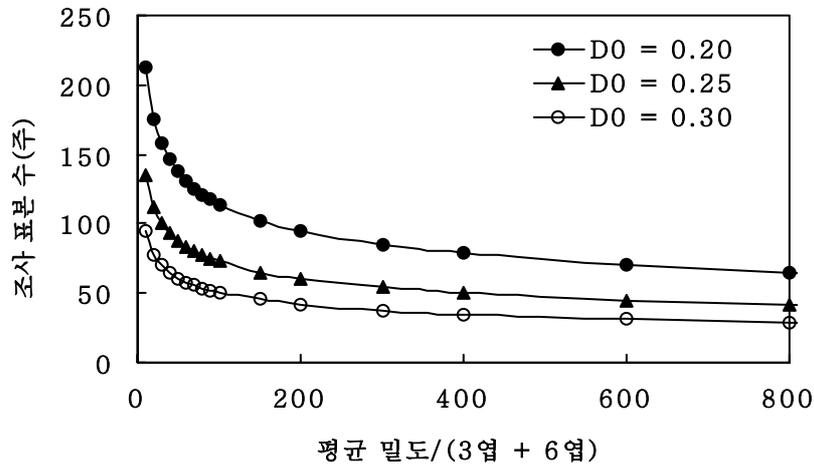


그림 1-46. 각 고정 정밀도 수준별 표본 추출 정지선

그림 1-46은 앞서 구한 TPL 파라미터를 이용하여 고정정밀도 수준에 따른 표본추출정지선을 나타낸 것이다. 1,000평의 관행방제 농가에서 오이의 영양생식시기 주당 경제적 피해허용수준을 목화진딧물 1,960마리의 20%인 391마리/(3, 6엽) 수준이라 설정한 경우 평균 발생밀도 추정을 위한 표본추출 정지선에서 밀도 조사를 위해 필요한 표본 수(株)는 고정정밀도가 0.25인 수준에서 약 60개 정도의 표본수(株)를 선택하면 충분할 것으로 여겨진다. 이는 앞서 전수 조사할 경우 필요한 표본수인 30개(株)의 두 배로 주내 3, 6엽만 밀도 조사할 경우 목화진딧물의 집중도나 불규칙성이 증가하여 더 많은 표본 수를 설정해야 하는 것으로 추정된다.

다) 축차표본조사법을 이용한 방제 의사결정

앞서 공간분포 분석에서 구하여진 TPL 계수와 시뮬레이션 모형 프로그램 (Binns *et al.*, 2000)을 이용하여 앞서 분석한 방법과 같이 방제의사 결정수준과 필요한 표본수를 설정하였다.

축차표본조사법 설정에서 1,000여 평 규모의 시설 내에서 조사해야 할 적정 표본 수를 앞서 표본추출정지선을 통하여 구하여진 60개(株)로 설정했을 때 각각의 최소 표본 수를 각각 15, 20, 30 개(株)씩 설정하였다. 우선 최소표본 수를 15주씩 설정하여 4번 연속 조사하는 방법, 그리고 20주씩 세 번 연속 조사하는 방법과 마지막으로 한번에 30주씩 2번 연속 조사하는 방법으로 축차표본 조사 계획을 설정하였다(그림 1-48).

최소 표본수를 15개로 설정한 축차표본조사법의 경우 최초 15개의 오이를 전수 조사하였을 때 주내 전체 목화진딧물 누적밀도 수가 누적상한선인 약 10,000마리 수준 이상이였다면 즉시 방제를 수행해야하는 상황이고 매 조사시기마다 누적상한 밀도이상(즉시 방제)인지 누적하한 밀도이하(표본조사 중단)인지 아니면 두 밀도 중간(표본조사 계속)인지에 따라 표본조사 계속 여부를 신속하게 결정 할 수 있을 것이다. 이렇게 고정 표본조사법에 축차표본조사법을 병행하여 수행한다면 효과적인 표본조사법을 개발할 수 있을 것이다.

경제적 피해허용수준인 임계밀도를 앞서 경제적 피해수준 설정 과정에서 제시된 밀도수준인 주당 3, 6엽 밀도 합계인 391마리로 설정한 후 시뮬레이션프로그램에 각 조사결과의 파라미터들을 입력한 후 각각 1,000회 반복 실행하였다. 분석결과는 다른 수의 최대 조사 표본수에 따fms OC함의 기울기의 차이는 없었으며 ASN함수의 경우 경제적 피해허용수준에서 더 많은 표본조사가 이루어져야하는 것으로 나타났다(그림 1-47).

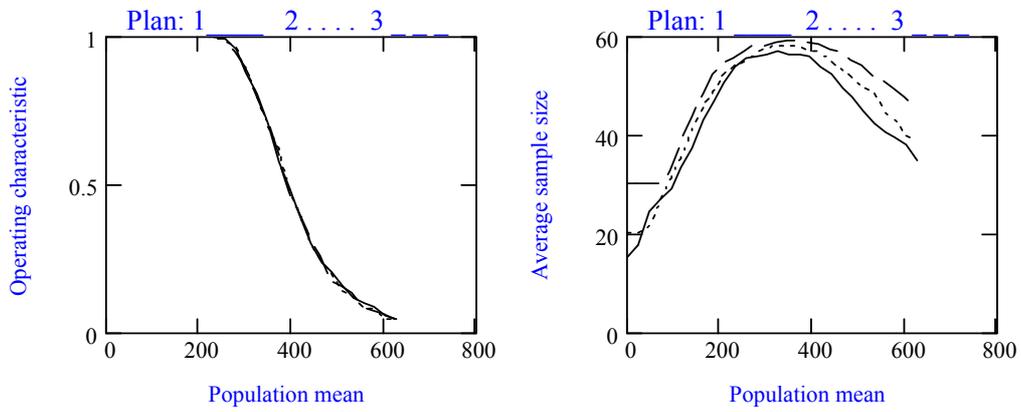


그림 1-47. 방제 의사결정계획에서 OC함수와 평균 표본 수와의 관계(경제적 피해허용수준 = 391마리/(3엽 + 6엽))

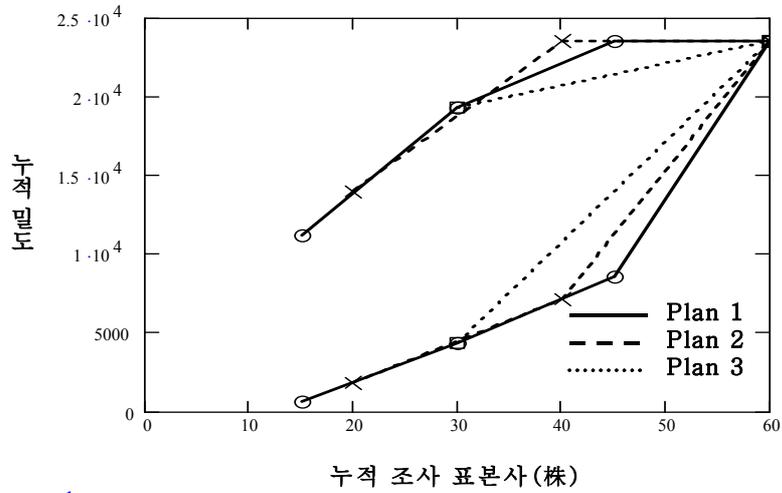


그림 1-48. 축차표본추출(sequential sampling) 계획(경제적 피해허용수준 = 391마리/(3엽 +6엽))

라) 개발된 조사법의 평가

2002-2003년 평택 농가온실내 오이에서 주내 하위 3엽과 6엽의 목화진딧물 밀도를 조사한 결과를 분석하여 개발한 고정정밀도 표본조사법의 타당성을 검증하고 이를 기반으로 한 목화진딧물 밀도의 표본조사법을 개발하고자 밀도조사법을 앞에서와 같이 RVSP(Resampling Validation for Sampling Plan)프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 실행하여 개발된 방법의 정밀도를 평가하였다. 표 1-21는 육안 표본조사법을 평가한 결과이다. 2002-2003년 총 12회 조사결과 자료를 입력하여 분석한 결과, 분석이 가능한 조사 자료는 목화진딧물 주당 발생 밀도가 대체로 높고 온실내에 고르게 형성되었던 조사시기의 자료들만이 분석이 가능하였다. 총 12개의 평가세트 중 5개의 평가세트에서 실제 시뮬레이션 평균 D 값이 희망하는 고정정밀도 D가 0.25인 값보다 같거나 낮게 나타났다. 평균 D값은 500번 반복 시뮬레이션의 평균값으로 밀도조사법의 검증을 위해 더욱 중요한 것은 500번 반복결과의 실측 D값의 분포이다. 평균 고정정밀도가 낮게 나타난 5개의 평가 세트 중 2002년 6월 6일 D값이 0.25보다 작거나 같은 비율이 60.4%이고 나머지 4개의 평가세트의 시뮬레이션 결과에서는 모든 D값들이 0.25보다 낮게 나타나 정밀도가 높게 나타났다(Nyrop 과 Binns 1991).

표 1-21. 주내 하위 3, 6엽 육안 표본조사법 이용하여 목화진딧물 밀도를 예측할 경우 RVSP 시뮬레이션을 이용한 표본조사법의 평가 결과(시뮬레이션은 고정정밀도 (D=0.25)에서 500회 반복)

조사 자료			시뮬레이션		
조사 시기	예측 밀도	평균 D	평균밀도	평균 표본크기	% 시뮬레이션 D ≤ 희망하는 D
2002/05/01	267	0.32	271	57	2.4
2002/05/08	67.7	0.31	73.0	82	3.6
2002/05/15	2.4	0.15	2.5	198	100
2002/05/22	18.4	0.20	18.9	116	100
2002/05/29	354	0.18	358	53	100
2002/06/06	4.1	0.25	364	53	60.4
2002/06/13	569	0.18	548	47	100
2003/04/03	1.0	0.45	0.53	314	0.0
2003/04/10	2.1	0.38	2.3	211	0.0
2003/04/18	14.1	0.45	15.4	127	0.0
2003/04/24	17.2	0.27	17.8	119	31.4
2003/05/01	2.6	0.27	2.7	196	32.2

3) 결론

이상의 결과를 종합하면 오이 포장에서 목화진딧물 밀도조사를 실시할 경우 1000여 평의 온실에서 간이에찰에 필요한 표본수(株)는 30개 정도로 주(株) 사이의 간격은 10m정도였다. 이를 바탕으로 축차표본조사법을 수행하는 것이 신속한 방제의사 결정을 내리는데 효율적인 표본조사방법이 될 것이다. 또한 주내에서 발생하는 밀도 수준을 대표할 수 있는 특정 엽을 선별적으로 선택하여 조사하는 계층별 조사방법이나 체계적 조사방법이 더 효과적이었으며 실제로 조사 결과 체계적 표본조사방법은 주내 전체 엽수의 20%나 2-3개 정도의 엽을 선택하여 조사하여도 주내 밀도 수준을 어느 정도 예측 할 수 있었다. 목화진딧물의 밀도 분포분석 결과 오이 하위 3, 6엽은 주내 전체 밀도의 20%를 차지하였는데 실제로 주내 하위 3, 6엽만을 조사하여 주내 전체 발생 밀도를 예측하는 경우에도 주내 모든 엽을 전수 조사하는 것과 정밀도가 크게 차이가 없는 결과를 보여 경제적인 밀도 조사방법이 될 수 있다고 본다. 오이 주내 하위 3, 6엽만을 대상으로 밀도조사를 실시할 경우 1000여 평 규모에서 필요한 조사 표본 주(株)는 주내 전체 엽 조사방법에서 필요한 30주보다 많은 50-60개 정도였다. 15개주 한 세트로 조사하는 축차표본조사법을 수행한다면 신속한 방제의사 결정을 내리는데 효과적인 것으로 분석되었다. 또한 오이 주내 하위 3, 6엽을 조사하는 방법으로는 임계밀도(T=1)를 설정하여 감염된 엽의 비율과 주당 목화진딧물 수를 추정하는 방법이나 엽내 목화진딧물 밀도 조사시 격자를 이용하여 조사하는 방법을 이용하는 것이 유용한 표본 조사방법으로 분석되었다.

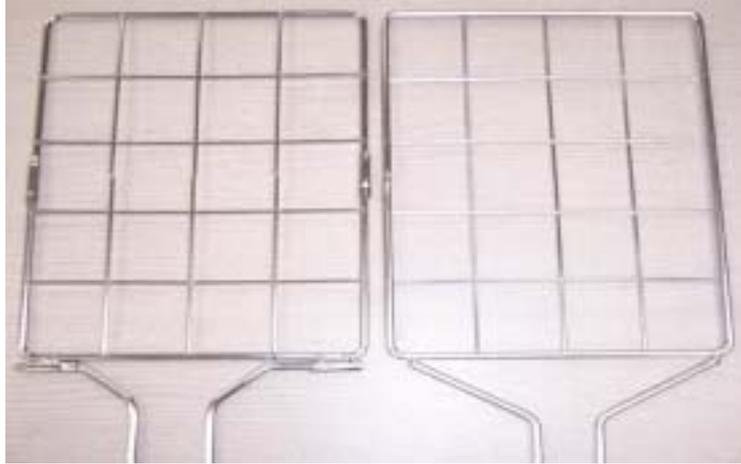


그림 1-49. 목화진딧물 간이에찰용 격자(grid) - 각 격자내 20구의 셀(3X3cm)들로 구성되어 있고 휴대하기 편하도록 조립과 분해가 간편함

1-3. 오이에서 오이총채벌레의 경제적 피해수준의 결정

가. 오이총채벌레의 오이 피해

오이총채벌레(*Thrips palmi* Karny)는 열대 및 아열대 지방이 원산으로 총채벌레목(Thysanoptera), 총채벌레과(Thripidae)에 속하는 해충으로 홍콩, 일본, 대만 등 동남아시아 지역으로 과채류에서 피해가 극심하여 문제해충으로 등장하게 되었다. 우리나라에서는 1993년 11월 제주도에서 일본으로 수출하는 파리고추 하우스에서 최초로 발생하게 되었다. 그후에 경기도, 경북, 경남, 전남 등지로 확산되어 그 후 점차 확산되어 큰 피해를 주고 있다. 오이총채벌레에 의한 피해는 성충과 약충의 섭식으로 일어나며 시설 오이에서 잎이 가해를 받아 생육이 저해되어 수량이 5% 감소를 일으키는 밀도는 엽당 성충 5.3마리였고 과실에 상처를 내어 품질에 문제가 있는 과실 5%를 발생시키는 밀도는 엽당 성충 4.4마리로 그 차는 크지 않았다(Kawai, 1986b). 노지 오이에서는 오이총채벌레 발생이 수량과 과실의 크기 감소를 가져오며 9.4마리/일/cm² 이상일 때 수량이 저하되었으며(Welter 등, 1990), 멜론에서 정식 시 생장점에 발생하는 밀도에 따라 초기 생육이 영향을 받았다(Ohnishi와 Miyashita, 1985).

한편 과실이 가해를 받는 경우는 전체적인 수량의 감소보다는 주로 과실 표면이 가해되어 상품성이 떨어지는 피해과율 증가의 형태로 나타난다. 오이에서는 과실표면이 울퉁불퉁하게 되고 돌기가 없어지게 되며 굵은과가 형성되고 과피가 거칠어지면서 비대가 느려진다.



그림 1-50. 오이충채벌레에 의한 과실의 피해

충채벌레류는 Tospovirus 속의 바이러스를 매개하는데, 1982년 오키나와(Okinawa) 섬에서 수박의 잎이 회백색으로 변하면서 변형되고, 과실은 퇴록색으로 되면서 생육이 나빠지는 병해가 대발생하였는데 그의 원인 바이러스는 *Tomato spotted wilt virus*(TSWV)와 비슷하여 TSWV의 수박계통이라 하였으나(Iwaki 등, 1984; Hokama, 1987), *Watermelon silver mottle virus*(WSMV)로 판명되었다(Yeh와 Chang, 1995; Tsuda 등, 1996). 이 바이러스는 다른 Tospovirus속 바이러스와 같이 여러 가지 충채벌레류가 매개하는 것으로 생각된다.

나. 피해분석

1) 오이총채벌레와 피해엽면적과의 상관관계

가) 오이총채벌레와 피해엽면적과의 관계

(1) 재료 및 방법

오이에 오이총채벌레를 접종하여 피해요인 계량화실험을 수행하였다. 오이 총채벌레의 밀도는 총채벌레 밀도일(Thrips-days, 식 1-17)로 변환하여 분석에 이용하였다.

$$\text{총채벌레 밀도일} = \frac{\text{총채벌레밀도 } t_1 + \text{총채벌레밀도 } t_0}{2} \times (t_1 - t_0) \quad \text{-- (식 1-17)}$$

실험을 위해 3엽기 오이 중 2엽을 제거 한 후 남은 오이 잎을 주맥을 중앙으로 해서 가로 3 cm, 세로 2 cm 크기로 만들었다(그림 1-51). 오이총채벌레의 이동을 막기 위해서 주맥과 엽병에 탱글풋(Tangle foot^R)을 칠하였다. 오이총채벌레 접종은 주맥을 중심으로 한 쪽 면은 접종구로 다른 쪽 면은 대조구로 설정하였다(Park and Lee, 2002). 접종 밀도 수준은 0, 1, 2, 4, 8, 16, 32 마리이며 반복은 3반복, 가해기간은 동일하게 5일간 감염시켰다. 5일 가해기간이 지난 후 오이총채벌레를 제거한 실험 잎은 디지털 카메라로 촬영하여 화상분석 시스템(Image analysis system Ver 1.3, Seung won)에서 피해 엽면적을 계산하였다. 촬영 후 바로 광합성 측정기(Li-6400 portable photosynthesis system; Li-Cor, Lincoln, NE)를 이용하여 광합성량($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)을 측정하였다. 이 때 광합성 기기의 photon flux density는 $1200 \text{ mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ 으로 설정하였고, airflow rate는 400 ml/min이며, leaf chamber의 온도는 25 °C로 설정하여 광합성량을 측정하였다. 엽록소 함량을 측정하기 위해 피해잎에서 직경 3 cm크기의 디스크를 보오리로 절단하여 순도 99% 알코올에 3일 동안 상온에서 담가 엽록소를 추출한 후 스펙트로 포토미터(Hewlett packard,

8535)를 이용하여 엽록소량을 측정하였다.



(A) (B)
그림 1-51. 오이총채벌레에 의한 피해 엽면적과의 관계 실험(A ; 오이총채벌레 접종구, B ; Image analysis 분석영상)

(2) 결 과

광합성률은 총채벌레 밀도일이 증가함에 따라 감소하였다(그림 1-52). 총채벌레 밀도일은 초기 접종 성충수와 조사시기의 성충수의 합을 2로 나누어 가해일수(5일)를 곱한 값이다. 성충 총채벌레 밀도일 160일은 접종한 성충 32마리가 5일을 가해한 밀도일이다. 이는 평균적으로 25-30 °C정도 일 때 오이총채벌레의 총 발육일은 4-5일정도 소요되므로 초기 접종 성충수에서 조사시기의 성충수는 같은 값을 가진다. 그러므로 모든 가해일수는 초기 접종밀도를 틀리게 하고 발육일인 5일을 기준으로 설정하였다. 성충 총채벌레 밀도일 160일 처리구는 무처리구에 비해 광합성률이 30%정도 감소하였다.

전체 엽록소 함량(total chlorophyll content)도 성충 총채벌레 밀도일이 증가함에 따라 감소하였다(그림 1-53). 전체 엽록소 함량의 감소는 광합성률의 감소와는 조금 다른 결과를 보였다. 성충 총채벌레 밀도일 80까지는 전체 엽록소 함량의 감소는 거의 없었지만 160밀도일의 경우 20%정도의 감소량을 보였다. 엽록소 함량은 낮은 밀도수준에서는 거의 차이가 없었다.

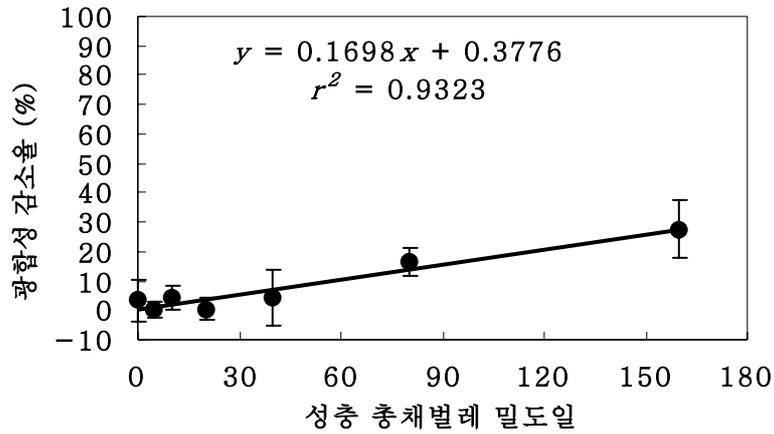


그림 1-52. 성충 총채벌레 밀도일과 광합성 감소율 간의 관계

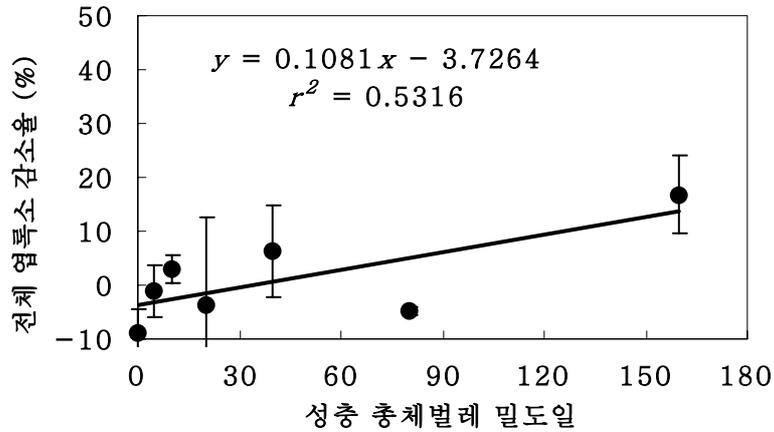


그림 1-53. 성충 총채벌레 밀도일과 전체 엽록소 감소율 간의 관계

오이총채벌레에 의한 피해있는 피해 받은 부분이 황화현상을 보이고 화상분석시스템(Image analysis system)을 통하여 흰색부분과 녹색부분이 영상으로 잡혀서 흰색부분의 피해를 입은 엽면적을 계산하게 된다. 오이총채벌레의 가해에 의한 엽면적의 손

실은 광합성량과 전체 엽록소 함량의 감소율과 비슷한 결과를 보였다. 피해가 심한 성충 총채벌레 밀도일 160일 때 전체 엽면적의 20%정도의 감소량을 보였고, 6cm²의 전체 면적으로 보면 1.084 cm²의 감소를 나타내었다(표 1-22).

표 1-22. 성충 총채벌레 밀도일과 피해 엽면적, 정상 엽면적율 간의 관계

성충 총채벌레 밀도일	피해 엽면적(cm ² / 6 cm ²)		정상 엽면적율(%)	
	대조구	실험구	대조구	실험구
0	0.063 ± 0.0288	0.081 ± 0.0526a	98.95 ± 0.479	98.04 ± 0.8760a
5 ^a	0.036 ± 0.0162	0.236 ± 0.0808a	99.39 ± 0.270	96.07 ± 1.3468a
10	0.172 ± 0.1068	0.465 ± 0.1677ab	97.14 ± 1.780	92.25 ± 2.795ab
20	0.026 ± 0.0064	0.360 ± 0.0681ab	99.57 ± 0.107	93.99 ± 1.135ab
40	0.044 ± 0.0311	0.803 ± 0.2156ab	99.26 ± 0.518	86.62 ± 3.593ab
80	0.049 ± 0.0183	0.482 ± 0.0617ab	99.18 ± 0.305	91.97 ± 1.028ab
160	0.145 ± 0.0281	1.084 ± 0.3309b	97.58 ± 0.469	81.93 ± 5.5140b

동일 열에서 같은 문자를 가진 평균치는 유의한 차이를 나타내지 않음(P>0.05; Tukey).

*a : 5-1, 10-2, 20-4, 40-8, 80-16, 160-32 오이총채벌레 / 6 cm²

2) 생장 시기별 오이총채벌레의 초기 밀도에 따른 피해분석

오이의 생장 시기는 목화진딧물의 피해실험과 동일하게 어린 유묘를 정식 후 잎과 줄기의 성장을 도모하는 영양생장시기(유묘시기-5엽시기)와 과실의 성장을 도모하는 영양생식생장시기(10엽, 15엽시기)로 나누어 실험을 수행하였다.

가) 영양생장 시기의 오이총채벌레의 초기 밀도에 따른 피해

(1) 재료 및 방법

오이의 영양생장시기에 오이총채벌레의 초기 밀도별 피해를 분석하기 위해서 농업과학기술연구원의 비닐하우스(30평, 5m×10m)에서 실험을 실시하였다. 오이의 재식거리는 30cm였으며 이랑사이의 거리는 1m간격이며 총 300주를 정식하였다. 오이 재배는 주지형 중 유인방식을 채택하였다. 오이총채벌레의 초기 유입밀도수준은 무처리, 저밀도(주당 암수 4쌍), 중밀도(주당 암수 8쌍), 고밀도(주당 암수 16쌍)로 하였고 5엽기 오이의 하위 3번째 잎에 접종하였다. 일주일 후 밀도조사를 실시하여 죽었거나 이탈한 오이총채벌레 수를 추가로 접종하였다. 따라서 초기접종밀도 수준은 0, 8, 16, 32마리 였다. 처리당 반복은 15주였으며 완전임의 배치법으로 조사구를 배치하였다.

오이총채벌레 밀도조사 방법은 3가지로 나누어 조사하였다. 오이 전엽 조사(지상부에서 초순까지) 5주, 상(지상부에서 150cm), 중(지상부에서 100cm), 하(지상부에서 50cm)조사 5주, Grid(3×3cm×20격자) 5주씩 5주간 1주일 간격으로 조사하였다. 오이의 생육조사는 매주 표본을 5주 선정하여 엽폭을 측정하여 엽면적을 산출($y = 0.3648x^{2.165}$, x = 엽폭 길이, y = 엽면적, $r^2=0.973$)하였다. 오이 생산량은 과실의 길이가 15 cm 이상일 때 수확하여 수확직후 생체량을 측정하였다. 오이의 상품성은 1, 2, 3등급으로 나누고 만곡과를 선별하였다. 시설 오이 품질 관리기준은 목화진딧물 피해분석 방법과 동일하게 적용되었다.

(2) 결과

영양생장시기에서 오이총채벌레의 밀도는 초기 밀도에 따른 성장이 달랐다. 8마리 접종구에서는 밀도 증식이 거의 일어나지 않았다. 32마리 접종구에서는 접종 후 28일부터 감소하기 시작하였는데 이는 오이 총채벌레의 가해로 인하여 기주식물의 질이 상당히 떨어졌기 때문인 것으로 분석된다(그림 1-54). 오이총채벌레에 의한 오이 피해는 목화진딧물의 경우와 마찬가지로 누적 총채벌레 밀도일로 분석하였다(그림 1-55).

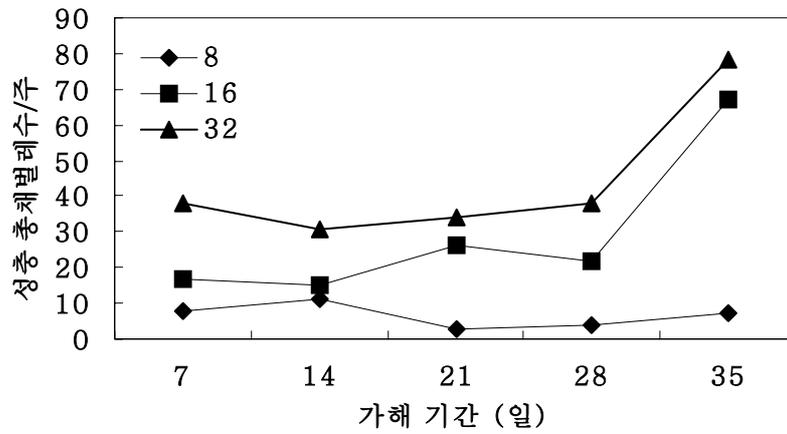
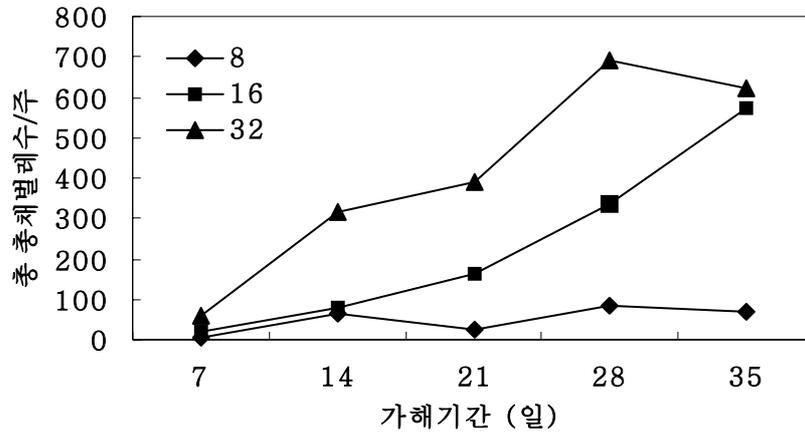


그림 1-54. 영양생장시기 오이에서의 초기 오이총채벌레 밀도 및 가해기간에 따른 오이총채벌레 발생소장

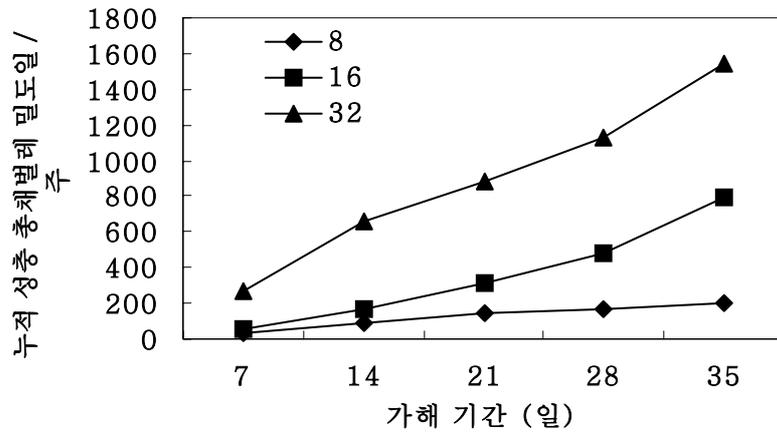
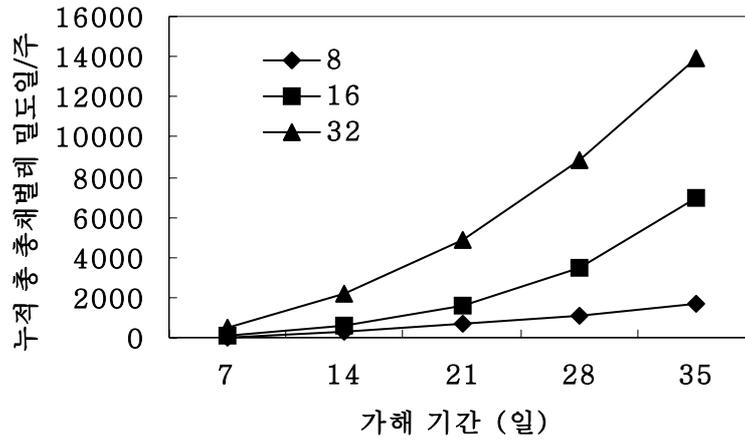


그림 1-55. 영양생장시기 오이에서의 초기 총채벌레 밀도 및 가해기간에 따른 누적 총채벌레 밀도일 발생소장

오이 총채벌레 초기 접종수에 따른 오이 생산량을 산출하였다(표 1-23). 오이 생산량(g)은 전체 실험기간(초기접종 후 42일)동안의 주(株)당 생산량이다. 과실생산

량은 오이 총채벌레 초기 밀도가 높을수록 감소하였다. 초기 접종밀도가 암수 16쌍(32마리)일 때 누적 총 총채벌레 밀도일은 약 18,839까지 증가하였고, 주당 과실 생산량은 1,192g으로 전체 생산량의 약 43.64%의 감소율을 보였다. 누적 총 총채벌레 밀도일과 과실 생체량은 높은 상관관계를 보였다($r^2=0.9116$).

표 1-23. 오이총채벌레 초기 밀도 및 가해기간에 따른 오이의 과실 생산량(g)

오이생육시기	초기 총채벌레 수/주			
	0	8	16	32
영양생장	2287±592.3a	2017±135.18ab	1767±109.45ab	1192±245.97b

* 동일 열에서 같은 문자를 가진 평균치는 유의한 차이를 나타내지 않음($P>0.05$; Tukey).

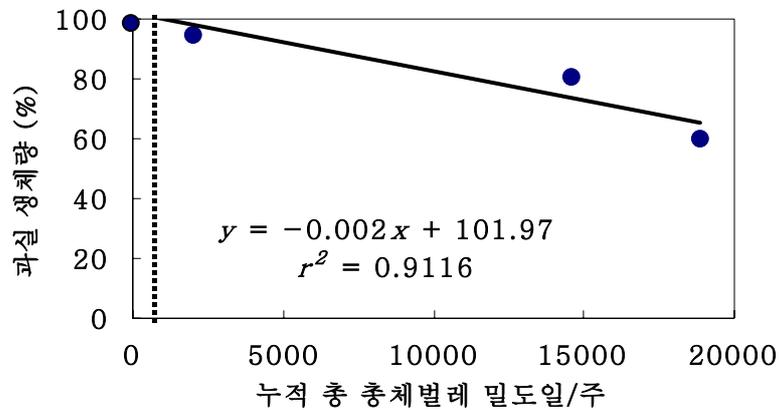


그림 1-56. 영양생장시기 오이에서의 누적 총 총채벌레 밀도일과 과실 생체량간의 관계

나) 영양생식생장 시기의 오이총채벌레의 초기 밀도에 따른 피해

(1) 재료 및 방법

오이의 영양생식생장시기에 오이총채벌레의 초기 밀도에 따른 피해를 분석하기 위해서 서울대 농생대 실험농장 유리온실에서 실험을 실시하였다. 오이의 재식거리는 30cm로 하였고 이랑사이의 거리는 1m간격으로 60주를 정식하였다. 오이 재배는 영양생장시기와 마찬가지로 주지형 중 유인방식을 채택하였다. 오이총채벌레의 초기 밀도수준은 무 처리, 저밀도(주당 암수 4쌍), 중밀도(주당 암수 8쌍), 고밀도(주당 암수 16쌍), 최고밀도(주당 암수 32쌍)로 하였고 10엽기 오이의 하위 3번째 잎에 접종하였다. 일주일 후 밀도조사를 실시하여 죽었거나 이탈한 오이총채벌레 수를 추가로 접종하였다. 따라서 초기접종밀도 수준은 0, 8, 16, 32, 64마리였다. 처리 당 반복은 15주이며 완전임의 배치법으로 조사구를 배치하였다.

(2) 결 과

영양생식생장시기의 경우에도 오이총채벌레의 밀도는 초기 밀도에 따라서 가해기간이 길어질수록 증가하였다(그림 1-57). 초기 밀도가 커질수록 주당 전체 총채벌레 밀도가 높고, 성충밀도도 증가하였다. 접종 후 감염기간이 35일에 최대 밀도수준을 보였으며 접종 후 42일에서는 밀도수준 전체가 감소하였다. 이는 오이가 오이총채벌레의 가해로 인해 질이 크게 떨어졌기 때문인 것으로 분석된다.

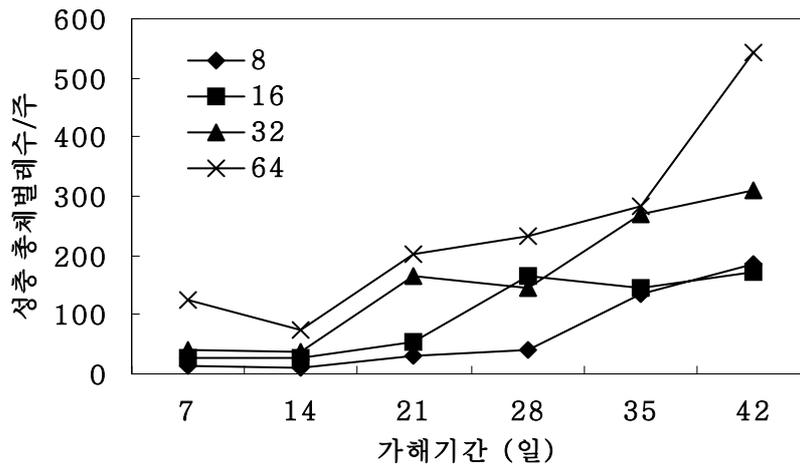
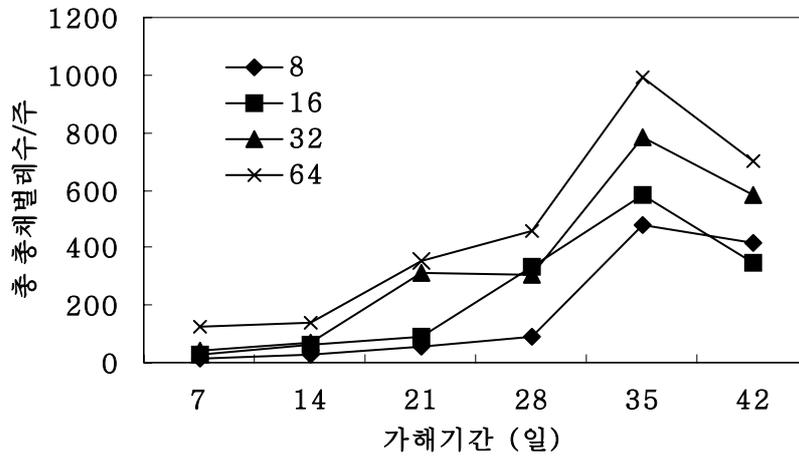


그림 1-57. 영양생식성장시기 오이에서의 초기 오이총채벌레 밀도 및 가해기간에 따른 오이총채벌레 밀도 변이

영양생식성장시기의 누적 총 오이총채벌레 밀도일은 가해기간이 길수록, 초기 밀도가 커질수록 증가하였다(그림 1-58). 누적 성충 총채벌레 밀도일도 마찬가지로 가해기간과 초기 유입밀도가 증가함에 따라 증가하였다.

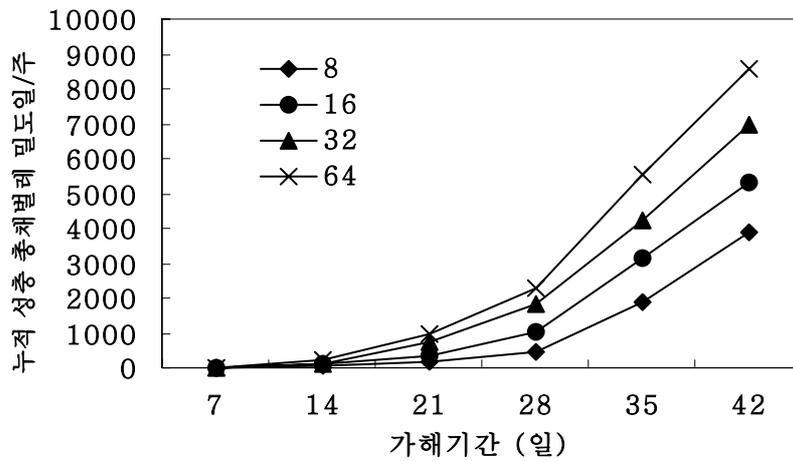
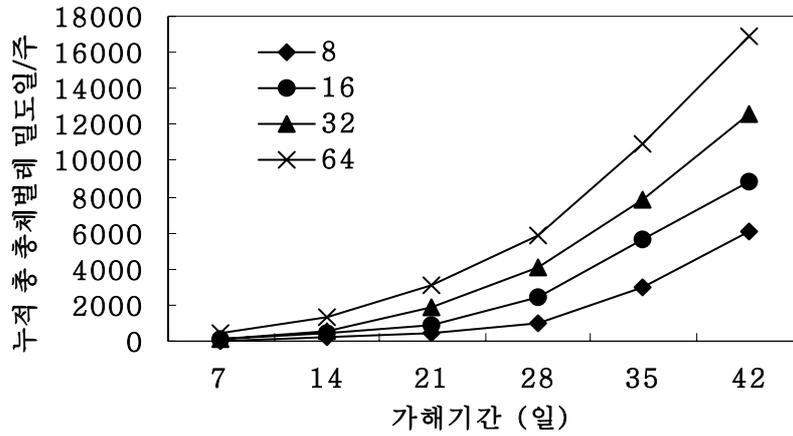


그림 1-58. 영양생식성장시기 오이에서의 초기 오이총채벌레 밀도 및 가해기간에 따른 누적 총채벌레 밀도일 발생소장

오이총채벌레 초기 접종수에 따른 42일간 오이 생산량은 표 1-24와 같았다. 초기 총채벌레 접종수가 커질수록 주당 오이 과실 생산량은 감소하였다. 그러나 초기 총채벌레 접종수 8, 16, 32은 생산량은 감소하나 대조구와 유의한 차이를 나타내지 않았다.

초기 접종수가 64마리부터 유의한 차이를 나타내었다. 이는 대조구를 100%로 두고 환산하면 생산량이 37%감소하였음을 의미한다. 과실 생산율은 3086 누적 총 총채벌레 밀도일을 기준으로 누적 총 총채벌레 밀도일이 증가할수록 감소하였다. 누적 총 총채벌레 밀도일과 과실 생체량은 높은 상관관계를 보였다($r^2=0.8778$).

표 1-24. 오이총채벌레 초기 밀도 및 가해기간에 따른 오이의 과실 생산량(g)

오이생육시기	초기 총채벌레 수/주				
	0	8	16	32	64
영양생식생장	1173 ± 80.2a	1086 ± 82.95ab	992 ± 71.9ab	995 ± 198.2ab	745 ± 121.5b

* 동일 열에서 같은 문자를 가진 평균치는 유의한 차이를 나타내지 않는다($P>0.05$; Tukey).

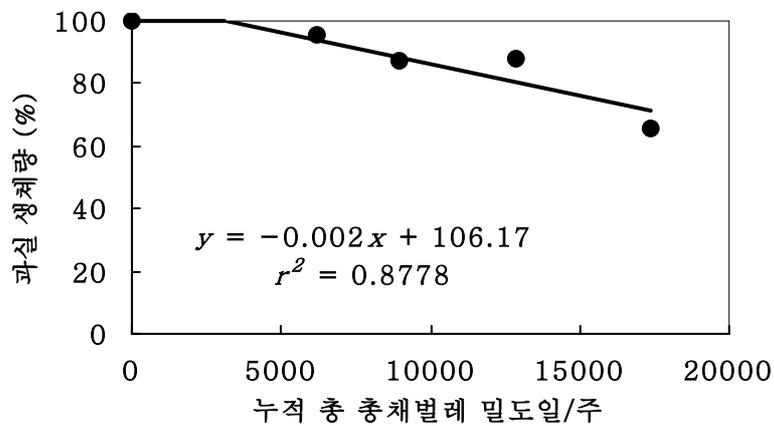


그림 1-59. 영양생식생장시기 오이에서의 누적 총 총채벌레 밀도일과 과실 생체량간의 관계

다) 오이 생육시기에 따른 오이 총채벌레 피해에 의한 오이 품질의 변화

오이의 생육시기에 따른 오이 총채벌레 피해는 오이 품질에 변화를 보였다. 오이 품질은 전체 생산량 중에서 국립 농산물 품질관리원에서 심곡도(굽은 정도)를 기준으로 3개의 등급으로 나누어 관리하고 있다. 그래서 생육시기에 따른 피해분석에서 과실 생산율은 각 과실의 생산량을 시장가격으로 곱하여 환산한 값이 실제 경제적 피해수준을 설정하는데 필요한 피해계수의 기울기를 가지는 과실 시장가율이 된다. 영양생장시기의 오이 과실 생산율(%)에 생산된 과실의 상품성을 가격으로 정리하여 오이 과실 시장가율과 누적 총 총채벌레 밀도일과의 관계를 나타내었다(그림 1-60). 영양생장시기의 오이 과실 시장가율도 오이 과실 생산율과 같이 누적 총채벌레 밀도일이 증가할수록 감소하였다. 그러나 과실 생산율(D=0.002)보다 상품성을 가격으로 환산한 값인 과실 시장가율(D=0.0024)이 누적 총채벌레 밀도일이 증가할수록 기울기가 더 커졌다. 이는 상품성이 좋은 오이과실의 생산은 누적 총채벌레 밀도일이 증가할수록 떨어지는 것을 의미한다. 영양생식생장시기도 같은 결과를 나타내었다(그림 1-61).

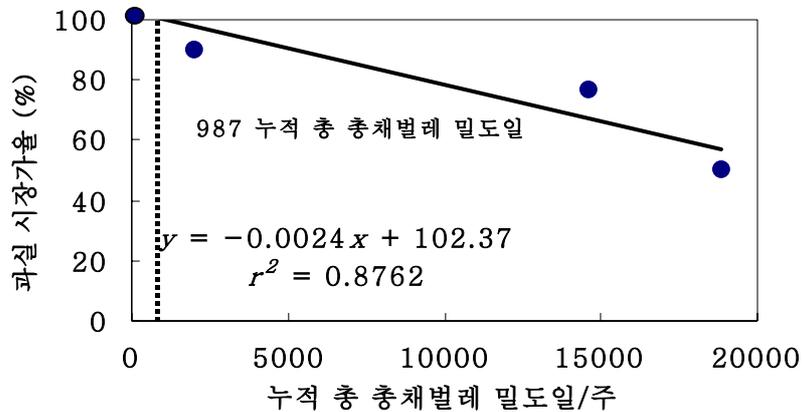


그림 1-60. 영양생장시기 오이에서의 주당 누적 총채벌레 밀도일과 생산 오이 시장가율간의 관계

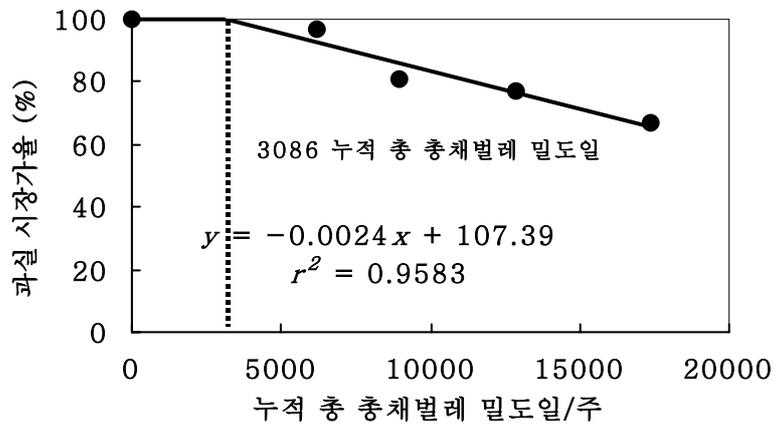


그림 1-61. 영양생식생장시기 오이에서의 주당 누적 총채벌레 밀도와 생산 오이 시장가율간의 관계

다. 경제적 피해수준(Economic threshold)의 설정 및 응용

1) 경제적 피해수준의 각 항목의 설정

가) 방제비용

방제비용은 오이에서 목화진딧물의 피해분석시 방제비용 산출방법과 동일하게 계산하였다. 2004년 농약사용지침서에 등록된 오이총채벌레 농약의 약제가격과 각 가격을 10a당 방제가로 환산하여 표기하였다.

나) 오이의 시장가격

오이의 시장가격도 목화진딧물 피해분석 시와 동일하게 계산하였다.

다) 방제비용 동가수량

방제비용 동가수량을 약제별로 정리하였다(표 1-25). 방제비용 동가수량은 각 농약의 10a당 개별 가격에 노동가인 9,375원을 더하면 방제가가 나오게 된다. 그 방제가를 곡물가인 1,285원으로 나누어준 오이총채벌레의 방제용 동가수량은 이미다클로프리드의 10.72에서 에마멕틴 벤조에이드의 19.43까지 큰 변동을 보였다.

표 1-25 오이총채벌레에 대한 오이의 방제비용 동가수량

이름	성상	가격/10a	방제가	곡물가 (원/kg)	방제비용 동가수량 (kg/10a)
디노테푸란	입상	11,200	20,575		16.01
스피노사드	수화	13,600	22,975		17.88
아세타미프리드	유화	4,880	14,225		11.09
에마멕틴벤조에이드	수화	15,600	24,975	1,285	19.43
이미다클로프리드	입상	4,400	13,775	(1999'- 2003' 평균가)	10.72
치아메톡삼	수화	5,120	14,495		11.28
클로르헨나피드	액상	8,320	17,695		13.83
클로치아니딘	액상	8,800	18,175		14.14
평균		8,990	18,361		14.29

한국 농약공업협회, 2004

라) 내성도

오이 총채벌레 초기 접종수준 처리별 오이 생산량의 차이는 SAS(PROC ANOVA; SAS Institute, 1999)을 이용하여 분석하였다. SAS분석 결과 대조구와 유의한 차이를 보이지 않은 초기 총채벌레 접종수 8마리의 누적 총 총채벌레 밀도일의 평균값을

구하였다. 영양생장시기는 987 누적 총 총채벌레 밀도일, 영양생식생장시기에서는 3086누적 총 총채벌레 밀도일이 산출되었다. 영양생식생장시기는 영양생장시기보다 감수성이 낮아 더 높은 내성도값을 나타내었다.

마) 피해계수

오이총채벌레 피해계수는 목화진딧물 피해분석과 동일한 방법으로 그래프의 기울기로부터 계산하였다.

바) 방제효율

방제효율은 농가의 경영방식, 재배환경, 살충제의 종류 등에 따라 달라질 수 있으므로 K = 0.9(90%방제효과)로 설정하였다.

2) 경제적 피해수준의 설정

오이는 생육기간이 정식 후 3~4개월 정도 재배하게 된다. 오이총채벌레는 오이의 생육기간 동안 지속적으로 증가하기 때문에 정식 후 오이총채벌레의 초기 밀도가 전체 밀도크기 및 오이 생산량의 피해를 좌우하게 된다. 경제적 피해수준은 일정 시점에서 추정된 해충의 밀도를 의미하지만 농가조건에서 오이총채벌레의 밀도수준은 오이 생육기간 동안 지속적으로 증가하기 때문에 그 피해를 누적하여 계산하는 것이 더 합리적이다. 본 연구에서도 정식 후 초기유입밀도를 정하여 정착된 오이총채벌레의 누적 총채벌레 밀도일을 이용하여 경제적 피해수준을 산출하였다. 경제적 피해수준 설정식은 목화진딧물 경제적 피해수준 설정식을 이용하였다(식 1-18).

$$EIL = T + \frac{C}{PDK} = T + \frac{(GT)}{DK} \text{-----} \text{ (식 1-18)}$$

오이충채벌레의 내성도는 SAS(PROC ANOVA; SAS Institute, 1999)을 이용하여 영양생장시기는 987 누적 총 총채벌레 밀도일, 영양생식생장시기는 3,086 밀도일이 산출되었다. 경제적 피해수준의 피해계수는 누적 총채벌레 밀도일과 오이 시장가을 감소율간의 회귀식에서 기울기를 수식에 사용하였다(Pedigo, 2002). 영양생장시기 오이에서의 피해계수는 기울기 0.0024(%/밀도일)에 목화진딧물과 마찬가지로 주당 기대생산량인 2,635g을 곱하여 0.063(g/밀도일), 영양생식생장시기도 같은 방법으로 0.0024(%/밀도일)에 2,635g을 곱하여 0.063(g/밀도일)의 피해계수를 산출하여 아래의 식에 정리하였다. 단위를 산정하기 위하여 도출된 D값에 단위 면적당 재식수 및 kg당 오이 가격을 이용하여 단위면적당 무게로 설정하였다.

영양생장시기의 경제적 피해수준의 경우 방제비용 동가수량은 오이충채벌레 방제에 사용되는 약제의 평균값을 기준으로 14.29, 피해계수는 0.063(g/밀도일)=0.000063kg/밀도일, 방제효율은 0.9를 넣어서 계산하면 다음과 같이 나타난다(식 1-19).

$$EIL (>987) = \frac{GT}{DK} = \frac{14.29}{0.000063 \times 0.9} = 252,028 \text{ 밀도일/10a} \text{ -- (식 1-19)}$$

영양생식생장시기도 영양생장시기와 동일한 방법으로 산출하면 다음과 같이 나타난다(식 1-20).

$$EIL (>3086) = \frac{GT}{DK} = \frac{14.29}{0.000063 \times 0.9} = 252,028 \text{ 밀도일/10a} \text{ -- (식 1-20)}$$

1-1결과 마찬가지로 내성도의 단위(밀도일/주)에 맞추어 산출된 값의 단위를 전환한 후 경제적 피해수준을 설정하였다(식 1-21, 1-22).

[영양생장시기]

$$EIL = T + \frac{GT}{DK} = 987 + \frac{252,028}{2,000} = 1,113 \text{ 밀도일/주} \text{ --- (식 1-21)}$$

[영양생식생장시기]

$$EIL = T + \frac{GT}{DK} = 3086 + \frac{252,028}{2,000} = 3,212 \text{ 밀도일/주} \quad \text{--- (식 1-22)}$$

표 1-25의 농약의 종류에 따른 생장시기별 경제적 피해수준을 표 1-26에 정리하였다. 방제가가 높은 스피노사드와 에마멕틴벤조에이드는 다른 것에 비하여 경제적 피해수준이 높게 나타났다.

표 1-26. 농약 종류와 생장시기에 따른 경제적 피해수준(밀도일/주)

이름	방제비용 동가수량(kg/10a)	피해계수 (D)	방제효율 (K)	영양 생장시기	영양생식 생장시기
디노테푸란	16.01			1,128	3,227
스피노사드	17.88	영양생장 시기-		1,145	3,244
아세타미프티드	11.09	0.063		1,085	3,184
에마멕틴벤조에이드	19.48		0.9	1,159	3,258
이미다클로프리드	10.72			1,082	3,181
치아메톡삼	11.28	영양생식 생장시기		1,086	3,185
클로르훼나피드	13.83	- 0.063		1,109	3,208
클로치아디딘	14.14			1,112	3,211

영양생장시기의 오이 누적 총 총채벌레 밀도일과 주당 총채벌레의 밀도의 관계가 설정되었다(그림 1-62). 누적 총 총채벌레 밀도일이 길어질수록 총채벌레 밀도도 증가하였다. 누적 총 총채벌레 밀도일은 주당 총채벌레 전체밀도로 전환하였다. 영양생장 시기의 총채벌레에 대한 경제적 피해수준이 1,113 누적 총 총채벌레 밀도일일 때 주당 총

채벌레 전체밀도는 139.6마리였다. 오이 주당 총채벌레 전체밀도는 유충과 성충의 밀도 합이다. 오이 총채벌레의 간이예찰법에서 황색접착트랩의 성충밀도와 주당 성충밀도의 상관식을 이용하여 피해를 추정하기 위해서 주당 총채벌레 전체밀도와 주당 성충밀도의 상관식을 구하였다(그림 1-63). 주당 오이총채벌레 전체밀도와 주당 성충밀도의 상관식에 전체밀도를 넣어서 계산하면 주당 성충밀도는 15.69마리가 된다. 이는 영양생장시기의 오이 재배 시 엽당 성충 1.569(10엽 기준)가 되었을 때가 경제적 피해수준임을 뜻한다. Kawai(1986b)의 연구에서 시설오이의 잎이 가해를 받아 생육이 저해되어 수량이 5%감소를 일으키는 밀도는 엽당 성충 5.3마리였다. 본 실험에서는 5% 피해를 일으키는 밀도가 엽당 2.4마리였다. 이는 본 연구의 접종시기가 영양생장시기로 오이의 감수성이 높아 더 낮은 경제적 피해수준이 나타난 것으로 해석된다.

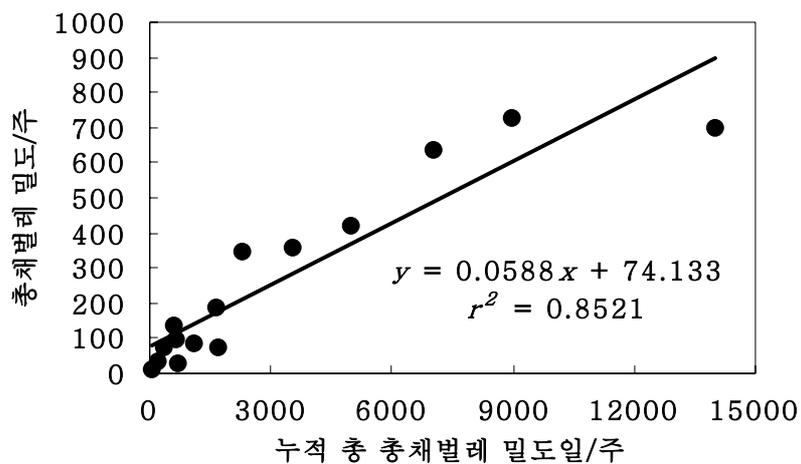


그림 1-62. 영양생장시기 오이의 총채벌레 밀도일과 총채벌레 밀도의 관계

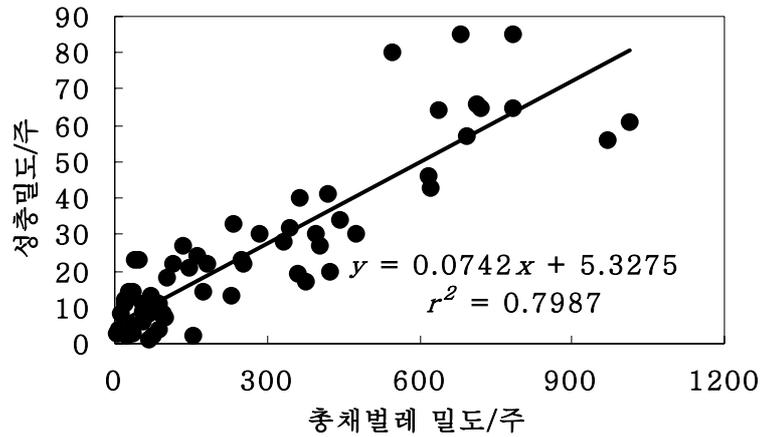


그림 1-63. 영양생장시기 오이 총채벌레 밀도와 주당 성충밀도와의 관계

영양생식생장시기의 오이 누적 총 총채벌레 밀도일과 주당 총채벌레 밀도의 관계는 $y=0.0877x + 26.807(r^2=0.9444)$ 로 고도의 상관관계를 보였다(그림 1-64). 영양생식생장시기의 경제적 피해수준인 3,212누적 총 총채벌레 밀도일을 주당 총 총채벌레 밀도로 전환하였고, 이 경우 주당 총 총채벌레 밀도는 308마리가 되었다. 이 값은 1령에서 성충까지의 밀도 합이다. 주당 308마리의 전체밀도는 주당 총 총채벌레 밀도와 주당 성충 총채벌레 밀도의 상관식을 통해서 성충 밀도로 전환하였고, 이 경우 주당 성충 밀도는 98.7마리가 되었다(그림 1-65). 이 때의 엽당 총채벌레 성충의 밀도(전체 15엽 기준)는 6.58마리가 되었다. 5%피해를 일으키는 총채벌레 밀도는 주당 성충밀도가 147마리로 산출되었고, 이는 엽당 9.8마리 수준이다. 영양생식생장시기의 오이의 경우 영양생장시기에 비해 감수성이 낮아 상대적으로 높은 밀도에서 피해가 나타난 것으로 해석된다.

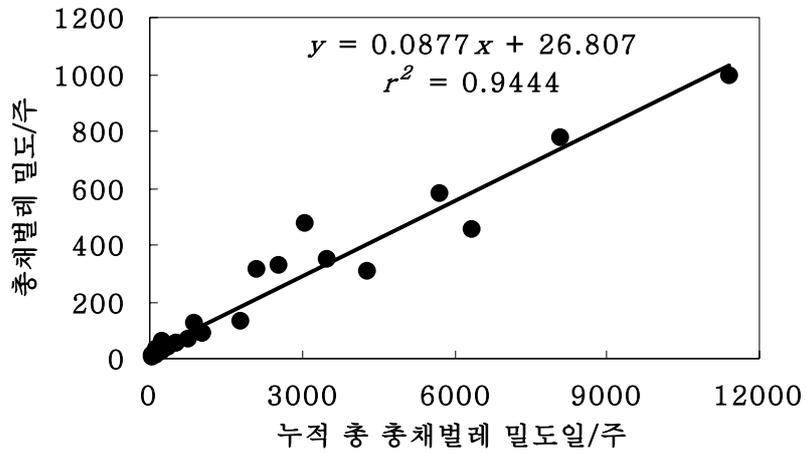


그림 1-64. 영양생식성장시기 오이의 누적 총 총채벌레밀도일과 총채벌레 밀도의 관계

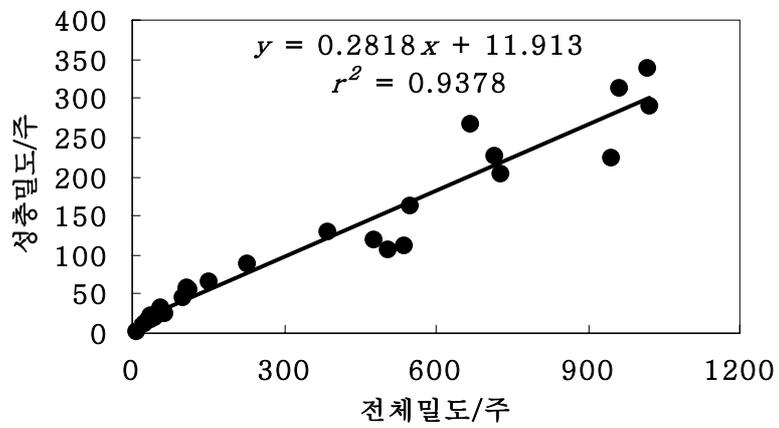


그림 1-65. 영양생식성장시기 주당 전체밀도와 성충밀도간의 관계

3) 경제적피해허용수준(Economic threshold)의 설정

가) Weinzierl(1987) 및 Pedigo(1989)의 방법

경제적 피해허용수준은 재배자의 주관적 경험이나 재배 목적에 의해서 결정되기 때문에 공식화된 식이 존재하지는 않는다. 주관적 경험을 중요시하는 경우는 계산된 경제적 피해수준을 적용하지 않고 농약의 사용량을 줄이기 위해서 노력할 것이다. 그러나 재배 목적에 따라 경제적 피해허용수준을 설정할 경우는 계산된 경제적 피해수준을 기준으로 방제비용, 곡물가, 피해계수 등을 고려한다. 계산된 경제적 피해수준에서 해충 개체군의 증가와 예상되는 피해를 예측하여 방제시기를 결정하게 된다(Pedigo, 1989). 예를 들어서 경제적 피해수준의 50%로 고정하여 사용하거나, Weinzierl(1987)이 제안한 경제적 피해수준의 75%수준에서 보편적으로 경제적 피해허용수준을 정한다. 이는 해충마다 개체군 성장률이 다르기 때문에 각 해충의 개체군 성장률이 3-4일내에 25%를 넘지 않는 해충에 적용할 수 있다. 시기별 피해허용수준은 다음과 같다(식 1-23, 1-24).

[영양생장시기]

$$\begin{aligned} \text{경제적 피해허용수준} &= \text{경제적 피해수준} \times 0.75 \\ &= 1,113 \times 0.75 = 834.75 \text{ 누적 총 총채벌레 밀도일 (식 1-23)} \end{aligned}$$

[영양생식생장시기]

$$\begin{aligned} \text{경제적 피해허용수준} &= \text{경제적 피해수준} \times 0.75 \\ &= 3,212 \times 0.75 = 2409 \text{ 누적 총 총채벌레 밀도일 (식 1-24)} \end{aligned}$$

영양생장시기는 834.75누적 총 총채벌레 밀도일이 경제적 피해허용수준으로 설정되었다. 834.75누적 총 총채벌레 밀도일은 주당 전체 밀도가 123.22마리이고 주당 성충밀도는 14.47마리였다. 영양생식생장시기는 2409누적 총 총채벌레 밀도일. 주당 전체밀도는 238.08마리이고 이 값은 주당 성충 79.01마리이며 이 때 방제를 결정하여야 한다.

나) 피해율별 요방제수준 설정

경제적 피해허용수준은 일반적으로 과실가와 방제가를 포함한 수식으로 표현된다. 이 값은 과실가와 방제가에 따라서 변화되는 값이다. 고소득 작물이거나 방제가가 과실가에 비하여 아주 낮을 때는 재배자에 따라 경제적 피해수준 개념을 고려치 않고 방제를 실시하기도 한다. 그러나 과실가가 방제가보다 낮은 경우는 피해를 감수하더라도 방제를 하지 않거나 시기를 늦추기 때문에 실제 방제를 결정하는 요방제수준은 유동적이다. 표 1-27은 순수 피해율에 따른 영양생장시기와 영양생식생장시기의 요방제수준이다.

표 1-27 피해율에 따른 경제적 피해허용수준

피해율	생장시기	누적 총 총채벌레밀도일	주당 피해수준(/주)	요방제수준(/주)
0%	영양생장	<987	<132	<117
	영양생식생장	<3086	<297	<223
1%	영양생장	1404	157	136
	영양생식생장	3585	341	256
3%	영양생장	2237	206	173
	영양생식생장	4583	429	322
5%	영양생장	3071	255	210
	영양생식생장	5582	517	387

재배자가 오이생산손실을 1% 수준까지 허용한다면 요방제수준은 영양생장시기의 경우 주당 136마리 수준일 때가 된다. 또한 영양생식생장시기의 오이에서 피해를 5% 수준에서 허용한다면 요방제수준은 하위 3엽과 6엽의 진딧물 밀도 합이 387마리일 때가 된다.

1-4. 오이에서 오이총채벌레의 간이 예찰법 개발

오이총채벌레는 알을 식물조직 속에 낳고, 번데기는 토양 또는 부식층 속에서 분포(Ikeda, 1981; Yamamoto 등, 1982)하기 때문에 방제효과는 주로 유충과 성충에 기대하게 된다. 그러나 오이총채벌레는 약제에 대한 감수성이 낮고 크기가 작아 발견하기 어려워 방제가 어려운 해충으로 표본조사법 개발이 중요하다.

우리나라에서 오이총채벌레의 표본조사법에 관한 연구는 Cho 등(2000)이 감자에서 보고한 내용이 유일하며, 일본에서의 연구 자료들은 일본과 우리나라에서의 오이 재배 양식의 현저한 차이로 직접 적용하기가 어려워 국내 재배 형태에 따른 합리적인 밀도 조사법의 개발이 필요하다. 또한 해충 종합관리에서 불필요한 농약 살포를 최소화하며, 해충을 경제적 피해 수준 이하로 유지시키기 위한 다른 방제 방법의 이용 가능 여부를 판단하고 방제 의사결정을 위해서는 오이총채벌레 개체군 동태를 파악하는 것은 필수적이다.

가. 오이총채벌레의 개체군동태 및 오이 주내 및 주간 공간분포

1) 재료 및 방법

가) 조사 포장 및 조사 방법

오이총채벌레 간이에찰법 개발을 위한 오이총채벌레 발생조사는 2001년부터 2002년까지 구례 농가 비닐하우스에서 수행하였고 2003년에는 농업과학기술원 비닐하우스에서 수행하였다(표 1-28, 그림 1-66).

표 1-28. 조사포장 개요

조사 포장	조사기간	면적	정식 주수	품종	기타
전남 구례 농가 포장	2001년 10월- 2002년 6월	600 - 800 평	8,000 - 20,000 주	청장계	연동
농업과학기술원 실험 온실	2003년 1월 - 2월	약 20평	60 주	반백계	단동



그림 1-66. 조사 포장(순서대로 전남 구례 관행방제 농가 포장, 농업과학기술원 실험 온실)

구례 관행 방제 농가 조사포장은 16곳을 선정하여 3작기 동안 육안 조사 및 점착트랩을 이용하여 오이충채벌레 시기별 발생 밀도를 조사하였다. 각 조사 포장은 표 1-29에서처럼 정식 시기, 주수를 포장 별로 구분하였다. 하우스의 형태 중 전통적인 것은 지붕이 낮고 폭이 넓은 연동 형태의 하우스로 대체적으로 폭 7 m, 측고 2.7 m, 동고 4.5 m, 길이 98 m의 3연동 형태가 대부분이었다. 조사 포장의 대부분은 이랑 1.6-1.8 m, 고랑 0.4-0.6 m로서 200평 하우스 한 동에 설치된 이랑의 개수는 평균 3.5-4개였다. 오이는 각 이랑의 중앙에 1줄로 정식되었으며 정식 거리는 15cm 간격이었다. 정식 후 3-5엽기 때 흰색 바인더 끈을 이용 양방향 2줄로 유인하였으며, 주지형 횡유인 방식으로 재배하였다. 지면으로부터 작물의 상부 순 부분까지 높이는 재배 시기

및 농가에 따라 1.6-2.0m이었으며, 주내 오이 엽수는 재배 포장에 따라 15-20엽으로 다양하였다. 오이 주의 유인은 상부 고정 줄로부터 2-3 마디가 더 자랐을 경우에 실시하였다. 시비 및 살균, 살충제의 처리는 관행 재배 방법에 따라 재배자에 의하여 수행되었으며 조사 기간 동안 오이총채벌레 대상 살충제 살포는 적게는 3회에서 많게는 10회 까지 살포하였다(표 1-29).

구례 농가 포장에서는 2001년 10월 30일부터 2002년 6월 27일까지 16개 농가 포장에서 황색점착트랩(12.5×7.5cm, 양면형)을 비닐하우스 내부에 설치하였다(그림 1-66). 비닐하우스 면적에 따라 15-24개의 지주대를 격자형으로 설치하고 지상으로부터 1.2 m 높이에 설치하였다. 트랩은 1주일에 1회 교체, 수거한 후 실험실로 가져와 현미경하에서 종의 동정 및 성충수를 조사하였다. 육안 조사는 6개 농가포장(농가 1, 5, 7, 11, 13, 16)에서 132 m²을 기본 조사구로 하여 면적에 따라 조사구를 구획하였다(그림 1-67). 각 조사구 당 점착트랩 설치 위치를 중심으로, 1.5m 간격으로 5주를 무작위로 선정하였다. 매주 1회 선택된 주의 상위엽(최상부로부터 3-4번째 잎)과 중간엽(최상부로부터 8-10번째 잎)의 앞, 뒷면에 있는 약충, 성충을 구분하여 조사 하였다.

표 1-29. 조사 농가 포장상태 및 조시기간 동안 살포 약제 및 횟수(2002년, 전남 구례 농가 포장)

농가	면적 (m ²)	정식 주수	육묘시기	살포 약제 및 횟수
1	3,300	14,500	11월 15일	spinosad (2), imidacloprid (2), emamectin benzoate (1)
2	1,980	9,000	10월 28일	spinosad (1), thiamethoxam (5) chlorfenapyr+spinosad (1)
3	2,640	12,000	10월 22일	chlorfenapyr (1), thiamethoxam (1) imidacloprid (1)
4	1,980	9,000	10월 31일	imidacloprid (1), abamectin (1), spinosad (3)
5	1,980	9,500	10월 29일	emamectin benzoate (1), imidacloprid (5) imidacloprid + spinosad (1) spinosad (1), thiamethoxam (1), fipronil (1)
6	2,640	13,000	10월 24일	imidacloprid (4), emamectin benzoate (2) spinosad (1), chlorfenapyr+imidacloprid (2)
7	1,980	8,000	11월 9일	chlorfenapyr (3), spinosad (2) fipronil+chlorfenapyr (1), emamectin benzoate (2)
8	1,980	8,700	10월 20일	spinosad (4), imidacloprid (1), thiamethoxam (1) abamectin (2), fipronil (1), chlorfenapyr (1)
9	1,980	9,800	11월 2일	chlorfenapyr (3), spinosad (2), imidacloprid (1)
10	1,980	8,200	11월 12일	imidacloprid (1), spinosad (4)
11	2,310	8,600	10월 26일	spinosad (3), fipronil (1), emamectin benzoate (1)
12	1,980	8,600	10월 31일	imidacloprid (2)
13	1,980	8,800	11월 6일	imidacloprid (1), spinosad (5)
14	2,640	-	10월 30일	imidacloprid (3), abamectin (1), chlorfenapyr (3) emamectin benzoate (1)
15	1,980	10,000	11월 18일	spinosad (1)
16	3,960	20,000	12월 2일	thiamethoxam (1), spinosad (5) fipronil (1), chlorfenapyr (1)

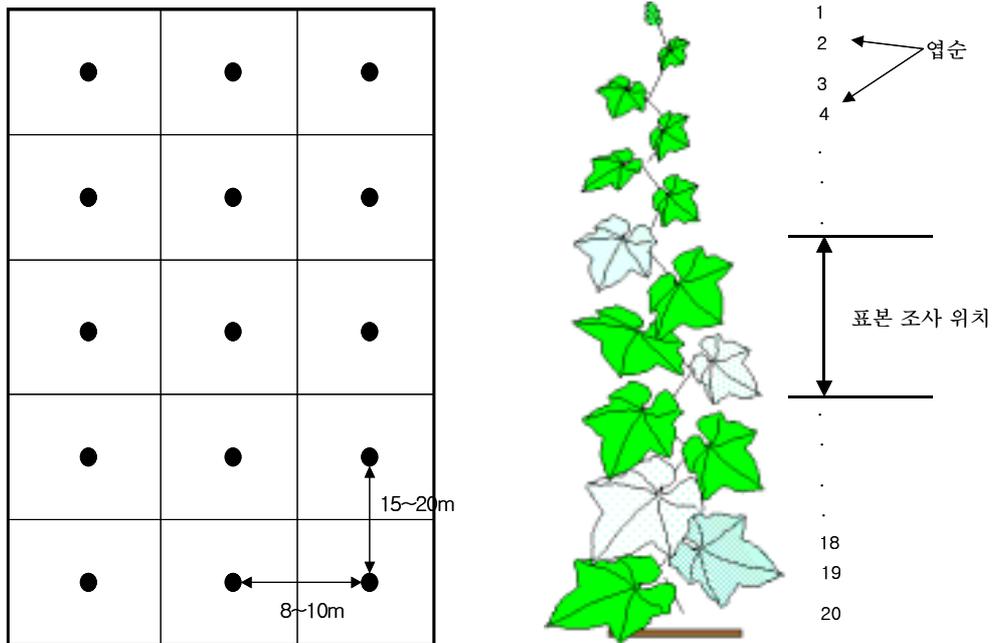


그림 1-67. 오이 포장 내 점착트랩 배치 모식도 및 육안 조사 시 표본 조사 위치
(전남 구례, 2002)

농업과학기술원 비닐하우스에서는 하우스 축성재배로 오이를 유묘시기 (3-5엽)에 정식하여 주지형 황유인 방식으로 재배하였다. 영양생식성장 시기인 10엽기 때 각 처리구별로 오이충채벌레 성충을 오이 주내 하위 2-3엽에 밀도별(4 쌍/주, 8 쌍/주, 16 쌍/주)로 접종하였고 1주일 후 밀도조사를 다시 실시하여 초기 접종 밀도에서 죽었거나 이탈한 오이충채벌레 수만큼 성충을 추가로 접종하여 주내 엽순별로 밀도를 전수 조사하였다.

나) 공간분포 분석

(1) 주내분포

오이충채벌레의 주(株)내 분포는 전남 구례 시설농가 비닐하우스에서 수행한 밀도조사 자료를 이용하여 분석하였다.

(2) 주간분포

오이충채벌레의 공간분포 패턴의 분석은 전남 구례 농가 포장에서 각 조사 시기마다 점착트랩 위치별로 잡힌 성충의 수에 대한 평균과 분산과의 관계를 이용하여 Taylor's power law(TPL)와 Iwao's patchiness regression(IPR)에 적용하여 분석하였다. TPL에서 평균과 분산은, $\ln(s^2) = \ln(a) + b \ln(m)$ 의 관계가 있다 ($b > 1$: 집중분포, $b = 1$: 임의분포, $b < 1$: 균일분포) (Taylor, 1961). Taylor모형에 따르면 해충 밀도 평균과 분산의 로그변환 값들은 직선적인 관계가 있으며 기울기 b 는 개체군의 집중 정도를 나타낸다. IPR은 표본단위에 대한 평균(m)과 평균 밀집도(m^* : mean crowding index)와의 관계식으로 $m^* = a + \beta m$ 이다. Iwao의 모형에 의하면 해충 밀도의 평균과 Lloyd의 평균 밀집도는 $m^* = m + s^2/m - 1$ 의 관계가 있다(Iwao, 1968). 기울기 β 는 TPL의 b 와 같이 해석된다. 평균과 회귀계수의 추정은 SAS(SAS Institute, 2004)의 일반 직선회귀 모형(PROC REG)을 사용하였으며, 각 직선 모형의 적합성 검정은 r^2 값을 이용하였다.

2) 결과

가) 오이총채벌레 발생 특성

2002년에 조사된 트랩에서 잡힌 오이총채벌레 성충의 평균 발생 밀도 변동은 그림 1-68와 같았다. 오이총채벌레는 겨울 동안 낮은 밀도로 경과하다가 비닐하우스의 측창을 자주 개방하는 3월 하순 이후 밀도가 현저하게 증가하였다. 4월 중순에는 트랩 당 10마리 이상이 채집되었으며 6월 이후에는 밀도가 급격히 증가하였다.

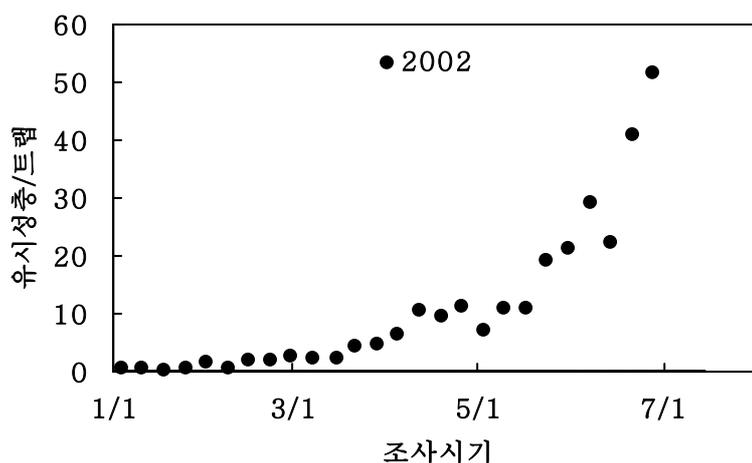


그림 1-68. 오이총채벌레 계절별 발생상황(구례, 2002)

2002년 전남 구례지역 16개 오이 재배 농가에서 황색점착트랩을 이용, 일주일 간격으로 조사한 재배 농가별 오이총채벌레 연중 발생 상황 및 오이총채벌레 대상 살충제 사용 내역은 그림 1-69와 같다. 전체 작기 동안 오이총채벌레를 대상으로 살충제를 사용한 횟수는 농가에 따라 1회부터 10회까지 다양하였는데, 정식이후 평균 살포 횟수는 6.4회였으며(15번 농가 제외), 평균 보다 살포횟수가 많은 농가는 7개 농가였다(표 1-29). 포장별 오이총채벌레 발생 양상은 크게 3가지 형태를 보였다. 첫 번째는 전

체 작기 동안 오이총채벌레발생이 미미하였던 포장으로 2, 9, 14, 15번 농가였으며 평균 살충제 사용 횟수는 6.7회였다(15번 농가 제외). 두 번째는 전 작기 동안 낮은 발생 밀도로 유지되다가 후기에 발생 밀도가 급격히 높아져 한번의 큰 발생 피크를 보인 포장으로 1, 3, 10, 12번 농가가 해당되었으며 평균 살포 횟수는 3.8회였다. 마지막으로 3번째는 전 작기 동안 일정기간 이상의 시간 간격을 두고 한번 이상 발생 피크를 보인 포장으로 4, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 16번의 8개 농가였으며 이들 포장에서 오이총채벌레를 대상으로 살충제를 사용한 횟수는 7.6회였다. 16개 시험 포장 중 전 오이 생육기간 중 일주일간 황색 점착 트랩에 채집된 오이총채벌레 성충의 평균 밀도가 한번이라도 100마리를 넘어간 포장은 1, 3, 11, 13번 농가였으며, 이들 농가가 살포한 약제 횟수의 평균은 4.8회였다.

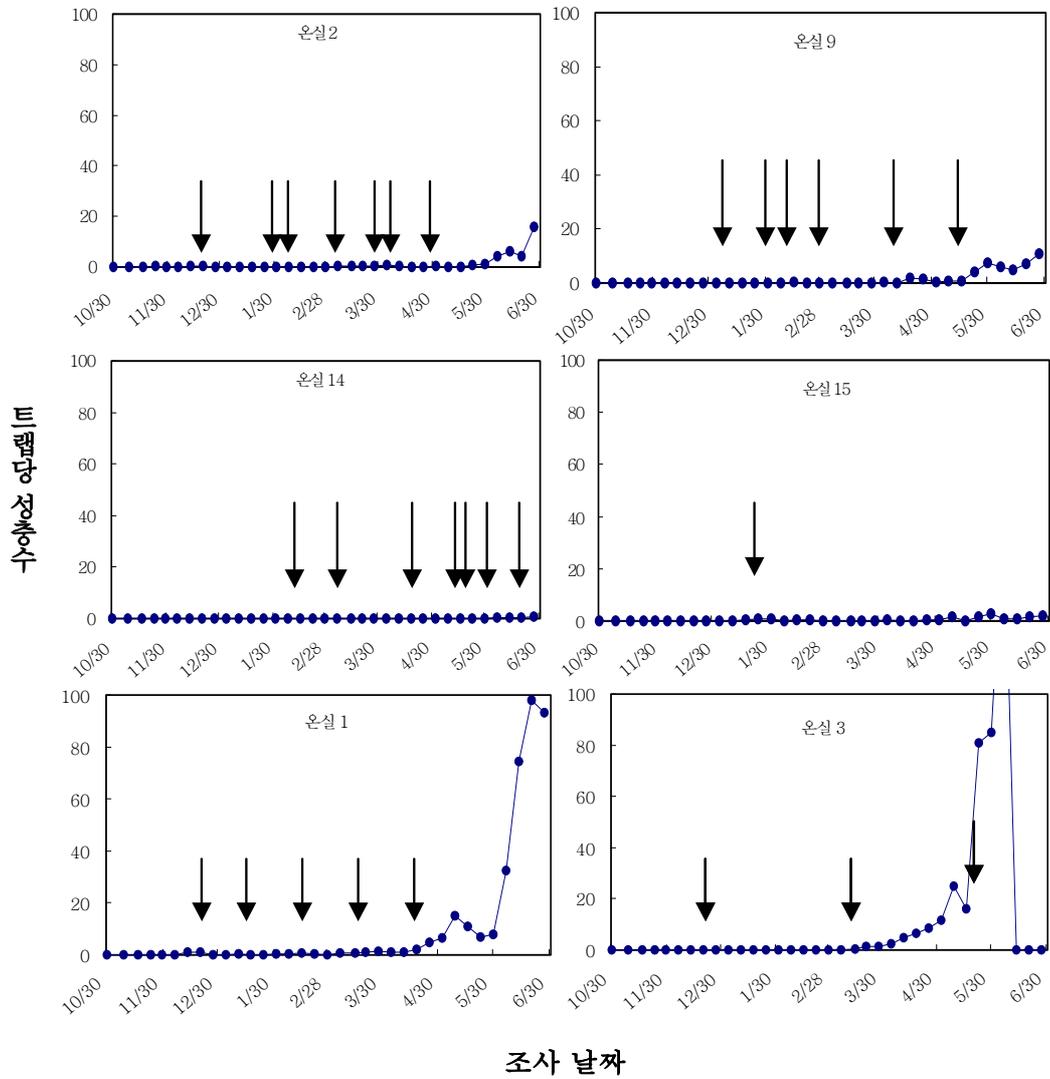


그림 1-69. 구례 농가 포장에서의 오이총채벌레 발생상황과 약제살포 시기 (2002년, 구례)

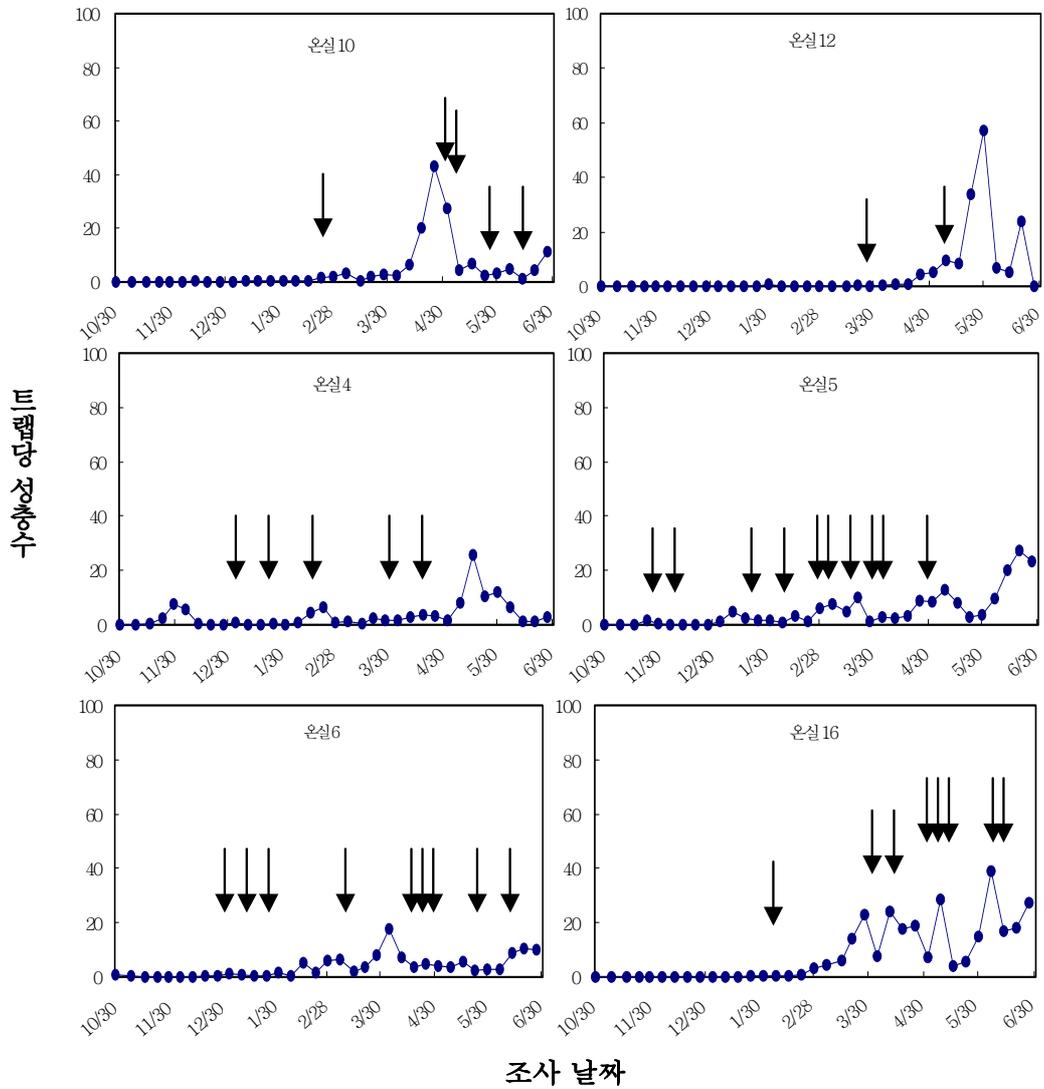


그림 1-69. (계속)

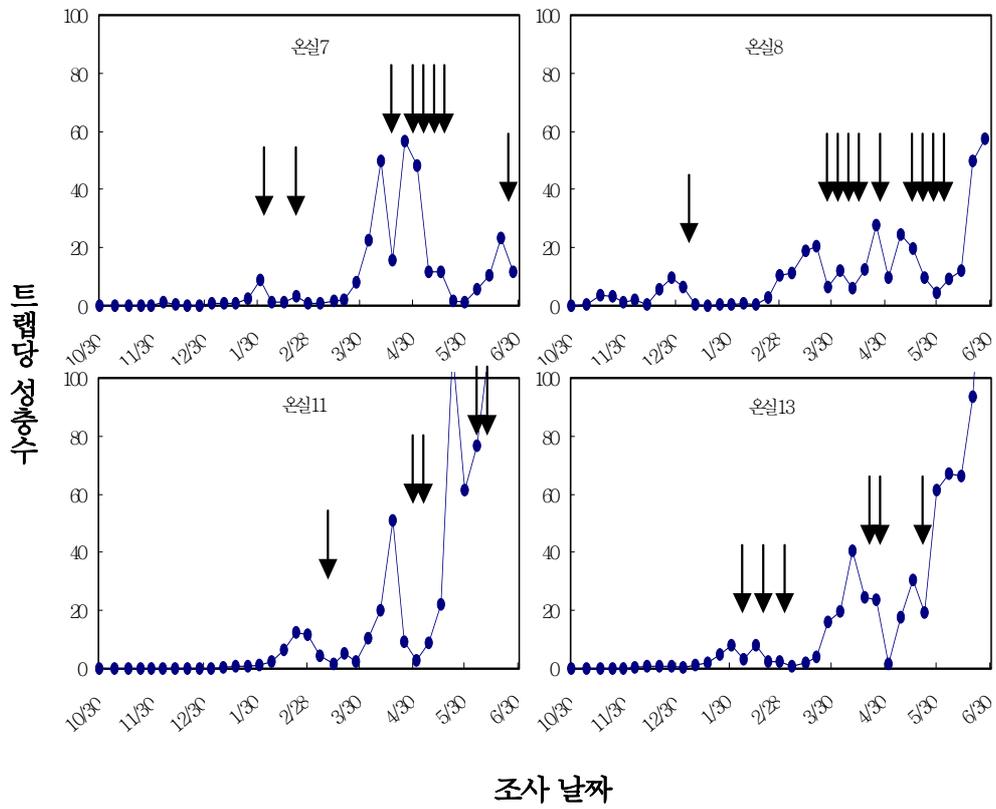


그림 1-69. (계속)

나) 공간분포

(1) 주내분포

시험 포장에서 주내 발생하는 총채벌레 중 오이총채벌레의 비율은 그림 1-70과 같았다. 포장 9에서는 전 조사시점에서 오이총채벌레의 비율이 90%이상이었으나, 포장 7의 경우 6월 상순 이후에는 점착트랩에 채집되는 총채벌레 중 오이총채벌레 비율이 80% 이하로 낮아졌고, 이후부터는 오이총채벌레 비율이 평균적으로 60-70%였다. 오이총채벌레는 조사 포장에 관계없이 발육태에 따라 주내에 분포하는 위치가 달랐다. 성충들은 조사 포장, 조사 시기에 관계없이 잎이 완전히 전개되지 않은 순(筍) 부위에 가장 밀도가 높았으며 그 보다 하위의 잎들에서는 큰 차이가 없어, 성충은 우화 후 순 부위 및 상위 엽으로 끌리는 경향을 보였다. 한편 약충의 경우 세대가 크게 중복되지 않고 밀도가 낮았던 초기에는 오이 식물체의 중간부위에 서식하는 밀도가 높은 경향을 보였지만 시간이 경과하고 전체적으로 밀도가 높아짐에 따라 식물체 전 부위 잎에 골고루 분포하는 경향을 보였다(그림 1-71, 1-72). 오이 식물체를 상, 중, 하위부로 나누고 발육태별로 부위별 밀도의 차이를 분석한 결과, 성충의 경우 두 포장 모두에서 밀도가 낮은 첫 회 조사를 제외하고는 부위별로 유의한 밀도차이가 있었다. 반면, 약충의 경우 7번 포장 5월 16일 조사 시기에만 부위별 유의한 밀도차가 있었고 나머지 모든 조사 시기에서 서식 부위별 밀도의 통계적 유의차는 없었다(표 1-30). 오이총채벌레 성충의 경우 어느 정도 밀도가 형성된 이후에는 부위별 선호성이 확연하여져 중, 하위 엽보다는 상위 엽에 집중하여 서식하는 것으로 조사되었다. 반면에 약충의 경우 7번 농가 5월 16일 조사에서만 부위별로 유의한 차이가 있었고, 약충과 성충 밀도를 합친 경우 7번 농가 5월 16일과 5월 31일 조사에서만 유의한 차이가 있는 것으로 보아, 약충의 경우 시기별로, 주내 위치에 따른 분포의 차이는 크지 않았다(표 1-30).

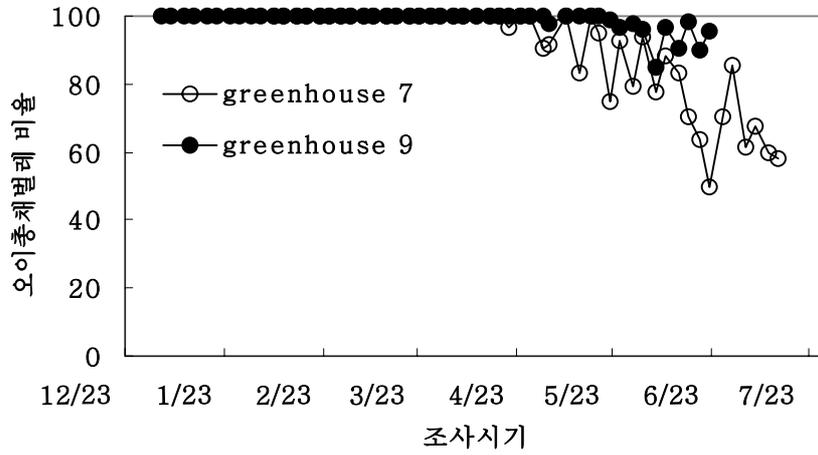


그림 1-70. 황색점착 트랩에 잡힌 전체 총채벌레 성충 중 오이 총채벌레 성충 비율

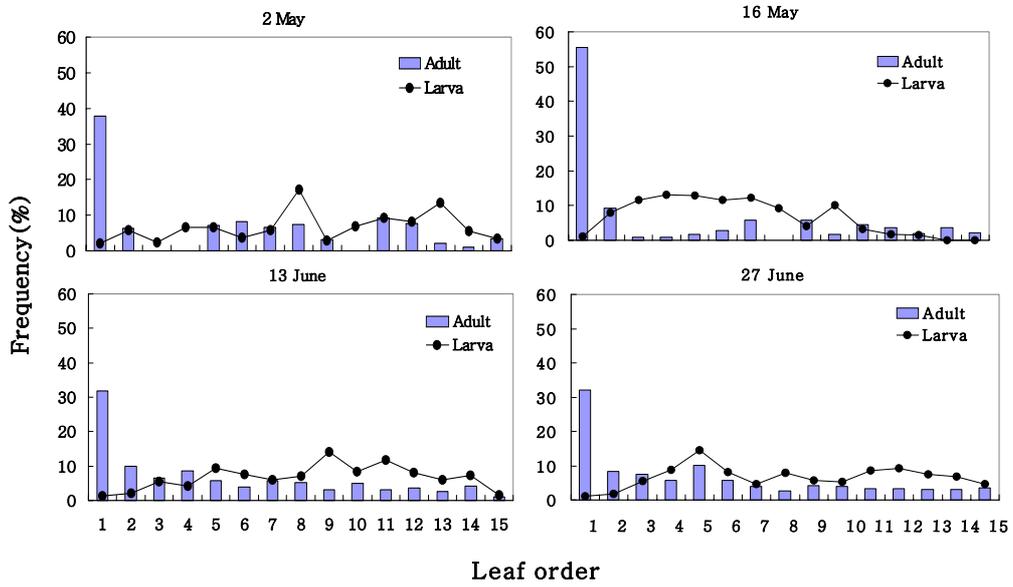


그림 1-71. 7번 농가 온실에서 오이총채벌레 주내 수직분포 패턴(엽순은 주내 최상위 1엽으로부터 하위엽 순으로)

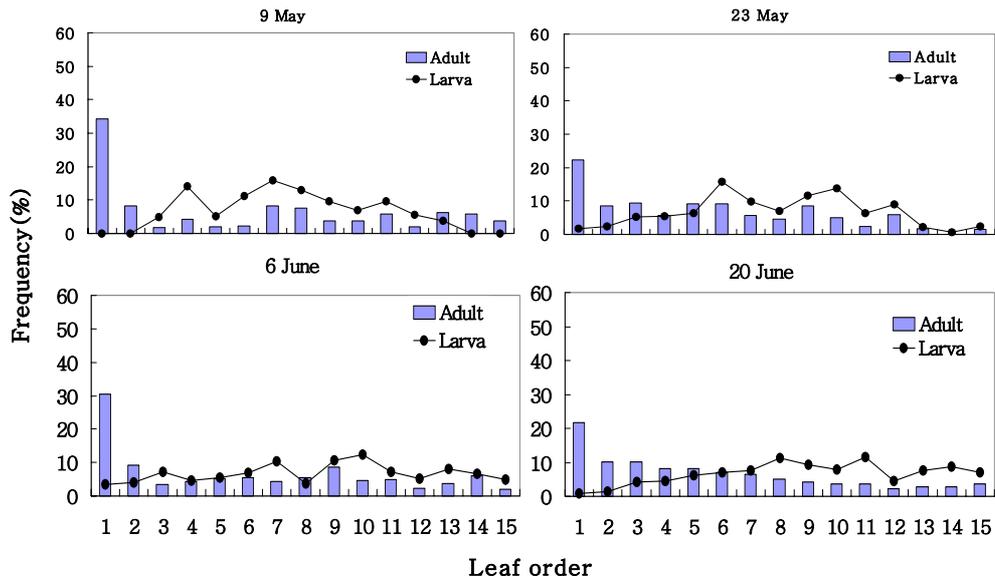


그림 1-72. 9번 농가 온실에서 오이총채벌레 주내 수직분포 패턴(엽순은 주내 최상위 1엽으로부터 하위엽 순으로)

표 1-30. 오이 주내 위치별 오이충채벌레 분포 수

온실	조사시기	엽 위치	평균 ± SEM/엽		
			성충	약충	전체 밀도
7	5월 2일	상위	0.6 ± 0.85a	1.5 ± 0.72a	2.0 ± 0.77a
		중위	0.3 ± 0.18a	2.3 ± 1.80a	2.6 ± 1.85a
		하위	0.3 ± 0.15a	1.7 ± 1.56a	2.0 ± 1.59a
	5월 16일	상위	0.8 ± 1.41a	2.5 ± 1.35a	3.3 ± 0.39a
		중위	0.2 ± 0.15b	2.5 ± 0.87a	2.7 ± 0.84a
		하위	0.2 ± 0.06b	0.3 ± 0.35b	0.5 ± 0.39b
	5월 31일	상위	0.6 ± 0.50a	0.1 ± 0.15a	0.7 ± 0.41a
		중위	0.2 ± 0.05b	0.2 ± 0.17a	0.3 ± 0.18ab
		하위	0.1 ± 0.04b	0.1 ± 0.16a	0.2 ± 0.16b
	6월 13일	상위	4.3 ± 3.76a	3.9 ± 2.80a	8.2 ± 2.89a
		중위	1.6 ± 0.36b	7.4 ± 2.74a	9.0 ± 2.45a
		하위	1.0 ± 0.43b	6.1 ± 3.18a	7.1 ± 3.50a
6월 27일	상위	4.4 ± 3.79a	5.0 ± 4.32a	9.4 ± 4.16a	
	중위	1.4 ± 0.36b	4.9 ± 1.27a	6.3 ± 1.39a	
	하위	1.1 ± 0.07b	5.8 ± 1.37a	6.9 ± 1.32a	
9	5월 9일	상위	0.4 ± 0.51a	0.4 ± 0.47a	0.8 ± 0.48a
		중위	0.2 ± 0.10a	0.9 ± 0.28a	1.1 ± 0.36a
		하위	0.3 ± 0.42a	0.3 ± 0.31a	0.7 ± 0.44a
	5월 23일	상위	1.0 ± 0.60a	3.3 ± 1.60a	4.3 ± 1.26a
		중위	0.6 ± 0.20ab	9.0 ± 2.62a	9.6 ± 2.75a
		하위	0.2 ± 0.20a	3.2 ± 2.62a	3.4 ± 2.81a
	6월 6일	상위	8.3 ± 8.97a	7.3 ± 2.25a	15.5 ± 7.60a
		중위	4.5 ± 1.38ab	12.8 ± 5.15a	17.3 ± 5.48a
		하위	3.0 ± 1.40b	9.3 ± 1.95a	12.3 ± 3.05a
	6월 20일	상위	12.4 ± 6.05a	21.5 ± 13.54a	33.9 ± 9.93a
		중위	5.7 ± 1.56b	53.8 ± 10.68a	59.6 ± 10.23a
		하위	3.3 ± 0.64b	49.7 ± 16.10a	52.9 ± 16.44a

상위: 1-5엽, 중위: 6-10엽, 하위: 11-15엽

동일 열에서 같은 문자를 가진 평균치는 유의한 차이를 나타내지 않음(DMRT, P>0.05)

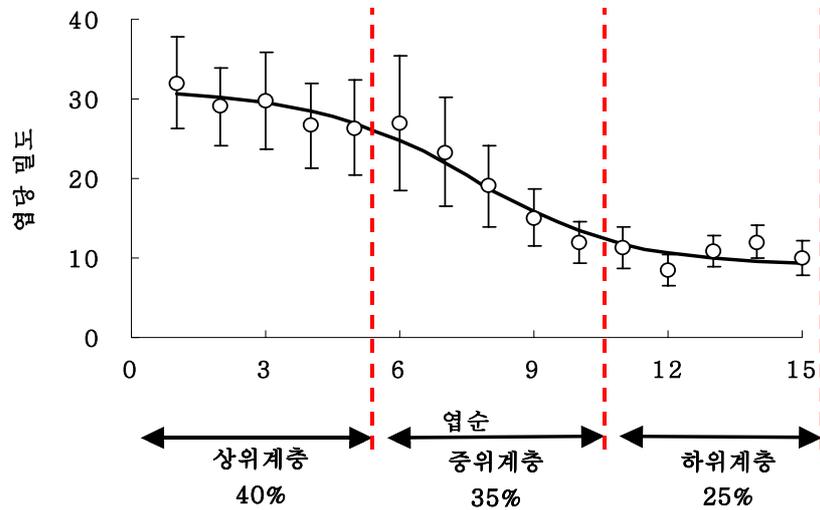


그림 1-73. 오이 주내 엽순별 엽당 오이충채벌레 밀도수준
(2002년 구례농가 포장, 2003년 농업과학기술원 실험온실)

그림 1-73에서와 같이 2003년 농업과학기술원 비닐하우스와 구례 오이포장에서 오이주내 엽순별로 육안 조사한 오이충채벌레 밀도 수직분포를 보면 주내 상위 1-5엽 사이의 밀도가 전체 밀도의 40%, 중위 6-10엽 사이 엽들에서의 밀도가 35%, 하위 11-15엽 사이의 밀도가 25%를 평균적으로 차지하고 있었다. 이런 분포는 오이에서 목화진딧물의 주내 수직분포 패턴과는 반대되는 결과로 오이에서 목화진딧물의 밀도조사를 위해서 주내 하위 3, 6엽을 대상으로 집중적으로 조사해야하는 반면 오이충채벌레는 밀도 발생 육안 조사 시에 상위와 중위부분을 집중적으로 조사해야함을 의미한다.

(2) 주간 공간분포

비닐하우스 오이 재배 포장에서 오이총채벌레의 밀도 추정을 위한 표본 조사 방법 개발을 위해서는 먼저 포장 내 공간분포를 알아야 한다. 이를 위해서 트랩에 잡힌 오이총채벌레의 트랩당 평균과 분산간의 관계를 Iwao의 모형(Iwao's patchiness regression) 과 Taylor의 지수법칙(TPL)을 이용하여 분석하였다. 조사된 오이총채벌레 밀도의 평균과 분산간의 관계는 대부분의 포장에서 Iwao의 모형보다($r^2 = 0.45-0.99$), Taylor의 모형이 더 높고 안정적인 결정계수 값을 보였다($r^2 = 0.92-0.99$)(표 1-31). 또한 발생 밀도가 낮았던 2002년 14, 15번 포장을 제외하고 모든 포장에서 Taylor 모형의 기울기 b 값이 1보다 커서 발생 밀도가 아주 낮은 포장을 제외하고는 7일 동안 노란색 점착트랩에 채집된 오이총채벌레 성충도 포장 내에서 집중 분포하는 것으로 나타났다.

TPL 모형으로 모든 포장에 적용할 수 있는 일반 모형을 만들기 위하여 회귀 직선 기울기의 동질성을 검정한 결과 2002년의 16개 농가 중 2, 6, 9, 14, 15번 다섯 포장을 제외한 열 한개 포장에서는 b 값에 유의한 차이가 없었다. 본 연구에서는 절편의 동질성을 무시하고 포장 간 b 값의 동질성이 인정되는 11개 포장의 조사 자료를 합하여 일반적으로 사용될 수 있는 일반 모형을 만들었다(표 1-31).

표 1-31. 오이충채벌레의 공간분포 패턴 분석 결과(2002년, 구례)

온실	Iwao's patchiness regression			Taylor's power law			트랩당 평균범위
	$\alpha \pm \text{SEM}$	$\beta \pm \text{SEM}$	r^2	$\ln a \pm \text{SEM}$	$b \pm \text{SEM}$	r^2	
1	0.22±0.24	1.41±0.01	0.99	0.74±0.10	1.50±0.04	0.98	0.05-97.86
2	0.33±0.25	1.26±0.07	0.95	0.63±0.08	1.30±0.05	0.98	0.07-16.00
3	2.03±1.87	1.64±0.04	0.99	1.40±0.08	1.54±0.03	0.99	0.04-171.96
4	0.73±0.51	1.55±0.08	0.92	0.74±0.08	1.49±0.05	0.96	0.10-25.76
5	0.70±0.41	1.38±0.04	0.97	0.48±0.10	1.52±0.06	0.96	0.10-27.29
6	2.03±0.56	1.34±0.11	0.83	0.98±0.09	1.42±0.06	0.95	0.10-17.57
7	-0.19±1.28	1.81±0.07	0.96	0.91±0.11	1.55±0.06	0.96	0.07-56.73
8	0.26±0.93	1.71±0.06	0.97	0.76±0.11	1.58±0.05	0.96	0.14-57.29
9	-0.61±0.79	2.73±0.21	0.90	1.14±0.09	1.49±0.05	0.98	0.07-11.00
10	1.78±0.46	1.79±0.04	0.98	1.33±0.06	1.48±0.03	0.98	0.06-43.11
11	5.53±2.30	1.28±0.02	0.99	0.67±0.16	1.64±0.05	0.97	0.14-362.27
12	1.99±2.90	2.57±0.17	0.93	1.52±0.16	1.62±0.08	0.97	0.07-57.13
13	3.01±1.01	1.17±0.02	0.99	0.84±0.09	1.45±0.04	0.98	0.06-160.39
14	0.08±0.09	0.96±0.29	0.45	0.08±0.12	1.01±0.05	0.97	0.05-0.86
15	0.18±0.22	1.59±0.26	0.59	0.50±0.12	1.17±0.07	0.92	0.06-2.56
16	3.60±1.65	1.98±0.11	0.92	1.54±0.08	1.55±0.03	0.99	0.05-38.95
통합 ¹	-	-	-	0.98±0.04	1.52±0.02	0.96	0.04-362.27

¹ 1, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 16 온실 자료 통합

나. 주당 오이충채벌레 밀도를 대표할 수 있는 주내 표본단위 설정과 표본추출법 및 효율성 검정

1) 잎을 기본조사단위로 한 경제적인 주내 표본추출법 설정 및 효율성 검정

주내 육안 밀도 조사 시 주내 밀도를 대표할 수 있고 주내 전체 엽 중 조사해야하는 표본(葉)의 수도 합리적으로 줄일 수 있는 표본 조사방법을 설정하기 위하여 표본 조사 방법간 비교분석을 다음과 같이 크게 세 가지 방법을 설정하였다. ① 오이 주내 엽들을 상위 엽으로부터 순서대로 3개의 계층(stratum)으로 나누어 각 계층마다 일정한 엽들을 resampling 프로그램(PopTools, version 2.3.7)을 이용하여 100회 반복 추출하여 조사하였다. ② 단순임의추출법(simple random sampling)은 주내 수직분포 유형에 관계없이 일정한 비율(50-15%)의 잎들을 resampling 프로그램을 이용하여 임의로 추출하는 과정으로 마찬가지로 100회 무작위 반복을 하여 조사결과와 최대·최소 값을 비교하였다. ③ 일정한 순서의 엽만을 선택적으로 선택하여 조사하는 체계적 표본조사법(systematic sampling)으로 조사 표본수(葉)를 주내 전체 엽수의 50%-15%까지 추출하는 방법으로 설정하였다.

주내 표본조사 방법간 비교에 앞서 오이주내 밀도 수준별로 3개의 계층(상위 1-5엽까지를 상위계층, 상위 6-10엽까지 중위계층 그 이하를 하위계층)으로 계층을 구분하여 표본추출구간을 달리하였다.

표 1-32. 층별무작위표본추출법(cut_off method, stratified sampling)에 따른
오이 주내 표본 추출 방법

선택 엽 비율(%)	상위층에서 선택 엽 수	중위층에서 선택 엽 수	하위층에서 선택 엽 수
50 %	3	3	2
40 %	3	2	1
30 %	2	2	1
20 %	1	1	1
	2	2	0
15 %	1	1	0

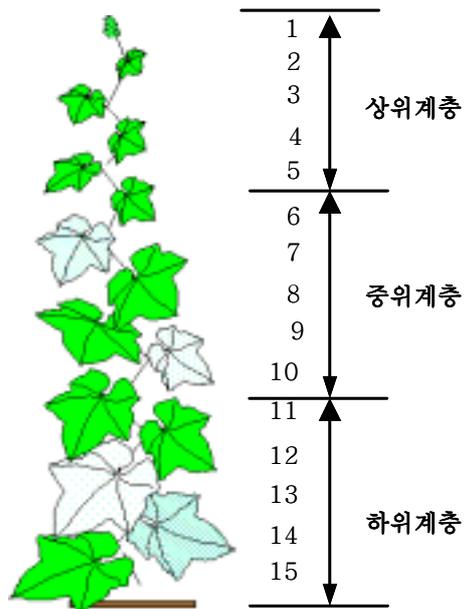


표 1-33에서처럼 각 조사방법에 따라 표본을 조사한 결과에서 보면 층별무작위 조사법에서 주내 전체 엽중의 높은 비율(50-40%)의 잎을 추출하여 조사한 결과에서는 100번의 반복 실행 값 중 최대·최소 값이 전수조사자료의 값과 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고 전체 평균으로 보면 주내 전체 엽중 표본(葉)추출의 비율을 30% 수준까지 줄이더라도 주내 육안 밀도 조사법으로 제시하기에는 충분히 가능하리라 여겨진다.

표 1-33. 설정된 층별무작위 표본추출법에 따라 표본조사 한 결과(2003년, 농업과 학기술원 실험 온실)

조사시기		2003년							
		6월 6일		6월 14일		6월 20일		6월 28일	
		평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE
전수조사		178	45	277	71	394	89	461	88
50%	최소값	172	39	207	49	364	70	451	76
	최대값	234	61	296	72	515	124	665	120
40%	최소값	181	40	221	49	392	81	415	71
	최대값	240	70	265	72	536	129	631	116
30%	최소값	153	43	161	35	327	69	341	57
	최대값	229	65	315	76	567	143	724	135
20%	1 최소값	105	27	130	26	240	49	277	38
	1 최대값	220	62	283	68	511	146	734	132
20%	2 최소값	185	40	184	41	404	86	351	59
	2 최대값	284	82	370	96	629	159	734	140
15%	최소값	146	36	167	34	320	65	326	45
	최대값	283	83	328	82	629	195	836	158

표 1-34. 단순임의 표본추출법(simple random sampling method)을 이
 용한 표본 추출방법

주내 전체 업종 추출한 업의 비율 (%)
전체 업 중 50 % 무작위 선택
전체 업 중 35 % 무작위 선택
전체 업 중 30 % 무작위 선택
전체 업 중 20 % 무작위 선택
전체 업 중 15 % 무작위 선택

단순임의 표본추출법(simple random sampling method)에서도 앞서 방법과 같이 표본을 추출하는 과정을 resampling 프로그램을 이용하여 각각 100번의 반복을 실행하여 결과 값들의 최소값과 최대값을 구하여 전수조사 밀도값과 비교하였다. 그러나 주내 표본의 추출 위치선정에서 앞서의 방법과 같이 밀도 수준이나 분포에 따라 표본을 따로 추출하는 계층을 설정하지 않았고 표본 추출 위치를 주내 모든 업을 대상으로 하였다. 표 1-35의 결과에서처럼 모든 조사방법에서 평균과 변이 최대·최소 값이 전수조사자료의 값과 큰 차이를 보이고 있었다. 즉, 오이 주내에서와 같이 오이총채벌레의 분포가 고르지 못하고 특정부위에 집중 발생하고 있는 상황에서 조사할 표본을 선택하는 과정에서 주내의 분포위치나 특성을 고려하지 않는 단순임의 표본추출법은 적합한 표본조사법이 될 수 없음을 알 수 있었다.

표. 1-35 단순임의 표본추출법에 따라 표본조사 한 결과(2003년, 농업과학기술원 실험 온실)

조사시기		2003년							
		6월 6일		6월 14일		6월 20일		6월 28일	
		평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE
전수조사		178	45	277	71	394	89	461	88
50%	최소값	126	22	235	49	33	80	396	78
	최대값	225	52	369	103	537	143	555	111
40%	최소값	93	17	182	41	279	55	392	82
	최대값	277	90	377	137	611	161	607	119
30%	최소값	96	18	198	46	286	60	348	72
	최대값	303	79	389	126	585	168	620	131
20%	최소값	69	9	167	35	235	45	306	62
	최대값	300	104	451	152	609	157	716	151
15%	최소값	101	26	193	55	312	71	316	67
	최대값	324	91	470	147	702	212	677	154

표. 1-36 체계적 표본조사법(systematic sampling)에 따른 오이 주내 표본 추출방법

선택 엽 비율(%)	주내 전체 엽 중 선택한 엽
50 %	14, 12, 10, 8, 6, 4, 2
	13, 11, 9, 7, 5, 3, 1
35 %	14, 11, 8, 5, 2
	13, 10, 7, 4, 1
30 %	12, 9, 5, 2
20 %	10, 6, 2
15 %	11, 3

표 1-37의 결과에서 각 조사방법에 따라 표본을 선택한 결과에서 보면 체계적 표본조사법에서 주내 전체 엽 중의 대체로 낮은 비율로(30-20%) 엽을 추출하여 조사하더라도 전수조사자료의 값과 큰 차이를 보이지 않게 예측되었다.

표. 1-37 체계적 표본조사법에 따라 표본조사 한 결과(2003년, 농업과학기술원 실험 온실)

조사시기		2003년							
		6월 6일		6월 14일		6월 20일		6월 28일	
		평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE
전수조사		171	42	212	49	385	89	471	79
50%	짜수엽	164	37	213	50	357	76	449	81
	홀수엽	178	48	212	53	413	93	498	82
40%	1	170	38	187	40	396	90	470	83
	2	176	55	213	52	325	65	441	73
30%		195	45	191	44	427	98	453	82
20%		198	43	202	51	376	71	488	91
15 %		193	69	277	105	427	98	425	84

2) 트랩을 이용한 오이충채벌레 표본조사법

앞서 오이 주내 오이충채벌레 밀도를 육안 조사하기 위해서 주내 모든 엽을 다 조사하기보다는 주내 밀도 수준을 계층별로 나누어 일정한 비율의 표본을 추출하여 조사하는 방법과 주내 일정한 순서로 체계적으로 표본을 추출하여 오이충채벌레 밀도를 육안 조사하는 방법이 효율적인 조사방법이 될 것이라고 설명하였다. 그러나,

현실적으로 농가 포장에서 농민들에게 오이총채벌레 발생 밀도 추정을 위한 표본조사 방법으로 육안 조사를 추천하는 것은 현실성이 없다. 그 첫 번째 이유로는 오이총채벌레는 크기가 작은 미소 해충으로서 육안으로 관찰이 어려워 확대경 등 도구를 이용하여야 가능하다는 점, 두 번째는 육안조사의 경우 조사 시간 및 이동 시간을 합칠 경우 한 엽당 1-3분이 소요되며, 100엽 이상의 조사를 위해서는 최대 5시간 이상이 소요되는데 농민들에게 이러한 충분한 시간적 여유가 없다는 점이다.

따라서 육안 밀도 조사법을 대체할 수 있는 수단이 황색점착트랩을 이용하여 오이총채벌레 성충의 밀도를 추정하는 방법이다. 점착트랩을 이용한 방법은 투입 비용이나, 정밀도 면에서 훨씬 좋은 결과를 보여주고 있고 우리나라 농민들에게도 현실적으로 설득력 있는 방법이라 생각된다. 그러나 점착트랩을 이용한 밀도 조사 방법은 식물체내 밀도와 점착트랩으로 조사된 결과와 직접적으로 높은 상관관계가 있어야만 현실적으로 이용이 가능할 수 있다. 즉 점착트랩을 이용한 밀도 조사 자료를 기초로 오이 식물체내 오이총채벌레 밀도의 정량적 자료를 구할 수 있고 이를 통한 방제 의사 결정과 같은 현실적인 적용이 가능하게 하기 위해서는 점착트랩에 의한 밀도 조사 결과가 실제 식물체내 밀도와 높은 상관관계를 가져야 된다.

구례 농가 포장에서 점착트랩에 잡힌 오이총채벌레 성충 자료와 농업과학기술원 실험 온실에서 주내 전수 육안조사한 오이총채벌레 밀도 자료를 이용하여 점착트랩에 채집되는 성충 밀도와 육안조사 성충밀도와의 관계, 점착트랩에 채집되는 성충 밀도와 식물체 전수 밀도와의 관계를 분석하였다.

그림 1-74은 점착트랩을 이용하여 조사한 오이총채벌레 성충의 밀도와 식물체 전수에서 육안으로 조사한 성충의 밀도와의 관계이다. 전수 조사의 성적 중 크게 벗어나는 2개의 관측치를 제외할 경우 점착트랩의 밀도와 식물체 전체에서 조사된 성충밀도와는 높은 회귀관계($r^2 = 0.96$)를 나타냈다. 따라서 점착트랩을 이용하면 관계식을 이용하여 특정 조사 시점 트랩에 잡힌 오이총채벌레 성충수를 조사하여 오이주내에 있는 전체 성충의 평균 발생밀도를 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 그림 1-75은 2003년 농업과학기술원 비닐하우스 실험에 발생한 주내 성충밀도와 주내 전체밀도와의 회귀관계를 나타낸 것이다($r^2 = 0.67$). 이들 식들을 이용하면 앞서 경제적 피해 수준에

서 설정된 경제적 피해허용수준 밀도인 주당 오이총채벌레 238마리는 점착트랩을 온실 내에서 일주일간 설치하였을 때 트랩에 잡힌 오이총채벌레성충 6마리/트랩/1주일 수준과 동일한 수준이 된다. 이렇게 트랩에 잡힌 밀도와 주내 발생밀도의 관계를 활용하여 트랩에 잡힌 오이총채벌레 성충수를 이용하여 경제적 피해허용수준을 쉽게 파악할 수 있는 효과적인 간이에찰법으로 이용가능하리라 여겨진다.

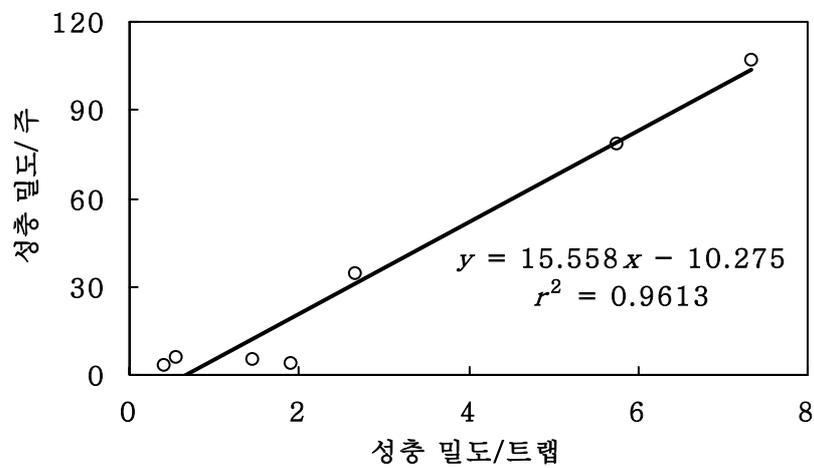


그림 1-74. 트랩에 잡힌 오이총채벌레 성충 밀도와 주내 육안 관찰된 오이총채벌레 성충과의 관계(2002년, 구례 농가포장)

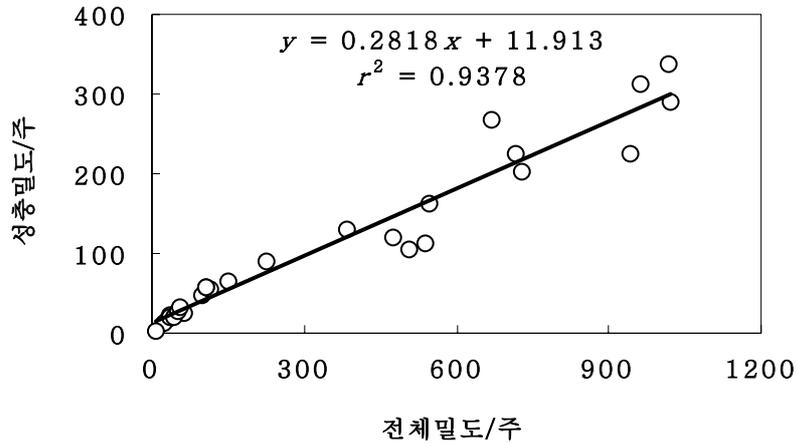


그림 1-75. 영양생식성장시기 주당 전체밀도와 성충밀도간의 관계
(2003년, 농업과학기술원 실험온실)

가) 고정정밀도 표본조사법(Fixed-precision-level sampling method)

트랩을 이용한 오이총채벌레 공간분포 TPL 모형에서 추정된 a값과 b값을 이용하여 표본조사를 실시할 경우 원하는 정밀도에서 밀도추정을 위한 표본추출 정지선을 구하였다(그림 1-76). 일정한 정밀도에서 축차표본 조사시 표본추출의 정지선(식 1-25)(Green, 1970)과 조사에 필요한 표본수(식 1-26)(Reusink, 1980)는 다음에 제시한 방법에 따라 구하였다.

$$\ln Tn = \frac{\ln(D^2/a)}{b-2} + \frac{b-1}{b-2} \ln n \quad \text{-----}(식. 1-25)$$

$$\text{조사 표본 수}(n) = \frac{a \times m^{(b-2)}}{D^2} \text{ -----(식 1-26)}$$

a, b 는 Taylor 모형의 파라미터들이고 Tn = 누적 마릿수, n = 표본 크기 (트랩), D 는 평균에 대한 표준오차 비율의 의미를 가지는 고정된 수준의 정밀도(0.20, 0.25, 0.30 등)를 나타낸다.

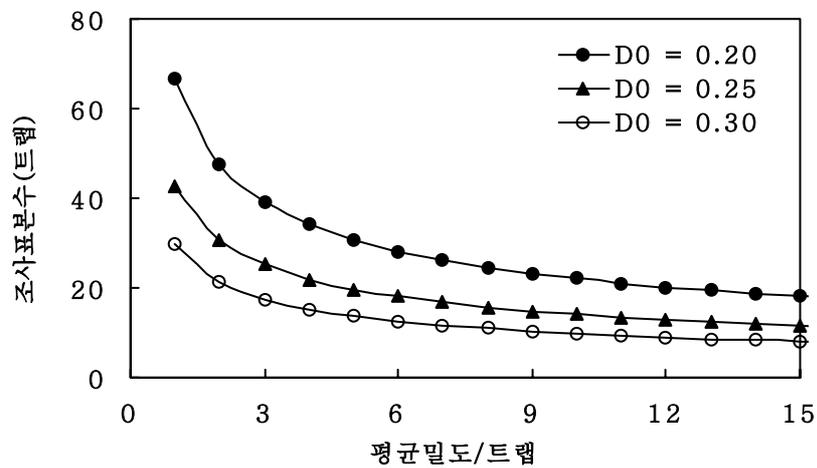


그림 1-76. 각 고정 정밀도 수준별 표본추출 정지선. (2002년, 구례 농가 포장)

600-800평이 되는 관행방제 농가 온실에서 오이의 영양생식성장시기의 경우 경제적 피해허용수준(임계밀도, 요방제 밀도)은 앞에서 경제적 피해수준 설정 과정에서 제시된 주당 238마리인데 이는 오이충채벌레 성충 6마리/트랩/1주일 수준이다. 오이충채벌레 성충 6마리/트랩/1주일이라 설정되었는데 표본추출을 정지할 수 있는 조사 표본수(트랩)를 계산하면 정밀도가 0.2인 수준에서 약 30개 정도의 트랩을 이용하여 조사를 실시하면 충분할 것으로 여겨진다(그림 1-76).

나) 방제 의사결정을 위한 축차표본조사법

앞서 공간분포분석에서 구하여진 TPL 계수와 시뮬레이션 모형 프로그램 (Binns *et al.*, 2000)을 이용하여 방제 의사결정수준과 필요한 표본수를 결정하였다. 임계밀도(경제적 피해 허용수준, 요방제 밀도)는 앞서 경제적 피해수준 설정 과정에서 제시된 피해허용수준인 오이충채벌레 238마리/주로 설정하였다. 주내 전체 발생밀도는 트랩 당 성충 밀도와와의 관계를 통해서 추정하였는데 이는 오이충채벌레 성충 6마리/트랩/1주일이다.

축차표본조사법(sequential sampling)에 따라 연속적으로 조사하여 누적밀도 상한선과 하한선은 다음의 공식으로 프로그램을 이용하여 구하였다(식 1-27).

$$\begin{aligned}
 L_i &= i \times n_B \left(cd - z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{V}{i \times n_B}} \right) \\
 U_i &= i \times n_B \left(cd + z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{V}{i \times n_B}} \right) \\
 L_I &= U_I = I \times n_B cd
 \end{aligned}
 \quad \text{-----}(식. 1-27)$$

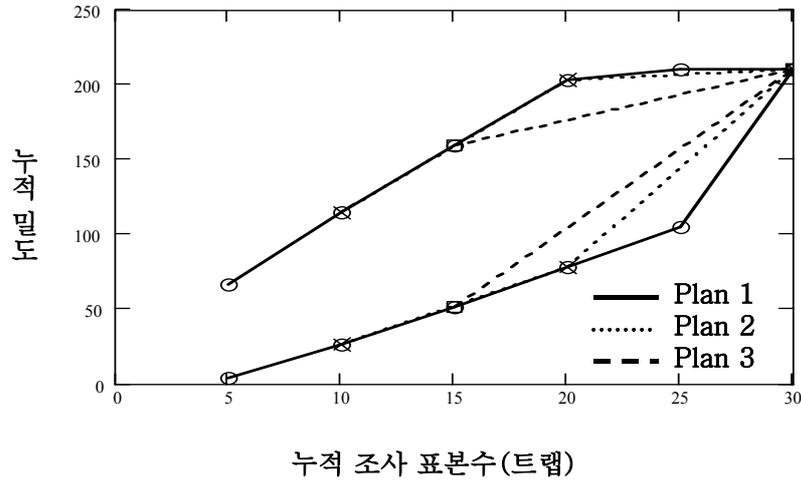
(L_i = 하한선, U_i = 상한선, $L_I=U_I$: 최대 표본 조사 한계치, n_B = 표본조사 단위 크기, cd : 임계밀도(경제적피해허용수준), i = 각 표본 조사 수준별 조사 횟수, V = 분산, $Z_{\alpha/2} = 1.96$)

앞서 시설 내에서 고정표본조사법으로 조사해야 할 적정 표본수 (트랩)를 표본추출정지선을 통해 30개로 설정했을 때 각각의 한번 조사해야 할 표본단위의 크기를 5개씩으로 설정하여 6번 연속 조사하는 방법, 그리고 10개씩 세 번씩 연속 조사하는 방법과 마지막으로 한번에 15개씩 2번 연속 조사하는 방법으로 설정한 후 축차표본 조

사 계획을 구하였다(그림 1-77). 이렇게 설정된 경제적 피해허용수준인 오이총채벌레 성충 6마리/트랩과 공간분포 파라미터들(TPL a, b; 최소표본단위; 고정정밀도)을 활용하여 Mathcad프로그램에서 각각 1,000회에 걸쳐 시뮬레이션을 실행하였다. 분석결과는 최대 조사 표본수 수준을 달리함에 따라 OC함수와 ASN함수의 경우 기울기가 거의 비슷하였고 그때 방제의사결정에 필요한 표본수가 조금 달라졌는데 경제적 피해허용수준 밀도인 CD에서는 OC확률이 조사방법간에 거의 비슷한 0.5였고 필요한 표본수도 최대 표본수에 가까운 30개(트랩)였음을 알 수 있었다(그림 1-78). 즉, 방제의사 결정을 정확히 하기 위해서 조사하는 표본수를 늘리면 보다 정확한 의사결정을 할 수 있다. 그러나 간이에찰을 통해 방제의사결정을 내리기 위해서는 실제 야외 포장에서의 밀도를 조사가 신속하고 경제적으로 수행되어야 하는데 시간과 비용을 고려하여 선택하는 것이 중요하다.

그러므로 앞서 고정정밀도를 이용한 표본조사법에서 밀도조사를 위하여 필요한 최대 조사표본수(트랩)를 설정하고 여기에 축차표본조사법을 병행하여 밀도조사를 실시한다면 더욱 효과적인 표본조사법으로 활용이 가능하리라 여겨진다.

우선 최소 표본단위를 5개로 설정한 축차표본조사법에서 최초 5개의 트랩 내의 오이총채벌레수를 육안 조사하였을 때 전체 오이총채벌레 누적밀도 수가 누적상한선인 약 70마리 수준 이상이였다면 더 이상 표본조사를 중지하고 즉시 방제를 수행해야하는 상황이고 매 조사시기마다 누적밀도가 누적상한과 누적하한 사이였다면 표본조사를 계획대로 수행하면서 의사결정이 이루어질 때까지 밀도조사를 계속 진행하는 방법이다(그림 1-77). 이렇게 고정 표본조사법에 축차표본조사법을 병행하여 수행한다면 고정표본조사법에서처럼 방제의사를 결정하기위해서 필요한 표본수를 다 조사할 필요없이 표본조사를 실시하는 과정에서 누적 상한밀도 이상(즉시 방제해야하는 상황)이나 누적하한밀도 이하(표본조사 중단), 또는 두 밀도 중간(표본조사 계속)사이에 있는냐를 결정할 수 있어서 효과적인 표본조사법이 될 것이다.



1

그림 1-77. 축차표본추출계획(경제적 피해 허용수준 = 오이충채벌레 성충 6마리/트랩/1주일)

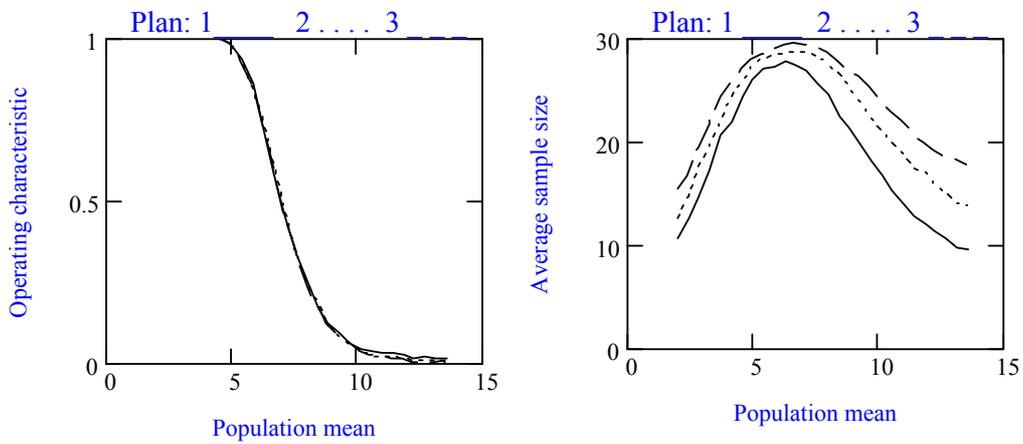


그림 1-78. 방제 의사결정계획에서 OC함수와 평균 표본 수와의 관계(경제적 피해 허용 수준 오이충채벌레 성충 6마리/트랩/1주일)

다) 점착트랩을 이용한 평균 밀도 예측

그림 1-79는 황색점착트랩에 잡힌 오이총채벌레 성충의 임계밀도를 각각 2, 3으로 설정하였을 때 트랩 내 임계밀도 이상 오이총채벌레가 발견된 트랩 수의 비율과 트랩 당 오이총채벌레 평균밀도 간의 관계를 나타낸 것이다. 앞서 트랩에 잡힌 성충 밀도와 주내 발생 성충 밀도 및 전체 밀도 사이의 높은 회귀관계가 존재하기 때문에 트랩 성충 밀도자료를 활용하여 간이에찰법을 제시가 가능할 것으로 보인다. 임계밀도를 2, 3으로 설정한 경우 두 결과 모두 높은 회귀관계($r^2 = 0.89, 0.86$)를 보였지만 표본 조사하는데 경제성을 고려하면 트랩 당 임계밀도를 2마리 수준으로 설정하여 밀도조사를 실시하는 것이 더 효과적일 것으로 보인다.

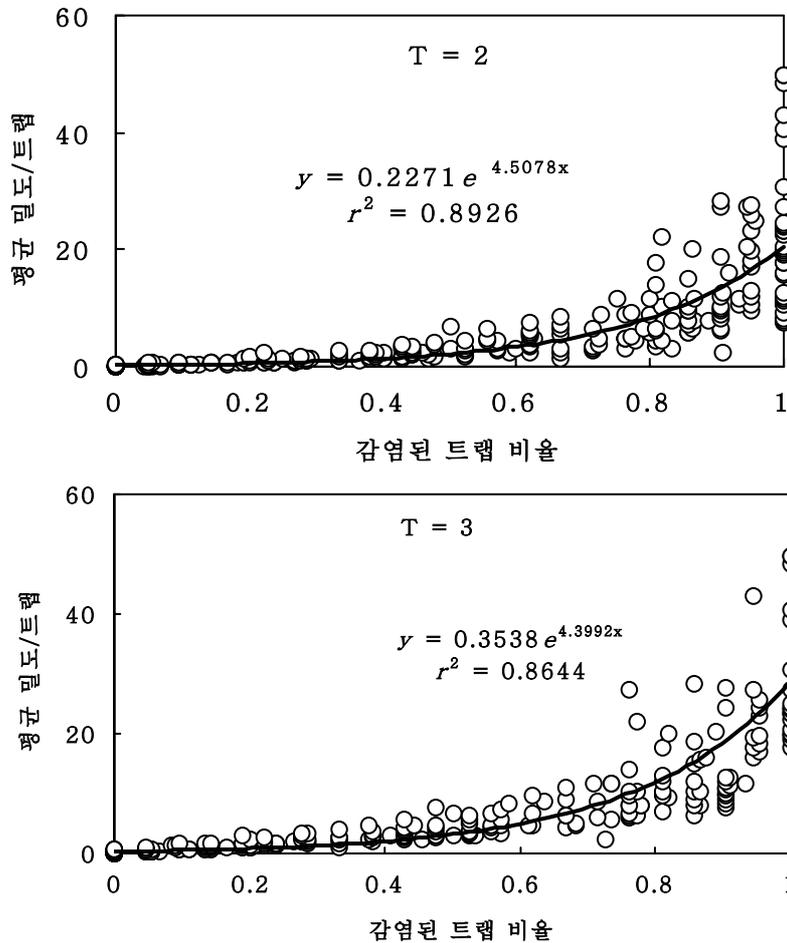


그림 1-79. 점착트랩을 이용하여 감염된 트랩의 비율과 트랩 당 오이충채벌레 평균 밀도의 관계(2002년, 구례농가 포장)

그림 1-80은 고정 표본조사법에서 포장 온실내에서 일정한 간격 (8-10 m)으로 30개의 트랩을 설치하고 일주 후 트랩에 잡힌 오이충채벌레밀도 자료에서 오이충채벌레가 임계밀도 이상 발견된 트랩수와 트랩 당 오이충채벌레 성충의 밀도와의 관계를 나타낸 것이다. 예를 들면 임계밀도를 2로 설정하고 오이충채벌레가 2마리이상 발견

된 트랩의 수가 22-23개 수준까지 존재하였다면 앞서 경제적 피해허용수준에서 제시했던 수치인 평균 발생 밀도 오이총채벌레 성충 6마리/트랩/1주일(238마리/주) 수준으로 추정된다.

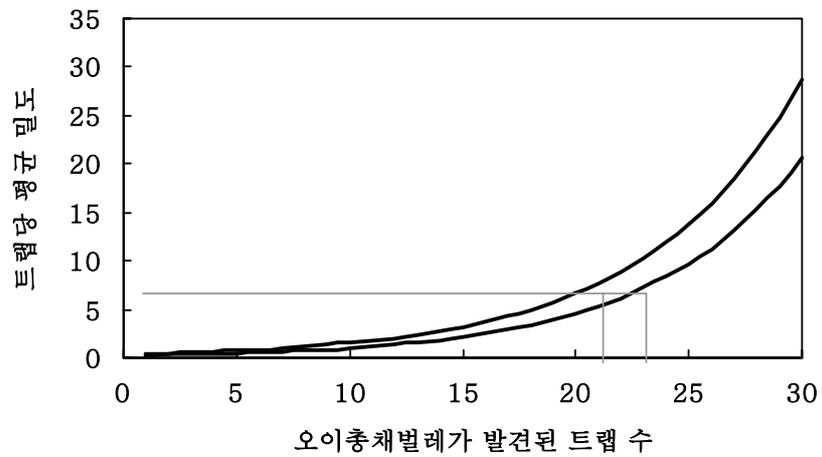


그림 1-80. 고정 표본 조사법에서 오이총채벌레 성충이 임계밀도 이상 발견된 트랩 수와 트랩 당 오이총채벌레 평균 밀도와의 관계(조사 표본수 (트랩)은 30개 1주일 설치, 2002년 구례 농가 포장)

다. 개발된 조사법의 평가

오이충채벌레 밀도를 육안으로 조사한 결과와 점착트랩을 이용하여 조사한 결과를 분석하여 개발한 고정정밀도 표본조사법의 타당성을 검증하고 이를 기반으로 한 오이충채벌레 밀도의 표본조사법을 개발하고자 개발된 조사법을 평가하였다. 앞에서 개발된 표본 조사법의 타당성을 평가하기 위하여 RVSP(Resampling Validation for Sampling Plan)(Naranjo와 Hutchison, 1997) 프로그램을 이용하여 시뮬레이션하고 이 결과를 통하여 개발된 방법의 일반성을 평가하였다. 이미 개발된 다양한 표본조사법의 타당성 평가를 위하여 자주 사용하는 방법 중의 하나인 재표본조사법(resampling technique)은 가장 극단의 값에서 요구하는 만큼의 관측치를 최소한 포함하여야 한다는 한계가 있다. 그러므로 본 연구에서는 육안조사의 경우 약, 성충의 밀도가 조사 표본당 평균 2마리 이상, 점착트랩의 경우 트랩 당 성충 4마리 이상의 경우만 타당성 평가의 재료로 삼았다.

표 1-38은 육안 표본조사법을 평가한 결과이다. 6개의 평가세트 중 4개의 평가세트에서 실제 시뮬레이션 D값이 희망하는 D값보다 같거나 낮게 나타났으며 이때의 밀도 범위는 엽당 5.2마리부터 27.5마리까지였다. 이때의 평균 D값은 500번 반복의 평균값인데 평가를 위해 더욱 중요한 것은 500번 반복시 각 반복의 실측 D값의 분포이다(Nyrop and Binns 1991). 본 연구의 분석 결과 육안 표본조사법의 경우 실측 D값이 0.25보다 작거나 같을 경우의 분포를 보면 6세트 중에 3세트만이 500 반복 중 75%이상의 반복에서 같거나 낮은 D값을 가졌고 밀도가 높았던 7번 포장 4월 17일, 11번 포장 6월 12일, 13번 포장 6월 12 평가 자료에서는 원하는 D값보다 낮은 D값을 가지는 반복 비율이 60%를 넘지 않아 높은 밀도에서는 원하는 정밀도를 확보하기가 다소 어려웠다(표 1-38).

표 1-39와 1-40은 점착트랩을 이용한 고정정밀도 표본조사법을 평가한 결과이다. 황색점착트랩을 1일간 설치한 경우에는 원하는 D값보다 낮은 평균 D값을 보인 평가 세트는 12개중 7개, 7일 동안 설치한 경우에는 16개중 12개 평가 세트에서 원하는 D값 이하의 결과를 얻을 수 있었다. 점착트랩을 1일간 설치하여 성충밀도를 조사하여 밀도를 추정할 경우 원하는 D값 이하의 결과를 가져온 평가 세트의 밀도 평균 범위는

4.4-25.8마리였으며, 7일간 설치하여 조사한 경우에는 평균 밀도의 범위가 3.9-40.9마리였다. 점착트랩을 이용하여 오이충채벌레 밀도를 추정하기 위해서는 포장에서 1일 동안 노출시키는 것 보다 7일간 노출시켜 채집된 밀도를 이용하는 것이 일정기간 동안의 발생 밀도 조사 시 정밀도를 높이는 방법이었다.

표 1-38. 육안 표본조사법 이용하여 오이충채벌레 밀도를 예측할 경우 RVSP 시물레이션을 이용한 표본조사법의 평가 결과 시물레이션은 고정정밀도(D=0.25) 수준에서 500회 반복)

온실	조사 자료			시물레이션		
	조사 시기	예측 밀도	평균 d	평균 밀도	평균 표본크기	% 시물레이션 D ≤ 희망하는 D
7	4.17	10.4	0.26	11.1	48	43.2
11	4.17	2.4	0.21	2.5	104	99.2
11	5.15	2.4	0.21	2.4	106	98.0
11	6.12	16.7	0.25	17.0	39	43.2
13	5.15	5.7	0.20	5.9	68	87.2
13	6.12	11.1	0.28	11.7	48	53.2

표 1-39. 점착트랩을 1일간 노출시킨 자료를 이용하여 오이충채벌레 밀도를 예측할 경우 RVSP 시뮬레이션을 이용한 표본조사법의 평가 결과 (시뮬레이션은 고정정밀도(D=0.25) 수준에서 500회 반복)

온실	조사 자료			시뮬레이션		
	조사 시기	예측 밀도	평균 d	평균 밀도	평균 표본크기	% 시뮬레이션 D ≤ 희망하는 D
1	6.07	12.14	0.25	12.75	7	54.2
1	6.21	33.00	0.30	33.77	5	32.4
5	6.14	4.19	0.22	4.35	14	83.8
5	6.21	4.10	0.24	4.37	14	68.0
7	4.26	11.80	0.32	13.18	7	20.2
7	6.14	4.80	0.19	4.84	13	98.4
11	5.17	5.64	0.42	6.25	12	14.8
11	6.14	33.64	0.31	34.12	5	33.8
13	5.24	6.56	0.18	6.64	11	99.4
13	6.21	26.00	0.20	25.78	5	77.0
16	4.12	7.05	0.29	7.69	10	35.4
16	5.31	4.14	0.24	4.47	14	65.8

표 1-40. 점착트랩을 7일간 노출시킨 자료를 이용하여 오이충채벌레 밀도를 예측할 경우 RVSP 시뮬레이션을 이용한 표본조사법의 평가 결과(시뮬레이션은 고정밀도(D=0.25) 수준에서 500회 반복)

온실	조사 자료			시뮬레이션		
	조사 시기	예측 밀도	평균 d	평균 밀도	평균 표본크기	% 시뮬레이션 D ≤ 희망하는 D
7	6.10(99)	4.4	0.26	3.9	23	37.8
7	6.24(99)	16.6	0.28	13.9	13	46.6
17	6.17(99)	8.0	0.16	8.4	16	100
17	7.08(99)	18.8	0.19	19.8	11	93.2
16	5.06(99)	5.4	0.25	5.8	19	49.4
16	7.14(99)	39.1	0.18	40.9	8	94.8
18	7.08(99)	8.0	0.15	8.0	16	100
18	7.14(99)	13.8	0.11	14.3	12	100
9	4.15(99)	5.6	0.17	5.8	19	100
9	7.14(99)	16.2	0.18	16.8	12	99.8
2	6.06(02)	4.4	0.18	3.9	23	100
2	6.27(02)	16.0	0.13	16.3	12	100
6	2.14(02)	5.1	0.31	5.4	21	28.6
6	4.04(02)	17.6	0.15	18.1	11	100
9	6.13(02)	4.9	0.22	4.9	21	83.4
9	6.27(02)	11.0	0.37	11.8	15	20.0

라. 결론

오이총채벌레 밀도 조사를 위해 육안 조사를 수행할 경우 주내 엽에 발생한 밀도를 전수 조사하는 것보다 주내에서 발생하는 밀도 수준을 대표할 수 있는 특정 엽을 선별적으로 선택하여 조사하는 계층별 조사방법이나 체계적 조사방법이 더 효과적이었다. 그러나 밀도 육안조사방법은 오이총채벌레가 육안조사하기 힘든 미세해충이라는 점과 육안으로 밀도를 세는 것은 표본조사에 많은 시간과 노력이 필요하기 때문에 적절한 표본조사방법으로 권장하기에는 어려움이 많다. 그러므로 점착트랩에 잡힌 오이총채벌레 성충 수를 이용하여 주내 전체밀도를 예측하는 방법이 가장 경제적인 밀도조사방법일 것이다.

점착트랩을 이용한 밀도조사는 트랩에 잡힌 오이총채벌레 성충 수와 주내 발생한 성충 밀도, 주내 발생한 성충 수와 주 전체 밀도와의 관계를 이용하여 밀도예측이 가능하였다. 점착트랩에 잡힌 오이총채벌레 성충 수와 주내 발생한 밀도 수와의 관계는 트랩을 온실내에 7일 동안 설치하였을 때 잡힌 밀도를 이용하여 추정하는 것이 1일 동안 설치한 후 잡힌 밀도를 이용하여 추정한 자료보다 더 정밀도가 높은 관계를 보였다. 오이에서 주내 경제적 피해허용수준인 오이총채벌레 발생 밀도(238마리/주)는 온실내 트랩을 일주일간 설치하였을 때 6마리(6마리/트랩/1주일) 수준이었다. 트랩을 이용한 공간분포 자료 분석 결과 고정정밀도가 0.2인 수준에서 밀도조사를 실시할 경우 1000여 평 규모에서 조사 표본수(트랩)가 30개 정도로 표본사이 간격은 10m정도가 적당하였다. 축차표본조사법에서는 10개의 트랩을 한 조사 세트로 설정하여 표본조사를 수행한다면 신속한 방제 의사 결정을 내리는데 효과적인 것으로 분석되었다.

제 2절. 고추에서 주요해충에 대한 경제적피해수준 설정 및 간이에찰법 개발

2-1. 복숭아혹진딧물의 고추에 대한 경제적 피해수준 설정

가. 복숭아혹진딧물의 고추 피해

고추재배지에서 복숭아혹진딧물은 꽃노랑총채벌레, 목화진딧물, 담배나방 등과 더불어 중요한 해충 중의 하나이다. 복숭아혹진딧물은 고추에서 흡즙에 의한 노화 및 황백화로 인해 광합성을 저해시키고 화방이나 꽃을 흡즙하여 고추 생육저해로 인한 수량감소의 직접적인 원인이 되는 반면 여러 종류의 바이러스 매개로 인한 바이러스병을 일으켜 커다란 피해를 일으킨다(Quaglia et al., 1993). 진딧물에 의한 피해의 정도는 진딧물의 밀도, 작물품종, 작물의 생육시기 및 진딧물의 섭식정도에 따라 다양하게 나타나는데 Harvey 등은 알팔파에서 *Acyrtosiphon pisum*(Harris)에 의한 피해는 생초의 양과 질을 크게 감소시킨다고 보고하였다. Maiteki and Lamb에 의하면 *Acyrtosiphon pisum*가 완두콩의 꽃과 꼬투리 가해에 의한 피해가 진딧물 밀도와 높은 관계를 보이고 어린 꼬투리를 가해한 경우에는 수량감소의 큰 원인이 된다고 하였다. 또한 Kieckhefer and Kantack에 의하면 볏밀에서 *Schizaphis graminum*(Rondani), *Macrosiphum avenae*(F.), and *Rhopalosiphum padi*(L.)등과 같은 진딧물에 의해 수량감소가 나타나는데 생육초기에 그 영향이 크다고 하였다. 이처럼 작물재배에 있어 진딧물에 의한 피해는 상당하다고 할 수 있다. 그러나 진딧물 관리는 화학적 방제에 의존하고 있다. 고추포장에서 복숭아혹진딧물을 관리하는 방법으로는 포장 주변의 숙주가 되는 잡초의 제거와 애꽃노린재, 흑파리, 기생봉 등의 천적을 이용한 생물학적 방제 등 여러 가지가 있으나 대부분이 화학적 방제에 의존하고 있기 때문에 불필요한 약제 남용을 막고 적절한 약제 사용에 따른 생산비를 줄이는 방법의 일환으로 방제시기를 결정해 주는 일은 중요한 일이다. 따라서 복숭아혹진딧물에 의한 고추의 피해에 대한 지식은 매우 중요하다.

나. 피해 분석

1) 초기 진딧물 밀도에 따른 고추의 피해 계량화

가) 재료 및 방법

복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*)은 원예연구소에서 분양 받아 서울대 농생대 부속농장 유리온실(17-30℃)에서 고추를 기주로 누대사육 하여 실험에 사용하였다. 실험은 서울대 농생대 부속농장 비닐하우스에서 수행하였다. 비닐하우스에는 데이터로거(HOBO®)를 온실 중앙에 1m 높이로 설치하여 온도변화를 측정하였다. 고추(*Capsicum annum* L.)는 축성재배 풋고추용 품종인 ‘녹광’을 이용하였다. 포트(직경 29cm, 높이 35cm)에 정식한 후 외부로부터 해충유입을 막기 위해 한냉사를 설치하였다. 비닐하우스(14-27℃; 평균 25℃)에서의 급수는 2-3일에 한번씩 충분히 관수하였다. 시비는 시설관행시비방법(32-26-30)에 따라 멀티피드214 제품의 권장 관주량 1000배액을 시비하였다.

초기 진딧물 밀도는 6수준(0, 2, 4, 6, 8, 10마리/주)으로 설정하였으며 각각 6반복씩 실험을 수행하였다. 진딧물은 정식 후 30일된 고추에 접종하였다. 밀도조사는 1주일 간격으로 전수육안조사를 하였고 엽장·엽폭조사는 절간에 형성되는 엽과 분지의 마지막 엽을 조사하였다. 엽면적 조사는 엽장을 측정해서 엽면적과 엽장간의 관계식을 이용하였다. 과실 생체중 조사는 일반적으로 시장에서 유통되는 속도와 광택의 고추를 수확한 후 측정하였다.

나) 결과

정식 후 30일 된 고추에서 복숭아혹진딧물을 밀도별 5수준 접종한 후 밀도변화를 관찰한 결과 주당 2, 4, 6마리를 접종한 경우에는 처리 4주후에 주당 약 3,500마리로 최고 밀도를 형성하고 밀도가 떨어졌고, 8, 10마리를 접종한 경우에는 3주후에

주당 2,500마리로 최고 밀도를 형성하고 밀도가 떨어졌다(그림 2-1). 이는 고밀도의 진딧물의 가해로 고추의 상태가 나빠짐으로써 적합한 기주가 되지 못해 밀도가 감소된 것으로 분석된다. 또한 고밀도 접종 고추에서는 진딧물 밀도가 1주일 일찍 감소하기 시작하였는데 이는 일찍이 고밀도로 진딧물 밀도가 형성되어 피해를 일찍 받기 시작했기 때문으로 추정된다. 진딧물에 의한 고추의 피해는 진딧물의 흡즙에 따른 잎의 황화현상으로 광합성이 저해되거나 조기낙엽 등으로 고추의 생육이 나빠짐으로써 궁극적으로 고추과실 생산량이 감소될 것으로 보인다.

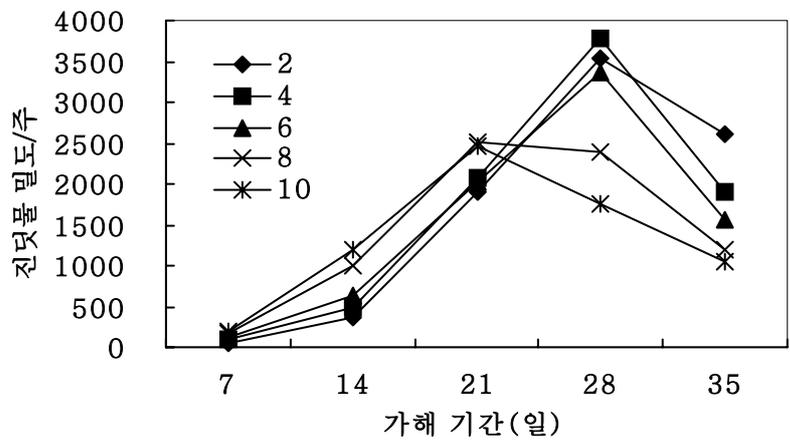


그림 2-1. 고추에서 복숭아혹진딧물 초기접종밀도별 주당밀도변동

초기 진딧물밀도 수준에 따른 진딧물에 의한 잎의 피해정도를 알아보기 위해 엽면적을 측정하였다. 고추 엽면적은 엽장과 높은 회귀관계를 보였다(그림 2-2). 엽장을 이용하여 엽면적을 산출하였고 산출한 엽면적들은 초기의 대조구 고추의 고추 잎 면적 대비 상대엽면적지수로 계산하여 분석하였다(그림 2-3). 주당 8, 10 마리를 접종한 고추에서 14일정도 경과한 후부터 엽면적이 감소하였다. 엽면적 감소는 진딧물 접종 밀도에 비례하였다. 접종 후 5주가 되었을 때는 초기 밀도에 관계없이 고추의 상태는 아주 악화되어 상대엽면적지수의 차이가 없었다.

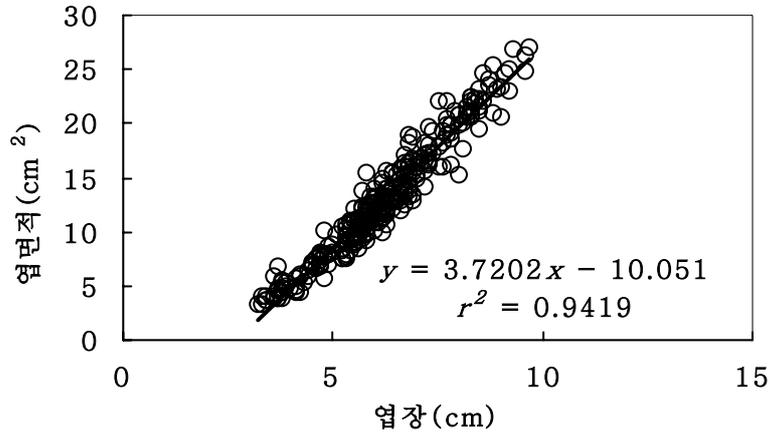


그림 2-2. 고추의 엽장과 엽면적간의 관계

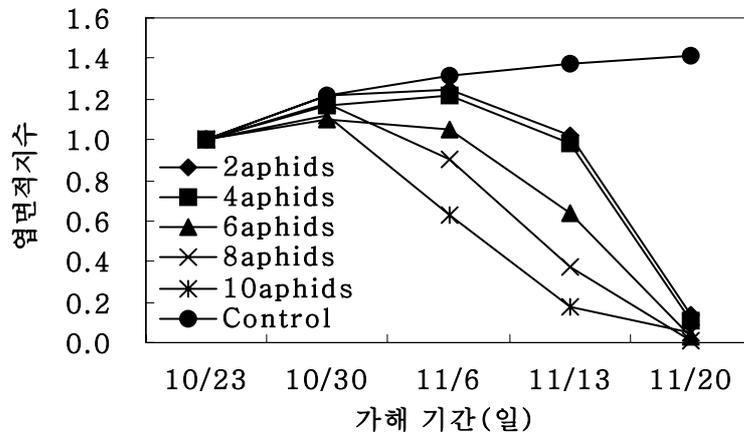


그림 2-3. 진딧물 초기접종밀도에 따른 오이의 상대엽면적지수의
경시적 변화

진딧물에 의한 고추의 피해로 인해서 여러 가지 성장 구성요소의 생육이 더디게 진행이 되고 심지어는 고사하여 전혀 생산을 할 수 없게 되는 경우도 있었다.

고추 생산량은 과실의 수와 무게 모두 주당 8, 10 마리 처리한 경우에 모두 19개와 약 200g으로 다른 처리나 대조구에 비해 낮았다. 이는 정식 30일 후 진딧물의 초기유입밀도가 주당 8마리 이상에서는 고추의 생산량에 영향을 주는 것으로 판단된다(표 2-1).

표 2-1. 복숭아혹진딧물의 초기 밀도별 첫 수확 고추의 과실수와 과실무게

	대조구	2마리/주	4마리/주	6마리/주	8마리/주	10마리/주
과실수	25±0.70	24±1.64	23±0.55	27±1.14	19±1.64	19±1.30
과실무게(g)	238.9±9.32	269.5±14.78	263.3±3.52	256.4±9.59	220.3±13.18	193.1±12.54

2) 감염기간에 따른 고추의 피해 계량화

가) 재료 및 방법

실험은 서울대 농생대 부속농장 비닐하우스에서 수행하였다. 비닐하우스에는 데이터로거(HOBO®)를 온실 중앙에 1m 높이로 설치하여 온도변화를 측정하였다. 고추는 전 실험과 마찬가지로 ‘녹광’을 사용하였다. 실험은 이원배치법(진딧물초기밀도 수준과 가해기간)으로 설계되었으며 처리별 반복수는 5였다. 초기 밀도수준은 주당 0, 1, 3, 5마리의 진딧물로 하였다. 정식 후 15일 된 고추에 진딧물을 접종하였고 가해기간을 달리하여 정식일로부터 10, 20, 30일 후 방제를 실시하였다. 진딧물 밀도, 엽면적(엽장), 초장, 엽수, 분지수(절수), 화방수/낙화수, 과실수/과실중량을 5일 간격으로 조사하였다. 정식 후 60일경에 실험을 종료하고 고추 식물체를 수확하여 지상부와 지하부로 나누어 생체중과 건중량을 측정하였다. 진딧물 밀도 조사는 주당 전체 밀도를 조사하였으며 초장은 토양부터 주경의 끝부분까지의 길이를 조사하였다. 엽수는 주내의 전체 잎을 조사하였고, 엽장은 3부분(상, 중, 하)으로 나누어 각각 3잎을 조사(주당 9잎)하였고, 분지수는 형성된 절수를 조사, 화방수는 개화 전 형성된 화방수를 조사하였다.

나) 결과

잎, 분지, 초장에 대한 진딧물의 영향은 초기밀도별로는 큰 차이를 보이지 않았으나 가해기간이 30일인 경우에 25일 후부터 엽면적이 대조구에 비하여 크게 감소하였다. 초기 접종밀도가 5마리인 실험구에서 20일 동안 흡즙을 하여도 그 후 방제를 실시하면 고추는 보상작용을 통하여 잎의 형성이나 분지, 초장에는 크게 피해가 나지 않는 것으로 분석되었다(그림 2-4).

고추에서 복숭아혹진딧물에 의한 낙화율을 감염기간에 따라 비교하였다. 진딧물에 의한 피해를 받지 않은 경우에 22.1%로 가장 낮은 낙화율을 보였고 가해기간이 10, 20일인 경우에는 약 30%정도의 낙화율을 나타냈고 가해기간이 30일인 경우에는 주당 약 10,000마리의 밀도를 보였으며 이때의 낙화율은 100%로 나타나 복숭아혹진딧물 발생 후 20일 이상, 즉 2,000마리/주 정도가 되면 큰 피해가 나타났다고 볼 수 있다.

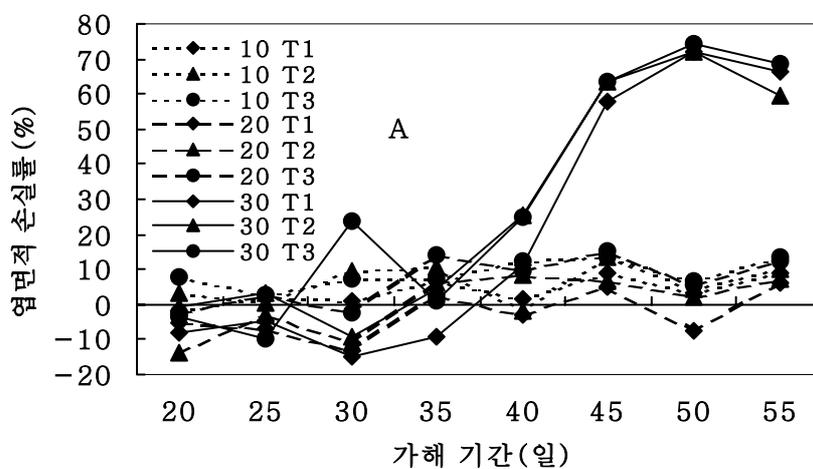


그림 2-4. (계속)

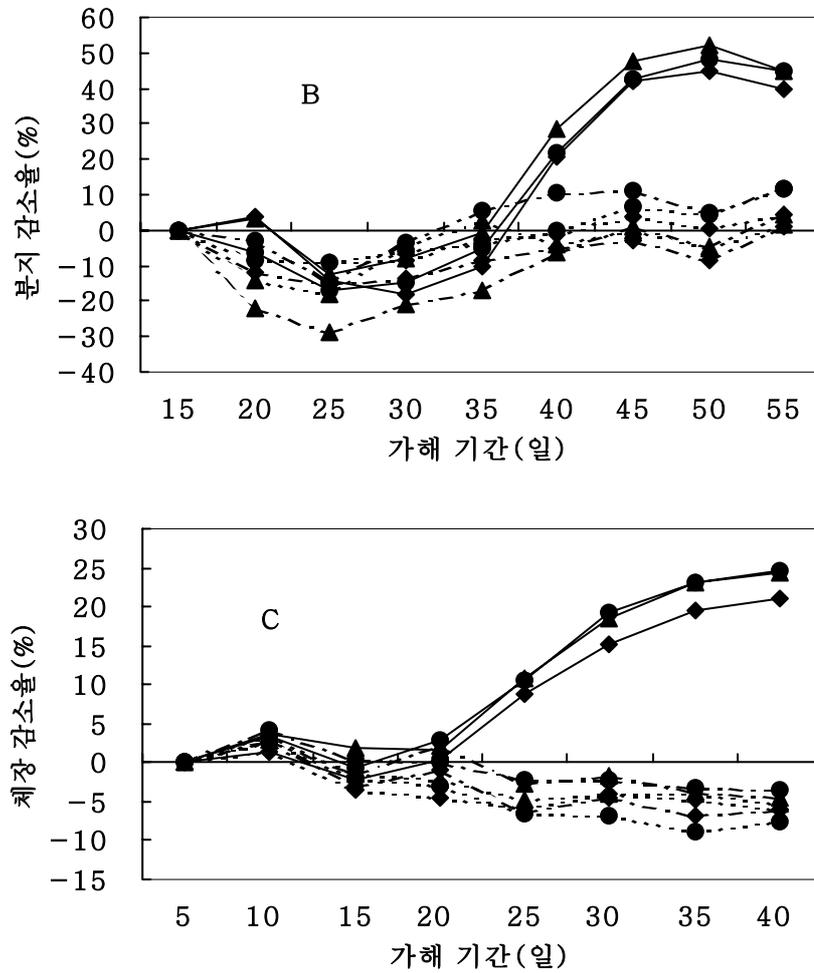


그림 2-4. 정식 후 15일 된 고추에서 감염기간 및 접종 밀도별 각 기관의 상대적 생육 감소율(A; 엽면적, B; 분지수, C; 초장)

고추의 복숭아혹진딧물에 의한 피해는 잎, 분지수, 초장, 낙화율 등 고추의 생육에 크게 영향을 미치는데 이러한 피해로 인한 작물의 생체중, 건물중, 과실중에 미치는 영향을 보면, 정식 후 60일정도 자란 고추에서 진딧물의 피해가 없는 경우 지상부

식물체의 생체중이 230g이었고 가해기간이 10일, 20일인 경우는 약 200g, 가해기간이 30일인 경우에는 약 90g이었다. 지상부 건물중은 무피해 고추 식물체의 경우 34g, 가해기간이 10일, 20일인 경우 약 30g, 가해기간이 30일인 경우에는 12g으로 진딧물의 감염기간에 따른 밀도 증식과 섭식기간에 따라 고추에 심각한 피해를 나타냈다. 그러나 진딧물의 피해가 없었던 대조구와 가해기간이 10일, 20일인 경우에는 통계적 유의차가 없었고 감염기간이 30일인 경우와는 통계적으로 유의하게 차이를 나타냈다. 생산량은 대조구, 가해기간 10일, 20일인 경우에 27-42g으로 크게 차이를 나타내지는 않았으나 가해기간이 30일인 경우에는 열매가 전혀 맺히지 않아 상당한 피해를 나타냈다.

표 2-2. 정식 후 15일 된 고추에서 가해기간 및 접종 밀도별 고추 생체량

가해 기간 (일)	초기 진딧물 밀도	과실 무게(g) (Mean±SE)	지상부 식물체 무게(g) (Mean±SE)
	대조구	41.5±9.75 a	230.8±36.53 a
10	1	27.6±15.35 a	201.1±15.61 b
	3	36.4±19.32 a	206.2±14.33 b
	5	28.2±11.91 a	194.8±11.19 b
20	1	38.9±20.73 a	223.6±29.37 b
	3	27.0±32.00 a	211.5±11.49 b
	5	42.9±24.99 a	193.4±17.03 b
30	1	0 b	97.2± 6.98 c
	3	0 b	89.6±17.44 c
	5	0 b	93.6±26.98 c

동일 열에서 같은 문자를 가진 평균치는 유의한 차이를 나타내지 않음(P>0.05; Tukey test).

3) 고추의 생육시기별 고추의 피해 계량화

가) 재료 및 방법

실험은 서울대 농생대 부속농장 비닐하우스에서 수행하였다. 비닐하우스에는 데이터로거(HOBO[®])를 온실 중앙에 1m 높이로 설치하여 온도변화를 측정하였다. 고추는 ‘녹광’을 사용하였다. 실험은 이원배치법(진딧물초기밀도수준과 생육시기)으로 설계되었으며 반복수는 5였다. 밀도수준은 주당 0, 5, 10마리의 진딧물로 하였다. 정식 후 15, 30일 경과한 고추에 진딧물을 첫 번째 분지에 위치한 잎에 각각 접종하였다. 가해기간은 동일하게 30일로 하였고 이때 방제를 하여 진딧물을 제거하였다. 진딧물 밀도, 엽면적, 초장, 엽수, 분지수(절수), 화방수/낙화수는 1주일 간격으로 조사하였다. 진딧물 밀도 조사는 주당 전체 밀도를 조사하였고 초장은 토양부터 주경의 끝부분까지의 길이를 조사하였다. 엽수는 주내의 전체 잎을 조사하였고 엽장은 3부분(상, 중, 하)으로 나누어 각각 3잎씩(주당 9잎) 조사하였다. 분지수는 형성된 절수를 조사하였고 화방수는 개화하기 전 형성된 화방수를 조사하였다. 생산량은 정식 후 15, 30일된 고추를 각각 대조구와 함께 잎, 줄기, 뿌리, 과실로 나누어 생체량, 건중량을 조사하였다(약제살포 후 같은 기간이 지난 후 측정).

나) 결과

정식 후 15일이 경과된 고추에 5 또는 10마리의 진딧물을 접종한지 28일 경과후 복숭아혹진딧물의 밀도는 각각 평균 4,200 및 4,300 마리로 이때의 누적 진딧물 밀도일(CAD)은 약 34,000 및 45,000CAD였고, 정식 후 30일이 경과된 고추에 접종된 복숭아혹진딧물의 밀도는 각각 평균 3,400 및 5,100마리로 이때의 누적진딧물밀도일은 약 25,000 및 43,000CAD였다(그림 2-5, 2-6).

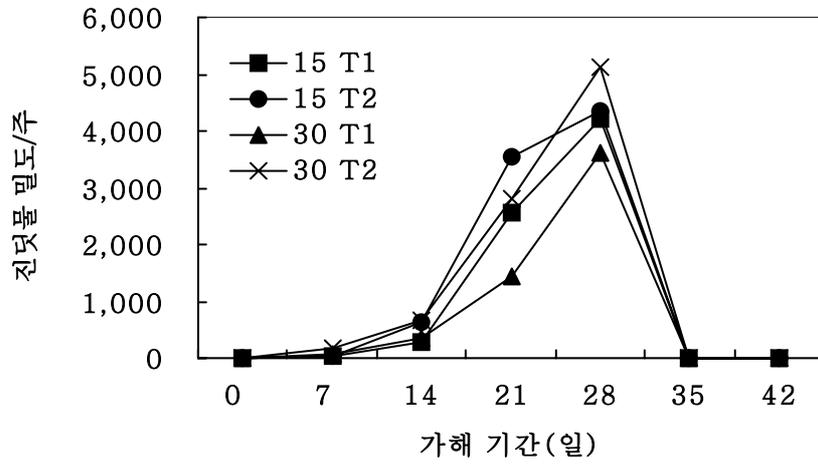


그림 2-5. 초기 진딧물 밀도 및 가해 기간에 따른 주당 복숭아혹진딧물의 밀도 변이

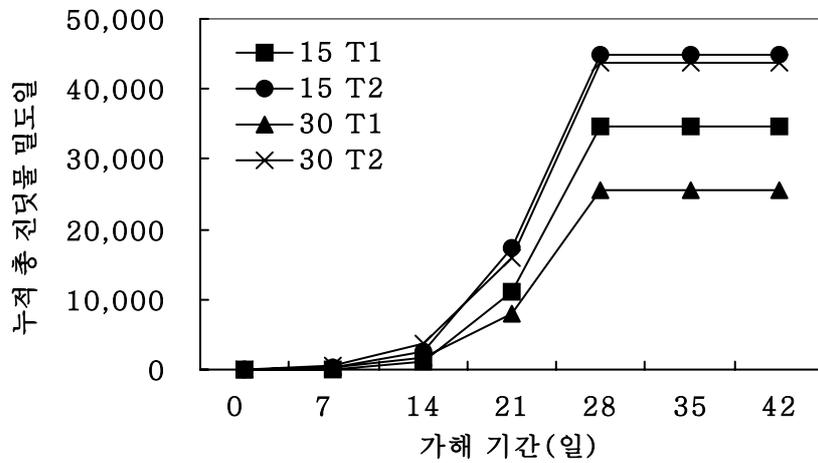


그림 2-6. 초기 진딧물 밀도 및 가해 기간에 따른 주당 복숭아혹진딧물의 누적 총 진딧물밀도일의 변이

정식 후 15일 경과된 고추에서나 30일이 경과된 고추에서는 30일 동안 진딧물의 밀도 증가에 의해서 고추의 생육에 크게 영향을 주었다.

주당 엽면적 감소율은 정식 후 15일 된 고추의 경우 복숭아혹진딧물이 유입되어 30일 동안 흡즙한 경우에 최고 49.4% 감소하였는데 복숭아혹진딧물에 의한 생육초기 피해는 접종 25일이 경과한 후부터 피해가 나타나기 시작했다. 그러나 복숭아혹진딧물이 제거된 후에는 다시 잎의 생육이 시작되어 주당 엽면적이 회복되었다(그림 2-7). 정식 후 30일 된 고추에서는 최고 58.8% 감소하였고 마찬가지로 접종 후 25일부터 그 피해가 나타나기 시작하였다. 잎의 피해로 인하여 다른 고추의 구성요소의 생육이 더디어 지고 결국은 과실의 생산량에 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다.

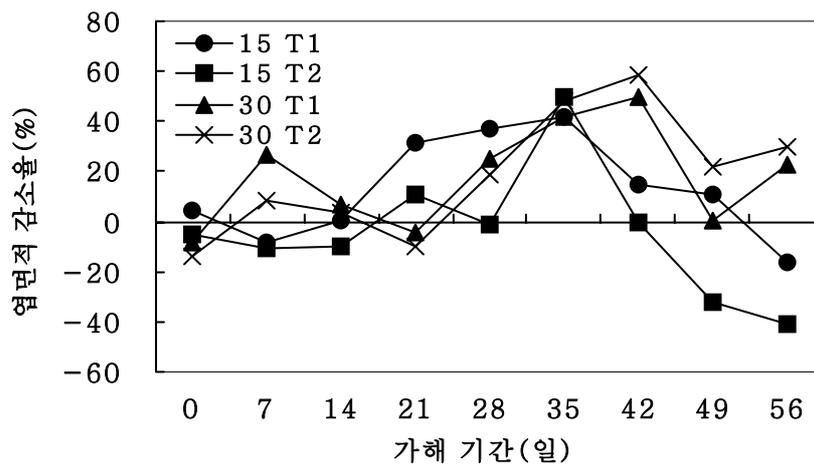


그림 2-7. 초기 진딧물 밀도 및 가해 기간에 따른 엽면적의 상대적 감소율

고추의 초장에 미치는 영향은 생육초기에 피해를 받은 경우 생육이 진행된 경우에 피해를 받은 경우보다 감소율이 상당히 크게 나타났는데 정식 후 15일 된 고추의 경우 최고 21.6% 감소하였고 정식 후 30일 된 고추의 경우에는 최고 9.9%의 감소율을 보였다(그림 2-8). 생육시기에 따라 그 생육 감소율의 차이가 크게 나타났다.

이는 생육초기에 복숭아혹진딧물에 의한 흡즙으로 인해서 잎의 황화와 노화로 인한 광합성의 저해로 고추의 초장생육에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

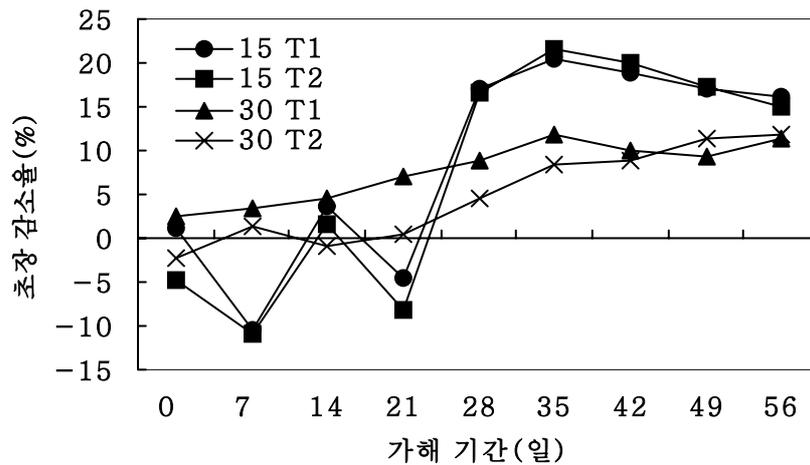


그림 2-8. 초기 진딧물 밀도 및 가해 기간에 따른 초장의 상대적 감소율

고추의 분지 생육에 미치는 영향은 잎과 초장에 미치는 영향과 마찬가지로 생육초기에 복숭아혹진딧물이 흡즙한 경우에 더 큰 피해가 나타났는데 정식 후 15일 된 고추의 경우 최고 33.7% 감소하였고 정식 후 30일 된 고추의 경우에는 최고 16.1% 감소하였다(그림 2-9). 이는 잎이나 초장의 생육이 저해되는 것보다는 그 회복이 빠르게 나타났는데 정식 후 15일 된 고추의 경우 접종 후 28일 정도부터 피해가 나타나기 시작하여 복숭아혹진딧물이 제거된 후부터 다시 회복하기 시작하였고, 정식 후 30일 된 고추의 경우에는 접종 후 42일 정도부터 피해가 나타나기 시작하였는데 거의 분지 생육에는 영향을 미치지 않았다.

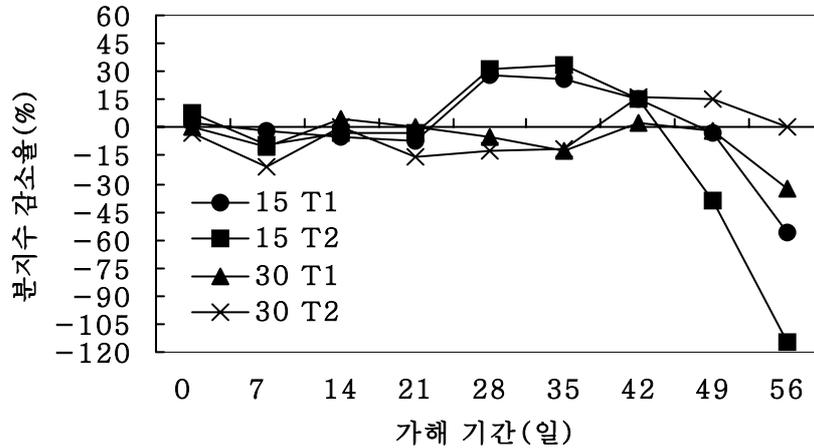


그림 2-9. 초기 진딧물 밀도 및 가해 기간에 따른 분지수의 상대적 감소율

고추의 화방 생육에 미치는 영향은 정식 후 15일 시기에 복숭아혹진딧물에 의한 피해가 정식 후 30일 시기에 피해를 받은 경우보다 더욱 큰 피해가 나타났는데 낙화를 유발하여 과실 생산에 직접적으로 영향을 끼쳤다(표 2-3). 정식 후 15일 시기에는 복숭아혹진딧물이 28일 정도 가해하였을 때 낙화율의 피해가 나타나기 시작하여 복숭아혹진딧물이 제거되고 19일 후에 다시 화방의 생성과 낙화의 감소로 낙화율이 회복되었다. 정식 후 30일 시기에는 복숭아혹진딧물 접종 후 20일부터 낙화율이 높아져 피해가 나타나기 시작하였다. 이는 복숭아혹진딧물이 화병에 집중분포하여 화방을 흡즙함으로써 낙화를 초래하는 반면 과실이 맺힌 후에도 밀도가 증가하면서 어린 과실에서 흡즙하여 낙과가 발생하게 되기 때문으로 해석된다.

표 2-3. 생육 시기 및 초기 가해 밀도에 따른 고추의 화방 낙화율(Mean±SEM)의 변이

정식 후 경과 일수	초기 진딧물 밀도/주	진딧물 가해 기간								
		0	7	14	21	28	35	42	49	56
15	0	7.8±2.29a	8.4±2.17a	10.2±2.36a	10.4±1.23a	8.9±0.57c	14.5±1.72c	28.6±2.51b	68.3±3.72a	74.9±1.77a
	5	12.6±1.41a	6.8±1.72a	7.6±1.57a	9.8±1.01a	26.2±3.07b	64.2±5.94b	59.0±5.19a	46.9±4.22b	62.8±6.48b
	10	9.7±1.33a	6.7±1.13a	7.2±1.65a	9.9±1.23a	37.0±4.36a	85.4±3.04a	63.0±6.91a	40.8±3.53b	46.0±3.57c
30	0	10.2±2.36a	10.4±1.23a	8.9±0.57a	14.5±1.72c	28.6±2.51c	68.3±3.72b	74.9±1.77b	57.7±7.86b	66.8±3.29b
	5	8.0±0.99a	7.3±1.27a	12.6±1.49a	38.5±4.72b	53.2±5.14b	74.2±3.31b	74.8±0.74b	73.3±1.93a	66.4±2.36b
	10	9.7±0.87a	7.7±0.71a	14.2±1.40a	40.7±0.88a	71.8±2.38a	84.9±1.31a	84.8±1.51a	74.9±4.76a	74.7±1.52a

동일 열에서 같은 문자를 가진 평균치는 유의한 차이를 나타내지 않음(P>0.05; LSD).

복숭아혹진딧물이 고추를 흡즙함으로써 나타나는 생육저해로 인하여 과실 생산에 미치는 영향이 매우 큰데 복숭아혹진딧물이 유입되는 고추의 생육시기에 따라 생육저해에 따른 과실 생산의 차이가 나타났다(표 2-4). 정식 후 15일 시기의 경우에는 수량이 최고 87.3% 감소하였고 정식 후 30일 시기의 경우에는 최고 47.5% 감소하였다. 복숭아혹진딧물의 밀도와 이들이 감염한 기간에 따른 누적 진딧물밀도일과의 관계를 보면 정식 후 15일 시기에는 누적 진딧물밀도일이 증가할수록 수량 감소에 더욱 크게 영향을 미치고 정식 후 30일의 경우에는 그 피해가 정식 후 15일 시기보다는 작게 나

타났다. 이는 초기에 과실이 형성이 된 경우 복숭아혹진딧물에 의해 큰영향을 받지 않아 형성된 과실은 수확이 가능하게 되고 그 이후에 피해를 받은 경우에 과실 생산에 큰 영향을 미치게 되기 때문으로 해석된다.

표 2-4. 고추의 생육시기(정식 후 15, 30일), 접종 밀도(0, 5, 10마리/주) 별 각 기관 생체중

정식 후 경과일수	초기 진딧물 밀도/주	식물 기관			
		과실	잎	줄기	뿌리
대조구		100 a	100ab	100a	100a
15	5	31.0 ± 5.27c	93.3 ± 3.14b	88.8 ± 5.27a	79.2 ± 2.02b
	10	16.3 ± 2.86d	103.2 ± 3.71a	100.6 ± 3.13a	81.6 ± 4.46b
30	5	60.8 ± 2.33b	52.7 ± 3.63c	91.5 ± 3.55a	72.3 ± 5.09b
	10	52.5 ± 4.81b	50.6 ± 4.72c	78.4 ± 7.36a	82.3 ± 4.79b

동일 열에서 같은 문자를 가진 평균치는 유의한 차이를 나타내지 않음(P>0.05; LSD).

다. 경제적 피해수준의 설정 및 응용

1) 경제적 피해수준의 각 항목의 설정

복숭아혹진딧물의 경제적 피해수준 산출은 목화진딧물의 경제적 피해수준 식과 동일한 수식을 이용하여 산출하였다. 이에 따라 수식의 각 항목을 설정하였다.

가) 방제비용

목화진딧물과 마찬가지로 복숭아혹진딧물의 대부분 농약은 경엽처리를 한다. 이 경우 총 노동비는 9,375(원/10a)이다.

나) 고추 생산량의 시장가격

고추의 시장가격은 산지가격이 아닌 유통과정에서 생기는 수매가를 사용하였다. 실제 농민들의 생산소득은 유통마진을 제외한 농가 수취율로 계산할 수 있다. 본 연구에서는 고추의 시장가격을 최근 5년간의 월별 수매가를 평균하여 중품 기준 1,500원/kg으로 설정하였다.

다) 방제비용 동가수량

목화진딧물에서 사용된 방제비용 동가수량 수식을 이용하여 복숭아혹진딧물의 방제비용 동가수량을 산출하였다. 실제 복숭아혹진딧물을 방제하는데 쓰이는 대표적인 살충제의 약제가와 방제 인건비(9,375원/10a, 경엽처리시), 5개년 평균 고추 가격(1,500원/kg, 중품 기준)을 이용하여 농약 종류에 따른 방제비용 동가수량을 산정하였다.

표 2-5. 시설 오이에서 목화진딧물의 주요 농약에 대한 방제비용 동가수량(농약공업협회, 2004)

이름	성상	가격	방제가	곡물가	GT
디노테푸란	wp	5,568	14,943		9.96
	wg	11,200	20,575		13.72
메소밀	wp	3,120	12,495		8.33
이미다클로프리드	sc	4,800	14,175		9.45
비펜스린	ec	1,600	10,975	1,500	7.32
아세타미프리드	wp	4,880	14,255		9.50
아세타미프리드-비펜스린	wp	4,800	14,175		9.45
클로치아니딘	wp	4,480	13,855		9.23
평균		5,653	14,431		9.62

약제의 성상 및 가격은 한국농약공업협회의 자료집(2004년)을 참조하였으며 단위 면적은 10a를 기준으로 계산하였다. 10a당 약제 가격은 실제 농가에서 약제를 살포하였을 경우 평균적으로 10a당 160-180L의 약제를 소모하므로 20L당 약제 가격의 8배를 10a당 약제가격으로 산정하였다. 방제가는(약제가+인건비)이며 방제비용 동가수량은 방제가와 곡물가에 의해 변화하며 방제가가 증가할수록 방제비용 동가수량은 증가하는 경향을 보이며 곡물가가 증가할수록 방제비용 동가수량은 감소하는 경향을 나타내었다.

라) 내성도

내성도는 해충의 피해에 대한 작물의 내성으로 이 수준에서는 무처리와의 비교하여 유의한 피해를 나타내지 않는 수준을 말한다. 각 처리별 오이 생산량의 차이는 SAS(PROC ANOVA; SAS Institute, 1999)을 이용하여 분석하였다. 복숭아혹진딧물

에 대한 고추의 내성도는 두 시기 모두에서 나타나지 않았으며 이는 복숭아혹진딧물로 인한 피해가 고추에 낙화 등의 직접적인 피해를 입혔기 때문으로 추정된다.

마) 피해계수

피해계수의 I와 D는 각각의 독립된 실험으로 얻기 힘들므로 해충 밀도 당 경제적 피해($I \times D$)로 나타내었다. 단위 해충 밀도에 의해 발생한 경제적 피해는 고추의 성장시기에 따라 초기 유입밀도별 피해분석 실험을 통해서 상관식($y = a - b \cdot x$, $x =$ 해충의 밀도, $y =$ 오이 생산량)의 기울기(b)를 사용하였다.

바) 방제효율

방제효율은 농가의 경영방식, 재배환경, 살충제의 종류 등에 따라 달라질 수 있으므로 $K = 0.9$ (90%방제효과)로 설정하였다.

2) 경제적 피해수준의 결정

복숭아혹진딧물은 고추의 잎과 화방이 형성되는 엽층에 집중하여 분포하며 고추의 엽층의 질에 따라 복숭아혹진딧물의 개체군 밀도 증가 패턴은 다양하게 나타나게 된다. 따라서 초기 유입밀도에 따라 균일하게 증가하지 않기 때문에 고추의 피해를 계량화하는데 개체군 밀도 증가보다는 가해기간과 개체군 밀도 증가율을 고려한 누적 진딧물밀도일로 진딧물에 의한 작물의 피해양상을 제시하는 것이 더욱 적합하다. 복숭아혹진딧물에 의한 고추의 피해양상은 여러 가지 형태로 나타나지만 진딧물의 흡즙으로 인해 간접적인 피해가 유발되는데 잎의 황화나 낙엽으로 광합성이 저해되어 고추의 생육이 나빠져 수확량에 영향을 미치게 된다.

고추의 생육요소에 미치는 복숭아혹진딧물의 영향은 고추의 성장시기, 복숭아혹진딧물의 밀도와 흡즙기간에 따라서 다르게 나타난다. 정식 후 15일된 고추의 경

우에는 복숭아혹진딧물이 생육요소에 미치는 감소율과 누적 진딧물-가해일수와 상관식은 직선으로 나타났다. 이는 누적 진딧물-가해일수가 증가함에 따라 각각의 생육요소의 감소율도 증가하게 된 것으로 해석된다. 피해가 나타나는 시점은 이미 경제적 피해가 나기 시작하므로 방제가 이루어져야 할 시점은 피해가 나타나기 시작하는 시점보다 먼저 이루어져야 할 것이다. 정식 후 15일 시기에 피해를 받은 경우 60%의 생육피해가 나타나는 시점은 약 30000 누적 진딧물밀도일이었다. 이때 정식 후 30일 시기에서의 생산량 감소율은 약 40%를 나타냈다(그림 2-10).

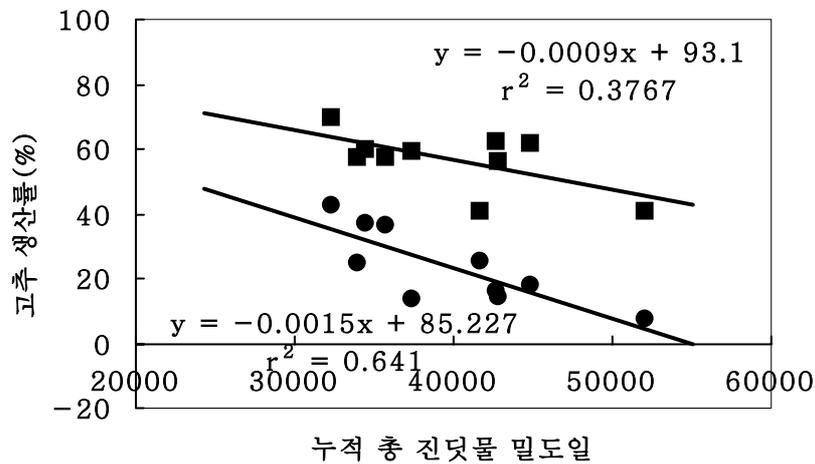


그림 2-10. 고추의 생육시기(정식 후 15, 30일)에 따른 누적 진딧물-가해일수와 과실 생체중 감소율과의 관계

진딧물에 의한 피해를 경제적 피해수준으로 전환하기 위해 앞서 먼저 진딧물의 밀도를 진딧물밀도일로 전환하여 산출하였다. 진딧물밀도일이 증가함에 따라 고추의 생산량은 유의하게 감소하였고, 이를 토대로 경제적 피해수준을 산출하였다. 정식 후 복숭아혹진딧물의 내성도는 SAS(PROC ANOVA; SAS Institute, 1999)을 이용하여 분석하였다. 또한 정식 후 복숭아혹진딧물의 누적피해일수와 생산량간의 회귀식에서 기울기를 구하여 누적피해일수 당 고추생산량의 감소율로 나타내어 경제적 피해수준 수

식의 D로 사용하였다(Pedigo, 2002).

피해계수의 I와 D는 각각의 독립된 실험으로 얻기 힘들므로 해충 밀도 당 경제적 피해(I×D)로 나타내었다. 단위 해충 밀도에 의해 발생한 경제적 피해는 고추의 성장시기에 따라 초기 유입밀도별 피해분석 실험을 통해서 1차식($y = ax + b$, $x =$ 해충의 밀도, $y =$ 고추 생산량)의 기울기(a)를 사용하였다. 정식 후 15일에서 경제적 피해는 상관식의 기울기인 0.0015, 정식 후 30일에서 0.0009로 나타났다. 여기에서 실제 매개변수 D값을 산출하였다. 농림부 자료(2003 고추 생산량 조사결과 보고서)에 의하면 주당 평균 생산량은 생체량 380.8g이었으므로 D는 다음과 같다.

(정식 후 15일 침입)

$$D = \text{수식의 기울기} \times \text{기대 생산량} = 0.0015 \times 380.8 = 0.0057(\text{g/밀도일}) \text{ ---- (식 2-1)}$$

(정식 후 30일 침입)

$$D = \text{수식의 기울기} \times \text{기대 생산량} = 0.0009 \times 380.8 = 0.0034(\text{g/밀도일}) \text{ ---- (식 2-2)}$$

약제가격은 복숭아혹진딧물의 농약의 평균 가격을 기준으로 하였고 이를 이용하여 경제적 피해수준을 설정하였다. 방제효율은 농가의 경영방식, 재배환경, 살충제의 종류 등에 따라 달라질 수 있으므로 $K = 0.9(90\% \text{방제효과})$ 로 설정하였다.

고추의 경우 전국 평균 1m^2 당 3.1주 정도를 심기 때문에(2003 고추생산량 조사결과, 농림부) 실제 10a당 고추 주수는 약 3100주가 된다. D의 단위를(kg/밀도일)로 전환하여 산출한 경제적 피해수준은 다음과 같다.

(정식 후 15일 침입)

$$EIL = T + (GT/DK) = 0 + \{9.62 / (0.0000057 \times 0.9)\} / 3100 = 604(\text{밀도일/주}) \text{ -- (식 2-3)}$$

(정식 후 30일 침입)

$$EIL = T + (GT/DK) = 0 + \{9.62 / (0.0000034 \times 0.9)\} / 3100 = 1014(\text{밀도일/주}) \text{ -- (식 2-4)}$$

정식 후 15일 침입구에서 복숭아혹진딧물의 고추에 대한 경제적 피해수준은 주당 604 진딧물밀도일이며 정식 후 30일 침입구에서 복숭아혹진딧물의 고추에 대한 경제적 피해수준은 주당 1014 진딧물밀도일로 나타났다.

진딧물밀도일로 표현된 경제적 피해수준을 주당 진딧물 밀도로 환산하였다(그림 2-11). 복숭아혹진딧물의 고추에서의 경제적 피해수준은 정식 후 15일에 침해를 받기 시작하는 고추에서 166마리/주, 정식 후 30일 고추에서 249마리/주가 된다. 누적 진딧물-가해일수로서 피해를 계량화하고 이때의 주당 전체 밀도를 통해 방제시기를 결정하였다.

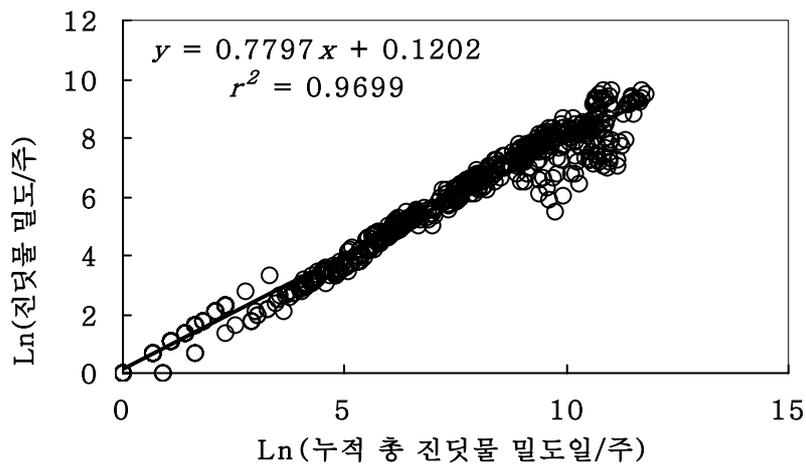


그림 2-11. 누적 진딧물 밀도일과 주당 전체 밀도와의 관계

고추에서 복숭아혹진딧물은 주로 엽총(葉叢, cluster)부위에 밀식하며 이를 간이에찰의 기본 단위로 사용한다면 경제적 피해수준도 엽총당 유의한 수준을 제시해야 할 필요가 있다. 경제적 피해수준을 도출하기 위해서 주당 경제적 피해수준을 엽총당 경제적 피해수준으로 전환하였다(그림 2-12). 엽총당 경제적 피해수준은 정식 후 15일 고추의 경우 6.1마리/엽총, 정식 후 30일 고추의 경우 9.1마리/엽총으로 나타났다. 실제 방제는 이 수준 이전에서 이루어져야 한다.

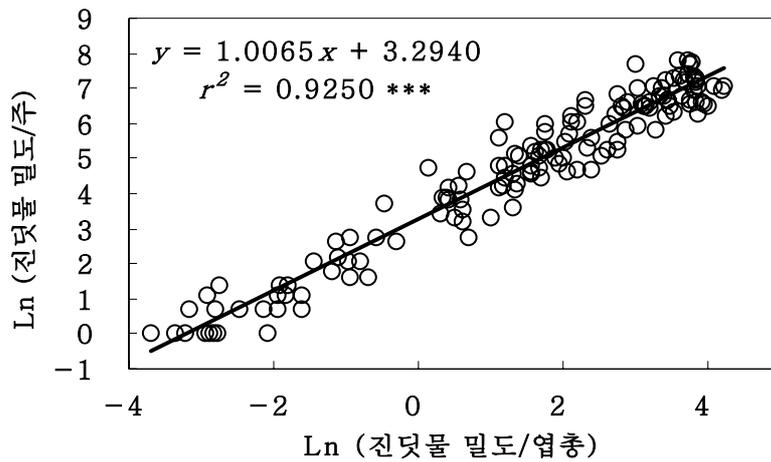


그림 2-12. 주당 진딧물 밀도와 엽총당 진딧물 밀도와의 관계

3) 경제적 피해허용수준의 설정

가) Weinzierl(1987) 및 Pedigo(1989)의 방법

복숭아혹진딧물의 개체군 성장률이 3-4일내에 25%를 넘지 않는 수준이었으므로 이에 경제적 피해허용수준을 경제적 피해수준의 75% 수준에서 결정하였다. 각 시기별 경제적 피해허용수준은 다음과 같다.

(정식 후 15일 침입)

$$\text{경제적 피해허용수준} = 604 \times 0.75 = 453(\text{밀도일/주}) \text{ ----- (식 2-5)}$$

(정식 후 30일 침입)

$$\text{경제적 피해허용수준} = 1,014 \times 0.75 = 761(\text{밀도일/주}) \text{ ----- (식 2-6)}$$

이 때의 엽충당 경제적 피해허용수준은 정식 후 15일 피해구에서 4.9마리/엽충, 정식 후 30일 피해구에서 7.3마리/엽충으로 산출하였다. 경제적 피해허용수준은 경제적 피해수준이 변동함에 따라 유동하는 수치이다. 경제적 피해수준이 고추 가격과 방제비용에 영향을 받으므로 고추 가격과 방제비용의 변동에 따른 경제적 피해허용수준은 다음과 같다.

표 2-6. 고추 가격 및 방제비용에 따른 주당 경제적 피해허용수준(마리/주)

방제가 (원/10a)	생육시기	곡물가(원/kg)			
		1,600	1,800	2,000	2,200
5000	15 DAT*	55	50	46	43
	30 DAT	83	75	69	64
10,000	15 DAT	95	87	80	74
	30 DAT	142	129	119	111
15,000	15 DAT	130	119	110	102
	30 DAT	195	178	164	152
20,000	15 DAT	163	149	137	127
	30 DAT	244	222	205	190

* DAT=정식 후 경과일수

나) 피해율에 따른 요방제수준 설정

목화진딧물과 동일하게 피해율을 이용하여 요방제수준을 제시하였다. 다음은 피해율에 따른 정식 후 15일과 정식 후 30일의 요방제수준이다.

표 2-7. 피해율에 따른 요방제수준

피해율/생육시기		누적진딧물밀도일	주당 피해허용수준	엽총당 피해허용수준
0%	15DAT*	-	0	0
	30DAT	-	0	0
1%	15DAT	667	143	5.3
	30DAT	1111	214	7.8
3%	15DAT	2000	338	12.3
	30DAT	3333	503	18.3
5%	15DAT	3333	503	18.3
	30DAT	5556	749	27.2

* DAT=정식 후 경과일수

재배자가 고추생산손실을 1%수준까지 허용한다면 정식 후 15일 피해구에서 엽총의 진딧물 밀도가 5.3마리 수준에서 방제를 실시하여야 한다. 또한 정식 후 30일 피해구에서 고추의 피해를 5% 수준에서 허용한다면 재배자는 엽총의 진딧물 밀도가 27.2마리 수준에서 방제를 실시하여야 한다. 방제 시기의 결정은 재배자의 판단에 따라 귀결된다.

2-2. 고추에서 복숭아혹진딧물의 간이 예찰법 개발

가. 복숭아혹진딧물의 개체군동태 및 공간분포

1) 재료 및 방법

가) 조사 포장 및 조사 방법

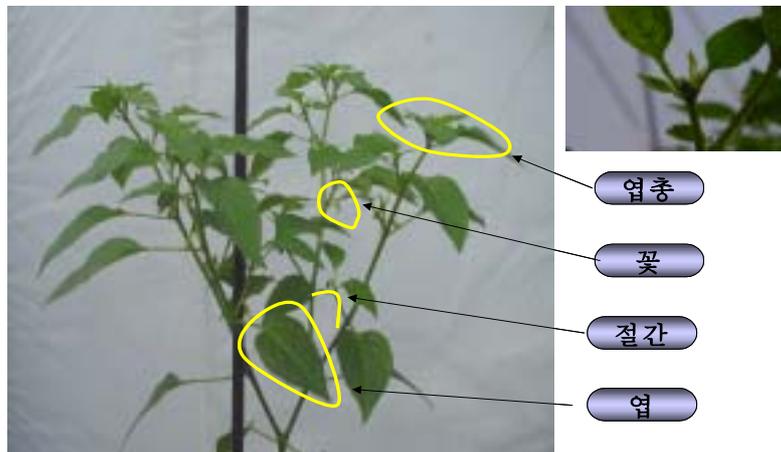
복숭아혹진딧물 간이예찰을 위한 복숭아혹진딧물 발생조사는 2003년 5-8월 동안에 경기도 발안, 광주 유기농 농가 포장과 수원 원예연구소 야외 실험 포장에서 각각 실시하였다. 포장에서 10m 간격으로 조사 면적에 따라 각 14, 16, 9개 지점에 황색 점착트랩을 1m 높이에 설치하였고 각 위치에서 고추 1주씩을 선택하여 주내 10엽총씩을 임의로 선택하여 엽총(cluster)내 발생한 복숭아혹진딧물을 영기별로 육안 전수 조사하였다. 밀도조사는 1주일 단위로 실시하였고 이때 트랩을 교체, 수거한 후 실험실로 가져와 현미경하에서 복숭아혹진딧물의 동정 및 트랩 당 잡힌 유시성충수를 조사하였다.

표 2-8. 조사포장 개요

조사 포장	조사기간	면적	재배방식	품종	정식일
경기 발안 농가	2003년 6월- 2003년 8월	300 평	외출식 노지재배	마니따	5월 11일
경기 광주 농가	2003년 5월- 2003년 8월	350 평	외출 유기농 하우스	노다지	4월 23일
원예 연구소 실험 포장	2003년 6월- 2003년 8월	-	두 줄 노지재배	참존	5월 6일



그림 2-13. 조사 포장(발안, 광주 농가 포장)



나) 공간분포 분석

복숭아혹진딧물의 주간 공간분포는 각 조사장소의 조사시기별 밀도자료를 이용하여 분석하였다. 포장내 공간적 발생관계는 각 조사 시기마다 엽총(cluster)별로 조사한 복숭아혹진딧물 수에 대한 평균과 분산과의 관계를 이용하여 Taylor's power law(TPL)와 Iwao's patchiness regression(IPR)에 적용하여 분석하였다. TPL에서 평균과 분산은, $\ln(s^2) = \ln(a) + b \ln(m)$ 의 관계가 있다 ($b > 1$: 집중분포, $b = 1$: 임의분포, $b < 1$: 균일분포) (Taylor, 1961). Taylor모형에 따르면 해충 밀도 평균과 분산의 로그변

환 값들은 직선적인 관계가 있으며 기울기 b 는 개체군의 집중 정도를 나타낸다. IPR은 표본단위에 대한 평균(m)과 평균 밀집도(m^* : mean crowding index)와의 관계식으로 $m^* = a + bm$ 이다. Iwao의 모형에 의하면 해충 밀도의 평균과 Lloyd의 평균 밀집도는 $m^* = m + s^2/m - 1$ 의 관계가 있다(Iwao, 1968). 기울기 b 는 TPL의 b 와 같이 해석된다. 평균과 회귀계수의 추정은 SAS(SAS Institute, 2004)의 일반 직선회귀 모형 (PROC REG)을 사용하였으며, 각 직선 모형의 적합성 검정은 r^2 값을 이용하였다.

2) 결과

가) 복숭아혹진딧물의 발생 특성

그림 2-14는 각 조사 포장별 고추포장에서 복숭아혹진딧물 개체군의 경시적 변동이다. 조사기간 동안 고추 주내 엽총(cluster)당 발생한 복숭아혹진딧물 밀도는 정식시기인 5월 초기에는 엽총 당 0.5마리 이하로 낮은 밀도로 발생하였고 발안 농가포장 약제 살포구를 제외하고 6월 말을 전후하여 현저하게 증가하다가 감소하는 패턴을 보였다.

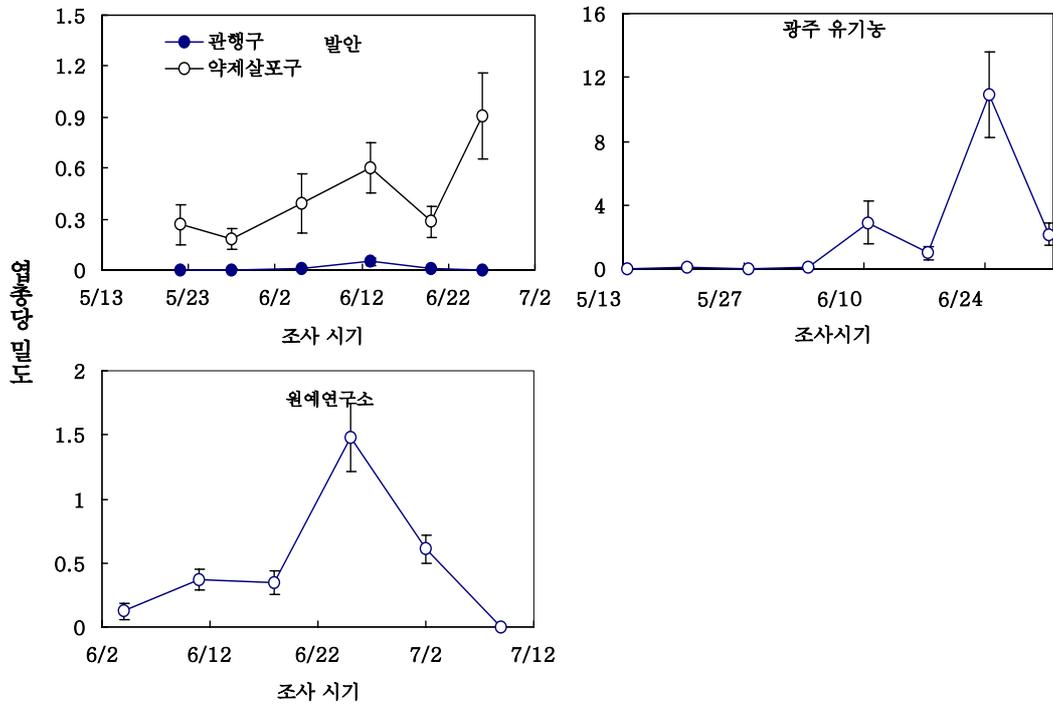


그림 2-14. 조사 장소 시기별 복숭아혹진딧물 밀도변동(2003년 발안, 경기 광주, 원예 연구소)

나) 점착트랩에 잡힌 유시성충 수와 주내 복숭아혹진딧물 수와의 관계

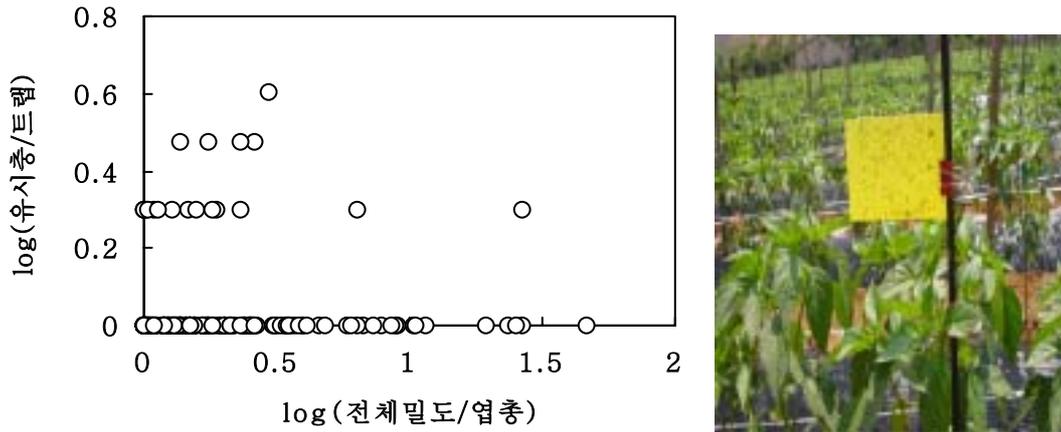


그림 2-15. 점착트랩을 이용하여 잡힌 복숭아혹진딧물 유시성충 수와 엽총 당 발생밀도와의 관계(2003년 발안·광주 농가 포장, 원예연구소 포장)

조사포장에서 점착트랩에 잡힌 복숭아혹진딧물 유시성충을 이용하여 주내 발생한 복숭아혹목화진딧물 밀도에 대한 기본 관계를 알아보기 위해 황색점착트랩에 잡힌 복숭아혹진딧물 유시성충과 주내 육안 조사 전체밀도간의 관계를 비교하였으나 두 밀도 수준간의 회귀관계는 매우 낮았다(그림 2-15). 그러므로 점착트랩에 잡힌 복숭아혹진딧물 유시성충의 밀도를 이용한 주내 발생 평균밀도의 정량적 예측은 어려울 것으로 여겨진다. 다만 복숭아혹진딧물이 포장에서 초기 발생지점 예측이나 외부로부터의 유입하는 것을 트랩에 잡힌 복숭아혹진딧물 유시성충을 통하여 예측하는 것이 제한적으로 가능할 것으로 보인다.

다) 고추 주내 복숭아혹진딧물 성충 수와 전체 밀도 관계

그림 2-16은 각 조사 장소별 고추 엽총 당 복숭아혹진딧물 성충 밀도와 주내 엽총 당 전체 밀도와의 회귀관계를 나타낸 것이다. 전반적으로 각 포장에서는 회귀관계($r^2 = 0.72-0.91$)가 높았다. 그러나, 회귀관계식에서 보듯이 성충과 전체 밀도의 비율이 차이(4.4-8.8배)가 각 조사 장소별로 크게 발생하였고 각 조사 장소에 따라 발생하는 엽총 당 성충 수와 엽총 당 전체 밀도와의 자료를 동질성 분석한 결과 p값은 0.0001보다 작아 고도로 유의하므로 자료간의 동질성은 인정되지 않아 엽총 내 발생 성충의 밀도를 이용하여 전체 밀도를 예측하는 관계식을 얻는 것은 어려울 것으로 여겨진다. 이런 결과는 앞서 목화진딧물 발생 회귀관계에서도 비슷한 결과를 보였는데 진딧물과 같이 유시성충으로 이동하여 증식하는 해충은 개체군내 연령구성 비율이 기주식물의 재배환경이나 포장내외의 외부환경 조건에 따라 변동이 심하기 때문으로 여겨진다.

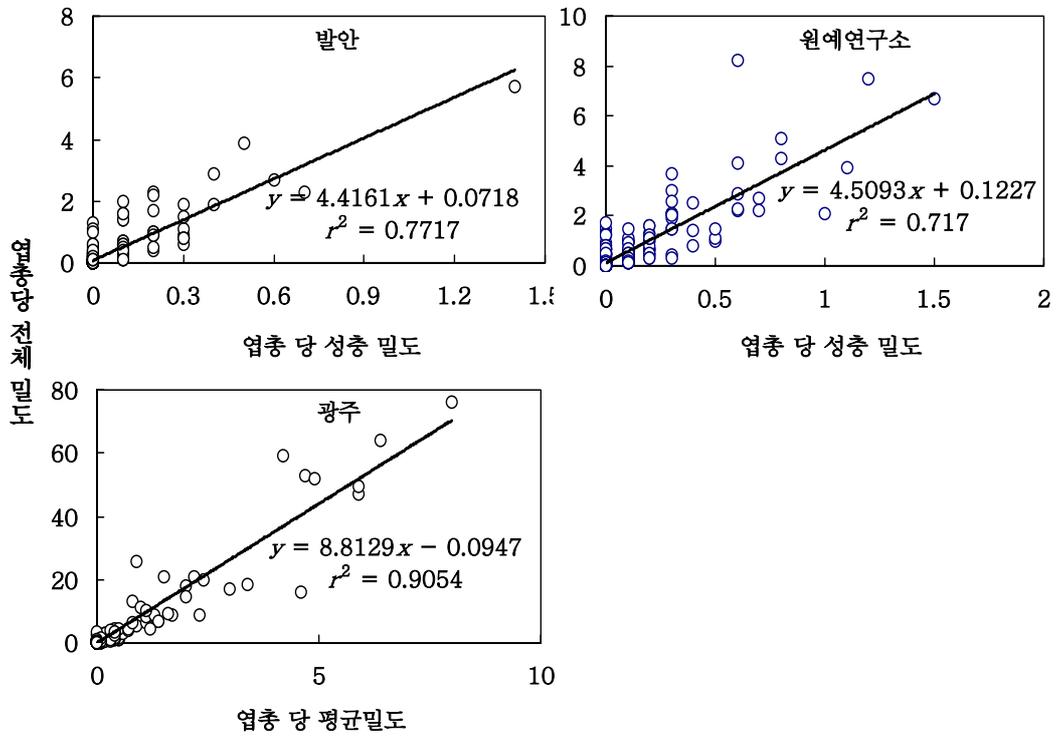


그림 2-16. 조사 장소별 엽총 당 복숭아혹진딧물 성충과 엽총 당 전체 밀도와의 회귀관계(2003년 발안·광주 농가 포장, 원예연구소 포장)

라) 공간분포

고추 재배포장에서 복숭아혹진딧물의 밀도 추정을 위한 표본 조사 방법 개발을 위해서는 먼저 포장 내 복숭아혹진딧물의 공간분포를 알아야 한다. 이를 위해서 각 주내 10개의 엽층 당 평균과 분산간의 관계를 Iwao의 모형(Iwao's patchiness regression)과 Taylor의 지수법칙(TPL)을 이용하여 분석하였다. 조사된 복숭아혹진딧물 밀도의 평균과 분산간의 관계는 대부분의 포장에서 Iwao의 모형보다($r^2 = 0.67-0.95$), Taylor의 모형이 더 높고 안정적인 결정계수 값을 보였다($r^2 = 0.90-0.98$) (표 2-9). 또한 Taylor 모형의 기울기 b값을 t-test 한 결과 모두 b값이 1보다 유의하게 커서, 복숭아혹진딧물은 포장 내에서 집중 분포하는 것으로 나타났다.

표 2-9. 복숭아혹진딧물의 TPL과 IPR 분석에 의한 공간분포 패턴 분석 결과

장소	Iwao's patchiness regression			Taylor's power law			주당(10엽층) 평균범위
	$\bar{x} \pm \text{SEM}$	$\bar{y} \pm \text{SEM}$	r^2	$\ln a \pm \text{SEM}$	$b \pm \text{SEM}$	r^2	
발안	3.89±4.98	4.47±1.82	0.67	2.25±0.19	1.42±0.12	0.97	0.06-3.24
광주	2.43±1.43	1.71±0.15	0.95	2.51±0.37	1.77±0.12	0.98	0.85-109.02
원예연구소	77.96±58.86	3.49±1.14	0.75	1.40±0.42	1.36±0.25	0.90	0.97-19.80
Combined ¹	-	-	-	1.97±0.31	1.68±0.14	0.91	0.06-109.02

¹ 포장 자료 통합

나. 엽충 당 복숭아혹진딧물 밀도를 대표할 수 있는 주내 표본단위 설정과 표본추출법 및 효율성 검정

1) 엽충을 기본조사단위로 한 경제적인 주내 표본추출법 설정 및 효율성 검정

그림 2-17은 각 고추포장에서 조사하였던 엽충 내 복숭아혹진딧물 발생밀도를 전체 엽충에서 임계밀도 이상의 복숭아혹진딧물이 발견된 엽충의 비율과 엽충 당 평균발생 밀도와의 관계를 나타낸 것이다. 임계밀도가 4와 5($T=4$; 엽충내 복숭아혹진딧물 4마리이상 있으면 감염된 엽으로 처리)인 경우 모두 평균발생밀도의 관계($r^2 = 0.90, 0.95$)를 각각 잘 설명해 주고 있었고 조사자가 엽충별로 복숭아혹진딧물 밀도를 육안조사할 경우 쉽게 임계밀도 이상의 밀도인지를 판단할 수 있으리라 여겨져 간이에 찰의 방법으로 제시가 가능하리라 생각된다.

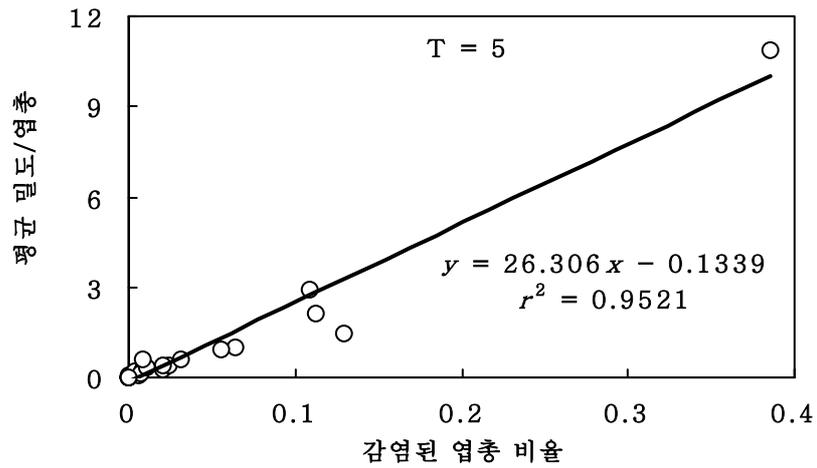
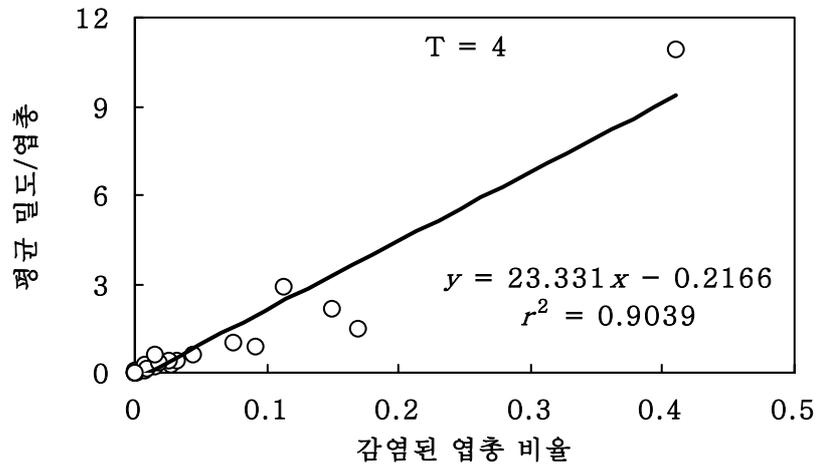


그림 2-17. 임계밀도를 기준으로 엽충 당 평균 복숭아혹진딧물 밀도와 조사한 자료 중 감염 엽충의 비율과의 관계(임계밀도 기준: T = 4마리/엽충, T = 5 마리/엽충)

그림 2-18은 앞서의 결과 두 관계식을 이용하여 실제로 포장에서 엽충 단위로 육안 밀도조사가 시행되었을 때 조사한 전체 엽충과 복숭아혹진딧물이 임계밀도 이상 발견된 엽충 수와의 관계를 이용하여 주내 엽충 당 평균 복숭아혹진딧물 발생 밀

도를 예측한 결과이다. 예를 들면 40개의 고추 주를 선정하고 각 주당 10개씩의 엽충을 임의로 전수 조사한 경우 임계밀도가 4인 수준에서 조사한 엽충들 중에서 복숭아혹진딧물이 4마리 이상 발견된 엽충들이 전체 조사 엽충의 40% (160개) 수준까지 존재하였다면 앞서 경제적 피해허용수준에서 제시했던 수치인 평균 발생 밀도인 8리/엽충(각 주당 10개의 엽충을 조사한 경우 ; 80마리/주) 수준인 것이다.

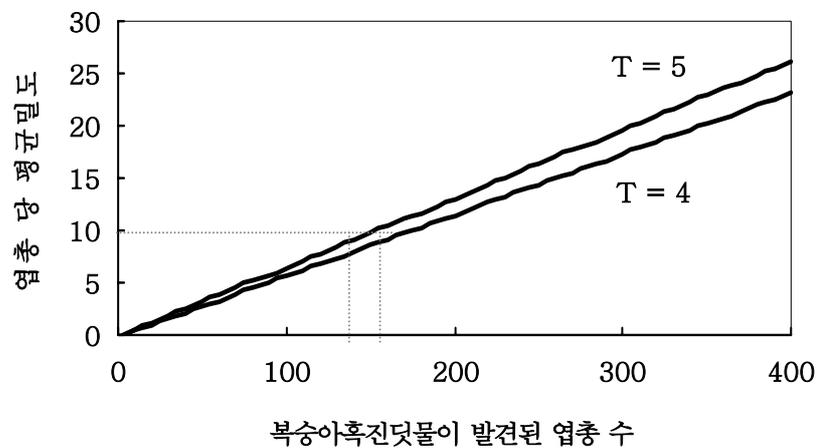


그림 2-18. 고정표본조사법에서 복숭아혹진딧물이 임계밀도 이상 발견된 엽충 수와 엽충 당 복숭아혹진딧물 평균 밀도와의 관계(조사 표본수(株)는 40주이고 각 주당 10개의 엽충씩 총 400개의 엽충을 조사)

2) 엽층 밀도조사를 이용한 복숭아혹진딧물 표본조사법

가) 고정정밀도 표본조사법(Fixed-precision-level sampling method)

앞서 일반화된 TPL모형을 만들고 여기서 구해진 추정된 a값과 b값을 이용하여 축차표본 추출 시 원하는 정밀도에서 밀도추정을 위한 표본추출 정지선을 구하였다. 사용자가 원하는 정밀도 수준의 밀도 추정에 필요한 조사 표본수를 구하였다. 일정한 정밀도에서 축차표본 조사 시 표본추출의 정지선(식 2-7)(Green, 1970)과 조사에 필요한 표본 수(식 2-8)(Reusink, 1980)는 다음에 제시한 방법에 따라 구하였다.

$$\ln Tn = \frac{\ln(D^2/a)}{b-2} + \frac{b-1}{b-2} \ln n \quad \text{-----}(식. 2-7)$$

$$\text{조사 표본 수}(n) = \frac{a \times m^{(b-2)}}{D^2} \quad \text{-----}(식 2-8)$$

a, b 는 Taylor 모형의 파라미터들이고 Tn = 누적 마릿수, n = 표본 크기 (수), D 는 평균에 대한 표준오차 비율의 의미를 가지는 고정된 수준의 정밀도(0.20, 0.25, 0.30 등)를 나타낸다.

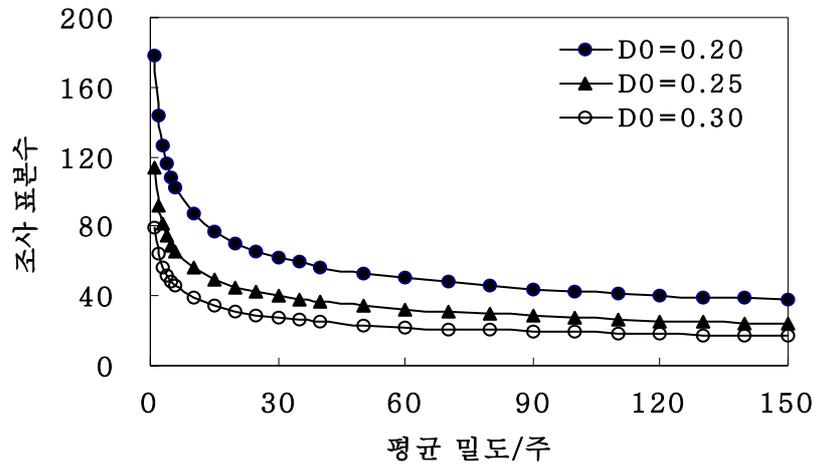


그림 2-19. 각 고정 정밀도 수준별 표본추출 정지선(2003년, 발안, 광주, 원예연구소)

그림 2-19은 각 조사 포장에서 고추 각 주(株)당 임의로 10개의 엽총(cluster)씩을 선택하여 밀도를 조사한 자료를 분석한 결과 나온 TPL파라미터(표 2-9 참조)를 이용하여 고정정밀도 수준에 따라 표본추출정지선을 나타낸 것이다. 경제적 피해허용수준을 엽총 당 8마리 수준이라 설정할 경우 각 주내 10개의 엽총 당 누적 복숭아혹진딧물은 80마리수준(정식 후 30일 이후)인데 표본추출정지선에서 고정정밀도(D) 0.25인 수준에서 밀도조사를 위해 필요한 표본수는 약 40 주(株)를 선택하면 충분할 것으로 여겨지는데 이때 조사해야 할 엽총의 수는 400개이다.

나) 축차표본조사법을 이용한 방제 의사결정

앞서 공간분포분석에서 구하여진 TPL 파라미터와 시뮬레이션 모형 프로그램(Binns *et al.*, 2000)을 이용하여 방제의사 결정수준과 필요한 표본수를 설정하였다. OC함수(operation characteristic function)모형은 평균밀도를 예측하여 조사결과가 경제적 피해허용수준인 임계밀도(critical density)를 넘는지를 확률적으로 표현하는 방법이다(그림 2-21). 즉, OC함수는 특정 조사 시점에 대해서 방제를 하지 않을 확률을 연속선으로 표현한 함수이고 ASN(average sampling number)은 방제의사 결정을 내릴 때 필요한 표본의 수(株)를 나타낸다. 임계밀도는 경제적 피해 허용수준과 같은 개념으로 방제가 이루어지기까지 여러 가지 요인들을 고려한 개념으로 실제로 해충방제 의사결정이 이루어질 때 밀도예측에 대한 여러 요인들의 불확실성들을 고려하여 경제적 피해 수준 보다는 낮게 설정된다.

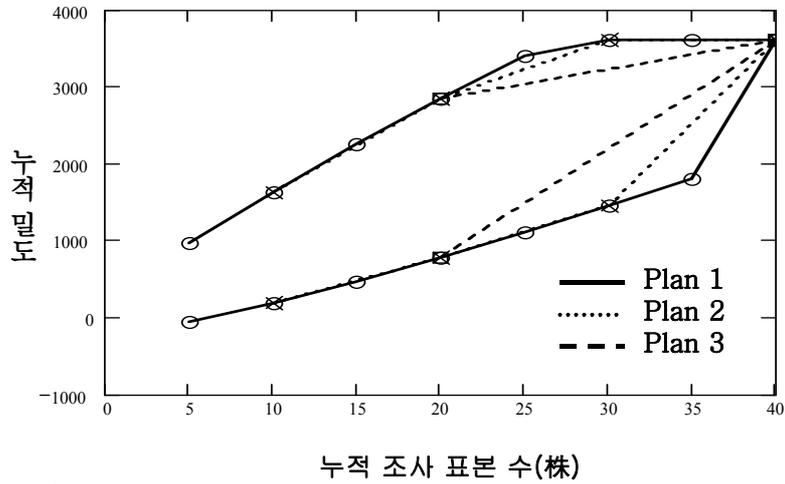
축차표본조사법(sequential sampling)은 고정 표본조사법이 개발되어 조사해야할 최대 표본수를 결정한 다음 실제 표본조사를 수행할 때 최소표본 조사 단위를 설정한 뒤 표본조사를 수행하면서 최대 표본수에 도달할 때까지 연속적으로 조사하는 방법으로 각 조사시기마다 복숭아혹진딧물 밀도 누적상한선과 누적하한선이 존재하는데 조사 밀도가 누적상한선 밀도를 넘으면 조사를 중단하고 즉시 방제를 실시해야하는 경우이고 상한선과 하한선 사이에 있으면 계속 조사를 실행해야 하는 경우를 나타낸다. 누적밀도 상한선과 하한선은 다음의 공식으로 프로그램을 이용하여 구하였다(식 2-9).

$$\begin{aligned}
 L_i &= i \times n_B \left(cd - z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{V}{i \times n_B}} \right) \\
 U_i &= i \times n_B \left(cd + z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{V}{i \times n_B}} \right) \\
 L_I &= U_I = I \times n_B cd
 \end{aligned}
 \quad \text{-----}(식. 2-9)$$

(L_i = 하한선, U_i = 상한선, $L_I=U_I$: 최대 표본 조사 한계치, n_B = 표본조사 단위 크기,

cd : 임계밀도(경제적피해허용수준), i = 각 표본 조사 수준별 조사 횟수, V = 분산, $Z_{\alpha/2} = 1.96$)

축차표본조사법 설정에서 시설 내에서 조사해야 할 적정 표본 수를 40개로 설정했을 때 각각 한번 조사해야 할 표본(株) 단위의 크기를 5개씩 설정하여 8번 연속 조사하는 방법, 그리고 10개씩 4번 연속 조사하는 방법과 마지막으로 한번에 20개씩 2번 연속 조사하는 방법으로 설정한 후 축차표본 조사 계획을 구하였다(그림 2-20). 이렇게 고정 표본조사법에 축차표본조사법을 병행하여 수행한다면 방제의사를 결정하기 위해서 필요한 최종 조사표본수를 다 조사할 필요없이 표본조사 중간에 누적 상한밀도 이상(즉시 방제해야하는 상황)이나 누적하한밀도 이하(표본조사 중단), 또는 두 밀도 중간(표본조사 계속)사이에 있느냐를 결정할 수 있어서 신속한 의사결정을 할 수 있을 것이다. 경제적 피해허용수준인 임계밀도(요방제밀도; CD)는 앞서 경제적 피해수준 설정 과정에서 제시된 경제적피해허용수준인 주당 10개의 엽총(cluster)씩 조사하였을 경우 90마리로 설정하였고 시뮬레이션프로그램에 각 조사결과의 파라미터(TPL a, b; 경제적 피해허용수준; 최소표본단위; 고정밀도)들을 입력한 후 각각 1,000회 반복 실행하였다. 조사표본단위를 5개로 설정한 최초 5개의 고추에서 50개의 엽총을 육안 조사하였을 때 전체 누적 복숭아혹진딧물 밀도가 1,000마리 수준이상이었다면 표본조사를 중지하고 즉시 방제를 수행해야하는 상황이고 누적 밀도가 누적 상한과 누적 하한 사이였다면 표본조사를 계획대로 수행하면서 의사결정이 이루어질 때까지 밀도조사를 계속 진행하는 방법이다. 분석결과는 조사 표본단위 수준을 달리함에 따라 OC함수와 ASN함수의 경우 기울기가 거의 비슷하였고 그때 방제의사결정에 필요한 표본수가 조금 달라졌는데 경제적 피해허용수준 밀도인 CD(80 마리/주)에서는 OC확률이 조사방법간에 거의 비슷한 0.5였고 필요한 표본수도 최대 표본수에 가까운 40개(株)였음을 알 수 있었다(그림 2-21).



1

그림 2-20. 축차표본추출(sequential sampling)계획(경제적 피해 허용수준 = 80마리/주, 정식 30일 이후)

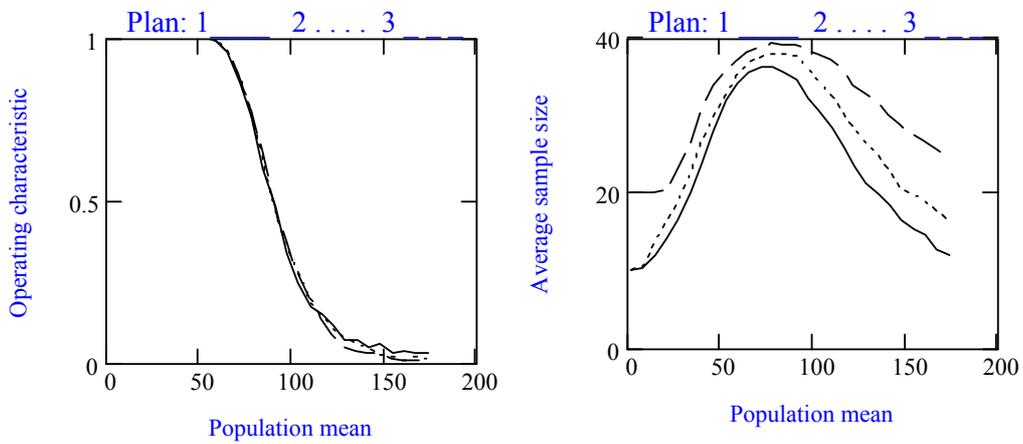


그림 2-21. 방제의사결정계획에서 OC함수와 평균 표본 수 (株)와의 관계(경제적 피해 허용수준 80마리/주)

다. 개발된 조사법의 평가

복숭아혹진딧물 밀도를 육안으로 조사한 결과를 분석하여 개발한 고정정밀도 표본조사법의 타당성을 검정하고 이를 기반으로 한 복숭아혹진딧물 밀도의 표본조사법을 개발하고자 개발된 조사법을 평가하였다. 앞에서 개발된 표본 조사법의 타당성을 평가하기 위하여 RVSP(Resampling Validation for Sampling Plan)(Naranjo and Hutchison, 1997)프로그램을 이용하여 시뮬레이션하고 이 결과를 통하여 개발된 방법의 일반성을 평가하였다. 표 2-10은 2003년 발안 농가 포장, 경기 광주 유기농 포장, 원예연구소 포장에서 고추 주당 10개씩의 엽총에서 복숭아혹진딧물의 밀도를 육안조사한 자료 중 주내 10개의 엽총당 복숭아혹진딧물이 평균적으로 2마리 이상 발생한 시기의 자료들을 입력하여 분석한 결과이다. 시뮬레이션에서 고정정밀도인 D값은 0.25이고 각 조사 시기 자료마다 500번씩 반복을 수행하였다. 이때 평균 D값은 500번의 반복 시뮬레이션 결과의 평균값으로 밀도조사법의 검증을 위해 이런 평균값보다 500번의 반복 결과의 실측 D값의 분포가 더욱 중요하다. 조사 결과를 보면 광주유기농의 조사결과를 제외한 모든 조사결과 분석에서 실측 D값들의 평균이 0.25보다 낮았고 평가세트에서 D값이 희망하는 0.25보다 낮게 나타난 비율 또한 모든 100%였다(Nyrop 과 Binns, 1991).

표 2-10. 고추 주내에서 각 주내 10개의 엽층(cluster)을 육안 조사할 경우의 자료를 이용하여 복숭아혹진딧물 밀도를 예측할 경우 RVSP 시뮬레이션을 이용한 표본조사법의 평가 결과(시뮬레이션은 고정정밀도(D=0.25) 수준에서 500회 반복)

	조사 자료			시뮬레이션		
	조사 시기	예측 밀도	평균 d	평균 밀도	평균 표본크기	% 시뮬레이션 D ≤ 희망하는 D
온실 광주 유기농	6월 10일	22.1	0.48	25.2	44	0.0
	6월 17일	9.9	0.35	10.8	56	10.4
	6월 24일	109.0	0.32	115.7	26	3.6
	7월 01일	21.3	0.30	19.6	46	20.2
밭안	6월 13일	6.0	0.14	6.3	64	100
	6월 20일	2.8	0.17	2.9	82	100
	6월 26일	9.1	0.17	9.5	57	100
원예 연구소	6월 11일	3.2	0.13	3.1	81	100
	6월 18일	3.4	0.13	3.4	78	100
	6월 25일	20.0	0.14	20.3	45	100
	7월 02일	4.0	0.14	4.1	74	100

라. 결론

이상의 결과를 종합하면 고추 포장에서 복숭아혹진딧물 밀도조사를 실시할 경우 고정표본조사법에 따라 간이에찰에 필요한 표본 수(株)는 10m간격으로 40개 정도 이고 각 주당 10개의 엽층의 조사하는 방법을 권장하였다. 이런 고정표본조사법에 축차 표본조사법을 병행한다면 표본조사 중간에 신속한 방제의사 결정을 내리는데 효율적인 표본조사방법이 될 것이다. 그러나 육안전수조사를 실시할 경우 발생밀도가 높은 수준에서는 육안으로 표본조사를 수행하는 방법은 현실적으로 많은 시간과 노력이 필요하여 경제적인 간이에찰법이 될 수 없다. 각 엽층별 발생 밀도 자료를 이용하여 간편한 밀도조사법을 설정하기 위해서 엽층 당 임계밀도를 설정하여 임계밀도 이상 복숭아혹진딧물이 발견된 엽층의 수와 엽층당 발생밀도 수준과의 관계가 높은 회귀관계를 보이고 있었는데 이때 임계밀도 수준은 엽층 당 4-5마리로 경제적인 밀도조사법으로 제시하여 활용가치가 높다고 여겨진다.

2-3. 담배나방의 고추에 대한 경제적 피해수준 결정

가. 담배나방의 생활사

담배나방은 동남아시아(한국, 일본, 중국, 인도), 사하라 이남의 아프리카, 오스트레일리아의 아열대지역에 분포하고 있는데(Hardwick, 1865), 토마토, 목화, 옥수수, 피망, 가지, 호박, 고추, 담배 등을 가해하나 주로 고추와 담배에 대한 선호성 때문에 상대적으로 고추의 재배 면적이 넓은 우리나라에서는 담배나방이 주요 해충으로 중요성이 높다(Hwang and Park, 1986).

담배나방 성충은 1970년대 자료에 의하면 일년에 2세대와 3세대 발생한다는 의견(월동세대 포함)이 모두 나왔으나, 최근에는 일년에 3세대 발생하는 것이 정설로 여겨지고 있다. 고추의 잎, 과실, 줄기 등에 산란을 한다. 알에서 부화한 유충은 근처의 열매에 구멍을 뚫고 들어가서 고추내의 태좌 부근을 먹는다.

담배나방 유충에 피해를 받은 고추는 대체로 3령 이하의 어린 유충이 가해한 경우는 가해 기간이 오래 걸리고 썩는 경우보다는 시들어서 떨어지는 경우가 일반적이며 4령 이상의 노숙 유충이 가해할 경우는 시들기도 전에 썩어버리는 것이 일반적이었다. 이때 피해를 받은 고추는 과실이 꼬투리 부분이 시들거나 썩기 시작하면서 노랗게 변화하게 되는데, 이러한 현상은 역병에 의해서 고추 나무가 시들때도 나타난다. 그러나 이렇게 꼬투리의 색깔이 변한 것 중에서 고추 과실에 담배나방이 식입을 위해 구멍을 뚫고 들어간 흔적이 있으면 담배나방에 의한 피해이다. 따라서 담배나방에 의한 피해는 꼬투리 부근의 색 변화에 의해 많은 부분을 쉽게 찾아낼 수 있다(그림 2-22).

유충은 먹이, 온도 등 환경조건들에 따라 달라질 수 있지만 25℃에서 7cm 정도의 고추의 경우 1주일 정도면 첫 가해 고추에서 3령 정도가 된다. 이 유충은 탈과한 후 다시 고추를 가해하게 되는데, 3~4일마다 한 고추에서 다른 고추로 이동한다. 5~6령이 된 유충은 번데기가 될 때까지 약 1주일 동안 2~4개 정도를 더 가해한 후 토양으로 들어가 번데기가 된다. 번데기가 되는 영기는 먹이 조건에 따라 5~7령이 되는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 번데기는 고추 뿌리 근처인 5cm 깊이에서 번데기가 되는 것으로

추정되며 월동 번데기의 경우는 조금 더 깊이 들어갈 것으로 추정된다. 그리고 월동은 9월 말부터 시작되어 10월 경이면 대부분 월동에 들어가는 것으로 보이며 토양속에서 이루어진다.



(A)

(B)



(C)

그림 2-22. 담배나방 유충의 가해 후 고추과실의 변화
(A; 과실피해 초기, B; 어린 유충에 의한 피해, C; 노숙 유충에 의한 피해)

나. 피해분석

1) 담배나방 유충에 의한 피해과수

가) 실내실험에서의 담배나방 유충이 가해하는 고추의 수

(1) 재료 및 방법

담배나방은 2001년 서울대학교 곤충생리 연구실에서 분양받아 사육한 세대에 2002년 발안과 평택의 노지 고추포장에서 채집한 개체들을 보충하여 활력을 유지하여 곤충 사육실(20~28℃)에서 인공사료를 이용하여 누대 사육한 개체를 사용하였다.

실험을 위한 공간은 작은 트레이(w20×d15×h3cm)에 수분 유지를 위해 솜을 깔고 담배나방 유충의 원활한 이동을 위해 솜 위를 천으로 덮었다. 이렇게 제작된 5개의 트레이를 큰 트레이(w55×d45×h6.5cm)안에 넣고 작은 트레이에서 나올 수 있는 유충의 이동을 막기 위해서 큰 트레이를 물로 채웠다.

이렇게 만들어진 작은 트레이 안에 고추를 각각 5개씩 놓은 후 1번부터 25번까지 일련번호를 부여하고(그림 2-23) 각 고추마다 갓 부화한 1령 유충을 한 마리씩 접종하였다. 일단 유충이 고추내로 들어가게 된 것을 확인한 후 유충이 가해중인 고추를 4개의 피해 받지 않은 고추들 사이로 옮겨 두었다. 고추가 시들지 않도록 패드를 매일 물로 적셔주었고 1주일마다 시든 고추는 교체하였고 또한 일단 유충이 섭식하고 나온 고추는 다시 들어가지 않을 것이라고 가정하고 교체하였다. 고추의 피해여부는 매일 육안 조사(15시 측정)되었으며 전자저울을 이용하여 가해전·후의 고추의 무게 변화를 측정하였다.



그림 2-23. 담배나방 유충에 의한 피해과 수 실험

(2) 결 과

기존 논문에서는 야외조건에서 1령충이 번데기가 되기까지 4~14개 정도의 고추를 가해(최 등, 1974)하는 것으로 보고되어 있었으나, 본 실험에서는 2.7 ± 0.85 (평균±표준편차)개 정도의 고추를 가해하였다(그림 2-24). 더욱이 번데기가 될 때까지 하나의 고추에서 나오지 않는 경우도 있었다. 대체로 1령 유충은 3령이 될 때까지 처음 가해한 고추에서 나오지 않았으며, 3령 이후 나온 유충은 다른 고추로 이동한 후 5령이 될 때까지 나오지 않았고, 5령 유충이 되고 나서부터는 비교적 빠르게 다른 고추를 가해하였다. 야외에서 10개가 넘는 고추를 가해한다고 하는 보고는 담배나방 유충이 유입한 고추에서 먹을 것이 없어 다른 고추를 가해한다기 보다는 자신이 뚫어놓은 구멍을 통해 비나 다른 수단에 의해 들어오는 물이나 이물질의 유입에 의해 이동하는 요인이 크게 작용할 것이라 추정된다. 그리고 담배나방에 의한 무게 감소요인은 있을 것으로 추정되나 담배나방 유충에 의한 배설물에 의해 그 무게감소가 상쇄되어 피해를 받지 않은 고추의 무게와 비슷하였다. 그러나 일단 담배나방이 고추를 가해하면 고추가 썩어버려서 그 고추는 상품성이 없다고 보아야 할 것이다.

1령 유충은 95% 정도가 고추 집중 후 고추의 외피를 뚫지 못하고 하루 만에 죽어버린 반면 2령 유충은 5%만이 고추의 외피를 뚫지 못하고 죽었으며 구멍을 뚫는 시

간도 1령 유충은 3시간 이상 소요된 반면 2령 유충은 1시간 안에 90%가 구멍을 뚫고 고추 안으로 들어갔다. 따라서 3령 이상의 유충이 된 다음에는 거의 100%가 고추의 외피를 쉽게 뚫을 수 있을 것으로 추정된다.

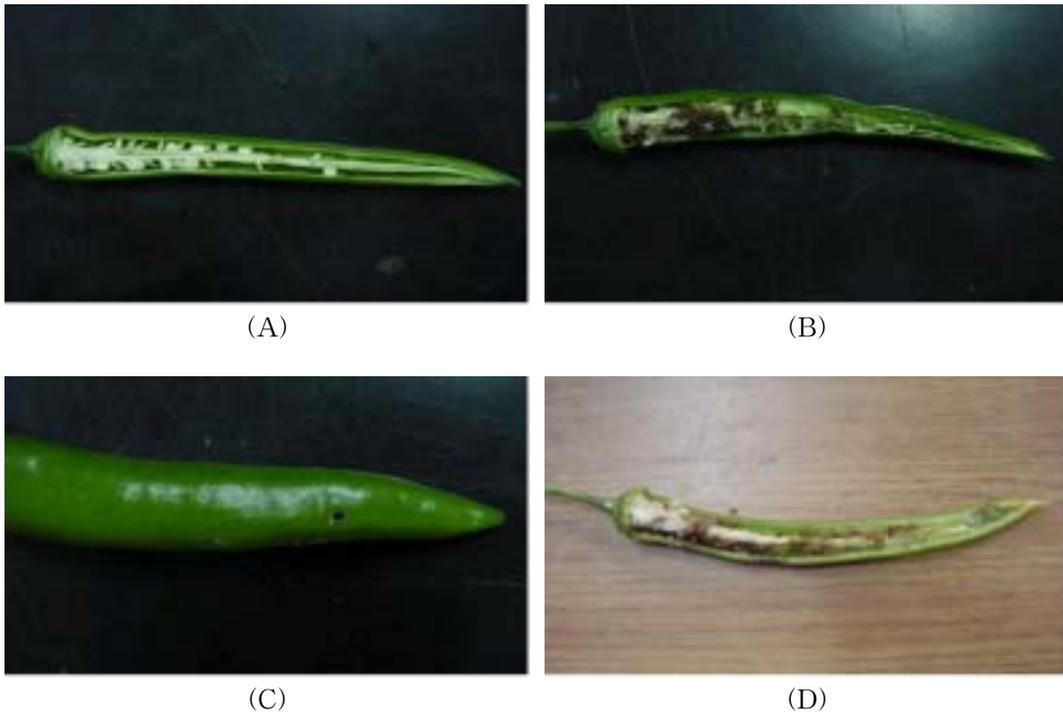


그림 2-24. 담배나방 유충에 의한 피해과와 정상과의 내부
(A; 정상과, B; 1령, C; 2령, D; 3령에 의한 피해과).

나) 비닐하우스에서의 담배나방 유충이 가해하는 고추의 수

(1) 재료 및 방법

서울대 농생대 부속농장 비닐하우스에서 7엽기 ‘녹광’ 고추 유묘를 경상남도 진주 육묘장에서 구입하여 2003년 3월 6일에 정식하였다. 정식 후에는 2회(3월 13일, 4월 18일)에 걸쳐 요소 비료를 토양 투입하였고 3회(3월 18일, 21일 - 총체벌레 살충제, 4월 8일 - 진디물 살충제)에 걸쳐 살충제를 살포하였으며, 재배작형은 하우스 외출재배 방식으로 하였다.

총 90주(3줄 30주씩)의 고추 중 생육이 비교적 균일한 고추 48주를 선택하여 3주씩을 한 처리구로 설정하였다. 이렇게 만들어진 총 16개의 처리구는 난피법으로 배치하였고, 처리수준은 각 주마다 1, 2, 4, 8 마리 유충 수준으로 4반복으로 구성하였다. 접종 후에서 물을 주는 과정에서 담배나방 유충에 피해를 줄 수 있으므로 수분 공급은 토양 위로 주는 일 없이 관주하였다.

실험에 사용한 담배나방 유충은 누대 사육하던 개체 중 8시간 안에 부화한 1령 유충을 사용하였다. 접종은 담배나방 성충의 산란 부위가 상위잎의 앞면에 50% 이상이라는 보고(한, 1994)를 감안하여 상위잎의 앞면에 붓을 이용하여 접종하였다. 유충의 구간 이동을 막기 위해서 각 구를 높이 150cm의 천으로 울타리를 쳤다. 유충의 접종은 5월 24일 실시하였으며 접종 유충이 번데기가 된 것을 확인한 6월 17일 모든 고추 과실(3cm 이상)을 수확하여 피해 유무를 확인하였다. 이때 고추를 먹지 않고 구멍만 낸 것도 모두 피해과로 간주하였다.

(2) 결 과

평균 고추 과실수에 있어 주당 1마리 접종한 구와 2, 4, 8마리 접종한 구 사이에 유의한 차이가 있기는 하였으나(표 2-11) 주당 1마리를 접종한 구의 경우 유충들이 섭식하기에 충분한 고추 과실이 있었기 때문에 실험 결과에는 영향을 미치지 않았을 것

이라 생각한다.

평균 피해과수는 유충 집중 마리가 많아질수록 증가하였으며, 각 처리간 유의한 차이가 나타났다. 그러나 유충 한 마리당 피해 과실수는 주당 집중마리수가 많을수록 작아지는 경향은 있었으나 주당 4마리와 8마리 사이에는 더 이상 유의한 차이가 없는 것으로 보아 종내 경쟁이 있고 유충 개체 스스로가 경쟁을 피해 분산을 하는 것으로 추정된다. 이때 유충 마리당 평균 피해과수는 4.7 ± 0.27 (평균 \pm 표준오차)로 4개~5개 정도의 고추를 가해하였는데(표 2-11 참조), 이 결과는 앞서 기술한 실내실험 결과보다 유충당 피해과실수가 높기는 하나 유의하게 차이는 없었다.

표 2-11. 비닐하우스 조건에서 담배나방 집중마리수에 따른 고추 피해분석

처리 수준	총 고추수 ¹⁾	평균 고추수 ²⁾ (Mean \pm SE)	총 피해 과실수 ¹⁾	평균 피해과수 ²⁾ (Mean \pm SE)	피해비율 (%)	단위 유충당 피해과수 ³⁾ (Mean \pm SE)
1	763	63.6 \pm 10.51 a	61	5.1 \pm 0.42 d	7.99 c	5.1 \pm 0.42 a
2	1,005	83.8 \pm 3.98 ab	136	11.3 \pm 0.62 c	13.53 bc	5.7 \pm 0.31 a
4	1,150	95.8 \pm 10.08 b	187	15.6 \pm 1.34 b	16.26 b	3.9 \pm 0.34 b
8	1,142	95.2 \pm 7.73 b	381	31.8 \pm 2.14 a	33.36 a	4.0 \pm 0.21 b
계	4,060		765		18.8	4.7 \pm 0.27

같은 열에서 같은 문자를 가진 수치는 유의한 차이를 나타내지 않음.

(Duncan의 다중검증, $p > 0.05$).

¹⁾ 총 고추수나 피해과수는 각 처리에 사용된 12개 식물의 총 과실수

²⁾ 평균 고추수나 피해과수는 주당 과실수

³⁾ 단위 유충당 피해과수는 주당, 유충 한 마리당 평균 피해과수

이러한 결과를 바탕으로 담배나방 유충 접종 마리수와 피해과실수와의 관계를 도출하였는데, 회귀식은 $y = 3.6529x + 2.2391$ 로 여기서 x 는 접종 마리수이고 y 는 피해과의 숫자이다. 이때 r^2 값은 0.76였다.

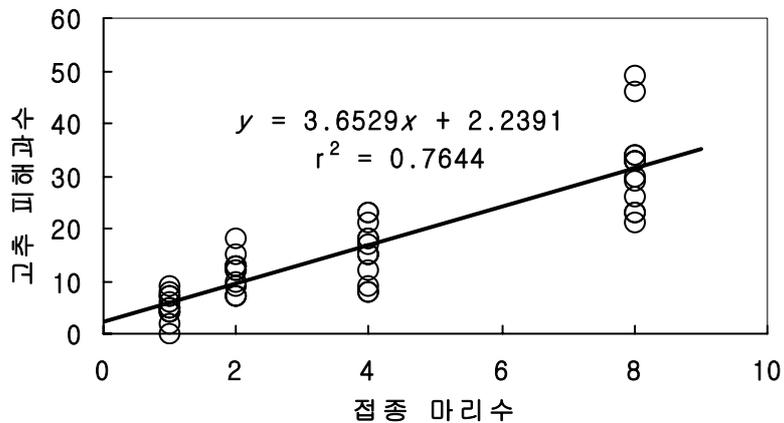


그림 2-25. 온실 조건에서 접종마리수에 따른 피해과수.

다) 야외포장에서의 담배나방 유충이 가해하는 고추의 수

(1) 재료 및 방법

담배나방의 피해가 비교적 심했던 시기인 2003년 7월 3일, 10일, 8월 21일, 28일, 9월 4일 5회에 걸쳐서 경기도 평택의 농가야외포장(43m×21.5m, 외줄재배방식, 품종은 마니파)에서 담배나방 유충에 의해 피해를 입은 고추를 임의로 40주 선발하여 피해를 입은 고추 과실을 주별로 모두 수확하였다. 수확된 그 고추는 실험실로 가져와 담배나방 유충의 존재 여부를 확인하였다.

(2) 결 과

피해과수와 유충수는 상관성이 높은 직선회귀관계를 보였다(그림 2-26)($y = 0.114x + 0.3411$, x 는 담배나방 유충 피해 고추 과실수, y 는 담배나방 유충의 수, $r^2 = 0.90$). 대체로 꼬투리 부근이 노랗게 변화되었지만 과실의 표면에 식입을 위해 뚫어놓은 구멍이 한 개인 것에는 3령충이 있었고, 구멍의 크기가 1~2mm인 경우는 1령이나 2령 유충이 있었다. 꼬투리 부근의 색이 변화되지 않았더라도 4령 이상의 유충에 의해 피해를 받고 있는 고추 과실의 경우는 가해중에 이미 썩고 있는 현상도 발견할 수 있었다. 그러나 피해를 받아 일정 시간 경과한 대부분의 고추 과실의 경우 시들어가거나 썩어 가는 경우에 상관없이 꼬투리 부분의 색이 변화되어 가고 있었다.

실내, 비닐하우스 및 야외 실험 결과를 종합해 볼 때 담배나방 1령 유충은 13cm 이상 크기의 고추 1개로 번데기가 될 때까지 생존이 가능하고 보통은 3~6개 정도면 생존이 가능한 것으로 분석된다. 그리고 야외 포장에서의 조사 결과에서 보면 피해과 5.8개당 1마리의 유충이 발견되었는데, 이는 유충 1마리당 평균 고추 과실 5.8 ± 0.5 (평균±표준오차)개를 가해하는 것으로 생각된다. 따라서 피해과 수를 정확하게 알 수 있다면 유충 수를 추정하는 것이 가능할 것으로 생각된다.

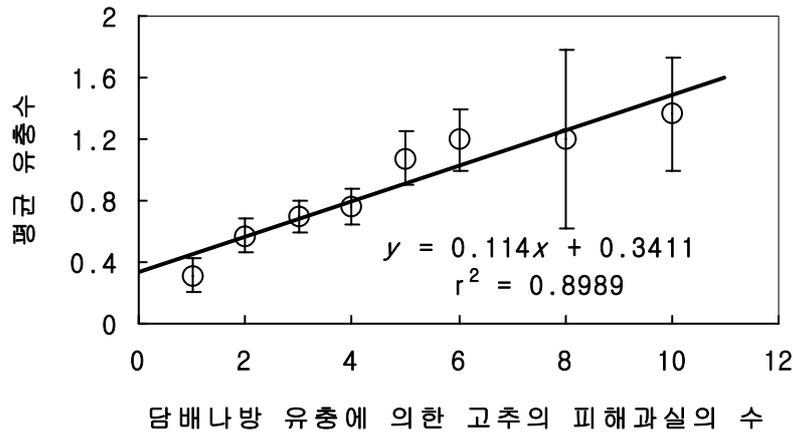


그림 2-26. 피해과실당 확인된 평균 유충 수(막대바는 표준오차)

2) 담배나방 유충에 의한 피해의 정량화

앞서 살펴본 담배나방 유충과 피해과의 관계에서 알 수 있듯이 담배나방 유충은 번데기가 될 때까지 여러개의 고추를 가해한다. 그러나 단순히 유충 한 마리가 몇개의 고추를 가해하는지는 크게 의미가 없다. 오히려 소수의 과실을 가해하더라도 상품성이 높은 과실만을 가해한다면 경제적으로 더 피해가 클 것이다. 따라서 건고추의 경우 과실의 피해가 상품성에 따라서 나뉘어야하고 그러한 기준은 과실의 무게나 길이 등에 있을 것이다. 그래서 여기서는 유충의 고추 과실의 길이에 따른 피해율을 조사하고 과실의 길이와 건중량의 관계를 도출함으로써 단위 유충당 피해를 정량화 하고자 한다.

가) 고추 과실의 길이에 따른 피해 조사

(1) 재료 및 방법

고추 과실의 길이는 국립 농산물 품질 관리원의 홍고추의 길이에 따른 상품 분류에 의거 13cm 이상(특상), 10cm 이상(상), 7cm 이상(중), 7cm이하(하)로 수확물을 구분하였다. 그리고 고추 과실의 길이는 얇은 플라스틱 판을 13, 10, 7cm 길이로 잘라서 피해과를 측정하였다. 이 조사는 앞서 살펴본 수원 서울대학교 농생대 비닐하우스 포장과 야외 고추포장, 경기도 평택의 농가 야외 고추포장에서 2003년 5월부터 9월까지 실시하였다.

(2) 결 과

(가) 비닐하우스에서 풋고추 과실의 길이에 따른 피해과의 구성 비율

담배나방 유충에 의한 피해과실을 크기에 따른 분류한 결과는 그림 2-27과

같다. 13cm 이상의 과실 피해는 총 765개 피해과실 중 1%, 10cm 이상은 54%, 7cm 이상은 28%, 7cm 이하는 17%를 차지하였다. 피해과실 중 10cm~13cm 길이의 과실이 50% 이상을 차지하였으며 13cm 이상 되는 과실의 경우 가장 작은 범위의 피해만 받았다.

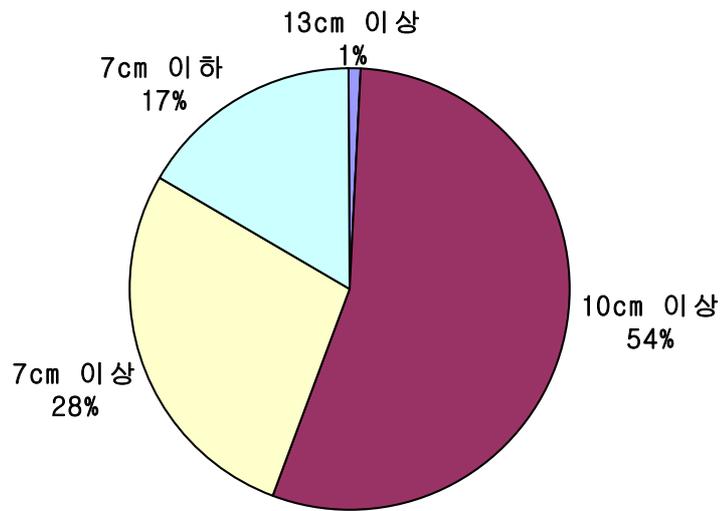


그림 2-27. 피해과실의 크기에 따른 구성비율

각 길이별로 총 수확량중에서 피해과의 비율을 살펴보면 13cm 이상의 과실 87개 중 8%가 피해를 받았고 10cm 이상의 과실 2,720개 중 15%가 피해를 받았고 7cm 이상의 과실 923개 중 23%가 피해를 받았으며 3cm 이상 7cm이하의 과실 330개중 39%가 받았다. 고추의 크기가 작아질수록 피해과의 비율은 직선적으로 증가하였다(그림 2-28). 이는 담배나방 1령 유충의 접촉 부위가 상위엽이었기 때문에 가장 가까운 고추 과실의 크기 자체가 작았으며 담배나방 유충이 구멍을 뚫는 경우에서도 크기가 작을수록 상대적으로 식입이 용이하여 비교적 조직이 연한 작은 고추가 피해를 많이 받았을 것으로 생각된다.

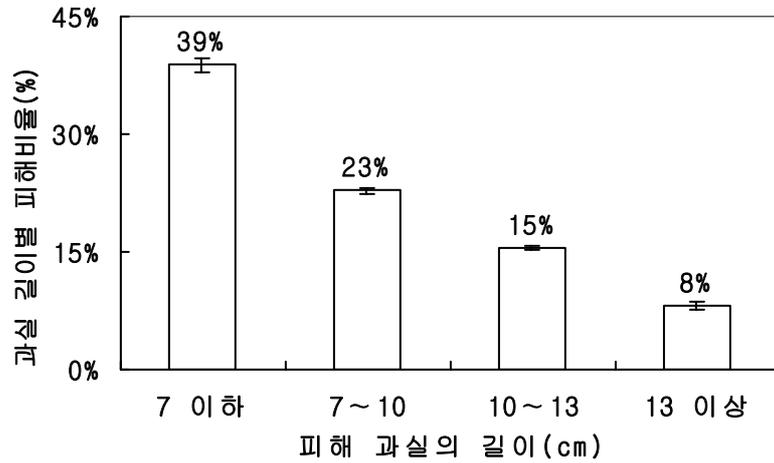


그림 2-28. 과실의 길이당 피해비율(막대바는 표준편차)

(나) 야외 고추밭에서 홍고추 과실의 길이에 따른 피해과의 구성 비율

전체 피해과에서 각 길이별로 피해과의 비율을 백분율로 나타낸 결과는 그림 2-29, 2-30과 같다. 대체로 13cm 이상이 약 5%, 10cm 이상이 25%, 7cm 이상이 50%, 7cm 이하가 20% 수준을 나타냈다.

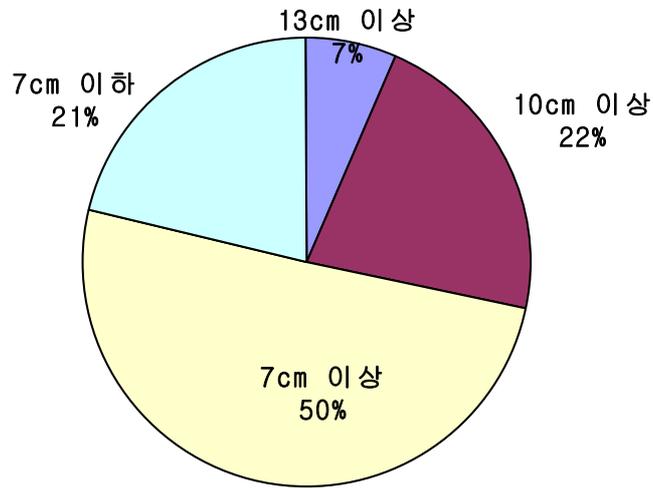


그림 2-29. 경기도 수원에서 피해과의 길이 비율

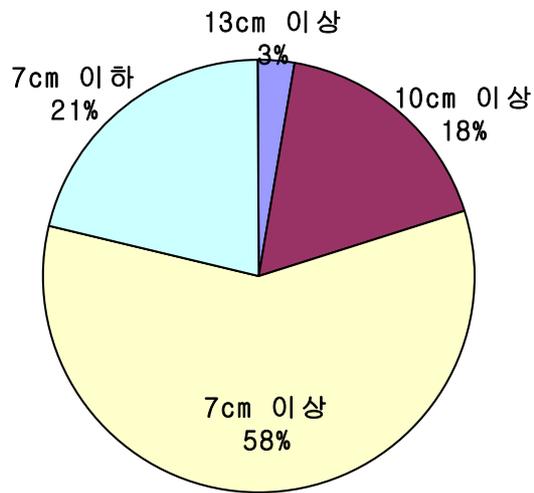


그림 2-30. 경기도 평택에서 피해과의 길이 비율

하우스 조건과 야외 고추밭 조건과의 차이를 비교해 보면 10cm 이상 과실의 비율과 7cm 이상의 과실의 비율이 서로 반대였으나 10cm 이상의 과실의 경우에 11cm가 가장 많았고 10cm 이하의 경우 9cm가 가장 많았기 때문에 오차 범위를 고려한다면 피해량에 있어서는 큰 차이가 없다고 판단된다. 13cm 이상의 고추의 경우 대부분이 13cm에서 15cm 사이의 것들이었다. 마지막으로 7cm 이하의 고추는 대부분 고추 과실이 형성된 후 바로 가해를 입어 자라지 못한 3-5cm 사이의 크기였다. 따라서 앞에서 구한 유충과 피해과의 식에서 유충 한 마리가 있을 경우 피해과는 5.8개 정도 발생하는데, 그 정도 수준에서 피해과를 살펴보면 평균 14cm 고추가 0.29개, 11cm 고추가 1.48개, 9cm 고추가 2.95개, 4cm 고추가 1.18개 정도의 비율을 차지할 것으로 추정된다. 이런 결과를 종합해 볼 때 유충 한마리가 피해를 줄 수 있는 피해량을 정량화하면 다음과 같다.

$$y = 0.29a + 1.48b + 2.95c + 1.18d \text{ ----- (식 2-10)}$$

여기서 a는 13cm 이상의 과실의 무게(평균 14cm 과실의 무게), b는 10-13cm 길이의 과실의 무게(평균 11cm 과실의 무게), c는 7-10cm 길이의 과실의 무게(평균 9cm 과실의 무게), d는 7cm 이하 길이의 과실의 무게(평균 4cm 과실의 무게), y는 유충 한 마리가 줄 수 있는 고추 과실의 피해 무게이다. 이렇게 홍고추에서 무게 단위로 피해를 환산하는 이유는 홍고추의 판매단위가 길이에 의존하는 것이 아니라, 길이별로 상품성이 달라지기는 하나 그 보다는 무게에 의존하여 판매되고 있기 때문에 무게단위로 피해를 환산하여 정량화하였다.

나) 고추 과실의 길이, 생체량과 건중량과의 관계

고추 과실의 길이와 건중량과의 관계는 그림 2-31과 같으며 회귀식은 식 2-11와 같다. 이 관계는 시장에서 길이별로 고추를 구매하여 개체 과실을 건조기에서 말려 각각의 무게를 전자저울을 이용해서 측정하였다.

$$y = 0.0734x \text{ ----- (식 2-11)}$$

고추 과실의 생체량과 건중량과의 관계는 그림 2-32와 같으며 회귀식은 식 2-12과 같았다. 이 관계는 경기도 농업기술연구원에서 생산 가능한 고추를 주별로 수확하여 주별로 생체량과 건중량을 측정하여 구하였다.

$$y = 0.167x \text{ ----- (식 2-12)}$$

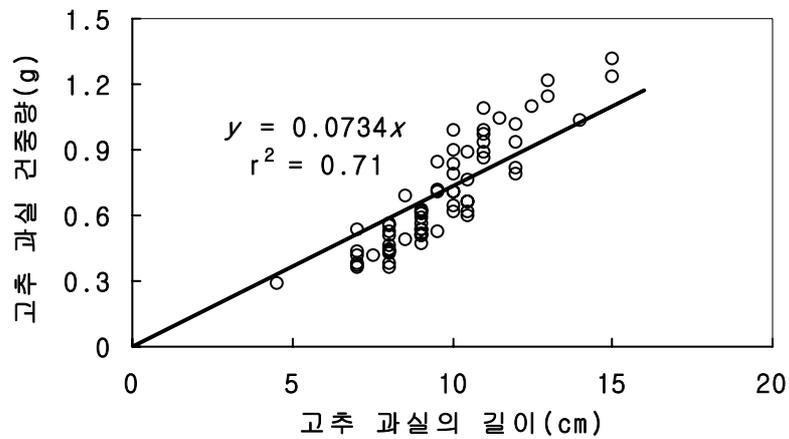


그림 2-31. 고추 과실의 길이와 건중량과의 관계

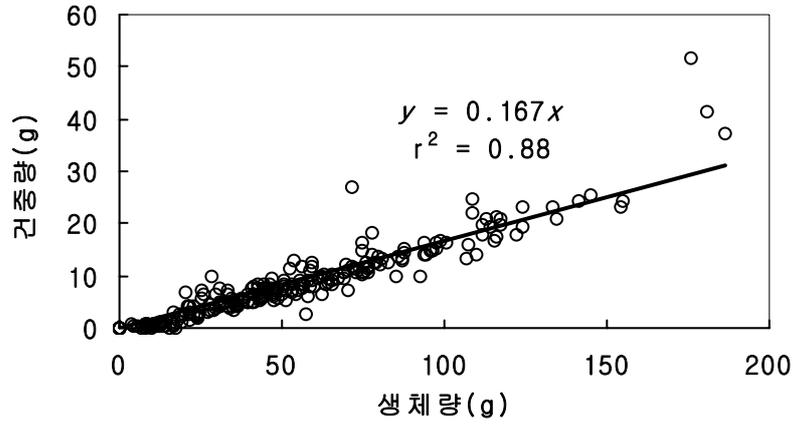


그림 2-32. 고추 과실의 생체량과 건중량의 관계

다) 담배나방 유충 한 마리당 고추 피해의 정량화

담배나방 유충 한 마리가 먹을 만큼 충분한 과실이 맺혀있고 각 길이별로 층화 되어있는 고추에서 담배나방 유충 한 마리가 피해를 입히는 고추 과실의 건중량은 식 2-10과 식 2-11를 이용하여 계산하면 아래와 같다.

$$y=0.29 \times (1.03) + 1.48 \times (0.81) + 2.95 \times (0.66) + 1.18 \times (0.29) = 3.79 \text{ --- (식 2-13)}$$

따라서 유충 한 마리가 고추 건중량으로 3.79g의 손실을 주는 것으로 추정된다.

3) 고추의 생산량과 담배나방에 의한 피해와의 관계

야외에서 홍고추의 판매는 건중량에 의거하여 이루어지고 있다. 따라서 주당 평균 생산량을 건중량으로 환산하는 작업이 필요하다. 여기서는 실험을 통한 방법과 농림부에서 제공하는 자료를 계산하여 주당 고추 생산량을 건중량으로 계산하였다. 계산을 위한 생산량은 서울대 농생대 부속농장과 경기도 농업기술연구원내 야외 고추 포장에서 도출되었다. 농업기술연구원에서는 주(株)별로 따로 수확하여 야외에서 건조하여 주별 생산량을 구하였고 농생대 부속농장에서는 20주를 함께 수확하여 야외에서 건조후 20으로 나누어 평균 생산량을 구하였다. 이렇게 구한 두 지역의 주별 생산량(건중량)의 평균을 이용하여 식 2-14와 같은 생산량과 유충 한 마리당 피해량과의 관계를 도출하였다.

생산량은 건중량 $92.5 \pm 15.61g(\text{mean} \pm \text{S.D.})$ 였고, 만약 1년에 주당 3마리 정도의 담배나방 유충이 생긴다면 11.37g 정도의 피해를 주게 되고 생산량 대비 12.3% 정도의 피해를 입히게 된다. 농림부 자료(2003 고추 생산량 조사결과 보고서)에 의하면 주당 평균 생산량은 생체량 380.8g이었는데, 이것을 관계식 2-12에 의거 건중량으로 환산하면 63.6g 정도가 된다. 이 경우 담배나방 유충이 연간 주당 3마리씩 생긴다면 17.9% 정도의 피해를 입히게 되는 것이다(그림 2-33).

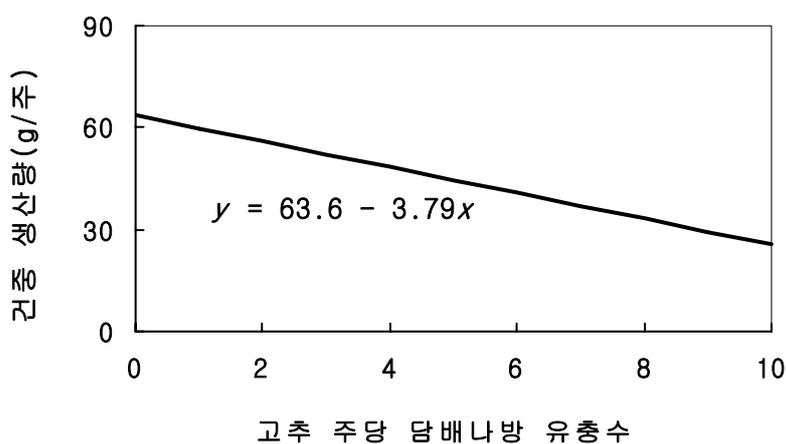


그림 2-33. 유충수에 따른 생산량의 감소(농림부 자료 근거)

$$y = 92.5 - 3.79x \text{ ----- (식 2-14)}$$

여기서 y 는 주당 건중 생산량, x 는 주당 담배나방 유충수, 주당 생산량은 실험에 의해 계산된 값이다.

다. 경제적 피해수준(Economic injury level)의 설정 및 응용

1) 경제적 피해수준의 각 항목의 설정

경제적 피해수준(EIL)이라함은 경제적 피해를 일으킬 수 있는 최저 수준의 해충 개체수 또는 면적당 방제비용 동가수량과 동일한 피해를 초래하는 최소 개체수이다 (stone & Pedigo, 1972). 이것을 식으로 나타내면 식 2-15와과 같다.

경제적피해수준

$$= \text{방제비용(원/ha)} / \{ \text{단위 생산물의 가격(원/kg)} \times \text{피해계수(kg/해충밀도)} \times \text{방제효율} \} -$$

(식 2-15)

경제적 피해수준은 단위면적당 해충밀도(해충밀도/ha)로 표시된다.

(가) 방제비용

방제비용의 주요 구성 항목으로 노동비와 농약값이다. 물론 기타 항목들도 있겠지만 상대적으로 비중이 작고 엄밀한 계산이 어려운 만큼 이 두 항목을 기준으로 계산하였다. 농약값을 살펴보면 담배나방 살충제인 지오릭스(품목명)의 가격은 13.2원/ml (농약·비료·농자재 2004년 잠정단가표, 영아그로[®])이다. 이 외에는 많은 약제들이 현재 시중에 유통되고 있으나 가장 많이 사용되는 약제 몇 가지를 표 2-12에 실었다. 노동비는 고추 농사의 경우 952원/20분/775m² (자료출처: 통계청)이었다.

실제 대부분의 농약들이 적정 사용량을 ‘잎의 앞뒷면이 충분히 적셔질 정도’로 되어있기 때문에 적정 농약사용량을 알기위해 경기도 수원 포장에서 1.25m×4.875m 면적당 44~46주를 심고 농약을 사용해 보았다. 일반적으로 권장되는 정식간격은 70~90cm×20~40cm 정도이나 대부분의 농민들이 밀식을 하기 때문에 70cm에 20cm 간격정도로 심었다. 이때 1.25m×4.875m 면적당 한 번 농약 살포에 사용되는 농약의 양은 18ml

였고 시간은 약 20분 정도가 걸렸다. 그러나 농약의 양과 농약 살포에 사용되는 시간은 고추의 주수가 단위면적보다는 중요한 요소인 듯 하다.

따라서 방제비용은 농약값과 농약을 살포하는데 사용되어지는 노동비의 합으로 계산하였을 때 1m²당 27.5원/1회이다. 그러나 담배나방 유충이 고추의 과실속에 있어서 실제 약제를 살포하더라도 방제가 되지 않기 때문에 알에서 깨어나는 1령 유충이 고추의 과실 속으로 들어가기 전에 방제가 되어야 한다. 따라서 고추에서 담배나방 유충의 경우 2회 이상 방제가 일반적이다. 그러므로 방제비용도 2회 이상을 고려하는 것이 적당할 것으로 보이며 이 경우, 방제비용은 55.0원~82.5원(2회~3회) 정도로 추정된다.

(나) 건고추의 시장가격

단위 생산물의 가격을 살펴보면 최근 9년간의(~'01까지) 가격은 추곡 고추 수매가 평균 6.9원/g(자료출처 ; 농수산물 유통센터)였다. 여기서 고추가격은 홍고추의 말린 건중량을 의미한다. 고추 가격은 변동이 심하기 때문에 최근 9년 평균을 사용하였다.

(다) 피해계수

피해계수는 해충 밀도 수에 따른 수확량의 감소 정도를 나타내는 값인데, 이는 해충 밀도별로 접종 후 수확량을 측정하여 그 감소폭을 나타내는 것이 일반적이거나 여기서는 유충 한 마리가 줄 수 있는 피해의 정도로 표현하였고 이는 앞의 피해의 정량화 부분에서 구한 바와 같이 건중량 3.79(g/유충 1마리) 이다.

(라) 방제효율

방제효율은 작물환경조건에 따라 달라질 수 있다. 따라서 여기서는 실험적으로 계산하지 않고 농약회사에서 제공한 값에 기초하여 작성하였다. 그러나 2002년 3월에 등록된 알파싸이퍼 메스린 수화제의 경우 84% 정도인 점을 감안할 때 평균 80% 정도에서 방제효율을 계산하면 적당할 것으로 여겨진다.

2) 경제적 피해수준의 설정

방제효율을 1이라고 가정을 했을 때, 1m²당 경제적 피해수준은 2.01~3.03마리 정도가 된다. 이번 실험에서는 1m²당 5주 정도를 심었기 때문에 고추 1주당 0.4~0.6마리 정도가 되나, 전국 평균으로는 1m²당 3.1주 정도를 심었기 때문(2003 고추생산량 조사 결과, 농림부)에 주당 0.6~1.0마리 정도 된다. 이때 피해과를 기준으로 경제적 피해수준을 다시 환산해 보면 주당 3.0~6.3개 정도의 피해과 수준(유충 1마리당 피해과실수 이용하여 계산)이 된다.

그러나 표 2-12에서 볼 수 있는 고추에 담배나방 살충제로 등록되어 있는 농약이 30종 가까이 되고 그 약제별로 가격이 다르고 방제효율도 약제마다 매년 달라지기 때문에 경제적 피해수준을 명확하게 제시할 수는 없으나 대체로 0.7~1.4마리/주, 3.4~8.6개 피해과/주 정도로 보면 적당할 것으로 보인다. 주당 평균 고추 과실의 개수는 평균 25개 정도이므로 피해과 3개 정도이면 피해율로는 12% 정도의 피해에 해당한다. 그러나 전체 수확량으로 볼 때는 13.2% 정도에 해당하는 수치이다.

표 2-12. 농약 종류에 따른 경제적 피해수준의 설정

품목명	방제비용 (원/m ²)	고추가격 (원/g)	G. T. (g/m ²)	피해지수 (g/마리)	방제효율	경제적 피해수준 (마리/주)
알파스린 · 그로포	61.1	6.9	8.9	3.79	0.94(96년)	0.75
에토펜프록스 · 다수진	99.6	6.9	14.4	3.79	0.91(96년)	1.35
주론	99.6	6.9	14.4	3.79	0.91(87년)	1.35
할로스린	43.1	6.9	6.2	3.79	0.76(88년)	0.70
평 균	75.9	6.9	11.0	3.79	0.80	0.94

* 방제효율은 농약회사에서 제공한 미발료 자료임

* 방제비용은 실험적으로 계산한 살포량을 기준으로 만들어진 자료임.

3) 경제적피해허용수준(Economic threshold)의 설정

경제적피해허용수준은 방제 행위가 취하여질 때의 해충의 수로, action threshold (AT)라고도 한다. 경제적방제수준을 경제적피해수준보다 더 낮게 설정함으로써, 방제효과가 시간적으로 늦게 나타나더라도 해충 개체군이 경제적피해수준에 이르게 되지 않는 수준이다.

경제적피해허용수준 결정의 방법에는 Weinzierl(1987)나 Pedigo(1989)가 주장한 것처럼 경제적피해수준의 75% 수준으로 설정하는 방법이 가장 일반적이고 면적당 방제비용 동가수량(Gain threshold)을 인위적으로 생산량의 일정 부분으로 설정하는 방법이 있으며 Ramirez & Saunders(1999년)의 방법에서처럼 최대의 이익지점을 찾는 방법 등이 이용되어지고 있다. 따라서 여기에서는 위 세 가지 방법에 의거하여 경제적방제수준을 모두 구하였다.

(가) 최대 이익지점을 찾는 방법

① 재료 및 방법

2003년 경기도 수원 서울대학교 농업생명과학대학 부설 농장 및 경기도 농업과학기술원 야외 고추포장에서 피해과 수준 0, 2, 4, 8, 16, 32개에 따라 약제방제를 하는 실험을 4반복으로 실행하였다. 경기도 수원의 농생대 포장의 크기는 7.5m×39m였고 마니파 품종을 심었으며 외줄재배 방식으로 재배하였다. 약제는 담배나방 약 이외에 5월 21일 진딧물 살충제인 코니도를 살포하였고, 5월 22일 역병약을 토양속에 처리하였고, 6월 9일 제초제인 그람옥손을 살포하였고, 6월 18일 과밤나방약인 과밤과, 흰가루병 약, 총채벌레약을 혼합 살포하였다. 담배나방 방제에는 비록 고추에는 등록되어 있지 않지만 담배에서 담배나방 약제로 오랜 기간 사용되고 있는 약제 중에 하나인 지오단을 사용하였다. 한 번 약제방제시 지오다을 구당 6ml 사용하였다. 한 구당 면적은 1.25m×4.88m였고 한 구획당 주 수는 평균 45주였다. 피해과 조사는 육안조사로 한 구당 5주씩 총 120주를

하였으며 길이별로 피해과율을 알아보기 위해 길이별로 피해과를 분석하였다.

경기도 농업과학기술원 포장은 31m×25m이고 금탑 품종을 사용하였으며 외 줄재배 방식을 사용하였다. 약제는 흰가루병 약제가 2번 투입되었으나 흰가루병에 의한 피해가 어느 정도는 발생하였다. 한 구당 면적은 5m×5.5m였고 한 구당 고추주수는 60주 이었으나 각 구마다 한 줄씩 10주는 실험에서 제외하여 수원 포장과 비슷한 수준으로 유지하였다. 전체적인 실험 방법은 수원과 동일하였다.

② 분석방법

$$\text{순수익} = \text{총수익} - \text{총비용} \text{ ----- (식 2-16)}$$

$$\text{총수익} = \text{총생산량} \times \text{가격} \text{ ----- (식 2-17)}$$

고추의 가격은 2003년 상등품 시중가(10월)는 16.7원/g이었고 최근 9년(~'01까지) 가격은 추곡 고추 수매가 6.9원/g(자료출처; 농수산물 유통센터)을 사용하였다.

$$\text{총비용} = \text{방제비용}(\text{노동비} + \text{약값}) \times \text{방제횟수} \text{ ----- (식 2-18)}$$

여기서 노동비는 952원/20분/775m²(자료출처; 통계청)을 이용하였으며 농약 값은 13.2원/ml이었다. 생산량과 방제횟수는 구마다 다른 처리별 결과이다.

③ 결 과

그림 2-34, 2-36에서 보는바와 같이 2003년도 고추가격으로 볼 때 경제적피해허용수준은 피해과 0개 수준(관행적 방제, 10일 간격 연속 방제)이었다. 그러나 2003년의 9월 홍고추 가격은 최근 9년 가격과 비교해서 2배가 넘는 특수한 경우였다. 그래서 최근 9년간의 가격을 기준으로 해서 경제적피해허용수준을 계산해 보았을 때 그림 2-35, 2-37에서 볼 수 있듯이 피해과 2(개/주), 0.4(마리/주) 수준 정도가 될 것으로 추정된다.

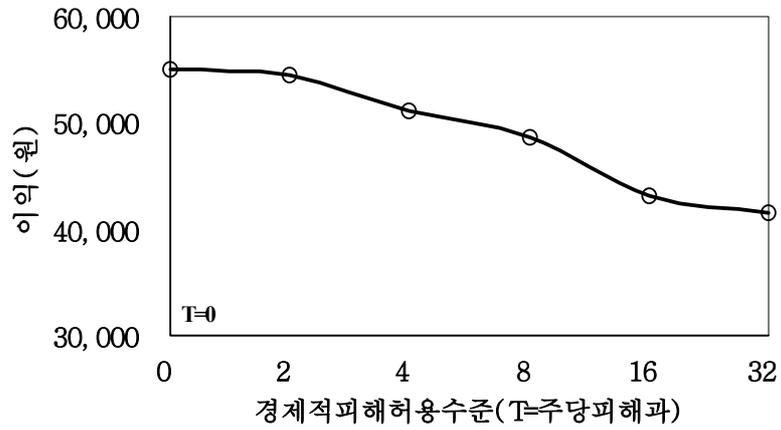


그림 2-34. 경기도 농업기술원에서 '03년 고추가격 수준에서 구한 순 수익 곡선

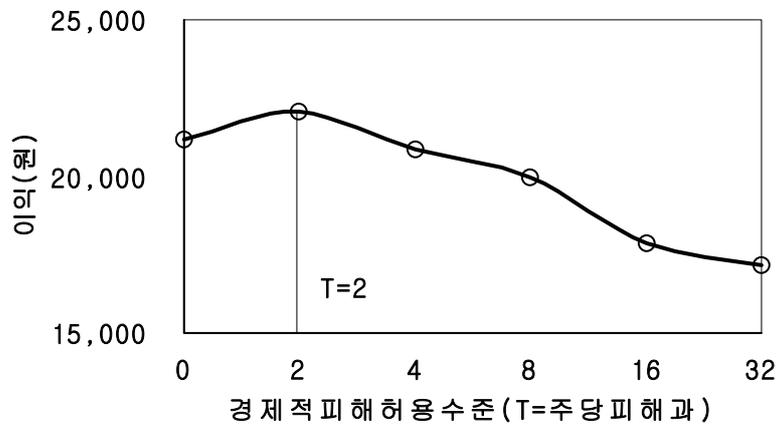


그림 2-35. 경기도 농업기술원에서 최근 9년('93-'01) 고추 가격의 평균으로 구한 순수익 곡선

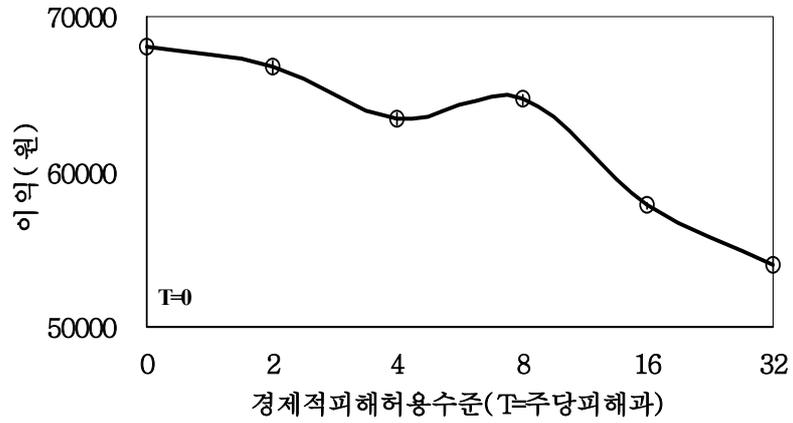


그림 2-36. 수원 농생대 부속농장에서 '03년 고추가격 수준에서 구한 순수익 곡선

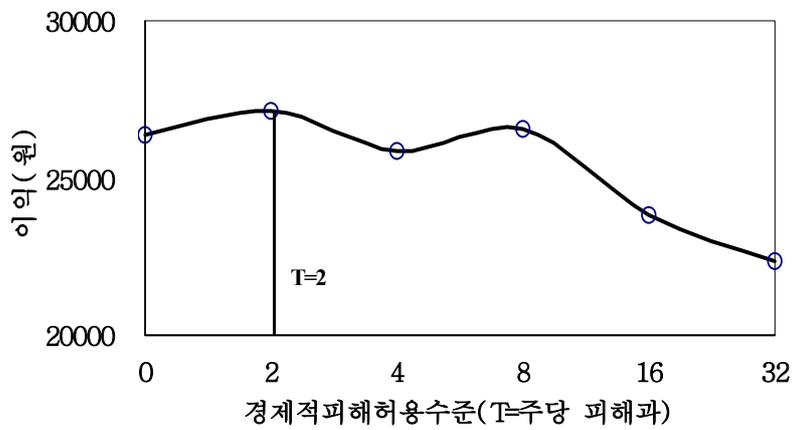


그림 2-37. 수원 농생대 부속농장에서 최근 9년('93-'01) 고추 가격의 평균으로 구한 순수익 곡선

(나) 피해율에 따른 경제적피해허용수준의 설정

3m²당 생산량은 농림부 자료(2003 고추 생산량 조사결과 보고서)에 의하면 3,541.6g인데 이것을 1m²당 건중량으로 생산량은 189g 정도가 된다. 방제비용은 실험적으로 계산하였듯이 27.5원/1회이나 일정 수준에 이르렀을 때 2-3회 방제하여야만 하므로 55.0원~82.5원으로 계산하였다. 그리고 시장 가격은 9년 평균('93-'01)가인 6.9원/g을 반영하였다. 이때 실제 방제비용 동가수량은 7.9g/m²-12.0g/m²이다. 이때 생산량대비 방제비용 동가수량은 4.2-6.3% 수준이 된다. 그러나 방제비용이나 시장가격의 경우 변동 요인이 많기 때문에 경우에 따라서는 생산량대비 일정 수준에서 방제비용동가수량을 이용하여 경제적방제수준을 설정하는 경우가 있다. Kiritani(1980)의 경우 GT를 전체 수량의 3.5-5% 수준에서 설정하였고 Maltais 등(1998)의 경우 3% 수준에서 설정하였다. 여기서는 4% 수준에서 설정하였다.

1m²당 건중량 189g의 4%이면 7.56g이고 이것을 담배나방 1마리당 피해량으로 나누어보면 1.99마리가 나오게 된다. 이 값은 주당 0.6마리 수준이고 피해과 수준으로 2.8개 정도가 된다.

(다) Weinzierl (1987) 및 Pedigo (1989)의 방법

Weinzierl (1987) 및 Pedigo (1989)가 주장한 것처럼 경제적피해수준의 75% 수준으로 설정하는 방법으로 경제적피해수준이 0.7-1.4마리/주, 3.3~8.5개 피해과/주 정도였으므로 경제적피해허용수준은 0.5-1마리/주, 2.3-4.7개/주 정도가 된다. 여기서 0.75 정도로 경제적피해허용수준을 설정하는 이유는 조사 당시의 해충 밀도가 3-4일 만에 25% 이상 밀도 증가를 보이는 경우는 거의 없기 때문이다. 담배나방의 경우도 성충의 밀도는 일주일만에 100% 이상 증가하는 경우도 있으나 담배나방 알 기생봉의 기생율이 담배나방 성충의 밀도가 급격히 증가하는 8월 중순 이후부터 80% 이상인 것(한, 1993)과 다른 천적의 활동도 이때 급격히 증가하는 점들을 감안하였을 때 3-4일 만에 25% 이상의 급격한 밀도 증가를 보이지는 않을 것으로 추정된다.

위 3가지 경우의 결과로 볼 때 경제적피해허용수준은 주당 0.6마리, 피해과 3개 정도 수준으로 보면 적당할 것으로 추정된다.

라. 경제적 피해수준(Economic threshold)의 검증

1) 재료 및 방법

2004년 경기도 수원 서울대학교 농업생명과학대학 부설농장 야외 고추포장에서 실험을 수행하였다. 포장의 크기는 9.5m×40m였고 마니파 품종을 10줄 심었으며 외줄재배 방식으로 재배하였다.

약제는 담배나방 살충제 이외의 살충제로는 5월 21일과 25일에는 진딧물 약제인 코니도를 살포하였고, 살균제로는 5월 4일과 14일에 역병약인 프리엔 액제, 7월 9일에는 흰가루병 약제인 코리스와 역병약인 옹달샘을 혼합 사용하였고, 7월 14일에는 역병, 탄저병 약제인 포룸디와 흰가루병 약제인 코리스를 혼합 사용하였고, 7월 20일에는 역병 약제인 옹달샘, 7월 22일에는 흰가루병약인 코리스, 7월 29일과 8월 5일에는 탄저병과 흰가루병 약제인 실바코와 전착제를 혼합 사용하였다. 담배나방 방제에는 비록 고추에는 등록되어 있지 않지만 담배에서 담배나방 약제로 오랜 기간 사용되고 있는 약제 중에 하나인 지오단을 사용하였다.

한 구는 3줄씩을 기준으로 해서 기 설정한 경제적피해수준에 의한 방제, 관행적 방제, 트랩에 잡힌 성충수에 따른 방제를 실시하였다. 피해과 조사는 육안조사로 하였으며 구당 15주씩 총 45주를 하였다. 경제적피해수준에 의한 방제는 피해과가 4개가 넘는 수준에서만 방제하였고 관행적 방제는 7월 9일부터 9월 5일까지 매주 방제하였으며 트랩에 의한 방제는 트랩에 유인된 성충량의 1차 피크인 7월 9일과 2차 피크인 8월 12일에 실시하였다.

수확은 5회에 걸쳐서 실시하였는데, 각 처리별 생장의 불균형을 없애기 위해 각 주별로 생장이 비슷한 100주씩을 무작위로 선정하여 약제방제 전에 수확하였다. 그리고 다음 수확시 혼동이 없게 하기 위하여 나머지 수확가능한 과실도 수확량 조사시 모두 제거하였다. 수확시기는 농가에서 관행적으로 수확하는 시기인 7월 말을 기점으로 2주간격으로 실시하였다.

2) 결 과

관행적 방제는 대부분의 농가에서 피해가 보이는 시기를 기준으로 10일 간격으로 8월 말이나 9월 초까지 하는 것이 일반적이다. 그러나 조사시기가 1주일인 점을 감안하여 방제는 일주는 간격으로 실시하였다. 그 결과 총 8회 방제를 하였다. 기 설정된 경제적피해수준에 의거한 방제는 주당 평균 피해과가 4개를 넘을 때 방제하였는데, 이때는 총 2회의 방제를 실시하였다. 만약 경제적피해허용수준에서 실시하였다면 총 3회의 방제를 하였을 것이다. 그리고 성페로몬트랩에 의한 방제는 월동세대와 1세대 최대 피크 이후에 실시하였는데, 총 방제 횟수는 2회였다(표 2-13).

표 2-13. 2004년 경기도 수원에서 각 처리별 방제시기와 방제여부

방제일사	방 제 여 부		
	관 행 적 ¹⁾	경제적피해수준 ²⁾	성페로몬트랩 ³⁾
7월 9일	방 제	-	-
7월 14일	방 제	-	방 제
7월 22일	방 제	-	-
7월 29일	방 제	-	-
8월 5일	방 제	-	-
8월 12일	방 제	방 제	-
8월 19일	방 제	방 제	-
8월 25일	방 제	-	방 제
총 방제횟수	8회	2회	2회

¹⁾ 일반적으로 농가에서 방제하는 수준에 의해 방제.

²⁾ 기 설정한 경제적피해수준인 피해과 4개/주 수준에서 방제.

³⁾ 성페로몬트랩에 유인된 성충의 피크에 의해 1, 2차 최대 발생기에 방제.

관행적 방제는 대부분의 농가에서 피해가 보이는 시기를 기준으로 10일 간격으로 8월 말이나 9월 초까지 하는 것이 일반적이다. 그러나 조사시기가 1주일인 점을 감안하여 방제는 일주는 간격으로 실시하였다. 그 결과 총 8회 방제를 하였다. 기 설정된 경제적피해수준에 의거한 방제는 주당 평균 피해과가 4개를 넘을 때 방제하였는데, 이때는 총 2회의 방제를 실시하였다. 만약 경제적피해허용수준에서 실시하였다면 총 3회의 방제를 하였을 것이다. 그리고 성페로몬트랩에 의한 방제는 월동세대와 1세대 최대 피크 이후에 실시하였는데, 총 방제 횟수는 2회였다(표 2-14).

표 2-14. 2004년 경기도 수원에서 각 처리별 100주당 생산량 현황

조사일자	생 산 량 (kg/100주)		
	관 행 적 ¹⁾	경제적피해수준 ²⁾	성페로몬트랩 ³⁾
7월 29일	3.50	3.35	3.90
8월 12일	16.15	17.25	16.85
8월 25일	11.80	10.80	8.20
9월 9일	8.95	8.35	7.80
9월 23일	4.35	4.50	3.45
총 생산량*	44.75 a	44.25 a	40.20 a

* 같은 행에서 같은 문자를 가진 수치는 유의한 차이를 나타내지 않음.

(Duncan의 다중검증, $p>0.05$).

¹⁾ 일반적으로 농가에서 방제하는 수준에 의해 방제.

²⁾ 기 설정한 경제적피해수준인 피해과 4개/주 수준에서 방제.

³⁾ 성페로몬트랩에 유인된 성충의 피크에 의해 1, 2차 최대 발생기에 방제.

2-4. 고추에서 담배나방의 밀도 추정을 위한 간이예찰법 개발

담배나방은 유충이 고추 과실내로 들어가서 피해를 입히는 해충이다. 따라서 성충의 밀도는 성페로몬 트랩을 이용하여 예찰이 가능하지만 유충의 경우는 피해를 입은 과실을 잘라보지 않는 이상은 예찰이 불가능할 뿐만 아니라 잘라본다 하더라도 유충 한 마리가 하나의 과실만을 가해하는 것이 아니기 때문에 꼭 발견할 수 있는 것도 아니다. 따라서 피해과를 통해 유충을 추정하는 방법이 가장 효율적이며, 피해를 주는 성장 단계도 유충인 것을 감안할 때 피해과를 조사하는 것이 가장 직접적이고 효율적인 방법이라 생각된다.

그러나 매주 유충의 밀도를 추정하기 위해서 모든 고추의 과실을 확인해 볼 수는 없으므로 적절한 표본 추출 시기를 결정하기 위해 연중 발생량이나 발생시기에 대한 정확한 예측이 필요하다. 이러한 발생시기에 대한 예측은 일자별로 조사하여 몇 년간 누적된 자료를 사용하는 것이 일반적이는데, 이렇게 할 경우 지역이나 매년 바뀌는 기상 상황으로 인해 조사치와의 편차가 커진다. 따라서 여기서는 누적온일도를 사용하여 이러한 편차를 줄이고자 하였다. 그리고 해충의 공간분포를 분석함으로써 다른 조사자가 평균 피해를 추정할 때 용이하게 하고 적절한 표본 크기와 피해과와 고추주의 피해율의 관계를 설정함으로써 피해주의 비율만으로 평균 피해과의 추정을 가능하게 하였다. 따라서 피해주율만 조사하더라도 해충의 방제 여부를 결정할 수 있게 될 것이라 생각된다.

가. 담배나방의 개체군동태

1) 페르몬 트랩을 이용한 성충의 발생패턴 파악

가) 조사 포장 및 조사, 분석 방법

담배나방의 성페로몬 트랩을 이용한 성충의 발생패턴을 파악하고 누적은일도에 따른 연간 누적비율 발생 모델을 개발하기 위한 담배나방 발생조사는 2003, 2004년 경기도 수원시 권선구 서둔동에 위치한 서울대학교 부속농장의 고추포장, 2003년 경상남도 함양군 휴천면 호산리에 위치한 농가 고추포장, 2003, 2004년 경기도 평택시에 위치한 농가 고추포장에서 수행하였다.

트랩은 밤나방과(Noctuidae)에 속하는 해충의 발생 예찰용으로 개발된 원뿔형 트랩(cone trap, Gempler's, USA)을 이용하였다. 트랩의 미끼는 담배나방의 성페로몬 성분인 Z9-16:A1, Z11-16:A1, Z9-16:Ac, Z11-16:Ac를 1000:50:300:15의 비율로 혼합한 물질로서, 2mg을 고무격막에 직접시켜 원뿔형 트랩의 중앙에 있는 작은 철사에 끼워 넣었다. 성페로몬의 제작은 서울대학교 농생명과학대학 농생명공학부 곤충생리학 실험실의 의뢰하여 제작하였다. 트랩은 정식 직후인 5월 중순에 각각 설치하였으며 트랩의 미끼는 2003년에는 비가 오지 않을 경우, 2주에 한 번씩 교체하였으며 비가 올 경우 매주 교체하였고 2004년에는 매주 교체하였다. 트랩에 유인된 성충수는 10월 상순까지 1주일 간격으로 조사하였다.

담배나방 약제 방제는 2003년에는 수원의 경우 다른 실험과 연계를 위해 부분적으로 약제를 살포하였는데, 최대 약제 살포 구역은 5회, 최소는 무방제였다. 함양과 평택의 경우 경작자들이 관행적으로 약제를 살포하였다. 2004년에는 수원의 경우 경제적 피해수준의 검증 실험과 같이 수행하기 위해 최대 살포구는 8회, 최소는 2회 살포하였으며 평택의 경우 약제 살포를 하지 않았다.

모델을 작성하기 위해서 트랩에 유인된 성충의 확률분포를 기술하기 위해서 cumulative Weibull function(Sharpe 등 1977, Curry 등 1978, Wagner 등 1984)을 사용하였

다. 이 식에서 파라미터의 추정은 Wagner등(1984)이 제시한 SAS 프로그램을 이용하여 계산하였고, 그 식은 성충수= $1-\exp(-(\text{누적온일도}/\alpha)^{\beta})$ 를 이용하였다.

Degree-days는 기상청에서 조사 지역과 가장 가까운 기상관측기에서 측정된 기상자료를 제공받아서 캘리포니아 대학에서 제공하는 Degree-day 프로그램(DDU Degree-day utility, version 2.3)을 사용하여 계산하였다. 그리고 Degree-day 산출의 기준이 되는 발육영점온도는 1세대 발생량에 영향을 미치는 월동번데기 기간이 길고 1세대 성충의 발생량이 이후에 밀도 변동에 미치는 영향이 큰 점을 감안하여 담배나방 번데기의 발육영점온도인 11.64°C(한 등 1993)를 기준으로 하였다.

나) 결 과

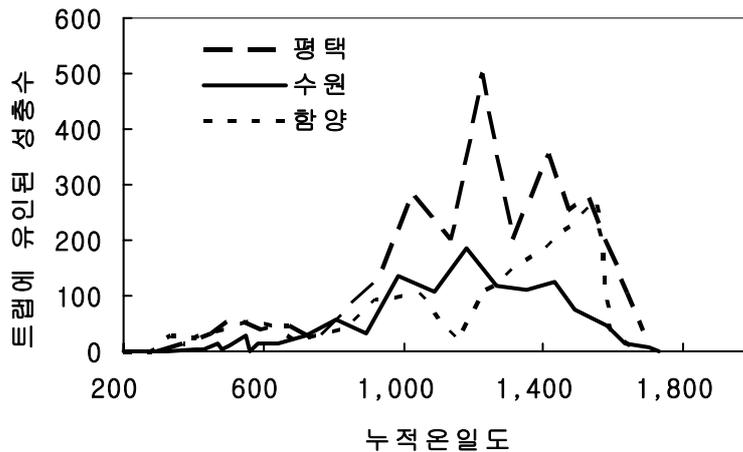


그림 2-38. 2003년 3개 지역에서 성페로몬 트랩에 유인된 담배나방의 성충수

2003년 자료를 보면 경기도 지역에서는 누적온일도가 1,200(DD)정도에서 최대 발생량을 보였고(그림 2-38), 경상남도에서 1,500(DD)정도에서 최대 발생량을 보였다. 이는 강우와 같은 기상조건의 차이에 의한 것으로 추정된다. 성충의 최초 발생은 세

지역 모두 누적온일도가 300(DD)정도에서 처음 발생하였으며 1,650(DD)정도에서 더 이상 발생이 없었다. 발생량 자체는 지역별로, 특히 같은 경기도 지역에서도 그 차이가 많았는데 주변의 환경 요인의 영향이 많았다. 고추밭 주변이 논으로 되어있는 경기도 발안에서는 방제의 영향이 있었다고는 하지만 발생량 자체가 작았고 주변에 밭이 많고 뒤에 산이 있는 평택에서는 발생량이 조사 지역들 중에서 가장 많았다. 그리고 2003년과 2004년 자료를 비교해 보면 2003년에 2004년의 자료가 3번의 뚜렷한 피크가 보인다. 이러한 영향으로 2004년에는 담배나방 성충의 최대 발생시기가 1,700(DD) 정도가 되었고 마지막 발생도 1,900(DD) 정도로 2003년과 달랐지만 최초 발생하는 시기는 비슷하였다(그림 2-39).

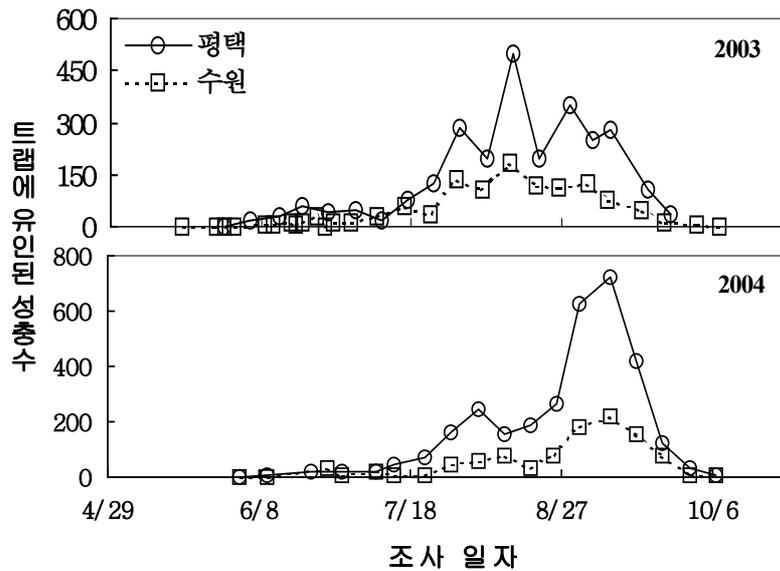


그림 2-39. 2003년과 2004년 누적온일도에 따른 트랩에 유인된 담배나방 성충수

이러한 결과들을 바탕으로 누적온일도에 따른 담배나방 성충의 누적빈도수를 그림 2-40에서 나타내었는데, 두 가지 양상으로 담배나방 성충이 발생하는 것을 알 수

있었다. 이는 우리나라의 최근 30년(1971~2000년) 평균온도가 10월 초까지 1700온일도 수준임을 감안할 때 유난히 여름온도가 높았던 2001, 2004년은 다른 양상으로 성충의 발생이 나타나는 것으로 보인다. 이러한 결과는 10월 초까지 누적온일도가 1700일도 수준일 경우 대부분의 성충이 2세대 발생하고 일부만 3세대 발생하여 3번째 피크가 형성되지 않거나 미약하고 1900일도 수준까지 될 경우 많은 개체들이 3세대 발생하여 3번째 피크가 명확히 형성되어지는 것에서 기인하는 것으로 추정된다.

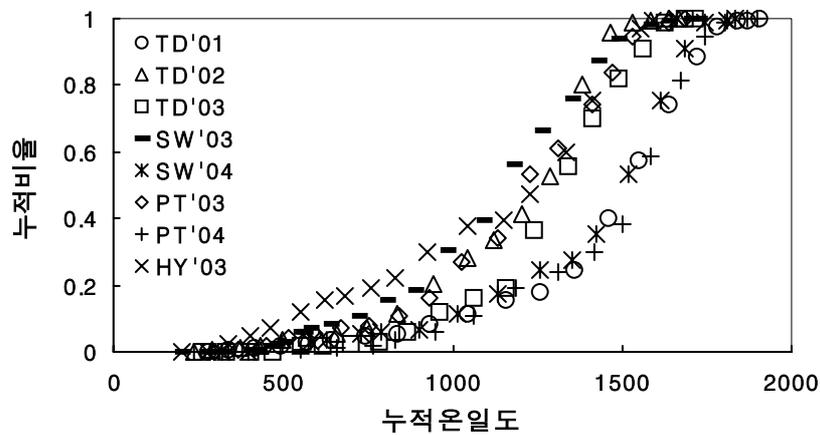


그림 2-40. 누적온일도에 따른 담배나방 성충의 누적 발생비율.
 * TD는 수원 탑동, SW는 수원 농대부속농장, PT는 경기도 평택, HY는 함양을 나타냄.
 * '01은 2001년, '02는 2002년, '03은 2003년, '04은 2004년을 나타냄
 * 온일도의 계산은 발육영점온도 11.64℃를 사용하여 single sine method에 의해 계산하였다.
 * 탑동의 자료는 원예연구소의 양창렬 박사에 의해 제공된 자료임

위의 결과들을 바탕으로 누적온일도에 따른 담배나방 성충의 누적빈도수를 구하기 위한 매개변수의 추정은 2003년에는 수원의 서울대학교 부속농장, 함양의 농가포장, 평택의 농가포장 자료를 2004년에는 수원, 평택의 자료를 종합하여 계산하였다.

2003년과 같이 평년 온도 수준의 일반적인 경우 SAS 프로그램을 이용해서 파라미터를 구한 결과 $\mu=1274.1\pm 9.88$, $\beta=4.348\pm 0.1894$ (추정값 \pm 표준오차)이 나왔다. 이 결과를 식에 대입해서 보면 아래와 같은 식이 나온다.

$$\text{트랩에 유인된 성충비율} = 1 - \exp(-(\text{누적온일도}/1274.1)^2 \times 4.348) \quad (r^2=0.98; p<0.05)$$

----- 식 2-19

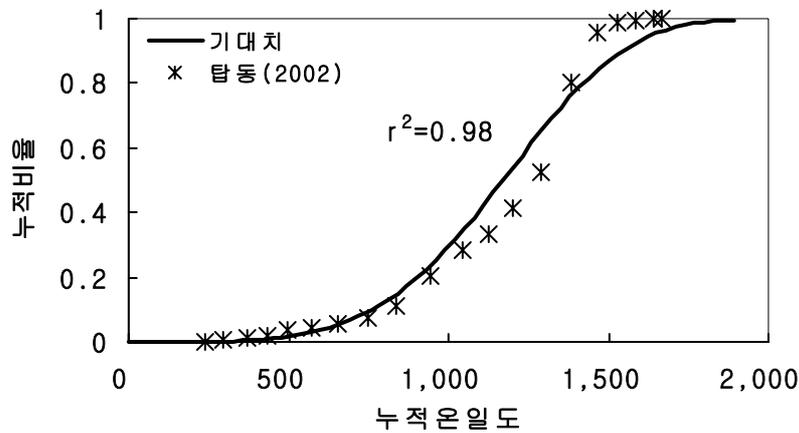


그림 2-41. 일반적인 여름온도에서 누적온일도에 따른 담배나방 성충의 누적 발생비율.

이 결과는 2003년 조사된 3개 지역의 자료를 종합하여 기대치 곡선을 그린 후 2002년 조사된 수원 원예연구소 포장의 결과를 가지고 맞추어보았다. 모델과 2002년 조사치와는 성충의 10% 발생수준에서는 3,4일 정도, 50% 발생수준에서는 4, 5일 정도, 90% 발생수준에는 10일 정도 차이가 나는 것을 알 수 있었다(그림 2-41). 따라서 일반적인 여름 온도 수준에서는 위 모델이 사용되어도 무리가 없을 것으로 보인다.

2004년과 같이 여름온도가 높아 10월 초까지 누적온일도가 1900정도일 경우 SAS 프로그램을 이용해서 파라미터를 구한 결과 $\mu=1546.1\pm 9.97$, $\beta=7.927\pm 0.5257$ (추정값 \pm 표준오차)이 나왔다. 이 결과를 식에 대입해서 보면 아래와 같은 식이 나온다.

트랩에 유인된 성충비율 = $1 - \exp(-(\text{누적온일도}/1546.1)^2 \times 7.927)$ ($r^2=0.98$; $p<0.05$)

----- 식 2-20

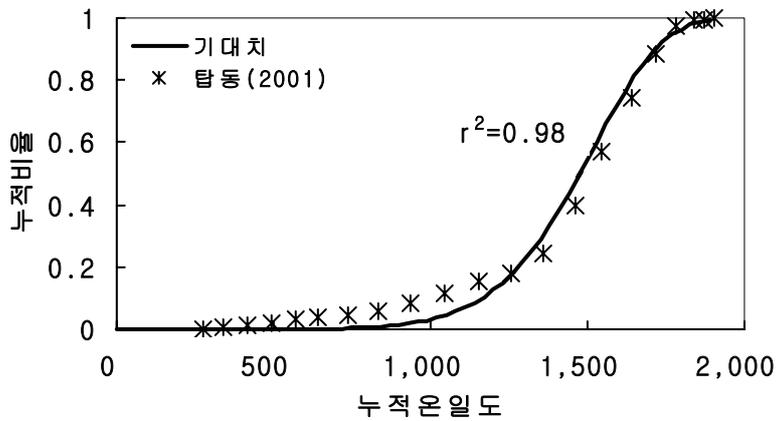


그림 2-42. 여름온도가 높은 특이한 경우에서 누적온일도에 따른 담배나방 성충의 누적 발생비율.

이 결과는 2004년 조사된 2개 지역의 자료를 종합하여 기대치 곡선을 그린 후 2001년 조사된 수원 원예연구소 포장의 결과를 가지고 맞추어보았다. 모델과 2001년 조사치와는 성충의 10% 발생수준에서는 10일 정도, 50% 발생수준에서는 1일 정도, 90% 발생수준에는 일치하는 것을 알 수 있었다(그림 2-42). 따라서 여름온도가 높은 특수한 경우에는 위 모델이 사용해도 될 것으로 보인다.

2) 육안조사를 통한 피해과의 발생패턴 파악

가) 실험방법

실제 방제에 있어 중요한 것은 성충의 발생패턴 보다도 피해과의 발생패턴이다. 이를 위해 피해과의 조사는 육안으로 실시하였고 조사 간격은 1주일 간격으로 실시하였다. 비가 올 시에도 피해과 조사에 어려움이 있기는 하나 결과에 차이가 없기 때문에 기상에 관계없이 실시하였으며 경기도 수원 농대부속농장의 경우 고정 표본조사 방법을 사용하였고 경기도 평택과 발안의 경우 임의 표본 조사방법을 실시하였다. 조사한 주의 피해과는 제거하여 다음주에 다시 계산하는 일이 없도록 하되 방제의 효과를 상쇄하기 위해서 피해과를 조사주 바로 아래에 두어 유충이 있을 경우 다시 올라가 피해를 줄 수 있도록 조치하였다. 그러나 경기도 발안의 경우 성충의 발생량이 작았을 뿐만 아니라 피해과의 발생량도 매우 작았기 때문에 결과에 기술하지는 않았다. 그리고 피해과 발생 모델은 앞서와 같은 방식으로 구했다.

나) 결 과

대체로 누적온일도가 1,100~1,300정도에서 최대 발생량을 보였고(그림 2-43, 2-44 참조), 이는 담배나방 성충의 최대 발생기 직전에 해당하는 수준이다. 최초 피해과는 성충 발생후 누적온일도 200(DD) 이후에 발생하는 것으로 보인다.

2004년 두 지역간(평택, 수원)의 피해과 발생 양태를 보면 유사한 것을 볼 수 있다. 그리고 그림 2-43, 2-44를 보면 담배나방 성충의 두번째 최대 발생기와 피해과의 발생기가 비교적 비슷한 시기이거나 피해과의 발생이 누적온일도 수준에서 조금 앞서 피크를 이루는 것을 볼 수 있다. 이는 담배나방의 마지막 단계의 유충에 의해 극심한 피해를 보이고 이 개체들이 성충이 되는 것으로 추정된다. 그리고 피해과의 발생패턴을 자세히 살펴보면 담배나방 성충의 발생량이 일정 수준이상 계속 유지되는 1,300 DD 이상에서는 피해과실수가 계속 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 담배나방 알 기생봉에 의한 기

생육의 증가에 기인한 것으로 추정된다. 그리고 이 수준에서는 담배나방 유충이 상대적으로 선호도가 떨어지는 붉은고추의 비율이 상대적으로 높기 때문에 이러한 요인도 영향을 미치는 것으로 추정된다.

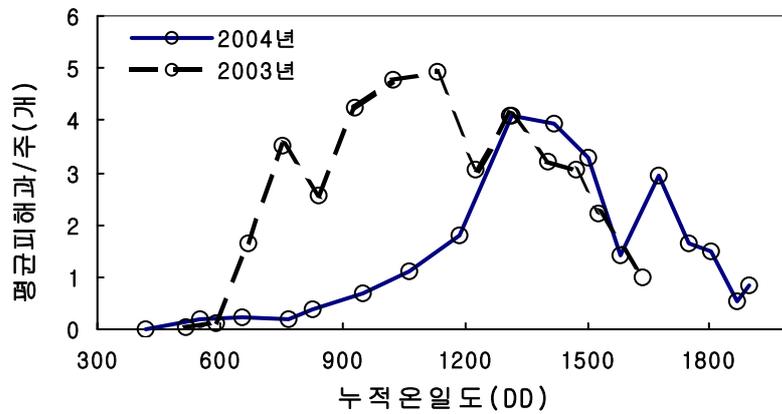


그림 2-43. 경기도 평택 농가고추포장에서 피해과 발생 상황

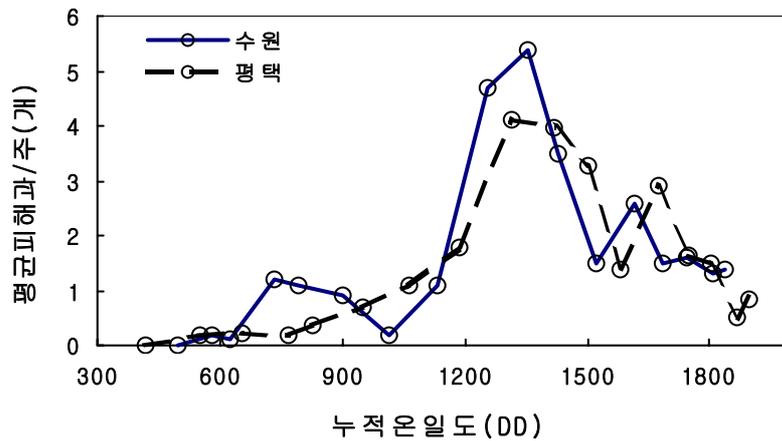


그림 2-44. 2004년 두 지역에서 담배나방에 의한 피해과의 발생

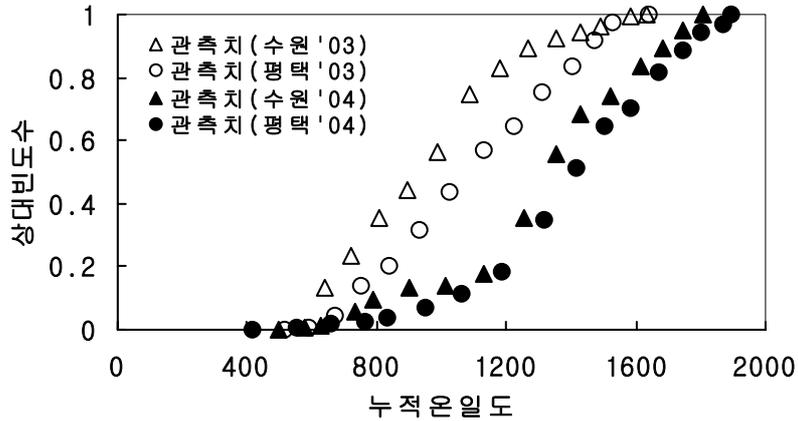


그림 2-45. 누적온일도에 따른 주당 누적 피해과의 상대빈도수

그리고 앞에서 살펴본 바와 같이 담배나방 성충의 발생패턴이 여름온도에 따라 달라지는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과로 볼 때 피해과의 분포의 성충의 발생분포에 따라 달라질 것으로 추정되고, 실제 2003년과 2004년의 결과는 누적온일도에 따라 다르게 나타났다(그림 2-45). 따라서 피해과의 누적발생 패턴도 앞의 성충에서와 마찬가지로 10월까지의 누적온도가 1700온일도 수준의 평년기온에서와 이보다 높은 1900온일도 수준의 특수한 경우, 두 가지로 나누어 살펴보고자 한다.

2003년의 자료를 가지고 SAS 프로그램을 이용해서 파라미터를 구한 결과 $\alpha = 1110.5 \pm 18.65$, $\beta = 3.841 \pm 0.3311$ 이 나왔다. 이 결과를 식에 대입해서 보면 아래와 같은 식이 나온다.

$$\text{피해과의 누적비율} = 1 - \exp(-(\text{누적온일도}/1110.5)^2 \times 3.841) \quad (r^2=0.95; p<0.05) \quad \text{---- 식 2-21}$$

파라미터의 추정은 수원, 평택의 자료를 모두 종합하여 계산하였다. 먼저 모델을 만드는데 사용한 수원의 경우 10% 발생수준에서는 1일 정도, 50% 발생수준에서는 4, 5일 정도, 90% 발생수준에서는 10일 정도 차이가 났으며 평택의 경우 10% 발생수준에

서는 7, 8일 정도, 50% 발생수준에서는 4일 정도, 90% 발생수준에서는 7일 정도 차이가 났다(그림 2-48). 10%와 90% 발생수준에서는 일주일 정도 차이가 났으나 피해가 극심한 50% 수준에서는 차이가 적어 사용에는 문제가 없을 것으로 보인다.

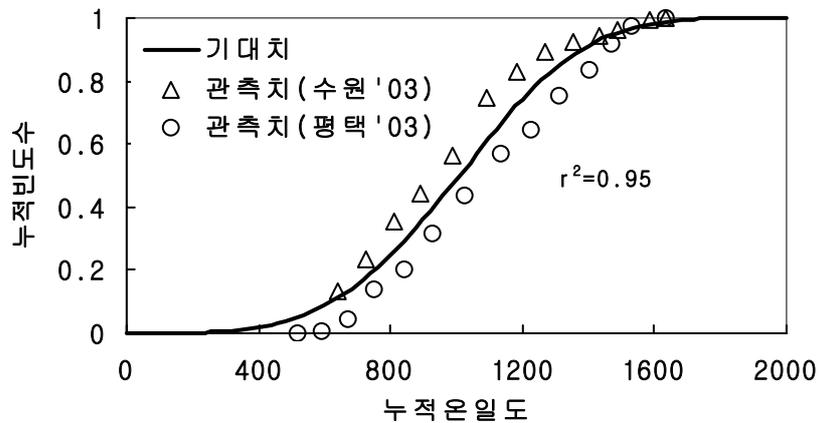


그림 2-46. 일반적인 여름온도에서 누적온일도에 따른 주당 누적 피해과의 상대빈도수의 상대빈도수

여름 온도가 높았던 2004년의 자료를 가지고 SAS 프로그램을 이용해서 파라미터를 구한 결과 $\alpha=1472.6\pm 10.09$, $\beta=5.550\pm 0.2868$ 이 나왔다. 이 결과를 식에 대입해서 보면 아래와 같은 식이 나온다.

$$\text{피해과의 누적비율} = 1 - \exp(-(\text{누적온일도}/1472.6)^2 \times 5.5504) \quad (r^2=0.99; p<0.05) \quad \text{---- 식 2-22}$$

파라미터의 추정은 수원, 평택의 자료를 모두 종합하여 계산하였다. 먼저 모델을 만드는데 사용한 수원의 경우 10% 발생수준에서는 7일 정도, 50% 발생수준에서는 1, 2일 정도, 90% 발생수준에서는 7일 정도 차이가 났으며 평택의 경우 10% 발생수준에서는 7, 8일 정도, 50% 발생수준에서는 3일 정도, 90% 발생수준에서는 1일 정도 차이가 났다(그림 2-49). 10%와 90% 발생수준에서는 많을 경우 일주일 정도 차이가 났으나 피

해가 극심한 50% 수준에서는 차이가 적어 여름 온도가 높을 때에는 위의 모델을 사용 가능할 것으로 생각한다.

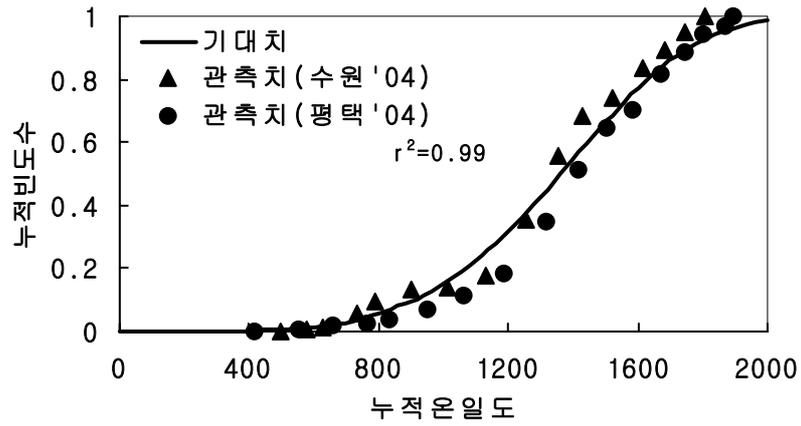


그림 2-47. 여름온도가 높은 특이한 경우에서 누적온일도에 따른 주당 누적 피해과의 상대빈도수.

나. 해충의 공간분포 패턴 파악

1) 주내 공간분포 패턴

가) 담배나방 알의 주내 공간분포 패턴

(1) 재료 및 방법

고추는 '02년 9월 녹광 품종으로 재식거리 100cm×30cm로 심은후 시설하우스 외출재배 방식으로 재배하였다. 실험방법은 경기도 수원 서울대학교 부속농장에서 기 성장된 고추에 3주마다 1.5m×1.5m×2m의 Cage를 설치하였다. 여기에 하루전날 깨어난 담배나방 성충 1쌍, 2쌍, 3쌍, 4쌍을 방사하여 4반복으로 산란수를 매일 육안 조사하였다.

(2) 결 과

3일간의 알 조사 결과 표 2-15와 같이 산란 선호성은 기존의 실험 결과와 크게 다르지 않게 나왔다. 3일 이후의 조사 결과는 처리별 유의차가 더 없어서 크게 활용 할 수 없어 보였다. 또 고추에서 잎의 위치에 따른 산란 상황은 산란수가 신초로부터 멀어질수록(높이가 낮아질수록) 적어지는 경향을 나타냈는데 신초로부터 4마디까지는 산란된 알의 수는 전체 산란수의 70% 이상이었다.

위 실험결과와 기존의 논문의 내용을 토대로 볼 때 담배나방은 고추에서 잎의 상단부(신초로부터 4마디까지)에 전체 산란수의 70% 정도를 낳고(Nakazawa et al. 1971; 황창연, 1987; 한만위, 1994) 잎 중에서도 앞면에 주로 낳는데 그 비율도 전체 산란수의 70% 정도를 차지한다.

표 2-15. 고추에서 담배나방 암컷 성충 방사 3일 후 처리별 기주 부위별 산란수

	잎 (평균±표준편차)	줄기 (평균±표준편차)	과실 (평균±표준편차)
산란수	12.44±2.837 a	1.06±0.388 b	0.104±0.045 b

같은 문자가 있는 순자는 유의하게 다르지 않음(Duncan의 다중검증, p>0.05).

나) 담배나방의 유충에 의한 피해과의 주내분포 패턴

담배나방 유충의 주내 공간분포 패턴은 유충의 식입하는 특성으로 인해 파악이 어렵다. 그러나 유충에 의한 피해과의 관찰은 용이한 점을 이용하여 피해과의 공간 분포 패턴을 파악하므로써 유충의 주내 분포에 대한 정보를 얻을 수 있다.

(1) 재료 및 방법

담배나방에 의한 피해과의 주내 분포는 2004년 경기도 수원 서울대학교 농업생명과학대학 부속농장과 경기도 평택 농가포장의 고추밭에서 수행하였는데, 식물의 높이에 따른 피해과의 수직분포와 상태를 조사하였다. 피해과의 수직분포는 식물체를 높이에 따라 3등분 하여 발육 단계에 상관없이 구분을 두었으며 일정 조사 방향을 기준으로 좌, 우로 나누어 피해과를 육안 조사하였다. 그리고 피해과의 상태는 일반 고추 과실과 담배나방의 식입의 흔적 이외에는 차이가 없는 상태와 고추과실의 꼬투리 부근만 색이 변화여 노랗게 변화되면서 말라가는 상태, 그리고 피해에 의해 썩어 가는 상태의 3가지로 나누어 조사하였다.

(2) 결 과

주내의 수직적인 피해과의 분포는 초기에는 과실이 상위 부위에만 분포하기 때문에 상위 부위에 100% 분포하다가 8월(누적온일도 1,000DD 수준) 이후로는 과실의 분포가 위치에 상관없이 유지되면서 일정한 패턴을 가지고 분포하였다.

상위 부위의 피해과는 처음에는 높다가 계속 감소하여 누적온일도 1,000DD 이상에서는 전 피해과중 4%의 비율 정도에서 일정하였고, 중간 부위에 피해과는 계속 증가하다가 중간 부위에 과실의 비율이 가장 높은 800DD(대략 7월 중순)을 기준으로 감소하다가 19% 정도의 비율로 일정하게 유지되었다. 상위 부위는 과실의 성장과 함께 가장

많은 과실이 맺히는데 1,000DD 이후로는 77%의 패해과가 존재하였다. 그리고 그림 2-48에서처럼 수직적인 피해과의 분포는 지역에 상관없이 일정하였다. 이러한 결과는 담배나방 성충이 상위 부위에 집중해서 알을 놓는 경향과 상관성이 있는 것으로 여겨진다.

주내의 수평적인 피해과의 분포는 오른쪽, 왼쪽이 유의하게 차이가 나타나지 않았다. 이는 수직적인 분포에 상관없이 상, 중, 하위 부위 모두에서 동일한 결과가 도출되었다(표 2-16).

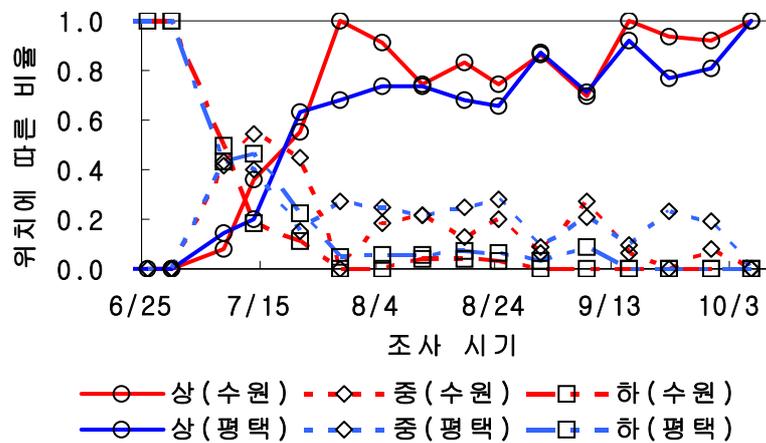


그림 2-48. 시기에 따른 피해과 수직분포 패턴

주내의 피해과의 상태에 따른 구분은 초기에는 과실의 상태가 모두 원형인 채로 유지된 채 있다가 역시 8월(누적온일도 1,000DD 수준) 이후로는 과실의 상태가 일정한 비율로 유지되는데 원형이 24%, 말라가는 것이 42%, 썩어가는 것이 34%였다. 각 상태별로는 유의한 차이가 없었으나 간이예찰법으로 사용시에는 말라가는 것이나 썩어가는 것 두가지 상태를 모두 이용하는데 이들 상태의 피해과의 합과 원형인 상태의 피해과는 유의적인 차이가 있었다(그림 2-49, 표 2-17).

표 2-16. 고추 주내 위치별 담배나방에 의한 피해과의 분포(2004년)

장소	수평분포	수직분포(평균±표준오차/주)		
		상	중	하
수원	좌	10.0±0.16a	2.4±0.04b	0.9±0.02c
	우	11.5±0.16a	2.7±0.05b	0.9±0.02c
평택	좌	8.1±0.11a	2.2±0.04b	0.9±0.01c
	우	9.7±0.14a	3.0±0.05b	1.1±0.02c

표 안의 숫자는 주별로 8월 이후 발생한 피해과의 평균±표준오차를 나타냄
 같은 열에서 같은 문자를 가진 수치는 유의한 차이를 나타내지 않음
 (Duncan의 다중검증, $p > 0.05$)

표 2-17. 담배나방 유충에 의한 가해후 피해과실의 상태에 따른 분류(2004년)

장소	상 태		
	원 형	마 림	썩 음
수원	6.1±0.10a	9.9±0.19a	6.0±0.13a
평택	4.4±0.07a	8.3±0.13a	9.0±0.20a

같은 열에서 같은 문자를 가진 수치는 유의한 차이를 나타내지 않음
 (Duncan의 다중검증, $p > 0.05$)

표 안의 숫자는 주별로 8월 이후 발생한 피해과의 평균±표준오차를 나타냄

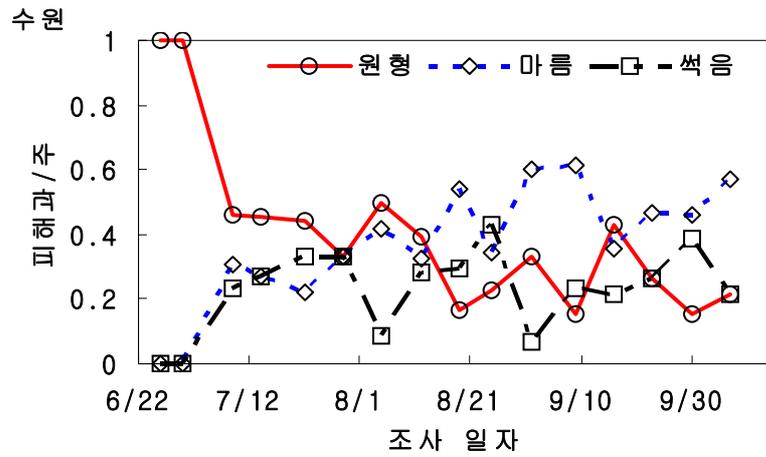
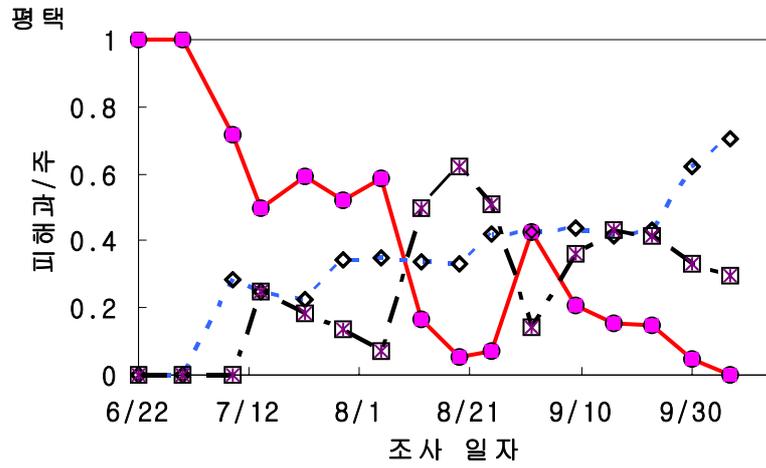


그림 2-49. 피해정도에 따른 피해과의 연중 분포

2) 주간 공간분포 패턴

가) 분석방법

담배나방의 공간분포 패턴의 분석은 경기도 수원 서울대학교 농업생명과학대학 부속농장과 경기도 평택의 농가 포장에서 2003, 2004년에 걸쳐서 시행하였고 경기도 농업기술원 포장에서는 2003년에만 조사하여 각 조사 시기마다 육안조사를 통한 평균과 분산의 관계를 이용하여 Taylor's power law(식 2-23)에 적용하여 분석하였다.

$$\ln(s^2) = \ln(a) + b \times \ln(m) \text{ ----- (식 2-23)}$$

$s^2 = a(m)^b$ 에서, 파라미터 a와 b값은 양변을 자연대수로 변환한 직선회귀식으로, 이때 b값이 집중도를 나타내는 지수인데, b > 1이면 집중분포, b=1이면 임의분포, b < 1이면 균일분포한다(Taylor, 1961). 평균과 회귀계수의 추정은 SAS(PROC REG, SAS Institute, 2004)를 사용하였으며, 각 직선 모형의 적합성 검정은 r^2 값을 이용하였다.

나) 유충(피해과)의 주간 공간분포 패턴

(1) 재료 및 방법

2003년 고추의 전 생육기간동안 경기도 수원의 농생대부속농장과 경기도 농업기술원의 야외고추포장, 평택의 농가 야외고추포장에서 실시하였다. 조사는 일주일 간격으로 실시하였고 조사 주의 선정은 평택 지역에서는 임의로 선정하였고 경기도원 포장과 수원 농대부속농장에서는 최초 임의로 선정된 주를 지속적으로 조사하였다. 또 담배나방 유충은 고추 안에 들어가 있기 때문에 육안 조사가 어려운 관계로 피해과의 공간분포 패턴을 이용하여 간접적으로 분석하였다. 같은 조사를 2004년에는 농생대부속농장과 평

택의 농가 야외고추포장에서만 추가로 실시하였다.

(2) 결 과

고추포장에서의 유충의 공간분포를 고추 1주를 표본단위로 하여 Taylor(1961)의 식을 이용하여 분석한 결과는 표 2-18과 같다. 2003년 조사된 3지역(경기도 평택 민가 야외고추포장, 경기도농업기술원 야외고추포장, 수원 농생대 부속농장 야외포장)에서 집중도를 나타내는 b값은 각각 1.196, 1.378, 1.265였고, 2004년 조사된 2개 지역에서는 평택이 0.862, 수원이 1.007로 나타났다(표 2-18).

표 2-18. 담배나방 유충에 의한 피해과의 Taylor's power law에 따른 분석 결과

지 역	표본수	a	b	r ²
경기도(2003년)				
평 택	40	1.920	1.196	0.98
경기도원(무방제구)	20	2.589	1.259*	0.93
수원농장(무방제구)	20	2.125	1.263	0.86
경기도(2004년)				
평 택	40	2.366	0.862	0.93
수 원 농 장	45	2.091	1.007	0.95

표시된 파라미터는 집중도 지수 1과 다르다(t-test; *, p<0.05; **, p<0.01).

위의 결과로 볼 때 일반적으로는 피해과가 임의분포한다고 볼 수 있을 것이다. 그러나 2003년 경기도 농업기술원 포장의 자료를 보면 피해과가 집중분포하고 있고, 알이 집중 분포하는 경향이 있다는 보고가 있었으며(한, 1994) 해충에 의한 피해는 집중 분포하는 경향이 일반적이기 때문에 담배나방 유충의 고추에서 공간분포에 대한 보다 많

은 정보를 얻기 위해 2003년 방제에 따라 최고의 순이익을 얻기 위한 실험에서 처리구별로 다시 공간분포를 분석해 보았다(표 2-19).

표 2-19. 처리에 따른 담배나방 유충에 의한 피해과의 TPL에 따른 분석 결과(2003년)

지역	방제조건	방제횟수(평균)	b	r ²	주당 평균 피해과수
수원농대	0개 피해과	12	1.216**	0.9797	0.57
경기도원		11	1.325*	0.9748	0.46
수원농대	2개 피해과	3.25	1.345**	0.9550	0.61
경기도원		3.5	1.247*	0.9411	0.59
수원농대	4개 피해과	2.75	1.376**	0.9414	0.83
경기도원		1.25	1.326**	0.9248	0.56
수원농대	8개 피해과	1.25	1.412**	0.9534	1.07
경기도원		0.75	1.401**	0.9861	0.65
수원농대	16개 피해과	0.5	1.300*	0.8634	1.10
경기도원		0	1.216*	0.9288	0.64
수원농대	32개 피해과	0	1.259	0.9264	1.14
경기도원		0	1.263*	0.8604	0.92
평택	관행적	알 수 없음	1.196	0.9771	5.49

표시된 파라미터는 집중도 지수 1과 다름(t-test; *, p<0.05; **, p<0.01).

경기도 수원 농대부속 야외고추포장과 경기도원 포장의 경우 피해과의 밀도

가 일정수준(0개, 2개, 4개, 8개, 16개, 32개/주)이 되면 방제를 하였고, 4반복으로 실시하였다. 방제횟수와 집중도 지수는 표 2-19와 같았다. 결과를 살펴보면 주당 평균 피해과의 밀도가 1개를 넘어가면 피해과가 집중분포하는 경향이 약해지다가 경기도 평택에서처럼 피해과 밀도가 주당 5개를 넘어가면 임의분포하는 것을 알 수 있었다.

이러한 결과들을 살펴볼 때 담배나방 유충에 의한 고추의 피해과실의 분포는 일반적인 경우 임의분포 할 것으로 추정된다. 그러나 약제 방제를 너무 많이 하거나 2003년 경기도 농업기술원 포장에서처럼 흰가루병에 의한 피해 등 병해에 의해 피해가 생기거나 담배나방 성충의 발생이 작은 특이한 경우에는 피해과의 발생도 집중분포 할 것이라 추정된다.

다. 담배나방의 표본조사법

앞서 고추 주내의 담배나방에 의한 피해과를 조사하여 8월(1,000DD) 이후 주의 상위에 75% 정도의 피해가 집중되어 있고 이중 75%가 육안으로 조사하기 용이한 상태인 꼬투리 색이 변형된 채로 있게 되는 것을 알 수 있었다. 따라서 담배나방에 의한 피해과를 다 조사할 필요없이 상위의 오른쪽이나 왼쪽을 선택하여 꼬투리 색이 변형된 고추만을 찾아서 유충의 식입 흔적만을 확인하면 피해과의 수를 추정할 수 있을 것이다 (주내 피해과의 수 추정치 = 찾은 피해과의 수×2×1.33×1.33). 그러나 포장이 매우 큰 크거나 눈이 좋지 않은 경우에는 트랩을 원하는 경우가 있을 수 있다. 따라서 여기서는 페르몬 트랩을 이용한 표본 조사법까지 강구해 보고자 한다.

1) 육안조사를 이용한 담배나방에 의한 피해과의 표본조사법

가) 담배나방에 의한 평균 피해과와 발견주율과의 관계

(1) 분석방법 및 실험장소

발견주율과 평균과의 관계는 Wilson & Room(1983)이 제안한 관계식을 이용하였다(식 2-24).

$$P(i)=1-\text{Exp}\{m \times [\ln(am^{b-1}) \times (am^{b-1}-1)^{-1}]\} \text{----- (식 2-24)}$$

여기서 a, b는 Taylor식의 파라미터 값이고 P(i)는 담배나방 유충에 의해 피해과가 발견된 확률이고 m은 각 조사치의 평균이다. 분석에 이용된 실험장소는 2003년 경기도 수원시 서울대학교 부속농장과 경기도 농업기술원 포장, 평택 포장, 2004년 수원시 평택으로 이들 지역에서 조사한 피해과 밀도를 이용하였다.

(2) 결 과

주당 피해과와 피해과의 존재 확률과의 관계는 그림 2-50, 2-51과 같다. 여기서 그림 2-50은 2003년 임의분포하는 경기도 수원농대부속농장(피해과 32 수준에서 처리, 무방제구)과 평택의 자료, 2004년 수원과 평택의 자료를 피해과의 발생량이 크게 차이가 없었기 때문에 합산하여 계산하였다. 그리고 작은 크기의 포장이기는 하였지만 일부 처리구에서 집중분포하는 경향이 있었고 역병에 의한 피해가 심했던 경기도 농업기술원 포장의 경우도 집중분포 하였기에 집중분포 하는 지역은 그들의 자료를 통합하여 따로 계산하였다(그림 2-51).

임의분포하는 지역의 자료인 그림 2-46에서 보면 고추 1주에 피해과가 존재할 확률은 주당 평균 피해과가 1개가 될 때 50%를 보이며 피해과가 2개가 되면 피해주율은 74%가 되고 경제적피해허용수준인 피해과가 3개 이상이 되면 피해과 발견주율은 86%가 되었다.

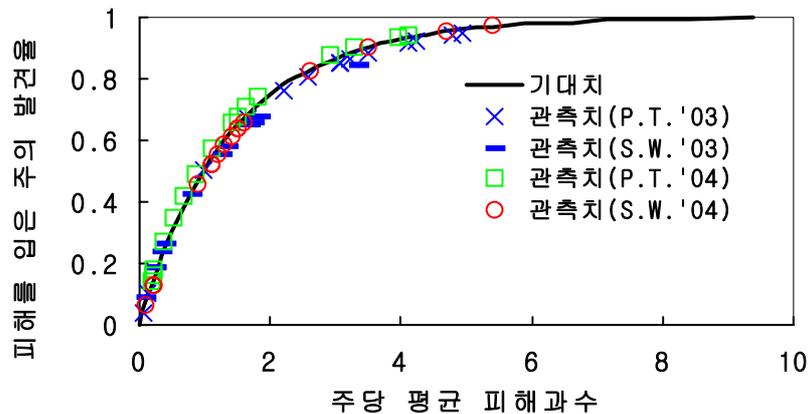


그림 2-50. 수원과 평택에서 담배나방에 의한 주당 평균피해과실수와 피해주율 사이의 관계(P.T.; 평택, S.W.; 수원)

균일분포하는 그림 2-51에서는 고추 1주에 피해과가 존재할 확률은 주당 피해과가 1.4개 정도가 될 때 50%를 보이며 피해과가 2개가 될 때는 피해주의 발견주율이 67%가 되고, 피해과가 3개 이상이 되면 피해과 발견주율은 78%가 되었다. 따라서 경제적 피해허용수준 정도의 피해가 발생할 경우 피해과가 임의분포하는 포장이든 집중분포하는 포장이든 관계없이 발견주율은 80% 정도가 될 것으로 추정되었다.

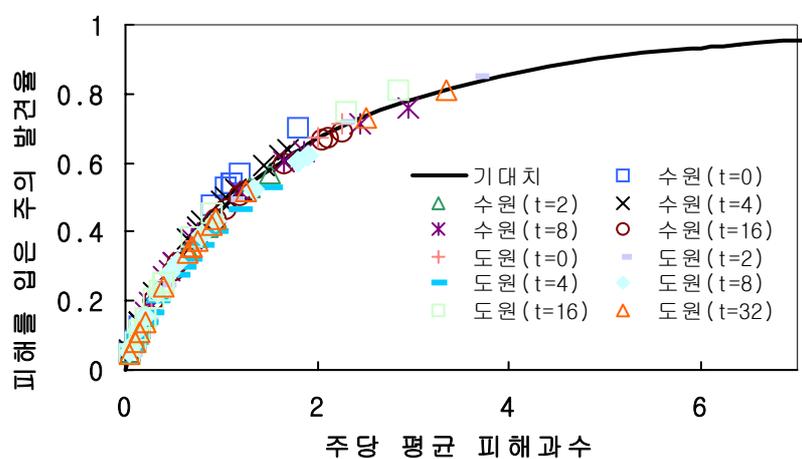


그림 2-51. 수원과 경기도원에서 담배나방에 의한 주당 평균피해과 실수와 피해주율 사이의 관계
(t는 평균피해과수가 일정 기준에 달하면 방제를 하는 처리의 수준)

나) 적정 표본수의 결정

(1) 분석방법

일정한 정밀도에서 표본추출 정지선(식 2-25, Green,1970)과 조사에 필요한 표본수는(식 2-26)(Reusink,1980)이 제시한 방법에 따라 구하였다.

$$\ln Tn = \frac{\ln(D^2/a)}{b-2} + \frac{b-1}{b-2} \ln n \text{ ----- (식 2-25)}$$

$$\text{조사 표본 수}(n) = \frac{a \times m^{(b-2)}}{D^2} \text{ -----(식 2-26)}$$

a, b는 Taylor모형 파라미터, Tn는 누적마릿수, n은 표본 크기, D는 평균에 대한 표준오차 비율의 의미의 고정된 수준의 정밀도, m은 평균피해과수를 나타낸다.

(2) 결 과

고추에서 담배나방 유충에 의한 피해과에 따른 표본크기는 그림 2-52, 2-53과 같다. 대체로 밀도증가에 따라 표본 크기는 줄어드는 경향을 보이고 있다. 그림 2-52에서 보듯 일반적인 경우(임의분포 지역)에서는 평균 피해과가 3개 일때는 8~17개 정도의 표본조사가 필요하다. 그림 2-53에서 볼 수 있듯이 생육이 좋지 않거나 담배나방 발생이 적은 지역(집중분포하는 지역)에서는 12~28개 정도의 표본조사가 필요하다. 따라서 경제적피해허용수준 수준에서는 대체로 20주 전후 정도의 표본조사가 필요할 것으로 보였다.

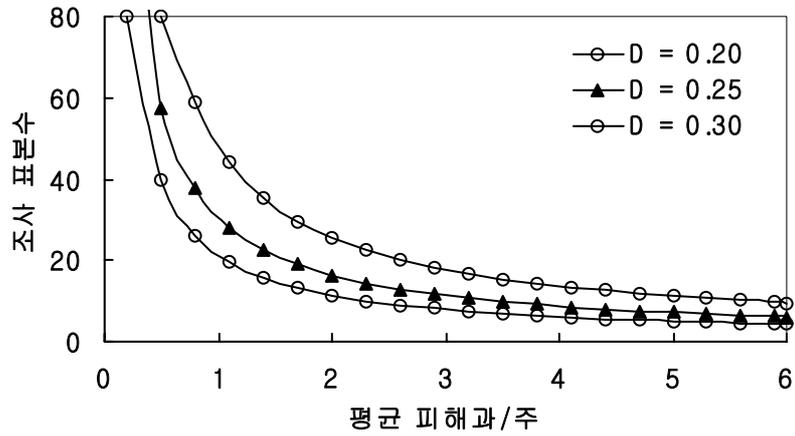


그림 2-52. 담배나방 유충에 의한 피해과가 임의분포하는 지역에서 피해과 표본조사수

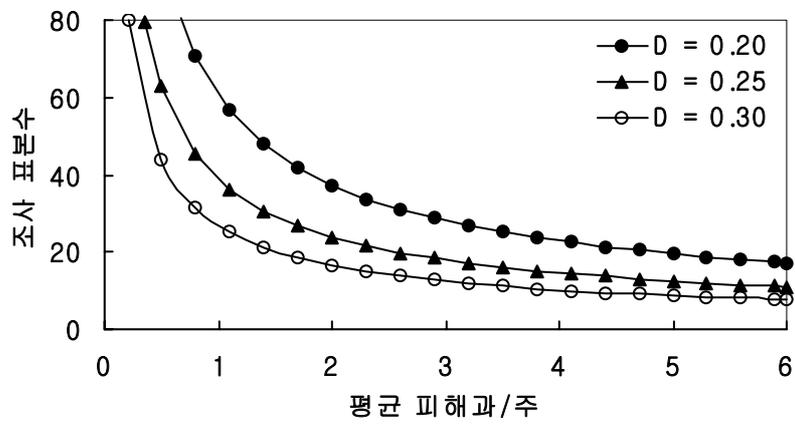


그림 2-53. 담배나방 유충에 의한 피해과가 집중분포하는 지역에서 피해과 표본조사 수

다) 방제 의사결정을 위한 축차표본조사법

(1) 분석방법

축차표본조사법(sequential sampling)에 따라 연속적으로 조사하여 누적밀도 상한선과 하한선은 다음의 공식으로 프로그램(Binns *et al.*, 2000)을 이용하여 구하였다(식 2-27).

$$\begin{aligned}
 L_i &= i \times n_B \left(cd - z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{V}{i \times n_B}} \right) \\
 U_i &= i \times n_B \left(cd + z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{V}{i \times n_B}} \right) \\
 L_I &= U_I = I \times n_B cd
 \end{aligned}
 \tag{식 2-27}$$

(L_i = 하한선, U_i = 상한선, $L_I=U_I$: 최대 표본 조사 한계치, n_B = 표본조사 단위 크기, cd : 임계밀도(경제적피해허용수준), i = 각 표본 조사 수준별 조사 횟수, V = 분산, $Z_{\alpha/2} = 1.96$)

앞서 임의분포 지역은 고정표본조사법으로 조사해야 할 적정 표본 수(트랩)를 표본추출정지선을 통해 15개로 설정했을 때 각각의 한번 조사해야 할 표본단위의 크기를 3개씩으로 설정하여 5번 연속 조사하는 방법, 그리고 5개씩 세 번씩 연속 조사하는 방법으로 설정한 후 축차표본 조사 계획을 구하였다(그림 54). 그리고 집중분포 지역은 고정표본조사법으로 조사해야 할 적정 표본 수(트랩)를 표본추출정지선을 통해 28개로 설정했을 때 각각의 한번 조사해야 할 표본단위의 크기를 4개씩으로 설정하여 7번 연속 조사하는 방법, 그리고 7개씩 4번씩 연속 조사하는 방법, 마지막으로 14번씩 2번 연속 조사하는 방법으로 설정한 후 축차표본 조사 계획을 구하였다(그림 56). 이렇게 설정된 경제적피해허용수준인 담배나방에 의한 피해과 3개 수준과 공간분포 파라메

터들을(TPL a, b; 최소표본단위; 고정정밀도) 활용하여 Mathcad프로그램에서 각각 1,000회에 걸쳐 시뮬레이션을 실행하였다.

(2) 결 과

분석결과는 최대 조사 표본수 수준을 달리함에 따라 OC수와 ASN 함수의 경우 기울기가 거의 비슷하였고 그때 방제의사결정에 필요한 표본수가 조금 달라졌는데 경제적피해허용수준 밀도인 CD에서는 OC확률이 조사방법간에 거의 비슷한 0.5였고 필요한 표본수도 최대 표본수에 가까운 것을 알 수 있었다(그림 2-56, 2-57). 즉, 방제의사 결정을 정확히 하기 위해서 조사하는 표본수를 늘리면 보다 정확한 의사결정을 할 수 있다. 그러나 간이예찰을 통해 방제의사결정을 내리기 위해서는 실제 야외 포장에서의 밀도를 조사가 신속하고 경제적으로 수행되어야 하는데 시간과 비용을 고려하여 선택하는 것이 중요하다.

그러므로 앞서 고정정밀도를 이용한 표본조사법에서 밀도조사를 위하여 필요한 표본조사수를 설정한 다음 축차표본조사법을 실시한다면 더욱 효과적인 표본조사법으로 활용이 가능하리라 여겨진다.

일반적인 경우인 임의분포 지역에서 조사표본수를 3개로 설정한 축차표본조사법에서 최초 3개의 고추주를 육안조사하였을 때 전체 담배나방 피해과의 누적상한선인 약 18개 피해과 수준 이상이였다면 더 이상 표본조사를 중지하고 즉시 방제를 수행해야하는 상황이고 매 조사시기마다 누적밀도가 누적상한과 누적하한 사이였다면 표본조사를 계획대로 수행하면서 의사결정이 이루어질 때까지 밀도조사를 계속 진행하는 방법이다(그림 2-54). 축차표본조사법을 수행하는 과정에서 누적 상한밀도 이상(즉시 방제해야하는 상황)이나 누적하한밀도 이하(표본조사 중단), 또는 두 밀도 중간(표본조사 계속)사이에 있느냐를 결정하여 신속한 의사결정을 할 수 있어서 효과적인 표본조사법이 될 것이다.

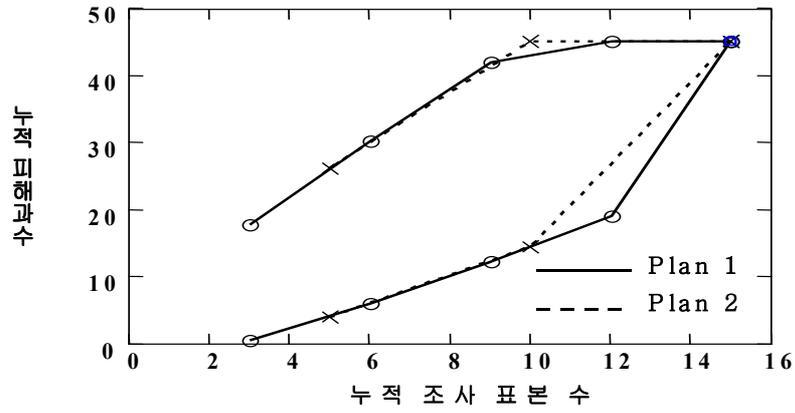


그림 2-54. 일반적인 경우 축차표본추출계획(경제적피해허용수준 = 3개 피해과/주)

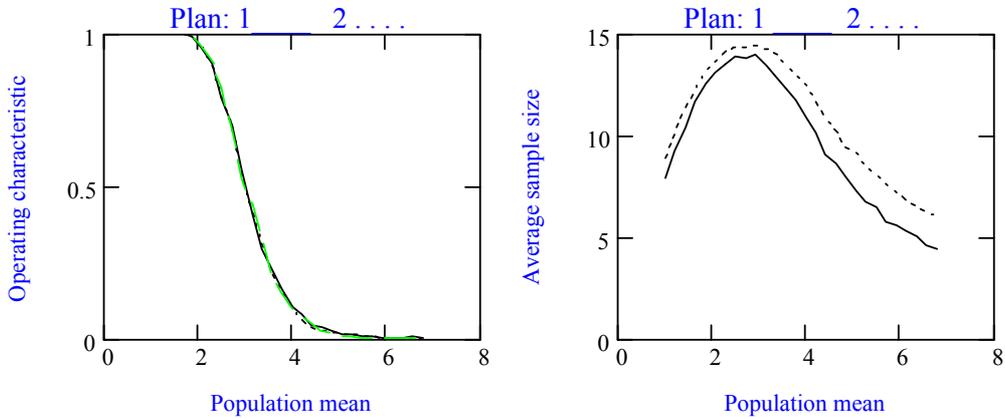


그림 2-55. 임의분포 지역에서 방제 의사결정계획에서 OC 함수와 평균 표본수와의 관계(경제적피해허용수준 3개 피해과/주)

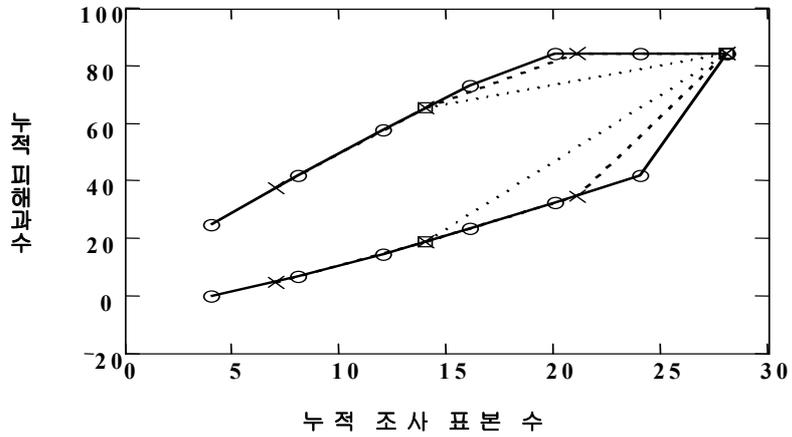


그림 2-56. 공간분포가 집중분포인 경우 축차표본추출계획
(경제적피해허용수준 = 3개 피해과/주)

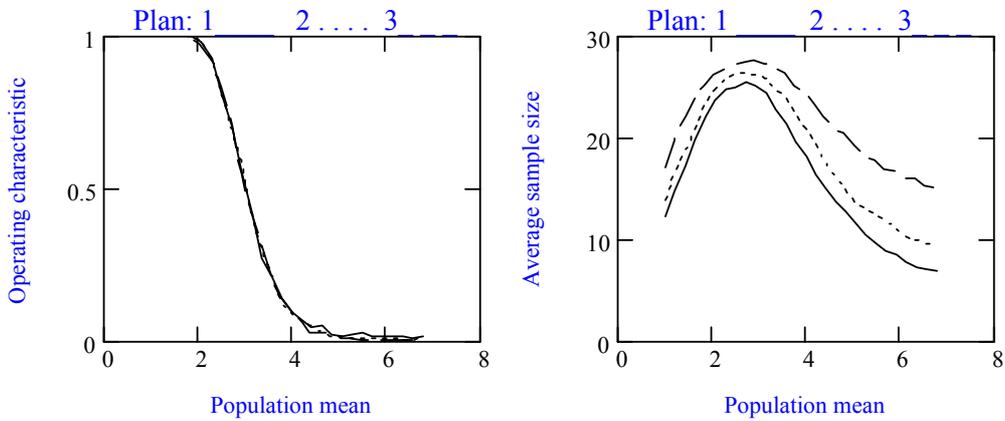


그림 2-57. 집중분포 지역에서 방제의사결정계획에서 OC 함수와 평균 표본수와의 관계(경제적피해허용수준 3개 피해과/주)

2) 성페르몬을 이용한 평균 피해과의 예측

2003년 조사된 경기도 수원 농생대 부속농장과 평택의 자료를 바탕으로 하여 페르몬 트랩에 유인된 성충의 수와 피해과의 관계를 분석하였다. 이때 담배나방이 알에서 번데기가 될 때 까지 300DD(한만위, 1994)가 소요되기 때문에 이 기간이 유충의 기간으로 간주하고 300DD 간격으로 성충수를 합산하였다. 그리고 담배나방 기생봉에 의한 기생율의 영향이 큰 점을 감안 온일도와 기생율의 관계를 식 2-28에서와 같이 계산하여 관계를 도출하였다.

$$y = 803.11x + 668.92 \text{ ----- (식 2-28)}$$

여기서 x는 기생율, y는 누적온일도.

둘 사이의 관계를 그림으로 나타내면 그림 2-58과 같다. 이 관계는 누적온일도가 1400DD 이상이 되면 더 이상 맞지 않는다. 이는 알 기생봉에 의한 기생 이외의 다른 포식성 곤충에 의한 포식이나 먹이 부족으로 인한 유충의 자연 사망률의 증가 등의 다른 요인이 작용하는 것으로 추정된다. 그리고 이 관계는 200평의 고추포장을 기준으로 만들어졌다.

$$y = 0.0002x^{1.9553} (r^2=0.76) \text{ ----- (식 2-29)}$$

여기서 x는 300DD당 유인된 성충수, y는 피해과수.

그러나 2004년도의 자료를 식 2-29에서 구한 상관식에 맞추어 보면 잘 맞지 않았다. 따라서 위의 식을 모든 지역에서 일관적으로 쓰기에는 무리가 있을 것으로 보인다. 이러한 이유는 아래와 같은 것이 영향을 미치는 것으로 보인다.

첫째, 성페르몬 트랩이 전체 담배나방 성충을 대변하지 못한다. 성페르몬 트랩은 주로 암컷에서 발산하는 성페르몬 성분을 합성하여 만들고, 그래서 수컷 성충이 유인된다. 그러나 수컷 성충의 밀도는 실제적인 피해를 주는 유충의 밀도에는 직접적으로 상관이 없다.

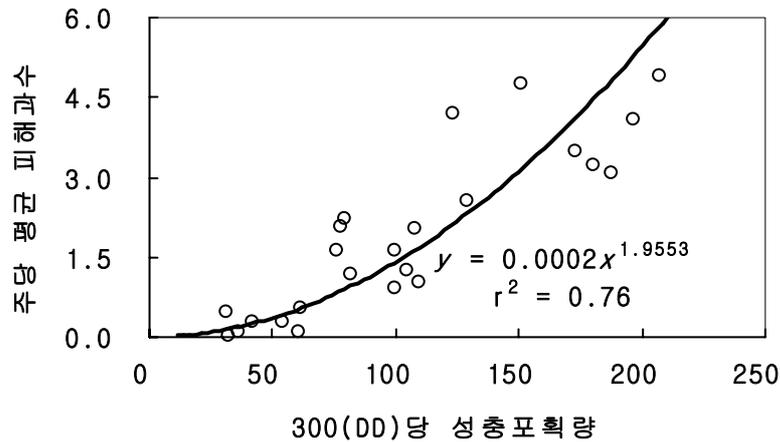


그림 2-58. 성충포획량과 주당 평균 피해과의 관계

둘째, 담배나방 성충의 밀도가 유충의 밀도를 대변하지 못한다. 물론 성충의 밀도는 유충의 수와는 어느정도 상관관계가 있을 수 있다. 그러나 이 성충 밀도과 계절이나 기후조건, 먹이의 상태와 상관없이 항상 유충의 밀도와 관계가 있을 수는 없다. 대신 성충의 밀도와 알과의 관계를 구명하고 알과 유충의 관계를 구명해서 성충과 유충의 관계를 도출한다면 2단계를 거치면서 식이 복잡해지고, 변이요소는 많아지겠지만 어느 정도 관계까지는 도출할 수 있을 것으로 추정된다. 그러나 다시 유충과 피해과의 관계에 이들의 관계를 도입했을 때 성충과 피해과의 관계가 명확해 질 수 있을지는 미지수다.

셋째, 담배나방의 경우 기생봉의 기생율이 최대 90%까지 육박하는 것으로 알려져 있다. 이렇게 천적의 영향이 큰 생물의 경우에 있어서, 성충과 유충의 관계는 명확하게 나타내기 힘들다. 천적이라는 것도 생물이기 때문에 밀도의 변화가 일정한 패턴으로 나타나는 것이 아니라 기온이나 먹이 등 다양한 조건들에 의해 변동하기 때문에 간단한 식으로 나타내기 어렵다. 물론 2003년 자료처럼 특정 지역에서 단기간 동안 맞추어 볼 수는 있으나 이것을 일반화하기는 어려울 것으로 생각된다.

넷째, 담배나방 유충의 연령 분포에 따라 같은 마리가 입히는 당위 시간당 피해과실이 다르다. 실내 실험결과 1령의 경우 1주일 동안 1개 정도의 과실에 피해를 주

며 과해후 탈과시 이미 3령이 되어 있는 경우가 일반적이였다. 그에비해 5령 유충의 경우 1~2일내에 1개 과실 이상을 가해하였다. 따라서 유충의 연령을 고려하지 않을 경우 편이가 발생할 가능성이 크다.

이상에서 살펴본 것처럼 성페로몬 트랩에 유인된 담배나방 수컷의 성충수를 가지고 고추의 피해과와 관계를 맺는다는 것은 어렵다. 그러나 담배나방 개체의 발육 모델이 명확해 지고, 이에 영향을 미치는 기생봉의 모델이 개발된다면 먹이의 상태라는 변수가 있기는 하지만 가능해 질 것이라 생각된다.

그러나 성페로몬 트랩이 피해과와의 직접적인 관계를 맺지 못한다고 하더라도 전혀 쓸모가 없는 것은 아니다. 2003년과 2004년의 자료로 볼 때 성페로몬 트랩은 피해과의 예측에 도움을 줄 수 있다. 대체로 트랩에 성충이 처음 잡히고 난 후 누적온일도 수준으로 200온일도 이후에 최초 피해과가 발생하는 경향이 뚜렷하다. 이는 성충의 짝짓기와 산란, 산란 후 우화, 우화 후 가해의 일련의 가정을 생각해 볼 때도 유사한 결과를 도출할 수 있다. 그리고 피해과의 대발생 직후에는 반드시 트랩에 성충의 대발생이 있다. 따라서 성충수가 지속적으로 증가한다는 것은 피해과 조사를 하지 않더라도 트랩 조사 이전까지 피해과가 지속적으로 증가하고 있다는 경향 정도는 대변할 수 있을 것으로 보인다. 특히 온도가 높고 피해가 극심한 7월 말과 8월 초 부근에는 피해과의 최성기 이후 곧바로 성충의 최성기가 발생한다. 이렇듯 성페로몬 트랩은 현 수준에서 피해과와의 직접적인 관계를 맺기는 힘들지만 피해과의 발생 시기를 예측하거나 그 양을 짐작하는데 사용되어 질 수 있을 것으로 기대된다.

3) 개발된 조사법의 평가

담배나방에 의한 고추 과실의 평균 피해과를 육안으로 조사한 결과를 분석하여 개발한 고정정밀도 표본조사법의 타당성을 검증하고 이를 기반으로 한 평균 피해과의 표본조사법을 개발하고자 개발된 조사법을 평가하였다. 앞에서 개발된 표본 조사법의 타당성을 평가하기 위하여 RVSP(Resampling Validation for Sampling Plan)(Naranjo와 Hutchison, 1997) 프로그램을 이용하여 시뮬레이션하고 이 결과를 통

하여 개발된 방법의 일반성을 평가하였다. 이미 개발된 다양한 표본조사법의 타당성 평가를 위하여 자주 사용하는 방법 중의 하나인 재표본조사법(resampling technique)은 가장 극단의 값에서 요구하는 만큼의 관측치를 최소한 포함하여야 한다는 한계가 있다. 그러므로 본 연구에서는 주당 평균 피해과가 2개 넘지 않은 집중분포 지역의 자료는 제외하고 2003년 자료중 평택과 2004년 자료중 수원의 자료만을 타당성 평가의 재료로 삼았다.

2003년 평택 자료의 경우 11개의 평가세트 중 8개의 평가세트에서 실제 시뮬레이션 D 값이 희망하는 D값보다 같거나 낮게 나타났으며 이때의 평균 피해과의 범위는 주당 2.4개부터 5.0개까지였다. 이때의 평균 D값은 500번 반복의 평균값인데 평가를 위해 더욱 중요한 것은 500번 반복시 각 반복의 실측 D값의 분포이다(Nyrop 과 Binns 1991). 본 연구의 분석 결과 육안 표본조사법의 경우 실측 D 값이 0.25보다 작거나 같을 경우의 분포를 보면 11세트 중에 4세트만이 500 반복 중 75%이상의 반복에서 같거나 낮은 D값을 가졌고 피해과의 발생초기였던 7월 3일, 10일, 17일, 그리고 피해과의 발생 후기였던 9월 9일 평가 자료에서는 원하는 D값보다 낮은 D값을 가지는 반복 비율이 50%를 넘지 않아 피해과의 발생 초기와 후기에서는 원하는 정밀도를 확보하기가 다소 어려웠다(표 2-20).

반면에 2004년 수원 자료의 경우 10개의 평가세트 중 8개의 평가세트에서 실제 시뮬레이션 D 값이 희망하는 D값보다 같거나 낮게 나타났으며 이때의 평균 피해과의 범위는 주당 1.2개부터 5.4개까지였다. 이때의 평균 D값은 500번 반복의 평균값인데 평가를 위해 더욱 중요한 것은 500번 반복시 각 반복의 실측 D값의 분포이다. 본 연구의 분석 결과 육안 표본조사법의 경우 실측 D 값이 0.25보다 작거나 같을 경우의 분포를 보면 10세트 중에 8세트가 500 반복 중 50%이상의 반복에서 같거나 낮은 D값을 가졌고 피해과의 발생 후기였던 10월 7일 평가 자료에서는 원하는 D값보다 낮은 D값을 가지는 반복 비율이 50%를 넘지 않아 발생 후기에는 원하는 정밀도를 확보하기가 다소 어려웠다(표 2-20).

표 2-20. 육안 표본조사법 이용하여 담배나방에 의한 고추 피해과의 밀도를 예측할 경우 RVSP 시뮬레이션을 이용한 표본조사법의 평가 결과(시뮬레이션은 고정 정밀도(D=0.25) 수준에서 500회 반복)

장소 (실험 년도)	조사 자료			시뮬레이션		
	조사 시기	평균 피해과	평균 D	예측 밀도	평균 표본크기	% 시뮬레이션 D ≤ 희망하는 D
경기도 평택 (2003)	7월 3일	1.79	0.29	1.65	20	5.8
	7월 10일	3.66	0.32	3.50	11	13.6
	7월 17일	2.64	0.26	2.57	14	46.4
	7월 24일	4.25	0.24	4.22	10	64.4
	7월 31일	4.80	0.25	4.77	10	56.2
	8월 7일	5.00	0.23	4.92	10	71.2
	8월 14일	3.09	0.20	3.07	12	92.2
	8월 21일	4.21	0.23	4.10	10	92.2
	8월 28일	3.28	0.19	3.22	11	98.0
	9월 4일	3.25	0.22	3.07	12	74.0
9월 9일	2.39	0.25	2.20	15	47.2	
경기도 수원 (2004)	8월 5일	1.22	0.23	1.13	29	94.0
	8월 12일	4.78	0.23	4.69	10	71.2
	8월 19일	5.34	0.21	5.38	10	84.6
	8월 25일	3.50	0.22	3.49	11	84.6
	9월 1일	1.55	0.21	1.48	23	98.2
	9월 9일	2.69	0.20	2.56	13	95.8
	9월 16일	1.67	0.27	1.51	22	44.0
	9월 23일	1.65	0.24	1.56	22	71.2
	9월 30일	1.37	0.21	1.31	26	99.8
10월 7일	1.45	0.26	1.40	25	42.4	

4) 결론

가) 일반적인 상황

일반적인 경우라는 것은 고추의 생육이 예년과 비교하였을 때 비슷한 수준이고 담배나방 발생도 극단적으로 적지 않는 경우에 해당한다. 이때 담배나방에 의한 피해과의 공간분포는 초기에는 집중분포 할 수도 있으나 대부분의 피해가 발생하는 시기에는 임의분포 할 것이다.

이때 Taylor의 집중도 지수는 직접 계산할 수도 있으나 2년 동안 5개 포장에서 조사된 값인 a 는 1.92, b 는 1.09를 이용하여 사용해도 크게 무리가 없을 것으로 보인다. 이 값을 바탕으로 조사에 필요한 표본수는 $\frac{a \times m^{(b-2)}}{D^2}$ 으로 그래프를 그려서

계산할 수 있다(그림 48). 만약 이 글에서 제시한 경제적피해허용수준인 주당 평균 피해과가 3개 수준으로 표본수를 설정한다면 8개에서 17개를 조사하면 된다.

그러나 농민이 직접 10개가 넘는 주를 대상으로 피해과의 개수를 조사한다는 것은 너무나도 힘든 일이다. 따라서 축차표본조사법을 통해서 표본 조사 전략을 구사하게 되면 좋을 듯 하다. 이때 전략은 3개씩 5번을 조사하거나 5개씩 3번을 조사하는 방법이 있겠다. 이는 Mathcad 프로그램을 이용하여 그래프를 그려보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다. 만약 3주씩 5번 조사하는 전략을 구사하여 처음 3주를 조사하였을 때 누적피해과수가 15개라면 표 21에서처럼 누적피해과 상한선인 17.6개와 하한선인 0.4개 사이므로 계속 표본 조사를 실시해야한다. 계속 조사를 하다가 상한선을 넘어갈 경우 조사를 그만두고 방제를, 하한선 아래인 경우 표본조사를 그만 두고 다음주에 다시 실시하면 된다.

그런데 아직 조사시 주를 전체적으로 조사해야 한다는 문제가 남았다. 만약 평균피해과수와 피해주율과의 관계가 일정하게 나온다면 피해의 존재 여부만으로도 방제 여부를 결정할 수 있는 것이다. 이러한 관계는 그림 2-50에서 제시된바 있다. 이것을 축차표본조사법에 도입하여 나타내면 표 21과 같다. 표에서 보듯이 피해과와 피해주

울과의 관계에서 피해주율만을 가지고 방제 여부를 결정할 수 있다. 다시 말해서 피해과의 존재 여부 조사를 상위의 꼬투리 색이 변한 것 중 유충에 의한 구멍이 있는 과실을 한 개라도 확인한다면 그 주는 조사를 중지하고 다음 주를 조사하면 된다. 그리고 조사전략을 5주씩 3번 조사하는 방식을 택했다면 처음 5주를 조사했을 때 피해주의 비율이 표 2-21에서처럼 44% 이하이거나 97% 이상이라면 조사를 그만두면 된다. 만약 44%와 97% 사이라면 다시 5주를 조사하여 10주 중 피해주의 발견비율을 계산하면 된다.

표본 조사시에는 담배나방 유충에 의한 피해를 입은 피해과를 보다 쉽게 찾기 위해서는 꼬투리의 색이 노랗게 되는 특징을 이용하여 파악하면 용이하다. 그리고 이렇게 색깔이 변한 과실이 전체 피해과의 75% 수준을 차지한다. 그리고 고추주의 수직전인 분포로 피해과의 위치를 볼 때 역시 75% 수준이 상위 부위에 위치하므로 약 50%의 피해과가 고추주의 상위부위에 꼬투리 색이 변한 것을 발견할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 이를 이용한다면 피해주를 찾는 노력을 50%는 절감할 수 있을 것이다.

표 2-21. 담배나방에 의한 피해과가 임의분포하는 지역에서 Mathcad 프로그램을 이용한 조사전략에 따른 축차표본조사 계획

조사전략	누적 조사 표본수	누적 피해과 상한선	누적 피해과 하한선	상한선 피해주 발견비율(%)	하한선 피해주 발견비율(%)
3주씩 5번 조사	3	17.6	0.4	100	8
	6	30.1	5.9	96	51
	9	41.8	12.2	95	61
	12	45.0	18.9	92	66
	15	45.0	45.0	86	86
5주씩 3번 조사	5	26.0	4.0	97	44
	10	45.0	14.4	95	63
	15	45.0	45.0	86	86

나) 특이한 경우

특이한 경우라는 것은 고추의 생육이 총채벌레나 진딧물에 의해 극심한 피해를 받아서 고추의 생육이 좋지 않거나 병해가 일정 수준이상 발생한 경우, 담배나방 발생이 적거나 약제 방제를 많이 하는 경우 등을 이야기한다. 이때 담배나방은 고추 과실이 비교적 많이 존재하는 곳에서만 피해를 입히게 된다. 따라서 피해과는 임의분포하는 것이 아니라 집중분포하는 경우가 생긴다. 그리고 고추의 생육이 같은 포장 내에서 차이가 심하게 날때도 이러한 경우가 발생할 수 있다.

이때 Taylor의 집중도 지수는 직접 계산할 수도 있으나 1년 동안 2개 포장에서 조사된 값인 a는 2.42, b는 1.30를 이용하여 사용해도 크게 무리가 없을 것으로 보인다. 이 값을 바탕으로 조사에 필요한 표본수는 앞의 일반적인 경우 처럼 그래프를 그려서 계산할 수 있다(그림 2-53). 만약 이 글에서 제시한 경제적피해허용수준인 주당 평균 피해과가 3개 수준으로 표본수를 설정한다면 12개에서 28개를 조사하면 된다.

그러나 농민이 직접 28개의 고추주를 조사한다는 것은 너무나도 힘든 일이다. 따라서 축차표본조사법을 통한 표본 조사 전략은 4개씩 7번을 조사하거나 7개씩 4번을 조사하거나 14개씩 2번을 조사하는 방법이 있겠다. 이는 Mathcad 프로그램을 이용하여 그래프를 그려보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다. 만약 4주씩 7번 조사하는 전략을 구사하여 처음 4주를 조사하였을 때 누적피해과수가 15개라면 표 2-21에서처럼 누적피해과 상한선인 24.5개와 하한선인 0개 사이므로 계속 표본 조사를 실시해야한다. 계속 조사를 하다가 상한선을 넘어갈 경우 조사를 그만두고 방제를, 하한선 아래인 경우 표본조사를 그만 두고 다음주에 다시 실시하면 된다.

여기서 주당 평균피해과수와 피해주의 발견주율과의 관계는 그림 2-51에서 제시된바와 같다. 이것을 축차표본조사법에 도입하여 나타내 값은 표 2-22와 같다. 그리고 조사전략을 4주씩 7번 조사하는 방식을 택했다면 처음 8주를 조사했을 때 피해주의 비율이 표 2-22에서처럼 40% 이하이거나 91% 이상이라면 조사를 그만두면 된다. 만약 44%와 97% 사이라면 다시 4주를 조사하여 12주 중 피해주의 발견비율을 계산하면 된다.

표 2-22. 담배나방에 의한 피해과가 집중분포하는 지역에서 Mathcad 프로그램을 이용한 조사전략에 따른 축차표본조사 계획

조사전략	누적 조사 표본수	누적 피해과 상한선	누적 피해과 하한선	상한선 피해주 발견비율(%)	하한선 피해주 발견비율(%)
4주씩 7번 조사	4	24.5	0	94	0
	8	41.6	6.4	91	40
	12	57.6	14.4	90	51
	16	72.9	23.1	89	57
	20	84.0	32.2	87	60
	24	84.0	41.5	83	62
	28	84.0	84.0	79	79
7주씩 4번 조사	7	37.5	4.5	92	35
	14	65.3	18.7	89	55
	21	84.0	34.5	86	61
	28	84.0	84.0	79	79
14주씩 2번 조사	14	65.3	18.7	89	55
	28	84.0	84.0	79	79

제 3절. 시설토마토 해충의 경제적피해수준 설정 및 간이 예찰법 개발연구

3-1. 토마토에서 아메리카 잎굴파리에 의한 피해분석 실험

아메리카 잎굴파리에 의한 피해는 크게 성충의 섭식흔 과 산란흔에 의해 발생하는 leaf stippling 피해와, 유충이 식물체 엽 내 조직 내에서 성장하며 섭식에 의해 발생하는 leaf mining 피해로 크게 나누어 볼 수 있다. 이들 두 가지 피해는 모두 엽 내 엽록소를 파괴시켜 식물체의 광합성을 저해하는 피해를 발생 시키며, 국화와 같은 관상식물에서는 잎에 직접 갱도흔적과 산란 흔, 섭식흔을 남김으로서, 미적인 피해를 발생 시킨다. 시설재배 토마토에서는 이들 아메리카 잎굴파리에 의해 광합성률 저해 및 이로 인한 수확량 감소 피해가 발생하고 있다.

이러한 아메리카 잎굴파리에 의한 피해를 분석하고, 경제적 피해수준을 도출하기 위해서는 무엇보다도 피해의 정량화 및 그에 따른 수확량 감소를 산출하는 과정일 것이다.

아메리카 잎굴파리에 의한 피해를 정량화하는 가장 이상적인 접근 방법은 실제 상업적 재배 농가를 대상으로 해충에 의한 피해 정도를 파악하고, 그에 따른 수확량 감소 및 과실 품질저하 등의 경제적 피해 정도를 파악하는 방법일 것이다. 하지만, 이러한 접근 방법은 현실적으로 수행하는데 있어 다음과 같은 중요한 제약점이 존재한다.

- (1). 실제 포장에서 해충의 밀도 추정에 있어서의 문제점.
- (2). 재배자간의 재배 기술 및 방제 기술의 차이에 따른 수확량의 변동
- (3). 가격변동 등 경제적 요인에 의한 투입 기술의 변동.
- (4). 실제 포장에 상응하는 대조구 설정에 있어서의 어려움.

위에 언급된 제약 조건들은 대부분 실험자가 통제하기 어려운 문제들로서, 다양한 방향으로 "해충-수확량 간의 관계"에 영향을 주게 된다. 이러한 문제들은 해충 밀도 또는 피해 수준에 따른 정량화된 피해해석을 불가능하게 만드는 요인들로서 작용하게 된다. 본 실험에서는 다음과 같은 개념도에 기초하여, 단계별 실험의 진행과 그 결과를 해석함으로써, 해충 밀도에 따른 작물의 피해를 정량화하였다.

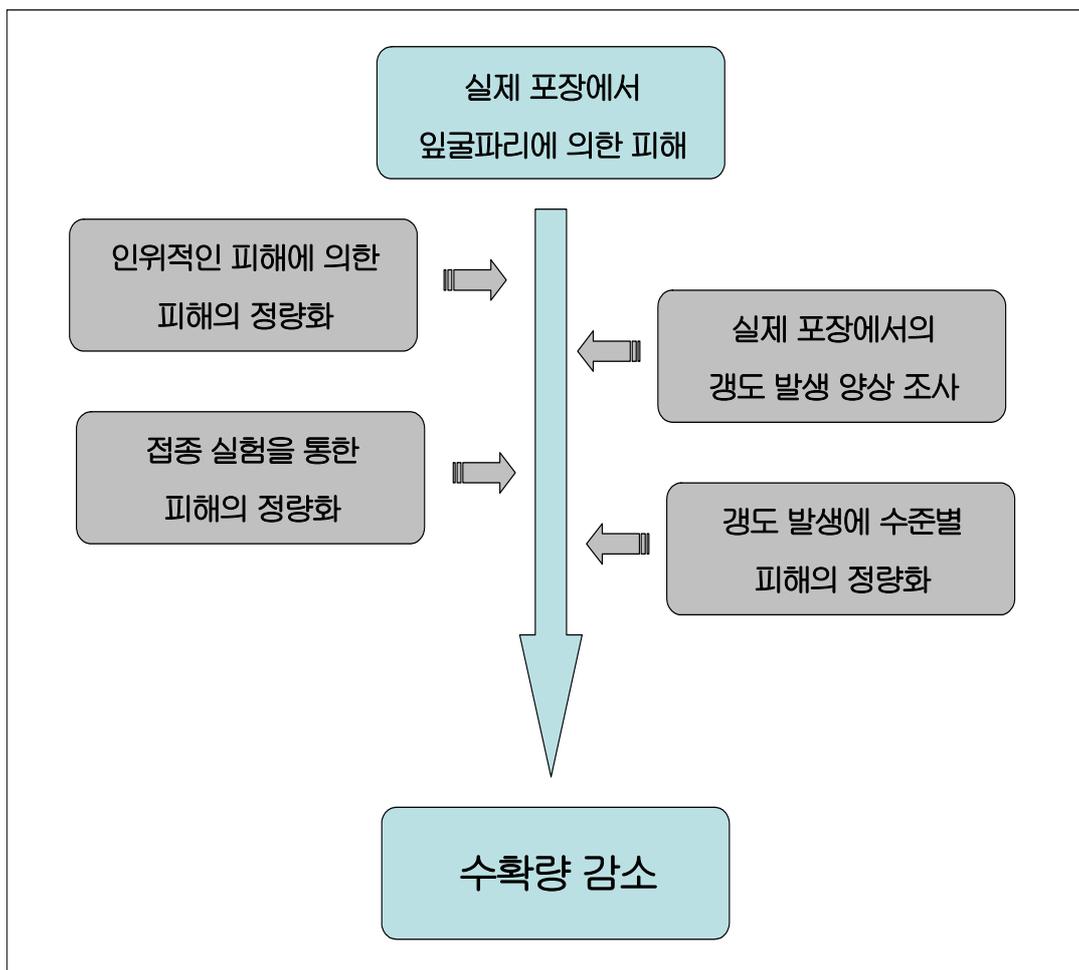


그림 3-1. 피해 정량화를 위한 개념도

가. 실험실 온실조건에서의 인위적 피해실험.

본 실험은 고려대학교 내에 위치한 생명환경과학대학 유리실험 온실에서 2003년 11월 1일부터 최종 수확일인 2004년 4월 28일 까지 진행되었다. 11월 1일 Grodan[®]사에서 양액재배를 위해 상업적으로 판매하고 있는 암면(rock-wool) 플러그에 하우스 도테랑 품종의 토마토(*Lycopersicon esculentim*, "toterang") 종자 60주를 파종하였다. 이후 11월 29일 이들 플러그의 육묘를 암면 블록에 정식하였고, 다음해 1월 18일에 토마토 뿌리가 충분히 성장할 수 있도록 암면 슬라브(100cm X 20cm)에 최종 정식하여 주었다(그림 3-2). 재식 간격은 한 슬라브에 토마토 4주를 정식하여, 약 20cm를 유지하였다. 재배 기간동안 이들 암면에 토마토 한주 당 하루 약 1L의 양액을 공급하여 주었다. 양액의 조성은 Grodan[®]사에서 상업적 농가에 제공하여 주는 조성표에 따라 제조하여 공급하여 주었다. 온실은 최저 19℃에서 최고 31℃를 유지하였으며, 상대습도는 30%-70%를 유지하였다.



그림 3-2. 암면 플러그에 파종한 토마토(좌측상단)와 암면 슬라브에 최종 정식한 토마토(하단)

정식 후 약 70일 후인 2월 5일부터 인위적인 피해실험을 수행하였다. 토마토의 생육 상태는 3단의 꽃이 개화 중이었으며, 약 15-16복엽(compound leaf)이 형성되어 100-120cm 정도 성장하였다. 인위적인 피해는 식물체 하단으로부터 6복엽부터 위부터 시작하여, 3복엽씩을 가해하였다. 10일 간격으로 총 4회의 가해가 하단에서 6번째 복엽위로 총 12복엽에 대하여 가해가 이루어졌다. 인위적인 피해가 식물체에 가해진 후, 3월 중순경 5단위 3복엽위로 적심하였으며, 이때 식물체는 약 160-180cm 정도 성장하였다.

식물체에 인위적인 피해는 총 4구간(5%, 10%, 15%, 20%)의 피해구간을 대상으로 가해졌다. 각각의 피해구간은 [그림 3-3] 과 같이 엽면적 당 가해면적으로 계산되어 결정되었다. 엽 면적 측정기를 이용하여 한 복엽 당 5개 소엽(leaflet)의 면적을 계산 후, 각각의 엽에 해당되는 가해면적을 사무용 천공기를 이용하여 엽에 상처가 남지 않도록 구멍을 뚫어주었다(그림 3-3).

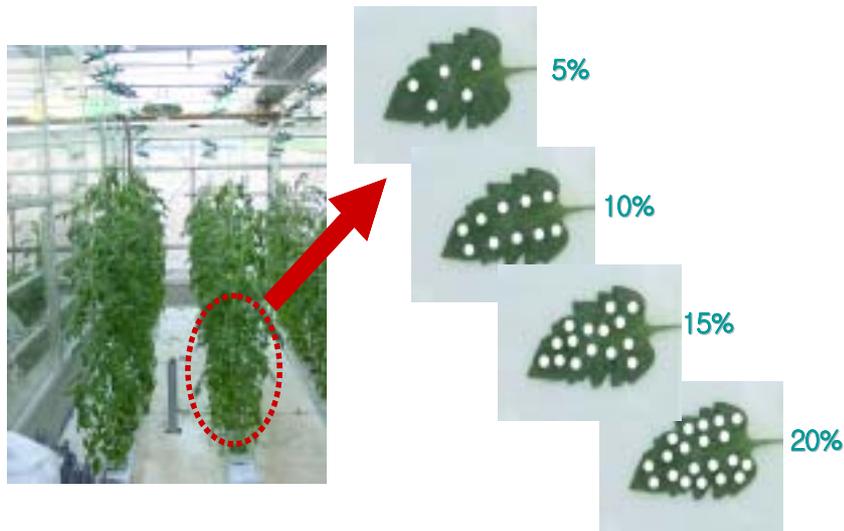


그림 3-3. 인위적 피해실험에서 피해구간에 따른 엽 당 가해정도

토마토 60주에서 잎굴파리 유충이 주로 서식하는 하단부와 중단부에 존재하는 5엽의 면적을 엽면적 측정기를 이용하여 측정한 결과, 하단부와 중단부의 각 3개의 복엽에서 말단부(terminal)의 5개 엽의 평균 엽 면적이 계산되었다. 엽 면적 측정과 인위적 피해가 가해진 복엽 내 말단부 5개 엽에 [그림 3-4]와 같은 방법으로 번호를 정해주었다.

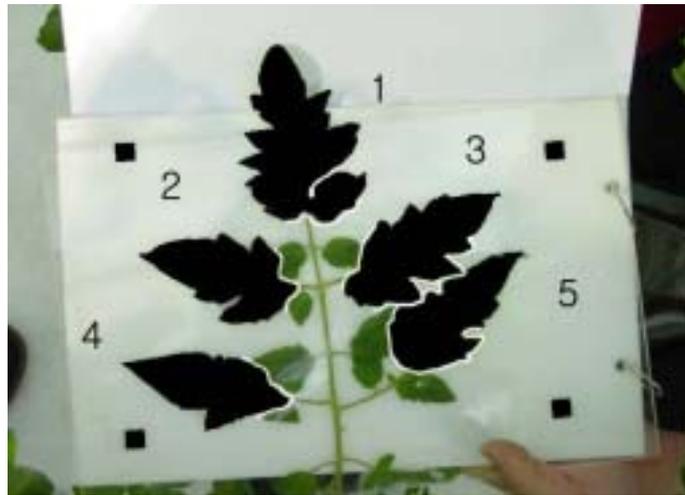


그림 3-4. 복엽내 말단부 5개 소엽의 위치

표 3-1. 하단부와 중단부의 말단부 5엽의 평균 엽 면적 측정 결과(단위:cm²)

Position	No. leaflet				
	1st	2nd	3rd	4th	5th
하단	25.47	20.36	20.12	21.41	20.98
중단	29.82	24.63	24.99	25.86	26.09
평균	27.65	22.49	22.56	23.64	23.53

하단과 중단에서 모두 가장 말단부에 존재하는 1번 소엽의 평균 엽 면적이 가장 크게 나타났다. 또한 하단과 중단부 모두 서로 마주보고 있는 소엽인 2번과 3번, 그리고 4번과 5번 소엽은 서로 평균 엽 면적에 유의한 차이가 없다는 결론을 Paired t-test(SAS Institute)의 결과를 통하여 알 수 있었다. 이는 소엽의 엽 면적을 기초로 하여 이루어지는 피해의 정량화 및 해석과정에 있어서 상당한 장점으로 작용할 수 있는 결과이다. 즉, 실용적인 목적에 있어서 피해해석을 고려할 경우 시간과 노력을 줄여줄 수 있는 부분이라 할 수 있다(표 3-1).

1) 인위적 피해에 따른 광합성량 변화 측정.

식물체에 인위적 피해가 가해진 영양생식 성장기간 동안 대조구와 피해구의 소엽을 대상으로 광합성 측정을 실시하였다. 아메리카 잎굴파리의 유충에 의한 중요한 피해가 갱도 형성에 의한 엽록소의 파괴, 그에 따른 광합성량의 감소인 점을 감안할 때, 본 실험에서 설정한 인위적인 피해가 실제 해충에 의해 발생하는 피해를 얼마만큼 유사하게 모방하고 있는지를 검토할 수 있도록 수행 되었으며, 인위적 피해 수준별 광합성량의 감소율을 측정하기 위하여 수행 되었다.

광합성 측정은 광합성 측정기(Li-6400, Licor, Lincoln)를 이용하여, 영양생식성장시기인 2월 하순경에서 4월 초순까지 일주일 간격으로 총 5회 측정을 실시하였다. 각 피해수준별로 임의로 2개의 식물체를 선정하여, 표기하였으며, 측정은 중단부(지상부로부터 1m 위치)에 존재하는 소엽을 대상으로 실시하였다. 측정은 광합성 측정기를 소엽에 설치 후 이산화탄소의 출입이 안정화되는 시간인 측정 후 500초 이후의 데이터만을 기록하였다. [그림 3-5]는 중단에 위치한 대조구의 소엽을 대상으로 광합성 측정이 안정화 되는 시기를 실험한 결과이다. 그림에서와 같이 측정 후 500초에서 700초 사이에 측정된 광합성량이 안정화된 이산화탄소의 출입을 의미하였으며, 따라서, 본 실험에서는 이 구간에 측정된 광합성량을 이용하여 각 피해구간별 광합성량을 조사하였다.

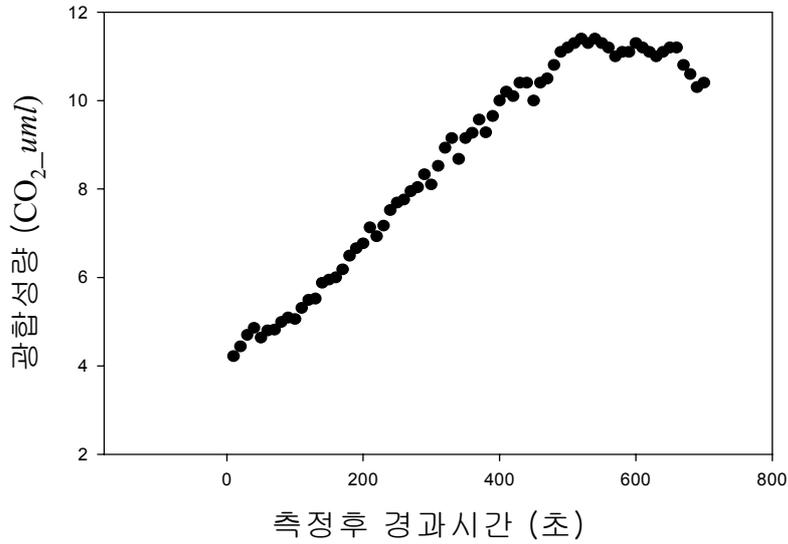


그림 3-5. 대조구의 중단 소엽의 광합성량 측정값의 변화양상

본 실험에서 광합성 측정은 2004년 2월 27일, 3월 7일, 3월 13일, 3월 20일, 4월 1일 총 5회에 걸쳐 측정되었다. 측정기간 동안 대조구의 광합성량 변화를 [그림 3-6]에 나타내었다. 광합성량은 영양생식생장 시기 후기로 접어들수록 그 양이 감소함을 알 수 있다. 식물체의 광합성량 측정값은 일반적으로 날씨에 의해 상당한 영향을 받게 되는데, 본 실험에서는 3월 7일의 데이터가 흐린 날씨로 인하여 정확한 측정이 불가능 하였다.

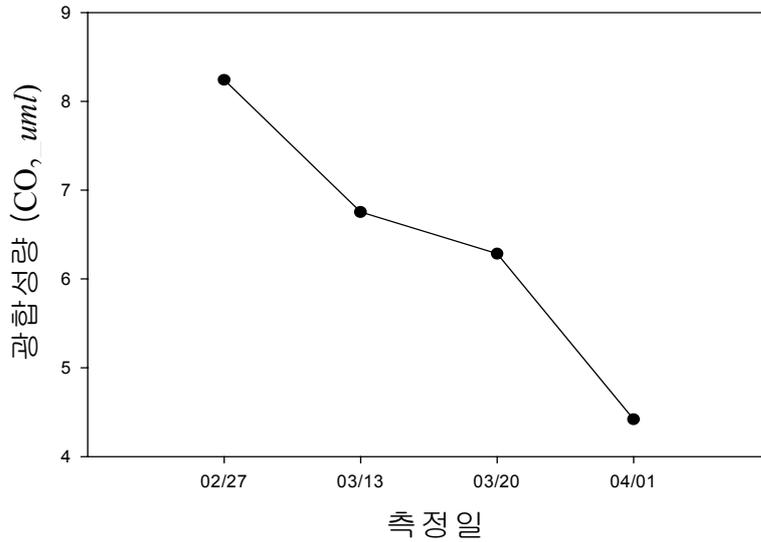


그림 3-6. 영양생식성장기간 동안 대조구의 광합성량 변화

측정된 광합성량은 피해율이 증가함에 따라 그 양이 감소되는 것으로 측정 되었다. 이는 인위적 피해 실험이 아메리카 유충에 의한 갱도피해를 유사하게 모방하고 있음을 의미한다. [표 3-2]는 각 측정일 별 피해수준에 따른 광합성량 측정결과를 요약하고 있다. 4회의 측정결과(두번째 측정결과 제외)의 평균값을 대조군과 비교해보면, 5% 피해수준에서는 약 9%, 10%에서는 33%, 15%에서는 42%, 20%에서는 33%의 광합성 감소가 발생하였다. 15%의 면적에 인위적인 피해가 가해지는 경우 식물체는 그 면적의 약 3배에 이르는 42%의 광합성량 감소가 발생하였다.

표 3-2. 인위적 피해수준별 광합성량 감소

측정일	광합성량(CO ₂ _uml)				
	대조구	5%	10%	15%	20%
2월 27일	8.24	6.50	5.93	5.23	5.73
3월 13일	6.75	6.12	4.87	3.92	4.38
3월 20일	6.28	6.22	4.78	4.46	4.29
4월 1일	4.42	4.57	1.61	1.31	2.97
평균	6.42	5.85	4.30	3.73	4.34

[그림 3-7]은 각 측정일별로 피해수준에 따른 광합성량의 감소를 나타내고 있다. 대조구에 비하여 15%까지는 광합성량의 감소가 나타나지만, 20%피해수준에서는 다시 증가하는 양상을 나타내는데, 이는 광합성 측정을 위해 선정된 토마토 기주간의 생리적 차이에 기인하는 것으로 생각된다. 하지만, 15% 피해수준까지의 광합성량 감소를 통하여, 인위적 피해의 광합성량 감소 비율을 정량화 하는 것이 가능하다. 이는 갱도에 의한 광합성량 감소 결과와 비교가 가능하며, 이를 통하여 인위적 피해와 실제 갱도에 의한 피해사이의 관계를 파악하는 것이 가능 할 것이다.

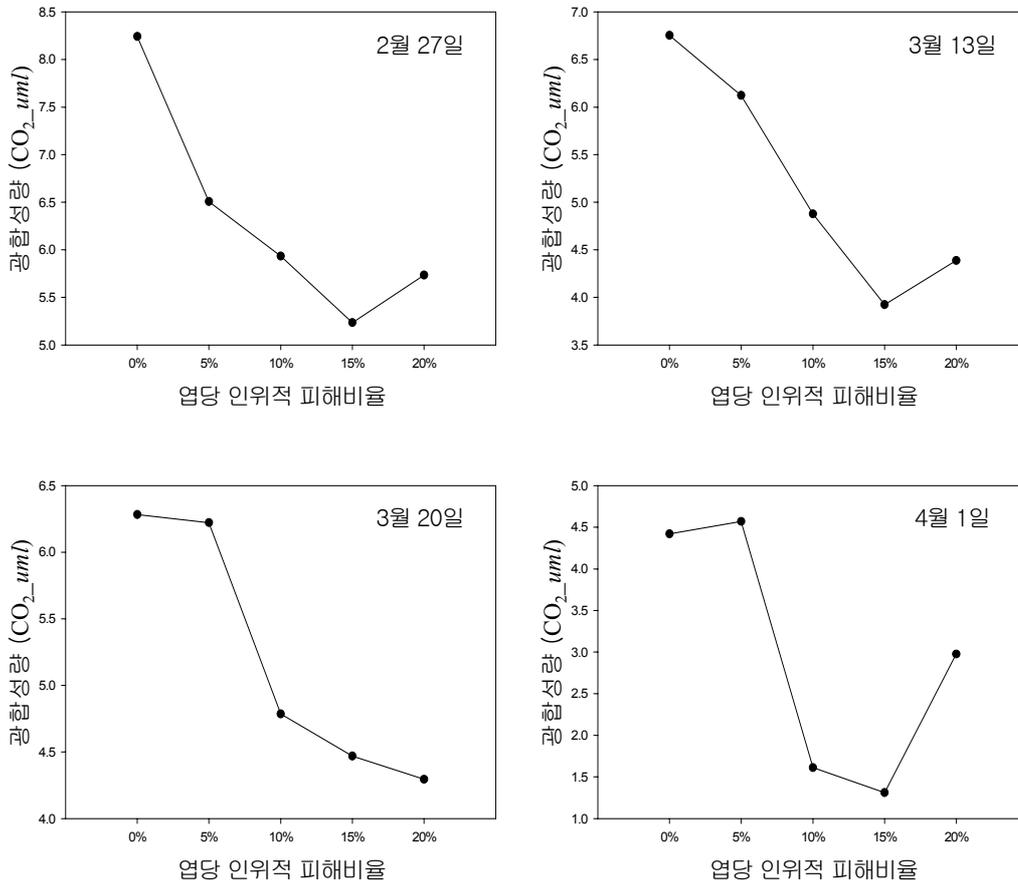


그림 3-7. 인위적 피해에 따른 광합성량 변화

2) 인위적 피해에 따른 엽록소량 변화

앞서의 광합성량 감소 결과를 바탕으로, 엽 내 엽록소 함량의 변화 유무를 판별하기 위하여, 간이 엽록소 측정기(SPAD-502, Minolta)를 이용하여, 식물체의 하단, 중단, 그리고 인위적 피해가 가해지지 않은 상단을 대상으로 엽록소 측정을 실시하였다. 간이 엽록소 측정기를 이용하여, 영양생식생장시기인 3월 11일, 4월 15일, 그리

고, 수확 후 5월 13일 총 3회에 걸쳐 약 한달 간격으로 총 3회 측정을 실시하였다. [그림 3-8]은 대조구의 SPAD 값 변화를 나타내주고 있다.

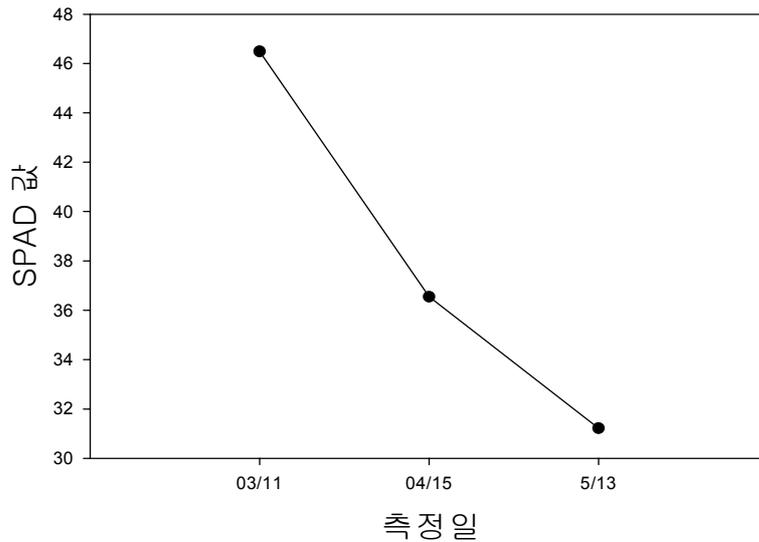


그림 3-8. 측정일자별 대조구의 SPAD값의 변화

대조구의 SPAD값은 측정이 이루어진 약 2달간의 기간동안 하단, 중단, 그리고 상단의 평균 SPAD 값이 46.48에서 31.21로 32.86% 감소함을 보여주고 있다. 이는 식물체가 영양생식 성장시기에서 생식시기로 진행되면서 엽록소의 함량이 자연적으로 감소함을 나타내고 있다.

다음으로 [그림 3-9, 10]은 하단, 중단, 상단에서의 SPAD값의 변화를 보여주고 있다. 인위적 피해가 가해진 하단의 경우, 단순히 인위적 피해에 의해 제거된 면적의 비율보다도 높은 비율로 엽록소의 함량이 낮아짐을 보여주고 있다. 또한 피해가 가해지지 않은 상단의 경우도, 피해비율에 비례하여 엽록소의 함량이 감소하고 있다. 이는 하단과 중단의 피해가 각각의 위치에만 국한 되는 것이 아니라, 피해를 받지 않은 상단부의 영양상태에 까지 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다.

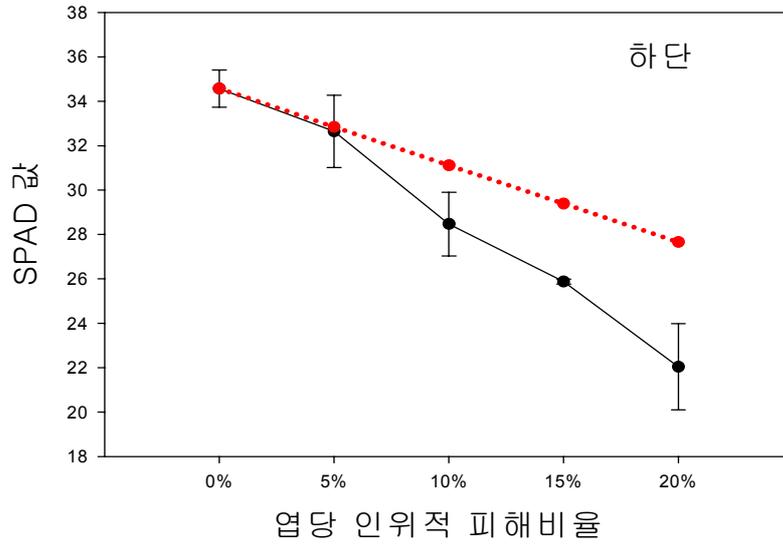


그림 3-9. 하단부의 인위적 피해에 따른 엽록소 측정결과

그림에서 점선은 피해 면적에 따라 예측한 엽록소 감소량을 나타낸다. 하지만, 그림에서와 같이 실제 피해 엽의 엽록소는 피해면적 이상의 면적에 해당하는 피해가 발생하고 있음을 나타내고 있다. 또한 예측치와 실제 관측치의 차이는 피해비율이 증가함에 따라 그 차이가 증가함을 알 수 있다.

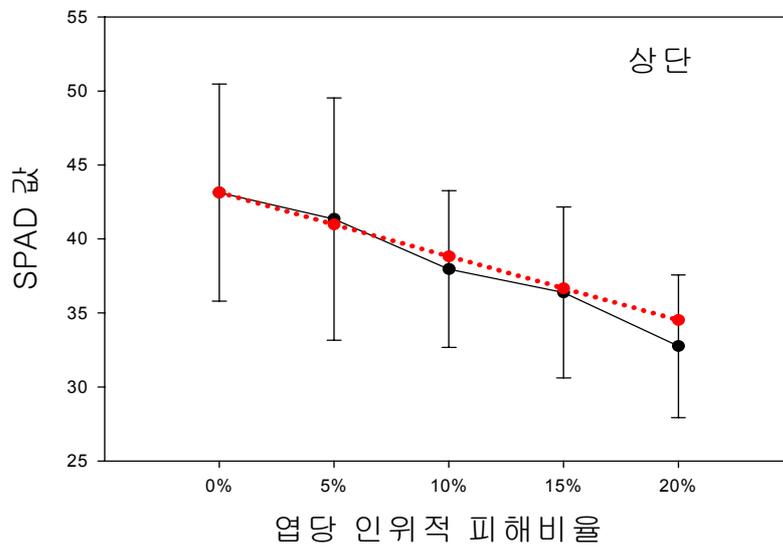
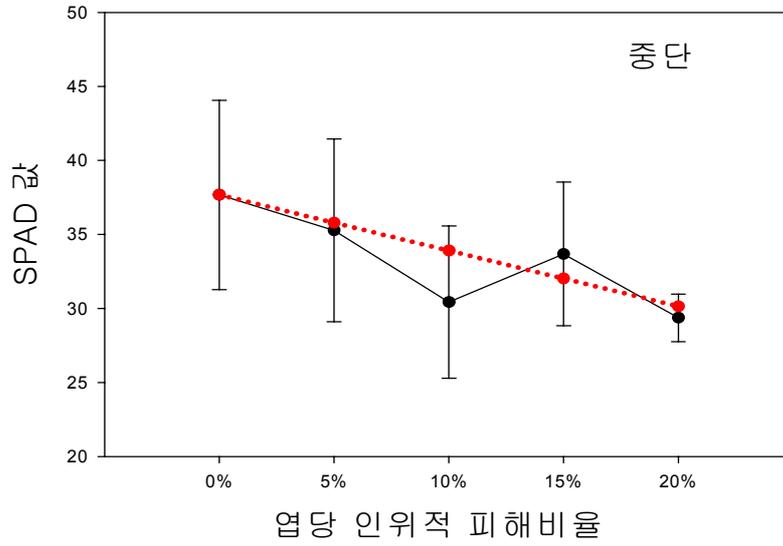


그림 3-10. 하단부의 피해비율에 따른 중단, 상단부의 엽록소 측정 결과의 변화

SPAD를 이용한 간이 엽록소 측정은 엽록소 함량에 대한 절대값을 측정하는 것은 아니지만, 상대적인 값을 빠르고 쉽게 측정할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점은 실제 상업적 포장에서 재배자들이 빠르고 쉽게 작물의 엽록소 함량을 평가할 수 있는 기회를 제공하여 줄 수 있다.

다음으로는 SPAD를 측정한 소엽에서 실제 엽록소를 추출하여, 엽록소 함량을 측정하였다. [그림 3-11]은 측정기간 동안의 실제 추출된 엽록소 함량의 변화를 보여주고 있다.

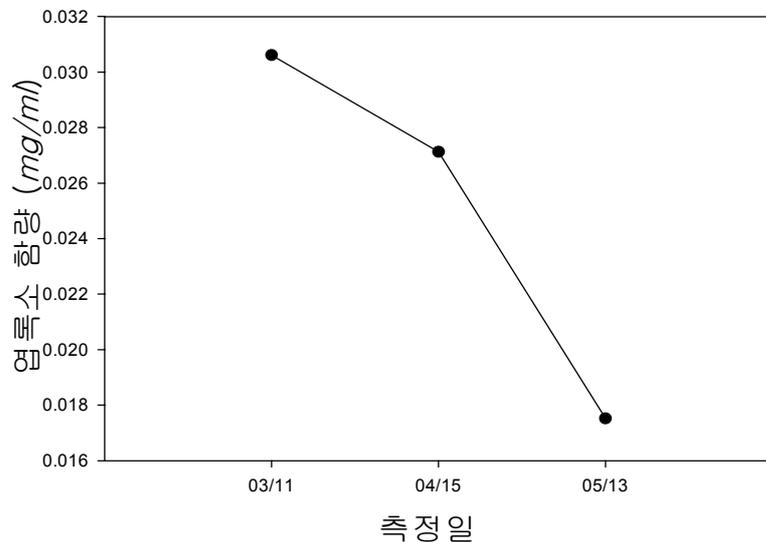


그림 3-11. 측정일자별 엽록소 함량 변화

[그림 3-11]은 하단, 중단, 상단의 SPAD 값을 측정한 소엽에서 추출한 엽록소의 평균값으로, 약 2달 동안의 측정기간 동안 감소하는 양상을 나타내었다. 이는 앞서의 SPAD측정 결과와 동일한 양상으로, 실제 엽록소 추출값과 간이 엽록소 측정을 통한 SPAD값과의 상관관계가 존재하고 있음을 의미하는 결과이다. 즉, 실제 포장에서 엽록소 추출에 의한 엽록소 함량조사는 현실적으로 어렵기 때문에 간이 엽록소 측정을 통한 SPAD 값과 실제 엽록소 추출값과의 상관관계를 이용한다면, 간단한 간이 엽록소

측정을 통하여, 실제 엽 내 엽록소 함량을 예측하는 것이 가능할 것임을 의미하는 결과이다. 다음으로는 각각의 소엽에서 측정한 SPAD 값과, 실제 엽록소 함량과의 상관관계를 추정하여 보았다.

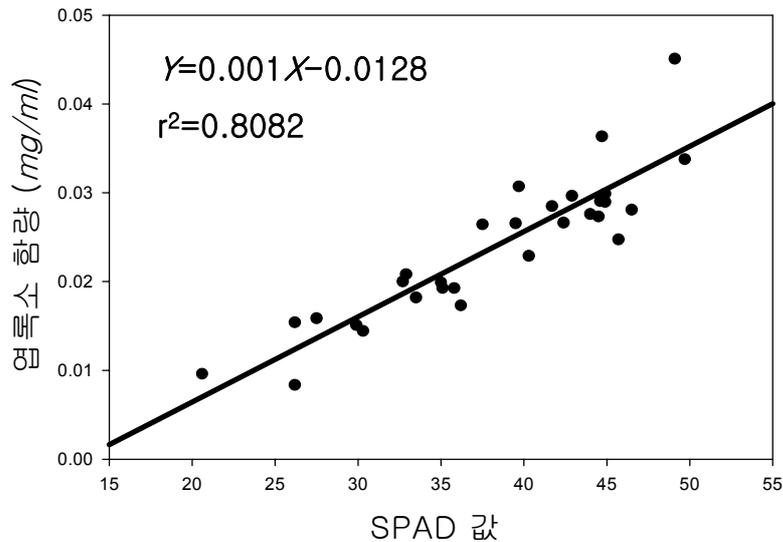


그림 3-12. SPAD 값과 엽록소 함량과의 상관관계

[그림 3-12]를 통하여, SPAD값과 엽록소 함량과의 관계는 결정계수값이 0.80 이상으로 높은 상관관계를 맺고 있음을 알 수 있다. 이는 앞서 가정한 SPAD 값의 변화 양상과 엽록소 함량과의 변화 양상이 유사함을 설명하는 동시에, 간이 엽록소 측정기를 통한 SPAD값이 실제 엽록소 함량을 추정하는데 유용하게 사용될 수 있음을 의미하는 결과이다.

앞서의 결과를 요약하면, 인위적인 피해 정도에 따라, 광합성량이 감소하는 결과를 얻을 수 있었으며, 이는 피해에 따른 엽 내 엽록소 함량의 감소에 기인하는 것으로 밝혀졌다. 또한, 엽 내 엽록소 함량과 간이 엽록소 측정 결과인 SPAD값과의 높은 상관관계를 통하여, 실제 포장에서 적용가능한 간이 엽록소 측정법을 통한 실제 엽록소 함량 추정의 타당성을 검증할 수 있었다.

3) 인위적인 피해에 따른 수확량의 변화

앞서의 결과를 통하여, 본 실험에서 설정한 인위적 피해가 실제 아메리카 앞굴파리 유충에 의한 갱도피해를 유사하게 모의하고 있음을 확인 할 수 있었다. 이는 정량화된 인위적 피해와 최종적인 수확량과의 관계를 도출하여, 피해의 정량화가 가능함을 의미하는 부분이다. 다음으로는 인위적 피해에 따른 수확량 변화에 관하여 조사하였다. 먼저, 각 피해구간별 개화수를 첫 개화가 관찰된 2월 5일 이후 기록하였다. 수확은 4월 2일부터 2월 28일까지 약 1개월간 이루어졌으며, 수확한 토마토는 중량, 당도, 크기(과고, 과폭)를 측정하였다. [그림 3-13]은 피해구간별 개화수 변화를 나타내고 있다.

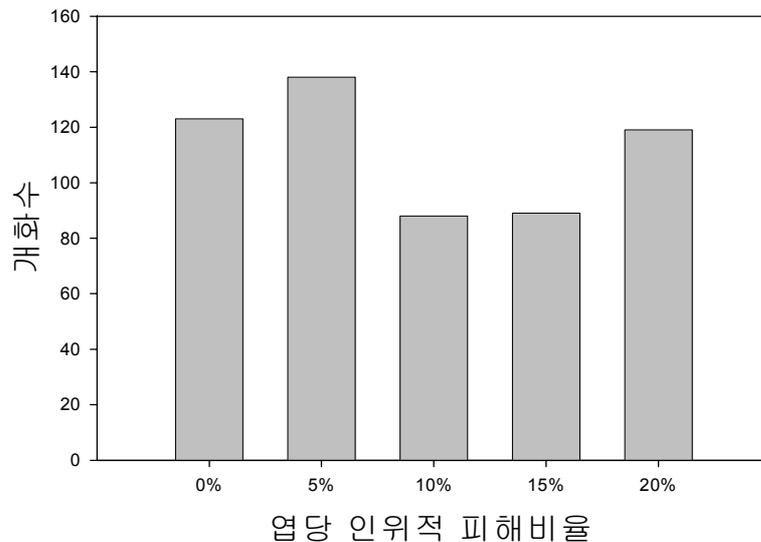


그림 3-13. 인위적 피해비율에 따른 개화 수 변화

10%와 15%의 피해수준에서는 개화수가 대조구에 비하여 약 27%정도 감소하는 결과를 나타내었다. 하지만, 5%에서는 약 12%가 증가하였고, 20%의 피해수준

에서는 대조구와 거의 비슷한 수준의 개화수를 나타내어 상반되는 결과를 보여주었다.

다음으로는 인위적인 피해에 따른 수확량의 변화에 관한 결과이다. 4월 2일부터 약 1개월간 수행된 과실 수확에서 피해비율에 따른 수확중량의 총합은 [그림 3-14]와 같았다.

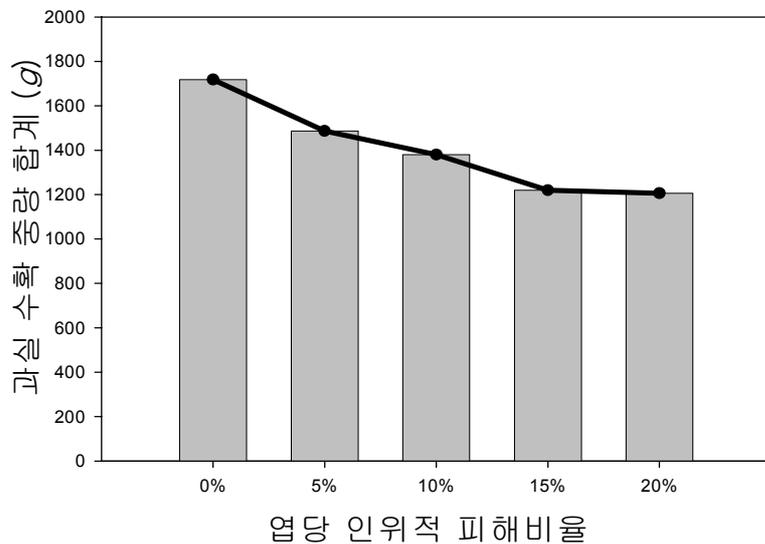


그림 3-14. 인위적 피해비율에 따른 과실중량 합계 변화

그림에서와 같이 엽당 인위적 피해비율이 증가할 경우 그에 따른 식물체 당 수확중량의 총합은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 [그림 3-13]의 개화수에 관한 결과에서 5%, 20% 피해수준에서 나타난 결과와 상반되는 것으로, 이들 피해구간에서 개화수가 증가 또는 대조구와 비슷한 수준이었음에도, 실제 수확량에 있어서는 인위적 피해에 의한 수확중량 감소가 있었음을 의미한다.

다음 결과는 피해수준별 과실 1개당 평균 중량에 관한 내용이다. [그림 3-15]는 각 피해수준에서 과실 1개당 평균 중량을 나타내고 있다.

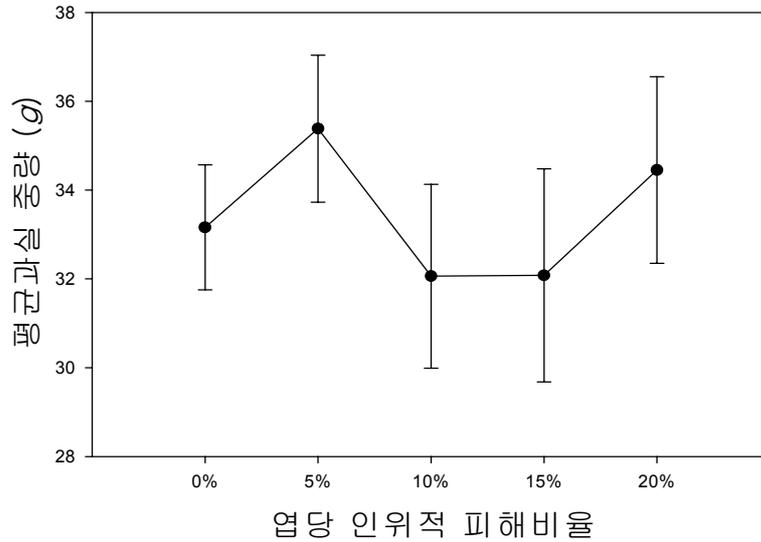


그림 3-15. 인위적 피해비율에 따른 평균 과실중량 변화

평균 과실 중량의 경우 10%, 15% 피해수준에서 대조구에 비하여 평균값이 낮게 관찰되었으며, 5%는 대조구보다 높게, 20%의 경우 대조구와 비슷한 수준의 평균값이 계산되었다. 하지만, 이들 평균에 대하여 Tukey test(SAS Institute)를 하여, 다중평균을 비교한 결과 이들 평균은 유의수준 5%하에서 유의한 차이가 나타나지 않았다. 평균 과실중량에 대한 결과는 [그림 3-14]의 피해수준별 과실중량 합계와는 대조적으로, 피해수준에 따른 영향이 관찰되지 않았다. 이에, 본 실험에서의 두 실험결과를 통하여, 인위적인 피해가 총 수확중량 감소에는 영향을 미치지 않지만, 과실 1개의 평균 중량에는 유의한 영향이 존재하지 않았음을 알 수 있었다.

다음은 피해수준별 과실의 수확 개수에 관한 결과이다. 피해수준별 로 수확기간 동안 수확한 토마토의 개수를 모두 합산하여 얻은 결과로 피해수준이 증가할수록 수확 개수는 감소하는 결과를 나타내었다.

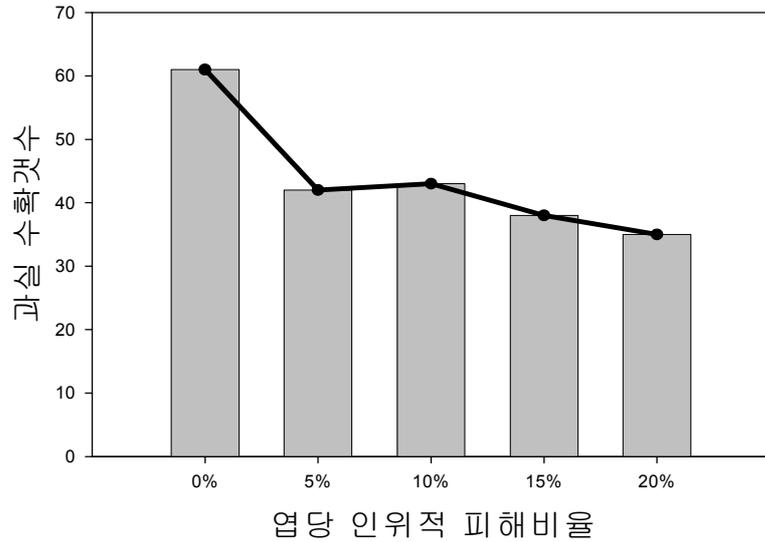


그림 3-16. 인위적 피해비율에 따른 과실 수확 개수 변화

[그림 3-16]의 결과는 과실수확 중량 합계 결과와 함께, 인위적 피해에 의한 수확량 변화감소 양상을 나타내고 있다. 이는 인위적인 피해가 과실 1개의 중량에는 유의한 영향을 주지 않지만, 하나의 식물체 단위로 수확에 영향을 주어, 총 과실 생산 중량과, 수확 개수에 영향을 주고 있음을 의미한다. 이 둘의 결과를 통하여, 정량화된 인위적인 피해에 따른 과실 수확량 감소비율을 [표 3-3]과 같이 정리할 수 있다.

표 3-3. 인위적 피해비율에 따른 수확중량 및 수확 개수 감소율

	인위적 피해비율			
	5%	10%	15%	20%
수확중량 감소율(%)	13.49	19.73	29.02	29.80
수확개수 감소율(%)	31.14	29.50	37.70	42.62

[표 3-3]의 결과는 인위적 피해비율과 수확중량 감소율 및, 수확 개수 감소율과의 관계를 나타내고 있다. 엽당 인위적 피해 비율에 따른 엽록소 함량 감소 결과를 고려해 볼 경우, 인위적인 피해에 의한 수량감소는 피해 면적 손실율에 비해 높은 엽록소 감소를 발생시키고, 결과적으로 그에 대응하는 작물의 수량 감소를 발생시킬 수 있다. 다음으로는 피해수준별 과실의 품질에 관한 결과이다. 품질을 평가하기 위하여, 본 실험에서는 과실의 당도 와 이상과 유무를 판별하기 위한 과고, 과폭의 비율을 조사하였다.

피해수준별 당도측정 결과, 10%, 15%의 피해수준에서 과실의 당도가 대조구에 비하여 낮게 측정되었지만, Tukey test(SAS Institute)를 통한, 다중 평균비교 결과 유의수준 5%하에서 평균 간에 유의한 차이가 존재하지 않음을 확인할 수 있었다. 이는 인위적인 피해가 과실의 당도에는 유의한 영향을 미치지 않았음을 의미 한다(그림 3-17).

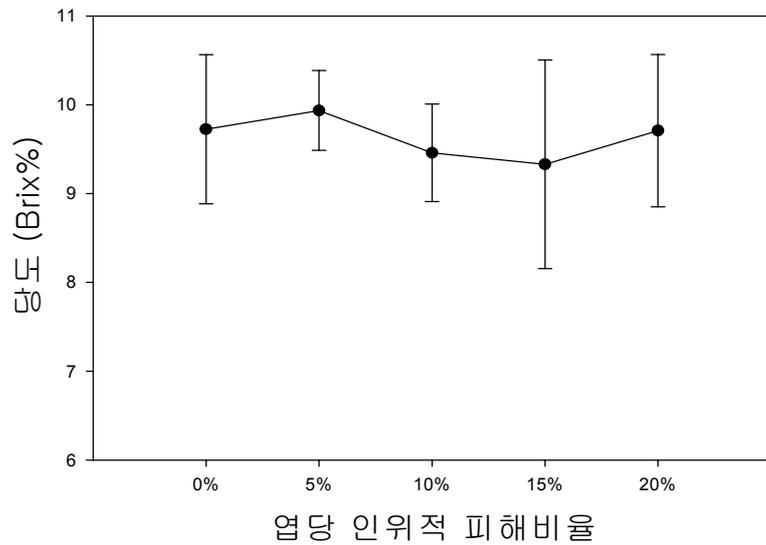


그림 3-17. 인위적 피해비율에 따른 당도 변화

다음은 미적(cosmetic) 이상과를 판별하기 위하여 토마토의 중심으로부터 장축과 단축의 비율을 조사하였다. 수확된 대부분의 과실의 경우 미적인 기형성이 발견되지 않았으며, 평균 장축 과 단축의 비율도 피해수준에 관계없이 0.91이상의 값을 나타내었다(그림 3-18). 장축에 대한 단축의 비율이 0.80에 미치지 못하는 경우를 이상과의 기준으로 정하였을 경우, 대조구에서 3개, 5%피해에서 3개, 10%에서 1개, 15%에서 2개가 발견되었다. 이는 인위적 피해에 의한 발생보다는, 수확 개수의 차이에 기인하여 얻어진 결과로 사료된다.

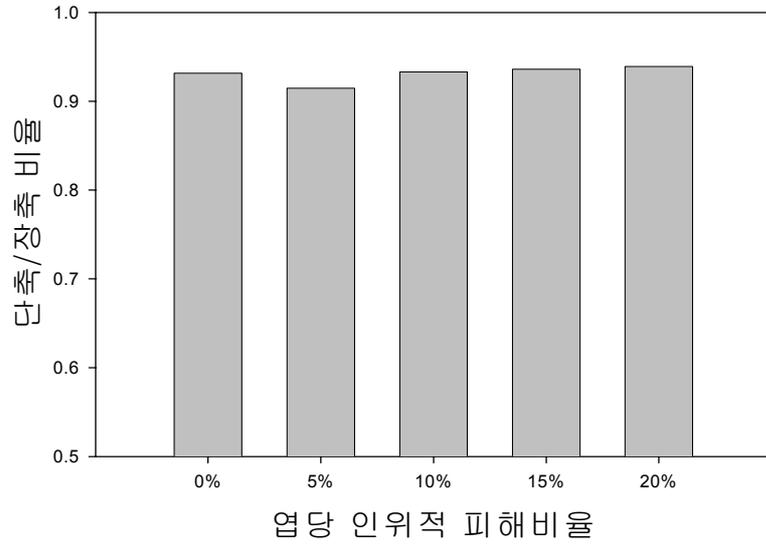


그림 3-18. 인위적 피해에 따른 과실의 단축-장축 비율 측정결과

나. 실험실 온실 환경에서 아메리카 잎굴파리의 유충에 의한 갱도발육.

본 실험은 고려대학교 내에 위치한 생명환경과학대학 유리실험 온실에서 2004년 5월 9일부터 5월 21일 까지 진행되었다. 토마토 재배방법은 인위적 피해실험에 서와 동일한 조건과 동일한 방법에 의해 진행되었다. 전남 담양의 시설온실에서 채집하 여온 아메리카 잎굴파리의 번데기를 25℃, 상대습도 80%, 명:암=16:8의 조건에서 우화 시켜, 이들 성충을 이용하여 실험을 진행하였다. 토마토 중하단부의 하나의 복엽을 선 정하여, 이들 복엽에 10마리의 성충을 비닐백을 이용하여, 접종하여 주었다. 접종 후 24 시간 동안 복엽을 잎굴파리 성충에 노출시켜 주었으며, 24시간이후, 비닐백과 함께 성 충을 제거하여 주었다. 1개의 소엽에 과다한 갱도 형성을 억제하기 위하여, 하나의 유 충을 제거한 나머지 유충은 곤충핀을 이용하여 제거하여 주었다. 이후 24시간 간격으로 유충에 의한 갱도 발육을 관찰하였다. 관찰 방법은 디지털 카메라(Nikon Coolpix 4500, Japan)를 이용하여, 발육이 관찰된 소엽을 촬영하였다. 이후 이들 디지털 이미지는 화 상분석기법을 이용하여, 엽 면적, 갱도면적을 계산하였다.

1) 엽 면적 및 갱도면적 분석을 위한 화상분석 및 온도발육.

본 실험에서는 정확한 엽 면적과 잎굴파리 유충에 의해 형성된 갱도 면적 의 계산을 위하여, Photshop(Adobe, USA), 과 Matrox Inspector(Matrox electronic system, USA) 소프트웨어를 이용하여 디지털 화상분석을 실시하였다. 이는 엽 면적 측정기가 전체 엽 면적에는 이용 가능하지만, 엽 위에 형성된 갱도 면적을 구분하지 못하는 단점으로 인하여, 이를 보완하기 위하여, 별도의 화상분석 기법이 이용되었다. [그림 3-19]는 화상분석 과정에서 엽 면적 과 갱도면적을 구별하는 과정을 보여주고 있다.

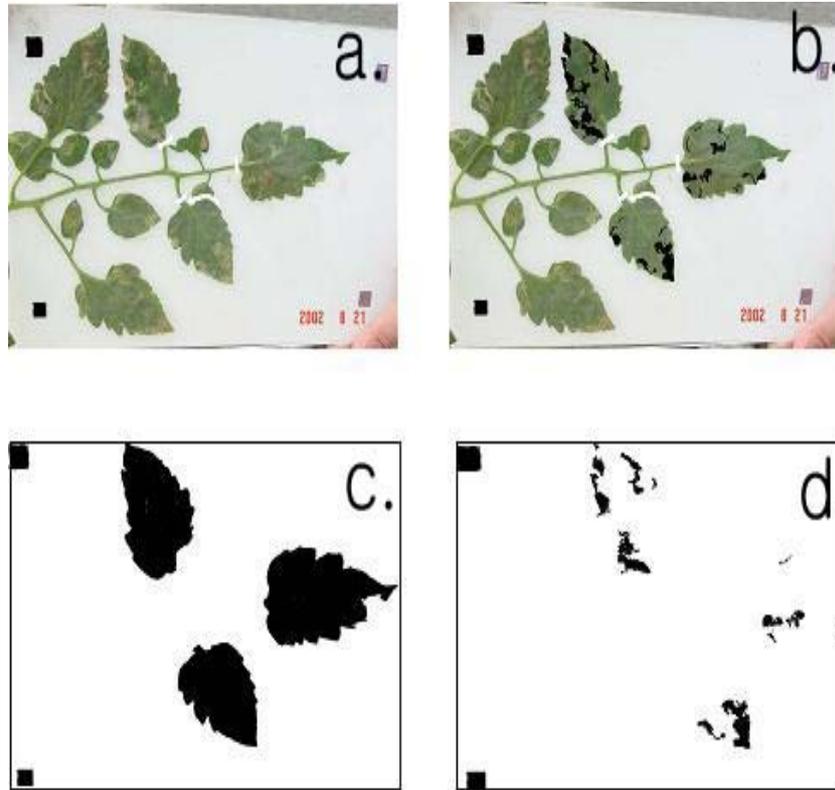


그림 3-19. 엽 면적 및 갱도 면적 분석을 위한 화상분석 과정

[그림 3-19a] 와 같이 촬영한 디지털 이미지를 소엽단위로 분석하기 위하여 Photoshop 소프트웨어에서 전 처리 단계로서 소엽단위로 구분을 설정하여 준다. 이후 [그림 3-19c]와 같이 처리하여 각 소엽별 엽 면적을 Inspector 소프트웨어를 이용하여 분석한다. 다음으로 [그림 3-19b]와 같이 소엽위에 형성된 갱도 부분만을 구분하여 준다. 다음으로 엽 면적 분석과정과 동일한 방법으로 Inspector 소프트웨어를 이용하여, 갱도면적을 분석한다. 위의 과정을 통하여, 24시간 간격으로 촬영된 디지털 이미지를 분석하여, 갱도의 증가율을 계산하였으며, Lanzoni(2002)가 제시한 유충의 발육영점 온도인 10.5℃를 이용하여, 발육기간을 Degree-day로 환산하여 주었다. [표 3-4]는 갱도 발육 기간, 갱도 발육 Degree-day, 평균 갱도면적에 대한 결과를 보여주고 있다.

표 3-4. 갯도발육 기간, 갯도발육 Degree-day, 그리고 평균 갯도면적 결과

갯도발육 기간 (Mean±SD)	갯도발육 Degree-day (Mean±SD)	갯도면적 (Mean±SE)
3.4±0.5 일	58.9±8.6 DD	0.60±0.03 cm ²

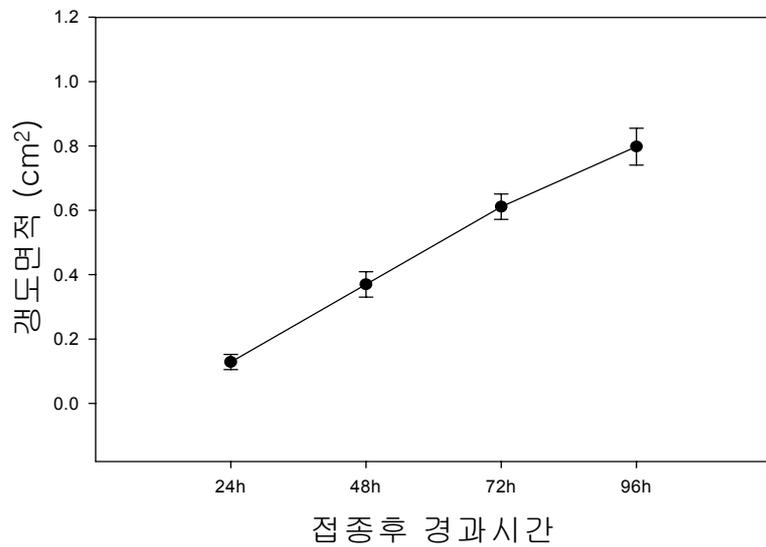


그림 3-20. 성충 접종 후 갯도면적 증가양상

[그림 3-20]은 성충 접종 후 24시간 간격으로 관찰된 갯도 면적 증가에 관한 결과를 나타내고 있다. 접종 후 24시간 후에는 전체 갯도면적의 약 16%, 48시간 후에는 약 46%, 72시간 후에는 약 76%가 형성이 되었다.

2) 실제 상업적 포장에서의 잎굴파리 유충에 의한 갱도피해 조사.

본 실험은, 앞서의 실험실 온실환경에서 수행된 잎굴파리 유충에 의한 피해해석 실험의 실제 포장 적용 타당성 검증 및 인위적인 피해와 실제 해충에 의한 피해와의 관계를 파악하기 위하여 수행되었다.

2002년 전남 담양에 위치한 상업적 토마토 온실에서 8월 초순부터 9월 말까지 잎굴파리의 유충에 의한 갱도피해가 조사되었다. 온실의 면적은 약 5500m² (100X55m)였으며, 7동 연동으로 이루어져 있었다. 가로, 세로 10m 간격으로 식물체 1주를 임의로 선정하여, 중하단부의 하나의 복엽에 대하여, 표시를 해 두었다. 이후 3주 동안 표기해둔 동일한 복엽에 대하여, 말단부의 3개의 소엽을 대상으로 갱도발생 및 피해를 조사하였다. 총 60주의 식물체가 조사되었으며, 일주일 간격으로 표기해둔 복엽의 3개 소엽을 디지털 카메라로 촬영하는 방법으로 갱도발생을 조사하였다(그림 3-21). 이후 이들 디지털 이미지는 앞서 언급한 화상분석 방법을 이용하여, 엽 면적 및 갱도면적을 분석하였다.

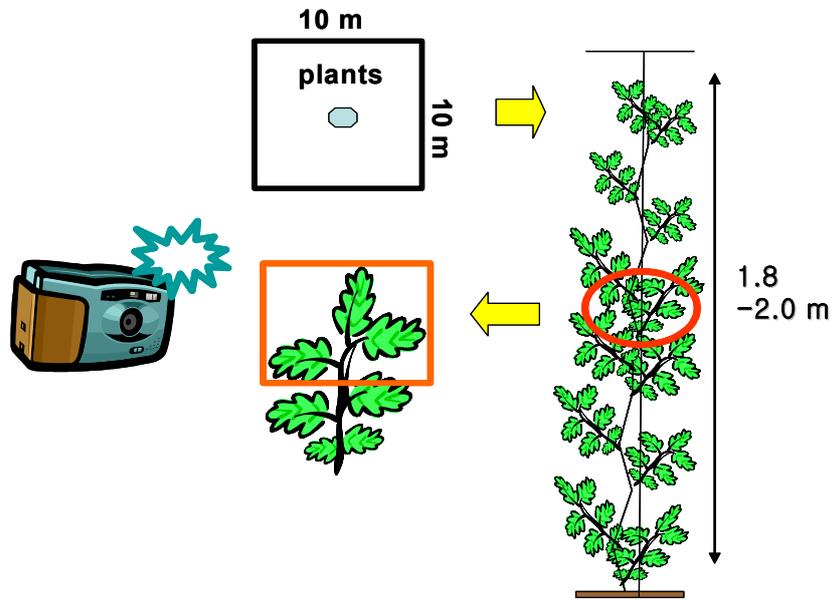


그림 3-21. 실제포장에서 갱도발생양상 조사방법

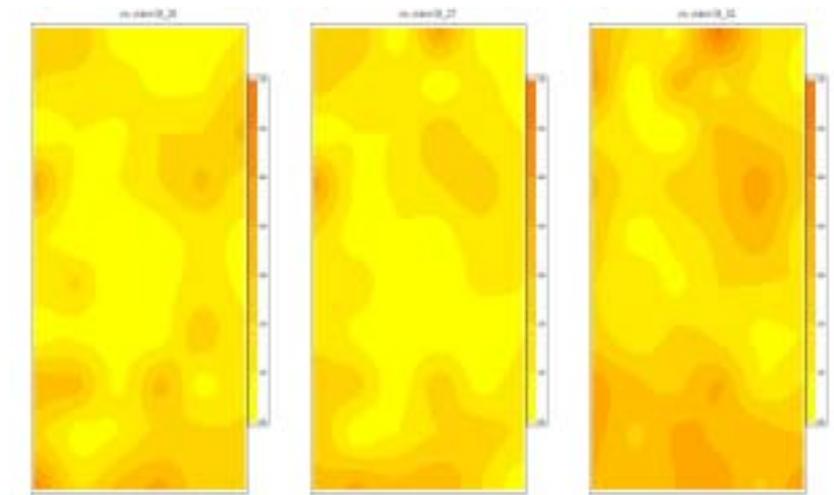


그림 3-22. 온실 내 갱도의 분포양상

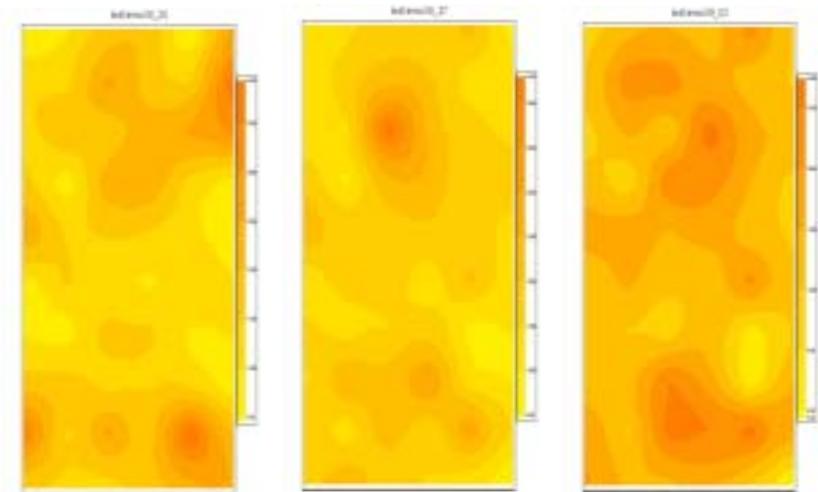


그림 3-23. 온실 내 엽면적 분포양상

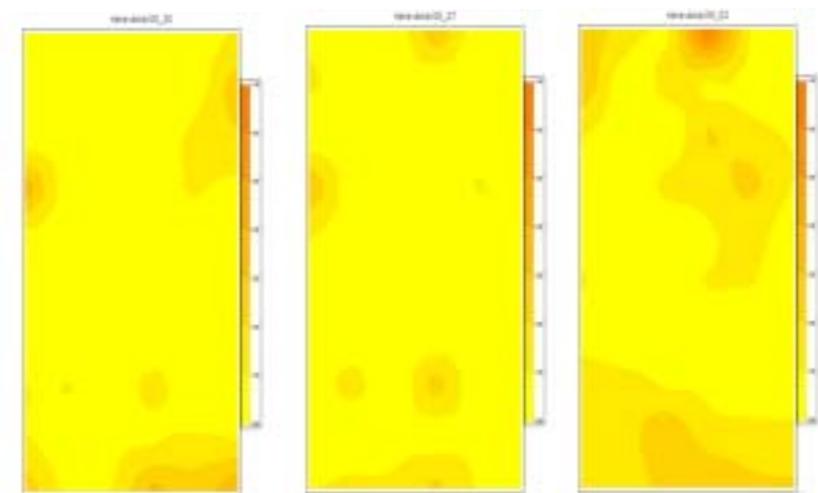


그림 3-24. 온실 내 강도면적 분포양상

위의 그림을 통하여, 조사가 이루어진 상업적 포장의 강도발생 양상 및 그들 강도의 면적 분포, 그리고 강도가 존재하는 소엽의 엽 면적 분포를 알 수 있다. 이

들 자료를 이용하여, 갱도수와 갱도 면적, 그리고 엽면적과의 관계를 구한다면, 재배자는 실제 포장에서 가장 간단한 방법으로 관찰할 수 있는 갱도수를 이용하여, 이들의 엽당 피해율을 산출할 수 있을 것이다. 본 실험에서는 갱도수와 갱도면적과의 관계 및 갱도수에 따른 엽당 피해비율간의 관계를 구하기 위하여, 갱도수, 갱도면적, 엽 면적에 대한 화상 분석을 실시하였다.

다음으로, 실제 포장에서 발생한 갱도 발생 소장을 통하여, 소엽 당 발생한 갱도의 발생 빈도를 조사하였다. 이는 상업적 온실에서 실제 존재하는 갱도의 발생 빈도를 조사함으로써, 피해해석에 있어 기준과 피해수준을 파악하는데 그 목적이 있다.

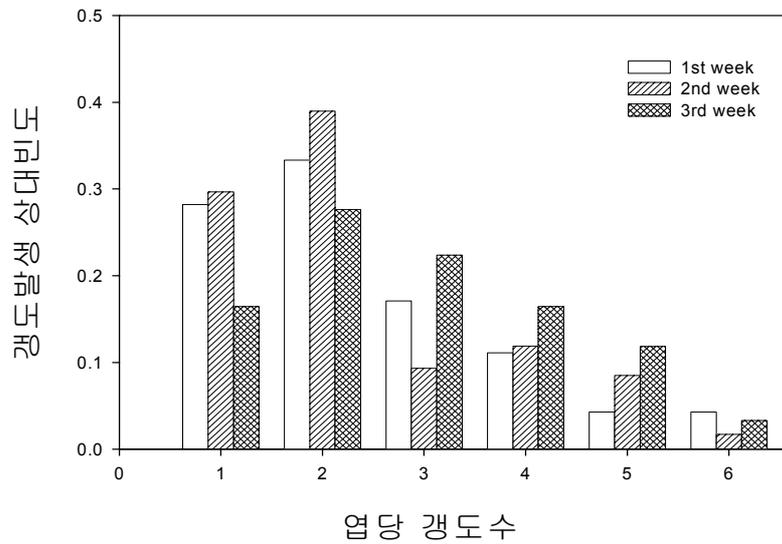


그림 3-25. 소엽 당 갱도 수에 따른 소엽의 발생 빈도

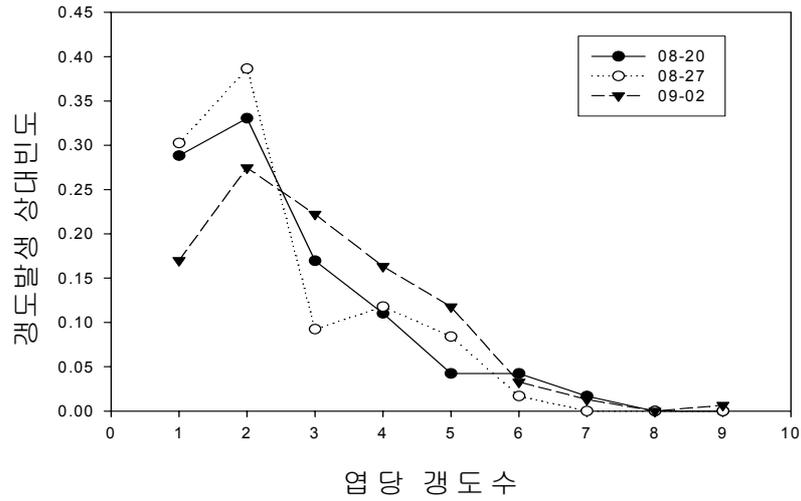


그림 3-26. 소엽 당 갱도 수에 따른 소엽의 발생 빈도

[그림 3-26]은 포장에서 엽당 갱도수에 따른 발생빈도를 나타내고 있다. 3주간에 걸쳐 조사에서 80% 이상의 소엽이 4개 이하의 갱도가 형성되었다.

표 3-5. 소엽 당 갱도 수에 따른 갱도발생 상대빈도

갱도발생 상대빈도	엽당 갱도수			
	1	2	3	4
1st 조사일	0.28	0.33	0.16	0.11
2nd 조사일	0.30	0.38	0.09	0.11
3rd 조사일	0.16	0.27	0.22	0.16

[표 3-5]는 각 조사 시기에 각 소엽 당 존재하는 갯도수에 따른 해당 소엽의 상대 발생 빈도를 나타내고 있다.

다음은 엽당 갯도 수에 따라 갯도 하나 크기의 변화 여부에 관한 실험 결과이다. 이는 엽당 존재하는 갯도수가 유충간의 간섭을 일으켜, 갯도의 크기에 영향을 주는지에 대한 여부를 판별하기 위해 분석되었다.

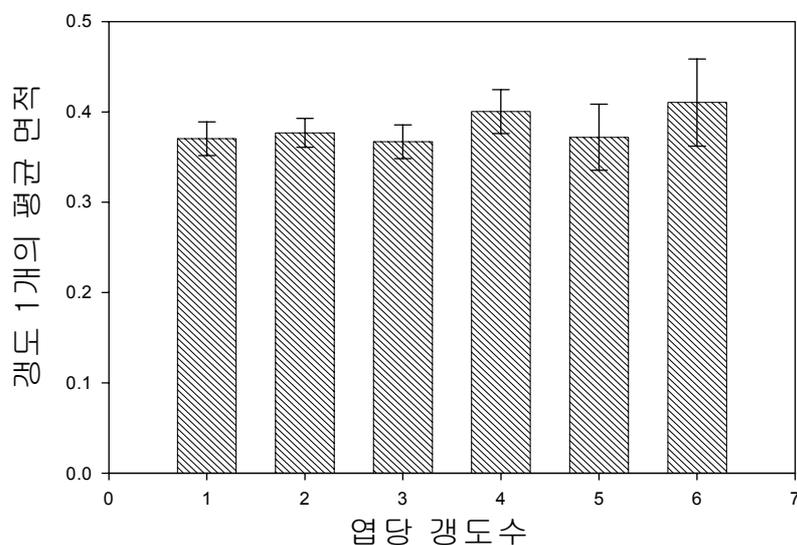


그림 3-27. 소엽 당 갯도 수에 따른 갯도 평균면적

[그림 3-27]은 엽당 갯도수에 따른 갯도 평균면적에 대한 분석 결과이다. [그림 3-27]을 통하여, 갯도 한 개의 평균 면적은 엽당 갯도수에 의해 유의한 영향을 받지 않고 있음을 알 수 있다. 이는 엽당 갯도수가 6개 까지는 유충간의 별다른 간섭 없이 크기에 유의한 차이가 없는 갯도를 형성함을 의미한다. 또한, 이러한 결과는 실제 포장에서 대부분의 소엽이 4개 이하의 갯도를 포함하고 있는 점을 고려해 볼 때, 엽당 갯도수에 무관하게 갯도 한 개의 크기를 정량화 할 수 있음을 의미한다.

다음으로, 갯도수와 갯도 면적과의 상관관계에 관한 결과이다. 갯도수와

갱도 면적과의 유의한 수준의 상관관계가 형성된다면, 실제 포장에서 단순히 갱도수 만을 조사하는 방법으로, 높은 신뢰수준의 피해비율을 예측하는 것이 가능할 것이다.

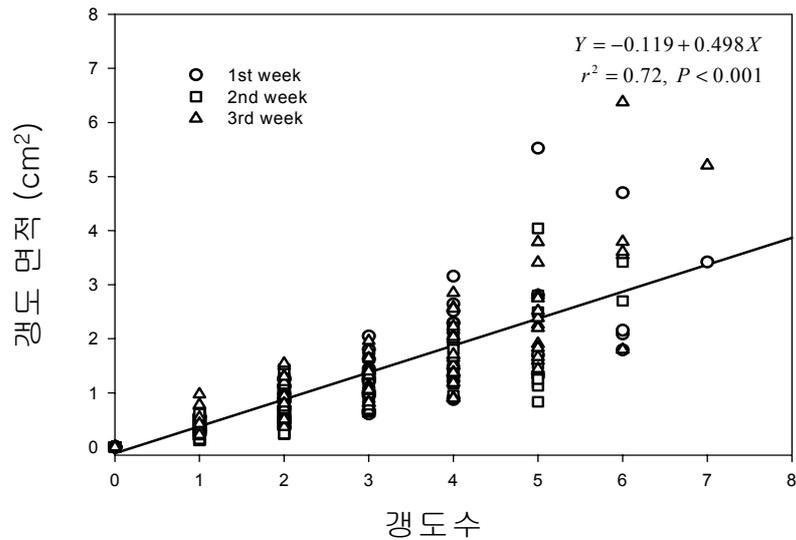


그림 3-28. 갱도 수와 갱도면적과의 상관관계

[그림. 3-28]은 갱도수와 갱도면적과의 유의한 상관관계를 보여주고 있다. 비록 갱도수가 5개 이상 증가하면서 관측치의 분산이 커지는 양상을 보였지만, 결정계수값이 0.72로 높은 상관관계를 나타내었다. 실제 포장에서 재배자가 피해분석을 목적으로 갱도 하나의 면적을 측정하는 일은 현실적으로 불가능한 작업이다. 결론적으로, 위의 상관관계를 이용하면, 갱도수를 조사한 결과를 통하여, 그에 따른 갱도 면적에 대한 추정이 가능해진다. 이러한 결과는 [그림 3-27]의 결과와 더불어, 실제 포장에서의 이용가능성에 높은 신뢰성을 부여한다.

결론적으로, 실제포장에서 갱도 발생소장 조사에 결과에 따라 대부분의 소엽은 4개 이하의 갱도를 포함하고 있음을 알 수 있었으며, 각각의 갱도크기는 엽당 갱도수와 무관하게 유의한 차이가 없음을 알 수 있었다. 최종적으로, 갱도수와 갱도 면적과의 높은 상관관계를 통하여, 갱도수를 통한 피해면적의 추정이 가능하다.

앞서의 결과처럼, 갱도수를 통한 피해면적의 산출이 높은 신뢰성을 가지고 가능하다면, 중하단부의 소엽의 엽 면적에 관한 데이터를 이용하여, 갱도수와 엽당 피해비율과의 관계를 구할 수 있을 것이다. 이는 갱도수와 갱도 면적과의 관계와 더불어, 실제 포장에서 재배자가 갱도수 조사를 통하여, 엽당 피해비율까지 추정할 수 있는 기회를 제공하여 줄 수 있을 것이다.

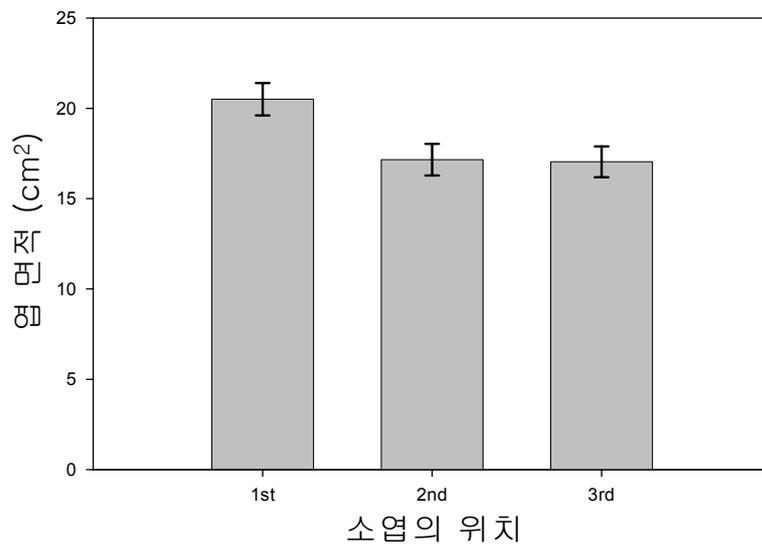


그림 3-29. 복엽 말단에 위치한 3개의 소엽에 대한 엽면적 측정결과

[그림 3-29]는 복엽 말단에 위치한 3개의 소엽에 대한 엽 면적 측정 결과를 제시하여 주고 있다. 가장 말단에 위치한 1st 소엽이 가장 면적이 넓었으며, 마주보고 있는 2nd, 3rd 소엽의 면적에는 유의한 차이가 존재하지 않았다(Paired t-test, SAS Institute). 이러한 결과는 앞서 실험실 온실 환경에서 이루어진 실험 결과와 일치하는 부분이다. 다음으로는, 앞서의 엽 면적 측정 결과와, 갱도수와 갱도 면적과의 관계를 이용하여 도출된, 갱도수와 엽당 피해비율과의 관계에 관한 결과이다.

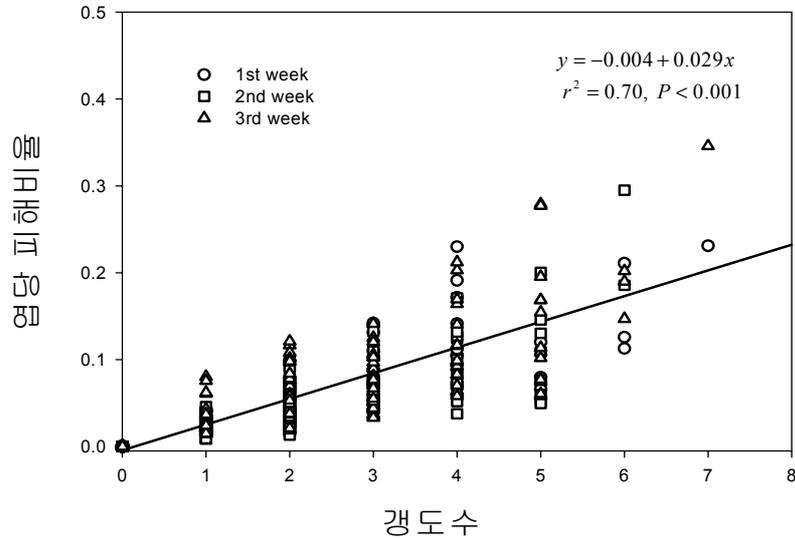


그림 3-30. 갯도 수와 소엽 당 피해비율과의 상관관계

[그림 3-30]의 결과를 통하여, 갯도수와 엽당 피해비율과 사이에 높은 상관관계가 존재함을 확인 할 수 있었다. 이는 앞서 언급한, 갯도수를 통한 피해비율의 추정을 가능하게 한다. 영양생장이 종료된 중하단의 토마토 소엽의 경우 앞서 언급한대로, 서로 마주보고 있는 2번엽과 3번엽의 크기에 유의한 차이가 없으며, 갯도의 크기 또한, 갯도수와 무관하게 유의한 차이를 나타내지 않기 때문에, 갯도수와 피해비율과의 높은 상관관계가 형성된 것으로 생각된다. 이는 실제 재배자가 좀더 쉽고 빠르게 포장에서 작물에 대한 피해수준을 파악하는 것을 가능하게 해준다. 또한 실험온실 환경에서 수행된 엽 면적 측정 결과 및 갯도발육 실험 결과와 실제 포장에서의 결과의 동일한 경향을 통하여, 실험온실 환경 하에서 도출된 결과의 실제 포장에 대한 적용의 타당성에 대한 논리적 근거를 찾을 수 있었다.

3) 실제 포장에서 간이 엽록소 측정기를 이용한 피해해석.

본 실험은 포장에서 발생하는 갱도에 의한 피해를 분석하기 위하여, 간이 엽록소 측정기를 이용하여 수행되었다. 잎굴파리 유충에 의한 갱도발생 소장에 따라, 각 갱도가 야기하는 엽록소 감소량을 정량화 할 경우, 실제 포장에서 발생하는 엽록소 감소 정도를 예측하는 것이 가능하다. 또한, 앞서의 실험온실 환경에서 인위적 피해에 따른 엽록소 감소 결과와 실제 해충에 의한 피해사이의 관계를 도출함으로써, 두 데이터간의 보정이 가능하게 될 것이다. 실제 포장에서 직접적으로 피해 정도와 수확감소간의 상관관계를 도출하기 힘든 점을 감안하여 볼 때, 두 실험 데이터 간의 보정과, 상관관계 구명은 중요한 의미를 가지게 된다.

실제 포장에서 간이 엽록소 측정기를 이용한 본 실험은 충남 부여에 위치한 상업적 토마토 재배 온실에서 2003년 11월 초순부터 12월 말까지 진행 되었다. 조사 대상 포장은 가로 50m 세로 100m의 7동 연동 비닐하우스 포장이었으며, 노지에 양액을 관주하는 방식으로 재배가 이루어졌으며, 조사기간 동안 작물은 5단 적심 상태였으며, 수확이 진행되고 있었다.

먼저, 서로 마주보고 있는 2번, 3번 소엽 중, 갱도가 형성된 소엽 내에서 갱도가 형성되지 않은 비 감염 부분의 엽록소 측정 결과와, 비 감염 소엽에 대한 엽록소 측정 결과를 비교하였다. 이는 갱도가 형성된 소엽 중 비 감염 부위에 대한 갱도의 영향을 평가하기 위하여 수행 되었다. [그림 3-31]은 두 측정 결과를 엽당 갱도 수 별로 제시하고 있다.

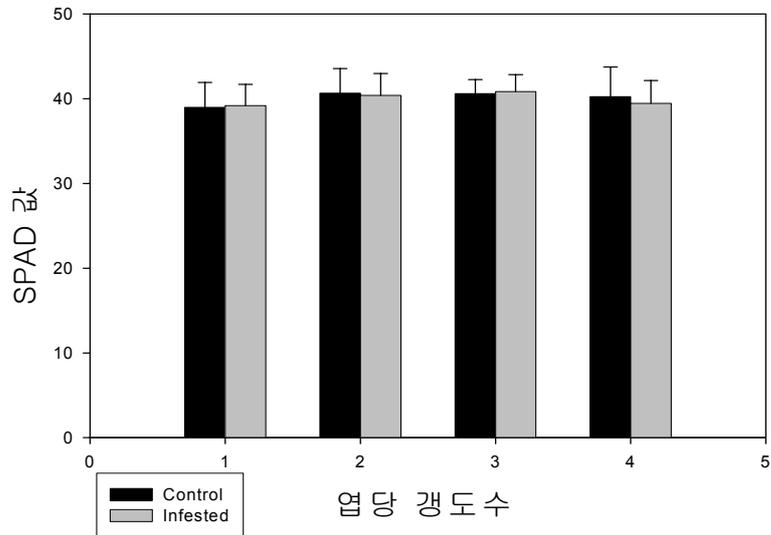


그림 3-31. 감염 소엽의 비 감염 부위와 비 감염 소엽간의 SPAD 값 비교결과

[그림 3-31]은 갱도가 형성된 소엽의 비 감염 부위는 갱도 형성에 따른 엽록소 저하가 일어나지 않음을 의미한다. 엽당 갱도수와 무관하게, 감염 소엽의 비 감염 부위와 비 감염 소엽의 SPAD 값은 유의한 차이가 없었다. 이는 잎굴파리 유충에 의한 피해는 갱도 형성부위에만 국한 되는 것이며, 갱도부위를 벗어나서는 엽록소의 파괴가 일어나지 않음을 의미한다. 또한, 이는 건전한 소엽 중 마주보고 있는 2번, 3번 소엽의 SPAD 값에 유의한 차이가 없다는 앞서의 결과와 일치하는 부분이다.

앞서의 결과를 통하여, 식물체 소엽위에 형성된 갱도의 엽록소 감소 피해는 갱도 형성 부위에 국한된다는 결론을 얻을 수 있었다. 다음으로는 실제 갱도가 형성된 갱도 감염부위와 동일 소엽 내의 비 감염 부위의 SPAD값의 비교를 통하여, 잎굴파리 유충에 의한 갱도 피해에 관하여 조사하였다.

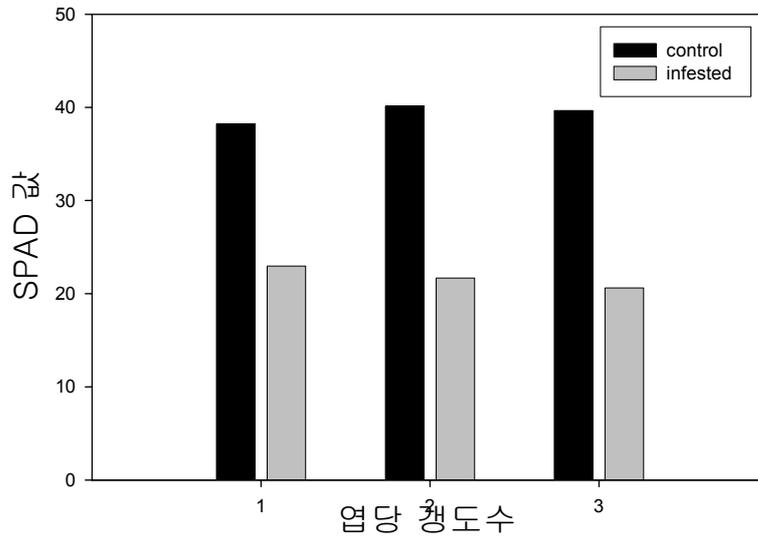


그림 3-32. 갯도 감염부위와 비 감염 부위간의 SPAD값 비교결과

[그림 3-32]에서와 같이, 갯도에 감염된 부위와 비 감염 부위간의 SPAD 측정 결과는 유의한 차이를 나타내었다. 이는 [그림 3-31]의 결과와 대조되는 것으로, 비 감염 부위에 대한 영향은 갯도의 영향은 없지만, 감염 부위에서는 갯도 형성으로 인한 엽록소 감소가 발생하고 있음을 의미한다.

다음은 아메리카 잎 굴파리 유충의해 형성된 갯도의 엽 면적 생장에 대한 실험내용이다. 앞서의 실험온실 환경에서의 실험과, 실제 포장에서의 두 실험을 통하여, 서로 마주보고 있는 2번 소엽과 3번 소엽의 엽 면적에는 유의한 차이가 없음을 확인할 수 있었다. 따라서 본 실험에서는 비 감염 기주에서 2번, 3번 소엽의 엽 면적을 비교하고, 서로 마주보고 있는 소엽들 중 한쪽은 갯도가 형성이 되고, 다른 한쪽은 감염이 되지 않은 소엽을 선별하여, 이 둘의 엽 면적을 비교하였다.

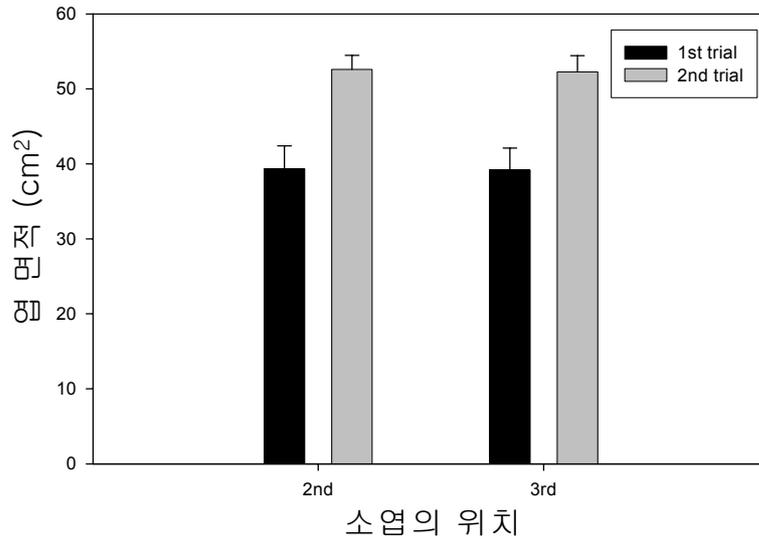


그림 3-33. 비 감염 기주에서 2번 소엽과 3번 소엽의 면적 비교결과

[그림 3-33]은 비 감염 기주에서의 마주보고 있는 두 소엽이 엽 면적 비로 결과를 나타내고 있다. 일주일 단위로 2번에 걸쳐 이루어진 조사에서, 실제 포장에서 두 엽 면적의 크기에 유의한 차이가 존재하지 않음을 확인할 수 있었다.

위의 결과를 토대로, 아메리카 잎굴파리에 의해 갱도가 형성된 소엽과, 마주하는 비 감염 소엽 사이의 엽 면적 크기를 비교하였다. 실제 포장에서 엽당 존재하는 갱도수별로 위의 조건을 만족하는 2번, 3번 소엽을 선별하여, 엽면적 측정기를 이용하여 측정하였다. 실제 포장에서 마주보는 두 소엽 중 하나의 소엽에만 감염된 경우를 찾아내는 작업은 쉽지 않았다. 결과에서와 같이, 엽당 갱도수가 3개 이상인 동시에 위의 조건을 만족하는 두 소엽을 발견할 수 없었기 때문에, 엽당 갱도수 1개 와 2개의 소엽에 대해서만 조사가 가능하였다.

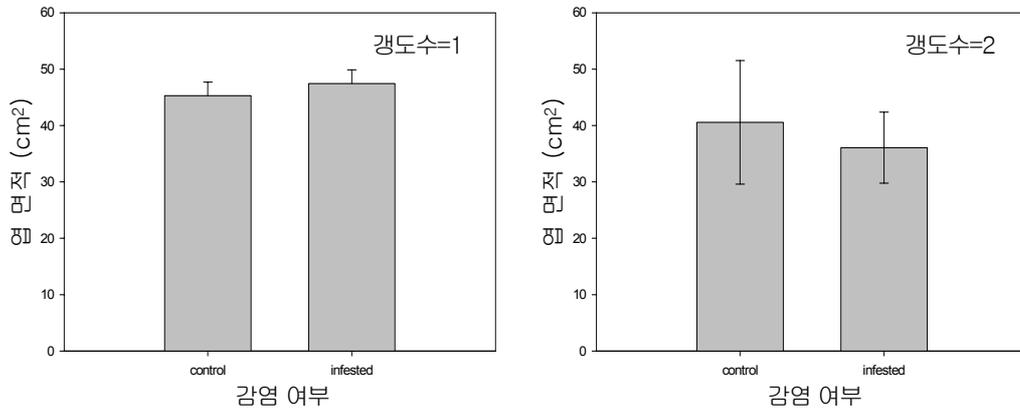


그림 3-34. 비 감염 소엽과 감염 소엽의 엽 면적 비교결과

[그림 3-34]의 결과에서 보듯이, 엽당 갱도수가 1개 또는 2개인 경우 모두에서 두 소엽 간의 엽 면적의 유의한 차이는 없었다. 이는 아메리카 잎굴파리의 유충에 의한 갱도피해가 엽 면적의 크기에는 영향을 주지 않음을 의미한다. 앞서의 결과에서 유충에 의한 갱도피해가 갱도가 형성된 부위에서만 엽록소 함량의 감소를 야기하는 결과와 함께, 이는 갱도피해가 소엽 내 비 감염 부위에는 영향을 미치지 않음을 의미하는 결과이다.

다. 실험온실 환경에서 잎굴파리 접종을 통한 수확량 변화

지금까지의 실험 결과는 크게 두 부분으로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째는 실험온실 환경 하에서의 정량화된 인위적 피해와 수확 감소와의 관계에 관한 결과이다. 다음으로는 실제 상업적 포장 환경 하에서 갱도 피해 발생 소장 및, 갱도수에 따른 피해를 계산, 그리고, 갱도피해와 염록소와의 관계에 관한 결과이다. 이 둘의 결과사이의 관계를 정립하여, 정량화된 인위적인 피해와 수확량과의 관계를 통하여, 해충에 의한 수확량 감소 피해를 예측하기 위해서는 두 결과 사이의 보정작업이 필요하다. 본 실험에서는 실험온실 환경 하에서 직접 아메리카 잎굴파리 유충에 의한 갱도피해와 수확량과의 관계에 관하여 조사하였다.

본 실험은 2004년 5월 초순부터 2004년 8월 하순까지 고려대학교 생명환경과학대학 실험유리온실에서 수행되었다. 앞서의 암면을 이용한 양액 재배 방법을 이용하여, 6월 초순 40주를 정식하여 재배하였다. 실험에 이용된 토마토 품종은 완숙토마토인 “서광”이었으며, 양액은 Grodan 사가 상업적으로 개발한 조성표를 이용하여 주당 1L 정도를 점적(drip)방식을 이용하여 관주해 주었다. 작물은 7월 초순경 첫 번째 화방의 개화를 시작으로 영양생식 성장시기에 접어들었으며, 이후 8월 초에는 3-4단의 화방을 형성하였다. 이후 5단 화방이 형성된 8월 중순경 적심을 실시하여 주었다. 정식한 40주중 생육이 좋지 않은 4주를 제외한 36주중 18주는 대조구로, 18주는 잎굴파리 접종구로 선정하였다. 접종은 2단과 3단사이의 두 복엽과, 3단과 4단사이의 두 복엽을 대상으로 실시하였다. 접종 방법은 앞서 갱도발육 관찰을 위해 수행한 방법과 동일하게 진행되었다. 접종 후 피해 정도를 조절하기 위하여, 소엽 내 과도한 유충수는 곤충핀을 이용하여 제거하여 주었다. 과실 형성 및 성숙에는 과실 위쪽은 3복엽이 중요한 역할을 작용하므로, 접종이 이루어진 복엽 아래인 2단과 3단에서 형성된 과실을 수확하여, 중량, 수량, 및 당도를 분석 비교하였다.

[표 3-6]은 대조구와 감염구의 수확결과를 요약하여 나타내고 있다. 감염구는 피해 정도에 따라, 복엽 당 평균 갱도수가 14개인 그룹(소엽 당 평균 2개) 과, 20개인 그룹(소엽 당 평균 3개)으로 나누어 분석하였으며, 이는 유충에 의한 갱도수를 정확히 조절하는 것은 실제적으로 불가능하기 때문에, 앞서와 같은 두 범위로 나누어 피

해분석을 실시하였다.

표 3-6. 잎굴파리 접종에 의한 수확량 변화

측정항목	피해 수준(깡도수/복엽)		
	대조구	14개	20개
중량합계(g)	2858	2571	2593
평균중량(g)	73.28	80.34	74.10
수확갯수	39	32	35
당도(Brix%)	6.32	6.46	6.43

다음으로 [표 3-7]은 대조구에 대한 실험구의 수확량 감소를 비율로 계산한 결과를 나타내고 있다.

표 3-7. 잎굴파리 접종에 의한 수확량 감소비율

측정항목	피해수준(깡도수/복엽)	
	14개	20개
중량합계(g)	10.0%	9.2%
수확갯수	17.9%	10.2%

감염된 소엽에 대한 엽 면적과 경도면적을 화상분석을 통하여 계산하여,

각각의 피해수준에 대한 엽당 피해 비율을 계산한 결과 다음과 같았다.

표 3-8. 피해수준에 따른 엽 면적, 갱도면적 및 엽당 피해비율

측정항목	피해수준(갱도수/복엽)	
	14개	20개
엽면적(cm ²)	22.58±2.4	21.12±1.8
엽당 갱도면적(cm ²)	1.38±0.21	1.98±0.09
엽당 피해비율	0.061	0.093

위의 결과에서와 같이, 소엽 당 평균 2개의 갱도가 형성된 경우 엽당 피해 비율은 약 6%에 해당하였으며, 소엽 당 평균 3개의 갱도가 존재하는 경우, 엽당 피해 비율은 약 9%로 계산되었다. 두 그룹 간에는 엽 면적의 3% 정도의 면적손실의 차이를 나타내었다. 하지만 [표 3-7]의 결과와 같이 두 그룹간의 수확중량에 대한 차이는 거의 나타나지 않았다. 또한, 유충의 갱도 피해에 의해 발생한 엽 면적의 약 6-9%의 면적 손실은 약 10%의 과실 수확중량 손실을 발생시키는 것으로 나타났다. 이는 인위적인 피해에 따른 수확량 감소 실험의 결과보다 약 3-10% 정도의 수량 손실이 덜 발생한 결과이다. 약 5%의 피해구간에서는 인위적 피해와 갱도에 의한 피해 간에 약 3%정도의 수량차이가 존재하였지만, 약 10%정도의 피해비율에서는 둘 사이의 수확량의 차이가 10%정도 발생하였다. 이는 유충의 발육에 따라 서서히 진행되는 잎굴파리에 의한 갱도 피해보다 구멍을 뚫는 방법으로 진행된 인위적 피해가 식물체에 미치는 피해정도가 더욱 크게 작용하였음을 시사하는 결과이다. 이러한 결과를 이용하여, 실제 해충에 의한 피해와 정량화된 인위적인 피해결과간의 보정이 가능하며, 해충에 의한 피해를 다음과 같이 정량화 및 예측하여 해충 밀도에 따른 피해수준을 설정하였다.

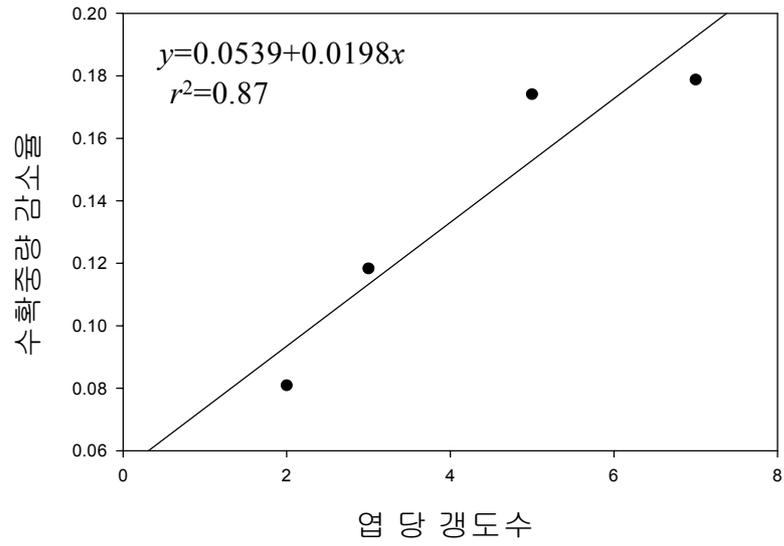


그림 3-35. 업 당 갱도수에 따른 수확중량 감소율

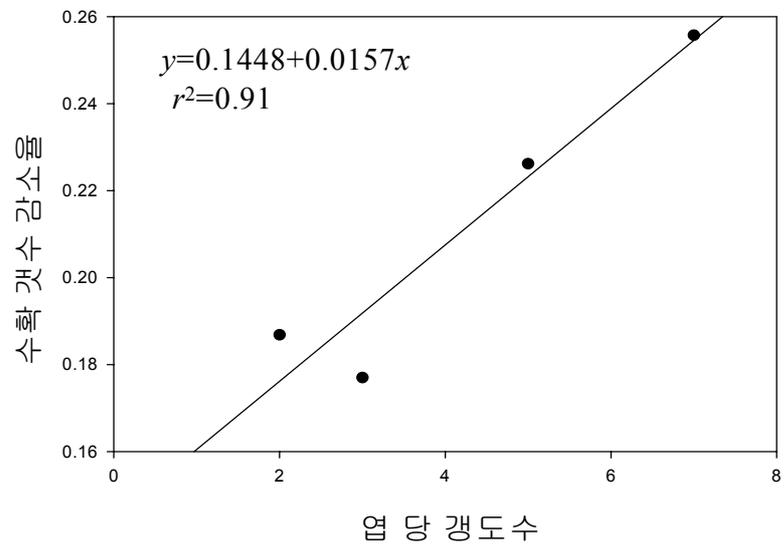


그림 3-36. 업 당 갱도수에 따른 수확갯수 감소율

라. 경제적 피해수준의 설정 및 응용

1) 경제적 피해수준의 각 항목의 설정

경제적 피해수준은 해충에 의해 손실된 작물의 가격과 방제를 실시하였을 때에 소요되는 비용이 동일한 해충밀도를 의미한다(Stone & Pedigo, 1972). 해충은 작물의 가해습성에 따라 직접 가해해충과 간접 가해해충으로 나눌 수 있다. 직접 가해해충은 과실, 과경 등 작물의 생식부위를 가해하여 작물의 생산부위에 직접적인 피해를 주는 해충을 의미한다. 간접 가해해충은 잎의 엽육을 가해하거나 영양분을 흡즙하고, 흡즙의 부산물들이 과합성의 효율을 감소시켜 생육의 저하나 생산량의 손실을 야기시키는 해충들로서 잎굴파리, 온실가루이 등이 그 예이다. 이러한 간접 가해해충의 경우 경제적 피해수준 설정에 있어서 내성의 개념을 포함하여 계산한다. 내성은 해충의 가해에 대한 작물의 내성도로 이 수준에서는 유의한 피해가 발생하지 않음을 의미한다.

$$EIL = T + \frac{C}{PDK} \text{-----(식 1)}$$

(T=작물의 해충에 대한 내성도, C=단위면적 당 방제비용, P=단위생산량 당 시장가격, D=단위 해충밀도로 인한 작물 손실량, K=방제 효율)

가) 방제비용

방제비용은 살충제의 비용뿐만 아니라 방제를 위한 노동임금을 포함하고 있으므로 농가의 경영방식에 따라 달라질 수 있다. 방제비용은 단위면적 당 사용한 살충제의 종류, 가격, 재배방식, 살포량을 종합하여 계산되는 값이다. 방제비용(원/10a)은 인건비 단가를 계산해보면, 8시간 노동비에 50,000원, 1시간에 6,250원, 10분에는 1,041원의 노동비가 지불되었다(친환경농업실천 현장연구보고서). 또한, 잎굴파리 방제의 경

우 대부분 경엽처리를 시행하므로, 경엽처리제를 기준으로 산출하면 소요시간 30분, 필요인원 3명으로 총 노동비는 9,375원/10a 이다.

나) 토마토의 시장가격

토마토의 시장가격은 산지가격이 아닌 시장 수매가를 사용하였다. 실제 농민들의 생산 소득은 유통마진을 제외한 농가 수취율로 계산할 수 있다. 본 연구에서는 토마토의 시장가격을 최근 5년간의 가락시장 평균시장가격 1,700원/kg으로 설정하였다.

다) 방제비용 동가수량

방제비용 동가수량(Gain threshold: GT)은 방제로 인해 소실되는 비용과 해충으로 인해 소실되는 곡물가가 동일한 시점에서의 작물 피해량을 의미한다. 실제 잎굴파리를 방제하는데 이용되는 대표적인 살충제의 약제가와 방제인건비, 그리고 평균 토마토 가격을 이용하여 농약 종류에 따른 방제비용 동가수량을 계산하였다. 약제의 성상 및 가격은 한국농약공업협회의 자료집(2004년)을 참조하였으며, 단위 면적은 10a를 기준으로 계산하였다.

라) 내성도

내성도는 해충의 가해에 대한 작물의 내성으로 이 수준에서는 유의한 피해가 나타나지 않음을 의미한다. 각 처리별 토마토 생산량의 차이는 SAS(PROC GLM, SAS Institute, 1999)를 이용하여 분석하였다. 잎굴파리 갱도에 대한 토마토의 내성도는 중단의 3복엽에대한 조사에서 엽당 평균밀도 1개로 산출하였다.

마) 피해계수

단위 해충 밀도에 의해 발생한 경제적 피해는 토마토에 대한 잎굴파리 접종 실험을 통하여 수행된 피해분석 실험의 해충밀도-토마토 생산량관계 결과의 기울기값을 이용하였다.

바) 방제효율

방제효율은 농가의 경영방식, 재배환경, 살충제의 종류 등에 따라 달라질 수 있으므로 본 실험에서는 평균적인 수치인 $K=0.9$ (90%방제 효과)로 설정하였다.

2) 경제적 피해수준의 결정

단위 해충 밀도에 의해 발생한 경제적 피해는 해충밀도-토마토 생산량관계 결과의 기울기를 이용하였다. 본 실험에서는 기울기값이 0.0198로 계산되었으며, 여기에서 실제 매개변수 D값을 산출하였다. 경제적 피해계수는 그림 3-35의 추세 방정식의 기울기와 같은 값을 가지게 된다. 그러나 경제적 피해계수의 단위가 피해율 형식으로 나타나므로 이를 중량단위로 전환하였다. 본 실험에서는 실제 토마토의 경우 주당 평균 3,666g을 생산하므로 (농촌진흥청, 1996) 실험값을 실제 생산된 생산량으로 전환할 필요가 있다. 기대생산량은 실제 전 기간동안 생산할 수 있는 총 생산량을 뜻하며 여기서는 3,666(g/주)으로 설정하였고, D는 경제적 피해계수와 기대 생산량의 곱으로 나타내었다.

$$D = \text{수식의 기울기} * \text{최대 생산가} = 0.0198 * 3,666 = 72.59(\text{g/갱도})$$

실제 실험포장에서는 에마멕틴벤조에이트를 사용하였기 때문에 이 약제를 기준으로 GT값을 계산하여 경제적 피해수준을 설정하였다. 또한 실험 포장의 평균 재식밀도가 10a 당 1,500주이므로 이를 기준으로 엽당 피해수준을 산출하였다.

$$EIL=T+(GT/DK)=1+(14.38/(0.07259*0.9))/1500=1.15 \text{ (갱도/엽)}$$

따라서 토마토에서의 잎굴파리갱도에 대한 경제적 피해수준은 중단 3복엽을 관찰시 엽 당 평균 1.15 갱도로 산출되었다. 이러한 피해수준은, 소엽 당 평균 1개의 갱도가 형성된 경우인 피해비율 약 3%에 해당하였으며, 유충의 갱도 피해에 의해 발생한 면적 손실은 약 8%의 과실 수확중량 손실을 발생시키는 것으로 나타났다.

3-2. 토마토에서 온실가루이에 의한 피해분석 실험.

온실가루이는 온실 내에서 1년에 약 10회 이상 발생하며 잎 뒷면에서는 알, 유충, 번데기, 성충이 혼재하여 존재한다. 성충 암컷은 우화한 후 2-3일 이내에 산란을 시작하며 잎 조직 내에 산란관을 찢어 조직 내에 산란을 한다. 성충의 평균 수명은 30-40일이며, 암컷 한마리는 약 100-200개의 알을 산란하는 것으로 보고 되고 있다. 20-25℃에서 난기간은 6-8일, 유충기간 8-9일, 번데기 기간은 약 6일 정도이다. 온실가루이에 의한 피해는 온실가루이의 밀도가 높아져 잎 뒷면에서 집단적으로 가해하기 시작하면, 잎에서 흡즙으로 인한 퇴색, 위축현상이 나타난다. 피해가 심할 경우에는 식물체의 세력이 약화되어 고사하기도 하며 온실가루이가 흡즙 하면서 배출한 감로가 잎 앞면에 떨어져 그 자리에 곰팡이가 서식하게 되어 그을음 증상이 나타난다. 잎에 그을음이 생김으로서 잎에서의 탄소동화작용이 저해되어 전체적인 생육 위축 현상이 나타난다.

온실가루이의 주요한 피해는 유충의 섭식활동 후 배설에 의해 형성되는 감로생산이다. 앞서 언급한 바와 같이, 이러한 감로는 곰팡이의 서식처로 제공되어, 그을음 등의 피해로 인한 작물의 광합성량 저하를 야기한다. 이러한 감로의 생산은 식물체의 영양상태와 밀접한 관련을 가지고 있기 때문에, 기주식물의 영양상태와 온실가루이의 발육 및 감로생산 변화 사이의 관계를 파악하는 일은 피해해석에 있어 중요한 부분이라 할 수 있다. 본 실험에서는 작물의 영양상태와 온실가루이와의 관계를 파악하여, 이들의 주된 피해요인인 감로피해를 분석하였으며, 실제 포장에서 온실가루이 유충의 흡즙에 의한 엽록소 감소 피해에 관한 조사를 실시하였다.

가. 작물의 질소 수준에 따른 온실가루이 피해분석

본 실험은 고려대학교 내에 위치한 생명환경과학대학 실험유리온실에서 수행되었다. Grodan사의 암면(rock-wool) 플러그에 토마토 ‘서광’ 과 ‘도테랑’ 두 품종 각각 60주를 파종하였다. 이후 2-3엽기가 형성된 육묘를 암면 블록에 정식하여 주었다. 이들 육묘는 4엽기 이후, 각각 20주씩 3그룹으로 랜덤하게 분류되어, 고농도(395ppm), 중간농도(266ppm), 저농도(199ppm)의 서로 다른 3그룹의 질소량을 양액을 공급하여 15엽기 까지 재배되었다. [표 3-9]는 질소 수준별 양액 조성을 나타내고 있다.

표 3-9. 질소처리 수준별 양액조성 원소 함량

질소처리 수준(ppm)	양액 조성 원소				
	P	K	Mg	Ca	S
고농도	33	449	64	224	27
중간농도	33	457	65	228	157
저농도	33	461	65	230	229

1) 질소처리 수준별 토마토 식물체에 대한 영향평가

질소처리 수준별 토마토 식물체에 대한 영향을 분석하기 위하여, 10주 동안 조사가 이루어졌다. 먼저, 식물체 상단, 중단, 그리고 하단부 3곳에서 엽 면적 크기가 화상분석 기법을 이용하여 측정되었다. 또한, 식물체 성장과 관련하여 식물체 체장 및 소엽들의 건물중을 측정하였으며, 질소수준과 과실품질과의 관계를 파악하기 위하여, 과실의 당도를 측정하였다. 식물체 내 질소 함량은 micro-Kjedahl procedure(Jones,

1984)를 이용하여, 측정하였으며, 엽록소 함량은 Arnon(1949)의 방법을 통하여 추출하였고, 663nm, 645nm의 파장에서 흡광도 분석을 실시하여, 엽록소량을 측정하였다.

표 3-10. 질소처리 수준별 엽 면적 측정결과(품종: 서광)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	86.2±5.5a	152.5±10.0a	129.9±2.0c
중간농도	82.5±9.0a	170.1±4.1a	150.9±0.9b
저농도	96.2±4.0a	146.6±13.3a	167.7±0.2a

표 3-11. 질소처리 수준별 엽 면적 측정결과(품종: 도테랑)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	94.2±2.0a	150.6±4.2b	131.1±0.4a
중간농도	66.1±7.2b	135.7±12.1b	127.8±6.6a
저농도	64.9±5.4b	165.8±0.7a	107.6±11.4a

위의 결과에서 ‘서광’ 품종의 경우 하단을 제외한 중단, 상단 모두 질소처리 수준별 엽면적에는 유의한 차이가 나타나지 않았다(LSD test, SAS Institute), ‘도테랑’ 품종의 경우, 하단을 제외한 상단과 중단에서 처리수준에 따라 유의한 차이가 관찰되었으나, 농도에 따른 일정한 경향은 관찰되지 않았다.

표 3-12. 질소 처리 수준별 건물중(g) 측정결과(품종: 서광)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	0.30±0.08a	0.49±0.06a	0.21±0.07a
중간농도	0.32±0.04a	0.62±0.04a	0.51±0.18a
저농도	0.38±0.06a	0.46±0.03a	0.39±0.05a

표 3-13. 질소 처리 수준별 건물중(g) 측정결과(품종: 도테랑)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	0.32±0.05a	0.40±0.03a	0.32±0.04a
중간농도	0.26±0.03a	0.58±0.12a	0.45±0.04a
저농도	0.23±0.03a	0.42±0.08a	0.35±0.05a

위의 결과에서, 두 품종 모두 질소수준에 따른 건물중의 유의한 차이는 나타나지 않았다. 이는 앞서 엽 면적 측정 결과와 함께, 질소 공급의 차이가 토마토 엽의 생장에 유의한 영향을 주지 않았음을 의미한다.

표 3-14. 질소처리 수준별 식물체 체장(cm) 측정결과

질소처리 수준	품종	
	서광	도테랑
고농도	147.05a	148.13a
중간농도	147.25a	147.29a
저농도	139.48b	140.52b

표 3-15. 질소처리 수준별 과실의 당도(Brix%) 측정결과

질소처리 수준	품종	
	서광	도테랑
고농도	9.24±0.05	9.64±0.15
중간농도	9.8±0.11	9.58±0.22
저농도	9.82±0.14	9.48±0.11

위의 결과를 통하여, 두 품종에서 모두 질소수준에 따른 식물체 체장은 고농도와 중간농도 간에는 유의한 차이가 존재하지 않지만, 저농도는 고농도와 중간농도의 질소수준에 비해 체장이 유의하게 작았다(LSD test, SAS institute). 수확 과실의 당도 비교 결과 질소수준에 따른 과실의 당도에는 유의한 차이가 존재하지 않았다. 이는 작물의 영양생장에는 질소수준이 유의한 영향을 주었지만, 생식생장의 결과인 과실의 당도에는 유의한 영향을 주지 않은 것으로 사료되는 결과이다.

표 3-16. 질소처리 수준별 질소함량 비율(%) 측정결과(품종:서광)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	4.9±0.1a	3.4±0.1a	3.1±0.1a
중간농도	4.7±0.1a	3.5±0.09a	2.8±0.1a
저농도	3.9±0.1b	3.3±0.03a	2.4±0.04b

표 3-17. 질소처리 수준별 질소함량 비율(%) 측정결과(품종:도테랑)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	4.6±0.07a	3.6±0.10a	2.9±0.02a
중간농도	4.4±0.2ab	3.4±0.08ab	2.6±0.06ab
저농도	3.8±0.2b	3.1±0.07b	2.5±0.09b

‘서광’ 품종의 경우 중단을 제외한 상단, 하단에서 질소처리 수준에 따른 엽내 질소함량 비율의 유의한 차이가 관찰되었다(LSD test, SAS Institute). 저농도 처리구가 다른 두 처리구에 비하여 낮은 질소함량 비율을 나타내었다. ‘도테랑’ 품종 역시, 비슷한 경향을 나타내며, 질소처리 수준에 따른 질소함량 비율의 유의한 차이를 나타내었다.

표 3-18. 질소처리 수준별 엽록소 함량(mg/ml) 측정결과(품종:서광)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	59.6±1.7a	48.9±1.2a	35.4±0.2a
중간농도	55.5±1.5ab	45.4±1.1ab	33.8±0.6b
저농도	51.6±1.8b	41.1±2.1b	32.3±0.2b

표 3-19. 질소처리 수준별 엽록소 함량(mg/ml) 측정결과(품종:도테랑)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	58.5±2.8a	46.8±0.8a	39.6±1.3a
중간농도	57.3±1.0a	46.0±1.9ab	38.2±0.3a
저농도	55.5±0.1a	41.0±1.8b	37.8±1.0a

엽록소 함량 측정결과, '서광' 품종의 경우 상, 중, 하단에서 모두 질소처리 수준에 따른 엽록소 함량의 유의한 차이가 관찰되었다(LSD test SAS Institute). '도테랑' 품종의 경우에는 중단에서만 고농도 와 저농도 사이의 유의한 차이가 관찰되었다.

위 결론을 토대로, 질소농도는 광합성에 있어 중요한 역할을 수행하는 엽록소 함량에 대한 유의한 영향이 존재함을 확인할 수 있다.

앞서의 질소처리 수준별 식물체에 대한 영향평가 결과에서, 질소처리 수준의 차이는 소엽단위의 성장평가 항목인 엽 면적, 건물중의 성장에는 유의한 차이를 나타내지 않았다. 하지만, 식물체 단위의 성장을 측정하기 위한 체장 측정결과, 고농도의 질소수준에서 식물체의 체장이 증가함을 알 수 있었다. 다음으로, 질소수준의 식물체 영양상태에 대한 영향평가 항목으로 측정된 질소 함량 및 엽록소 함량의 경우, 고농도의 질소처리가 질소함량 과 엽록소 함량 모두를 증가시키는 것으로 나타났다. 위의 결과를 종합하여 볼 때, 질소농도는 소엽의 성장상태에 대한 유의한 영향은 없지만, 소엽의 영양상태에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

다음으로는 보다 정확한 질소농도의 소엽에 대한 영향을 평가하기 위하여, 엽 내 단백질 분석과, 수용성 당분에 대한 조사를 실시하였다. 엽내 총 단백질 함량에 대한 조사는 Bradford 분석법으로 실시하였다. 0.2g의 토마토 소엽을 액체질소에 동결 후 분쇄하여, phosphate buffer(25mM NaH_2PO_4 , 25mM Na_2HPO_4 , pH 7.5) 내에서 tissue grinder를 이용하여, 균일화 하였다. 이렇게 만들어진 균질 현탁액은 원심분리기에서 15분간 3000g 상태로 원심분리 처리 후, 595nm 파장에서 흡광도 분석을 실시하였다. 수용성 당분에 대한 조사는 Anthron 분석법에 의해 실시되었다. 15ml의 여과액(filtrate)에 10ml의 증류수를 첨가하여, 10분간 1000g 상태로 원심 분리하였다. 이렇게 분리된 상청액(supernatant)의 부피와 무게를 측정하였다. 상청액은 희석 후, HCl, 45% formic acid, anthrone/sulphuric acid solution을 첨가하여, 630nm에서 흡광도 분석하였다.

[표 3-20]과 [표 3-21]은 Bradford 분석법으로 조사된 총 단백질 함량에 대한 결과를 보여주고 있다.

표 3-20. 질소처리 수준별 총 단백질 함량(ppm) 측정결과(품종: 서광)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	117.5±3.2a	70.5±0.8a	28.1±1.6a
중간농도	96.9±5.6b	52.3±2.7b	18.9±0.9b
저농도	75.5±4.3c	38.3±4.2c	17.3±0.2b

표 3-21. 질소처리 수준별 총 단백질 함량(ppm) 측정결과(품종: 도테랑)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	171.5±0.3a	45.1±2.8a	30.9±1.8a
중간농도	113.8±9.2b	36.7±2.6a	15.4±0.7b
저농도	81.5±16.2b	22.3±2.4b	14.3±4.0b

질소처리 수준별 엽 내 총 단백질 함량에 대한 측정결과, 두 품종 모두에서 질소수준이 증가함에 따라, 단백질 함량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 질소수준과 단백질 함량과의 유의한 상관관계를 나타내며, 흡즙성 곤충의 영양원으로 이용되는 단백질 함량에 질소시비가 유의한 영향이 존재함을 의미하는 결과이다.

표 3-22. 질소처리 수준별 수용성 당 함량(ppm) 측정결과(품종: 서광)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	15.9±2.0b	13.5±0.1b	14.4±1.4a
중간농도	18.5±2.4ab	11.2±0.6ab	12.9±0.1a
저농도	23.4±1.3a	14.6±0.9a	14.4±2.0a

표 3-23. 질소처리 수준별 수용성 당 함량(ppm) 측정결과(품종: 도데랑)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	25.1±1.6b	20.5±2.0b	16.0±1.4b
중간농도	30.7±1.7ab	26.4±2.0ab	20.0±1.8ab
저농도	36.0±1.3a	29.1±2.0a	25.0±2.6a

질소처리 수준별 수용성 당 함량 측정결과, 앞서의 결과와는 상반되는 결과를 보여주었다. 질소처리 수준과 수용성 당 함량은 서로 역의 관계를 나타냈다. 이는 질소농도가 엽 내 수용성 당 함량에 유의한 차이를 발생시킬 수 있음을 의미한다.

2) 질소처리 수준별 온실가루이의 기주선호성에 대한 영향평가

본 실험은 2001년 11월 중순부터 2002년 1월 중순까지 고려대학교 내에 위치한 생명환경과학대학 유리실험온실에서 수행되었다. 11월 14일 pH=5.5 EC=2.5의 양액이 공급된 암면 플러그에 두 품종 ‘서광’ 과 ‘도테랑’의 종자를 파종하였다. 이후 육묘는 12월 5일 암면 블록에 정식되었으며, 4엽기까지 중간농도의 질소처리 수준에서 생장하였다. 이들 토마토 식물체를 고농도, 중간농도, 저농도의 3구간의 질소처리농도에 품종 당 20주씩 랜덤하게 배치하여, 2주간 각 처리수준에서의 질소농도에서 재배하였다.

이들 식물체에 처리구당 50마리의 성충을 방사하여, 질소처리 농도에 따른 성충의 기주 선호성을 조사하였다. 조사방법은 choice test와 non-choice test 두 가지로 나누어 진행되었다. test choice에서는 성충이 품종과 질소수준 모두를 선호성에 따라 선택할 수 있도록 실험이 진행되었다. non-choice test에서는 성충을 각각 고정된 하나의 질소처리 수준과 품종의 식물체에 집중하여, 실험을 진행하였다. 두 test 모두 48시간동안 성충을 식물체에 노출시켜 주었으며, 이후 집중에 이용된 성충은 모두 제거해 주었다. 질소처리 수준에 따른 성충의 기주선호성에 대한 조사는 식물체 하단, 중단, 그리고 상단에서 성충이 산란한 알 수를 조사하여 분석하였다. [표 3-24]와 [표 3-25]는 품종별 non-choice test와 choice test의 기주 선호성 결과를 보여주고 있다.

표 3-24. 질소처리수준별 성충의 non-choice test를 통한 기주선호성 조사(서광)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	43.0±7.9a	33.8±8.7a	12.8±5.0a
중간농도	35.6±2.7a	25.8±6.9a	15.3±2.6a
저농도	55.0±2.1a	27.8±10.7a	19.3±5.1a

표 3-25. 질소처리수준별 성충의 non-choice test를 통한 기주선호성 조사(도테랑)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	26.3±1.1a	26.3±3.4a	10.5±3.5a
중간농도	35.3±5.9a	35.3±8.6a	5.8±2.9a
저농도	28.8±2.5a	28.8±8.1a	11.0±1.7a

non-choice test의 경우 질소처리 수준에 따라 산란수에 유의한 차이가 존재하지 않음을 알 수 있다(LSD test, SAS Institute). 이는 성충이 엽내 질소수준의 차이에 의해 선호성이 달라지거나, 산란수에 차이가 발생하지 않음을 의미하는 결과이다.

표 3-26. 질소처리수준별 성충의 choice test를 통한 기주선호성 조사(서광)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	81.0±5.5a	27.3±5.9a	4.7±0.9a
중간농도	32.0±10.2b	7.7±3.0b	5.0±2.1a
저농도	31.7±10.7b	15.3±4.1b	3.3±1.3a

표 3-27. 질소처리수준별 성충의 choice test를 통한 기주선호성 조사(도테랑)

질소처리 수준	식물체내 위치		
	상단	중단	하단
고농도	48.7±6.7a	32.7±9.2a	8.3±2.3a
중간농도	40.3±9.3b	14.7±3.2b	0b
저농도	13.0±7.2b	4.3±3.3b	1.0±1.0b

choice test의 경우, non-choice test의 결과와 달리, 질소처리 수준에 따라 산란수에 유의한 차이가 존재하였다(LSD test, SAS). 위의 표에서와 같이, 질소수준이 증가함에 따라, 두 품종 모두에서 산란수가 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 성충의 기주선택성이 제약될 경우, 질소수준별 산란수의 차이가 유의함을 나타내는 결과이다. 따라서, 결론적으로, 식물체의 질소수준에 따라, 성충의 산란수가 영향을 받기 때문에, 실제 포장의 토마토 식물체의 영양상태는 온실가루이 개체군의 생장에 유의한 영향을 줄 수 있는 것으로 사료된다.

3) 질소처리 수준별 온실가루이의 발육에 대한 영향평가

본 실험은 2001년 8월 초순부터 2001년 10월 중순까지 고려대학교 내에 위치한 생명환경과학대학 유리실험온실에서 수행되었다. 8월 2일 pH=5.5 EC=2.5의 양액이 공급된 암면 플러그에 두 품종 ‘서광’ 과 ‘도테랑’의 종자를 파종하였다. 이후 육묘는 8월 13일 암면 블록에 정식되었으며, 4엽기까지 중간농도의 질소처리 수준에서 생장하였다. 이들 토마토 식물체를 고농도, 중간농도, 저농도의 3구간의 질소처리농도에 품종당 20주씩 랜덤하게 배치하여, 2주간 각 처리수준에서의 질소농도에서 재배하였다. 10월 5일 온실가루이 성충을 이들 식물체에 48시간동안 노출 후 제거해주는 방법으로 접종하였으며, 이후 접종된 온실가루이의 난 기간, 유충 기간을 품종별, 질소수준별로 관찰, 기록하였다.

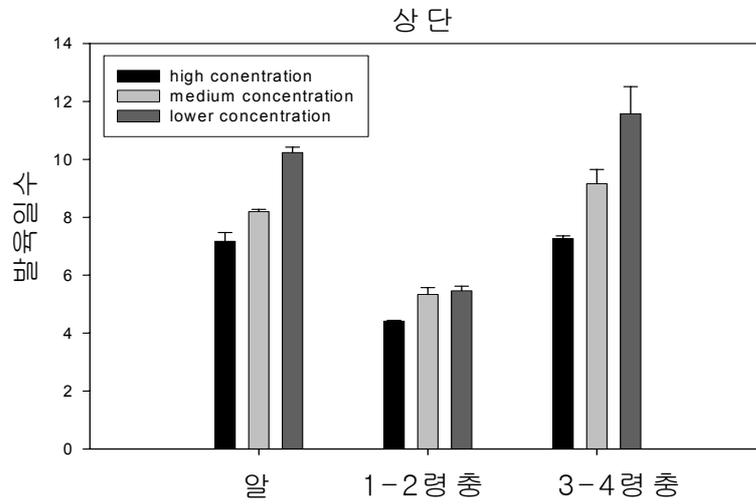


그림 3-37. 상단에서 질소처리 수준별 온실가루이 발육일수(서광)

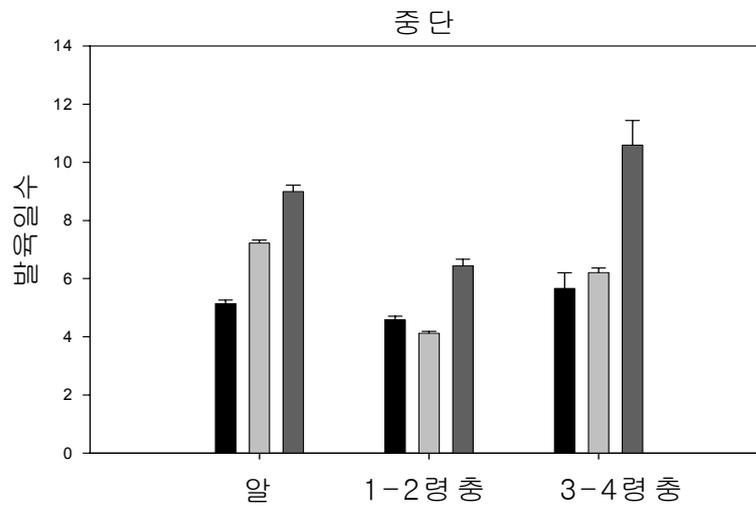


그림 3-38. 중단에서 질소처리 수준별 온실가루이 발육일수(서광)

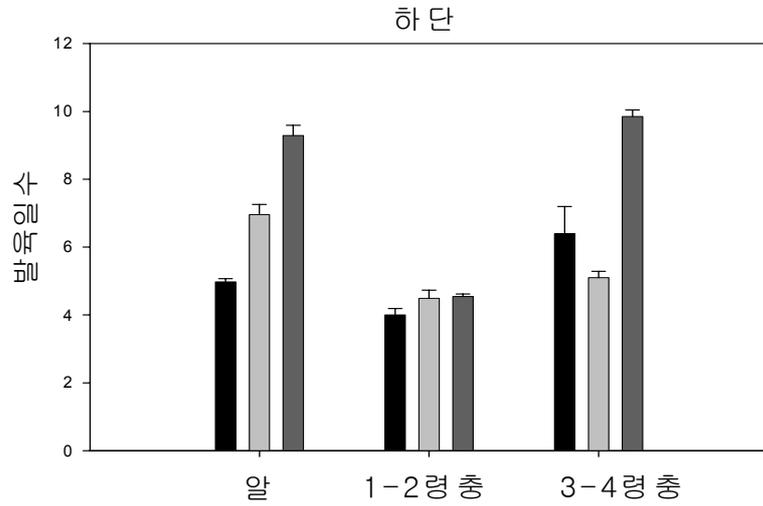


그림 3-39. 하단에서 질소처리 수준별 온실가루이 발육일수(서광)

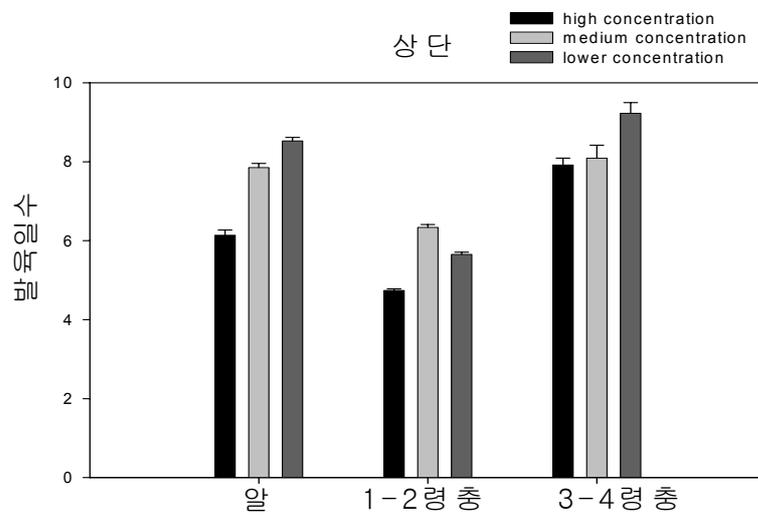


그림 3-40. 상단에서 질소처리 수준별 온실가루이 발육일수(도테량)

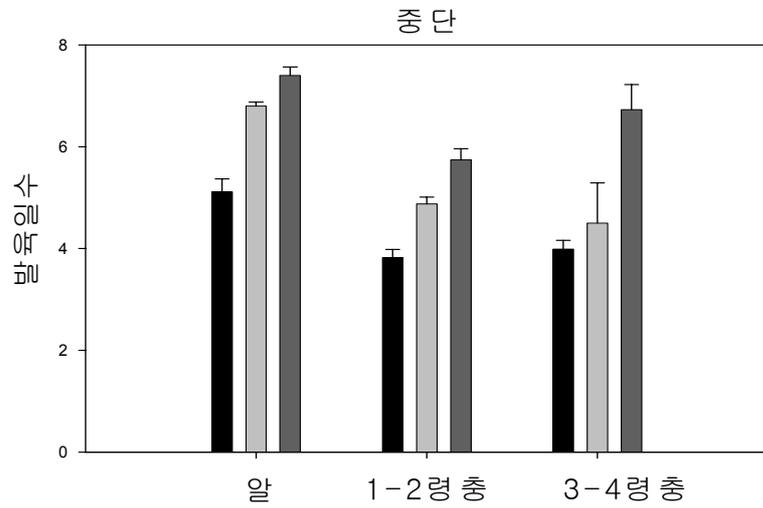


그림 3-41. 중단에서 질소처리 수준별 온실가루이 발육일수(도테량)

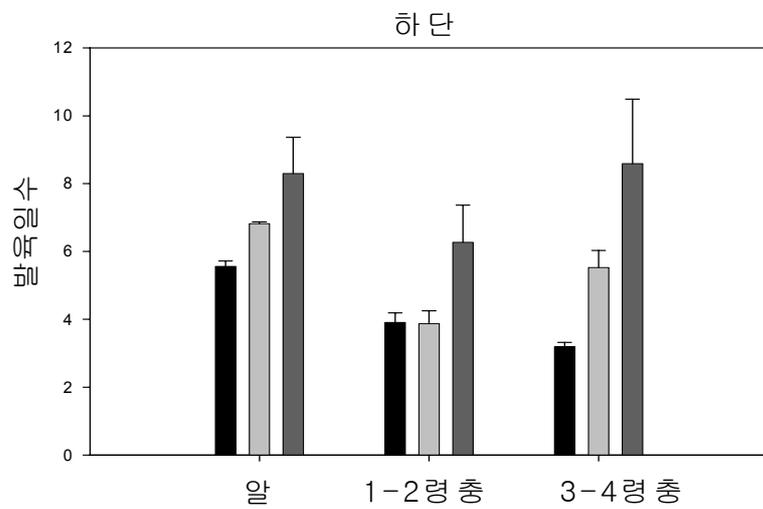


그림 3-42. 하단에서 질소처리 수준별 온실가루이 발육일수(도테량)

질소처리 수준별 온실가루이 발육일수는 두 품종에서 모두 처리수준에 따라 유의한 차이를 나타내었다. 난기간의 경우, 하단, 중단, 그리고 상단에서 모두 질소처리수준이 낮을수록, 난기간이 오래 지속되는 것으로 나타났다(LSD test, LSD). 또한, 품종 ‘도테랑’에서의 난기간이 품종 ‘서광’에서 보다 오래 지속되었음을 알 수 있었다. 1-2령충의 유충기간의 경우 ‘도테랑’에서는 질소처리 수준에 따라 유의한 차이가 존재하지 않았지만, ‘서광’ 품종의 경우에는 저농도 질소수준 처리구에서의 유충기간이 다른 두 처리농도에 비해 길게 관찰되었다. 3-4령충의 발육기간은 저농도 처리구에서 다른 두 농도처리에 비해 유의하게 긴 것으로 분석되었다(LSD test, SAS). 본 실험을 통하여, 질소처리 수준에 따라 온실가루이의 발육일수가 알, 유충 모두에서 유의한 영향을 받는다는 결론을 얻을 수 있었다. 이는 실제 포장에서 작물의 질소처리 수준에 따라, 온실가루이 개체군의 성장에 유의한 영향을 줄 수 있음을 시사하는 결론이다.

4) 질소처리 수준별 온실가루이의 감로생산 대한 영향평가

본 실험은 2001년 11월 중순부터 2002년 1월 중순까지 고려대학교 내에 위치한 생명환경과학대학 유리실험온실에서 수행되었다. 11월 14일 pH=5.5 EC=2.5의 양액이 공급된 암면 플러그에 두 품종 ‘서광’ 과 ‘도테랑’의 종자를 파종하였다. 이후 육묘는 12월 5일 암면 블록에 정식되었으며, 4엽기까지 중간농도의 질소처리 수준에서 생장하였다. 이들 토마토 식물체를 고농도, 중간농도, 저농도의 3구간의 질소처리농도에 품종 당 20주씩 랜덤하게 배치하여, 2주간 각 처리수준에서의 질소농도에서 재배하였다.

본 실험에서는 water-sensitive paper(5.2X3.8cm ; Norvartis, Switzerland)를 이용하여 온실가루이에 의한 감로생산량을 측정하였다. 각 질소처리 수준별로 5주의 식물체를 임의로 선정하여 배치하고, 10엽 하단부에 water-sensitive paper를 설치하였다. 48시간동안 설치 후 수거하여, 실험실에서 현미경을 통하여 감로생산량을 측정하였다.

온실가루이 유충의 배설에 의한 감로생산은 그을음을 유발하여 광합성을 저해하는 등 흡즙에 의한 피해보다 더욱 심각한 문제를 실제 포장에서 유발하고 있다. 본 실험은 유충에 의한 감로 생산량을 질소처리 수준에 따라 분석함으로써, 작물의 영양상태에 따른 감로피해를 정량화하기 위하여 수행되었다.

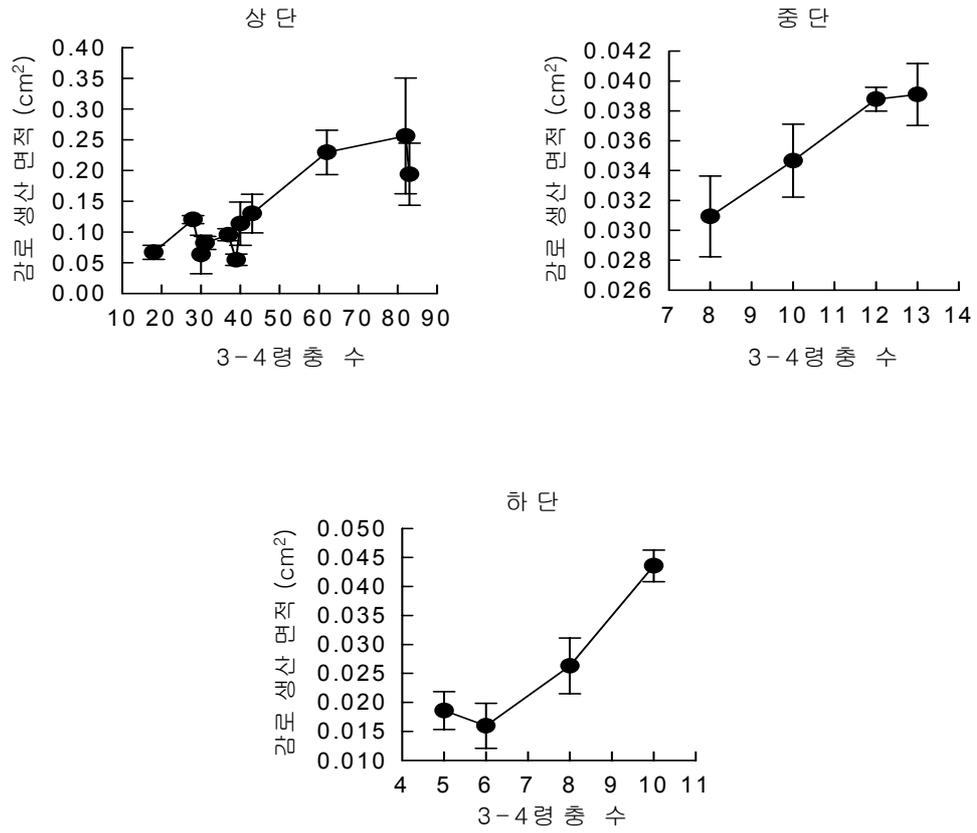


그림 3-43. 고농도 질소 처리시 소엽 당 유충수에 따른 감로생산 면적의 변화(품종: 서광)

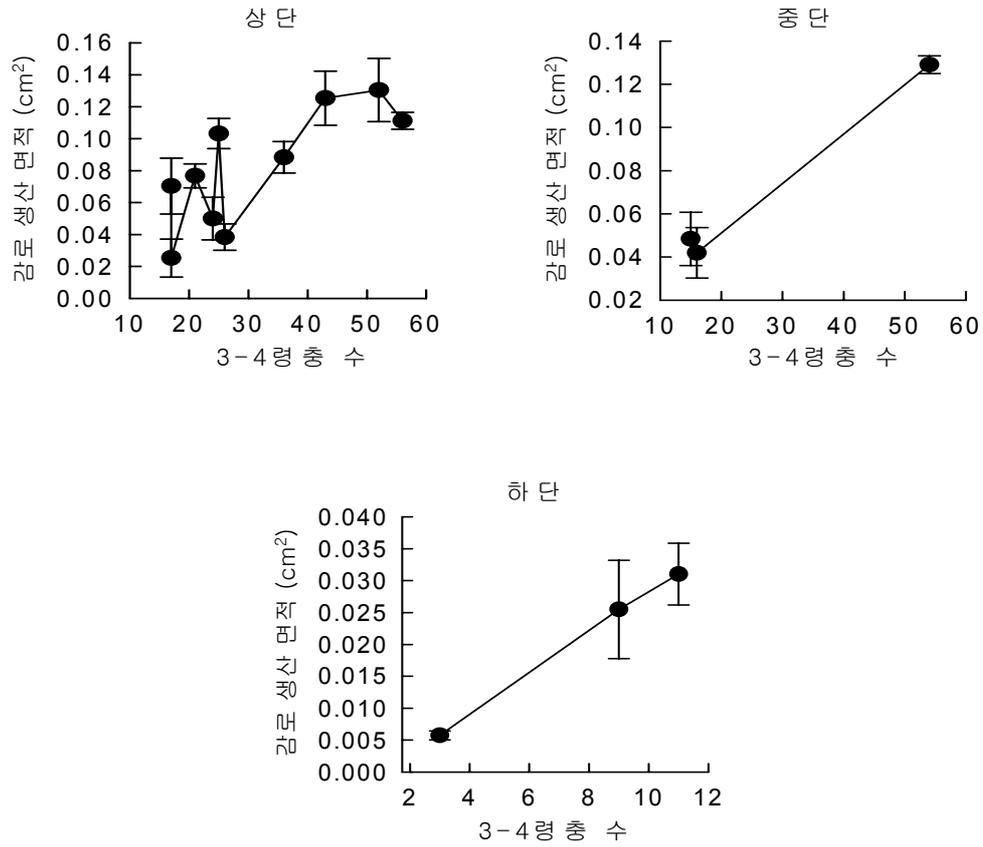


그림 3-44. 고농도 질소 처리시 소엽 당 유충수에 따른 감로생산 면적의 변화(품종: 도테랑)

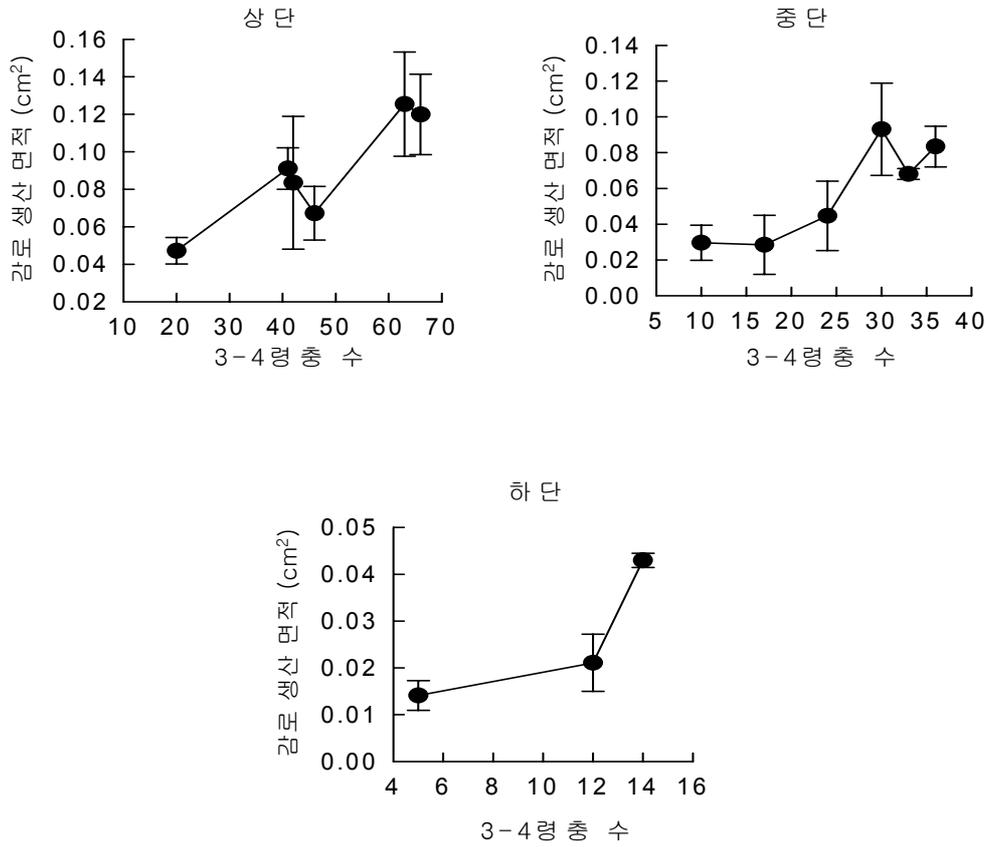


그림 3-45. 중간농도 질소 처리시 소엽 당 유충수에 따른 감로생산 면적의 변화(품종: 서광)

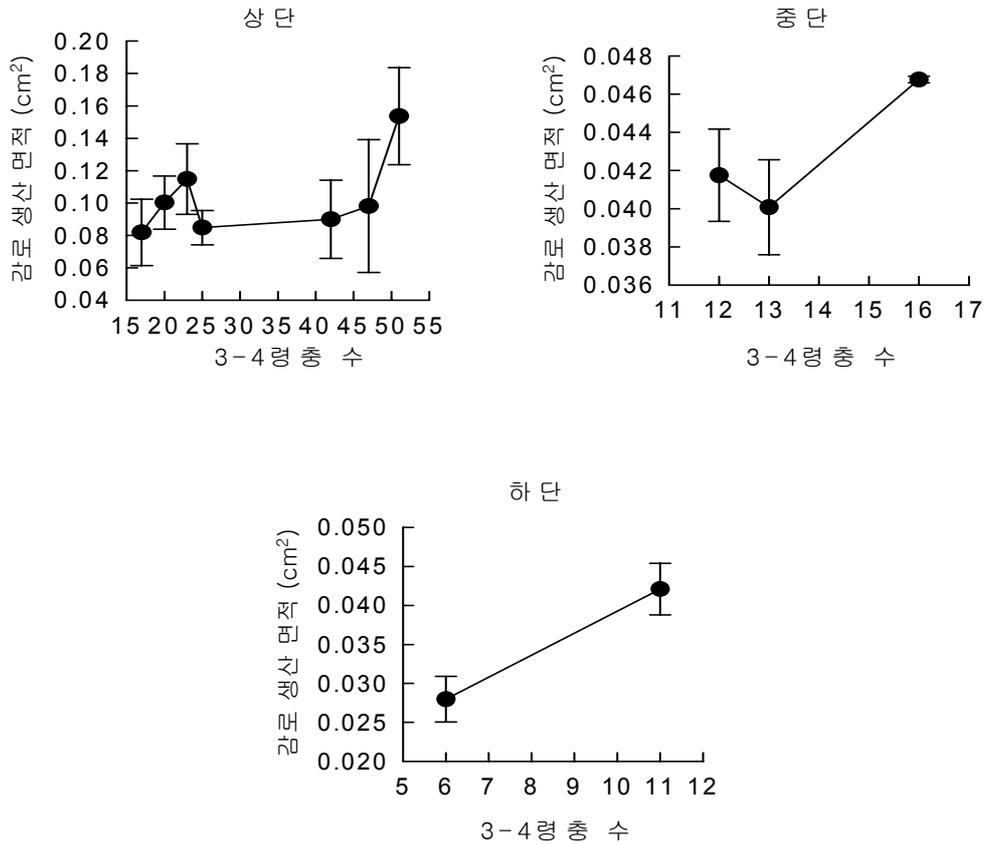


그림 3-46. 중간농도 질소 처리시 소엽 당 유충수에 따른 감로생산 면적의 변화(품종: 도테랑)

앞서의 질소처리 수준별 온실가루이 유충(3-4령 총)의 감로생산 면적 변화측정 결과, 고농도 질소처리구의 경우 품종 '서광'에서의 감로생산 면적이 품종 '도테랑'의 경우보다 넓은 것으로 나타났다. 그러나 중간농도 처리구의 경우에는 품종 '도테랑'에서의 감로생산 면적이 '서광'에서보다 높은 것으로 나타났다. 저농도 질소처리구의 경우, 식물체 상단에서의 온실가루이 유충에 의한 감로생산 면적이 다른 두 고농도 처

리구에 비해 넓은 것으로 나타났다. 본 실험 결과, 질소처리 농도에 관계없이 모든 처리구에서, 엽당 유충수가 증가함에 따라, 감로생산 면적 역시 증가하는 것으로 측정되었다. 이는 실제 포장에서, 간이 예찰법에 의한 온실가루이 유충의 밀도결과추정결과를 이용하여, 이들에 의한 감로 생산과 그에 따른 광합성량의 감소를 추정하는데 이용 가능한 결과이다. 즉, 온실가루이 유충 밀도에 따른 피해수준을 밀도에 따른 감로생산 면적 결과를 이용하여 추정가능하다. 유충에 의해 생산된 감로는 그 양이 증가함에 따라 낙하된 곳에서 서로 중첩되어 발생하는 경우가 늘어나기 때문에, 본 실험에서는 각 밀도구간에서 최대 밀도구간에서의 감로 발생면적을 기준으로 하여 피해 분석에 이용하였다. 또한 하단부에 존재하는 유충에 의해 발생된 감로는 낙하하여 지상부에 떨어지거나, 식물체 과실에 대한 영향이 크지 않으므로, 분석에서 제외되었다. [표 3-28]은 질소처리 농도별 엽당 최대 유충밀도 구간에서의 평균 감로생산 면적을 정리하여 나타내고 있다. 이들 결과는 이후 실제 포장에서의 피해해석 결과를 정량화 하는데 이용되었으며, 온실가루이 유충 밀도에 따른 피해해석의 기본 자료로서의 그 활용도가 높을 것으로 기대된다.

표 3-28. 질소처리 농도에 따른 감로생산 면적

평균감로생산면 적 (mm ²)	서광		도테랑	
	상단	중단	상단	중단
고농도	0.30	0.30	0.26	0.25
중간농도	0.20	0.30	0.28	0.36
저농도	0.33	-	0.52	-

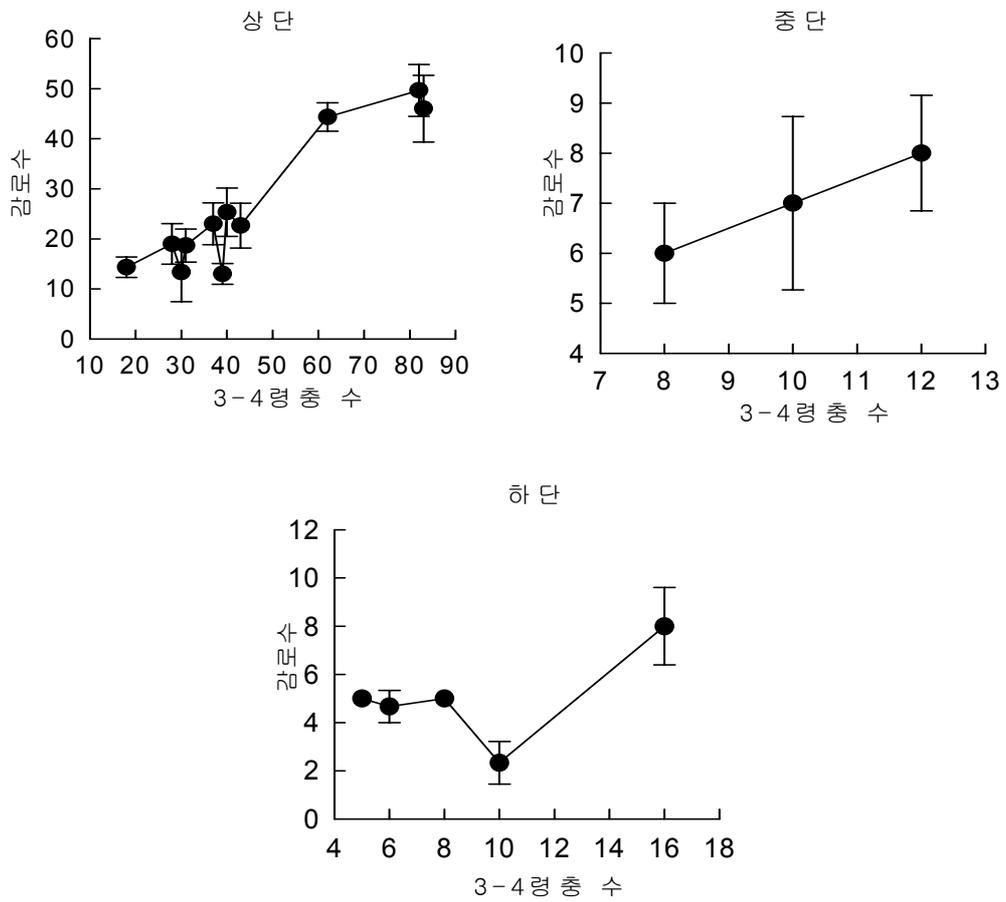


그림 3-47. 고농도 질소 처리시 소엽당 유충수에 따른 생산 감로수의 변화(품종: 서광)

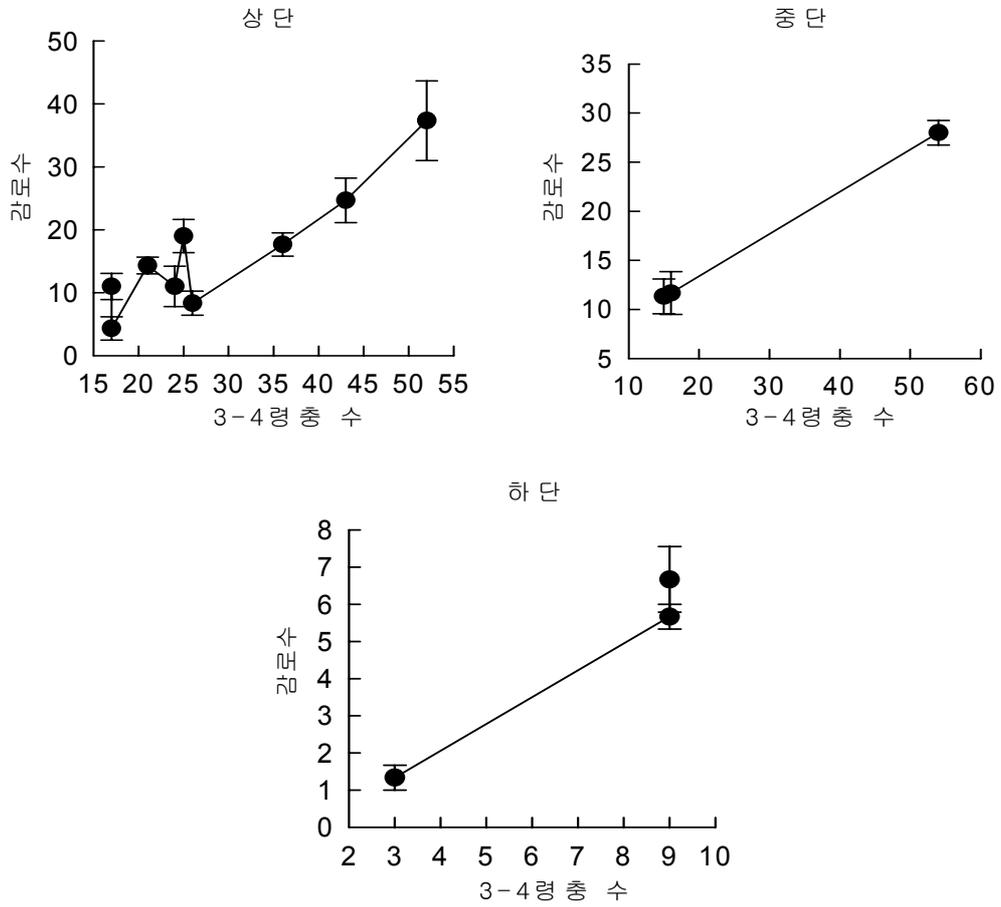


그림 3-48. 고농도 질소 처리시 소엽당 유충수에 따른 생산 감로수의 변화(품종: 도테랑)

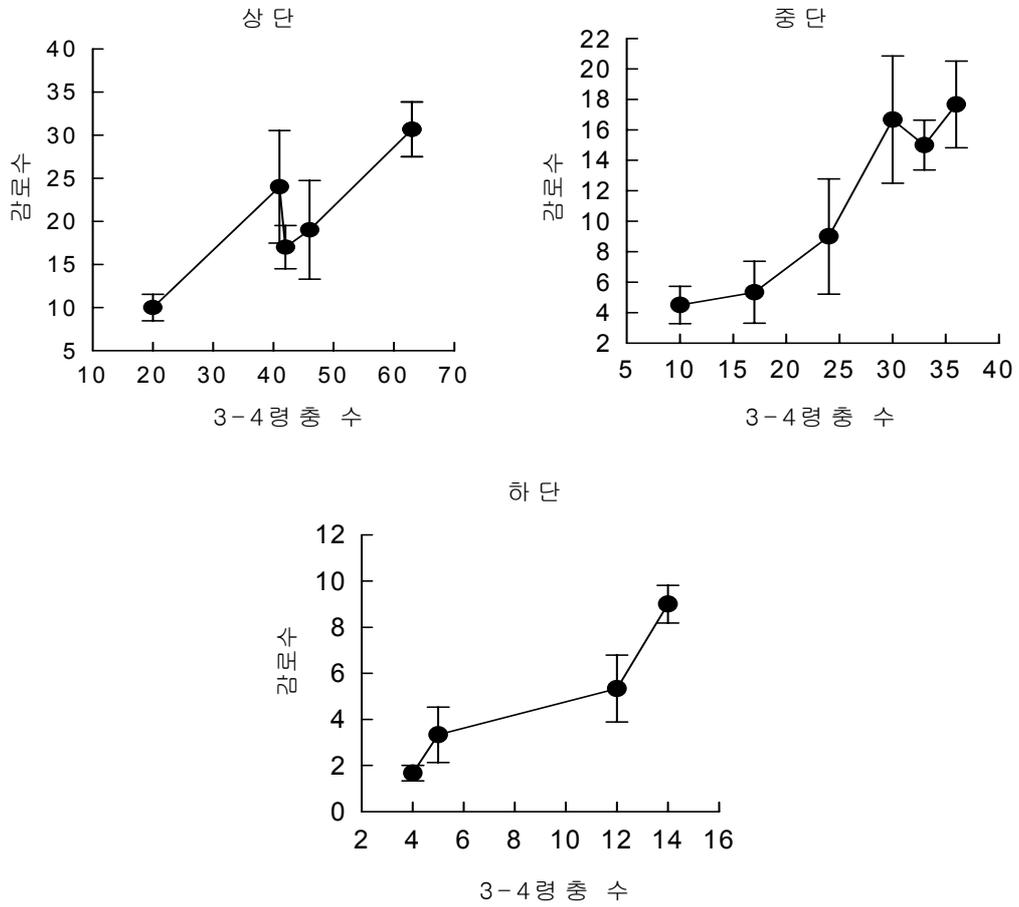


그림 3-49. 중간농도 질소 처리시 소엽당 유충수에 따른 생산 감로수의 변화(품종: 서광)

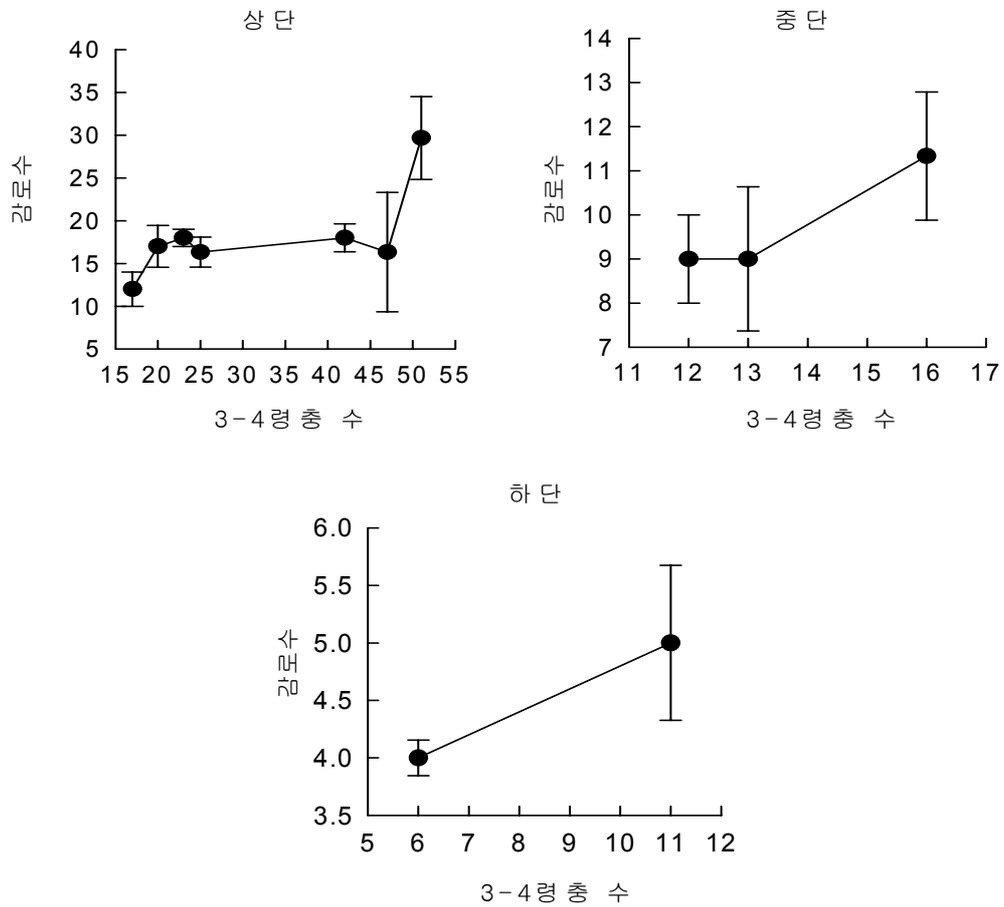


그림 3-50. 중간농도 질소 처리시 소엽당 유충수에 따른 생산 감로수의 변화(품종: 도테랑)

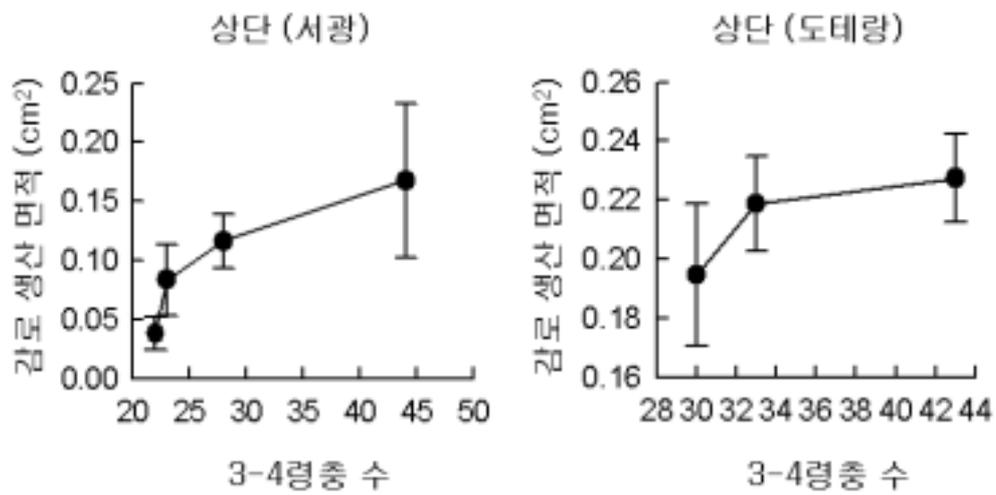


그림 3-51. 저농도 질소 처리시 소엽당 유충수에 따른 생산 감로수의 변화

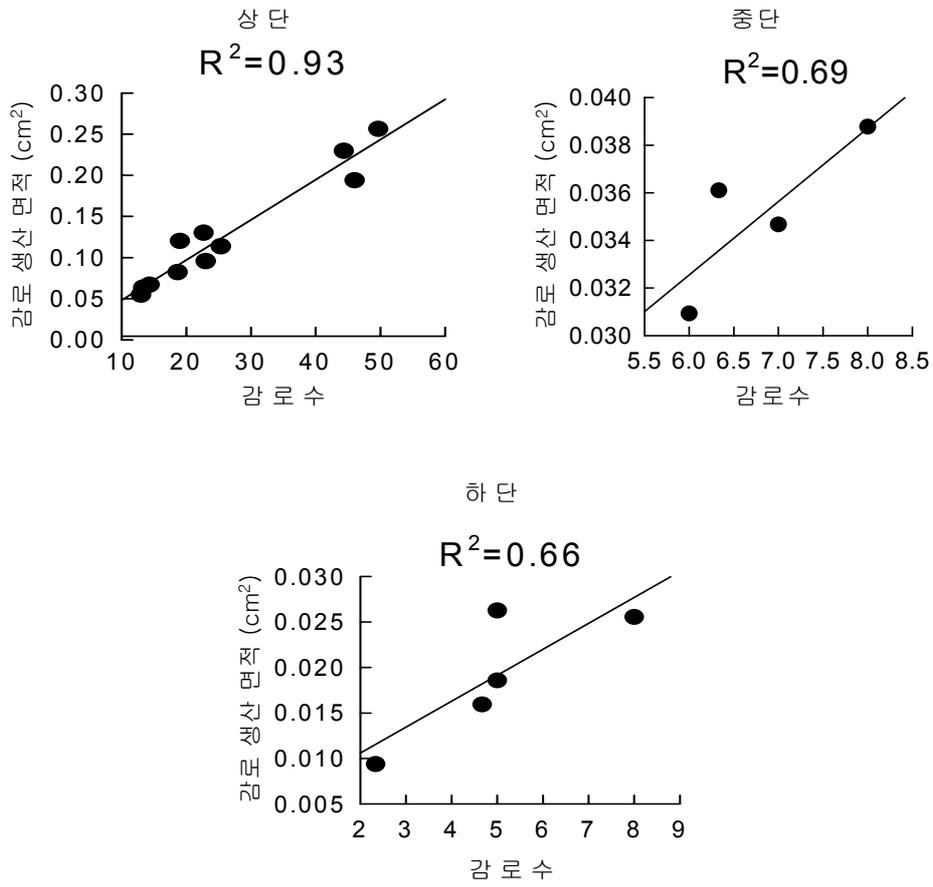


그림 3-52. 고농도 질소처리시 감로수와 감로생산 면적과의 상관관계(품종: 서광)

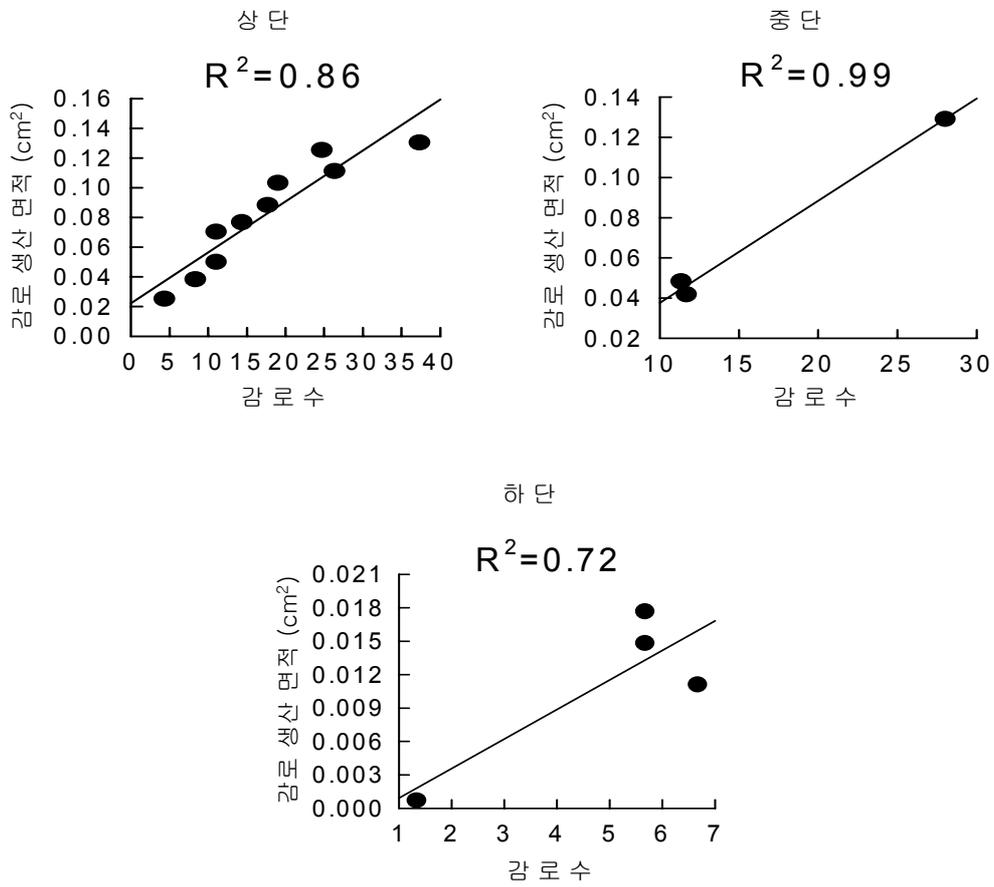


그림 3-53. 고농도 질소처리시 감로수와 감로생산 면적과의 상관관계(품종: 도테랑)

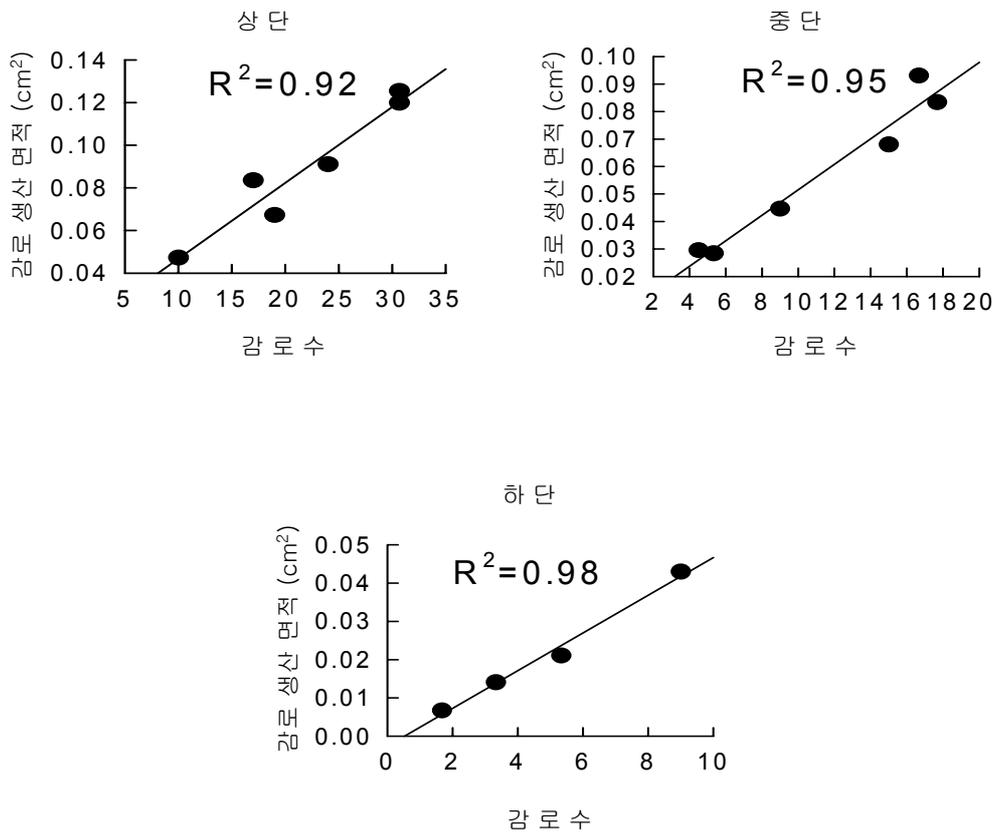


그림 3-54. 중간농도 질소처리시 감로수와 감로생산 면적과의 상관관계(품종: 서광)

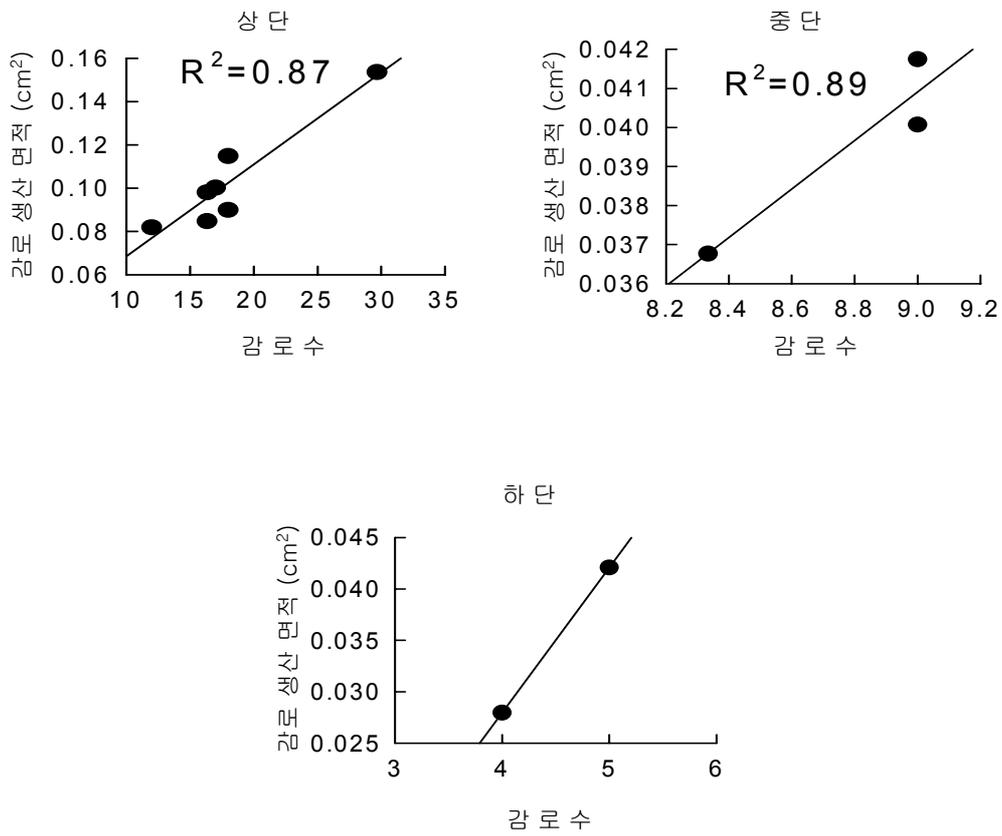


그림 3-55. 중간농도 질소처리시 감로수와 감로생산 면적과의 상관관계(품종: 도테량)

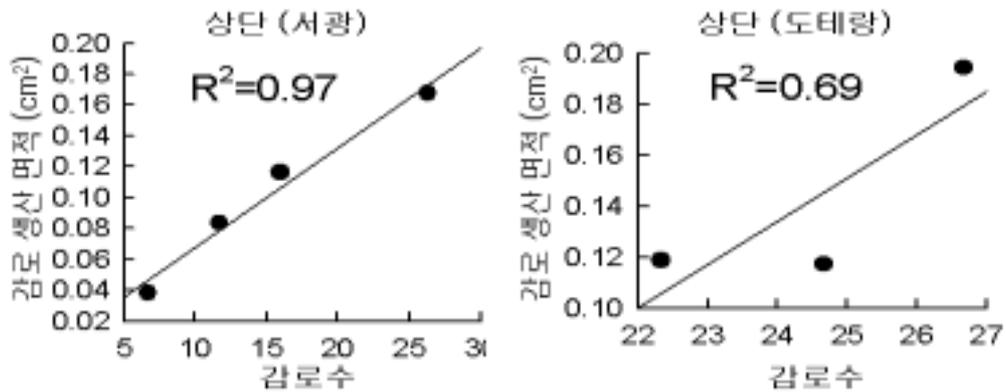


그림 3-56. 저농도 질소처리시 감로수와 감로생산 면적과의 상관관계

나. 실제 포장에서 간이 엽록소 측정기를 이용한 피해해석.

본 실험은 포장에서 발생하는 온실가루이 유충에 의한 피해를 분석하기 위하여, 간이 엽록소 측정기를 이용하여 수행되었다. 소엽에 존재하는 온실가루이 유충 밀도에 따라, 이들 유충이 야기하는 엽록소 감소량을 정량화 할 경우, 실제 포장에서 발생하는 엽록소 감소 정도를 예측하는 것이 가능하다. 또한, 유충 밀도에 따른 감로생산 면적 결과와 실제 해충에 의한 피해사이의 관계를 도출함으로써, 두 데이터간의 보정이 가능하게 될 것이다. 실제 포장에서 직접적으로 피해 정도와 수확감소간의 상관관계를 도출하기 힘든 점을 감안하여 볼 때, 두 실험 데이터 간의 보정과, 상관관계 구명은 중요한 의미를 가지게 된다.

실제 포장에서 간이 엽록소 측정기를 이용한 본 실험은 충남 부여에 위치한 상업적 토마토 재배 온실 2곳에서 2003년 11월 초순부터 12월 말까지 진행 되었다. 조사 대상 포장은 가로 50m 세로 100m의 7동 연동 비닐하우스 포장이었으며, 노지에 양액을 관주하는 방식으로 재배가 이루어졌으며, 조사기간 동안 작물은 5단 적심 상태였으며, 수확이 진행되고 있었다.

우선, 서로 마주보고 있는 2번, 3번 소엽 중, 유충에 감염된 소엽 내에서 유충이 감염 되지 않은 비 감염 부분의 엽록소 측정 결과와, 비 감염 소엽에 대한 엽록소 측정 결과를 비교하였다. 이는 유충에 감염된 소엽 중 비 감염 부위에 대한 유충의 영향을 평가하기 위하여 수행 되었다. [그림 3-57]는 측정 결과를 포장별 평균값으로 제시하고 있다.

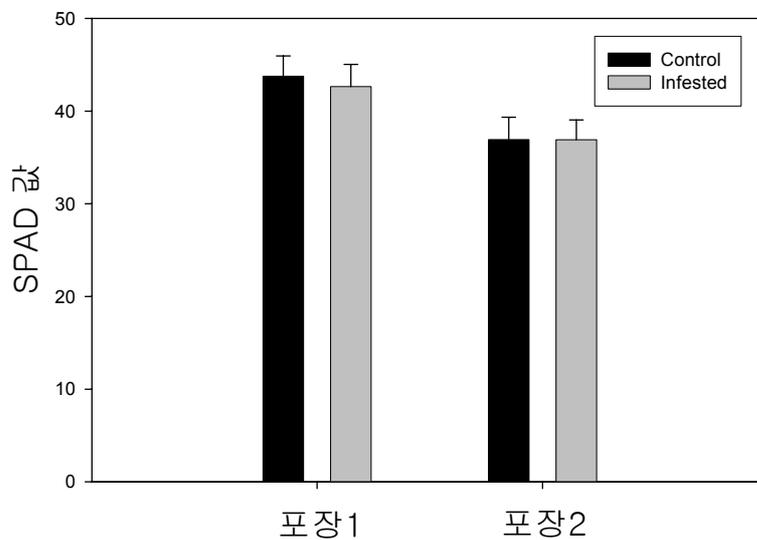


그림 3-57. 감염 소엽의 비감염 부위와 비감염 소엽간의 SPAD 값 비교

[그림 3-57]는 유충에 감염된 소엽의 비감염 부위는 유충 흡즙에 의한 엽록소 저하가 일어나지 않음을 의미한다. 통계 분석 결과, 감염 소엽의 비 감염 부위와 비 감염 소엽의 SPAD 값은 유의한 차이가 존재하지 않았다(SAS paired t-test). 이는 운실가루이 유충에 의한 흡즙 피해는 직접적으로 흡즙이 이루어지는 부위에만 국한 되는 것이며, 비 감염 부위에서는 엽록소의 파괴가 일어나지 않음을 의미한다. 또한, 이는 건전한 소엽 중 마주보고 있는 2번, 3번 소엽의 SPAD 값에 유의한 차이가 없다는 앞서의 결과와 일치하는 부분이다.

앞서의 결과를 통하여, 식물체 소엽위에 형성된 유충의 흡즙 피해는 비 감염 부위에 유의한 영향이 존재하지 않음을 알 수 있었다. 다음으로는 유충이 감염된 부위, 즉 유충의 흡즙이 직접적으로 일어난 부위와 동일 소엽 내의 비 감염 부위의 SPAD값의 비교를 통하여, 온실가루이 유충에 의한 흡즙 피해에 관하여 조사하였다.

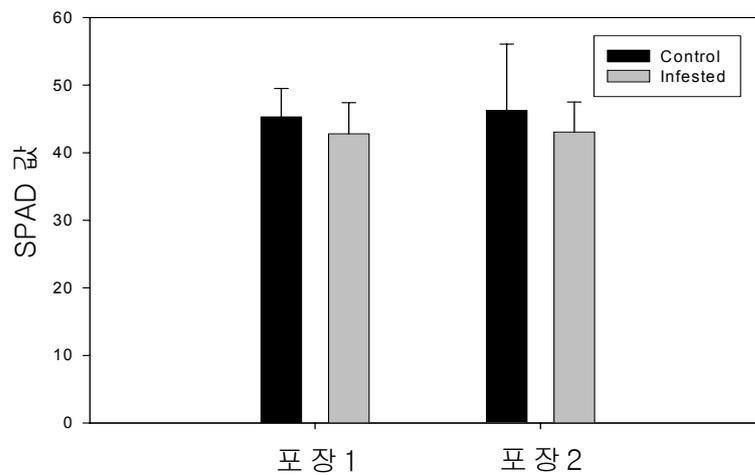


그림 3-58. 온실가루이 감염부위와 비 감염 부위간의 SPAD 값 비교

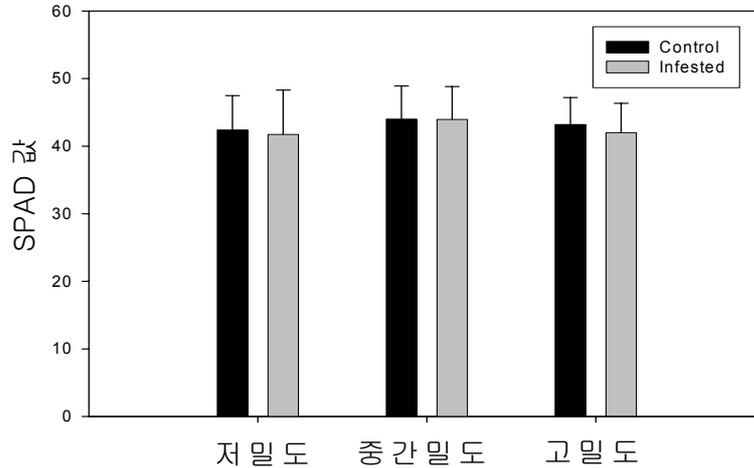


그림 3-59. 온실가루이 유충 밀도에 따른 온실가루이 감염부위와 비감염 부위간의 SPAD 값 비교

[그림 3-58]에서와 같이, 유충에 직접 감염된 부위와 비 감염 부위간의 SPAD 측정 결과는 유의한 차이가 존재하지 않았다(SAS, paired t-test). 이는 [그림 3-57]의 결과와 일치되는 것으로, 비록 온실가루이에 의한 직접적 흡즙이 발생하고 있는 부분이라 하더라도, 비 감염 부위에 비해 SPAD 측정값은 감소하였지만, 둘 사이에 유의한 차이는 나타나지 않았다. 이는 흡즙에 의한 감로생산과 감로생산부위의 오염에 따른 피해가 직접적인 흡즙에 의해 발생하는 국부적 피해보다 중요한 의미를 가짐을 시사하는 결론이다. [그림 3-59]은 온실가루이 유충 밀도에 따른 감염부위와 비감염 부위간의 SPAD 값 비교 결과로, 앞서의 결과와 마찬가지로, 다양한 밀도 범위에서도 감염부위와 비 감염 부위 간에 SPAD값에 유의한 차이가 존재하지 않음을 보여주고 있다. 각각의 밀도구간 설정은 실제 포장의 밀도범위를 근거로 다음과 같은 기준으로 설정되었다. 저밀도는 엽 당 10마리 이하, 중간밀도는 11마리 이상 30마리 이하, 마지막으로 고밀도는 30마리 이상의 유충밀도를 기준으로 설정하였다.

다. 해충밀도에 따른 피해분석.

앞서의 잎굴파리의 피해 정량화 방법을 이용, 온실가루이 누적피해일수 (whitefly-day)에 따른 수확중량 및 수확갯수 감소를 예측하기 위하여 온실가루이의 감로 피해를 다음의 과정을 통하여 정량화 하였다. [표 3-28]의 결과, 온실가루이 유충당 1일 감로 생산 면적은 약 0.30 mm²로 측정되었다. 따라서 엽 면적의 평균 5%에 해당하는 면적인 1.4 cm²은 약 460마리의 유충에 해당하는 피해이다. 실제 포장에서 온실가루이의 유충피해는 지속적으로 누적으로 나타나게 되므로 460 온실가루이 누적피해일수에 해당하는 피해가 존재할 경우, 실제 작물에는 약 5%의 엽 면적 손실에 해당하는 피해가 가해지는 것으로 사료되며, 이에 따른 과실 수확중량(점선) 및 수확개수(실선) 감소를 앞서의 피해 정량화 결과를 이용하여 예측하였다.

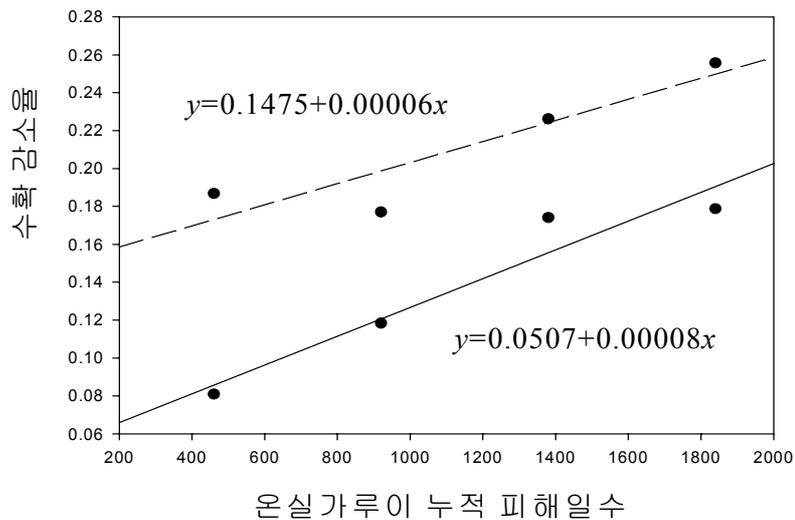


그림 3-60. 온실가루이 누적 피해일수에 따른 수확 감소율

라. 경제적 피해수준의 설정 및 응용

1) 경제적 피해수준의 각 항목의 설정

경제적 피해수준은 해충에 의해 손실된 작물의 가격과 방제를 실시하였을 때에 소요되는 비용이 동일한 해충밀도를 의미한다(Stone & Pedigo, 1972). 해충은 작물의 가해습성에 따라 직접 가해해충과 간접 가해해충으로 나눌수 있다. 직접 가해해충은 과실, 피경 등 작물의 생식부위를 가해하여 작물의 생산부위에 직접적인 피해를 주는 해충을 의미한다. 간접 가해해충은 잎의 엽육을 가해하거나 영양분을 흡즙하고, 흡즙의 부산물들이 과합성의 효율을 감소시켜 생육의 저하나 생산량의 손실을 야기 시키는 해충들로서 잎굴파리, 온실가루이 등이 그 예이다. 이러한 간접 가해해충의 경우 경제적 피해수준 설정에 있어서 내성의 개념을 포함하여 계산한다. 내성은 해충의 가해에 대한 작물의 내성도로 이 수준에서는 유의한 피해가 발생하지 않음을 의미한다.

$$EIL = T + \frac{C}{PDK} \text{-----}(식 1)$$

(T=작물의 해충에 대한 내성도, C=단위면적 당 방제비용, P=단위생산량 당 시장가격, D=단위 해충밀도로 인한 작물 손실량, K=방제 효율)

가) 방제비용

방제비용은 살충제의 비용뿐만 아니라 방제를 위한 노동임금을 포함하고 있으므로 농가의 경영방식에 따라 달라질 수 있다. 방제비용은 단위면적 당 사용한 살충제의 종류, 가격, 재배방식, 살포량을 종합하여 계산되는 값이다. 방제비용(원/10a)은 인건비 단가를 계산해보면, 8시간 노동비에 50,000원, 1시간에 6,250원, 10분에는 1,041원의 노동비가 지불되었다(친환경농업실천 현장연구보고서). 또한, 온실가루이 방제의

경우 대부분 경엽처리를 시행하므로, 경엽처리제를 기준으로 산출하면 소요시간 30분, 필요인원 3명으로 총 노동비는 9,375원/10a 이다.

나) 토마토의 시장가격

토마토의 시장가격은 산지가격이 아닌 시장 수매가를 사용하였다. 실제 농민들의 생산 소득은 유통마진을 제외한 농가 수취율로 계산할 수 있다. 본 연구에서는 토마토의 시장가격을 최근 5년간의 가락시장 평균시장가격 1,700원/kg으로 설정하였다.

다) 방제비용 동가수량

방제비용 동가수량(Gain threshold: GT)은 방제로 인해 소실되는 비용과 해충으로 인해 소실되는 곡물가가 동일한 시점에서의 작물 피해량을 의미한다. 실제 온실가루이를 방제하는데 이용되는 대표적인 살충제의 약제가와 방제인건비, 그리고 평균 토마토 가격을 이용하여 농약 종류에 따른 방제비용 동가수량을 계산하였다. 약제의 성상 및 가격은 한국농약공업협회의 자료집(2004년)을 참조하였으며, 단위 면적은 10a를 기준으로 계산하였다.

라) 내성도

내성도는 해충의 가해에 대한 작물의 내성으로 이 수준에서는 유의한 피해가 나타나지 않음을 의미한다. 각 처리별 토마토 생산량의 차이는 SAS(PROC GLM, SAS Institute, 1999)를 이용하여 분석하였다. 잎굴파리 갱도에 대한 토마토의 내성도는 중단의 3복엽에 대한 조사에서 엽당 평균밀도 1개로 산출하였다. 온실가루이의 경우 앞서의 잎굴파리 결과를 바탕으로, 갱도 1개의 평균 피해비율인 2.5%를 내성도로 이용하여, 이에 해당하는 온실가루이 누적피해일수=230 값을 이용하여 계산하였다.

마) 피해계수

단위 해충 밀도에 의해 발생한 경제적 피해는 토마토에 대한 온실가루이 접종 실험을 통하여 수행된 피해분석 실험의 해충밀도(감로생산 면적)-토마토 생산량 관계 결과의 기울기 값을 이용하였다.

바) 방제효율

방제효율은 농가의 경영방식, 재배환경, 살충제의 종류 등에 따라 달라질 수 있으므로 본 실험에서는 평균적인 수치인 $K=0.9$ (90%방제 효과)로 설정하였다.

2) 경제적 피해수준의 결정

단위 해충 밀도에 의해 발생한 경제적 피해는 해충밀도-토마토 생산량 관계 결과의 기울기를 이용하였다. 본 실험에서는 기울기값이 0.00008로 계산되었으며, 여기에서 실제 매개변수 D값을 산출하였다. 경제적 피해계수는 그림 3-60의 추세 방정식의 기울기와 같은 값을 가지게 된다. 그러나 경제적 피해계수의 단위가 피해율 형식으로 나타나므로 이를 중량단위로 전환하였다. 본 실험에서는 실제 토마토의 경우 주당 평균 3,666g을 생산하므로 (농촌진흥청, 1996) 실험값을 실제 생산된 생산량으로 전환할 필요가 있다. 기대생산량은 실제 전 기간동안 생산할 수 있는 총 생산량을 뜻하며 여기서는 3,666(g/주)으로 설정하였고, D는 경제적 피해계수와 기대 생산량의 곱으로 나타내었다.

$$D = \text{수식의 기울기} * \text{최대 생산량} = 0.00008 * 3,666 = 0.293(\text{g/밀도일})$$

실제 실험포장에서는 에마멕틴벤조에이트를 사용하였기 때문에 이 약제를 기준으로

GT값을 계산하여 경제적 피해수준을 설정하였다. 또한 실험 포장의 평균 재식밀도가 10a 당 1,500주이므로 이를 기준으로 엽당 피해수준을 산출하였다.

$$EIL=T+(GT/DK)=230+(14.38/(0.000293*0.9))/1500=266.35 \text{ (온실가루이 누적피해일수/엽)}$$

따라서 토마토에서의 온실가루이 유충에 대한 경제적 피해수준은 중단 3복엽을 관찰시 엽당 평균 266.35 누적피해일수로 산출되었다. 이러한 피해수준은, 소엽 당 평균 3.08%의 피해비율에 해당하였으며, 이는 주내 엽당 18마리의 해충밀도 수준에 해당하는 피해 정도를 의미하며, 이러한 밀도수준에서 방제의사가 결정되어야 할 것으로 사료된다.

3-3. 토마토에서 담배거세미나방에 의한 피해분석 실험

담배거세미 나방의 가해 작물은 수박, 멜론, 오이, 호박, 파, 무, 배추, 감자, 고추, 가지, 토마토, 상추, 생강, 시금치, 딸기 등이 현재 보고 되고 있다. 이들 담배거세미 나방에 의한 피해양상은 기주에 따라 약간의 차이가 나타나지만, 대체로 다음과 같다. 알에서 갓 깨어난 후 2령 유충이 될 때까지는 먹이식물의 잎 뒷면에 군집을 이루어 잎줄기를 남기고 잎 살만 갉아먹지만 유충이 성장함에 따라 잎을 모두 먹어 버린다. 3령 이후 유충은 분산하여 대부분 잎 뒷면 또는 흙덩어리사이에 몸을 숨기며 산발적으로 흩어져 잎을 가해한다.

형태적 특징은 알은 둥근 모양이지만 약간 납작하고 길이는 0.6mm 정도이다. 유충의 길이는 40-45mm 정도이며 색깔은 흑회색~암녹색에서 점차 적갈색 또는 백황색으로 다양하며 몸의 양측 면에 긴 띠가 있다. 앞가슴을 제외한 각 마디의 등면 양쪽에 두개의 검은 반달점이 있으며 복부 첫째마디와 여덟째 마디가 다른 마디보다 크다. 등면을 따라 길게 나있는 밝은 노란 띠가 특징이다. 번데기 길이는 15-20mm이고 적갈색이며 복부 끝에 두개의 작은 털이 있다. 성충의 길이는 15-20mm이고 회갈색이다. 앞날개는 갈색 또는 회갈색으로 매우 복잡한 무늬가 있으며 뒷날개는 회백색이고 가장자리는 회색이다.

다음으로 담배거세미 나방의 발생생태는 어른벌레는 2~5일에 걸쳐 알을 낳는데, 100~300개의 알을 덩어리로 잎 뒷면에 낳으며 암컷 한 마리가 총 1,000~2,000개의 알을 낳는다. 알 덩어리는 암컷의 복부 끝에서 떨어진 털 모양의 인편으로 덮여 있다. 알 기간은 2~15일로 온도에 따라 다양하며 유충은 일반적으로 6령을 거치지만 온도에 따라 다르고 발육기간은 온도가 높아질수록 짧아진다. 성충의 수명은 암컷이 9.8~11.7일, 수컷이 13.8~15.8일로 수컷이 암컷보다 길다. 년 5세대 발생하는데 1세대는 5월 상순, 2세대는 6월 중순, 3세대는 7월 하순, 4세대는 8월 하순, 5세대는 9월 중하순에 발생 최성기를 보이며 그 중 4세대의 발생이 가장 많다.

가. 토마토에서 담배거세미 나방의 온도발육 및 생존율 조사실험.

본 실험은 2003년 6월부터 9월까지 고려대학교 유리온실과 생명환경과학 대학 내에 위치한 곤충사육실에서 수행되었다. 6월 7일 pH=5.5, EC=2.5의 양액이 공급된 암면 플러그(Grodan[®], Denmark)에 토마토 '서광'의 종자를 파종하였다. 이후 육묘는 6월 23일 암면 블록에 정식되었으며, 이들 정식된 토마토 육묘를 곤충사육실내 인큐베이터로 인큐베이터 당 2주씩 옮겨 주었다. 각 온도구간의 인큐베이터는 20, 25, 30℃를 유지하였으며 명:암=16:8로 동일하게 유지되었다. 토마토 식물체에 각 온도구간에서 부화한 1령충을 소엽 당 10마리씩 접종해 주었다. 20, 25℃ 에서는 24시간 간격으로 유충의 생육을 관찰하였으며, 30℃ 빠른 생육으로 인하여, 12시간 간격으로 유충의 생육을 관찰하였다. 정확한 영기 구별을 위하여, 이들의 유충의 체중과 두폭 크기를 측정하였으며, 이후 이들 자료를 분석하여, 온도구간별 발육에 따른 각 영기별 유충기간을 계산하였다.



그림 3-61. 담배거세미 나방 접종실험을 위한 토마토 재배 방법 및 인큐베이터 내에서의 담배거세미 나방 유충 사육 방법

표 3-29. 온도에 따른 담배거세미나방의 발육기간

발육 단계	발육 기간		
	20℃	25℃	30℃
알	6.00±0.00	3.00±0.05	2.00±0.00
1령충	3.90±0.03	2.02±0.01	1.99±0.03
2령충	3.48±0.07	2.03±0.02	1.25±0.05
3령충	3.70±0.06	1.62±0.06	1.45±0.06
4령충	4.30±0.07	1.99±0.05	1.52±0.05
5령충	4.41±0.11	3.18±0.10	1.76±0.05
6령충	5.23±0.24	3.37±0.09	2.22±0.21
7령충	11.46±0.57	4.64±0.22	5.29±0.19
총 유충기간	36.48±0.67	18.85±0.22	15.48±0.19
번데기	17.00±0.28	9.84±0.13	6.95±0.16
총 발육기간	59.48±0.61	29.67±0.20	24.43±0.16

[표 3-29]는 온도에 따른 담배거세미나방의 발육기간의 변화를 보여주고 있다. 30℃에서의 발육기간은 20℃에서의 발육기간에 비해 2배 이상 짧은 것으로 나타났다. 이는 시설토마토 재배농가의 겨울 작기에서의 온실 온도관리의 중요성을 나타내고 있는 부분이다. 필요이상의 가온에 의한 지속적인 고온유지 상태는 담배거세미나방의 세대기간을 단축시킴으로서, 담배거세미나방의 월동과 번식에 유리하게 작용한다. [표 3-30]과 [표 3-31]은 담배거세미나방 유충의 영기구분의 기준을 위하여 조사된 체중과 두폭 측정 결과를 나타내고 있다.

표 3-30. 온도에 따른 유층의 체중 변화

발육 단계	체중(mg)	
	25℃	30℃
2령층	1.13±0.04	1.00±0.05
3령층	3.46±0.21	2.82±0.13
4령층	8.54±1.19	12.74±0.80
5령층	34.91±6.82	40.67±2.88
6령층	114.78±9.09	115.02±6.25
7령층	377.28±21.26	238.29±8.74

표 3-31. 온도에 따른 유층의 두폭크기 변화

발육 단계	두폭(mm)	
	25℃	30℃
1령층	0.26	0.27
2령층	0.40	0.40
3령층	0.57	0.59
4령층	0.89	0.82
5령층	1.29	1.20
6령층	1.90	1.91
7령층	2.69	2.84

나. 담배거세미 나방의 토마토 잎에서의 섭식량 조사실험.

본 실험은 2003년 10월부터 11월까지 생명환경과학대학 내에 위치한 곤충 사육실에서 수행되었다. 10월 15일 pH=5.5, EC=2.5의 양액이 공급된 암면 플러그 (Grodan[®], Denmark)에 토마토 ‘서광’의 종자를 파종하였다. 이후 육묘는 11월 8일 암면 블록에 정식되었으며, 이들 정식된 토마토 육묘를 곤충사육실내 인큐베이터로 인큐베이터 당 2주씩 옮겨 주었다. 각 온도구간의 인큐베이터는 25℃를 유지하였으며 명:암=16:8의 비율로 유지되었다. 토마토 식물체에 부화한 1령충을 소엽 당 5마리씩 접종해 주었으며, 접종 후 24시간 간격으로 유충의 생육을 관찰하였으며, 관찰 후 유충은 동일 식물체내의 새로운 잎으로 옮겨 접종하여 주었다. 이들 유충의 생육에 따른 영기 구분은 앞서의 실험을 통하여 얻어진 자료를 바탕으로 이루어졌다. 가해 엽 면적은 관찰시, 디지털 카메라(Nikon Coolpix 4500, Japan)로 유충이 접종된 잎을 촬영 후, 화상분석법을 이용하여 엽면적 및 섭식에 의한 가해면적을 계산하였다.

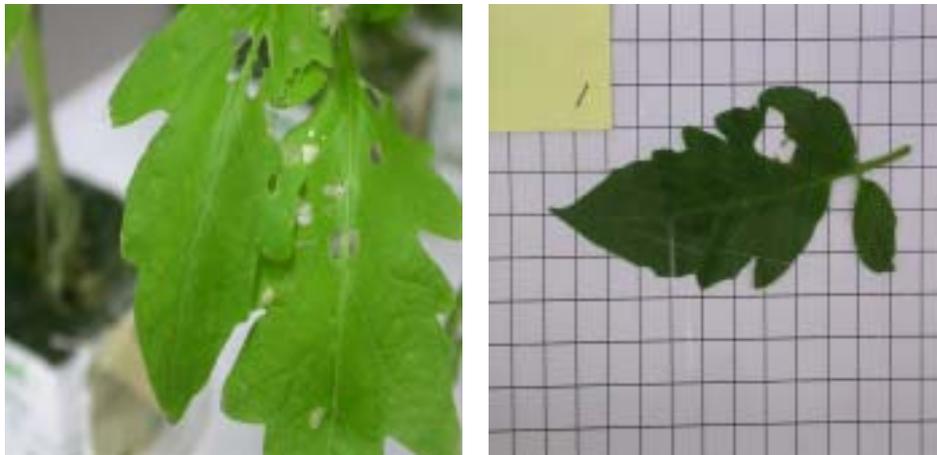


그림 3-62. 접종된 토마토에서 담배거세미나방에 의한 가해피해

본 실험 결과, 3, 4령층 모두 발육기간이 경과함에 따라 섭식 면적이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 엽면적 당 가해 비율 역시 유충기간이 진행됨에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 발육이 진행되면서, 집중된 잎뿐만 아니라 줄기 부위까지도 가해하는 유충의 수가 증가하였으며 새로운 잎으로 이동하여 가해하는 유충이 빈번히 관찰되었다. 이는 유충의 분산능력 증대로 새로운 먹이자원 탐색에 따른 결과로 사료되며, 실제 재배온실에서의 밀식재배 상황을 고려할 경우, 성충의 분산뿐만 아니라, 유충의 분산 역시도 담배거세미나방 해충개체군의 확산에 크게 기여할 것으로 사료된다. [표 3-32]는 주된 섭식 피해를 일으키는 노숙유충인 5령층과 6령층의 섭식면적을 제시하고 있다.

표 3-32. 발육일수에 따른 유충의 섭식면적 변화

발육 일수	엽당 가해비율	
	5령층	6령층
1일	0.11	0.13
2일	0.10	0.09
3일	0.15	0.15
4일	0.17	0.19

다음으로 이들 유충의 섭식에 따른 일별 엽당 가해 비율에 관한 자료이다. [표 3-33]은 노숙유충의 발육기간에 따른 엽당 피해비율을 보여주고 있다. 디지털 이미지를 이용한 화상분석 결과 집중된 엽 면적과 그에 따른 피해비율이 계산되었다. 발육일수가 증가함에 따라 24시간 동안 약 9%에서 19%의 엽 면적 손실이 유충에 의한 발생하는 것으로 계산되었다. 이렇게 얻어진 가해비율은 앞서의 인위적 피해비율에 따른 수확량 감소 자료와 연관하여, 담배거세미나방 유충에 의한 피해를 정량화 할 수 있는 기본 자료로서 이용이 가능하다.

표 3-33. 발육일수에 따른 유충의 소엽 면적당 섭식비율 변화

발육 일수	가해비율(cm ²)	
	5령충	6령충
1일	3.42	4.12
2일	3.09	2.98
3일	4.57	4.76
4일	5.24	5.89

노숙유충 5, 6령충 모두 발육일수가 증가함에 따라 24시간 동안 약 11%에서 17%의 엽 면적 손실이 유충에 의해 발생하는 것으로 계산되었다. 이렇게 얻어진 가해비율은 앞서의 인위적 피해비율에 따른 수확량 감소 자료와 연관하여, 담배거세미나방 유충에 의한 피해를 정량화 할 수 있는 기본 자료로서 이용이 가능하다. 하지만 실제 토마토 재배 농가에서 재배자의 대부분은 나방류의 방제를 위한 약제를 중점적으로 살포하고 있으며, 유충 성충 모두가 쉽게 노출되며, 가해 흔적이 확연히 나타나기 때문에, 예찰에 의한 조기 발견이 가능성이 높다. 따라서 일반적인 재배방법과 방제방법을 적용하고 있는 상업적 농가에서 노숙유충에 의한 피해는 해충 자체의 높은 피해력에 비해 상대적으로 낮은 비율로 나타나고 있다.

다. 경제적 피해수준의 설정 및 응용

1) 경제적 피해수준의 각 항목의 설정

경제적 피해수준은 해충에 의해 손실된 작물의 가격과 방제를 실시하였을 때에 소요되는 비용이 동일한 해충밀도를 의미한다(Stone & Pedigo, 1972). 해충은 작물의 가해습성에 따라 직접 가해해충과 간접 가해해충으로 나눌수 있다. 직접 가해해충은 과실, 피경 등 작물의 생식부위를 가해하여 작물의 생산부위에 직접적인 피해를 주는 해충을 의미한다. 간접 가해해충은 잎의 엽육을 가해하거나 영양분을 흡즙하고, 흡즙의 부산물들이 과합성의 효율을 감소시켜 생육의 저하나 생산량의 손실을 야기시키는 해충들로서 잎굴파리, 온실가루이 등이 그 예이다. 이러한 간접 가해해충의 경우 경제적 피해수준 설정에 있어서 내성의 개념을 포함하여 계산한다. 내성은 해충의 가해에 대한 작물의 내성도로 이 수준에서는 유의한 피해가 발생하지 않음을 의미한다.

$$EIL = T + \frac{C}{PDK} \text{-----(식 1)}$$

(T=작물의 해충에 대한 내성도, C=단위면적 당 방제비용, P=단위생산량 당 시장가격, D=단위 해충밀도로 인한 작물 손실량, K=방제 효율)

가) 방제비용

방제비용은 살충제의 비용뿐만 아니라 방제를 위한 노동임금을 포함하고 있으므로 농가의 경영방식에 따라 달라질 수 있다. 방제비용은 단위면적 당 사용한 살충제의 종류, 가격, 재배방식, 살포량을 종합하여 계산되는 값이다. 방제비용(원/10a)은 인건비 단가를 계산해보면, 8시간 노동비에 50,000원, 1시간에 6,250원, 10분에는 1,041원의 노동비가 지불되었다(친환경농업실천 현장연구보고서). 또한, 온실가루이 방제의

경우 대부분 경엽처리를 시행하므로, 경엽처리제를 기준으로 산출하면 소요시간 30분, 필요인원 3명으로 총 노동비는 9,375원/10a 이다.

나) 토마토의 시장가격

토마토의 시장가격은 산지가격이 아닌 시장 수매가를 사용하였다. 실제 농민들의 생산 소득은 유통마진을 제외한 농가 수취율로 계산할 수 있다. 본 연구에서는 토마토의 시장가격을 최근 5년간의 가락시장 평균시장가격 1,700원/kg으로 설정하였다.

다) 방제비용 동가수량

방제비용 동가수량(Gain threshold: GT)은 방제로 인해 소실되는 비용과 해충으로 인해 소실되는 곡물가가 동일한 시점에서의 작물 피해량을 의미한다. 실제 담배거세미 나방을 방제하는데 이용되는 대표적인 살충제의 약제가와 방제인건비, 그리고 평균 토마토 가격을 이용하여 농약 종류에 따른 방제비용 동가수량을 계산하였다. 약제의 성상 및 가격은 한국농약공업협회의 자료집(2004년)을 참조하였으며, 단위 면적은 10a를 기준으로 계산하였다.

라) 내성도

내성도는 해충의 가해에 대한 작물의 내성으로 이 수준에서는 유의한 피해가 나타나지 않음을 의미한다. 각 처리별 토마토 생산량의 차이는 SAS(PROC GLM, SAS Institute, 1999)를 이용하여 분석하였다. 잎굴파리 갱도에 대한 토마토의 내성도는 중단의 3복엽에대한 조사에서 엽당 평균밀도 1개로 산출하였다. 담배거세미 나방의 경우 앞서의 잎굴파리 결과를 바탕으로, 갱도 1개의 평균 피해비율인 2.5%를 내성도로 이용하여 계산하였다. 이 경우 24시간 동안 5, 6령충이 존재할 경우 11%이상의 피해를 나타내게 되므로, 중단 3복엽 관찰시 엽당 0.227마리의 밀도 수준을 내성도로 이용하여

계산하였다.

마) 피해계수

단위 해충 밀도에 의해 발생한 경제적 피해는 토마토에 대한 담배거시미나방 접종 실험을 통하여 수행된 피해분석 실험의 해충밀도-토마토 생산량관계 결과의 기울기 값을 이용하였다.

바) 방제효율

방제효율은 농가의 경영방식, 재배환경, 살충제의 종류 등에 따라 달라질 수 있으므로 본 실험에서는 평균적인 수치인 $K=0.9$ (90%방제 효과)로 설정하였다.

2) 경제적 피해수준의 결정

단위 해충 밀도에 의해 발생한 경제적 피해는 해충밀도-토마토 생산량관계 결과의 기울기를 이용하였다. 본 실험에서는 기울기값이 0.00008로 계산되었으며, 여기에서 실제 매개변수 D 값을 산출하였다. 경제적 피해계수는 그림 3-60의 추세 방정식의 기울기와 같은 값을 가지게 된다. 그러나 경제적 피해계수의 단위가 %형식으로 나타나므로 이를 중량단위로 전환하였다. 본 실험에서는 실제 토마토의 경우 주당 평균 3,666g을 생산하므로 (농촌진흥청, 1996) 실험값을 실제 생산된 생산량으로 전환할 필요가 있다. 기대생산량은 실제 전 기간동안 생산할 수 있는 총 생산량을 뜻하며 여기서는 3,666(g/주)으로 설정하였고, D 는 경제적 피해계수와 기대 생산량의 곱으로 나타내었다.

$$D = \text{수식의 기울기} * \text{최대 생산량} = 0.1423 * 3,666 = 521.67$$

실제 실험포장에서는 에마멕틴벤조에이트를 사용하였기 때문에 이 약제를 기준으로 GT값을 계산하여 경제적 피해수준을 설정하였다. 또한 실험 포장의 평균 재식밀도가 10a 당 1,500주이므로 이를 기준으로 엽당 피해수준을 산출하였다.

$$EIL=T+(GT/DK)=0.227+(14.38/(0.5217*0.9))/1500=0.248 \text{ (유충수/엽)}$$

따라서 토마토에서의 담배거세미 나방 유충에 대한 경제적 피해수준은 중단 3복엽을 관찰시 엽당 평균 0.248마리로 산출되었다. 이러한 피해수준은, 담배 거세미 나방 유충의 높은 섭식율에 의한 결과이다. 하지만, 실제 포장에서는 재배자의 대부분이 나방류의 방제를 위한 약제를 중점적으로 살포하고 있으며, 유충, 성충 모두가 쉽게 노출되며, 가해 흔적이 확연히 나타나기 때문에 예찰에 의한 조기 발견의 가능성이 높다. 따라서, 일반적인 재배방법과 방제방법을 적용하고 있는 상업적 농가에서 노숙유충에 의한 피해는 해충 자체의 높은 피해력에 비해 상대적으로 낮은 비율로 나타나고 있다.

3-4. 시설토마토 해충의 시설내 밀도 변동

가. 조사포장

시설토마토 해충인 온실가루이(*Trialeurodes vaporariorum* Westwood)와 잎굴파리(*Liriomyza trifolii* Burgess)의 밀도를 조사한 포장은 경기도 용인지역, 충청남도 세도 지역, 전라남도 담양지역의 각 1개, 2개, 2개의 총 5개 온실을 선택하여 조사하였다(표 3-33).

2001년 후반 작기, 2002년, 2003년 전반 작기 및 후반 작기 그리고 2004년 전반 작기를 1주일 혹은 2주일 단위로 조사하였다. 2001년 후반 작기의 경우는 충청남도 세도지역과 경기도 용인 지역에서 조사하였고, 2002년과 2003년 작기 그리고 2004년 전반 작기는 충청남도 세도지역과 전라남도 담양지역에서 조사하였다.

조사한 모든 포장은 공히 연동식 농가 포장이었으며, 조사포장 각각에서 포장내 온습도 변화가 해충 개체군의 동태에 영향을 줄 수 있을 거라 여겨 조사 포장 네곳에 온습도 변화를 측정하기 위해서 Data logger(HOBO[®])를 설치하였다(표 3-33).

모든 시설 토마토 포장에서 살충제는 아바멕틴과 에이팜을 섞어서 고압살포기 혹은 제배자의 제랑에 따른 수동 기계를 이용하여 관행방제 하였다.

표 3-33. 조사 포장의 개요

조사 포장	조사기간	재배면적	정식주수	기타
충남 세도	2001년 후기 ~ 2004년 전기	약 1000평 (2개 포장)	7500	연동식
전남 담양	2002년 전기 ~ 2004년 전기	약 2000평 (2개 포장)	15000	연동식
경기 용인	2001년 후기	약 1000평 (1개포장)	7500	연동식

나. 조사방법

1) 육안조사

가) 육안조사를 위한 시설토마토의 표본추출 단위 결정

육안 조사를 위한 시설토마토의 표본 추출 단위는 다음과 같은 방법을 이용하여 정했다. 기본적으로 해충 개체군은 식물체 엽의 윗면 보다는 아랫면에 있다는 사실을 주지하여야 할 것이다. 토마토 엽의 모식도는 그림 1과 같은데, 작은 엽을 제외하고 7개 혹은 9개의 단엽으로 이루어진 복엽을 대상으로 표본 단위 설정을 하였다. 표본 단위를 설정하는 경우 맨 상위 엽을 포함하여 상위에서 3개엽(1 표본 단위), 5개엽(2 표본 단위), 7개엽(3표본 단위)을 가상으로 설정하여 어떠한 표본 단위가 가장 적절한 것인가를 비교, 결정하였다.

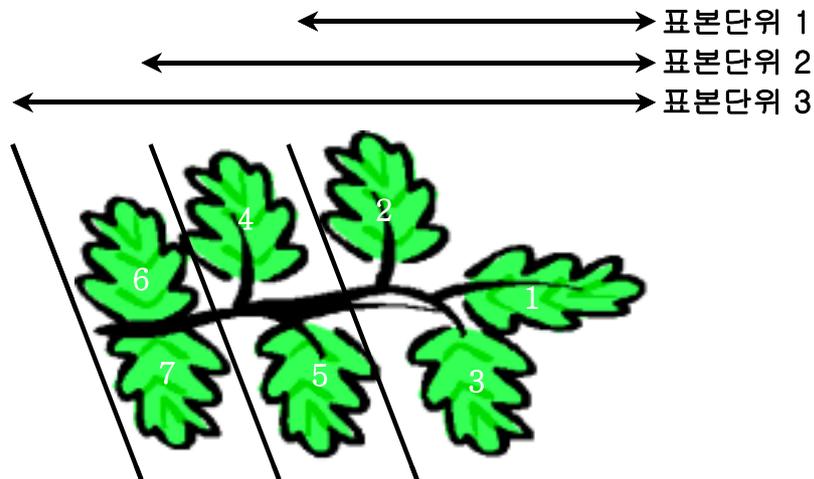


그림 3-62. 표본추출단위를 선정하기 위한 토마토 복엽 뒷면의 모식도(7개의 단엽으로 이루어진 복엽). 토마토 뒷면은 그림의 숫자처럼 각각의 단엽을 번호로 지정하여, 각 번호에 해당하는 단엽에서 관찰되는 토마토 해충의 밀도를 조사, 기록하였다.

효율적인 표본 단위의 설정은 해충 개체군의 밀도를 추정하는 예찰법을 개발 하는데 있어서 매우 중요한 요소로 볼 수 있다. 본 실험에서 육안 조사는 온실가 루이와 아메리카 앞굴파리이므로, 2001년 실시한 밀도 조사결과를 이용하여 Relative Net Precision(RNP; Ruesink, 1980)값을 구하였다. RNP는 표본추출에 관련된 정확도와 경제성이 동시에 고려된 것으로 표본단위 선정에 기초적인 자료를 제공해주는 값으로 그 값이 클수록 효율적인 표본단위가 된다(Ruesink, 1980). RNP는 Ruesink(1980)가 제안한 다음 공식에 의해 계산되었다.

$$RNP = \frac{m}{SEM \times C_s}$$

여기서 m 은 각 표본단위에서 대상해충의 평균밀도이고, SEM 은 평균의 표준오차, C_s 는 표본의 수집 및 처리에 소비되는 노력을 시간으로 환산한 경제적 비용을 나타낸 값이다. 본 실험에서는 표본처리에 소비되는 시간이 온실에서 표본 추출에 소비하는 시간과 해충의 밀도를 조사하는 시간으로 구분된다. 이 경우 각 표본단위간 표본채집에 소비하는 시간은 동일하므로 C_s 는 해충 밀도 조사에 소비되는 시간에만 영향을 받게 된다. 또한 밀도 조사시간은 각 표본단위의 엽면적에 비례하게 되므로 C_s 값은 전체 평균면적(표본단위 3)을 1로 한 뒤 각 표본단위당 평균면적의 비율을 계산하여 나타내었다(표 3-34).

표 3-1의 RNP 결과를 살펴보았을 때, 7개의 단엽으로 구성된 표본단위 3의 경우 5개의 단엽으로 구성된 복엽인 표본단위 2보다 낮은 값으로 나타남을 알 수 있었으며, RNP 값이 가장 높은 것은 모든 표본추출일에서 표본단위 1인 것으로 나타났다.

이처럼 표본단위에 따른 RNP 값의 차이가 나오게 되는 이유로는 먼저, 토마토 잎의 크기가 그림 1의 1번 단엽을 제외하고는 엽의 크기가 비교적 비슷하기 때문이고, 둘째로는 상단에서 나오는 잎의 경우 2번-5번까지의 단엽의 크기는 비슷한데, 6번과 7번의 잎은 상단에서는 그 면적이 작기 때문인 것으로 사료된다.

즉 토마토 식물체의 중단부분(지상에서 90-120cm 높이) 밑으로는 7개엽의 크기가 1번 단엽을 제외하고는 비슷하지만, 상단(지상에서 150cm이상 높이)에서 보이는 6, 7번의 크기가 작다는 차이에 의하여, 토마토 식물체의 모든 부분을 통합하여 토마토 엽의 면적을 계산하였으므로, 표 3-1과 같은 결론이 나온 것으로 사료된다.

표 3-34. 2001년 표본추출일별 계산된 RNP 값

표본추출일	표본단위 1 (3단엽의 복엽)	표본단위 2 (5단엽의 복엽)	표본단위 3 (7단엽의 복엽)
2001.08.11	5.326	2.888	2.418
2001.08.18	7.883	4.876	3.965
2001.08.25	6.385	2.588	2.036
2001.09.06	7.303	3.075	2.596
2001.09.13	6.604	3.523	2.923
2001.09.20	4.143	1.692	1.271
2001.09.29	6.079	2.665	2.113
2001.10.05	7.447	3.496	2.852
2001.10.12	3.707	1.982	1.483
2001.10.19	6.152	2.551	2.171
2001.10.26	9.477	4.556	3.767
2001.11.02	8.038	3.997	3.108

그러므로 본 실험에서 기본적인 표본추출 단위는 7개의 단엽으로 이루어진 복엽을 중심으로 하되, 그림 1에서 보이는 단엽 번호중 1-3번까지의 복엽을 대상으로 하는 것이 가장 타당한 것으로 나타났으며, 이후에 표본단위라 함은 3개의 단엽으로 이루어진 복엽으로 나타내는 것으로 한다(그림 3-62, 표 3-34).

나) 각 시설토마토 해충별 육안조사 방법

시설 토마토 해충의 육안조사는 온실가루이와 잎골파리를 대상으로 정해졌다. 담배 거세미 나방의 경우, 현재 관행적으로 살포되어지는 살충제에 의해 그 밀도가 일반적인 상업적 온실에서는 찾아보기 매우 힘들므로, 밀도 조사의 의미가 없었기 때문이다.

㉔ 온실가루이의 육안조사 방법

온실가루이의 육안 조사를 위해서는 온실가루이가 보이는 생활사를 기본으로 하여, 시설 토마토에서 보이는 생태적 특성을 이용하는 방법을 택했다.

온실가루이의 생활사를 기준으로 알에서 부화한 제 1령충을 제외한 나머지 유충 및 번데기는 토마토 엽에 고정되어 있다. 이와 같은 현상으로 인해, 줄내림 방식의 포장에서는 온실가루이의 유충의 식물 체내의 상하 분포가 항상 동일한 위치로 나타나게 된다. 즉, 약 2주 간격으로 토마토 주를 일정하게 내려주는 방식을 택하는 줄내림 방식의 시설토마토에서는 포장의 조사 시간 간격이 1주 혹은 2주이므로, 이 경우, 식물체내 온실가루이의 수직분포는 동일 태의 경우 항상 비슷한 위치에 존재하게 된다.

온실가루이의 육안 조사시, 어린 유충과 알은 육안으로 쉽게 구별하기 힘들고 포장내에서 밀도조사가 어렵다. 또한 유충이 보이는 제 1 유충기를 제외한 나머지 고정태는 대부분 성충이 산란한 위치에 존재하게 되므로, 본 실험에서 육안조사는 육안으로 밀도의 확인이 편하고, 태의 구별이 확실한 노숙유충과 번데기를 조사하여야 한다.

온실가루이의 육안 조사는 다음과 같은 방법으로 이루어 졌다. 앞서 포장을 각 5X5m로 나눈 cell에서 임의로 하나의 토마토 식물체를 정하여, 토마토 식물체의 중단(지상에서 90 - 120cm 높이)과 하단(지상에서 30 - 60cm 높이)을 조사하였다. 일반적으로 온실가루이가 상단(지상에서 150cm이상 높이)의 새로 나온 복엽에 산란을 하므로, 중단에는 알과 어린 유충(1-2령충)이 대부분 분포 하게 된다. 앞서 언급했듯이, 알과 어린 유충의 경우 육안으로 밀도를 파악하기 매우 어렵기 때문에, 육안조사는 노숙 유충(3, 4령충)과 번데기를 대상으로 해야 하며, 노숙유충과 번데기는 중단부분과 하단부분에서 집중적으로 발견된다. 하지만, 하단 부분의 경우, 줄내림 방식의 재배법에서 보이는 특징 때문에 제대로 밀도를 조사하기 힘들게 되는데, 줄내림 방식의 경우 하단에서 가장 오래된 식물체 엽이 존재하기 때문에, 하단의 경우, 해충에 의한 피해 이외에, 식물병에 의한 피해 등으로 말미암아, 잎이 물리적으로 파괴되어 조사가 힘든 경우가 많으며, 재배자 역시, 하단의 토마토 엽을 제거하고 있기 때문이다.

따라서 온실가루이의 밀도는 중단의 토마토 엽을 기준으로 조사하는 것이 타당하다는 결론을 내리게 되어, 중단을 기준으로 밀도 조사를 실시하였으며, 하단과 상단에서도 가능하면 밀도조사를 하기 위해, 계속적인 표본 추출 과정에서 육안조사를 실시하였다.

온실가루이 육안 조사방법은 먼저 표본 추출 단위를 선택하고, 엽의 뒷면을 조심스럽게 돌려서, 복엽에서 각 단엽의 위치별(그림 3-62 참고) 온실가루이 노숙 유충과 번데기의 밀도를 조사하였으며, 상단의 경우 온실가루이 성충과 어린 유충이 존재하므로, 이동성이 높은 온실가루이 성충의 밀도를 조사하기 위해, 이른 새벽에 포장에서 밀도 조사를 실시하였는데, 역시 조심스럽게 복엽의 뒷면을 조사하여, 가끔적이면, 온실가루이 성충의 비산이 없게 조사하였다. 중, 하단의 경우, 온실가루이의 노숙 유충과 번데기의 밀도를 중심으로 조사하였는데, 포장을 5X5m 로 나눈 cell에서 하나의 토마토 주를 선택하여 온실가루이의 밀도를 조사하였다. 하지만, 하단부위의 밀도는 앞서 언급했듯이, 하단의 다른 요인에 의해 밀도를 정확하게 확인하기 힘들므로, 작물 재배 초기를 제외하고는 밀도의 증감에 대한 실험이 할 수 없었다. 따라서 본 연구과제에서 시설토마토 해충의 밀도 변동은 상단과 하단을 중심으로 이루어 졌으며, 온실가루이의 경우 성충은 황색점착트랩과, 상단에서, 유충중 어린 유충은 상단에서, 노숙유충과 번데기는 중단에서의 값을 기준으로 실험하였으며, 잎굴파리의 경우, 성충은 황색점착트랩을 이용하여, 유충은 엽육을 가해한 흔적인 갱도수를 중심으로 상단과 중단에서 이루어 졌다.

㉞ 아메리카 잎굴파리의 육안조사 방법

아메리카 잎굴파리의 밀도 조사 역시 온실가루이의 경우와 마찬가지로 아메리카 잎굴파리가 보이는 생활사를 기본으로 하여, 시설 토마토에서 보이는 생태적 특성을 이용하는 방법을 택했다.

아메리카 잎굴파리는 성충의 산란이후, 유충 시기에 토마토의 엽육을 가해하여, 시설토마토의 엽에 갱도를 형성하게 된다. 이러한 갱도는 토마토 엽에서 서로 교

차하는 경우도 있지만 유충 한 마리당 하나의 갱도를 만드는 것으로 추정 할 수 있다. 만약, 2마리 이상의 아메리카 잎굴파리 유충이 존재 하는 경우에는 서로 독립적인 갱도수를 보이게 된다.

아메리카 잎굴파리의 유충이 시설토마토의 엽육을 가해하여 갱도를 만들어 낸다면, 시설토마토의 엽의 두께가 일정 부분 이상이 되어야 가능하므로, 상단의 새로 나온 얇고 작은 토마토 엽은 잎굴파리의 유충이 섭식하기 어려운 경우가 있다고 생각 할 수 있다. 하지만 실제 토마토온실에서 관찰해 본 결과, 상단의 작고 상대적으로 얇은 토마토 엽에서도 아메리카 잎굴파리의 가해 갱도가 나타났으며, 이러한 사실을 바탕으로 하여, 온실가루이의 육안 조사와 동일하게, 상단과 중단, 하단으로 나누어, 조사하였다.

실제로 육안 조사를 하는 경우, 아메리카 잎굴파리의 성충의 육안조사는 성충이 보이는 활발한 운동성으로 인해 불가능 하게 되므로, 온실가루이와 같이 유충을 대상으로 만 육안 조사를 실시하였다. 다만, 아메리카 잎굴파리의 유충은 엽육 내에 존재하고 있으므로, 온실가루이처럼 직접 개체수를 세지는 못하였고, 아메리카 잎굴파리의 갱도수를 기준으로 유충의 밀도를 파악하기로 하였다.

위의 방법에서 생기는 문제들은 갱도가 생긴 시기에 따른 유충의 존재 여부이다. 갱도는 한번 생기게 되면, 시간이 지나서 회복 불가능 하다. 만약 아메리카 잎굴파리의 성충이 산란한 토마토 엽이 기존에 유충이 일부 가해한 곳이라면, 새로 부화한 유충에 의한 토마토 엽의 갱도 피해와, 기존에 존재하여, 성충으로 우화했을 예전의 유충이 만든 갱도와 혼란을 일으키는 경우가 있다. 이를 보완하기 위하여, 맨 처음 갱도의 수를 센 토마토 복엽을 컬러 테이프로 감아서 구분하였고, 디지털 카메라로 각각의 토마토 복엽사진을 찍었다. 이처럼 디지털 카메라를 이용하는 경우 앞서 언급한 RNP를 계산하기 위한 시설토마토 복엽의 면적을 계산 가능하고, 갱도의 면적을 계산 가능하여 다른 갱도의 면적으로 서로 비교 할 수 있으며, 갱도의 명도를 상대적으로 파악하여, 새로 생긴 갱도인지, 예전에 있던 갱도인지를 확인 가능하다.

다음 그림은 지금까지 설명한 육안조사의 위치와 이후에 설명할 황색점착 트랩의 설치위치를 간단하게 도식한 그림이다(그림 3-63). 다만 전체의 포장을 40개

(5X8)로 나눈 것은 충남 부여와, 경기도 용인의 포장뿐이고, 전라남도 담양의 경우에는 포장의 크기가 가로 60m 세로 100m의 세로로 긴 형태의 포장이며 이를 209개의 cell로 나누어(11X19) 조사를 하였음을 밝힌다. 이렇게 포장을 세세하게 나누어서 조사를 하는 경우, 시간과 많은 노력이 필요하지만 실제 포장에서 관찰 할 수 있는 해충 개체군의 밀도변화를 쉽게 알 수 있게 된다.

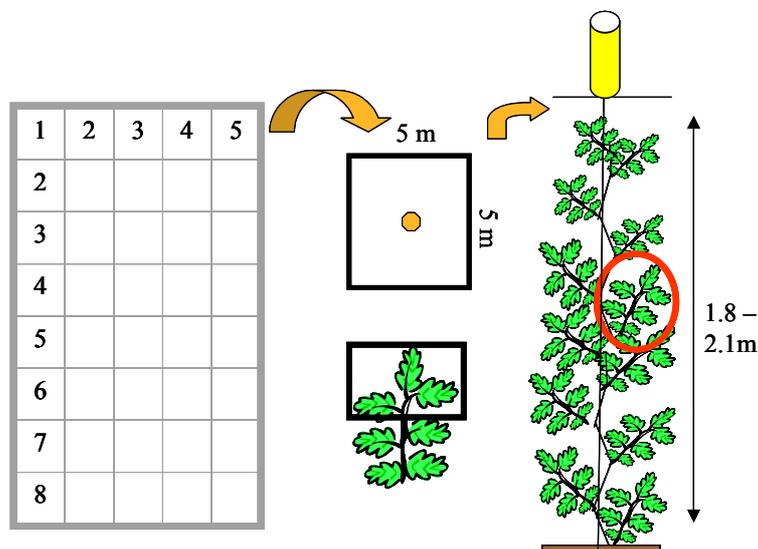


그림 3-63. 포장을 40개의 sampling cell로 나누었을 경우 시설 토마토 주에서 육안조사를 실시하는 위치와 황색점착트랩을 설치하는 위치의 모식도

2) 황색점착트랩조사

가) 황색점착트랩조사를 위한 트랩의 설치위치, 크기 설정

시설 토마토 해충의 황색점착트랩조사는 육안조사와 마찬가지로 온실가루이와 잎굴파리를 대상으로 정해졌다. 황색 점착 트랩을 사용하는 경우 가장 중요한 것은 황색점착트랩의 설치 위치, 황색점착트랩의 크기, 또한 트랩의 색(色)의 동질성일 것이다.

황색점착 트랩을 설치하려는 가장 기본적인 이유로는 첫째, 온실가루이와 잎굴파리의 성충이 보이는 운동성(activity), 둘째, 황색 점착 트랩이 가지는 유인력, 셋째, 육안조사에 비해 빠른 시간동안 목표로 한 전체 포장의 해충 개체군의 밀도 수준을 파악 가능하다.

먼저 첫째의 이유는 이미 언급했다시피, 시설 토마토의 대표적인 해충인 온실가루이와 아메리카 잎굴파리는 매우 작은 크기와 빠른 운동성을 가지고 있다. 이러한 성충은 육안조사와 같은 방법으로는 밀도를 파악하기 힘들게 된다. 둘째 이유인 황색 점착 트랩의 유인성은 밀도 조사의 양면성을 가지고 있는데, 트랩이 가지는 색(色)을 이용한 유인은 작고 활동성이 강한 해충의 빠른 밀도 예측에 도움이 되지만, 또한 정반대로, 실제로 그 위치에 존재하는 해충뿐만이 아닌 다른 지역에 있을 것으로 예상되는 해충을 유인하므로, 밀도 조사시 동일한 위치에서 육안조사와의 비 동질성(heterogeneity)을 일으키기도 하는 것이다. 하지만 작고 빠르게 활동하는 해충의 밀도 수준 파악은 트랩을 이용하는 것이 최선이므로, 트랩을 이용하게 되는 것이다. 세 번째 이유가 되는 빠른 밀도 수준 파악은 앞서 보이는 두 가지 점착트랩이 가지는 특징과 사용이유에 의한 결과에 따르는 자연적인 것으로 이해 할 수 있다.

일반적으로 줄내림 방식을 이용한 시설토마토는 지상에서 약 180 - 210cm의 높이로 자라고 있으며, 항상 같은 연령대의 토마토 엽이 동일한 수준의 높이에 있으므로, 시간의 변화에 따라, 시설토마토의 성충의 산란 위치는 높이로 보았을 때는 항상 일정하고, 방울토마토 엽내의 위치로 보아서는 항상 변화하게 된다. 또한 가장 높은 위치가 산란에 가장 적절한 새로 나온 잎이므로, 황색점착트랩의 설치 위치는 시설토마토주의 가장 상단부위를 기준으로 설치하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다. 본 실험에서 시설토마토의 해충예찰을 위한 황색 점착 트랩의 위치는 시설 토마토주 최상단에서 약 10cm 위로 정했는데, 시설토마토의 경우 최상단과 트랩이 가까이 붙어 있으면, 점착트랩에 식물체가 닿아 점착성을 잃어버려 목표로 한 해충의 밀도를 알기에 문제가 생기기 때문이다.

시중에 시판되는 황색점착트랩은 한국원예자재(주)에서 시판하는 황색점

착트랩이 가장 대표적이라고 할 수 있다. 시판되는 트랩은 가로 27.6cm 세로 8.4cm의 길쭉한 직사각형의 모양을 하고 있으며, 노란색이며, 일정량의 점착 물질이 묻혀져 있다. 본 실험에서는 여러 시설토마토 포장에 육안 조사와 같은 cell(5X5m)에 하나의 황색점착트랩을 설치한 이후 일주일 간 유인된 온실가루이와 아메리카 잎굴파리의 밀도를 알아보았으므로, 시판된 황색점착트랩에 기본적으로 도포되어있는 점착제로는 조금 부족하게 된다. 본 실험에서는 미국의 tanglefoot 사의 sticky coating glue를 점착트랩에 도포하여 설치기간동안 일정한 점착력을 유지하였다.

시중에서 시판되는 황색점착트랩의 경우 한쪽면만 점착트랩이 그 역할을 하게 되어있으며, 가로로 긴 직사각형모양이므로, 전체를 사용하는 경우와 그 크기의 절반만을 사용하는 경우로 나뉘어 실험을 2001년도에 진행 하였다. 이러한 실험을 한 이유로는 점착트랩이 크면 유인되는 시설 토마토 해충의 밀도가 너무 많은 경우가 생기므로, 서로 다른 크기의 점착트랩의 효율적인 면을 비교하여 최적의 트랩 크기를 도출해 내기 위함이다. 또한 황색점착트랩을 이용한 binomial sampling plan에 사용하기 위해 황색점착트랩 위에 2X2cm의 cell을 임의로 표시하여 각각의 cell에 유인된 온실가루이와 아메리카 잎굴파리의 밀도를 기록하였다. 무엇보다 중요한 것은 앞서 언급했듯 황색점착트랩이 한쪽 면으로만 유인되는 점일 것이다. 따라서 본 실험에서는 황색점착트랩을 등글게 원통형으로 말아서 사용하였으며, 그렇지 않은 경우도 역시 사용하여 둘 사이를 비교하기도 하였으나, 둘 사이의 차이가 없던 것으로 나타났다(이후의 결론 참고) (그림 3-64).

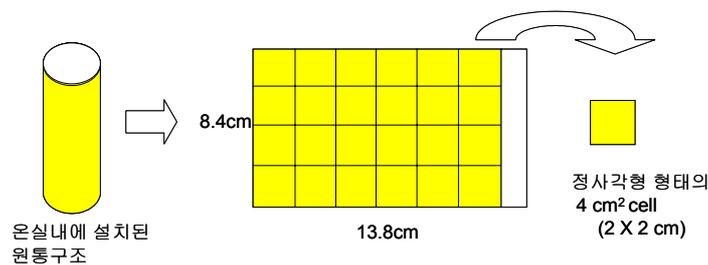


그림 3-64. 온실에 설치한 원통형 구조인 황색 점착트랩과 binomial sampling plan을

위한 정사각형 형태의 cell 모식도

나) 황색점착 트랩의 수거 및 유인된 해충의 밀도 조사방법.

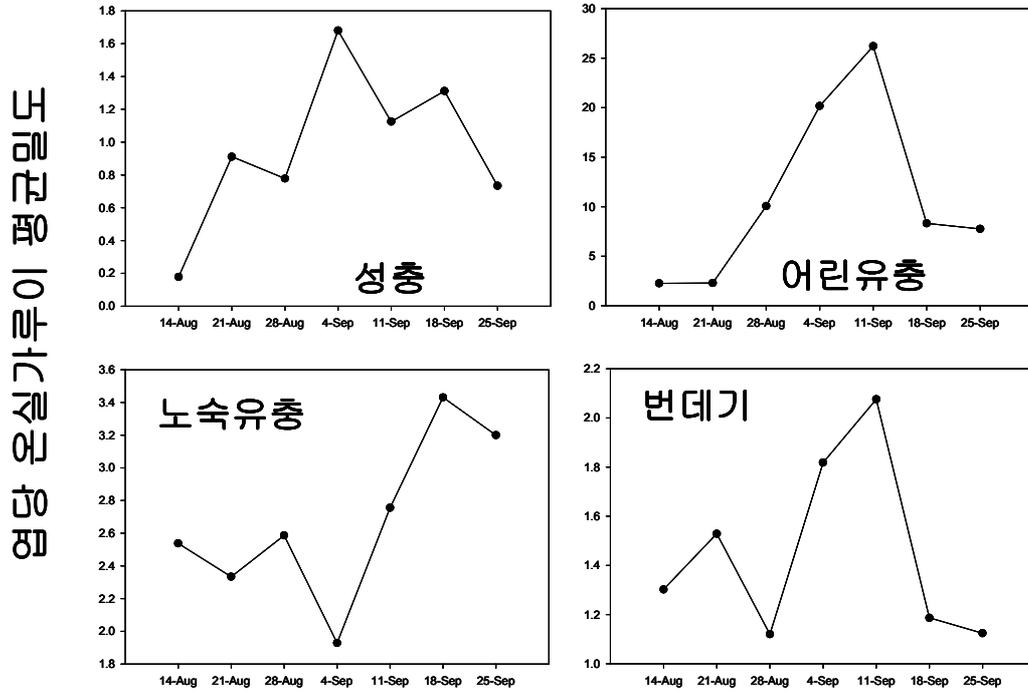
황색점착 트랩을 포장에서 수거하기 위해 일반 포장용 투명 비닐 랩을 사용하였다. 이러한 이유로는 황색점착트랩의 점착력으로 인해 수거 이후에 다른 해충의 밀도가 추가될지 모르고, 또한 황색점착트랩의 손쉬운 이동, 밀도 측정을 위해서이다. 포장에서 등글게 설치되어있는 황색점착트랩을 그대로 투명 랩으로 말아서 날짜와 위치를 적어서 보관한 뒤, 실험실에서 대상 해충들의 밀도를 각각 조사하게 된다. 위의 그림 3처럼 황색점착트랩을 여러 개의 cell로 나눈 뒤 각 cell에 유인된 온실가루이와 앞굴파리의 밀도를 각각의 날짜별, 포장내 황색점착트랩의 위치별, 황색점착트랩내의 cell위치별로 각각 기록하였다. 황색점착트랩의 cell의 경우, 투명 OHP film에 2X2cm의 cell을 그리고 그 OHP film을 황색점착트랩에 올려놓은 상태로 관찰하였다.

다. 시설토마토 해충의 시설내 밀도변동 조사결과.

1) 시설토마토 해충 육안조사의 평균 밀도 변동 곡선

가) 온실가루이의 육안조사시 평균 밀도변동

온실가루이의 육안조사시 밀도변동은 각 포장별 평균 밀도로 하여 다음의 그림과 같이 나타냈다(그림 3-65).



표본추출일

그림 3-65. 2001년 충남 부여의 온실가루이 각 태별 평균 밀도의 변화. 성충과 어린 유충의 경우 상단에서, 노숙유충과 번데기의 경우 중단에서 각각 육안조사 되었다.

그림 3-65의 경우 포장전체에서 보이는 밀도의 평균을 각 날짜별로 나타낸 그림으로 실제로 포장에서 보이는 가장 높은 밀도와 가장 낮은 밀도의 변동 정도를 파악 할 수 없었다. 이러한 성향에 대한 관점은 다른 여러 가지 문헌에서도 나와 있지만, 이론적으로는 포장이 전체적으로 동일한 환경이 아닌 부분적인 서로 다른 환경(태양광의 각도, 습도, 온도)에 의한 영향을 받기 때문으로 볼 수 있다.

그림 3-65에서 2001년도의 부여에서 온실가루이의 밀도는 상단에서 성충과 어린 유충의 경우 계속적으로 증가하다가, 표본 추출에서 마지막 시기에 약간의 감소하는 경향을 보이고, 동일한 시기에 중단부위에서 노숙 유충과 번데기의 밀도는 급격한 밀도의 변동을 2차-3차 표본 추출시기에 보이며, 마지막 시기에 급격한 감소하는 형태를 보이고 있었다.

이러한 밀도의 급격한 변동은 온실가루이가 가지는 생물적 특징으로 인해 어린 유충이 노숙유충으로 정해진 위치에서 커간다고 하였을 때, 생물적인 문제가 아닌 외부 환경적인 문제로 인하여 일어난다고 볼 수 있겠다. 해충의 밀도에 가장 많은 영향을 미치게 되는 것은 시설의 경우 온도가 가장 높는데, 그 이유로는 온실가루이의 유충 시기에 온실가루이 개체를 둘러싼 wax층이 온실가루이에게 주는 수분의 효과를 최소한으로 하기 때문이며, 이러한 온실가루이가 가지는 생리적, 생태적 면을 놓고 보았을 경우, 포장내의 온도의 변화를 시각적으로, 부위적으로 측정하여, 온실가루이의 밀도가 미세 환경(micro environment)에 의해 변하는 것으로 보는 것이 타당하기 때문이며, 전체적으로 밀도의 변화는 적절한 표본 추출법을 계산함에 있어 가장 기본적인 되기 때문에 이러한 변화에 대한 원인을 찾아내는 것이 매우 중요한 과정이라고 볼 수 있기 때문이다.

따라서 2001년도에는 각 위치별 온도 및 습도를 자동으로 처리하는 logger를 일부만 붙였지만, 이러한 logger의 경우 실제로는 포장 대기의 평균 온, 습도의 파악만이 가능 할 뿐 태양이 뜨고 짐에 의한 시간의 변화에 따른 온도의 변화, 또한 식물체의 엽면에서의 온도변화, 그리고 가장 중요한 시설 토마토 엽의 뒷면의 온도와는 무관한 경우가 있을 수 있다. 따라서 이 후의 실험에서는 미세 환경에 의한 개체군의 밀도 변동의 파악을 위하여, 표본을 추출한 이후 동일한 위치에서 각 위치의 중단의 토마토 엽윗면의 온도와 아랫면의 온도를 시간에 따라 측정하였다.

또한 그림 3-65에서 보이는 평균밀도의 시간적 변이는 시설포장에서의 환경 혹은 위치에 따른 환경의 변이가 연속적이라는 가정을 두고 보여주는 것이 합당하지만, 앞서 언급했듯이, 포장이 시설로 조절된다고 하더라도, 포장에서의 환경은 각 위치별로 이질적인 경우가 많게 된다. 따라서 이후의 밀도변동은 앞서 보여준 각 날짜별

평균밀도와 더불어, 각 날짜별, 평면적인 위치별, 또한 미세 환경중 온도의 각 위치별 변화별로 따로 구성하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

다음의 그림은 2002년도에 전라남도 담양의 시설 토마토에서 온실가루이의 밀도 변동을 나타낸 그림이다.

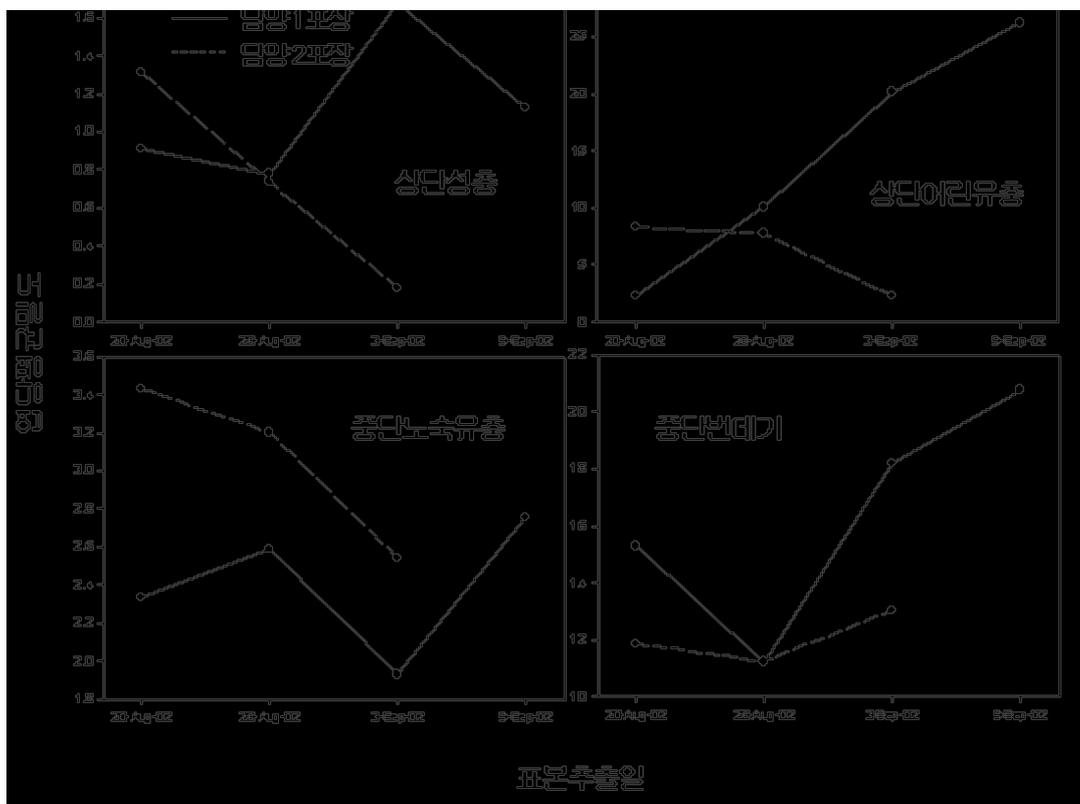


그림 3-66. 2002년 전라남도 담양에 위치한 시설토마토 온실에서 토마토의 위치별 온실가루이의 각태별 밀도변동

그림 3-66에서 확인 할 수 있는 것은 시간에 따른 평균밀도의 극적인 변화 혹은 표본추출일별로 밀도의 차이가 나는 것, 또한 각 포장의 평균밀도만을 비교하

여 각 포장별 밀도가 어떤 식으로 변하고 있는지 일 뿐이다. 하지만 위의 그림 3-65와 그림 3-66을 이용해서 알 수 있는 단편적인 사실로는 포장의 각 위치별 밀도의 파악이 힘들게 된다. 왜냐하면, 시설토마토 온실 환경은 비연속적이며, 공간적으로 이질적인 것으로 보아야 하기 때문이다.

다음의 그림은 2003년도에 전라남도 담양의 시설 토마토에서 온실가루이의 밀도 변동을 나타낸 그림이다. 2003년의 경우 하나의 시설 토마토 온실만을 대상으로 하였는데, 이 경우, 토마토의 재배가 줄내림 방식과 동일한 토마토의 배치를 보이지만, 최상단의 새순을 잘라서 토마토에 보다 많은 양분을 공급하는 방식을 했으므로, 분포상의 차이가 나는 경우가 있게 된다.

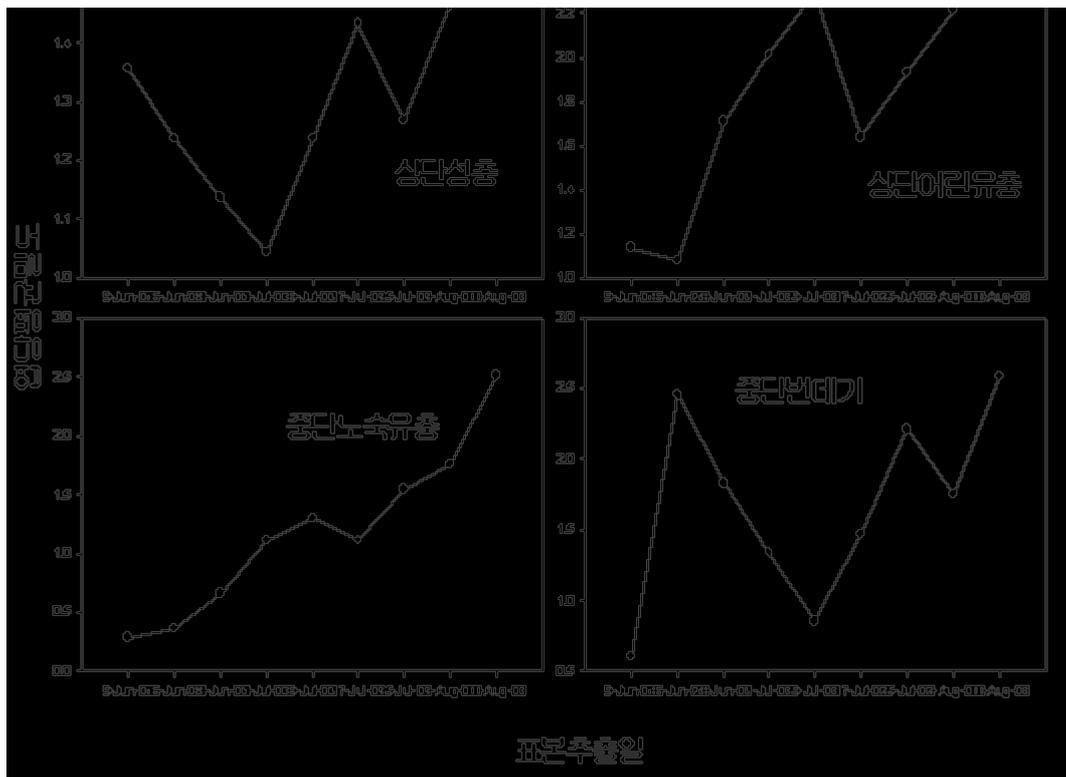


그림 3-67. 2003년 전라남도 담양에 위치한 시설토마토 온실에서 토마토의 위치별 온실가루이의 각태별 밀도변동

그림 3-67 역시 그림 3-66 과 마찬가지로 각 주별 평균 밀도의 변동은 계속적으로 이루어짐을 보이고 있었다. 다만, 전체적인 밀도의 수준이 증가하는 양상을 보였으며, 작기가 후반으로 흘러갈 경우 밀도의 변동이 심해지는 것을 알 수 있었고, 전체적인 밀도의 상승역시 관찰 가능 하였다. 이러한 이유로는, 제배자가 실제 시설온실의 관행적 방제 및 시설의 청결 등을 작기 초반에는 매우 적절하고 관심 있게 해오지만, 작기 후반으로 흘러갈수록 방제와 시설의 청결 등을 신경 쓰지 않는다는 것도 꼭 생각해야만 할 것이며, 이러한 결과로 인해 후반기의 밀도의 변동과 변동 폭이 크게 나오고 있다는 생각도 할 수 있다고 사료된다.

그림 3-65에서 3-67 까지 2001-2003년까지의 후반기작기의 시설토마토에서 해충인 온실가루이의 평균밀도변동을 살펴보았다. 전체적으로는 밀도의 표본추출일별 변동이 존재하지만, 일반적으로는 작기 후반으로 가면서 밀도가 대체적으로 증가하는 모습이 관찰되었다. 이러한 밀도변동 그래프는 실질적으로는 전체 포장에서 보여지는 평균적인 밀도일 뿐이지, 우리가 방제를 필요로 하는 최고위 밀도(hot spot)를 나타내어 주지는 못하게 된다. 따라서 이러한 평균밀도의 관찰은 이것과 병행하여, 평면적으로 포장의 각 부분별 밀도의 변동을 살펴보아야만 한다. 또한 실제 온실에서 대기온도의 변화 및 토마토 엽위의 온도변화가 시설토마토의 해충의 밀도변동에 영향을 주므로, 온도의 자세한 변화상황 역시 알아보아야만 한다. 따라서 평균밀도를 살펴본 이후에는 각 표본추출일별 밀도의 평면적 변화를 자세하게 살피고, 시설내의 대기 중의 온도의 변동과, 시설내 토마토 엽위와 엽 뒷면의 온도변화에 대한 자세한 조사의 결과를 나타낼 것이다.

나) 아메리카 잎굴파리의 육안조사시 평균 밀도변동

앞서 언급했다시피 아메리카 잎굴파리의 경우, 유충시기에서 육안 관찰은 힘들므로, 여기서는 각 위치별 갱도수를 기준으로 갱도수의 변동을 살펴보았다. 또한 갱도가 최근의 것과 그렇지 않은 것을 확인하기 위해, 화상분석도 실시하였는데, 화상분석과 관계된 내용은 다음의 장에서 자세하게 다룰 것이며, 여기서 사용된 값은 가장

최근에 형성된 갱도의 수만을 기준으로 삼았다(그림 3-68).

그림 3-68은 시설토마토의 중단에서 보이는 잎굴파리의 평균 갱도수의 변화를 나타내는 그림이다. 특이할 만한 사실은 갱도수가 변동하지만 작기 후반에는 많은 변동을 보이지 않았다는 점이다.

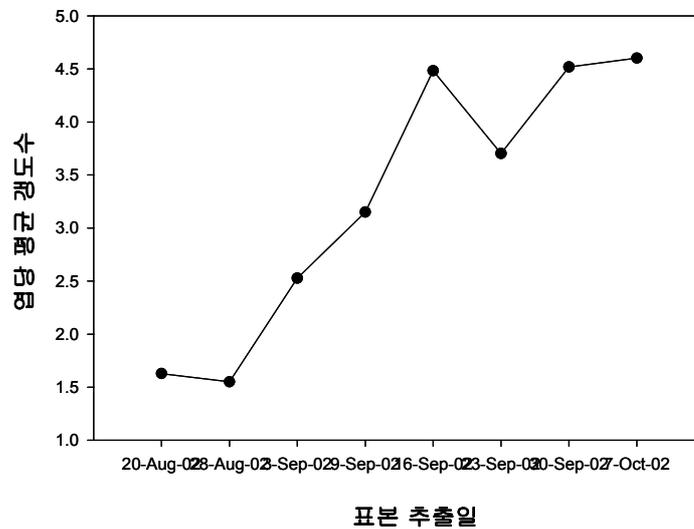


그림 3-68. 2002년 전라남도 담양에 위치한 시설토마토 온실에서 중단의 잎굴파리 평균 갱도수

그림 3-68에서 보듯이 2002년에는 중단의 갱도수만을 대상으로 나타내었다. 이를 좀더 보충하기 위해서 2003년도에서는 시설토마토의 위치별로 각각 갱도수의 조사를 하였으며, 그 결과가 그림 3-69이다.

그림 3-69 에서 특이할 만한 사실은 중단에서의 밀도는 계속적으로 증가하는 양상을 보이지만, 중단과 하단은 비슷한 비율로 증가하는 추세가 줄어들고 있다는 점이다. 이것은 시간이 지남에 따라 중단에서는 2003년도 작기가 가지는 상단의 새순을

잘라서 없애버리는 작형을 보이기는 하지만 그것이 완벽할 수는 없고, 중단과 하단의 잎이 다른 줄내림방식과는 다르게 주기적으로 같은 크기의 새로운 잎으로 대체되는 것이 아닌 계속적으로 고정되었기 때문이며, 이것은 다른 말로 하면, 새로운 갱도의 형성이 중단에서는 활발하지만, 중단과 하단에서는 새순을 잘라버리는 작형에서는 그렇지 못하다는 것이다.

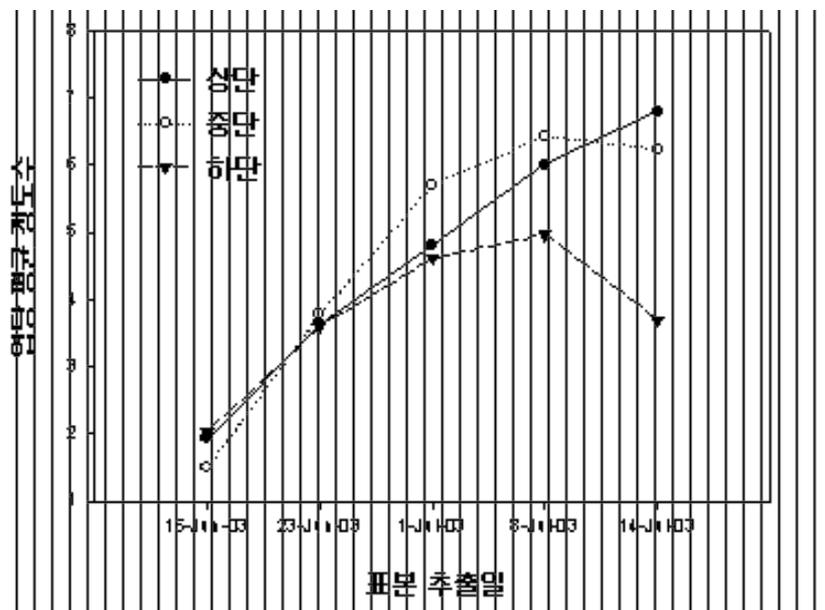


그림 3-69. 2003년 전라남도 담양에 위치한 시설토마토 온실에서 토마토의 각 위치별 잎굴파리 평균 갱도수

따라서 우리에게 필요한 것은 전체엽면적에 따른 갱도의 면적이 그 피해 정도에 따라 줄어드는 것을 살펴야 하고 이를 계산하였더니 다음의 결과를 도출 가능하였다(그림 3-70).

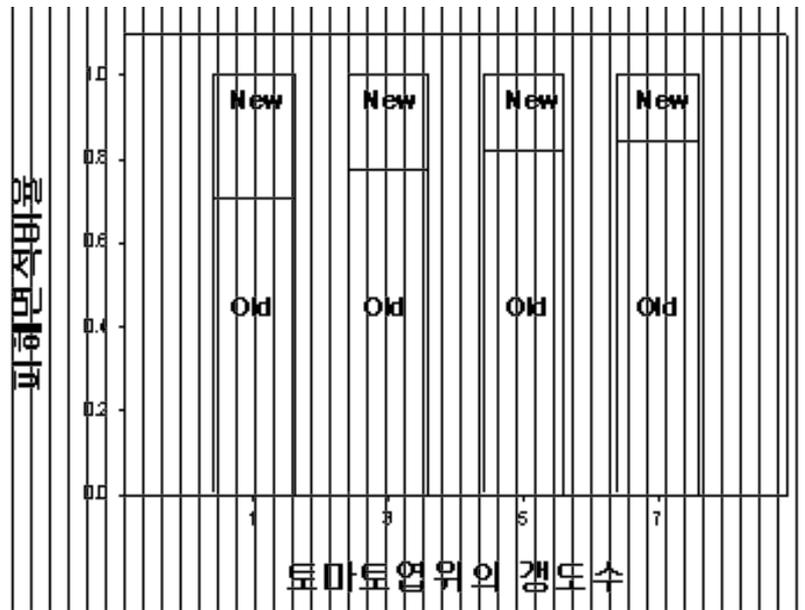


그림 3-70. 토마토 엽의 갱도수에 따른 새로운 갱도의 면적과 예전 갱도 면적의 비율을 비교한 결과.

그림 3-71 을 살펴보면, 갱도수가 어느 정도이냐에 따라 새롭게 생긴 갱도와, 그렇지 않은 갱도가 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 때에 따라서는 대단히 중요한 결과를 말할 수 있는데, 토마토 잎의 크기에는 한정이 있고, 여기에 잎굴파리의 갱도수는 면적과 비례하는 경우가 많으므로, 또한 더불어 한계가 있다. 따라서 아메리카 잎굴파리의 육안조사를 갱도수를 이용하여 간접적으로 파악 하려는 경우, 온실가루이와는 다르게, 엽의 크기에 따라 실제로는 많을 수도 있지만, 우리가 간접적으로 얻을 수 있는 숫자는 한계가 있다는 점이고, 또 한 가지 잎굴파리의 육안조사시 어려운 점은 아메리카 잎굴파리의 가해흔은 토마토 엽의 갱도인데, 이러한 갱도가 보이게 되면, 제배자는 바로 제거하기 때문에 그 숫자를 가늠하기 힘들다는 점에 있을 것이다. 또한 아메리카 잎굴파리 역시, 온실가루이의 결과에서와 마찬가지로, 전체의 평균을 비교하는 것이 완벽한 공간적인 밀도 변동 상황을 파악하기 힘들므로, 평면적인 밀도의

변화를 살피는 것이 필요하다고 사료되어, 각 표본추출일별 평면적인 육안조사 결과 역시 나타내었다.

2) 시설토마토 해충육안조사의 각 표본추출일별 시설내 밀도변동

앞서 시설해충의 육안조사 결과인 평균 밀도변동을 전체적으로 바라보게 되면, 평균밀도는 계속적으로 변동하게 되고, 실제로 밀도가 굉장히 높아서 방제가 필요한 지점인 hot spot에 대한 정보는 얻을 수 없음을 알았다. 따라서 밀도의 변동을 각 표본추출일별, 표본 추출위치별로 나타내어 그 정도를 살펴보는 것이 바람직하다고 생각된다. 본 결과는 온실가루이와 잎굴파리 공히 밀도의 변동수준이 가장 심각하게 나타나는 2002년 자료를 기준으로 하여 작성되었으며, 이러한 이유는 앞서 언급되었듯이, 평균밀도에 의해 알아내기 힘든 미세온도변화의 자료와 matching 시키기 위함인데, 시설 토마토에서 엽의 앞면과 뒷면의 미세온도변화를 가장 세밀하게 조사한 자료가 2002년이기 때문이기도 하다.

가) 온실가루이의 육안조사시 각 표본추출일별 시설내 밀도변동

온실가루이의 밀도를 각 표본 추출위치별, 각 표본추출일별로 다음의 그림들과 같이 나타내었다. 2002년 8월 20일, 8월 28일, 9월 2일, 9월 9일의 4주의 밀도변동 자료를 선택하여 나타냈으며, 각 주별로 상단의 성충과 어린 유충의 육안조사결과와 중단의 노숙 유충 및 번데기의 육안조사 결과(3엽의 sampling unit에서 엽당 평균밀도)를 나타내었다.

다음 그림들은 온실가루이 성충이 관찰되기 시작한 뒤 1주일 후인 2002년 8월 20일부터 4주간 토마토 온실에서 토마토 상단부위의 성충의 밀도를 육안 조사한 자료를 이용하여 온실의 평면적인 위치에 따른 밀도의 변동을 알아보려고 그린 그림들이다. 온실가루이 성충 육안조사의 경우, 온실가루이 성충이 활발한 운동성을 보이므로, 이른 새벽에 온실가루이 성충의 운동성이 보이지 않을 때, 상단에 존재하는 온실가루이 성충의 밀도를 조사하였다. 특히 황색점착트랩을 이용하는 경우, 온실가루이 성충의 밀도가 계속적으로 보이지만, 실제 육안 조사할 경우에는 온실가루이 성충의 밀도를 알아

내기 힘들게 된다. 따라서 온실가루이가 육안으로 관찰되는 시기에서 일주일 후부터 본격적인 육안 조사를 실시하였다.

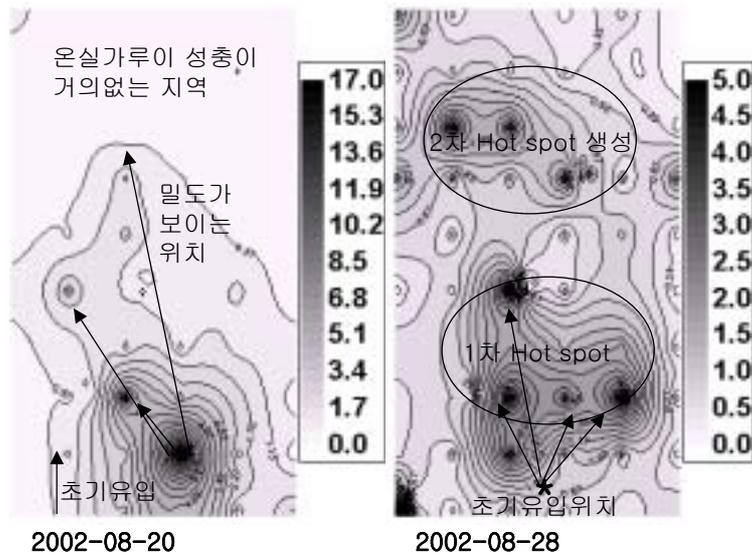


그림 3-72. 2002년 8월 20일과 8월 28일 시설토마토 상단에서 육안 조사된 온실가루이 성충의 엽당 평균 밀도

그림 3-72 에서 보면, 초기에 유입된 위치를 화살표로 표시하였는데, 초기에 유입되는 경우, hot spot에서 다른 지역보다 훨씬 높은 밀도가 관찰되었으며(초기 유입위치로 추정되는 부근이 최고 밀도 : 엽당 17마리), hot spot 지역과 거리가 먼 경우 온실가루이 성충의 밀도는 0에 가까웠다. 하지만 그 일주일 뒤인 8월 28일에는 hot spot 지역으로 예상되는 지역에서 최고 밀도는 엽당 5마리 정도에 불과 했지만, hot spot이 늘어나고 있었으며, 1차적으로 관찰된 hot spot과 동떨어진 부분에서의 두 번째 hot spot이 관찰되고 있었다. 즉 그림 3-72의 왼쪽 그림에서 온실가루이 성충의 밀도가 거의 없는 지역에서 일주일 뒤의 밀도는 많이 증가하고 있는 것으로 나타났다. 실제로 8월 20일 밀도가 거의 없거나 한두 마리 보이는 지역은 일주일 뒤인 8월 28일 지난주

와 비교하여 상대적으로 높은 밀도를 보이고 있는 것이 관찰 되었으며, 이러한 것에 미루어, 온실가루이 성충의 밀도가 한두 마리 보이는 경우, 일정한 기간(약 1주)이 지난 후에는 바로 그 지역에서 높은 밀도를 보이게 되는 현상을 볼 수 있었다.

그림 3-72 의 8월 28일 관찰결과(오른쪽 그림)에서 *로 나타낸 부분이 8월 20일 가장 높은 밀도를 보인 위치였지만, 8월 28일에는 그리 높은 밀도를 나타내지는 않았으며, 포장의 안쪽으로 높은 밀도를 보이는 지역이 이동하는 양상을 띠고 있었다.

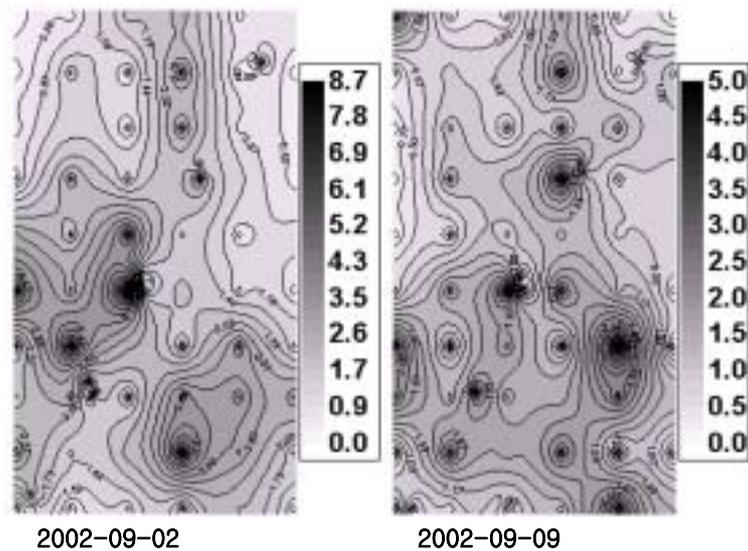


그림 3-73. 2002년 9월 2일과 9월 9일 시설토마토 상단에서 육안 조사된 온실가루이 성충의 엽당 평균 밀도

그림 3-73의 경우 그림 3-72 에서 보인 밀도 상황을 대부분 유지하고 있는 것으로 나타났으며, 특이할 만한 사실은 그림 3-72 에서 초기에 보인 hot spot 지역의 밀도가 증가하고 있다는 점일 것이다. 이것은 성충이 이동해서 그 지역에 상대적으로 많은 밀도를 보이게 되거나 또는 새롭게 외부로부터 유입되었을 가능성을 생각할

수 있다.

다음 그림들은 온실가루이 성충이 관찰되기 시작한 뒤 1주일 후인 2002년 8월 20일부터 4주간 토마토 온실에서 토마토 상단부위의 어린유충의 밀도를 육안 조사한 자료를 이용하여 온실의 평면적인 위치에 따른 밀도의 변동을 알아보고자 그린 그림들이다.

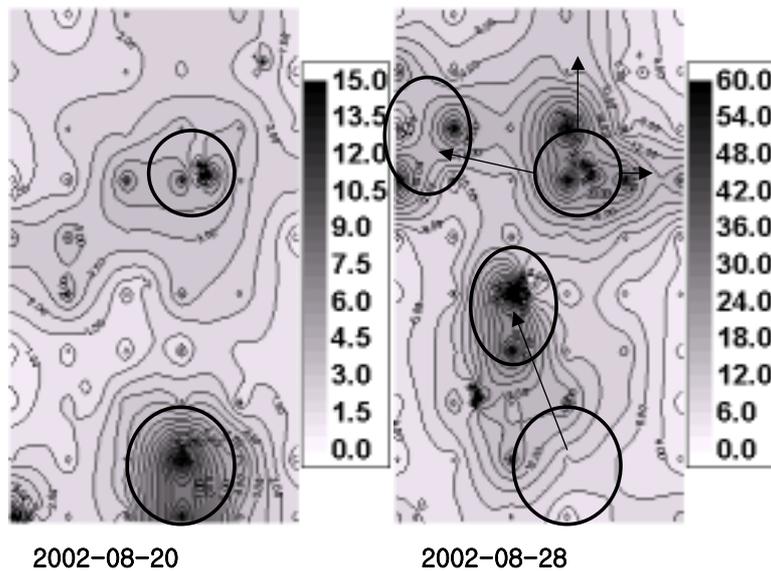


그림 3-74. 2002년 8월 20일과 8월 28일 시설토마토 상단에서 육안 조사된 온실가루이 어린유충의 엽당 평균 밀도

그림 3-74는 자세하게 살펴야 할 필요성이 있다. 먼저 최대 밀도가 2002년 8월 20일 엽당 15마리에서 60마리까지 증가한 점을 간과해서는 안 된다. 즉 그림 3-73의 좌측에서 보이는 그림의 hot spot 2곳의 밀도 중에 우측의 8월 28일 관찰된 그림은 실제로 밀도의 감소는 전혀 일어나지 않았다. 다만 밀도의 수준이 높아졌으므로, 상대적으로 보이는 고밀도 부위인 hot spot이 이동한 것처럼 보일 뿐이다. 8월 20

일 그림을 보았을 경우 밀도는 최대 엽당 평균 15마리로 나타나고, 두 곳의 밀도가 상대적으로 높은 값을 나타내고 있었으나, 8월 28일 그림의 경우 전체적으로 높은 밀도 수준과 hot spot의 면적이 증가함을 알 수 있었다. 이러한 값은 앞서 그림 3-72의 온실가루이 성충의 밀도가 증가하는 것과 연결하여 생각해 볼 수 있는데, 온실가루이성충의 밀도가 일정한 정도 있게 되면, 산란이 끝나서 육안조사가 가능한 어린 유충의 밀도는 시기적으로 조금 지나서야 보이게 된다는 점이다.

또한 그림 3-74의 우측 8월 28일 평면도에서 초기의 hot spot 지역에서 다음의 hot spot 지역을 화살표로 표기해 놓았는데, 이를 두고 보았을 경우, 밀도는 외부에서 내부로 증가하는 형태, 즉, 외부로 유입된 온실가루이가 내부에서 계속적으로 퍼져가는 양상을 보이는 그림 3-73과 유사하게 나온 것으로 파악된다. 즉 이러한 관측 결과는 초기에 유입된 해충의 밀도를 모니터링 하는 것이 얼마나 중요한가를 대변해주는 예라고 할 수 있겠다.

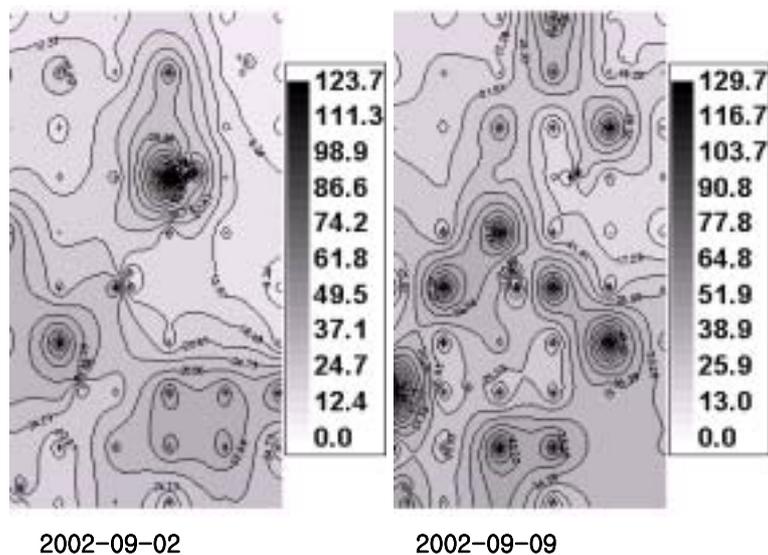


그림 3-75. 2002년 9월 2일과 9월 9일 시설토마토 상단에서 육안 조사된 온실가루이 어린유충의 엽당 평균 밀도

그림 3-75는 그림 3-74의 이후에 관찰된 밀도의 변동을 평면적으로 놓은 결과 값이다. 먼저 2002년 9월 2일과 9월 9일의 최대 밀도의 차이는 그다지 많이 나지 않았으며, 9월 2일의 경우 최대밀도가 보이는 지역은 한 군데이지만, 9월 9일은 여러 군데에서 최대밀도에 근사하는 고밀도를 보이는 것을 알 수 있었다.

그림 3-75 에서 보이는 우측의 9월 9일을 다시 자세하게 살펴보면, 9월 2일의 밀도에서 보이는 최대점을 중심으로 해서 앞서의 그림 3-74 와 같이 시설토마토 온실 내부로 계속적인 밀도의 증가 양상을 볼 수 있으며, 특히 밀도가 거의 보이지 않던 온실의 북쪽지역까지 밀도가 증가하는 양상을 살필 수 있었다.

따라서 그림 3-75와 그림 3-74에서 미루어보면, 시설토마토의 상단에서 관찰되는 온실가루이 어린 유충의 밀도는 초기 유입된 밀도를 기준으로 계속적으로 온실내부로 전파되는 양상을 보이고 있었으며, 이는 초기에 유입된 hot spot을 찾아내는 것이 온실가루이의 간이 예찰법과 표본추출법을 개발함에 있어 상당히 중요하다고 할 수 있겠다.

다음 그림들은 온실가루이 성충이 관찰되기 시작한 뒤 1주일 후인 2002년 8월 20일부터 4주간 토마토 온실에서 토마토 중단부위의 노숙유충의 밀도를 육안 조사한 자료를 이용하여 온실의 평면적인 위치에 따른 밀도의 변동을 알아보고자 그린 그림들이다.

노숙유충의 경우 그림 3-76의 2002년 8월 20일과 8월 28일 최고 밀도가 약 2배 정도 차이가 나는 현상을 볼 수 있었다. 다만 hot spot으로 생각되는 부분 중 하나가 낮은 밀도 수준으로 떨어지는 것을 볼 수 있었다(그림 3-76).

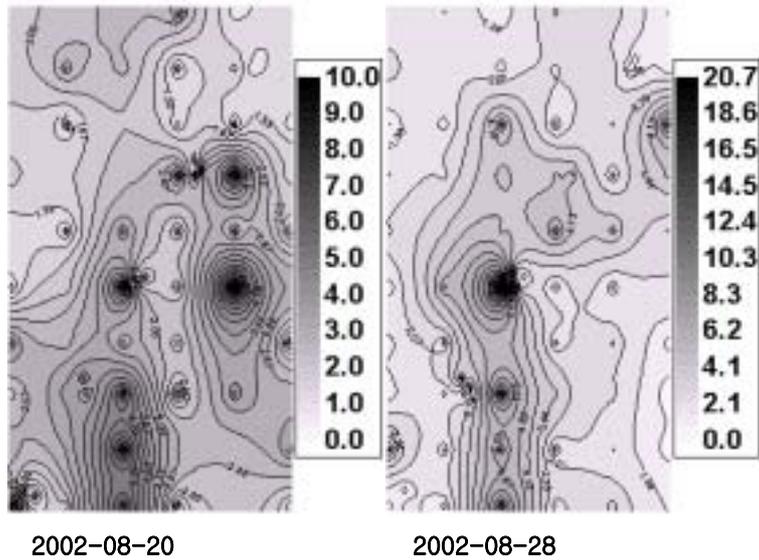


그림 3-76. 2002년 8월 20일과 8월 28일 시설토마토 중단에서 육안 조사된 온실가루이 노숙유충의 엽당 평균 밀도

그림 3-76에서 특기할 만한 점은 밀도의 전체적인 수준이 올라간 것과, hot spot이 한쪽으로 쏠려졌다는 점일 것이다. 이러한 이유로는 먼저, 노숙 유충이 다른 태로 변해 간 경우를 생각 할 수 있으며, 또한 실제로는 밀도의 변화가 없지만, 다른 곳의 밀도가 급격하게 증가하면서, hot spot처럼 보이지 않는 경우가 있다. 이 경우에는 전자가 유력하다고 할 수 있다.

그림 3-77은 그림 3-76의 이후에 관찰된 밀도의 변동을 평면적으로 놓은 결과값이다. 그림 3-77에서는 하나의 hot spot에서 대부분의 밀도가 집중되는 형태를 보이게 되는데, 이것은 제배자에 의해 중, 하단의 시설토마토가 대부분 잘려졌기 때문으로 사료된다. 하지만 한 곳에서 대단히 높은 밀도를 보이게 되는 경향은 있는데, 이것은 표본 추출에서 밀도가 높은 것을 선택하는 경우로서, 표본 추출법을 만드는데 문제가 되기도 한다. 다만, 이러한 문제점은 표본 추출법 개발 과정에서 각 표본 추출법의 특성을 고려하여 시정 가능한 문제이다.

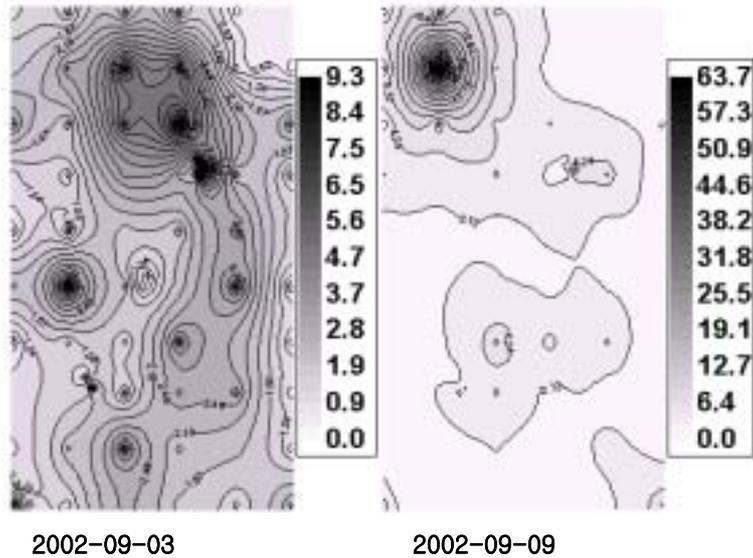


그림 3-77. 2002년 9월 2일과 9월 9일 시설토마토 중단에서 육안 조사된 온실가루이 노숙유충의 엽당 평균 밀도

다음 그림들은 온실가루이 성충이 관찰되기 시작한 뒤 1주일 후인 2002년 8월 20일부터 4주간 토마토 온실에서 토마토 중단부위의 번데기의 밀도를 육안 조사하다 자료를 이용하여 온실의 평면적인 위치에 따른 밀도의 변동을 알아보려고 그린 그림들이다.

그림 3-78을 살펴보면, 그림 14와 비슷한 평면적인 분포를 보이고 있음을 알 수 있다. 다음의 그림 3-79를 보고 다시 한번 확인해 보면 중단부위의 노숙유충과 번데기의 공간분포는 거의 비슷하게 흐르고 있음을 간접적으로는 알 수가 있게 된다. 즉 성충과 어린유충이 시설토마토 중단부위에서 보이는 밀도 분포의 차이는 제 1 유충기가 보이는 이동성에 의해 표본 추출 위치가 지정된 경우, 성충과 어린 유충의 서로 다른 평면적인 상황을 보일 수도 있지만, 그 이후의 유충기에서 우화하기까지는 고정된 위치에서 생활하기 때문으로 생각 할 수 있다.

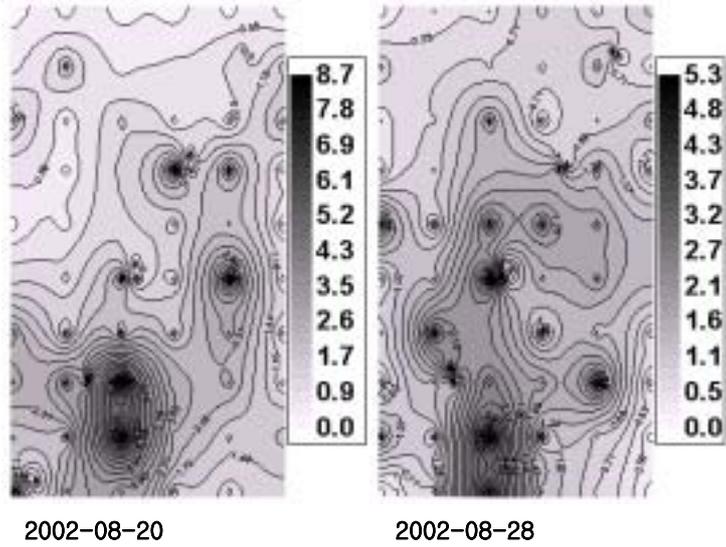


그림 3-78. 2002년 8월 20일과 8월 28일 시설토마토 중단에서 육안 조사된 온실가루이
노숙유충의 엽당 평균 밀도

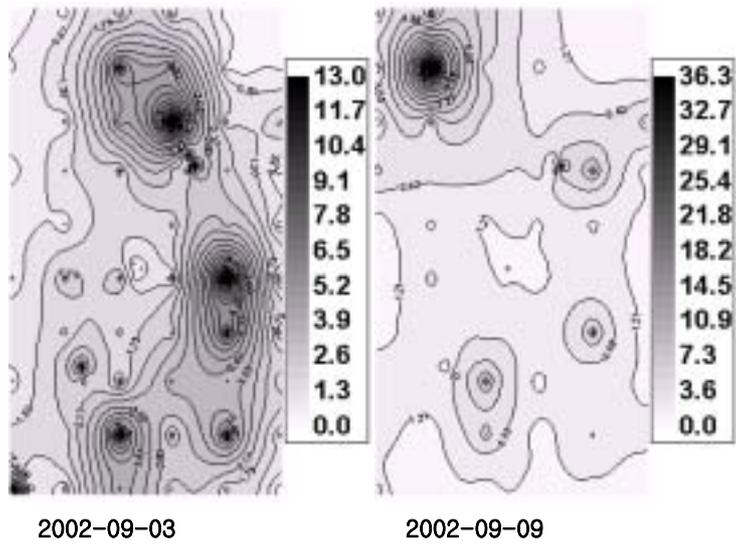


그림 3-79. 2002년 9월 3일과 9월 9일 시설토마토 중단에서 육안 조사된 온실가루이 노숙유충의 엽당 평균 밀도

위에서 언급했던 현상과 동일한 현상이 나타나는 지를 확인하기 위해 독립된 포장에서 동일한 시기에 다시금 육안조사를 실시한 자료역시 평면적으로 비교하고자 한다. 다만, 2002년 제 2포장에서는 제배자가 관행적 방제를 매주 실시했으므로 그림 3-66에서 보다시피 밀도의 극적인 감소가 있게 된다. 다만, 각 날짜별로 밀도의 변동을 한눈에 보기위해 다음과 같이 표현 하였다.

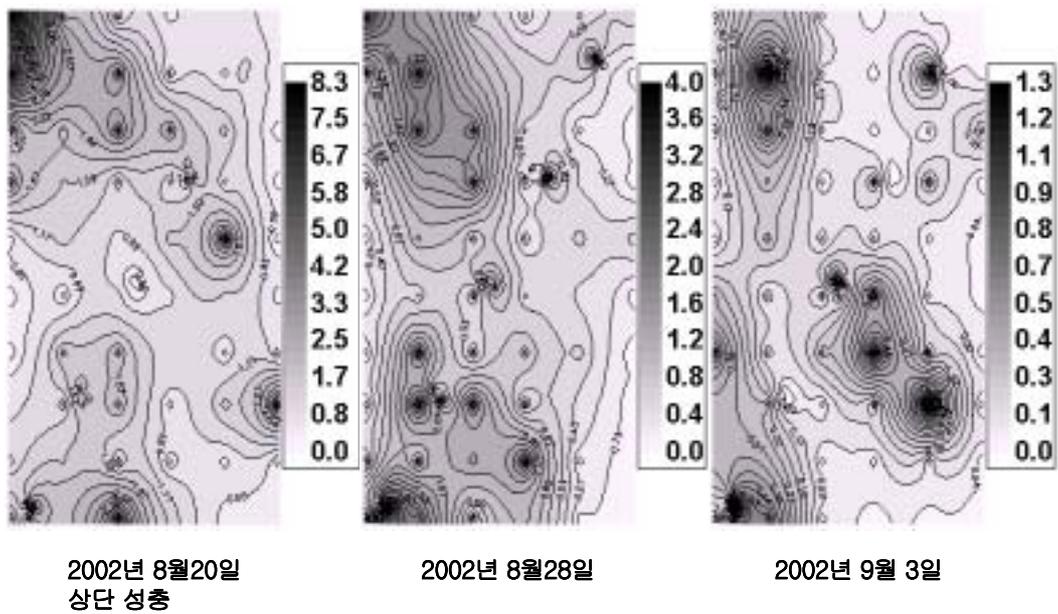


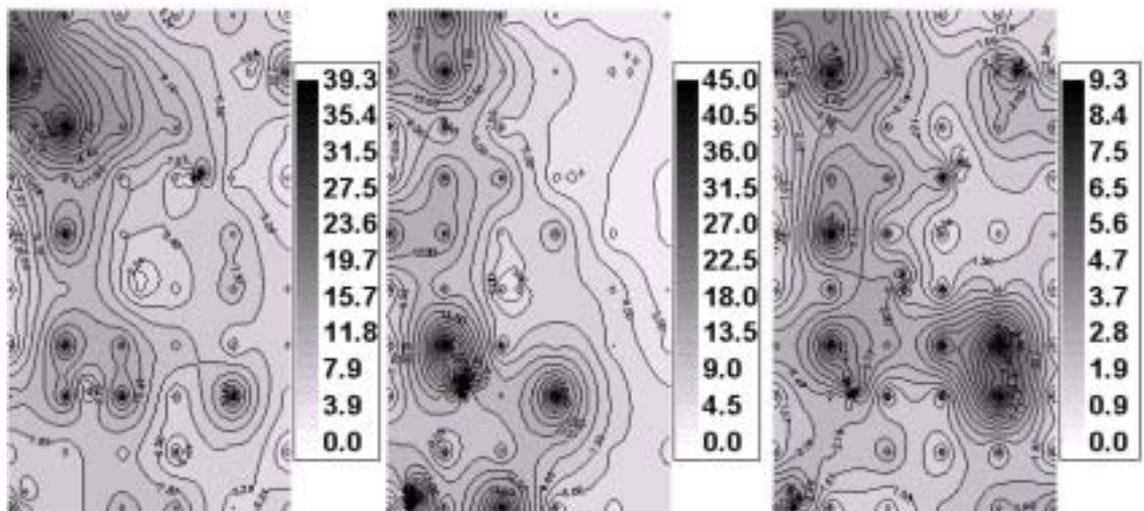
그림 3-80. 2002년 8월 20일, 8월 28일과 9월 3일 독립된 시설의 토마토 상단에서 육안 조사된 온실가루이 성충의 엽당 평균 밀도 변동

위 그림은 2002년 8월 20일, 8월 28일, 9월 3일의 각 1주일간의 기간을 두

고 시기별로 밀도의 변동을 살핀 시설토마토 상단 성층의 밀도 곡선이다. 최고밀도가 점점 떨어지는 것을 알 수 있고, 이시기에, 제배자는 계속적인 방제를 실시하였다.

하지만 위 그림으로 알 수 있는 바는 제배자가 관행적 살충제의 살포를 계속적으로 한 결과 전체적인 밀도는 계속적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 하지만, 상대적으로 밀도가 높은 hot spot 지역은 3주간 항상 일정하게 됨을 알 수 있다. 이것은 방제를 함에 따라, 온실가루이 성층의 이동이 어느 정도는 방해를 받고 있는 것을 반증하는 예라고 볼 수 있으며, 온실가루이의 밀도를 조절하기 위해서는 물론 관행적 방제가 무엇보다도 중요하기는 하지만, 이러한 방제가 관행적인 아닌 밀도조사에 의해 상대적으로 높은 밀도지역을 집중적으로 방제하는 것이 높은 효율을 보일 것 이라는 증거이기도 하다.

이처럼 성층의 밀도는 평면적으로 보았을 경우 hot spot의 위치의 변화가 거의 없이 이루어져 있음을 알 수 있었다. 그렇다면, 상단에서 관찰된 어린 유충의 밀도는 어떻게 될 것인가 알아보자.



2002년 8월 20일
상단 어린유충

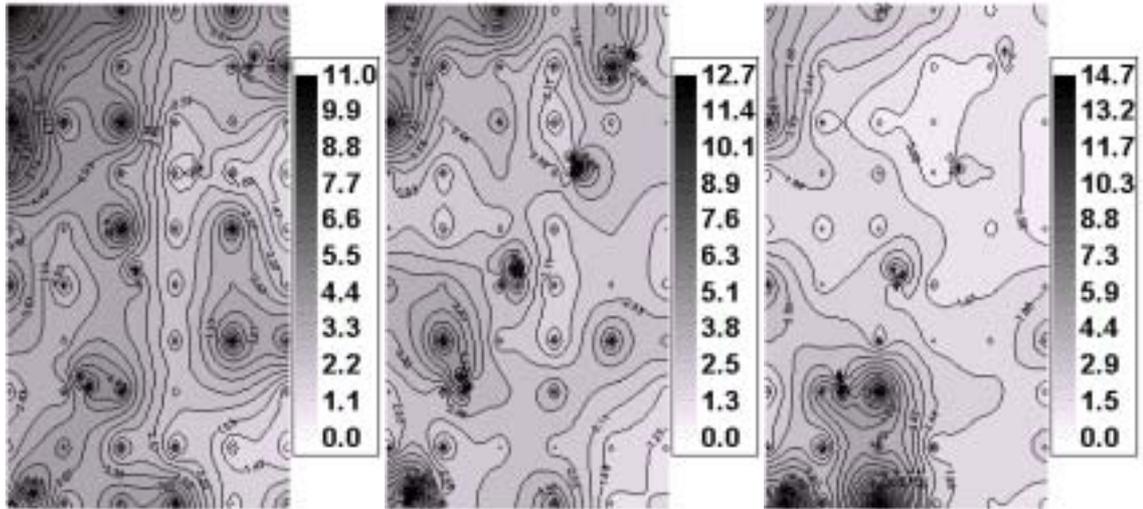
2002년 8월 28일

2002년 9월 3일

그림 3-81. 2002년 8월 20일, 8월 28일과 9월 3일 독립된 시설의 토마토 상단에서 육안 조사된 온실가루이 어린유충의 엽당 평균 밀도 변동

위 그림은 2002년 8월 20일, 8월 28일, 9월 3일의 각 1주일간의 기간을 두고 시기별로 밀도의 변동을 살핀 시설토마토 상단 어린 유충의 밀도 곡선이다. 전체적인 밀도 수준이 8월 28일을 기점으로 갑자기 감소하였으며, 상대적으로 밀도가 높은 부분인 hot spot의 위치 역시 바뀌었다.

온실가루이의 관행적인 방제에 따라, 활동성이 매우 높은 온실가루이 성충의 활동이 거의 없게 되는 현상을 보인 반면에, 1령충이 아주 조금의 활동성을 가지는 1, 2령충으로 이루어진 어린 유충은 상대적으로 밀도의 감소가 확실하게 이루어진 것으로 보인다. 즉 성충의 경우 높은 활동성으로 인해 관행적 방제를 피해서 다른 곳으로 이동할 수 있다는 가정도 있지만, 유충 시기에는 그렇지 못하다는 것이다. 또한 어린 유충의 밀도가 높아진 이유로는 어린 유충의 생사를 육안으로 판별하는 경우, 방금 죽은 어린 유충은 살아있는 것과 바로 구분이 안 되는 경우도 있으므로, 위 그림은 표본 추출의 오차도 포함하고 있을 것으로 사료된다. 다만, 이 부분은 온실가루이 유충의 고정태 때문이므로, 지속적인 관찰로 어느 정도 극복 가능하다.



2002년 8월 20일
중단 노숙유충

2002년 8월 28일

2002년 9월 3일

그림 3-82. 2002년 8월 20일, 8월 28일과 9월 3일 독립된 시설의 토마토 중단에서 육안 조사된 온실가루이 노숙 유충의 엽당 평균 밀도 변동

위 그림은 2002년 8월 20일, 8월 28일, 9월 3일의 각 1주일간의 기간을 두고 시기별로 밀도의 변동을 살핀 시설토마토 중단 노숙 유충의 밀도 곡선이다. 전체적인 밀도 수준이 계속적으로 조금씩이 나마 증가하고는 있지만, 앞서 보았던 어린 유충의 경우처럼 상대적으로 밀도가 높은 부분인 hot spot의 위치가 2002년 9월 3일 바뀌었다.

이러한 결과는 앞서의 이유와 동일한, 즉 성충의 경우 높은 활동성으로 인해 관행적 방제를 피해서 다른 곳으로 이동할 수 있다는 사실과, 유충 시기에는 그렇지 못하다는 것에 의한 차이로 보인다. 이는 어린 유충과 노숙 유충의 밀도수준이 높아진 이유가 유충의 생사를 유충의 생사구분이 안 되는 경우로 사료되며, 또한 중단의 경우, 관행적인 방제에서 보다 많은 피난처를 가질 수 있다는 장점(줄내림 방식에서 중단에서부터 아랫부분은 토마토 엽이 무성하여, 농약 살포시 직접적인 농약과의 접촉을 어느

정도 줄일 수 있게 된다) 때문으로 생각 할 수도 있다. 다만, 어린 유충의 밀도가 줄어들게 되면서, 그에 따라 시간이 흐르면, 노숙 유충의 밀도 역시 줄 것이며, 이러한 이유로 지속적인 방제가 시행되는 것이다.

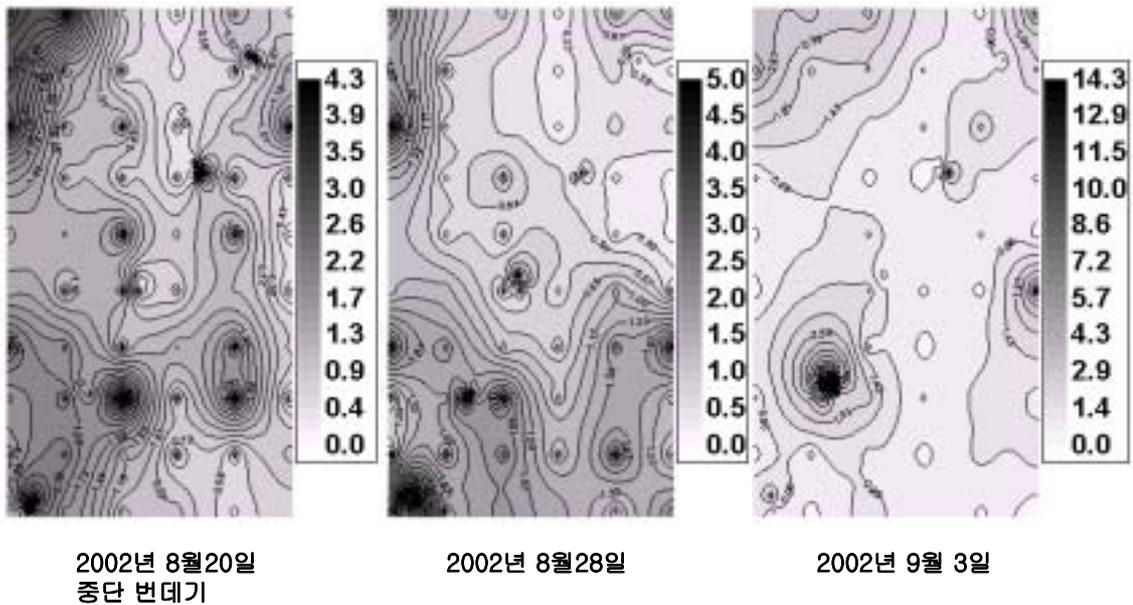


그림 3-83. 2002년 8월 20일, 8월 28일과 9월 3일 독립된 시설의 토마토 중단에서 육안 조사된 온실가루이 번데기의 엽당 평균 밀도 변동

위 그림은 2002년 8월 20일, 8월 28일, 9월 3일의 각 1주일간의 기간을 두고 시기별로 밀도의 변동을 살핀 시설토마토 중단 번데기의 밀도 곡선이다. 전체적인 밀도 수준이 계속적으로 증가하고, 9월 3일의 경우 아주 높은 증가를 하는 것으로 보이지만, 그림을 자세히 본다면, 앞서 두주의 자료는 여러 군데의 hot spot이 존재하지만, 9월 3일의 경우는 hot spot이 존재하지 않는 것으로 파악되므로, 이러한 경우, 실질적으로는 방제가 잘 되었다고 볼 수 있다.

이상의 육안조사를 이용한 밀도 변동 곡선을 살펴보면, 그림 3-66의 평균적

인 밀도의 변동과 비교하여, 온실가루이가 가지는 생물학적인 특성이 육안조사에서 바로 드러나게 되는 것을 알 수 있다. 먼저, 성충과 유충기의 분포의 차이는 운동성의 여부이며, 그 이후에 보이는 밀도의 평면적인 분포 유사성은 유충태가 가지는 고정태 때문으로 사료된다. 또한 각 표본추출일별 평면적인 밀도는 실제로 각 포장의 표본추출일별 평균의 밀도가 나타내지 못한 자료와 정보를 더욱 많이 주는 것으로 나타났다.

앞서의 결과도 역시 마찬가지 이었지만, 단순하게, 시설토마토 포장의 전체를 하나로 보아서 나오는 평균만을 이용해서 밀도의 변동을 보는 것은 hot spot에 해당하는 밀도의 변동을 알 수 없다. 특히 온실가루이의 평균밀도가 작기 후반에 변화하는 중에도, hot spot이 특별히 일정한 부분에서는 매우 높은 결과를 볼 수 있었으며, 이러한 결과는 평균으로만 나타내는 기존의 밀도 변동보다 더욱 해충의 공간적인 상황을 잘 설명한다고 하겠다.

나) 아메리카 잎굴파리의 육안조사시 각 표본추출일별 시설내 밀도변동

아메리카 잎굴파리가 가해한 갯도의 수를 각 표본 추출위치별, 각 표본추출일별, 시설토마토 주내의 상하 위치별로 다음의 그림들과 같이 나타내었다. 2003년 6월 16일, 6월 23일, 7월 1일, 7월 8일, 7월 14일의 5주의 밀도변동 자료를 나타냈으며, 각 주별로 상단, 중단, 하단으로 나누어 아메리카 잎굴파리가 가해한 갯도의 수 3엽의 sampling unit에서 엽당 평균갯도수로 나타내었다.

다음의 그림들은 상단과 중단, 하단의 아메리카 잎굴파리의 엽당 평균 갯도수이다. 그림 3-84에서 특별히 주의 하여 볼 부분은 상단과 중단, 하단 공히 포장의 가장자리를 중심으로 hot spot이 생기는 점일 것이다. 특히 중단위치에서 그러한 결과를 확인할 수 있는데, 매우 특이한 형태의 hot spot임을 알 수 있다.

상단의 경우 포장의 남동쪽을 중심으로 상대적으로 높은 갯도수를 유지하게 된다. 이러한 상태가 동일한 시기의 중단에서는 포장의 남쪽의 갯도수가 거의 없는 것을 볼 수 있으며, 하단의 경우 중단보다는 조금 높은 갯도수를 보이지만 역시 동쪽과 서쪽의 가장자리를 중심으로 많은 갯도수가 관찰되는 현상을 보였다. 또한 중단에서 상대적으로 많은 수의 갯도가 관찰 되었다.

이러한 결과는 온실가루이에서 보이는 현상과는 많이 다른 결과를 나타내게 되는데, 온실가루이의 경우, 포장에 전체적으로 넓게 분포하고, 그 밀도 역시 상대적으로 고르게 분포하고 있음을 알 수 있다. 물론 hot spot을 중심으로 분포하고 있는 고밀도 지역은 확연하게 들어나지만, 잎굴파리의 갱도수 관찰결과와 비교해서는 hot spot의 위치가 전체적으로 포장에 고루 분포 하는 것으로 나타났다. 하지만 잎굴파리의 갱도수의 경우, 상단을 제외한 중단과 하단에서, 동, 서쪽의 포장 양쪽 끝에서 매우 높은 밀도를 보이고 있으며, 이러한 결과는 온실가루이와 잎굴파리의 공간분포상황이 전혀 다른 방식으로 흘러간 것이 아닌가를 의심하게 한다. 공간분포 상황의 분석은 다음의 장에서 하게 되겠지만, 현재 육안으로 보이는 간접적인 아메리카 잎굴파리 유충의 밀도 분포는 포장의 가장자리를 중심으로 나타나고 있음이 관찰 되었다.

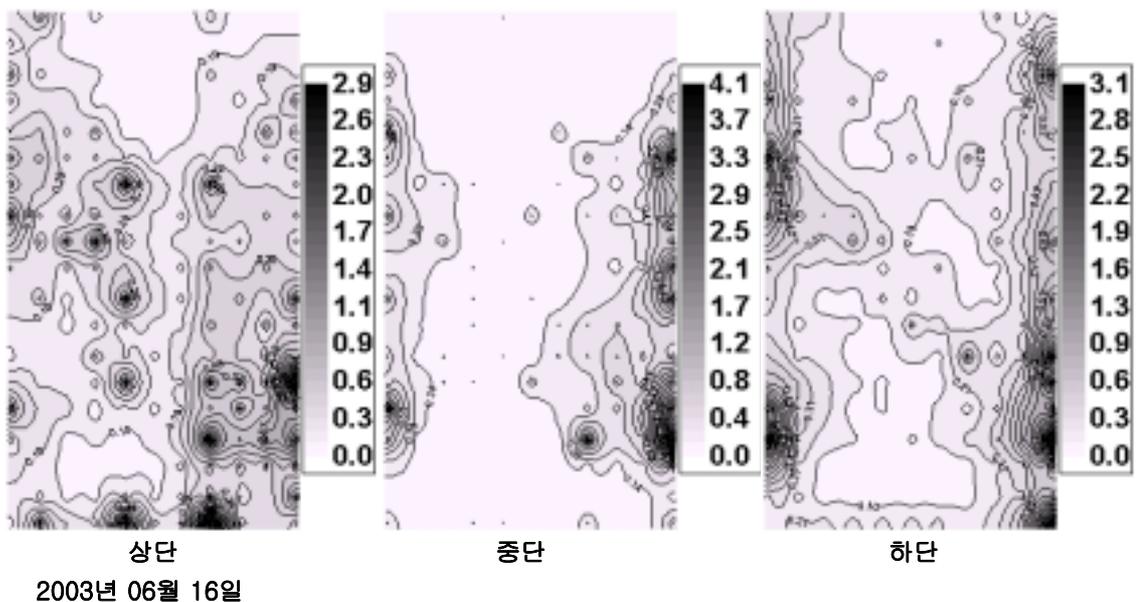


그림 3-84. 2003년 6월 16일 아메리카 잎굴파리가 가해한 갱도수의 시설토마토 위치별 토마토 주내의 상하별 엽당 평균 갱도수

그림 3-85는 그림 3-84의 상태가 일주일 후에 변동된 아메리카 잎굴파리 유충의 가해흔은 갱도수의 포장에서의 관찰 결과이다. 중단에서 그림 3-84의 6월 16일 상황은 포장의 중단부분에서는 거의 밀도관찰이 없었는데, 6월 23일 결과인 그림 3-85에서는 가장자리에서 중앙 쪽으로 조금씩 밀도가 보이는 것으로 관찰 되었다. 만약 아메리카 잎굴파리가 외부로부터의 유입에 이어, 밀도의 증가에 따라 중앙으로 들어오게 된다는 가정을 하게 된다면, 중단을 기준으로 보는 것이 좋을 것으로 사료된다. 하지만, 기존에 잎굴파리 성충의 밀도가 중앙지역에서 보였다면, 우리가 모르는 미세 환경, 혹은 중간 경계에서 밀려난 잎굴파리가, 상대적으로 환경이 불안정한(포장의 가장자리의 경우, 시간의 변화에 따라, 온도의 변화가 많으며, 공기의 흐름이 중앙지역보다 원활하다는 점)지역에서만 높은 밀도를 보이는 것으로 미루어 짐작가능하다.

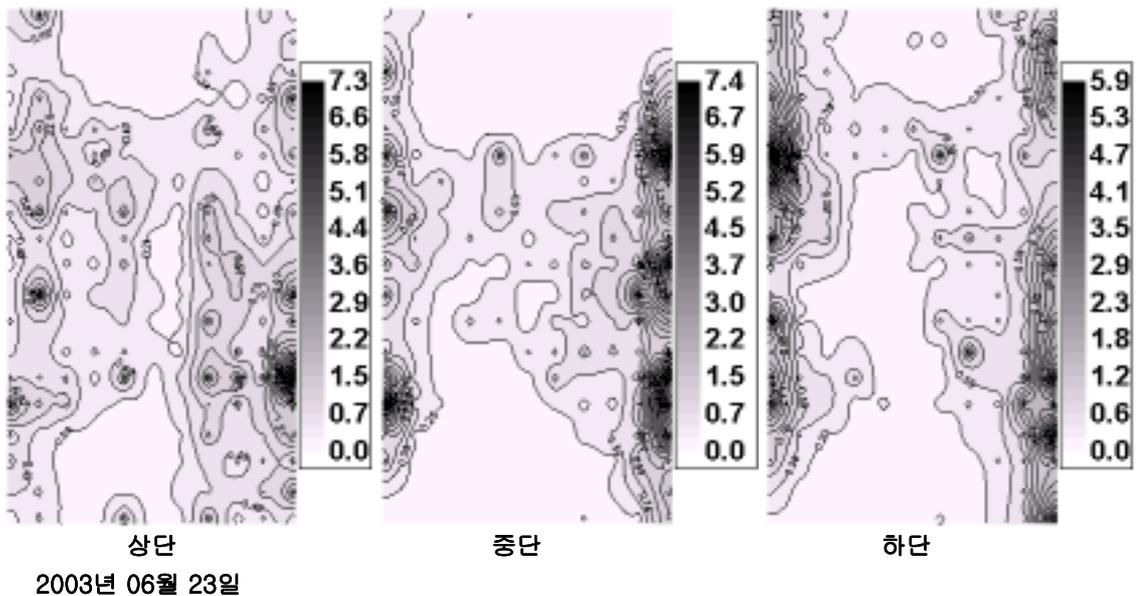
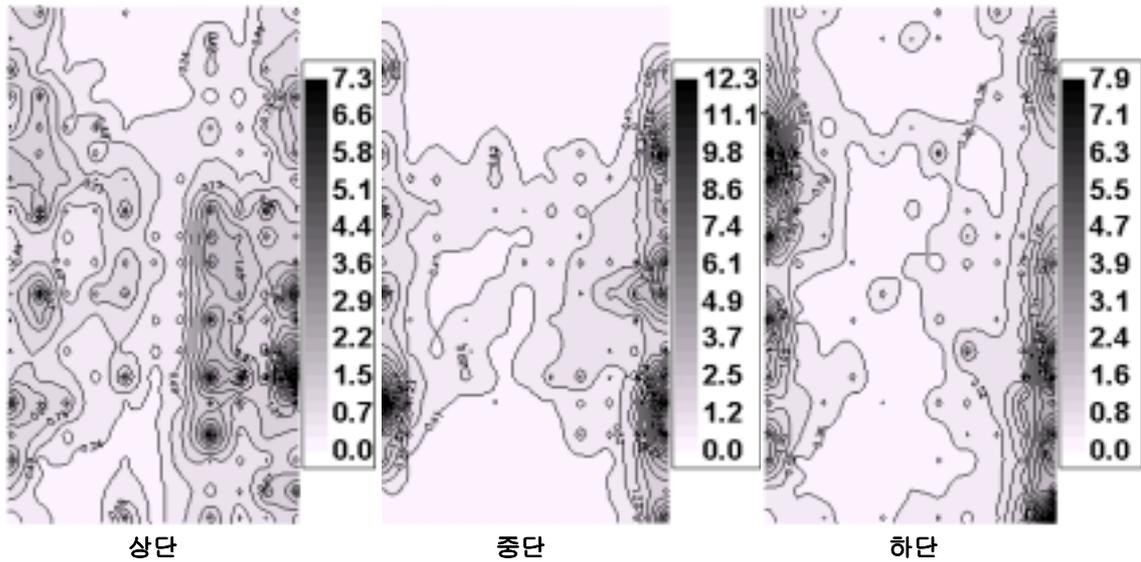


그림 3-85. 2003년 6월 23일 아메리카 잎굴파리가 가해한 갱도수의 시설토마토 위치별 토마토 주내의 상하별 엽당 평균 갱도수

그림 3-85의 상단에서는 중단과 비슷한 밀도수준을 보이면서, 포장의 가장자리와 중앙지역에서 고루 밀도가 높은 지역인 hot spot이 관찰 되었다. 이것은 앞서 보았던 여러 가지 의견에, 재배자의 활동에 의해 보일 수도 있게 되는데, 잎굴파리의 경우는 온실가루이와는 다르게, 유충의 가해흔적이 눈에 금방 떨어 수 있기 때문이다. 잎굴파리의 가해흔적인 갱도는 계속적으로 남는 것이고, 온실가루이의 경우, 눈에 직접적으로 띄지 않는 잎의 뒷면에 부착되어 고정위치에서 성장하게 된다. 만약 아메리카 잎굴파리의 유충의 가해흔적을 재배자가 보고, 그것을 제거하는 사상황이라면, 육안조사보다는 트랩을 이용한 성충의 유인밀도를 확인 하는 것이 좋을 것이다. 하지만, 그림 3-84에서 거의 없던 갱도수가, 일주일 후의 그림인 그림 3-85에서 중앙지역에서 어느 정도의 밀도를 보이므로, 우리는 이러한 밀도의 증감에 따른 변화가 재배자의 활동에 의한 간접적인 변동보다는 종 특성적인 영향과, 미세 환경의 영향을 받은 것으로 생각할 수 있다.

다음의 그림 3-86은 그림 3-85 상황에서 일주일 후의 육안조사 결과를 나타낸 그림이다. 그림 3-86은 그림 3-85와 상단의 경우 비슷한 갱도수를 보여주고 있지만, 하단과 중단은 갱도수의 수준이 많이 올라가 있음을 알 수 있게 된다. 특히 중단의 경우 엽당 최고 12개 이상의 갱도수를 보이는 hot spot이 존재하게 되는데, 엽당 12개 이상이면, 시설토마토의 엽을 대부분 가해한 상태라고 볼 수 있다.



2003년 07월 01일

그림 3-86. 2003년 7월 1일 아메리카 잎굴파리가 가해한 개도수의 시설토마토 위치별 토마토 주내의 상하별 엽당 평균 개도수

그림 3-86에서 다르게 주목할 점은 상단에서 가장자리를 중심으로 보이던 높은 개도수 부분인 hot spot이 중앙 쪽으로 진행되고 있다는 점이다. 즉 최고 개도수를 보이는 경우, 상단과 중단의 엽의 크기에 차이가 있으므로 상대적으로 중단보다는 상단의 개도수가 적을 것이므로, 상단의 경우, 개도수는 최고에 이르렀을 것이고, 이보다 더 이상 개도 흔적을 내면서, 토마토의 엽육을 가해하기 힘들기 때문에 중앙으로 개도수의 증가가 나타나는 결과를 가져온 것이며, 이러한 결과는 중단과 하단에서도 동일한데, 그림 3-84에서부터 그림 3-86으로 오는 동안 중단의 최대 개도수의 병화를 살펴봐야 할 것이다. 최대 개도수가 약 4개 -> 약 7개 -> 약 12개로 증가하고 있으므로, 그림 3-84에서 보이는 중앙부위의 밀도는 동일한 명도의 그림이라고 하더라도, 그림 3-86에서 보이는 개도수보다 매우 낮다고 볼 수 있다, 즉 중단도 역시 동, 서쪽의 가장자리 지역에서 높은 hot spot을 가지고, 점점, 시간이 지남에 따라 중앙부위로 들어오

게 되는 것이다. 우리는 이러한 사실에 입각해서, 외부에서 아메리카 잎굴파리의 유입에 이은 밀도의 증가에 따라 시설토마토 온실의 중앙으로 밀도의 dispersion이 일어나는 것을 의심하였으며, 지속적인 관찰을 실시하여, 우리의 가정이 맞는지 관찰하였다.

다음 그림은 그림 3-86의 상황에서 일주일 뒤의 평면적인 평균 갱도수이다.

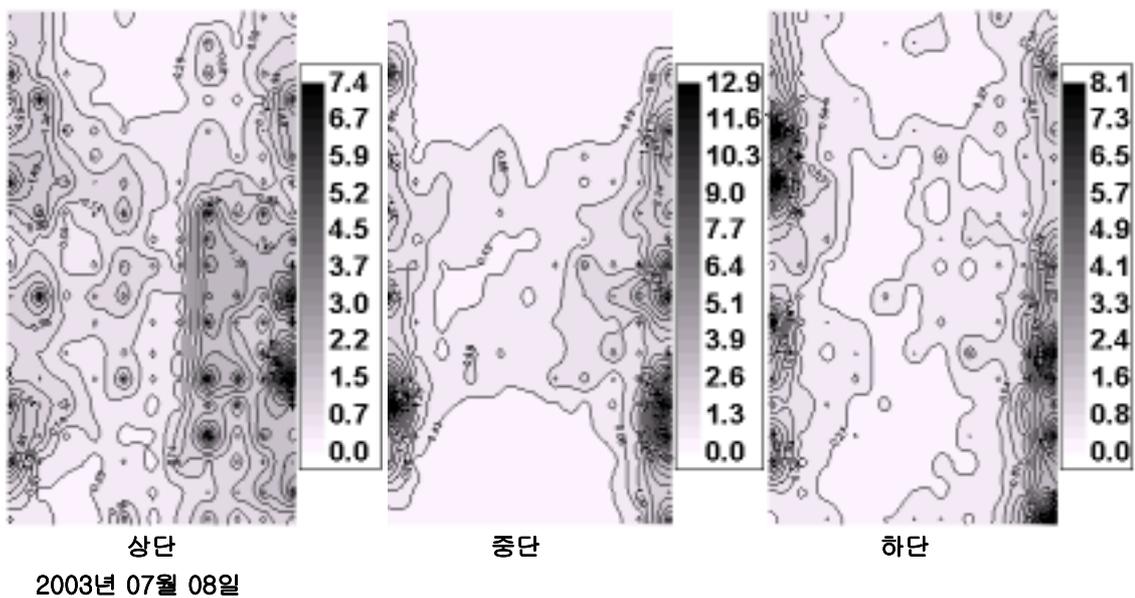


그림 3-87. 2003년 7월 8일 아메리카 잎굴파리가 가해한 갱도수의 시설토마토 위치별 토마토 주내의 상하별 엽당 평균 갱도수

그림 3-87의 경우 그림 3-86의 밀도수준에서 더 이상 늘어나지 않고 있음을 확인 할 수 있었다. 즉 하나의 엽에서 아메리카 유충이 가해를 하는 경우, 유충의 가해이후의 토마토 엽의 원상회복은 불가능 해지고, 또한 최대한으로 엽을 가해한 흔적이 남아있는 경우, 가해 받은 엽의 갱도수의 일정한 범위 이외의 증감은 불가능 하게 된다. 따라서 아메리카 잎굴파리의 유충의 밀도를 간접적으로 나타내는 갱도수의 증가는 하나의 복엽 sampling unit을 추출하여 보는 것에서는 갱도수의 증가는 한계가 있

다는 점이다.

평면적으로 상단은 그림 3-86과 비슷하게 나타났으며, 중앙 쪽으로의 갱도수의 증가가 활발히 일어나는 것임을 알 수 있다. 중단의 경우, 그림 3-85의 그림과 크게 차이를 보이지 않는데, 이것은 중단 역시 아메리카 잎굴파리의 개체군의 밀도 변동의 변화가 적음을 나타내 준다. 하단에서는 최대 갱도수가 조금 증가하기는 하였지만, 7월 1일 보인 밀도와 크게 다르지 않았다.

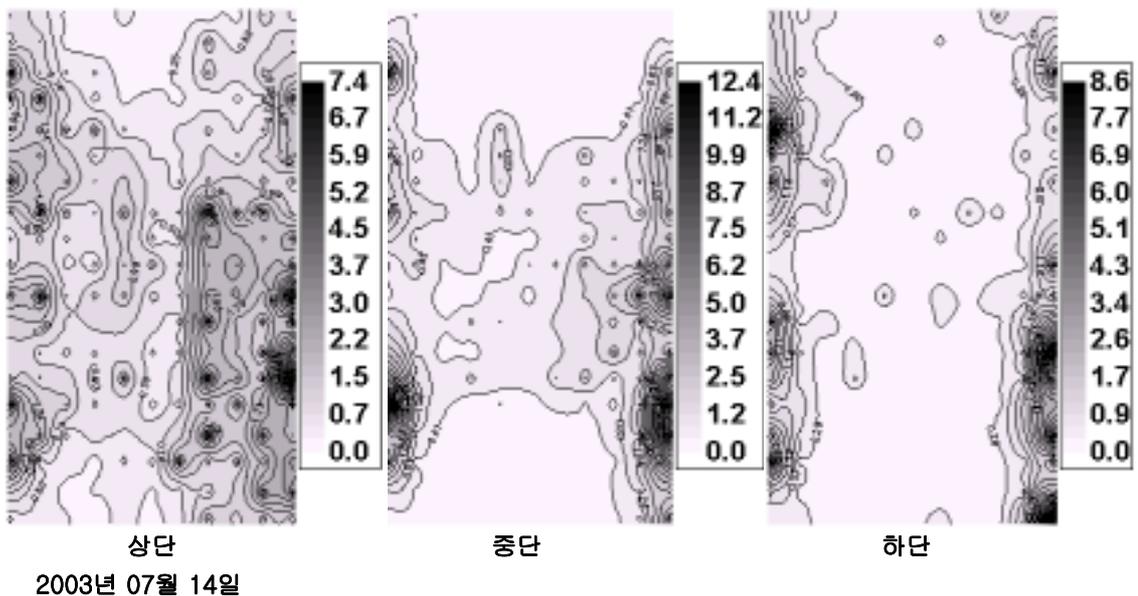


그림 3-88. 2003년 7월 14일 아메리카 잎굴파리가 가해한 갱도수의 시설토마토 위치별 토마토 주내의 상하별 엽당 평균 갱도수

그림 3-88의 경우 그림 3-87과 마찬가지로 아메리카 잎굴파리의 한 주전 밀도수준에서 더 이상 늘어나지 않고 있음을 확인 할 수 있었다. 즉 하나의 엽에서 아메리카 유충이 가해를 하는 경우, 유충의 가해이후의 토마토 엽의 원상회복은 불가능 해지고, 또한 최대한으로 엽을 가해한 흔적이 남아있는 경우, 가해 받은 엽의 갱도수의

일정한 범위 이외의 증감은 불가능 하게 된다. 따라서 아메리카 잎굴파리의 유충의 밀도를 간접적으로 나타내는 갱도수의 증가는 하나의 복엽 sampling unit을 추출하여 보는 것에서는 갱도수의 증가는 한계가 있다는 점이다. 중단의 경우 최대 갱도의 평균이 조금 올라가는 현상을 보이지만, 전체적으로 상단과 중단의 경우 그림 3-87과 별반 다른지 않음이 확인 되었다.

하단의 경우는 상단과 중단의 갱도수 결과와 조금 다른데, 하단에서 중앙 지역에 매우 적은 수의 갱도가 관찰되고 있었다. 이것은 작기가 끝으로 흘러가면서, 토마토 하단에 아메리카 잎굴파리를 포함한 다른 해충 개체군의 가해, 식물병의 가해 등으로 식물체 엽이 파괴됨으로 인해서, 제배자가, 하단의 엽들을 제거하는데 그 원인이 있는 것으로 볼 수 있다. 즉 하단부위 밀도의 변동은 작기 후반으로 갈수록, 알기 힘들게 되며, 상업적인 온실에서 일반적이고, 빠른 표본 추출법의 개발은 하단을 제외한 토마토주의 주내에서 이루어 져야 할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 중단의 밀도를 중심으로 표본 추출법을 개발하였으며, 이것은 위의 그림 3-88 에서처럼 하단부위의 밀도수준을 파악하기 힘들 경우를 대비한 것으로 일부 이해 가능하다.

3) 시설토마토 해충의 황색점착트랩조사의 평균 밀도 변동 곡선

앞서 언급했던 바와 같이 황색점착 트랩을 설치하려는 가장 기본적인 이 유로는 첫째, 온실가루이와 잎굴파리의 성충이 보이는 운동성(activity), 둘째, 황색 점착 트랩이 가지는 유인력, 셋째, 육안조사에 비해 빠른 시간동안 목표로 한 전체 포장의 해충 개체군의 밀도 수준을 파악 가능하다는 점 때문일 것이다.

시설 토마토의 대표적인 해충인 온실가루이와 아메리카 잎굴파리는 매우 작은 크기와 빠른 운동성을 가지고 있다. 이러한 성충은 육안조사와 같은 방법으로는 밀도를 파악하기 힘들게 된다. 따라서 황색점착트랩을 이용하는 것이 쉽게 된다. 또한 앞서 언급했다시피 황색 점착 트랩의 유인성은 육안 밀도 조사의 양면성을 가지고 있는데, 트랩이 가지는 색(色)을 이용한 유인은 작고 활동성이 강한 해충의 빠른 밀도 예측에 도움이 되지만, 또한 정반대로, 실제로 그 위치에 존재하는 해충뿐만이 아닌 다른 지역에 있을 것으로 예상되는 해충을 유인하므로, 밀도 조사시 동일한 위치에서 육안조

사와의 비 동질성(heterogeneity)을 일으키기도 하는 것이다. 하지만 작고 빠르게 활동하는 해충의 밀도수준 파악은 트랩을 이용하는 것이 최선이므로, 트랩을 이용하게 되는 것이다.

가) 황색점착트랩조사시 온실가루이의 평균 밀도 변동 곡선

그림 3-89는 2001년도 실험에서 얻어진 황색점착트랩의 포장별 표본추출 일별 평균밀도를 그림으로 나타낸 것이다.

2001년의 실험에서는 황색점착 트랩의 크기에 따른 그 효율 정도를 알아보았다. 시중에서 시판되는 황색점착트랩의 경우 한쪽면만 점착트랩이 그 역할을 하게 되어있으며, 가로로 긴 직사각형모양이므로, 전체를 사용하는 경우와 그 크기의 절반만을 사용하는 경우로 나뉘어 진행하였다. 이러한 실험을 한 이유로는 점착트랩이 크면 유인되는 시설 토마토 해충의 밀도가 너무 많은 경우가 생기므로, 서로 다른 크기의 점착트랩의 효율적인 면을 비교하여 최적의 트랩 크기를 도출해 내기 위함이다.

그림 3-89를 살펴보면, 각각의 크기의 트랩의 밀도의 변동 폭만 다를 뿐 밀도의 변이형태는 각각의 트랩이 매우 유사하게 흐르고 있음을 알 수 있다. 이러한 사실로 미루어 큰 트랩과 작은 트랩의 효율적인 면을 놓고 보았을 때(트랩에 유인된 온실가루이 혹은 아메리카 잎굴파리의 수가 적은 경우는 상관없지만, 특별하게 온실가루이의 경우 그 밀도가 너무 많은 경우가 있으므로) 작은 트랩이 큰 트랩과 동일하게 밀도의 변동 정도를 보여준다고 한다면, 각 트랩의 밀도의 변동은 서로 양의 상관관계를 가지게 된다. 따라서 2001년도에 한 실험에서 큰 트랩과 작은 트랩으로 나누어, 각각의 표본추출일별 밀도의 변동정도를 1:1로 비교하여 직선회귀를 실시해 보았다.

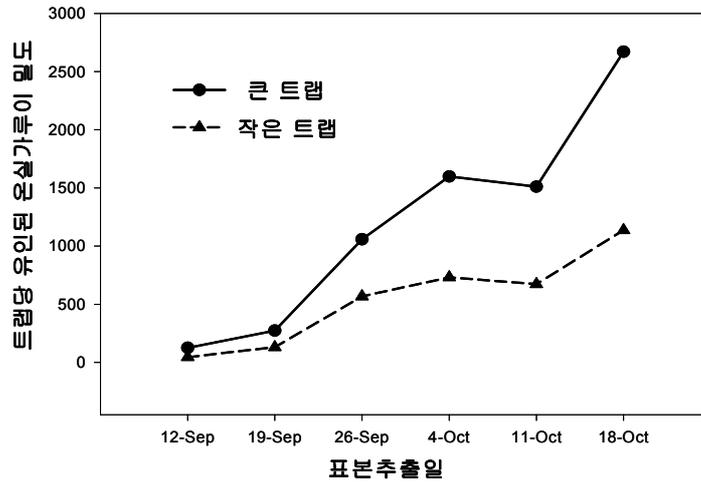


그림 3-89. 2001년 부여 시설토마토 온실에서 관찰된 트랩에 유인된 온실가루이의 평균밀도

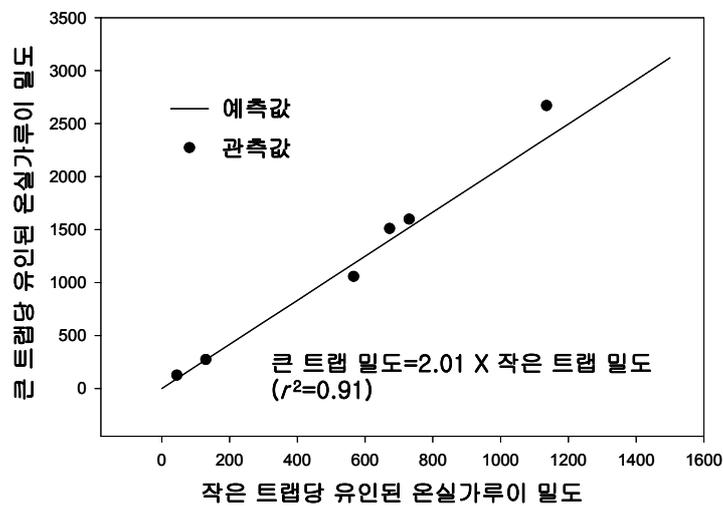


그림 3-90. 큰 트랩과 작은 트랩의 밀도를 각 표본추출일별로 1:1 직선 회귀한 결과 그래프

앞서 그림 3-89에서 예측 한 것처럼, 그림 3-90의 결과, 큰 트랩의 절반 크기인 작은 트랩은 큰 트랩의 밀도를 적절하게 대변해주는 것으로 나타났다(직선회귀의 결정계수 = 0.91) 또한 큰 트랩의 밀도는 작은 트랩의 약 2.01배의 밀도를 가지는 것으로 관찰 되었으며, 이와 같은 사실에 의거하여, 포장에서 해충의 발생 정도를 빠르게 알 수 있는 황색점착트랩의 사용에서, 기존의 방법은 각각의 연구자가 서로 다른 크기의 황색점착트랩을 사용하여, 그 밀도를 추정하고, 실제 시설 토마토 혹은 다른 작물의 체내에서의 밀도와 연결하는 것이 매우 힘들었지만, 본 연구과제에서 우리는 가장 다루기 쉽고, 빠르게 해충의 밀도를 알아보고, 해충의 발생상황을 알려주는 황색점착트랩의 표준화를 이루고자 대표적인 트랩을 제시하고자 한다. 본 연구과제에서 최종적으로 제시하는 시작품은 그림 3-89와 앞서 나타낸 모식도(그림 3-64)에서의 작은 트랩의 크기를 기본으로 하여 만들었으며, 정해진 작은 크기의 황색점착 트랩은 이 후에 개발할 분할된 점착트랩을 이용한 이항표본 조사법에도 사용될 것이다.

다음은 2003년 전라남도 담양 포장에서 얻어진 황색점착트랩의 포장별 표본추출일별 평균밀도를 그림으로 나타낸 것이다.

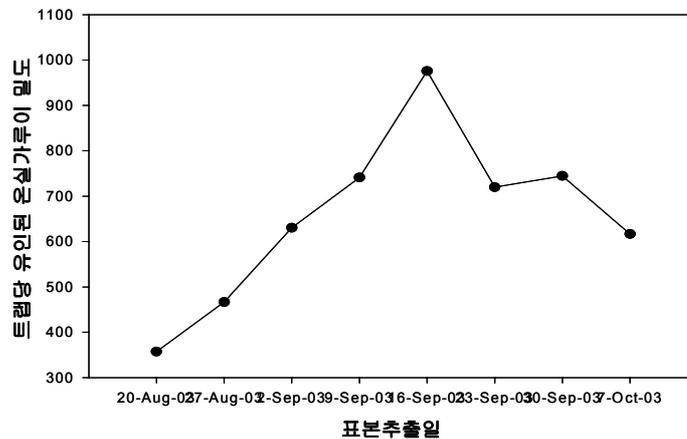


그림 3-91. 2003년 전남 담양군 시설토마토 온실에서 관찰된 트랩에 유인된 온실가루이의 평균밀도

그림 3-91에서 전남 담양군의 밀도는 2001년 밀도 수준에 비교하여 상대적으로 낮은 값을 보이고 있다. 하지만, 밀도의 변이가 계속적으로 있는 것을 알 수 있다. 황색 점착 트랩역시, 온실가루이의 밀도가 각 표본추출일별 어떤 변이를 보이는지를 알 수 는 있다. 하지만, 포장에서 평면적으로 어떤 지역에 많이 존재하고, 어떤 지역에서는 문제가 생기는 가는 아직 알 수 가 없다.

나) 황색점착트랩조사시 아메리카 잎굴파리의 평균 밀도 변동 곡선

다음 그림 3-92는 2001년 경기도 용인의 시설토마토 온실에 설치한 황색 점착 트랩에 유인된 아메리카 잎굴파리의 밀도를 나타낸 그림이다.

그림 3-92에서 잎굴파리의 성충이 유인된 밀도는 시간에 지남에 따라 점점 증가하고 있는 것을 확인할 수 있다. 하지만 용인의 온실에서 주의할 점은 제배자가 포장관리를 8월 중반이후로는 하지 않았다는 점이다. 때문에 육안조사는 불가능하고, 트랩에 유인된 아메리카 잎굴파리 성충의 밀도만을 조사하였다.

특별하게 그림 3-92에서는 8월 중반부터 밀도가 폭발적으로 증가하는 모습을 보여주고 있다. 아메리카 잎굴파리의 밀도가 초기에는 관행적 방제 등에 의해 계속적으로 낮은 값으로 유지되지만, 포장의 관리가 안 되는 순간 그 밀도는 급격하게 올라가고 있음을 보여주고 있다. 실제 포장에서 아메리카 잎굴파리의 성충을 육안으로 구별하는 일은 온실가루이 성충에 비해 상대적으로 매우 어렵다. 아메리카 잎굴파리의 활동성도 그렇지만, 그 크기와, 토마토 잎과 비교하여 구별하기 힘든 몸체의 색(노랑-연녹색; 기주에 따라 변함) 때문인 것으로 사료된다.

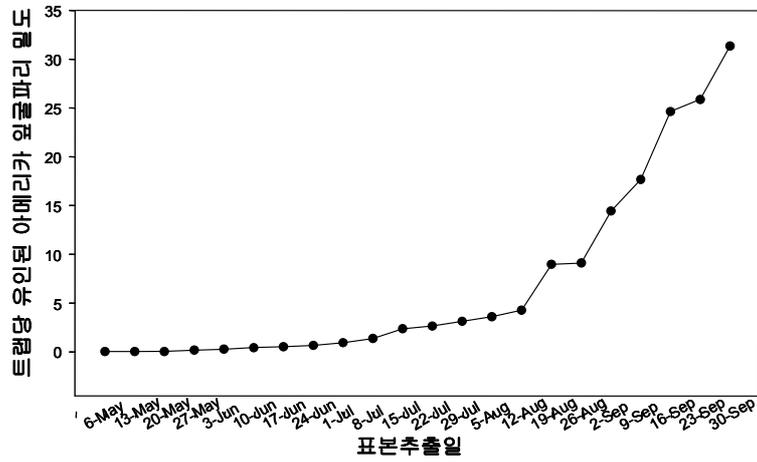


그림 3-92. 2001년 용인 시설토마토 온실에서 관찰된 트랩에 유인된 아메리카 앞굴파리의 평균밀도

다음의 그림 3-93은 2003년 전라도 담양군의 시설토마토에 설치한 트랩에 유인된 앞굴파리의 밀도를 나타낸 그림이다.

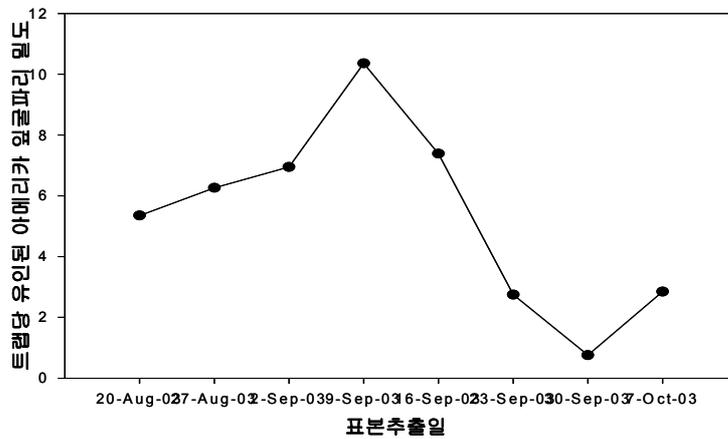


그림 3-93. 2003년 전라남도 담양군 시설토마토 온실에서 관찰된 트랩에 유인된 아메리카 앞굴파리의 평균밀도

그림 3-93에서 아메리카 잎굴파리의 밀도는 증가, 그 이후 감소 또 그 이후 다시 증가하는 형태를 띠고 있으며, 전체적인 밀도의 수준은 상대적으로 온실가루이에 비해 상당히 낮은 것으로 나타났다.

모든 평균의 결과를 살펴보았을 때, 온실가루이와 잎굴파리의 밀도를 서로 비교함에 있어 많은 문제점이 나올 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 본 과제에서 우리는 동일한 위치에 동일한 시기에, 동일한 트기의 트랩을 설치하고, 각 트랩에 유인된 잎굴파리와 온실가루이의 밀도를 평면적으로 모든 표본 추출 일에 비교하기 위해, 2002년부터 2003년에 이르는 모든 황색점착트랩자료를 1:1로 매치하여 보여주는 과정을 거치고자 한다. 밀도의 수준은 상대적으로 온실가루이 성충이 훨씬 많지만, 잎굴파리 밀도 역시 보이게 되므로, 서로의 절대값이 아닌, 상대적인 밀도의 많고 적음을, 즉 전체 밀도에 비하여, 온실의 어떤 특정 지역에서 많은 출몰이 되는지를 비교해 보는 것이 중요할 것으로 사료된다.

앞서 평균값만을 비교하게 된다면, 공간적으로 황색점착트랩에 유인되는 온실가루이와 아메리카 잎굴파리를 비교하는 것은 불가능하다. 다만, 아메리카 잎굴파리의 밀도가 낮은 이유는 경종적인 방법으로 설명 가능한데, 제배자는 엽 뒤에서 고정 태로 섭식하며, 성장하는 온실가루이보다는 유충시기에 확실하게 섭식흔을 보이는, 즉 유충이 가해하는 경우 갱도를 남기는 잎굴파리의 밀도 변동에 더 많은 관심을 가질 수 있다. 물론 온실가루이 성충이 활동하게 되면, 문제가 되지만, 잎굴파리의 유충의 섭식흔인 갱도의 경우, 그 영향이 더욱 크기 때문이다.

4) 시설토마토 해충의 황색점착트랩조사에서 각 표본추출일별 시설내 평면적인 밀도변동

황색점착트랩은 육안조사와는 다르게, 벌레의 종을 막론하고, 그 색으로 인해 모든 해충을 유인하게 된다. 따라서 온실 내에 일정한 위치에 설치된 황색점착트랩은 온실가루이와 아메리카 잎굴파리 개체군 둘 다 유인하게 되고, 관찰자는 이 둘의 밀도를 모두 관찰가능 하다.

앞서 언급했다시피 다른 장과는 다르게, 황색점착트랩의 경우에는 같은 날, 같은 위치에서 보이는 각각의 해충 개체군의 밀도를 서로 비교하는 형식을 취할 것이다. 대상은 2002년 전라도 담양군의 시설토마토에 설치한 황색 점착트랩의 결과와, 2003년 동일지역에 설치한 황색점착트랩의 결과이다.

이렇게 서로의 결과를 1:1로 비교하려는 이유는, 앞서 제시했던 육안조사에서 평면적인 밀도의 변이, 혹은 아메리카 잎굴파리의 경우 밀도의 간접적인 수준을 알 수 있는 유충의 가해흔적인 갱도수를 비교해 보았을 때, 온실가루이는 시설토마토 포장의 전체에서 고루 그 밀도가 나타나고 있었지만, 잎굴파리의 경우, 동, 서의 가장자리에서 집중적으로 나타나고 있었다. 또한 이번 과제의 실험에서처럼 황색점착트랩에 단순히 색만을 이용해서 유인하는 경우 온실가루이와 잎굴파리 둘 다 유인된다면, 활동성과, 각 종간의 온실내의 세력 등에 따라 유인되는 밀도가 달라져 이 둘을 비교할 필요가 있다. 각각의 비교가 무엇보다 중요한 이유로는 시설토마토에서 최근에 가장 문제가 되고 있는 두 해충 중의 공간분포상황을 보다 잘 표현하는 방법이기 때문이다.

가) 2002년 전라남도 담양군에서 설치 수거된 황색점착트랩에 유인된 온실가루이와 아메리카 잎굴파리의 평면적 밀도변동

2002년의 경우에는 밀도가 일정하게 올라온 이후에 황색점착 트랩을 설치하여 서로를 비교 하였다. 무엇보다도 중요한 사실은, 온실가루이의 밀도는 황색점착 트랩에서 계속적으로 관찰되었지만, 아메리카 잎굴파리의 밀도는 상대적으로 잘 나타나지 않았음을 먼저 명시한다.

다음 그림 3-94는 전라남도 담양군에 위치한 시설토마토 주의 최상단 부근에 8월 21일 설치하여 일주일 후인 8월 28일 수거하여, 관찰, 기록한 결과를 평면적으로 나타낸 그림이다.

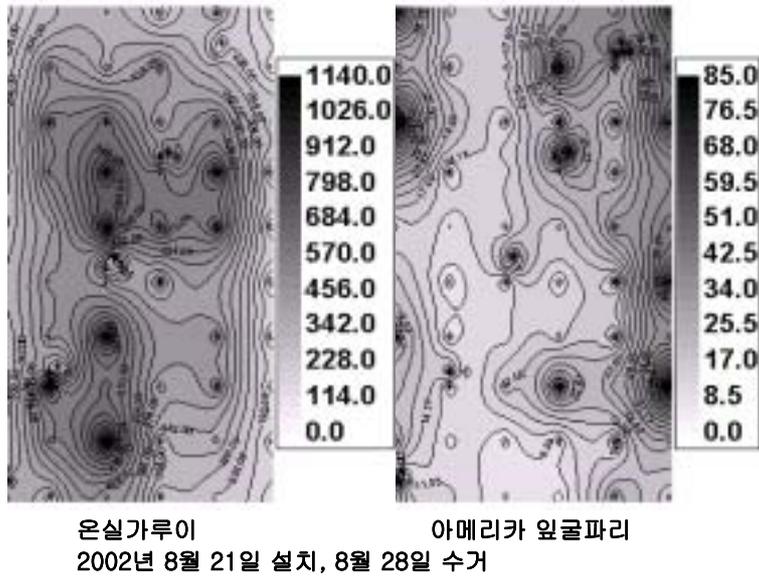


그림 3-94. 황색점착트랩에 유인된 온실가루이와 아메리카 잎굴파리의 밀도변동

먼저 그림 9-94에서 바로 알 수 있는 것은 밀도의 수준의 차이이다. 온실가루이가 트랩당 최고 1140마리를 포장에서 보이는 반면에, 아메리카 잎굴파리의 밀도는 트랩당 최대 85마리이다. 또한 2002년 8월 21일 설치하여, 8월 28일 수거, 관찰한 결과에서, 온실가루이의 밀도가 상대적으로 높은 밀도를 보이는 hot spot 부분과, 아메리카 잎굴파리가 상대적으로 높은 밀도를 보이는 hot spot 부분은 서로 다른 지점으로 나타났다. 이것은 여러 가지 결과를 시사해 주는데, 먼저, 생태학적으로 온실가루이와 아메리카 잎굴파리가 서로 주로 존재하는 영역이 다를 수 있으며, 또는 온실가루이의 성충이 많은 부분에서 아메리카 잎굴파리들이 배제 되었을 가능성도 있다. 또한 두 종간의 중간 경쟁에서, 밀도가 우월한 온실가루이가 온실을 우점 할 수도 있게 된다. 이를 위해서는 다른 자료들도 보아야 하겠다.

하지만, 조금 다른 관점에서 본다면, 작은 트랩에 온실가루이가 1000마리 이상 유인되는 경우, 만약 온실가루이가 먼저 유인되었다면, 1주일이라는 기간동안 잎굴파리의 유인이 하나도 없지는 않았다고 본다면, 트랩의 크기 및 점착력이 상대적으로

떨어진 이후에 아메리카 잎굴파리처럼 활동성이 높은 해충을 잡을 수 없다고 사료된다. 따라서 그림 3-94의 경우 여러 가지를 추측가능하게 하는 그림이라고 사료된다.

다음 그림 29는 전라남도 담양군에 위치한 시설토마토 주의 최상단 부근에 8월 28일 설치하여 일주일 후인 9월 3일 수거하여, 관찰, 기록한 결과를 평면적으로 나타낸 그림이다.

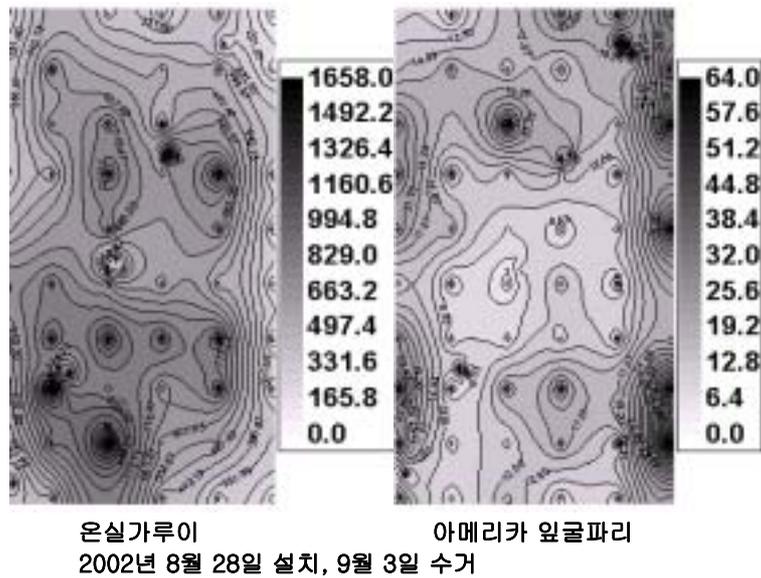


그림 3-95. 황색점착트랩에 유인된 온실가루이와 아메리카 잎굴파리의 밀도변동

먼저 온실가루이가 유인된 밀도를 살펴보면, 최대밀도가 트랩당 1600마리 이상의 트랩이 관찰되기 시작했으며, 상대적으로 다른 부분보다 높은 밀도를 보이는 hot spot의 위치는 저번 주에 수거된 그림 3-94와 크게 다르지는 않았다.

아메리카 잎굴파리는 온실가루이와는 다른 현상을 보였는데, 먼저 최고 밀도가 트랩당 64마리로, 그림 3-94와 비교하여 약 20마리 이상 줄어든 것으로 나타났으며, 그림 3-94에서 감지되었던 북서쪽 가장자리와 북동쪽의 hot spot 부분이 그림 3-95

에서는 북쪽의 중간 부분으로 이동한 결과를 보였다.

전체적으로 온실가루이와 아메리카 잎굴파리를 비교함에 있어, 온실가루이의 밀도가 상대적으로 매우 높았으며, 이러한 사실을 관찰한 결과, 온실가루이가 2002년 담양군의 시설토마토 온실에서는 우점종인 것처럼 보인다.

다음 그림 3-96은 전라남도 담양군에 위치한 시설토마토 주의 최상단 부근에 9월 3일 설치하여 약 일주일 후인 9월 9일 수거하여, 관찰, 기록한 결과를 평면적으로 나타낸 그림이다.

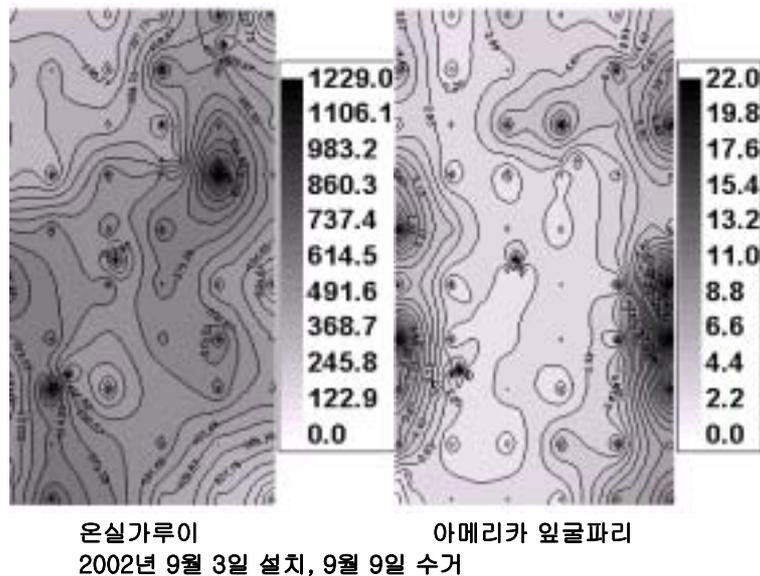


그림 3-96. 황색점착트랩에 유인된 온실가루이와 아메리카 잎굴파리의 밀도변동

먼저 온실가루이의 최고 밀도수준은 트랩 당 1200마리 정도의 수준에서 유지 되지만, 그림 3-95와는 다른 모습을 보이게 되는데, 그림 3-95의 경우, 상대적으로 높은 밀도를 보이는 hot spot 부위가 전체적으로 3군데 이상, 1200마리 이상 되는 부분도 여러 군데 있었으나, 그림 3-96에서는 포장에서 1군데만이 hot spot으로 나타나

고, 전체적으로 밀도가 줄어진 것으로 확인되었다.

아메리카 잎굴파리의 경우, 북쪽의 중간부분에서 hot spot으로 관찰되던 위치에서 밀도가 많이 줄어든 것을 확인 할 수 있었으며, 최대 밀도는 트랩당 22마리 수준으로 많은 밀도의 감소를 보이는 것으로 나타났다.

2002년의 3주간의 자료를 일괄적으로 보았을 때, 앞서 언급했던 온실가루이와 아메리카 잎굴파리의 종간 경쟁을 기준으로 보았을 경우, 만약 둘 사이의 종간 경쟁에 의해, 한 종의 밀도가 높아지면, 다른 종의 밀도가 떨어지고, 그렇지 않다면 그 반대의 현상이 나타나야 한다. 그림 3-94에서 그림 3-95로 변동하는 양상은 이러한 양상을 나타내 주고 있다. 문제는 단 두 주 만의 결과로는 현상을 파악하기 힘들다는 점이다. 또한 만약 이러한 종간 경쟁의 결과가 밀도차이로 보인다면, 그림 3-96은 이해하기 힘들 수 있다. 실제로 2002년 담양군의 시설토마토 온실에서는 9월 이후에 제배자의 온실관리가 이루어지지 않아서, 해충의 밀도가 급증했어야 했으나, 온실가루이와 잎굴파리 공히 그러한 현상을 보여주지는 않았다.

2002년의 결과에서는 실제로 두 종의 공간적인 밀도 변동 상황을 알기 힘들었다. 따라서 2003년 동일한 지역에 더 많은 수의 트랩을 설치하여, 1:1의 비교를 실험하여, 황색점착트랩에 유인된 온실가루이와 아메리카 잎굴파리의 밀도를 살펴보았다.

나) 2003년 전라남도 담양군에서 설치 수거된 황색점착트랩에 유인된 온실가루이와 아메리카 잎굴파리의 평면적 밀도변동

2002년의 경우와 동일한 포장에서, 이번에는 오랜 기간 관찰하였으며, 더 많은 수의 트랩을 설치하여, 온실가루이와 잎굴파리가 황색점착트랩에 유인된 밀도를 살펴보았다.

다음 그림 3-97은 전라남도 담양군에 위치한 시설토마토 주의 최상단 부근에 2003년 8월 13일 설치하여 일주일 후인 8월 20일 수거하여, 관찰, 기록한 결과를 평면적으로 나타낸 그림이다.

평면적으로 나타낸 그림이다.

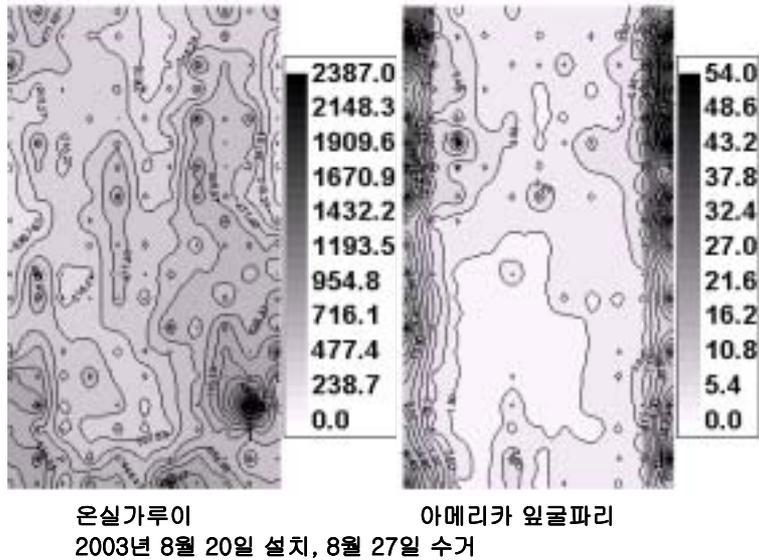


그림 3-98. 황색집착트랩에 유인된 온실가루이와 아메리카 앞굴파리의 밀도변동

온실가루이의 경우, 전 포장에서 남동쪽의 한부분에서 이상점이 발견되었으며, 그 위치에서는 트랩당 2000마리 이상의 높은 밀도를 관찰하였다. 하지만 전체적으로는 트랩당 최대 1600 마리 정도 값을 유지하고 있었으므로, 최대 밀도범위를 트랩당 약 2300마리라고 하기에는 무리가 있다. 따라서 2003년 8월 27일 수거된 황색집착트랩은 트랩당 약 1600마리의 최대 밀도를 보인다고 할 수 있다. 또한 밀도가 상대적으로 높은 hot spot 지역은 남쪽과 동쪽의 지역에 집중되어 있었으며 서쪽의 경우, 남서쪽을 중심으로 서서히 밀도가 높아지는 모습을 보이고 있었다.

아메리카 앞굴파리의 경우 최대밀도는 트랩당 약 54마리 정도이며 전체 포장을 기준으로 동쪽과 서쪽의 가장자리 지역에서 대부분의 밀도를 나타냈으며, 특히 남쪽보다는 온실가루이의 밀도가 상대적으로 낮은 북쪽지역에 상대적 고밀도부위가 많이 분포하고 있음을 알 수 있었다.

이러한 결과는 8월 20일 수거되어 관찰된 황색 점착 트랩과 비교하여, 아메리카 앞굴파리의 밀도가 계속적으로 온실의 가장자리로 밀려나는 현상을 보이고 있는 것이다.

다음 그림 3-99는 전라남도 담양군에 위치한 시설토마토 주의 최상단 부근에 2003년 8월 27일 설치하고 일주일 후인 9월 2일 수거하여, 관찰, 기록한 결과를 평면적으로 나타낸 그림이다.

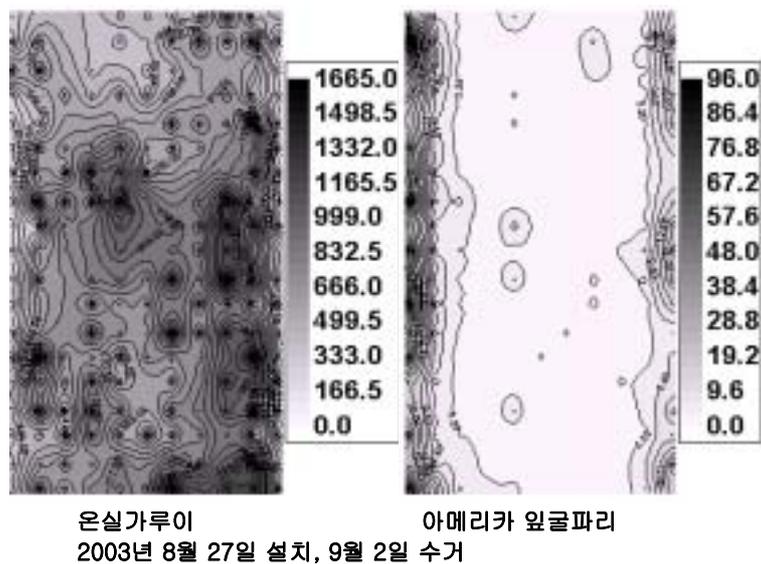


그림 3-99. 황색점착트랩에 유인된 온실가루이와 아메리카 앞굴파리의 밀도변동

온실가루이의 경우 그림 3-99에서는 최고 밀도 가 트랩당 약 1600 마리 정도로 유지되고 있는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 앞서 그림 3-98에서와는 다르게, 하나의 지역에서 높은 밀도를 유지하게 되는 것이 아니고, 전체적으로 고루 밀도가 분포하는 것을 볼 수 있다, 이와는 다르게 아메리카 앞굴파리의 밀도는 역시 동, 서 가장 자리를 중심으로 분포하고 있음을 알 수 있다.

아메리카 앞굴파리의 밀도는 최대 밀도 수준이 96마리 정도로, 그림 3-98의 2배정도의 밀도 증가가 이루어 졌음을 알 수 있다. 그림 3-99에서 특이할 만한 사실은 가장자리의 밀도 수준은 높아졌지만, 포장의 중심 지역에서 아메리카 앞굴파리의 밀도는 거의 볼 수가 없다는 점이다. 육안조사에서의 갱도수 역시 이러한 패턴을 보임을 감안한다면, 앞굴파리가 미세 환경의 영향을 받던지, 혹은 중간경쟁에서 패배해서, 전체 포장에서 일부의 지역에서만 살고 있는 것으로 생각 가능하다.

다음 그림 3-100은 전라남도 담양군에 위치한 시설토마토 주의 최상단 부근에 2003년 9월 2일 설치하고 일주일 후인 9월 9일 수거하여, 관찰, 기록한 결과를 평면적으로 나타낸 그림이다.

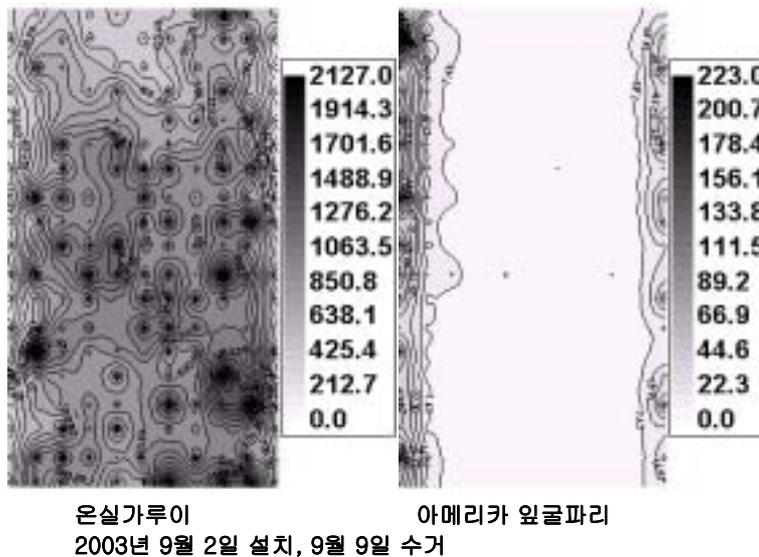


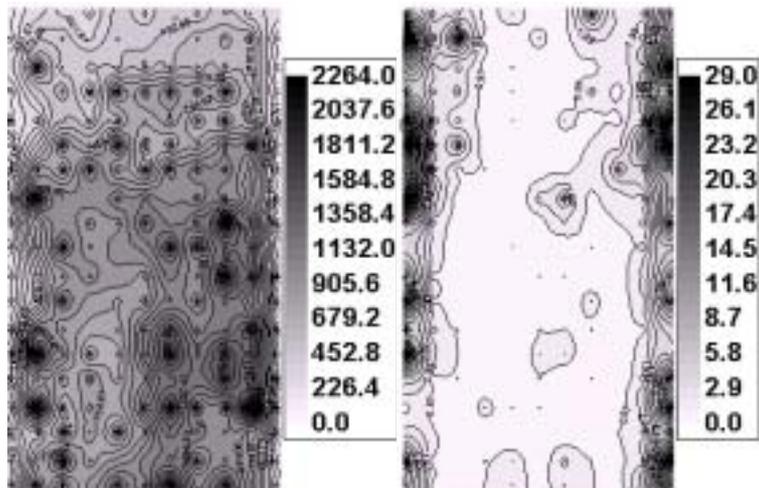
그림 3-100. 황색점착트랩에 유인된 온실가루이와 아메리카 앞굴파리의 밀도변동

그림 3-100은 그림 3-99보다 더욱 밀도의 양분화 현상을 보여 주고 있는데, 온실가루이의 경우, 밀도가 이제는 트랩당 200마리의 수준까지 증가하였으며, 그 분포가 시설토마토 온실의 전체에 걸쳐서 고르지만, 아메리카 앞굴파리의 경우, 최대 밀

보이는 것을 알 수 있다. 전체적인 밀도를 나타내는 음영이 매우 짙게 나타나기 때문이며, 이와는 정 반대로, 아메리카 잎굴파리의 밀도는 최대 밀도 수준이 트랩당 80마리 수준으로 떨어졌다, 다만, 상기할만한 사실은, 그림 3-100에서는 서쪽가장자리지역이 상대적으로 높은 밀도를 보였지만, 그림 3-101은 비슷한 밀도 수준을 보인다는 것이다.

그림 3-100과 그림 3-101을 비교하여 보면, 온실가루이의 트랩당 1주일에 유인되는 최대밀도는 약 2000마리 내외인 것으로 나와 있다. 다만 문제가 되는 부분은 기간인데, 일 주일단위로 포장을 조사하는 경우, 7일간 균일하게 온실가루이나, 잎굴파리의 밀도가 유인된다면, 각 날짜별, 온실가루이는 최대 300마리 정도, 잎굴파리는 약 30마리 정도 유인되는 것으로 사료된다. 이 경우, 제배자가 300마리의 온실가루이를 세는 것은 매우 시간과 노력을 요하게 되므로, 우리는 이 경우와는 다른 방식의 접근, 즉 표본 추출법을 개발하면서, 점착트랩의 전부가 아닌 전체를 24개로 나누어 각각의 cell에 유인되었는지, 혹은 그렇지 않은지로 비교하는 방식을 택하게 되었다. 이 부분에 관한 내용은 이후 표본 추출법 개발 과정에서 자세히 설명하기로 한다.

다음 그림 3-102는 전라남도 담양군에 위치한 시설토마토 주의 최상단 부근에 2003년 9월 16일 설치하고 일주일 후인 9월 23일 수거하여, 관찰, 기록한 결과를 평면적으로 나타낸 그림이다.



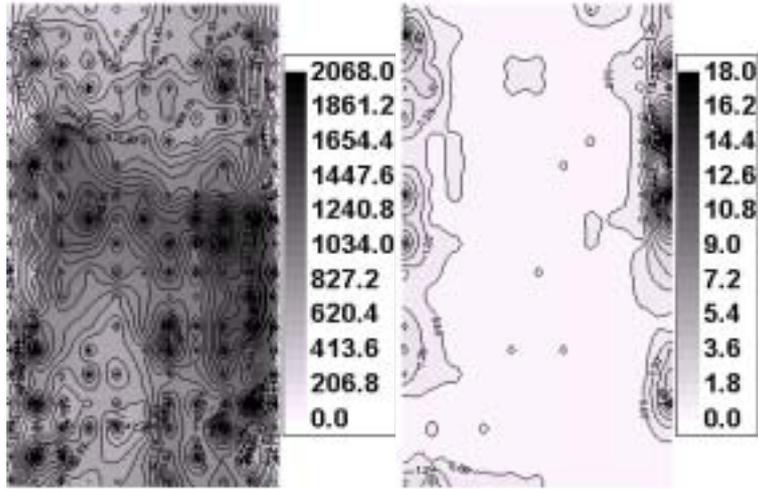
온실가루이 아메리카 앞굴파리
 2003년 9월 16일 설치, 9월 23일 수거

그림 3-102. 황색점착트랩에 유인된 온실가루이와 아메리카 앞굴파리의 밀도변동

그림 3-102의 경우에는 아메리카 앞굴파리와 온실가루이 간의 경쟁에서 아메리카 앞굴파리가 공간적으로 배제되는 상황을 여실히 보여준다. 앞서 보였던 그래프의 경우, 온실가루이와 앞굴파리의 밀도는 혼재되는 양상을 보이는 경우가 있었으나, 그림 3-102의 경우에는 온실가루이가 상대적으로 많은 밀도를 보이는 hot spot 부분에서 아메리카 앞굴파리의 밀도는 제대로 나타나지 않았다.

온실가루이의 밀도는 최대 트랩당 2000마리 내외로 나타났으며, 아메리카 앞굴파리의 밀도는 최대 트랩당 29마리로 매우 낮은 값으로 나타났으며, 다만, 온실가루이의 hot spot이 포장의 남쪽지역에 집중되어있는 관계로, 그림 35와는 달리, 중앙지역에 아메리카 앞굴파리의 밀도가 조금씩 관찰 되고 있었다.

다음 그림 3-103은 전라남도 담양군에 위치한 시설토마토 주의 최상단 부근에 2003년 9월 23일 설치하고 일주일 후인 9월 30일 수거하여, 관찰, 기록한 결과를 평면적으로 나타낸 그림이다.



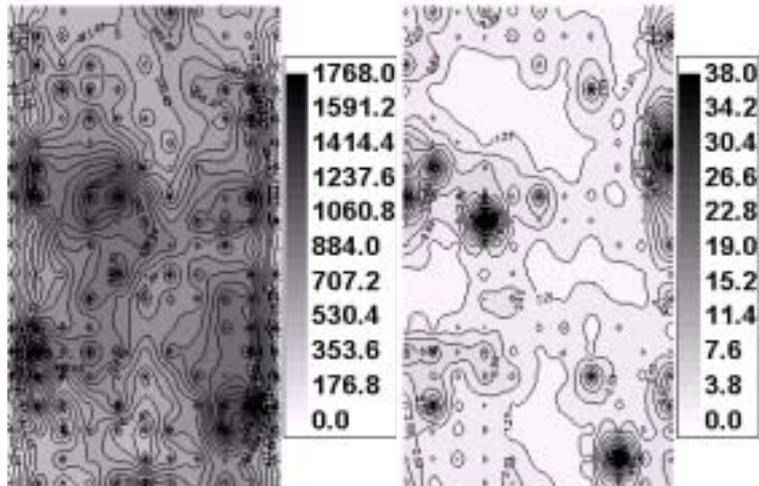
온실가루이 **아메리카 앞굴파리**
 2003년 9월 23일 설치, 9월 30일 수거

그림 3-103. 황색점착트랩에 유인된 온실가루이와 아메리카 앞굴파리의 밀도변동

온실가루이의 밀도수준은 앞서의 그림 3-101, 3-102와 크게 다르지 않았으며, 아메리카 앞굴파리의 밀도는 더욱 떨어져서 최대밀도가 트랩당 18마리 정도 밖에 관찰되지 않았다. 상대적으로 굉장히 낮은 밀도를 보이는 아메리카 앞굴파리의 포장에서 공간적으로 차지하는 비율도, 크게 떨어지고 있음을 바로 알 수 있다.

특이할 만한 사실은 그림 3-101이후부터(2003년 9월 16일 수거분 이후) 포장의 중앙부위에 계속적으로 밀도를 보여주고 있다는 점이다. 이러한 값이 다음의 그림 3-104에서 보이는 중앙에서 나타나는 아메리카 앞굴파리의 공간분포의 확장과 연결되는가에 대한 의문은 여전히 남아있으나, 트랩을 이용하여 밀도를 분석하고, 공간적인, 평면적인 분포를 살핀다면, 운동성이 좋은 해충의 분산하는 정도를 바로 알기는 상당히 어려운 일로 사료된다.

다음 그림 3-104는 전라남도 담양군에 위치한 시설토마토 주의 최상단 부근에 2003년 9월 30일 설치하고 일주일 후인 10월 7일 수거하여, 관찰, 기록한 결과를 평면적으로 나타낸 그림이다.



온실가루이 아메리카 잎굴파리
2003년 9월 30일 설치, 10월 7일 수거

그림 3-104. 황색점착트랩에 유인된 온실가루이와 아메리카 잎굴파리의 밀도변동

그림 3-104는 상당히 특이한 상황을 보여주고 있다. 온실가루이의 밀도는 최대 수준이 트랩당 1700마리 정도로 감소하였지만, 아메리카 잎굴파리는 트랩당 38마리로 늘어가고 있는 상황을 보여준다. 작기의 후반에 와서 이렇게 밀도가 변동하는 것은 재배자의 활동과도 관련이 있을 것이다, 하지만, 평면적인 분포는 지금까지의 온실가루이-아메리카 잎굴파리의 혼재시에 보이는 공간적인 분포와는 다르게 나타나는데, 아메리카 잎굴파리가 보이는 시설토마토 포장의 중앙부위에서 나타나는 상대적으로 높은 밀도로 나타나는 지역인 hot spot의 출현이다.

특히, 포장의 중앙에서 북서쪽 부분의 밀도는 온실가루이의 hot spot 부분과 일치하는 것을 나타내며, 이러한 상황은 재배자가 작기 후반에 보이는 비활동적인 해충의 방제, 혹은 우리가 알지 못하는 실제 포장에서의 미세 환경에 의한 영향에 의해, 온실가루이와 아메리카 잎굴파리 두 종간의 어떠한 밀도적인 변화가 나타났음을 반증하는 자료로 볼 수 있다.

지금까지 육안 조사와 트랩에 유인된 밀도의 조사를 각 날짜별, 포장별 평균값으로 나타내었으며, 또한 각 표본추출일별, 평면적인 밀도를 등고선 그림으로 자세하게 나타내었다. 가장 문제가 되었던 점은 온실가루이의 밀도가 상대적으로 아메리카 앞굴파리의 밀도보다 높다는 점일 것이며, 이러한 결과를 여러 가지 요인에 의해 설명하고자 하였다.

이 이후에는 시설 토마토 해충이 서식하는 지역의 대표적인 자연환경조건인 온도의 변화를 실제로 대기온도가 아닌 토마토 엽위와, 엽뒷면의 온도로 나타내어, 그 변화를 비교하여, 미세 환경의 차이와 밀도의 차이에 대한 고찰을 하고자 한다.

5) 시설토마토 포장내의 미세 기온의 변화

세부 미세 환경과의 차이를 알 수가 없다. 따라서 본 실험에서는 포장 대기 중의 온도의 변화를 가장 덥지만, 토마토를 가장 많이 키우는 시기에 24시간 단위로 측정하여 비교하는 과정을 거치고자 한다.

다음의 그림은 2002년 8월 25일 전라남도 담양군의 시설토마토 온실 내에 설치한 HOBO data logger의 온도 기록을 정리한 그림이다.

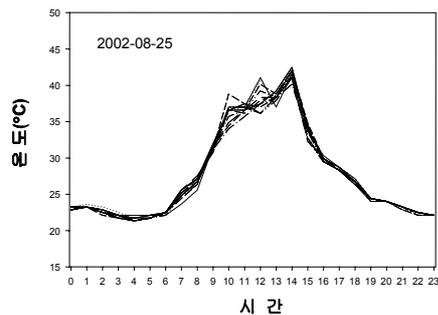
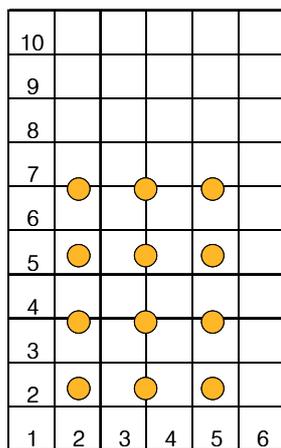


그림 3-105. 2002년 8월 25일에 기록된 시간별 logger의 온도 변화 곡선(우측그림). 좌

측 그림은 담양온실의 평면도와 HOBO logger의 위치를 나타낸 그림

앞서서 낸 포장에서 온실가루이와 아메리카 잎굴파리의 밀도변동의 곡선 및 각 날짜별 등고선 그림들의 결과 살필 수 있었던 것은 해충의 개체군이 시설 온실의 환경에 어떤 식으로 든 영향을 받는 것이었다. 그림 3-67에서 확인 할 수 있듯이, 연중 가장 더운 날 중에 하나인 2002년 8월 25일의 경우 한 낮 최고 기온이 각 위치별로 최고 43℃ 까지 올라가는 현상을 확인 할 수 있다.

하지만, 온실가루이의 활동 가능한 최고의 온도는 40℃를 넘어가지 않으며, 이를 기준으로 보았을 때, 한 낮에 온실가루이는 움직이지 않거나, 치사율이 올라가야만 정상이다. 하지만 한낮이라도 온실가루이는 시설 토마토 주에서 활발하게 움직이는 현상을 보이게 된다. 이러한 결과는 우리가 일반적으로 온실대기의 온도에 따라 해충 개체군의 밀도의 증감과 개체군의 발전을 예측하는 모형을 선택하였을 경우에는 때에 따라 상당한 문제가 된다는 반증이다. 또한 온실의 위치별 대기의 온도 역시 해충의 밀도를 파악함에 있어 매우 중요한 기준이 된다고 볼 수 있다. 따라서 본 실험에서는 각 포장별로 설치한 logger를 담양 2포장에 모두 설치하여, 담양 2포장에서 표본 추출하는 날짜의 온도를 1시간 단위로 3차원 그래프인 contour map으로 나타내어 보았다.

다음에서 보이는 일련의 그림은 2002년 8월 25일 담양 2포장에서 자정부터 24시간동안 각 위치별로 자동 온도 측정계를 설치하여 얻어낸 포장의 온도 분포 자료이다.

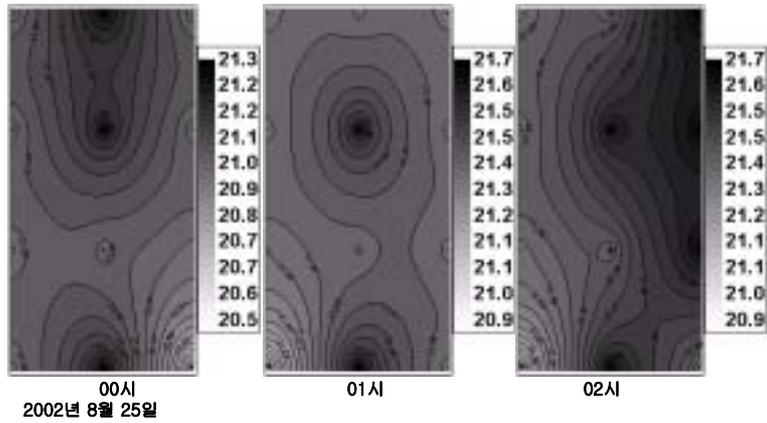


그림 3-106. 2002년 8월 25일 전남 담양 2포장에서 보이는 대기온도의 시간당 변화

그림 3-106은 2002년 8월 25일 전남 담양 2포장에서 보이는 대기온도의 변화를 나타낸 그림이다. 자정부터, 02시 까지 3시간 동안 최대 온도와 최소 온도의 차이는 거의 없음을 알 수 있다.

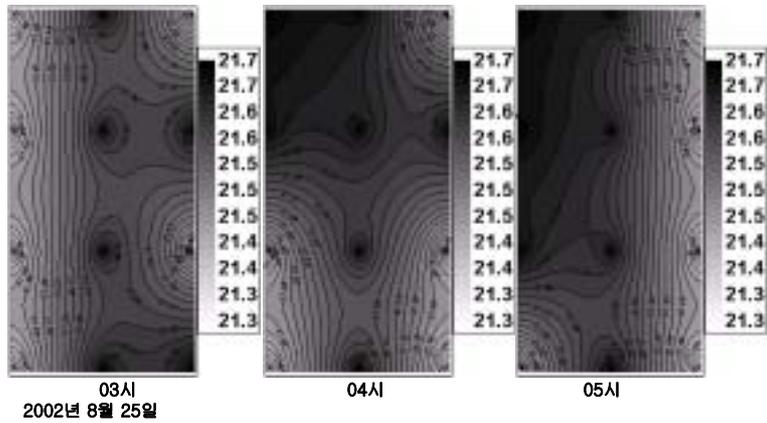


그림 3-107. 2002년 8월 25일 전남 담양 2포장에서 보이는 대기온도의 시간당 변화

그림 3-107에서도 전체적인 포장의 대기온도의 변화는 관찰되지 않는다.

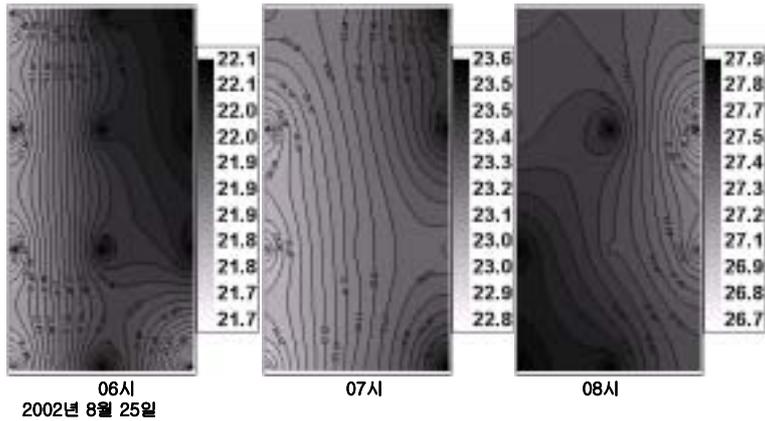


그림 3-108. 2002년 8월 25일 전남 담양 2포장에서 보이는 대기온도의 시간당 변화

일출이 6시 30분 내외이므로 일출 직전까지의 온도의 변화는 그림 3-108에서 보이지 않고 있으나, 일출 후 07시는 22.8 - 23.6℃로 평균적으로 약 2℃ 온도가 올라갔으며, 08시의 경우에는 전체적으로 약 6℃ 이상 상승하고 있었다.

또한 지금까지 나타낸 그림에서 포장내 온도를 비교하여보면, 전체적으로 포장내의 대기 온도의 변화가 거의 없음을 알 수 있으며, 대기 온도의 차이는 08시 이전에는 1℃ 미만, 08시를 기준으로 위치별로 1℃이상의 차이를 보이고 있었다(그림 3-106, 3-107, 3-108).

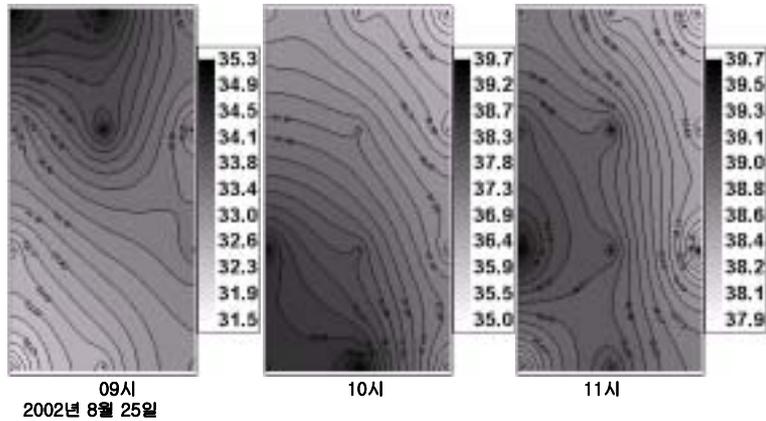


그림 3-109. 2002년 8월 25일 전남 담양 2포장에서 보이는 대기온도의 시간당 변화

앞서 그림 3-106, 3-107, 3-108에서 보였던, 일출 이전의 밤, 새벽시간과, 일출 직후의 시간에서 포장내의 대기 온도는 전체적으로 그 차이가 약 1°C 내외였지만, 09시의 경우, 즉 태양이 어느 정도 뜬 이후에는 포장의 위치별 온도 변화가 4°C 정도의 차이를 보이고 있다. 또한 태양이 가장 높이 뜬 경우에는 포장의 위치별 대기 온도 변화가 다시 2°C 미만으로 나오고 있음을 알 수 있다. 또한 대기의 온도는 09시 일부에서 이미 35.3°C를 넘어가고 있으며, 10시에는 포장에서 가장 낮은 대기온도가 35°C 내외로 매우 높은 온도를 보이고 있음을 알 수 있다. 특히 문헌상 온실가루이의 발육과 관련하여 최대 온도가 35°C 내외로 보고되고 있으므로, 이미, 오전 10시 이후 11시까지에는 온실가루이의 활동이 없어야만 정상이라고 할 수 있다. 또한 11시의 온도를 살펴보면 최고 39.7°C 최저 37.9°C로 대기의 온도가 그 위치별로 매우 가파른 상승을 했음을 보여준다. 또한 이러한 결과에서 태양이 뜨고 짐에 따라 대기의 온도가 불안정하게 되는 시간이 일출 후 1시간-3시간 사이로 나타나고 있음을 알 수 있다.

하지만 우리가 가지는 일반적인 생각으로는 대기의 온도를 기준으로 모든 발육 모형을 실험실에서 하게 된다는 점이다. 잘 짜여진 시스템 안에서는 온실가루이가 실제로 존재하는 부분의 온도와 대기의 온도가 크게 다르지 않게 되지만, 실제 시설 토마토 온실에서의 대기의 온도는 그림 3-109처럼 가파른 상승과 위치별 차이를 보이고

있다.

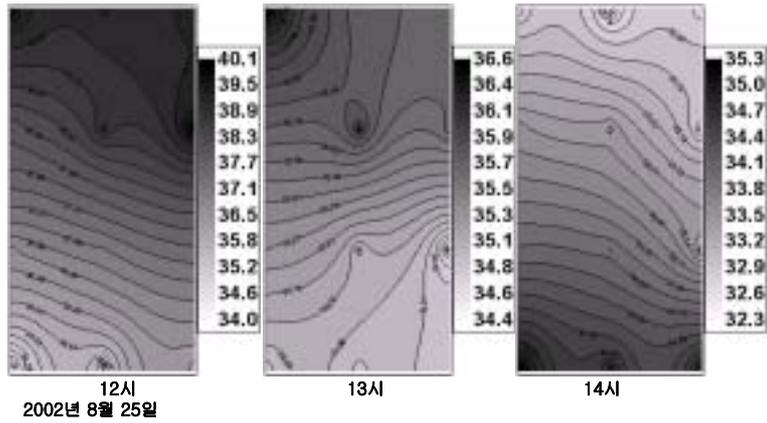


그림 3-110. 2002년 8월 25일 전남 담양 2포장에서 보이는 대기온도의 시간당 변화

그림 3-110을 살펴보면, 태양이 가장 높이 떠서 대기의 온도가 가장 높을 것으로 기대되는 정오는 위치별 최대 40.1°C, 최소 34°C인 것으로 나타났다. 이 경우 최대온도와 최저 온도의 차이가 지금까지 중에 가장 많이 나는 약 6°C 정도였다. 또한 태양이 서서히 그 각도를 잃어가는 13시와 14시에는 대기의 온도가 점점 낮아져 가고, 위치별 차이 역시 줄어드는 현상을 보이고 있었다.

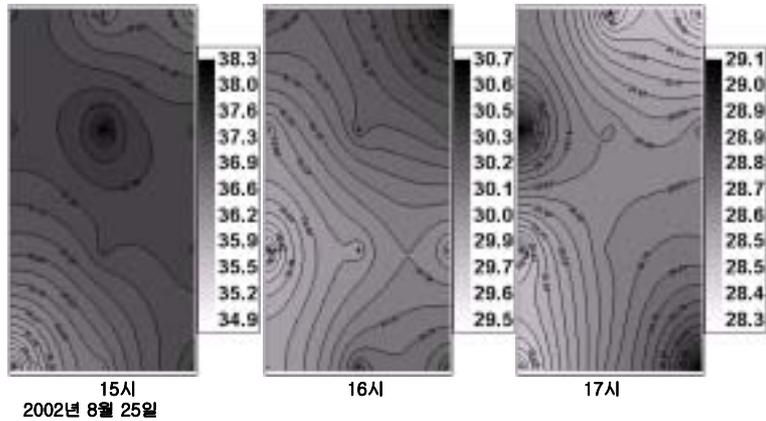


그림 3-111. 2002년 8월 25일 전남 담양 2포장에서 보이는 대기온도의 시간당 변화

그림 3-111에서는 대기의 온도가 역전되는 현상 즉 이론적으로는 태양이 정오를 기점으로 해서 각도가 기울어짐으로써 시간이 지날수록 대기 온도가 떨어져야만 하는데, 그렇지 못한 점이 관찰되었다. 15시에 보이는 온도는 최대 온도가 38°C로 14시의 최대 온도인 35.3°C 보다 약 2.7°C 높았다. 하지만 평면적인 분포를 보면 그 차이를 알 수 있게 되는데, 14시의 경우, 태양이 비추는 쪽의 온도가 가장 높고, 그 곳을 기점으로 하여 서서히 온도가 내려가는 경향을 보이지만, 15시의 경우, 가운데의 특정 부분의 온도가 아주 높게 관찰 되었으므로, 그 시간에 가운데의 고온 부근에서 재배자의 활동 혹은 다른 이유가 있었을 것으로 생각된다. 대기의 온도의 변화가 12시를 기점으로 하여 계속적으로 떨어지는 현상은 아주 일반적인 현상이며, 16시의 경우 대기온도의 위치에 따른 최댓값이 30.7°C, 17시의 경우는 29°C 정도로 감소하고 있음을 알 수 있다.

그림 3-112의 오후 6시 이후부터는 포장내에서 대기온도가 위치별로 많은 변이를 나타내지 않고 있음을 알 수 있다. 18시의 경우 최대 온도(25.6°C)와 최소 온도(25.2°C) 차이가 0.4°C 뿐이고, 19시, 20시 역시 최대와 최소 대기 온도의 차이는 동일한 수준을 보였다. 다만, 18시를 기준으로 일몰이 이루어짐으로 인해, 18시에서 19시 사이에 온도가 평균적으로 약 3°C 하강하고 있음을 알 수 있으며, 20시의 경우에는 앞서 보였던 일출 이전의 대기온도수준으로 떨어졌음을 알 수 있다.

이러한 사실은 실제 포장에서 온도 조절을 실시하지 않았을 때는 태양이 뜨고 지는 현상에 따라 포장내의 대기온도가 많은 영향을 받는다는 점이다.

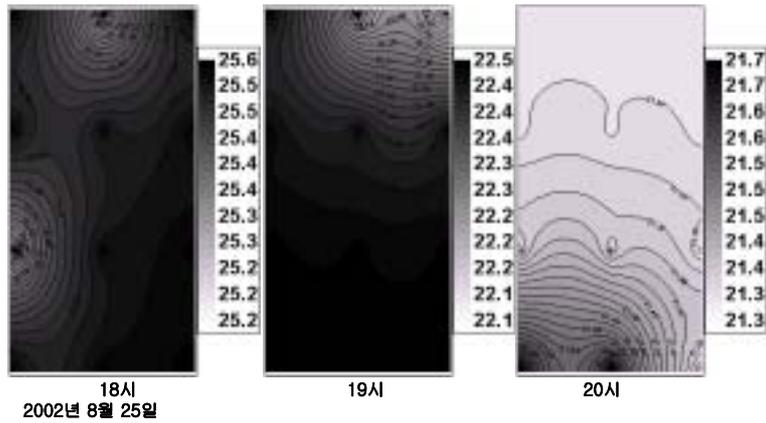


그림 3-112. 2002년 8월 25일 전남 담양 2포장에서 보이는 대기온도의 시간당 변화

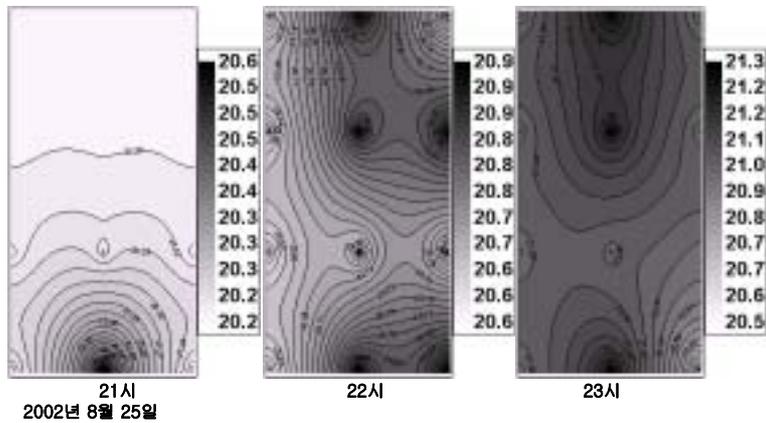


그림 3-113. 2002년 8월 25일 전남 담양 2포장에서 보이는 대기온도의 시간당 변화

그림 3-113역시 포장내의 온도의 변화가 일몰 후에 그렇게 크지 않음을

보여주고 있다. 즉 포장내의 대기 온도는 태양의 출몰에 많은 영향을 받으며, 가장 높은 온도를 보일 때는 이론적으로 해충 개체군의 발육이 이루어지지 않는 온도의 영역까지 올라가게 된다. 하지만, 실제 포장에서 정오시간 정도에 육안조사를 해보면, 온실가루이 성충이 활발한 활동을 하는 모습을 볼 수 있다. 이것은 시설 토마토 포장내의 밀도 변동이 단순히 대기 온도에 따른 밀도의 조절로는 설명이 되지 않으며, 실제로 포장에서 해충의 밀도 혹은 분산 등에 영향을 주는 것은 해충 개체군이 서식하는 토마토 잎의 온도와 관계가 많을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 시설토마토 온실에서 보이는 평균적인 밀도를 살펴보는 것도 중요하지만, 평면적인 밀도의 변화와 더불어 각 실험시기 마다, 온실가루이를 포함한 시설토마토 해충이 존재하는 토마토 엽위와 아래쪽의 온도를 나타내어야 할 필요성을 절감하며, 2002년도의 실험에는 각 육안 조사를 실시하는 위치에서 중단의 토마토 엽위와 아래의 온도의 변화를 시간에 따라 살펴서 비교하였다.

다음의 그림들은 대기온도를 각 시간별로 나타낸 날짜와 동일한 날인 2002년 8월 25일 각 시간별로 시설토마토 주의 중단부위의 엽위와 아래의 온도를 등고선 그래프로 나타낸 것이다. 토마토주의 중단 엽의 윗면과 아랫면의 온도는 sampling unit의 온도의 평균값을 구하였으며, 레이저를 이용하여 표면의 온도를 재는 광학 온도계를 이용하였다.

또한 대기의 온도가 매우 높은 값을 보이고, 실제로 해충이 그 기간에 활발한 활동을 보이지만, 대기 온도가 40℃ 내외로 나타나는 정오를 기준으로 자세한 자료의 수집을 위해 3회에 걸쳐서(오전 11시 - 오후 12시 30분 까지) 시설 토마토 중단의 엽 윗면과 뒷면의 온도를 상세히 알아보았다.

다음의 그림 3-114는 일출 후에 포장의 온도가 갑자기 증가하는 시간이 오전 8시-9시 사이의 30분간(08:15 - 08:45)에 측정된 시설 토마토 중단의 엽 윗면과 뒷면의 온도 평균값을 등고선으로 나타낸 그림이다.

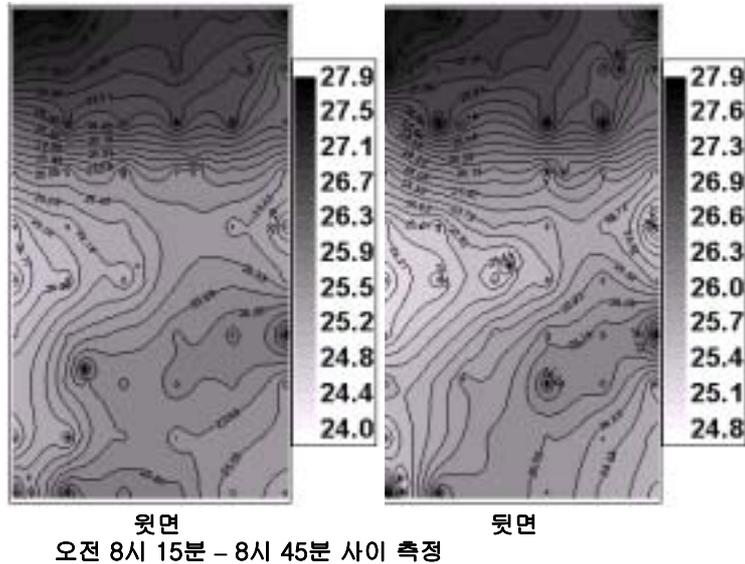


그림 3-114. 2002년 8월 25일 전남 담양 2포장에서 중단의 토마토 식물체 엽 앞면과 뒷면의 평균 온도 변화

그림 3-114는 2002년 8월 25일 전남 담양2포장에서 중단의 토마토 식물체 엽 앞면과 뒷면의 평균 온도 변화를 오전 8시 15분 - 8시 45분 사이에 측정한 그래프이다. 이 시간을 택했던 이유는 그림 3-109와 3-110에서 알 수 있듯이, 8시의 대기의 온도가 20도 후반이다가 9시에 급격히 대기 온도가 최고 35℃까지 올라가기 때문이다. 온실가루이와 아메리카 잎굴파리를 비롯한 시설토마토 해충은 약 35정도를 기준으로 개체의 성장을 멈추거나, 피해를 받게 된다. 하지만 앞서 언급했듯이 오전 8시 - 9시 사이에 실제 시설 토마토 온실에서 보이는 해충의 활동성은 - 대기온도를 기준으로 - 일반적인 문헌상의 사실과는 다르게 활발한 활동성을 보인다. 따라서 오전 8시와 9시 사이의 시간인 8시 15분에 식물체 중단의 엽위와 뒷면의 온도를 측정하여 비교하고자 하였다.

그림 3-114를 보면, 엽의 앞면과 뒷면의 온도의 차이는 거의 없음을 볼 수 있었다. 또한 측정된 온도의 최고치는 28℃ 미만으로 나왔으며(27.9℃) 최소값은 2

4℃ 정도로 나왔다. 온실가루이의 경우 24-28℃에서 활발한 성장을 하는 것으로 알려져 있으며, 따라서 9시에 대기 중의 온도가 8시의 약 20도 후반에 비해 35도 이상으로 올라간다고 하더라도(그림 3-109, 3-110 참고) 실제로 식물체 잎의 위와 뒷면의 온도는 온실가루이가 활동하고 성장하기에 더없이 좋은 환경이 된다.

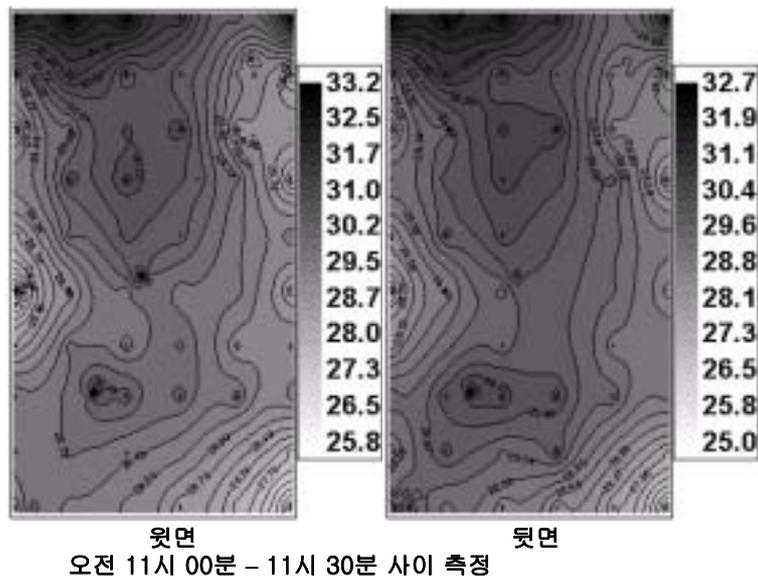


그림 3-115. 2002년 8월 25일 전남 담양 2포장에서 중단의 토마토 식물체 잎 윗면과 뒷면의 평균 온도 변화

그림 3-115의 경우 오전 11시 00분에서 11시 30분까지 토마토 식물체 잎 윗면과 뒷면의 온도를 나타낸 평균값이다. 그림 3-109의 11시의 대기 온도와 그림 3-110의 12시의 대기 온도와 비교해보면, 상대적으로 시설 토마토 해충이 성장하기에 적절한 온도 범위가 되는 것을 확인 할 수 있다.

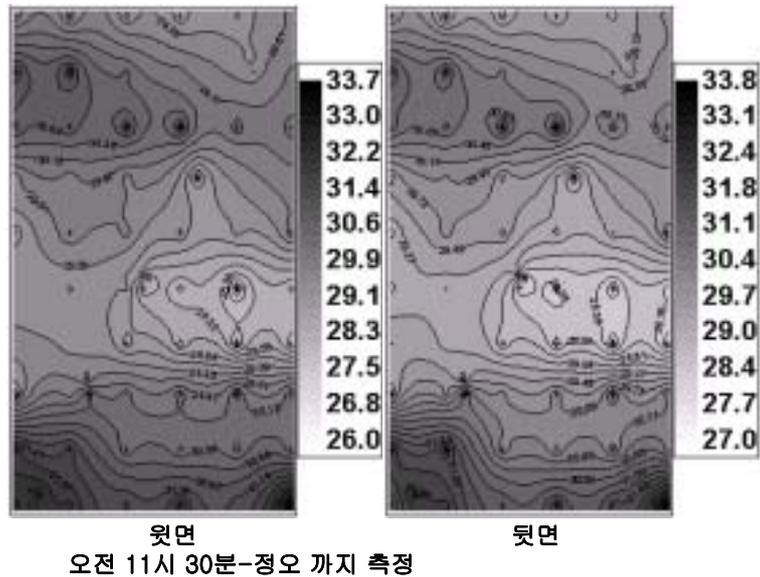


그림 3-116. 2002년 8월 25일 전남 담양 2포장에서 중단의 토마토 식물체 엽 앞면과 뒷면의 평균 온도 변화

그림 3-116은 그림 3-115의 자료를 얻자마자 바로 포장에서 토마토 식물체 엽 앞면과 뒷면의 평균 온도를 측정된 값이며, 역시 그림 3-115와 비슷한 온도변화를 전 포장에서 보이고 있음을 알 수 있다. 조금 특별한 점은 포장 그림의 위쪽과 아래쪽의 고온부분이 각각 그림 3-115와 3-116에서 보이고 있는 점인데, 실제로 식물체의 엽 앞면과 뒷면의 온도를 재는 경우, 구름이 지나가던가, 혹은 근처의 습도 변화 등에 의해 아주 미세한 온도의 변화가 있게 된다. 하지만 그림 3-115와 그림 3-116은 전체적으로 비슷한 온도범위에서 시설 토마토 식물체의 엽 온도가 나타나는 현상을 관찰 가능했다.

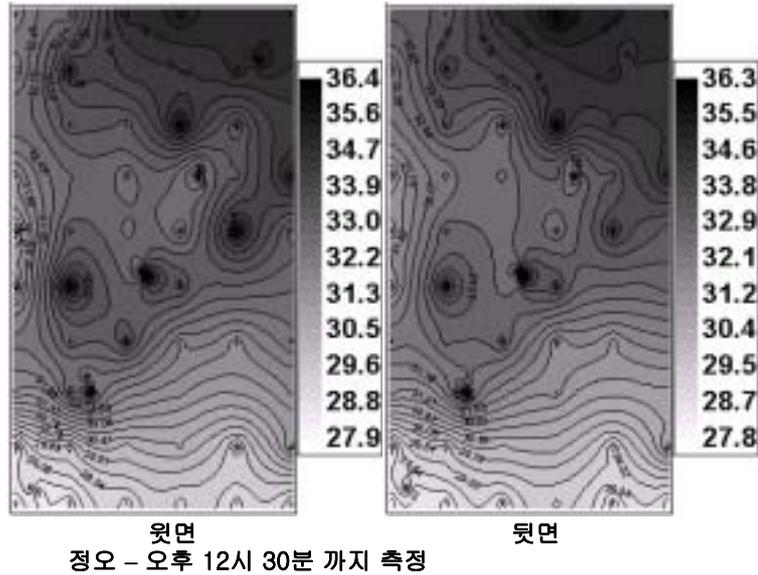


그림 3-117. 2002년 8월 25일 전남 담양 2포장에서 중단의 토마토 식물체 엽 앞면과 뒷면의 평균 온도 변화

그림 3-117은 그림 3-116의 자료를 일자마자 바로 포장에서 토마토 식물체 엽 앞면과 뒷면의 평균 온도를 측정한 값이며, 그림 3-115, 3-116과 비교해서 약 3°C 정도의 온도가 올라감을 확인했다. 하지만, 최고온도가 보이는 부분은 전체 포장에서 일부분만이고 다른 부분은 시설 토마토 해충의 생장에 매우 적합한 온도 범위를 보이고 있음을 알 수 있다.

그림 3-115 에서 3-117 까지의 일련의 식물체 엽 위의 온도와 그림 3-109, 3-110의 대기온도를 비교해보면, 11시-1시까지의 대기의 온도는 최고 40°C를 넘어가는 이론적으로 생각할 수 있는 해충의 활동성이 없어야만 정상인 온도의 범위이지만, 실제로 해충이 존재하고, 영양분을 섭취하는 부분인 식물체 엽 앞면과 뒷면의 온도는 시설 토마토 해충의 발육과 생장에 최적인 온도범위를 가지게 됨을 확인 할 수 있었다. 특히 그림 3-109, 3-110에서처럼 한 낮의 온도가 매우 높은 경우, 실제 제배자들은 시설내의 해충의 이동, 혹은 분산이 없을 것으로 예상하기 쉽지만, 미세환경하에

서는 오히려 해층의 발육과 이도에 가장 최적인 온도를 유지하고 있음이 관찰되었다.

다음의 그림 3-118은 한 낮의 최고 온도에서 어느 정도 온도가 낮아지는 부분의 식물체 엽 윗면과 뒷면의 온도를 측정 한 결과이다.

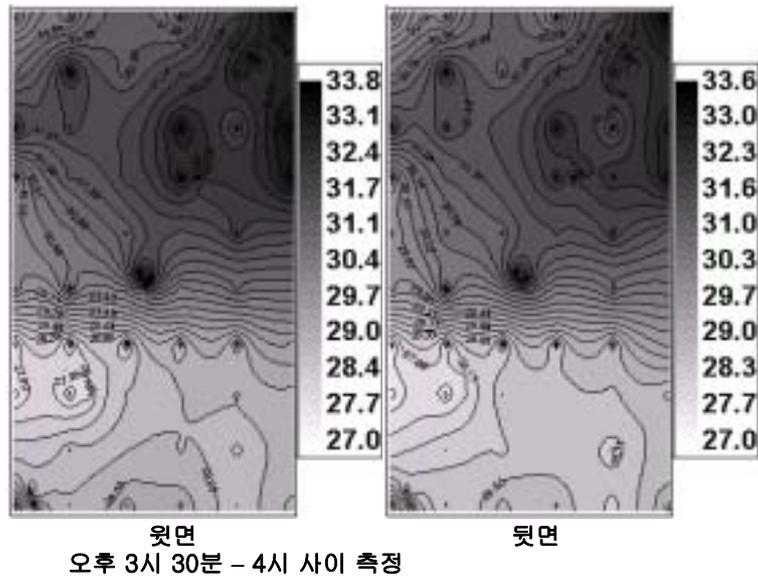


그림 3-118. 2002년 8월 25일 전남 담양 2포장에서 중단의 토마토 식물체 엽 윗면과 뒷면의 평균 온도 변화

그림 3-118의 오후 3시 30분-4시 사이의 측정은 그림 3-111의 15시와 16시의 사이의 대기온도와의 비교가 필요하게 되는데, 오후 3시-4시사이의 대기온도는 최고 38℃ 내외에서 최저 29℃ 내외를 보이는 값이다. 하지만, 그림 3-118의 경우, 즉 식물체의 엽면의 윗면과 뒷면의 경우, 최고온도는 약 34℃ 미만이고 최저 온도는 약 27℃ 내외를 보이고 있다

이러한 결과는 그림 3-115에서 3-117까지의 한낮의 일련의 온도범위와 비교하여 그리 큰 차이를 보이지 않고 있음을 알 수 있다. 즉, 한낮이 지나서, 대기의 온

도가 급격하게 떨어지더라도, 시설 토마토 식물체 엽면의 온도는 대기온도처럼 급격한 하락은 보이지 않는다는 것이다.

다음의 그림은 그림 3-118의 상황에서 한 시간 후인 오후 4시 30분 - 5시 사이에 시설토마토 중단의 식물체 엽 윗면과 뒷면의 평균 온도 변화를 나타낸 그래프이다. 이 시간대의 대기온도는 최고 약 30℃ 내외, 최저 약 28℃ 내외를 보이는, 대기온도 조건으로만 생각한다면, 해층의 활동이 매우 활발한 시기로 보인다(그림 3-111 참조).

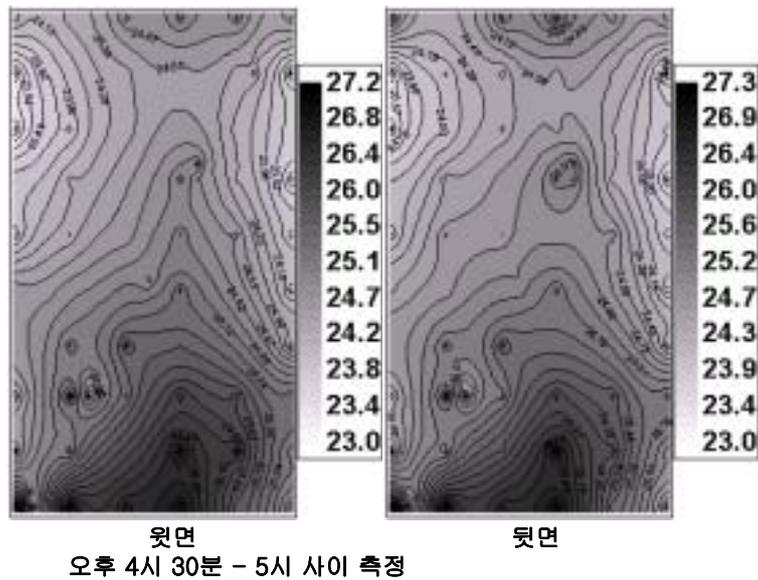


그림 3-119. 2002년 8월 25일 전남 담양 2포장에서 중단의 토마토 식물체 엽 윗면과 뒷면의 평균 온도 변화

하지만 실제 식물체 위의 평균 온도는 최고 27.3℃, 최저 23.0℃를 보이게 되었으며, 이 그림 3-119와 앞서 보였던 그림들을 기초로 하여 다음과 같은 결론을 낼 수 있게 된다.

제배자 혹은 해충의 발생을 연구하거나, 해충의 방제를 목적으로 표본추출법을 확립하기 위해서는 혹은 해충의 발육 모형 등을 작성하는 경우, 온실내부에서 매우 높은 온도를 보이더라도, 실제로 해충이 존재하는 식물체의 엽윗면의 온도는 해충 개체군의 서식과 발육에 매우 좋은 온도범위를 보이게 되며, 이러한 온도의 미세 변화는 해충의 분포에 영향을 직, 간접적으로 준다. 따라서 해충 방제 혹은 연구를 목적으로 하는 경우에는 식물체 위의 온도를 기준으로 하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

3-5. 표본추출방법의 모형 설정

가. 표본추출방법의 분류와 각 모형

표본추출방법은 크게 2가지로 구분하여 모형을 정하였다. 먼저 일반적인 밀도를 기준으로 한 enumerative sampling과 밀도를 특정한 기준으로 존재, 혹은 비존재의 두 가지로 나누어 보는 binomial sampling 의 두 가지이다. 또한 본 연구과제에서는 육안조사시 구할 수 있는 enumerative sampling plan 과 binomial sampling plan, 또한 황색 점착 트랩을 이용하여 구할 수 있는 enumerative sampling plan 과 binomial sampling plan을 각각 구하여 보았다. 이후에 자세한 모형을 이용하여 설명하겠지만, enumerative 모형의 경우, 육안조사와 황색 점착 트랩을 이용한 밀도조사의 결과에 동일한 모형을 사용하였으며, binomial sampling의 경우, 육안 조사와 황색 점착 트랩을 이용하는 경우가 전혀 다른 기준의 모형을 이용하였다. 이러한 이유로는 황색점착트랩의 경우 실험방법에 명시되어있듯이, 트랩을 4X6개의 4cm² 크기의 정사각형 cell들로 나누었으며, 각 cell에 대상 충이 잡혔는지 그렇지 않은지를 비교하는 것이 매우 빠른 효과를 나타내기 때문이다.

나. sampling 모형을 위한 공간분포 분석 - Taylor's power law

해충 개체들의 서식처에서의 공간분포는 해충개체군 상태의 중요한 구조적 성분이며 해충 개체군과 환경과의 상호작용의 결과이다. 따라서 해충의 공간분포에 대한 연구는 해충이 환경 내에서 어떻게 기능하는가를 이해하는데 큰 도움이 된다. 더욱이 개체군의 공간분포는 표본추출의 정밀성 및 분석을 위한 자료 변환에 영향을 줄 뿐만 아니라 개체군 크기의 측정에 사용 될 수도 있고 그 자체로 개체군 상태의 묘사에도 쓰일 수 있다. 또한 해충 개체들의 공간분포 유형을 관찰함으로써 그들의 생물적 특성과 개체군 밀도변화 이면에 숨겨져 있는 원인들을 통찰할 수도 있다. 따라서 특정 해충에 대한 효과적인 표본추출 및 실험계획의 수립을 위해서는 이들 개체군의 공간분포에 대한 연구가 선행되어야 한다.

해충방제를 목적으로 이용되는 해충의 집중도 구명 방법 중 가장 널리 쓰이는 것이 회귀법을 이용한 방법으로 Taylor's power law(TPL)이다. 이 방법은 평

균과 분산을 이용하는 분포성향지수처럼 평균과 분산으로 계산하지만, 분포성향지수가 가지는 단점인 집중도 지수가 밀도에 종속되어 있다는 문제점이 해결된 방법으로 지수추정법이 용이하여 그 적용범위가 넓다. 이 방법은 평균과 밀도의 관계를 변환시켜 일정한 직선회귀식으로 나타내는 방법으로 평균과 분산의 관계를 [분산 = a(평균)b]로 놓은 뒤 각 변을 로그로 치환하여 $[\log(\text{분산}) = \log a + b \log(\text{평균})]$ 직선회귀식에서 a 와 b 값을 구하는 방법이다. 이 때 공간분포성향의 분석은 기울기인 b 값이 1보다 큰 경우 집중분포이고 1보다 작으면 임의 분포를 보인다. 여기서 기울기 b는 종(species) 특이적인 값으로 알려져 있다.

회귀계수가 밀도에 독립적이므로, 밀도추정 및 의사결정식에 이용되는 방법이며, 현재 가장 많이 사용되는 공간분포상을 파악하는 방법이다. 하지만, 회귀법은 회귀하는 하나의 점이 여러 자료의 평균과 분산을 대표하고 있으므로, 회귀식에 쓰이는 자료들은 모두가 독립적이어야만 한데 문제가 발생한다. 표본추출로 얻어진 모든 자료가 독립적이기 위해서는 각 자료간의 관계를 살펴야 하는데, 회귀법은 각 자료의 관계를 설명하지 못하기 때문이다. 하지만 자료가 독립적이라는 조건하에서 가장 강력한 힘을 발휘하는 것 또한 회귀법이다.

본 실험의 모든 결과에서는 TPL을 사용하였는데, 그 이유로는 TPL이 다른 어떤 공간분포 지수보다 야외 해충개체군을 잘 설명하기 때문이다. 본 과제에서 개발된 모든 표본추출법과 의사결정법은 TPL의 계수를 기본으로 하였다.

분산과 평균과의 전반적인 관계를 이론적인 확률분포에 적용하지 않고 설명하는 유용한 지수함수가 Taylor(1961)에 의해 제안되었는데 이것이 Taylor의 지수법칙이다. 이것은 표본추출계획 개발의 중요한 구성요인으로 매우 광범위하게 사용되고 있는데 다음 식에 의해 정의된다.

$$s^2 = a \bar{x}^b$$

→ logarithmic transformation →

$$\log(s^2) = \log a + b \log(\bar{x})$$

여기서 모수 a 와 b 는 표본단위와 곤충 종에 특이적인 계수로서 곤충의 공간분포 양식을 설명하는 지표가 된다. Taylor(1961)는 모수인 a 와 b 가 만약 $a = b = 1.0$ 이면 Poisson 분포에 가장 적합하다고 했다. 또한 a 와 b 는 대수변환(logarithmic transformation)을 하여 직선회귀분석을 하게 되어 각 종 마다 특정한 모수값을 알아보는데, 이러한 직선회귀형으로의 전환을 Taylor(1961)는 명확히 평균과 분산의 관계를 보여 주기 위함이라고 하였으며, 이 후 Taylor(1984)는 이러한 변환이 시간의 변화에 따른 밀도의 변화를 고정시키기 위함이었다고 설명하였다. Taylor(1961)는 a 는 표본추출방법, 표본단위의 크기 및 곤충 서식처의 영향을 받으며 b 는 특정 곤충 종에 대해 일정하기 때문에 공간분포를 설명하는 지수(Index of aggregation)로서 b 의 유용성을 강조하였다(즉 $b < 1 \rightarrow$ 규칙분포; $b = 1 \rightarrow$ 임의분포; $b > 1 \rightarrow$ 집중분포).

다. 육안조사와 황색점착트랩에 유인된 시설토마토 해충 개체군 밀도를 이용한 enumerative sampling 모형 적용

1) 축차표본조사(Sequential Sampling)

신속하고도 신뢰성 있는 해충조사방법의 필요성은 해충관리 계획의 시행에 있어서 날로 명백해지고 있다. 앞에서 지적한 바와 같이 해충 표본조사는 해충 개체군 동태연구가 목적일 수도 있으나 방제결정을 위한 목적에서는 짧은 시간에 가능한 적은 비용으로 해충밀도에 대한 신뢰성 높은 정보를 수집해야만 한다. 축차표본조사는 이러한 면에서 많은 장점을 갖고 있으며 특히 방제결정을 위한 목적에 유용하다.

축차표본조사의 장점은 해충밀도를 상, 하 또는 방제 및 무방제 요구수준 같은 광범위한 항목으로 높은 신뢰수준에서 신속하게 구분할 수 있다는 점이다. 따라서 노동집약적인 표본조사(intensive sampling)를 배제할 수 있으며 또한 표본크기가 고정되어 있는 것이 아니라 해충밀도에 따라 유동적인 탄력성을 갖기 때문에 상당한 비용의 절감이 가능하다. 축차표본조사 계획을 개발하기 위해서는 다음 3가지 기본정보가 필요하다

- ① 해충의 공간분포 및 이를 설명하는 이론적 확률분포의 모수값

- ② 경제적 피해허용수준
- ③ 해충밀도 추정시 감수할 수 있는 오차수준, α 와 β 값

본 연구에서는 위의 3가지 기본정보에 의해서 ①번과 ③번의 경우 통계적으로 의미 있는 수준을 사용하였으며, ②번의 경우 실험에서 나온 실제의 값을 이용해서 구했으며, 이러한 방제의사결정의 확립은 보다 빠르고 쉬운 방제결정을 가능하게 할 것으로 확신한다.

2) Enumerative sampling plan의 표본추출 정시선(sampling stop line)

야외개체군의 밀도조사에 있어서 많은 수의 표본을 추출하는 것은 정확한 밀도를 추정하는 데 있어서 필요 불가결하다. 특히 야외개체군 밀도추정은 해충방제학적인 입장에서 방제의 시기를 결정하는데 가장 중요한 역할을 하게 되지만 너무 많은 수의 표본추출은 경제적으로 실현가능성이 적기 때문에 정확도와 경제적인 문제를 해결할 수 있는 적절한 수의 표본수의 설정이 무엇보다도 중요하다. 고정된 정확도를 이용한 표본추출정시선이란 임의로 일정한 오차역을 두고 그 범위에 해당하는 적정한 표본추출을 하기 위한 것이며, Kuno(1969)에 의해 시작되었다.

Kuno(1969)는 야외개체군의 밀도추정에서 무엇보다 중요한 것이 개체군의 표본평균밀도의 표준오차(standard error)라고 했으며, 이러한 표준오차범위를 지정하고서 야외개체군의 밀도추정을 위한 이론적인 식을 내세웠다. 표준오차는 표본추출수에 의존하고 있기 때문에 밀도추정법 개발과정 중 가장중요한 통계량이라고 할 수 있다. 이것이 바로 정해진 오차범위에서 밀도추정을 하는 방법이며, Green(1970)은 Kuno(1969)의 방법을 개체군의 공간분포성향을 나타내는 회귀식인 Taylor's power law로 나타내었다.

먼저 표준오차는 수학적으로 분산을 표본수로 나눈 식의 1/2승이다.

$$\text{standard error} = \sqrt{\frac{\hat{s}^2}{n}}$$

여기서 n 은 추출된 표본수이다. 이 때 분산을 평균의 함수인 $f(m)$ 으로 놓으면

$$\text{standard error} = \sqrt{\frac{1}{n} f(m)}$$

이 때, 표준오차의 비율을 정확도인 D ($D = \text{표준오차} / \text{평균}$)로 하고, T_n 을 n 개의 표본에서 나온 누적된 개체수라고 하면, 평균은 $m = T_n/n$ 으로 나타나고, D 는 다음처럼 나타난다.

$$D = \sqrt{\frac{n}{T_n^2} f\left(\frac{T_n}{n}\right)}$$

이 때 TPL에서 분산은 평균의 함수로 나타난다. 앞서 보았던 Taylor's Power Law를 이용하면 간단하게 변환된다. 즉, $s^2 = am^b$ 이므로 $f(m) = am^b$ 으로 하면, D 는

$$D = \sqrt{\frac{n}{T_n^2} \frac{aT_n^b}{n^b}} = \sqrt{an^{1-b}T_n^{b-2}}$$

가 된다. 이때 표준오차의 비율인 정확도를 고정된 값인 D_0 로 하면

$$T_n^{b-2} = \frac{D_0^2}{a} n^{b-1}$$

이 되고 또한 이 식의 양변에 \log 를 취하면

$$\log T_n = \left[\frac{\log\left(\frac{D_0^2}{a}\right)}{b-2} \right] + \frac{b-1}{b-2} \log n$$

이 식이 바로 고정된 정확도에서 표본추출 정시선을 구하는 식(Green 1970)이며, 해충방제에 적용되는 고정정확도 D_0 는 Sowthwood(1978)가 보고한 해충방제를 위해 적절한 정확도인 0.20~0.30을 기준으로 구하는 것이 가장 일반적이다. 이는 정확도와 경제성을 동시에 고려하여 정해진 값이다.

본 연구에서는 고정된 정확도에서 표본추출 정시선을 구하기 위해 정확도인 D_0 를 여러 가지 값으로 조절해서 사용 하였다.

3) Enumerative sampling에서 해충방제를 위한 의사결정(Decision making)

방제의사결정을 내리기 위해 해충의 경제적 피해 허용 밀도수준을 결정하거나 천적의 밀도가 해충밀도를 경제적 피해 허용수준 이하로 억제할 수 있는 수준에 있는지를 판단하기 위해 표본 조사를 할 경우, 이론적으로 해충의 평균밀도가 방제요구 수준으로부터 멀수록 이들을 추정하기 위해 필요한 표본크기는 작아진다.

미리 설정된 신뢰성을 갖는 개체군 밀도 추정을 위한 표본단위의 수는 경제적 피해 허용수준과는 관련이 없지만, 방제의사결정을 내리기 위해 요구되는 표본크기를 결정할 때에는 경제적 피해 허용수준이 중요한 역할을 한다. 즉, 표본 단위 수는 밀도가 경제적 피해 허용수준에 접근함에 따라 지수적으로 증가하고 또한 경제적 피해 허용수준의 변화에 따라 변한다.

방제의사결정에 있어서는 항상 두 가지의 오류를 범하게 될 가능성을 고려해야 한다. ① 실체는 해충밀도가 경제적 피해 허용 수준 아래에 있는데 초과했다고 과대 추정하는 것(Type I error ; α error), ② 해충 밀도가 경제적 피해 허용수준을

초과했는데 아니라고 과소 추정하는 것(Type II error ; β error)이다.

이론상으로는 오류의 허용수준은 α 에 대해서는 불필요한 방제와 관련된 비용과 조사비용을 최소화함으로써 결정되고 β 에 대해서는 조사비용과 필요한 방제를 하지 않음으로써 생기는 피해를 최소화함으로써 결정된다. 경제적으로 적합한 오차율(error rate)의 결정에는 천적의 해충개체군 밀도조절능력의 정확한 평가가 중요하다. 예를 들어 Type I error의 경우, 불필요한 살충제의 살포로 인한 천적군의 파괴로 2차 해충의 발생량 증가와 1차 해충의 격발현상이 야기될 수도 있다. 따라서 α 와 β 오차율의 결정은 불필요한 방제의 수락(Type I error)과 필요한 방제의 기각(Type II error)에 따른 손익의 경중을 정확하게 판단하여 합리적으로 설정하여야 할 것이다. 일반적으로 α 와 β 의 값으로 0.05 - 0.1을 사용한다(Binns and Nyrop, 1992).

Iwao(1975)는 중심극한정리(central limit theorem ; 표본의 크기가 충분히 큰 경우 임의의 모집단으로부터의 표본평균의 분포가 정규분포에 근사한다는 내용)로부터 방제의사 결정식을 제안하였으며, Wise와 Lamb(1995)은 이 수식을 Taylor의 지수법칙의 두 모수를 이용하도록 변형하였는데 다음과 같다.

$$UL = nm_0 + t\sqrt{nam_0^b}$$

$$LL = nm_0 - t\sqrt{nam_0^b}$$

여기서 UL 과 LL 은 각각 방제 상한선(Upper limit)과 방제 하한선(Lower Limit)을 나타낸다. m_0 는 경제적 피해 허용수준이며, t 값은 't 통계량' 값이며, a 와 b 는 Taylor의 지수법칙의 두 모수이다.

의사결정에서 한 가지 문제점은 만약 해충의 밀도가 방제상한선과 방제하한선 사이에 계속 존재하게 되면 무한히 표본추출이 이루어져야만 한다는 점이다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 최대표본수(N_{max})라는 개념을 도입했는데, 만약 표본추출시 표본수가 최대표본수에 이르면 곧바로 방제를 실시한다.

방제의사 결정에 필요한 최대표본수(N_{max})는 다음과 같이 구해진다.

$$N_{\max} = \frac{t^2}{d^2} (am_0^b)$$

d 는 조사된 응애의 평균밀도와 m_0 가 동일한 경우 조사된 평균밀도의 신뢰구간으로 $d = t s_x$ 로 표현될 수 있으며 나머지 변수들은 앞서 방제 상한선과 하한선의 수식에서와 동일한 의미를 지닌다.

방제의사결정에서 한 가지 중요하게 생각할 것은 방제법은 화학적인 방법이건 생물학적인 방법이건 상관을 안 한다는 데 있다. 화학적 또는 생물적 방제 모두 정확한 방제시기는 정확한 피해정도를 산출하는데 있게 된다.

라. 육안조사에 관찰된 시설토마토 해충 개체군 밀도를 이용한 binomial sampling 모형 적용

앞서 설명한 밀도추정방법은 평균과 분산과의 관계를 이용하여 표본단위 (sampling unit)내의 해충밀도를 전수조사 하는 경험적인 모델(Empirical Model)이 많이 개발·사용되고 있는데 이는 높은 정확도에서 밀도추정을 할 수 있는 장점이 있는 반면 시간과 비용이 많이 요구되는 단점이 있다. 이항표본조사법(Binomial Sampling Program)은 이와 같은 경험적 모델의 단점을 보완하고자 개발되었는데 이는 표본단위 내에 해충의 존재 유·무만을 조사하여 해충밀도 추정을 하는 방법이다. 이항표본조사법은 짧은 시간에 많은 표본조사가 가능하고 작은 크기의 해충밀도조사가 용이하여 선진외국에서는 급속히 개발·보급되고 있다.

1) Binomial sampling 의 모형

이항표본조사는 이항분포에서 출발한다. 이항분포는 단 2가지의 결과 값이 나타나는 것을 말한다. 해충에 피해를 입은(감염된) 표본단위에 미리 정한 특정한 역치 (T, Tally threshold)보다 많은 해충개체가 존재하는 경우만을 골라서 선택 확률로 삼

게 된다. 이러한 역치를 이용하여 P_T 를 표현하게 되는데, P_T 는 표본단위가 해충개체군의 역치보다 많이 감염되어 피해를 받은 비율이다. 즉 이러한 P_T 와 개체군의 평균 밀도인 m 과의 관계를 가지고 해충 개체군의 밀도를 추정하는 것이 바로 이항분포이다.

이항분포의 확률식은 다음처럼 표현된다.

$$\Pr(A) = \frac{n!}{A!(n-A)!} P_T^A Q_T^{n-A}$$

식에서 보이는 $\Pr(A)$ 는 A 표본단위에서 T 보다 큰 개체군이 존재하는 경우로, 식에서 P_T 는 T 보다 큰 개체군이 발견된 표본의 비율 값이다. Q_T 는 $(1 - P_T)$ 이며, n 은 표본의 크기이다. 이러한 이항분포에서 평균의 추정(estimation)은 다음과 같이 가능하게 된다.

$$P_T = \frac{a}{n}$$

여기서 a 는 T 보다 큰 값이 관찰되는 표본단위의 수이며, n 은 표본단위의 크기이다. 또한 분산의 추정은 다음과 같다.

$$\text{Var}(P_T) = \frac{P_T * Q_T}{n}$$

주어진 P_T 에 대한 신뢰구간은 정규분포를 따라서 다음처럼 표현된다.

$$CL = P_T \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\text{Var}(P_T)}$$

$z_{\alpha/2}$ 는 표준정규편차이다.

주어진 표본크기에서 이항표본조사법으로 개체군의 밀도를 추정하는 것은 전수조사보다 많은 변화값을 가진다. 많은 변화값을 가지므로 어떤 경우 이항표본조사법은 전수조사보다 효율이 떨어지기도 한다(표본단위의 수가 적고 밀도가 낮을 때), 하지만 농생태계에서 보이는 환경의 지속적인 변화와 개체군의 증가 및 감소 등의 변이는 일정한 표본크기에서 개체군의 평균밀도(m)를 예측하기 위해서는 전수조사법보다는 해충에 감염된 유 / 무의 판단으로 구분되는 이항표본조사법이 유리하다.

Wilson등(1981)은 목화잎 하나에서 응애수를 조사함에 있어, 전수조사인 경우는 2시간이 소요되지만, 이항표본조사법으로는 1분내외가 된다고 했다. 상이한 역치 값으로 변화를 주게 되면 표본단위가 가지는 감염의 유 / 무의 범위가 변하고, 이에 따라 이항표본조사법은 장점을 잃게 되는 경우도 있다. 만약 역치값을 0에서 8로 변화시키는 경우, 표본에는 적어도 9개체의 해충이 있어야만 감염된 개체의 판정이 가능하게 되며, 이것은 표본처리에 걸리는 시간과 노력을 비교했을 때, 전수조사보다 시간상으로 우월한 이항표본조사의 이점을 잃게 되는 것이다. 전수조사법과 비교되는 이항표본조사에서의 다른 장점은 표본에서 보이는 몇몇 비정상적인 효과에 덜 영향 받는 것이다.

농생태계에서의 표본조사계획의 목표는 개체군의 밀도추정과 그 결과로 인한 특정작물의 연구결과에 의한 특정피해수준의 추정이다. 만약 완전한 전수조사법으로 추정되는 경우 하나의 관찰값의 변이가 크게 나오는 경우 관찰된 평균값이 달라지는 경우가 생긴다. 예를 들어 응애의 경우, 10개의 관찰값이 0, 0, 0, 4, 5, 5, 7, 3, 6, 10 이 나오는 경우 평균은 엽당 4마리인데, 4번째의 관찰값이 4가 아니고 25가 나온다면, 엽당평균은 6.1로 된다. 이런 경우 하나의 관찰값에 의해 전체평균이 절반이상(>2) 변하게 되는 것을 볼 수 있다. 하지만 이항조사법으로 감염된 비율의 추정을 하는 경우 표본크기의 역수($1/n$) 보다 클 수 없으며, 이것은 전체평균의 변화를 일으키지 않는다.

2) Empirical Binomial sampling의 모형 - Kono-Sugino's Empirical Equation을 이용한 평균추정

앞서 언급했듯이 이항표본조사는 이항분포에서 출발한다. 하지만 실제로 이항표본조사를 사용함에 있어서 위에 제시한 수식은 너무도 어렵고 사용하기 곤란한 경우가 많이 있다. 따라서 본 장에서는 Kono와 Sugino(1958)가 발표한 다음의 모형이 P_T 와 평균밀도와의 관계를 설명하는데 가장 적절한 모형로 알려져 있다.

$$\ln(m) = a' + b' \ln[-\ln(1 - P_T)]$$

여기서 a' 와 b' 는 자료에서 추정된 계수이고, \ln 은 자연로그값이다. 이 모형은 적용성이 매우 뛰어나며 T 값이 0보다 큰 경우에서도 P_T 와 평균과의 관계를 모형의 변형 없이도 잘 설명할 수 있다.

위 식은 완벽한 직선식이 아니므로 통계적인 잔류(residue)와 부 정확성에 대한 조사가 필요하게 된다. 이 모형에서 m 에 대한 정확한 분산 추정법은 아직까지 개발되어 있지 않은 상태인데 그 원인은 분산에 여러 가지 요소들이 관여하고 있기 때문이다. Schaalje등(1991)이 가장 근접한 분산 추정법을 제시한 것으로 평가받고 있다.

Kuno(1986)는 이 모형의 분산의 근사치를 다음과 같이 계산했다.

$$c1 = P_T b'^2 / n(1 - P_T) \ln(1 - P_T)^2$$

여기서 n 은 조사된 표본수이고 b' 은 Kono와 Sugino모형에서 산출된 기울기를 나타낸다. 하지만 이는 이항분포에서 유래된 $\ln(-\ln[1 - P_T])$ 의 표본 분산만을 추정하고 있으며 a' 과 b' 추정의 오류는 포함하고 있지 않아서 Binns와 Bostanian(1990)는 새로운 분산추정법을 제시하였는데 전체 분산은 $c1$ 과 $\ln(m)$ 의 추정시 발생되는 분산의 합으로 이루어진다고 하였다.

$$Var(\ln m)_P = mse + \frac{mse}{N} + [[\ln(1 - P_T) - P_T^*]]^2 s_b^2$$

이 식은 다시 두 개의 성분으로 나누어지는데

$$c2 = \frac{mse}{N} + [[\ln(1 - P_T) - P_T^*]]^2 s_b^2,$$

$$c4 = mse$$

여기서 mse 는 Kono와 Sugino모델(1958)에서 도출된 직선회귀식의 평균제곱오차이고, N 은 회귀식에서 a' 과 b' 을 추정하는데 쓰였던 자료의 수이며, P_T^* 는 a' 과 b' 을 추정하는 자료들에서의 독립변수($\ln [-\ln(1 - P_T)]$)의 평균값이다. 그리고 s_b^2 는 b' 의 분산추정치이다. 따라서 전체 분산은 $Var(\ln m)_{Total} = c1 + c2 + c4$ 로 나타내어 질 수 있다.

하지만 Schaalje등(1990)은 simulation을 이용하여 m 의 추정시 오차가 포함되기 때문에 이 분산추정방법이 과대평가되었음을 증명하였다. 이를 극복하기 위하여 Taylor's Power Law(TPL : $s^2 = am^b$, a, b 는 실험적 결과로 얻는 값)를 이용하는 방법을 제시하였는데 분산추정식은 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$c3 = \exp[\ln a + (b-2)[a' + b' \ln(-\ln(1 - P_T))]]/n$$

여기서 a 와 b 값은 TPL에서의 산출된 추정 상수값이고, a', b' 은 Kono와 Sugino모델에서 산출된 값이며 n 은 조사된 표본단위의 수이다. TPL에서 발생하는 표본오차 추정은 mse 에서 빼내면 가능하게 되므로 $\ln(m)$ 의 충분산값은

$$Var(\ln m)' = c1 + c2 + (c4 - c3) \text{ 이 된다.}$$

$Var(m)$ 의 분산은 $Var(m) = m^2 Var(\ln m)$ 의 관계를 하고 있으므로 이

의 총분산은 $Var(m) = m^2(c1 + c2 + (c4 - c3))$ 으로 나타낼 수가 있다.

온실가루이와 앞골파리의 갱도수를 이용한 실질적 검증에서 분산 $c1$ 과 $c3$ 는 P_T 가 0에 가까워질수록 커지며 $c2$ 는 P_T 에 관계없이 매우 낮은 값을 유지하며 mse 는 상수 값이다. 모든 경우에서 $c1 + c4$ 가 총분산에 가장 큰 기여를 하고 있으며 만약 n 이 커지면(75-100개) 단순한 추정으로 정확도를 증가시킬 수 있었다(Schaalje 등, 1990). 이항표본법의 정확도(d -value)는 실제로는 이항표본법의 틀릴 확률을 말하는 것이며, 정확도가 작을수록 정확한 표본 추출법이 된다. 정확도의 계산은 Nachman(1984)이 제시한 방법을 이용하였는데, 각 Tally threshold 마다 따로 구하여, 최적의 Tally threshold를 구하도록 하였으며, 정확도를 구하는 식은 다음의 식을 사용하였다(Nachman, 1984).

$$d-value = \sqrt{\frac{s^2}{n}} = \sqrt{(c1 + c2 + (c4 - c3))}$$

3) Empirical Binomial sampling 모형의 의사결정.

경험적 이항표본추출법에서의 의사결정은 대부분 적절한 P_T 값을 찾은 이후에 이루어지게 된다. 실질적으로 최적의 P_T 값은 최적의 T 값을 찾는데 있으며, 최적의 T 값이란 실험에서 사용된 여러 가지 T 값 중에 앞서 언급한 정확도(d -value; 실제로는 이항표본법의 틀릴 확률)가 가장 낮은 값을 선택하게 된다.

의사결정(Decision making)이란 앞서도 말했듯이, 축차적 표본법에 의해 나타나는 밀도, 혹은 감염 비율에 따른 행동을 결정하는 값으로, 이항표본추출법에서의 의사결정식은 Nyrop(1988)이 제안한 다음의 식을 사용하였다.

$$UL = nP_t + z_{\alpha/2}n\{[P_t(1-P_t)]/n\}^{1/2}$$

$$LL = nP_t - z_{\alpha/2}n\{[P_t(1-P_t)]/n\}^{1/2}$$

UL 과 LL 은 각각 상한값과 하한값을 나타내며, P_T 는 감염비율로 나타난 action threshold 값으로서 경제적 피해수준인 해충의 밀도와 관계된 값이고, n 은 표본 수, $Z_{\alpha/2}$ 는 표준 정규편차의 값이다. 이것을 해충개체군의 Classification 이라고 하며, 이러한 결과값은 해충방제행위의 유 / 무의 판별이 가능하게 된다. 즉 해충개체군이 어떤 특정한 역치보다 많거나 적게 되었을 때, 의사결정을 하게 되는 것이다. 하지만 축차적 표본 추출의 classification에는 약간의 문제가 있게 되는데 그것은 축차적 표본 추출에 관련된 수학적 개념에서 부정확한 해충개체군의 계수(앞에서의 P_T , 보통 \bar{m})가 존재한다는 것이다. \bar{m} 는 보통 개체군의 밀도 값이며, 이것은 해충개체군의 밀도와 관계된 가설(방제의 유 / 무에 관계된 밀도)을 서로 다른 두 가지로 나타내게 된다. 예를 들면 만약 방제 역치가 해충개체군의 평균 밀도가 5로 정해진다면, 이러한 밀도와 관계되어서 두 가지의 가설이 존재한다. 일반적인 통계학에서의 귀무가설 및 대립가설이 그것인데, 귀무가설은 $H_0 =$ 해충의 평균밀도인 m 이 $m \leq 5$ 이며, 대립가설은 $H_1 =$ 해충의 평균밀도인 이 m 이 $m > 5$ 로 정해지게 되는데, 축차적 표본추출에서 추출된 표본인 x_i 가 정해진 뒤에 앞서 언급한 귀무가설을 받아들이거나(방제 안함), 기각하거나(방제 함), 다른 표본을 추출하는 3가지의 결과가 있게 된다. 그렇다면 이 세 가지의 결과를 각각 A_0, A_1, A_2 라고 하고, 이러한 결과에 이르게 하는 의사결정함수인 d 는 $d = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 으로 표현된다고 하자. 각각 추출된 x 값은 A_0, A_1, A_2 에 포함되며, 방제 유 / 무의 판별이 일어날 것이다. 일반적으로 방제 의사결정함수인 d 는 n 개의 표본에서 발견되는 전체 해충의 수로 특정되어진다. 만약 일련의 랜덤표본 추출이 A_0 의 결과값을 가지는 경우 귀무가설이 받아들여져서 방제를 안 하게 된다. 또한 일련의 랜덤표본추출이 A_1 의 결과값을 가지면 귀무가설이 기각되면서 방제를 하게 된다. 물론 A_2 결과값을 가지면 계속 표본추출을 할 것이다.

4) Empirical Binomial sampling 모형의 의사결정의 평가

두 개의 특정한 함수가 classification을 평가 가능하게 된다. Operating

Characteristic(OC)함수와 Average Sample Number(ASN) 함수가 그것인데, OC는 주어진 어느 특정 평균에서 귀무가설을 받아들일 확률로 정의된다. 즉, OC곡선은 “간섭이 없는(no intervention that is no treatment with agricultural tactics)상태에서의 해충밀도확률과 실제 해충개체군 밀도와의 차이”에서 기인되었다.

$$P(\text{no Intervention})|\theta=1, \quad \theta < \theta_1$$

$$P(\text{no Intervention})|\theta=0, \quad \theta > \theta_2$$

여기서 θ_1 과 θ_2 는 각각 앞서 언급한 귀무가설(해충 개체군의 밀도가 방제할 필요 없는 수준)과 대립가설(해충개체군의 밀도가 방제를 해야만 하는 수준)에서의 tally threshold이며, 식은 “간섭이 없는 상태에서 주어진 평균인 θ 가 θ_1 보다 적게 될 확률”로 말할 수 있다. 이 식은 θ_1 과 θ_2 의 역치가 매우 가깝게 된 경우(θ_1 과 θ_2 역치의 구분이 불가능 할 경우)에 나타나게 되며, 확률이 1에서 0으로 떨어지게 되는데, 떨어지는 것이 가파를수록 좀더 바람직한 OC곡선이다(Binns, 1994). 특별히 확률이 0.5인 곳에서 특정한 역치를 이루게 되며, 이 부위를 기준으로 하위부분(확률이 0 - 0.5)은 방제가 바람직하지 않은 부분, 상위부분(확률이 0.5 - 1.0)은 방제가 요구되는 부분으로 나뉘게 된다. 이러한 역치는 일반적으로 binomial sampling에서의 tally threshold이며, 앞서 보인 상한선과 하한선을 구하는데 쓰이는 P_i 값과 관계가 있게 된다.

ASN은 주어진 어느 특정 평균에서 classification을 하기위해 필요한 평균 표본수로 정의된다. 즉 특별한 방제결정에 도달하기까지의 평균표본수이다. ASN함수는 역치에서 최대값에 근사하게 된다. OC와 ASN은 랜덤변수로 나타나게 된다. ASN의 경우 전체 표본추출에서 결정까지 필요한 표본의 추출수를 제공하는 것이다. 이것은 특별히 어느 하나의 표본추출시에 요구되는 표본수를 의미하는 것이 아니라, 많은 표본 추출들이 이루어진 뒤의 평균을 의미하게 되는 것이다.

그렇다면 Binomial sequential sampling에서의 OC 함수와 ASN함수가 어떻

계 Validation에 사용되는지 알아보자. 경험적으로 나타나게 되는 Binomial sequential sampling의 모형을 조금 변형하면 다음과 같다.

$$\ln[-\ln(1 - p_T)] = \gamma + \delta \ln(m)$$

P_T 는 앞서 언급한대로 역치인 T 보다 큰 값의 해충개체군이 발견된 표본의 비율이고, m 은 평균이며 γ, δ 는 직선회귀에서 나오는 절편과 기울기의 값이다. 위 식에 의해 축차적 표본법을 이용하고자 한다면, 식의 m 에 밀도에서의 action threshold로 간섭된 상태에서의 감염된 비율(intervention proportion : Kono-Sugino 모형에서 최적의 P_T, P_{iT})을 대신 집어넣게 된다. 이러한 경험적인 모형에서의 $P_T - m$ 의 관계에서 P_T 의 변화가 평균으로부터 나오므로(앞서 이항분포에서의 평균의 추정값, $P_T = \frac{a}{n}$), 만약 action threshold가 m_i 라면, action threshold는 T 개체 또는 그보다 적은 개체(P_{iT})에서 구해지므로, OC와 P_{iT} 의 관계에서 살펴보면 m_i 는 약 0.5가 나온다(이 사항을 구체적으로 살펴보면 OC에서의 1에서 0까지 떨어지는 그림의 역치는 0.5이고, binomial distribution에서의 action threshold가 m_i 로 설명되었기 때문). 어쨌든 $P_T - m$ 의 관계에서의 변이로 인해(정확한 밀도의 수준을 알 수 없는 이유로 인한 변이) P_T 값의 범위로 특정한 밀도의 수준을 파악하려 하면, P_T 가 표준정규분포를 따른다는 가정 하에 P_T 에서의 binomial sequential sampling의 분산을 살펴보면 P_T 의 범위가 나올 것이므로, 다음의 식(Snedecor & Cochran. 1980)에서 분산을 알아보면,

$$s_{\ln[-\ln(1 - P_T)]} = mse/N + [\ln(m) - avg \ln m]^2 s_\delta^2 + mse \text{ 처럼 된다.}$$

mse 는 mean square error로 앞의 binomial sequential sampling의 회귀모

형에서 추출된 값이 되고, N 은 회귀에 사용된 데이터의 개수, $avglm$ 은 직선회귀에서의 독립변수 $\ln(m)$ 의 평균값이고, s_{δ}^2 는 직선회귀에서 나오는 기울기의 분산이고, m 은 P_T 에 영향을 주는 값이다. 식에서 살펴보면 예상한 P_T 값은 $(\ln m - avglm)$ 에 따라 증가, 감소하지만, 식은 대부분 mse 에 의해 변화하므로, $S_{\ln[-\ln(1-p_T)]}^2$ 값은 거의 모든 표본의 평균에서 비슷하게 된다.

이러한 결과로 $\ln[-\ln(1-P_T)]$ 라는 binomial sequential sampling의 종속변수는 아직 확실하지 않은 binomial sequential sampling의 정확한 P_T 값의 회귀선과 평행이 된다. 바로 이러한 관계(즉 임의의 역치를 이용해서 구한 직선회귀가 실제로 알려지지 않은 역치의 회귀와 평행을 이루게 되는 관계)는 $P_T - m$ 모형의 OC에서의 변이에 영향을 주는 것이다.

$P_T - m$ 관계에 따른 표본추출후의 계산의 결과가 나온 뒤 아직 모르는 실제의 역치와 계산해서 나오게 되는 역치의 회귀선에서의 거리를 h 라고 하면, 간접된 상태의 P_T 값인 P_{iT} 로 실제의 P_T 값을 정할 수 있게 된다. 하지만 실제의 야외에서 조사된 m 은 알지 못하는 실제의 역치 밀도인 m_i 보다 작은 값인 m_{i-} 또는 큰 값인 m_{i+} 값을 가지게 되므로, 새로운 밀도표현이 나오게 된다. 즉 다음과 같은 식으로 표현 가능하다.

$$m_{i-} = m_i / \exp(h / \delta)$$

$$m_{i+} = m_i [\exp(h / \delta)]$$

δ 는 회귀식의 기울기 이다. P_T 에서의 OC값은 0.5인데, 실제의 $P_T - m$ 관계에서 m_i 의 OC값 역시 0.5정도가 된다(m_i 는 앞서 action threshold이므로).

새로운 P_T 값이 가지는 OC곡선은 계속적으로 변화하게 된다. 그것은 곡

선의 전체가 좌우의 이동으로 변화하게 되는 것을 말하며, ASN 역시 같이 변화게 된다. 이것은 일련의 OC와 ASN곡선이 $P_T - m$ 관계에서 보이는 h 값에 의해 영향을 받아서 실제의 회귀선과의 차이를 가지며 변화하는 것을 말한다. 변수 h 는 $S_{\ln[-\ln(1-P_T)]}$ 의 식에서 구할 수 있게 되고, $S_{\ln[-\ln(1-P_T)]}$ 가 표준 정규분포를 따른다 (Snedecor & Cochran, 1980)고 하면, OC와 ASN곡선은 h 에 의해 실제의 알려지지 않은 역치 값을 나타내는 OC와 ASN함수에 근접하게 되는 것이다.

바로 이러한 영향으로 인하여 수학적으로 binomial sequential sampling에서의 tally threshold값의 추정이 이루어지고, 이것이 아직 알려지지 않은 실제의 tally threshold와의 validation이 OC와 ASN함수로 가능하게 되는 것이다.

일반적으로 이러한 classification을 하기 위해 곤충학에서는 두 가지의 방법을 많이 이용한다. 먼저 Sequential Probability Ratio Test(SPRT)(Wald, 1947)와 Iwao(1975)의 신뢰구간법(Confidence interval method)이다. 여기서는 Wald의 SPRT에서의 OC와 ASN함수의 식을 사용하기로 한다.

마. 황색 점착 트랩에 유인된 시설토마토 해충 개체군 밀도를 이용한 divided binomial sampling 모형 적용

앞서 일반적인 공간분포상황에 대한 내용, 육안조사와 황색 점착 트랩의 밀도 수준을 이용한 Enumerative sampling 방법, 육안조사결과를 이용한 Binomial sampling 방법에 대한 모형과 계산법등을 언급했다. 이 장에서는 트랩을 여러 개의 cell로 나눈 이후 각 cell에 유인된 시설토마토 해충의 밀도를 기준으로 하여, cell이 감염되었는지, 혹은 감염되지 않았는지를 알아본 이후, 이를 이용하여, 트랩에 유인된 밀도를 추정하는 방법을 알아보려고 한다.

1) 분할된 황색 점착 트랩을 위한 이항 표본 추출법 모형

황색점착트랩에 유인된 밀도의 분산은 점유된 셀 수의 증가에 따라 커지기 때문에, 점유된 셀에 대한 대상 해충의 산포 plot은 곡선을 이룬다. Steiner등(1999)

은 이와 같은 결과에 의거하여 presence-absence 모델을 고안하였다.

$$\log_e(Y_i) = \alpha + \beta X_i$$

여기서 X_i 는 i 번째 트랩의 점유된 셀들의 수를, Y_i 는 음의 이항분포를 따를 것으로 추정되는 온실가루이의 수를 의미한다.

$$\text{평균} = \mu_i = \exp(\alpha + \beta X_i) \quad \text{식(3)}$$

$$\text{분산} = \text{Var}(Y_i) = \mu_i(1 + \mu_i/\phi) = \sigma^2 \quad \text{식(4)}$$

여기서 ϕ 는 μ 값에 독립적인 불변의 지수를 나타내며, α, β, ϕ, μ 와 같은 모든 매개변수는 과분산 위치분포의 오차(overdispersed poisson distribution errors)와 유사 로그함수(log likelihood function)를 고려하여 SAS의 일반화 회귀모델(generalized linear model; SAS Procedure GENMOD)을 이용해 추정하였다. 우리는 다음과 같이 예상치 들을 95%신뢰구간으로 다음과 같이 계산하였다.

$$95\% \text{신뢰구간} = \mu_i \pm 1.96 \times \sqrt{[\mu_i \times (1 + \mu_i/\phi)]} \quad \text{식(5)}$$

3-6. 시설토마토의 주요해충의 표본 추출법 개발

온실가루이와 아메리카 잎굴파리를 대상으로 하는 포장내의 표본 추출법의 개발은 앞서 보여 주었던 밀도의 변동과 더불어 생각을 해야만 할 것이다. 먼저 앞서의 RNP 결과에 의거하여 3엽을 기본으로 표본 추출단위를 설정하였고, 식물체 내의 육안조사의 결과도 살펴보았다.

먼저 온실가루이를 보면, 상단에서 성충과 어린 유충의 밀도를 살펴보는 경우, 토마토 식물체 내에서 관찰하는 상단의 어린유충 혹은 성충의 밀도는 상당히 시

간이 걸리고, 관찰 하는 방법이 조심스러워야 한다. 이러한 이유로는 온실가루이 성충이 보이는 활발한 운동성 때문인데, 본 연구 과제를 수행함에 있어, 온실가루이 성충의 육안조사는 항상 이른 아침에만 국한 되었어야 했으며, 실제 농민에게 성충의 육안조사를 하고 이를 이용하여 전체적인 밀도를 파악하는 것을 권유할 경우, 문제점이 있을 것으로 사료된다. 또한 상단의 어린 유충의 경우, 지속적인 관찰을 했던 경험이 없다면, 바로 밀도를 알아보는 것이 불가능할 정도로 매우 작고, 포장에서 쉽게 관찰하여 밀도를 알기 힘들게 된다.

하단의 경우 실제로 포장에서 농민이 제거하는 경우가 많게 된다. 토마토의 줄내림 방식은 상단이 새로운 잎, 하단으로 내려갈수록 오래된 잎으로 구성되어 있으며, 하단의 경우 오래되었기 때문에 병에 의한 피해 혹은 제배자에 의한 물리적 상처를 상대적으로 많이 받게 되며, 이러한 결과 하단부위에서 밀도의 관찰은 온실가루이의 경우 번데기와 성충이 많이 있으므로 쉬운 육안조사가 가능하지만, 실제 실용적이지 못한 경우가 많다.

따라서 중단을 중심으로 육안 조사의 결과를 파악하는 것이 가장 좋을 것으로 사료되는데, 그 이유로는 먼저, 중단의 경우, 토마토 엽의 크기가 하단과 다름이 없을 정도로 크고, 육안조사에 적합한 발육태인 노숙 유충과 번데기가 많이 분포하고 있으며, 상대적으로 적절한 높이를 유지하고 있어서, 관찰이 용이하기 때문이다.

아메리카 잎굴파리의 경우 중단과 중단, 하단에서 육안조사가 가능한 갱도수가 모두 관찰되고 있는 실정이다. 따라서 최적의 육안조사 위치를 찾고자 2002년도의 갱도수 자료와, 전체 엽의 면적과, 조사에 걸리는 시간을 종합한 값인 RNP 값을 비교 하였으며, 다음의 표에 나타내었다.

표 3-35. 아메리카 잎굴파리의 위치별, 갱도수와 갱도수 파악시간의 관계를 설정한 RNP값

표본 추출주 (Sampling week)	중단			상단			하단		
	\bar{x}	SEM	RNP	\bar{x}	SEM	RNP	\bar{x}	SEM	RNP
1	3.77	0.51	21.98	3.66	0.38	7.35	3.67	0.34	3.60
2	5.70	0.74	23.11	5.21	0.49	7.99	5.04	0.44	3.82
3	6.42	0.79	24.25	6.21	0.51	8.56	5.80	0.49	3.96
4	6.23	0.79	23.52	6.56	0.56	8.79	5.57	0.48	3.84

아메리카 잎굴파리의 경우도 온실가루이와 마찬가지로 중단에서 가장 높은 RNP 값이 나오고 있음을 알 수 있다. 앞서 설명했듯이, RNP는 표본추출에 관련된 정확도와 경제성이 동시에 고려된 것으로 표본단위 선정에 기초적인 자료를 제공해주는 값으로 그 값이 클수록 효율적인 표본단위가 된다(Ruesink, 1980). 따라서 위 표에서 나타난 대로, 시설토마토에서 아메리카 잎굴파리의 밀도를 대변할 수 있는 갱도수의 최적 육안조사 위치는 중단(지상 90-120cm)으로 나타났다.

따라서 시설토마토 해충의 육안조사를 통한 공간분포 분석을 비롯한 밀도 추정법, 의사결정법에 이르기까지의 모든 표본 추출법의 개발은 시설토마토의 중단 높이에서 이루어 졌다. 온실가루이의 경우 중단에서 가장 많은 밀도가 관찰되는 노숙유충과 번데기의 합한 수를 기준으로 하여 밀도추정법, 의사결정법등이 개발되었으며, 잎굴파리의 경우 중단에서 보이는 표본추출단위에서 얻어진 갱도수를 기준으로 한 육안조사로 밀도 추정법 및 의사결정법을 개발 하였다.

온실가루이의 황색점착트랩의 경우, 일주일간의 유인은 매우 많은 수의 밀도를 보이므로, 황색점착트랩의 전체 밀도를 이용한 분할된 황색점착트랩을 이용한 이항표본추출법의 개발을 하였으며, 잎굴파리 역시 분할된 황색점착 트랩을 이용한 밀도 추정법을 개발하였다. 다만, 온실가루이의 경우 밀도가 매우 높으므로, 각 분할된 cell 별로 tally threshold를 지정하여 계산하는 방법을 택하였으며, 잎굴파리의 경우

presence-absence 방법을 이용하였다.

가. 표본 추출법 개발을 위한 공간분포 분석

표본 추출법 개발을 위한 공간 분포는 Taylor(1961)에 의해 제안된 Taylor의 지수법칙(Taylor's Power Law; TPL)에 의해 분석하였으며, 본 결과에서 제시된 TPL의 계수는 각 실험 연도별 얻어진 모든 자료를 이용하여 그 통합적인 TPL 지수를 제시하였다. TPL지수는 기본적으로 평균과 분산과의 관계를 나타낸 것이며, TPL 계수를 추정하기 위해서는 직선회귀 추정식을 이용하여, 각각의 회귀계수를 구하는 것이 일반적이게 된다. 이러한 경우, TPL의 각 계수는 단순히 통계적으로만 생각하여 본다면, 직선회귀방법을 이용한 추정계수들이며, 앞서 TPL의 계수의 정의를 설명하는 경우, 각 TPL의 계수가 동일한 값으로 나타나는 경우, TPL의 계수를 이용한 표본추출법을 개발한 결과 역시 동일한 결과를 얻게 되는 것이므로, 직선회귀의 두 계수의 동질성을 살피는 공분산 분석을 사용하여, 직선회귀의 결과값인 TPL의 계수를 비교하여 동일하다면, 모든 자료를 합쳐서 대푯값으로 나타내는 것이 가장 타당할 것이다. TPL 계수를 대푯값으로 나타내게 된다면, 먼저, 각 해충 개체군 당 표본 추출법을 하나로 통일 할 수 있으므로, 일관된 표본 추출에 이은 의사결정이 가능하게 되고, 다음으로, 대표값에 의한 해충의 성향을 파악 가능하게 될 것이다. TPL 계수는 다음의 표에 정리 하였다.

표 3-36. 시설 토마토 해충의 TPL 계수 정리

		자료수	$\ln a \pm SE$	$b \pm SE$	r^2
온실가루이	육안조사	95	0.57±0.15	1.64±0.08	0.83
	트랩조사	152	0.93±0.61	1.61±0.16	0.85
아메리카 앞꿀파리	육안조사	95	0.35±0.23	1.89±0.09	0.81
	트랩조사	151	0.70±0.31	1.96±0.17	0.93

온실가루이의 경우 중단의 노숙유충과 번데기의 공간분포는 집중하는 것 ($b > 1$)으로 나타났으며, TPL의 절편값은 0.57로 나타나는 것으로 나타났다. 온실가루이를 트랩으로 조사한 결과는 공간분포상이 역시 집중하는 것으로 나타났다. 다만 육안 조사보다 덜 집중하는 형태를 나타내고 있는데, 이러한 이유로는 먼저 트랩에 잡힌 밀도가 매우 높다는 것과, 트랩의 경우, 유인되는 날짜가 일주일이라는 시간의 경과역시 포함하고 있기 때문이다.

육안 조사의 경우, 육안조사 하는 당시의 해충의 밀도를 파악하므로, 해충의 조사 당시의 공간분포상을 구명하는 것으로 볼 수 있으며, 트랩의 경우는 일주일 간의 유인기간동안 유인된 해충의 밀도를 나타내므로, 상대적으로 집중 분포상이 다르게 되는 것이다.

아메리카 잎굴파리의 경우, 온실가루이와 다른 양상을 보이고 있는데, 잎굴파리의 경우, 황색점착트랩과 육안조사 모두 매우 낮은 밀도를 보여주고 있었다. 따라서, 유충의 밀도를 간접적으로 나타내는 중단의 갱도수를 이용한 TPL 계수의 결과는 집중도가 온실가루이보다 더욱 높은 것으로 나타났으며, 트랩에서 더욱 높은 집중도를 보였다.

아메리카 잎굴파리의 TPL 계수와, 온실가루이의 TPL 계수는 앞서 평면적으로 보았던 온실가루이와 아메리카 잎굴파리의 밀도분포와 더불어 생각하여야만 하는데, 온실가루이의 경우, 온실의 전체에 고른 밀도를 보이며, 전체적으로 분포하고 있던것에 비하여, 아메리카 잎굴파리의 경우, 온실가루이에 비하여, 평면적으로 보면, 동서 양쪽의 가에 집중적인 분포를 보이고 있음을 알 수 있다. 이것은 온실가루이에 비하여, 매우 높은 집중 정도를 보이는 것이고, TPL 계수는 그 결과를 나타낸다고 볼 수 있다.

나. 육안조사와 트랩조사 결과를 이용한 Enumerative sampling plan

앞서 언급했듯이 enumerative sampling plan은 실제 해충의 밀도를 이용

하여 표본추출법을 개발하는 것으로 본 연구에서는 Green(1970)의 방법을 이용했다. 육안조사와 황색점착트랩에서 얻어진 해충의 밀도를 이용하여 표본추출 정시선은 둘 다 구했으며, 방제의사결정에 해당되는 classification의 경우, 경제적 피해수준 개념이 필요하므로, 온실가루이가 보이는 중단 7엽당 노숙유충+번데기 199마리, 즉 엽당 29마리와 아메리카 잎굴파리가 보이는 중단 7엽당 갱도수 14개, 즉 엽당 2개의 갱도를 이용하여 조사하였다

1) 온실가루이 육안조사와 황색점착트랩의 밀도를 이용한 enumerative sampling plan.

가) 온실가루이의 육안조사를 이용하여 고정된 정확도(fixed-precision)를 이용한 표본추출 정시선 조사

다음의 그림은 Green(1970)의 방법을 이용한 온실가루이 육안조사 결과로 얻어진 공간분포상을 나타내는 TPL 계수와 고정된 정확도(fixed-precision)를 이용한 표본 추출 정시선이다. 고정된 정확도(fixed-precision(D_0))는 0.30, 0.25, 0.20으로 각각 계산하였다.

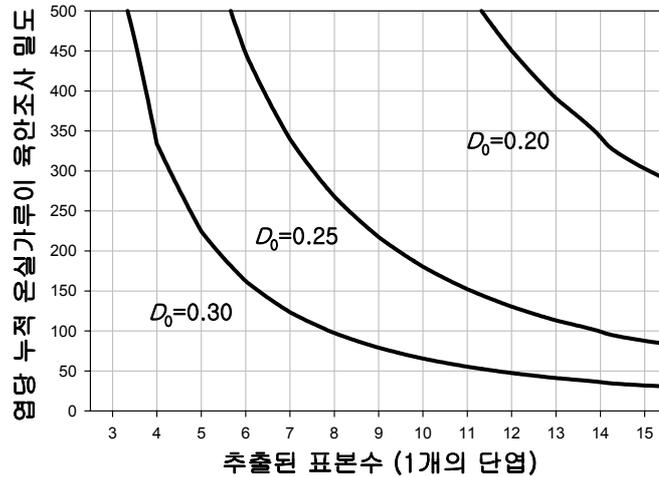


그림 3-120. 육안조사 결과로 얻어진 공간분포상을 나타내는 TPL 계수와 고정된 정확도(fixed-precision)를 이용한 표본 추출 정시선

윗 그림에서 고정된 정확도(D_0)가 0.3에서 0.2로 높아지는 경우(앞서 언급하였듯이, enumerative sampling에서 고정된 정확도란 표본 추출 정시선이 틀릴 확률을 나타낸 것으로 이해하여야 한다, 따라서 정확도가 값이 낮아질수록 높아진다는 표현을 하게 되었다), 더욱 많은 표본수를 요구하는 것으로 나타났다. Southwood(1978)에 의한 농업 해충 방제를 위해 가장 적절한 정확도는 0.2-0.3의 값이며, 본 과제의 결과는 0.25가 가장 타당한 값을 나타내고 있음을 볼 수 있다. 먼저 정확도가 0.3의 경우 8개를 추출 하는 경우 엽당 평균 12.5 마리가 나오게 되는 경우, 표본 추출을 그만하게 되지만, 0.25개의 경우 약 11개 -12개를 추출해야만 그 밀도가 나오게 되는 것이며, 이 결과는 처음에 언급한 표본 추출 단위가 아닌 각 단엽을 중심으로 통일하여 계산되어진 값이므로 3엽을 한번에 관찰하는 경우, 11-12개의 엽은 4개의 표본추출단위에서 표본 추출을 멈추게 되는 경우이다.

나) 온실가루이 성충의 트랩에 유인된 밀도를 이용하여 고정된 정확도 (fixed-precision)를 이용한 표본추출 정시선 조사

다음 그림은 Green(1970)의 방법을 이용한 온실가루이 성충이 트랩에 유인된 결과로 얻어진 공간분포상을 나타내는 TPL 계수와 고정된 정확도(fixed-precision)을 이용한 표본 추출 정시선이다.

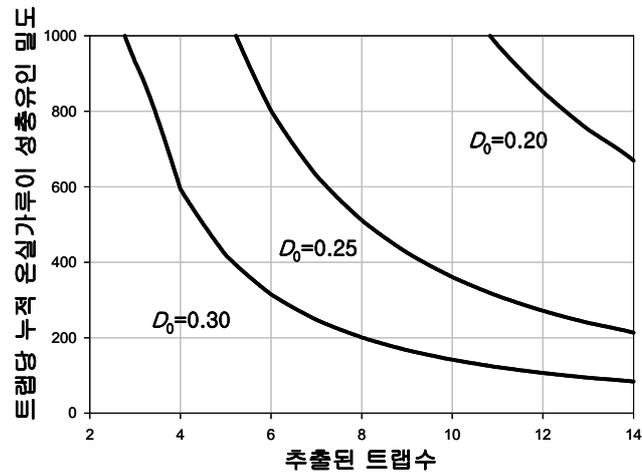


그림 3-121. 황색점착 트랩에 유인된 온실가루이 성충의 밀도 결과로 얻어진 공간분포상을 나타내는 TPL 계수와 고정된 정확도(fixed-precision)을 이용한 표본 추출 정시선

위 그림에서 황색점착트랩에 유인된 온실가루이 성충의 밀도상황을 보았을 때, 가장 적절한 정확도는 앞서 온실가루이 유충(노숙유충+번데기)의 경우와 마찬가지로 0.25가 가장 적절한 것으로 사료된다. 이 경우 8개의 트랩을 검사하여 트랩당 평균 유인된 온실가루이 성충의 밀도가 약 63 이상이 되면 표본 추출을 그만하고, 방제를 실시하게 되는 것이며, 이러한 결과를 종합하여 본다면, 고정된 정확도 (fixed-precision)는 온실가루이 개체군에서 0.25가 가장 적절하였으며, 육안조사의 경우

약 4개의 표본추출단위 이상, 트랩의 경우, 약 8개의 트랩을 설치하는 것이 가장 적절히 밀도를 추정 가능하게 될 것으로 사료된다.

다) 온실가루이 육안조사를 위한 enumerative sampling의 의사결정법 개발

Enumerative sampling에서 다음으로 신경을 써야 할 부분은 표본 추출과 관련된 의사결정법(decision making)이다. 앞서 언급한 대로 수식을 이용하여 의사결정을 하여야 하였으며, 만약 의사결정식에서 계속적으로 표본 추출을 하는 경우를 대비한 최대 표본 추출수(N-max)역시 계산하였으며, 이러한 결과는 다음의 그림으로 나타내었다. 다만, 온실가루이 성충의 트랩유인 밀도에 관한 decision making은 제외시켰다.

그림에서 온실가루이의 enumerative sampling의 경우, 최대 표본 추출수는 약 14개의 단엽으로 나타났으며, 이 경우 5개의 표본 추출 단위임을 알 수 있다. 윗그림을 설명하자면, 표본추출과 더불어 각 단엽에서 누적된 온실가루이 유충의 밀도를 기록하여, 만약 9개의 단엽을 조사하였을 경우(3개의 표본추출단위), 엽당 40마리 이상이 되면 여러 방제 수단을 동원하여 방제를 실시하는 것이고, 18마리 이하인 경우 방제를 하지 않아도 되며, 그 사이인 경우, 계속 표본 추출하여야 하는 것이다. 여기서 토마토의 수확에 피해를 주는 밀도는 앞서 토마토 시설에서 온실가루이의 피해 밀도인 엽당 29마리를 기준으로 계산하였으며, $\pm 10\%$ 의 신뢰구간을 사용하게 되었다. 다만, 이러한 의사결정의 경우, 온실가루이 밀도의 변동 폭이 크므로 계속적인 표본 추출을 실시하여야 하며, 이 경우, 표본 추출수가 너무 크게되는 단점이 있으며, 이를 위한 최대 표본수는 본 연구결과에 의해 14개의 단엽 즉 약 5개의 표본 추출단위로 한정되어 있게 된다.

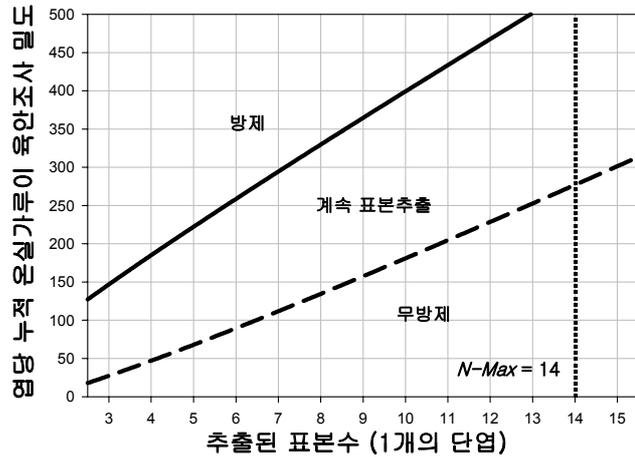


그림 3-122 . 온실가루이 육안조사의 enumerative sampling plan 에서의 의사결정곡선

라) 온실가루이 육안조사 결과를 이용한 enumerative sampling plan의 범용성 분석-Resampling for Validation of Sampling Plan(RVSP)

앞서 개발된 enumerative sampling plan을 살펴보게 된다면, 온실가루이의 육안조사에 따른 표본추출법이 완성되어 있음을 알 수 있다. 하지만 윗 결과에 사용된 온실에서 온실가루이의 육안 조사 결과에는 사용가능하지만, 표본 추출법에 가장 효용이 있어야 하는 범용성에 관한 문제가 생기게 된다. 표본 추출법의 효용성은 표본 추출법이 가지는 가장 중요한점 중에 하나로서, 동일한 작형을 가지는 다른 포장에서도 본 과제에서 개발한 것과 동일한 표본 추출법을 사용할 수 있는가에 대한 의문을 가질 수 있게 되고, 이를 위해 동일 작형의 다른 포장에서의 독립적인 자료(표본추출법의 개발에 사용되지 않은 자료)를 이용해서 앞서 작성된 표본 추출법을 검사할 필요가 있게 된다.

Naranjo 와 Hutchison(1997)은 이러한 경우에 사용가능한 resampling 기술을 이용하여, 구하여진 표본 추출법을 검사(validation)하는 방법을 개발 하였다. 이

방법은 Resampling for Validation of Sampling Plan(RVSP)으로 RVSP는 표본 추출에 사용하지 않은 자료를 이용해서 개발된 표본 추출법과 동일한 방법으로 컴퓨터 내에 simulation random sampling 하여(비복원 추출) 표본 추출 정시선을 초과하는 경우의 밀도수준, 정확도 등을 구하게 되는 방법이다. RVSP는 random sampling 으로 boots trap 방법을 이용하게 되며, 간단한 조작으로 구한 표본 추출법이 목표한 정확도를 나타낼 수 있는지를 계산하게 된다.

본 과제결과에서 사용한 독립적인 표본 추출 자료는 두 가지의 자료를 사용하였다. 두 가지의 자료를 선정한 기준은 전체적인 밀도 수준인데, 전체적으로 밀도가 높게 나온 표본 추출 자료와 밀도가 매우 낮을 때의 표본 추출 자료를 각각 사용하여, RVSP를 실행하여, 본 과제 결과 개발된 표본 추출법의 performance를 validation 하였다. resampling 횟수는 총 500회로 하였으며, 각 resampling 에 따라 주어진 정확도($D_0=0.25$)에 어느 정도나 근사하는 지를 살펴보았다. 만약 주어진 정확도에 근사하게 된다면, 개발된 표본추출법이 매우 robust 하게 되어, 여러 포장에서 사용가능하다는 의미로 해석 가능하다.

다음의 그림은 시설 토마토의 중단에서 각 엽당 관찰된 온실가루이 노숙 유충과 번데기의 밀도가 높은 경우와 낮은 경우의 RVSP 결과를 동시에 나타낸 그림이다. 그림에서 각 점은 Resampling 결과 계산되어진 평균밀도와 그 때의 정확도(D_0)를 나타낸 것이며, 점선은 최대값, 직선은 최소값을 각각 보여주게 되며, 본 실험에서 구한 가장 적절한 정확도인 0.25수준에 굵은 직선을 그려서 비교가능 하게 하였다(그림 3-123).

그림 3-123.에서 보여준 결과는 본 과제의 결과에서 구한 온실가루이의 육안 조사를 위한 enumerative sampling plan을 설명하고 있는데, 먼저 왼쪽에서 보이는 높은 밀도에서의 RVSP 결과는 정확도(D_0)가 0.25를 중심으로 상대적으로 밀도가 낮은 경우 잘 맞고 있는 경우를 볼 수 있다. 다만, 밀도가 엽당 37마리 이상부터는 일부 정확도가 낮은 값들이 많이 보이고 있는데, 본 실험결과는 엽당 평균 밀도를 나타낸 것이므로, 만약 엽당 37마리의 경우, 본 과제에서 사용한 표본 추출 단위인 3엽의 복엽의 경우 표본 추출 단위당 111마리 이상 나오게 되는 것으로 이 경우, 이미 방제할 시

기가 지나가 버린 경우로 해석 가능하게 되며, 특히 오른쪽의 그림은 밀도가 낮은 경우에 매우 잘 맞고 있음을 보여주고 있다(그림 3-123). 하지만 RVSP 프로그램의 resampling 결과 고밀도의 부분에서는 일부 굉장히 낮은 정확도가 나오고 있음을 알 수 있다.

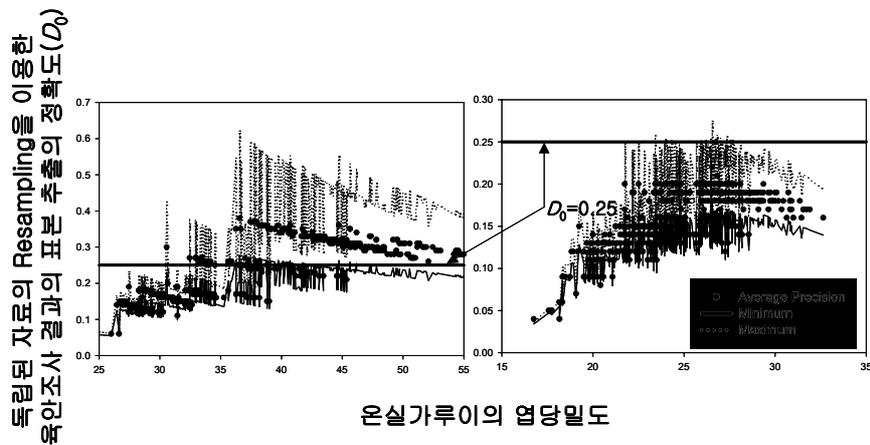


그림 3-123. RVSP를 이용하여 온실가루이 육안조사용 enumerative sampling plan의 performance를 validation 한 결과. 왼쪽 그림은 온실가루이의 밀도가 높은 독립된 자료를 오른쪽은 밀도가 낮은 경우의 독립된 자료를 각각 사용한 결과이다.

이러한 경우는 컴퓨터에 의한 random resampling의 문제점 때문인데, 만약 매우 좁은 지역에서만 표본을 추출하게 된다면, 전체적인 포장의 밀도수준이 아닌 특정한 구역의 밀도만을 추정하게 되며, 그 밀도 수준은 매우 높거나 혹은 매우 낮거나 하는 두 가지의 경우를 나타나게 된다, 밀도가 높게 나왔다는 것은 앞서 밀도 변동에서 언급한 hot spot 부위의 밀도만을 resampling 하였다는 의미이며, 이 경우 전체적인 포장에 대한 개념이 들어가지 않고 단순히 random resampling 만을 실시하게 된다면 매우 낮은 정확도가 나올 수밖에 없다. 즉 극단적으로 좁은 부분에서의 random

resampling의 경우 문제점이 생길 수 있다는 의미이며, 이러한 문제의 해결이 필요하게 된다. 본 장의 마지막에서는 이러한 경우를 대비한 geostatistics를 이용한 보완점 역시 언급하여 그 방법을 자세히 기술하였다. 또 한가지 문제점이라면 RVSP에 사용한 고밀도의 독립적인 자료의 경우, 줄내림 방식이 아닌 다른 방식의 자료를 이용하여 구한 경우이며, 줄내림 방식이 아닌 경우에도 낮은 밀도에서는 좋은 정확도($D_0 \leq 0.25$)를 유지하고 있는 것을 알 수 있으며, 낮은 밀도에서는 거의 모든 경우 본 과제에서 개발한 표본 추출법의 performance가 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 문제점을 제외하고 나면 본 과제에서 온실가루이의 육안 조사를 위해 개발한 줄내림 시설 토마토의 중단부위의 온실가루이 노숙유충+번데기의 밀도추정은 매우 적절하게 나타나고 있으며, 정확한 밀도추정이 가능할 것으로 사료된다.

2) 아메리카 잎굴파리 유충의 개해 갱도수의 육안조사와 황색점착트랩의 밀도를 이용한 enumerative sampling plan.

가) 아메리카 잎굴파리 유충의 개해 갱도수의 육안조사를 이용하여 고정된 정확도(fixed-precision)를 이용한 표본추출 정시선 조사

다음의 그림은 Green(1970)의 방법을 이용한 시설토마토 중단에서 아메리카 잎굴파리의 개해 갱도수의 육안조사 결과로 얻어진 공간분포상을 나타내는 TPL 계수와 고정된 정확도(fixed-precision)를 이용한 표본 추출 정시선이다. 고정된 정확도(fixed-precision(D_0))는 Southwood(1978)가 제안한 해충 개체군의 방제에 적절한 정확도인 0.30, 0.25, 0.20으로 각각 계산하였다. 고정된 정확도의 개념은 앞서 언급했듯이 그 값이 높을 수록 정확도가 떨어지는 경우를 의미한다.

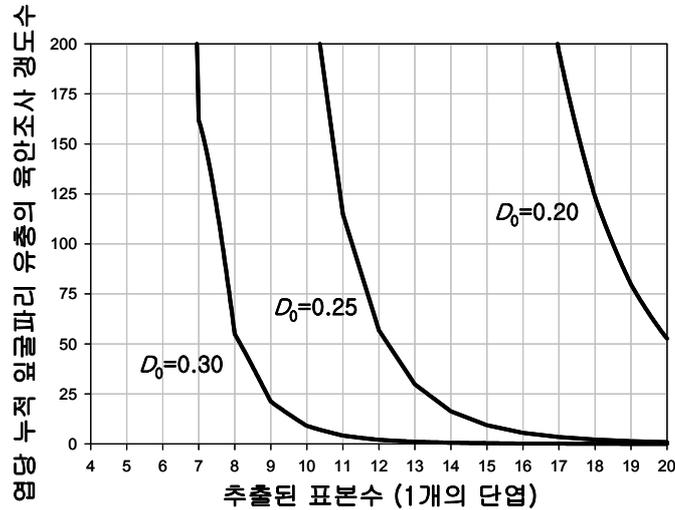


그림 3-124. 시설토마토 중단에서 아메리카 잎굴파리의 개해 갱도수의 육안조사 결과로 얻어진 공간분포상을 나타내는 TPL 계수와 고정된 정확도 (fixed-precision)을 이용한 표본 추출 정지선

윗 그림에서 아메리카 잎굴파리의 유충의 개해 갱도수의 변화는 정확도 (D_0)에 따라 극단적으로 다름을 알 수 있었으며, 정지선의 정확한 밀도 수준 역시 매우 알아보기 힘든 곡선을 하고 있음을 알 수 있다. 먼저 정확도가 0.30의 경우 약 8개의 단엽을 살펴보았을 경우 각 단엽당 평균 갱도수는 약 6-7개로 나타났다. 하지만 갱도는 토마토 엽에서 없어지지 않게 되고, 따라서 본 과제의 실험에서 얻어진 평균 갱도수의 최대값이 7-8개임을 감안 한다면 현실성이 떨어진다고 볼 수 있다. 정확도가 0.25의 경우를 살펴본다면, 약 12-13개의 단엽을 관찰하여, 각 단엽당 2-4개의 갱도를 관찰 한다면 표본을 정지하게 되는데, 이 경우 표본 추출 단위로는 총 3개 정도를 살펴 게 되는 것으로 매우 의미있게 된다고 볼 수 있다.

정확도가 0.20인 경우에는 온실가루이의 육안 조사와 마찬가지로 매우 많은 갱도수를 요구하고 있었고, 매우 많은 표본의 추출이 필요한 것으로 나타났다. 즉

정확도가 높아질수록, 밀도추정을 위한 표본수는 더욱 많아지는 현상을 보였으며, 이러한 결과는 온실가루이의 육안조사에 의한 enumerative sampling 정시선과 동일한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다(그림 3-124).

나) 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갯도수 육안조사를 위한 enumerative sampling의 의사결정법 개발

Enumerative sampling 의 표본 추출 정시선과는 다르게, 의사결정법에서는 action threshold를 이용해야 한다, 앞 장에서 언급한 대로, 아메리카 잎굴파리의 유충이 가해한 가해갯도수의 action threshold는 엽당 2개로 하였으며, 이를 이용하여 의사결정법을 개발하였다(그림 3-125).

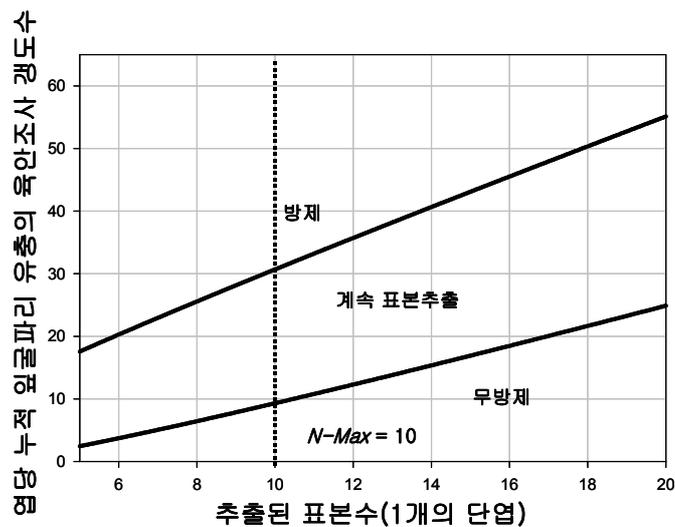


그림 3-125. 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갯도수를 육안조사한 결과를 이용한 enumerative sampling plan 에서의 의사결정곡선

윗 그림에서 온실가루이의 육안 조사와 마찬가지로 $\pm 10\%$ 의 신뢰구간을

적용하여 의사결정법을 개발 하였으며, 지속적인 표본 추출이 이루어지게 되는 경우를 생각하여 최대 표본 추출수($N-Max$ 값) 역시 구하였다(최대 10개의 단엽). 8개의 단엽을 살피는 경우, 총 누적 갱도수가 25개를 넘어가는 경우 방제를 실시하고, 총 누적 갱도수가 7개 미만인 경우에는 방제를 실시하지 않게 된다(그림 3-125).

실제로 포장에서 10개의 단엽을 살피게 되는 경우 hot spot 주위에서는 아메리카 잎굴파리 유충에 의한 가해 갱도를 쉽게 관찰 가능하게 되지만, 그렇지 않은 지역에서는 밀도가 방제를 요하는 수준까지 올라가기 힘든 것이 사실이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 먼저 전체 포장에 대한 monitoring을 해야만 하며, 이러한 monitoring 이후에 표본 추출법을 적용시키는 것이 합리적인 것이다. 다만, 본 표본 추출법을 이용한 조사에 있어, 무엇보다 중요한 것은 표본추출법이 가지는 통계적인, 과학적인 부분과 실제 사용자의 경험에서 나온 경험을 조화시키는 것이 무엇보다도 중요하게 된다고 사료된다.

다) 아메리카 잎굴파리의 유충의 가해 갱도 육안조사 결과를 이용한 enumerative sampling plan의 범용성 분석-Resampling for Validation of Sampling Plan(RVSP)

앞서 개발된 표본 추출법의 performance의 validation을 RVSP로 실시하였다. 본 아메리카 잎굴파리 결과에서 사용한 독립적인 표본 추출 자료는 온실가루이의 육안조사와 마찬가지로 두 가지의 밀도수준을 보이는 자료를 사용하였다.

아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수 육안조사를 이용하여 개발된 표본 추출법의 RVSP를 이용한 resampling 횟수는 총 500회로 하였으며, 각 resampling 에 따라 주어진 정확도($D_0=0.25$)에 어느 정도나 근사하는 지를 살펴보았다. 만약 주어진 정확도에 근사하게 된다면, 개발된 표본추출법이 매우 robust 하게 되어, 여러 포장에서 사용가능하다는 의미로 해석 가능하다.

시설 토마토의 중단에서 각 엽당 관찰된 아메리카 잎굴파리 유충의 가해

갱도수가 높은 경우와 낮은 경우의 RVSP 결과를 동시에 나타낸 그림이다. 그림에서 각 점은 Resampling 결과 계산되어진 평균밀도와 그 때의 정확도(D_0)를 나타낸 것이며, 점선은 최대값, 직선은 최소값을 각각 보여주게 되며, 본 실험에서 구한 가장 적절한 정확도인 0.25수준에 굵은 직선을 그려서 비교가능 하게 하였다(그림 3-126).

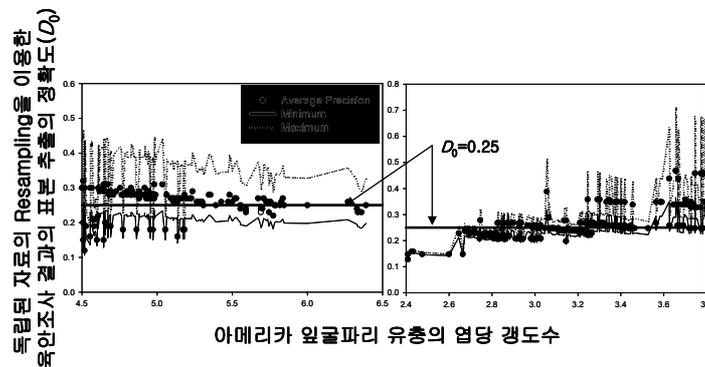


그림 3-126. RVSP를 이용하여 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수를 육안조사하여 개발된 enumerative sampling plan의 performance를 validation 한 결과. 왼쪽 그림은 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수가 높은 독립된 자료를 오른쪽은 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수가 낮은 경우의 독립된 자료를 각각 사용한 결과이다.

그림 3-126.에서 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수를 이용해 개발한 표본 추출법은 정확도가 0.25보다 약간 높게 나타나고 있는 것을 확인 할 수 있다. 그림 3-126.의 왼쪽의 높은 밀도 영역의 경우, 기준값인 0.25보다 안 좋은 정확도가 넓은 밀도범위에 보이고 있다. 하지만 resampling 결과 나온 정확도의 최고값은 항상 0.25보다 더 좋은 값을 나타내고 있으며, 오른쪽의 낮은 밀도범위에서도 동일한 결과를 보여주고 있다. 따라서, 본 과제에서 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수의 육안조사를 위해 개발한 줄내림 시설 토마토의 중단부위의 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도

수 추정은 매우 적절하게 나타나고 있으며, 정확한 밀도추정이 가능할 것으로 사료된다.

나. 육안조사를 이용한 Empirical binomial sampling plan

앞서 언급했듯이 binomial sampling plan은 실제 해충의 밀도를 직접적으로 이용하는 것이 아니고, 적절한 Tally threshold에 따른 감염된 비율과 실제의 평균 밀도간의 관계를 이용하여 표본추출법을 개발하는 것으로 본 연구에서는 Kono와 Sugino(1958)가 제안한 방법을 이용했다. 육안조사에서 얻어진 해충의 밀도를 이용하여 표본추출 정시선은 둘 다 구했으며, 방제의사결정에 해당되는 classification의 경우, 경제적 피해수준 개념이 필요하므로, 온실가루이가 보이는 중단 7엽당 노숙유충+번데기 199마리, 즉 엽당 29마리와 아메리카 잎굴파리가 보이는 중단 7엽당 갱도수 14개, 즉 엽당 2개의 갱도를 이용하여 조사하였다

1) 온실가루이 육안조사를 이용한 Empirical binomial sampling plan.

Kono와 Sugino(1958)가 제안한 경험적 이항 표본 추출법의 모형은, 앞서 언급했듯이 다음의 식이다 :

$$\ln(m) = a' + b' \ln[-\ln(1 - P_T)]$$

본 실험에서 위 식을 이용한 여러 tally threshold별 계수는 다음의 표에 정리하였다.

표 3-37. 시설 토마토에서 온실가루이의 육안조사를 이용한 경험적 이항 표본 추출법을 위한 tally threshold별 이항 표본 계수

Tally threshold	a'	b'	r^2	N	MSE
1	1.00	1.22	0.68	60	0.28
3	1.78	0.92	0.78	85	0.09
5	2.11	0.63	0.72	88	0.09
7	2.34	0.56	0.69	86	0.09
9	2.54	0.54	0.66	82	0.08

Kono-Sugino의 경험적 이항 표본 추출법을 위한 변형된 감염비율과 평균 밀도의 관계에서는 Tally threshold가 3인 경우 가장 잘 맞고 있는 것으로 나타났다.

가) 온실가루이의 육안조사를 이용하여 여러 Tally threshold를 이용한 Empirical binomial sampling plan

다음의 그림은 Kono와 Sugino(1958)가 제안한 empirical binomial sampling plan에 따른 온실가루이의 시설토마토중단부위에서 육안관찰한 결과를 이용한 이항 표본 추출법의 표본 추출 정시선을 여러 Tally thresholds에 따른 감염된 비율과 밀도를 기준으로 구한 것이다. 본 실험에서 Tally threshold는 1, 3, 5, 7, 9의 5가지를 사용하였으며, 그 중 가장 적절한 밀도추정에 해당하는 Tally thresholds를 구하고자 하였다.

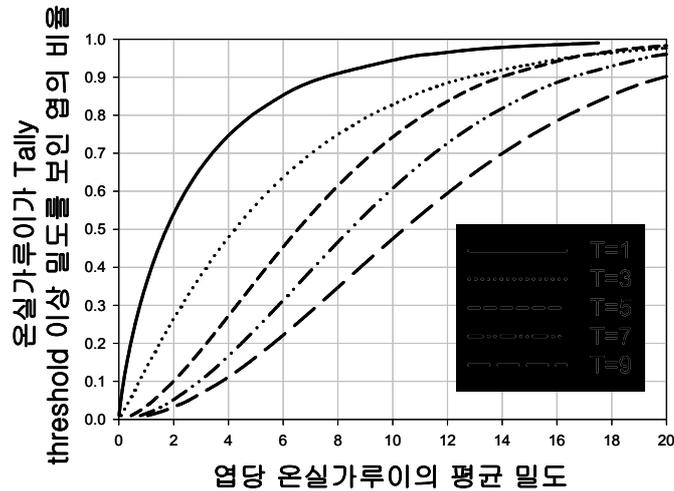


그림 3-127. 여러 Tally thresholds를 이용한 온실가루이의 육안조사를 위한 경험적 이항 표본 추출법의 표본 추출 정서선

그림 3-127.에서 각 tally threshold에 따라서 평균 밀도에 따른 감염비율의 곡선이 그려졌는데, 먼저 tally threshold가 1인 경우는 1마리라도 있게 되면 감염된 것으로 하여 계산하는 방법으로, 업당 온실가루이의 평균 밀도가 2마리인 경우 약 55%의 감염을 보이게 되며, tally thresholds가 3으로 증가하는 경우, 업당 평균 밀도가 2마리인 경우에는 약 25%정도의 감염율을 보이게 된다. 특히 tally threshold가 증가함에 따라 동일한 업당 온실가루이의 밀도를 기준으로 감염된 비율이 떨어지고 있었으며, 위의 그림만을 살펴 본다면, tally threshold가 3, 5, 7에서 매우 적절한 감염비율과 평균 밀도의 상관관계를 보이고 있음을 알 수 있었다(그림 3-127).

나) 온실가루이의 육안조사를 위한 경험적 이항 표본 추출법의 각 Tally thresholds에 따른 *d-value* 값(정확도)의 비교

경험적 이항 표본 추출법에서 구하여진 평균 밀도값은 이항 표본 조사법이 가지는 문제점을 먼저 해결해야만 한다. 이항 표본 조사법은 앞서 언급한대로 tally

threshold를 기준으로 대상 해충이 있는지 없는지를 구분하여 그 밀도를 간접적으로 추정하게 되며, 밀도의 추정에서 무엇보다도 중요한 점은 주어진 밀도의 분산추정치를 살펴보아야만 한다. 특히 경험적 이항 표본 추출법에 의해 제시된 평균 밀도는 감염비율, 이항 표본 추출법을 위해 추출된 표본수에 의해 영향을 받지 않을수록 좋은 표본 추출법이라고 할 수 있게 된다. 따라서, 본 장에서는 경험적 이항 표본 추출법의 분산추정치의 정도를 나타내는 정확도인 $d-value$ 값을 각 tally threshold 별로 살펴보고, 가장 적절한 tally thresholds를 선별하는 과정을 거친 결과를 나타내려 한다.

다음의 그림은 온실가루이의 육안조사결과를 이용한 경험적 이항 표본 추출법에서 계산된 분산추정치인 $d-value$ (정확도)를 각 표본 수별, 각 tally threshold 별로 나타낸 그림이다.

그림 3-128.에서 tally threshold는 경험적 이항 표본 추출법을 개발하는데 사용된 모든 tally threshold를 사용하였고, 이항 모형을 위한 표본수는 각 50, 100, 150, 200개인 경우를 상정하여 나타내었다.

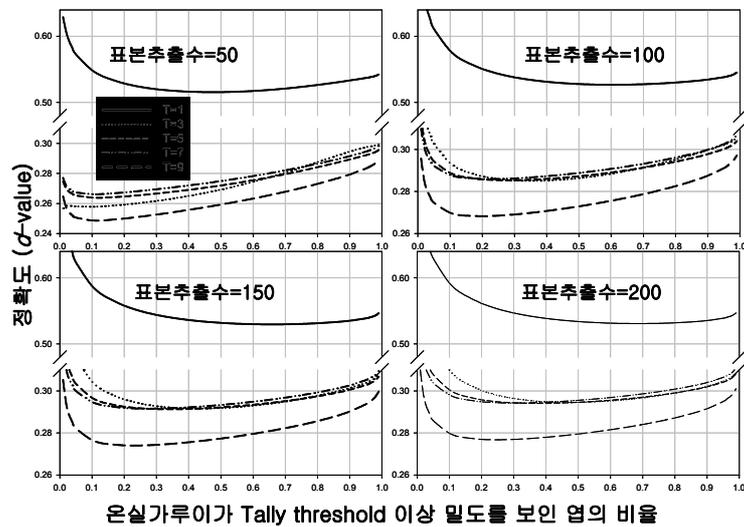


그림 3-128. 온실가루이의 육안조사결과를 이용한 경험적 이항 표본 추출법에서 계산된 분산추정치인 $d-value$ (정확도)

그림에서 평균의 분산추정치의 정도인 정확도(*d-value*)는 표본수에 따라 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 다만 표본수가 50개인 경우 정확도는 tally threshold가 9>3>5>7>1의 순이었지만, 100개 이상인 경우에는 tally threshold가 3, 5, 7에서 별다른 차이를 보이지 않았다. 모든 경우에서 정확도가 가장 좋은 것은 tally threshold가 9 일 때였다. 하지만 정확도가 가장 좋다고 최적의 tally threshold를 9로 설정하는 것은 적절하지 못한데, 먼저, tally threshold가 9인 경우, 감염된 여부를 살피기 위해 적어도 8마리의 온실가루이의 밀도를 세어야만 하고, 이 경우 이항 표본 추출법이 가지는 가장 커다란 무기인 빠른 감염 여부 확인과는 거리가 먼 상황으로 된다. 또한 가장 적은 tally threshold인 1의 경우 그 정확도가 다른 것들과는 많이 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서, 비슷한 정확도를 보이는 3, 5, 7 중의 하나를 선택하여야 하는데, 비슷한 정확도에서는 tally threshold가 낮을수록 이항 표본 추출법의 표본 추출에 필요한 관찰 시간이 절감되므로, 줄내림 방식의 시설토마토의 중단에서 관찰되는 온실가루이 노숙유충과 번데기의 밀도를 합한 값이 3인 경우를 선발하여야 하며, 따라서 최적의 tally threshold는 이 경우 엽당 3마리로 하여야 한다(그림 3-128).

다) 온실가루이 육안조사 결과를 이용한 경험적 이항 표본 추출법의 각 tally threshold별 OC와 ASN 값을 이용한 validation과 의사결정법.

앞서 언급했듯이, 경험적 이항 표본 추출법을 비롯한 모든 이항 표본 추출법은 추정된 밀도의 분산추정치의 비교가 중요하며, 또한 이를 이용하여 추정된 최적의 tally threshold를 기준으로 밀도의 추정이 필요하다고 하였다.

이항 표본 추출법의 전체적인 performance의 validation은 또한, 앞서 언급한대로 Operating characteristic(OC)값과 Average sample number(ASN)를 이용한다고 하였는데, 일반적으로 OC값은 1에서 0으로 밀도가 증가함에 따라 감소하는데, 그 감소의 폭이 매우 급격하게 되면, 최적의 tally threshold라고 하였으므로(Nyrop and Binn, 1992), 본 장에서는 각 tally threshold에 따른 OC와 ASN을 비교하여 최적의 tally threshold를 비교하고, 앞서 action threshold가 엽당 29마리인 것을 감안하여 이를 기

준으로 하는 의사결정법을 나타내겠다.

다음은 tally threshold가 1인 경우의 OC와 ASN값을 나타낸 그림이다. 모든 tally threshold에서 OC와 ASN을 위한 α, β -error 값은 각각 0.2와 0.3으로 하였으며, $\pm 10\%$ 의 confidence level을 이용하였고, action threshold는 엽당 29마리로 하였다.

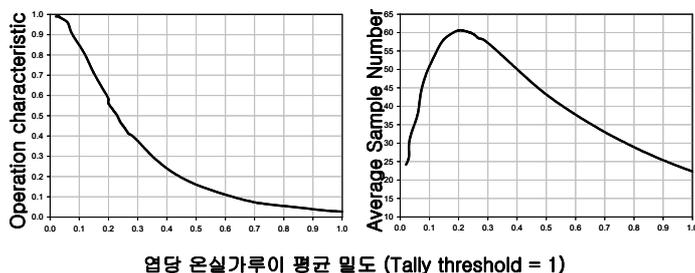


그림 3-129. Tally threshold가 1인 경우 경험적 이항 표본 추출법에서의 OC와 ASN 곡선

윗 그림에서 tally threshold가 1인 경우 OC곡선은 완만하게 1에서 0으로 감소하고 있는 것을 확인 할 수 있으며, 엽당 평균 밀도가 0.2 마리에서(OC값이 0.5일 때) 최대의 표본수를 요구하고 있는 것으로 나타났다.

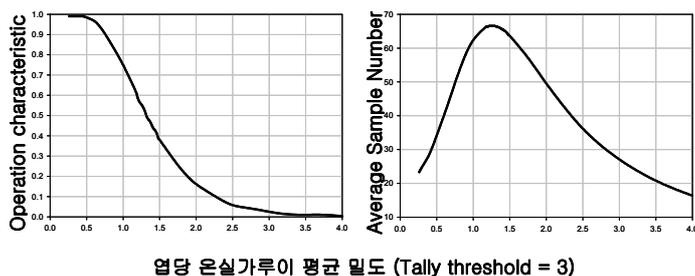


그림 3-130. Tally threshold가 3인 경우 경험적 이항 표본 추출법에서의 OC와 ASN 곡선

윗 그림에서 tally threshold가 3인 경우 OC곡선은 tally threshold가 1인 경우보다 보다 급하게 1에서 0으로 감소하고 있는 것을 확인 할 수 있으며, 엽당 평균 밀도가 1.25 마리에서(OC 값이 0.5일때) 최대의 표본수를 요구하고 있는 것으로 나타났다.

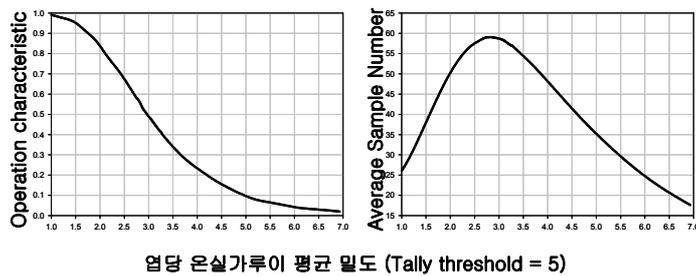


그림 3-131. Tally threshold가 5인 경우 경험적 이항 표본 추출법에서의 OC와 ASN 곡선

윗 그림에서 tally threshold가 5인 경우 OC곡선은 tally threshold가 1보다 급하게 1에서 0으로 감소하고 있었지만 3인 경우보다는 그 감소의 정도가 약간 덜 한 것을 확인 할 수 있으며, 엽당 평균 밀도가 2.8 마리에서(OC 값이 0.5일때) 최대의 표본수를 요구하고 있는 것으로 나타났다.

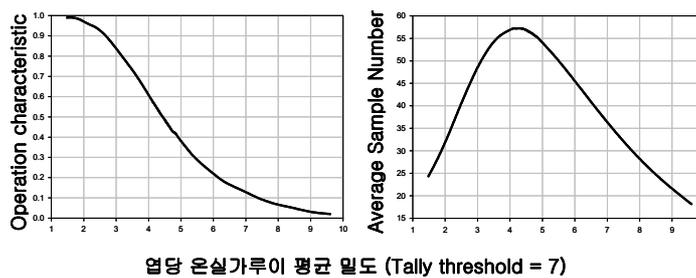


그림 3-132. Tally threshold가 7인 경우 경험적 이항 표본 추출법에서의 OC와 ASN 곡선

윗 그림에서 tally threshold가 7인 경우 OC곡선은 tally threshold가 5인 경우와 비슷하게 1에서 0으로 감소하고 있었으며, 엽당 평균 밀도가 4.3 마리에서(OC 값이 0.5일때) 최대의 표본수를 요구하고 있는 것으로 나타났다.

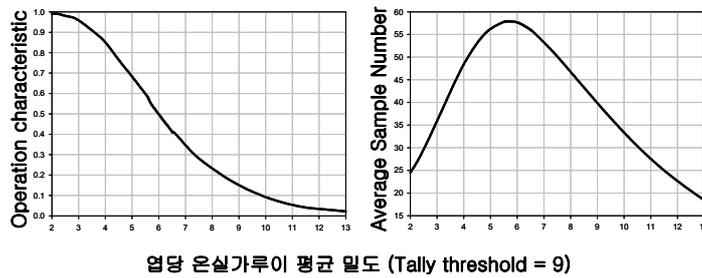


그림 3-133. Tally threshold가 9인 경우 경험적 이항 표본 추출법에서의 OC와 ASN 곡선

윗 그림에서 tally threshold가 9인 경우 OC곡선은 tally threshold가 5와 7인 경우와 비슷하게 1에서 0으로 감소하고 있었으며, 엽당 평균 밀도가 5.9 마리에서(OC 값이 0.5일때) 최대의 표본수를 요구하고 있는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, 최적의 tally threshold는 엽당 3마리의 밀도인 경우로 나타났다. 다음은 온실가루이의 이항 표본 조사로부터 나온 Tally threshold = 3인 경우를 이용한 의사결정법 곡선을 나타낸 그림이다.

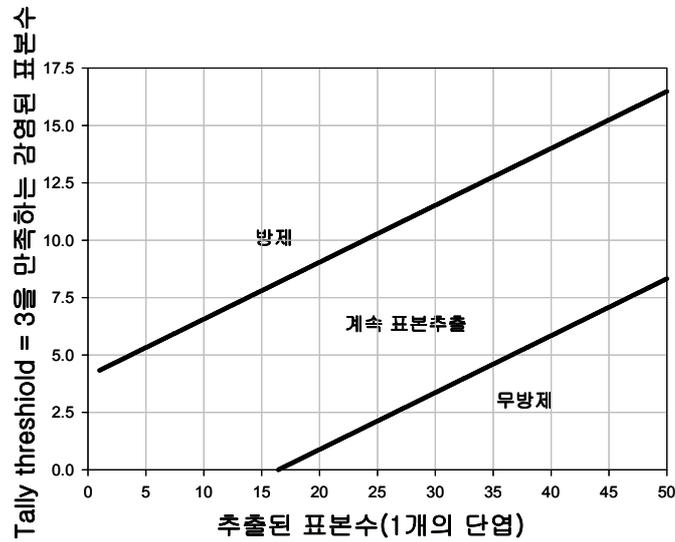


그림 3-134. Tally threshold가 3인 경우 온실가루이의 육안조사를 위한 이항표본 조사법의 결과를 이용하는 의사결정곡선.

윗 그림에 의하면, 줄내림 방식의 시설 토마토의 중단에서 단엽 30개(표본 추출 단위 10개)를 표본 추출하여 그 단엽중 3마리 이상의 온실가루이 노숙유충+번데기가 있는 표본수가 11개를 넘어가면 방제, 3개 미만이면 무방제로 나타나고 있다.

2) 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수를 이용한 Empirical binomial sampling plan.

표 3-38. 시설 토마토에서 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수를 이용한 경험적 이항 표본 추출법을 위한 tally threshold별 이항 표본 계수

Tally threshold	a'	b'	r^2	N	MSE
1	-0.88	1.54	0.54	41	0.27
3	0.13	0.86	0.65	74	0.16
4	0.33	0.76	0.67	83	0.15
5	0.50	0.71	0.71	86	0.13

Kono-Sugino의 경험적 이항 표본 추출법을 위한 변형된 감염비율과 평균 밀도의 관계에서는 Tally threshold가 증가하는 경우 점점 좋아지고 있는 것으로 나타났다.

가) 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수를 이용하여 여러 Tally threshold를 이용한 Empirical binomial sampling plan

다음의 그림은 Kono와 Sugino(1958)가 제안한 empirical binomial sampling plan에 따른 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수를 시설토마토 중단부위에서 육안 관찰한 결과를 이용한 이항 표본 추출법의 표본 추출 정시선을 여러 Tally thresholds에 따른 감염된 비율과 밀도를 기준으로 구한 것이다. 본 실험에서 Tally threshold는 1, 3, 4, 5의 4가지를 사용하였으며, 그 중 가장 적절한 밀도추정에 해당하는 Tally thresholds를 구하고자 하였다.

앞서 온실가루이와 다른 tally threshold를 사용하고 있는 것은 먼저, 아메

리카 앞굴파리의 밀도가 상대적으로 온실가루이의 밀도보다 낮은값으로 전 작기에서 나타나기 때문이며, tally threshold가 2인 경우는 tally threshold가 1인 경우와 동일한 감염수를 보였기 때문이다.

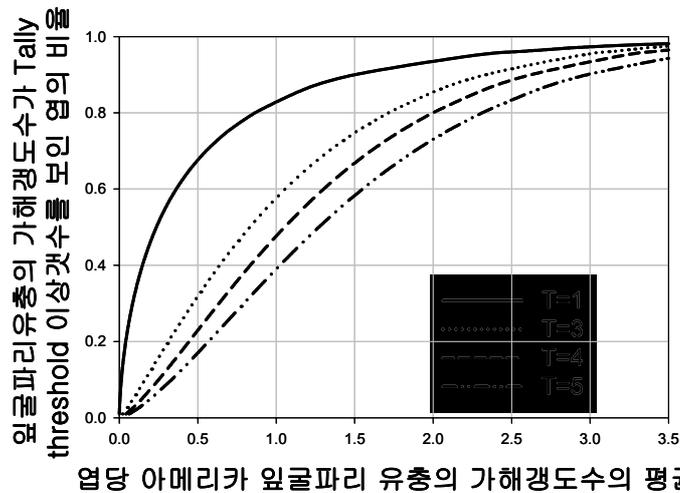


그림 3-135. 여러 Tally thresholds를 이용한 아메리카 앞굴파리 유충의 가해 강도수를 위한 경험적 이항 표본 추출법의 표본 추출 정시선

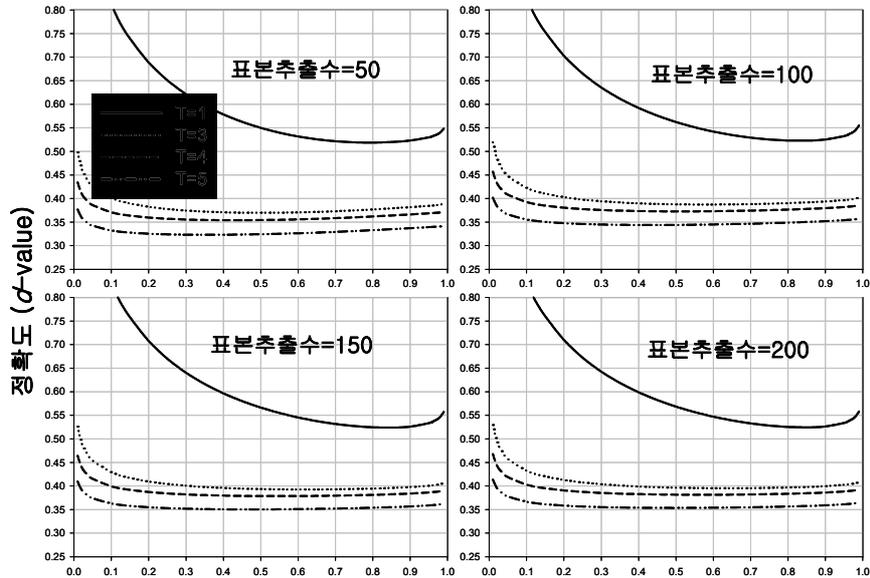
그림 3-135.에서 각 tally threshold에 따라서 평균 밀도에 따른 감염비율의 곡선이 그려졌는데, 먼저 tally threshold가 1인 경우는 1마리라도 있게 되면 감염된 것으로 하여 계산하는 방법으로, 엽당 아메리카 앞굴파리 유충의 가해 강도수를 평균이 0.5마리인 경우 약 68%의 감염을 보이게 되며, tally thresholds가 3으로 증가하는 경우, 엽당 평균 밀도가 2마리인 경우에는 약 32%정도의 감염율을 보이게 된다. 특히 tally threshold가 증가함에 따라 동일한 엽당 아메리카 앞굴파리 유충의 가해 강도수를 기준으로 감염된 비율이 떨어지고 있었으며, 위의 그림만을 살펴본다면, tally threshold가 3, 4, 5에서 매우 적절한 감염비율과 평균 밀도의 상관관계를 보이고 있음을 알 수 있었다(그림 3-135).

나) 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수를 위한 경험적 이항 표본 추출법의 각 Tally thresholds에 따른 d -value 값(정확도)의 비교

앞서 언급한 대로 경험적 이항 표본 추출법에서 구하여진 평균밀도값은 이항 표본 조사법이 가지는 문제점을 먼저 해결해야만 한다. 이항 표본 조사법은 앞서 언급한대로 tally threshold를 기준으로 대상 해충이 있는지 없는지를 구분하여 그 밀도를 간접적으로 추정하게 되며, 밀도의 추정에서 무엇보다도 중요한 점은 주어진 밀도의 분산추정치를 살펴보아야만 한다. 특히 경험적 이항 표본 추출법에 의해 제시된 평균 밀도는 감염비율, 이항 표본 추출법을 위해 추출된 표본수에 의해 영향을 받지 않을수록 좋은 표본 추출법이라고 할 수 있게 된다.

다음의 그림은 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수 결과를 이용한 경험적 이항 표본 추출법에서 계산된 분산추정치인 d -value(정확도)를 각 표본 수별, 각 tally threshold 별로 나타낸 그림이다.

그림 3-136.에서 tally threshold는 경험적 이항 표본 추출법을 개발하는데 사용된 모든 tally threshold를 사용하였고, 이항 모형을 위한 표본수는 각 50, 100, 150, 200개인 경우를 상정하여 나타내었다.



잎굴파리 유충의 가해 갱도수가 Tally threshold 이상 갯수를 보인 엽의 비율

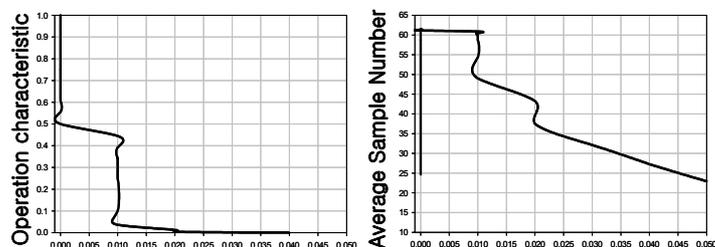
그림 3-136. 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수 결과를 이용한 경험적 이항 표본 추출법에서 계산된 분산추정치인 d -value(정확도)

그림에서 평균의 분산추정치의 정도인 정확도(d -value)는 표본수에 따라 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 여러 가지 표본수에서 tally threshold가 3, 4, 5에 따라 조금씩 정확도가 증가하는 모습을 보이고 있었지만, tally threshold 1은 모든 표본 추출수에서 매우 낮은 정확도를 보였다. 모든 경우에서 정확도가 가장 좋은 것은 tally threshold가 5 일 때였다. 하지만 정확도가 가장 좋다고 최적의 tally threshold를 9로 설정하는 것은 적절하지 못한데, 먼저, tally threshold가 5인 경우, 감염된 여부를 살피기 위해 적어도 4개의 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수를 세어야만 하고, 이 경우 이항 표본 추출법이 가지는 가장 커다란 무기인 빠른 감염 여부 확인과는 거리가 먼 상황으로 된다. 또한 가장 적은 tally threshold인 1의 경우 그 정확도가 다른 것들과는 많이 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서, 상대적으로 비슷한 정확도를 보이는 3,

4, 5 중의 하나를 선택하여야 하는데, 비슷한 정확도에서는 tally threshold가 낮을수록 이항 표본 추출법의 표본 추출에 필요한 관찰 시간이 절감되므로, 줄내림 방식의 시설 토마토의 중단에서 관찰되는 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갯도수가 3인 경우를 선택하여야 하며, 따라서 최적의 tally threshold는 이 경우 엽당 3개로 하여야 한다(그림 3-136).

다) 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갯도수 결과를 이용한 경험적 이항 표본 추출법의 각 tally threshold별 OC와 ASN 값을 이용한 validation과 의사결정법.

다음은 각각의 tally threshold에서의 OC와 ASN값을 나타낸 그림이다. 모든 tally threshold에서 OC와 ASN을 위한 α, β -error 값은 각각 0.2와 0.3으로 하였으며, $\pm 10\%$ 의 confidence level을 이용하였고, action threshold는 엽당 2개의 갯도수로 하였다.

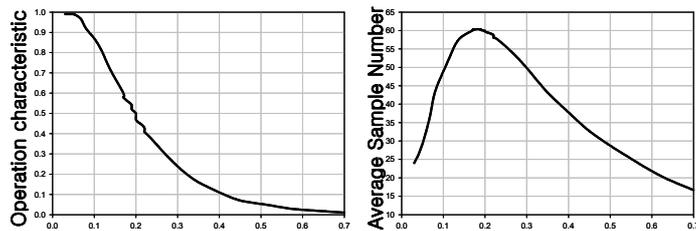


엽당 아메리카 잎굴파리 유충의 평균 갯도수(Tally threshold = 1)

그림 3-137. Tally threshold가 1인 경우 경험적 이항 표본 추출법에서의 OC와 ASN 곡선

윗 그림에서 tally threshold가 1인 경우 OC곡선의 확률값 자체가 밀도에 따라 전혀 의미없는 값으로 나타남을 알 수 있다. 밀도가 0일때, OC값이 0.5를 보임으

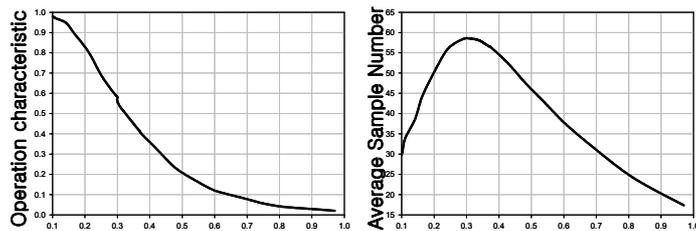
로 인해서 나온 현상이며, 이 경우 우리가 구한 OC 값과 ASN 값은 의미없는 값으로 나타나게 될 뿐이다. 따라서 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갯도수 결과를 이용하는 경험적인 이항 표본 추출은 Tally threshold가 1인 경우 무의미하게 된다.



엽당 아메리카 잎굴파리 유충의 평균 갯도수(Tally threshold = 3)

그림 3-138. Tally threshold가 3인 경우 경험적 이항 표본 추출법에서의 OC와 ASN 곡선

윗 그림에서 tally threshold가 3인 경우 OC곡선과 ASN곡선은 tally threshold가 1일 때와는 정반대로 의미있는 값으로 나타났다. OC값은 1에서 0으로 감소하고 있는 것을 확인 할 수 있으며, 엽당 평균 갯도수가 약 0.2개에서(OC 값이 0.5일 때) 최대의 표본수를 요구하고 있는 것으로 나타났다.



엽당 아메리카 잎굴파리 유충의 평균 갯도수(Tally threshold = 4)

그림 3-139. Tally threshold가 4인 경우 경험적 이항 표본 추출법에서의 OC와 ASN 곡선

윗 그림에서 tally threshold가 4인 경우 OC곡선과 ASN곡선은 tally threshold가 3일 때와 비슷하게 의미있는 값으로 나타났다. OC값은 1에서 0으로 tally threshold가 3일 때와 비슷하게 감소하고 있는 것을 확인 할 수 있으며, 엽당 평균 갱도수가 약 0.32개에서(OC 값이 0.5일때) 최대의 표본수를 요구하고 있는 것으로 나타났다.

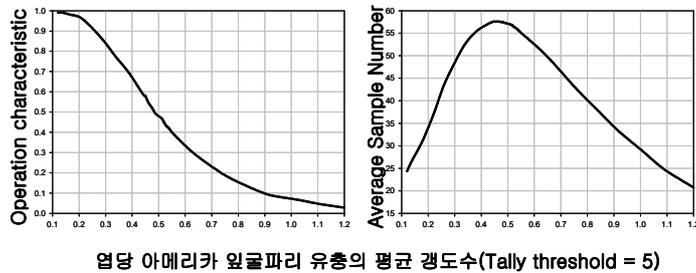


그림 3-140. Tally threshold가 5인 경우 경험적 이항 표본 추출법에서의 OC와 ASN 곡선

윗 그림에서 tally threshold가 5인 경우 OC곡선과 ASN곡선은 tally threshold가 3, 4일 때와 비슷하게 의미있는 값으로 나타났다. OC값은 1에서 0으로 tally threshold가 3과 4일 때와 비슷하게 감소하고 있는 것을 확인 할 수 있으며, 엽당 평균 갱도수가 약 0.48개에서(OC 값이 0.5일때) 최대의 표본수를 요구하고 있는 것으로 나타났다.

이러한 결과를 종합하여 볼때, 최적의 tally threshold는 엽당 갱도수가 3개일 때로 나타났다. 실제로는 정확도에서는 tally threshold가 3에서 5로 증가할 때 좋아지고 있음을 알 수 있었지만, 이항 표본 추출법에서 가장 장점으로 내세우는 표본 처리시간의 단축을 생각해 본다면 비슷한 performance를 보이는 tally threshold = 3이 최적으로 나타났다. 따라서 tally threshold가 3일 때의 의사결정법은 다음의 그림에 나

타냈다(그림 3-141).

그림 3-141.에 의하면, 줄내림 방식의 시설 토마토의 중단에서 단엽 30개(표본 추출 단위 10개)를 표본 추출하여 그 단엽중 3개 이상의 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 정도가 있는 표본수가 11개를 넘어가면 방제, 3개 미만이면 무방제로 나타나고 있다.

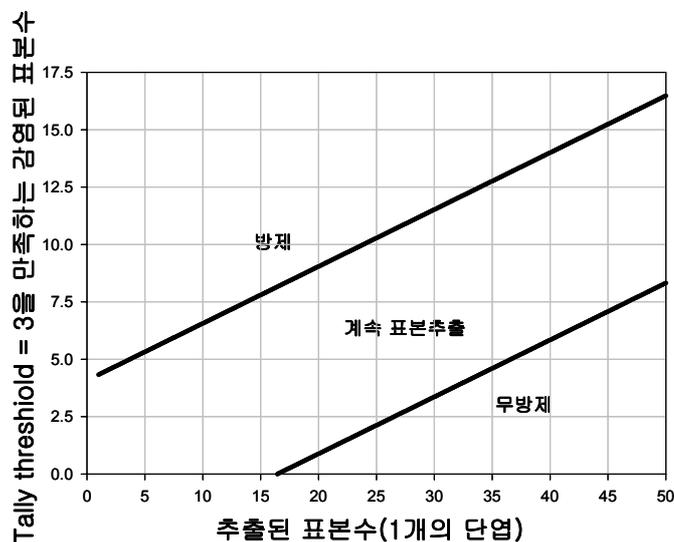


그림 3-141. Tally threshold가 3인 경우 온실가루이의 육안조사를 위한 이항표본 조사법의 결과를 이용하는 의사결정곡선.

라. 분할된 황색 점착 트랩(divided yellow sticky trap)조사를 이용한 Binomial sampling plan

앞서 언급한대로 황색점착트랩에 유인된 밀도의 분산은 점유된 셀 수의 증가에 따라 커지기 때문에, 점유된 셀에 대한 대상 해충의 산포 plot은 곡선을 이룬다. Steiner등(1999)은 이와 같은 결과에 의거하여 presence-absence 모델을 고안하였다.

$$\log_e(Y_i) = \alpha + \beta X_i$$

여기서 X_i 는 i 번째 트랩의 점유된 셀들의 수를, Y_i 는 음의 이항분포를 따를 것으로 추정되는 온실가루이 혹은 아메리카 잎굴파리의 수를 의미한다.

1) 분할된 황색점착 트랩을 이용한 divided binomial sampling plan - 밀도추정법

다음의 표는 앞서 언급된 binomial sampling plan을 위해 overdispersed poisson distribution을 이용한 generalized linear model을 이용한 divided binomial sampling plan을 위한 계수들이다. 온실가루이와 아메리카 잎굴파리의 결과를 동시에 나타냈으며, 온실가루이의 경우, 각 cell마다 감염되었는지를 파악하는 tally threshold를 1, 3, 5로 하여 각각 구해서 비교 하였으며, 아메리카 잎굴파리의 경우 tally threshold는 1과 3으로 하여 구하였다. 아메리카 잎굴파리의 tally threshold가 낮은 것은 상대적 인 밀도가 아메리카 잎굴파리가 낮기 때문이다.

표 3-39. 분할된 황색 점착 트랩을 이용한 이항 표본 추출법을 위한 계수

해충개체군	Tally threshold	α	β	ψ	이항모형에 사용된 표본수
온실가루이	1	-1.93	0.36	221.85	1672
	3	2.88	0.17	140.16	1672
	5	3.70	0.14	111.81	1672
아메리카 잎굴파리	1	1.56	0.04	20.85	1256
	3	1.72	0.03	26.60	1256

다음의 일련의 그림들은 분할된 황색점착 트랩의 각 cell에 각 tally

threshold 이상 대상 해충 개체군의 수가 유인된 경우 cell이 감염된 것으로 하여 감염된 cell의 수에 따른 전체 트랩에 유인되는 개체군의 추정 밀도의 관계를 그림으로 나타낸 것이다. 무엇보다 중요한 것은 본 과제에서의 황색점착 트랩의 유인기간은 일주일을 기본으로 하고 있다는 점이다. 만약 하루 단위로 유인된 밀도를 구하고 싶을 경우에는 다음의 그림들을 7로 나눈 값으로 생각해야만 한다.

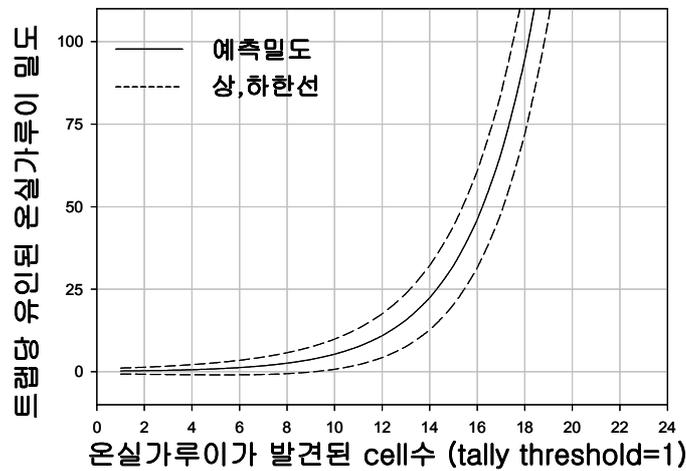


그림 3-142. Tally threshold가 1인 경우 온실가루이가 유인된 cell수에 따른 트랩의 온실가루이 밀도 추정 곡선

tally threshold가 1인 경우 감염된 cell수가 약 10개까지는 트랩당 밀도가 매우 낮고 10개 미만인 감염된 cell들이 발견되는 경우와 비교하여 트랩당 유인된 온실가루이의 밀도가 크게 다르지 않다. 감염된 cell수가 10개를 초과해서 추정 유인 온실가루이의 트랩당 밀도는 극적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 따라서 분할된 황색점착 트랩을 이용한 이항 표본 추출법에서 온실가루이의 tally threshold가 1일 때는 작기의 초기에 사용하는 것이 가장 좋을 것으로 생각되며, 만약 전체적으로 포장에 온실가루이 밀도가 높다고 생각될 경우에는 tally threshold를 바꾸는 것이 좋을 것으로 사료된

다.

다음으로 그림 3-143.에서 tally threshold가 3인 경우 tally threshold가 1일 때와는 전혀 다른 양상을 보이게 된다. 감염된 cell수가 늘어남에 따라 지속적으로 추정된 트랩에 유인된 온실가루이의 밀도가 증가하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 또한 cell 수가 20개를 넘어가는 경우 트랩당 밀도가 500마리를 초과하는 것을 알 수 있다. 따라서 이 경우에는 높은 밀도를 보이는 경우, 혹은 트랩을 이용하여 작기 중, 후반에 전체적으로 온실가루이의 밀도를 트랩으로 알아볼 때 유용하다고 할 수 있다.

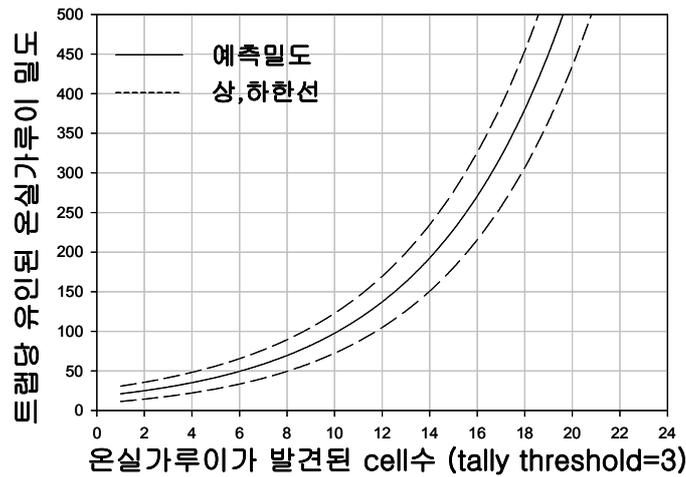


그림 3-143. Tally threshold가 3인 경우 온실가루이가 유인된 cell수에 따른 트랩의 온실가루이 밀도 추정 곡선

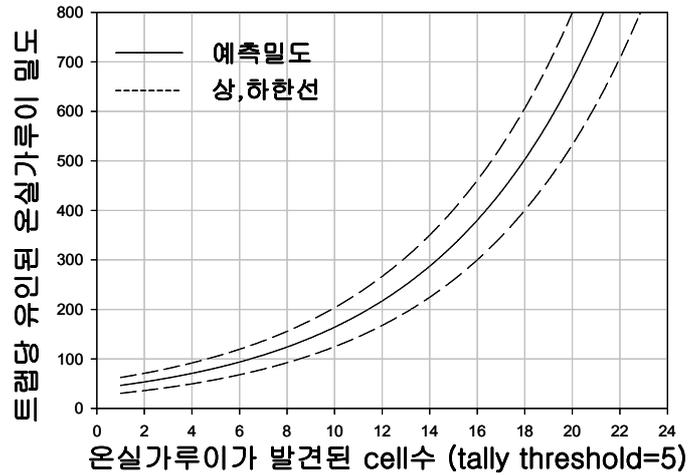


그림 3-144. Tally threshold가 5인 경우 온실가루이가 유인된 cell수에 따른 트랩의 온실가루이 밀도 추정 곡선

Tally threshold가 5인 경우에 밀도의 증가 예측은 tally threshold가 3일 때와 비슷하게 계속적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 하지만 전체적인 밀도의 수준은 상당히 높은 것을 알 수 있으므로, 이 경우에는 온실가루이의 밀도가 매우 높은 경우에 사용하면 적절할 것으로 사료된다.

다음의 그림들은 아메리카 앞굴파리를 이용하여 앞서와 동일하게 감염된 cell수와 트랩에 유인된 밀도를 추정한 곡선이다.

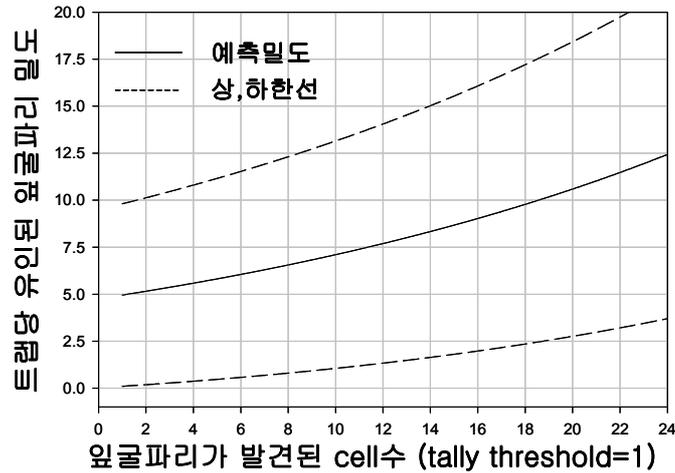


그림 3-145. Tally threshold가 1인 경우 아메리카 앞굴파리가 유인된 cell수에 따른 트랩의 온실가루이 밀도 추정 곡선

아메리카 앞굴파리에서 tally threshold가 1인 경우 최대 예측 밀도는 트랩 당 약 13마리 인 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 앞서 언급했다시피, 온실가루이의 밀도에 비하면 매우 미미한 밀도의 아메리카 앞굴파리가 관찰되었기 때문이다. 아메리카 앞굴파리 성충의 운동성을 생각해본다면, 매우 많은 수가 잡혀야 하는데 본 과제에서는 그렇지 않았는데, 그러한 이유를 여러해 실제 포장에서 연구한 바로는 첫째, 앞굴파리의 피해는 눈에 금방 들어오는 가해 강도로 나타나고, 둘째로는 이에 따라 대부분의 농민이 아메리카 앞굴파리 피해 강도를 보는 즉시 방제를 실시하며, 강도가 발견된 엽은 제거하므로, 밀도의 증가가 힘들게 되고, 또한 시설 온실의 환경이 매우 깨끗하므로, 아메리카 앞굴파리의 토양내 우화 빈도가 상대적으로 떨어지게 되기 때문이다. 따라서 본 연구과제의 실험결과를 기준으로 본다면, 위 그림은 매우 적절한 것으로 사료된다.

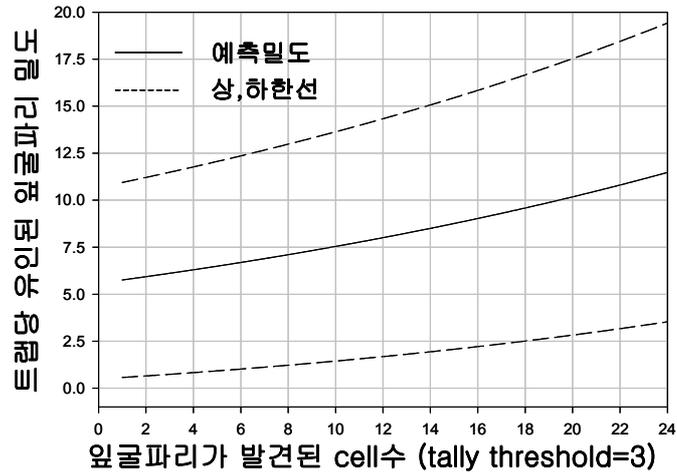


그림 3-146. Tally threshold가 3인 경우 아메리카 앞굴파리가 유인된 cell수에 따른 트랩의 온실가루이 밀도 추정 곡선

Tally threshold가 3인 경우의 그림을 자세히 보면, 그 밀도가 1인 경우와 유사함을 알 수 있다. 따라서 아메리카 앞굴파리의 경우에는 본 과제 실험상 매우 낮은 밀도만이 관찰되었으므로, 분할된 황생 점착 트랩을 이용한 이항 표본 추출법에 의한 밀도추정은 매우 낮은 밀도상황에서만 가능할 것으로 사료된다.

3-7. 표본추출방법의 개선 - geostatistics값인 Moran I's index를 이용한 Patch Size 결정

가. 해충 및 천적개체군의 정확한 공간분포 파악을 위한 Geostatistics법

농생태계 시스템에서 해충과 곤충천적의 효율적인 관리와 밀도추정을 위하여서는 해충과 천적의 포장내 공간분포 양식의 구명이 가장 선결과제이다. 현재까지 곤충 개체군의 특정환경에서 공간분포상(spatial structure; spatial distribution)을 조사하는 방법은 여러 학자에 의해 개발 및 응용되고 있는데, 이중 대표적인 것들은 아래와 같다.

① 수학적 분포(Mathematical distribution): 확률밀도함수(Probability density function)이용한 수리적인 이론에서 출발하는 것으로 해충방제에 이용되는 대표적인 것은 포아송분포(Poisson distribution)와 부의이항분포(Negative binomial distribution)등이다. 이와 같은 수리적모형은 곤충의 공간분포를 논리적으로 설명할 수 있는 장점이 있으나 부의이항분포를 제외하고는 해충과 천적의 집중도를 정량화 할 수 없는 단점이 있다. 하지만 부의이항분포에서 산출된 집중도 변수 k 값은 곤충밀도 변동에 매우 민감한 것으로 알려져 있어 곤충밀도가 변동이 심한 해충방제법에는 적용을 위하여서 매 조사시마다 새로운 k 값들은 계산해내어야 하는 어려움이 있어 그 적용이 매우 제한적일 수밖에 없다. 또한 동일한 조사결과가 포아송분포와 부의이항분포를 동시에 만족시키는 경우가 많아 곤충 분포양식 구명에 오류를 범할 수 있는 어려움이 있다. 이것은 수학적 이론에 의해 제시된 각 분포에 정확하게 맞춰지는 개체군이 자연계에는 존재하지 않기 때문으로 볼 수 있다.

② 분산(variance)과 평균(mean)의 관계: 확률밀도함수를 포함하는 수학적 분포양식과는 달리, 조사 지역 내에서 계산된 평균과 분산과의 관계를 이용하여 공간분포양식 구명방법은 다음과 같다. 분산과 평균비율, Lloyd의 Mean

crowding 지수(m^*), Morisita 지수(I_m) 및 Green 지수(C_x), 등이 있다. 이러한 분포성향지수는 평균과 분산의 비에서 출발한 것이며, 평균밀도와 분산이 각 지수에서 중요한 역할을 하고 있으므로, 평균에 종속적인 값을 나타내게 되어 밀도에 따른 지수의 변동이 심하게 나타나는 단점이 있으며 이들 값들은 조사표본크기(sampling unit)에 매우 민감한 것으로 알려져 있다.

③ 회귀법을 이용한 경험적 방법: Taylor's power law(TPL)와 Iwao's patchiness regression(IP)으로 이 두 방법은 평균과 분산을 이용하는 분포성향지수처럼 평균과 분산으로 계산하지만, 분포성향지수가 가지는 단점인 밀도에 따라 지수가 변하는 것이 해결된 방법이다. 이 방법은 평균과 밀도의 관계를 변환시켜 일정한 직선회귀식으로 나타내는 방법으로 TPL은 평균과 분산의 관계를 [분산 = $a(\text{평균})^b$]로 놓은 뒤 각 변을 로그로 치환하여 [$\log(\text{분산}) = \log a + b \log(\text{평균})$] 직선회귀식에서 a 와 b 값을 구하는 방법이며, IP는 Lloyd's mean crowding 지수(m^*)를 사용하여, [$m^* = \alpha + \beta(\text{평균})$]으로 하여 α 와 β 를 구한 뒤, [$(\text{분산}) = (\alpha + 1)(\text{평균}) + (\beta - 1)(\text{평균})^2$]의 관계를 살피는 것인데, 회귀계수가 밀도에 독립적이므로, 밀도추정 및 의사결정식에 이용되는 방법이며, 현재 가장 많이 사용되는 공간분포상을 파악하는 방법이다. 하지만, 회귀법은 회귀하는 하나의 점이 여러 자료의 평균과 분산을 대표하고 있으므로, 회귀식에 쓰이는 자료들은 모두가 공간적으로 서로 독립적이어야만 한다는데 문제가 발생한다. 표본추출로 얻어진 모든 자료가 독립적이기 위해서는 각 자료간의 관계를 살펴야 하는데, 회귀법은 각 자료의 관계를 설명하지 못하기 때문이다.

위에서 설명한 모든 방법들은 표본의 조사표본내 위치를 고려하지 않고 단지 평균과 분산, 혹은 확률밀도 함수만을 고려하여 개발되었기 때문에, 만약 동일한 평균과 분산을 가지는 조사결과는 항상 동일한 집중도를 보이게 된다. 하지만 해충에 의한 작물의 피해는 작물재배 포장만 평균해충밀도와 이들의 분산에 의하여 영향을 받

는 것이 아니라 이들 동일한 평균밀도와 분산을 가진 해충이 서로 얼마나 가깝게 분포하는가에 의하여 결정된다. 동일한 원칙이 생물적 방제에도 적용될 수 있다. 해충의 밀도가 일정한 공간 내에서 서로 얼마나 의존적으로 분포하는 정도에 따라서 천적의 방사량과 방사위치가 결정된다. 만약 해충밀도가 일정지역에 서로 높은 관계를 가지고 분포하면 방사량과 방사위치는 한곳에 집중적으로 투입되어야 하지만, 반대 경우에는 적은양의 방사량과 많은 수의 방사위치를 설정하여야 효과적인 생물적방제를 기대할 수 있게 된다. 따라서 조사표본들의 위치를 고려하지 않은 경험식으로 추정된 해충과 천적의 집중도 그 사용과 적용에 큰 제한성을 가지게 된다. 아직까지 화학적방제와 생물적방제에 이용되는 공간분포양식 구명은 경험적모형에만 의존하고 있는 실정이며 조사표본 위치는 적절히 고려하고 있지 못하다.

최근 생태학자들을 중심으로 조사지역내 표본위치를 고려한 공간분포양식 구명방법인 geostatistics를 이용하여 자연계에 존재하는 생명체들의 분포양식을 설명하려는 시도가 진행되고 있다. Geostatistics는 Tobler의 법칙인 “모든 것은 관계를 가지고 있지만, 가까운 것이 먼 것보다 밀접한 관계를 가지게 된다”라는 법칙에서 출발하는 것으로 광물탐사에 그 동안 지속적으로 이용되고 있다. 대부분 지하에 부존 하는 원유나 금맥의 분포 및 부존량은 거리가 가까울수록 서로 밀접한 관계를 가지고 있어서 제한된 수의 탐사로 지하자원의 분포 및 부존량을 정확히 예측할 수 있게 된다. 즉 geostatistics는 각 자료값의 밀도에 대한 관계를 거리의 함수로 나타낸 것이므로 이를 설명하는 방법에는 spatial autocorrelation과 semivariance등이 가장 널리 쓰이는 방법들이다. 본 연구 과제에서는 그간 자연계 설명에 유용하게 사용되어 오고 있는 spatial autocorrelation 방법중 Moran's I 값을 이용하여 해충과 천적시스템에 적용 및 분석을 시도하였다. Moran's I 값은 지정된 한 조사값을 중심으로 여러 거리단계(lag distance) 가능한 모든 상관관계를 맺는 방법이다. 이러한 수행을 모든 조사값을 대상으로 수행하게 되는데 거리가 멀어질수록 상관관계를 맺는 조사 값들의 쌍수는 줄어들게 된다. 일반적으로 조사쌍의 수가 50이상 되어야만 생물학적으로 해석이 가능한 것으로 알려

져 있다.

Moran's I 값은 다음의 식으로 계산되는데

$$I(d) = \frac{n \sum_i \sum_j w_{ij} (z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{W \sum_i (z_i - \bar{z})^2}$$

여기서 z_i, z_j 는 각각 i 와 j 위치의 자료값이며 \bar{z} 는 평균, w_{ij} 는 i 와 j 가 표본간격거리인 d 내에 있는 경우 1이고 그 이외의 경우는 0이며, W 는 표본간격거리인 d 에서의 (i, j) 쌍의 수이다. 이러한 Moran's I index는 -1에서 +1까지의 값을 가지는데, -1은 강한 부의 상관관계(strong negative correlation)를 +1은 강한 정의 상관관계(strong positive correlation)를 보이며, 0일 때 각 자료가 독립이라는 결과를 나타내게 된다. 예를 들어 표본추출한 후 Moran's I index 결과가 표본추출위치 사이에서 positive한 경우라면, 그 거리에서 개체들은 집중하고 있다는 것이며, 개체군이 존재하는 환경(patch)은 동일한 환경(Homogenous environment)이라는 의미를 지닌다. 즉 Moran's I 값은 대상 개체군이 가지는 분산력(거리) 및 대상개체군의 patch size를 결정 가능하다. 동일한 patch에 많은 수의 해충이 있는 경우 화학적, 생물학적 방제는 그 지역에 집중되어야 한다.

나. Moran's I index를 이용한 patch size 결정

다음의 그림은 온실가루이와 아메리카 잎굴파리 각각의 육안 조사와 트랩 조사에 따른 patch size를 구하기 위해 Moran's I index 값을 각각 계산한 결과이다.

다음의 그림 3-147은 온실가루이의 육안조사 결과를 이용한 Moran's I index를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 약 11m 정도의 patch size를 유지하고 있으며, 약 11 m 정도의 거리내에서는 동일한 공간분포상을 가지고 있다는 의미로 해석될 수 있으므로, 온실가루이의 육안조사를 위한 각 표본간의 거리는 적어도 11m를 유지해야만 한다는 결론이 나온다.

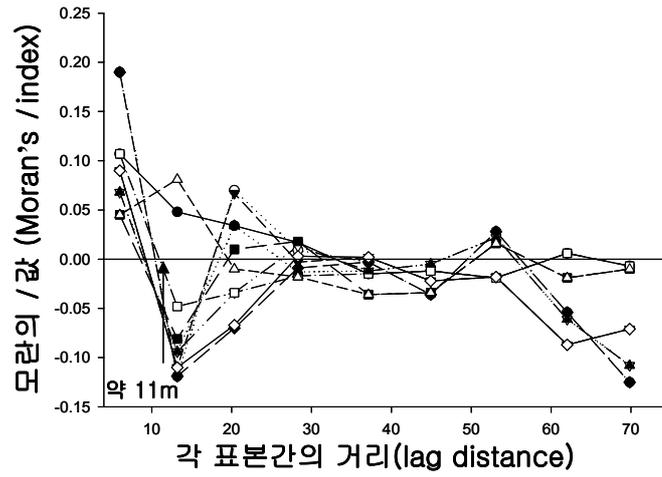


그림 3-147. 온실가루이의 육안조사 각주별 결과를 이용한 Moran's *I* index

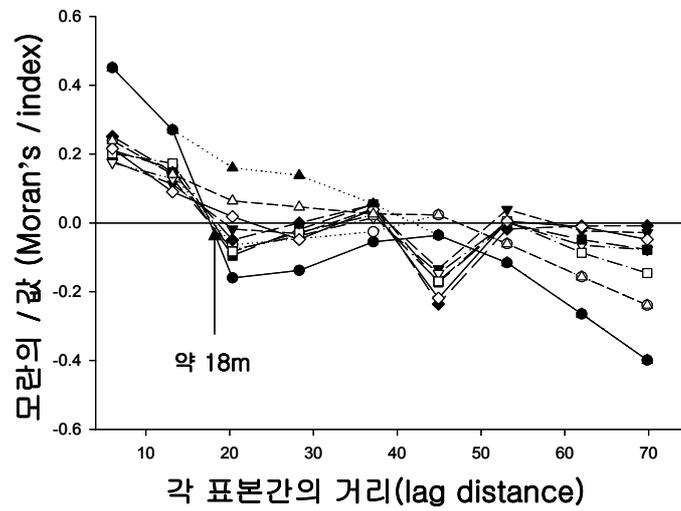


그림 3-148. 온실가루이의 트랩조사 각주별 결과를 이용한 Moran's *I* index

윗 그림은 온실가루이의 트랩조사 결과를 이용한 Moran's I index를 보여 주고 있다. 그림에서 보듯이 약 18m 정도의 patch size를 유지하고 있으며, 약 18 m 정도의 거리내에서는 동일한 공간분포상을 가지고 있다는 의미로 해석 될 수 있으므로, 온실가루이의 트랩조사를 위한 각 트랩간의 거리는 적어도 18m를 유지해야만 한다는 결론이 나온다.

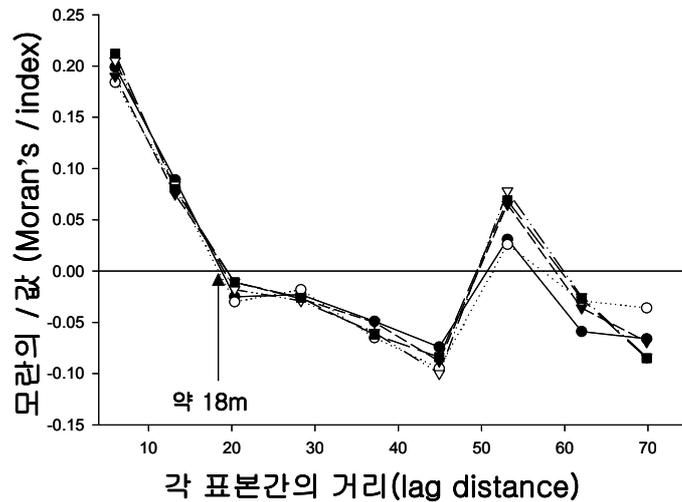


그림 3-149. 아메리카 잎굴파리 유충의 갱도수 육안조사 각주별 결과를 이용한 Moran's I index

윗 그림은 아메리카 잎굴파리 유충의 갱도수 육안조사 결과를 이용한 Moran's I index를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 약 18m 정도의 patch size를 유지하고 있으며, 약 18 m 정도의 거리내에서는 동일한 공간분포상을 가지고 있다는 의미로 해석 될 수 있으므로, 아메리카 잎굴파리 유충의 갱도수 육안조사를 위한 각 표본

간의 거리는 적어도 18m를 유지해야만 한다는 결론이 나온다.

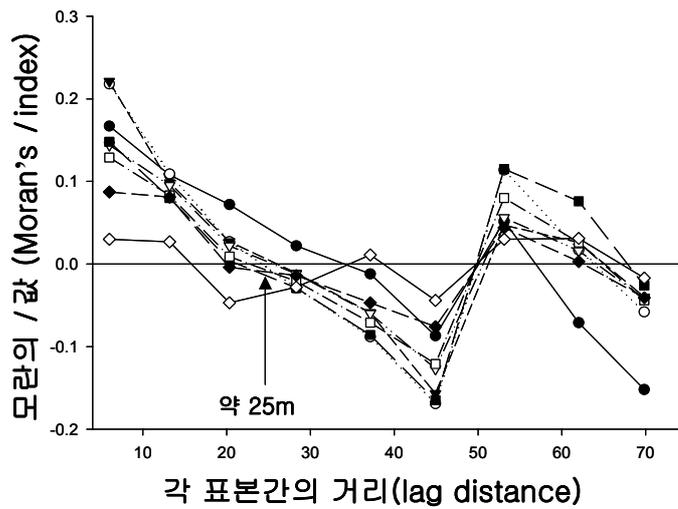


그림 3-150. 아메리카 잎굴파리의 트랩조사 각주별 결과를 이용한 Moran's *I* index

윗 그림은 아메리카 잎굴파리의 트랩조사 결과를 이용한 Moran's *I* index 를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 약 25m 정도의 patch size를 유지하고 있으며, 약 25m 정도의 거리내에서는 동일한 공간분포상을 가지고 있다는 의미로 해석 될 수 있으므로, 아메리카 잎굴파리의 트랩조사를 위한 각 트랩간의 거리는 적어도 25m를 유지해야만 한다는 결론이 나온다.

3-8. 시설 토마토 해충 개체군 동태모형 - exponential 모형을 이용한 개체군의 밀도 증가 모형

시설 토마토 해충 개체군의 밀도 조사에 이은 평균 밀도의 예측은 앞서 개발된 표본 추출법을 이용하여 가능하게 된다. 하지만 실제 농민이 계속적으로 표본을 추출하고, 그것을 이용해서 밀도를 추정하는 것은 매우 어려운 일이라고 할 수 있다. 따라서 본 장에서는 초기에 시설 토마토 해충의 생태적인 개체군 동태모형을 간단하게 만들어 온도에 따른 밀도 변화를 예측하는 모형을 이용하여, 초기에 밀도 추정 이후에 계속적인 온도변화에 의한 밀도변동을 알 수 있도록 한다.

가. 시설 토마토 해충 개체군 동태 예측을 위한 예측 모형

개체군 초기 밀도 이후, 평균 온도의 변화에 따른 Degree Day 모형을 이용하여 다음의 exponential 모형을 사용하여 개체군의 밀도를 예측한다.

$$N_t = N_0 \exp(rt)$$

여기서 N_t = 누적적산온도를 기준으로 한 t 세대 후의 밀도이고, N_0 = 초기해충의 밀도(Sampling에 의해 구한 밀도)이며, r = 개체군 내적 자연증가율 이고, t = 누적 적산 온도에 따른 t 세대를 의미한다.

이 exponential 모형은 매우 간단하고, 신속한 계산을 가능하게 하며, Degree day값을 이용하기위한 온도자료 조건과 온도의 변동 패턴, 또한 각 해충 개체군의 알-성충까지의 Degree day 값, 내적 자연 증가율 값 등만 있으면 밀도의 변동을 rough하지만 쉽게 예측 가능하게 된다.

나. 온도변화와 해충 개체군의 밀도 변동 예측에 필요한 자료

일반적으로 온도변화를 농민이 계속적으로 관찰하여 그 결과를 이용하여

모형으로 예측을 하는 것은 매우 힘들다고 볼 수 있다. 따라서 본 과제에서는 전국에서 시설 토마토를 많이 하는 지역인 충청남도 부여의 시설 토마토 엽 아랫면의 온도와 전남 담양의 시설토마토 엽 아랫면의 온도를 기준으로 총 20일 간의 온도 패턴을 제시하였다. 온도 패턴은 20일간 엽 아랫면의 평균온도가 변화하는 양상을 나타낸 것으로서, 저온-저온, 저온-중온, 중온-저온, 중온-중온, 중온-고온, 고온-중온, 고온-고온의 총 6가지 패턴이며, 대표적인 온도를 산출하였다(표 3-40).

표 3-40. 충남 부여 지역, 전남 담양지역의 엽 아랫면 온도변화에 의거한 20일 간의 7가지 온도패턴에 의한 평균 기온(℃)

온도 패턴	1 일	2 일	3 일	4 일	5 일	6 일	7 일	8 일	9 일	10 일	11 일	12 일	13 일	14 일	15 일	16 일	17 일	18 일	19 일	20 일
저온-저온	21.4	22.0	22.5	22.8	20.8	20.1	22.1	22.3	21.9	21.5	20.9	20.4	20.8	20.2	19.8	19.9	19.8	19.7	19.5	19.6
저온-중온	21.2	22.0	21.6	21.5	21.0	21.5	21.5	22.3	21.9	22.5	23.3	22.9	23.5	23.1	24.0	23.7	23.9	24.0	24.1	24.2
중온-저온	26.5	26.3	26.5	25.9	25.8	25.5	25.6	25.2	25.3	24.0	24.2	23.9	23.5	23.4	23.5	23.4	22.9	22.8	22.5	21.9
중온-중온	24.1	24.6	24.6	24.8	24.9	25.0	24.9	25.2	25.5	25.6	25.5	24.8	24.9	25.0	26.0	26.1	25.9	25.8	25.9	26.1
중온-고온	25.1	25.5	25.8	26.0	26.1	26.1	26.3	26.5	26.5	27.5	27.7	28.5	28.8	29.8	30.1	32.2	31.9	32.0	32.5	32.6
고온-중온	34.2	34.1	34.0	34.4	33.9	33.1	32.8	32.5	32.7	30.8	30.2	29.8	29.5	28.8	28.2	27.9	27.7	27.2	26.5	27.2
고온-고온	31.8	31.9	32.2	32.0	32.3	32.1	33.0	32.9	32.9	33.1	33.2	33.0	33.2	33.8	33.7	32.8	32.5	32.8	32.9	32.8

위에 보이는 온도 패턴에 맞추기 위해 시설 토마토 해충 개체군의 밀도증가에 영향을 주는 값들을 여러 문헌에서 조사하였는데(Parrella, 1984; Gerling, 1990; Seth and Sharma, 2001), 다음의 표에 정리하였다.

표 3-41. 시설 토마토 해충 개체군의 동태모형을 위한 기본 자료

해충 개체군	내적 자연증가율	Degree Day값 (알-성충 누적)	발육 0점 온도	성비
온실가루이	0.065	380	8.3 °C	0.58
잎굴파리	0.161	240	10.5 °C	0.50
거세미나방	0.200	551	10.5 °C	0.50

해충 개체군의 Degree day 계산은 Degree day = 일일 평균 온도 - 발육 0점온도로 하게 된다. 위의 20일간 온실에서 식물체 앞위의 온도의 변화를 7가지로 보았을 경우의 일반적인 온도변화값인 표 3-40.을 이용하여 매일매일의 degree day를 계산하여 이를 누적시킨 다음, 그 누적값이 위의 표 3-41.에서 제시한 알-성충의 누적 degree day를 넘는다면 1세대가 지난 것으로 간주하여 계산한다.

다음은 대표적인 계산의 예 이다.

저온-중온(20일간 저온 상태에서 온도가 서서히 올라가는 경우)에서 온실 가루이의 경우

$$1일 : 21.2 - 8.3 = 12.9$$

$$2일 : 22.0 - 8.3 = 13.7 \rightarrow 12.9 + 13.7 = 26.6$$

$$3일 : 21.6 - 8.3 = 13.3 \rightarrow 12.9 + 13.7 + 13.3 = 39.9 \dots$$

이런 식으로 계속적으로 계산하고 누적, 합해준다

위의 계산의 예처럼 Degree day를 합한 누적 degree day가 380을 넘는 경우 t 가 1세대 지난 것으로 보아야 하며, 만약 초기 밀도가 하나의 엽당 평균 10마리인 경우, 온실가루이의 sex-ratio가 0.58 이므로 암컷은 6마리이고, 누적적산온도로 한 세대가 지난 경우 다음과 같이 밀도가 증가하게 된다(암컷의 밀도)

$6 * \exp(0.065) = 6.4$ 마리 => 암컷 7마리(토마토 주의 중단에서의 엽당 평균밀도)

즉 암컷과 수컷을 합친 엽당 평균 밀도는 12마리가 된다.

다음의 그림은 앞서 두 표에서 제시한 온도의 변화와 개체군의 기본 자료를 이용하여 각 패턴에 따른 밀도의 변화를 나타낸 그림이다. 여기서 온실가루이의 초기 밀도는 엽당 10마리로 하고, 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 강도수는 엽당 평균 1개, 담배거세미 나방의 초기 밀도는 엽당 1마리로 하여 계산하였다.

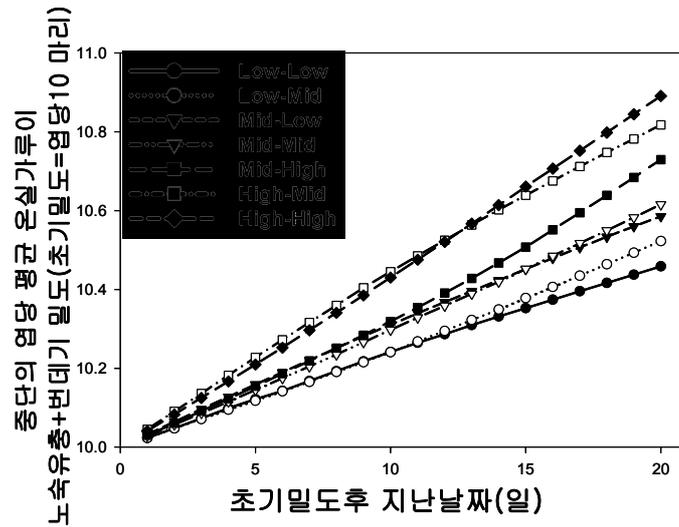


그림 3-151. Exponential 개체군 동태 모형과 7가지 온도 패턴에 따른 20일간의 초기밀도에 따른 시설 토마토 중단의 온실가루이 노숙유충+번데기 밀도의 변화

그림 3-151.에서 온실가루이의 초기 밀도는 엽당 10마리였는데, 20일 후에는 각 온도 패턴 별로 각각 다른 밀도를 보이게 된다. 중요한 점은 단위엽당 밀도를 계산한 것이므로, 표본 추출 단위를 이용하게 되면 이 밀도의 3배로 증가하게 된다는 것이다.

동일하게 다음의 그림 3-152는 아메리카 잎굴파리 유충의 초기 가해 강도 수를 엽당 10개로 하여 계산한 것이다. 초기 강도수가 엽당 1개에서 20일 후에는 각 온도 패턴 별로 각각 다른 강도수를 보이게 된다. 중요한 점은 단엽당 강도수를 계산한 것이므로, 표본 추출 단위를 이용하게 되면 이 강도수의 3배로 증가하게 된다는 것이다.

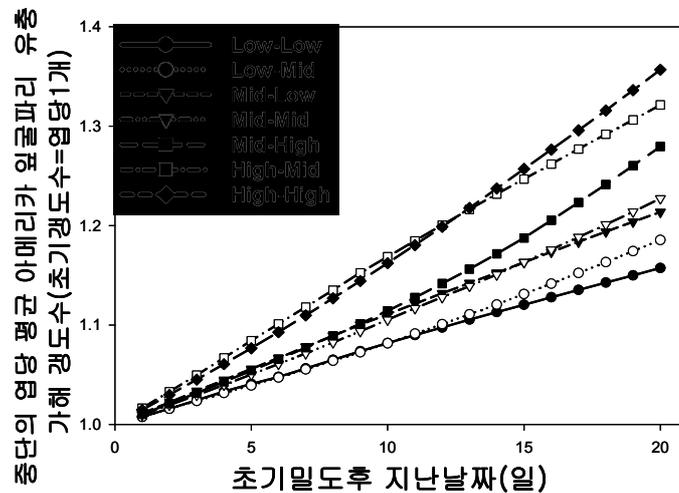


그림 3-152. Exponential 개체군 동태 모형과 7가지 온도 패턴에 따른 20일간의 초기 강도수에 따른 시설 토마토 중단의 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 강도수의 변화

동일하게 다음의 그림 3-153은 담배 거세미 나방 유충의 초기 밀도를 엽당 1마리로 하여 계산한 것이다. 초기 강도수가 엽당 1마리에서 20일 후에는 각 온도 패턴 별로 각각 다른 밀도를 보이게 된다. 중요한 점은 단엽당 밀도를 계산한 것이므로, 표본 추출 단위를 이용하게 되면 이 밀도의 3배로 증가하게 된다는 것이다.

이와 같이 7가지의 온도 패턴을 이용하여 표본 추출 단위당 시설 토마토 해충 개체군의 밀도 변동을 알아볼 수 있으며, 계속적인 표본 추출이 불가능한 상황이 되면, 자동적으로 계산하는 프로그램을 이용하여, 어느정도의 시간이 흐른 뒤에 밀도가

증가하는 지를 살펴 방제 의사 결정에 참고하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

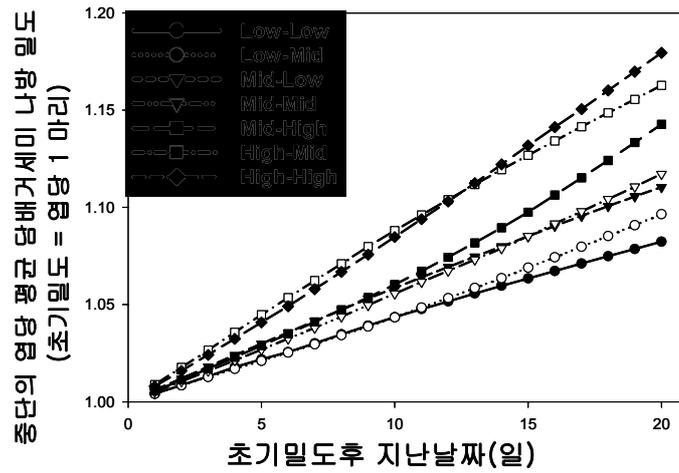


그림 3-153. Exponential 개체군 동태 모형과 7가지 온도 패턴에 따른 20일간의 초기밀도에 따른 시설 토마토 중단의 담배 거세미 나방의 유충밀도의 변화

3-9. 분할된 황색 점착 트랩을 이용한 이항 표본 추출법을 위한 황색점착 트랩의 제작

본 과제의 백미는 여러 가지 어려운 공식을 이용한 표본 추출법의 개발이 아닌 빠르고 정확한 밀도의 추정이 가능한 황색 점착 트랩을 개발 하고 상용화 하여, 여러 가지 방법으로 분리되어 있던 표본 추출법을 사용하는 것이 아닌 단일한 표본 추출법을 만드는 데 그 중요함이 있다고 하겠다. 따라서 본 과제에서는 여러 가지 자료값 과 연구 결과를 총합하여 다음과 같은 황색 점착 트랩을 만들게 되었다.

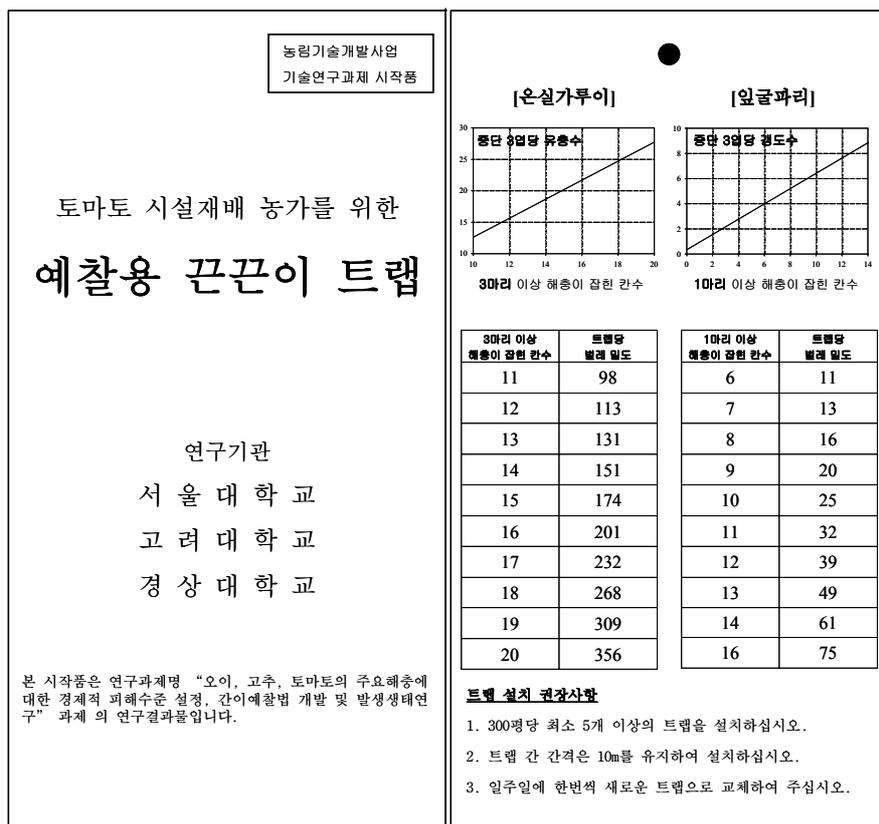


그림 3-154. 시제품으로 제작할 황색점착트랩의 겉포장과 뒷면의 내용

그림 3-155.는 황색 점착 트랩에 들어갈 내용을 나타낸 표와 그림을 묶어 놓은 그림이다. 이 그림을 이용하여 시판용 황색 점착 트랩의 시제품을 제작하였다.

다음의 사진은 아직 공장에서 제작하고 있는 시제품 사진이다

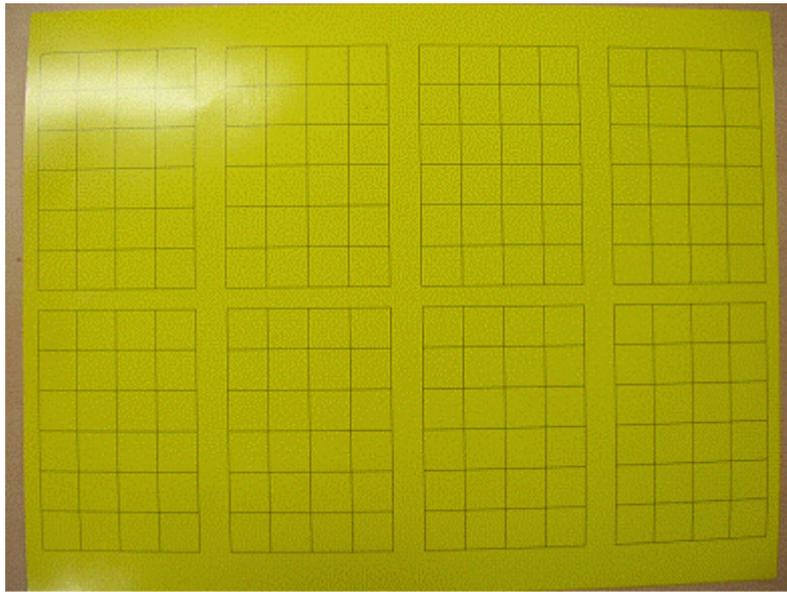


그림 3-155. 시제품으로 제작한 황색점착트랩의 시설토마토 해충 유인면 - 4X6의 24개의 cell로 이루어져 있으며, 각 cell은 $2 \times 2 \text{cm}^2$ 의 정사각형이다

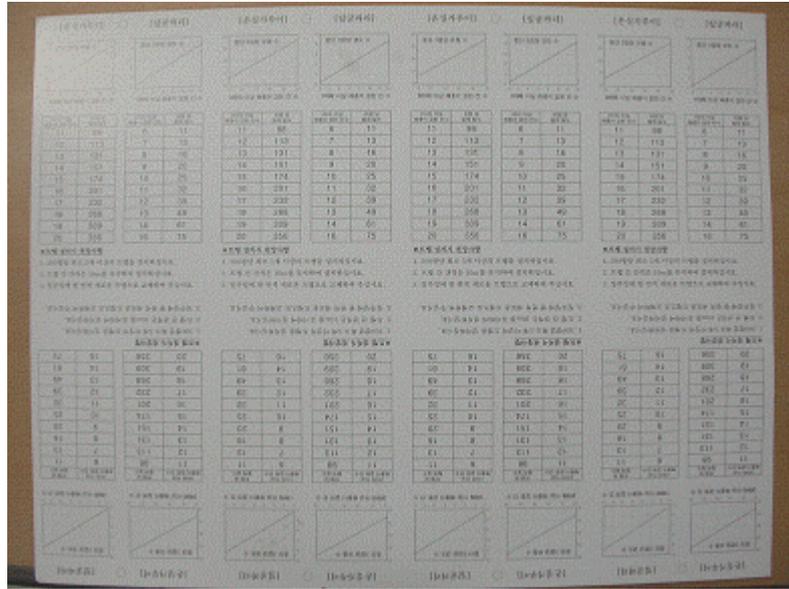


그림 3-156. 시제품으로 제작한 황색점착트랩의 사용법이 적하면 - 해충을 유인하는 면의 반대면이다

위의 그림들에서 보여지는 황색점착트랩은 그 크기와 색, 또한 시설 토마토의 주요 해충인 온실가루이와 아메리카 잎굴파리의 밀도를 효과적으로 예측할 수 있는 도구가 될 수 있으며, 특히 현재까지 여러 업체에서 제작하여 색과 크기가 각각 다른 트랩을 이용하였으므로, 각 학제간의 긴밀한 연구 효과의 비교 및 실제 농민의 사용 등이 매우 어려웠지만, 본 연구 결과 시제품인 해충 개체군 유인용 황색 점착 트랩은 그러한 문제점을 완전히 해결 가능할 것으로 사료된다.

3-10. 요약과 결론

시설토마토 해충의 경제적 피해수준 설정에 있어서, 해충에 의한 피해수준의 정량화는 피해에 따른 수확량 및 품질 저하를 파악하는데 있어 가장 기본적인 단계라 할 수 있다. 하지만 실제 포장에서 해충의 피해를 정량화 하고 그에 따른 경제적 피해를 직접적으로 산출하는 과정은 현실적으로 많은 제약점을 가지고 있다. 이러한 제약점들에는 (1) 실제 포장에서의 해충밀도 추정에 있어서의 문제점, (2) 재배자간의 재배 및 방제 기술의 차이, (3) 작물의 가치변동에 따른 투입기술의 변동 등이 있으며, 이러한 제약점들은 해충밀도 또는 피해수준에 따른 정량화된 피해해석을 불가능하게 만드는 요인들로서 작용하게 된다.

따라서 본 실험에서는, 정량화된 인위적인 피해 수준(엽당 5%, 10%, 15%, 20%) 을 설정하여, 그에 따른 인위적인 피해를 토마토 식물체에 가해줌으로서, 정량화된 피해와 그에 따른 수확량 저하간의 관계를 파악하여 보았다. 이러한 인위적 피해 실험 결과, 인위적 피해율이 증가함에 따라 광합성률, 엽록소 함량 모두가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 인위적 피해에 의해 식물체 대사활동이 유의하게 영향 받고 있음을 시사하는 결과이며, 또한 해충에 의한 주된 피해인 광합성률 저하 피해를 인위적 피해가 잘 대별하고 있음을 나타내는 결과이다. 수량감소의 경우, 5%의 피해비율에서는 약 13%, 20% 피해구간에서는 약 30%의 수확중량 감소를 발생시켰다. 하지만, 당도 및 과실의 외형을 통한 품질비교 결과, 작물의 품질에는 유의한 영향이 없는 것으로 나타났다.

앞글과리 갱도에 의한 피해분석 결과, 유충의 갱도 피해에 의해 발생한 엽면적의 6-9%의 면적 손실은 약 10%의 과실 수확중량 손실을 발생시키는 것으로 나타났다. 이는 인위적인 피해에 따른 수확량 감소 실험의 결과보다 약 3-10% 정도의 수량 손실이 덜 발생한 결과이다. 온실가루이에 의한 피해 분석 결과, 유충의 흡즙에 의한 직접적인 엽록소 감소 발생은 유의한 피해를 발생 시키지 않는 것으로 나타났지만, 이들의 배설에 의한 감로피해는 일주일 단위로 유충 당 약 1mm^2 면적의 광합성 저해 피해를 유발하는 것으로 나타났다. 마지막으로 담배 거세미 나방의 유충 피해조사 결과,

노숙유충인 5, 6령 중의 경우 발육일수가 증가하면서, 24시간 동안 약 11-17%의 엽 면적 손실을 유발하는 것으로 나타났다. 이는 피해구간 약 15% 정도에 해당하는 피해수준이며, 그에 따른 수확량 저하는 약 20%정도에 해당하는 것으로 사료된다.

시설 토마토 해충의 경제적 피해수준밀도가 적용된 이후에는 현재 포장에서 어느 정도의 해충 개체군이 존재하는 가를 알아보는 것이 무엇보다도 중요하게 된다. 하지만 포장의 전체를 모두 조사하여 밀도를 알아보는 것은 말 그대로 불가능에 가깝게 된다. 따라서 통계적인 신뢰구간과 대상 개체군이 분포하는 특성을 적절히 파악하여 일부분의 밀도를 파악하여, 전체적인 평균 밀도 수준을 파악 하는 것이 무엇보다도 중요하게 된다.

본 연구 과제에서는 시설 토마토의 피해수준에 따른 밀도수준을 파악하는 것과 동시에, 실제로 포장에 어느 정도의 밀도가 있을지, 시간이 지나면 어느 정도 밀도가 증가하는 지를 알아보는 과정을 거쳤다. 이러한 과정은 다음의 몇 가지 단계로 나눌 수 있다.

- ① 적절한 표본 추출 단위 및 조사방법 설정
- ② 해충 개체군의 밀도 조사를 통한 공간적 분포 상황 파악
- ③ 각 해충 개체군의 분포상황에 맞는 enumerative, binomial 표본 추출법을 이용한 밀도추정
- ④ 표본 추출된 밀도와 경제적 피해수준 밀도를 비교하여, 방제 의사 결정
- ⑤ 개발된 표본 추출 방법의 검증
- ⑥ 적절한 표본 거리 설정
- ⑦ 표본 추출을 계속하기 힘들 경우 exponential 모형을 이용한 온도 변화에 따른 밀도의 예측.

먼저 적절한 표본 단위의 설정은 본 실험에서 RNP 값을 이용하여 3엽으로 이루어진 토마토의 복엽을 선정하였으며, 육안조사 방법은 시설 방울 토마토의 중단 부위(지상에서 지상에서 90 - 120cm 높이)에서 온실가루이의 경우 노숙 유충과 번데기의 함을 아메리카 잎굴파리의 경우, 육안조사를 통한 조사가 힘들므로, 아메리카 잎굴

파리의 유충이 가해한 엽의 가해 갱도수를 이용한 간접적인 조사방법을 선정하였으며, 황색 점착 트랩을 이용한 조사는 황색 점착 트랩의 크기 등을 비교하여 적절한 크기의 트랩을 선정하였다. 각 해충 개체군의 밀도조사를 통하여 얻어진 밀도 수준으로 Taylor's Power Law(TPL)를 이용하여 각 해충 개체군 별로 그 공간적 분포 특성을 파악 할 수 있었다. 그 이후 enumerative sampling 은 TPL 계수를 이용한 Green(1970)의 방법을 이용하였고, binomial sampling plan은 Kono와 Sugino(1958)의 경험적 이항 표본 방법을 이용하여 각각의 표본 추출법을 개발 하였다. 이러한 표본 추출법을 이용하여 밀도의 추정이 가능하였으며, 이항 표본 추출법의 경우, 육안조사에서 온실가루이 노숙유충과 번데기의 밀도와 아메리카 잎굴파리 유충의 가해 갱도수 공히 Tally threshold가 3인 경우가 가장 최적의 수로 나타났으며, 분할된 황색 점착 트랩을 이용한 이항 표본 조사에서 온실가루이의 경우는 각 cell 당 tally threshold 3마리, 아메리카 잎굴파리는 tally threshold 1마리로 나타났다. 개발된 표본 추출법에 의거한 방제 의사 결정식 역시 구해져서 그래프로 알아보기 쉽게 나타냈으며, 각 표본 추출법을 resampling 방법을 이용하여 검증하였다. 표본 추출에 가장 많은 영향을 미칠 수 있는 표본 조사 위치를 각 개체군별, 각 조사 방법별로 각 위치별 거리를 이용한 geostatistics 방법을 이용하여 계산하였으며, 농민이 쉽게 사용가능한 표본 추출 도구인 개량화된 황색 점착 트랩의 시제품도 역시 제작 하였다. 또한 한번의 개체군 밀도조사를 위한 표본 추출 이후에 계속적인 밀도 조사가 불가능 할 경우, 식물체의 엽면의 온도를 표준화하여 총 7개의 온도변화 패턴과 exponential 개체군 동태 모형을 이용한 20일 간의 밀도 증가 모형 역시 제공하였으므로, 본 과제에서 나타내는 시설 토마토의 주요 해충 개체군의 경제적 피해수준과 이에 따른 통계적으로 의미있고 효율적인 표본 추출법의 개발을 완료하였다. 본 표본 추출법의 각 단계별 모식도는 다음의 그림 3-157에 나타내었다.

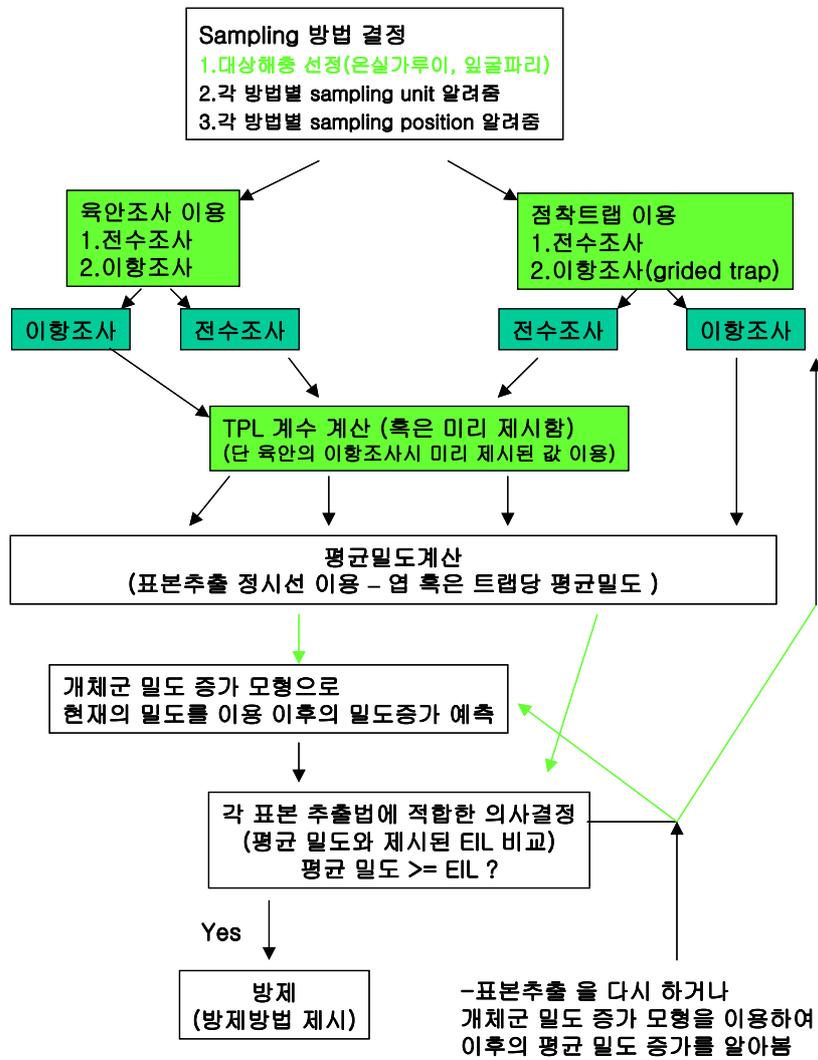


그림 3-157. 시설 토마토 해충의 밀도 예측과 방제 의사 결정을 위한 흐름도

제 4절. 시설작물의 재배형태 및 시기별 해충발생동태연구

본 프로젝트가 기획과제로 제안이 되었을 때 반드시 수행하여야 할 사항으로 시설작물의 재배형태 및 시기별 해충의 밀도조사를 조사하는 내용이 포함되어 있었다. 따라서 본 기획과제의 핵심 대상작물인 오이, 토마토, 고추에 추가하여 시설원예지에서 함께 재배하는 빈도가 높은 수박과 딸기를 포함한 5개 작목에 발생하는 해충의 동태에 대하여 조사를 하고, 이 결과를 데이터베이스로 구축하는 연구를 수행하였다.

연구 1차년에는 오이, 토마토를 대상으로 하였고, 2연차에는 고추와 수박을, 그리고 최종 년도에는 딸기를 대상으로 해충조사를 실시함과 동시에 데이터베이스 구축과 대 농민 서비스를 위한 시스템을 개발하는 연구가 진행되었다.

4-1. 오이와 토마토에서 재배형태 및 시기별 해충발생상황 조사

가. 재료 및 방법

1) 작물별 조사지역과 농가

연구 1차년에는 오이와 토마토를 대상으로 재배형태 및 시기별 해충의 발생 상황을 조사하였다. 조사장소는 각 작물 당 4개 지역을 선정하고, 각 지역에서 3개소의 농가를 선정하여 연중 일정한 주기(15-30일)로 지역을 순회하며, 재배유형과 특히 시설재배의 경우 시설의 유형과 기본환경조건을 조사하고, 재배되는 작물의 품종, 재배방법 (과종기, 재식밀도, 기타), 작물의 상태, 병해충의 종류, 밀도, 가해상황, 대처방법 등 병해충과 그 발생환경에 관한 모든 사항을 조사하여 체계화하였다.

오이와 토마토에서 재배형태별 시기별 해충의 발생상황을 조사하기 위해 각 작물별로 4개 지역을 선정하고 각 선정된 지역에서 3개 의 비닐하우스를 선정하여 조사

하였다. 조사 지역과 각 지역에서의 정식기, 수확기 그리고 재배목적 및 유형은 표 4-1에 표시한 바와 같다.

표 4-1 오이와 토마토에서 재배형태별 시기별 해충의 발생상황 조사지역

작물	조사지역	작형		비고
		정식기	수확기	
오이	광양 목성	9하	10중~	수출용
	함안 범수	9상 ~ 10상	10상~	내수용
	함안 범수	11상	12중~	수출용
	진주 대곡	9하 ~ 10상	10중~	수출용
토마토	광양 우산	8상	10상~	방울토마토
	함안 범수	9중~10하	11하~	방울토마토
	하동 옥중	7하~8하	9하~	완숙토마토(양액재배)
	사천 용현	10하~11상	1하~	완숙토마토

해당 오이와 토마토 조사농가별로 농가별 분류코드가 부여되었으며, 농가의 위치, 재배자 및 재배작물의 품종 등은 표 4-2에 표시된 바와 같다.

표 4-2 오이와 토마토 조사농가의 번호, 지역, 재배자 및 재배작물의 품종

지역 번호	조사 지역	재배자	작물
광2	광양	박길수	방울토마토
광3	광양	손용석	방울토마토
광4	광양	이인제	방울토마토
광5	광양	신행식	수출오이
광6	광양	김학수	수출오이
광7	광양	박동운	수출오이
함수1	함안	최권호	수출오이
함수2	함안	박진구	수출오이
함수3	함안	김순배	수출오이

표 4-2 계속

지역 번호	조사 지역	재배자	작물
함1	함안	안상규	오이(내수용)
함2	함안	차수호	방울토마토
함3	함안	차수호	방울토마토
함4	함안	변호근	오이(내수용)
함6	함안	엄명규	오이(내수용)
함7	함안	김종호	방울토마토
진1	진주	구자생	수출오이
진2	진주	윤현대	수출오이
진3	진주	하만채	수출오이
하1	하동	곽병우	완숙토마토
하2	하동	김금석	완숙토마토
하3	하동	박종근	완숙토마토
사1	사천	홍성탁	완숙토마토
사2	사천	김정열	완숙토마토
사3	사천	이유근	완숙토마토

2) 조사주기 및 방법

가) 재배환경조사

해충조사와 함께 해충의 발생동태에 영향을 주는 오이 토마토의 재배환경을 조사하였다. 우선 재배하고 있는 시설의 유형과 재배법 그리고 윤작체계는 실제 조사농가를 방문하여 확인하거나 직접 농민을 만나서 문의하여 조사하였다.

조사시설내의 기온, 지온, 습도 등 기본환경은 데이터로거(Hobo 온습도 자동기록계)를 이용하여 매 15분 간격으로 조사하였다. 조사된 데이터는 추후 연구 최종년도에 구성된 데이터베이스에 포함시킬 수 있는 형태로 변환하여 요약하였다.

표 4-3 오이와 토마토 조사농가의 번호, 지역, 재배자 및 재배작물의 품종

조사 항목	조사내용	조사 기준 또는 방법
시설유형	시설방향, 시설크기, 시설양식 피복재료,보온시설,환기시설 방제시설, 관수시설 등	설문 또는 실측
기본환경	기온, 지온, 습도, 조도	Data logger 설치 (지역당 1-5개소)
재 배 법	재배양식, 작형, 품종명 재식거리, 시비량 및 시비방법 기타	설문 또는 실측
윤작체계	전후 작물, 병해충 방제를 위한 작부약식	설문

나) 작물의 상태

전 조사기간 중 환경과 재배법의 차이에서 오는 오이 토마토의 생육상태를 매주 조사하였다. 조사 항목은 표 4-4에 표시된 바와 같다.

표 4-4 작물의 상태와 조사내용 조사기준 및 방법

구분	조사내용	조사기준 또는 방법
작물 생육 상태	정상, 과범무, 생육불량 등	심,다,중,소,무로 구분 조사
병해충 피해상태	피해정도(가해부위,피해상태)등조사	심,다,중,소,무로 구분 조사
수확물 상태	품질, 피해과 여부	심,다,중,소,무로 구분 조사

다) 작물의 생리장해 조사

해충의 피해와 구분하기 위해 자주 나타나는 생리장해의 증상, 피해부위, 피해정도, 생산물의 상태, 예상되는 원인 등과, 약해, 영양장해, 미량요소 과부족, 토양 조건 등을 심, 다, 중, 소, 무로 구분하여 조사하였다.

라) 해충조사

오이 토마토에서 해충의 발생상황과 그 동태를 파악하기 위해 [표4-5]에 표시된 바와 같이 온실가루이, 잎굴파리류, 총채벌레류 등의 성충은 끈끈이 트랩(10cm x 15cm)으로 1주간 부착된 수를 조사하고, 유충의 밀도는 조사지 당 100잎을 임의 추출하

여 실수를 조사하였다. 과밤나방, 거세미나방 등은 하우스 당 3개소를 선정하여 피해엽을 조사하였고, 기타 해충은 상황에 따라 같은 방법으로 조사를 피해도를 심, 다, 중, 소 등의 4단계로 나누어 조사하였다.

표 4-5 오이 토마토에서 해충발생동태 조사의 내용

대상해충	조사 방법	조사 기준
온실가루이, 잎굴파리류, 총채벌레류 등 미세 해충	끈끈이 Trap (엽당 밀도)	밀도조사(하우스당 4개소) 피해도 (다,중,소,무 구분)
과밤나방, 거세미나방	피해엽율(개체별)	밀도조사(하우스당 3개소) 피해도 (다,중,소,무 구분)
기타	주당밀도	밀도조사(하우스당 3개소) 피해도 (다,중,소,무 구분)

마) 병해 조사

해충의 피해와 구분하기 위해 발생중인 병해를 조사하였다. 조사의 대상이 된 중요 병은 흰가루병, 노균병, 잿빛곰팡이병, 균핵병, 역병, 청고병 등 생육 및 품질에 영향이 큰 병해로서 그 발생 정도에 따라 심, 다, 중, 소, 무로 구분하였다.

바) 방제법 조사

해충의 피해를 막기 위해 농가에서 사용하는 방제 약제, 방제 시기, 방제 방법 등을 설문이나 직접 목격하며 조사하였다.

나. 연구결과

연구 1차년 에서 조사 대상이 되는 오이와 토마토에 대하여, 재배환경, 작물의 상태, 생리장애, 해충의 발생동태, 중요 발생병해, 방제방법 등에 대하여 집중적으로 조사하였다.

1) 조사 대상지역에서 오이 토마토의 시설 유형 및 재배환경

가) 오이 토마토 재배 농가의 시설의 유형

시설은 대부분 대형 아치형이었으며, 재배되는 작물에 따른 시설규모, 피복 재료, 하우스 내 시설 등의 차이는 없었다. 보온은 대부분 온풍난방이나 함안 지역의 온수 순환식 난방은 온풍난방에 비해 시설 비가 다소 높고 시설 내 기온분포도 균일하지 않는 결점이 있었다. 대부분 점적관수하고 있으며 노즐 분사식 방제시설을 갖추고 있었다(표 4-6).

하동의 초자온실은 시설투자가 과다하고 대형화(1,700평~2,500평)되어 있을 뿐 아니라 양액재배 전용시설이었으므로 금후 내수 또는 수출이 동시에 가능한 초자온실, 양액 재배용 최고급 과채류(예 : 고급 마스크멜론 등) 주년 생산을 위한 작목 개발이 요망되었다.

표 4-6 오이 토마토 재배농가의 시설의 유형

작물	지역	하우스양식	환기방법	피복재료	하우스 내 시설
토마토	광양	대형 아치형 단동 또는 2연동 (폭23~30m, 길이 100m)	측면 개폐	1~2중비닐 3중 부직포	온풍난방, 살수 점적호스, 방제시설
	함안	대형 아치형 4~11연동 (길이70m)	측면개폐, 천장 남측면개폐	1~2중비닐 3중 부직포	온수난방, 살수 점적호스, 방제시설
	하동	초자온실 (1,700~2,500평)	천창개폐	외피5mm유리 2중 부직포	양액재배 시설
사천	아치형 단동 (폭 6~12m, 길이 90~100m)	측면 환기구멍	1~2중비닐 3중 부직포	온풍난방, 살수 점적호스, 방제시설	
오이	광양	대형 아치형 단동~5연동 (길이100m)	측면개폐, 천정개폐	1~2중비닐 4중 부직포	온풍난방, 살수 점적호스, 방제시설
	함안	대형 아치형 2~9연동 (길이72~200m)	측면개폐, 천정개폐	1~2중비닐 3중 부직포	온풍난방, 살수 점적호스, 방제시설
	진주	대형 아치형 4~11연동 (길이65~200m)	측면개폐, 천정외피 환기구멍	1~2중비닐 3중 부직포	온풍난방, 살수 점적호스, 방제시설

나) Data logger에 의한 재배환경 조사결과 - 실내기온

조사시설내의 기온, 지온, 습도 등을 데이터로거를 이용하여 매 15분 간격으로 조사한 결과, 기온에 관한 사항은 그림 4-1에 나타내었다.

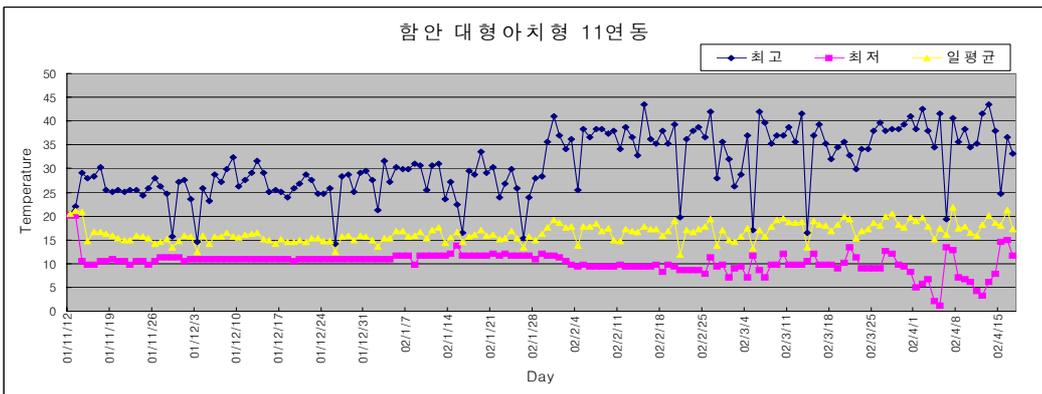
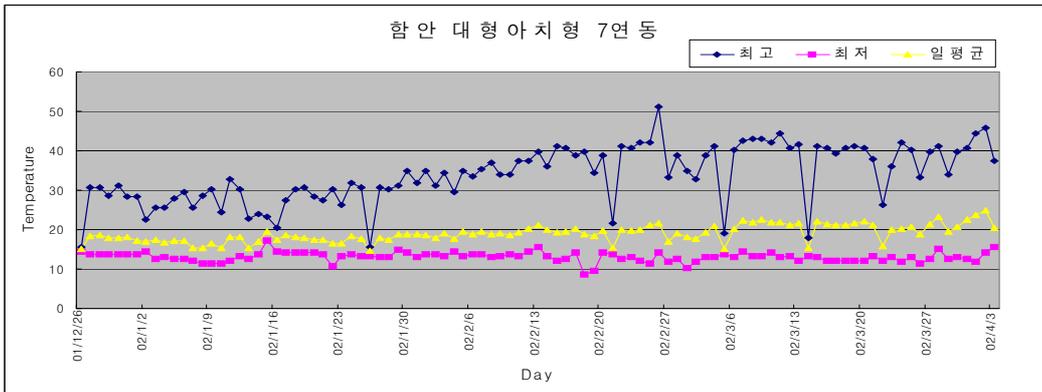
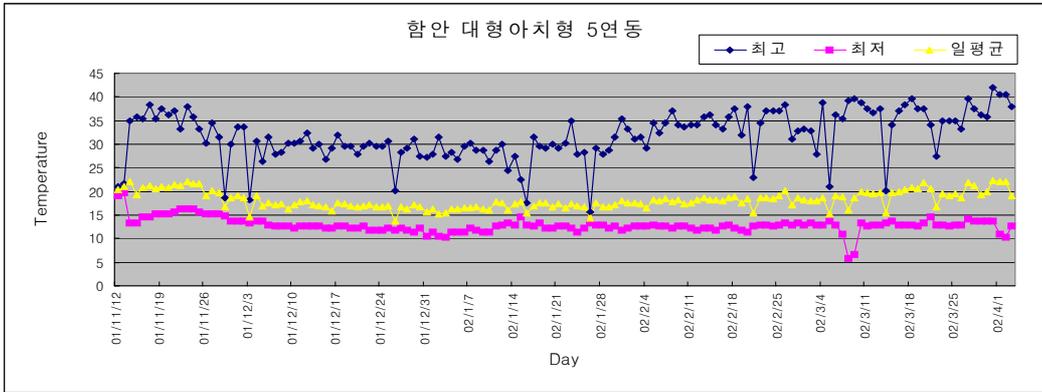


그림 4-1. Data logger에 의한 기온의 변화 - 함안 대형아치(5, 7, 11연동)

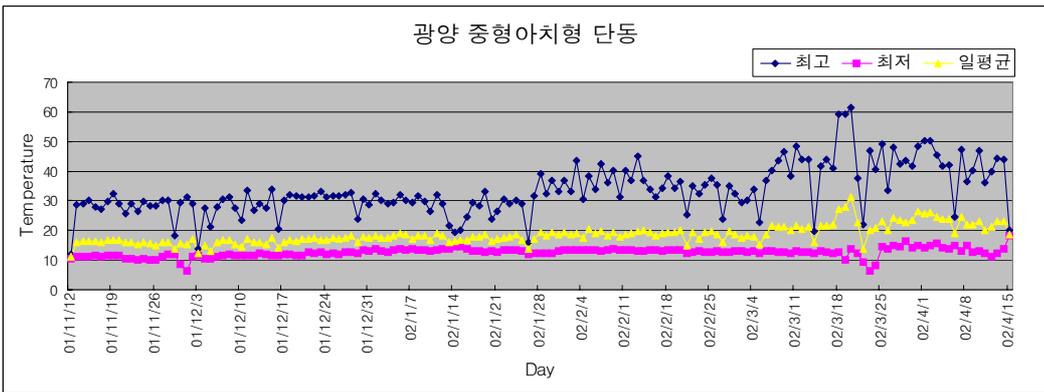
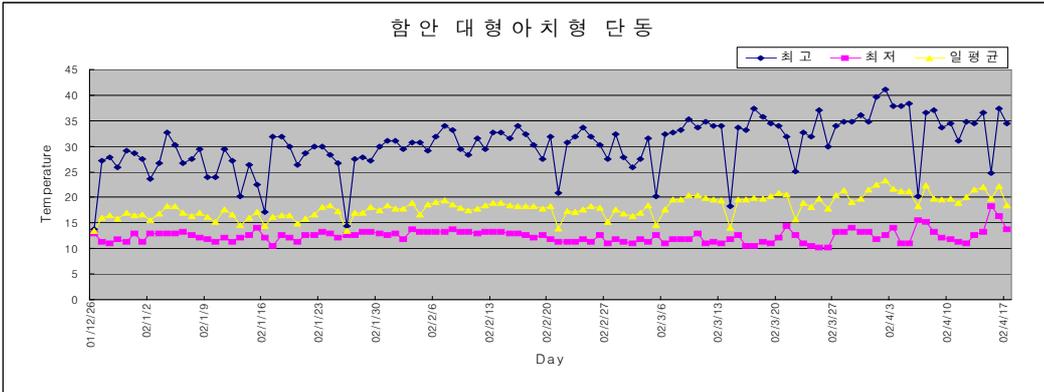
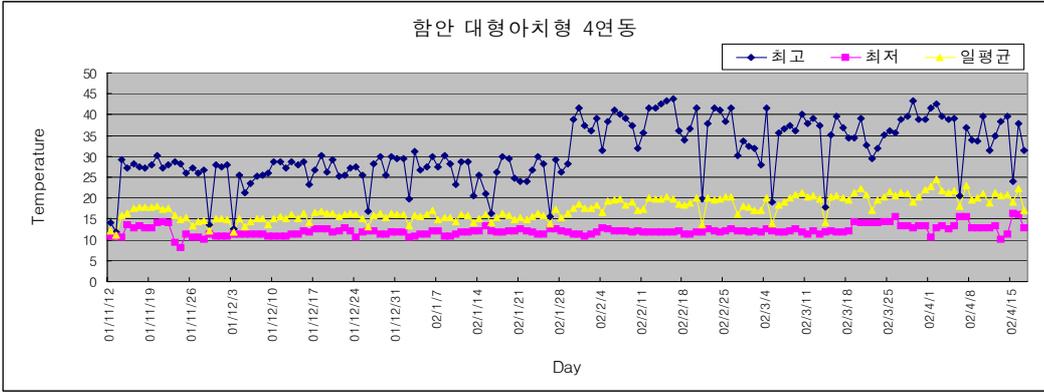


그림 4-1. 계속 - 함안 대형아치(4연동, 단동), 광양 대형아치 (단동)

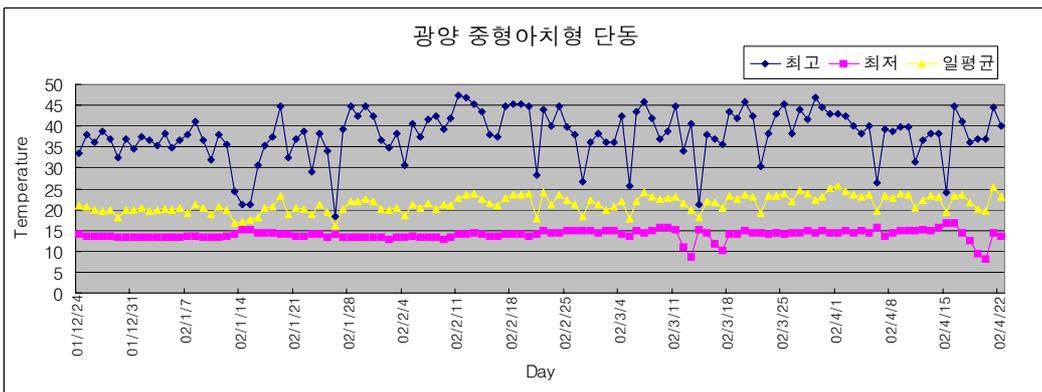
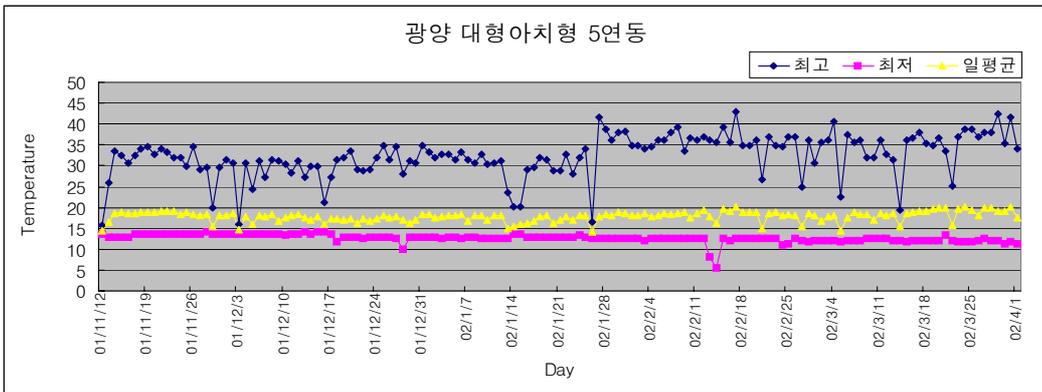
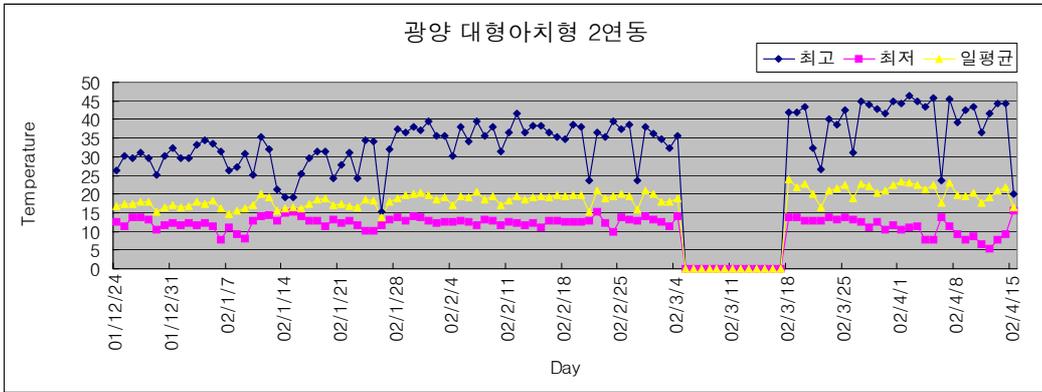


그림 4-1 계속 - 광양 대형아치(4연동, 5연동), 광양 중형아치(단동)

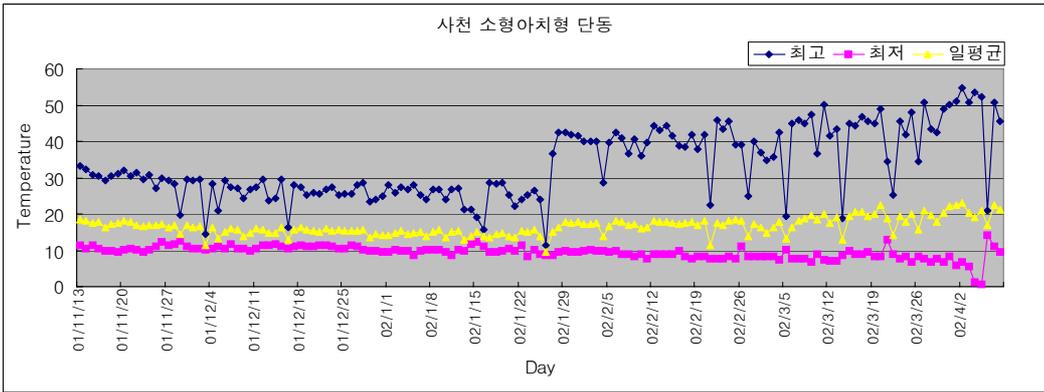
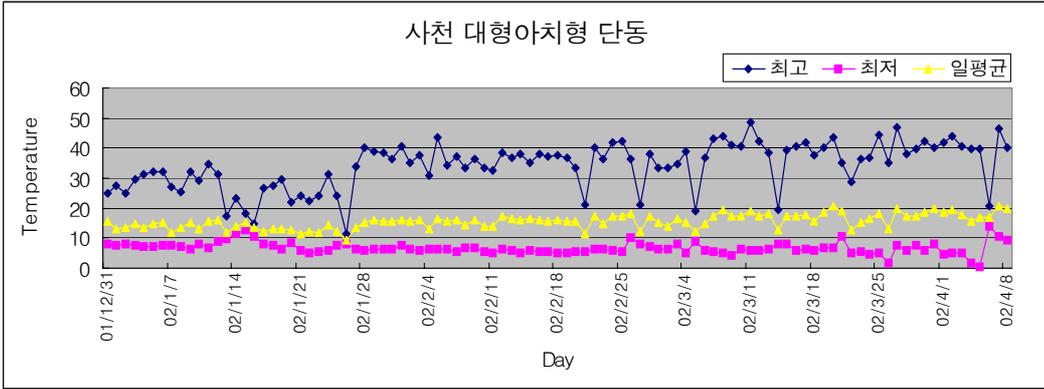
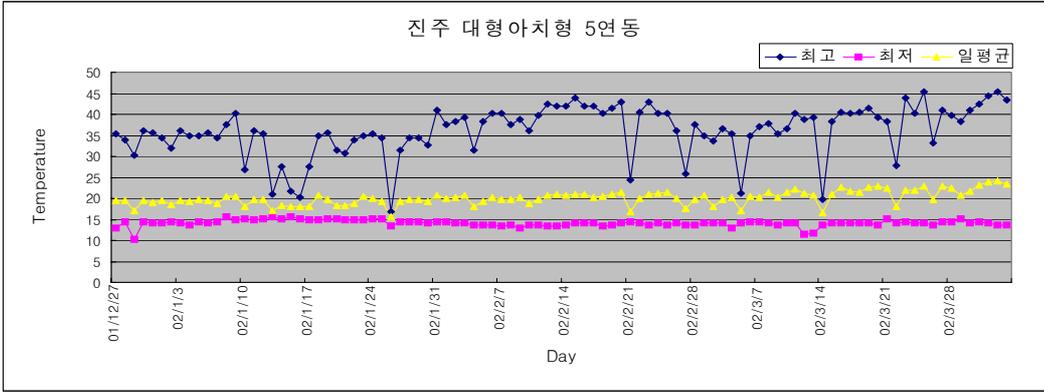


그림 4-1. 계속 - 진주 대형아치(5연동), 사천 소형아치(단동)

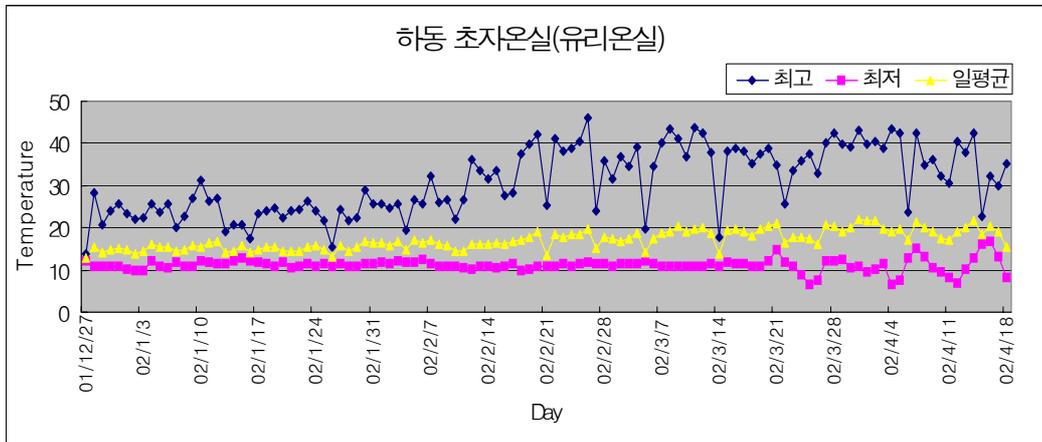


그림 4-1. 계속 - 하동 초자온실(대형)

기온 조사 결과 하우스의 형태와 지역 그리고 재배 농가의 온도 관리방법에 따라 다양한 경과를 보였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

수출오이: 함안, 진주, 광양 등지에서 5개 농가 조사결과 대부분 농가에서 최저기온은 13°C내외로 잘 관리되었으나 농가에 따라 저온으로 관리되어 측지에 암꽃이 발생하는 양이 많아 품질이 떨어지고 생육이 불량하였으며, 갈반병의 조기 발생원인이 되기도 하였다. 최고기온은 조사농가모두에서 2월 이후 40C 가까운 고온으로 관리되고 있어 고온장해가 우려되었다.

방울토마토: 광양, 함안에서 4개 농가 조사결과 최저기온은 10C이상으로 정상 관리되었으나 2월 하순 들어서 저온으로 관리된 농가에서는 잎역병의 발생을 유발하였다.

완숙토마토: 하동과 사천 3개 농가조사결과 대체로 저온관리하고 있어 회색곰팡이병 발생을 조장하였고 최고기온도 40C가까운 고온 관리되어 각종 장해가 유발되었다. 하동의 대형 유리온실에서는 비교적 일정한 평균기온을 유지하고 있었다.

온도에 따른 해충의 발생환경을 고려 해 볼 때, 일반적으로 낮에 고온이

유지되는 환경에서는 진딧물 등이 발생하기 어려운 것으로 보이며, 따라서 해충의 밀도 조사에서도 고온이 유지되는 5월경에는 진딧물은 거의 발생되지 않았다.

다) Data logger에 의한 재배환경 조사결과 - 재배상의 지온

재배상의 지온을 작목별로 각 지역별 1개 농가 씩 선정을 하여 기온과 함께 시험적으로 조사하였다. 자료의 량이 많아 본 보고서에는 그림으로 표시하지 않았고, 최종 데이터베이스에 포함하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

수출오이: 함안 1개 농가에서만 2월 이전에 다소 저온으로 경과되었을 뿐 타 조사 농가에서는 적은 범위였다.

방울토마토: 사천 1개 농가 소형 하우스 및 함안조사 농가에서 3월 이전의 지온이 15℃이하로 경과되었다.

라) Data logger에 의한 재배환경 조사결과 요약 - 실내 습도

기온 조사에서와 같은 농가에서 상대습도를 15분 간격으로 조사하였으며, 역시 자료의 량이 많아 본 보고서에는 그림으로 표시하지 않았고, 최종 데이터베이스에 포함하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

모든 조사 농가에서 상대습도는 밤이 되면 100%에 이르렀고 맑은 날 낮에는 20~60%이었으며, 흐린 날은 낮에도 80~100%이었다. 일중 경시적 변화를 관찰해 본 결과 함안 수출오이 농가에서 혹한기인 1월 21일 맑은 날은 오후 2시에서 5시 사이에 80%이하로 경과되었고 1월 26일 흐린 날은 24시간 거의 100% 이었다.

본 결과로 보아 지역간 시설간, 관리방법간 다소 차이는 있었으나 맑은 날 낮에도 3시간 정도를 제외하고는 내내 80%이상 다습상태로 경과되는 것으로 추측된다.

비닐하우스 등 온실(비닐하우스) 환경에서는 과습이 항상 문제점으로 지적되었으며, 이는 환기방법과 온실의 유형에 따라 큰 차이를 보일 뿐만 아니라 개별 농가의 환기 주기와도 큰 관계가 있는 것으로 보인다.

2) 조사 대상지역에서 오이 토마토의 재배형태 및 유형

해충의 발생상황은 농가의 작물재배 형태와 관리방법에 따라 큰 차이가 날 수 있다. 본 연구에서는 오이 토마토의 재배형태, 재배유형, 작부체계 또한 해충의 발생에 영향을 미치는 한가지 중요한 요인으로 보고 해충 밀도변동 조사의 대상이 된 농가에서 조사하였다.

그 결과는 표 4-7, 표 4-8 등에 나타낸 바와 같다.

가) 오이 토마토의 재배형태

토마토: 사천 용현지역을 제외하고는 고온기(7월 하순 9상순)에 정식 되어 생육초기에 거세미나방, 파밤나방, 잎굴파리, 온실가루이 등 각종 해충에 노출되어 시설 피복 후에도 계속 증식될 가능성이 많았다. 사천, 하동지역의 완숙 토마토는 재배 품종이 “그레이스”, “트러스트”, “레전트”, “로구산마루” 등 국내에서 전혀 적합성 검토가 되지 않았으므로, 비배관리에 문제가 많았다. 하동지역은 양액 재배되고 있었으나 조사기간중 미량요소 결핍 또는 과다현상이 교대로 나타나고 있었다.

오이: 함안 수출오이를 제외하고는 정식기가 빨라(9월 상순, 10월 상순) 정식초기에 거세미나방, 잎굴파리, 파밤나방 등 가해 식흔이 많았다. 국내에서 재배되는 수출오이는 일본 등지에서 재배되는 품종을 직수입 재배하고 있어 품종 특성을 파악하지 못해 흰가루병, 노균병외 잎마름병의 많이 발생되어 작기가 단축되고 있는 실정이었다. 전반적으로 재배시기가 앞당겨지고 있어 각종 해충 및 병해에 노출되는 기간이 길

어지고 있었다(표 4-7).

표 4-7 오이 토마토 재배형태

작물	지역	품종	재배 양식	평당 주수	정식기 (월순)	수확기 (월순)	시비방법	비고
방울 토마토	광양	꼬꼬, 빼빼	토양	5~6	8상	10상~12중	기비:무비 추비:액비	7~8단 수확
	함안	꼬꼬	토양	9~10	10중	12하~6상	기비:우분 가출혈분 추비:액비	20단이상 수확
완숙 토마토	사천	레전드 토구 산마루	토양	12~14	10하~11상	1하~4중	기비:우분(복비)+벗집 추비:액비	5~6단 수확
	하동	트러스트 그레이스	양액	9~10	7하~8하	10하~7상	암면배지:PTG양액 (뉴질랜드처방액)	25단이상 수확
수출 오이	광양	백성특효	토양 양액	11~12	9하	10중~1하	기비:무비, 유기질비료 추비:액비 양액:일본원시액	4~5단 수확
	진주	태랑	토양	10~11	9하~10상	11상~1하	기비:무비, 우분+황겨 추비:액비	4~9단 수확
	함안	백성특효	토양	9~10	11상	1상~4상	기비:무비 추비:액비	4~6단 수확
내수 오이	함안	가락만춘	토양	10~15	9하~10상	10상~1하	기비:소사료, 축분퇴비 추비:액비	5~9단 수확

나) 오이 토마토의 작부체계

오이 토마토의 작부체계를 조사한 결과는 시설 내에서 2-3작의 경우 전작물 수확말기에 후작물을 약 한달 정도 간작상태로 재배하고 있어 전작물 수확말기의

병해충이 후작초기에 감염되었다(표 4-8).

수출오이의 경우(재배품종: 太郎, 백성특호), 갈색반점균(*Corynespora* sp.)에 감수성으로 경작자 의지와 관계없이 주당 4-9와 정도 수확하고 조기에 작기를 끝내고 있어 수출오이와 잎마름병에 관한 정밀검토가 요망되었다.

본 조사와 관련, 오이, 토마토처럼 동일 시설 내에서 2-3작 또는 2-3개 작물이 재배되는 경우 특정 작물에만 국한됨이 없이 전 시설재배 기간 연속 조사가 필요하였다.

표 4-8 오이 토마토 작부체계

월별 조사지역	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
광양	토마토, 오이											
	벼, 담수					오이, 호박, 토마토						벼, 담수
함안	토마, 오이+ 오이(멜론)											벼, 담수
	벼, 담수		토마토									
사천	토마토											벼
	벼, 담수											
진주	오이+ 오이, 오이+ 고추(멜론)											휴작
	옥수수 (태양열소독)											

다) 오이 토마토의 생육상태의 변화

토마토: 전반적으로 기비를 하지 않고 관비 위주로 추비하고 있으며 농가에 따라 우분, 동물혈비 등을 기비 처리하여 생육초기 과범무 상태였다.

표 4-9 잎굴파리에 의한 토마토의 피해 조사(하동 초자온실: 완숙토마토, 정식: 7월 17일 ~ 8월 20일)

피해주율(%)	엽당가해 식흔 수 (개/엽)				피해엽율(%)				피해주율(%)			
조사월일	3.14	3.21	4.18	5.2	3.14	3.21	4.18	5.2	3.14	3.21	4.18	5.2
하동농가1	12.8	12.4	3.1	25.5	48.3	33.5	10.0	38.5	91.0	99.0	100	100
하동농가2	10.5	14.4	61.4	36.9	40.3	60.6	65.3	53.9	81.0	87.3	100	100
하동농가3	11.5	5.2	50.6	43.1	40.4	58.0	52.8	56.3	79.0	81.0	100	100
평균	11.6	10.7	38.4	35.2	43.0	50.7	42.7	49.6	83.7	89.1	100	100

끈끈이 Trap에서 온실가루이가 많았던 광양지역에서는 상위엽에 그을음 증상이 다소 있었으나 수량, 품질에는 크게 영향이 없는 것으로 보여졌다. 정식초기 3-5엽까지 거세미나방, 잎굴파리 등의 식흔이 있었으나 생육이 진전되면서 하엽으로 제거되어 생육 및 수량에는 영향이 없었다. 그러나 3월 이후 하동 3농가 모두와 함안 1농가는 잎굴파리 식흔이 심하게 나타나 수량, 품질에 영향을 끼쳤다(표 4-9)

오이: 수확기 들어서부터 갈색반점병, 노균병, 흰가루병이 발병되어 곡과, 곤봉과 등이 나타나고 있었다. 정식초기에 거세미나방, 잎굴파리 등의 피해가 나타나도 생육 및 수량에 큰 영향이 없었다. 대부분 농가에서 밑거름 없이 관비위주로 재배되어 각종 장애가 발생되고 있고, 농가에 따라 소 사료 (또는 송아지 사료) 등을 기비 처리하여 전 생육기간 질소과다증상을 유발하였다. 뿐만 아니라 효과가 확인되지 않은 각종

엽면 살포제를 남용하여 장해가 나타나고 있었다.

하동 초자온실 내에서 재배되는 완숙토마토는 3개 조사농가 모두에서 발생시기에 다소 차이는 있으나 3월 이후 주기적으로 발생하여 에이팜, 파단 등 농약방제와 동시에 식흔이 많은 하엽을 절제하여도 4월이후 엽당 식흔의 수가 50-60개가 넘고 피하엽을 60%이상 피해주율 100%에 이르렀다.

표 4-10 잎굴파리에 의한 토마토 피해 조사(함안 비닐하우스 단동: 방울토마토)

조사항목	엽당가해 식흔수(개/엽)			피해엽율(%)			피해주율(%)		
	2/7	4/3	5/1	2.7	4.3	5.1	2.7	4.3	5.1
조사일자(월/일)	2/7	4/3	5/1	2.7	4.3	5.1	2.7	4.3	5.1
함안농가7	20.9	15.0	18.9	37.3	55.0	63.9	61.7	74.3	100

함안에서 방울토마토는 3개 농가 중 2개 농가에서 가해 식흔을 거의 볼 수 없었으나 기비로 동물 혈비를 사용한 농가의 경우 2월 하순부터 피해엽의 식흔 수는 엽당 20개 이상으로 눈에 띄게 증가하여 생육이 부진하고 소과 발생이 많아지는 등 피해가 예상되며 에이팜, 코니도, 지오릭스 등으로 수차 약제 방제하였으나 박멸되지 않고, 4월 이후 피해엽율 55%이상 피해주율 74.3%이상의 큰 피해를 입고 있었다.

일반적으로 토마토에서 식흔의 수가 엽당 20개에 이르면 피해엽율 40-50%에 이르고 생육 부진으로 소과 발생 등 피해가 예상되었다.

3) 조사 대상지역에서 오이 토마토에 발생하는 생리장해

방울토마토: 광양, 함안 두 지역 모두 시비량 과다로 생육 초기 과범무 현상을 보였으며 질소과다증에 의한 장해는 물론 인산 마그네슘 등 각종 미량요소결핍증

이 유발되었다. 따라서 수확초기는 질소과다 때문에 대과 생산이 많았고 수확중반기 이후는 미량요소결핍에 의한 생육 불량으로 소과생산이 많아 정상 상품의 비율이 낮았다.

완숙토마토: 하동 양액, 사천 토양재배 모두 2월 상순경 들어 착과 후 20일 전후 열매가 달린 과경부가 줄기 쪽에서 부러지는 현상이 심하게 나타났으며, 과일 쪽에 충분한 영양공급이 되지 않아 소과가 생산되었다. 그러나, 4월 이후 차츰 이러한 현상이 적어지다가 4월말 경 거의 정상으로 회복되었다. 하동은 조사기간 내내 질소과다 미량요소 결핍 등의 생리장해가 주기적으로 나타나고 소멸되기를 반복하였다.

수출오이: 생육초기부터 곤봉과 곡과 등이 발생되었고, 각 마디마다 암꽃이 3-5개 착생되어 불량과가 많았다. 질소과다에 의한 Ca흡수장애로 생육이 부진한 곳도 있었다. 이는 고온성인 백침계 오이를 저온기에 재배하면서 온도, 광 조건이 좋지 못한 결과로 추정된다.

내수용 오이; 우분, 소사료 등의 과다한 기비 시용과 추비고농도(액비)조절 등이 불합리하여 생육기 내내 질소과다 현상을 보였으며 따라서 Ca부족, 미량요소 결핍 등을 유발하여 곡과 곤봉과 등 불량과율이 높았다.

4) 조사 대상지역에서 오이 토마토에 발생하는 해충의 동태

가) 오이에서의 지역별 해충밀도 변동 소장

시설재배 오이의 해충발생은 온실가루이, 오이총채벌레, 아메리카잎굴파리, 작은뿌리파리 등이 주로 발생하였으며, 해충의 발생이 가장 많은 지역은 진주지역이었으나, 함안, 광양의 수출오이재배에서도 해충의 발생이 많았다.

일반 내수용 오이보다는 수출용오이에서 해충 발생이 심하였으며, 특히 총채벌레의 발생이 극히 심하였는데, 진주와 함안 지역에서는 오이총채벌레에 의한 잎의

피해증상이 확인되었으나, 과실의 피해는 확인되지 않았다.

온실가루이의 발생은 진주지역에서 발생량이 많았으며, 정식 후 5-6주부터 발생되기 시작하여 밀도가 갑자기 증가되었다. 수출오이의 경우, 잔류농약으로 인한 클레임 문제와 국내시장가격보다 싼 가격 등의 문제로 방제를 소홀히 하는 경향이 있으므로 해충발생이 더욱 조장된 결과로 생각되었다. 아메리카잎굴파리의 발생은 함안의 내수용 오이재배하우스에서 발생이 많았으나, 피해는 심하지 않았다. 또한 배지형 양액 재배시 피해가 큰 것으로 알려진 작은뿌리파리의 발생이 퇴비를 많이 준 토양재배 하우스에서 많이 발생하였다.

오이재배의 말기에 방제를 포기한 하우스에서 발견되는 진딧물은 트랩으로 예찰하기가 어려워 조기 예찰이 불가능하여 발생이 확인될 때는 엽당 수백 마리가 발생되어 조사방법이 확립되지 않아 어려움이 많으며, 말기에 발생한 경우 2주 이내에 전체 하우스 내에 대량 발생하여 수확기간을 단축시키는데 조사된 12개 농가 중 6개 하우스에서 조사말기에 관찰되었다.

오이재배가 끝날 무렵 후작으로 오이를 재배할 때 간작 형식으로 재배하는 경우가 5개 농가가 있었는데, 대부분의 전작물의 해충이 후작으로 이동하여 조기에 해충이 대량 발생하는 경우가 대부분이었다.

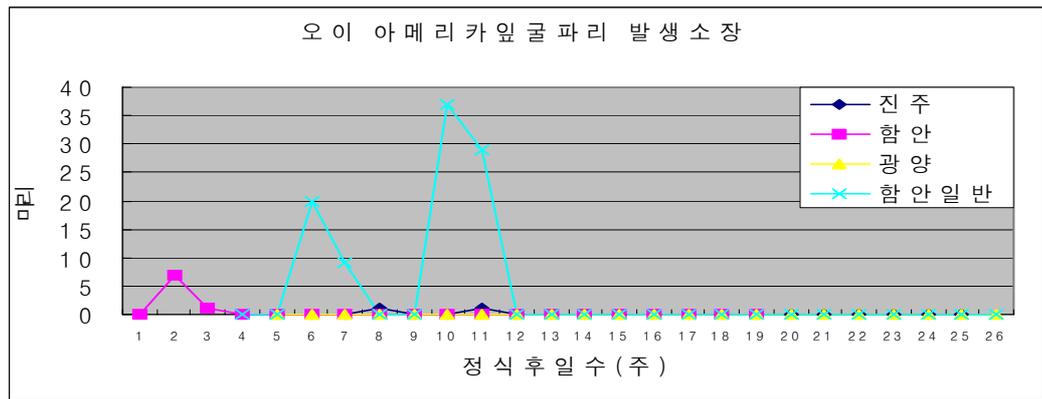
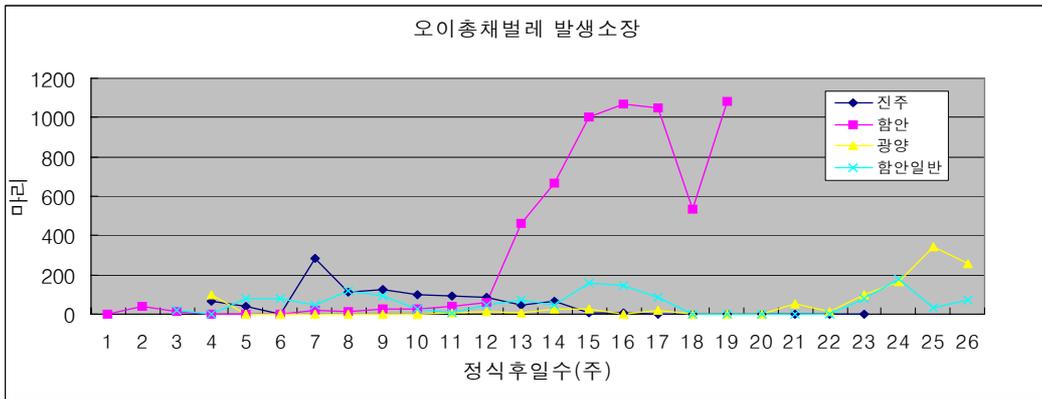
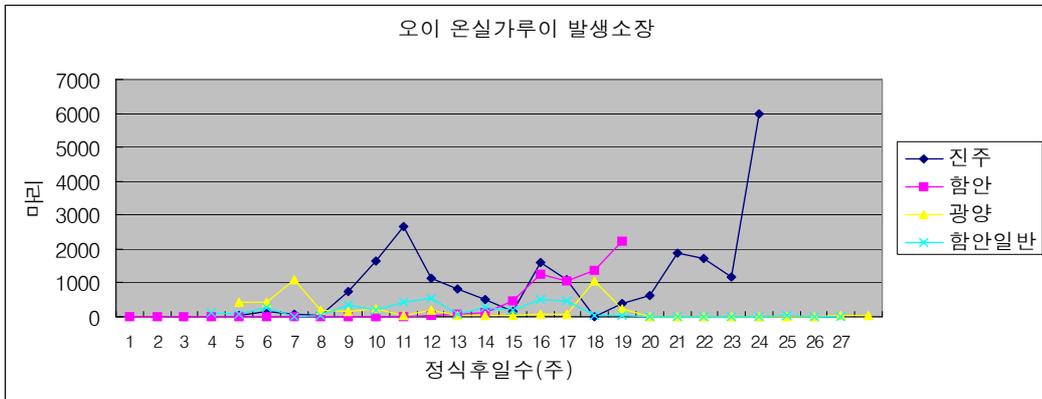


그림 4-2. 오이에 있어서 온실가루이, 오이총채벌레, 아메리카잎굴파리의 발생소장

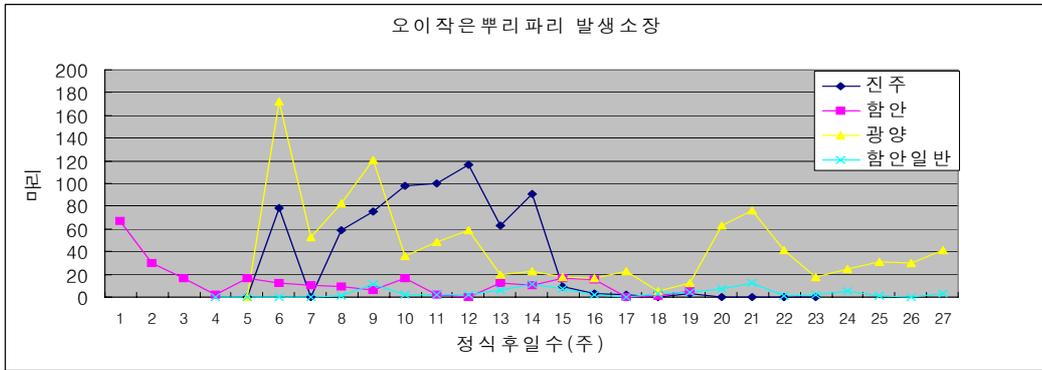


그림 4-2. 계속 - 오이에서의 작은뿌리파리 발생소장

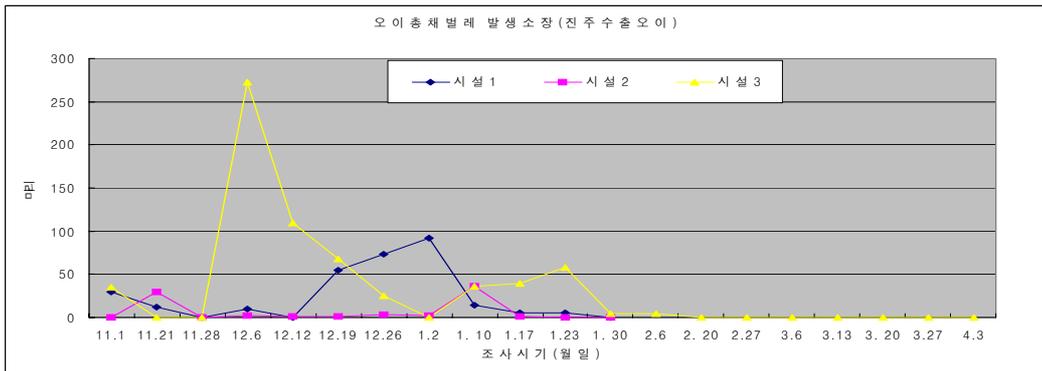
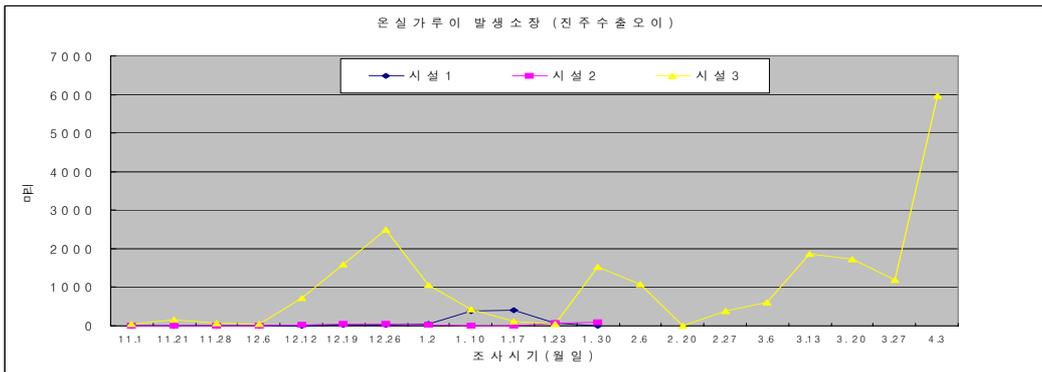


그림 4-3. 오이에서의 농가별 해충발생 - 진주 온실가루이, 오이총채벌레

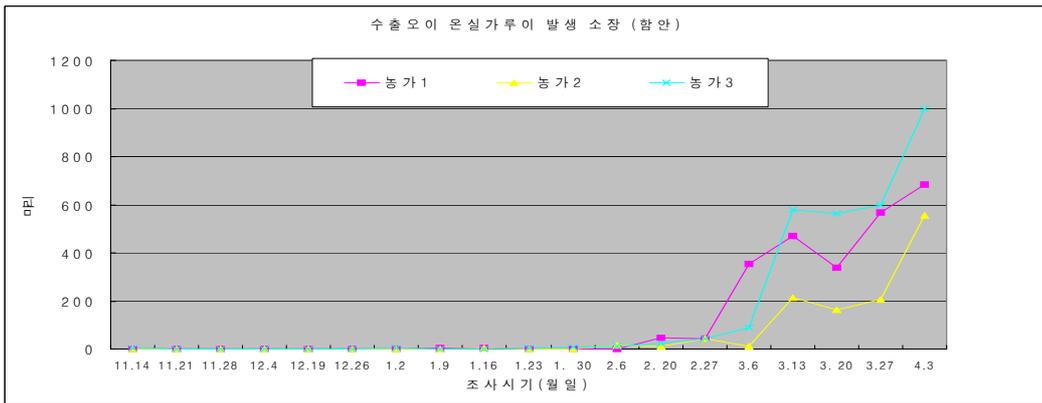
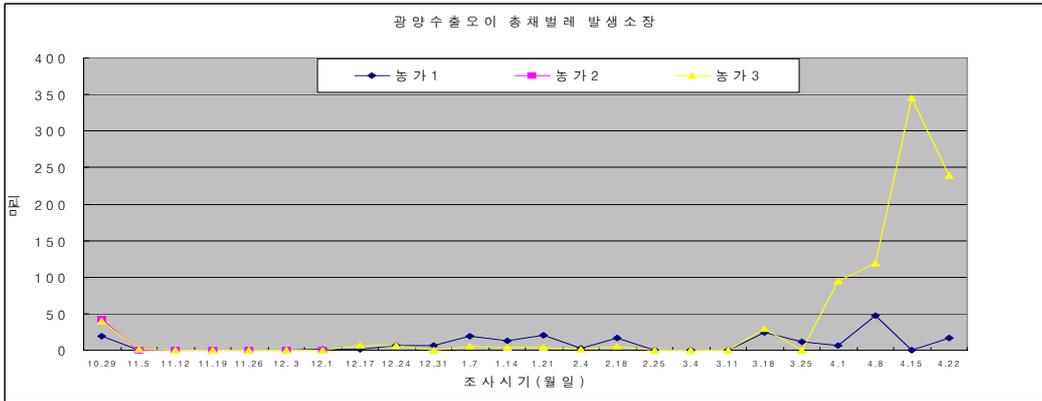
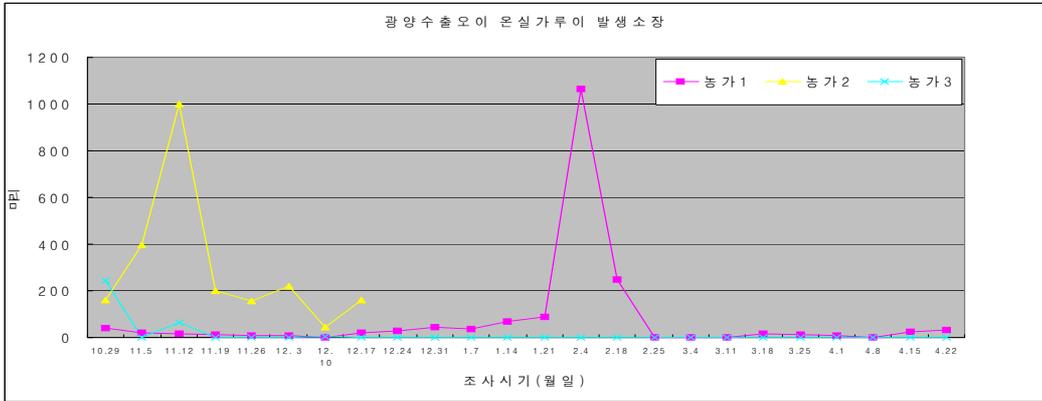


그림 4-3 계속 - 수출오이, 광양(온실가루이, 오이총채벌레), 함안(온실가루이)

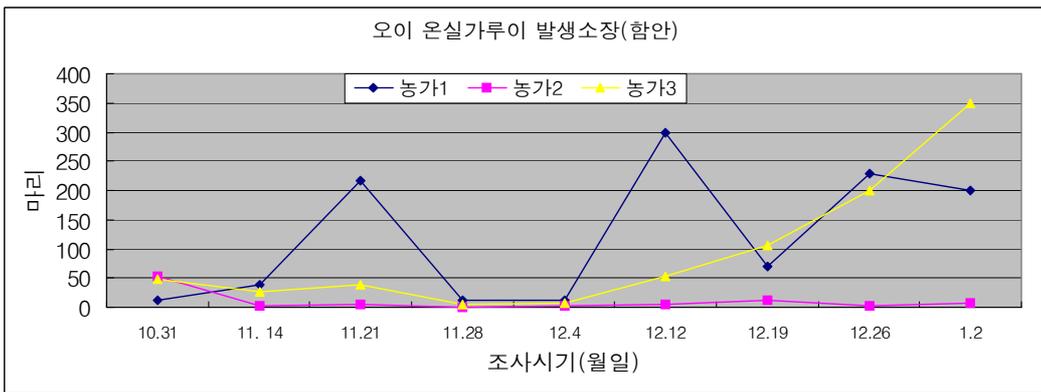
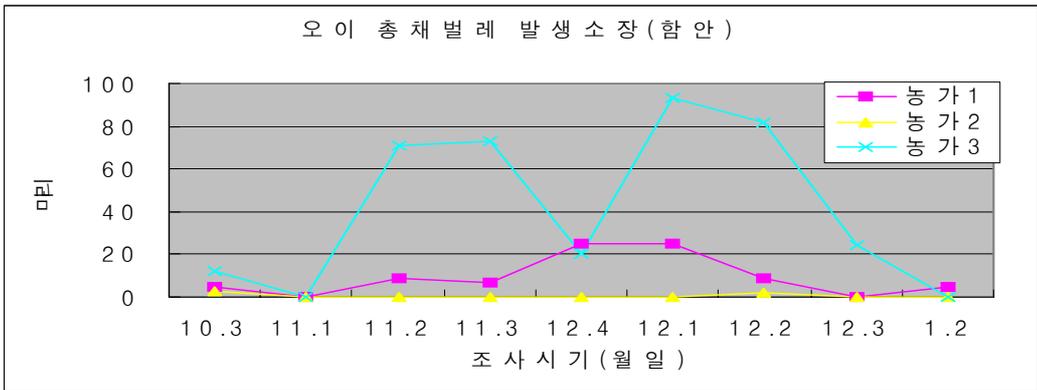
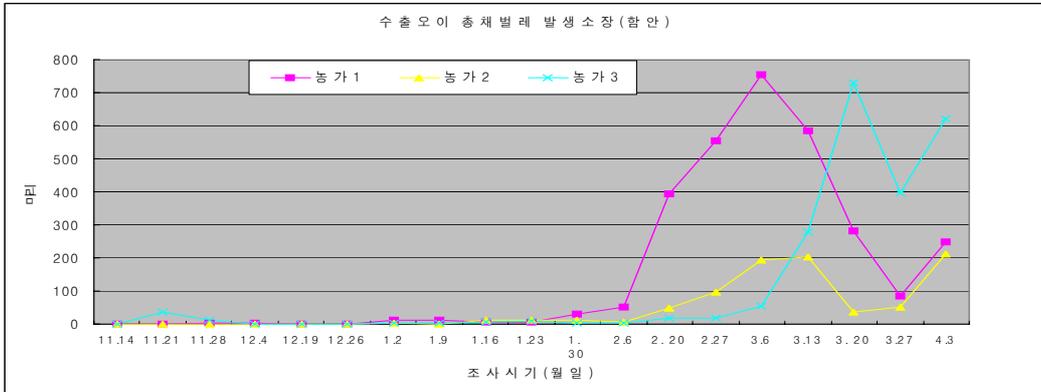


그림 4-3. 계속 - 수출오이 함안(오이총채벌레), 함안(온실가루이, 오이총채벌레)

나) 토마토에서의 지역별 해충밀도 변동 소장

시설재배 토마토의 발생해충은 오이와 마찬가지로 온실가루이, 총채벌레, 아메리카잎굴파리 등이었는데, 온실가루이의 발생이 가장 많았다. 지역별로 보면 온실가루이의 발생량이 가장 많은 지역은 광양지역이었다.

광양 수출토마토의 경우 온실가루이와 아메리카잎굴파리의 발생이 심하였는데, 이는 광양의 토마토는 8월 상순에 정식하여 고온기를 경과하면서 해충의 발생이 심한 결과로 생각되는데 수출상의 문제로 집중적인 방제를 할 수 없었기 때문으로 추측된다.

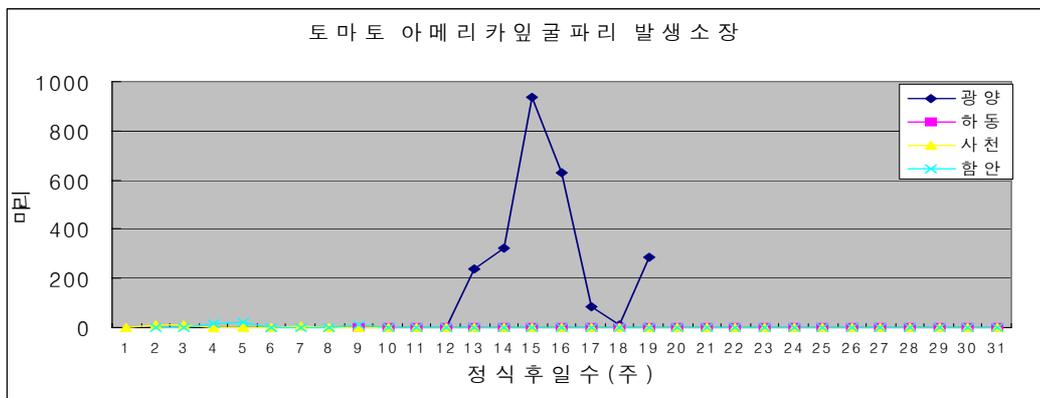
광양의 방울토마토 수확말기에 온실가루이의 분비물에 형성된 그을음증상이 잎과 과실에서 관찰되었다.

온실가루이는 정식 후 4-5주부터 발생하기 시작하여 점점 밀도가 증가되는데, 약제살포로 갑자기 밀도가 감소하지만, 방제되지 아니한 알에서 부화한 개체들이 왕성한 번식력으로 번식하여 약제방제 이전의 밀도로 빠르게 증가되는 것이 관찰되었다.

아메리카잎굴파리의 발생도 토마토재배가 오래될수록 심하였는데 특히 수출토마토에서 발생이 많았다. 함안 지역의 수출용이 아닌 내수용 토마토에서는 아메리카잎굴파리의 발생은 거의 없었으나 수출용토마토에서는 후기에 발생이 심하였는데 이는 약제방제를 함부로 하지 못하는 수출토마토 재배농가의 문제점으로 생각된다.

잎굴파리는 성충이 황색트랩에 유인되는 수가 실제 발생량에 비하여 극히 적은 경향을 보였는데 하동의 유리온실에 발생한 아메리카잎굴파리는 토마토생육에 큰 영향을 줄 수 있는 수준이었으나 황색트랩에는 거의 유인되지 아니하였다.

작은뿌리파리의 발생이 함안과 사천에서 많았는데, 이는 퇴비 시용에 의한 결과로 생각되었으며, 토마토에서도 오이충채벌레의 발생이 다소 있었으나 발생량은 적었다.



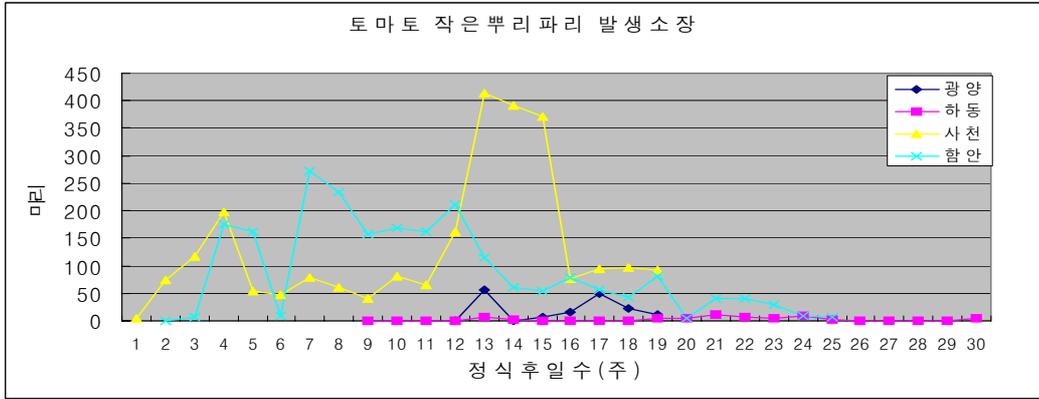


그림 4-4. 토마토에 있어서 온실가루이, 아메리카잎굴파리 작은뿌리파리 발생소장

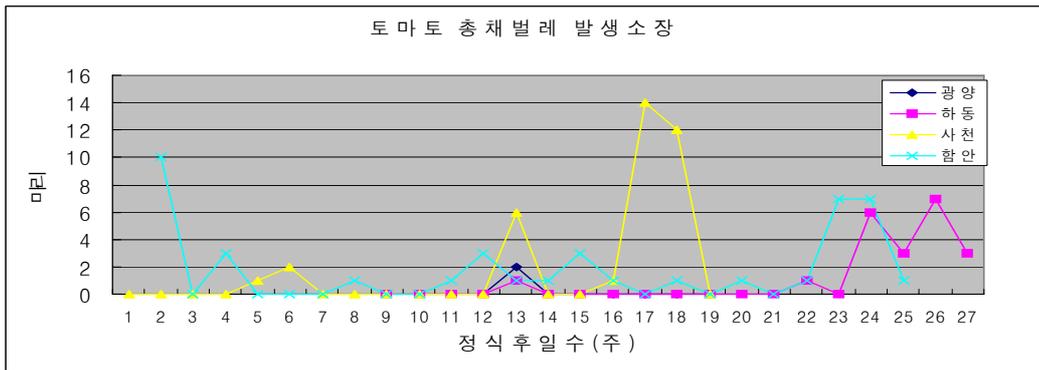


그림 4-4. 계속 - 토마토에 있어서 총채벌레 발생소장

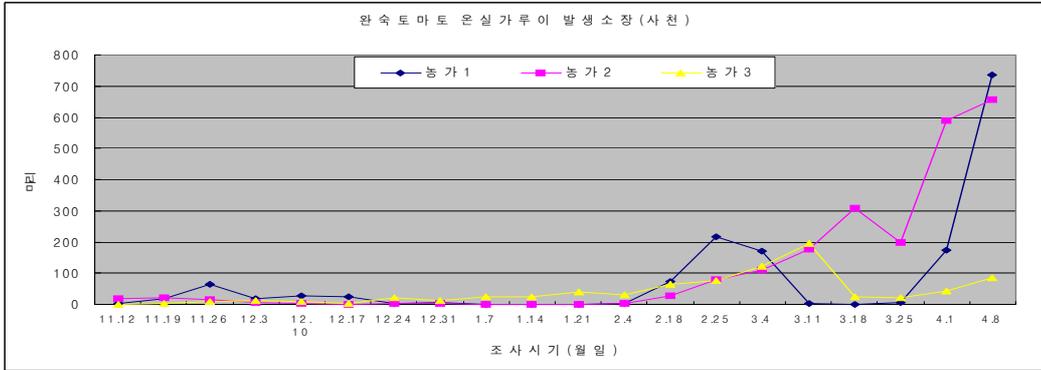
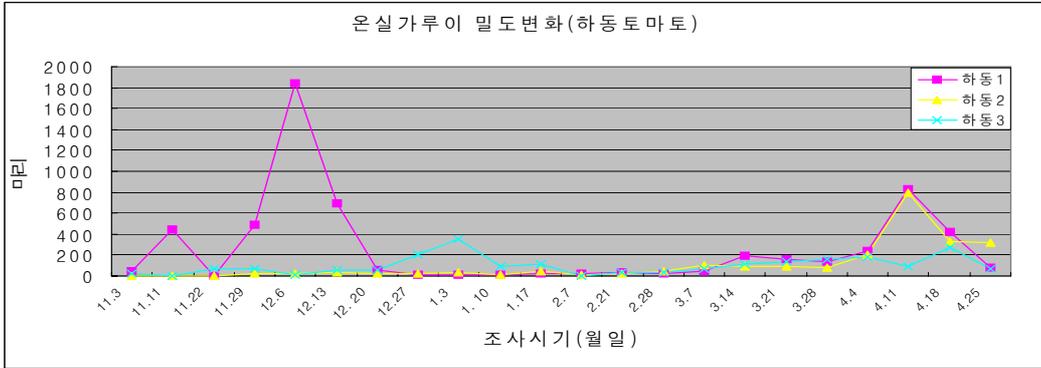


그림 4-5. 토마토에 있어서 농가별 해충발생 - 하동(온실가루이) 사천(온실가루이)

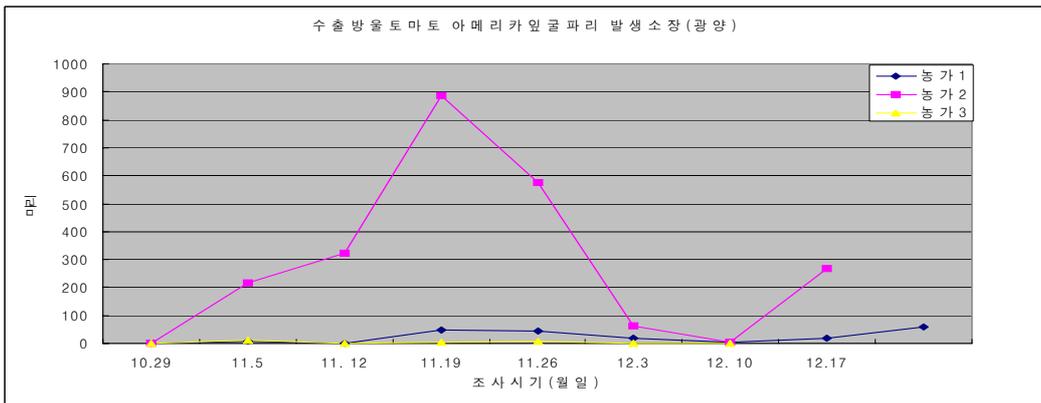
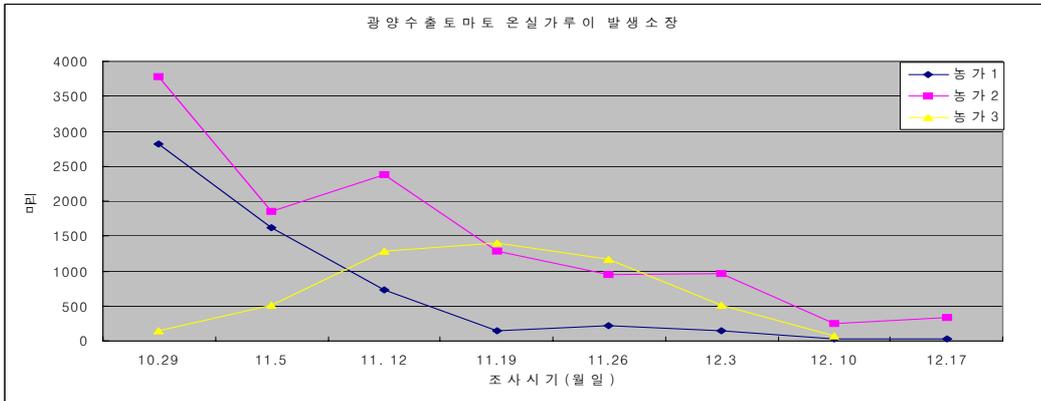
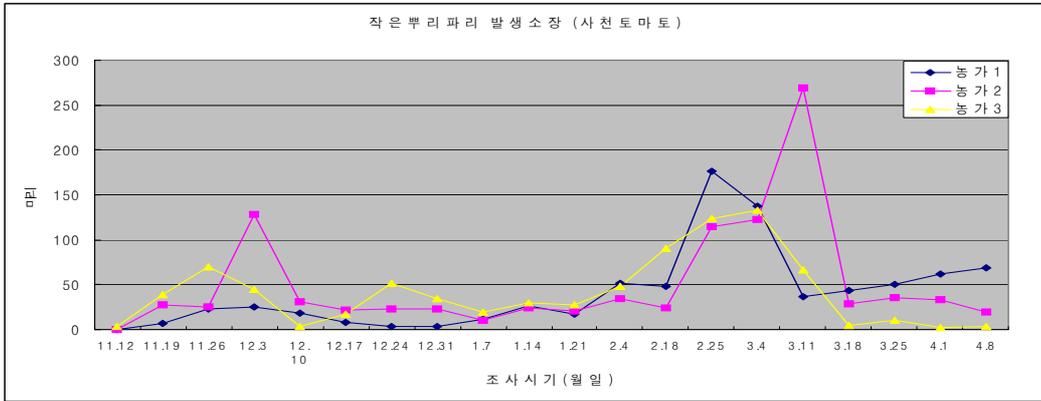


그림 4-5. 계속 - 사천(작은뿌리파리), 광양 수출토마토(작은뿌리파리, 잎굴파리)

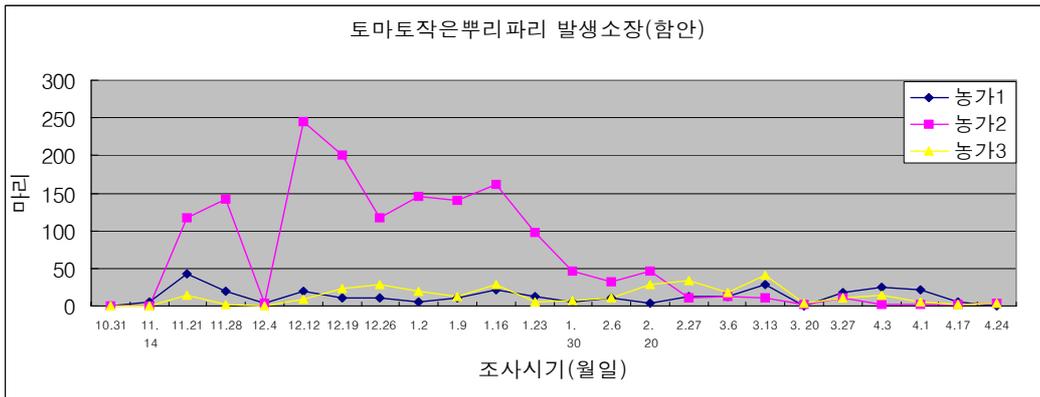


그림 4-5. 계속 - 함안 방울토마토(온실가루이), 완숙토마토(작은뿌리파리)

5) 조사 대상지역에서 오이 토마토의 중요 발생병해

가) 토마토에서의 지역별 중요 발생병해

광양지역의 방울토마토는 10월 중하순에 세균성시들음병이 다소 발생되어 말라죽는 포기가 발견되었으나 11월 중순이후에는 더 이상의 세균성시들음병의 발생은 없었다. 잎곰팡이병은 10월 하순부터 발생되기 시작하였고, 흰무늬병이 많이 발생되었다. 광양지역의 오이후작 방울토마토(12월 상순정식)의 병해는 잎곰팡이병이 2월 하순에 다소 발생되었고, 4월 상순에 잎마름역병이 발생하여 4월 중순에는 습기조절이 불량한 동쪽에는 잎마름역병에 의한 상위엽의 고사현상이 관찰되었으나 그후 고온에 의해 진전이 위축되었다. 잿빛곰팡이병의 발생은 심하지 않았으나, 역병이병 부위에 다소 발생하는 경향이였다.

함안지역의 방울토마토는 1월 상순부터 잎곰팡이병이 발생되어 1월 중순에 심하게 발생되었고, 잿빛곰팡이병은 2월 상순에 처음 발생된 후 점차 진전되어 3월 중순에는 심하게 발생되어 잎, 가지, 줄기에 큰 피해를 주었다. 한편 잎마름역병은 3월 하순에 처음 발생되어 점차 진전되어 4월 상순에는 심하게 발생되어 이병부를 절단하여 새순을 내어야 했으나, 그 후 고온으로 역병은 수그러들기 시작하였다.

사천지역의 완숙토마토는 잎곰팡이병과 잿빛곰팡이병의 발생이 심하였으며 말기에는 잿빛곰팡이에 의한 과실의 썩음이 심하였다.

하동지역의 완숙토마토는 과일과 줄기에 잿빛곰팡이병의 발생이 심하였으며, 다른 병해는 없었다

나) 오이에서의 지역별 중요 발생병해

일반오이는 생육초기부터 노균병과 흰가루병이 발생되었으며, 흰가루병과 노균병이 심하여 생육기간이 짧아진 경우가 많았으며, 수출오이의 경우는 갈반병의 만연으로 작기를 단축하는 경우가 대부분이었다. 한편, 세균성시들음병이 발생되는 농가도 있었지만, 그 피해는 크지 않았으며 성과기에는 균핵병에 의한 피해가 컸으며, 말기에는 잿빛곰팡이병의 발생도 심한 편이었다.

6) 조사 대상지역에서 오이 토마토의 농가 관행 병해충 방제방법

전 조사지역에서 살포되는 농약은 독성이 강하고 지속기간이 길어 오이, 토마토 공히 수확기 이전에는 방제에 문제가 없었으나 수확기가 시작되면 거의 매일 수확하여야 하는 이들 작물은 현재 시중에 유통되는 농약으로는 살포 후 당일 수확할 수 없으므로 적기방제 또는 적기수확 할 수 없어 품질이 낮아졌다.

많은 농가에서 불확실하고 검증되지 않은 생물농약, 각종 영양제 등 자연 농약으로 지칭되어 시중에 유통되는 제품들을 구입 살포하여 많은 피해가 발생하고 있다(생물농약 1종,영양제 4-6종, 자연농약 2종).

금후 생물적 방제 체계확립은 물론 시중에 유통되는 제품들에 대한 체계적 검증과 유통질서 확립이 시급할 뿐 아니라 신제품들에 대한 정확한 정보 전달매체가 요구된다.

본 조사와 관련 병해충방제, 시비법, 영양제 처리 등 주요작업 내용에 대하여 정기적인 방문 청취로는 자료가 불충분하며, 재배 농민 대표 등을 유급연구보조원으로 임명하는 등의 방법으로 본인은 물론 인근 농가의 영농일지를 상세히 기록, 기초 자료로 활용함이 효과적인 수행방법으로 생각된다.

농가에서 사용빈도가 높은 유사 농약: 목초액, 키토산, 생물농약, 슈도모(동양미생물제제), 영양제, 하이믹스(복합 아미노산-일제), Bs-Green(영양제, 한국비료), 그린피아 액비(영양제), 가루키에이치(칼슘), 푸로칼, 아미노플러스, Cal Bank(서울농자재).

7) 금후 검토가 요망되는 사항

재배환경, 작물생육 및 생리 장애조사 결과 수출용으로 재배되는 완숙토마토와 오이는 국내에서 검토된 바 없는 품종을 “일본” 또는 “네덜란드”에서 직수입 재배하고 있어 이들 품종에 대한 특성을 충분히 검토하여 이들 품종 특성에 맞는 재배 기술 확립이 시급하였다.

혹서기 1-2개월 휴작하고 주년 시설 재배되고 있어 연중 10°C 이상으로 경과되는 시설 내에서의 병해충이 후작물에 조기에 감염되는바 적절한 대책이 요망되었다.

효과가 검증되지도 않은 채로 유통되는 각종 엽면살포제 및 토양처리제의 적정여부검토와 새로 개발되는 신종제품들에 대한 정확한 정보전달 매체를 확립하여 피해를 예방하여야 할 것으로 생각된다. 특히 소 사료, 동물 혈액 등의 기비처리에 대한 타당성 검토와 농가에서 보편화된 관비 시용에 대한 검토가 요망되었다.

시설토양의 이화학적, 토양 내 해충, 병원균 서식밀도 등을 정밀 조사하여 연작장해 대책을 강구하여야 할 것이다. 병해발생조사결과 수출오이 재배농가에서 갈색반점병에 의한 피해가 막심한바 수출오이(백침계)재배시 갈색반점병 예방을 위한 대책 규명이 시급하였다.

4-2. 고추와 수박에서 재배형태 및 시기별 해충발생상황 조사

가. 재료 및 방법

연구 2차년 에는 고추와 수박을 대상으로 작물 당 4개 지역을 선정하여 재배형태 및 시기별 해충의 발생상황을 조사하였다. 각 선정된 지역에서 3개소의 농가를 표본으로 선발하고 연중 일정한 주기(7일 간격)로 지역을 순회하며, 재배유형과 특히 시설재배의 경우 시설의 유형과 기본환경조건을 조사하고, 재배되는 작물의 품종, 재배방법(파종기, 재식밀도, 기타), 작물의 상태, 병해충의 종류, 밀도, 가해상황, 대처방법 등 병해충과 그 발생환경에 관한 모든 사항을 조사하여 데이터베이스로 구성할 수 있도록 체계화하였다.

1) 작물별 조사지역과 농가

고추와 수박에서 재배형태별 시기별 해충의 발생상황을 조사하기 위해 작물별로 4개 지역을 선정하고 각 선정된 지역에서 3개의 비닐하우스를 선정하여 조사하였다. 조사 지역과 각 지역에서의 정식기, 수확기 그리고 재배목적 및 유형은 표 4-11에 표시한 바와 같다.

표 4-11 고추와 수박에서 재배형태별 시기별 해충의 발생상황 조사지역

작물	조사지역	작형		비고
		정식기	수확기	
고추	진주 집현	10상~10중	11하~	
	진주 금산	10중~11상	12상~	
	사천 곤명	8하~10하	10상~	
	창녕 영산	12상~1상	1하~	
수박	진주 집현	8하~1중	12상~4중	
	진주 수곡	3하~4상	6상~6중	
	사천 곤명	3하~4상	6상~6중	
	함안 법수	8하~11중	12상~3상	

표 4-12 고추와 수박 조사농가의 번호, 지역, 재배자 및 재배작물의 품종

지역번호	조사 지역	재배자	작물(품종)	정식시기	작형
곤명1	사천군 곤명면	이상업	고추(녹광)	10월10일	고추유형2
곤명2	사천군 곤명면	이상업	고추(녹광)	8월29일	고추유형2
곤명3	사천군 곤명면	김종석	고추(녹광)	8월29일	고추유형2
곤명4	사천군 곤명면	윤용준	수박(꿀수박)	3월1일	딸기후작
곤명5	사천군 곤명면	박어상	수박(꿀수박)	3월10일	딸기후작
곤명6	사천군 곤명면	하만표	수박(꿀수박)	3월10일	딸기후작
금산1	진주시 금산면	강갑문	고추(청양)	10월8일	고추유형1
금산2	진주시 금산면	정성구	고추(녹광)	10월20일	고추유형1
금산3	진주시 금산면	나만오	고추(녹광)	10월5일	고추유형1
영산1	창령군 영산면	차상준	고추(녹광)	12월7일	고추유형3
영산2	창령군 영산면	강호철	고추(녹광)	12월7일	고추유형3
영산3	창령군 영산면	오필석	고추(녹광)	12월7일	고추유형3
영산3-1	창령군 영산면	차상준	고추(녹광)	1월7일	고추유형3
집현1	진주시 집현면	박종기	고추(녹광)	10월5일	고추유형1
집현2	진주시 집현면	박종기	고추(녹광)	10월5일	고추유형1
집현3	진주시 집현면	이경렬	고추(녹광)	10월14일	고추유형1
집현4	진주시 집현면	김정옥	수박(금보)	8월25일	수박유형1
집현5	진주시 집현면	윤재용	수박(스피드)	11월1일	수박유형2
집현6	진주시 집현면	윤재용	수박(꿀수박)	1월20일	수박유형4
법수4	함안군 법수면	강명호	수박(금보)	9월16일	수박유형1
법수5	함안군 법수면	강명호	수박(명가왕)	11월19일	수박유형2
법수6	함안군 법수면	김찬재	수박(명가왕)	12월1일	수박유형1
수곡4	진주시 수곡면	강신원	수박(꿀수박)	3월23일	딸기후작
수곡5	진주시 수곡면	하양근	수박(꿀수박)	3월22일	딸기후작
수곡6	진주시 수곡면	조원중	수박(꿀수박)	3월23일	딸기후작

해당 고추와 수박 조사농가별로 농가별 분류코드가 부여되었으며, 농가의 위치, 재배자 및 재배작물의 품종 등은 표4-12에 표시된 바와 같다.

2) 조사주기 및 방법

가) 재배환경조사

해충의 발생동태에 영향을 주는 고추와 수박의 재배환경을 조사하였으며, 그 조사항목은 표 4-13에 나타낸 바와 같다.

재배하고 있는 시설의 유형과 재배법 그리고 윤작체계는 실제 조사농가를 방문하여 확인하거나 직접 농민을 만나서 문의하여 조사하였다. 1연차 연구의 오이 토마토의 경우와 같이 시설내의 기온, 지온, 습도 등 기본환경은 데이터로거(Hobo 온습도 자동기록계)를 이용하여 매 15분 간격으로 조사하였다.

표 4-13 고추와 수박 조사농가의 번호, 지역, 재배자 및 재배작물의 품종

조사 항목	조사내용	조사 기준 또는 방법
기본환경	기온,지온,습도,조도	Data logger 설치 (전 농가 설치)
시설유형	시설방향,시설크기,시설양식 피복재료,보온시설,환기시설 방제시설,관수시설 등	설문 또는 실측
재 배 법	재배양식,작형,품종명 재식거리,시비량 및 시비방법 기타	영농일지 기록 설문 또는 실측
윤작체계	전후 작물,병해충 방제를 위한 작부약식	영농일지 기록 설문 또는 실측

나) 작물의 상태 조사

전 조사기간중 환경과 재배법의 차이에서 오는 고추와 수박의 생육상태를 매주 조사하였다. 조사 항목은 표 4-14에 표시된 바와 같다.

표 4-14 작물의 상태와 조사내용 조사기준 및 방법

구분	조사내용	조사기준 또는 방법
작물 생육 상태	정상, 과범무, 생육불량 등	심,다,중,소,무로 구분 조사
병해충 피해상태	피해정도(가해부위,피해상태)등조사	심,다,중,소,무로 구분 조사
수확물 상태	품질, 피해과 여부	심,다,중,소,무로 구분 조사

다) 작물의 생리장해 조사

고추와 수박에 있어서 나타나는 생리장해 증상을 해충의 피해와 구분하기 위해 피해증상, 피해부위, 피해정도, 생산물의 상태, 예상되는 원인 등과, 약해, 영양장해, 미량요소 과부족, 토양 조건 등을 심, 다, 중, 소, 무로 구분하여 조사하였다.

라) 해충조사

고추와 수박에 발생하는 해충의 발생상황과 그 동태를 파악하기 위해 표 4-15에 표시된 바와 같이 온실가루이, 총채벌레류 등의 성충은 끈끈이 트랩(10cm x 15cm)으로 1주간 부착된 수를 조사하고, 유충의 밀도는 조사지 당 100잎을 임의 추출하여 실수를 조사하였다. 식엽성 해충은 등은 하우스 당 3개소를 선정하여 피해엽율을 조사하였고, 기타 해충은 상황에 따라 같은 방법으로 조사를 피해도를 조사하였다.

표 4-15 고추 수박에서 해충발생동태 조사의 내용

대상해충	조사 방법	조사 기준
온실가루이, 잎굴파리, 총채벌레 등 미세 해충	끈끈이 Trap (엽당밀도)	밀도조사(하우스당 4개소) 피해도 (다,중,소,무 구분)
과밤나방, 거세미나방	피해 엽율(개체별)	밀도조사(하우스당 3개소) 피해도 (다,중,소,무 구분)
기타	주당밀도	밀도조사(하우스당 3개소) 피해도 (다,중,소,무 구분)

마) 병해 조사

해충의 피해와 구분하기 위해 발생중인 병해를 조사하였다. 조사의 대상이 된 중요 병은 고추와 수박의 생육 및 품질에 영향이 큰 병해로서 그 발생 정도에 따라 심, 다, 중, 소, 무로 구분하였다.

바) 방제법 조사

고추와 수박에서 발생하는 해충의 피해를 막기 위해 농가에서 사용하는 방제 약제, 방제 시기, 방제 방법 등을 설문이나 직접 목격하며 조사하였다.

나. 연구결과

조사 대상이 되는 고추와 수박에 대하여, 재배환경, 작물의 상태, 생리장해, 해충의 발생동태, 중요 발생병해, 방제방법 등에 대하여 집중적으로 조사하였다.

1) 조사 대상지역에서 고추 수박의 시설 유형 및 재배환경

가) 고추 수박 재배 농가의 시설의 유형

고추: 재배시설은 창녕 영산 등지의 3/4식 또는 외지봉식 단동형을 제외하고는 모든 조사지역에서 대형 아치형(1-6연동)이었다. 시설방향은 영산 지역 3/4식 또는 외지봉식의 경우 반드시 동서동(남향)으로 설치되어 있으나, 타 지역은 논 모양에 따라 방향이 결정되었다. 보온은 조사 지역 모두 온풍난방 가온하였고, 비닐로 하우스외피 및 2중 피복한 다음 다시 부직포로 하우스내부에 3-4중 피복하거나 외부에 피복하여 주야간 개폐로 보온·채광을 조절하였다. 단 창녕 영산 지역은 내피복을 하지 않았고 하우스 외부에 부직포로 피복보온 하였다.

수박: 재배시설은 모든 조사지역에서 소형아치형 단동으로 재배 작형에 관계없이 무가온으로 재배되었으며, 기온이 내려감에 따라 하우스 내 비닐2중 피복하고 다시 재배상에 소형터널을 설치하여 비닐 피복하거나 다시 그 위에 부직포를 피복, 보온재배하고 있었다.

표 4-16 고추 수박 재배농가의 시설의 유형

작물	지역	하우스양식	피복재료 및 방법	하우스 내 시설
수박	진주, 사천	대형 아치형, (1-6연동)	1.2중 비닐 외부 부직포 피복 또는 내부 부직포 피복	온풍난방, 점적호스
고추	진주, 사천	대형 아치형, (1-6연동)	1.2중 비닐 외부 부직포 피복 또는 내부 부직포 피복	온풍난방, 점적호스
	창녕	3/4식, 외지붕식(단동)	하우스 외부 부직포 피복	온풍난방, 점적호스

나) Data logger에 의한 재배환경 조사결과 - 실내기온

전 조사 대상 24개 하우스에 설치된 DATA logger의 하우스 내 기상조사에 따르면 최고기온 45-55℃로 고온장해가 염려되고 상대습도 야간 100%인 반면 주간 20-30% 이내로 건조하였다. 특히 고추의 경우 가온에 의한 고온과 건조로 흰가루병과 총채벌레의 발생을 촉진하고 있었다.

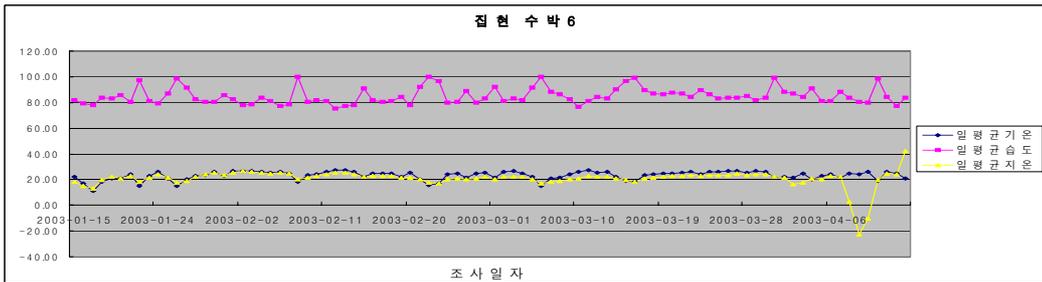
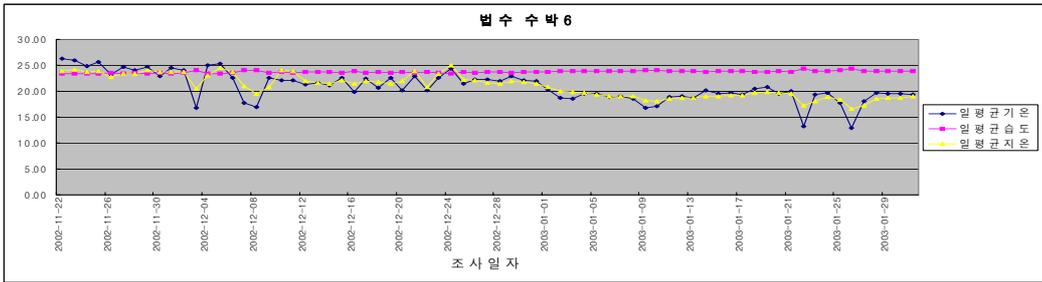
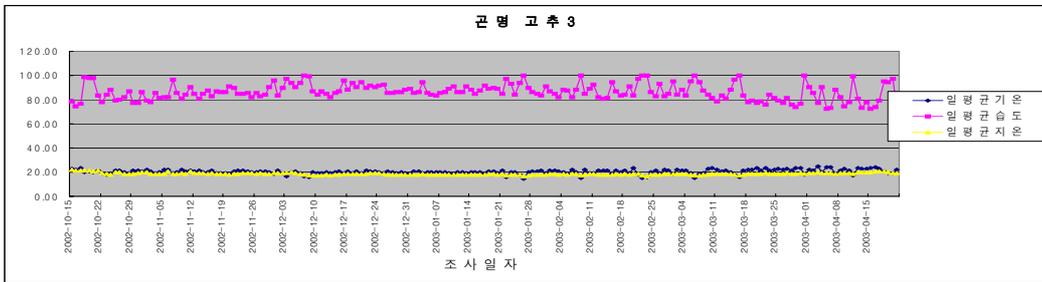
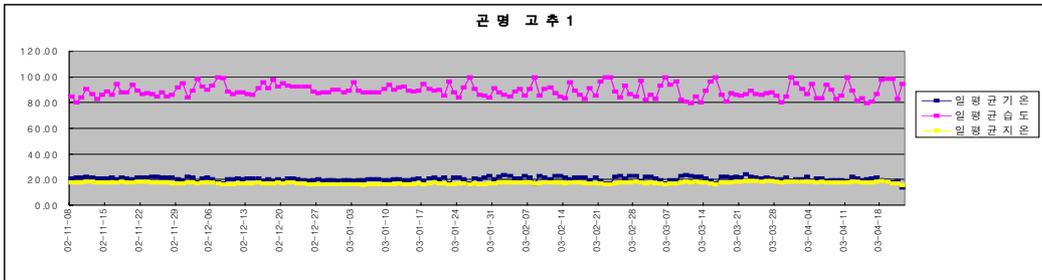


그림 4-6. 고추와 수박 재배농가의 온습도 및 지온의 변화(곤명-고추, 법수-수박)

2) 조사 대상지역에서 고추와 수박의 재배형태 및 유형

본 연구에서는 고추와 수박의 재배형태, 재배유형, 작부체계 또한 해충의 발생에 영향을 미치는 한가지 중요한 요인으로 보고 해충 밀도변동 조사의 대상이 된 농가에서 조사하였다. 그 결과는 표 4-17, 표 4-18 등에 나타낸 바와 같다.

표 4-17 고추 수박 재배형태

작물	지역	품종	재배양식	평당주수(주)	정식기(월순)	수확기(월순)	시비방법	비고
고추	진주집현	녹광	토양	10-11	10상-10중	11중-	혼합축분	10a당 15ton 내외 시비(기비)5-7일 간격 액비 관주
	진주금산	청양, 녹광	토양	8-13	10상-10중	12하-	혼합축분	10a당 15ton 내외 시비(기비)5-7일 간격 액비 관주
	사천곤명	녹광	토양	12-13	8하-10중	10중-	돈분+우분 +계분+왕 계	10a당 15ton 내외 시비(기비)5-7일 간격 액비 관주
	창녕영산	녹광	토양	8	12상-1상	2중-	농협퇴비, 축분+톱밥	10a당 15ton 내외 시비(기비)5-7일 간격 액비 관주
수박	진주집현	꿀수박 금보	토양	2	8하-1중	12상-4중	액비관주	7-10일간격 액비관주
	진주수곡	꿀수박	토양	2	3하-4상	-	액비관주	7-10일간격 액비관주
	사천곤명	꿀수박	토양	2	3상-3중	-	액비관주	7-10일간격 액비관주
	함안범수	꿀수박	토양	2	9중-11중	12상-3상	액비관주	7-10일간격 액비관주

가) 고추와 수박의 재배형태

고추: 조사지역 모두 토양재배 하고 있었으며 금산 일부농가에서 “청양” 품종을 재배하고 있었으나 대부분 농가는 “녹광” 품종이 재배되었다. 재식주수는 평단 8-13 주로 지역간 큰 차를 보였으나 동일 지역 내 농가간에는 큰 차가 없었다. 벼를 재배하지 않는 일부 농가에서는 8월 하순경 정식하였으나 정식 초기 고온으로 초기생육이 지나치게 무성하였다. 대부분 지역에서 벼 후작으로 10월 상, 중순에 정식하고 있었으나, 창녕지역에서는 대부분 농가가 오이 억제재배후작으로 12월에 정식하였고 간혹 오이 간작으로 정식한 후 거의 1개월 이상 오이를 수확한 후 철거하는 농가가 있어 초기 고추 생육 및 품질이 불량하였다.

수박: 최근 벼를 재배하지 않고 8-9월에 정식해서 연내 수확하는 작형이 늘어나고 있었으며 본 작형에서는 “금보” 품종을 선호하였다. 딸기후작으로 3-4월에 정식 재배하는 작형은 꿀수박품종을 선호하였으며 타 지역의 메론 후작과 같은 시기에 재배되어 홍수출하에 의한 가격 하락이 크게 염려된다.

나) 고추 수박의 작부체계

고추: 진주·사천 지역은 대부분 농가가 고추 후작으로 벼를 재배하거나 답수 상태로 경과시켜 연작장해를 경감시키고 있었고, 창녕 영산 지역은 고온기 단기간 답수 후 가을오이를 재배하고 후작으로 고추를 재배하는 농가가 많았다.

수박: 유형 1·2의 진기작은 해충발생은 적으나 무가은 재배에 부적합한 환경으로 소과가 생산되어 품질이 낮아지는 등 재배에 무리가 있었고 유형 3, 4는 무가은 재배에 알맞은 작형으로 작황은 양호하나 응애 및 진딧물 발생이 많고 같은 시기에 홍수 출하되어 적정가격 유지가 문제될 것으로 예상된다.

표 4-18 고추 수박 작부체계

작물	유형	지역	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
고추	1	진주	고추					벼 또는 담수							
	2	사천	고추					담수			고추				
	3	창영	오이	고추					벼 또는 담수			오이			
수박	1	함안-진주	수박		참외			수박		휴작			수박		
	2	함안-진주	벼	수박			수박			벼					
	3	진주	딸기					수박		벼					
	4	함안-진주	벼	참외			수박		벼						

나) 고추 수박의 생육상태의 변화

고추: 4개 조사 지역 중 사천 곤명 1개 농가에서는 정식초기 역병방제약제의 고농도 살포로 작물생육이 크게 위축될 정도의 약해를 받아 인근 농가에 비해 초기 약 1개월 정도 수확이 늦어 경제적으로 손실을 입기도 하였으며 피해 회복을 위해 갖가지 공인되지 않은 영양제, 생물제제 등을 구입, 살포하고 있었으나 이후 계속 수량 품질이 낮았다. 또 조사 농가중 대다수 농가에서는 작물 재배 전 토양분석 등을 통한 체계적 시비처방 보다는 어림짐작으로 시비하고 있어 농가에 따라 퇴비 및 기비의 과다 사용에 따른 활타 및 생육장해가 유발되고 다시 이를 회복시키기 위해 각종 효소, 미생물발효제 아미노산 등을 살포하고 있었다.

수박: 진주, 집현, 함안, 범수 등지의 조기 재배하는 작형에서 생육후기 급성 시듦증의 발생으로 수정 후 15-20일경부터 계속 차광하였다가 조기수확 (수정30일 전후)되어 과중은 떨어지고 당도는 크게 낮았다. 또 같은 작형에서 정상 생육되는 농가에서는 조기에 열과가 발생되었다. 작형에 관계없이 모든 조사농가에서 덩굴 마름병균에 의한 잎의 고사 현상이 생육후기에 다소 나타났다.

3) 조사 대상지역에서 고추 수박에 발생하는 생리장해

고추: 진주 금산에서 Ca 결핍증상이 과일에서 나타나는 농가가 있었으며 대부분 농가에서 4월 이후 기온이 상승함에 따라 고온장해 또는 과다 착과 등에 의한 낙화 및 곡과 현상이 나타나고 있었다. 또 다비에 의한 미량요소 결핍 등으로 하엽이 조기 황엽 및 낙엽이 되는 곳도 있었다.

수박: 조기재배 전 농가에서 급성 시듦 현상이 나타나고 있어 내한성 대복선발이 요구되고 있었으며 특별한 생리장해 현상은 없었다.

4) 조사 대상지역에서 고추 수박에 발생하는 해충의 동태

가) 고추에서의 지역별 해충밀도 변동 소장

농가에 따라 생육초기 차면지응애, 파밤나방, 거세미나방유충 등의 식흔이 약간 있었으나 약제방제로 곧 구제되었다. 기온이 상승함에 따라 진딧물 류가 유입되어 포장조사에서 10엽당 42마리에서 423마리가 발생되었으나 2회 정도의 약제방제로 완전 구제되었고 4월 이후 끈끈이 트랩에서 유시충이 채집되고 있어 금후 많은 발생이 예상되었다.

총채벌레류는 계속해서 채집되고 있으며 대부분 초기 발생 시에 쉽게 살

총계로 방제되고 있었으나, 계속 많은 양이 채집되고 있는 일부농가는 타 농가와 같은 약제 방제를 하여도 효과가 없는 것으로 보여지며 그렇게 많은 양이 채집되는 농가에서도 수확물에는 식혼 등의 피해가 없어 이에 대한 원인 규명이 요구된다.

표 4-19 시기별 발생량

조사지역	시기별(월/일) 발생량(마리/10엽)				
	12/30	1/6	3/17	3/31	4/22
집현1	166	42	-	-	-
집현3	-	-	423	116	-
곤명1	-	-	-	-	42

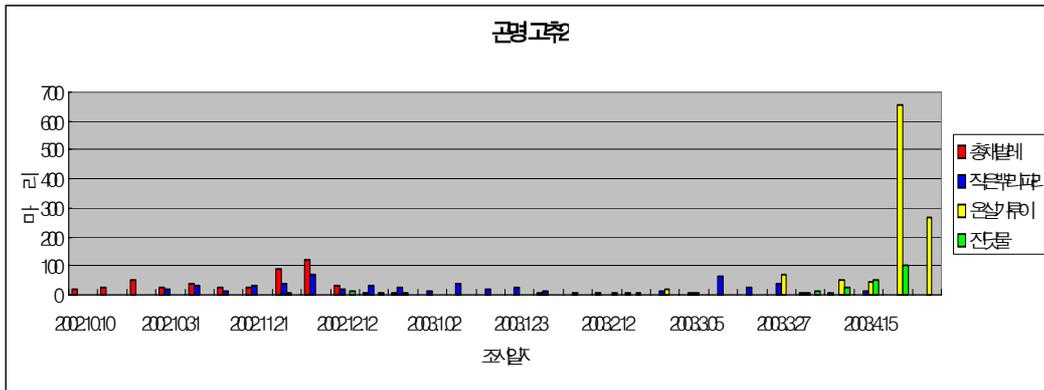
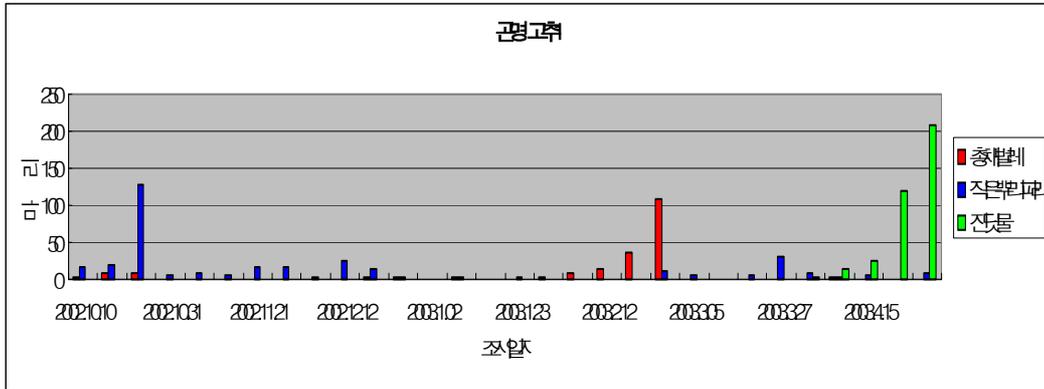


그림 4-7. 고추에 발생하는 해충의 발생동향 - 전체해충 곤명1 및 곤명2

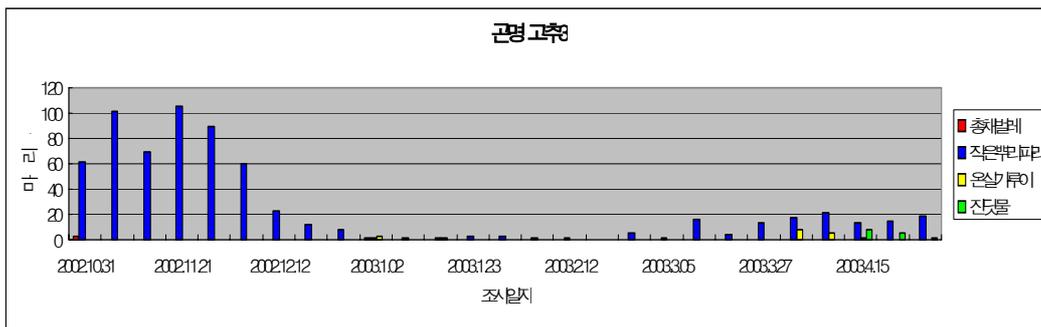


그림 4-7. 계속 고추에 발생하는 해충의 발생동향 - 전체 해충 곤명3

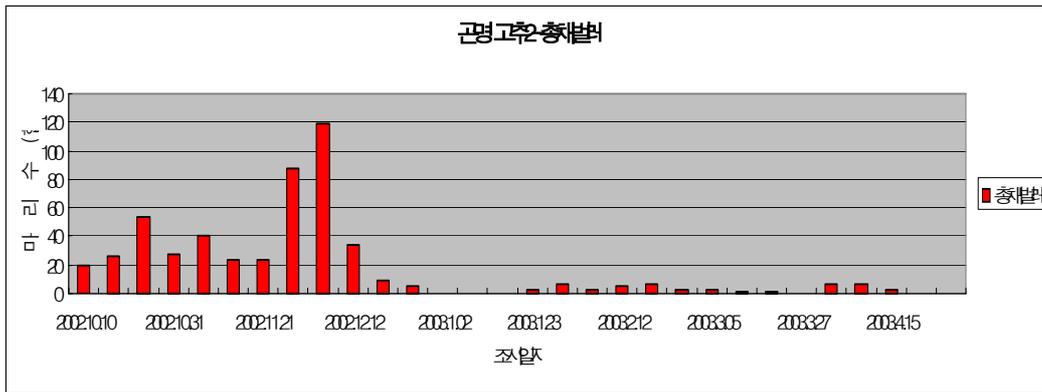
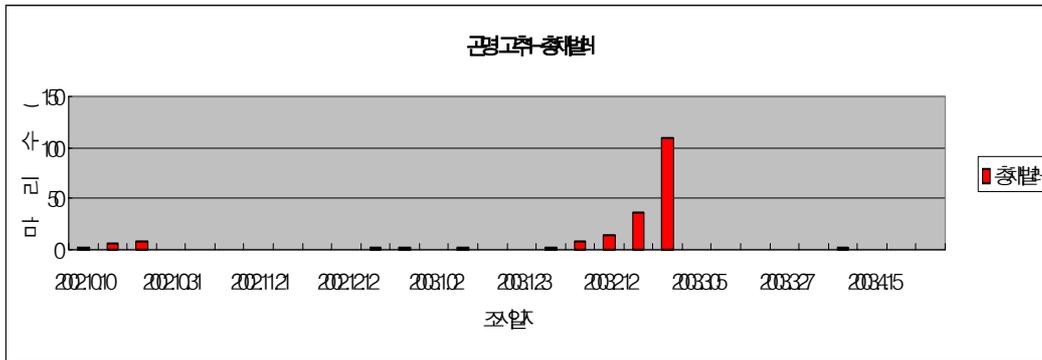


그림 4-7. 계속 - 총채벌레 곤명1, 곤명2

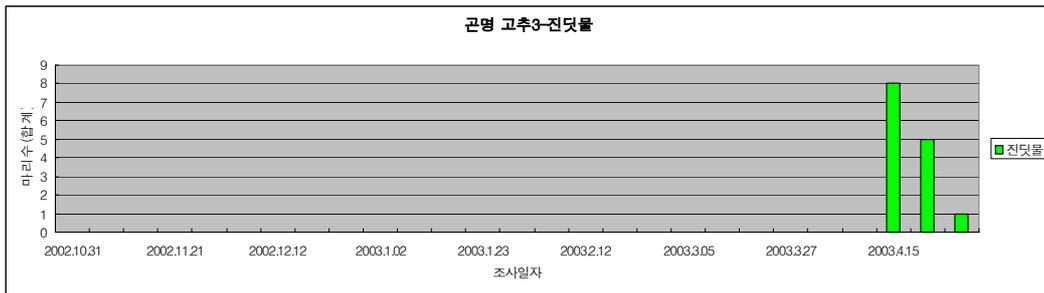
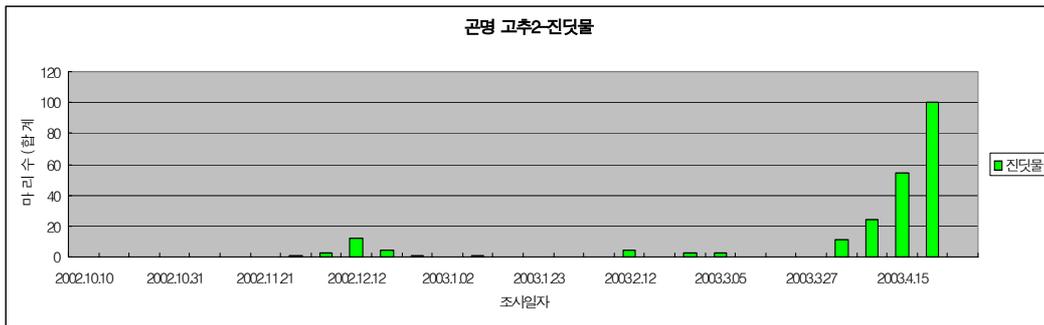
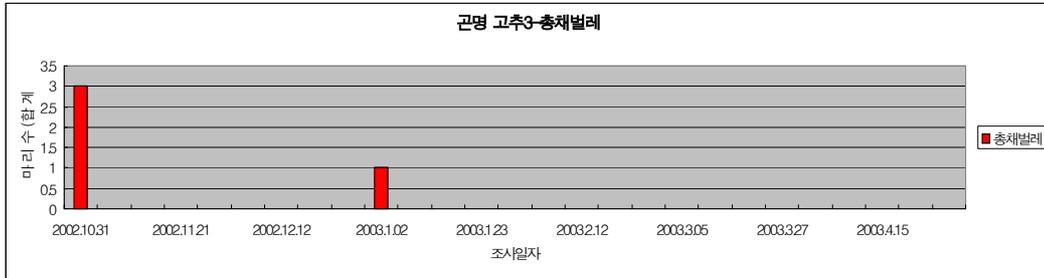


그림 4-7. 계속 - 총채벌레 곤명1, 진딧물 곤명1, 곤명2, 곤명3

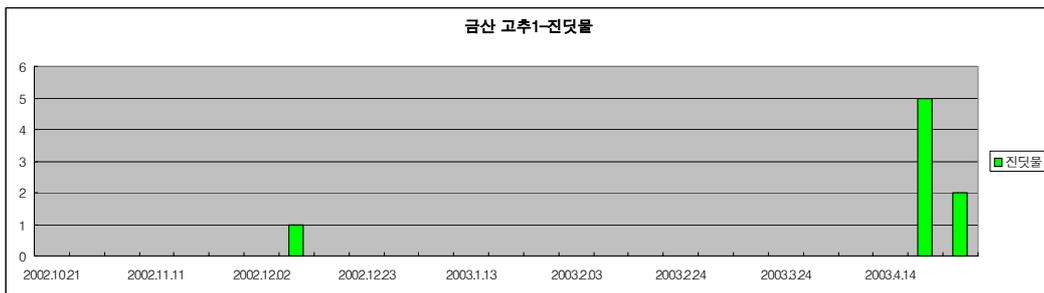
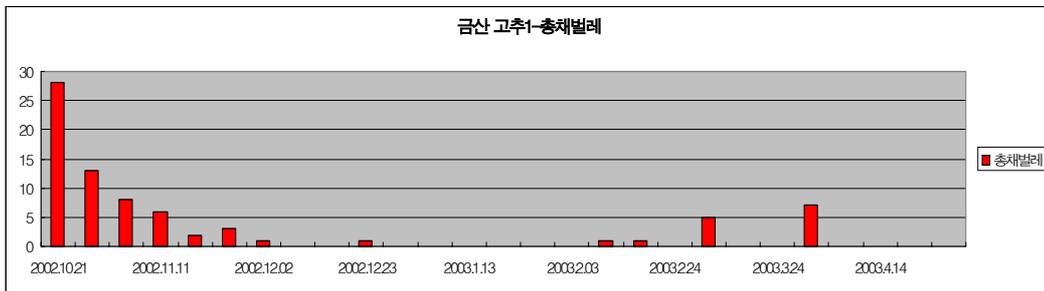
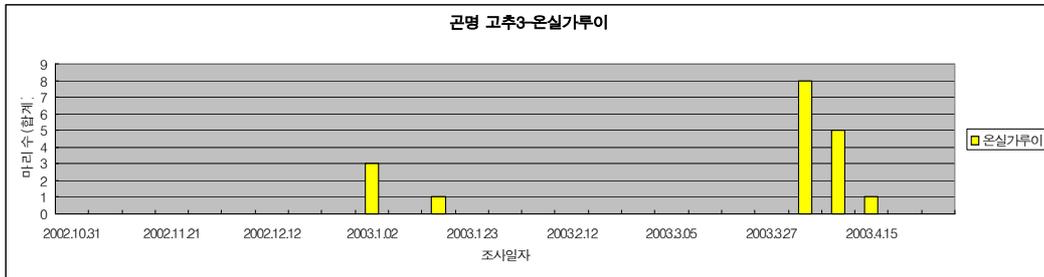
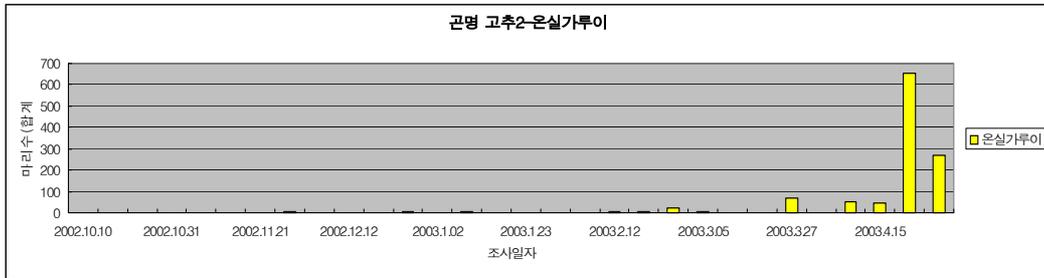


그림 4-7. 계속 - 온실가루이 곤명2 곤명3, 금산1 총채벌레 진딧물

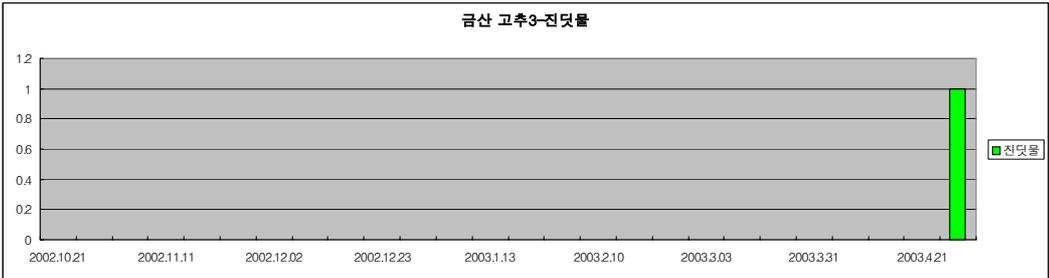
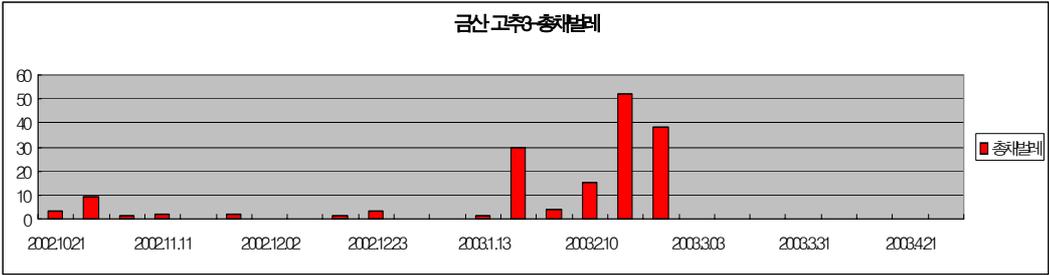
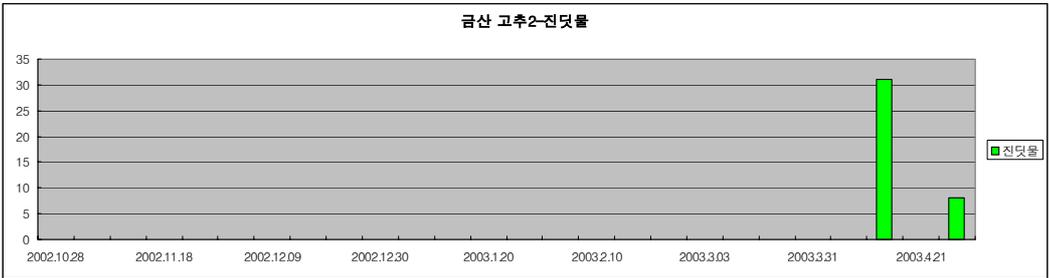
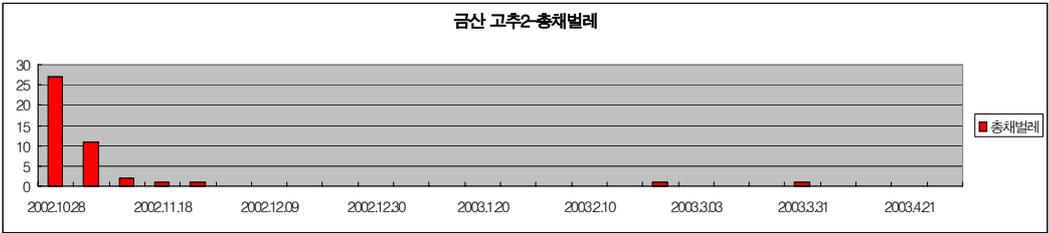


그림 4-7. 계속 - 금산2 총채벌레 진딧물, 금산3 총채벌레 진딧물

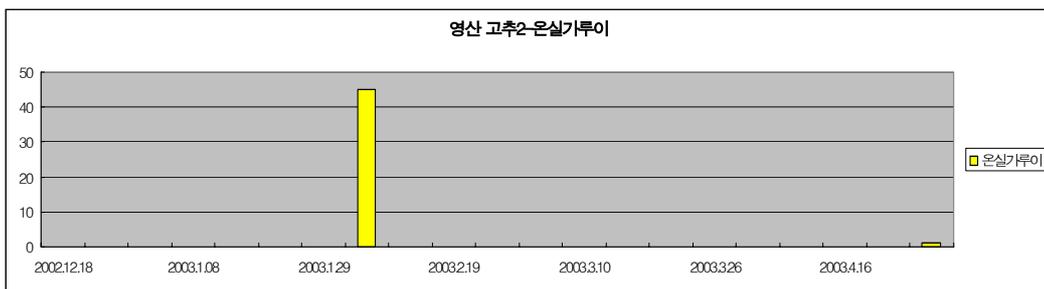
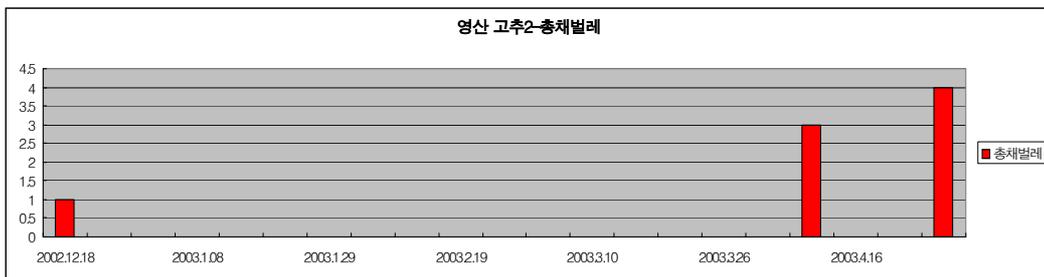
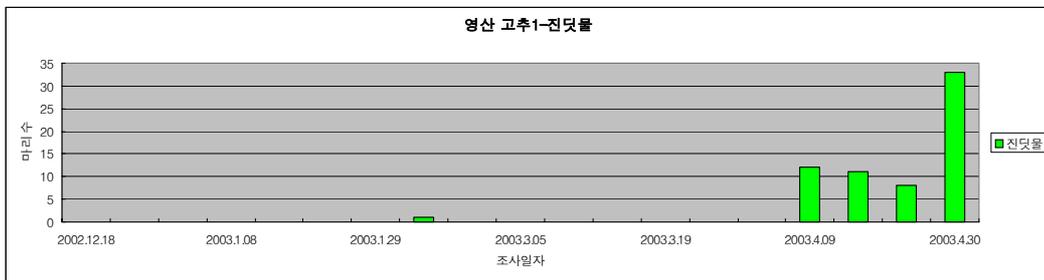
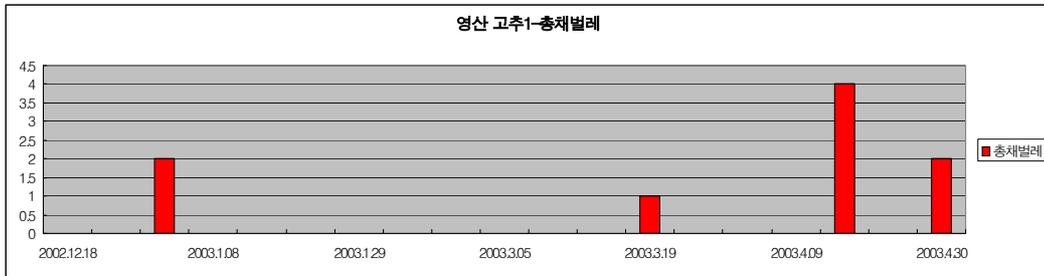


그림 4-7. 계속 - 금산2 총채벌레 진딧물, 금산3 총채벌레 진딧물

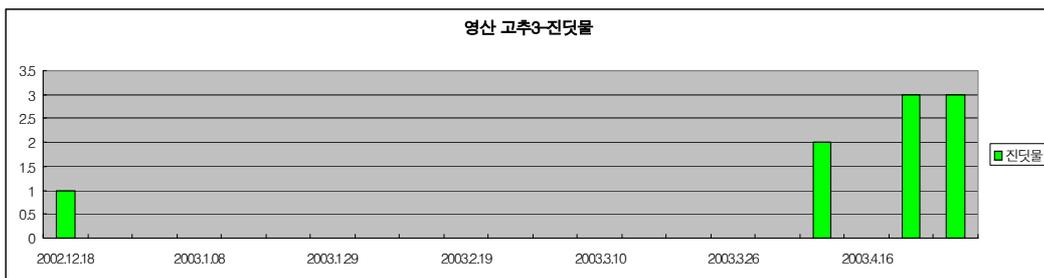
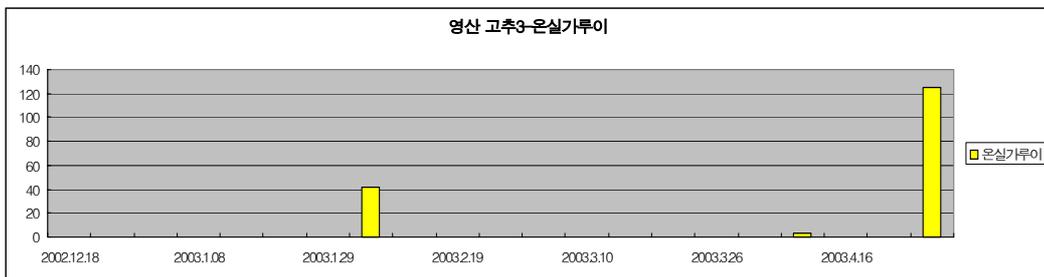
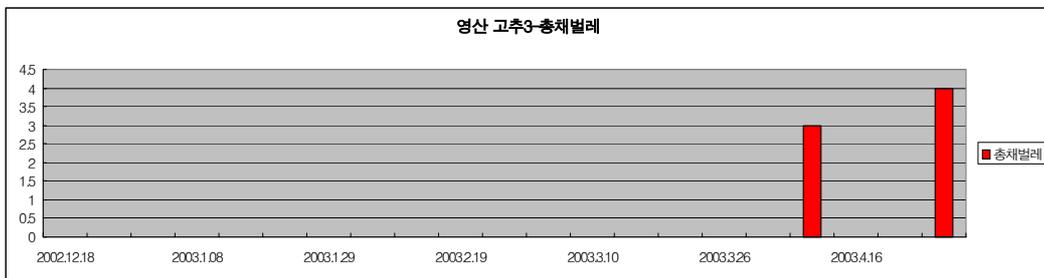
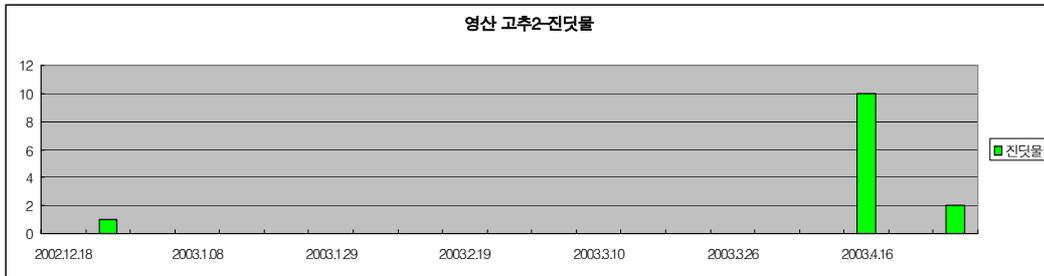


그림 4-7. 계속 - 금산2 총채벌레 진딧물, 금산3 총채벌레 진딧물

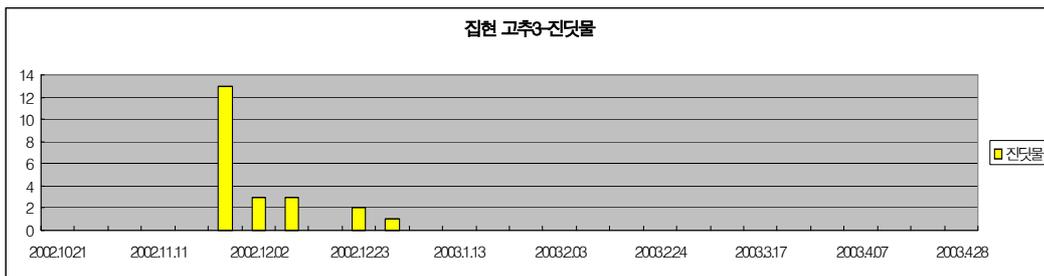
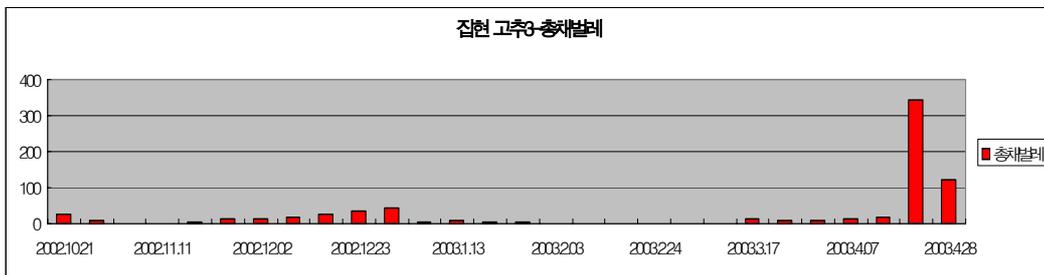
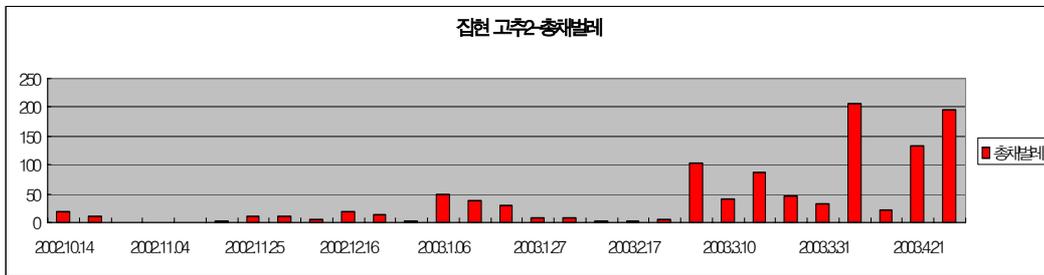
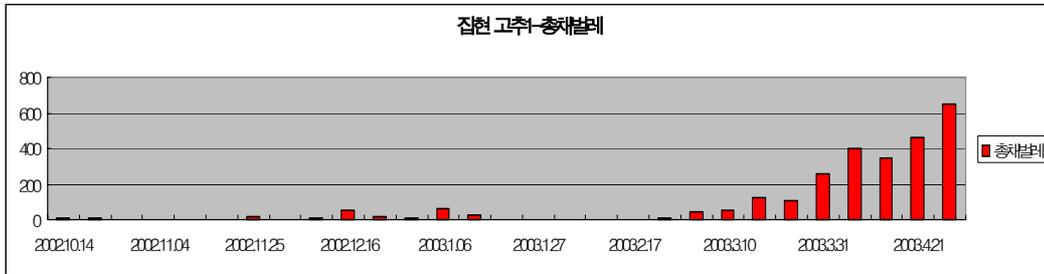


그림 4-7. 계속 - 금산2 총채벌레 진딧물, 금산3 총채벌레 진딧물

나) 수박에서의 지역별 해충밀도 변동 소장

수박: 모든 조사농가에서 생육초기 굴파리류, 거세미나방류, 식혼이 간혹 보였을 뿐 현재까지는 크게 문제되는 해충은 발생하지 않았으나 응애류, 진딧물 류가 간혹 눈에 띄는 농가가 있어 4월 이후 재배되는 지역에서는 응애류, 진딧물류 등의 많은 발생이 예상된다.

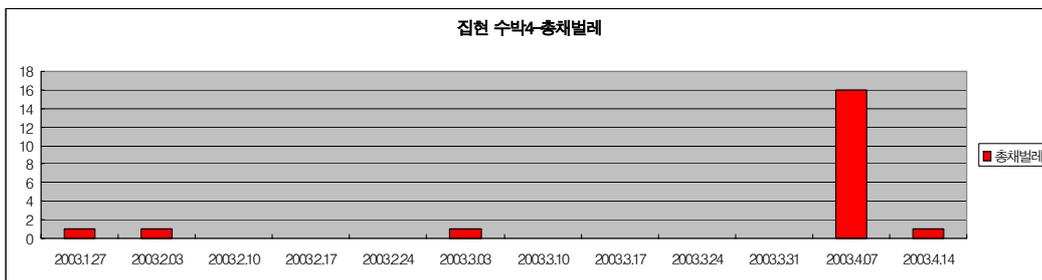
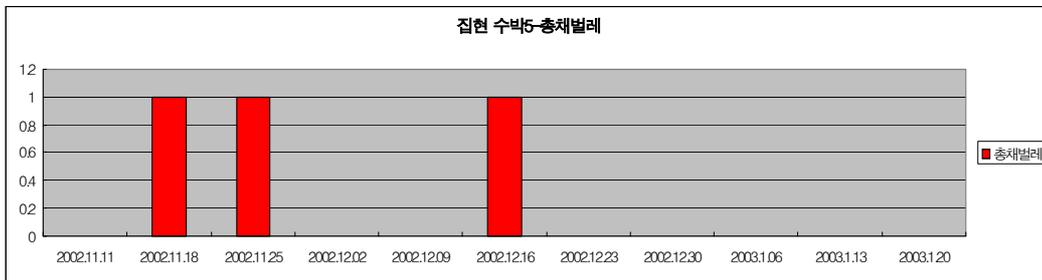
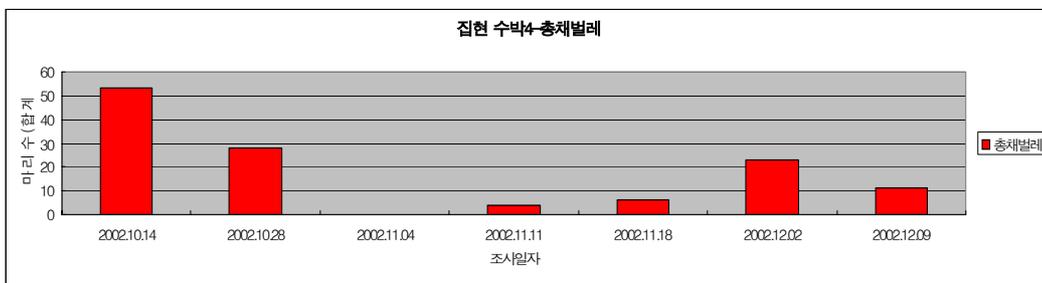


그림 4-8. 수박에 발생하는 해충의 밀도변화 - 총채벌레 집현 1,2,3

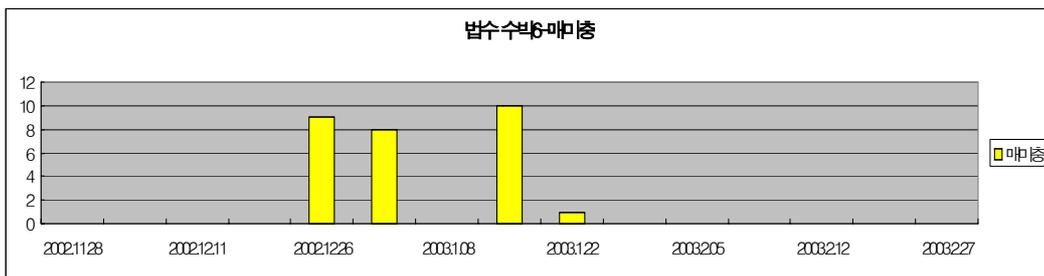
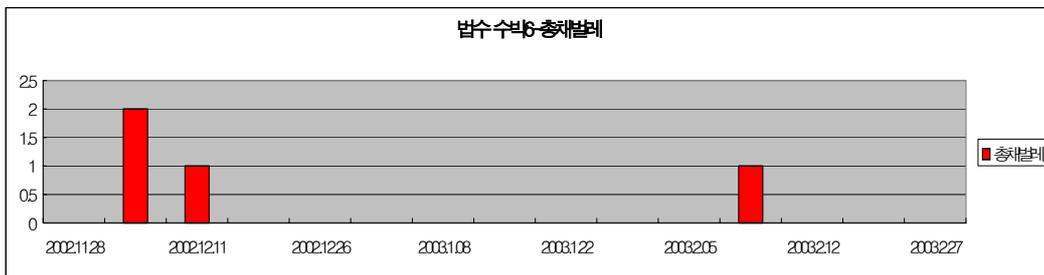
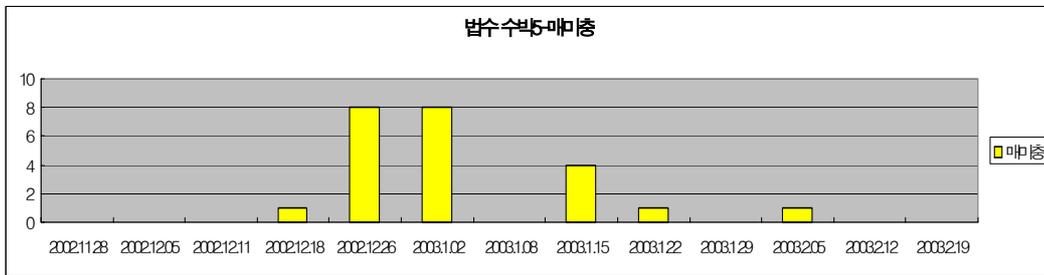
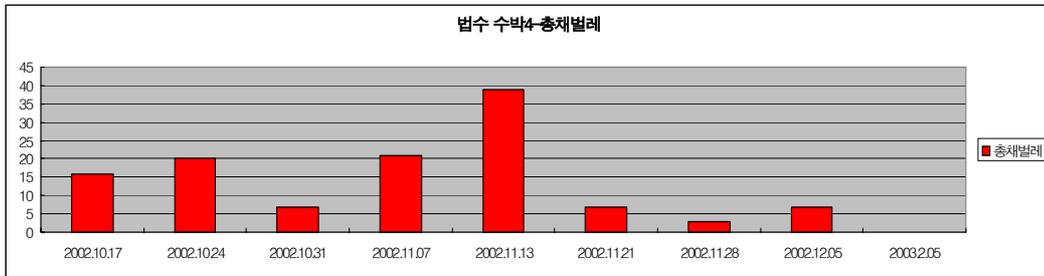


그림 4-8, 계속 - 총채벌레 법수-4,5,6 매미충류

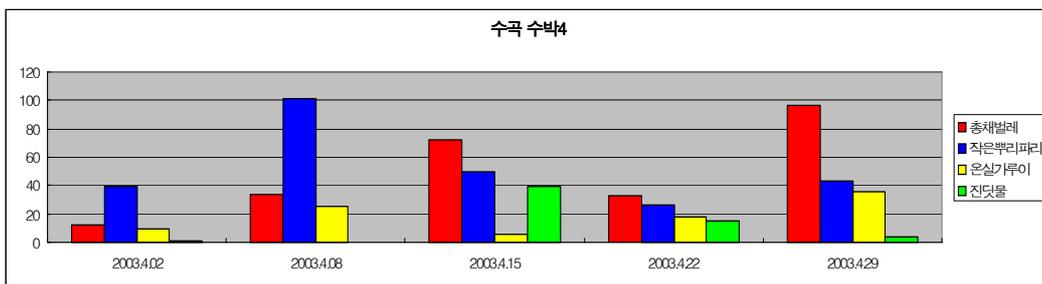
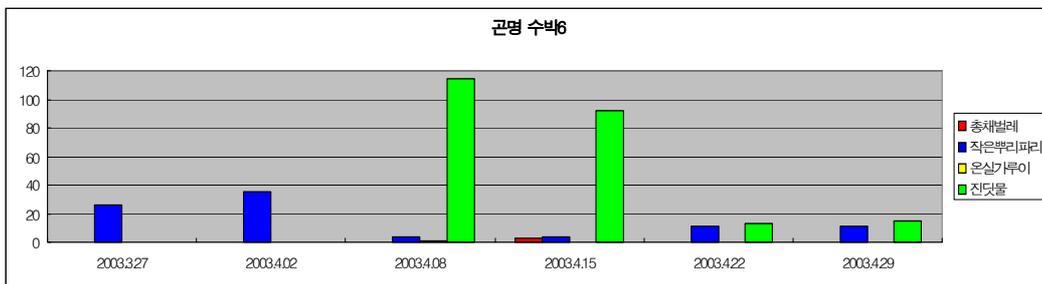
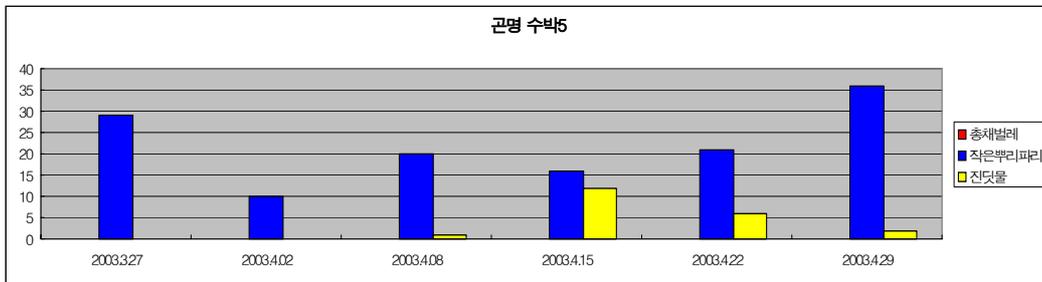
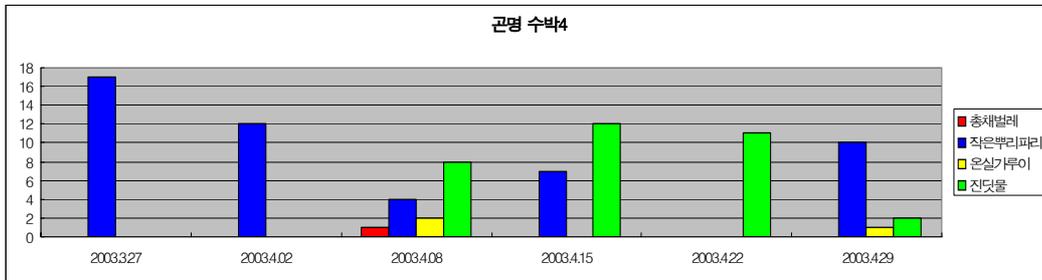


그림 4-8. 계속 - 곤명 수곡 - 총채벌레, 작은뿌리파리, 온실가루이

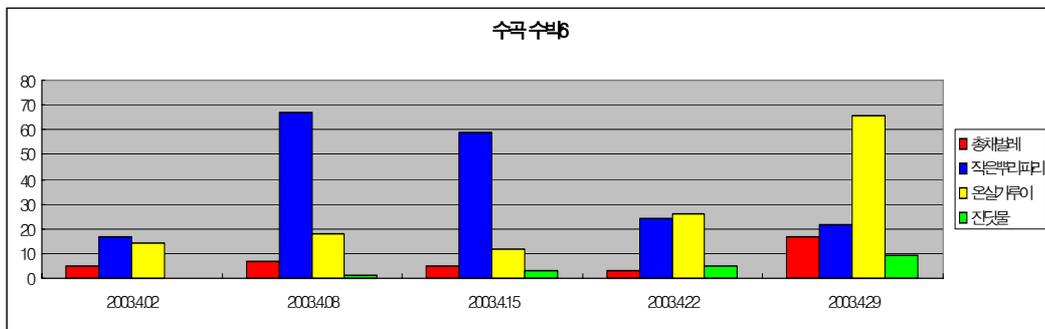
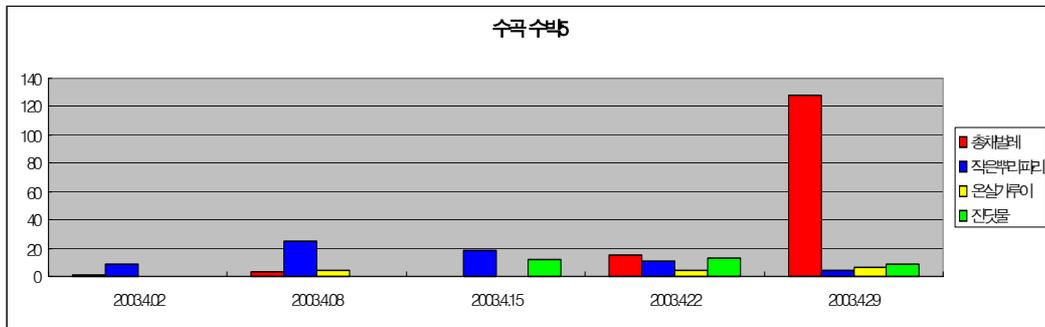


그림 4-8. 계속 - 수곡 - 총채벌레, 작은뿌리파리, 온실가루이

5) 조사 대상지역에서 고추 수박의 중요 발생병해

고추: 본 년도의 시설 고추 병해 발생은 바이러스병의 발생이 극히 적었고 역병의 발생은 말기에 다소 발생된 경향이었으며 흰가루병의 발생은 비교적 심한 경향이였다. 한편 *Corynespora cassiicola*에 의한 갈색잎바름병의 발생이 2개 지역(금산, 곤명)에서 다소 발생이 되었으며 4월 이후 잦은 강우의 영향으로 잿빛곰팡이병의 발생이 다소 관찰되었었다.

표 4-20 고추에 발생하는 중요 병해와 발생정도

지역	역병	흰가루병	갈색잎마름병	젓빛곰팡이병	바이러스
진주집현1	소	심	무	무	무
진주집현2	중	심	무	무	무
진주집현3	무	소	무	소	무
금산1	중	소	소	소	심
금산2	무	중	중	소	무
금산3	무	중	중	소	무
사천곤명1	무	심	중	중	무
사천곤명2	무	심	중	소	무
사천곤명3	중	중	소	소	무
창녕영산1	무	무	무	소	무
창녕영산2	무	무	무	소	무
창녕영산3	무	무	무	소	무
창녕영산4	무	무	무	소	무

수박: 9월 상순에 정식된 농가에서 정식초기 참박 기저부 썩음병 (*Rhizoctonia*)이 발생되어 약제 방제하였다. 한편 조사 농가 중 착과기에 이른 포장에서는 균핵병이 미세하게 발생되고 있었고 성숙기에 이르러 전 포장에서 줄기마름병에 의한 잎마름현상이 다소 나타났다.

6) 조사 대상지역에서 고추 수박의 농가 관행 병해충 방제방법

수박: 12월 이전 재배되는 작형에서 나타나는 병·해충의 방제에 크게 염려할 정도가 아니어서 재배기간 중 1-2번 정도 방제하고 있었다. 반면 정식초기의 고온과 수정이후 저온 등으로 생육이 비정상인바 각종 영양제가 남용되고 있었다. 한편 재배작기가 늦어질수록 병해충의 발생이 많아지고 특히 생육후기에 줄기마름병 방제를

위하여 수차례 농약을 살포하고 있었다. 4월 이후 응애류, 진딧물류의 본격적인 유입으로 농약살포횟수가 늘어날 것으로 예상된다.

고추: 초기에 역병이 발생되어 과도한 농약 살포로 생육이 부진한 농가도 있었으며 가을 재배기간 내에 흰가루병 발생농가가 많아 다양한 방제 약제를 살포하고 있었으나 큰 효과는 없었다. 총채벌레류, 응애류, 진딧물류 등은 작물이 무성하게 자랄수록 예찰 및 방제가 어려워 농약살포 회수가 늘어나고 있다. 현재까지 조사된 농가 중 대부분 농가에서 지나치게 영양제에 의존하고 있었으며 농가에 따라서 2-5종류의 영양제를 수시 살포하고 있었다. 농가에 따라서는 영양제의 살포 또는 관수로 병·해충이 방제되는 것으로 오인하고 있었다.

표 4-21 약제발생 실태 및 영양제 처리 조사

대상 작물	발생병해충	살포 농약명	비 고
	균핵병, 탄저병, 줄기마름병	깨뜨탄 등 5종	생육후기줄기마름병은 방제약제를 살포하여도 계혹발병됨
수 박	담배 거세미나방, 청벌레 진딧물 굴파리	코니도, DDVP, 스튜어드, 베테랑, 에이팜	정식후-수정전:1-2회 살포 수정후-수확기:1-2회 살포
	영양제	대유아인산 등 9종	수시 살포
	흰가루병, 역병, 갈색잎마름병 탄저병	훼나리 등 13종	5-7일 간격 살포
고 추	담배거세미나방, 총채벌레 응애류 진딧물류	에이팜, 매치, 메치온, 아타라, 부메랑, 울스타, 버티맥, 실비왕, 아타라(관주), 코니도, 울스타, 아타라(관주)	초 발생기 1-2회 집중살포 5-7일 간격 살포 5-7일 간격 살포
	영양제	그린비 등 25종	수시살포(2-5일 간격)

표 4-22 고추 수박의 재배와 해충 방제상의 문제점과 대책

문제점	대책
<p>모든 작업내용을 작업일지에 기록토록 하거나 설문조사하고 있으나 경작자에 따라 작업일지 기록을 하지 않거나 누락되는 일이 있어 농약살포, 시비량 등의 정확한 조사가 불가능함</p>	<p>경작자로 하여금 상세히 기록하게 하고 그에 따른 수당을 지급토록 예산에 반영</p>
<p>원인이 불명확한 장애가 발생할 경우 정확한 원인규명이 어려움</p>	<p>각종장애 발생시 정확한 원인규명을 위하여 토양 정밀분석 및 식물체 분석을 위한 예산조치와 동시에 휴대용 간이 검정 기기가 필요함</p>

4-3. 딸기에서 재배형태 및 시기별 해충발생상황 조사

최종 연도인 연구 3연차에는 딸기를 대상으로 4개 지역을 선정하여 재배형태 및 시기별 해충의 발생상황을 조사하였다. 선정된 지역에서는 3개소씩 농가를 선발하고 재배기간 중 일정한 주기(7일 간격)로 지역을 순회하며, 재배유형과 특히 시설재배의 경우 시설의 유형과 기본환경조건을 조사하고, 재배되는 작물의 품종, 재배방법(파종기, 재식밀도, 기타), 작물의 상태, 병해충의 종류, 밀도, 가해상황, 대처방법 등을 조사하였다. 아울러 지난 2년간 조사한 오이, 토마토, 고추, 수박의 해충발생동태와 함께 데이터베이스를 구축하는 연구를 수행하였다. 데이터베이스에 관한 사항은 제 5절에서 다루고자 한다.

가. 재료 및 방법

1) 작물별 조사지역과 농가

딸기에서 재배형태별 시기별 해충의 발생상황을 조사하기 위해 4개 지역을 선정하고 각 선정된 지역에서 3개의 비닐하우스를 표본으로 하여 조사하였다. 조사지역과 각 지역에서의 정식기, 수확기 그리고 재배목적 및 유형은 표 4-23에 표시한 바와 같다.

표 4-23 딸기에서 재배형태별 시기별 해충의 발생상황 조사지역

조사작물	조사지역	정식기	피복기	수확기	비고
딸기	진주수곡	8월하순	9하~10하	11하~	
	진주집현	8하~9중	9하~10상	11중~	
	사천용현	8상~8중	9상~10중	11상~	
	산청시천	8중~9상	9상~10중	10하~	

표 4-24 딸기의 조사농가의 번호, 지역, 재배자 및 재배작물의 품종

지역번호	조사지역	경작자	품종명	비고
수곡1	진주시 수곡면	강신원	아끼히메	
수곡2	"	하양근	"	
수곡3	"	조호경	"	
집현1	진주시 집현면	이병형	"	
집현2	"	박계병	"	침수후 재정식
집현3	"	이계성	"	침수 상태로 재배
사천1	사천시 용현면	정동근	"	
사천2	"	이유근	"	
사천3	"	박은상	"	
산청1	산청군 시천면	장도석	"	
산청2	"	김수경	"	고설식 양액재배
산청3	"	허성한	"	

해당 딸기의 조사농가별로 분류코드가 부여되었으며, 농가의 위치, 재배자 및 재배작물의 품종 등은 표 4-24에 표시된 바와 같다.

2) 조사주기 및 방법

가) 재배환경조사

해충의 발생동태에 영향을 주는 딸기의 재배환경을 조사하였으며, 그 조사 항목은 표 4-25에 나타낸 바와 같다.

재배하고 있는 시설의 유형과 재배법 그리고 윤작체계는 실제 조사농가를 방문하여 확인하거나 직접 농민을 만나서 문의하여 조사하였다. 1연차 연구의 오이 토마토의 경우와 같이 시설내의 기온, 지온, 습도 등 기본환경은 데이터로거(Hobo 온습도 자

동기록계)를 이용하여 매 15분 간격으로 조사하였다.

표 4-25 고추와 수박 조사농가의 번호, 지역, 재배자 및 재배작물의 품종

조사 항목	조사내용	조사 기준 또는 방법
기본환경	기온, 지온, 습도, 조도	Data logger 설치 (전 농가 설치)
시설유형	시설방향, 시설크기, 시설양식 피복재료, 보온시설, 환기시설 방제시설, 관수시설 등	설문 또는 실측
재 배 법	재배양식, 작형, 품종명 재식거리, 시비량 및 시비방법 기타	영농일지 기록 설문 또는 실측
윤작체계	전후 작물, 병해충 방제를 위한 작부약식	영농일지 기록 설문 또는 실측

나) 작물의 상태 조사

전 조사기간중 환경과 재배법의 차이에서 오는 딸기의 생육상태를 매주 조사하였다. 조사 항목은 표 4-26에 표시된 바와 같다.

표 4-26 작물의 상태와 조사내용 조사기준 및 방법

구분	조사내용	조사기준 또는 방법
작물 생육 상태	정상, 과범무, 생육불량 등	심,다,중,소,무로 구분 조사
병해충 피해상태	피해정도(가해부위,피해상태)등조사	심,다,중,소,무로 구분 조사
수확물 상태	품질, 피해과 여부	심,다,중,소,무로 구분 조사

다) 작물의 생리장해 조사

딸기에서의 생리장해 증상을 해충의 피해와 구분하기 위해 피해증상, 피해부위, 피해정도, 생산물의 상태, 예상되는 원인 등과, 약해, 영양장해, 미량요소 과부족, 토양 조건 등을 심, 다, 중, 소, 무로 구분하여 조사하였다.

라) 해충조사

딸기에 발생하는 해충의 발생상황과 그 동태를 파악하기 위해 [표4-27]에 표시된 바와 같이 온실가루이, 총채벌레류 등의 성충은 끈끈이 트랩(10cm x 15cm)으로 1주간 부착된 수를 조사하고, 유충의 밀도는 조사지 당 100잎을 임의 추출하여 실수를 조사하였다. 식엽성 해충은 등은 하우스 당 3개소를 선정하여 피해엽율을 조사하였고, 기타 해충은 상황에 따라 같은 방법으로 조사를 피해도를 조사하였다.

표 4-27 고추 수박에서 해충발생동태 조사의 내용

대상해충	조사 방법	조사 기준
온실가루이, 잎굴파리, 총채벌레 등 미세 해충	끈끈이 Trap (엽당밀도)	밀도조사(하우스당 4개소) 피해도 (다,중,소,무 구분)
과밤나방, 거세미나방	피해엽율(개체별)	밀도조사(하우스당 3개소) 피해도 (다,중,소,무 구분)
응애류	Sampling 및 실수조사	잎당 밀도
기타	주당밀도	밀도조사(하우스당 3개소) 피해도 (다,중,소,무 구분)

마) 병해 조사

해충의 피해와 구분하기 위해 발생중인 병해를 조사하였다. 조사의 대상이 된 중요 병은 딸기의 생육 및 품질에 영향이 큰 병해로서, 흰가루병, 잿빛곰팡이병, 균핵병, 역병 등이었으며, 그 발생 정도에 따라 심, 다, 중, 소, 무로 구분하였다.

바) 방제법 조사

딸기에 발생하는 해충의 피해를 막기 위해 농가에서 사용하는 방제 약제, 방제 시기, 방제 방법 등을 설문이나 직접 목격하며 조사하였다.

나. 연구결과

조사 대상이 되는 고추와 수박에 대하여, 재배환경, 작물의 상태, 생리장해, 해충의 발생동태, 중요 발생병해, 방제방법 등에 대하여 집중적으로 조사하였다.

1) 조사 대상지역에서 고추 수박의 시설 유형 및 재배환경

가) 수박 재배 농가의 시설의 유형

딸기 하우스 양식은 4개 지역에서 큰 차이가 없었으나 최근 단지화 되는 지역(사천, 산청)에서 다소 대형화되는 추세였다. 피복 보온 방법은 조사지역 모두 무가운 2중 피복하였고 낮에는 측면 환기로 온도 조절하였다.

조사지역 모두 이랑 관수하였고 관수 시 축분 등 액비로 추비하였다. 사천과 집현 일부 농가를 제외하고는 흰가루병 예방을 위한 유황 훈증 시설을 하우스 중앙 재배상 위(약 1.5m높이)에 일렬로 20~25m 간격 설치하였다(100m 하우스 당 4-5개 설치).

표 4-28 딸기 재배농가의 시설의 유형

작물	지역	하우스양식	피복재료 및 방법	하우스 내 시설
	진주, 사천	대형 아치형, (1-6연동)	1.2중 비닐 외부 부직포 피복 또는 내부 부직포 피복	온풍난방, 점적호스
딸기	사천 용현	소,중,대형 아치형 단동	”	관수시설
	창녕	3/4식, 외지봉식(단동)	하우스 외부 부직포 피복	온풍난방, 점적호스

나) 딸기의 작부체계

딸기의 작부체계는 제 1형과 제 2형의 두 가지 대표적인 작형을 갖고 있었다. 딸기의 특성상 저온에서도 재배가 가능하나, 수막으로 보온을 해야 함으로 작형에 차이가 나더라도 기본적으로는 동절기 재배되며, 그 전후에 어떤 작물을 재배하는 가 하는 것이 작형을 결정 짓는 요인이 되었다.

1형: 8월~9월에 정식하여 4월 상순에 수확 완료하고 후작으로 수박을 6월 상·중순까지 재배한 뒤 벼를 심거나 담수 소독하는 작형. **2형:** 1형과 같은 시기에 정식하고 6월 상·중순 수확 완료 한 뒤 벼를 심거나 담수 소독하는 작형.

다) 딸기의 작물생육과 재배환경

딸기의 조사 지역 중 진주 수곡은 재배경력도 많고 대 단지로 재배기술이 평준화되어 작황이 양호하였다.

진주 집현 지역은 재배경력은 많으나 저지대로 정식 후 태풍 “매미”에 의한 침수 농가가 많았으며 본 시험 조사 3개 농가 중 2개 농가는 침수된 농가로 그 중 1개 농가는 태풍 후 9월 중순 다시 정식하여 생육이 지연되어 12월 상순 첫 수확하였고 또 다른 1개 농가는 침수된 식물체를 그대로 재배하여 뿌리썩음병이 발생하는 등 작황이 좋지 못하였다.

라) 하우스 내 기상환경(Data logger에 의한 조사결과)

전 조사 대상 12개 하우스에 설치된 DATA logger에 기록된 기상조사에 따르면 최고기온 동절기 재배기간 중 야간온도 4-5도 주간온도 20도 전후의 비교적 규칙적인 온도변화를 유지하였다. 습도는 흑한기 환기가 되지 않는 동안 주간에 90% 가까이 올라갔으나 대체로 주간 60%, 야간에 90% 정도의 상대습도를 보였다.

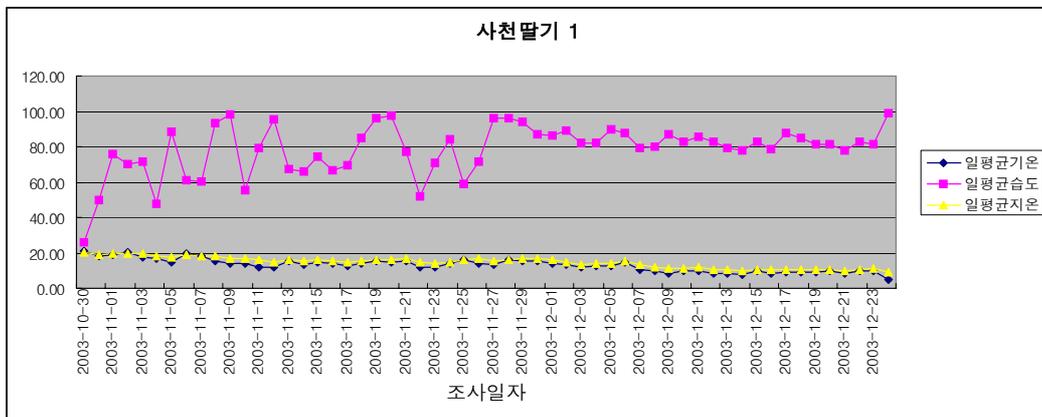


그림 4-9 딸기 재배지에서 기상환경 - 사천1 일 평균 기온, 습도, 지온



그림 4-9. 계속 - 수곡1, 집현1 - 일 평균 기온, 습도, 지온

2) 조사 대상지역에서 딸기에 발생하는 해충의 밀도변화

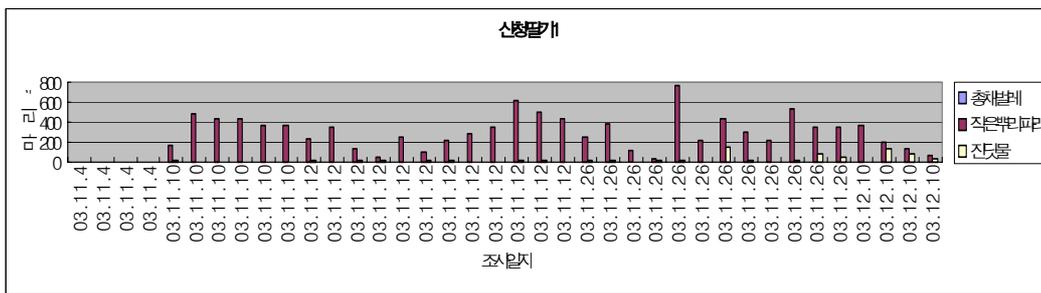


그림 4-10. 딸기에 발생하는 해충의 밀도변화 - 산청, 총채벌레, 뿌리파리, 진딧물

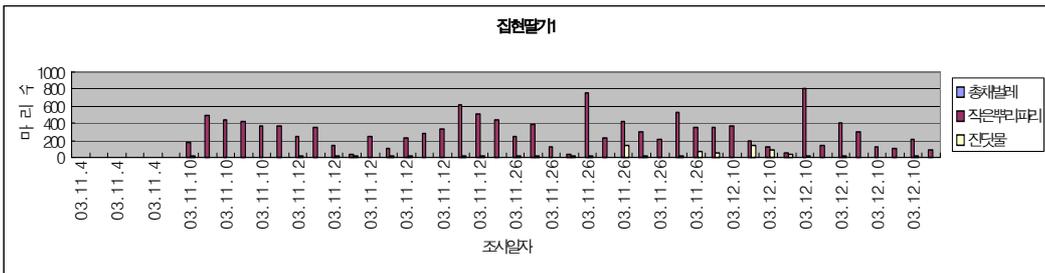
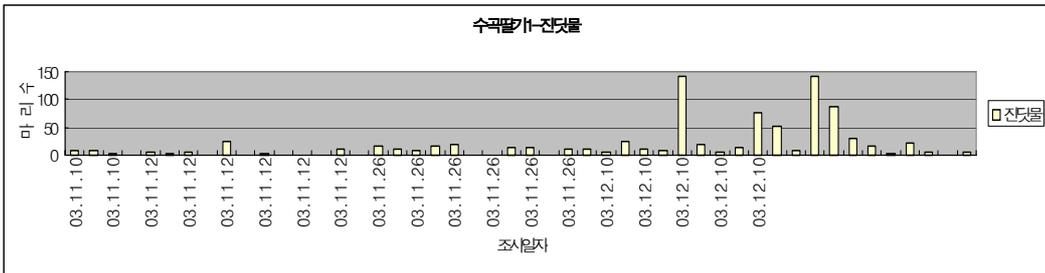
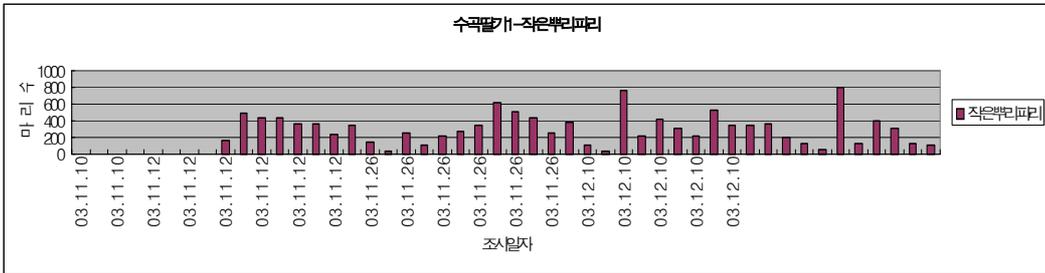
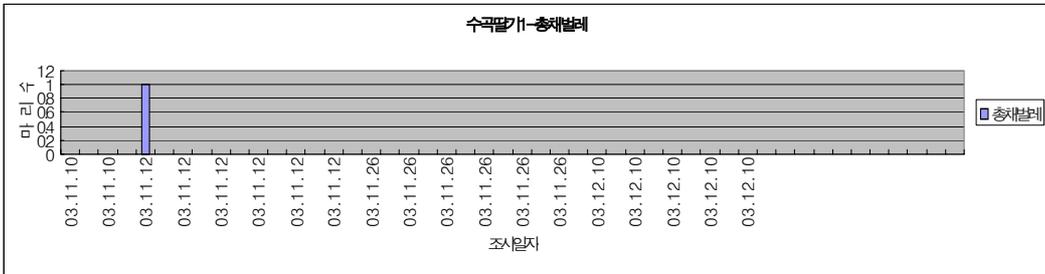


그림 4-11. 계속 - 수곡, 집현 - 총채벌레, 뿌리파리, 진딧물

3) 조사 대상지역에서 딸기의 중요 발생병해

집현 침수 농가에서 뿌리썩음병이 간혹 발생하였으며 산청양액 농가에서 탄저병이 간혹 발생하였다. 생육 후기인 2월말부터 흰가루병과 잿빛곰팡이병이 많이 발생하였다.

4) 병해충방제 실태조사

정식초기 거세미나방, 파밤나방 등의 식흔이 발견되는 농가가 있었으나 초기 방제되어 생육에 지장이 있을 정도의 피해는 없었고 진딧물 발생을 염려하여 간혹 약제를 첫 수확기 이전에 미리 살포하는 농가가 있었다.

흰가루병 예방을 위해 유황 훈증을 3~4일 간격으로 3~4시간씩 실시하였고, 사천지역과 집현 일부 조사농가에서는 현미 식초를 주재료로 하는 흰가루병 방제용 제제를 자체 제조하여 살포하고 있었으며 100% 방제되는 것으로 확신하고 있었다.

표 4-29 약제발생 실태 및 영양제 처리 조사

대상병해충	살포농약
흰가루병	바이코, 포리옥신, 헥사코나졸, 에머넌트
진딧물	칼립소, 모스피란
나방류 기타	에이팜
영양제 기타	Biolink칸플러스, Hyponex, 딸기 20% 증산 축산액비(이랑관수), hing알우(토양미생물계), 금자탑, 산요루, 목초액, Cell-Bine, Deuble-P, 현미식초

제 5절. 해충조사자료 데이터베이스 구축과 오이, 고추, 토마토 해충의 경제적 피해 예측 시스템

5-1. 시스템의 목적

이 시스템은 지난 3년간 오이 토마토, 고추, 수박, 딸기 등에서 지역별, 재배 형태별, 시설의 유 형별로 조사한 해충의 밀도 변화와, 데이터 로거를 이용하여 조사한 시설 내에서의 기본 환경 조사자료를 데이터베이스로 구축하고, 오이, 고추, 토마토의 주요 해충에 대한 경제적 피해수준 설정, 간이 예찰법 개발 및 발생생태 연구의 결과를 웹상에서 사용자들이 효과적으로 이용할 수 있도록 하기 위해서 개발되었다.

이를 위해 오이, 고추, 토마토 해충의 경제적 피해 수준 예측뿐만 아니라, 병해충 및 생리장해 자가진단, 병해충 및 생리장해에 대한 다양한 정보, 재배작물이나 시설물들에 대한 다양한 정보 등을 함께 제공하는 포털 사이트 시스템으로 개발하였다. 무엇보다 설문조사 기능을 통해 일반 사용자들의 자발적인 참여를 유도하고 다양한 작물, 해충에 대한 경제적 피해 예측 시스템의 기초 자료를 구축할 수 있도록 하였다. 즉, 본 설문조사 시스템을 통해서 수집된 자료와 지난 3년간 실제 조사한 내용을 체계적으로 데이터베이스화하고, 수집된 자료를 효율적으로 관리할 수 있도록 강력한 관리자 기능을 제공함으로써 비전문가라도 손쉽게 시스템을 관리할 수 있게 하였다.

5-2. 시스템의 개발 및 운영 환경

본 시스템은 최근 연구용 뿐만 아니라 상업용 응용들에 많이 사용되고 있는 RedHot 8.0을 탑재한 리눅스를 기반으로 개발되었다. [그림 5-1]에서 보는 것과 같이 홈페이지 및 각 시스템의 구동을 위해서 사용 가능성 및 안정성 등을 고려하여 아파치 웹서버, PHP, MySQL 데이터베이스를 사용하였다. 그리고 동적 차트(Dynamic

chart)를 구현하기 위해 GD 라이브러리(Library)를 사용하였다.

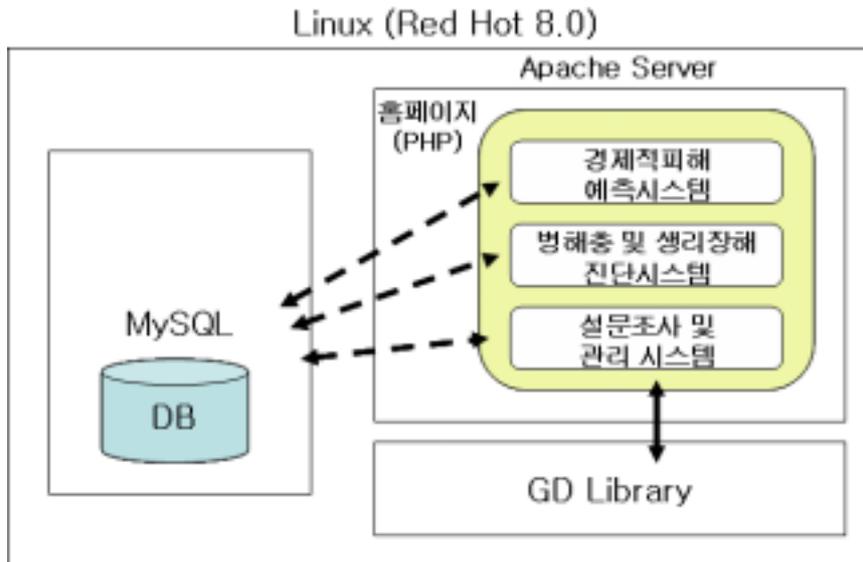


그림 5-1. 병해충진단 및 경제적 피해 진단 시스템의 개발 환경

우선, 우리가 사용한 RedHot 8.0은 현재 기업 및 개인들이 가장 많이 사용하고 있는 리눅스(Linux)이다. 강력한 보안 기능과 효율적인 서버 운영이 가능하며, 그래픽 기반의 관리 도구를 제공하기 때문에 관리자가 매우 편리하게 사용할 수 있다.

아파치 웹서버 역시 현재 전세계 웹서버 시장의 50% 이상점유하는 가장 인기있는 웹서버이다. 새로운 기능의 개발 속도가 매우 빠르고, 지속적으로 지원이 이루어지고 있으며, 무엇보다 뛰어난 성능을 자랑하고 있다.

PHP는 성능과 편리함에서 많은 인기를 끌고 있는 스크립트(Script) 언어이다. 리눅스/유닉스 계열뿐만 아니라 윈도우즈용의 바이너리 파일이 제공되기 때문에 마이크로소프트 계열의 웹서버에서도 사용이 가능하다. 따라서 운영체제에 독립적인 웹

프로그램의 개발이 가능하고 이 기종 서버간에 이식도 간단히 이루어진다.

MySQL은 공개된 관계형 데이터베이스 관리 시스템으로서 일반 상용 시스템과 비교하여 크게 뒤질 것이 없는 매우 뛰어난 데이터베이스 관리 시스템이다. 물론 안정성 및 무결성의 측면에서 다른 상용 시스템에 비하여 기능이 떨어지는 것은 사실이지만, PC 환경에서도 매우 안정적으로 사용할 수 있다. 따라서 관리만 잘 한다면 매우 유용하게 사용될 수 있으며, 다른 데이터베이스 시스템에 비하여 사용하기 편리한 각종 함수를 많이 제공하고 있기 때문에 프로그램하기가 용이하다.

GD 라이브러리는 선, 원, 텍스트를 이용해 복합적인 색상들로 채워진 다양한 이미지를 만들 수 있게 해주며, 결과를 PNG 또는 JPEG으로 만들어 준다. 따라서 동적 차트 구현에 매우 적절한 라이브러리이다.

5-3. 시스템의 설계

가. 오이, 고추, 토마토 해충의 경제적 피해 예측 시스템

1) 시스템 구성도

오이, 고추, 토마토 해충의 경제적 피해 예측 시스템은 설문조사 시스템을 통해서 사용자가 입력한 작물별 해충의 밀도를 이용하여, 날짜별 해충에 대한 발생추이와 경제적 피해 수준을 설정한 동적그래프를 사용자에게 보여주고, 그에 따른 시기별 대처 방법 등에 대한 정보를 제공해 주게 된다. 이를 수행하기 위해 설계된 오이, 고추, 토마토 해충의 경제적 피해 예측 시스템은 [그림 5-2]와 같다.

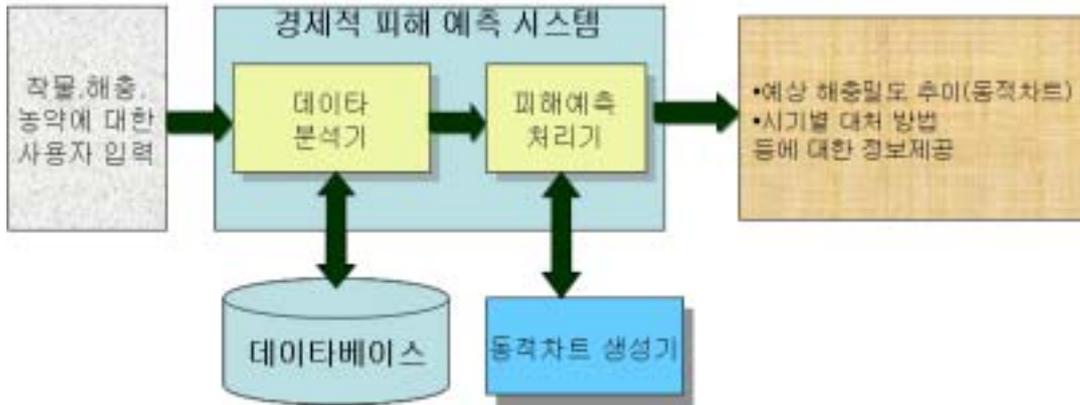


그림 5-2. 오이, 고추, 토마토 해충의 경제적 피해 예측 시스템 구성도

[그림 5-2]에서 사용자가 작물, 해충, 농약에 대한 데이터를 입력하게 되면 데이터 분석기에서는 사용자가 입력한 작물, 해충 데이터를 분석하여 이전에 설문조사 시스템을 통해서 해충의 밀도를 입력한 데이터가 있는지 데이터베이스를 검색하여 해충 밀도 데이터를 수집하고, 농약 데이터를 분석하여 데이터베이스에 관리자가 입력해 놓은 농약관련 정보인 10a당 약제 살포량, 20L당 약량, 단위무게당 약제 가격 등에 대한 정보를 수집하게 된다. 이렇게 데이터 분석기를 통해서 분석·수집된 데이터들은 피해예측 처리기로 넘어가게 된다. 데이터 분석기로부터 넘어온 데이터들은 피해예측 처리기에서 각각의 작물, 해충별로 내장된 알고리즘을 이용하여 방제비용, 피해계수, 내성도, ET 등을 선택 또는 계산하고, 이를 통해서 경제적 피해 허용수준과 경보발생 여부를 판단하게 된다. 이렇게 분석된 결과는 동적차트 생성기를 통하여 사용자가 한눈에 알아볼 수 있는 동적차트와 함께 제공된다.

2) 데이터베이스 설계

오이, 고추, 토마토 해충의 경제적 피해 예측 시스템에서는 앞 절의 연구

결과들을 바탕으로 작성한 연산 및 분석 알고리즘을 기반으로 하고 있다. 따라서 이후 변경되거나 추가되어야 할 데이터가 존재하지 않기 때문에 데이터베이스를 구성할 필요가 없지만, 시스템을 사용하는 사용자의 편의를 위해 농약정보 테이블을 갖추고 있다. 이는 방제비용을 구하는 과정에서 사용자가 10a당 약제살포량, 20L당 약량, 단위무게당 약제 가격에 대한 정보를 입력하는 번거러움을 덜어주기 위함이다. 농약정보 테이블은 [그림 5-3]과 같다.

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
code	varchar(20)		아니오		
n_name	varchar(250)		아니오		
n_ten	varchar(250)		아니오		
n_twen	varchar(250)		아니오		
n_per	varchar(250)		아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		code	삭제

그림 5-3. 농약정보 테이블

[그림 5-3]의 농약정보 테이블의 내용은 관리자가 입력하도록 설계되었으며, 사용자는 단지 약제명만을 선택하면 된다. 그러면 피해예측 시스템에서 자동적으로 해당 농약에 대한 정보를 가져와서 사용자에게 보여주게 된다. code 필드는 시스템에서 부여한 농약의 코드를 저장하고, n_name은 약제명을 저장한다. n_ten은 10a당 약제살포량, n_twen은 20L당 약량, n_per는 단위무게당 약제 가격에 대한 정보를 저장하는 필드이다.

나. 설문조사 시스템

1) 시스템 구성도

설문조사 시스템은 농가정보, 시설물별 재배작물 정보를 체계적으로 데이터베이스화하여 관리하기 위한 것이다. 뿐만 아니라 오이, 고추, 토마토의 경제적 피해 예측 시스템을 위한 각 작물별 해충에 대한 밀도의 데이터를 편리하게 입력할 수 있도록 한다. 이러한 설문조사 시스템의 구성도는 [그림 5-4]와 같다.

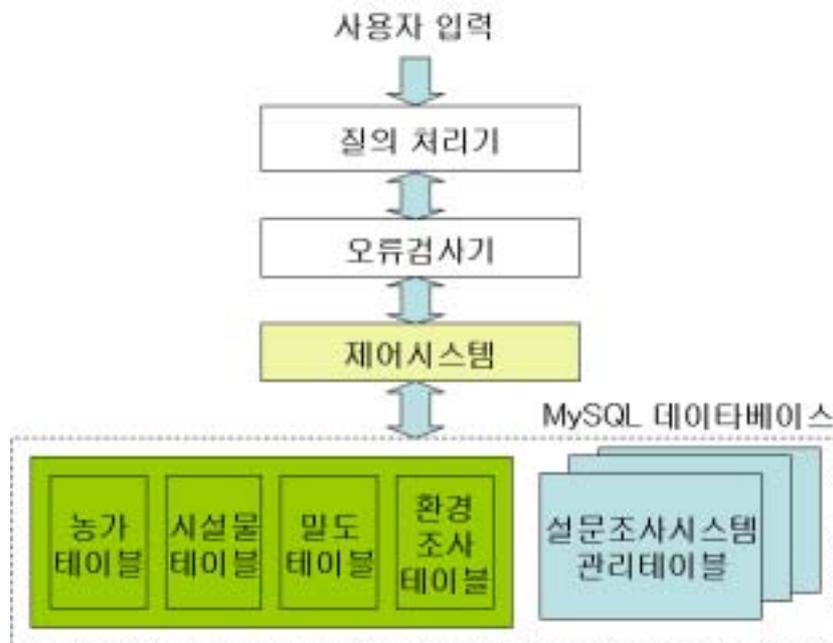


그림 5-4. 설문조사 시스템 구성도

[그림 5-4]에서 설문조사 시스템은 질의 처리기를 통해서 사용자에게 농가정보를 입력하게하고, 이 데이터를 오류 검사기를 통하여 데이터의 유효성을 검사한 후에 제어 시스템으로 넘겨 농가코드를 자동으로 부여하여 농가테이블에 저장하게 된

다. 이렇게 저장된 농가정보는 포털사이트에서 제공하는 모든 서비스의 기초자료로 사용하게 된다. 농가정보가 입력된 후, 시설물 등록을 요구하는 화면이 사용자에게 제공되고, 이때 제공되는 시설물 등록에 대한 기본 내용은 설문조사 시스템을 통해 관리테이블에 관리자가 입력해놓은 다양한 형태의 자료를 토대로 보여주게 된다. 사용자가 입력한 시설물에 대한 정보 또한 오류 검사기를 통하여 데이터의 유효성 검사를 실시한 후, 시설물 테이블에 저장하게 된다. 시설물에 발생한 해충의 밀도와, 시설물의 환경조사에 대한 조사도 농가정보나 시설물 등록과 같은 구성으로 이루어지게 된다.

2) 데이터베이스 설계

설문조사 시스템을 구성하는 데이터베이스의 테이블들은 크게 두 가지 정보를 관리한다. 첫 번째는 사용자가 입력한 데이터를 저장하는 테이블이고, 두 번째는 설문조사 시스템을 위해서 관리자가 입력한 정보를 저장 관리하는 테이블이다.

가) 사용자 정보 관리

(1) 농가 테이블

농가 테이블은 설문조사 시스템뿐만 아니라 포털사이트를 위해 가장 기본적인 사용자 정보를 관리하게 된다. 예를 들어 사용자 식별을 위한 농가코드와 사용자 아이디, 사용자 인증을 위한 비밀번호, 그 외 주소, 전화번호 등에 대한 정보를 저장 및 관리한다. 이를 위한 농가정보 테이블의 구성은 [그림 5-5]와 같다.

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
farmcode	varchar(10)		아니오		
name	varchar(10)		아니오		
jumin1	varchar(6)		아니오		
jumin2	varchar(7)		아니오		
zip	varchar(7)		아니오		
addr1	varchar(100)		아니오		
addr2	varchar(100)		아니오		
phone1	varchar(5)		아니오		
phone2	varchar(6)		아니오		
phone3	varchar(6)		아니오		
id	varchar(8)		아니오		
pass	varchar(10)		아니오		
tel1	varchar(5)		예		
tel2	varchar(5)		예		
tel3	varchar(5)		예		
size	int(11)		예	0	
signtime	date		예	0000-00-00	

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		farmcode	삭제
farmcode	아니오		farmcode	삭제

그림 5-5. 농가테이블

[그림 5-5]에서 farmcode 필드는 농가에 부여되는 농가코드로, 시스템에서 자동적으로 생성하여 부여하게 되며, 농가를 구별하는 식별키이다. name, jumin1, jumin2 필드에서는 사용자의 중복가입을 방지하기 위해서 사용자 이름과 주민번호를 저장·관리하고, zip, addr1, addr2, phone1, phone2, phone3 필드에서는 사용자의 주소, 우편번호, 전화번호를 저장·관리하게 된다. id, pass 필드에서는 사용자의 아이디, 비밀번호를 관리하게 된다. 그 뒤에 나타나는 tel1, tel2, tel3, size, signtime 등은 선택 입력사항으로서 사용자의 핸드폰 번호, 농가의 규모 등에 대한 정보를 관리하게 된다.

(2) 시설물 테이블

시설물 테이블은 사용자가 재배하는 시설물별 작물에 대한 재배환경, 시설물 운영형태 등에 대한 정보를 관리하는 테이블이다. 이 테이블들은 포털사이트에서 통계정보 메뉴를 통해서 사용자 상호간 어떤 방법으로 시설물들을 운용·관리하는지에 대한 정보를 공유할 수 있는 자료로 사용된다. 시설물 테이블의 구성은 [그림 5-6]과 같다.

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
id	varchar(15)		아니오		
facil_code	varchar(10)		아니오		
plant	varchar(10)		아니오		
plant_class	varchar(30)		아니오		
formalyear	varchar(10)		아니오		
formalmonth	varchar(10)		아니오		
formalday	varchar(10)		아니오		
harvestyear	varchar(10)		아니오		
harvestmonth	varchar(10)		아니오		
harvestday	varchar(10)		아니오		
facil_type	varchar(10)		예		
facil_area	float		예	0	
fibokjaje	varchar(10)		예		
fibokbinil	varchar(4)		예		
theme_type	varchar(10)		예		
bujik_use	varchar(16)		예		
facil_direction	varchar(10)		예		
ventil_type	varchar(10)		예		
rise_mode	varchar(15)		예		
temp	varchar(20)		예		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		facil_code	삭제
facil_code	아니오		facil_code	삭제

그림 5-6. 시설물 테이블

[그림 5-6]에서 id 필드부터 harvestday 필드까지는 필수입력 자료를 관리하는 필드이다. id필드는 사용자 인식을 위한 식별키가 저장되고, facil_code는 각 시설물을 구별하기 위해서 시스템에서 자동적으로 부여하는 시설물 코드가 저장된다. plant, plant_class 필드는 작물과 재배품종을 관리하는 필드인데, 여기에 입력되는 값들은 설문조사 시스템 관리자 테이블에 저장되어 있는 값들 중에서 사용자가 선택한 값이 들어가게 된다. formalyear 필드부터 harvestday 필드까지는 재배 작물에 대한 정식일과 첫 수확 예정일을 관리한다. 이 후에 나타나는 필드들은 선택입력 자료를 관리하는 필드들이다. facil_type, facil_area, fibokjaje, fibokbinil, theme_type, bujik_use, facil_direction, ventil_type, riese_mode, temp 필드는 각각 시설방법, 시설면적, 피복자재, 피복비닐겹수, 기온방법, 부직포사용여부, 시설방향, 환기방법, 재배방식 등에 대한 정보를 저장·관리하게 된다.

(3) 밀도 테이블

밀도 테이블은 사용자가 재배중인 작물에서 발생한 해충의 밀도를 저장·관리하기 위한 테이블이다. 이 밀도 테이블의 자료는 오이, 고추, 토마토 해충의 경제적 피해 예측 시스템을 사용할 때 중요한 기초 자료가 된다. 밀도 테이블의 구성은 [그림 5-7]과 같다.

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
facil_id	int(4)		아니오		auto_increment
survey_facil	char(10)		아니오		
survey_noxi	char(15)		아니오		
survey_method	char(10)		아니오		
survey_date	date		아니오	0000-00-00	
nox_i_density	int(4)		아니오	0	

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		facil_id	삭제

그림 5-7. 밀도 테이블

[그림 5-7]에서 facil_id 필드는 자동적으로 부여되는 일련번호를 저장하고, survey_facil은 해충 밀도를 조사하는 시설물의 코드를 저장하는 필드이며, survey_noxi는 밀도를 조사하는 해충물의 종류를 저장하는 필드이다. survey_method 필드는 해충밀도를 조사한 방법, survey_date 필드는 해충 밀도 조사일, noxi_density 필드는 밀도 정보를 각각 저장·관리한다. survey_noxi, survey_method 필드에 입력되는 값들은 설문조사 관리자 테이블에 저장된 정보를 이용하여 사용자가 선택적으로 입력하도록 설계되었다.

(4) 환경조사 테이블

환경조사 테이블은 시설물의 상황에 따른 환경의 변화 추이에 대한 데이터를 저장·관리하기 위한 테이블이다. 이 테이블에 저장되는 데이터들은 포털사이트 사용자 상호간에 정보공유 및 관리자가 해충밀도와 환경적 요소에 대한 다각적 분석을 위한 기초 자료로 사용된다. 환경조사 테이블의 구성은 [그림 5-8]와 같다.

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
facil_id	int(4)		아니오		auto_increment
survey_facil	varchar(10)		아니오		
survey_items	varchar(10)		아니오		
survey_day	date		아니오	0000-00-00	
survey_time	time		아니오	00:00:00	
survey_result	varchar(100)		아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		facil_id	삭제

그림 5-8. 환경조사 테이블

[그림 5-8]에서 facil_id 필드는 일련번호 형식으로 시스템에서 자동적으로 부여된 데이터가 저장된다. survey_facil 필드는 환경조사를 한 시설물의 등록코드를 저장하고, survey_items 필드는 기후, 온도, 습도 등의 환경조사 타입을 저장한다. survey_items 필드는 survey_result 필드의 데이터가 어떤 종류인지를 구분하는 자료이며, 관리자가 시스템 관리용 테이블에 입력한 자료 중 선택하여 입력하도록 함으로서, 입력된 데이터 분석을 용이하도록 하고 있다. survey_day, survey_time 필드는 조사날짜와 시간을 저장하게 된다. 마지막으로 survey_result 필드는 조사 결과를 저장하게 된다.

나) 설문조사 정보 관리

설문조사 시스템에서 사용되는 정보를 관리하기 위해서 관리자들이 입력하는 관리용 테이블들을 구성하였다. 이러한 시스템 관리용 테이블들을 이용하게 되면 사용자가 질의에 대한 응답을 보다 손쉽게 처리 할 수 있고, 같은 의미를 가지는 서로 다른 종류의 데이터로 인해서 발생할 수 있는 데이터 분석 오류, 동적차트 생성시의 부정확성을 사전에 방지할 수 있다. 뿐만 아니라 관리자가 조사항목과 관련된 부분을 추가, 삭제, 수정할 수 있게 함으로서, 경제적 피해 예측 시스템의 기능 확장 및 분석을 위한 자료 수집에 보다 용이하다.

(1) 작물관리 테이블

작물관리 테이블은 설문조사 시스템에서 사용하는 작물목록을 저장·관리한다. 설문조사 시스템에서 작물관리 테이블에 있는 데이터를 사용자가 선택하도록 하여 사용자가 직접 데이터를 입력하는 번거로움을 줄여주고, 추가적으로 조사를 해야 하는 작물이 있을 때 관리자는 작물관리 테이블에 작물목록을 추가하면 된다. 뿐만 아니라 코드가 부여된 작물은 뒤에 설명할 품종과 연관되어 관리할 수 있도록 하고 있다. 작물관리 테이블의 구성은 [그림 5-9]와 같다.

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
plant_code	varchar(50)		아니오		
plant_name	varchar(50)		아니오		
mark	varchar(50)		아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY 예			plant_code	삭제

그림 5-9. 작물관리 테이블

[그림 5-9]에서 plant_code 필드는 시스템에서 자동적으로 부여되는 작물 코드가 저장되며, plant_name 필드는 작물의 이름이 저장된다. mark 필드는 관리자가 설문조사 시스템에서 사용자에게 보여줄 필요가 있는지 없는지를 구별하는 값이 저장되는 필드이다. '01'일 경우에는 질의 화면에 나타나고, '02' 일 경우에는 질의 화면에 나타나지 않도록 하기 위한 필드이다.

(2) 품종관리 테이블

품종관리 테이블은 작물별 품종에 대한 정보를 저장·관리한다. 예를 들어 설문조사 시스템에서 사용자가 작물 항목에서 오이를 선택하면, 품종 항목에서는 오이의 품종들만 선택하게 함으로써 사용자에게 보여줄 조사 항목 수를 제한할 수 있다. 유사한 이름의 품종이나, 많은 품종리스트를 보여줌으로 사용자가 선택의 오류를 범할 수 있는 가능성을 줄였다. 품종관리 테이블의 구성은 [그림 5-10]과 같다

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
plant_code	varchar(50)		아니오		
class_code	varchar(50)		아니오		
class_name	varchar(50)		아니오		
mark	varchar(50)		아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY 예			class_code	삭제

그림 5-10. 품종관리 테이블

[그림 5-10]에서 plant_code 필드는 시스템에서 자동적으로 품종에 부여하는 코드가 저장되며, class_code 필드는 작물 코드에 대한 정보를 저장한다. class_name 필드에는 품종의 이름을 저장하고, mark 필드는 작물관리 테이블에서 설명한 것과 마찬가지로 표시여부를 설정하는 데이터 값을 저장하게 된다.

(3) 조사방법 관리 테이블

조사방법 관리 테이블은 작물별 해충 밀도를 조사한 방법에 대한 데이터를 저장·관리한다. 트랩조사, 실수조사, 유인트랩 조사 등의 데이터 값을 저장한다. 이는 해충의 밀도를 조사하는 사용자에게 밀도 조사방법을 알려주기 위해서 사용될 수 있고, 조사방법에 따른 경제적 피해 예측 시스템에서 정확한 연산·분석 알고리즘을 적용하기 위해서 사용된다. 조사방법 관리 테이블의 구성은 [그림 5-11]과 같다.

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
method_code	varchar(10)		아니오		
method_name	varchar(50)		아니오		
noxi_code	varchar(50)		아니오	0	
mark	varchar(50)		아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		method_code	삭제

그림 5-11. 조사방법 관리 테이블

[그림 5-11]에서 method_code 필드는 조사방법들에 대한 코드별 관리를 위해 시스템에서 자동적으로 부여하는 코드가 저장되고, method_name 필드는 트랩조사, 실수조사 등과 같은 조사방법의 명칭 데이터가 저장된다. noxi_code 필드는 조사방법별로 해충 코드를 저장하게 되는데, 이렇게 함으로써 해충별로 부적절하거나 신뢰도가 떨어지는 조사방법에 대해서는 사용자가 선택할 수 있도록 하였다.

(4) 환경관리 테이블

기후, 온도, 습도 등에 대한 관련 항목들을 코드별로 관리하고 차후 각 항목에 대한 정보들을 관리자 또는 사용자에게 정확하게 제공하기 위해서 환경관리 테이블을 구성하였다. 환경관리 테이블의 구성은 [그림5-12]와 같다.

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
items_code	varchar(10)		아니오		
items_name	varchar(50)		아니오		
mark	varchar(50)		아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		items_code	삭제

그림 5-12. 환경관리 테이블

[그림 5-12]에서 items_code 필드는 환경조사 항목에 대한 데이터를 저장하고, items_name는 환경조사 항목의 이름을 저장한다.

(5) 작물별 해충 관리 테이블

작물별 해충 관리 테이블은 작물에 따른 해충의 목록을 관리하기 위한 테이블이다. 이의 목적은 사용자가 잘못된 해충을 선택하는 것을 방지하게 하는데 있다. 예를 들어 사용자가 재배작물로 '오이'를 선택하면 오이에서 발생할 수 있는 해충만을 사용자에게 보여줌으로써 잘못된 해충을 선택하는 것을 사전에 방지할 수 있다. 작물별 해충 관리 테이블의 구성은 [그림 5-13]과 같다.

필드	필드 타입 보기	Null	기본값	추가
noxi_code	varchar(50)	아니오		
noxi_name	varchar(50)	아니오		
plant_code	varchar(50)	아니오		
mark	varchar(50)	아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY (예)			noxi_code	삭제

그림 5-13. 작물별 해충 관리 테이블

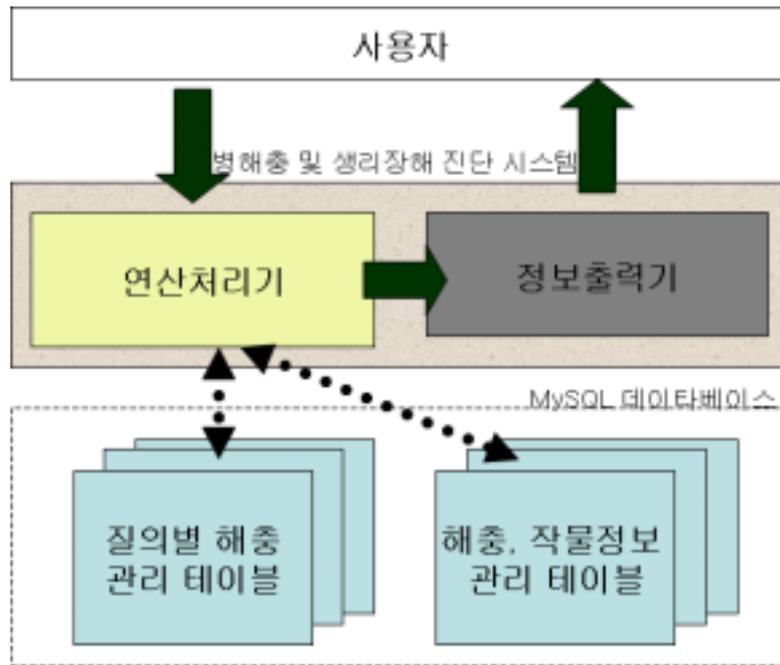
[그림 5-13]에서 noxi_code 필드는 해충을 코드별로 관리하기 위한 해충 코드를 저장하고, noxi_name 필드는 해충의 이름을 저장한다. plant_code 필드는 해충이 나타날 수 있는 작물의 코드를 저장한다.

다. 병해충 및 생리장해 진단 시스템

1) 시스템 구성도

병해충 및 생리장해 진단 시스템은 사용자에게 해충이 발생한 작물, 해충의 모양, 성충의 크기, 성충의 색깔, 성충의 입모양, 애벌레의 모양, 애벌레의 색깔, 유충의 가해형태, 날개 개수, 산란장소, 가해 장소, 출현시기 등과 같은 진단증상을 제공하고, 사용자가 자신의 병해충 및 생리장해에 해당하는 진단증상들을 선택하면, 데이터베이스화되어 있는 수많은 해충, 병해, 생리장해에 대한 정보들 중에서 가장 적절한 목록과 각 목록에 대한 상세한 정보들을 제공하기 위한 시스템이다. 사용자들은 병해충 및 생리장해 진단 시스템을 통해서 자신들의 작물에 발생한 해충의 정보를 손쉽게 파악할 수 있고, 각각의 해충, 병해, 생리장해에서 사용가능한 농약의 정보도 함께 제공함으로써 사용자들이 손쉽게 농약을 선택하여 방제할 수 있도록 한다. 병해충 및 생리장

해 진단 시스템의 구성도는 [그림 5-14]와 같다.



[그림 5-14. 병해충 및 생리장애진단 시스템

[그림 5-14]에서 병해충 및 생리장애 진단 시스템은 크게 연산처리기와 정보출력기로 구성되어 있다. 먼저 사용자가 시스템에서 나타나는 진단 가능한 증상 목록에서 자신의 재배작물에서 나타나는 증상들을 선택하게 된다. 하나의 진단 증상을 선택할 때 마다 그 데이터는 연산처리기로 넘어가게 되고, 연산처리기에서는 들어오는 진단 증상의 연관관계를 분석하여 AND 연산 또는 OR 연산을 할 것인지를 판단하고 이에 해당하는 정보들을 질의별 해충 관리 테이블 목록으로부터 가져와서 정보출력기를 통해서 사용자에게 정보를 제공하게 된다. 이러한 정보를 제공할 때 해충, 작물 정보관리 테이블에 있는 상세 정보를 함께 제공하게 된다.

2) 데이터베이스 설계

병해충 및 생리장해 진단 시스템에서 사용하는 데이터들의 효율적이고 체계적인 관리를 위해 데이터베이스 테이블들은 크게 두 가지로 구성하였다. 첫째는 작물, 해충, 병해, 생리장해에 대한 상세한 정보를 관리하기 위한 정보관리 테이블들이고, 둘째는 진단 항목별 해충, 병해, 생리장해 목록을 관리하는 진단관리 테이블들이다. 진단 시스템의 정보구성 요소들을 체계적인 데이터베이스로 관리함으로써 데이터의 손쉬운 추가, 수정, 삭제가 가능하다.

가) 정보 관리 테이블

(1) 작물정보 관리 테이블

작물정보 관리 테이블들은 작물의 영명, 학명, 한국명 등에 대한 상세정보와 작물 사진을 관리하기 위해 작물과명 테이블, 작물 테이블, 작물사진 테이블로 구성되어 있다.

첫째, 작물과명 테이블은 작물의 과명마다 코드를 부여하여 관리하는 테이블이다. 이 테이블을 구성함으로써, 작물을 검색할 때 다양한 방법으로 검색이 가능하게 되고, 과명별 작물을 분류하여 관리할 수 있다. 따라서 차후 관리자는 다양한 작물 정보를 다룰 수 있는 시스템으로 손쉬운 확장이 가능하고, 사용자들에게는 더 많은 정보를 제공할 수 있게 된다. 작물과명 테이블의 구성은 [그림 5-15]와 같다.

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
family_id	varchar(50)		아니오		
family_name	varchar(200)		예		
name	varchar(200)		예		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		family_id	삭제

[도움말]

그림 5-15. 작물과명 테이블

[그림 5-15]에서 family_id 필드는 시스템에서 자동적으로 부여하는 과명 코드가 저장되고, family_name 필드는 과명의 영명, name 필드에는 한국명 데이터가 저장된다.

둘째, 작물 테이블은 작물에 영명, 한국명 등에 대한 정보를 관리하는 테이블이다. 작물 테이블은 작물과명 테이블과 일대다 관계를 가지게 되며, 이를 이용하여 과명별로 작물을 분류하여 검색 또는 관리할 수 있고, 동일한 작물과에 해당하는 작물 정보를 입력할 때 마다 과명을 입력하는 번거로움을 방지할 수 있다. 작물 테이블의 구성은 [그림 5-16]과 같다.

필드	필드 타입 보기	Null	기본값	추가
code_id	varchar(50)	아니오		
family_id	varchar(50)	예		
korea_name	varchar(200)	예		
english_name	varchar(200)	예		
temp	varchar(20)	예		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		code_id	삭제

그림 5-16. 작물 테이블

[그림 5-16]에서 code_id 필드는 작물의 효율적이고 빠른 검색을 위해서 시스템에서 자동적으로 부여하는 식별코드를 저장하고, family_id는 작물과 작물과를 연결하기 위한 코드를 저장한다. korea_name, english_name, temp 필드는 작물의 한국명, 영명 등에 대한 정보를 저장하기 위한 필드이다.

셋째, 작물의 정보를 사용자에게 보여줄 때 단순히 텍스트 형태로만 보여주지 않고 작물의 사진을 함께 보여주기 위해서 작물사진 테이블을 구성하였다. 작물사진을 작물테이블에서 관리할 경우 데이터 중복으로 인한 검색이나 관리에 어려움이 있기 때문에 별도로 구성하였다. 작물사진 테이블의 구성은 [그림5 -17]과 같다.

필드	필드 타입 보기	Null	기본값	추가
u_id	varchar(20)	아니오		
list_id	varchar(20)	아니오		
file_name	varchar(255)	아니오		
file_size	varchar(255)	아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		u_id	삭제
	아니오		list_id	삭제

그림 5-17. 작물사진 테이블

사용자들에게 다양한 작물사진을 제공할 수 있어야 하기 때문에 list_id 필드에는 작물의 코드를 저장하고, u_id를 식별키로 사용하여 작물사진을 관리하고 있다.

(2) 해충정보 관리 테이블

해충정보 관리 테이블은 작물관리 테이블과 마찬가지로 해충에 대한 정보를 효율적이고, 체계적으로 관리하기 위해서 해충목명 테이블, 해충과명 테이블, 해충 테이블, 해충사진 테이블로 구성되어 있다.

첫째, 해충목명 테이블은 해충목별로 해충과와 해충을 분류하기 위해서 구성된 테이블이다. 해충목명 테이블의 구성은 [그림 5-18]과 같다.

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
order_id	varchar(50)		아니오		
order_name	varchar(200)		아니오		
name	varchar(200)		아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		order_id	삭제

그림 5-18. 해충목명 테이블

둘째, 해충과명 테이블은 해충을 과별로 분류하기 위해 구성되어 있다. 해충과는 해충목에 의해서 분류되기 때문에 해충과명 테이블에는 해충목 코드를 저장할 수 있는 필드가 추가되어 있다. 해충과명 테이블의 구성은 [그림 5-19]와 같다.

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
family_id	varchar(50)		아니오		
order_id	varchar(50)		예		
family_name	varchar(200)		예		
name	varchar(200)		예		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		family_id	삭제

그림 5-19. 해충과명 테이블

[그림 5-18]과 [그림 5-19]에서 해충목명 테이블과 해충과명 테이블의 형태는 작물과명 테이블과 유사하다. 이러한 두 테이블을 이용해서 크게는 해충을 해충목별로 분류할 수 있고, 작게는 해충과별로 분류할 수 있기 때문에, 병해충 및 생리장해

자가 진단시스템에서 뿐만 아니라 포털사이트에서 제공하는 라이브러리에 유용하게 사용될 수 있고, 데이터의 검색이나 수정 시 수백 개의 해충 리스트를 모두 검색할 필요 없이 해당 목, 과를 먼저 검색함으로써 빠른 검색을 지원할 수 있다.

셋째, 해충 테이블은 해충에 대한 생태, 발생, 증상 등에 대한 다양한 정보를 저장·관리하기 위한 테이블이다. 해충 테이블의 구성은 [그림 5-20]과 같다.

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
code_id	varchar(50)		아니오		
family_id	varchar(50)		아니오		
scientific_name	varchar(200)		아니오		
korea_name	varchar(200)		아니오		
english_name	varchar(200)		아니오		
quarantine	varchar(200)		아니오		
inkorea	varchar(200)		아니오		
nickname	varchar(200)		아니오		
host	text		아니오		
area	text		아니오		
korea_area	text		아니오		
damage	text		아니오		
ecology	text		아니오		
shape	text		아니오		
s_safe	text		아니오		
s_import	text		아니오		
s_see	text		아니오		
s_book	text		아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		code_id	삭제
	아니오		family_id	삭제

그림 5-20. 해충 테이블

[그림 5-20]에서 code_id 필드는 시스템에서 자동으로 부여하는 해충코드가 저장되고 이는 해충에 대한 식별키로 사용된다. family_id 필드는 해충과, 해충목을 검색하기 위해 해충과명 코드가 저장되고 해충과명 코드에 대한 외래키로 사용되고 있다. scientific_name, korea_name, english_name 필드에는 학명, 한국명 영명을 저장하게 되고, 나머지 필드들은 해충의 기주, 분포, 국내발생상황, 피해, 생태 등에 대한 다양한 정보를 저장할 수 있도록 구성되어 있다.

넷째, 해충 사진 테이블은 해충의 정보를 사용자에게 보여줄 때 다양한 사진과 함께 보여주기 위해서 해충에 해당하는 사진들을 관리하는 테이블이다. 해충사진 테이블의 구성은 [그림 5-21]과 같다.

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
u_id	varchar(10)		아니오		
insect_id	varchar(20)		아니오		
position_id	varchar(20)		아니오		
file_name	varchar(255)		아니오		
file_size	varchar(255)		아니오		
file_content	text		아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
insect_id	아니오		insect_id	삭제

그림 5-21. 해충사진 테이블

[그림 5-21]의 insect_id 필드에는 관련된 해충의 식별코드가 저장되고, position_id 필드에는 해충의 상세정보를 사용자에게 보여줄 때 사진이 나타날 위치정보를 저장하고 있다. file_name, file_size, file_content 필드에는 해충의 사진 명, 사진크기, 사진의 코멘트에 대한 정보를 저장하게 된다.

(3) 병해정보 관리 테이블

병해정보 관리 테이블은 병해의 종류를 코드별로 분류하고 병해의 내용과 병해의 사진들을 효율적으로 관리하기 위한 병해 테이블, 병해 내용 테이블, 병해사진 테이블로 구성되어 있다. 특히, 해충정보 관리 테이블에서는 해충의 상세 내용을 해충 테이블 하나에서 관리했지만, 동일한 병해라 하더라도 작물마다 발생 형태나 증상 등이 조금씩 다르고, 작물마다 다양한 병해 사진을 제공하기 위해서 병해 테이블과, 병해 내용 테이블로 나누어서 관리한다.

첫째, 병해 테이블은 병해에 대한 학명, 과학명, 영명 등에 대한 정보를 저장·관리한다. 병해 테이블의 구성은 [그림 5-22]와 같다.

필드	필드 타입 보기	Null	기본값	추가
code_id	varchar(20)	아니오		
korea_name	varchar(250)	아니오		
scientific_name	varchar(250)	아니오		
english_name	varchar(250)	아니오		
gener_name	varchar(200)	아니오		
position	varchar(250)	아니오		
nickname	text	아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		code_id	삭제

그림 5-22. 병해 테이블

[그림 5-22]에서 code_id 필드는 시스템에서 자동적으로 부여되는 병해 코드가 저장되고, 나머지 필드들은 각각 병해의 한국명, 학명, 영어명, 일반명, 이명 등에 대한 정보를 저장하는 필드이다.

둘째, 병해 내용 테이블은 작물과 작물마다 조금씩 다르게 나타나는 병해에 대한 상세정보를 저장하기 위한 테이블이다. [그림 5-23]은 병해 내용 테이블의 구성을 보여주고 있다.

필드	필드 타입 보기	Null	기본값 추가
u_id	varchar(20)	아니오	
crop_code	varchar(20)	아니오	
damage_id	varchar(20)	아니오	
symptoms	text	아니오	
area	text	아니오	
see	text	아니오	
shape	text	아니오	
outbreak	text	아니오	
s_safe	text	아니오	
s_book	text	아니오	

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		u_id	삭제
PRIMARY	예		crop_code	삭제
PRIMARY	예		damage_id	삭제

그림 5-23. 병해 내용 테이블

crop_code 필드는 병해의 상세 내용과 관계있는 작물을 코드로 저장하고, 작물테이블에 대한 외래키로 사용한다. damage_id 필드는 가해부위 정보를 위한 코드를 저장하고, 나머지 필드들은 병해의 증상, 형태, 발생 등에 대한 정보를 저장하기 위한 필드들로 구성되어 있다.

셋째, 병해의 사진을 관리하기 위한 병해사진 테이블이다. 이 사진 테이블

은 병해 내용 테이블과 연관되어서 구성된다. 병해사진 테이블의 구성은 [그림 5-24]와 같다.

필드	필드 타입 보기	Null	기본값 추가
u_id	varchar(20)	아니오	
list_id	varchar(20)	아니오	
position_id	varchar(20)	아니오	
file_name	varchar(200)	아니오	
file_size	varchar(200)	아니오	
file_content	text	아니오	

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
list_id	아니오		list_id	삭제

그림 5-24. 병해사진 테이블

[그림 5-24]에서 list_id 필드는 병해 내용 테이블의 식별코드를 저장하고, position_id는 병해 사진이 나타날 위치정보를 저장하게 된다.

(4) 생리장해 정보 테이블

생리장해 정보 테이블은 다양한 생리장해의 정보를 사용자에게 제공하기 위한 테이블들로 구성되어 있다. 생리장해 정보도 병해정보와 마찬가지로 동일한 이름의 생리장해이지만 작물마다 나타내어야 할 정보의 차이가 있기 때문에 생리장해 테이블과 생리장해 내용 테이블로 나누어 구성하고, 사진 관리를 위해 생리장해 사진 테이블을 구성하고 있다.

첫째, 생리장해 테이블은 생리장해에 대한 코드별 관리를 위해 구성하였다. [그림 5-25]는 생리장해 테이블의 구성을 보여주고 있다.

필드	필드 타입 보기	Null	기본값	추가
code_id	varchar(20)	아니오		
korea_name	varchar(200)	아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		code_id	삭제

그림 5-25. 생리장해 테이블

[그림 5-25]에서 생리장해는 이름별로 코드화 하여 관리하고 있다. 이렇게 이름을 따로 관리하는 것은 생리장해의 세부내용을 저장·관리할 때, 생리장해명의 반복된 입력을 피하고, 작물별 생리장해 목록과 같은 다양한 형태의 검색을 위한 것이다.

둘째, 생리장해의 증상, 발생원인, 환경조건, 대책 등에 대한 상세한 정보를 저장·관리하기 위한 생리장해 내용 테이블이다. 생리장해 내용 테이블의 구성은 [그림 5-26]과 같다.

필드	필드 타입 보기	Null	기본값	추가
code_id	varchar(20)	아니오		
crop_code	varchar(20)	아니오		
phy_id	varchar(20)	아니오		
symptoms	text	아니오		
cause	text	아니오		
stem	text	아니오		
refe	text	아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		code_id	삭제
crop_code	아니오		crop_code	삭제

그림 5-26. 생리장해 내용 테이블

[그림 5-26]에서 병해 테이블과 마찬가지로 연관된 작물 코드를 저장하는 crop_code 필드가 존재하고, 생리장해 코드 값을 저장하는 phy_id 필드로 구성되어 있다. 그 외의 다른 필드들은 생리장해의 증상, 발생원인, 환경조건 등에 대한 상세정보를 저장하기 위한 테이블이다.

셋째, 생리장해 또한 다양한 정보와 함께 사진이 함께 제공되도록 하기 위해서 생리장해 사진을 관리하기 위한 테이블이 구성되어 있다. 생리장해 사진 테이블의 구성은 [그림 5-27]과 같다.

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
u_id	varchar(20)		아니오		
list_id	varchar(20)		아니오		
position_id	varchar(20)		아니오		
file_name	varchar(200)		아니오		
file_size	varchar(200)		아니오		
file_content	text		아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
list_id	아니오		list_id	삭제

그림 5-27. 생리장해 사진 테이블

(5) 농약 정보 관리 테이블

병해충 및 생리장해 진단시스템을 통해서 사용자가 결과를 보게 될 때 단순히 해충, 병해, 생리장해에 대한 상세 정보만이 아니라 방제할 수 있는 농약정보를 사용자에게 제공하기 위해서 농약 정보 관리 테이블을 구성하였다. 농약 정보 관리 테이블에는 농약상표, 농약그룹, 유효성분, 계통 등을 저장·관리할 수 있는 농약 테이블

과 농약과 병해충 및 생리장해에 대한 연결성을 저장하는 병해충 및 생리장해별 농약 테이블로 구성되어 있다.

첫째, 농약의 정보를 관리하는 농약 테이블의 구성은 [그림 5-28]과 같다.

필드	필드 타입 보기	Null	기본값	추가
code_id	varchar(20)	아니오		
p_name	varchar(250)	아니오		
p_group	varchar(250)	아니오		
p_effect	varchar(250)	아니오		
p_channel	varchar(250)	아니오		
p_re	varchar(250)	아니오		
file_name	varchar(250)	아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		code_id	삭제

그림 5-28. 농약 테이블

[그림 5-28]에서 p_name 필드는 농약상표, p_group 필드는 농약그룹, p_effect 필드는 유효성분, p_channel 필드는 농약의 계정, p_re 필드는 농약의 재제, file_name 필드는 농약의 설명서가 들어 있는 PDF 파일을 저장하게 된다.

둘째, 병해충 및 생리장해별 농약 테이블은 해충, 병해, 생리장해와 사용가능한 농약의 연결성을 저장·관리하는 테이블이다. [그림 5-29]는 병해충 및 생리장해별 농약 테이블의 구성을 보이고 있다.

필드	필드 타입 보기	Null	기본값	추가
u_id	int(11)	아니오		auto_increment
agr_code	varchar(200)	아니오		
crops_code	varchar(200)	아니오		
cause_type	varchar(200)	아니오		
cause_id	varchar(200)	아니오		

Indexes:				
키 이름	유니크	타이프	필드	삭제
PRIMARY	예		u_id	삭제
agr_code	아니오		agr_code	삭제
crops_code	아니오		crops_code	삭제
cause_id	아니오		cause_id	삭제

그림 5-29. 병해충 및 생리장해별 농약 테이블

[그림5 -29]에서 agr_code 필드는 농약 테이블의 농약코드를 저장하고, crops_code는 작물 코드를 저장한다. 그리고 cause_type 필드는 해충, 병해, 생리장해에 대한 구별을 위한 타입이 저장된다. cause_type의 값이 'A' 이면 해충, 'B' 이면 병해, 'C' 이면 생리장해로 구분하게 된다. 그리고 마지막의 cause_id 필드에는 cause_type에 해당하는 각각의 코드가 저장된다.

나) 진단별 해충 관리

병해충 및 생리장해 진단 시스템에서는 각각의 진단증상 별로 테이블들을 구성하고 있다. 진단 증상마다 하나씩의 테이블로 구성하여 해충, 병해, 생리장해 코드들을 관리함으로써 수정과 유지보수가 편리하고, 새로운 정보나 해충에 관련된 자료를 입력할 때 손쉽게 관리할 수 있다. 진단별 해충 관리 테이블들의 구성은 [그림 5-30]과 같다.

필드	필드 타입	보기	Null	기본값	추가
u_id	int(11)		아니오		auto_increment
type	varchar(200)		아니오		
insect_id	varchar(200)		아니오		

Indexes:

키 이름	유니크	타입	필드	실행
PRIMARY	예		u_id	삭제
	아니오		insect_id	삭제

그림 5-30. 해충 진단 관리 테이블

5-4. 시스템의 구현

가. 관리자 페이지

오이, 고추, 토마토 해충의 경제적 피해 예측 시스템, 설문조사 시스템, 병해충 및 생리장해 진단시스템에서 사용하는 정보의 관리, 회원관리를 효과적으로 하기 위해서 강력한 관리자 기능을 구현하였다. [그림 5-31]는 관리자 페이지의 첫 화면을 보여주고 있다.

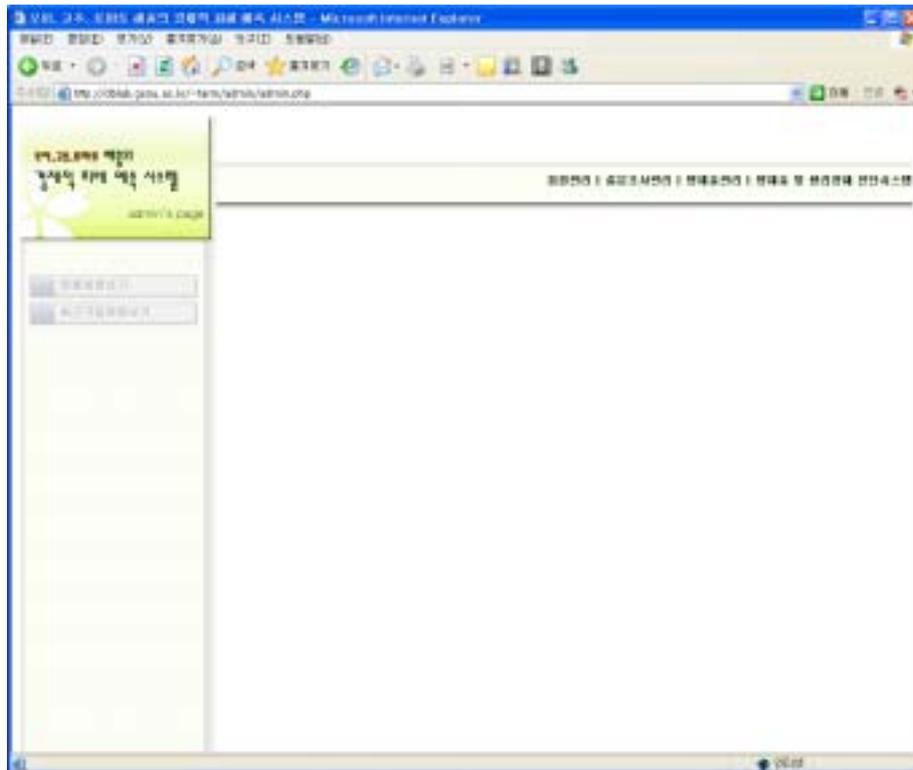


그림 5-31. 관리자 페이지의 첫 화면

[그림 5-31]에서 관리자 페이지는 효율적인 회원정보의 파악과 관리를 위해 회원관리 기능, 사용자에게 보여줄 설문조사의 내용과 항목들의 관리를 위해 설문조사관리 기능, 경제적 피해 예측 시스템 및 포털사이트 전반에 제공되는 작물, 해충, 병해 등에 대한 기초자료들을 관리 하기 위해 병해충 관리 기능, 그리고 마지막으로 병해충 및 생리장해 진단시스템의 항목들을 관리하기 위한 있는 기능들을 제공하고 있다.

1) 회원 관리

관리자 페이지에서는 포털사이트에 가입한 회원들의 정보를 손쉽게 확인할 수 있는 기능을 제공하고 있다. 이를 위해 포털사이트에 가입된 전체 회원을 관리할 수 있는 기능과 최근가입한 회원만을 따로 관리할 수 있는 기능을 제공한다. [그림 5-32]는 최근가입 회원보기를 통해 회원의 정보를 수정하는 예시 화면이다

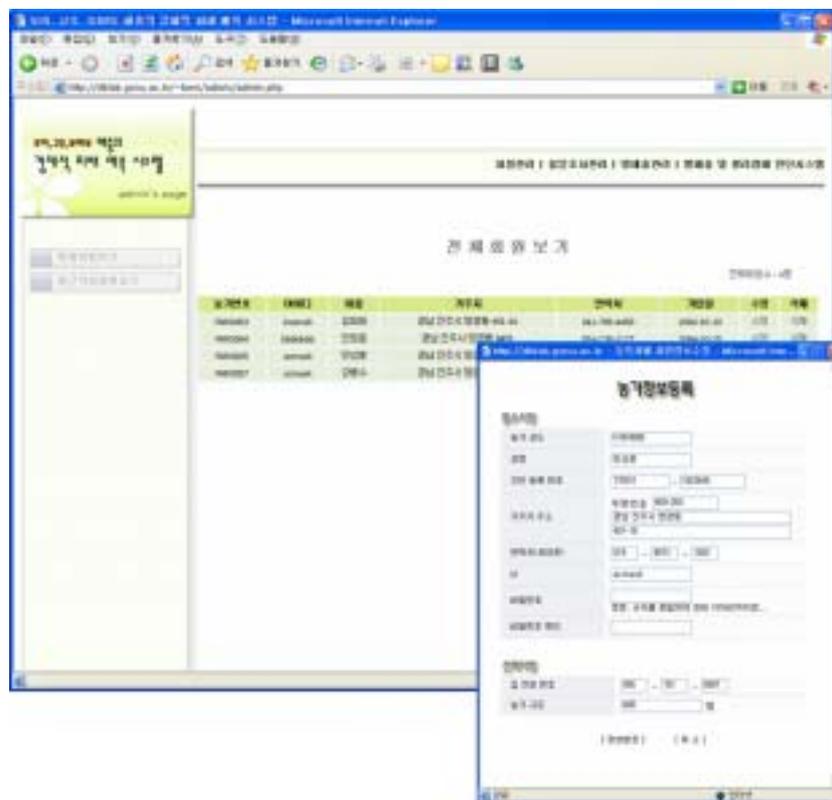


그림 5-32. 전체회원보기 메뉴를 통한 회원정보수정 화면

[그림 5-32]은 설문조사 시스템을 통해서 사용자가 등록한 농가정보가 저장되어 있는 농가 테이블로부터 정보를 가져와 관리자에게 보여주고, 관리자는 한 농가를 선택하여 그 정보를 확인하고 수정하는 화면이다. [그림 5-33]은 농가 테이블로부터 정보를 가져와 화면에 보여주는 모듈의 일부분이다.

```

include "../dbconn.php";

    ... ( 중략 ) ...

include "func_list.lib";

if ($n_mode == "a"){
    generate_page(15, 15);
    $mmm = (int)($page-1)*2;
    $sql = "select * from members_info order by farmcode asc LIMIT $mmm,
15";
}else if($n_mode == "b"){
    $sql = "select * from members_info order by signtime desc limit 0, 20";
}
$rs = mysql_query($sql);
$str= "";
while($row = mysql_fetch_object($rs)){
    $m_farmcode=$row->farmcode;
    $m_id=$row->id;
    $m_name=$row->name;
    $m_addr1 = $row->addr1;
    $m_addr2 = $row->addr2;
        $m_phone1 = $row->phone1;
    ... ( 중략 ) ...
}

```

그림 5-33. 농가정보 출력 모듈

여기서 include "../dbconn.php"는 시스템이 데이터베이스에 접근하기 위한 환경설정 파일이다. include "func_list.lib"는 회원의 수가 많을 경우 한 화면에

모든 회원정보를 나타내려고 하면 속도가 느려지기 때문에 적절한 회원수 만큼 나누어서 보여주는 라이브러리 파일이다. `while($row = mysql_fetch_object($rs)){ ... }`는 농가 테이블에 접근하여 등록되어 있는 회원들의 모든 정보를 읽어 들이고 화면에 보여주는 부분이다.

2) 설문조사 관리

사용자가 포털사이트에 회원가입을 한 후 경제적 피해 수준 예측 시스템을 사용하기 위해서 사전에 설문조사를 작성하는 과정을 거치게 되는데, 설문조사 관리 기능은 이러한 설문조사 항목들에 대한 관리를 지원한다. 재배작물, 재배품종, 조사해충, 조사방법, 조사항목들에 대해 사용자가 선택할 수 있는 값들을 추가, 수정, 삭제하는 기능을 제공함으로써 향후 더 많은 작물, 더 많은 해충들에 대한 자료를 수집하고자 할 때 포털사이트의 설문조사 기능을 수정할 필요 없이, 관리자가 필요로 하는 항목들의 값을 추가만 시켜 더 많은 자료들을 수집할 수 있게 하는 기능을 제공하고 있다. [그림 5-34]은 설문조사 관리에서 등록되어 있는 재배작물 관리 화면이다.



그림 5-34. 설문조사 관리 기능 중 재배작물 관리 화면

[그림 5-34]에서 보는 바와 같이 필요로 하는 항목마다 관리자가 원하는 값들을 넣을 수 있는 기능들을 제공하고 있으며 이전에 입력한 데이터 중 이번에 실시하는 설문조사에서는 빠져야 할 항목이 있을 때를 대비하여 표시여부를 설정하게 함으로써 설문조사 시스템에서 표시하지 않음이라고 표시된 것들에 대해서는 사용자들에게 보여주지 않는 기능을 제공한다.



그림 5-35. 설문조사 관리 기능중 조사방법데이터 입력 화면

[그림 5-35]는 설문조사 시스템을 위해서 조사방법 테이블에 관리자가 정보를 입력하는 화면이다. 이를 위한 처리모듈의 일부는 아래 [그림 5-36]과 같다.

```

$sql = "select method_code from $stable order by noxi_code DESC limit 0,1";
$code_str = "MET";
$rs = mysql_query($sql);
$count = mysql_num_rows($rs);
if ($count == 0){
    $tmp_code = $code_str."0001";}
else{
    while($row = mysql_fetch_object($rs)){
        $method_code=$row->method_code;
        $temp = substr($method_code,4,4) + 1;
        if($temp <10){
            $temp ="000".$temp;
        }else if ($temp <100){
            $temp = "00".$temp;
        }else if ($temp <1000){
            $temp = "0".$temp;
        }
        $tmp_code=$code_str.$temp;
    }
}
    ... ( 중략 ) ...

$sql = "insert into $stable (items_code,items_name,mark) values( '$items_code',
'$items_name', '$mark')";}
$rs = mysql_query($sql);

```

그림 5-36. 설문조사 관리 기능의 데이터 입력 모듈

[그림 5-36]에서 시작부터 `$rs = mysql_query($sql)`까지의 코드는 조사방법 테이블로 부터 가장 최근에 부여된 코드의 값을 읽어 들이는 부분이고, 이를 이용

하여 if (\$count == 0){ ... } 코드에서 입력되는 데이터에 대한 식별 코드를 자동적으로 부여하게 된다. 그리고 관리자가 입력한 데이터 값과 함께 \$sql = "insert ... \$rs = mysql_query(\$sql) 부분에서 조사방법 테이블에 저장되게 된다.

3) 병해충 관리

병해충 관리 기능은 병해충 진단시스템 및 경제적 피해 예측 시스템에서 사용하는 가장 기본적인 작물, 해충, 병해, 생리장해, 농약 등에 대한 데이터를 관리할 수 있는 기능을 제공한다.

병해충관리 기능을 사용하여 입력되는 데이터들은 유일성을 보장하는 코드 값을 가지고 저장되며, 각 항목에 대해 세부사항들을 코드화하여 관리함으로서 확장이나 수정이 용이하도록 하였다. 예를 들어 해충을 목명, 과명, 해충명으로 분류하여 각각 관리하기 때문에 유사한 해충을 입력할 때 나타나기 쉬운 중복된 값들의 입력을 방지하였고, 데이터의 추가와 수정이 더욱 편리해진다. [그림 5-37]는 병해충 관리 기능 중 해충 목록 화면이다.

해충 목록

번호	과명	학명	한국명	서식	발견연도	수종	성별
8	가시나방과	<i>Carpilia calypso</i> (Meyrick)	시금나무나방	1894	1927	14종	14명
1	가뿔과	<i>Epicada chinensis</i> Hübner	가뿔	1894	1927	14종	14명
2	가루작은벌레과	<i>Phenacoccus pumilus</i> Mulsant		1894	1927	14종	14명
3	가루작은벌레과	<i>Phenacoccus persici</i> Sussmid & Cresson		1894	1927	14종	14명
4	가루작은벌레과	<i>Phenacoccus fischeri</i> Fernald & Paulsen		1894	1927	14종	14명
5	가루작은벌레과	<i>Phenacoccus asiaticus</i> Boheman		1894	1927	14종	14명
6	가루작은벌레과	<i>Pseudococcus californicus</i> (Mulsant)	갈매나무작은벌레	1894	1927	14종	14명
7	가루작은벌레과	<i>Pseudococcus nitens</i> Mulsant	구름나무작은벌레	1894	1927	14종	14명
8	가루작은벌레과	<i>Pseudococcus viti</i> (Fries)	귤나무작은벌레	1894	1927	14종	14명
9	가루작은벌레과	<i>Pseudococcus affinis</i> (Mulsant)	남양나무작은벌레	1894	1927	14종	14명
10	가루작은벌레과	<i>Delioicetes epiphyta</i> (Tinsley)	진달래나무작은벌레	1894	1927	14종	14명
11	가루작은벌레과	<i>Pseudococcus vitaceus</i> Boheman	포도나무작은벌레	1894	1927	14종	14명
12	가루작은벌레과	<i>Neurothrips stans</i> Rouse	구름나무작은벌레	1894	1927	14종	14명
13	가루작은벌레과	<i>Neurothrips spinipes</i> Guillerme et Sève	귤나무작은벌레	1894	1927	14종	14명
14	가루작은벌레과	<i>Asterolepis caprifera</i> (Mulsant)	산양나무작은벌레	1894	1927	14종	14명

그림 5-37. 병해충 관리 기능 중 해충 목록 화면

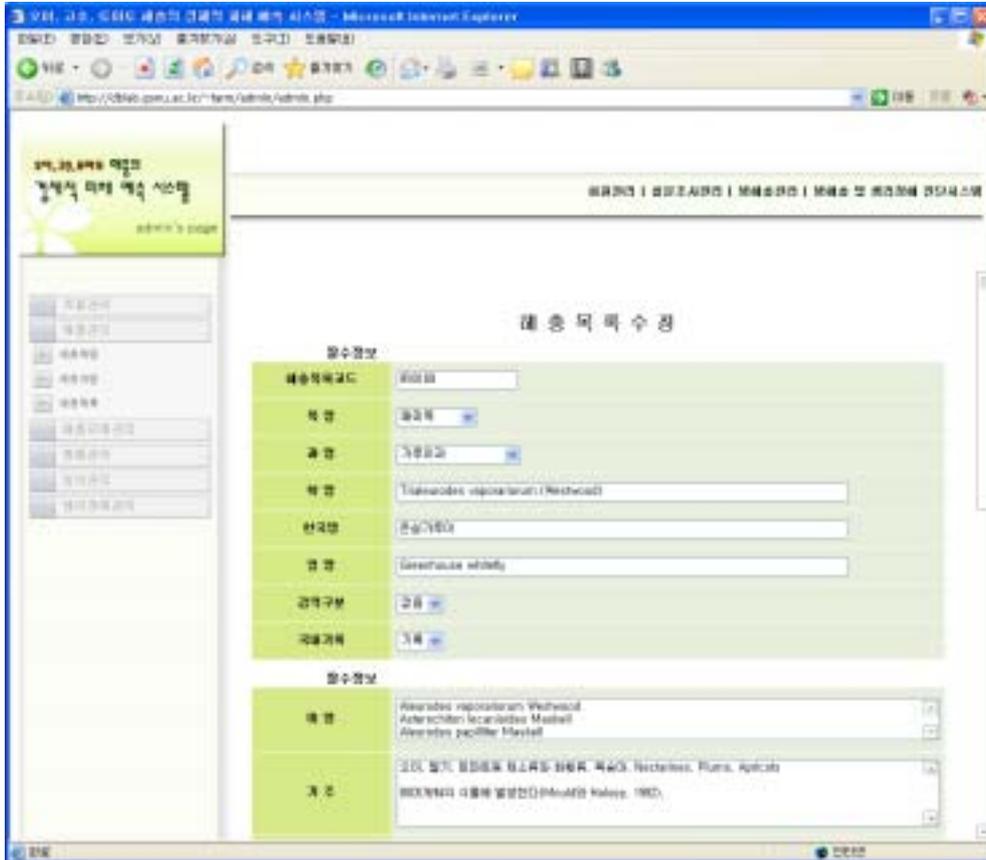


그림 5-38. 병해충 관리 기능 중 해충 정보 수정 화면

[그림 5-38]은 병해충관리 기능 중 해충 정보를 수정하는 화면을 보여주고 있다. [그림 5-37]과 같은 화면에서 수정을 원하는 해충을 선택하게 되면 [그림 5-38]과 같은 해충 정보 수정화면이 나타나게 된다. 테이블에 저장되어 있는 정보들을 수정하기 위한 핵심 모듈의 일부를 [그림 5-39]에서 보여주고 있다.

```

$code_id=$_REQUEST["code_id"];
$sql = "select * from $table where code_id = '$code_id' ";
$rs = mysql_query($sql);
$count = mysql_num_rows($rs);
    while($row = mysql_fetch_object($rs)){
        $code_id = $row->code_id;
        $family_id = $row->family_id;
        $scientific_name = $row->scientific_name;
        $korea_name = $row->korea_name;
        $english_name = $row->english_name;

        . . . ( 중 략 ) . . .

        $s_see = $row->s_see;
        $s_book = $row->s_book;
    }
    $nickname = str_replace("<br>","Wn",$nickname);
    $host = str_replace("<br>","Wn",$host);

    . . . ( 중 략 ) . . .

    $s_see = str_replace("<br>","Wn",$s_see);
    $s_book = str_replace("<br>","Wn",$s_book);
    $sql_temp = "select * from code_insect_family where family_id =
'$family_id' ";
    $rs_temp = mysql_query($sql_temp);
    $row_temp = mysql_fetch_object($rs_temp);
    $order_temp00 = $row_temp->order_id;

```

그림 5-39. 해충정보 수정 모듈

[그림 5-39]에서 \$code_id=\$REQUEST["code_id"]는 관리자가 선택한 해충의 코드 값을 인식하는 부분이고, \$sql = "select * from \$table where code_id = '\$code_id'"에서부터 while(\$row = mysql_fetch_object(\$rs)){ ... } 까지는 해충 테이블로부터 해충 코드에 해당하는 해충의 정보를 가져오는 부분이며, 마지막 부분들은 데이터베이스로부터 읽어 들인 데이터를 [그림 5-38]과 같은 형태로 관리자에게 보여 주기 코드 부분이다.

[그림 5-40]은 해충테이블에 저장되어 있는 해충 정보를 삭제하는 화면이다.



그림5-40. 병해충관리 기능 중 해충 삭제 화면

[그림5-37]에서 삭제할 해충을 선택하게 되면 [그림5-40]과 같은 화면이 관리자에게 보여지게 된다. 삭제의 신중을 기하기 위해서 관리자에게 삭제 결정 유무를 다시 묻고, 해당 자료를 삭제하게 된다. [그림 5-41]는 해충 삭제 모듈의 일부분이다.

```
include "../dbconn.php";
$table = $_REQUEST["table"];
$code_id = $_REQUEST["code_id"];

$sql = "select * from factsheet where insect_id = '$code_id'";
$rs = mysql_query($sql);
while($row = mysql_fetch_object($rs)){
    $file_name = $row->file_name;

    $savedir = "file";
    if(!unlink("$savedir/$file_name")){
        echo("파일삭제 실패!");
        exit;
    }
}
$sql = "delete from factsheet where insect_id = '$code_id'";
$rs = mysql_query($sql);
$sql = "delete from $table where code_id ='$code_id'";
```

그림 5-41. 해충 삭제 모듈

여기서 `$code_id = $_REQUEST["code_id"]` 부분은 선택한 해충의 코드 값을 인식하고, `while($row = mysql_fetch_object($rs)){ ... }` 부분은 해충에 관련된 사진 자료가 있으면 해충사진 테이블로부터 자료를 삭제하게 된다. 이러한 자료가 모두 삭제된 후에, 삭제하려는 해충의 자료가 데이터베이스로부터 삭제되게 된다.

병해충관리 기능에서 수정과 삭제 등의 모듈만을 설명했는데 앞 절에서 설명한 회원관리와 설문조사관리에서 사용했던 데이터 입력 모듈과 화면에 보여주는 모듈들은 유사한 형태로 병해충 관리 기능에서도 사용하고 있다.

4) 병해충 및 생리장해 진단시스템

병해충 및 생리장해 진단 시스템을 위해 관리자 페이지에는 진단시스템의 진단증상 해당하는 작물, 해충, 생리장해, 병해의 코드 값들을 저장 관리할 수 있도록 하고 있다. 여기에 저장된 값들은 병해충 및 생리장해 진단시스템에서 사용하는 중요한 데이터가 된다. 병해충 및 생리장해 진단 시스템의 화면은 [그림 5-42]와 같다.

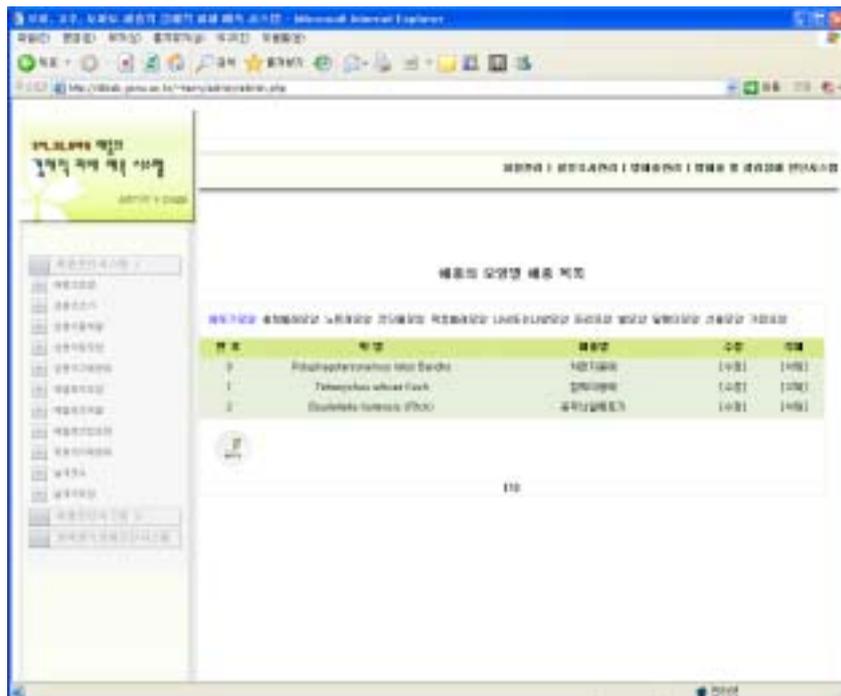


그림 5-42. 병해충 및 생리장해 진단시스템 화면

[그림 5-42]에서 병해충 및 생리장해 진단시스템은 해충진단 시스템의 데이터를 관리하는 기능과 병해와 생리장해 진단시스템을 관리하는 기능으로 나누어져 있다.

나. 설문조사 시스템

설문조사 시스템은 회원들로부터 농가정보, 시설물정보, 해충밀도, 환경조사를 입력 받아 데이터베이스화 시켜서 관리하는 시스템이다. [그림 5-43]은 사용자가 설문조사 시스템에서 농가정보를 등록하는 화면이다.

The screenshot shows a web browser window with the URL 'http://drlab.pama.ac.kr'. The page title is '농기정보등록'. The main heading is '농기정보등록'. Below this, there are two sections: '필수사항' (Required) and '선택사항' (Optional). The '필수사항' section contains several input fields: '농가 코드' (Farm Code) with value 'F49888', '성명' (Name) with value '연정분', '주민등록번호' (Resident Registration Number) with value '77095 - 182348', '거주지 주소' (Residence Address) with value '([우편번호] 016-799) 경남 진주시 가좌동 경산2리4호 99번지', '연락처(휴대폰)' (Contact Mobile) with value '016 - 799 - 8852', 'E-mail' with value 'acw@nki.ac.kr', '비밀번호' (Password) with masked characters, and '비밀번호 확인' (Confirm Password) with masked characters. The '선택사항' section contains '읍면동 번호' (Municipality Number) with value '016 - 799 - 8852' and '농가 구분' (Farm Type) with value '180'. At the bottom, there are navigation links: '[가 앞]', '[뒤 시스템]', and '[뒤 >]'. The browser's address bar shows 'http://drlab.pama.ac.kr' and the page title is '농기정보등록'.

그림 5-43. 농가정보 등록 화면

사용자가 [그림 5-43]과 같은 화면에 질의응답을 하고 가입 버튼을 클릭 하게 되면 사용자가 입력한 데이터들은 오류검사를 거친 후에 농가테이블에 정보가 저장되고 이 정보는 사용자를 식별하거나 포털사이트에서 서비스를 제공하기 위한 기초 자료로 사용하게 된다.

[그림 5-43]과 같은 절차를 거쳐 포털사이트에 농가등록이 이루어지면, 사용자는 포털사이트에 로그인하여 포털사이트의 서비스를 사용할 수 있게 된다. 이때 오이, 고추, 토마토 해충의 경제적 피해 예측 시스템을 사용하기 위해서는 시설물별 재배작물, 해충의 밀도, 환경조사에 대한 데이터를 입력하여야 한다. [그림 5-44]는 시설물별 재배작물을 등록하는 화면이다.

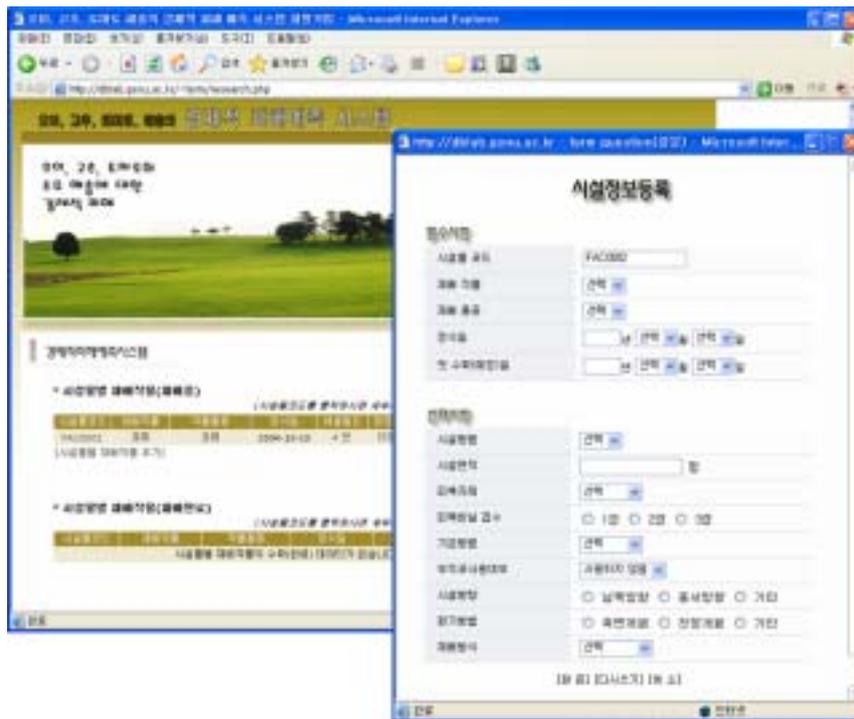


그림 5-44. 시설물별 재배작물 등록 화면

이렇게 시설물 정보를 등록하게 되면 [그림 5-44]에서와 같이 경제적 피해 예측 시스템메뉴에서 사용자가 등록한 데이터들을 확인할 수 있고, 잘못된 자료에 대해서는 수정할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

[그림 5-45]은 시설물을 등록한 후에 해충의 밀도를 조사하여 데이터를 입력했을 때 나타나는 화면이다. 잘못 입력되는 경우를 대비해 수정과 삭제기능을 함께 제공하고 있다.

FAC0001 시설물(오이)에서 트랩조사에의한
목화진딧물 해충밀도 조사표입니다

번호	조사일자	해충밀도	수정	삭제
1	2004-10-21	10	수정	삭제
2	2004-10-20	20	수정	삭제
3	2004-10-25	50	수정	삭제
4	2004-10-29	60	수정	삭제

그림 5-45 해충 밀도 등록 화면

설문조사 시스템을 구현한 모듈 중에 [그림 5-46]은 오류검사기의 모듈의 일부이다.

```
if (thisform.farmname.value == null || thisform.farmname.value == "") {
    alert("이름(한글실명)을 입력해주세요.");
    thisform.farmname.focus();
    return;
}
if (thisform.number1.value == null || thisform.number1.value == ""
||thisform.number2.value == null || thisform.number2.value == "") {
    alert("주민등록번호를 입력해주세요.");
    thisform.number1.value="";
    thisform.number2.value="";
    thisform.number1.focus();
    return false;
}
else {
    ncidCheck(thisform);
}
... ( 중 략 ) ...
if ( trim($farmid) == "" ) {
echo "<script> alert('아이디를 잘못 입력하셨습니다.');" history.back(); </script>";
    exit;}
if ( trim($password) != trim($re_password) ) {
echo "<script> alert('패스워드를 확인해 주세요.');" history.back(); </script>";
    exit;}

```

그림 5-46. 오류검사기 모듈

[그림 5-46]에서 각각의 if 문장들은 이름과, 주민등록번호, 아이디, 패스워드에 대한 사용자 입력값들의 오류나 잘못된 값인지를 판단하여 사용자에게 다시 입력하도록 하는 코드들로 구성되어 있다. 이러한 오류검사기 모듈을 통과한 데이터들은 유효한 데이터라 할 수 있다. 오류검사를 통과한 데이터는 제어시스템으로 넘어가서 해당 테이블에 저장되게 된다. [그림 5-47]은 제어시스템의 구현 모듈 중 일부분이다.

```

$mode = $_REQUEST["mode"];
if ($mode == "INSECT"){
    $table == "insect_table";
    $query = "INSERT INTO members_facilities (facil_id, survey_facil,
survey_noxi, survey_method, survey_date, noxi_density) VALUES ";
$query .= "(" , '$facil_code','$survey_noxi', '$survey_method', '$surveydate',
'$noxidensity') ";

}else if ( $mode == "MILDO"){
    $table == "mildo_table";
    $query = "INSERT INTO members_facilities2 (facil_id, survey_facil,
survey_items, survey_day, survey_time, survey_result) VALUES
('$survey_facil', '$survey_items', '$survey_day', '$survey_time',
'$survey_result') ";
}

    ... ( 중 략 ) ...

$qr = mysql_query($query);

```

그림 5-47. 제어시스템의 구현 모듈

[그림 5-47]에서 \$mode = \$_REQUEST["mode"]에서 오류검사를 통과한 데이터의 모드를 선택하고 각 해당 모드의 값에 따라서 필요한 테이블을 선택하고 데이터를 입력하기 위한 \$SQL 문장들을 완성하게 된다. 그리고 마지막 문장에서 실제 테이블에 입력된 데이터들을 저장하게 된다.

다. 오이, 고추, 토마토 해충의 경제적 피해 예측 시스템

경제적 피해 예측 시스템의 사용을 위해 사용자는 최소한의 정보만 입력하게 하고, 필요한 정보는 관리자 페이지에서 데이터베이스화 시킨 자료를 추출하여 사용하도록 구현하였다. 이렇게 함으로서 사용자는 본 시스템을 사용할 때 많은 데이터를 입력할 필요가 없게 된다. 경제적 피해 예측 시스템의 초기 화면은 [그림 5-48]과 같다.

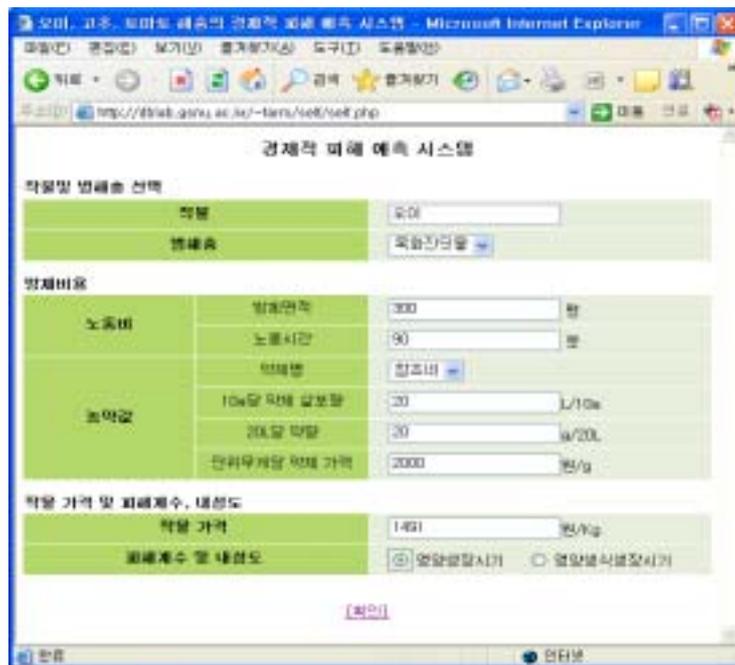


그림 5-48. 경제적 피해 예측 시스템의 자료 입력화면

경제적 피해 예측 시스템은 [그림 5-48]의 형태로 사용자로부터 정보를 입력받게 된다. 사용자는 [그림 5-48]에서 병해충과 약제명을 선택하고 방제시간만 입력하면 시스템에서 시설물 테이블과 밀도 테이블 그리고 시스템이 보유하고 있는 기본 값을 이용하여 해당 질의 항목에 기본 값을 출력하게 되고, 이 기본 값이 현재 사용자의 실정과 동일하지 않을 때에만 수정을 하면 된다.

경제적 피해 예측 시스템은 [그림 5-48]의 자료 입력화면에서 넘겨받은 자료를 토대로 경제적 피해를 예측하고, 예측된 정보를 동적차트 생성기를 통해서 동적 차트로 나타내게 된다. 경제적 피해 예측 시스템의 결과를 출력한 화면형태는 [그림 5-49]와 같다.



그림 5-49. 경제적 피해 예측 시스템의 결과 화면

파란 선은 사용자가 입력한 해충밀도를 바탕으로 날짜별 해충 밀도를 밀도일 단위로 계산하여 나타낸 것이다. 그리고 빨간 선은 경제적 피해 허용 수준을 나타내고 있으며, 노란 선은 방제 허용수준을 나타내고 있다. [그림 5-49]에서는 밀도일이 방제허용수준을 초과하지 않았기 때문에 아직 방제를 할 필요는 없고, 앞으로 계속 밀도의 추이를 관찰하라는 결과를 사용자에게 보여주게 된다.

[그림 5-50]은 피해 예측 처리기의 모듈 중 일부로서 사용자로부터 입력 받은 데이터를 바탕으로 방제비용을 계산하여, 경제적 피해 수준을 계산하고, EIL과 ET를 계산하는 모듈이다.

```

$CC = (round(6250 * number_format($timeT/60, 1) * number_format($areaA/30,1)/10)) + ($usageU * $costC * $quantityQ / 20 * number_format($areaA/30,1) / 10);
$PP = $product;

if ($energy == "01"){
    $tempD=0.2266;
    $tempTL=1800;
}else{
    $tempD=0.0289;
    $tempTL=12000;
}

$tempK = 0.9;
$EIL = $tempTL + ( $CC / $PP * $tempD * $tempK);
$tempEIL = $EIL * 0.75;
if ($energy == "01"){

```

```

        $ET = (0.2394*$sum_density - 9.3031)/5 ;
    }else{
        $ET = (0.05*$sum_density + 1493)/6;
    }

    $sum_density = 0;
    $sql = "select * from members_facilities where survey_facil ='$facil_code'";
    $rs = mysql_query($sql);
    while ($row = mysql_fetch_object($rs)){
        $density = $row->noxi_density;
        $sum_density = $sum_density + (int)$density;
    }

```

그림 5-50. 방제비용, 경제적 피해수준, EIL, ET 계산 모듈

[그림 5-50] 모듈에서 사용자로부터 질의에 대한 응답을 넘겨받게 되면, \$CC에 방제 비용 계산 결과를 저장하고, \$PP에 작물 가격을 저장한다. if (\$energy == "01"){ . . . } 부분에서는 사용자로부터 입력받은 데이터가 영양생장 시기인지 영양생식생장 시기 인지에 따라 피해계수와 내성도를 설정하는 코드이다. \$tempK = 0.9 부터 if (\$energy == "01"){ . . . }까지는 오이의 목화진딧물의 경제적 피해수준 설정 및 간이예찰법 개발을 수행한 연구결과에서 나온 알고리즘을 이용하여 경제적 피해 수준을 설정하고 EIL, ET를 계산하는 코드이다. 모듈의 마지막 부분은 사용자가 입력한 밀도의 데이터를 가져와 밀도일을 계산하는 부분이다.

[그림 5-50]의 모듈을 통해서 계산된 결과는 동적차트 생성기로 넘어가서 동적차트를 이용하여 사용자에게 [그림 5-49]의 형태로 제공하게 된다. 다음 [그림 5-51]은 동적차트 생성 모듈의 일부분이다.

```

$et = $_REQUEST["et"];
$fac_cod = $_REQUEST["fac_cod"];
include("../phplot.php");
$graph = new PHPlot;

    ... ( 중 략 ) ...

    $sum_density = 0;
    $ia = 0;
    $example_data[$ia][0] = "";
    $example_data[$ia][1] = 0.0;
    $example_data[$ia][2] = $et;
    $example_data[$ia][3] = $et*0.75;

    $sql = "select * from members_facilities where survey_facil
=$fac_cod";
    $rs = mysql_query($sql);
    while ($row = mysql_fetch_object($rs)){
        $density = $row->noxi_density;
        $sum_density = $sum_density + (int)$density;
        $survey_date = $row->survey_date;
        $ia = $ia + 1;
        $example_data[$ia][0] =$survey_date;
        $example_data[$ia][1] =$sum_density;
        $example_data[$ia][2] =$et;
        $example_data[$ia][3] =$et*0.75;

    }

```

```

$graph->SetDataValues($example_data);

//Draw it
$graph->DrawGraph();

```

그림 5-51. 경제적 피해 예측 시스템의 동적차트 생성 모듈

여기서 `$et = $_REQUEST["et"], $fac_cod = $_REQUEST["fac_cod"]`는 피해 예측 시스템으로부터 넘어온 데이터를 저장하는 코드로서, ET 데이터와 농장 코드를 변수에 저장하고 있다. `include("../phplot.php")`는 GD 라이브러리를 사용하기 위해 필요한 모듈들을 불러오는 코드이고, `$graph = new PHPlot`는 동적차트를 만들기 위한 객체 인스턴스를 생성하는 코드이다. `$sum_density = 0`부터 `while ($row = mysql_fetch_object ($rs)){ ... }`까지는 데이터베이스로부터 밀도정보를 가져오고, 경제적 피해 예측 시스템으로부터 넘겨받을 데이터를 동적차트 생성함수의 매개변수 형식에 맞게 변형시키는 코드이다. 마지막 부분은 동적차트를 생성시켜 사용자에게 보여주는 코드이다.

라. 병해충 및 생리장해 진단시스템

병해충 및 생리장해 진단시스템은 사용자가 자신이 재배하는 작물에서 발생한 해충, 생리장해, 병해 등에 대해 관찰한 것을 토대로 하여 진단시스템에서 제공하는 진단증상 항목 중 자신에게 해당하는 항목을 선택함으로써 어떤 종류의 해충, 생리장해, 병해가 발생했는지를 찾을 수 있는 기능을 제공하고 있다. [그림 5-52]는 해충 진단시스템의 사용 예를 보여주고 있다. 사용자가 장미를 재배하고, 발생한 해충의 모양이 매뚜기 모양일 경우 해충 진단시스템에서 [그림5-52]와 같은 진단을 하게 된다.

이렇게 사용자가 자신의 작물에 나타난 증상을 선택만 하게 되면 시스템의 연산처리를 통해서 해당하는 해충, 병해, 생리장해에 대한 정보를 제공해 준다.

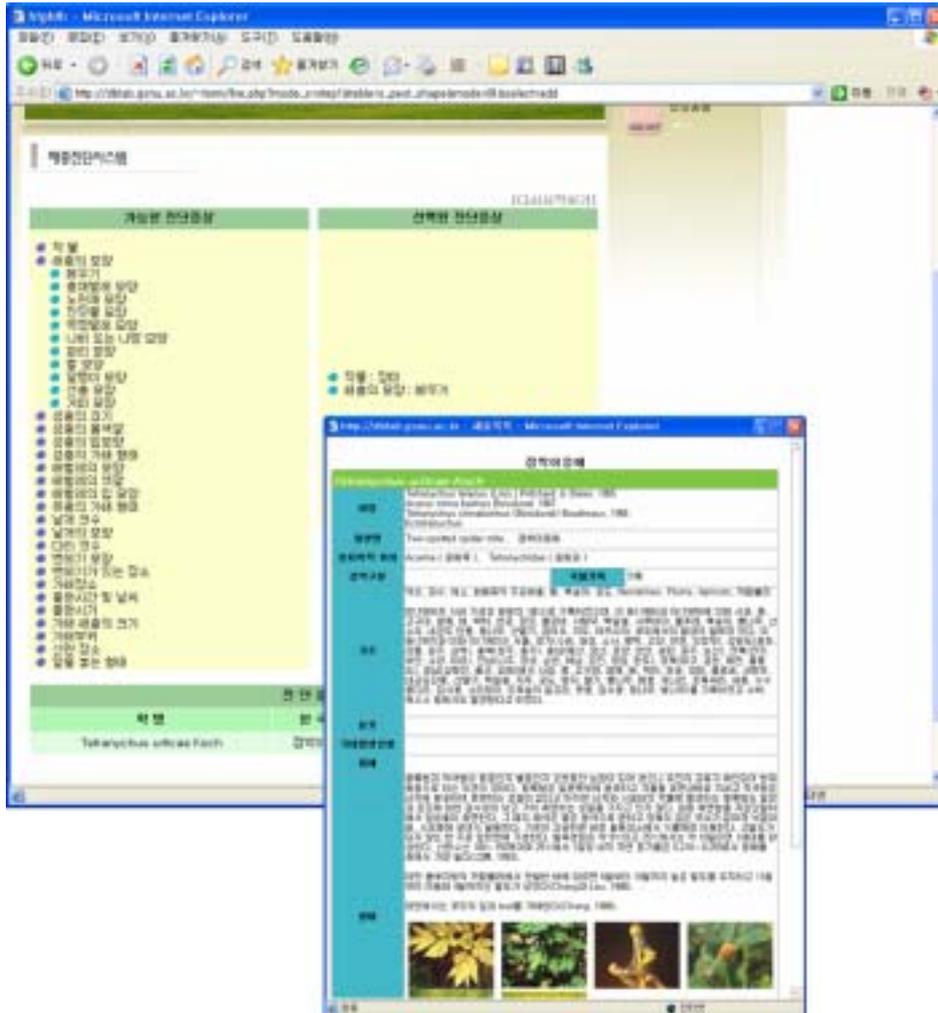


그림5-52. 해충 진단시스템의 사용 예

병해충 및 생리장해 진단시스템은 [그림 5-52]의 형태뿐만 아니라 여러 가능한 진단증상 항목에 대한 그림정보를 제공함으로써 사용자들이 좀 더 쉽게 가능한 진단증상을 선택할 수 있도록 하고 있다. [그림 5-53]은 그림정보를 이용하여 진단 증상을 선택하는 화면을 보여주고 있다.



그림 5-53. 가능한 진단증상 세부항목의 그림정보 화면

병해충 및 생리장해 진단시스템은 사용자가 선택한 항목에 대한 정보를 데이터베이스로부터 추출하고, 진단증상이 중복 선택되었을 때 정보들 간의 연관관계를 AND 연산, OR 연산을 통하여 처리하는 연산처리기와 선택된 진단 증상들을 출력하는 정보출력기 모듈을 이용하여 구현하였다.

[그림 5-54]는 병해충 및 생리장해 진단시스템의 연산처리 모듈의 일부분이다.

```
$mode_s = $_REQUEST["mode_s"];
$table = $_REQUEST["table"];
$mode = $_REQUEST["mode"];
$select = $_REQUEST["select"];
$code_id = $_REQUEST["code_id"];
if ($select == "add"){
    if($code_id){
        $arr_temp[$table] = $code_id;
        session_register("$arr_temp[$table]");
    }else{
        $arr_temp[$table] = $mode;
        session_register("$arr_temp[$table]");
    }
}
if ($select == "sub"){
    $arr_temp[$table] = "AAA";
    session_register("$arr_temp[$table]");
}
if ($table == "nothing"){ $arr_temp = ""; }
```

... (중 략) ...

```
$temp_insect_id = "";
$test_temp = "";
if($arr_temp){
    reset($arr_temp);
    while(list($key,$value) = each($arr_temp)){
        if ($key == "crops_list"){
            $sql = "select * from insect_crops where crops_id ='$value'";
            $rs = mysql_query($sql);
            while($row = mysql_fetch_object($rs)){
                $insect_id = $row->insect_id;
                $temp_insect_id .= $insect_id;
            }
            echo "$temp_insect_id<br>";
        }else if ($value != "AAA"){
            $sql = "select * from $key where type ='$value'";
            $rs = mysql_query($sql);
            while($row = mysql_fetch_object($rs)){
                $insect_id = $row->insect_id;
                $count_temp = strlen($temp_insect_id)/7;
                $k_count = 0;
                while($count_temp !=0){
                    $temp_code=substr($temp_insect_id, $k_count, 7);
                    $k_count = $k_count + 7;
                    $count_temp = $count_temp - 1;
                    if ($temp_code == $insect_id){
```

```

        $test_temp .= $insect_id;
    }
}
}
$temp_insect_id = $test_temp;
}
}

```

그림 5-54. 병해충 및 생리장해 진단시스템의 연산처리 모듈

[그림 5-54]의 \$mode_s = \$_REQUEST["mode_s"]에서 \$code_id = \$_REQUEST ["code_id"] 까지는 사용자가 진단 증상을 선택했을 때의 상태 데이터를 연산처리가 받아들이는 부분이고, if (\$select == "add"){에서부터 if (\$table == "nothing"){ \$arr_temp = ""; }까지는 연산처리의 임시공간에 저장되는 해충코드에 대한 값들을 진단증상 선택 상황에 따라 추가, 수정, 삭제 하는 부분이다. 그 이후에 나타나는 것들은 임시공간에 저장된 진단 증상별 해충코드들 간의 상호 관계를 분석하고 이들끼리의 AND, OR 연산을 통해서 사용자에게 보여줄 최종 해충코드만을 임시공간에 저장하게 하는 부분이다.

연산처리기에서 최종적으로 저장된 해충코드들은 정보출력기를 통해서 사용자에게 보여지게 된다. 다음 [그림 5-55]는 병해충 및 생리장해 진단 시스템의 정보출력기 모듈의 일부분이다.

```

if (!$arr_temp["crops_list"]){
}else if($arr_temp["crops_list"] == "AAA"){
}else{

```

```

$crop_name = $arr_temp["crops_list"];
$sql = "select * from crops_list where code_id = '$crop_name'";
$rs = mysql_query($sql);
while($row = mysql_fetch_object($rs)){
    $korea_name = $row->korea_name;
}
echo "&nbsp; &nbsp;<img src='./self_system/img/icon2.gif' border=0 >&nbsp;<a
href='./fire.php?mode_s=step1&table=crops_list&code_id=$crop_name&select=su
b' target=_self><font color=black> 작물 : $korea_name</font></a><br>";
}
    . . . ( 중 략 ) . . .
$count_temp = strlen($temp_insect_id)/7;
$k_count = 0;
while($count_temp != 0){
    $temp_code=substr($temp_insect_id, $k_count, 7);
    $k_count = $k_count + 7;
    $count_temp = $count_temp - 1;
    $sql = "select * from insect_list where code_id = '$temp_code'";
    $rs = mysql_query($sql);
    $row = mysql_fetch_object($rs);
    $scientific_name = $row->scientific_name;
    $korea_name = $row->korea_name;
    $english_name = $row->english_name;
    echo "<tr height=23><td bgcolor=#E2FCE3><a href=javascript:open_win1
('./admin/code/insect_view.php?table=insect_list&code_id=$temp_code')><font
color=black>$scientific_name</font></a></td><td bgcolor=#E2FCE3>$korea_name
</td><td bgcolor=#E2FCE3>$english_name</td></tr>";
}

```

그림 5-55. 병해충 및 진단시스템의 정보 출력기 모듈

여기서 if (!\$arr_temp["crops_list"]){ ··· }는 선택된 진단이 어떤 것이 있는지 사용자에게 보여주기 위한 부분이고, 나머지 부분은 연산처리기로부터 넘어온 해충코드를 이용하여 데이터베이스에 접속하여 해충코드와 관련된 데이터를 가져와 사용자에게 보여주는 부분이다.

마. 라이브러리

본 시스템에서는 관리자 페이지에서 데이터베이스화한 작물, 해충, 생리장해, 병해, 농약 등에 관련된 자료들을 사용자들이 손쉽게 이용할 수 있도록 다양한 방법으로 분류하여 라이브러리 형태로 제공하고 있다.

해충 라이브러리에서는 작물별 해충, 작물의 피해부위별 해충, 분류군별 해충목록 등의 형태로 해충 정보를 검색할 수 있도록 하고 있다. [그림 5-56]은 해충 라이브러리의 구현 모습을 보여주고 있다.



그림 5-56. 해충 라이브러리 구현 화면

[그림 5-57]은 [그림 5-56]에서 작물별 해충을 클릭했을 때 나타나는 화면을 보여주고 있다. 시스템에 등록되어 있는 작물의 목록을 화면에 보여주고 그 각각에 해당하는 해충에 대해서 국내와 국외로 분류하여 사용자에게 보여주게 된다. 이렇게 함으로써 사용자는 수백 개의 해충목록을 보는 것이 아니라, 체계적인 분류단위에 의해서 해충 목록을 쉽게 확인할 수 있다.

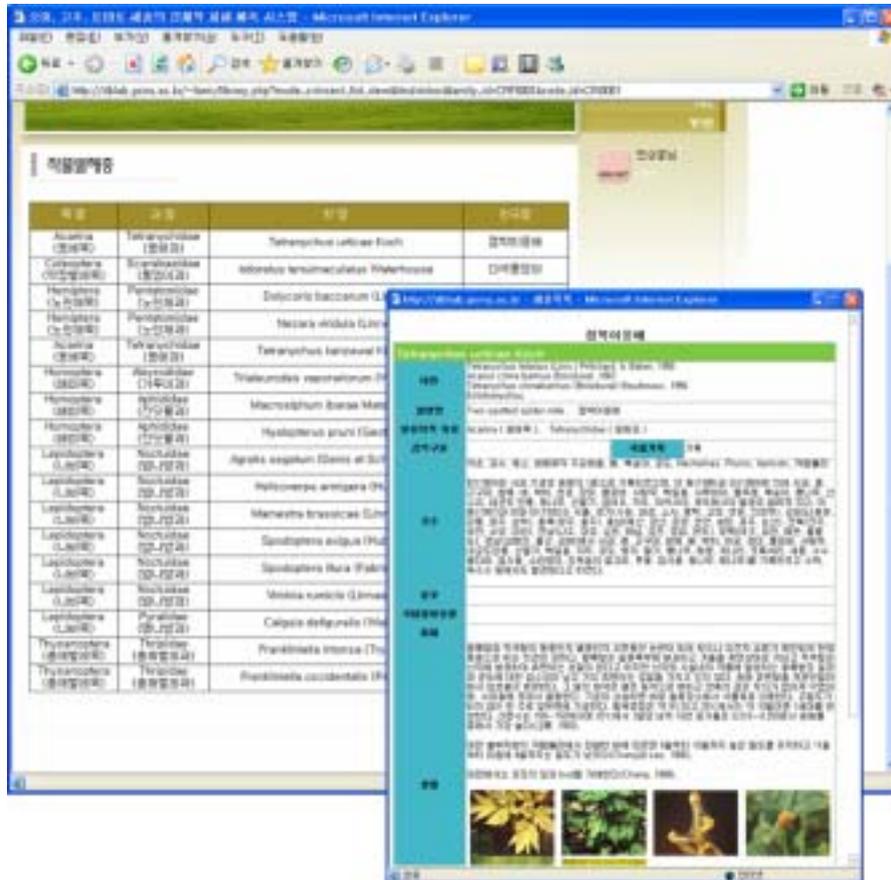


그림 5-58. 작물별 해충 목록과 점박이응애의 세부 정보 화면

본 시스템에서는 해충 라이브러리뿐만 아니라 병해 라이브러리와 생리장애 라이브러리에 대해서도 해충 라이브러리와 유사한 방식으로 제공함으로써 사용자가 병해와 생리장애의 상세 정보에도 손쉽게 접근할 수 있도록 하고 있다.

5-5. 결론

오이, 고추, 토마토 해충의 경제적 피해 예측 시스템은 앞 절에서 수행한 연구 결과들인 해충의 경제적 피해 수준 설정, 해충의 간이 예찰법, 그리고 해충의 발생생태 연구 결과 등을 인터넷상에서 효과적이고 쉽게 실제 영농 활동에 이용할 수 있게 개발하였다.

사용자는 경제적 피해 수준 설정 시스템 뿐만 아니라 자가 진단 시스템을 이용하여 재배중인 작물에서 어떤 병해충 및 생리장해가 발생했는지 진단받을 수 있고, 해충·병해·생리장해·농약에 대한 다양한 라이브러리 정보를 함께 얻을 수 있다. 또한 설문조사 시스템에 참여할 경우 사용자 상호간의 시설작물에 대한 재배환경, 시설물 설치방법 등 다양한 정보를 공유할 수 있다.

본 시스템의 관리자는 설문조사 시스템을 통해서 관리자가 원하는 다양한 자료들을 수집하고, 수집된 자료를 체계적으로 데이터베이스화 하여 관리할 수 있으며, 강력한 관리자 기능을 통해서 수집된 자료 분석이나 본 시스템에서 제공되는 정보의 추가, 수정, 삭제가 용이하도록 구성하였다.

제 4장. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1절. 연차별 연구목표 및 내용

1. 제 1세부과제 : 시설오이와 고추의 주요 해충의 경제적피해수준설정 및 간이예찰법 개발

구 분	연구개발목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도	○오이에서 목화진딧물, 오이총채벌레의 공간분포 구멍 및 피해 조사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 목화진딧물의 개체군 동태연구 <ul style="list-style-type: none"> - 주간 및 주내 공간분포 조사 - 황색트랩을 사용하여 유시충의 밀도조사 ○ 목화진딧물 가해에 의한 오이의 피해해석 <ul style="list-style-type: none"> - 목화진딧물 피해요인 설정 - 오이의 계절별 생육단계에 따른 피해조사 - 밀도별 피해조사 ○ 축성재배 오이에서 오이총채벌레의 최초 발생원 구멍 <ul style="list-style-type: none"> - 점착 트랩 및 육안조사 - 총채벌레 밀도 및 종류 조사 ○ 오이총채벌레의 공간분포 및 피해 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 점착 트랩 및 육안조사의 상관성 분석 - 축차표본조사법개발을 위한 자료분석 - 발생 밀도와 피해도 상관성 조사
	○고추에서 복숭아혹진딧물, 담배나방의 공간분포 구멍 및 피해 조사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 복숭아혹진딧물의 개체군 동태연구 <ul style="list-style-type: none"> - 주간 및 주내 공간분포 조사 - 황색트랩을 사용하여 유시충의 밀도조사 ○ 담배나방의 개체군 동태연구 <ul style="list-style-type: none"> - 담배나방 알의 주간 및 주내 공간분포 조사 - 페로몬트랩에 의한 성충발생소장과 피해도 상관성 조사

구 분	연구개발목표	연구개발 내용 및 범위
2차년도	<p>○오이에서 목화진딧물, 오이총채벌레 경제적피해모형 및 간이예찰법 개발</p>	<p>○ 목화진딧물, 오이총채벌레의 오이에 대한 경제적 피해모형 구성</p> <p>- 피해 요인 계량화</p> <p>- 초기 침입밀도별 수량 상관성 조사</p> <p>○ 목화진딧물, 오이총채벌레의 간이 예찰법 개발</p> <p>- Geostatistics을 이용한 목화진딧물 공간분포 패턴 구명</p> <p>- 점착트랩 및 이항표본 축차조사법 개발</p>
2차년도	<p>○고추에서 복숭아혹진딧물, 담배나방의 경제적피해모형 및 간이에찰법 개발</p>	<p>○ 복숭아혹진딧물, 담배나방에 의한 고추 피해 요인 계량화</p> <p>- 고추생장시기별 피해 계량화</p> <p>- 초기 침입밀도별 피해 계량화</p> <p>○ 복숭아혹진딧물, 담배나방의 간이 예찰법 개발</p> <p>- Geostatistics를 이용한 공간분포 패턴 구명</p> <p>- 트랩을 이용한 간이 예찰법 개발</p> <p>- 담배나방 피해과를 이용한 간이에찰법 개발</p> <p>- 발생예찰모형 개발</p>
3차년도	<p>○오이에서 목화진딧물, 오이총채벌레 경제적피해모형 및 간이예찰법 적합성 검증</p>	<p>○ 목화진딧물, 오이총채벌레의 경제적피해수준 결정</p> <p>- 경제적 피해수준 설정 및 모형 적합성 검증</p> <p>○ 목화진딧물, 오이총채벌레의 간이에찰법 개발</p> <p>- 간이에찰법 개발 및 적합성 검증</p> <p>- 설정된 경제적피해수준값과 간이 예찰법을 통합한 시기별 예찰 프로그램 제시</p>
3차년도	<p>○고추에서 복숭아혹진딧물, 담배나방의 경제적피해모형 및 간이에찰법 적합성 검증</p>	<p>○ 복숭아혹진딧물, 담배나방의 경제적피해수준 결정</p> <p>- 경제적 피해수준 설정 및 모형 적합성 검증</p> <p>○ 복숭아혹진딧물, 담배나방의 간이에찰법 개발</p> <p>- 기초로 간이에찰법 개발 및 적합성 검증</p> <p>- 설정된 경제적피해수준값과 간이 예찰법을 통합한 시기별 예찰 프로그램 제시</p>

2. 제 1협동과제 : 시설토마토의 주요 해충의 경제적피해수준 설정 및 간이에찰
법 개발

구분	연구개발목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도	○시설 토마토에서 온실가루이, 아메리카잎굴파리와 담배거세미나방의 발생소장 조사 및 공간분포조사	○ 재배양식을 축성재배와 반축성재배로 나누어 온실가루이, 잎굴파리 밀도를 정식부터 수확기까지 조사 ○ 사용될 표본추출 도구 효율성을 작물 재배시기 및 해충 발생태별로 조사 및 검정 ○ 해충 조사는 식물체내 및 시설내로 나누어 조사함 ○ 경제성 및 정확도를 고려하여 표본단위 설정 ○ 시설내 물리적환경 변화가 해충 밀도 변동에 미치는 영향을 조사하여 물리적 환경과 해충 생활사를 결합하여 간단한 해충별 예찰 프로그램을 개발 ○ 담배거세미나방 성충은 성페로몬 트랩으로 조사하고 유충의 영기구별법을 개발하여 연령분포 구명
2차년도	○시설토마토에서 온실가루이, 아메리카잎굴파리와 담배거세미나방의 간이에찰법 개발 및 모의 피해실험	○ 조사된 발생소장 및 표본추출도구를 이용하여 각 해충에 대한 간이에찰법 및 예찰모형 완성 ○ 각 해충 피해 유형에 따른 엽면적 변화와 광합성량감소율 구명 ○ 시설토마토 모의피해실험 ○ 온실가루이와 잎굴파리의 밀도변동 및 피해의 상관관계 구명
3차년도	○시설토마토에 발생하는 해충밀도 추정 및 경제적 피해수준 적합성 검정	○ 상기 2개년간 조사된 결과를 기본으로 딸기와 토마토에서 발생하는 해충의 간이 예찰법을 완성함 ○ 조사된 경제적 피해수준값과 간이 예찰법을 조합하여 시기별 예찰 프로그램을 제시함 ○ 시설토마토해충인 온실가루이와 잎굴파리는 트랩을 이용하여 두 해충밀도를 동시에 추정할 수 있는 간이 예찰법 개발 ○ 간이에찰법 및 경제적 피해수준값을 실제 포장에서 적합성 검정 시도

3. 제 2 협동 과제 : 시설작물의 재배형태 및 시기별 주요 해충발생동태 연구

구분	연구개발목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도	○ 재배형태 및 시기별 해충 발생상황 조사 (오이, 토마토)	<p>조사작물: 오이, 토마토</p> <p>조사지역: 진주, 하동, 광양, 함안 등 4개소</p> <p>조사방법: 년중 일정한 주기(15-30일)로 지역을 순회하며, 재배유형과 특히 시설재배의 경우 시설의 유형과 기본환경조건을 조사하고, 재배되는 작물의 품종, 재배방법 (과종기, 재식밀도, 기타), 작물의 상태, 병해충의 종류, 밀도, 가해상황, 대처방법 등 병해충과 그 발생환경에 관한 모든 사항을 조사하여 체계화 함.</p>
2차년도	○ 재배형태 및 시기별 해충 발생상황 조사 (고추, 수박)	<p>조사작물: 고추, 수박</p> <p>조사지역: 진주, 하동, 광양, 함안 등 4개소</p> <p>조사방법: 1년차 연구와 같은 방법으로 년중 일정한 주기(15-30일)로 지역을 순회하며, 재배 및 시설(온실)의 유형과 기본환경조건을 조사하고, 재배되는 작물의 품종, 재배방법 (과종기, 재식밀도, 기타), 작물의 상태, 병해충의 종류, 밀도, 가해상황, 대처방법 등 병해충과 그 발생환경에 관한 모든 사항을 조사하여 체계화 함.</p>
3차년도	○ 재배형태 및 시기별 병해충 발생상황 조사 보완 및 DB 구축	<p>조사작물: 오이, 딸기, 토마토, 고추, 수박</p> <p>조사지역: 진주, 하동, 광양, 함안 등 4개소</p> <p>조사방법: 1-2년차 연구에서 보완해야 할 재배형태와 환경조건을 다양화 하여 보완조사를 같은 방법으로 조사함과 함께, 수집된 자료가 타 세부과제에 이용될 수 있도록 DB화 추진</p>

제 2절. 연구평가의 착안점 및 달성도

1. 제 1세부과제 : 시설오이와 고추의 주요 해충의 경제적피해수준설정 및 간이예찰법 개발

구 분	착 안 사 항	전체 비중	달성도
1차 년도	○ 오이의 생장 특성 파악	10%	100%
	○ 오이에서 목화진딧물, 오이총채벌레의 공간분포 파악	40%	
	○ 오이에서 목화진딧물의 피해요인 분석	30%	
	○ 오이에서 목화진딧물, 오이총채벌레의 발생밀도와 피해도 상관성 분석	20%	
2차 년도	○ 고추의 생장 특성 파악	10%	100%
	○ 고추에서 복숭아혹진딧물, 담배나방의 공간분포 파악	40%	
	○ 고추에서 황색트랩을 이용한 복숭아혹진딧물의 유시충 밀도 변동과 담배나방의 페르몬 트랩을 이용한 성충 발생 소장 파악	30%	
	○ 고추에서 복숭아혹진딧물과 담배나방의 피해요인 분석	20%	
3차 년도	○ 목화진딧물, 오이총채벌레의 오이에 대한 경제적피해모형 구성	50%	100%
	○ 목화진딧물, 오이총채벌레의 간이에찰법 개발	50%	
	○ 복숭아혹진딧물, 담배나방에 의한 고추 피해 요인 계량화	50%	
	○ 복숭아혹진딧물, 담배나방의 간이에찰법 개발	50%	
최종평가	○ 목화진딧물, 오이총채벌레의 경제적피해수준 설정	50%	100%
	○ 목화진딧물, 오이총채벌레의 간이에찰법의 적합성 검증 및 예찰프로그램 제시	50%	
	○ 복숭아혹진딧물, 담배나방의 경제적피해수준 설정	50%	
	○ 복숭아혹진딧물, 담배나방의 간이에찰법의 적합성 검증 및 예찰프로그램 제시	50%	
최종평가	○ 오이, 고추에서 연구 대상 해충의 경제적피해수준 설정	40%	100%
	○ 오이, 고추에서 연구 대상 해충의 간이에찰법 개발 및 적합성 검증	40%	
	○ 밀도 추정을 위한 프로그램 제시	20%	

2. 제 1협동과제 : 시설토마토의 주요 해충의 경제적피해수준 설정 및 간이예찰
법 개발

구 분	착 안 사 항	전체 비중	달성도
1차년도	○ 시설 토마토에서 온실가루이, 아메리카잎굴파리와 담배거 세미나방의 발생소장 조사 및 공간분포조사	25%	100%
	○ 표본추출 도구 효율성을 작물 재배시기 및 해충 발생태 별로 조사 및 검정	25%	
	○ 물리적 환경과 해충 생활사를 결합하여 간단한 해충별 예찰 프로그램 개발	25%	
	○ 담배거세미나방 유충의 영기구별법을 개발하여 연령분포 구명	25%	
2차년도	○ 조사된 발생소장 및 표본추출도구를 이용하여 각 해충에 대한 간이예찰법 및 예찰모형 완성	25%	100%
	○ 각 해충 피해 유형에 따른 엽면적 변화와 광합성량감소율 구명	25%	
	○ 시설토마토 모의피해실험	25%	
	○ 온실가루이와 잎굴파리의 밀도변동 및 피해의 상관관계 구명	25%	
3차년도	○ 토마토에서 발생하는 해충의 간이 예찰법을 완성함	25%	100%
	○ 경제적 피해수준값과 간이 예찰법을 조합하여 시기별 예찰 프로그램을 제시	25%	
	○ 온실가루이와 잎굴파리는 트랩을 이용하여 두 해충밀도를 동시에 추정할 수 있는 간이 예찰법 개발	25%	
	○ 간이예찰법 및 경제적 피해수준값을 실제 포장에 서 적합성 검정	25%	
최종평가	○ 토마토에서 연구 대상 해충의 경제적피해수준 설정	40%	100%
	○ 토마토에서 연구 대상 해충의 간이예찰법 개발 및 적합성 검증	40%	
	○ 밀도 추정을 위한 프로그램 제시	20%	

3. 제 2협동과제 : 시설작물의 재배형태 및 시기별 주요 해충발생동태 연구

구 분	착 안 사 항	전체 비중	달성도
1차년도	○ 오이, 토마토에서 재배유형에 따른 병해충 종류 조사	25%	100%
	○ 오이, 토마토에서 각 병해충에 대한 대처방법 조사	25%	
	○ 오이, 토마토의 시설하우스의 기본 환경 조건 조사	25%	
	○ 오이, 토마토에서 해충의 가해상황 조사	25%	
2차년도	○ 고추, 수박에서 재배유형에 따른 병해충 종류 조사	25%	100%
	○ 고추, 수박에서 각 병해충에 대한 대처방법 조사	25%	
	○ 고추, 수박의 시설하우스의 기본 환경 조건 조사	25%	
	○ 고추, 수박에서 해충의 가해상황 조사	25%	
3차년도	○ 연구자료의 DB화 구축	40%	100%
	○ 타 세부과제의 연구결과와 함께 활용할 수 있는 서비스 체계 구축	60%	
최종평가	○ 오이, 토마토, 고추, 수박에 대한 재배형태 및 시기별 병해충 조사	30%	100%
	○ 조사자료의 DB 구축	35%	
	○ 타 세부과제의 연구결과와 함께 활용할 수 있는 서비스 체계 구축	35%	

제 3절. 관련분야의 기술발전예의 기여도

1. 기술적 측면

현재 목화진딧물, 오이충채벌레, 복숭아혹진딧물, 담배나방, 아메리카잎굴파리, 온실가루이, 담배거세미나방 등의 방제는 유기합성농약에 전적으로 의존하고 있는 실정이며 그 사용 횟수나 사용량이 심각하게 높은 수준이다. 그러나 현재 벼와 일부 과수 작물에서만 해충 밀도의 간이예찰법과 방제시기결정 등의 연구가 이루어지고 있는 실정이며, 작물의 성격이 판이한 온실조건과 발작물에 대한 연구는 전무한 상태이다. 이러한 상황에서 이루어지는 온실 및 전작작물에 대한 경제적피해수준의 구축은 단순히 연구에 이용되어진 작물과 해충에서 방제시기의 결정에 도움을 줄 뿐 아니라 도출하는 과정은 일반적인 주요 작물에서 해충 피해 분석 기술에 대한 토대를 구축하게 한다. 그리고 더 나아가 작물의 피해량 예측에 따른 해충 방제 의사 결정 기술의 기준이 될 것이다. 또한 간이예찰 기술은 기본적으로 연구 대상으로 한 작물과 해충에서 표본 조사 시간을 50% 이상 절감하는 효과를 가진다. 그리고 이러한 연구 결과는 다양한 간이예찰 방법이 제시됨으로써 다른 작물의 주요 해충에서도 이용이 가능할 것으로 사료된다.

2. 경제 · 산업적 측면

경제적으로 볼 때 간이예찰법은 표본조사에 따른 시간 감축으로 인해 그 시간만큼의 경제적 이익을 가져오게 된다. 그리고 이번 연구에 사용된 채소류 해충, 고추·오이·토마토의 주요 해충 방제시 농약 사용 절감 효과를 가져와 그에 따른 노동비 및 농약값 등의 생산비를 줄이고 안정적인 수량생산이 가능하여 농가소득 증진에 기여할 수 있게 된다. 이러한 농약 사용 절감 효과는 IPM 기반기술 제공으로 안전농산물 생산 및 W.T.O .체제하에서 우리농산물의 품질 경쟁력 향상을 가져 올 것이며 영농기술의 선진 과학화를 가속화하여 농업에 대한 사회적 인식 제고에 기여할 것으로 사료된다.

3. 사회·문화적 측면

데이터베이스와 온라인 서비스의 구축은 농민들이 간단히 조사한 자료들을 간단하게 입력하여 온라인 서비스를 통하여 제시된 결과로 해충관리가 가능하도록 하므로 보다 빠르게 습득하고 현장에서 직접 사용할 수 있는 것이 더욱 용이하게 한다. 이러한 인터넷을 이용한 정보 공유는 농민들이 직접 자신의 노하우를 입력함으로써 국가적으로 볼 때도 다양한 정보를 얻을 수 있는 기회가 된다. 또한 WTO 체제하에서 요구하는 환경친화형 농업의 구현이기도 할 뿐 아니라 소비자에게 안전한 농산물 공급에 기여할 수 있을 것이다.

제 5장. 연구개발결과의 활용계획

1. 국내시설농업에 적용이 가능한 해충방제기술을 개발함으로써 해충종합관리 시스템 구축에 많은 도움을 줄 수 있을 것이며 향후 생물적방제법과 연계하여 더욱 안전하고 경쟁력있는 농산물을 생산하는데 큰 효과가 있을 것이다.
2. 국내에서 연구성과가 거의 없는 해충의 작물에 미치는 경제적피해수준에 대한 연구와 간이에찰법 개발을 통해 여러 방제기법의 평가를 신속, 정확하게 수행할 수 있을 것이다.
3. 개발된 데이터베이스로 구성된 인터넷서비스를 바탕으로 농민들이 직접 조사한 자료를 입력하여 각 포장상황에 알맞은 해충방제 시스템을 구현할 수 있을 것이다.

제 6장. 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

기본적인 해충문제는 인간이 농경생활을 하면서 시작되었다고 할 수 있으나 18세기 이후에 농업생산이 집약화 되면서 심각해졌다 (Pedigo, 1989). 그러나 해충군의 '관리'라는 개념이 발달하게 된 직접적 계기가 된 것은 제 2차 세계 대전 후 DDT나 BHC를 비롯한 유기합성 살충제의 사용이 일반화 되면서부터라고 생각된다. 즉 그들의 강력한 살충력, 사용의 편리함, 저렴한 가격 등으로 살충제의 사용량은 급격히 증가하였다. 농약의 종류가 다양화되고 사용량이 증가하면서 환경에 대한 영향도 다양화되고, 그의 영향력이 커짐에 따라 살충제에 대한 저항성 계통 해충의 출현을 비롯한 여러 가지 부작용이 야기되어, 살충제의 사용에 대한 반성의 소리가 높아지게 되었다 (예 : Carlson, 1962). 캐나다의 Pickett (1988)는 살충제의 부작용 문제를 해결하기 위해서는 해충개체군에 관한 생태학적 지식을 토대로 천적류의 활동을 최대한으로 활용하는 방향에서 해충의 분포에 따라 살충제를 도입하는 대응살포를 해야 한다고 주장하였다. 그의 주장에 따라 한때 Nova Scotia 지방의 과수원에서는 재배면적의 80% 이상이 이러한 방제를 하기도 했으나, 경제발전과 소비자의 만족에 대한 요구가 까다로워지면서 그 후에는 결국 살충제 위주로 되돌아가게 되었다.

미국에서도 화학적 방제와 생물적 방제법의 장점을 최대한으로 활용하면서 두 방제법을 상호 보완한다는 뜻에서 해충개체군 밀도가 경제적 피해수준 이상이 되었을 때에 한하여 살충제를 천적류에 영향이 가장 적은 방향에서 살포한다는 조화살포 (Harmonized spray)가 이용되었다. 1960년대의 살충제 사용에 대한 혼란기를 거쳐 1970년대 들어서면서 해충의 종합적 관리라는 개념으로 발전하였다. 이것은 종합적 방제라는 개념이 두 가지 이상의 방제수단의 종합을 뜻하는데 관리라는 개념은 해충개체군의 밀도를 생태학적 원리를 토대로 양어장이나 야생동물관리에서 생산의 극대화를 목표로 하는 것과 해충개체군을 조절한다는 개념으로 방제수단보다도 해충군을 대상으로 한 농업생산의 극대화를 꾀한다는 보다 포괄적인 개념이다 (Pedigo, 1989). 이러한 개념의 변천은 결국 처음에는 살충제 사용에 따르는 부작용의 최소화와 방제효과의 극대화가 목표였으나, 해충학의 발달에 따라 농업 생산체계 전체에서 해충방제 문제의 합

리적 해결방안을 모색하는 방향으로의 발전을 뜻한다. 즉, 현재의 해충군 관리이론은 개개의 해충이 대상이라기보다는 작물이 전 생육기간을 통하여 접하게 되는 해충군 전체를 대상으로 인간의 경제적 손실의 합리적 억제에 도모하고 각각의 방제수단은 생산 체계에 대한 총체적 측면에서 평가된다. Rabb와 Guthrie (1970)는 “해충군 관리란 해충의 생활계 (life cycle)에 관한 지식을 토대로 인간에게 최대의 이익이 될 수 있는 것이어야 하며 이를 위해서는 가능한 한 정확하게 그 결과를 예측하여 선택적으로 해충군의 세력억제 수단을 이용해야 한다.” 고 하였으며, 미국 National Academy of Science (1972)에서는 “여러 가지 방제기술이 환경이나 경제, 정치, 사회에 미치는 영향을 예측하고 이것을 바탕으로 가장 합리적인 방제수단을 선택하여 종합하는 것이다.”라고 하였다.

Pedigo (1989)는 해충군 관리의 목적은 장기적인 안목에서 작물보호를 투자-수확간의 관계에서 순이익을 극대화시키기 위하여 생태학적으로 합리적인 관리체계를 개발하는 데 있으며, 이것은 경제, 사회, 환경 등의 측면까지 고려되어야 한다고 하였다. 구체적으로는 작물의 생육기간, 나아가서는 가공이나 유통과정 중에 여러 가지 해충이나 병, 잡초로부터 피해를 입게 되는데, 한 해충에 대한 방제수단이 다른 병해충의 발생을 증가시킬 수도 있고 최대의 방제효과를 얻을 수 있는 수단이 비용이 커서 실제로는 생산자의 순수이익이 적어질 수도 있으므로 이런 점들이 총체적으로 고려되어야 한다는 뜻이다. 이처럼 ‘해충의 종합적 관리’란 해충문제를 합리적으로 해결하는 것이며, 그에 따른 생물적, 경제적인 면을 고려하는 것이라고 볼 수 있다. 해충문제는 해충의 존재만으로 야기되는 것이 아니고 해충의 가해에 따르는 작물생산량의 질적, 양적 감소가 문제되는 것이기도 하다. 해충에 의한 경제적 손실관계는 여러 가지 복잡한 요인들이 관여하고 있다.

일반적으로 해충은 여러 가지 환경조건의 영향을 받아 그가 서식하는 환경의 전반적 조건에서의 평균밀도인 일반평형밀도 (general equilibrium level)를 중심으로 그때그때의 환경조건에 따라 증감한다. 환경조건이 유리할 때 해충밀도는 증가한다. 이 때 해충에 의한 경제적 손실이 방제비와 같아지는 밀도, 즉 경제적 피해수준 밀도 (economic injury level, = 경제적 가해수준 밀도)를 넘으면 방제수단의 투입은 경제

적이나, 그 이하 밀도에서는 방제비가 해충에 의한 손실량보다 더 많아 경제적으로는 손해가 된다. 따라서 경제적 피해수준 밀도는 방제수단 도입 여부를 결정하는 기준 밀도다. 그런데 해충이 경제적 피해수준 밀도에 달할 때에 방제하는 것은 시간적으로 늦어지게 마련이므로, 그 밀도에 달할 것이 예측될 때 그보다 낮은 밀도 수준, 즉, 경제적 피해허용 밀도 (economic threshold level)에서 방제가 행해져야 할 것이다. 이것을 다른 말로 한계 밀도 (action threshold)라고도 한다. 이러한 이론을 토대로 해충을 생각할 때 어떤 해충의 중요성은 그 밀도가 경제적 피해수준을 넘는 빈도와 넘는 정도를 기준으로 평가할 수 있을 듯하다. 즉 넘는 빈도가 잦고, 그 정도가 크면 방제 횟수가 많아질 것이며, 방제의 강도도 증대 시켜야 할 것이다. 극단적인 경우 일반평형밀도가 경제적 피해수준 밀도 보다 낮은 해충에서는 극히 낮은 밀도에서도 방제수단이 도입되어야 하겠다. 경제적 피해수준 밀도문제는 해충관리문제의 기초가 되는 것으로 대단히 중요한 개념이다.

지금까지 이에 관해서는 많은 논의가 있어 왔다. Pedigo (1989)는 가해 (injury)란 작물의 생장이나 발육에 비정상적인 것을 뜻하므로 경제적 가치의 감소를 뜻하는 피해 (damage)와 구별하여 쓰는 것이 바람직하다고 하였다. 또 실제로 살충제와 같이 살충효과가 즉각적으로 나타나는 경우에 있어서는 경제적 피해 (가해)수준 밀도와 경제적 피해허용밀도는 거의 구별할 수 없으나, 미생물 살충제의 경우에 있어서는 지효성 이어서 두 밀도수준의 차는 상당히 커진다. 그러나 두 수준을 구별하지 않고 같은 뜻으로 이용하는 수가 많다. 경제적 피해수준밀도를 정하는 일에는 작물적 요소와 해충적 요소가 모두 관계되어 있어 대단히 복잡하다. 즉, 해충이 가해하는 작물의 종류, 가해부위, 가해시기, 해충의 밀도 등은 해충의 종류나 환경조건에 따라 다르며 생산물의 가격은 시장성을 갖고 있고 그의 피해는 작물의 생육단계나 재배조건 등에 따라 차이를 보인다. 또한 방제비나 소비자의 선호도도 경제적 피해수준 밀도의 결정에 영향을 미친다.

Headley (1975)는 해충관리의 경제적 측면을 농가수준과 국가, 사회적 수준에서 논한 바 있다. 이는 해충의 관리는 각각의 방제를 따로 수행하는 것보다는 사회적, 경제적인 측면에서 종합적으로 생각해야 하는 것이며, 이를 토대로 한 해충의

관리란 해충관리의 경제적 평가에 따른 해충의 합리적인 관리를 말하는 것이라고 할 수 있다. 해충의 관리 시스템의 사회·경제적인 측면은 합리적인 방제, 즉 최소의 투입으로 최대의 효과를 내는 방제와 자원 이용의 효율화를 통한 투자의 절감이라는 두 가지 측면을 동시에 고려한 것이라고 볼 수 있다. 해충의 종합적 관리가 농생태계의 생태적인 특성에 대한 정보의 종합으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 이처럼 종합적 해충 방제에 필수적 요소인 해충의 정보는 해충의 표본 추출 및 해충의 밀도 조사로 가능해지며, 해충관리를 위한 의사결정 (Decision making for Insect Pest Management)은 해충의 생태적인 특성인 작물에서의 공간분포 및 작물내의 분포, 작물간의 분포 등이 종합된 결과와 해충의 밀도추정으로 가능해 질 수 있다 (Binns and Nyrop, 1992).

앞서 언급했듯이 해충은 농생태계의 주요 구성요원의 하나로 이해되어야 하며, 해충의 발생과 관련한 해충의 발생동태는 작물, 토양, 기상조건, 관리상태, 천적등 여러 가지 요인간의 상호작용으로 생기는 생태적인 결과이다. 따라서 종합적 해충관리의 전략수립은 생태학적 개념을 토대로 해충 개체군 동태와 관계가 있는 농업 생태계 내의 각종 구성요소에 관한 정량적인 정보의 수집 및 분석에 의한 이들의 기능적 평가가 전제되어야 한다.

해충의 생태학적인 정보라는 생물적인 측면과 앞서 언급한 경제적인 측면을 고려하기위한 종합적 해충관리 전략의 수립은 해충 개체군의 밀도와 경제적 피해허용수준과의 관계 사이의 정량적 분석이 필요하며, 특히 해충개체군동태 연구에 있어 필수적인 것은 개체군 밀도의 정확한 추정이 필요하다. 하지만 실제 포장에서 자유롭게 움직이는 해충의 경우 모든 개체들을 일일이 조사하는 것은 거의 불가능하기 때문에, 특정 해충 개체군의 일정부분을 표본추출 하여 조사한 후, 이들 자료를 통계분석방법을 이용하여 전체 개체군에 관한 정보를 유추하는 것이 합리적이다 (Kuno, 1991). 따라서 본 보고서에는 시설토마토의 해충개체군의 전체적인 정보를 유추 가능한 방법인 간이예찰법 개발 (sampling plan development) 및 작물이 해충의 밀도에 따라 보이는 경제적인 피해를 비교하여 정확한 비교, 분석을 실시하였다.

경제적피해수준은 해충에 의한 작물의 피해를 산출하여 방제시기를 설정하는 유용한 도구로 발전하였다 (Stern 등, 1959; Stone 등, 1972; Norton, 1976; Norton 등; 1993). 경제적피해수준을 통한 방제의사 결정 시스템은 서구에서는 보편화된 것으로

로 많은 해충의 방제에 도입되었다 (Higley 등, 1996). 이를 국내에 도입하여 주요 작물의 주요 해충에 대한 방제 의사결정 시스템을 개발하려는 연구가 수행되었다. 시설 오이의 주요 해충인 목화진딧물과 오이총채벌레에 대한 경제적 피해수준의 연구가 여러 작물에서 조사되었다 (Hermoso 등, 2001; Kawai, 1986).

진딧물의 작물에 대한 피해연구는 다양한 작물에 있어서 꾸준히 진행되어 왔다 (Stern 등, 1980; Maiteki 등, 1985; Ba-Angood 등, 1980; Cancelado 등, 1979). 진딧물, 특히 목화진딧물은 작물에 대한 흡즙을 통해 활력을 감소시키며 생산량을 감소시키는 것으로 나타났다 (Andrew 등, 1989; Fouche 등, 1984). 또한 목화진딧물에 의한 피해는 직접적인 피해 이외에도 감로로 인한 간접적인 피해가 함께 나타났다 (Bergstrom 등, 1982). 목화진딧물을 방제하기 위해 다양한 약제가 사용되고 있으나 많은 수의 약제 종류에 대해 목화진딧물의 저항성이 보고되었다 (Blackman, 1975; Kung 등, 1964; Furk 등, 1980; Silver, 1984). 그러나 목화진딧물에 대한 경제적 피해수준의 설정을 통한 방제 의사 결정 시스템에 대한 연구는 단편적으로만 진행되고 있으므로 이에 대한 보완이 필요하다.

오이총채벌레의 오이에 대한 피해는 구기로 세포를 파괴하는 데에서 기인하며 오이와 같은 박과작물에서는 주로 성장점을 가해하여 생육을 저해한다 (Kawai, 1983, 1984). 이로 인해 총채벌레의 방제에는 농약에 크게 의존할 수밖에 없는 실정이다 (Kawai, 2001). 총채벌레에 의한 경제적 피해수준의 연구가 지속적으로 이루어졌으나 국내에서는 그 연구가 거의 이루어지지 않았다 (Welter 등, 1990; Kawai, 1986). 이에 따라 국내 상황에 맞는 오이총채벌레의 경제적 피해수준에 관한 연구의 수행이 필요하다.

고추에서 경제적 피해수준이 설정된 외국 사례는 전무하다. 고추라는 작물이 외국의 경우 주요 작물이 아니기 때문에 경제적으로 연구 가치가 작은 것이 그 이유인 것으로 추정된다. 그러나 나방류에서 경제적 피해수준이 설정된 사례를 살펴보면, 명나방의 일종인 the european corn borer의 경우 옥수수에서 작물 가격과 방제비용에 따라 설정된 경우가 있고 (Myers and Wedberg, 1999), 산누에나방의 일종인 the range

caterpillar에서 1령 탈피 후 연령 분포 모델에 의해 경제적피해수준이 설정된 경우가 있으며 (Bellows 등, 1983) 담배나방과 같은 밤나방과의 해충의 경우도 감자에서 the variegated cutworm이라는 해충이 식물 성장 단계에 따라 피해량을 가지고 경제적피해수준을 설정한 예가 (Shields 등, 1985)있고 메릴랜드 지역에서 사료용 옥수수를 대상으로 the fall armyworm이라는 해충을 가지고 1988, 1989, 1990년에 작물가 \$998/ha, 방제비용 \$37/ha에서 mid-whorl 성장단계에서 주당 2령 유충 2마리, 1988, 1989년 자료에서 late-whorl 성장단계에서 주당 2령 유충 2마리가 설정된 예가 있다 (Pereira and Hellman, 1993). 그러나 이러한 해충이 대부분 식물의 잎을 가해해 간접적으로 생산량에 영향을 미치는 것에 비해 담배나방 유충의 경우 직접적으로 고추 과실에 영향을 미치므로 실험방법이나 결과를 활용할 수 없다.

곤충의 발생모형을 설명하기 위해서는 많은 모델들이 개발되어 있으나 최근 온도에 따라 발생량을 예측하는 degree-day 모델이 일반적이다 (Lindbald and Sigvald, 1996; Mcbrien and Judd, 1998; Ruberson 등, 2000, Malinoski and Paine, 1988; Nowatzki 등 2002, Sanderson 등, 1989; Cockfield 등 1994, Levine, 1989). 온일도 (degree-day)는 한 변온생물에서 생활환의 한 단계에서 다음 단계로의 발육의 과정을 추정하기 위해서 시간과 온도를 혼합한 한 단위인데, 온일도는 일정기간 동안 한 개체의 성장을 위한 최소 온도 이상의 온도 수준에 시간을 곱한 값이다. 만약에 한 개체가 성장을 위한 최소 온도가 5℃라고 할 때 15℃ 정도의 날이 10일 동안 이어진다면 100 DD가 되고, 10℃ 정도의 날이 20일 정도 이어질 때도 100 DD가 될 수 있는 것이다 (Pedigo et al. 2000). 온일도는 다음과 같이 이용될 수 있다.

- ① 경작자가 해충의 방제나 작물의 경작에 일어나는 생물학적 사건을 예측하는데 도움을 준다.
 - 예) 온일도에 따라 한 곤충의 생활환의 패턴을 규명해 두었다면 일정 온일도 수준에서 일정한 생물학적 사건의 발생을 사전에 추정해 볼 수 있다.
- ② 관행적 재배와 새로운 재배법 사이에서의 분쟁을 줄일 수 있다.
 - 예) 새로운 영농 기술은 시도에 있어 어려움이 있을 수 있으나 일정 온일도 수준

에서 특정 사건이 반복적으로 일어난다면 새로운 농업 기술의 전달에의 어려움을 해소할 수 있다.

③ 표본을 구하는 시기에 도움을 준다.

예) 예찰을 위한 방법을 표본을 구하는데 있어 연속적으로 표본을 채집할 필요없이 특정 사건이 일어날 무렵에 행함으로써 그 횟수를 줄일 수 있고 사건의 예찰에 도움이 된다.

해충의 공간분포나 발생패턴에 대한 연구는 여러 분야에서 이루어져 있다. 해충들은 대부분의 경우 기주식물 내에서 주내, 주간 집중분포하는 특징을 보였고 이들의 공간적 발생관계는 Taylor's power law (Taylor, 1961)와 Iwao's patchness regression (Iwao, 1968)으로 분석하여 해석한다. 이렇게 해석된 자료를 이용하여 고정밀도 수준에서 조사에 필요한 표본의 수를 설정하거나 축차표본조사를 실시하는 방법을 통하여 해충의 밀도 조사의 방법이 이루어지고 있다 (Kuno, 1991). 목화진딧물의 경우 목화에서 발생밀도를 이용하여 표본조사법을 수행하였는데 주내 수직분포가 일정하지 않아 주내 위치별, 발생밀도 수준별로 조사 표본수를 달리해야 할 것으로 여겨졌으며 발생밀도 수준별로 정밀도 수준이 달리 나타났다 (Kapatos 등, 1996). 총채벌레의 경우 오이 (Kawai, 1984; Suzuki, 1984), 수박 (Matsuno와 Nakayama, 1986), 시설 멜론 (Ikeda, 1981), 피망 (Yamamoto 등, 1982) 등 여러 시설작물에서 주내, 주간 발생분포에 대한 많은 연구가 수행되었는데 대부분의 경우 주내 주간 분포가 일정하지 않아 각 발생 밀도 수준, 작물, 해충 별로 표본조사에 필요한 표본수나 조사 방법 등을 달리 해야 하였다.

제 7장. 참고 및 인용문헌

- Ahn, S. B., M. J. Han, J. Y. Choi and K. M. Choi. 1994. First record of *Thrips palmi* and its geographical distributions in Korea. Korean J. Appl. Entomol. 33: 127-128.
- Archer, T. L. and E. D. Bynum, JR. 1992. Economic injury level for the Russianwheat aphid (Homoptera: Aphididae) on dryland winter wheat. J. Econ. Entomol. 85: 987-992.
- Ba-Angood, S. A., and R. K. Stewart. 1980. Economic thresholds and economic injury levels of cereal aphids on barley in southwestern Quebec. Can. Entomol. 112:759-764
- Bechinski, E. J., C. D. McNeal, and J. J. Gallan. 1989. Development of action thresholds for the sugarbeet root maggot (Diptera: Otitidae). J. Econ. Entomol. 82:608-615
- Bellows. T. S., JR., Owens. J. C. and Huddleston. E. W. 1983. Model for simulating and economic injury level for the range caterpillar (Lepidoptera: Saturnidae). J. Eco. Entomol. 76: 1231-1238.
- Bergstrom, G. C., Knavel, D. E. and Kuc, J. 1982. Role of insect injury and powdery mildew in the epidemiology of the gummy stem blight disease of cucurbits. Plant Disease. 66:683-686
- Binns, M. R. and J. P. Nyrop, 1992. Sampling insect population for the purpose of IPM decision making. Annu. Rev. Entomol. 37: 427-453.
- Binns, M. R., and N. J. Bostanian. 1990. Robustness in empirically based binomial decision rules for integrated pest management. J. Econ. Entomol. 83: 420-427.
- Binns, M., 1994 Sequential Sampling for Classifying Pest Ststus, in Handbook of Sampling methods for Arthropods in Agriculture, Pedigo, L. P., G. David Buntin . CRC, .Florida.

- Binns, M. R., J. P. Nyrop and W. Van Der Werf. 2000. Sampling and monitoring in crop protection. CABI publishing.
- Binns, M. R. and N. J. Bostanian. 1990. Robust binomial decision rules for integrated pest management based on negative binomial distribution. *Am. Entomol.* 36: 50-54.
- Blackman, R. L. and V. F. Eastop. 1984. Aphids on the world's crops: An identification guide. John Wiley&Sons, New York. pp. 226
- Blackman, R. L., 1975. A preliminary report on the genetics of resistance to organophosphates in *Myzus persicae*. *Proceedings 8th British Insecicide and Fungicide Conference*, 1: 75-78
- Boo K. S., H. C. Shin., M. W. Han and M. H. Lee. 1990. Initiation and termination of pupal diapause in the oriental tobacco budworm (*Heliothis assulta*). *Korean. J. Appl. Entomol.* 29(4): 277-285.
- Boys, F. E. and P. P. Burbutis, 1972. Influence of *Phytoseiulus persimilis* an populations of *Tetranychus turkestanii* at economic threshold on roses. *J. Econ. Entomol.* 65: 114-116.
- Breen, J. P. and G. L. Teetes. 1990. Economic injury levels for yellow sugarcane aphid (Homoptera: Aphididae) on seedling sorghum. *J. Econ. Entomol.* 83: 1008-1014.
- Bush, L., J. E. Slosser and W. D. Worrall. 1989. Variations in damage to wheat caused by Russianwheat aphid (Homoptera: Aphididae) in texas. *J. Econ. Entomol.* 82: 466-471.
- Breen, J. P. and G. L. Teetes. 1986. Relationships of yellow sugarcane aphid (Homoptera: Aphididae) density to sorghum damage. *J. Econ. Entomol.* 79: 1106-1110.
- Cancelado, R. E. and E. B. Radcliffe. 1979. Action thresholds for potato leafhopper on potatoes in Minnesota. *J. Econ. Entomol.* 72:566-569

- Cancelado, R. E. and E. B. Radcliffe. 1979. Action thresholds for green peach aphid on potatoes in Minnesota. *J. Econ. Entomol.* 72: 606-609.
- Carlson, R. 1962. *Silent Spring*. Houghton-Mifflon. Boston. 368 pp.
- Cho J. R and K. S. Boo. 1988. Behavior and circadian rhythm of emergence, copulation and oviposition in the oriental tobacco budworm, *Heliothis assulta* Guenee. *Korean. J. Appl. Entomol.* 27(2): 103-110.
- Cho, K. J., S. H. Kang and G. S. Lee. 2000. Spatial distribution and sampling plans for *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae) infesting fall potato in Korea. *J. Econ. Entomol.* 93(2): 503-510.
- Cho, K. J., S. H. Kang and J. O. Lee. 1998. Spatial distribution of thrips in greenhouse cucumber and development of a fixed-precision sampling plan for estimating population density. *J. Asia-Pacific Entomol.* 1(2): 163-170.
- Cho, K. J., C. S. Eckel, J. F. Walgenbach and G. G. Kennedy. 1995. Spatial distribution and sampling procedures for *Frankliniella* spp. (Thysanoptera: Thripidae) in staked tomato. *J. Econ. Entomol.* 88(6): 1658-1665.
- Choi. G. M., J. S. So. and W. H. Jo. 1974. The occurrence of the oriental tobacco budworm, *Heliothis assulta* and the study of it's natural enemy. Rural Development Administration result report. 1974; 190-211
- Choi G. M., M. W. Han., J. H. Kim and S. H. Kim. 1995. The control effect of the oriental tobacco budworm(*Heliothis assulta*)'s density using *Trichogramma chilonis*. Rural Development Administration result report. 1995; 480-482.
- Chung C. S and J. S. Hyun. 1980. The effect of temperature on the development of oriental tobacco budmoth, *Heliothis assulta* Guenee, and control effects of Thuricide HP[®]. *Korean. J. Plant. Prot.* 19(1): 57-65.
- Cockfield. S. D., Butkewich. S. L., Samoil. K. S., and Mahr. D. L. 1994. Forecasting flight activity of *Sparganothis sulfureana* (Lepidoptera: Tortricidae) in cranberries. *J. Econ. Entomol.* 87(1): 193-196.

- Cuperus, G. W., E. B. Radcliffe, D. K. Barnes, and G. C. Marten. 1983. Economic injury levels and economic thresholds for potato leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) on alfalfa in Minnesota. *J. Econ. Entomol.* 76:1341-1349
- Curry, G. L., R. M. Feldman, and K. C. Smith. 1978. A stochastic model of a temperature-dependent population. *J. Theor. Pop. Biol.* 13: 197-213.
- Dewar, A. M. and N. Carter. 1984. Decision trees to assess the risk of cereal aphid (Homoptera: Aphididae) outbreaks in summer in England. *Bull. Ent. Res.* 74: 387-398.
- Ellis, S. A., J. N. Oakley, W. E. Parker and K. Raw. 1999. The development of an action threshold for cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae*) in oilseed rape in the UK. *Ann. Appl. Biol.* 134: 153-162.
- van Emden, H. F., V. F. Eastop, R. D. Hughes and M. J. Way. 1969. The ecology of *Myzus persicae*. *Ann. Rev. Entomol.* 14: 197-270.
- Field, R. P. and M. A. Hoy, 1986. Evaluation of genetically improved strains of *Metaseiulus occidentalis* (Nesbitt) (Acarina: Phytoseiidae) for integrated control of spider mites on roses in greenhouse. *Hilgardia* 54: 1-31
- Field, R. P. and M. A. Hoy, 1986. Evaluation of genetically improved strains of *Metaseiulus occidentalis* (Nesbitt) (Acarina: Phytoseiidae) for integrated control of spider mites on roses in greenhouse. *Hilgardia* 54: 1-31
- Furk, C., D. F. Powell, and S. Heyd. 1980. Pirimicarb resistance in the melon and cotton aphids, *Aphis gossypii* Glover. *Plant Pathology.* 29:191-196
- George, K. S. and R. Gair. 1979. Crop loss assessment on winter wheat attacked by the grain aphid, *Sitobion avenae* (F.), 1947-77. *Pl. Path.* 28: 143-149.
- Gerling, D. [ed] 1990. Whiteflies: their bionomics, pest status and management. Intercept. Ltd. UK. pp348.
- Girma, M, G. E. Wilde and T. L. Harvey. 1993. Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) affects yield and quality of wheat. *J. Econ. Entomol.* 86: 594-601.

- Green, R. H. 1970. On fixed precision level sequential sampling. Res. Popul. Ecol. 12: 249-251.
- Han. M. W. 1993. Studies on forecasting models of the Oriental tobacco budworm, *Heliothis assuta* (Guenee). Ph. D. thesis, Seoul National University, Suwon, Korea.
- Han. E. D., H. D. Kim and J. C. No., 1973. Studies on ecology and chemical control of the Oriental tobacco budworm, *Heliothis assuta* (Guenee). Chung-Buk Rural Development Administration result report. 1973; 359-378
- Hardwick, D. F. 1965. The corn earworm complex. M. of Entomol. Soc. of Canada 40: 247pp.
- Harvey, T. L., H. L. Hackerott and E. L. Sorensen. 1971. Pea aphid injury to resistant and susceptible alfalfa in the field. J. Econ. Entomol. 64: 513-517.
- Headley, T. J. 1975. The economics of pest management. In; Introduction to Insect Pest Management (R.L. Metcalf and W.L. Luckmann, eds), Wiley, Ny. pp.75-89.
- Hermoso, A., B. Belliure, E. A. Carbonell, and V. Real. 2001. Economic thresholds for *Aphis gossypii*(Hemiptera: Aphididae) on Citrus clementina
- Higgins, C. J. 1992. Western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) in greenhouses: Population dynamics, distribution on plants, and associations with predators. J. Econ. Entomol. 85(5): 1891-1903.
- Higley, L. G., and L. P. Pedigo (ed). 1996. Economic thresholds for integrated pest management. University of Nebraska press.
- Hong, K. J., M. L. Lee, M. J. Han, S. B. Ahn, I. S. Kim, G. H. Lee and D. S. Ku. 1998. Distribution and host plants of recently introduced palm thrips, *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) in Korea. RDA. J. Crop Protec. 40(2): 89-95.
- Hwang, C. Y and K. T. Park. 1986. Morphological characteristics of the Oriental tobacco budworm (*Heliothis assuta*) and the corn earworm (*H. armigera*). Korean J. Plant. Prot. 25(1): 33-35.

- Hwang, C. Y. 1987. Studies on life cycle of the Oriental tobacco budworm (*Heliothis assuta*) and parasitism of *Trichogramma* spp. on the Eggs. Ph. D. collected papers, Chung-Nam National University, Deajun, Korea. 56pp
- Ikeda, F. 1981. Occurrence and injury of *Thrips palmi* Karny to the muskmelon in green houses in Shizuoka Prefecture. Plant protec. 35: 289-290.
- Ikeda, F., S. Kubota and T. Ishikawa. 1984a. Pupating site of *Thrips palmi* Karny in the musk melon green house. Proc. Kanto Pl. Prot. Soc. 31: 143-144.
- Ikeda, F., S. Kubota, T. Ishikawa and H. Takahashi. 1984b. Some factors affecting the prevalence of *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera, Thripidae) on musk melon in the greenhouses. Bull. Shizuoka Agric. Exp. Stn. 29: 33-40.
- Iwao, S. 1968. A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal population. Res. Popul. Ecol. (Kyoto) 10: 1-20.
- Iwao, S., 1975. A new method of sequential sampling to classify populations relative to a critical density. Res. Popul. Ecol. 16: 281-288.
- Jansson, R. K., and Z. Smilowitz. 1985. Development and reproduction of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae), on upper and lower leaves of three potato cultivar. Canadian Entomologist 117: 247-252.
- Jesiotr, L. J. 1978. The injurious effects of the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch) on greenhouse roses. Ekol. Pol. 26: 311-318.
- Kapatos, E. T., Stratopoulou, E. T., Sahinoglou, A., Tsitsipis, J. A. and Lycouresis, D. P. 1996. Development of an optimum sampling plan for the population of *Aphis gossypii* (Hom., Aphididae) on cotton in Greece. J. Appl. Ent. 120, 245-248.
- Karandinos, M. G. 1976. Optimum sample size and comments on some published formulae. Bull. Entomol. Soc. Amer. 22: 417-421.
- Kawai, A. 1983. Studies on population ecology of *Thrips palmi* Karny. 1. Population growth and distribution pattern on cucumber in greenhouse. Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 27: 261-264.

- Kawai, A. 1984. Studies on population ecology of *Thrips palmi* Karny. 5. Population growth on cucumber in open field. *Kyushu Agric. Res.* 46: 121-122.
- Kawai, A. 1986. Studies on population ecology of *Thrips palmi* Karny. 11. Analysis of damage to cucumber. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 30: 12-16.
- Kawai, A. 2001. Population management of *Thrips palmi* Karny. *Jpn J. Appl. Entomol. Zool.* 45: 39-59.
- Kieckhefer, R. W., J. L. Gellner and W. E. Riedell. 1995. Evaluation of the aphid-day standard as a predictor of yield loss caused by cereal aphids. *Agron. J.* 87: 785-788.
- Kindler, S. D., T. L. Springer and K. B. Jensen. 1991. Differential damage to range grass seedlings by Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae). *J. Econ. Entomol.* 84: 333-336.
- Kirby, R. D., and J. E. Slosser. 1984. Composite economic threshold for three lepidopterous pests of cabbage. *J. Econ. Entomol.* 77:725-733
- Kiritani, K. 1980. Integrated insect pest management for rice in Japan. In Proc international symposium on problems of insect pest management in developing countries. Tropical Agriculture Research Center, Kyoto, Japan, pp. 13-22.
- Kitakata, S. and M. Yoshida. 1982. Control of insect in greenhouses by coloured ribbon traps. *Plant Protection.* 36: 478-481.
- Kono, T. and sugino, T., 1958 On the estimation of the density of rice stem infested by rice stem borer, *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 2, 184.
- Kuno, E. 1986. Evaluation of statistical precision and design of efficient sampling for the population estimation based on frequency of occurrence. *Res. Popul. Ecol.* 28:305-319.
- Kung, K. Y., Chang, K. L., and Chai, K. Y. 1964. Detecting and measuring the resistance of cotton aphids to systox. *Acta Entomologica Sinica.* 13:1-9
- Kuno, E., 1969. A new method of sequential sampling to obtain the population estimates with a fixed level of precision. *Res. Popul. Ecol.* 11: 127-136.

- Kuno, E. 1978. Simple mathematical model to describe the rate of mating in insect populations. *Res. Popul. Ecol.* 20: 50-60.
- Kuno, E. 1991. Sampling and analysis of Insect populations. *Annu. Rev. Entomol.* 36: 285-304.
- Lee, G., D. J. Steven, S. Stokes, and S. D. Wratten. 1981. Duration of cereal aphid populations and the effects on wheat yield and breadmaking quality. *Annals of Applied Biology.* 98:169-178.
- Lee, G. H. 1995. Decision-making system for management of Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) on spring barley. 61-79pp.. A dissertation presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy, College of graduate studies university of Idaho.
- Lee, G. S. 1996. Seasonal occurrence of *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) in Cheju Island. M. S. thesis, Seoul National University, Suwon, Korea (in Korean with English summary).
- Lee, G. S., J. H. Lee and J. H. Song. 2001. Overwintering of *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) on Jeju island, Korea. *J. Asia-Pacific Entomol.* 4(1): 45-50.
- Lee, H. Y., 1973. The study of the oriental budworm (*Helicoverpa assulta*)'s occurrence using black-light trap and it's damage and management. National Horticultural Research Institute result report: 195-210.
- Lee, S, C. and J. S. So., 1971. Damage analysis and biological control of the oriental budworm (*Helicoverpa assulta*) on peppers. Rural Development Administration result report. 1971; 1,553-1,556.
- Lee, S.-H. 2000. Damage of cucumber, *Cucumis sativus* Linne caused by feeding of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover. MS Thesis. Seoul National Univ., Korea.
- Leech, J, H., 1889. On the Lepidoptera of Japan and Corea. Part III. Heterocera, Sect. II. Noctues and Deltoides. *Proc Zool. Soc. Lond.* 1889: 474-571.

- Levine, E. 1989. Forecasting *Hydraecia immanis* (Lepidoptera: Noctuidae) moth phenology based on light trap catches and degree-day accumulation. J. Econ. Entomol. 82(2): 433-438.
- Lindblad, M. and Sigvald. R., 1996. A degree-day model for regional prediction of first occurrence of frit flies in oats in Sweden. Crop. Prot. 15(6): 559-565.
- MAF, 2002, 2002 the production trend of principal crops, National Agricultural Products Quality Management Service
- Maiteke, G. A. and R. J. Lamb. 1985. Growth stages of field peas sensitive to damage by the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae). J. Econ. Entomol. 78:1442-1448
- Malinoski. M. K., and Paine. T. D. 1988. A degree-day model to predict nantucket pine tip moth, *Rhyacionia frustrana* (Comstock) (Lepidoptera: Tortricidae) flight in southern califonia. Environ. Entomol. 17(1): 75-79.
- Matsuoka, T., K. Yoshioka and Y. Yamazaki. 1986. Integrated control of *Thrips palmi* Karny on open culture eggplants. Bull. Ehime Agric. Exp. Stn. 25: 42-58.
- Matsuzaki, T. and K. Ichikawa. 1985. Injury on eggplant by *Thrips palmi* Karny in greenhouse. Bull. Kochi Inst. Agr. & Forest Sci. 17: 25-31.
- Mcbrien. H. L., and Judd. G. J. R., Forecasting emergence and oviposition of *Spilonota ocellana* (Lepidoptera: Tortricidae), in British Columbia. Environ. Entomol. 27(6): 1411-1417.
- de Mendoza. A. H., Belliure. B., Carbonell. E. A., and Real. V. 2001. Economic thresholds for *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) on *Citrus clementina*. J. Econ. Entomol. 94(2): 439-444.
- Metcalf, R. L., and W. H. Luckmann (ed.). 1994. Introduction to insect pest management. John Wiley, N.Y.
- Michaud, O. D., G. Boivin, R. K. Stewart. 1989. Economic threshold for tarnish plant bug (Hemiptera: Miridae) in apple orchards. J. Econ. Entomol. 82:1722-1728

- Minks, A. K. and P. Harrewijn. 1989. Aphids their biology, natural enemies and control. Volume C, 23-64pp., ELSEVIER Publishing, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo.
- Morishita, M. and K. Azuma. 1988. Population fluctuation and economic injury level of *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) on sweet pepper in vinyl-house cultivation. Proc. Kansai Pl. Prot. Soc. 30: 57-62.
- Mumford, J. D. and G. A. Norton. 1984. Economics of decision making in pest management. Annu. Rev. Entomol. 29:157-174.
- Myers. S. W. and Wedberg. J. L. 1999. Development of an economic injury level for european corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) on corn grown for silage. J. Econ. Entomol. 92(3): 624-630
- Nakazawa, K., Y. Kimura and A. Hosoda. 1971. Lepidopterous pests control in peppers with special reference to the biology of the Oriental tobacco budworm, *Helicoverpa assulta* (Guenee) (Lepidoptera: Noctuidae). Bull. of Hiroshima Agric. Exp. Station. 30: 53-76.(In japanese)
- Nachman, G. 1984. Estimates of mean population density and spatial distribution of *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Phytoseiidae) based upon the proportion of empty sampling units. J. Appl. Ecol. 21: 903-913.
- National Academy Science. 1972. Pest control strategies for the future. Washington D.C., 508pp.
- Naranjo, S. E. and H. M. Flint, 1995. Spatial distribution of adult *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in cotton and development and validation of fixed-precision sampling plans for estimating population density. Environ. Entomol. 24: 261-270.
- 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.

- Norton, G. A. 1976. Analysis of decision making in crop protection. *Agro. Eco. systems.* 3:27-44
- Norton, G. A., and J. D. Mumford (ed.). 1993. *Decision tools for pest management.* CAB International, Oxford Press, UK.
- Nowatzki, T. M., Tollefson, J. J. Calvin, D. D. 2002. Development and validation of models for predicting the seasonal emergence of corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) beetles in Iowa. *Environ. Entomol.* 31(5): 864-873.
- Nyrop, J. P. and M. R. Binns. 1991. Quantitative methods for designing and analyzing sampling program for use pest management, pp. 67-132. In D. Pimental [ed.], *Handbook of pest management in agriculture*, 2nd ed., vol. II. CRC, Boca Raton, FL.
- Nyrop, J. P. 1988. Sequential classification of prey-predator ratios with application to European red mite (Acari:Tetranychidae) and *Typlodromus pyri* (Acari:Phytoseiidae) in New York apple orchards, *J. Econ. Entomol.*, 81:14-21.
- Ofuya, T. I. 1989. The effect of pod growth stages in cowpea on aphid reproduction and damage by the cowpea aphid, *Aphis craccivora*(Homoptera: Aphididae). *Ann. Appl. Biol.* 115: 563-566.
- Ogunlana, M. O. and Pedigo, L. P. 1974. Economic injury levels of the potato leafhopper on soybeans in Iowa. *J. Econ. Entomol.* 67:29-32
- Onstad, D. W. 1987. Calculation of economic-injury levels and economic thresholds for pest management. *J. Econ. Entomol.* 80:297-303
- Parrella, M. P. 1984. Effect of temperature on oviposition, feeding, and longevity of *Liriomyza trifolii*. *Can. Ent.* 116: 85-92.
- Pearsall, I. A. and J. H. Myers. 2000. Evaluation of sampling methodology for determining the phenology, relative density, and dispersion of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) in nectarine orchards. *J. Econ. Entomol.* 93(2): 494-502.
- Pedigo, L. P., 1989. *Entomology and Pest Management.* Macmillian Publish, NY.

- 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., L. G. Higley, and P. M. Davis. 1989. Concepts and advances in economic thresholds for soybean entomology, p. 1487-1493. In A. J. Pascale (ed.) *Proc. World Soybean Res. Conf. IV*, vol. 3. Buenos Aires, Argentina.
- Pedigo, L. P. and L. G. Higley. 1996. Economic thresholds for integrated pest management. pp 141-142. University of Nebraska press, Lincoln and London.
- Pedigo, L. P. and G. D. Buntin. 2000. Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture. pp 127-129. CRC press, Florida.
- Pereira, C. J. and Hellman, J. L. 1993. Economic injury levels for *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on silage corn in Maryland. 1993. *J. Econ. Entomol.* 86(4): 1266-1270.
- Petitt, F. L. and Z. Smilowitz. 1982. Green peach aphid feeding damage to potato on various plant growth stages. *J. Econ. Entomol.* 75: 431-435.
- Pickett, J. A. 1988. Integrating use of beneficial organisms with chemical crop protection. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, series B.* 318:203-211.
- Quisenberry, S. S. and D. J. Schotzko. 1994. Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) population development and plant damage on resistant and susceptible wheat. *J. Econ. Entomol.* 87: 1761-1768.
- Rabb, R. L. and F. E. Guthrie. eds. 1970. Concepts of pest management. Raleigh N. C. State Univ. 456pp.
- Ramirez, O. A., and J. L. Saunders. 1999. Estimating economic thresholds for pest control: An alternative procedure. *J. Econ. Entomol.* 92:391-401
- Rosenheim, A. A., S. C. Welter, M. W. Johnson, R. F. L. Mau and L. R. Gusukuma-Minuto. 1990. Direct feeding damage on cucumber of *Thrips palmi* and *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *J. Econ. Entomol.* 83: 1519-1525.

- Ruberson. J. R., Shen. Y. J., Kring. T. J. 2000. Photoperiodic sensitivity and diapause in the predator *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthocoridae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 93(5): 1123-1130.
- Ruesink, W. G., 1980. Introduction to sampling theory. In: M. Kogan and D. C. Herzog (ed), *Sampling Methods in Soybean Entomology*. Springer. NY., pp. 61-78.
- Ruppel, R. F. 1983. Cumulative aphid-days as an index of crop protection. *J. Econ. Entomol.* 76: 375-377.
- Sanderson. J. P., Barnels. M. M., and Seaman. W. S. 1989. Synthesis and validation of a degree-day model for navel orangeworm (Lepidoptera: Pyralidae) development in california almond orchards. *Environ. Entomol.* 18(4): 612-617.
- SAS Institute. 1999. SAS OnlineDoc[®], version 8.01. SAS Institute, Cary NC.
- Sharpe, P. J. H., G. L. Curry, D. W. DeMichele and C. L. Cole. 1977. Distribution model of organism development times. *J. Theor. Biol.* 64: 649-670
- Schaalje, G. B. R. A. Butts and T. J. Lysyk. 1991. Simulation studies of binomial sampling: a new variance estimator and density predictor with special reference to the Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae). *J. Econ. Entomol.* 84: 140-147.
- Seth, R. K. and V. P. Sharma. 2001. Inherited sterility by substerilizing radiation in *Spodoptera litura* : Bioefficacy and potential for pest suppression. *Florida Entomologist.* 84: 183-193.
- Shields. E. J., Rouse. D. I., and Wyman. J. A. 1985. Variegated cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) leaf-area consumption, feeding site preference, and economic injury level calculation for potatoes. *J. Econ. Entomol.* 78: 1095-1099.
- Shim, J. Y., J. S. Park, W. H. Paik and Y. B. Lee. 1977. Studies on the life history of green peach aphid, *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera). *Kor. J. Pl. Prot.* 16: 139-144.

- Shipp, J. L., K. Wang, and M. R. Binns. 2000. Economic injury levels for western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse cucumber. *J. Econ. Entomol.* 93:1732-1740
- Silver, A. R. J. 1984. The biochemical nature of pirimicarb resistance in two glasshouse strains of *Aphis gossypii* (Glover). Ph.D. Thesis. University of Reading, U.K., 236 pp.
- Slosser, J. E., M. N. Parajulee, D. L. Hendrix, T. J. Henneberry, and D. R. Rummel. 2002. Relationship between *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) and sticky lint in cotton. *J. Econ. Entomol.* 95:299-306
- Snedecor, G. W. and Cochran, W. G., 1980. *Statistical Methods*, 7th ed., Iowa State University Press, Ames, chapter 9.
- Son, J. S. 1994. Studies on some ecological characteristics of the green peach aphid, *Myzus persicae*(Sulzer) (Homoptera: Aphididae), in tobacco field. A dissertation in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy, The graduate school of Gyeong-sang National University. (in Korean)
- Southwood, M. Y. 1978. *Ecological methods*, 2nd ed. Chapman & Hall, London.
- 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., R. Sharma, and C. Summers. 1980. Alfalfa damage from *Acyrtosiphon kondoi* and economic threshold studies in southern California. *J. Econ. Entomol.* 73:145-148
- Steiner, M. Y., L. J. Spahr, I. Barchia and S. Goodwin. 1999. Rapid estimation of numbers of whiteflies (Hemiptera: Aleurodidae) and thrips (Thysanoptera: Thripidae) on sticky traps. *Aust. J. Entomol.* 38: 367-372.
- Stone, J. D., and L. P. Pedigo. 1972. Development and economic-injury level of the green cloverworm on soybean in Iowa. *J. Econ. Entomol.* 65:197-201.
- Suzuki, H. and A. Miyara. 1984. Integrated control of *Thrips palmi* using agricultural covering materials. *Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu* 30: 135-139.

- Taylor, L. R. 1961. Aggregation, variance, and the mean. *Nature (Lond.)* 189: 732-735.
- Taylor, L. R. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Annu. Rev. Entomol.* 29: 321-357.
- Van Emden, H. F. 1967. An increase in the longevity of adult *Aphis fabae* fed artificially through parafilm membranes on liquids under pressure. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 10: 166-170.
- Wagner, T. L., H. Wu, P. J. H. Sharpe and R. N. Coulson. 1984b. Modeling distributions of insect development time: A literature review and application of the Weibull function. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 77: 475-487.
- Wald, A. 1947. *Sequential Analysis*. Wiley, New York.
- Wang, K. and J. L. Shipp. 2001a. Sequential sampling plans for western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse cucumbers. *J. Econ. Entomol.* 94(2): 579-585.
- Weinzierl, R. A., R. E. Berry and G. C. Fisher. 1987. Sweep-net sampling for western spotted cucumber beetle (Coleoptera: Shrysolmelidae) in snap beans: spatial distribution, economic injury level, and sequential sampling plans. *J. Econ. Entomol.* 80: 1278-1283.
- Welter, S. C., J. A. Rosenheim, M. W. Johnson, R. F. L. Mau and L. R. Gusukuma-Minuto. 1990. Effects of *Thrips palmi* and western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) on the yield, growth, and carbon allocation pattern in cucumber. *J. Econ. Entomol.* 83: 2092-2101.
- Wilson, A. G., L. T. Lewis and R. B. Cunningham. 1979. Overwintering and spring emergence of *Heliiothis armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) in the Namoi Valley, New South Wales. *Bull. Entomol. Res.* 69: 97-109.
- Wilson, L. T. and P. M. Room. 1983. Clumping patterns of fruit and arthropods in cotton with implications for binomial sampling. *Environ. Entomol.* 12: 50-54

- Wilson, L. T., W. L. Sterling, D. R. Rummel, and J. E. Devay. 1989. Quantitative sampling principles in cotton IPM. In : Frisbie, R. E., K. M. El-zik, and L. T. Wilson(eds), Integrated pest management systems and cotton production. pp.85-119.
- Wilson, L. T., T. F. Leigh & V. Maggie. 1981. Presence-absence sampling of spider mite densities on cotton. Calif. Agric. 35: 10.
- Wise, I. L. and R. J. Lamb, 1995. Spatial distribution and sequential sampling methods for the potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Homoptera: Aphididae), in oilseed flax. The Canadian Entomologist 127: 967-976.
- Yamamoto, E., K. Nagai and K. Nonaka. 1982. Ecology and control of the thrips infesting fruit vegetables. 3. Sites for infestation and pupation of *Thrips palmi*. Kyushu Agric. Res. 44: 118.
- Yencho, G. C., L. W. Getzin and G. E. Long. 1986. Economic injury level, action threshold, and a yield-loss model for the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae), on green peas, *Pisum sativum*. J. Econ. Entomol. 79: 1681-1687.
- Yoon, K. S and S. S. Choi. 1970. A survey of the aphids in sulchon area. Kor. J. Pl. Prot. 9: 43-48. (in Korean)
- Yoon, K. S and S. S. Choi. 1974. A survey of the flying aphid population at the alpine area, cholla-pukto. Kor. J. Pl. Prot. 13: 205-208. (in Korean)
- 박소득. 1993. 복숭아 병해충 발생예찰에 관한 시험. 농사시험연구보고서 (의성약초시험장). 391-398 pp.
- 박종대. 1997. 최근 발생한 문제병해충 발생생태와 방제대책. 식물보호연구. 10:48-62
- 병해충종합관리사업단. 1999. 시설작물 병해충종합관리. 257pp. 상록사
- 오경석, 임양빈, 오홍규, 이병무, 경기성, 김남숙, 김백연, 김정원, 류갑희. 2003. 농약사용 지표개발을 위한 과채류 농약사용실태 조사분석. 한국농약과학회지. 7:66-73.
- 오이시험장, <http://203.241.81.2/nongjin/gurecum/oe6-1.htm>
- 원예연구소. 2001. 과채류 생리장해 진단과 대책. 179pp. 과학원예.

원예연구소, <http://www.nhri.go.kr/crop/vegetable/오이.htm>

이건형, 이정운. 1996. 오이에 기생하는 목화진딧물의 방제결정 시스템 연구. RDA. J. Agri. Sci. (Post Doc.) 38: 59-70.

이준호. 1991. 해충밀도 조사법의 원리. - 현재선, 이문홍, 부경생 (편자). 응용곤충학논총. p.309-337.

한만위. 1994. 고추와 담배포장에서 담배나방 알의 공간분포 및 기주식물내 분포. Korean J. Appl. Entomol. 33(1): 6-11

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.