GOVP1200018508

632.7
L2936

최 종
연구보고서

유용 천적곤충을 이용한 솔나방 방제 연구

Control of pine moth, Dendrolimus spectabilis
with beneficial natural enemy insects

연구기관
동국대학교

농 림 부

대한민국
국회도서관
기증등록
2000. 12. 30
00851203

최 종 보 고 서

2000 년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 "유용 천적곤충을 이용한 솔나방 방제연구"에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

첨부 : 1. 최종보고서 10부

2. 최종보고서 디스켓 1매

2000. 10. 28.

주관연구기관 : 동국대학교

총괄연구책임자 : 이 해 풍 (인)

주관연구기관장 :

농 림 부 장 관 귀 하

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 "유용 천적곤충을 이용한 솔나방 방제연구 관한 연구" 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2000 . 10 . 28 .

주관연구기관명 : 동 국 대
총괄연구책임자 : 이 해 풍
연 구 원 : 이 장 훈
협동연구기관명 : 원 광 대
협동연구책임자 : 김 병 진
협동연구기관명 : 고 려 대
협동연구책임자 : 류 문 일
협동연구기관명 : 임업연구원
협동연구책임자 : 박 지 두
연 구 원 : 권 태 성

요 약 문

Ⅰ. 제 목

유용 천적 곤충을 이용한 솔나방 방제 연구

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 중요성

솔나방은 이조실록에도 빈번히 언급될 정도로 우리 나라의 대표적인 토착해충이다. 솔나방은 70년대 초반까지 전국적으로 만연되었으나, 1972년 이후 피해가 급격히 감소하여 80년대 이후에는 일부지역에서만 피해가 나타나고 있다. 우리 나라 산림의 우점종인 소나무가 지난날의 솔나방 피해와 최근까지 계속되고 있는 솔잎혹파리의 대발생으로 인한 경제적 손실과 산림 미관상 피해는 말할 수 없으며 수종 갱신을 위해 피해지의 수목을 모두 잘라 버린 모습 또한 국민 정서에도 부정적 충격을 주기에 충분하다. 특히 최근 몇 년 사이에 서해의 도서 지방, 충청도, 경기도 일부 지역에서 점차 피해가 급증하고 있는 솔나방의 발생 확대 경향은 이들에 대한 합리적 방제 방법의 개발을 필요로 하고 있다.

최근 산림 해충 방제를 위한 살충제의 무차별적 처리로 인한 삼림 생태계의 파괴와 천적 곤충의 황폐화 현상은 농약의 오염 문제와 함께 심각한 사회문제로 인식되고 건강한 산림 생태계를 보존케 할 수 있는 종합적 방제(IPM)의 핵심인 천적을 이용하는 생물적 방제 기술 개발에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 이루어지고 있는 추세이다. 특히 오늘날 세계적으로 살충제로 인한 여러 가지 직접, 간접적인 문제점들로 인해 살충제의 사용이 국제적으로 규제 또는 금지되고 있는 시점에서 천적을 이용한 해충의 방제에 관한 관심이 높아지고 있다.

본 연구는 기술적인 측면에서 육림가, 산림 경영자들의 생산 의욕, 보호 의욕을 고취시키며 건강한 산림 생태계를 유지시킬 수 있는 새로운 방제 기술의 필요성, 그리고 솔나방 피해를 효과적으로 억제할 수 있는 천적 자원 조사 및 이용 방법 연구를

위하여 천적 대량 인공 사육 및 저장, 운반, 방사기술등 실용화 연구 개발을 목적으로 한다. 이러한 연구는 경제적, 산업적인 측면에서 건강한 산림을 보전할 수 있는 경제적인 방제 기술개발을 절실히 필요로 하고 있으며, 이를 위해 해충의 발생 초기에 천적을 이용한 방제 대책을 연구함으로 해서 임산물에 대한 농약 오염의 불안감을 해소시킬 수 있는 무공해 방제 기술개발, 임산물 생산비용의 절감, 그리고 생물 다양성을 유지하려는 목적을 갖는다. 또한 사회·문화적 측면에서 건강한 산림 보존과 농약 오염 없는 무공해 방제 기술개발을 절실히 필요로 하고 있는 시점이며 일반 소비자들 또한 무공해 임산물, 건강한 식수원 확보에 지대한 관심을 갖고 있다. 이러한 사회적인 여건에서 보다 나아가 후손을 위한 다양한 생물종 번식을 위해 생태계 보전이 절실히 필요하며, 현재의 산림해충 방제 방법인 항공 방제로 인한 무차별적 생물종 황폐화를 줄여야 할 필요성을 느낀다. 그러므로 현재 사용하고 있는 살충제로 인한 환경 오염을 최소화시킬 수 있는 사회적 수용이 되는 방제 기술 개발의 필요성을 만족할 수 있는 새로운 방식의 산림해충의 방제가 필요하다고 할 수 있다.

선진 국가들의 경우 산림 해충 방제에는 대부분 천적 곤충을 적극적으로 이용하는 종합 방제가 이루어지고 있으며, 미국의 경우 천적 곤충 연구소들을 중심으로 이 같은 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 중국의 경우도 여러 곳의 곤충 연구소들을 중심으로 다양한 천적 곤충들이 대량 인공 사육되어 방제에 사용되고 있다. 하지만, 국내의 경우는 아직 연구중이거나 소규모적인 활용에 그치고 있으며, 천적의 생태조사 및 대량 증식 기술에 대한 연구가 많이 진행되지 않은 것이 사실이다. 동국대학교 응용 곤충학 연구실을 중심으로 몇 종 깡충좀벌류, 알벌류가 실험적으로 인공 증식되고 있고, 짚시알깡충좀벌의 경우는 대체기주와 인공배지의 개발로 *in vitro* 증식이 실험적으로 연구되어 그 결과가 발표되어 있으며, 솔나방의 주요 난기생봉인 송충알벌(*Trichogramma dendrolimi*)도 이와 같이 실제 방제효과와 함께 연구되고있다.

또한, 이미 지난 60년대 중반에 국내에서 솔나방의 생태 및 방제법에 관하여 많은 조사와 연구가 이루어졌으나 30여 년이 지난 지금의 산림생태환경의 변화, 솔나방 생태의 변화, 그리고 천적상의 변화요인을 고려할 때 기존의 방제 방법은 적절하지 않은 부분이 있는 것으로 분석되었다. 이러한 이유로 현실적으로 활용가능한 천적의 대량증식과 이용방법이 연구가 절실히 필요하다. 더불어 지표성 포식천적 곤충인 불개미와 기타 개미류에 대한 연구가 연구자들에 의해 일부가 연구된바 있으나 이 같은 연구들이 단기적이고 소규모적이어서 보다 장기적이고 실제로 문제들을 해결하는 정

밀하고 실용 가능한 종합적 연구로 발전시키기 위한 연구가 절실히 필요하다.

본 연구의 목적은 이러한 애로사항을 해결하기 위하여 솔나방 자체의 생태와 대 발생원인을 규명하고 효과적 천적자원을 발굴하여 억제효과를 평가 연구하며 천적 곤충의 대량 증식 기술 체계 확립과 방사기술 개발 및 효과 검증 연구를 거쳐 기생 천적 곤충의 실용화 체계를 구축하데 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 점차 그 피해면적과 피해정도가 증가하고, 산림에서보다는 민가에 인접한 독립된 지역에서 도발적으로 대 발생하고 있는 솔나방의 방제를 예측하고, 적절한 시기에 경제적으로 방제할 수 있도록 하며, 농약사용으로 인한 다양한 부작용을 최소화할 수 있기 위하여 천적을 이용한 환경 친화적인 해충방제 방법의 체계를 수립하기 위해 다음과 같은 내용의 연구를 실시하였다.

1. 솔나방 자체의 생태와 대발생원인의 규명

본 연구를 실시하기 위하여 솔나방 자체의 생태를 조사하며 솔나방 발생지역을 조사하여 대 발생 원인을 규명하려하였다. 이러한 솔나방의 생태와 환경변화를 집중적으로 조사하여 현실적 여건에 맞는 방제 방법을 찾아내기 위하여 지난 3년간의 전국 각지의 솔나방 발생지역 모두를 조사하였으며, 실험기간인 1997년부터 2000년까지 솔나방이 실제로 발생한 지역을 실험지역으로 선정하여 각 지역의 밀도조사 및 표본 조사를 주기적으로 실시하였다. 또한 솔잎혹파리와의 경쟁관계를 규명하기 위하여 각종 자료와 현지 상황을 비교 조사하였으며, 솔나방 발생 환경이 소나무에서 리기다소나무림으로 변화된 원인을 밝히고자 야외 및 실내에서 유충의 실내사육, 먹이 선호성, 그리고 산란 선호성을 실험하여 확인하였다. 솔나방의 월동조사를 실시하고 유충 및 성충의 활동시기에 주기적이고 전국적인 밀도조사를 통하여 세대가 증가한 화기 변화를 밝혀내었다. 이러한 자료를 바탕으로 대 발생의 원인을 규명하려하였고, 솔나방 개체군동태를 파악하기 위하여 발생지역의 지리적인 상황과 천적상을 조사하여 대 발

생 원인을 밝히는 자료로 활용하였다.

2. 효과적 천적자원의 발굴 및 억제효과 평가 연구

지금까지의 국내에서 조사된 각종 자료를 바탕으로 문헌상의 솔나방 천적종을 파악하고, 실제로 이러한 천적종이 솔나방 발생지역에서 얼마나 큰 방제 효과를 가지고 있는지를 알아보기 위하여 솔나방 발생지에서 각 충태별로 솔나방의 천적을 채집하기 위하여 알트랩을 설치하고 유충 및 번데기, 그리고 난괴 표본을 채집하였다. 인공적으로 고안된 알트랩에 대체기주알인 산누에나방이 알과 솔나방알을 이용하여 솔나방 발생지역을 포함한 임야에 설치하였다. 이른봄과 늦은 가을에 설치하여 월동천적과 월동에서 우화하는 천적을 발굴하고자 하였고, 발굴된 천적의 억제 효과를 평가하였다. 피해지역에서 포식 천적인 개미를 조사하여 포식률을 비교 실험하였다. 또한 솔나방 발생지역에서 다른 대체기주를 찾으려고 하였다. 특히 솔나방과 같은 지역에서 동시에 발생하는 도토리나방의 월동알을 대상으로 송충알벌 및 다른 알기생천적의 월동 가능성을 조사하기 위한 실험을 병행하였다.

3. 효과적 천적 곤충의 대량 증식 기술과 체계 확립

천적의 대량 증식기술을 활용하고 있는 주변 국가 중 중국과 긴밀한 접촉을 통하여 정보를 얻고, 실제로 기주를 공급받을 수 있도록 하였으며, 동시에 국내의 대체 기주 선발 및 인공기주를 개발하였다. 국내의 인공기주 개발은 이미 짚시알깡충좀벌에서 성공한 방법을 응용하였다. 이러한 서로 다른 기주에서 발육한 천적의 산란수, 우화율, 수명 등 생물학적 특성을 비교 조사하였다. 그리고 포식천적인 개미의 사육 및 증식에 관하여 연구하였다.

4. 천적 곤충의 대량 방사기술 및 효과 검증 연구

대량증식기술 방법을 이용하여 실내 및 야외에서 방사트랩을 이용하여 실제 방사하였다. 송충알벌은 솔나방 발생지역에서 채집하여 실내 사육실의 사육상에서 대체기주인 산누에나방의 알을 이용하여 대량 증식하였고 기주 안에서 번데기 상태일 때 저장

또는 방사하였다. 천적의 방사 후 자연 산란된 난괴를 수거하여 기생률을 조사하였고 동시에 인위적으로 알카드를 설치하여 분산능력과 분산에 미치는 영향을 조사하였다. 효과검증은 SAS 프로그램으로 통계 처리하여 기생벌 방사 수준에 따른 방사지역과 무방사지역의 기생률 및 분포를 조사하였다.

5. 기생 천적 곤충의 실용화 체계 구축

실내에서 사육 가능한 기생천적인 송충알벌을 대량증식하기 위하여 대체기주와 인공기주를 비교하였고 이를 이용한 생산 및 활용 체계를 조사하였다.

Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

소나무에 대한 솔나방 피해 면적과 피해는 1990년대에 들어와 산림전체에서 보다는 국지적으로, 그리고 민가와 가까운 독립된 야산의 송림에서 점차 급증하였다. 1997년부터 2000까지의 조사에 의하면 주로 서해 도서지방(인천직할시 강화군 교동도, 석모도), 남해 도서지역(전남 완도군 청산도), 경기, 충청 내륙(아산, 평택, 입장, 천안), 충북(증평), 그리고 그 외 논산, 포항 등지에서도 국지적으로 피해가 조사되었다. 특히 조사결과 피해목은 모두 해송과 리기다소나무였고 피해지는 대부분 민가, 도로, 휴게소등이었다. 따라서 이에 대한 적절한 방제 방법이 점차 절대적으로 필요하게 되었다.

과거의 자료를 분석한 결과 70년대 이후 솔나방 피해의 급격한 감소의 원인은 솔잎혹파리의 급격한 확산임이 증명되었다. 생태학에서 경쟁이론은 군집구조나 분포 및 종 다양성을 설명해주는 핵심적인 역할을 하고 있다. 일반적으로 동일한 자원을 이용하는 두 종은 같은 장소에서 공존할 수 없다는 것이 'Gause의 경쟁배타의 원리'로서 확립되어 있다. 따라서 동일한 자원을 이용하는 두 종이 공존하기 위해서는 어느 한 종이 본래의 자원을 포기하고 다른 자원을 이용하게 되는데, 이를 'Competitive displacement'라고 하며, 이를 밝히기 위한 수많은 연구들이 수행되었다. 곤충분야에서도 이를 증명하기 위한 수많은 연구들이 있었으나 대부분 경제적인 영향이 거의

없는 일반곤충에 대해 수행되었고, 본 연구에서처럼 어떤 국가의 대표적인 해충이 경쟁으로 인해 거의 소멸되고, 생존을 위하여 자신의 고유 먹이원을 변경시킨 예를 밝힌 연구는 아직 발견되고 있지 않다.

90년대 이후 나타나고 있는 솔나방의 먹이수종이 고유수종인 적송에서 도입수종인 리기다소나무로 변화된 원인을 구명하기 위하여, 유충에 대한 먹이선호성과 사육실험을 한 결과, 아직 유충은 적송을 가장 선호하며, 적송은 유충의 성장에 가장 양호한 먹이식물임이 밝혀졌다. 솔나방의 피해는 성충이 산란처로 어떤 나무를 결정하느냐에 의해 결정되며, 유충은 먹이식물에 대한 결정권이 없으며, 암컷 성충에 의해 선택되어진 나무에 피해를 일으키는 역할만을 수행한다. 따라서, 솔나방 먹이수종의 변화는 성충의 산란 선호성 변화 때문인 것으로 추정되며, 야외조사에서 성충이 적송을 기피하고 리기다소나무를 산란처로서 선호하는 증거들이 수집되었다. 이처럼 산란 선호성이 변화된 이유는, 솔잎혹파리 급증기에 산란처로서 리기다소나무를 선호하는 개체들이 생존하고, 적송을 선호하는 개체들은 점차 도태되었기 때문으로 사료된다. 이러한 사실은 우리 나라 솔나방이 솔잎혹파리와의 경쟁과정에서 기주 선택을 결정짓는 행동과 관련되어 유전적 변화를 일으켰을 가능성을 암시한다고 하겠다. 현재 우리 나라에 피해를 발생하는 솔나방은 내륙의 리기다소나무에 피해를 일으키는 개체군과 서남 해의 해송에서 피해를 발생하는 개체군으로 나눌 수 있다. 도서지방에서 잔존한 솔나방은 극심한 경쟁과정을 겪지 않았기 때문에, 산란선호성과 관련된 유전자의 가능성이 내륙지역의 것에 비해 적다고 할 수 있다. 따라서 이들간의 유전적 차이를 조사할 필요가 있는 것으로 사료된다. 이와 아울러 솔잎혹파리가 어떤 원인으로 솔나방개체군에 영향을 미치는 지에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

90년대 이후 솔잎혹파리의 피해가 점차 안정을 찾아가며, 많은 지역에서 솔잎혹파리가 일반 곤충화되어 가는 경향이 나타나고 있다. 이러한 경향은 앞으로 솔나방 피해의 재연가능성을 암시한다고 하겠다.

1. 솔나방 자체의 생태와 대발생원인의 규명

솔나방피해발생지는 경기지역의 피해실태조사 결과, 1998년에는 경기 오산, 여주, 시흥 등지에서 피해가 발생하였으나, 1999년에는 피해가 소멸하였다. 1999년 6월 이후 경기와 충청 남, 북도의 일부지역에서 피해가 발견되었으며, 제주도나 청산도 등 도서지역에서의 피해는 현저히 줄어들었다. 피해지는 대부분 민가, 도로, 휴게소 등 주위에 성충을 유인할 수 있는 광원이 풍부한 곳이었다. 그리고 피해발생지는 모두 리기다소나무림으로, 적송의 피해는 발견되지 않았다. 90년대 들어 솔나방은 내륙지역에서는 경기, 충청 남, 북도의 리기다소나무림과 서남 해의 해송림에서 주로 발생하며, 내륙지역에서 90년대 중반이후 리기다소나무림에서의 피해발생 경향이 심화되고 있다. 솔나방의 피해가 경기와 충남 북에 집중되는 원인은 이 지역에서 리기다소나무 조림지가 다른 지역에 비해 월등히 많기 때문일 것이다.

솔나방의 생태가 예전 60년대의 연구 조사와 비교할 때 달라진 것은 화기의 증가, 먹이 습성의 변화, 그리고 발생지역이 독립된 지역이라는 큰 차이를 들 수 있다. 솔나방은 60년대까지 1년에 1화기 발생하는 것으로 알려져 있으나 본 조사결과 1999년 강화군 교동도에서 1화기 발생하였으나, 내륙지역인 충청지역에서는 년 2회 발생하는 것으로 확인되었다. 이러한 화기의 변화는 외부환경인 평균기온의 증가원인과 유전적인 변이의 원인을 생각할 수 있다. 이러한 화기의 증가는 솔나방의 피해정도를 가중시키는 한 요인이 됨을 경기도 입장의 연곡리에서 확인한 바 있다. 또한 이러한 화기의 증가는 월동유충의 충태가 기존의 5령에서 3-4령으로 변화시키는 요인이 됨도 현지 조사에서 확인하였다. 먹이습성의 변화는 60년대까지 조사된 먹이 식물이 소나무에서 리기다소나무로 변화된 것을 본 조사가 이루어진 전국의 모든 솔나방 발생 지역에서 발견할 수 있었다. 하지만 실내 실험에서는 리기다소나무보다는 소나무에서 발육상태가 좋은 것으로 조사되었다. 이러한 먹이의 변화는 소나무의 가장 큰 해충인 솔잎혹파리와의 먹이경쟁에 의한 결과라고 생각할 수 있으며, 여러 환경요인에 의해 솔나방의 유전적인 변화가 일어났을 가능성도 제시할 수 있다. 또한 솔나방의 발생이 예전의 산림지역을 벗어나 민가 주변의 야산을 중심으로 발생하는 것은 솔나방의 대발생 원인 분석에서 중요하게 생각할 수 있다. 즉, 이러한 독립된 환경에서의 대 발생은 환경파괴에 의한 솔나방 생태의 변화요인과 광원에 유인되는 습성으로 인해 광원이 풍부한 지역으로의 분산의 결과라고 생각할 수 있으며 이러한 원인으로 인해 상

대적으로 천적이 적은 독립된 생태환경에서 대 발생할 수 있는 기회가 될 수 있다.

2. 효과적 천적자원의 발굴 및 억제효과 평가 연구

본 연구에서는 1997년부터 2000년까지 전국의 솔나방 발생지역을 대상으로 천적을 발굴하였다. 각 충태별 천적을 조사하였으며 실내증식이 가능한 천적종은 실내 대량 사육을 유도하였으나, 모든 지역에서 천적종이 한정되고 적은 수가 조사되었다. 실내 대량 사육이 용이한 알벌류는 2000년 송충알벌의 기생률 및 분산에 관한 실험을 위하여 양수리 지역에 인공 설치된 솔나방 알카드에서 조사된 3종(알벌과 1종; 깡충좀벌과 1종; 벼룩좀벌과 1종)이 전부이며 다른 지역에서는 알기생천적의 밀도가 10%(입장) 정도로 낮거나 없는(석모도, 천안 입장의 한 지역 등) 것으로 조사되었다. 솔나방의 알기생천적으로 널리 알려져 있는 송충알벌의 대량 증식 후 억제효과는 실내실험 사육상 조건에서 90%이상 매우 높았으나, 실제 솔나방 발생지역에 방사한 경우는 20-49% 정도로 조사되었다. 유충 기생천적종 중 기생파리류와 고치벌(송충살이고치벌)은 청산도 지역에서 35%가량의 높은 기생률을 나타내 억제 효과가 높은 것으로 조사되었다. 번데기의 천적은 기생파리류가 입장지역에서 조사되었으나 보다 정확한 종 분류 및 생태 조사가 필요할 것으로 생각되었다. 유충기생천적은 사육이 어렵고 실제 천적으로서 이용하기에 여러 문제점이 제시되었다. 특히 교동도에서 바이러스와 백강균등 병원균에 의한 높은 억제효과를 확인하였다.

3. 효과적 천적 곤충의 대량 증식 기술 확립과 체계 확립

60년대까지의 연구에서는 알기생천적인 송충알벌을 대량 증식하기 위하여 기주인 솔나방을 대량으로 실내 사육하였었다. 그러나 현실적 여건에서 해충의 대량 실내 사육이 어려운 실정이며 사육 후 기주알의 수거가 용이하지 않은 것으로 본 실험 결과 조사되었다. 따라서 효과적인 알기생천적인 송충알벌을 대량으로 증식하기 위해서는 적절한 기주가 필요하게 되었으며, 본 실험에서는 중국 등지에서 사용하는 산누에나방의 알을 이용하였다. 실제 사육에 비하여 저렴한 가격으로 중국에서 무정란을 구입

하여 본 실험의 대량 증식용 기주로 사용하였고 또한 인공기주를 이용한 방법도 동시에 적용하여 보았다. 알기생천적인 송충알벌을 솔나방알과 산누에나방 알, 그리고 인공알에 대한 생물학적 특성을 함께 조사하였다. 그 결과 자라난 기주에 따라, 대체기주인 산누에나방에서 자란 경우의 알벌 산란수(약 104개)에 비해 솔나방알에서 자란 경우의 산란수(약 218개)가 많고 수명도 5.8일, 14.0일로 솔나방알에서 자란 경우에 길었다. 포식천적의 대량 증식은 새로운 천적 예상종 *Pristomyrmex pungens*는 대량군집을 형성하는 종으로 여왕개미가 없으며 실내사육에 있어 생존율이 매우 높게 나타났다.

4. 천적 곤충의 대량 방사기술 및 효과 검증 연구

1999년과 2000년 두 차례에 걸쳐 대량 증식된 송충알벌을 방사하여 효과를 검증하였다. 하지만 실험 대상지역이었던 솔나방이 발생한 지역의 소나무의 높이가 높거나 산란된 난괴의 밀도가 낮아 조사가 어려웠다. 또한 조사된 난괴의 기생률도 높지 않은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구를 위하여 소나무를 인공적으로 정식하여 실험구로 만들어 솔나방 알카드와 번데기를 방사하여 송충알벌의 기생률과 산란 및 분산 경향을 조사하였다.

방사방법은 자체 고안된 방사 트랩을 이용하여 기주알에 기생된 번데기 상태의 송충알벌을 방사하였으며 효과의 검증은 산란된 난괴와 인위적을 설치한 알카드를 수거하여 통계처리하여 조사하는 방법을 이용하였다. 그리고 1999년과 2000년 두 차례에 걸쳐 대량 증식된 송충알벌을 방사하여 효과를 검증하였다.

기주알에 기생되어 있는 송충알벌의 번데기를 저장실험 하였으나 장기간 저장하기 어려운 것으로 조사되었다. 알기생천적인 송충알벌의 운반은 아이스박스 속에 보관하여 운반하거나 알벌이 기생된 기주를 비닐백에 넣어 밀봉하여 운반하였다. 방사에는 자체 고안한 트랩을 이용하였다. 송충알벌의 방사 수를 1만 마리로 하여 방사한 후 거리별로 기생률을 조사한 결과 방사점부터 3m, 6m, 9m 까지 난괴 기생률은 각각 44, 31, 28% 이었고 난 기생률은 각각 31.7, 13.5, 7.6% 이었다. 반면 동일한 실험구에 10만 마리를 방사한 경우 거리별로 난괴 기생률은 각각 100, 100, 96%, 이었고, 난 기생률은 56.7, 51.9, 52.9%로 거리별로 차이 없게 높은 것으로 조사되었다. 카

대한민국 국회도서관장서

이로몬을 살포한 아산의 실험에서 n-tricosane을 살포한 경우 난기생률이 49.6%로 기생률이 높아졌다.

송충알벌의 야외 방사 후 대체기주의 기생률을 조사한 결과 알벌을 방사하지 않은 두 지역에서 명충알벌이 각각 한 개의 난괴에서 기생되어 44.4, 77.4%의 난 기생률을 나타내었으며, 벼룩좀벌류 한 종이 세 개의 난괴에서 각각 암컷 한 마리씩 기생된 것으로 조사되었다

5. 기생 천적 곤충의 실용화 체계 구축

알기생천적인 송충알벌을 대량 증식하기 위한 시스템을 만들기 위하여 기주알 및 생산된 알벌의 단가, 그리고 설치비용을 계산하였다. 또한 상품화하였을 때 기존의 살충제의 사용과 비교하여 경제적인 경쟁력을 비교하였다. 즉, 기주의 종류에 따라 나누어볼 때, 송충알벌의 기주로 사용할 수 있는 산누에나방의 알은 중국에서 번데기를 수입하여 우화시켜 채란하는 방법과 수거된 알을 수입하는 방법이 있고, 폴리프로필렌 필름을 이용하여 인공알을 제작하는 방법이 있다. 이들 셋 사이의 장단점은 알벌의 사용 시기 및 목적에 따라 달라질 수 있다. 본 조사결과 솔나방의 유충시기에는 번데기를 수입하여 실내에서 천적을 누대사육하여 증식하고, 솔나방 산란시기에 알을 수입하여 대량 증식 후 방사하는 것이 경제적으로 유리할 것으로 생각되었다.

본 연구를 통하여 농산물을 위한 해충 방제 전략의 인식 변화처럼 농약 사용의 최소화 요구와 새로운 경제적 방제 전략의 개발로 생물 종 다양성 유지에 크게 기여할 것이다. 생물적 방제로 인한 자연 생태계 보존과 건강한 먹이그물의 보전이 가능하게 되어 해충 방제 전략에 새로운 전기를 마련할 수 있을 것이다. 천적 곤충의 대량사육과 그 산업화는 산림 해충 방제뿐 아니라 다른 모든 유사 해충 방제 전략에 이용케 되어 선도적 방제 전략으로 자리잡을 수 있을 것이다. 국내 생태계의 변화와 솔나방 생태의 변화로 인해 천적의 정착 및 정착 천적의 해충방제 인자로서의 역할이 위협을 받고있는 것이 사실이다. 이러한 상황을 고려할 때 천적 대량증식 기술 및 재료의 도입이 현실적으로 불가피한 현실이다. 가까운 주변국들로부터 부분적인 기술 도입은 가능하다고 보나 생태적 환경의 차이와 기술 보호 정책 등으로 완전한 기술적 도입은

불가능하며 자체적 기술개발이 충분히 가능하여 도입의 타당성은 없다고 보나 부분적인 정보교환과 협의는 필요할 것으로 생각된다. 또한, 솔나방의 유용천적 곤충종이 감소한 현실여건에서 생물적 방제를 위해서는 인공적인 천적의 대량증식이 필요하며 이를 위한 대량증식용 기주의 확보 등 생태 변화를 고려한 방제 방법을 사용하여야 할 것이다. 본 연구를 통해 개발된 알기생천적의 대량 증식 및 시스템 기술은 중소기업이나 정부 기관에서 수용하기 위하여 정부의 적극적 지원을 필요로 한다.

SUMMARY

Control of pine moth, *Dendrolimus spectabilis* with beneficial natural enemy insects.

Pine moth, *Dendrolimus spectabilis* Buter has been a well known lepidopteran pest in Korea from Lee Dynasty. This pest had given rise to big problems to Korean forest until early 1970, and it was recorded to dramatically decrease after 1972. Outbreak of pine population has been occurred at small scale in pine field since 1980. An occurrence of pine moth accompanied with an infestation of pine gall midge have caused serious economic loss, and made forest areas ugly. The forestry infestation also give a negative impacts on Korean people's sentiment.

Recently, pine moth population have increased again in western island, Chungcheong Province, and Kyeonggi Province. we need to suppress this pest by means of reasonable control methods. It is social problem to take an overdose of insecticides for pest control of pest in forest. The side-effect of insecticides destroy the forest ecosystem. Natural enemies and the other beneficial living things get ruined by no choice. In this reason, many countries are trying to develope an integrate pest management(IPM) programs for keeping the healthy agro- and forest-ecosystem. Biological control of forest insects provide to us several benefits in terms of reducing a hazard chemicals for forestry products, saving a production cost, a conservation of biological diversity, and a protection of ground water.

Our ultimate target are to provide a developed tool to forest

growers so as to encourage them to conserve their forest areas. Our research objectives are to find natural enemy resources of pine moth, to develop technologies on mass rearing, storage, transportation and releases of the natural enemies.

The results obtained are as follows.

1. Studies on ecology of pine moth and its population outbreak

In Kyeonggi Province, Pine moth populations occurred in Osan, Yeoju, Shihung in 1998, but they were not detected at the these previous infestation areas in 1999. Our survey on main land revealed that Occurrences of the moth populations were usually limited in Chungcheong province since 1999. It seems that the populations are likely to occur in Islands including Jeju and Cheongsan-do although they apparently decrease. Pine moth infestation sites were always located near resident areas, road, rest areas where light sources were available. An infestation of pine moth were not recorded from *Pinus densiflora* S. et Z. anymore. The moth was found to attack *Pinus rigida* Mill and *Pinus parviflora* S. et Z. at all infestation areas. Populations of pine moth were mainly observed in Chungcheong province where many *P. rigida* plantations were placed as comparing in other provinces.

Phenology of Pine moth was different from previous study which carried out about forty years ago in terms of voltism, feeding behavior, and isolated infestation areas. Pine moth showed two generations per year although it was previously known to have a generation per year. We observed that the preferred host plant of the

moth transit from *P. densiflora* to *P. rigida*. It is noted that the population of the moth usually occur near a residential area although it used to appear in forestry areas.

2. An exploitation of an effective natural enemy resources and an evaluation of its effectiveness.

Three parasitoid species were detected using exposing egg cards in the field. (Trichogrammatidae, Trichogramma chilonis; Encyrtidae; Eupelmidae) were a good candidate for mass rearing. Tachid fly and *Rogas dendrolimi* caused pine moth larval mortality of 35%, indicating their high potential suppression effects on the population. Parasitisms by Sarcophagid fly ranged from 5 to 62 %. NPV and *Beaveria* showed very high mortality in Kyodong island. Previously reported *Formica yessensis* was not observed during the study. However *Pristomyrmex pungens* was observed to attack cocoon of pine moth in Kyodong island. The ant was only predator that was observed in the forest infested by the pine moth population. Four species of fire ants were compared for their predation rate. Their relative predation rate recorded was 10%, 40%, 50%, 70% for *Formica japonica, Formica sanguinea, Formica luggubris, and Formica yessensis* respectively.

3. Establishments of mass rearing technology for effective natural enemies.

Trichogramma dendrolimi, egg parasitoid of pine moth, were introduced

for mass rearing of the parasitoid from China. The egg parasitoid were reared from both silk worm eggs and artificial eggs, and biological characteristics of the parasitoids were compared. The fecundity of the parasitoid were compared by development hosts. The egg parasitoid reared from pine moth egg showed two time as high fecundity as the parasitoid from silk moth egg (factitious host) with the fecundity being 218 for the former and 104 for the latter. Longevity of the parasitoids also was much higher when it developed from pine moth(14d) as comparing with from oak silk moth(5.8d). Predacious ant *Pristomyrmex pungens* could be a potential candidate for biocontrol agent since its survival rate was relatively high and it could establish a large colony without a queen.

4. Studies on a mass release technology of natural enemies and an evaluation of their effectiveness.

Trichogramma dendrolimi Mastumura was released at the experimental plot, where pine trees were artificially infested with egg cards of pine moth, *Dendrolimus spectabilis* Butler, and the parasitism rates were investigated in the Experimental Forest of Dongguk University in Kyeonggi Province, Korea during the period from May to June, 2000. Two different release-regimes were used in terms of the number of the released parasitoid. The host egg cards were exposed at 3m interval from the release spot. For the 10,000 parasitoid release regime, mean egg mass parasitism detected were 44, 31, and 28% at the trees that were 3, 6, 9m apart from the release spot, respectively, and mean egg parasitism were 31.7, 13.5, 7.6% at the same trees. For the 100,000

release regime, the increased parasitization were recorded with the mean egg mass parasitism being 100, 100, and 96%, and the egg parasitism being 56.7, 51.9, and 52.9%. The parasitism rates of pine moth eggs decreased with the distance between the host eggs and the release spot of the parasitoids, showing negative correlation between those variables (r^2=0.62).

When n-tricosane was applied to the field in order to improve parasitoid oviposition activity of *Trichogramma dendrolimi*, the protein enhanced the egg parasitism with the percentage parasitism of 49.6.%.

5. Practical application system of insect parasitoids.

To establish mass rearing of *Trichogramma dendrolimi*, two type of hosts such as oak silk worm as factitious host and artificial host were used. Importation of oak silk worm as a rearing host of parasitoid could be reasonable in terms of a low cost and time saving. Innundative release of egg parasitoid at the oviposition period of Korean pine moth was proved to be effective for controlling the pest. To get the synchronization of an egg stage of Korean pine moth with a release timing of the egg parasitoid which will be reared for controlling the pine moth, pupal stage of oak silk worm should be taken from China, because it permit an enough time for mass rearing of the egg parasitoid. Productions of the artificial egg envelop with polyethylene film was less competitive economically although it allow us to rear egg parasitoid at any time.

Our research objectives are to establish practical application system of natural enemies to control pine moth. Major component of

practical application system include an understanding on ecology, a selection of effective biocontrol agents, technology of Mass rearing, utilization strategy of the natural enemies, and evaluation technology. Our research address an alternative strategy to overcome many ecological and environmental problems caused by conventional chemical tool. Our research could be applied to other agricultural and forestry insect pests. The technology for mass rearing of egg parasitoid and practical application system should be transferred to private companies and government organizations. To do accomplish this mission further support by government should be needed.

CONTENTS

Chapter 1. General introduction 23
Section 1. The objectives of research and its scope 23
Section 2. Contents of research and development 25

Chapter 2. Ecology and environmental factors for outbreak of pine moth 28
Section 1. Introduction 28
Section 2. Materials and Methods 29
Section 3. Results and Discussion 33

Chapter 3. Population dynamics of pine moth 50
Section 1. Introduction 50
Section 2. Materials and Methods 51
Section 3. Results and Discussion 53

Chapter 4. Natural enemies resources and evaluation of the suppression effect 70
Section 1. Introduction 70
Section 2. Materials and Methods 71
Section 3. Results and Discussion 74

Chapter 5. Mass rearing technique of natural enemies and systematization 92
Section 1. Introduction 92
Section 2. Materials and Methods 94
Section 3. Results and Discussion 97

Chapter 6. Mass release technique of natural enemies and inspection of control effect 113
Section 1. Introduction 113
Section 2. Materials and Methods 116
Section 3. Results and Discussion 120

Chapter 7. Practical application on use of natural enemies 133
Section 1. Introduction 133
Section 2. Materials and Methods 133
Section 3. Results and Discussion 134

Reference 137

List of Fig 143

목 차

제 1 장 서 론 ····· 23
제 1 절 연구개발의 목적과 범위 ····· 23
제 2 절 연구개발 내용 ····· 25

제 2 장 솔나방 자체의 생태와 대발생원인의 규명 ····· 28
제 1 절 서 설 ····· 28
제 2 절 재료 및 방법 ····· 29
제 3 절 결과 및 고찰 ····· 33

제 3 장 솔나방 개체군 동태 조사 ····· 50
제 1 절 서 설 ····· 50
제 2 절 재료 및 방법 ····· 51
제 3 절 결과 및 고찰 ····· 53

제 4 장 효과적 천적 자원의 발굴 및 억제 효과 평가 연구 ····· 70
제 1 절 서 설 ····· 70
제 2 절 재료 및 방법 ····· 71
제 3 절 결과 및 고찰 ····· 74

제 5 장 효과적 천적 곤충의 대량 증식 기술 확립과 체계 확립 ····· 92
제 1 절 서 설 ····· 92
제 2 절 재료 및 방법 ····· 94
제 3 절 결과 및 고찰 ····· 97

제 6 장 천적 곤충의 대량 방사기술 및 효과 검증 연구 ····· 113
제 1 절 서 설 ····· 113
제 2 절 재료 및 방법 ····· 116
제 3 절 결과 및 고찰 ····· 120

제 7 장 기생 천적 곤충의 실용화 체계 구축 ····· 133
제 1 절 서 설 ····· 133
제 2 절 재료 및 방법 ····· 133
제 3 절 결과 및 고찰 ····· 134

참 고 문 헌 ····· 137

사 진 자 료 ····· 143

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적과 범위

1. 연구개발의 배경 및 목적

솔나방 해충은 1960년대 초까지 우리 나라에서 소나무의 최대해충으로 그 피해가 막대하였으나 1960년대 후반부터 급격한 감소와 함께 솔잎혹파리의 피해가 만연되고 있다. 그러나 1990년대 초부터 다시 남해안, 서해안 도서지방에 막대한 피해를 주고 있으며 경기도, 충청도 일부를 포함하는 내륙지방에까지 그 피해는 점차 확산일로에 있어서 그 대책이 시급히 마련되어야 하겠다. 특히 1996년경에는 제주도에서 솔나방이 대 발생하여 막대한 피해를 주었다. 그리고 최근의 경기도, 충남 일부지역에서 피해발생이 점차 확대추세인 것은 솔나방의 생태가 변하여 2화기 발생함으로서 피해가 증대된 결과이다. 솔나방의 1화기 발생의 경우 송림의 부분적 고사와 소나무가 회복될 수 있는 시간적 여유가 생기지만, 2화기 발생은 1차 피해를 받은 소나무가 2차적으로 피해를 받게 되어 고사까지 이르는 심각한 피해를 주게 된다.

현재까지 일반적인 솔나방의 방제는 항공방제를 비롯한 화학적 방제 방법에 주력해 왔다. 본 연구는 이러한 솔나방의 방제에서 산림생태계의 복잡성과 안정성을 고려한 그리고 적절한 시기에 방제함으로써 살충제를 이용한 화학적 방제를 최소화하고 재래천적의 적극적 이용과 인공증식 기술의 확대로 생물적 방제와 같은 안전한 방법의 이용을 목적으로 한다. 산림생태계는 농업생태계와 구별되게 기주식물상이 다양하고 구조적으로 복잡하여 곤충을 포함한 생물다양성이 주의 깊게 고려되어야 한다. 또한 식수원의 원천으로 다양한 임산물의 산지로서, 수많은 유용곤충들이 포함되어있음을 감안할 때 해충을 대상으로 유망한 천적곤충을 선발하고 실질적으로 방제에 이용하여 지속적이고 안전한 환경 친화적인 억제 전략이 수립되어야 할 것이다. 그렇게 함으로써 화학적 방제 위주로 인한 생태계 파괴를 줄이고 장기적이고 근본적인 생태계 평형유지가 이루어질 수 있을 것이며 천적곤충 보호를 기대하여 생물다양성이 유지된 건강한 산림생태를 유지할 수 있게 될 것이다.

본 연구를 통하여 소나무에 대한 솔나방 피해 면적과 피해 정도가 점차적으로 국지

적인 지역에서 도발적으로 발생하는 생태적 특징을 파악하고 이에 대한 적절한 방제 방법에 활용할 수 있도록 할 것이다. 또한, 농산물을 위한 해충 방제 전략의 인식 변화처럼 농약 사용의 최소화 요구와 새로운 경제적 방제 전략의 개발로 생물종 다양성 유지에 크게 기여할 것이다. 결과적으로 생물적 방제로 인한 자연 생태계 보존과 건강한 먹이그물의 보전이 가능하게 되어 해충 방제 전략에 새로운 전기를 마련할 수 있을 것이다. 본 연구로 천적 곤충의 대량사육과 그 산업화는 산림 해충 방제뿐 아니라 다른 모든 유사 해충 방제 전략에 이용케 되어 선도적 방제 전략으로 자리잡을 수 있을 것이라 생각된다.

2. 연구개발의 범위

본 연구과제를 수행하기 위하여 전국 솔나방 발생지와 피해지의 주기적 현지답사와 채집 활동으로 기생천적과 포식성 천적의 종 구성, 억제 우선순위를 파악하며 건전한 인접지역을 조사 지역으로 선정하여 비교 분석하였다. 알기생천적을 선발하기 위하여 기주곤충 및 대체 기주를 이용하여 알트랩을 제작하여 알기생천적을 선발하였으며 솔나방 발생지역엣 유충을 영기별로 포획하여 기생성천적을 선발하였고 증식이 가능한지 실험하였다. 또한 이러한 천적은 대체기주와 인공기주를 사용하여 대량 증식할 수 있는 방법을 연구하였다.

지표층에서 천적으로 억제효과를 갖는 개미종류를 중심으로 종 구성, 계절적 변동 현황을 주기적으로 조사하였다. 유망종으로 선발된 기생천적이나 포식성 천적들은 인공적으로 증식시킬 수 있는 다양한 기법을 개발하였으며 자연에서 더욱 쉽게 증식하고 그 억제 기능을 최대화 할 수 있는 생태학적 개선 방법도 개발할 수 있도록 하였다.

대량 인공증식된 천적은 피해지에 적극 방사하였으며 그 피해를 억제할 수 있도록 실용화하여 억제효과를 생태학적으로, 그리고 통계적으로 밝히도록 노력하였다. 모든 실험조사는 연구실과 실험실, 그리고 야외현지의 정기적 조사로 실시되었다. 야외 방사 실험은 솔나방 발생지와 임의 제작된 실험구에서 실시하였다. 특히 대체기주 및 인공기주에 관한 정보를 얻기 위하여 중국의 관계 연구 기관과 전문가들과의 직접 방문 및 자문으로 대체 기주와 관련한 문제를 해결하였다.

제 2 절 연구개발 내용

1. 솔나방 자체의 생태와 대발생원인의 규명

솔나방과 솔잎혹파리의 경쟁 관계를 규명하고, 경쟁이 피해양상에 어떤 영향을 주었는지를 밝혀, 솔나방 발생전망에 필요한 자료를 제공하기 위하여 실시하였다. 솔나방의 생태를 조사하기 위하여 본 연구기간동안인 1997년부터 2000년까지 전국솔나방 발생지역에서 채집된 솔나방 유충을 실내에서 사육하고 각 영기별 발육기간을 조사하였다. 이상은 소나무와 리기다소나무를 먹이로 달리하여 실험하였다. 솔나방의 월동 유충을 조사하여 월동 유충 밀도와 기생 천적종을 조사하였다. 솔나방 피해 발생지를 대상으로 한 조사에서는 솔나방의 발생 밀도를 표본조사법으로 조사하였고, 각 충태별 밀도의 변화를 조사하였다. 또한 솔나방의 분산의 방향성을 조사하는 실험을 병행하여 실시하였다. 솔나방이 국지적으로 대 발생하는 원인을 밝혀내기 위하여 발생지역에서 충태별로 유충을 채집하여 실내에서 사육하여 천적상을 조사하였고 솔나방 발생지의 주변환경을 조사하였다.

솔나방과 솔잎혹파리와의 경쟁관계를 규명하고, 먹이선호성등 솔나방 자체의 생태변화를 밝히기 위하여 임업연구원에서 자료조사를 바탕으로 전국 솔나방 발생지의 주기적인 조사와 실내 실험을 병행하여 조사하였다.

2. 솔나방 개체군 동태 조사

전국 각지의 솔나방 발생지역을 대상으로 주기적인 밀도조사를 실시하여 개체군의 동태를 조사하였으며 동시에 천적에 의한 영향을 평가하였다. 조사된 자료는 통계처리를 통하여 분석하였으며, 솔나방의 분산요인과 방향성에 관하여 조사하였다. 솔나방이 2화기 발생하면서 피해가 가중되고 확산 면적이 넓어지는 것을 확인하기 위하여 입장의 솔나방 발생지역을 대상으로 솔나방 발생지와 반경 1㎞ 이내 주변의 송림을 주기적으로 표본 조사하여 솔나방의 2화기 분산에 관하여 조사하였다.

3. 효과적 천적자원의 발굴 및 억제효과 평가 연구

천적자원의 발굴 및 효과 평가는 주로 알기생천적을 대상으로 하였다. 그 이유는 청산도의 유충기생천적을 실내 사육하려하였으나 기주의 사육 곤란으로 인해 어려웠으며 유충단계의 천적들이 발육기간이 길어 실제 적용이 곤란하였기 때문이다. 알기생천적의 발굴은 주로 솔나방 발생지역에서 채집한 송충알벌을 조사하였으나 최근의 조사결과에서는 알기생천적의 자연 밀도가 낮거나 없는 실정이었다. 또한 월동 기주인 어스렝이 나방의 채집은 불가능하였다. 따라서 야외의 천적을 선발하기 위하여 알트랩을 설치하였고 기주 가능성이 있는 도토리나방의 월동알을 채집하여 선발된 알벌을 대상으로 실험하였다. 알기생천적의 억제 효과는 실내 실험에서 사육상을 이용하여 실험하였으며, 야외에 방사하여 실제 효과를 평가하였다. 또한 송충알벌을 유인하는 카이로몬으로 알려진 트리코젠(n-tricosane)을 이용한 실험을 병행하였다. 유망천적 곤충의 발굴 및 억제 효과를 비교 연구하기 위하여 솔나방 충태별 포식, 기생효율을 비교하였고 지표성 천적곤충들의 현황과 억제 효과를 분석하였다. 솔나방 발생지역을 대상으로 솔나방의 피해현황을 정밀 조사하였고 솔나방의 생태를 조사하였다. 그리고 채집된 천적을 증식하여 실내 및 야외방사실험을 실시하여 효과를 평가하였다.

4. 효과적 천적 곤충의 대량 증식 기술 확립과 체계 확립

송충알벌의 대량 증식 기술은 지난 60년대 국내에서도 연구된 바 있다. 하지만 당시 사용한 기주는 솔나방으로 현실적으로 실내에서 대량증식하기 어려우며 증식 후 난의 수거가 용이하지 않아 송충알벌의 대량증식에는 적절하지 않은 것으로 생각되었다. 따라서 본 연구는 대체기주와 인공기주를 이용한 대량 증식기술을 연구하고, 실제로 이용할 수 있도록 하였으며 더불어 대체기주와 인공기주를 사용하여 사육된 알벌의 생물학적 특성을 비교 연구하였다. 알기생천적의 대체기주로는 산누에나방의 알을 이용하였으며 인공기주는 본 실험실에서 자체 제작된 인공알을 이용하였다. 유충의 대체기주로는 인공사육이 가능한 매미나방의 유충을 시도하였다.

5. 천적 곤충의 대량 방사기술 및 효과 검증 연구

대량 증식된 천적의 보관, 운반, 방사법을 개발하였다. 대량 증식된 알벌을 방사하기 위하여 방사트랩을 자체 제작하였고. 또한 솔나방 발생 지역을 대상으로 방사하여 기생률의 효과를 검증하였다. 야외의 송림조건에서 알기 어려운 밀도 조건에 따른 송충알벌의 분산과 기생률 변화를 조사하기 위하여 인공적으로 조림한 송림에 솔나방 알카드를 설치하여 기생률과 분산 등 효과를 조사하였다.

6. 기생 천적 곤충의 실용화 체계 구축

조사된 천적곤충 종 중 실제로 활용 가능한 송충알벌을 대량 증식하기 위한 시스템을 만들기 위하여 대체기주의 구입, 단가 및 사육실 공간, 사육장비, 인건비 등을 계산하여 경제적 타당성을 조사하였다.

제 2 장 솔나방 자체의 생태와 대발생원인의 규명

제 1 절 서 설

솔나방은 우리 나라 토착해충으로서, 이조 시대부터 소나무에 막대한 피해를 준 대표적인 산림해충이다. 그러나 70년대 이후 피해가 급격히 감소하여, 현재는 경기와 충남 등 내륙의 일부지역과 서, 남해 도서지역에서만 피해가 발견되고 있다. 그러나 솔나방의 과거 피해양태로 볼 때, 앞으로 피해가 상승하여 다시 큰 피해를 발생할 가능성이 상존 한다고 할 수 있다. 따라서 본 연구는 과거 피해양상과 현재 피해분포실태의 분석을 통해, 최근의 피해감소 원인과 앞으로의 발생 가능성을 밝히는데 그 목적이 있다.

솔나방과 솔잎혹파리는 우리 나라 소나무의 주요해충들이다. 솔나방은 70년대 초반까지 전국적으로 만연하여 많은 피해를 낸 주요 해충이었으나, 70년대에 이후 솔잎혹파리의 세력이 전국적으로 확산되면서 솔나방의 피해는 급격하게 감소되었고 1980년대에 이후 거의 발견하기 어려울 정도로 피해가 줄어들었다. 현재 솔나방은 제주도를 위시한 서, 남해 도서지방의 해송림과 내륙지역에서는 경기도 이천 등지의 리기다소나무림에서만 피해를 발생하고 있다. 즉 솔나방은 주요 피해수종이었던 적송림에서는 거의 피해를 내지 않고, 리기다소나무림과 해송림에서만 발생하는 흥미로운 피해양상을 나타내고 있다. 두 해충의 연차별 피해발생은 서로 역상관이 뚜렷하고, 솔나방의 피해수종의 변화에서도 경쟁의 증거가 나타나고 있다. 두 해충은 모두 솔잎을 가해하는 해충이기 때문에 먹이경쟁은 불가피할 것으로 전망된다. 만일 두 해충간의 경쟁관계가 피해양상에 영향을 미친다면, 이에 대한 연구는 솔나방 피해를 예측하기 위해 시급히 필요하나 아직 이에 대한 연구는 없는 실정이다.

본 연구는 솔나방과 솔잎혹파리의 경쟁 관계를 규명하고, 경쟁이 피해양상에 어떤 영향을 주었는지를 밝혀, 솔나방 발생전망에 필요한 자료를 제공하는 것이다.

제 2 절 재료 및 방법

가. 피해분포 분석

1) 솔나방 피해실태 조사

솔나방의 피해임지를 방문하여 피해정도와 피해수종을 조사하였다. 특히 최근에 발견되고 있는 솔나방의 리기다소나무 선호경향을 확인하기 위하여, 피해임지 주변지역의 적송의 피해여부를 관찰하였다. 1999년 5월에는 최근 상습적인 피해를 발생하고 있는 경기, 충청지역을 순회하며 피해실태를 조사하였고, 9월에는 피해가 거의 사라진 강원과 경북의 적송지대에 대한 피해잔존 여부를 조사하였다.

2) 솔나방 피해분포 변화

솔잎혹파리의 확산이 솔나방의 피해감소에 영향을 미쳤는지를 검정하기 위하여, 임업연구원의 병해충예찰조사 자료(1968-1998)를 이용하여, 시, 군별 피해분포를 분석하였다. 조사기간은 솔나방이 전국적으로 만연했던 60년대 말과 70년대 초반(1968-1971), 솔나방이 급격히 감소하였던 70년대 후반기(1976-1980), 및 90년대(1990-1998)로 나누어 시, 군별 피해발생여부를 조사하였다. 솔잎혹파리의 확산이 솔나방의 피해감소에 미친 영향의 분석은 솔나방의 발생 시군 수가 비교적 많았던, 솔나방 만연기(1968-1971) 과 솔나방 감소기(1976-1980)에 대해서 실시하였고, 90년대의 경우에는 솔나방의 발생 시군 수가 적어 제외시켰다.

분석 대상 기간 중 솔잎혹파리의 피해분포는 분포지, 확산지, 미 분포지의 3가지로 분류하고, 각 피해분포별로 솔나방 발생 시군, 피해소멸 시군 과 신규피해발생 시군 및 미 발생 시군 의 빈도를 분석하였다. 독립성 검정(χ^2-test)을 이용하여, 두 해충간의 피해영향을 분석하였다. 솔잎혹파리의 피해분포의 분류방식은 다음과 같다.

* 분포지: 솔나방 만연기(1968-1971)에 솔잎혹파리가 분포한 지역,
* 확산지: 솔나방 감소기(1976-1980)에 확산된 지역,
* 미 분포지: 솔나방 감소기(1976-1980)에 미 확산된 지역.

만일, 솔잎혹파리의 확산이 솔나방의 피해감소에 영향을 주었다면, 피해소멸지역의

빈도는 분포지, 확산지, 미 분포지 순으로 높게 나타나고, 신규피해발생 지역의 경우에는 반대의 양상을 띠리라 예상된다.

나. 경쟁관계 조사

1) 솔잎의 피해 흔 조사

솔나방의 솔잎혹파리 충영엽 섭식 여부를 구명하기 위하여, 솔나방과 솔잎혹파리가 혼재 발생하는 제주도, 청산도, 석모도 등에서 솔잎을 채취하여, 건전엽과 충영엽의 솔나방 식흔을 조사하였다. 조사는 1998년 동기 및 1999년 춘기에 실시하였다. 각 조사지역에서 30-50본의 피해목을 임의 선정하여, 본당 10개씩 신엽을 가진 가지를 채취하였다. 피해흔간의 관계를 밝히기 위하여, 독립성검정(χ^2-test)을 실시하였다.

2) 수종별 솔나방 성장률 조사

내륙지역에서 솔나방의 피해가 리기다소나무에만 집중되는 원인이 소나무 수종이 솔나방의 성장률에 영향을 주기 때문인지를 밝히기 위하여, 적송, 해송 및 리기다소나무의 잎에서 사육된 유충의 성장률을 비교하였다. 유충은 평택의 리기다소나무림에서 채집된 2령충을 이용하였으며, 충별로 각 수종의 잎을 넣은 페트리디쉬에서 사육하면서(Fig. 1), 매일 체장과 두폭을 측정하였다. 수종별로 20반복 조사하였다. 본 보고에서는 7월 16일부터 8월 13일까지 조사한 결과이다. 성장률은 사육개시일과 최종일의 체장(체장 성장률)과 두폭(두폭 성장률)의 비율로서 나타내었고, 조사 기간 중에 사망된 개체수를 투입된 개체수(20)로 나누어 사망률을 계산하였다.

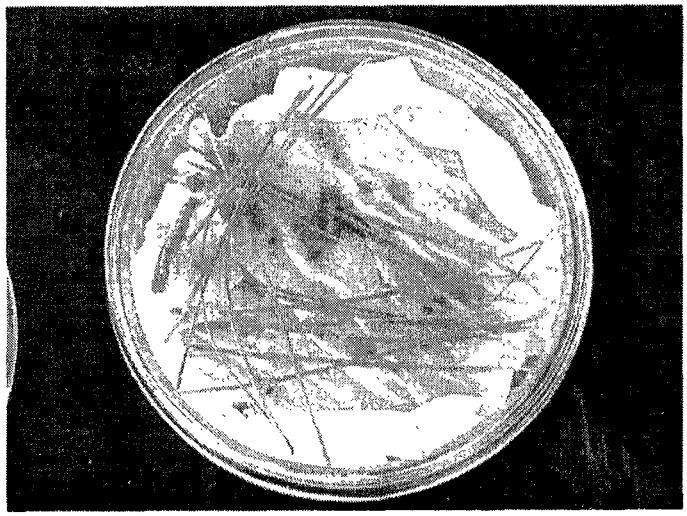


Fig. 1. Pine moth, *Dendrolimus spectabilis* larva

3) 솔나방의 먹이 선호성 조사

해송 피해발생지역인 제주도와 리기다소나무 피해발생지역인 석모도에서 4-6령충을 채집하여 먹이 선호성 조사를 실시하였다. 물을 담은 삼각플라스크에 리기다소나무, 해송, 적송의 가지를 꽂은 후, 유충을 접종하고 망사를 씌워 사육을 하였다. 10여일 후에 소나무종류별로 솔나방의 식흔 여부를 조사하였다. 각 지역별로 50반복 조사하였다.

분활표(contingency table)를 이용하여, 수종에 대한 선호성이 없다고 가정했을 때의 식흔 관찰엽 수의 예상치를 구한 후, 다음 식에 의해 각 수종에 대한 선호도를 계산하였다.

$S_i = O_i/E_i$ (S_i = i 종의 선호도, O_i: 식흔이 관찰된 엽수, E_i : 예상된 식흔관찰엽수)

4) 솔나방의 산란 선호성 조사

사육상에 리기다소나무, 적송, 해송의 가지를 꽂은 삼각플라스크 3개를 놓은 후, 우화한 성충을 투입하여 산란 선호성을 조사하였다(Fig. 2). 실험곤충은 평택지역의 리

기다소나무림에서 채취한 번데기에서 우화한 성충을 이용하였다

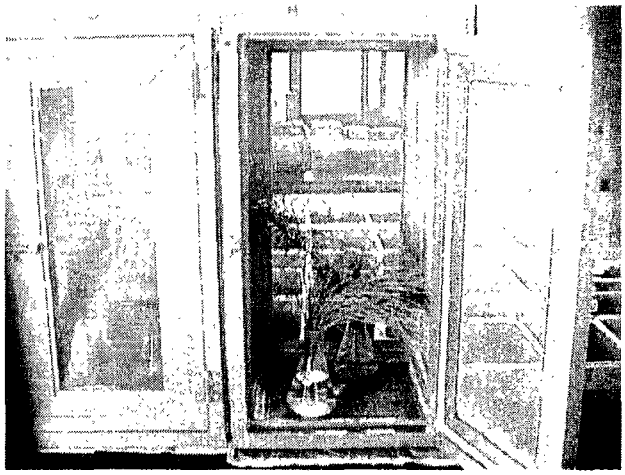


Fig 2. Rearing cage for investigation ovipositional preference of pine moth, *Dendrolimus spectabilis*

제 3 절 결과 및 고찰

가. 솔나방 피해실태

1999년의 솔나방피해발생지는 Table 1과 같다. 경기지역의 피해실태조사 결과, 1998년에는 경기 오산, 여주, 시흥 등지에서 피해가 발생하였으나, 1999년에는 피해가 소멸하였다. 1999년 6월 이후 경기와 충, 남북의 일부지역에서 피해가 발견되었으며, 제주도나 청산도 등 도서지역에서의 피해는 현저히 줄어들었다. 피해지는 대부분 민가, 도로, 휴게소 등 주위에 성충을 유인할 수 있는 광원이 풍부한 곳이었다.

Table 1. Infested area and host plants of pine moth, *Dendrolimus spectabilis* (1999)

Site	Infected area	Host plant	Remarks
Kyodong Kangwha, Incheon	over 10 ha	*Pinus rigida*	All area was infested
Godeok Yulpo Pyeongtaek, Kyeonggi	0.7ha	*Pinus rigida*	Wilt
	10ha	*Pinus rigida*	Wilt
Godeok Dureung Pyeongtaek, Kyeonggi	3ha	*Pinus rigida*	Recover
Wongok Anseong, Kyeonggi	5ha	*Pinus rigida*	Wilt
Bugi Chungwon, Chungbuk	5-6ha	*Pinus rigida*	Recover
Ipjang Cheonan, Chungnam	1ha	*Pinus rigida*	
Sinchang Asan, Chungnam	0.1ha	*Pinus rigida*	Front of the apartment

피해발생지는 모두 리기다소나무로, 적송의 피해는 발견되지 않았다. 90년대 들어 솔나방은 내륙지역에서는 경기, 충청 남, 북도의 리기다소나무림과 서, 남해의 해송림에서 주로 발생하며, 내륙지역에서 90년대 중반이후 리기다소나무림에서의 피해발생 경향이 심화되고 있다. 솔나방의 피해가 경기와 충청 남, 북에 집중되는 원인은 이 지역에서 리기다소나무 조림지가 다른 지역에 비해 월등히 많기 때문일 것이다 (Table 2).

Table 2. Percentage of the needle leaf tree forest such as *Pinus densiflora* and *Pinus rigida* in each Province

Povince	*Pinus densiflora* (소나무)	*P. koraiensis* (잣나무)	*Larix leptolepis* (낙엽송)	*P. rigida* (리기다소나무)	The others	*P. densiflora* (소나무) (%)	*Pinus rigida* (리기다소나무) (%)
Kyeonggi	22,118	54,606	33,315	76,082	54	11.9	40.9
Kanfwon	229,510	48,940	105,772	2,483	0	59.4	0.6
Chungbuk	58,218	9,659	62,369	33,798	436	35.4	20.5
Chungnam	116,046	5,817	15,212	95,970	1,588	49.5	40.9
Kyeongbuk	406,395	21,088	104,777	27,944	0	72.5	5.0
Kyeongnam	300,893	4,186	22,079	24,203	8,684	83.6	6.7
Junbuk	124,981	14,885	31,448	52,305	3,859	54.9	23.0
Junnam	334,132	1,127	1,426	52,263	61,636	74.2	11.6
Jeju	17,132	0	2	325	6,833	70.5	1.3

나. 솔나방 피해분포의 변화

솔나방은 70년대 초반까지 전국적으로 만연되었으나, 1972년 이후 피해가 급격히 감소하여 80년대 이후에는 일부지역에서만 피해가 나타나고 있다(Fig. 3, 4). 솔나방의 피해가 급격히 감소하던 70년대는 솔잎혹파리의 피해가 급증하는 시기에 해당된

다. 솔잎혹파리는 1920년대에 외국에서 유입된 외래해충으로서, 1929년에 목포와 서울에서 발견되었다. 침입초기에는 확산속도가 매우 완만하였으나 60년대와 70년대에 들어 피해면적이 급격히 늘어나기 시작하여 90년대 중반에는 전국적으로 분포하고 있다(Fig. 5). 이처럼 솔잎혹파리의 피해가 폭발적으로 늘어나는 시기에 솔나방의 피해가 급감한 사실은, 솔잎혹파리 급증이 솔나방 피해감소의 원인중의 하나일 가능성을 시사한다고 하겠다.

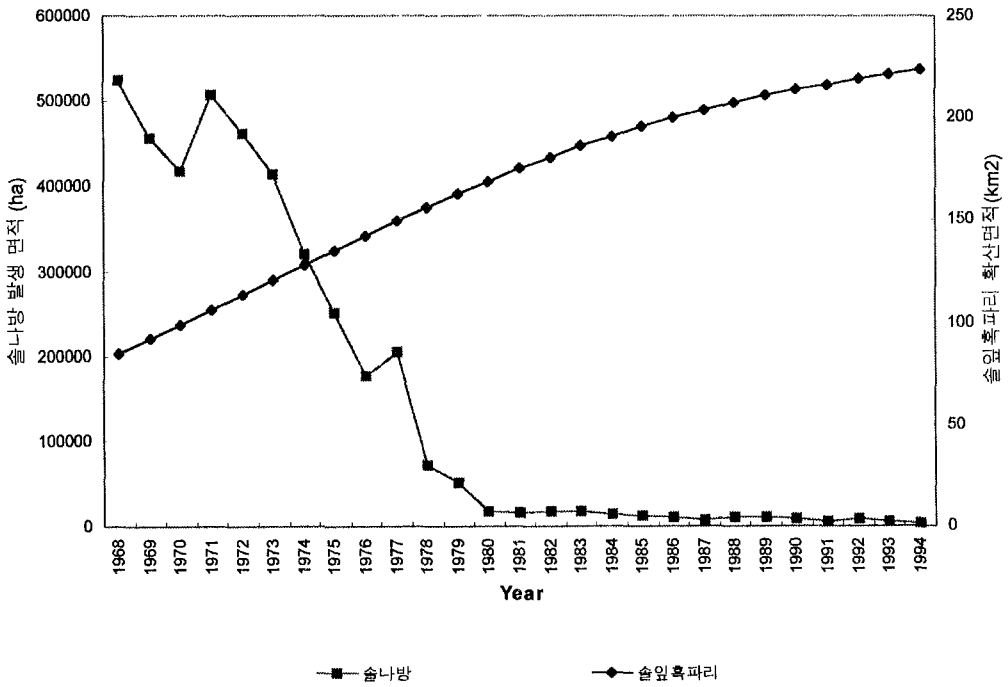


Fig. 3. 솔나방과 솔잎혹파리의 연차별 피해변화. 솔나방 피해면적은 임업통계연보자료를 이용하였고, 솔나방 확산면적은 산림병해충 예찰조사자료를 이용한 다음의 logistic 방정식을 이용하여 구함. $S=240.9/(1+6979.01\times\exp(-0.12\times Y)$(S; 확산면적, Y: 연도).

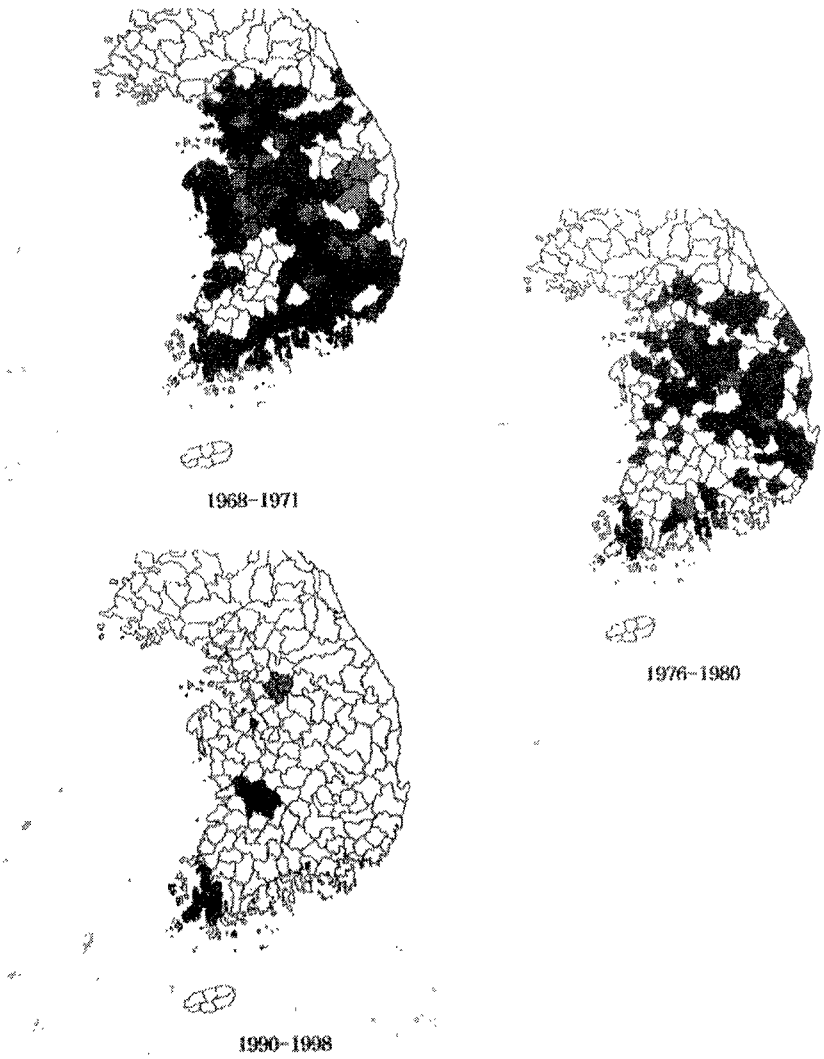


Fig. 4. Distribution of pine moth. blue: light infested area, red: heavy infested area.

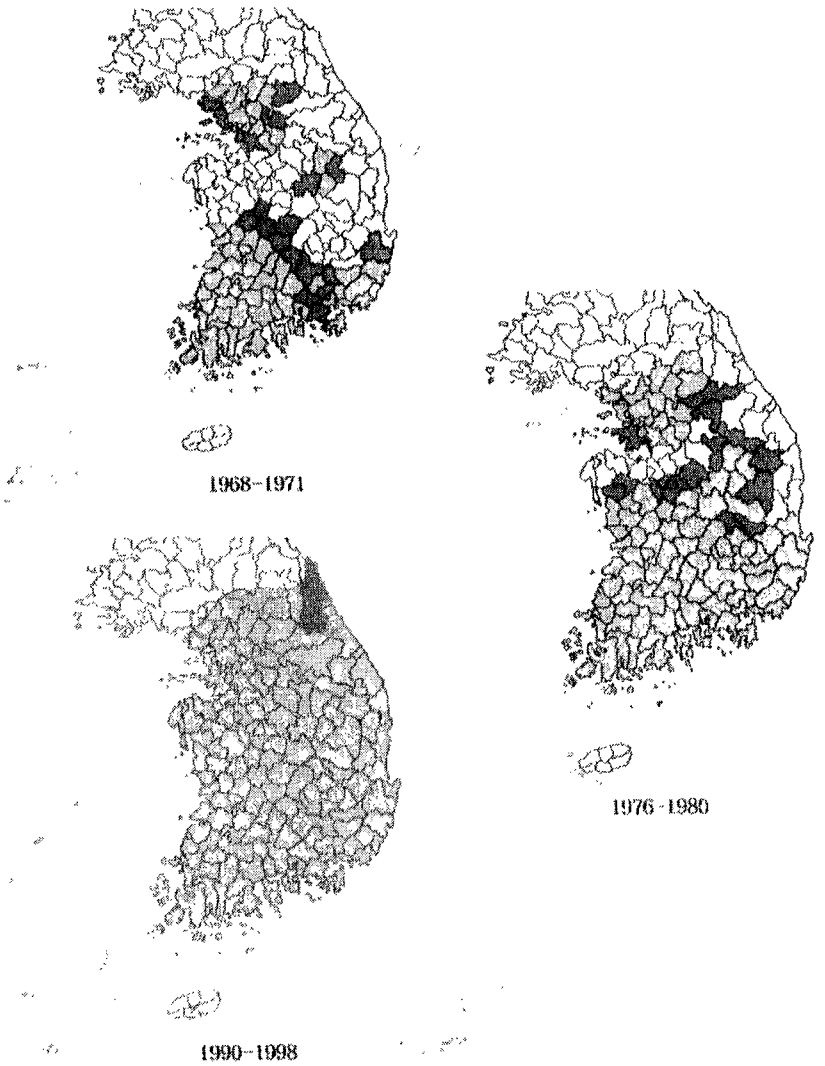


Fig. 5. Infested area of pine gull midgth. yellow: infested area, red: heavy infested area.

두 기간 중 솔나방과 솔잎혹파리의 피해분포를 비교한 것이 Table 3이다. 솔나방의 피해분포 카테고리 중 가장 관심의 대상이 되는 발생 소멸한 지역을 보면, 솔잎혹파리가 기분포한 시군 수는 40개로 예상치인 35.8에 비해 높음에 비해, 솔잎혹파리가 침입하지 않은 시군 수는 6개로 오히려 예상치인 9.2에 비해 낮게 나타났다. 솔잎혹파리가 새로 침입한 시군 의 경우에는 관측치와 예상치가 거의 비슷하였다. 독립성 검정결과(χ^2 = 13.67, $p < 0.05$) 유의하게 나타나, 솔잎혹파리의 확산은 솔나방 피해감소에 영향을 준 것으로 사료된다.

Table 3. 솔나방과 솔잎혹파리의 피해분포별 시군 수. 괄호 안은 두 해충간의 영향이 없다고 가정시 예상치.

		솔나방 피해특성			
		발생	신규발생	발생소멸	미발생
솔잎혹파리 피해분포	분포지	31(34.0)	2(4.3)	40(35.8)	24(22.9)
	확산지	17(12.3)	3(1.6)	12(12.9)	3(8.2)
	미분포지	7(8.8)	2(1.1)	6(9.2)	10(5.9)

솔나방 피해의 신규발생과 발생 소멸한 지역(시군)의 상대빈도를 나타낸 것이 그림 6이다. 솔나방의 신규피해발생지역은 솔잎혹파리가 분포한 시 군중 2%로서, 미분포지역(8%)와 확산지역(8.6%)의 1/4수준에 불과하다. 확산지역에서 신규 피해 발생 시 군의 비율이 가장 높은데 이는 이 지역에서 솔나방의 피해변화가 심함을 나타내는 것으로 사료된다. 발생 소멸한 지역의 경우, 솔잎혹파리 분포지에서는 41%, 확산지에서는 34%, 미 분포지에서는 24%로서, 가정과 일치하여 솔잎혹파리가 솔나방 피해소멸에 직접적인 영향을 미친 것으로 사료된다.

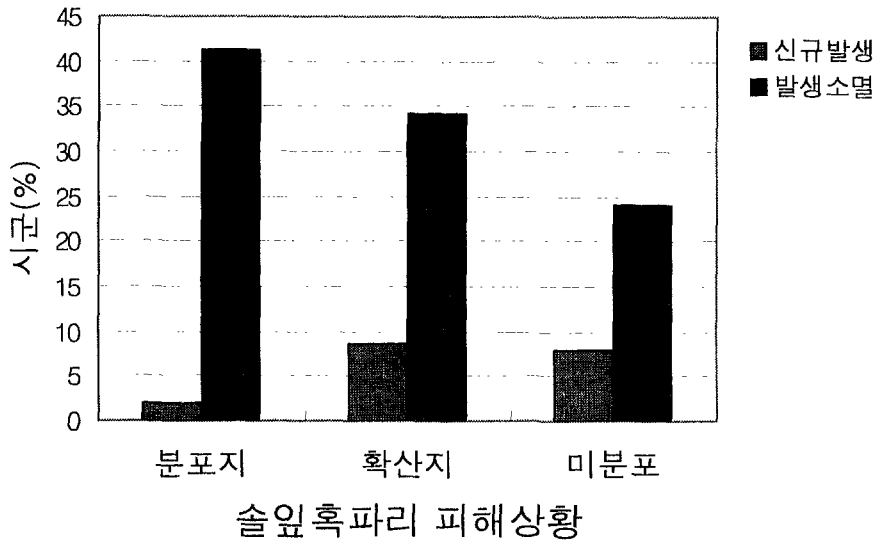


Fig. 6. 솔나방 신규발생과 발생소멸 지역(시군)의 상대빈도(%)

다. 솔나방 피해수종의 변화

솔나방의 상습피해발생지(해당 기간 중 80% 이상 피해 출현한 시 군)는 솔나방 만연기(1968-1971)에는 주로 중부권의 적송림 지역에서 나타난다(Fig. 4). 그러나 솔나방 급감기(1976-1980)에는 상습피해발생지가 급격히 줄어듦과 동시에 적송림지대, 중부권의 리기다소나무림 지역, 전남의 해송림 지역 등으로 변화된다. 1990년대에 들어서는, 상습피해발생지역은 경기 이천과 여주의 리기다소나무 조림지역에만 한정하여 나타난다. 이처럼 상습피해발생지의, 피해수종이 적송에서 적송, 리기다소나무, 해송, 그리고 리기다소나무로 천이되는 것은(그림 7), 솔나방이 솔잎혹파리와의 먹이경쟁에서 밀려, 먹이식물이 점차 변화하는 것으로 여겨진다.

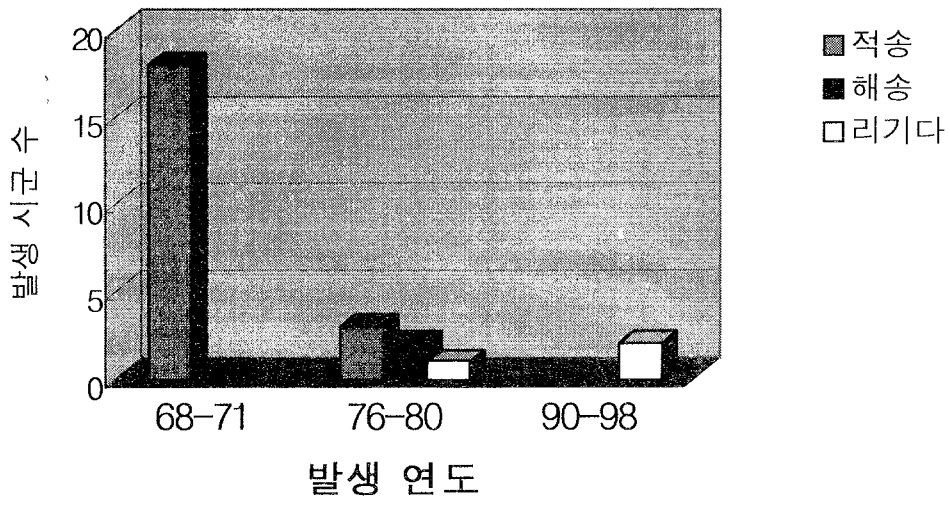


Fig. 7. 솔나방 상습피해발생지역의 피해수종.

임업연구원에서 실시하고 있는 특정지역의 병해충조사자료를 분석한 결과, 조사지역에서 1980년대 초반까지는 대부분 솔나방이 적송을 가해하였으나, 80년대 이후 피해수종이 점차 다양화하는 것으로 나타나(Fig. 8), 솔나방의 피해면적이 바닥권에 도달한 80년대 초반부터 솔나방이 적송보다는 솔잎혹파리의 피해를 받지 않는 다른 수종으로 먹이식물을 변화시킨 것으로 사료된다. 이번 피해실태조사에서도 피해지역은 모두 리기다소나무림으로 나타나(Table 1), 내륙지역에서 솔나방의 먹이식물은 과거에는 적송이었으나 현재는 리기다소나무로 변화되었다.

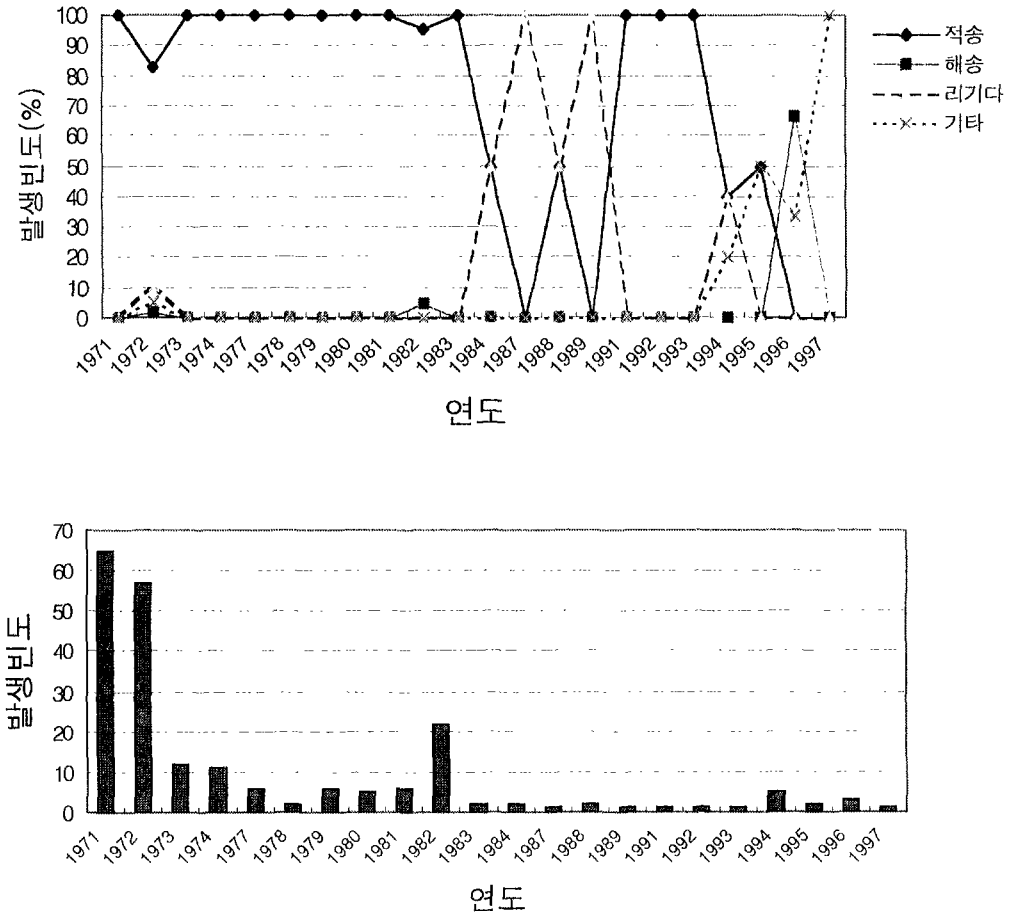


Fig. 8. 특정지역에서의 솔나방 피해수종

라. 리기다소나무를 선호하는 이유

1) 유충의 먹이선호성

가) 솔잎혹파리충영엽에 대한 먹이선호성

솔나방 유충의 솔잎혹파리 충영엽에 대한, 먹이선호 정도를 파악하기 위하여, 두 해충의 피해가 혼재한 제주도, 석모도, 청산도의 해송에서 가지를 채취하여, 두 해충의 피해흔을 조사한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. 솔나방과 솔잎혹파리 피해흔

조사장소	수종	조사시기	무피해엽	솔나방 피해엽	솔잎혹파리 피해엽	솔나방*솔잎혹파리 피해엽
제주 성판악 입구	해송	'98.12.21	8,287	12,438	168	42
석모도 적송림 4개소	적송	'99.1.21	1,880	39	545	0
청산도 도락리, 옵리	해송	'99.2.24	58,871	4,082	754	0

제주도 조사지는 성판악 진입로 해안변의 해송림이었는데, 수고는 대개 3 m 이하로 낮은 편이었다. 솔나방 피해목 50여 본에서 채취한 133가지의 솔잎에 대한 솔나방 피해흔을 조사한 결과, 솔잎혹파리 피해를 받지 않은 잎은 솔나방 피해율이 60% 인데 비해, 솔잎혹파리 충영 형성엽은 20%로, 솔나방의 피해율이 현저히 낮게 나타났다. 양해충의 피해간의 독립성 검정 결과, 유의성이 나타나($\chi^2 = 138.26$, $p < 0.001$), 솔나방은 솔잎혹파리 충영엽을 기피하는 것으로 나타났다.

석모도는 두 개의 섬이 간척지로 연결되어 있는 섬으로, 주 섬은 주로 적송과 활엽

수림으로 구성되어 있고, 부속섬은 리기다소나무 조림지가 많은 부분을 차지하고 있는데, 솔나방의 피해는 리기다소나무림이 있는 부속섬에서만 나타난다. 적송림에서는 외견상 솔나방 피해는 없었으나, 4개소에서 가지를 채취하여, 신초를 조사한 결과 경미하나마, 솔나방의 피해흔이 발견되었다. 그러나 솔나방의 피해는 모두 솔잎혹파리 충영이 형성되지 않은 잎에서 발견되어(Table 1), 솔나방은 솔잎혹파리 충영엽을 기피하는 것으로 사료된다.

청산도는 솔나방의 피해가 4-5년 간격으로 주기적으로 나타나는 상습피해발생지로서 산림의 대부분이 해송으로 구성되어 있다. 조사결과 전지역에서 피해흔이 발견되었으나, 피해정도는 매우 경미한 편이었다. 도락리와 읍리의 두 곳에서 채취한 신초를 조사한 결과, 석모도와 마찬가지로 솔나방의 피해흔은 솔잎혹파리 충영엽에서는 발견되지 않아, 솔나방은 솔잎혹파리 충영엽을 기피하는 것으로 나타났다.

나) 수종별 먹이선호성

실내에서 솔나방 유충의 먹이선호성을 조사한 결과는 표 5와 같다. 리기다소나무와 해송에서 자란 솔나방 유충 모두 특정한 수종의 소나무에 대한 선호성이 나타났다(리기다소나무, $\chi^2_{1,2} = 814.94$, $p < 0.001$; 해송, $\chi^2_{1,2} = 68.01$, $p < 0.001$). 식흔 관찰엽의 관찰치와 예상치를 이용한 선호도를 조사한 결과는 그림 9 와 같다. 리기다소나무와 해송에서 자란 솔나방 유충 모두, 적송에 대한 선호도가 가장 높았다. 리기다소나무에서 자란 솔나방 유충은 리기다소나무를, 해송에서 자란 솔나방 유충은 해송을 두번째로 선호하여, 어린 유충기에 먹었던 수종을 적송 다음으로 선호하는 것으로 나타났다. 이의 결과는 최근 관찰되고 있는 리기다소나무 선호현상은 유충의 먹이선호성 변화 때문이 아닌, 성충의 산란선호성 변화로 인한 것임을 시사하고 있다.

Table 5. 솔나방 유충의 먹이 선호성

실험에 사용된 소나무		유충이 자란 소나무			
		리기다소나무		해송	
		관측치	예상치	관측치	예상치
리기다소나무	건전엽	7,447	7,982.6	8,837	8671.9
	피해엽	2,214	1,678.4	628	793.1
적송	건전엽	8,755	9,148.5	10,485	10,649.9
	피해엽	2,317	1,678.4	1,139	974.1
해송	건전엽	10,661	9,731.8	9,969	9969.2
	피해엽	1,117	2,046.1	912	911.8

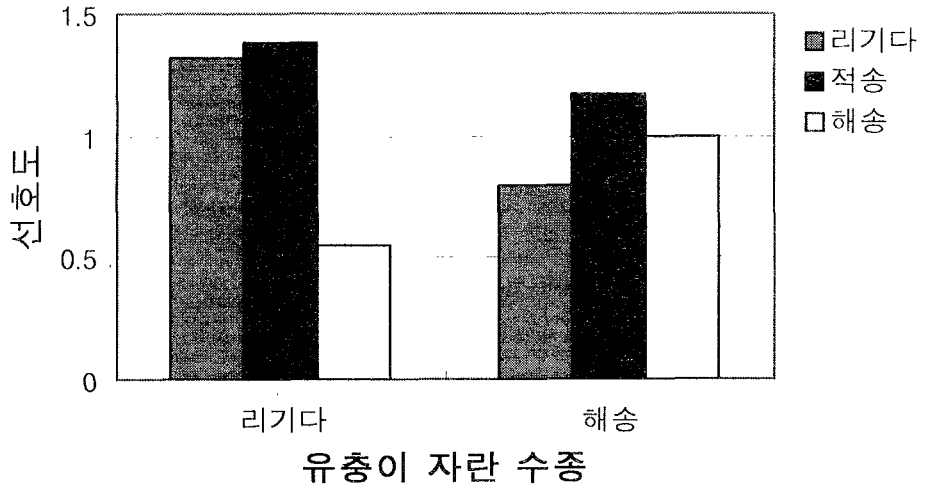


Fig. 9. 솔나방의 먹이선호도.

(2) 수종별 유충성장율

리기다소나무에서 자란 유충을 이용하여, 개체별로 각각의 소나무수종으로 사육한 결과는 표 6과 같다. 아직 실험이 진행중인 관계로 결론을 내리기는 어렵지만, 적송의 잎으로 자란 유충들이 사망률이 낮고, 성장률이 높아 적송은 리기다소나무나 해송에 비해 보다 좋은 먹이원인 것으로 사료된다.

Table 6. 소나무 수종별 솔나방 유충의 성장율(평균 ± 표준편차) 및 사망율

항목	적송	해송	리기다소나무
사육충수	20	20	20
사망충수	3	8	6
사망율	0.15	0.40	0.30
체장 성장율	0.41 ± 0.13	0.35 ± 0.12	0.39 ± 0.12
두폭 성장율	0.37 ± 0.11	0.28 ± 0.08	0.29 ± 0.09

(3) 산란 선호성

앞의 실험을 통해, 솔나방 피해수종이 적송에서 리기다소나무로 변화한 이유는 성충의 산란선호성 변화 때문인 것으로 추정된다. 산란선호성에 대한 실험에서 대다수의 성충이 소나무 잎보다는 사육상의 망사철망에 산란함으로서 산란선호성 확인에는 실패하였다. 그러나 그동안 피해발생지를 조사한 결과 솔나방의 리기다소나무에 대한 산란선호성을 나타내는 증거들이 포착되었다.

증거 1) 석모도

석모도는 두 개의 섬이 간석지로 연결되어 있는 섬인데, 주섬에는 적송이 자생하

고 부속섬에는 리기다소나무가 조림되어 있다. 솔나방은 부속섬의 리기다소나무에서만 5-6년간 발생하고 있으며, 주섬의 적송에는 피해가 나타나지 않으며 솔잎혹파리의 피해만이 발견만이 발견되었다(Fig. 10).

증거 2) 교동도

교동도에서 발견되는 소나무류는 리기다소나무였고, 적송은 길가 주변, 민가 주변, 임연부, 선창장 등에서 십여 그루 목격되었다. 솔나방 피해가 섬의 대부분 리기다소나무에서 나타나고 있으나(Fig. 11), 적송에서 피해는 목격되지 않았다(Fig. 12).

증거 3) 충남 아산 송곡리 늘봄가든 주차장

길가 3본의 리기다소나무에서 솔나방의 피해가 목격되었으나, 인접한 소나무에서는 피해가 목격되지 않았다(Fig. 13).

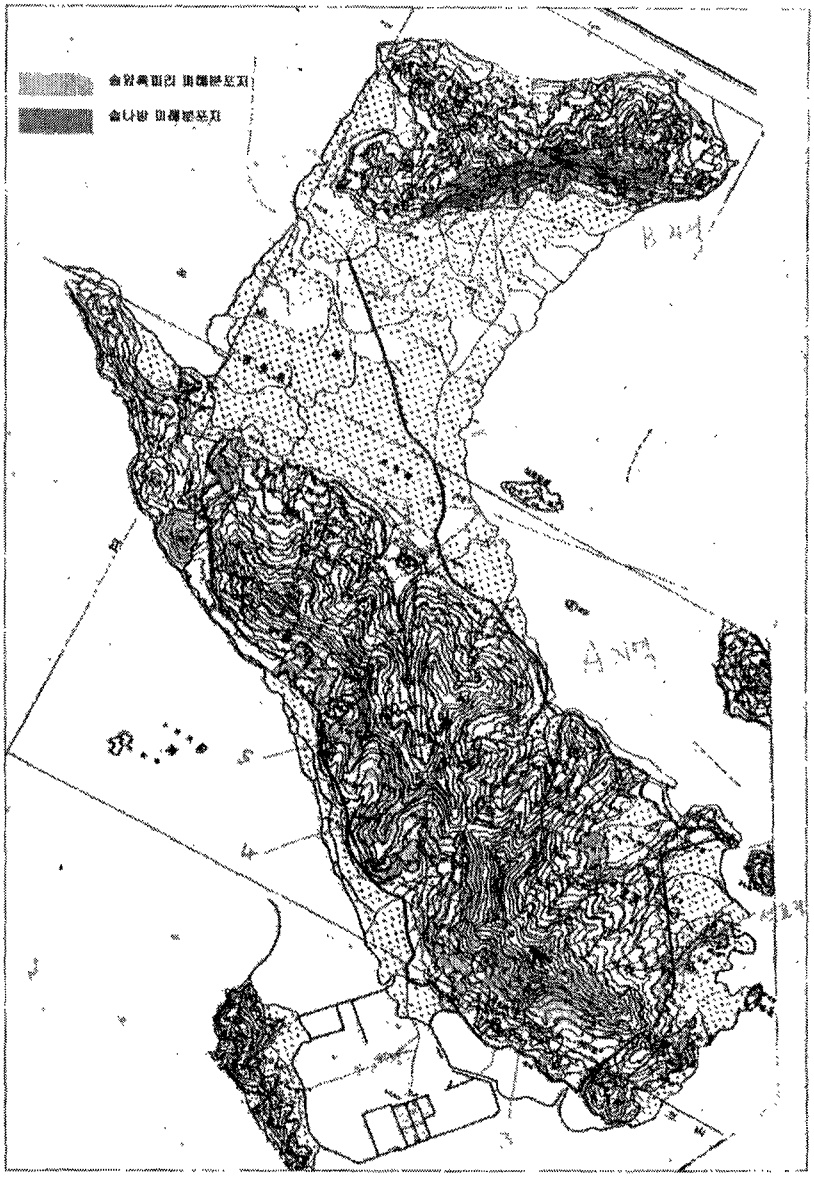


Fig. 10. 석모도의 솔잎혹파리와 솔나방의 분포 (1998)

Fig. 11. 교동 화개산의 솔나방에 의해 가해 받은 리기다소나무.

Fig. 12. 교동의 가해받은 리기다소나무와 건강한 소나무.

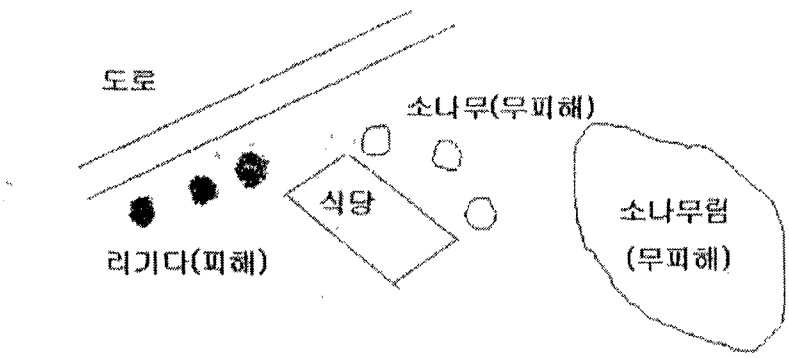


Fig. 13. 늘봄가든 주차장 솔나방 피해분포.

제 3 장 솔나방 개체군 동태 조사

제 1 절 서 설

솔나방은 산림에 경제적 피해뿐만 아니라 민간에 혐오감을 주는 산림 해충이다. 솔나방은 60년대 대 발생하여 전국적으로 문제시되는 해충으로 분류된 후 최근에는 그 밀도가 급감하여 도발해충으로 분리되어있다. 하지만 최근 일부지역에서 송림의 고사 및 민가에 대한 피해로 인해 문제가 부각되었다. 이러한 이유는 환경변화에 따른 솔나방 생태의 변화와 관계가 있을 것으로 생각되어졌다. 또한 솔나방 피해 및 생태 조사를 통하여 종합적인 방제가 가능할 것이라 사료된다. 1999년 솔나방 피해 발생지는 인천 강화 교동도 (20ha), 경기 평택 고덕 율포 1리 (0.7ha), 경기 평택 고덕 율포 2리 (10ha), 경기 평택 고덕 두릉 (3ha), 경기 안성 원곡 성은(5ha), 충북청원 북이 대룡, 추악 (5-6ha), 충남 천안 입장 연곡 (1ha - 추가적으로 8월 현재 0.5ha 정도의 6지역이 확대 발생되었다), 충남 아산 신창 남성 (0.1ha)등 8지역 이상에서 발생하였다. 발생정도에 따라 그 피해는 송림이 고사하여 회생불능 지역(충남 입장, 경기 안성등)과 회복 가능 지역(인천 교동 등)으로 크게 나누어졌다. 내륙지방에서의 발생지역은 민가와 인접한 지역으로 송림에 대한 피해와 더불어 혐오감을 야기하였다. 또한 솔나방의 발생은 인근지역으로 확산되는 경향이 있어 경기, 충남 등 내륙지역의 송림에서 솔나방이 국부적으로 발생할 가능성을 보여주었다. 화학적 방제는 그 피해를 크게 주기 시작하는 시기인 유충 6령 이후 종령기에 집중되므로 피해를 예방하기는 어려운 실정에 있다. 또한 이 시기의 솔나방을 치사시키기 위해서는 상대적으로 고농도 약제 살포를 필요로 하므로 화학적 방제에 의한 부작용이 우려되고 있다. 또한 이 시기의 솔나방은 섭식량이 커서 약 1-2주 사이에 대부분 솔잎을 섭식하므로 화학적 방제에도 불구하고 피해정도가 크다. 즉, 솔나방 발생을 확인 한 후에 화학적 방제를 실시하는 경우 그 피해를 근본적으로 해결 할 수는 없다고 사료된다.

전라남도 완도군 청산도와 인천 강화군 교동도 같은 도서 지방은 솔나방의 발생이 일화기인 반면에 입장, 평택, 안성 등 내륙지역에서 솔나방이 2화기 발생이었다. 충남 입장 및 경기 안성 지역에서 8월 이후 2차적인 피해가 생겨나 송림의 피해가 가중되었다. 일반적으로 솔나방은 1년 1화기 발생하는 것으로 알려져 있었다. 이에 본 연

구는 솔나방 밀도변화와 발생시기를 조사하였으며 개체군 동태를 분석하였다.

제 2 절 재료 및 방법

야외에서의 솔나방 밀도 조사 및 개체군 동태분석

솔나방의 밀도변동과 이에 미치는 영향을 추정하기 위하여 전라남도 청산면 도락리 일대의 야산을 site로 선정하였다. 조사는 98월 5월에서 99년 3월까지 이루어 졌다. 조사 장소는 두 곳으로 나누어서 조사하였다. 조사된 지역은 길이 250 m, 폭 150m 인 지역으로 풍향은 북서풍, 남서풍, 동남풍이었으며 풍속은 0.1m/sec에서 4.5m/sec 였다. 첫 번째 site (A)는 소나무 밀도가 13-16주/9m^{2}이며 수고는 평균 166.8 cm 이었다. 두번째 site (B)는 소나무밀도가 7-11주/9m^{2}이었으며 수고는 221.6cm이었다.

솔나방의 밀도와 충태를 조사하였고 일부 개체는 실험실로 옮겨 이들이 기생천적에 의해 기생되었는지를 조사하였다. 솔나방의 밀도조사방법은 site를 두 지역으로 구분하여 각 지역에서 소나무를 각각 30주, 20주를 임의로 선정하였다. 선정된 소나무는 수고 (樹高), 줄기직경을 측정한 후 상하 (上下)가지를 임의로 각각 1개씩 선정하여 가지 길이와 직경을 측정한 후 충태별 솔나방의 밀도를 조사하였다. 수고가 3m이상인 소나무는 조사에서 제외하였다. 조사된 자료는 1000cm^{2}를 기준으로 밀도를 산정하여 솔나방의 개체군동태를 추정하였다. 솔나방의 성충 밀도는 모니터링이 곤란하여 빈 용각을 기준으로 추정하였다.

포장에서의 천적의 역할을 조사하기 위해서 채집시기별로 솔나방 유충, 번데기 또는 난괴를 채집하여 실험실내에서 사육하며 충태별 기생률을 조사하였다.

솔나방 밀도조사는 소나무 한 주를 기준으로 상하로 나누어 조사하였으므로 소나무 주간 집중도와 상하분포의 집중도를 조사하였다. 소나무 상하위치에 따른 솔나방 산란 선호성을 알의 상하분포에 의해 분석하였다. 솔나방의 집중도는 Green index를 이용하여 산출하였다(Green, 1966).

$$\text{Green index} = \frac{(s^2/x_m)-1}{n-1}$$

여기서 x_m은 표본 평균, s^2은 표본분산, n은 조사된 표본 수이다. Green index가 0

이며 임의 분포, 0보다 크면 집중분포, 0보다 작으면 균일분포이다.

청산도 조사자료를 이용하여 솔나방 생명표를 작성하였다. 생명표는 알, 추기 유충 (1, 2, 3, 4령 유충), 월동 전 유충, 월동 후 유충, 춘기 유충 (5, 6, 7 령 유충), 번데기 및 성충으로 나누어 작성하였다. 생명표를 기준으로 개체군 동태추이 행렬 (population projection matrix)을 만들고 이를 민감성 분석 (sensitivity analysis)을 하였다. 민감성 분석은 다음 공식에 의해 산출되었다.

$$\frac{\partial \lambda}{\partial a_{ij}} = \frac{v_i w_j}{\langle w, v \rangle}$$

λ는 개체군 유한 증가율 ($r = \log \lambda$), w와 v는 각각 오른쪽, 왼쪽 고유벡터 (eigen vector), $\langle w, v \rangle$는 w와 v의 product이다. 민감도 분석은 Matlab 프로그램을 이용하여 수행하였다 (부록 참조).

솔나방의 발생이 보고된 지역에서의 밀도조사를 수행하였다. 조사지역은 경기도 안성 휴게소 인근지역, 충청도 증평군 북이면 대율리, 충청도 입장면 연곡리, 경기도 교동면 대룡리, 경기도 교동면 서한리, 경기도 석모도이었으며 각 충태별로 밀도조사를 하였다. 경기도 석모도는 소나무 수고가 낮아 청산도와 동일한 방법으로 솔나방 밀도 조사가 가능하였으나 그 외의 지역은 수고가 높아 고절가위를 이용하여 솔가지를 40cm 절단한 후 밀도를 조사하였다.

솔나방 온도발육실험

충청지역에서 채집된 번데기를 우화시킨 후 우화한 성충 암컷의 산란을 유도하여 솔나방 각 온도 조건별 발육율을 조사하였다. 온도조건은 20, 25, 28, 32 ℃이었으며 상대습도 70-75%, 광주기는 L:D=16:8 이었다. 알이 부화한 후 유충에게 2일 간격으로 신선한 리기다소나무 솔잎을 공급하였으며 이때 배설물은 제거하였다. 실험은 모든 솔나방들이 성충으로 우화할 때까지 진행되었다.

유화 등에 의한 솔나방의 발생 화기 조사

솔나방의 성충을 유화 등을 이용하여 포획하여 월별 밀도를 측정함으로써 화기변화를 조사하였다. 또한 솔나방 발생지의 유충을 조사하여 영기별로 구분함으로써 화기 변

화 및 개체군 동태 조사에 활용하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

청산도 지역에서의 솔나방 밀도 변화는 Fig. 1,3과 같다. A site의 솔나방 유충 밀도는 98년 5월, 7.85 마리/1000cm^{2}에서 7 월 2.02 마리/1000cm^{2}로 감소하였다. B site의 2.79마리/1000cm^{2}에서 0.11 마리/1000cm^{2}로 감소하여 A site가 B site보다 밀도가 높았다. 번데기 밀도 또한 A site (0.54-2.22 마리/1000cm^2)가 B site (0.13-0.69마리/cm^2)보다 높았다 (Figs. 1 and 2). 솔나방 알 밀도는 69.5-69.6 잎/1000cm^{2}로 거의 유사하였다. 솔나방은 난괴로 산란을 하였으며 난괴당 알 수는 137-339 개였다.

표 1은 조사된 자료를 바탕으로 작성한 솔나방의 생명표이다.

Table 1. Life table of *Dendrolimus spectabilis* in Chungsan island, Jeollanam-do in 1998-1999

	lx	gx	nx
Eggs	.	0.091	69.45
Larvae in autumn	0.09	0.54	6.33
Larvae before diapause	0.05	0.15	3.39
Larvae after diapause	0.007	0.50	0.49
Larvae in spring	0.004	0.66	0.25
Pupae	0.002		0.16

lx: proportion of survuving at start of stage; gx: No. surviving within stage; nx: observed live pine moth density per 1000 cm^2 pine branch.

솔나방은 알에서 부화하여 어린 유충시기에 사망률이 크다는 사실을 알 수 있다. 이 시기의 솔나방은 유충들은 강우, 고치벌과의 기생봉 천적 등의 요인에 의해 밀도

가 감소하며 전 발육기간을 통해 치사율이 가장 크다. 이후 월동 중에 솔나방 유충의 사망률이 높음을 알 수 있다. 3월중 조사는 솔나방 전 개체가 동면을 타파하지 않았을 가능성도 있으므로 이후의 조사로 이를 보충해야 할 것이다. 노령유충도 천적 등의 요인에 의해 밀도가 감소되었으나 감소정도는 심하지 않았다. 우화에 실패한 번데기는 관찰하지 못하였으므로 번데기는 거의 성충으로 우화하였다고 판단된다. 이후 조사된 기생률을 바탕으로 기생천적의 효율을 조사하고자 한다.

A site의 유충과 번데기의 Green index는 0에서 1 이하로 유충은 유충의 집중도는 크지 않은 반면에 알에 대한 집중도는 높아 솔나방은 알에서 부화한 후에 분산함을 암시한다. 유충의 집중도는 가을철에 높으므로 월동이후 종내 경쟁을 감소시키는 방향으로 분산하는 듯 하다. 이러한 경향은 B site도 같으나 A site에 솔나방 밀도가 낮은 반면에 집중도가 더 크다 (Figs. 3 and 4). 이는 이 지역의 소나무가 A site보다 커서 솔나방이 섭식에 이용할 수 있는 소나무가 한정되어 섭식 가능한 소나무에 솔나방의 분포가 집중되는 것이라 사료된다.

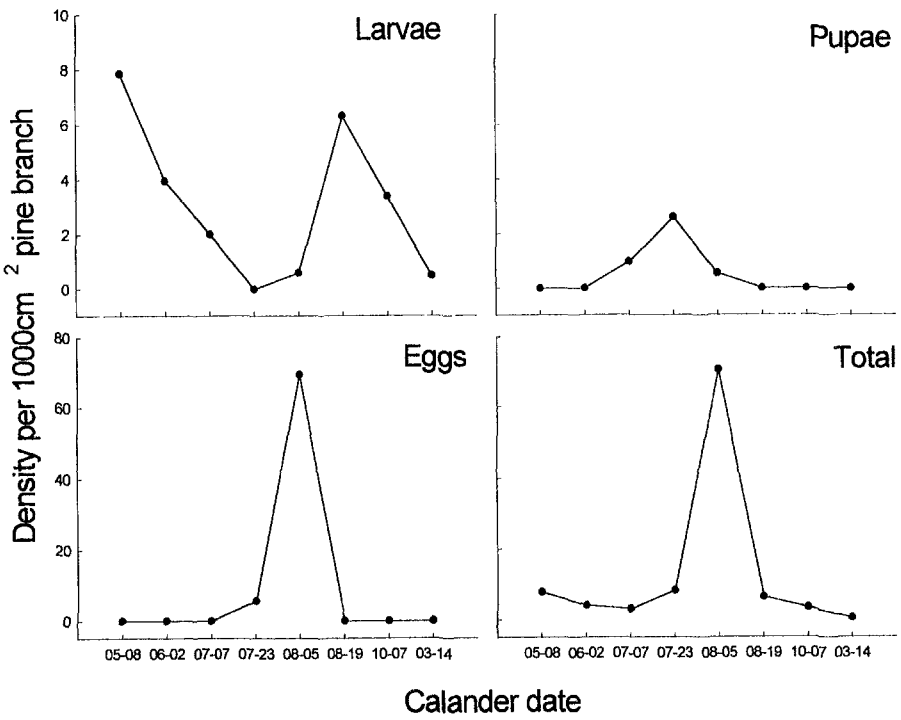


Fig. 1. Sequential changes in the density of *Dendrolimus spectabilis* at site A in Chungsan-Do, Chunla-Do in 1998-1999.

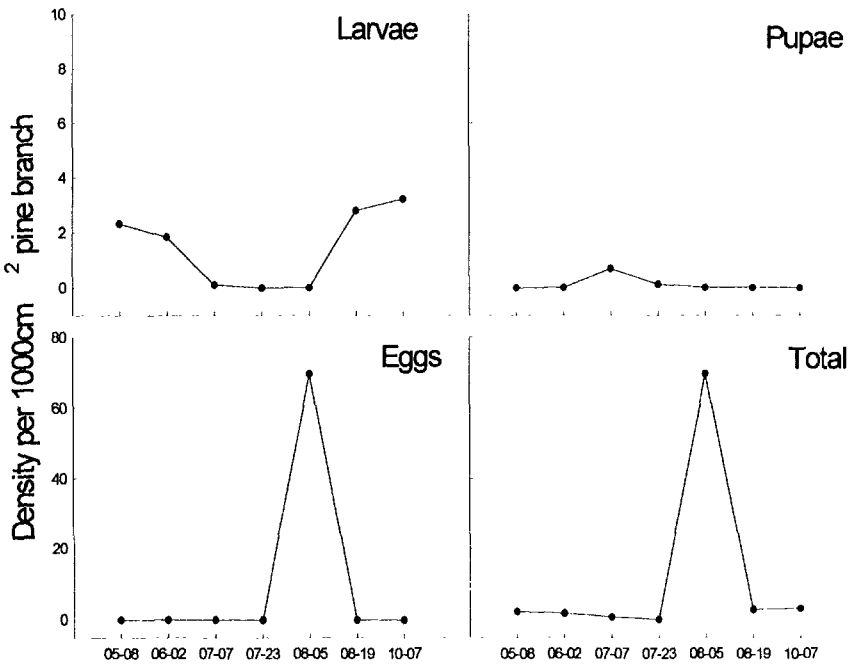


Fig. 2. Sequential changes in the density of *Dendrolimus spectabilis* at site B in Chungsan-Do, Chunla-Do in 1998-1999.

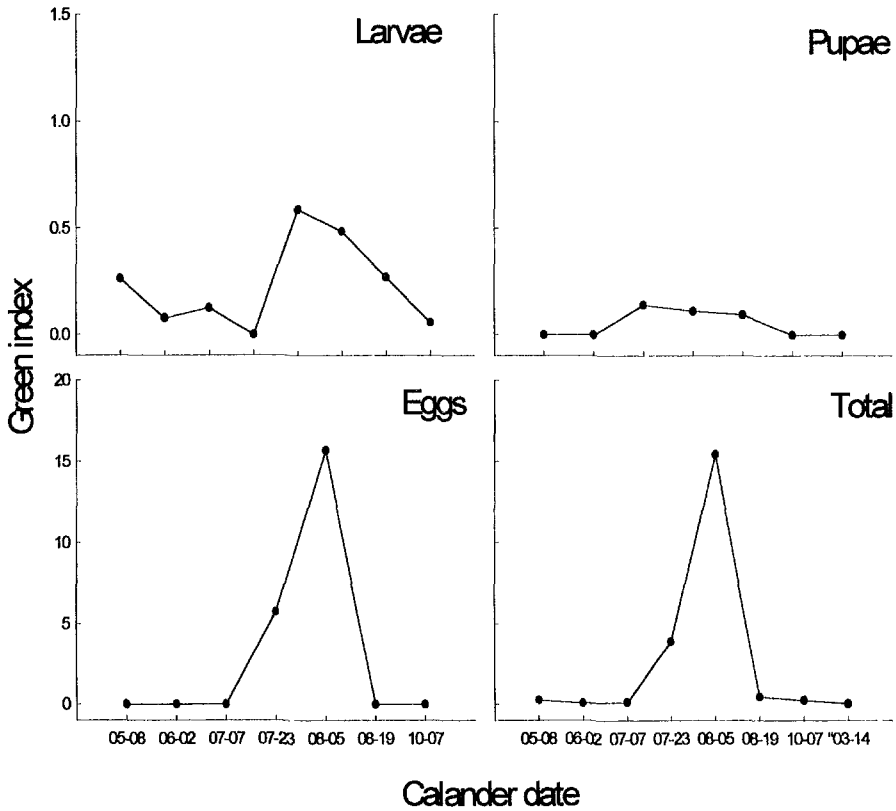


Fig. 3. Sequential changes in Green index of *Dendrolimus spectabilis* at site A in Chungsan-Do, Chunla-Do in 1998-1999.

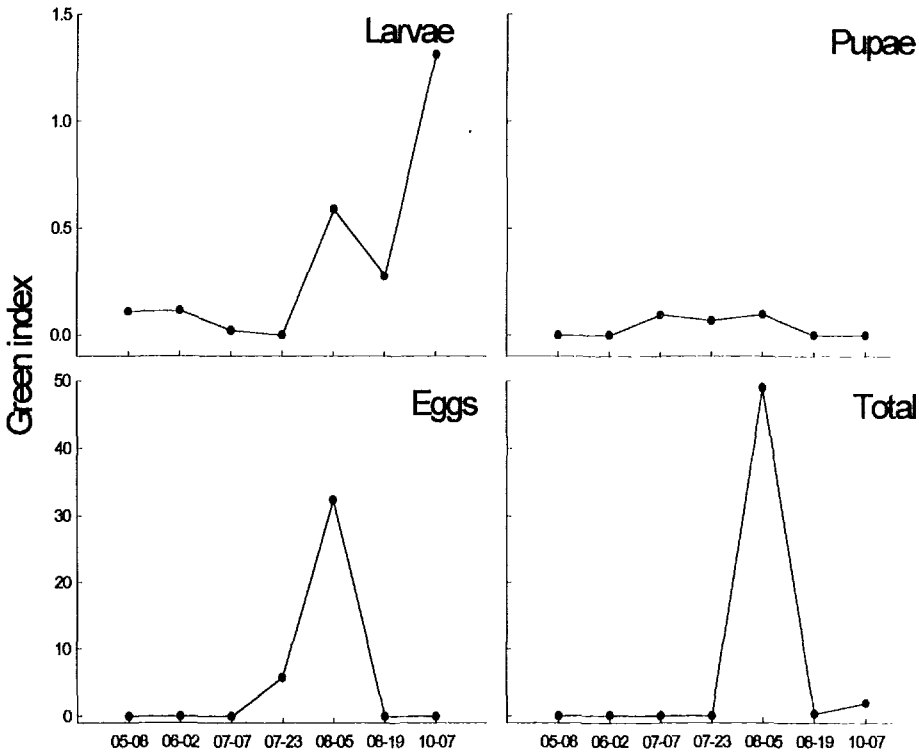


Fig. 4. Sequential changes in Green index of *Dendrolimus spectabilis* at site B in Chungsan-Do, Chunla-Do in 1998-1999.

Fig. 5. Population projection matrix of *Dendrolimus spectabilis* based on density in Chungsan island, Jeollanam-do in 1998-1999.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 69.45 \\ 0.09 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.05 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.007 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.004 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.002 & 0 \end{bmatrix}$$

Fig. 5.는 1998년 4월부터 1999년 3월까지 청산도에서 조사한 자료를 바탕으로 작성한 솔나방의 개체군 추이행렬이다. 위의 행렬은 솔나방 개체군 밀도추정에 자료로 이용될 예정이며 민감성분석을 통해 솔나방 개체군 증가율에 영향을 크게 미치는 시기를 추측하여 그 원인을 규명하고자 하였다. 위 행렬의 개체군 유한 증가율 (λ)은 0.75로 청산도의 개체군은 감소추세에 있음을 알 수 있었다.

Fig. 6은 추이행렬을 민감도 분석한 결과이다. 개체군 증가율에 가장 크게 영향을 미치는 시키는 어린 유충의 치사율과 월동 중 유충 폐사율이었다. 현재의 기후 온난화 추세를 미루어 볼 때 월동 중 유충 폐사율은 앞으로 큰 치사요인이 되지 않을 것이라 판단되며 어린 유충 치사율이 중요한 인자로 작용할 것이라 판단된다. 대 발생 예상지역에서 1-2충에 대한 효율적인 화학적 방제가 수행된다면 솔나방의 대 발생은 억제 가능할 것이라 판단된다.

솔나방이 발생된 지역의 솔나방 밀도는 Table 2.와 같다. 솔나방의 밀도는 지역간에 차이가 있었으며 안성, 입장, 증평 등 서울 이남지역의 밀도가 교동의 밀도보다 높았다 ($F=9.31$, $df=3,51$, $P<0.0001$). 또한 관찰된 솔나방의 영기구성도 교동은 1령충과 번데기인 반면에 서울이남지역에서는 3령에서 7령, 번데기가 모두 관찰되었다. 증평에서 7월중에 난괴가 채집된 사실을 고려할 때 (사적관찰), 올해 솔나방의 발생은 2회 이루어졌다고 추측된다. 이는 청산도나 교동과는 온도 등 기상조건의 차이에 의해 솔나방 개체군 동태가 상이하게 이루어짐을 보여준다고 판단된다.

솔나방 밀도는 중부지방 내에서도 차이를 보여 지역간 차이가 있음을 암시한다. 솔나방 밀도는 입장지역에서 가장 높았으며 2화기 발생정도에 영향을 받겠지만 내년 밀도 또한 높을 것으로 사료되었다. 교동지역은 다른 지역에 비해 밀도가 낮았으며 이는 기생천적 및 미생물천적에 의해 솔나방 개체군이 억제되었음을 암시한다.

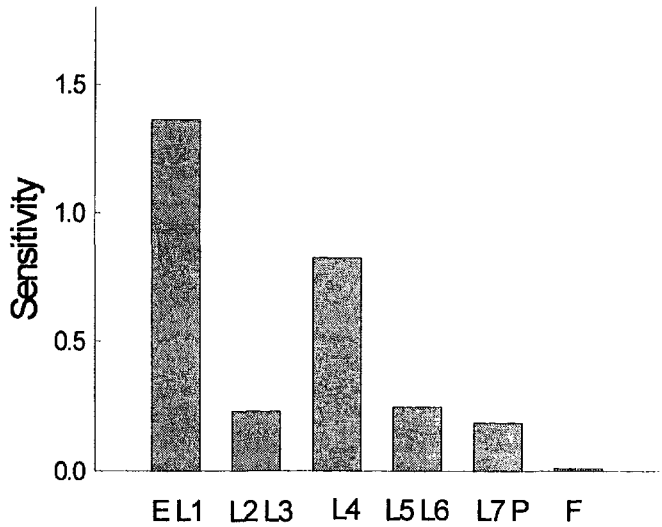


Fig. 6. The sensitivity of finite rate of increase to changes in stage-specific survival probabilities and fertilities in population of pine moth. E: egg, Ln: nth instar of pine moth, OL: overwintering larvae, P: pupa and F: fertility of pine moth.

Table 2. Density of *Dendrolimus spectabilis* in various area in August 1999.

Area	Stages of *Dendrolimus spectabilis*								
	1st larvae	2nd larvae	3rd larvae	4th larvae	5th larvae	6th larvae	7th larvae	pupa	total
Anseong	0	0	1.5	1.5	6	10	14	19.5	52.50$^{ab1)}$
Jeungpyeung	0	0	8	0.5	1	1.5	1.5	4.5	30.33^{bc}
Ipjang	0	0	2	1	1	1.5	6.5	57.0	69.00^{a}
Kyodong	2	0	0	0	0	0	4	1	3.75^{c}

1) The values followed by the same letters within a column are not significantly different at the probability of 5% level. Means were separated by Fisher's LSD (SAS Institute, 1990)

Fig. 7은 강화지역에서의 솔나방 밀도를 제시한 것이다. 솔나방 난괴는 7월말에 8월 중순까지 관찰되어 개체군 동태가 청산도 지역과 유사함을 알 수 있었다. 8월중 솔나방 유충의 밀도는 1000㎠ 솔가지 면적 당 2마리 이하로 이후 솔나방 밀도는 감소할 것이라 추정되었다. 교동지역에서의 밀도감소는 어린 유충의 치사에 의한 요인보다는 번데기의 치사에 의한 요인이 크다고 사료된다. 실제로 1999년 교동지역 번데기 우화율은 25%정도였으며 우화한 솔나방 성충도 적당한 산란 장소를 찾기 곤란했을 것으로 사료된다. 이는 청산도 솔나방 동태와는 다른 양상으로 지역적인 특성에 따라 개체군 동태가 상이할 수 있음을 보여주고 있다.

Fig. 8은 1999년에서 2000년까지의 증부지방 솔나방 밀도를 제시한 것이다. 솔나방 밀도는 1999년이 2000년보다 높아 솔나방 밀도가 감소 추세에 있음을 알 수 있다.

Fig 9, 10, 11은 각각 입장, 평택, 증평지역에서의 솔나방 밀도를 제시한 것이다. 모든 지역에서의 솔나방 밀도는 감소추세에 있으나 밀도는 상이함을 알 수 있다. 입장지역에서는 1999년 유충 밀도가 다른 지역과 유사하나 2000년 유충밀도는 다른 지역에 비해 높았다. 그러나 일화기 유충 치사율이 높아 밀도가 감소하였다. 1999년 번데기 밀도에 유충 밀도가 낮은 이유는 교동지역에서처럼 천적에 의한 치사가 아니었다. 입장 지역의 소나무 숲은 섬모양 (패치상)으로 이루어져 있었으며 솔나방이 발생한 숲의 솔잎은 거의 대부분이 솔나방에 의해 소진된다. 우화한 솔나방은 산란에 적당한 곳으로 이동하여야 하며 이런 이유로 우화한 솔나방의 일부만이 산란에 관여하게 된다. 즉 입장지역에서 솔나방 개체군 동태는 공간동태와 밀접하게 연관되어 있음을 알 수 있다. 평택지방에서의 솔나방 개체군 동태는 입장에서와는 다른 양상을 보여주고 있다. 1999년 2화기 유충밀도가 높음에도 불구하고 어린 유충들의 치사율이 높아 솔나방 개체군이 감소하고 있다. 이는 가을철 강우에 의한 영향으로 판단되며 난괴밀도가 높다는 사실이 이를 뒷받침한다. 그러나 2000년도 솔나방 밀도는 1화기 번데기 밀도에 비해 이후 유충의 밀도가 낮다. 2000년도 평택에서의 솔나방 번데기는 미생물천적에 의해 우화율이 크게 감소하였고 이 때문에 우화한 솔나방 숫자가 적은 것으로 사료된다. 동일 지역에서도 시기에 따라 개체군동태에 영향을 미치는 요인이 상이함을 알 수 있다.

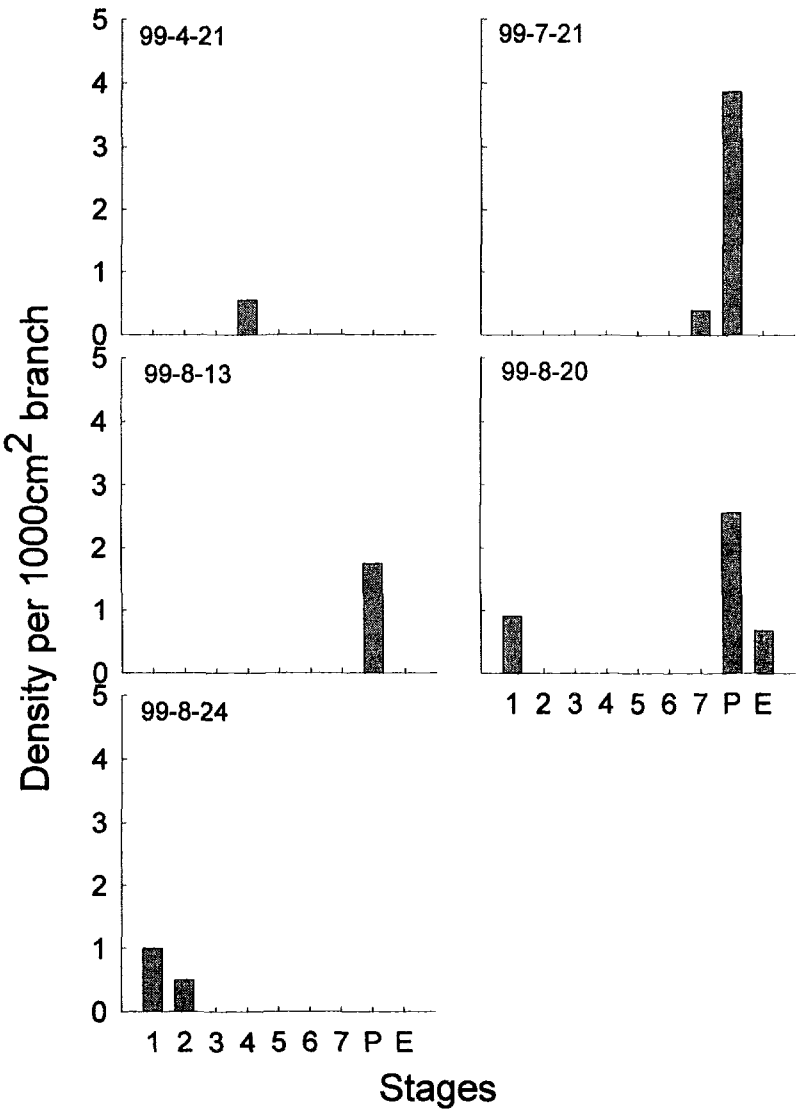


Fig. 7. Sequential changes in the density of *Dendrolimus spectabilis* in KangHwwa-Do in 1999.

Fig. 11은 중평지역에서의 솔나방 동태를 제시한 것이다. 1999년도 일화기 솔나방

유충 치사율이 커서 밀도가 감소하였다. 1999년도 2화기 유충 밀도는 조사가 되지 않았으나 치사율이 높지 않았던 것으로 추측된다. 그러나 2000년 1화기 유충 밀도는 점진적으로 감소하였다. 증평에서의 솔나방 밀도 감소는 유충 감소에 의한 것으로 화학적 방제에 기인한 듯 싶다.

Fig. 12는 입장지역의 소규모 조사지역별 솔나방 밀도 변화 추이를 보인 것이다. 동일 지역 내에서도 밀도의 변이가 있으며 이는 솔나방의 공간동태에 의한 것으로 사료된다. 솔나방 발생지역은 시간에 따라 변화하였으며 이는 일정한 방향성을 가지고 있는 것으로 사료된다. 이러한 자료는 솔나방 발생지역 예찰에 유용한 것으로 사료되며 이런 부분에 대한 연구가 더 필요하다고 판단된다. 특히 소나무 숲이 마을 인근지역에서는 각 숲이 공간적으로 분리됨으로서 솔나방의 이동이 솔나방 개체군 동태에 있어 중요한 역할을 할 것이라 판단되며 천적의 역할동안 공간동태와 관련이 있을 것으로 사료된다. 이는 현재 metapopulation 생태학에서 많은 논의가 되고 있으며 이에 이용한 이동성 해충의 방제가 고려되어야 할 것으로 판단된다.

Fig. 13은 3년간 연구되어진 지역에서의 시기에 따른 솔나방의 충기를 제시한 것이다. 청산도와 교동 지역은 솔나방의 발생이 연간 1회인데 비하여 중부지역은 1999, 2000년 모두 연간 2회임을 알 수 있다. 특히 도서 지방에서는 하절기에 솔나방 유충을 관찰할 수 없는 반면에 내륙지역에서는 여름에도 솔나방 유충을 관찰할 수 있었다. 이는 내륙지방에서의 솔나방의 피해가 가중될 수 있는 요인이라고 생각된다. 지역에 따른 솔나방 세대수 차이가 온난화에 의해서인지 혹은 유전적인 요인에 의한 것인지는 불분명하다. 솔나방 발생이 연간 1화기인 지역은 도서지방으로서 전라남도 남부와 경기도 북부 지역이었다. 반면에 2화기인 지역은 중부지방으로 주로 도시와 인접해 있는 지역이었다. 이전의 연구 (현, 1966)에 의하면 당시 솔나방의 발생은 연간 1회였으며 주로 내륙지방에만 발생한 것으로 보고되었다. 이는 여러 환경요인의 변화가 솔나방 유전과 생태에 영향을 준 것으로 사료되며 이에 대한 유전학적인 연구가 필요하다고 판단된다.

Fig. 14는 솔나방의 온도발육율을 제시한 것이다. 솔나방의 발육은 온도에 영향을 받으며 온도가 20℃에서 32℃로 증가함에 따라 발육속도는 0.0083에서 0.016으로 증가하였다. 솔나방 1령충이 성충으로 우화하는데 걸리는 시간은 20도에서 120.23일, 25도에서 82.96일, 28도에서 69.70일, 32도에서 60.67일이었다. 이 결과를 미루어 볼 때 7월초에 우화한 솔나방은 10월중에는 산란이 가능한 것으로 판단된다.

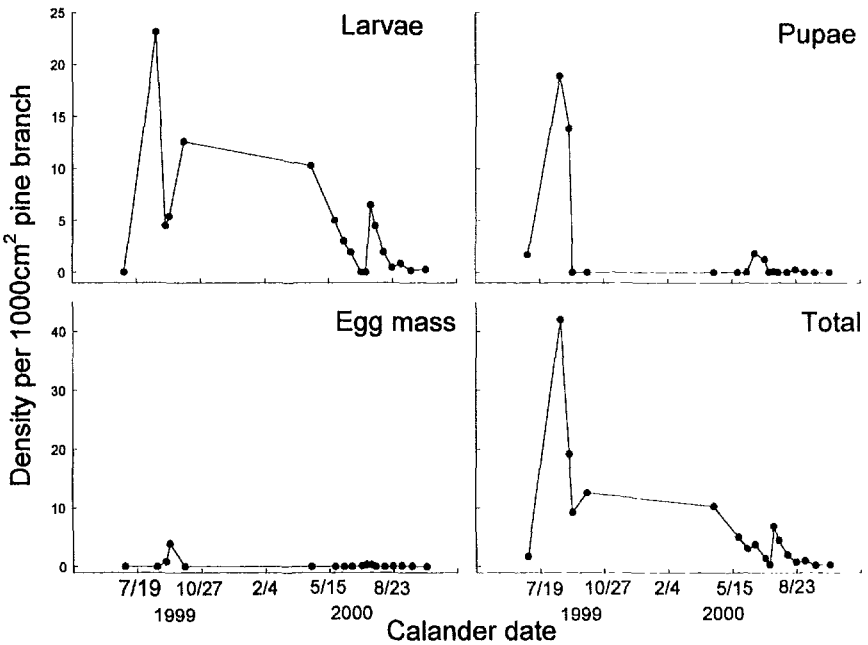


Fig. 8. Sequential changes in the density of *Dendrolimus spectabilis* in the Middle area in 1999-2000.

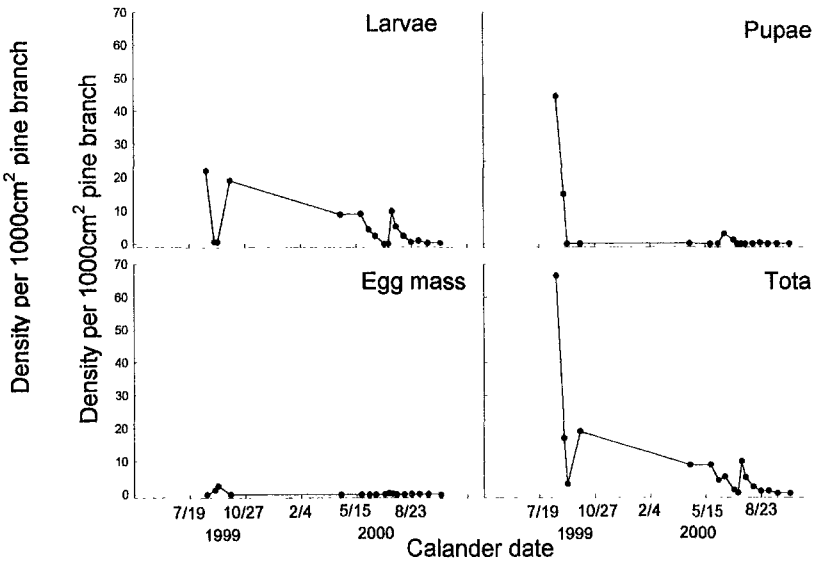


Fig. 9. Sequential changes in the density of *Dendrolimus spectabilis* in Ipjang in 1999-2000.

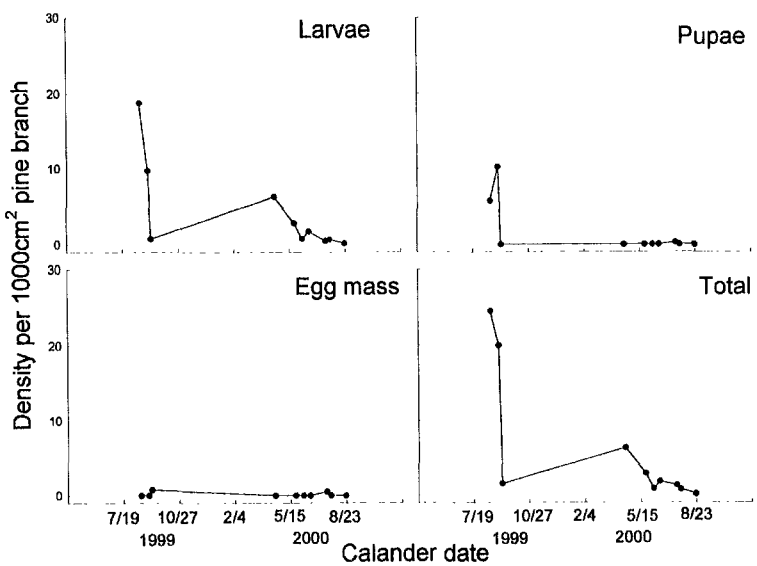


Fig. 11. Sequential changes in the density of *Dendrolimus spectabilis* in Jeongpeong in 1999-2000.

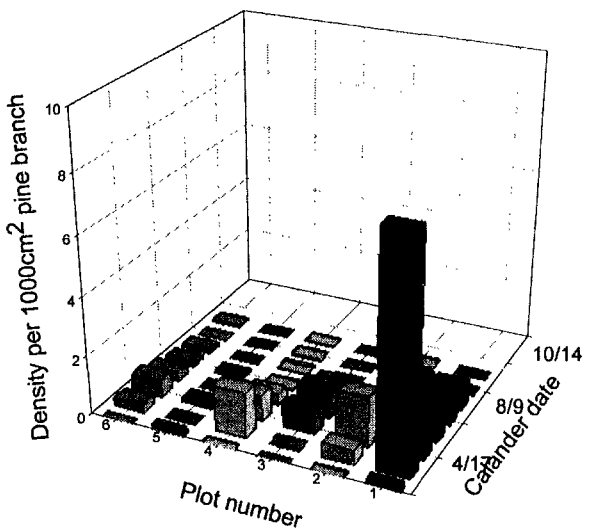


Fig. 12. Sequential changes in the plot density of *Dendrolimus spectabilis* in Ipjang, 2000.

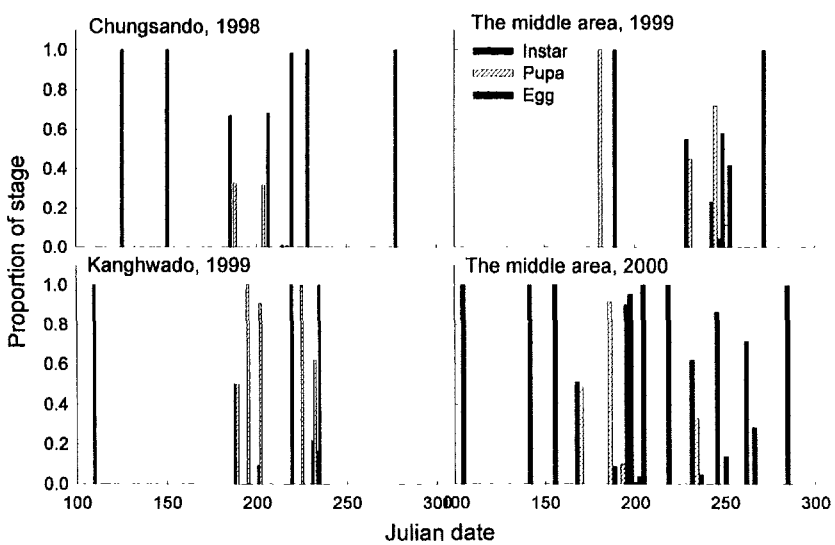


Fig. 13. Sequential changes in the proportion of stage of *Densrolimus spectabilis* in 1999-2000

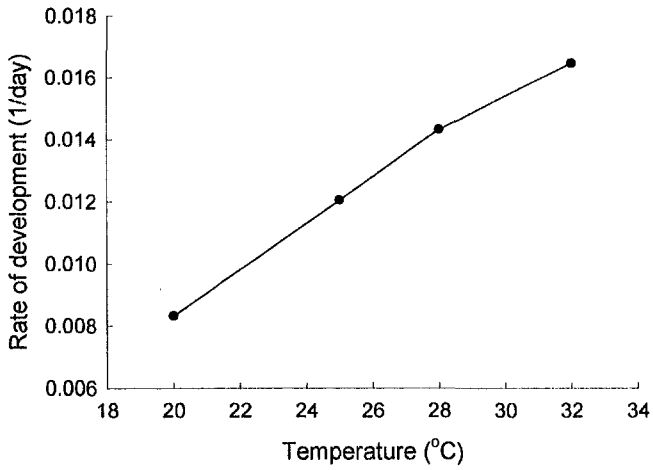


Fig. 14. Developmental rate of *Densrilimus spectabilis* in response to various temperature.

부록] 민감도 분석을 위한 Matlab 프로그램

```
function svec=sena(a)
% function svec=sena(a)
%
%
a = [ 행 렬 ]

  n=length(a(1,:));
% find eigenvalues and right eigenvectors
 [w,d]=eig(a); lambda=diag(d);
 imax=find(lambda==max(lambda));
% arrange eigenvalues so that dominant eigenvalue is first
 if imax>1 & imax <n
  lambda=lambda([imax 1:imax-1 imax+1:n]);
  w=[w(:,imax) w(:,1:imax-1) w(:,imax+1:n)];
 elseif imax==n
  lambda=lambda([n a:n-1]);w=[w(:,n) w(:,1:n-1)];
end
% if
```

```
% find left eigenvectors
 v=inv(conj(w));
% generate sensitivity matrices; store as columns of svec()

vi=v(1,:).';%note use of.' for nonconjugate transpose
wi=w(:,1);
senmat=conj(vi)*wi.'; %note use of.' for nonconjugate
                      %transpose
svec(:,1)=senmat(:);
```

솔나방의 개체군은 지금까지 일반적으로 1화기 발생하는 것으로 알려져 왔다(Table 3). 그리고 그림 에서와 같이 1991년 이전에는 1화기 발생하는 것으로 조사되었다. 하지만 1990년대 후반에 들어서 경기, 충남등 솔나방 발생지역을 조사한 결과와 유화등에 의한 성충의 포획결과를 분석하여 솔나방이 2화기 발생하는 것으로 확인되었다(Table 4, Fig. 15).

Table 3. Life cycle of pine moth, *Dendrolimus spectabilis* in Korea (Lee, 1997)

Month / Stage	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Larval	****	******	******	******	******	******	***					
Pupal						*	******	*				
Adult							***	**				
Egg							***	**				
Larval							*	******	******	******	******	****

Table 4. Life cycle of pine moth, *Dendrolimus spectabilis* in Chungcheongnam-do Korea (1999)

Stage \ Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Larval	****	******	******	******	******	******				******	******	****
Pupal						* ******	*		*****			
Adult						****	******		****	***		
Egg						*	******		**	*****		
Larval						*	******	******	******			

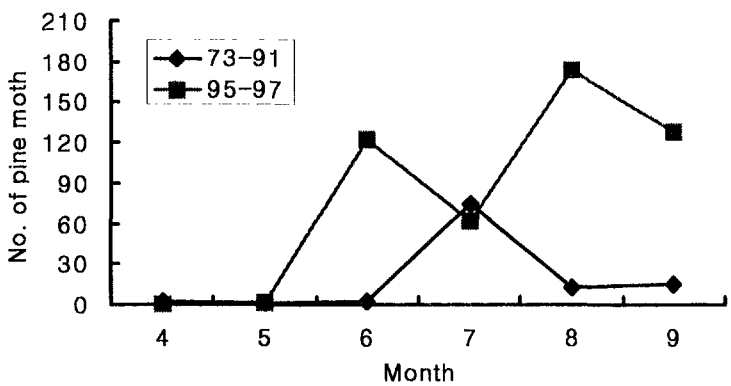


Fig 15. Seasonal occurrence of adults of Dendrolimus spectabilis during 1973 - 1997 in Korea.

제 4 장 효과적 천적자원의 발굴 및 억제효과 평가 연구

제 1 절 서 설

자연 생태계에서 천적은 곤충 종의 자연적인 밀도 조절인자로서 작용한다. 특히 대발생하는 해충의 경우 해충의 밀도가 증가함에 따라 천적의 밀도도 증가하게된다. 솔나방은 많은 천적을 가진 것으로 조사된바 있으며 그 중에서도 알기생 천적에 의해 솔나방 개체군 밀도가 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 해충을 천적을 이용하여 인위적으로 생물적 방제하기 위해서는 해충의 천적을 조사하고, 그 결과 우수한 천적종을 선발하는 것이 중요하다. 각각의 천적은 종 및 계통에 따라 환경 및 기주의 다양성에 따라 기생능력과 분산능력에 차이를 보이기 때문이다. 먼저, 생물적 방제 인자로 활용할 수 있는 천적종의 특징은 대량증식이 가능하여야하며, 대량 증식된 천적을 보관, 운반, 방사하기에 용이하여야한다. 그리고 방사한 천적이 정착할 수 있도록 하는 것이 유리하다.

우리 나라 솔나방의 기생성 천적종은 어리강원맵시벌 (*Amblyteles lucatorius*), 벼룩좀벌 (*Anastatus bifasciatus*), 짧은날개벼룩좀벌 (*Anastatus gastropachae*), 독나방살이고치벌 (*Apanteles liparidis*), 무늬수중다리좀벌 (*Brachymeria obscurata*), 검정명주딱정벌레 (*Calosoma maximoviczi*), 마쓰무라자루맵시벌 (*Dicamptus nigropictus*), 누런알락뾰족맵시벌 (*Gotra octocinctus*), 장수자루 맵시벌 (*Habronyx heros*), 넓적배쐐기노린재 (*Himacerus apterus*), 송충잡이자루맵시벌 (*Hyposter takagii*), 베가시납작맵시벌 (*Iseropus orientalis*), 산누에살이납작맵시벌 (*Gregopimpla himalayensis*), 송충살이납작맵시벌 (*Itoplectis alternans spectabilis*), 송충살이꼬리좀벌 (*Monodontomerus minor*), 밤나방살이자루맵시벌 (*Netelia ocellaris*), 연고동자루맵시벌 (*Netelia testacea*), 주둥이노린재 (*Picromerus lewisi*), 나방살이납작맵시벌 (*Coccygomimus disparis*), 민꼬리납작맵시벌 (*Coccygomimus paranarae*), 검정마디꼬리납작맵시벌 (*Coccygomimus luctuoses*), 흰발목벼룩좀벌 (*Pseudanastatus albitarsis*), 송충살이고치벌 (*Rogas dendrolimi*),

어리곤봉자루맵시벌 (*Schizoloma amictum*), 흰줄박이맵시벌 (*Achaius oratorius albizoneilus*), 송충검정알벌 (*Telenomus dendrolimi*), 가락지자루맵시벌 (*Therionia cirum*), 담흑납작맵시벌 (*Therionia atalantae gestaros*), 송충알벌 (*Trichogramma dendrolimi*), 불개미 (*Formica yessensis*), 껍적침노린재 (*Velinus nodipes*), 흰무늬침노린재 (*Rhynocoris leucospilus sibiricus*)등이 보고되었다. 그리고 포식성 노린재류, 설치류, 조류 등도 방제 효과가 있는 천적동물인 것으로 알려져 있다. 그러나 현재는 지금까지의 보고와 달리 솔나방이 대 발생한 지역의 천적상이 황폐화되어 천적들의 역할이 줄어들었다. 지난 3년간의 야외 조사 결과 솔나방이 발생한 지역의 천적상은 매우 단순하였다. 특히 억제인자로 우수하다고 보고된 알기생 천적은 극히 적은 종만이 존재하며 그 억제 효과도 극히 낮음을 확인 할 수 있었다. 이러한 요인은 솔나방 발생지역의 지리적, 지형적 특징에서 비롯되었을 수 도 있고, 천적종이 전체적으로 감소한 이유라고도 생각할 수 있다. 본 연구는 생물적 방제 인자로 사용 가능한 효과적인 천적의 발굴을 위하여 주로 솔나방 발생지역을 대상으로 각 충태별로 솔나방을 채집하여 실내에서 사육하는 방법으로 천적을 발굴하여 조사하였다.

제 2 절 재료 및 방법

가. 천적의 발굴을 위한 자료조사

솔나방 각 충태별로 채집하여 실내에서 사육(Fig. 4.1)하였고 실내 사육 중 조사된 기생성 천적을 실내에서 사육할 수 있도록 조건을 유지하였다. 솔나방은 유충으로 지피물이나 수피층에서 월동(Fig. 4.2)하여 이듬해 4-5월경에 3령에서 4령충으로써 활동을 시작함으로 천적 자원을 발굴하기 위하여 월동기에는 유충의 기생천적과 유충과 함께 월동하는 침 노린재를 위주로 포식 천적에 대한 조사를 실시하였다. 그리고, 난기와 유충기, 번데기 기간에 각각의 충태를 채집하여 조사하였다. 이를 위해 솔나방이 문제가 되는 한국, 중국, 일본에서의 솔나방 생태와 천적곤충에 대한 문헌 조사를 실시하였고, 조사된 자료에 근거하여 활동기간 중 실시할 솔나방의 발생 소장조사와 자연상태에서의 기생천적역할과 기생천적 방사시 억제효과 분석을 위해 필요한 실험계획설계가 이루어졌으며 모든 조사활동들이 진행되었다.

이 같은 정보와 문헌조사를 위해서는 중국의 식물보호연구소, 동물연구소, 광동 곤충연구소등과 정보교환을 계속하였으며 미국 USDA의 천적연구소와 긴밀한 정보교환체제를 구축하였다.

나. 기생천적 및 피해지역 조사

1) 피해지역 조사

임업연구원 곤충과를 통해 최근의 전국적인 솔나방 발생 소장에 관한 자료를 협조받아 각 지역 산림연구원에 문의하여 발생지역을 확인하였고 각 발생 지역의 현황을 조사하는 방법으로 솔나방 밀도를 확인하였다. 각 지역별 월동 솔나방 조사 방법 : 솔잎의 마디가 갉아 먹힌 식흔을 확인한 후 각 소나무 껍질이나 근처의 월동처를 확인하여 월동 유충의 밀도를 조사하였다. 또한 월동 후 유충의 밀도 및 천적 조사 방법: 실험 지역을 두 지역으로 구분하여 각 지역에서 소나무를 각각 30주, 20주를 임의로 선정하였다. 선정된 소나무는 수고(樹高), 줄기직경을 측정한 후 상하 (上下)가지를 임의로 각각 1개씩 선정하여 가지 길이와 직경을 측정한 후 충태별 솔나방의 밀도를 조사하였다. 수고가 3m이상인 소나무는 조사에서 제외하였다. 조사된 자료는 1000cm^2를 기준으로 밀도를 산정하여 솔나방의 개체군동태를 추정하였다. 솔나방의 성충 밀도는 모니터링이 곤란하여 빈 용각을 기준으로 추정하였다. 솔나방 발생지에서 천적의 역할을 조사하기 위해서 채집시기별로 솔나방 유충, 번데기 또는 난괴를 채집하여 실험실내에서 사육하며 충태별 기생률을 조사하였다.

1999년도 유충의 월동 천적을 조사하기 위하여 2000년 2월 솔나방, *Dendrolimus spectabilis* (Lepidoptera: Lasiocampidae)의 월동 유충을 채집하여 실내 사육한 후 유충 기생천적과 기생률을 조사하였다. 유충의 채집은 소나무의 수피 면적 10×10cm의 안쪽에 월동중인 유충을 채집하여 실험실 사육조건에서 사육하여 우화하는 천적을 조사하였다.

2) 유충 기생천적 조사

솔나방을 각 충태별로 채집하여 실험실내 사육 후 기생 천적을 계속 조사하였다. 솔나방 대 발생지역인 전남완도군 청산면 도락리의 솔나방 유충을 4월(4령기 - 6령

유충태)부터 6월까지 발생지역을 5구획으로 나누어 채집하여 실내 사육실 사육조건(28±5℃, 60±10%, 16:8LD)에서 사육하였다.
솔나방의 먹이는 주로 리기다소나무를 공급하여 1주일에 2회 교체하였으며 솔잎이 마르지 않도록 부케로 제작하였다.

사육 중 기생천적인 고치벌류(Fig. 4.3)와 기생파리류(Fig. 4.4)가 용화하면 분리하여 페트리디쉬에서 우화 후 표본으로 제작하였다.

3) 포식천적조사

개미는 식성이 풍부하여 환경에 대해 내성의 폭이 넓고 다양한 곳에 알을 낳기 때문에 어느 곳에서나 서식할 수 있는 넓은 생태학적 분포범위를 갖고 있다. 생활형은 다른 곤충과 다르게 알, 애벌레, 번데기의 시기를 땅속에서 지내고 성충 시기에만 지하와 지상을 왕래하며 생활하는 종이 대부분이다. 따라서 개미류는 서식지 내에서 월동을 하여 이듬해 4~5월경에 활동을 시작한다. 우선적으로 문헌조사를 바탕으로 천적종의 분포를 확인하고, 솔나방 피해지역의 개미류를 4월부터 9월까지 월 1회 채집 조사하여 송충이의 천적인 불개미류들의 서식을 확인하였다.

또한 솔나방 각 충태별로 채집하여 실내사육을 실시, 이를 이용하여 우수 포식종 선별을 위한 실험을 실시하였다. 아울러 기보고 된 불개미이외의 다른 종들의 포식력 실험 또한 실시하였다.

다. 선발천적의 발육조건 규명

알기생천적의 발육조건 규명은 솔나방 발생지역에서 솔나방 난괴를 수거하여 실험실내에서 자연 기생률을 확인하고 우화하는 기생벌을 사육하며 발육 조건을 조사하였다. 유충기생천적의 발육조건 규명은 선발된 유충 기생천적중 유망 기생종들은 대치기주로 매미나방 유충에 접종시켜 기생범위를 조사하고 대치기주 가능성을 실험하였다 (Fig. 4.5). 포식천적으로 이미 보고 된 불개미의 발육조건 규명을 위하여 개미류의 실내사육 및 야외 자연생태 조사를 병행 실시하였다.

라. 기생천적 및 포식천적의 효과 분석

천적의 대량사육과 방사는 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 또한 생물적 방제의 효율을 높이기 위해서는 적절한 천적을 선발하는 것은 필수적이므로 천적의 효과를 분석하기 위해서 특정 천적이 1) 솔나방 특정 충태를 가해할 수 있는가 2) 적절한 기주 탐색행동을 거쳐 공격이 가능한가를 조사하였다.

1) 기생천적의 효과 분석

기생천적의 효과는 다음과 같은 방법으로 조사하였다. 솔나방 알에 대한 기생률을 조사하기 위해 솔나방 알을 10, 20, 40, 80, 160 개씩 솔잎에 부착하여 플라스틱 관병(vial)에 넣고 기생봉 암컷 10마리씩 접종하여 7일간 28℃에서 보관한 후 우화한 기생봉수, 난 기생률을 조사하였다. 기생봉이 솔나방 알을 효율적으로 탐색하는지를 조사하기 위해 사육상자 (높이 50cm×70cm×70cm)에 솔가지를 20-25cm로 절단하여 사육 상자내 임의로 위치시켰다. 절단한 솔가지는 건조를 막기 위해 물을 넣은 플라스크에 꽂고 플라스크 입구는 솜으로 막아 기생봉이 물에 익사하는 것을 방지하였다. 상자내 솔가지 솔나방 밀도가 10, 20, 40, 80, 160인 egg card를 각각의 솔가지에 걸어두었다. 사육상 내에 기생봉 암컷 200마리를 방사한 후 7일간 실온에서 보관하였다. 7일 후 egg card를 수거하여 28℃에서 보관하면서 우화한 기생봉 수, 기생된 알수를 조사하였고 조사된 자료는 기능반응과 수반응을 통하여 분석하고자 하며 천적간의 효율을 비교하는 도구로서 이용하고자 하였다.

2) 포식천적의 효과 분석

월동중인 솔나방과 함께 월동하고있는 침노린재를 채집하여 실내에서 포식량을 실험하였다. 채집된 노린재 한 마리당 솔나방 3령 유충을 암께 페트리디쉬에 넣어 매일 포식량을 조사하였다. 또한 불개미류의 포식력을 확인하기 위해 포식력이 우수한 불개미류 4종을 각각의 용기에 넣어 포식상태를 비교 실험하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

가. 솔나방의 천적곤충과 피해지역 조사

경기도, 충남, 전남, 경북, 경남산림환경연구원 및 제주도 산림환경과 와 수목시험소 등과 연락을 취하여 발생지역 조사를 위한 자료로 삼았다. 그 결과 과거 3년 이내에 솔나방 발생지역은 서해안 도서 지역(난지도, 어청도, 비안도, 도초도, 조도면 등), 중부지역 (장호원읍, 괴산 등), 남해안 도서지역(청산도, 장흥, 고흥, 거제도 등), 경남지역(포항의 송도해수욕장 등), 제주도(제주시 주변 동서로 대정읍, 한경면 일대)등지이다(Table 2).

솔나방의 기생천적 종 솔나방의 알기생봉에는 송충알벌, *Trichogramma dendrolimi* Matsumura, 송충검정알벌, *Telenomus dendrolimi* Matsumura, 벼룩좀벌, *Anastatus bifasciatus gastrophachae* Ashmead, 송충벼룩좀벌, *Anastatus dendrolimus,* 흰발목좀벌 *Pseudanastatus albitarsis* Ashmead의 5 종이 알려졌고 그들에 의한 난괴기생률은 최고 100%, 최저 44%, 평균 88%이었고, 난기생률은 평균 27.74%였다. 그 중에서 송충알벌의 기생이 가장 많아서 그 난기생률은 평균 25.4%이었다(Kim and Pak, 1965).

알기생봉중 가장 기생률이 높은 종은 송충알벌이다. 1960년대의 솔나방은 일화성이었으므로 다른 기주를 이용하는데 9월 중순까지 참빗살하늘나방, 잔디밤나방, 흰불나방, 꼬마하늘나방, 버들하늘나방의 알에 기생하고 9월 하순부터 밤나무산누에나방의 알에 기생 월동하며 다음 해 5월 중순에 그것에서 우화하여 6월 상순까지 산누에나방, 버들하늘나방, 꼬마하늘나방의 알 등에 기생하고 그 후 솔나방의 알로 되돌아온다.

솔나방유충 기생봉에는 *Hyposoter takagii* Matsumura, *Apanteles liparidis* Bouche, *Rogas dendrolimi* Matsumura가 있다.

솔나방 번데기 기생봉에는 *Gotra octocinta* Ashmead, *Iseropus hakonensis* Ashmead, *Itoplectis alternans spectabilis* Matsumura, *Theronia atalantae gestator* Thunberg 등이 알려져 있다.

Table 1. Parasitoids of pine moth in Japan (일본임시, 1988)

Species	Attack stage
Trichogramma dendrolimi Matsumura,	Egg
Telenomus dendrolimi Matsumura	Egg
Anastatus bifasciatus gastrophachae Ashmead	Egg
Anastatus dendrolimus Kim et Pak	Egg
Pseudanastatus albitarsis Ashmead	Egg
Hyposoter takagii Matsumura	Larval
Apanteles liparidis Bouche	Larval
Rogas dendrolimi Matsumura	Larval
Gotra octocinta Ashmead	Pupal
Iseropus hakonensis Ashmead	Pupal
Itoplectis alternans spectabilis Matsumura,	Pupal
Theronia atalantae gestator Thunberg	Pupal
Pimpla pluto Ashmead	Pupal
P. disparis Viereck	Pupal
Habronyx heros Wesmael	Pupal
Dicamptus nigropictus Matsumura	Pupal
Brachymeria lasus Walker	Pupal
Euterus matsuyadorii (Matsumura)	Pupal
Monodontomerus dentipes (Boheman)	Pupal
Carcelia bombylans R.-D.	Larval
Parasarcophaga harpax Pandelle	Pupal

Table 2. Infected area by pine moth, *Dendrolimus spectabilis* and parasitoids in the season

조사지역	조사시기	조사내용	조사결과 및 특기사항
경기도 여주군 장호원읍 삼승리, 방추리	1997. 12 월 - 1998. 6 월 까지 총 11회	·1995-96년 발생지역의 재조사 ·알기생천적 선발을 위한 알트랩 설치 및 수거 ·솔나방 발생 동향 파악	·97년도 식흔 및 피해를 발견함 ·알벌류에 속하는 알기생천적 1종, 벼룩좀벌과의 1종을 선발함 ·원부리 삼승리주변 반경 약 1Km 정도에 국한하여 소량 발생하여 소나무 10여 주 조사결과 6마리를 확인함 ·1998년 4월 이후 유충의 활동은 발견하지 못함
서해안지역 (태안)	1997. 12. 24	·서해안 섬지역의 발생 보고 확인	·식흔 및 피해를 발견하지 못함
남해안 도서지역 주변(부안, 강진, 고흥)	1998. 1. 13 - 18	· 발생상황 예찰을 위한 월동유충 채집.	·식흔 및 피해를 발견하지 못함
포항, 거제도 지역	1 9 9 8 . 1.19 - 23	·96년 발생 보고 있는 포항 및 거제도 지역을 조사	·송도지역 및 여러곳에서 식흔 및 피해를 발견하지 못함
수원일대	1998. 2월 - 3월까지 총 2회	·월동유충의 발생 가능성 조사 ·알기생천적선발을 위한 알트랩설치	·식흔 및 피해를 발견하지 못함 ·알기생천적이 채집되지 않음

Table 2. Continued

조사지역	조사시기	조사내용	조사결과 및 특기사항
충북 괴산 및 여주 이천	1998. 2. 5	·96년 피해 확인을 위한 조사	·2-3년 전의 발생은 보이나 지난 해의 발생은 발견 할 수 없었음.
제주도 월정리, 화순리 일대	1998. 3. 13-14	97년 대발생 보고 후 확인 조사함	·97년 대발생 후 급격한 밀도의 감소로 올해는 피해 흔적만을 확인함 ·작년의 난괴 채집- 알기생벌의 확인 ·올해 발생은 추가적인 조사가 필요함
전남 완도군 청산면 도락리	1998. 4월 13 - 8월 6일까지 총 7 회	·청산면 도락리 및 주변 솔나방 발생 확인 ·밀도조사, 기생천적 조사 ·기생천적 선발	·기생천적 선발 및 기생률 조사를 위한 유충, 번데기, 알을 채집함 ·알트랩, 말레이시스트랩 설치
최종 조사 결과	·1997년 12월부터 1998년 8월까지 총30회	·솔나방 발생지역 선발 ·기생천적 조사 ·기생천적 선발	·경기도 여주군 장호원읍에서 월동 유충 관찰 및 채집함 ·전남 완도군 청산면에서 대 발생한 솔나방 조사 ·청산면에서 유충 및 알기생천적의 선발

1) 알기생 천적의 선발

알기생벌의 선발을 위한 알트랩의 설치를 실시하여 솔나방의 알기생천적을 선발하려하였다. 솔나방의 알과 산누에나방의 알, 그리고 야외의 도토리나방 월동 난괴를 이용하여 실시하였으며 선발된 천적은 알벌류 2종(Fig. 4.6, 4.7), 벼룩좀벌류 1종(Fig. 4.8), 깡충좀벌류 1종이었다. 실내 사육이 쉽고 증식이 잘되는 송충알벌과 명충알벌을 대상으로 대량 증식을 실시하였으며 각각의 천적에 대한 생물학적 특성을 5장에서 조사하였다.

98. 4월 솔나방이 발생하여 피해를 주었던 경기도 이천의 장호원, 서울시 서초구 우면동, 일산에서 산누에나방의 알을 이용한 알카드(Fig. 9)를 설치하여 채집된 알벌류를 대체 기주인 산누에나방의 알로 대량 증식에 성공하였다. 하지만 이 알벌들은 모두 명충알벌(Fig. 4.7)로 사료되며 청산도에서 실제 방사시 효과가 높지 않아 송충알벌(Fig. 4.10)로 교체하여 실험을 실시하였다.

2) 유충기생 천적의 선발

1996년 및 이전의 피해지역들을 조사한 결과 장호원과 주변지역에서 극히 적은 수의 월동 유충을 확인하고 채집하였고, 그 후 계속 관찰하였으나 청산면을 제외한 장호원에서는 유충의 발생을 전혀 조사할 수 없었다. 1998년 3월 청산면에는 솔나방 피해가 지속적으로 유지되고있었으며 대 발생된 유충을 대상으로 밀도 조사 및 천적 조사가 이루어졌다. 전남 완도군 청산면 도락리에서 대 발생한 솔나방 유충을 계속 조사중하는 과정에 유충단계의 천적에 의한 사망률이 높았으며 지역적 강우량이 많아 개체군 밀도와 난괴 밀도가 낮아진 것으로 조사되었다. 청산도에서 확인된 솔나방 유충을 실내에서 사육하여 조사한 기생천적 내용은 Table 3과 같이 고치벌과의 송충살이고치벌 1종과 기생파리류이었으며 기생률은 각각 22.8%와 12.2%이었으며 7령충에는 기생되지 않았다(Table 4). 또한, 월동 유충의 기생률 조사 및 천적 선발을 위하여 1998년 석모도의 솔나방 월동 유충을 1999년 조사한 결과 솔나방밀도가 가장 높은 길이 30m 지점에서 평균 9.3 마리/ 10㎠가 조사되었다(Table 7). 1999년 솔나방 발생지역의 월동 밀도를 2000년 2월에 조사한 결과 충북 증평 북이면에서 소나무 주당 11.8 마리, 충남 입장 연곡리의 두 지역에서 각각 0.6마리, 54.0마리, 인천직할시 강화군 교동면 화개산에서 1.1마리, 경기 안성에서 4.1마리, 경기 평택에서 2.0마리로 조사되었다. 각 지역 유충들의 기생률은 1999년 1월 강화군 석모도의 경우 총 93마리 유충 중 고치벌, Braconidae 4.3%, 기생파리, Tachinidae 10.8%가 기생된 것으로 조

사되었고, 1999년 3월 청산도 월동 유충의 기생률은 고치벌과 기생파리 각각 10%, 60% 이었다. 2000년 각 지역별 채집 유충의 기생률은 충북 중평 북이면에서 고치벌 1.6%, 기생파리 18.5%, 입장 연곡리에서 기생파리 4.9%, 강화군 교동면에서 고치벌 22.2%, 경기 평택에서 기생파리 8%가 기생된 것으로 조사되었다. 또한 1999년 강화군 교동면의 조사시 유충이 백강균(Fig. 4.11)과 바이러스(Fig. 4.12)에 의해 집단으로 사망한 것을 확인하였다.

3) 번데기 기생천적의 선발

조사 전지역에서 번데기에서의 기생벌은 조사되지 않았다. 하지만 쉬파리 종류에 의하여 감염된 다수의 번데기가 조사된 것은 주목할 만하다. 특히 경기도 평택지역에서 높은 사망률을 나타내는 것은 이미 번데기가 사망하여 쉬파리류가 감염되었을 가능성이 큰 것으로 생각되었다. 실내에서 건전한 번데기를 대상으로 쉬파리 유충(Fig. 4.13)의 공격을 살펴보았으나 공격에 성공하지 못하였다. 또한 3개년간 솔나방 발생 전지역에서 기생벌에 의한 번데기를 한 마리 발견하였으나 그 기생벌이 번데기로부터 우화하기 전에 사망하여 종 분류에는 실패하였다. 이상의 결과로 번데기 단계의 기생벌의 밀도가 감소하였다고 간접적으로 추측할 수 있었다.

번데기 크기 조사결과 1화기 발생한 교동의 번데기 크기는 평균 길이가 3.9±0.5cm, 폭이 1.5±0.2cm 이었다.

Table 3. Larval parasitoids of pine moth, *Dendrolimus spectabilis* in Cheongsan island, Jeollanam-do(1998)

Parasitoids		
Species	No. of Sample	% Parasitism
Rogas dendrolimi	94	22.8
Tachinidae spp.	50	12.2

Table 4. Parasitism each larval stage of the collected pine moth larva in Cheongsan island, Jeollanam-do (1998)

Collecting Area	No. of Larva	No. of Parasitoids (Hymenoptera/ Diptera)			
		5th instar	6th instar	7th instar	Total(%)
1	85	14/6	2/4	-	16/10 (18.8/11.8)
2	51	-	-	-	17/7 (33.3/13.7)
3	81	-	-	-	16/10 (19.8/12.3)
4	100	24/9	7/2	-	31/11 (31/11)
5	94	9/8	5/2	-	14/10 (14.9/10.6)
Total	411	47/23	14/8	-	94/50 (22.8/12.2)

Table 5. Larval parasitism of pine moth, *Dendrolimus spectabilis* in Jeungpyeong Chungcheongnam-do (Aug. 1999)

No. of test larva	Sex ratio (female: male)	Tachinidae (%)	Braconidae (%)	% Parasitism
41	1 : 1.2	12.2	2.4	14.6[a]

Table 6. Percentage of infested tree of pine moth, *Dendrolimus spectabilis* overwintering larva by distance in Seokmo island, Incheon (Feb. 1999)

	Area(m)				
	0-30	30-50	50-70	70-100	100-120
Infested no. of trees / No. of test trees	10/12	3/4	3/5	3/6	1/4
% infested	83.3	75	60	50	25

Table 7. Numbers of pine moth, *Dendrolimus spectabilis* overwintering larva in pine tree trunk($10cm^2$) within higher population area (30m) in Seokmo island, Incheon (Feb. 1999)

No. of test	Total no. of larva	Mean±SD
12	111	9.3±11.6

Table 8. Parasitism of pine moth, *Dendrolimus spectabilis* pupa in Kyodong island, Incheon and Ipjang, Chungcheongnam-do (July and Aug. 1999)

Area	Date	No. of test pupa	% emergence	Sex ratio (female: male)	% Parasitism
Kyodong	July	42	21.4±0.7	-	62.2±31.8[a]
	August	38	50	2.1 : 1	5.3[a]
Ipjang	July to August	52	-	-	13.5[a]
Jeungpeyong		45	-	-	24.4[a]

[a] *Tachinidae* sp.

번데기 사망률, 기생률이 높아 송림이 회복하였다. 백강균, 바이러스 많이 조사됨

4) 포식천적 조사

사회 생활을 하는 개미는 그 형태와 습성이 벌과 흡사하여 벌목에 속하는 개미과의 곤충이다. 개미는 식성이 풍부하여 환경에 대해 내성의 폭이 넓고 다양한 곳에 알을 낳기 때문에 어느 곳에서나 서식할 수 있는 넓은 생태학적 분포범위를 갖고 있다. 생활형은 다른 곤충과 구별되는 "개미형" 즉 알, 애벌레, 번데기의 시기를 땅속에서 지내고 성충 시기에만 지하와 지상을 왕래하며 생활하는 종이 대부분이다. 종에 따라서는 해충의 유충을 공격하는 포식성 때문에 많은 연구의 대상이 되고 있다. 그 중 불개미류는 개미 중에서 가장 힘이 세고 빠르며 곤충들의 애벌레를 먹어 치우기 때문에 해충을 구제하는 유용한 곤충으로 일찍이 주목을 받아 왔다. 이탈리아의 불개미류는 100만개 이상의 집을 짓고 살며 200일 동안 무려 2,400톤 정도의 곤충을 포식한다고 하였다(Larson, 1976). 한국에서는 불개미속인 *Formica yessensis*는 솔나방(*Dendrolimus spectabilis*) 애벌레의 천적 곤충으로 보고되었다 (Kim and Kim, 1973; Kim and Yozo, 1983) (Fig. 13). 이러한 자료를 바탕으로 하여 우선적으로 문헌조사를 바탕으로 천적종 *Formica yessensis*의 분포를 확인하였으나 *Formica yessensis* 분포 지역은 백두산,

소계방산, 설악산, 태백산, 속리산, 소백산, 지리산, 덕유산, 한라산 지역으로(Kim, 1998) 발생중이거나 소멸중인 곳에서의 분포를 확인 할 수는 없었다.

또한 야외조사결과 솔나방 피해지역의 개미를 4월부터 9월까지 월1회 채집하여 비피해지역과의 솔나방 포식천적의 서식을 비교 확인한 결과 역시 피해지역에서의 불개미류의 서식을 확인할 수 없었다.

그러나 피해지역인 경기도 강화군 교동면 화개산 지역에서 고치상태의 솔나방을 공격하는 그물등개미, *Pristomyrmex pungens*를 발견, 새로운 천적종으로 예상되어 문헌조사 및 생태조사를 실시하였다(Fig. 4.15). 또한 소나무 밑 토양 속에 서식하며 주로 토양 생물을 섭식하는 일본침개미 *Pachchondyla chinensis*를 확인하지 못하였다. 이는 솔나방의 월동단계를 공격할 수 있는 새로운 종으로 추정된다..

솔나방 각 충태별로 채집하여 실내사육을 실시, 이를 이용하여 우수포식종 선별을 위한 실험을 실시하였다(Fig. 4.16, 4.17). 아울러 기보고 된 불개미이외의 다른 종들의 포식력 실험 또한 실시하였다. 불개미류 4종의 포식률을 비교 실험한 결과 *Formica japonica* 10%, *Formica luggubris* 50%, *Formica yessensis* 70%, *Formica sanguinea* 40% 정도로 나타나, *Formica yessensis*의 포식률이 가장 높은 것으로 확인되었다.

Table 9. Ecological study of predators in Korea (1999)

지역	기간	내용	결과 및 특이사항
전남 완도 청산 도락	1999년 4월 13일 - 8월 6일까지 4회	피해실태조사 솔나방 발생 동향 파악 천적종의 서식 확인 피해지역의 개미상 조사 토양/식생 조사	○솔나방피해 현저히 감소 ○천적종 서식 확인 못함 ○토양 채취
경기 강화 교동	1999년 6월 20일 - 8월 12일까지 3회		○솔나방 피해 전지역 확산 ○천적종 서식 확인 못함 ○새로운 천적 발견(예상) : *Pristomyrmex pungens* ○토양 채취
경기 평택 고덕 율포	1999년 6월 20일 - 8월 12일까지 2회		○천적종 서식 확인 못함
충남 아산 신창 남성	1999년 6월 20일 - 8월 12일까지 2회		○천적종 서식 확인 못함
충남 천안 입장 연곡	1999년 6월 20일 - 8월 12일까지 2회		○솔나방 피해 심각 ○방제중(농약살포) ○천적종 서식 확인 못함 ○토양 채취
최종 조사 결과	1999년 4월 13일 - 8월12일까지 총13회		○전지역에서 천적종의 서식을 확인하지 못함 ○새로운 천적 예상종 발견 : *Pristomyrmex pungens* : 경기 강화 교동 화개산 : 고치상태의 솔나방을 공격 ○소나무 밑 토양속에 주로 서식하며 토양 생물을 섭식하는 침개미류를 확인하지 못함. : *Pachchondyla chinensis*

나. 선발천적의 발육조건 규명

알기생천적의 종류는 알벌류에서 송충알벌, 벼룩좀벌류에서 송충살이벼룩좀벌이 알려져 있으며 실내 증식하여 발육조건을 규명한 것은 알벌류 2종이었다.

도토리나방의 알에서 선발한 명충알벌은 온도별로 발육기간이 26, 28, 30, 32℃에서 각각 10.2, 8.2, 7.8, 7.6일로 송충알벌보다 다소 짧은 것으로 조사되었다 (Fig. 18). 또한 산란수는 29±2℃ 사육조건에서 평균 60.4개(최고 102.8개)로 조사되었다.

알기생천적인 송충알벌을 이용한 실험실내 실험 결과 송충알벌의 생물학적 특성을 조사한 결과 알에서 성충까지의 발생기간은 온도조건이 26℃, 28℃, 30℃, 32℃ 로 증가함에 따라 평균 10.9, 9.61, 9, 8.65일로 조사되었다(Table 10). 송충알벌의 수명은 한 마리씩 기주를 접하지 않고 보관할 때 26℃에서 평균 12.1일로 조사되었다 (Fig. 19). 솔나방 알에 대한 산란수는 기주를 처음 접했을 때 하루 평균 63.4±35.9개이었고, 일생동안의 산란수는 평균 218개이었다.

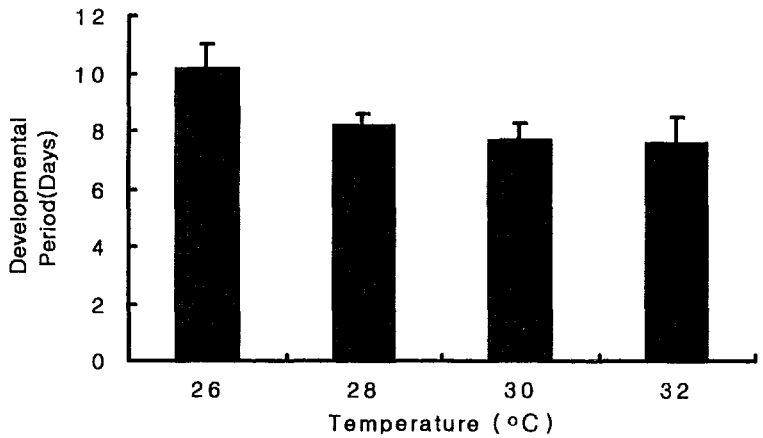


Fig. 18. Developmental periods of *Trichogramma chilonis* reared on *Kunugia yamadai* eggs at four different temperature.

Table 10. Growth stage durations, mean number of progeny, total number of emergence and sex ratio of *Trichogramma dendrolimi* which reared at different constant temperatures respectively

Temp. (℃)	Growth stage (days)[a]				mean no. of progeny (±SD)	Total no. of Emergence	Sex ratios
	Egg	Larval	prepupal	pupal	oviposition to adults		
26	1	3.7±0.2	1.7±0.1	4.5±0.2	10.9±0.5	78.3±10.3 a	1151.4±94.3 a (78)	73
28	1	3.4±0.1	1.3±0.2	3.9±0.3	9.6±0.6	46.9±6.1 b	829.2±96.2 b (88.4)	84
30	1	3.0±0.2	1.0±0.3	4.0±0.3	9±0.8	40.8±5.5 bc	495.6±140.6 c (60.7)	82
32	1	2.8±0.2	1.1±0.3	3.7±0.4	8.6±0.8	42.4±9.0 bcd	354.0±173.7 cd (50.1)	70

Means, in the same column, followed by the same letter are not significantly different ($P<0.05$; Duncan's multiple range test).
Sex ratio is presented as the proportion of femails in the population.

[a] 50% of the population completed the stage in this time period.

The values in parentheses means total percentage of emergence.

For each test, 24hrs old 20 females exposured on *Antheraea pernyi* egg card which glued 12 eggs and replicated 5 times.

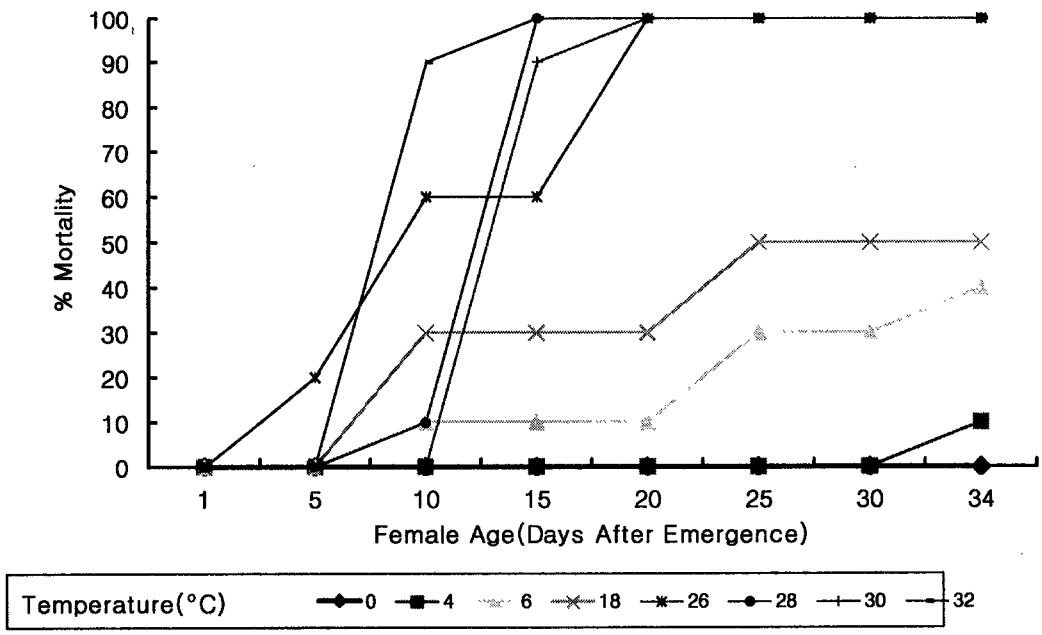


Fig. 19. Age-specific mortality of female *T. dendrolimi* reared in *A. pernyi* eggs when kept at eight different temperatures.

Table 11. Fecundity and longevity of one female parasitoid reared on *Antheraea pernyi*, *Dendrolimus spectabilis*, Artificial eggs respectively

Item	Host eggs		
	In vitro	*A. pernyni*	*D. spectabilis*
Total no. of eggs laid within initial 24hrs.	76.6±24.5	99±10.7	63±35.9
Total no. of eggs laid during total lifespan	98.2±37.1 a	104±44.7 ab	218±27.9 c
Total longvity of females(days)	6.0±1.2 ab	5.8±1.3 a	14±2.8 c

Column means followed by the same letter do not differ significantly at the 5% level of significance based on a one-way ANOVA(Duncan's multiple range test).

Host eggs for the tests were *D. spectabilis* eggs and replicated 5 times.

For each test, reared at 28℃, 16:8(L:D), 75%(RH)

라) 기생천적의 효과 분석

효과적 방제 기법 개발

솔나방의 효과적 방제를 위해서는 적절한 시기에 천적을 방사하여야 하는데, 그러기 위하여 솔나방의 생태를 정확히 파악하고 환경과 연관되어 정확한 우화 시기 및 산란 시기를 포착하여 알기생천적을 방사하는 것이 중요하다.

솔나방의 정확한 우화시기 및 산란시기를 포착하기 위하여 온도 발육 실험을 고려대에서 실시중이며, 2차 년도인 99년 현재 각 내륙의 발생 지역에서 2화기 발생을 예측하게 되어 온도와 관련된 연구가 추가적으로 실시되어야 할 것으로 생각된다.

솔나방 알기생천적의 발육기간이 평균 10일에서 12일이므로 실내에서 일정한 수준으로 증식한 후에 솔나방의 산란기 1주전부터 주기적으로 방사를 실시하는 것이 효

과적이며 그러기 위하여 기주의 확보 및 기생벌의 관리가 필요하다. 이번 실험에서는 경기 평택의 0.7ha에 걸쳐 반경 20m의 4 지점에 각각 2만 마리를 1차 방사하고 1주일 후에 2만 마리, 그리고 2주 후에 5만 마리를 방사하였으며 난괴의 조사는 매주 실시하여 무 방사 지역과 비교하였다.

지난 3년 동안 조사한 기생천적의 효과는 위의 결과와 같이 주로 유충단계의 천적에 의한 것으로 조사되었다. 또한 각 지역에서 적은 기생률이지만 알기생 천적이 조사되었다. 그 중 유충기생천적은 실내 증식에 여러 가지 문제점이 있어 알기생천적을 증식하여 효과를 분석하였다. 실내에서 조사한 효과분석결과 2만 마리의 알벌을 방사한 지역에서 15m 이내에서 대조구와 비교하여 높은 기생률을 나타내는 것으로 조사되었다(Fig. 20).

Table 12. Mean number of egg, percentage of hatching, and egg mass parasitism of pine moth, *Dendrolimus spectabilis* in the Ipjang and Jeungpeyong, Chungchengnam-do

Area	Date	Mean no. of egg	% hatching	% parasitism of egg mass
Ipjang	July. 1999	222.4±168.3	93.1	10.5
	July. 2000[a]	159.2±169.0	89.7	20.6
Jeungpeyong	July. 2000	238.3±118.6	91.4	0

2화기 발생한 평택의 9월 평균 난괴당 알수는 63.7±76.5개이었다.

[a] 20,000 *Trichogramma dendrolimi* were released.

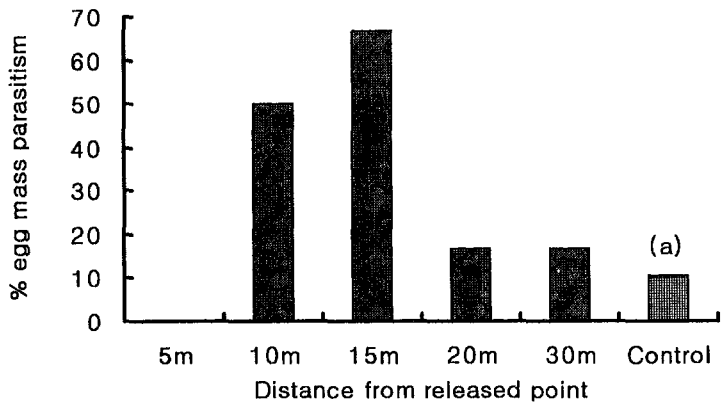


Fig. 20. Percentage of egg mass parasitism of pine moth, *Dendrolimus spectabilis* postreleased 20,000 *Trichogramma dendrolimi* in Pyeongtaek Kyeonggi-do (July. 1999).

(a): *Anastatus* sp.

제 5 장 효과적 천적 곤충의 대량 증식 기술 확립과 체계 확립

제 1 절 서 설

알벌류는 생물적 방제를 위하여 벨기에, 중국, 콜롬비아, 프랑스, 독일, 폴란드, 인도, 러시아, 남아프리카, 스위스, 그리고 미국 등 세계 많은 나라에서 대량증식 되어지고 있다. 알벌류의 기주 해충은 농작물 및 산림에 이르기까지 다양하게 발생된다(Laing and Eden, 1990).

중국과 구 소련에서는 알벌류가 농작물 해충을 대상으로 가장 폭넓게 사용되는 유용한 천적으로 인식되고 있으며, 우크라이나에서는 약 15×10^6ha의 면적에서 매년 양배추, 사탕무우, 밀, 옥수수, 그리고 사과 등에 사용하고 있고 중국에서는 사탕수수, 쌀, 옥수수, 그리고 목화 등에 사용하고 있다(Li, 1984; Cock, 1985; Ridgway and Morrison, 1985).

산림의 경우 중국에서는 알벌류를 방사하여 솔나방류의 방제에 이용하고있으며 그 외 다른 소나무류 해충에 대해서도 유충밀도를 100%까지 감소시키기도 했다(Peng et al., 1984; Franz and Zimmerman, 1984; Hsiao, 1981). 특히 중국은 1980년대 이후 송충알벌과 명충알벌의 인공증식방법을 발전시켜 농작물 해충에 사용하고있는데, 기생벌의 인공증식방법은 지난 10여 년간 농업생태계에서의 다양한 천적의 이용을 위한 대량 증식법으로 광범위하게 연구되어져 왔다. 해충을 방제하기 위하여 천적을 증식하는 방법으로는 대상해충과 유사하거나 천적의 대체기주인 또 다른 기주를 마련하는 것과 인공적으로 제작된 기주를 사용하는 것이 대표적인 예이다. 전자는 살아있는 생물을 다루는 작업이므로 경우에 따라 보관, 저장 및 사육에 따른 경비와 문제점이 있을 수 있다. 따라서 여러 국가에서 인공기주를 이용한 천적의 증식에 관하여 많은 연구를 하고있으며, 특히 알벌류 중 송충알벌, 명충알벌은 중국에서 많은 연구가 이루어져 현재 실용화 된 실정이다. 하지만 이러한 인공기주를 이용하여 증식된 천적의 활력에 관한 연구는 국내에서 잘 연구되어지지 않았다. 국내에서 송충알벌을 대량 증식하여 실제로 사용한 예는 1960년대 후반에 몇 차례에 불과하다. 또한 당시 송충알벌의 대량증식을 위하여 사용한 기주는 송충알벌의 원기주인 솔나방이었다. 송충알벌

의 월동서식처인 밤나무산누에나방(어스렝이나방)을 월동기에 채집하여 냉장보관하고 이를 실내에서 필요한 시기에 우화시켜 송충알벌 개체군을 확보하여 사용하였다. 대량 증식하기 위한 기주인 솔나방은 야외에서 이른봄에 채집한 솔나방을 실내에서 항온 사육하여 야외조건보다 빨리 우화할 수 있도록 한 후 채란하여 기주로 사용하는 방법을 사용하였다. 하지만 30년이 지난 현재의 생태적인 환경의 변화 등을 고려할 때 이러한 방법에는 한계가 있다. 즉 월동 기주처인 어스렝이나방의 밀도가 급감하여 월동난괴를 채집하는 것이 어려워졌으며 동시에 최근 몇 년간 조사한 월동 어스렝이나방의 알에서 송충알벌이 기생되지 않은 것으로 조사되어 이러한 방법은 효과적이지 않은 것으로 생각된다. 또한 원기주인 솔나방을 실내에서 대량으로 사육하는 것은 인공먹이가 없는 실정에서 먹이의 공급 및 실내 사육공간, 인건비의 면에서 효과적인 방법이 아니다. 이러한 이유로 본 연구에서는 송충알벌을 대량 증식할 수 있는 기주의 전환을 고려하게 되었다. 그 예로 외국의 경우는 알벌류의 대체기주로서 쉽게 구할 수 있는 대상곤충인 보리나방, 산누에나방 등을 이용하는 것으로 조사되었다. 특히 중국의 작잠(산누에나방, *Antheraea pernyi*)은 기주인 알의 크기가 지름 3㎜ 정도로 크며 경제성도 우수하여 송충알벌 및 명충알벌이 기주로 활용할 수 있어 이용에 효과적이다. 하지만 이러한 대체기주를 이용할 경우에 먼저 송충알벌의 생물학적 특성에 관해 조사가 필요하다. 또한, 대체기주의 공급이 원활하지 않은 경우 인공적으로 제작된 인공 기주알을 사용할 수 있다. 즉, 각종 영양분을 배지로 하여 알 모양으로 제작된 인공알을 이용하여 천적을 증식하는 방법이다. 국내에서 다른 알 기생천적인 짚시알깡충좀벌에 관한 인공증식에 관하여는 잘 연구된 바 있다(Lee and Lee, 1994). 하지만, 인공기주를 이용한 실험이 이미 중국 및 몇몇 외국에서 성공하였다고는 하나 국내에서 송충알벌의 인공기주에서의 생물적 조사는 잘 연구되어지지 않아 그 필요성이 크다고 할 수 있다. 또한, 여러 기주에서 증식된 송충알벌의 증식과 발육에 미치는 요인, 그리고 증식 후 활력에 관한 연구로서 자연기주와 인공기주의 기주차이가 산란수와 우화율에 미치는 영향에 관하여는 잘 알려진 바 없고 환경요인에 따른 산란수의 변화에 관한 연구는 그리 많지 않은 실정이다. 본 연구결과 솔나방의 기생천적으로 조사된 여러 천적종들 중 실내에서 사육이 가능한 종은 알기생천적 송충알벌, *Trichogramma dendrolimi*인 것으로 조사되었다. 그 결과 2차, 3차 년도에 알기생천적중 방제 효과가 가장 우수하다고 알려진 송충알벌의 실내 대량 사육을 시도하였다.

본 연구는 송충알벌의 효과적인 대량 증식 기술을 확립하기 위하여 자연기주와 대체기주, 그리고 인공기주에 따른 송충알벌의 활력을 비교하였다. 그리고 대체기주를 이용한 대량 증식방법과 인공기주를 이용한 대량 증식 방법에 관하여 조사하였다.

제 2 절 재료 및 방법

가. 기생천적의 대량 증식

1) 대체기주를 이용한 대량 증식

솔나방의 유망 천적으로서 활용 가능한 천적은 조사 결과 사육 및 보관이 용이한 알기생천적류(Trichogrammatidae)인 것으로 조사되었으며, 이들 알기생천적을 대량 증식하기 위하여 국내의 산누에나방(*Antheraea pernyi*)(Fig. 5.1)과 같은 종인 중국 작잠의 번데기 및 알(무정란)을 대체기주로 하여 실내에서 대량 증식하였다(Fig. 5.2). 특히 중국에서 생물적 방제를 주관하는 농업시험장의 전문가와 직접적인 협조를 통하여 원활한 협조가 있었으며 전문가를 초청하여 천적의 실질적 활용방안에 관하여 조사하였다.

대체기주를 선발하고 대량 사육하기 위하여 99년 춘기에 솔나방 발생지에서 대체기주를 이용하여 천적을 채집하였고 특히 도서 지역인 인천 석모도에서 월동기주로 보이는 도토리 나방(*Kunugia yamadai*)의 난괴(Fig.5.3)를 대량 채집하였으나 송충알벌(*Trichogramma dendrolimi*)은 채집되지 않았다.

유충기생천적은 고치벌류(Braconidae)와 기생파리(Tachinidae)(Fig. 5.4)가 채집되었으나 대량 증식하기 위한 기주의 사육이 곤란하여 대량 증식이 불가능한 상태이었다. 천적 채집 후 전국의 솔나방 발생지에서 산란된 난괴를 채집하여 기생률과 천적을 조사하였고 이러한 천적을 실내에서 증식하였다.

실내 증식에 성공한 종인 송충알벌을 이용하여 대체기주인 산누에나방의 알을 이용하여 대량 증식하였다.

2) 인공기주를 이용 한 대량 증식

자연기주인 산누에나방의 알과 동시에 인공기주를 제작하여 실내에서 대량 증식 실험을 실시하였다. 송충알벌의 인공증식에 사용된 인공알의 내용물은 반 인공성분으로 산누에나방 번데기 헤모림프 40%, 계란 난황 20%, 분유(10%로 희석) 30%, Neishenheimer salt solution 10%, 400unit의 페니실린과 스트렙토마이신을 0.16% 혼합하여 사용하였다(Lee and Lee, 1994). 기생벌에 의해 기생된 인공알 artificial host(12eggs/bag-form: 1.5×3cm)은 투명한 플라스틱 관병(ϕ2.5×7cm)에 넣어 사육실내 항온 항습기(28℃, 60%RH, 16L:8D)에서 사육하였다. 알기생천적류는 본 연구에 의해 개발된 인공알(Fig. 5.5)에서 사육이 가능하게 하였으며 실험실에서 인공배지를 조제하고, 인공알껍질재료로는 폴리프로필렌(0.02mm)을 이용하였다. 실험곤충은 실험실내 항온항습 곤충사육상(28℃, 60%RH, 16L:8D)에서 산누에나방의 알을 기주로 하여 누대사육한 송충알벌을 이용하였으며 사육상 내 점등시간은 05:00시로 하였다. 실험에 사용된 송충알벌은 모두 우화 후 24시간 된 것 중 교미한 암컷만을 사용하였고, 먹이로 10%의 벌꿀을 공급하여 주었으며 산누에나방의 알은 1.5×3cm 크기의 카드 형태의 흰 종이에 풀(Elmer's glue-all, Borden Inc, U.S.A.)로 12개의 알을 붙여 사용하였다.

우화 후 24시간이 지난 것으로 교미한 50마리의 송충알벌 암컷을 기주알인 산누에나방의 알카드)와 인공알에 접종한 후 24시간마다 새로운 기주알 카드로 교체하여 주었다. 24시간마다 살아있는 송충알벌의 수를 조사하였으며 기주알당 기생되어 발육중인 기생벌의 수를 실체현미경아래서 조사하고 송충알벌 한 마리당 산란수를 각각 조사하였다.

자연알인 산누에나방 알을 16L:8D, 12L:12D, 8L:16D의 세 가지 다른 광주기의 Growth chamber에서 10일간 매일 계속 조사하였으며 인공알을 대상으로 16L:8D 광조건에서 매일 산란수와 우화수를 조사하였다. 산란수의 조사는 기생벌 접종 후 6일에서 8일 이내에 기주알을 해부하여 발생중인 유충 및 번데기의 수(Fig. 6, 7)를 실체현미경에서 조사하였고, 우화수는 기주로부터 우화하는 총 성충의 개체수를 조사하였고 기주알을 해부하여 우화에 실패한 개체수도 조사하였다. 인공알에서의 산란수와 우화수도 자연알과 같은 방법으로 조사하였다.

우화경향을 알기 위하여 인공알을 대상으로 28±1℃, 60%RH, 16L:8D 조건에서 24시간

중 2시간마다 우화하는 송충알벌 성충의 수를 조사하였다. 기생된 인공알을 얻기 위하여 각각 송충알벌 암컷과 24시간 동안 플라스틱 관병 속에 함께 보관하여 기생시켰으며 이렇게 기생된 알카드를 대상으로 우화율을 조사하였다. 우화수의 조사는 최초 우화를 시작한 시간부터 매 2시간마다 우화하는 성충을 분리하면서 그 숫자를 조사하였다.

나. 포식성 천적의 대량 증식

개미는 식성이 풍부하여 환경에 대해 내성의 폭이 넓고 다양한 곳에 알을 낳기 때문에 어느 곳에서나 서식할 수 있는 넓은 생태학적 분포범위를 갖고 있다. 생활형은 다른 곤충과 구별되는 "개미형" 즉 알, 애벌레, 번데기의 시기를 땅속에서 지내고 성충 시기에만 지하와 지상을 왕래하며 생활하는 종이 대부분이다. 또한 개미류는 서식지 내에서 월동을 하여 이듬해 4~5월경에 활동을 시작하는 곤충으로 대량증식에 어려움이 있다. 따라서 유망 천적종 증식이 가능한 종을 선발하여 인공 증식을 하고자 기보고 된 천적종인 불개미 Formica yessensis를 포함한 불개미류 4종을 선택, 대량증식을 하기 위하여 자연생태조사와 병행하여 실내사육이 가능한 종들의 실내사육을 실시하였다. 아울러 생존율을 높이는 방향으로 실험을 진행했으며 생태조사로 나타난 본 종들의 특성을 최대한 인공증식에 이용하고자 하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

가. 대체기주를 이용한 대량 증식 기술 개발

알기생천적의 기주는 다양하게 알려져 있으나 실내에서 기주의 사육이 용이한 것은 별로 없었다. 캐나다의 경우 Smith(1982-1986, The Ontario project)등에 의해 소나무류 해충(Spruce budworm)을 보리나방(*Sitotroga cerealella*)을 사육하고 알을 기주로 사용하여 대량 사육하여 방사하고 효과를 거둔 경우가 있으나 이때 사육한 종은 송충알벌이 아니라 *Trichogramma minutum*으로 그 기생 능력 및 증식 결과는 다소 다르리라 예상하며, 보리나방의 경우 국내의 보리나방 종과 다소 다른 종의 해충으로 현실적으로 실내 사육 할 경우 외래 해충의 도입이라는 문제가 발생할 우려가 있다. 그 외에 매미나방(*Lymantria dispar*) 및 도토리 나방(*Kunugia yamadai*)등 다른 산림해충의 사육을 시도하였으나 실내 사육이 쉬운 매미나방의 경우 기주의 특이성이 심해 증식이 불가능했으며 도토리 나방의 경우는 실내사육이 쉽지 않았고 기생률도 높지 않았다.

중국의 경우 송충알벌의 대량 증식은 대체기주인 산누에나방(*Antheraea pernyi*)의 알을 이용하는데, 중국은 넓은 임야와 값싼 인건비를 이용하여 대량으로 산누에나방을 사육하고, 월동충태인 번데기를 저온 보관하여 필요시 우화시켜 채란하고 그 알을 기주로 대량 사육하는 방법을 사용하였다. 중국의 산누에나방은 국내종의 참나무산누에나방과 같은 종으로 도입에 문제가 없을 것으로 생각되며, 번데기 상태로 중국에서 도입하여 채란하면 대체 기주로서 알을 사용할 수 있다. 이러한 이유로 본 연구에서는 산누에나방의 알을 대체기주로 이용하여 대량 증식하였다. 실제로 국내에서 산누에나방의 자연먹이를 이용한 사육이나 인공먹이에 의한 사육은 쉽지 않으며, 그 종이 줄어들고 있어 채집도 어려운 상황이므로 기주의 필요시기인 3-6월 사이에 중국과 연결하여 기주알 및 번데기를 도입하는 것이 유리할 것으로 생각되었다.

대체기주인 산누에나방 알을 이용한 증식 기술의 개발은 실내에서 산누에나방의 번데기를 우화시켜 산란 전에 복부를 절단하여 복부 속의 알을 채취하여 사용하였으며 이 알은 무정란으로 야외에서 우화하지 못하였다.

대치기주와 인공기주를 이용한 대량증식 기술 개발은 1차년도 연구결과 솔나방의 기생천적으로 조사된 천적종(Table 1) 중 실내에서 사육이 가능한 종은 알기생천적 송

충알벌, *Trichogramma dendrolimi*인 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구는 알기생천적증 방제 효과가 가장 우수하다고 알려진 송충알벌의 실내 대량 사육을 시도하였다.

솔나방 유충기생천적증 98년 채집 조사된 기생파리 2종과 고치벌 1종을 이용하여 솔나방 방제를 위하여 월동 솔나방 유충을 채집하여 실내 증식 후 천적을 선발하였다. 실내 사육이 가능하며 공동 기주인 독나방과의 유충(매미나방, 도토리나방)을 실내 사육하여 증식용 대체기주로 활용가능성 실험하였으나 기주의 먹이 공급이 원활하지 못하였고 도토리나방의 사육실 적응 불량으로 사망하였다. 특히 월동중 유충의 채집결과 기생천적은 활력이 약하여 증식이 어려웠으며 기주의 확보가 원활하지 못하였다

Table 1. Parasitoids and parasitism of *Antheraea pernyi* egg cards Janghowon Kyeonggi-do (October 1998)

Setting	Collecting	Area	Parasitism (%)	Remarks
Oct. 1998	Jan. 1999	Orchard	0	· All species were same species *Trichogrammatidae*
		Near a lake	20	· The parasitoids has a black color of abdomen segment and their were higher proportion of female
		Hill	20	

* 10 cards (12eggs/ card) were placed on pine trees.

Table 2. Growth number of Trichogrammatidae reared on *Antheraea pernyi* eggs in laboratory

	Generations					
	1st	2nd	3rd	4th	5th	After 5th
No. of Exposured	30	400	3,000	10,000	10,000	Possible to control the number of Trichogrammatidae after 5th generation
No. of Emergence	400	8,000	60,000	50,000	50,000	

Table 3. Mean and maximum number of eggs laid of *Trichogramma dendrolimi* on different hosts, *Antheraea pernyi* and *Dendrolimus spectabilis* one egg

No. of eggs	Hosts	
	Antheraea pernyi	*Dendrolimus spectabilis*
Maximum	209.6	23.4
Mean	33.5	19.56

Table 4. Life span and fecundity of *Trichogramma dendrolimi* reared on different hosts, *Antheraea pernyi* and *Dendrolimus spectabilis* eggs

	Hosts	
	Antheraea pernyi	*Dendrolimus spectabilis*
Total fecundity	104.0 ± 44.7 *	218.0 ± 27.9
Life span	5.8 ± 1.3 *	14.0 ± 2.8

* Statistically significant at $P < 0.05$

Table 5. Percentage parasitism of pine moth pupa was parasitized by *Tachinidae* in Kyodong island Incheon (Aug. 1999)

Test Area	No. of Pupa	No. of Tachinidae (%parasitism)	% Emergence of Tachinidae	% Emergence of pine moth
1	6	2 (33.3)	100	33.3
2	3	3 (100)	100	0
3	5	7 (100)	28.6	0
4	5	7 (100)	0	20
5	6	1 (16.7)	100	33.3
6	4	1 (25)	100	25
7	5	5 (80)	100	20
8	4	2 (50)	100	25
9	4	3 (75)	66.7	25
Mean	4.7	3.4 (62.2)	77.3	20.2

나. 인공기주를 이용한 대량 증식 기술 개발

자연기주인 산누에나방의 알과 동시에 인공기주를 제작하여 실내에서 대량 증식 실험을 실시하여 인공증식 계통의 기주 공격력 비교 연구 등 생물학적 특성을 비교 조사하였다.

Table 6. Ingredients of artificial media

Ingredients	Percentage(%)
Hemolymph of *Antheraea pernyi* Pupa	40
Chicken egg yolk	20
Infant formula	30
Neisenheimer's Salt Solution	10
Penicillin & Streptomycin	400 unit/ ml

Table 7. Comparision of developmental periods and percentage hatching of *Trichogramma dendrolimi* with three types of hemolymph for *in vitro* rearing

Source of Hemolymph	Developmental days (Day)	% Hatching
Antheraea pernyi	9.3±0.4	72.2
Bombyx mori	9.2±0.4	67.8
Lymantria dispar	9.4±0.5	68.6

B. O. D. Incubator 27±2℃, 75±5%RH, 16:8LD.

All tests were replicated 5 times.

Table 8. Daily eggs laid and percentage emergence of *Trichogramma dendrolimi* reared on artificial eggs

Days after emergence	Eggs laid	% Emergence
1	38.8	44.6
2	3.28	61.8
3	15.46	79.2

Table 9. Parasitism rate of *Heliothis armigera* by both artificial egg - *Trichogramma dendrolimi* & natural egg - *T. dendrolimi* in fields (Dai *et al.*, 1986)

Date	Treatment*	Area ha	Wasps/ ha	Total samples egg	Total parasitized Egg No.	Parasitism rate
June, 1981	AT	0.6	150,000	1020	942	92.30±7.58
	OK	0.47	150,000	1159	1070	88.66±5.90
	CK	0.4	0	556	226	29.93±17.13
June, 1982	AT	3.6	122,000	93	13	20.03±9.37
	OT	1.73	150,000	132	10	1029±9.98
	CK	1.0	0	115	1	3.57±3.57

* AT: Artificial egg - *T. dendrolimi*
OT: Oak silkworm egg - *T. dendrolimi*
CK: Control

Table 10. The abilities of AT to search and parasitize *Dendrolimus* eggs in pinewoods (Dai *et al.*, 1986)

Date	Treatment*	Area ha	Wasps/ ha	Parasitism rate
June, 1981	AT	0.33	300,000	83.36±7.78
	OK	0.33	300,000	42.24±10.78
	CK	0.26	0	0
June, 1981	AT	2.00	110,000	49.30±18.60
	OK	2.00	110,000	32.81±13.42
	CK	0.20	0	1.30±1.30
June, 1981	AT	2.00	144,000	41.38
	OK	2.00	140,000	34.03
	CK	1.00	0	0.12
June, 1982	AT	26.67	450,000	51.17±8.06
	OT	6.67	450,000	48.57±14.15
	CK	3.30	0	0.50±0.98

* AT: Artificial egg - *T. dendrolimi*

OT: Oak silkworm egg - *T. dendrolimi*

CK: Control

다. 포식천적의 대량 증식

불개미류를 이용한 천적의 실내인공증식실험 결과 포식력에 있어서는 우수한 결과를 나타냈으나 인공 증식률에 있어서는 저조한 결과를 나타내 인공증식의 어려움을 나타냈다. 한편 다른 실내사육 가능종, *Formica japonica*, *Pristomyrmex pungens*, *Crematogaster matsumurai*, *Tetramorium caespitum*, *Pachycondyla chinensis* 들의 인공증식을 병행한 결과, 새로운 천적 예상종 *Pristomyrmex pungens*는 대량군집을 형성하는 종으로 여왕개미가 없으며 실내사육에 있어 생존율이 매우 높게 나타났다. 이는 인공증식의 가능성을 시사해 준다고 볼 수 있다. 또한 다른 몇몇 종들의 실내사육에 어느 정도의 가능성을 나타내고 있다.

또한 솔나방 소멸단계 지역에 과발생 서식하는 개미들의 실내사육을 실시한 결과에서도 마찬가지로 다른 종에 비해 *Pristomyrmex pungens*의 생존율이 매우 높게 나타났다.

라. 송충알벌의 생물학적 특성 조사

1) 산란경향

산란 경향의 조사결과 사육실내의 광주기를 16L:8D, 12L:12D, 8L:16D으로 각각 달리한 조건에서 24시간 동안에 송충알벌에 의해 산누에나방 알에 기생된 개체수는 모든 조건에서 전체적으로 첫째 날에 가장 높은 기생률을 보였다. 즉 기주알 한 개당 평균 기생벌 개체수는 첫째 날 광주기 16L:8D에서 161.8±10.7, 12L:12D에서 145.8±20.5 그리고 8L:16D일 때 128.5±19.6개로 광주기 16L:8D때 가장 많았다. 그러나 둘째 날에는 모든 경우 급격히 개체수가 감소하였고 셋째 날에 50%정도로 각각 회복되었다가 계속 10일째까지 감소하여 1.3±1.9, 4.4±3.1, 9.6±10.1개로 각각 개체수가 적어졌다(Fig. 11).

기생벌 한 마리당 산란수는 16L:8D조건에서 38.8개체, 12L:12D에서 35.0개체, 그리고 8L : 16D일 때 30.8개체로 모두 첫째날에 가장 많았고 기생되지 않은 기주알의 수는 각각의 조건인 16L:8D, 12L:12D, 그리고 8L:16D인 광조건에서 각각 1일차에 3.0, 5.0, 10.0%이었으며 2일차에 78.0, 80.0, 80.0%로 증가한 후 3일차에 7.0, 8.0, 3.0%로 감소하여 기생률이 높아졌으며 그 후 다시 감소하여 36.7, 28.0, 25.0%로 기생되

지 않은 기주알이 다시 증가하였다. 조사 마지막날인 10일째에는 95.0%, 85.0%, 76.7%로 8L:16D 광조건에서 비교적 가장 많은 기생률을 보였다(Fig. 12). 결과적으로 광주기 조건에 따른 기생률 및 산란수 차이는 첫째날을 제외하고는 뚜렷한 차이를 볼 수 없어서 광조건이 기생활동 중에는 크게 영향을 미치지 않았다(Fig. 11, 12). 한편 광조건을 16L:8D로 하여 인공알에 기생을 유도하였을 때 3일째까지 산란되어 발생하는 기생벌의 개체수는 산누에나방알에서와 같이 첫째날에 인공알 당 106.8개로 가장 많았고 둘째 날, 셋째 날에는 첫째날에 비하여 25% 또는 20% 이내로 감소하는 경향을 볼 수 있었다(Table 11).

Bai 와 Smith(1993)는 *Trichogramma minutum*을 대상으로 기주 개체수의 조건에 따른 알벌의 일차별 산란(fecundity)경향과 생식과 생존 관계에 대하여 조사 보고한 바 있다. Wu *et al.*(1986)도 *T. pretiosum* 에 관하여 산란경향에 대한 조사를 하였으며 Bai *et al.*(1992)은 역시 *T. pretiosum*에 대한 산란 경향을 조사 보고한 바 있다. 이러한 연구들에서 대부분 첫째날에 가장 많은 산란을 하였고 그 후 계속하여 뚜렷하게 감소하는 것으로 보고하였다. 본 실험에서 사용한 송충알벌이 산누에나방알에 산란하는 경향도 첫째날에 가장 높았고 다음날부터 급격히 감소하였다. 이러한 경향은 기주곤충의 개체군 크기에 따라 기생곤충의 산란에 영향을 받으며 특히 산란할 수 있는 대상 기주수가 제한되어 있을 때 첫째날이나 처음 몇 일 사이에 가장 많은 산란을 한다는 결과와도 일치하는 것으로 해석 할 수 있겠다. 그러나 기생곤충의 수명과 산란양 사이에도 서로 절대적으로 관련이 있다고 한 진화론적 이론에 관련한 이해는 좀더 계속적인 조사가 있어야 하겠다.

광주기 조건의 차이에 따른 송충알벌의 산란경향은 가장 많은 산란을 한 첫째날에 광주기 16L:8D에서 다소 많은 산란을 볼 수 있어 12L:12D 나 8L:16D의 경우와 비교가 되었으나 전체적으로는 뚜렷한 차이는 없었다. 광주기와 기생곤충의 충태별 발생기간과의 관계는 Calvin *et al.*(1984)이 *T. pretiosum*을 대상으로 다양한 광주기 조건에서 전체적으로 뚜렷한 차이가 없다고 하였으며, 특히 암컷 마리당 번식능력에도 차이가 없었다. 따라서 광주기는 성충의 수명이나 발생기간, 번식능력에 차이가 별로 없으며 다만 광조건이 길어지면 조금씩은 수명이 증가되는 것 같다고 하였다. 이러한 연구결과들을 고려할 때 송충알벌의 경우도 광주기의 차이가 암컷의 난소발생에 크게 영향을 주지 않아서 산란의 차이도 없는 것으로 볼 수 있겠다. 다만 첫째날에 비하여 급격한 감소를 나타낸 둘째 날의 산란수는 첫째날 집중적으로 산란한 때문에 일시적

으로 낮아진 결과이며 셋째 날에는 다시 회복되어 전체적으로 시간이 흐름에 따라 점차 서서히 감소하는 경향을 보였다.

광주기의 차이가 송충알벌의 발생과 산란에 직접적 영향을 주지 않는다는 결과에 따라 광주기를 16L:8D로 고정하고 인공알에 같은 방법으로 산란을 유도하였을 때도 산누에나방알에서와 같이 첫째날에 가장 많은 산란을 하였고 둘째, 셋째날에는 급격한 감소를 보였다. 이 같은 결과는 인공알을 이용한 짚시알깡충좀벌, *Ooencyrtus kuvanae*의 산란경향에서도 2일차에 대부분 산란을 하고 그후 9일차까지 급격히 감소하였다가 다시 23일차까지 점진적으로 감소했던 경향과 같은 경향을 보였다(Lee and Lee, 1994). 이러한 결과로 보아 송충알벌에서도 산누에나방알과 인공알에 대하여 유사한 경향을 보인 것으로 판단되었다.

2) 우화경향

우화경향의 조사결과 산누에나방알에서의 기주알당 평균 우화율은 1일차에 산란한 것에서 가장 낮은 42.1%이었고, 그후 증가하여 2 - 4일째 산란한 작잠알에서의 우화율이 평균 63.5, 80.5, 74.0%로 비교적 높게 나타났으며 이후로 54.5 - 72.1%로 유사하게 조사되었다(Fig. 13). 인공알의 경우는 첫째날의 경우 우화율이 84.7%로 가장 높게 나타났고 2일째는 52.2%, 셋째 날에 16.8%로 조사되었다(Table 11).

인공알에서의 하루 중 우화수는 18:00-20:00시 사이와 04:00-6:00시 사이에 각각 평균 43.0개체와 61.2개체로 가장 많은 우화개체를 볼 수 있었으며 05:00시에서 21:00시 동안은 06:00시에서 08:00시에 감소하였다가 10:00시 이후 회복되었다. 21:00시에서 05:00시 동안은 20:00 - 22:00시에 감소하였으나 그 후 우화개체가 6:00시까지 증가하였다(Fig. 14).

산누에나방알에서의 기주알당 평균 우화율은 1일차에서 가장 낮았고, 그후 증가하여 2 - 4일째 산란한 산누에나방알로부터의 우화율이 비교적 높게 나타났으며 이후로 계속 유사하게 조사된 반면, 인공알의 경우는 첫째날의 경우 우화율이 가장 높게 나타났다(Table 11). 이러한 결과는 산누에나방알의 경우 초기에 집중적으로 산란되면 지나친 중복기생을 하게되어 정상적인 발육을 하지 못하거나 발육이 모두 끝나 우화에 성공하였다고 해도 성충이 기주알을 뚫고 나오지 못하는 것을 확인한 바 있으며 이같은 결과 때문으로 판단된다. 그러나 성충의 연령이 증가할 수록 산란수가 감소하면서 우화율은 점차 높아졌다. 이처럼 적정한 개체의 송충알벌이 산란되었을 경우인

자연기주에서의 기주 공급 후 2일째 이후에 성공적으로 우화하는 성충이 증가하게 되는 것으로 알려져 있다(Thrope and Dively, 1985). 한편 인공알의 경우는 첫째날 집중적으로 산란했던 경우에 가장 높은 우화율을 보였고 둘째 - 셋째 날에는 각각 감소했는데 이 같은 결과는 자연알과는 달리 인공알에 산란수가 적을 경우 유충발생은 하지만 용화 단계에서 성공하지 못하는 개체가 많아 성충으로 우화하지 못하는 것을 쉽게 확인할 수 있었다. 실험 결과 자연알인 산누에나방의 알에서는 최소 20개체이상이 발육할 때 정상적으로 우화할 수 있고 60-70여 마리가 발생 적정 밀도로 조사된 반면 인공알에서는 그보다 많은 밀도인 40여 마리 이상이 유지되어야 하는 것으로 조사되었다. 즉 산누에나방알 같은 자연기주나 인공알에서는 산란된 알의 수가 기주에서의 발생과 우화에 큰 영향을 주는 것으로 확인 할 수 있었다. 따라서 성충의 우화율을 높이기 위해서는 적정한 산란수를 갖도록 기생벌의 밀도와 노출시간을 조정해야 되리라고 본다.

24시간 일주기 중 2시간마다 조사한 송충알벌의 기생률은 기주를 접한 직후에 가장 높았고 이후 다소 감소했으나 8시간까지는 큰 차이가 없었으며 그 후 급격히 감소하여 22시간 후에는 뚜렷한 차이를 나타냈는데 이는 알벌류가 기주를 접한 직후 산란행동이 가장 왕성하여 8시간 이내에 대부분 산란하는 것을 알 수 있었고 이 시간대가 주간이어서 기생벌들이 더욱 활발하게 활동하기 때문(Vogt and Necholes, 1991)이라고 생각된다. 또한 2시간마다 우화수를 조사 하였을 때 04:00-06:00시 사이에서 가장 많은 개체가 우화하였고 다시 16:00 - 20:00시 사이에 높게 나타났으며 이 두 점을 중심으로 감소하는 경향을 보였다. 이 같은 결과는 송충알벌의 우화도 다른 대부분 곤충들에서처럼 일몰 전후와 일출 전에 많이 우화하며 산란경향과도 같은 것으로 나타나서 유사한 기생벌들이 대부분 낮 동안에 활동하며 특히 산란이나 섭식활동들이 아침 일찍 많이 이루어진다는 보고(Vogt and Necholes, 1991)와도 같은 경향을 나타낸 것으로 이해되었다.

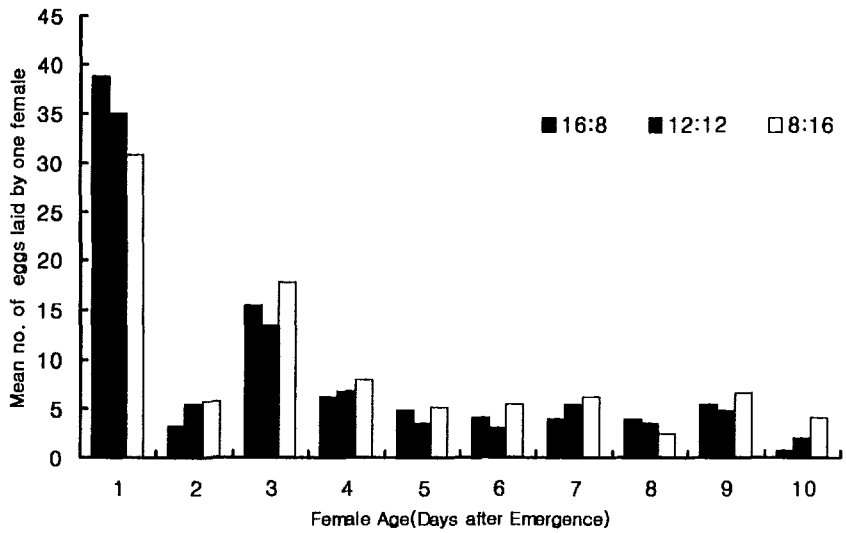


Fig. 11. Age-specific daily fecundity of *T. dendrolimi* which reared *A. pernyi* eggs under three different photophases.

For each test, 50 females *T. dendrolimi* exposured on one of *A. pernyi* egg card, which glued 12 eggs and was changed with new one every 24hrs. Each test was replicated 10 times.

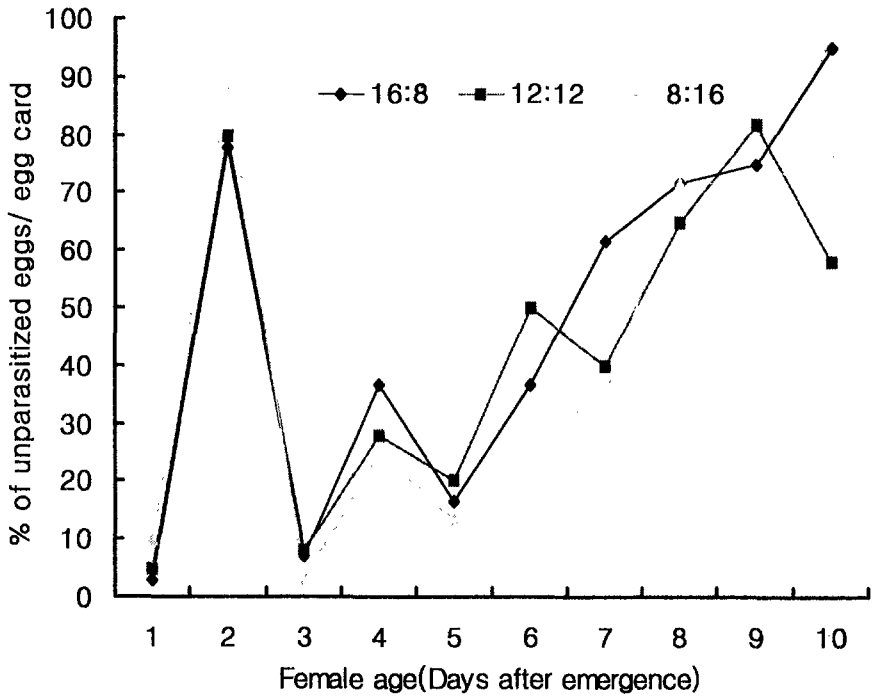


Fig. 12. Percentage of unparasitized eggs of *A. pernyi* by *T. dendrolimi* female. Females were exposured into three different photoperiods (16L:8D, 12L:12D, 8L:16D) for 10 days.

For each test, 50 females *T. dendrolimi* exposured on one of *A. pernyi* egg card, which glued 12 eggs and was changed with new one every 24hrs.

Each test was replicated 10 times.

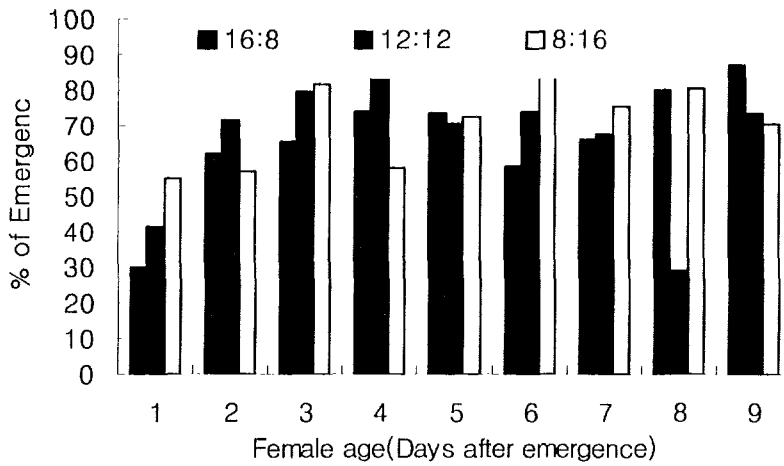


Fig. 13. Age-specific daily emergence of *Trichogramma dendrolimi* reared on eggs of *A. pernyi*.

For each test, 50 females *T. dendrolimi* exposured on one of *A. pernyi* egg card, which glued 12 eggs and was changed with new one every 24hrs.

Each test was replicated 10 times.

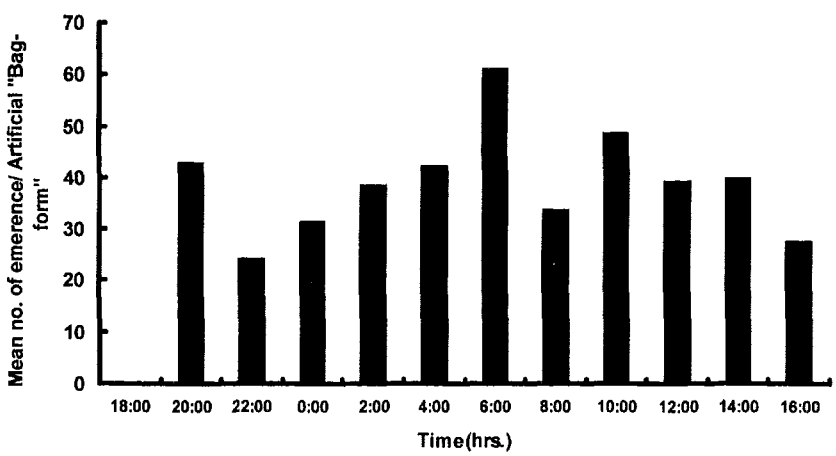


Fig. 14. Diurnal emergence pattern of *T. dendrolimi* reared *In vitro*.

All emergence adults were checked every 2hrs. during 24hours, and replicated 5 times.

Table 11. Mean number of parasitoid parasited in per artificial eggs which exposured for 24hrs. to fifty of *T. dendrolimi* shich have three different ages

Age (days)[a]	Mean no. of progeny	Mean no. of emergence
1	106.8±28.0 a	90.4±26 a (84.66)
2	26.6±17.5 b	13.9±13.2 b (52.19)
3	21.3±5.2 bc	3.6±6.7 bc (16.75)

[a] Age(days) means the days after emergence and 1 means 24hrs. old one.

For each test, 24hrs old 50 females exposured per artificial eggs for 24hrs. and changed with new artificial eggs every 24hrs.

Each test was replicated 10 times.

Column means followed by the same letter do not differ significantly at the 5% level of significance based on a one-way ANOVA(Duncan's multiple range test).

The values in parentheses means total percentage of emergence.

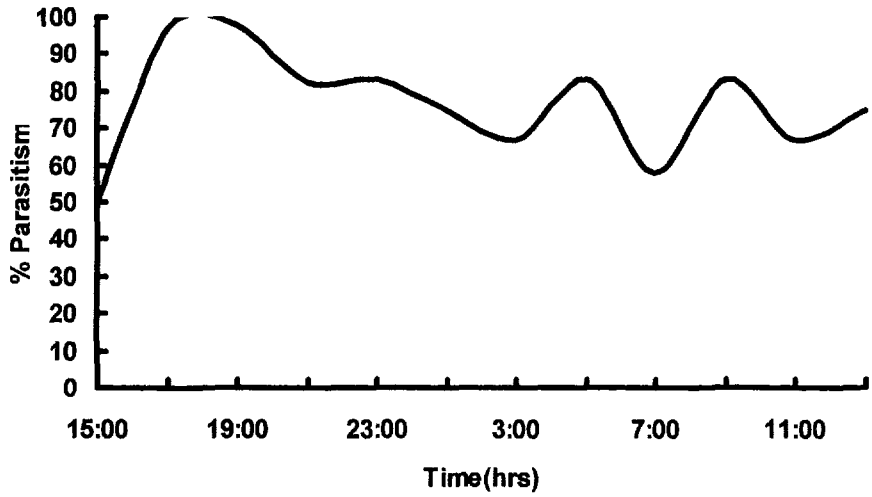


Fig. 5. Diurnal oviposition pattern of *T. denrolimi* reared on *A. pernyi* eggs.

All tests was replicated 5 times respectively. For each test, twenty *T. Dendrolimi* female (24hrs old) exposured for 24hrs.

제 6 장 천적 곤충의 대량 방사기술 및 효과 검증 연구

제 1 절 서 설

가. 알기생 천적인 송충알벌의 방사기술에 관한 연구

알벌류는 세계적으로 생물적 방제 프로그램에서 가장 널리 사용되는 기생천적이다. 따라서 야외조건에서 알벌류의 방사효율을 극대화시키려는 많은 연구들이 이루어졌다. 많은 곤충학자에 의해 기주 밀도, 방사량 그리고 기생벌의 행동의 연구를 통하여 종 또는 계통과 같은 요인들이 방사후 기생률에 미치는 영향들이 연구되어졌다.

천적의 방사기술은 Flanders (1929) 이후로 세계적으로 많은 연구가 이루어 졌다. 특히 그 중에서도 알벌류의 방사는 북미지역과 중국 등지에서 많은 연구가 이루어졌으며 그 방법도 여러 가지이다. 생물적 방제에 성공하기 위해서는 적절한 방사 시기, 방사량과 횟수, 그리고 기후, 작물, 기주, 포식자, 살충제, 분산과 같은 여러 가지 주요한 요인이 있다 (Smith, 1996).

알벌류의 대량방사는 세계적으로 주로 기생된 기주 상태로 기생벌이 번데기 단계일 때 대상 해충에 방사한다 (Smith, 1994). 이러한 방식으로 기생벌의 효과적인 분산을 위하여 다양한 방사 방법들이 활용되고 있다. 널리 사용되는 방법으로는 살포기 (backpack sprayer)를 이용하여 육상에서 방사하는 방법, 방사점을 설정하여 일정한 지점에 방사하는법(point release method)등이 있으며 이러한 방법들은 작물과 지형을 고려하여 적당한 방법을 선택하게된다. 송충알벌 방사의 시기는 사용하는 기주알의 적절한 활용과 동시에 방제하려는 기주, 날씨, 사용하려는 또 다른 방제방법, 그리고 해충의 개체군 동태 등의 요인에 따라 달라진다. 이러한 모든 요소들은 농경지나 산림에 얼마나 많은 양의 천적을 방사 해야하는 지를 결정하는 데 중요한 요소이다. 방사 체계의 확립, 저장법 등에 관한 연구와 더불어 인공증식방법의 발달은 앞으로의 알벌류 방사에 큰 영향을 끼칠 것이다.

나. 알기생 천적 방사 후 효과 검증에 관한 연구

최근 세계적으로 생물적 방제를 위한 해충의 방제를 목적으로 3천2백만 헥타르 이상의 농경지와 산림에 알벌류가 방사되고 있다. 특히 *T. evanescens*, *T. pretiosum*, 그리고 송충알벌, *T. dendrolimi*등은 여러 나라에서 많은 해충의 방제에 매우 일반적으로 사용되어진 종들이다. 그 중에서도 송충알벌은 산림의 소나무류의 해충방제에 매우 중요한 천적종이다. 중국에서는 솔나방류의 하나인 *Dendrolimus punctatus* Walker의 천적인 송충알벌에 의하여 자연조건에서 약 25-35%의 기생률을 나타내는 것으로 조사되었다 (Wu *et al.*, 1986). 반면에, 국내의 솔나방 방제를 위한 송충알벌의 연구는 1965년부터 1968년까지 수행된 연구가 있으며 당시 자연기생률은 약 10%정도에 지나지 않는 것으로 조사되었다. 송충알벌은 중국에서 1982 에서 1992년 사이에 헥타당 1,500,000-4,500,000마리라는 많은 수가 산림에 방사되어 기생률을 51.8-96.2%로 증가시켰으며 솔나방류의 개체군을 68.0-72.0%까지 방제하는 효과를 얻었다 (Li, 1994). 국내에서는 송충알벌을 농경지에 사용한 연구는 없으며 산림해충인 솔나방, *D. spectabilis*의 방제를 위해 1965년부터 1968년 경기도 지역 솔나방 발생지역 산림을 대상으로 한 실험지역에서 30만 마리를 인공 방사하여 자연 기생률(약 10.2%) 보다 2배에서 3배 가량 기생률을 증가시키는 효과를 얻은바 있다. 하지만, 그 이후로 최근 30년간 솔나방의 피해가 급격히 감소하여 솔나방 방제에 관한 많은 연구가 이루어지지 않았다.

본 연구는 솔나방의 생물적 방제를 위해 인공 대량 증식된 송충알벌의 방사 밀도별과 방사 거리당 기생률에 미치는 영향의 변화에 관한 연구이며, 이러한 연구를 통하여 생물적 방제인자로서 송충알벌의 사용에 중요한 자료로 사용하기 위하여 실시하게 되었다.

다. 천적 정착을 위한 기주 연구

천적을 방사한 후 효과를 극대화시키거나 이듬해까지 천적을 정착시키기 위해서 대체기주의 역할은 대단히 중요하다. 솔나방알기생천적인 송충알벌은 어스렝이나방의 알을 월동기주로 사용한다고 알려져 있다. 실제로 1960년대 후반 송충알벌의 대량증식을 위해 송충알벌을 채집하기 위한 방법은 야외의 월동 기주인 어스렝이나방을 이

용하는 것이었다. 하지만 현재 어스렝이나방의 밀도가 감소하여 야외에서 채집하기가 어려운 실정이며 지난 5년간 채집된 어스렝이나방의 알에서 송충알벌이 조사되지 않아 어스렝이나방은 송충알벌의 월동기주로서 역할을 할 수 없는 것으로 조사되었다. 따라서 송충알벌의 발생지역에서 동시에 발생할 수 있는 다른 나비목 곤충이 월동알을 대체 기주로 활용하는 연구가 시급히 필요한 실정이다.

참나무류를 가해하는 도토리나방, *Kunugia yamadai* Nagano (Lepidoptera: Lasiocampidae)는 1984년에 충청북도 충주일원의 참나무림에서 대 발생하여 피해가 지속 확대되고 있는 것으로 관찰된바 있다 (Park and Byun, 1997). 최근 도토리나방은 경남 거제에서 1996년과 1998년에 피해가 보고되었고 1998년에는 2,500 ha에 걸쳐 발생하였다 (산림병해충발생예찰보고, 1996. 1998). 그리고 1998년 1월과 3월 인천직할시 강화군 석모도에서 많은 난괴들이 채집되었으며 1999년 6월에서 8월 사이에 석모도 인근 섬인 교동도의 참나무류에 발생하였다. 1997년 Park and Byun에 의하면 도토리나방은 알로 월동하여 4월 중순경에 부화한다. 유충기는 8월초까지 이어지며 용화는 8월 중순경에 이루어지는 것으로 조사되었고, 성충은 10월 중순경에 대부분이 우화하여 기주의 수간부에 산란하는 것으로 조사되었다.

도토리나방은 솔나방과에 속하는 종으로 기생 천적에 관한 조사가 잘 이루어져 있지 않으며 알 기생천적은 지금까지 보고된 바 없다(Park and Byun, 1997). 그러나 알 상태로 월동하는 곤충들은 알 기생천적의 월동처로서 그리고 생물적 방제수단으로 방사한 알벌의 정착기주로 활용될 수 있다 (Smith, 1987). 또한 송충알벌, *Trichogramma dendrolimi* Matsumura (Hymenoptera: Trichogrammatidae)의 경우 어스렝이나방, *Dictyoploca japonica* (Moore) 알속에서 월동하며 이듬해 봄에 다른 중간 기주알을 거쳐 솔나방, *Dendrolimus spectabilis* Butler (Lepidoptera: Lasiocampidae)의 알로 옮겨온다고 하였다 (김과 이, 1968). 도토리나방은 솔나방과에 속하며, 어스렝이나방의 알과 유사한 2 ㎜ - 2.2 ㎜ 크기와 알 외부에 반점을 가지고있는 회갈색으로 알 상태로 월동하기 때문에 알벌류, *Trichogrammatidae*의 월동기주가 될 수 있을 것으로 생각되었다. 따라서, 본 조사는 기생 천적이 잘 알려져 있지 않은 도토리나방의 월동 알에서 알기생천적을 조사하고, 동시에 솔나방 발생지역에서 도토리나방알의 송충알벌의 월동 기주로서의 가능성을 조사하고자 하였다.

제 2 절 재료 및 방법

가. 천적의 보관, 운반, 방사법 개발

방사시기까지의 보관 방법은 천적의 충태별로 달라질 수 있기 때문에 기생된 상태로 혹은 성충상태로 보관법에 관하여 보관 후 활력을 조사하였다. 기주알인 산누에나방의 알에 번데기 상태로 기생된 송충알벌을 저장하여 온도별로 저장기간과 저장 후 산란활력을 조사하였다.

송충알벌을 방사하기 위하여 솔나방 발생지까지의 운반법 주로 아이스박스에 넣어 온도를 저온으로 유지하여 운반하였고, 송충알벌의 방사를 위하여 자체 고안된 방사 트랩을 이용하였다. 그리고 2000년 5월부터 솔나방알과 대체기주인 산누에나방알을 대상으로 각 충태별, 기주별로 보관 후 활력에 대하여 조사할 목적으로 솔나방을 사육증이며 소나무 묘목을 이용하여 실험하였다.

천적의 운반은 종이나 플라스틱에 붙여 기생시킨 상태로 직접 운반하는 것이 용이하며 경우에 따라서는 성충으로 분리하여 저온 운반법을 이용할 수 있다. 저온 장치를 이용할 경우 10℃ ~15℃ 정도로 활동을 약화시키기 위하여 아이스박스를 이용하여 운반할 수 있다.

천적의 방사를 위하여 고려하여야 할 조건들로는 포식자에 의한 포식의 위협과 물리적 환경에 의한 방사의 실패 요인을 들 수 있다. 이러한 조건들을 고려한 트랩을 자체 개발하였고 실제 방사에 이용하였다.

외국의 사례

중국 : 종이봉투 안에 알벌에 의해 기생된 기주를 넣고 봉투에 구멍을 뚫고 대상 식물에 걸어 설치한다.

북미 : 산림에 직접 기생된 알을 살포하는 방법 및, 항공기를 이용하여 성충을 방사한다.

나. 송충알벌 방사 후 효과 검증

1) 평택 및 아산의 기생률 조사

솔나방 방제를 위하여 송충알벌을 대량으로 증식하여 방사후 효과를 기생률을 통하여 조사하였다. 솔나방이 발생한 경기도 평택 두릉리 지역에 송충알벌을 2만 마리 방사 한 후 솔나방의 난괴를 거리별로 채집하여 실내 실험실 사육상에서 부화시켜 기생된 천적과 기생률을 조사하였다. 알벌의 방사는 자체 고안된 방사 트랩을 이용하였으며 솔나방 우화시기 1주일 이전에 알벌을 방사하고 난괴 조사시기에 다시 한 번 알벌을 방사하였다.

1998년 솔나방이 발생한 충남 아산 신창면의 0.1 ha를 대상으로 송충알벌 유인물질인 카이몬인 n-tricosane(Sigma)을 살포하여 기생효율이 증가하는지 알아보기 위하여 헥산에 녹인 n-tricosane을 살포하였다.

2) 인공적으로 정식된 소나무를 이용한 양수리 방사 실험

2000년 5월과 10월에 걸쳐 경기도 남양주시에 소나무를 밭에 각각 주당 3m의 간격으로 7주 X 7주씩 두 개의 plot으로 나누어 지름 50cm pot에 정식 하였다(Fig. 6.1). 실험구와 control로 나누어 동시에 실험을 실시하였다. 방사구와 비방사구인 각각의 실험구에는 높이 1.2 ~ 1.5m의 소나무를 심었다. 실험을 실시하는 동안 살충제와 같은 화학적 방제를 하지 않았다. 방사에 이용한 송충알벌은 동국대학교 실험실에서 아크릴 사육상(25×30cm)을 이용하여 온도 25±2℃, 습도 60±10%, 그리고 광주기를 16:8(L:D)로 누대사육하였으며, 산누에나방의 알을 흰 종이(15×20cm)에 풀(Elmer's glue-all®)로 붙여 대량 증식하였다. 대량 증식된 알벌은 번데기 상태로 기주안에서 발육 중인 것을 함께 트랩(Fig.6.2, 6.3)에 넣어 우화할 수 있도록 하였다. 기생률을 조사하기 위한 기주는 솔나방의 알을 이용하였다. 솔나방의 알은 실내 사육한 솔나방이 산란한 알을 채란하여 냉장고(2℃) 에 보관하면서 보관기간을 2주 이내로 하여 사용하였다. 실험구에 각각의 소나무마다 비와 같은 환경적 영향을 적게 하기 위하여 알트랩(지름8cm Dixie cup, Fig. 6.4)을 이용하여 설치하였다. 솔나방의 알은 길이 cm의 흰 종이(1.5×3.0cm)에 평균 25개 정도를 풀(Elmer's glue-all®, Borden Inc, U.S.A.)로 붙여 설치하였다. 기생벌은 중국으로부터 산누에나방알에 기생된 수입되어 산누에나방의 알을 기주로 사용하여 2000년 4월부터 누대사육한 송충알벌을 사용하였

다.
알벌의 방사방법은 방사구의 중심에 실험실에서 고안한 방사트랩 (Fig. 6.2, 6.3)을 이용하여 기생벌이 기생된 산누에나방의 알을 설치하여 우화할 수 있도록 하였다.
설치된 알카드는 1주일 후에 수거하여 실내에서 사육 후 우화하는 기생벌을 조사하였다.

다. 송충알벌의 야외 방사 후 대체기주의 기생률 조사

1) 송충알벌의 방사 및 기생률 조사

송충알벌의 월동기주인 어스렝이나방의 난괴를 채집하여 기생되어있는 송충알벌을 선발하려 하였으나 기생된 송충알벌은 없었다. 마찬가지로, 송충알벌을 방사한 지역에 대하여 송충알벌이 정착할 수 있는 지 알아보기 위하여 도토리나방의 월동 난괴를 채집하여 기생천적을 조사하였다. 그리고 야외 조건에서 도토리나방의 알에 송충알벌이 기생할 수 있는 지를 조사하였다.

2) 월동 난괴 채집

도토리 나방의 알 기생천적을 조사하기 위하여 도토리나방의 난괴는 인천직할시 강화군 교동도에서 2000년 2월에 참나무류의 수피에 산란된 107난괴를 채집하였다. 솔나방 발생지역인 화개산과 서한리를 중심으로 송충알벌을 1만 - 10만 마리 방사한 실험지점으로부터 20m 이내의 난괴와 그 외 지역 난괴, 그리고 방사점으로부터 5Km 이상 떨어진 바닷가에서 채집된 난괴로 구분하여 조사하였다.

3) 알벌의 분리

본 조사를 위해 교동도에서 채집된 도토리나방의 알들은 사육조건을 27±2℃로 하여 실내 사육상에 보관하였다. 부화한 도토리나방 유충은 즉시 제거하였고, 부화하지 않은 알들은 기생벌이 모두 우화할 때까지 사육실에 보관하여 우화한 알벌성충을 분리하여 기생률을 조사하였다. 우화한 알벌은 종 동정을 위하여 액침, 건조표본으로 제작하였다.

4) 명충알벌의 기생률

도토리나방의 알에서 부화한 명충알벌의 기생능력을 조사하기 위하여 도토리나방의 알과 1:1의 비율로 하여 25cm × 25cm × 45cm의 투명한 아크릴 사육상에서 실험하였다. 10개의 도토리나방 알을 자극이 없는 풀 (Elmer's glue-all®)로 종이카드 (1.5 × 3cm) 10개에 각각 붙여 기생할 수 있도록 하고 알벌 접종 후 1주일 이내에 알카드를 분리하여 각각의 기생률을 조사하였다.

5) 송충알벌의 기생률

1998년 6월 평택의 솔나방 발생 송림 20m^{2}에서 2만 마리의 송충알벌 방사 후 도토리나방 알에 대하여 송충알벌의 기생률을 조사하였다. 실험지역인 경기도 평택 두릉리의 송림은 약 0.5ha의 협소한 독립된 평지이며 솔나방에 의하여 송림이 고사직전인 혼유림 지역이었다. 실험에 사용한 도토리나방의 알은 1998년 1월과 3월 두 차례에 걸쳐 강화군 석모도에서 채집하여 알카드상태로 나무의 수피에 설치한 후 송충알벌을 방사하였다. 그리고 10일 이내에 설치한 알카드를 수거하여 사육실 조건 27±2℃에 보관하여 송충알벌의 기생률을 조사하였다.

라. 포식 천적종의 이식 및 방제효과 검증

솔나방의 효과적 방제를 위한 천적의 방사는 솔나방의 생태뿐만 아니라 천적 곤충의 생태도 정확하고 광범위한 조사가 이루어져야 하며, 보호와 증식에 있어서도 필수적인 요소이다. 이를 위해 주기적인 자연서식지의 관찰과 조사를 통하여 피해지역내의 개미들과의 연계성을 가지고 생태조사를 실시했으며 실내사육을 통하여 비교하였다. 특히 피해지역인 경기 강화 교동 지역에서 관찰 조사된 *Pristomyrmex pungens*의 실내사육 결과, 생존율은 높게 나타났으나 인공증식에는 어려움을 나타내고 있어 대량 군집(colony)을 형성하고 자주 서식지를 이동하는 종으로 기보고 된 본 종의 실질적인 야외 생태조사가 가능한 4월말부터 이식 실험을 하였다.

실험실에서 솔나방 유충과 더불어 실내사육하고 있는 *Pristomyrmex pungens*의 생존율을 높이는 방향으로 실험을 진행, 좀더 정밀한 생태조사를 통하여 솔나방 유충

단계의 섭식 실험을 수행하였다. 또한 본 종의 실질적인 야외 생태조사가 가능한 4월 말부터 이식 실험을 통하여 솔나방 유충의 단계(생활주기)별 방제효과를 조사하고자 하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

가. 천적의 보관, 운반, 방사법 개발

1) 송충알벌의 저온 저장법

송충알벌의 저장에 따른 우화율을 조사한 결과 Fig. 5 과 같이 조사되었다.

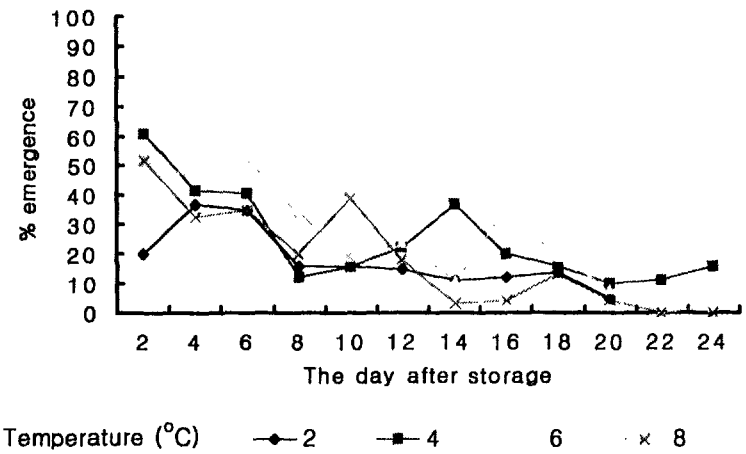


Fig 5. Percentage of emergence of *Trichogramma dendrolimi* pupa from *Antheraea pernyi* eggs after storage at different temperatures

번데기 상태로 기주알에 기생되어 있는 송충알벌을 10, 20, 30, 40일째까지 저온 저장 후 성충으로 우화한 개체수를 조사한 결과 10일째 각 온도 조건 -2, 0, 2, 4, 6℃에서 4개의 작잠 알카드에서 각각 평균 157.2, 164.5, 206.3, 189.7, 122.7마리가 우화하였으며 20일째에 13.0, 0, 19.25, 40.50, 133.0마리, 30일째 후에는 4, 6℃에서 2.0, 66.0마리가 우화하였고 40일차 이후엔 우화하지 못한 것으로 조사되었다 (Table 1).

이러한 우화개체의 우화율은 10일째 각 온도 조건 -2, 0, 2, 4, 6℃에서 4개의 작잠 알카드에서 각각 평균 33.2, 29.4, 37.8, 12.2, 23.1% 가 우화하였으며 20일째에 6.1, 0, 3.6, 8.1, 30.5%, 30일째 후에는 4, 6℃에서 0.5, 14.8% 가 우화하였고 40일차 이후엔 우화하지 못한 것으로 조사되었다(Table 1). 각각의 우화한 성충의 성비는 79.3 ~ 98.4%가 암컷인 것으로 조사되었다. 이처럼 6℃에서 30일까지 저장하여 우화하였으나 그 우화율이 극히 감소하여 손실이 많은 것으로 조사되었다. 이상의 결과는 Juan (1980) 의 실험에서 0℃에서 90%의 사망률을 보이는 358.6 ~ 770.9 시간(14.9~32.1일)의 결과와 유사하였는데, 기주내의 기생된 상태의 번데기를 저장하면 방사실험시 다루기 쉽고 사육비용을 절감할 수 있다(Stinner *et al.*, 1974)는 이점이 있으나. 정확한 알벌류의 휴면에 관한 연구가 자세히 이루어져 있지 않은 현 시점에서 실제 야외 적응 실험을 통해 다루기 쉽도록 저장하는 방법이 필요하다고 생각했다. 알벌류의 저온 저장에 관해서는 많은 연구가 이루어졌으며 2, 5, 10℃ 에서 7~49일까지 저장한 결과도 있다(Jaliali and Singh, 1992). 그러나 저장을 하게 되면 저장 후 사망률이 높아지고 저장 후 우화한 성충의 수명이 8~24시간으로 감소하게 되어 번데기 저온 저장은 알벌류의 발생과 사망에 큰 영향을 끼친다고 생각되어진다.

2) 천적의 운반 및 방사법

알기생천적인 송충알벌의 운반 방법은 기주에 기생된 송충알벌의 번데기시기에 운반하였다. 기주에 저장된 상태로는 저온의 영향을 적게 받으므로 기주를 방사 트랩에 넣어 수건등 천으로 감싼 후 아이스박스 속에 보관하여 운반하였다. 또 다른 방법은 알벌이 기생된 기주를 비닐백에 넣어 밀봉하여 성충이 탈출하지 못하게 한 후 방사지점까지 운반하는 방법 사용하였다. 송충알벌의 방사 시기가 여름인 관계로 운반시 기주알의 온도가 10~15℃로 유지하도록 하였다. 또한 습도가 높은 경우에 우화한 알벌이 사망하는 경우가 생기므로 주의해야한다.

송충알벌의 방사에는 자체 고안한 트랩을 이용하였다. 자체 고안한 트랩은 비를 막을 수 있으며 우화한 알벌이 탈출할 수 있는 탈출로가 뚫려있는 통 모양과 원형의 트랩 두 가지를 사용하였는데 그 효과는 원형의 트랩에서 보다 우수한 것으로 생각되었다. 또한 방사트랩을 설치한 지점에 개미 등 포식자의 접근을 막기 위하여 끈끈이(Tangle trap)를 설치하였다.

Table 1. Total number of *T. dendrolimi* emergenced after keeping pupated parasitoids for four different periods five different temperature

Temp. (℃)	Period of storage(days)			
	10	20	30	40
-2	157.2±40.3 (0.98)[a] (33.2)[b]	13.00±15.79 (0.79) (6.1)	—	—
0	164.5±42.6 (0.98) (29.4)	—	—	—
2	206.3±194.7 (0.97) (37.8)	19.25±22.26 (0.93) (3.6)	—	—
4	189.7±31.2 (0.96) (12.2)	40.50±35.57 (0.85) (8.1)	2.00±4.0 (0.5) (0.5)	—
6	122.7±136.5 a (0.95) (23.1)	133.00±51.50 ab (0.81) (30.5)	66.00±65.76 abc (0.98) (14.8)	—

Means, in the same row, followed by the same letter are not significantly different ($P<0.05$; Duncan's multiple range test).

[a]sex ratio : presented as proportion of females in the population each test was replicated 4 times.

[b] % emergence.

One egg card which glued 4 eggs.

나) 송충알벌 방사후 효과검증

인공적으로 제작된 경기도 남양주시에 소나무를 식재하고 송충알벌의 방사 밀도를 달리하여 방사한 결과 1만마리의 경우 방사점으로부터 거리별(3m, 6m, 9m)로 난괴기생률은 44, 31, 28%이었으며 난 기생률은 31.7, 13.5, 7.6%로 조사되었다(Fig. 6, 7). 반면 10만마리를 방사한 경우는 난괴기생률이 100, 100, 96%이었고, 난기생률이 56.7, 51.9, 52.9%로 조사되었다(Fig. 8, 9). 이러한 결과는 방사수가 적을 경우에 기생률이 방사점에 집중하고 방사지점으로부터 멀어질수록 낮아지는 것을 확인하였고, 방사수가 증가할 경우 전체적으로 균일한 기생률을 나타냄을 알 수 있었다(Fig. 10).

5) 야외 방사 시험 및 효과 검증

천적의 실제 방사에 의한 솔나방의 생물적 방제 효과를 조사하기 위하여 경기 평택 및 충남 아산, 그리고 인천 강화 교동도에 각각 5만 마리 이상의 송충알벌을 우화시기에 맞추어 방사하여 실시하였다. 그 결과 방사지역은 뚜렷이 구별되는 송림의 회복이 목격되었으며 비 방사지는 솔나방의 2화기 발생으로 송림이 고사하였다. 그러나 실험지역의 송림이 20년 이상 수령으로 솔나방 난괴의 채집이 용이하지 않아 난괴의 기생률 조사는 한정된 수량만 조사되었다.

해충의 방제를 위하여 천적을 방사하는 방법 이외에 천적의 효과를 높이기 위하여 유인물질인 카이로몬을 이용하는 경우가 있는데, 본 실험에서 송충알벌을 방사하고 카이로몬을 사용하여 실험한 결과 처리구에서 49.6%로 대조구에 비하여 높은 기생률을 보이는 것으로 조사되었다(Table 4).

Table 2. Estimated area of *Trichogramma* use in different countries (Li, 1994)

Area(ha)	Country
2-27.6 million	Former USSR, China(including Taiwan), Mexico
140,000-350,000	USA, Philippines, Colombia
10,000-35,000	Iran, Bulgaria, Egypt, India, France
Less than 6,000	Germany, Switzerland, Australia, Honduras, Thailand, bolivia, Canada, Portugal, Italy, Uruguay, Nicaragua, Tunisia, the Netherlands, etc.

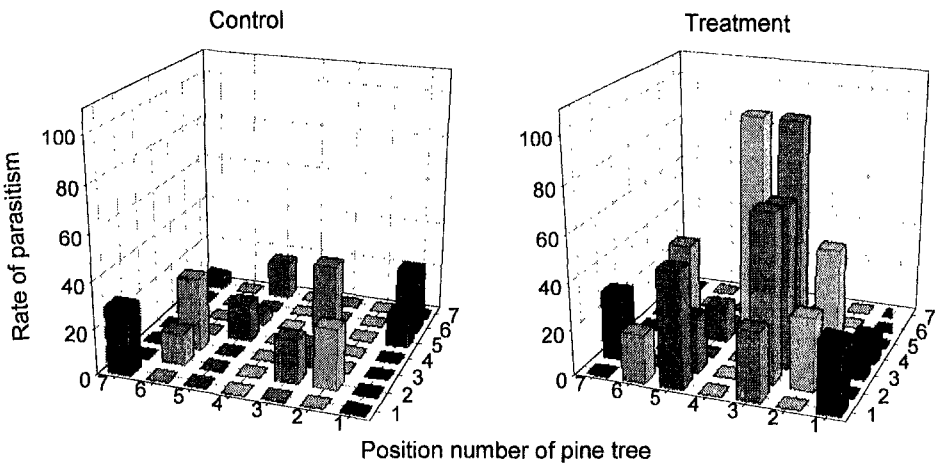


Fig. 6. Percent of egg parasitism in control (A) and by 10 of thousand *T. dendrolimi* dispersing from a central release point (B) (position number 4-4) in Kyeonggi-do.

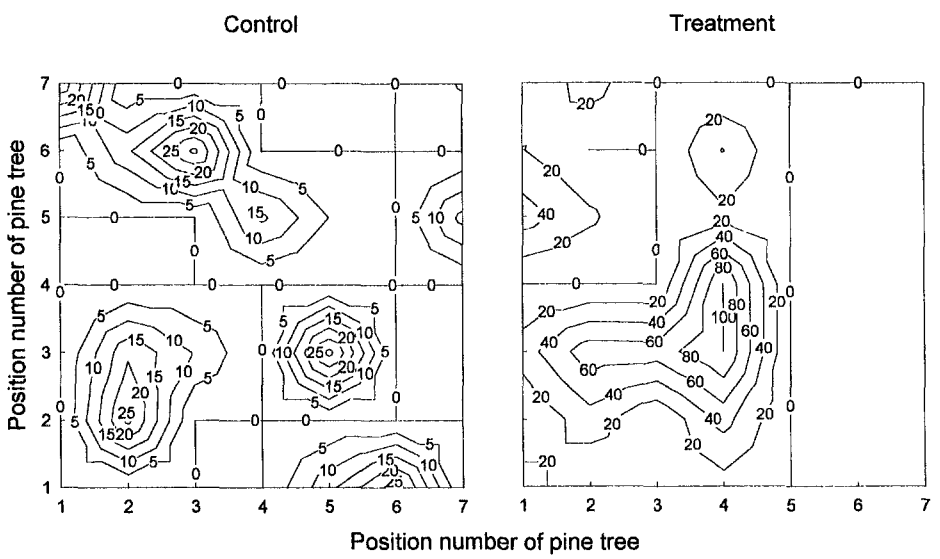


Fig. 7. Contour line of egg parasitism in control area (A) and treated area (B) when 10 of thousand *T. dendrolimi* dispersing from a release point.

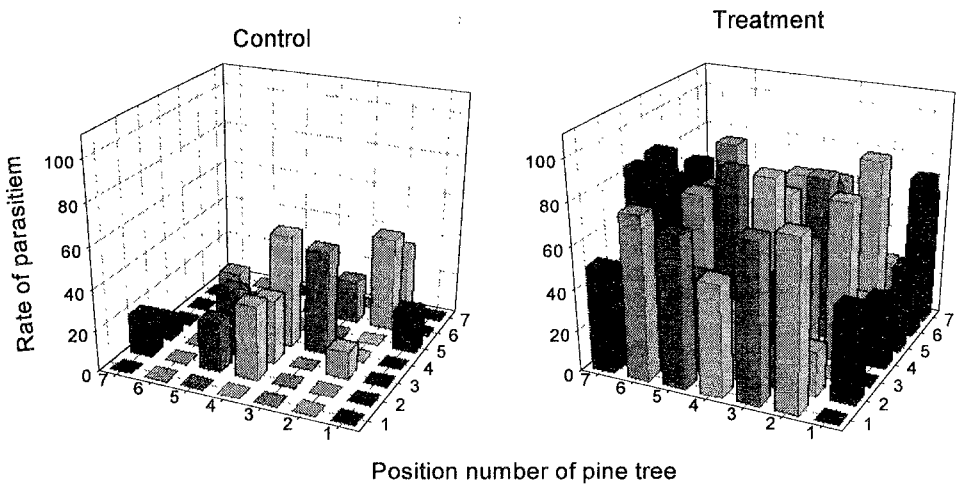


Fig 8. Percent of egg parasitism in control (A) and by 100 of thousand *T. dendrolimi* dispersing from a central release point (B) (position number 4-4) in Kyeonggi-do.

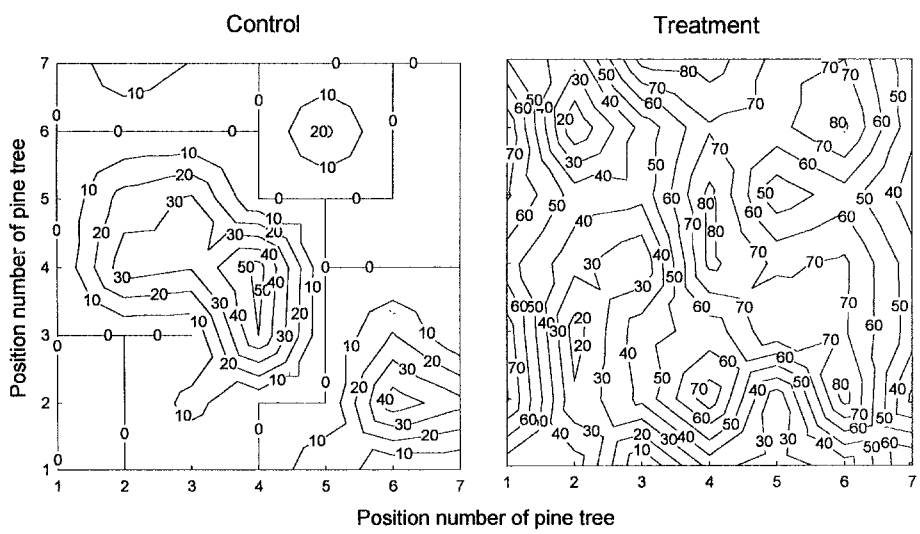


Fig. 9. Contour line of egg parasitism in control area (A) and treated area (B) when 100 of thousand *T. dendrolimi* dispersing from a release point.

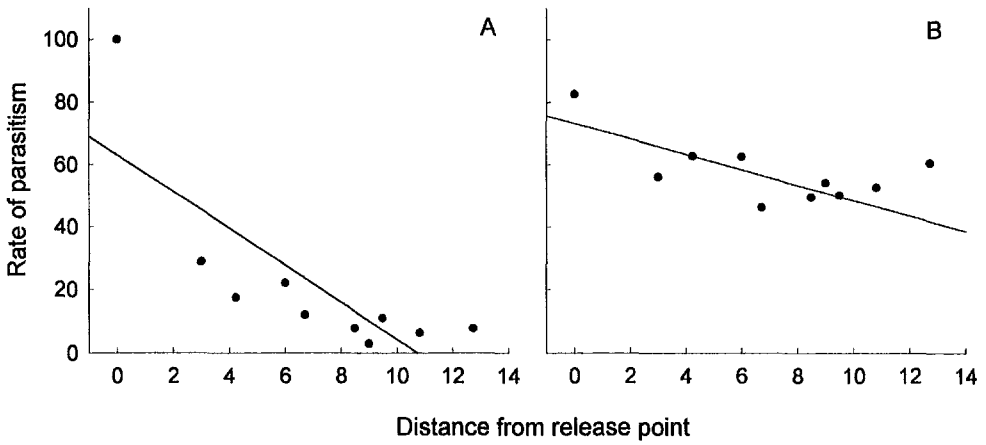


Fig. 10. Relationship between percent of egg parasitism and distance from release point when 10 of thousand (A) and 100 of thousand (B) *T. dendrolimi* dispersing from a release point.

Table 3. Parasitism of pine moth egg masses from release point of *Trichogramma dendrolimi* in Pyeongtaek Kyeonggi-do (June 1999)

	% Parasitism from relesed point			
	5m	10m	15m	20m
*Trichoramma dendrolimi**	38.9	36.9	25.4	30.6

* 70,000 T. dendrolimi released

Table 4. Parasitism of pine moth egg masses after 20,000 *Trichogramma dendrolimi* released with kairomone, n-tricosane in Asan Kyeonggi-do (June 1999)

	Treatment		Control	
Trichogramma dendrolimi	49.6%	-	-	-

Investigated the egg masses in 10m diameter from release point

다) 송충알벌의 야외 방사 후 대체기주의 기생률 조사

도토리나방은 우리 나라와 일본 등지에 분포하는 것으로 알려져 있다. 본 조사 결과 자연상태에서 명충알벌의 도토리나방알 기생률이 1.9%로 매우 낮게 조사되어 자연상태에서 원기주가 아닌 월동기주처로의 가능성을 갖게 해 주었다 (Table 5). 본 조사에서 명충알벌은 송충알벌을 방사하지 않은 두 지역에서 각각 한 개의 난괴에서 44.4, 77.4%의 난 기생률을 나타내었으며, 벼룩좀벌류 한 종이 세 개의 난괴에서 각각 암컷 한 마리씩 기생된 것으로 조사되었다 (Table 5).

명충알벌 암컷의 발육기간은 17℃에서 32℃사이에 약 18.7일에서 6.5일(Miura and Masahiro, 1993)로 짧으나 본 조사를 위해 교동도에서 채집된 월동난에서 탈출공을 발견할 수 없어 1회 기생하는 것으로 생각되었다. 또한 채집된 도토리나방알은 모두 유충으로 발생하지 않은 상태이어서 월동전에 알기생천적이 기생하기에 적합한 것으로 생각되었다. 알벌류는 주로 나비목 곤충의 알에서 월동하는 것으로 알려져 있다 (Voegele *et al.*, 1988). 그러므로 생물적 방제를 위한 알기생 천적의 방사 후 천적의 정착을 위하여는 자연상태의 월동 기주가 중요하다. 본 조사에서 채집된 도토리나방알을 27±2℃ 사육실 조건에서 사육하였을 때 명충알벌은 도토리나방의 부화 후 2-3일이 지나서야 우화 하였다 (Table 6). 이는 기주 내에서 대체로 번데기 상태로 월동하는 알벌과의 *T. nubilale* (Burbutis *et al.*, 1976) 등과 달리 부화 전 상태로 기주에서 월동하고 온도가 증가하면 발육하여 부화하기 때문이라 생각되었다. 알벌류는 기주알의 발육 상태에 따라 기생률에 영향을 받는다 (Marston and Ertle, 1969; Schmidth, 1970). 따라서 월동을 마친 후 명충알벌이 2차적으로 도토리나방의 알을 공격하지 못할 것으로 생각되어졌다.

1998년 6월 평택의 솔나방 발생 송림 (지름 40m)에 2만 마리의 송충알벌 방사후 도토리나방 알카드에 대하여 기생률을 조사한 결과 난괴 기생률이 8.7% 인 것으로 조사되었다 (Table 7). 솔나방과 도토리나방이 동시에 발생한 지역에서 송충알벌을 방사하고 거리별 기생률을 조사한 이유는 도토리나방의 월동알이 송충알벌 월동기주로서의 가능성을 알아보기 위한 것이었다. 1968년 김 과 이에 의한 송충의 생물적방제법 연구 이후 송충알벌의 월동 기주인 어스렝이나방의 밀도가 최근 내륙지방에서 감소하였다. 최근의 발생보고는 1981년 경부고속도로변에서 발생 조사가 이루어진 후 1998년 제주도 어리목에서 총 100ha에 걸쳐 발생이 보고된 바 있다 (산림병해충발생예찰보고, 1981. 1998). 특히 1995년 이 후 본 연구실에서 경기도 교평리 지역 및 경기일

부지역에서 매년 약 50여 어스렝이나방 난괴를 조사하였으나 송충알벌이 전혀 채집되지 않은 바 있다. 따라서 송충알벌의 정착을 위한 다른 월동기주의 조사가 필요하다. 일반적으로 알벌류의 기주선택은 주로 알의 크기, 모양, 색깔에 의해 결정된다고 알려져 있다 (Taylor and Stern, 1971; Curl and Burbutis, 1978). 하지만 송충알벌을 방사한 화개산과 서한리 지역에서 모두 도토리나방 알에 송충알벌이 전혀 기생되지 않은 것으로 조사되었다 (Table 5). 이러한 이유는 첫째, 자연 상태에서 도토리나방의 알이 송충알벌의 중간기주가 될 수 없는 이유라고 추측할 수 있었다. 하지만 Table 7의 결과처럼 송충알벌의 방사와 동시에 도토리나방의 알을 설치한 경우 낮은 기생률이지만 기생되는 것으로 확인되었다. 도토리나방의 알에서 송충알벌이 월동한다는 보고는 없으나 도토리나방의 산란시기와 동시에 송충알벌을 방사한다면 월동기주가 될 가능성도 있을 것으로 생각되었다. 둘째로 Table 5에서 송충알벌의 방사가 도토리나방의 산란시기와는 많은 시간적인 차이가 있는 8월이므로 방사된 송충알벌이 정착하지 못하고 10월 도토리나방의 산란시기 이전에 모두 사망하였을 가능성을 알려준다. 또한, 자연적인 야외 조건은 많은 미기후에 의해 지배되므로 교동도의 기생률이 조사되지 않은 정확한 원인을 알아내기 위해서는 도토리나방의 산란시기에 송충알벌을 방사한 후 기생률을 조사할 필요가 있다고 생각된다. 특히 도토리나방의 알이 솔나방 발생지역에서 월동기주로서의 가능성을 알아보는 것은 생물적 방제에 이용된 알벌류의 정착을 위해 중요할 것이라 생각된다. 또한 명충알벌과 도토리나방알을 1:1 밀도로 케이지에서 실험한 결과 기생능력이 평균 80%정도로 나타난 것 (Fig. 11)은 실내의 사육상에서 도토리나방 난괴에 전체적으로 높은 기생능력을 갖는 것으로 생각되었다. 일반적으로 알벌류, *Trichogramma* 는 기주의 범위가 넓은 것으로 알려져 있고, 일차적으로 도토리나방의 알에 적응한 명충알벌이 자연조건보다 높은 기생능력을 갖는 것으로 추측되었으나 정확한 기주 선호성에 관하여는 보다 자세한 실내외 실험이 필요하다고 생각되었다.

Table 5. Parasitism of naturally oviposited *Kunugia yamadai* egg masses in *Trichogramma dendrolimi* release and control pine forest (Kyodong, February 2000)

Location	Treatment	No. of egg mass	% parasitism of egg masses		
			Anastatus sp.	*T. dendrolimi*	*T. chilonis*
Hwagaesan	*T. dendrolimi*	36	2.8[a]	-	-
	control	6	-	-	-
Seohanri	*T. dendrolimi*	50	2.0[a]	-	-
	control	12	8.3[a]	-	8.3 (44.4)[b]
Beach[1]	control	3	-	-	33.3 (77.4)[b]
Total		107	2.8	-	1.9

[1] 5 Km separate from the point of release of *T. dendrolimi*

[a] *Anastatus* sp. one female

[b] The values in parentheses represent % parasitism of parasitized egg mass

Table 6. The days of the hatching of *Kunugia yamadai* and egg parasitoids from collected diapause eggs after reared in the laboratory condition

No. of test egg mass	Days	
	Kunugia yamadai	*Trichogramma chilonis*
52	13±4	17±1

Table 7. Parasitism of *T. dendrolimi* on *K. yamadai* eggs at release pine forest as 40m diameter (Pyeongtaek, June 1999)

No. of test egg mass	No. of parasited egg mass	% parasitism of egg mass
23	2	8.7 (32.2)[a]

[a] The values in parentheses represent mean % parasitism of parasitized egg mass

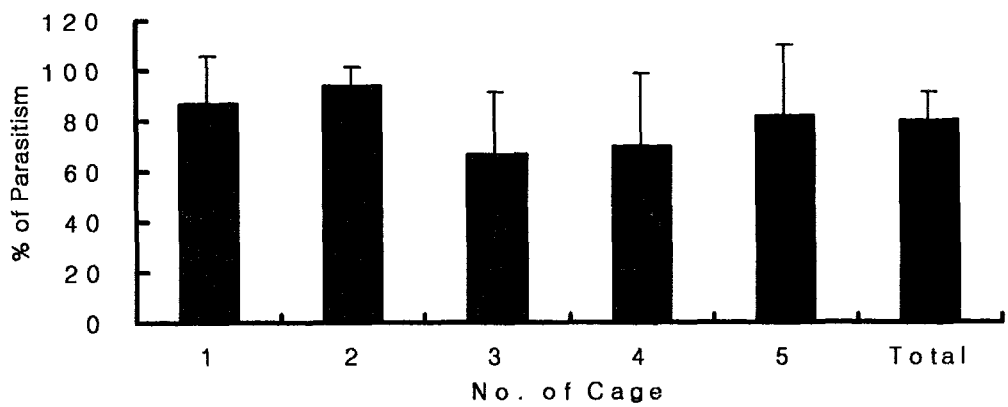


Fig. 11. Average parasitism of *T. chilonis* on *K. yamadai* egg cards in the rearing cage(25cm × 25cm × 45cm). 100 females of *T. chilonis* exposed in each cage and 10 *K. yamadai* eggs stuck on one egg card.

제 7 장 기생 천적 곤충의 실용화 체계 구축

제 1 절 서 설

알벌류는 생물적 방제를 위하여 벨기에, 중국, 콜롬비아, 프랑스, 독일, 폴란드, 인도, 러시아, 남아프리카, 스위스, 그리고 미국등 세계 많은 나라에서 대량증식 되어지고 있다. 알벌류의 대상 해충은 농작물 및 산림에 이르기까지 다양한 지역에서 발생된다(Laing and Eden, 1990).

중국과 구 소련에서는 알벌류가 농작물 해충을 대상으로 가장 폭넓게 사용되는 유용한 천적으로 인식되고있으며, 우크라이나에서는 약 15×10^6ha의 면적에서 매년 양배추, 사탕무우 밀, 옥수수, 그리고 사과등에 사용하고있고 중국에서는 사탕수수, 쌀, 옥수수, 그리고 목화등에 사용하고 있다(Li, 1984; Cock, 1985; Ridgway and Morrison, 1985).

산림환경의 경우 중국에서 알벌류를 방사하여 솔나방류의 방제에 이용하고있으며 그외 다른 소나무류에 대해서도 유충밀도를 100%까지 감소시키기도 했다(Peng *et al.*, 1984; Franz and Zimmerman, 1984; Hsiano, 1981). 특히 중국은 1980년대 이후 송충알벌과 명충알벌의 인공증식방법을 발전시켜 농작물 해충에 사용하고있는데, 기생벌의 인공증식방법은 지난 10년 간 농업생태계에서의 다양한 천적의 이용을 위한 대량증식법으로 광범위하게 연구되어져 왔다.

제 2 절 재료 및 방법

송충알벌의 대량 생산기술을 시스템화 하기 위하여 송충알벌의 기주의 가격과 인건비 등을 산정하여 계산하였다. 재료는 중국에서 수입한 산누에 나방의 번데기(Fig. 7.1)와 알(Fig. 7.2), 그리고 인공제작을 위해 필요한 폴리프로필렌비닐, 배지성분 등을 재료로하여 단가를 계산하고 서로 비교하였다. 번데기 및 알의 가격은 2000년 현재 1kg에 $100.00이며 인공알을 제작할 경우 인공알 성분에 필요한 배지와 인건비 등을

고려하여 산출하였다. 운송비 및 방사트랩 가격은 산정에서 제외하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

송충알벌의 기주로 사용할 수 있는 산누에나방의 알은 중국에서 번데기를 수입하여 우화시켜 채란하는 방법과 수거된 알을 수입하는 방법이 있다. 또한 폴리프로필렌 필름을 이용하여 인공알을 제작하는 방법이 있다. 이들 셋 사이의 장단점을 비교하면 Table 1과 같다. 산누에 나방을 산림에서 대량으로 사육하여 고치를 수거한 후 실내에서 대량으로 우화시켜 기계를 이용하여 성충의 복부에서 알을 채란하는 중국의 방법(Fig 7.3)과 인공알을 대량으로 생산할 수 있는 기계(Fig. 7.4)를 사용할 때 경제적으로 효과적이라고 할 수 있다. 그러나 소규모적인 국내의 생산 설비 시스템은 경제적인 면에서 대체기주를 사용하는 것이 유리할 것으로 생각된다. 국내 여건상 인공알(Fig. 7.5)은 인건비를 포함할 경우 경비가 다른 기주에 비하여 고가이며 특히 대량 증식시 단가를 감소하기 위해서는 기계를 구입하는 방법이 있으나 솔나방의 알기생천적만을 대상으로 기계를 구입하는 것은 경제적인 면에서 효과적이지 못한 것으로 조사되었다. 반면에 중국으로부터 기주 또는 기주번데기를 수입할 경우 각각의 장단점이 있어 적절한 용도로 구입하는 것이 중요하다. 하지만 국내에서 인공알의 대량생산기계를 설계제작하고 생산된 알벌을 생물적 방제 목적 이외에 포식 천적(예, 노린재류, 무당벌레, 풀잠자리류)의 사육에 동시에 사용한다면 대체기주의 사용과 비교하여 경쟁력을 가질 것으로 생각된다.

솔나방의 대 발생 시기에는 알을 직접 수입하는 것이 유리하다. 알은 사용하기 간편하며 부수적인 처리가 필요하지 않아 다루기가 쉽다. 하지만 저장기간이 2주에서 길게는 1달로 짧고 저장시 공기와 습도의 적절한 조절이 중요하며 저장기간이 길어질수록 기생효율이 감소하는 단점이 있다. 번데기를 수입은 번데기를 인공기주의 헤모림프 원료로 사용할 수 도 있는 장점이 있고, 저장기간이 솔나방 발생시기인 6월까지로 긴 장점이 있다. 하지만 번데기를 우화시키는 공간적인 문제 그리고 우화시 유발되는 인력이 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서 솔나방의 유충시기에는 번데기를 수입하여 실내에서 천적을 누대사육하여 증식하고, 솔나방 산란시기에 알을 수입하여

대량 증식(Fig. 7.6) 후 방사하는 것이 경제적으로 유리할 것으로 생각되었다.
알기생천적을 대량 증식하기 위한 시스템은 Table 2와 같다.

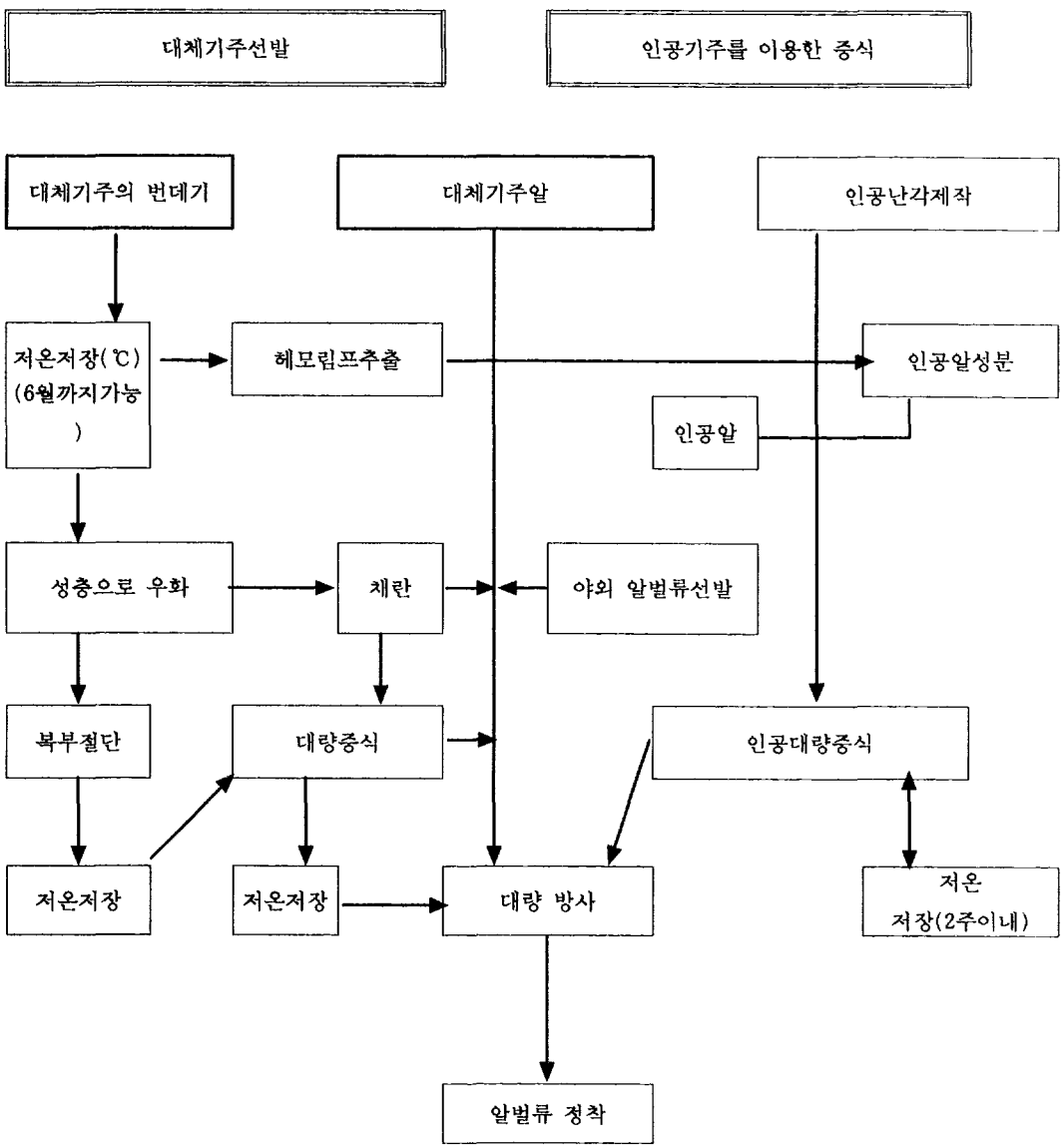
Table 1. Compare of oak silk worm, *Antheraea pernyi* pupa, eggs, and artificial eggs for mass rearing of *Trichogramma* sp. (2000)

	Antheraea pernyi[1]		Artificial egg[2]
	Egg from pupa	Egg	
Costs(won)	1.4	0.8	2.2
Mean developing number of *Trichogramma*	60	60	40
Duration of storage	until June	1 month	2 weeks
Storage temperature	2℃ to 6℃	2℃	2℃
Remarks	Difficult to collect eggs	Difficult to storage	Difficult to rearing

[1] Each 1kg is 100$

[2] Calculate the costs of labor

Table 2. System of mass rearing of *Trichogramma*



참 고 문 헌

Bai, B. and S. M. Smith. 1993. Effect of host availability on repeoduction and survival of the parasitoid wasp *Trichogramma minutum*. J. Econ. Entomol. 18: 279-284.

Bai, B., R. F. Luck, L. Forster, B. Stephens and J. A. M. Janssen. 1992. The effect of host size on quality attributes of the egg parasitoid, *Trichogramma pretiosum*. Entomol. Exp. Appl. 64: 37-48.

Burbutis, P. P., G. D. Curl, and C. P. Davis. 1976. Overwintering of *Trichogramma nubilale* in Delaware. Environ. Entomol. 5: 888-890.

Calvin, D. D., M. C. Knapp, S. M. Welch, F. L. Poston, and R. J. Elzinga. 1984. Impact of environmental factors on *Trichogramma pretiosum* reared on southwestern corn borer eggs. Environ. Entomol. 13: 774-780.

Caswell, H. 1989. Matrix Population Models. Sinauer Associates, Inc. Publisher, Sunderland.

Cock, M. J. W. 1985. The use of parasitoids for augmentative biological control of pests in the People's Republic of china. Biological News and Information. 6: 213-223.

Curl, G. D. and P. P. Burbutis. 1978. Host-Preference Studies with *Trichogramma nubilale*. Environ. Entomol. 7: 541-543.

Dai, K., Z. Liangwu, M. Zhijian, Z. Liansheng, Z. Qixiu, C. Aihua, X. Kejing, L. Qin, and G. Yiguang. 1988. Research and utilization of artificial host egg for propagation of parasitoid *Trichogramma*. *Trichogramma and other egg*

parasities. [Ed.] INRA, Paris. 1988(Les Colloques de I'INRA n 43): 311-317.

Flanders, S. E. 1929. The mass production of *Trichogramma minutum* Riley and observation on the natural and artificial parasitism of the codling moth egg. Proceedings of the 4th International congress of Entomology 2: 110-130.

Franz, J. M. and G. Zimmerman. 1984. Problems of forest protection in northern China with special reference to biological control. Anz Schaedlingskd Pflanzenschutz Umweltschutz. 57: 81-87.

Green, R.H. 1966. Measurement of nonrandomness in spatial distributions. *Res. Popul. Ecol.* 8, 1-7.

Hsiao, K. J. 1981. The use of biological agents for control of the pine defoliator, *Dendrolimus punctatus*(Lep.: Lasiocampidae), in China. Protection Ecol.2: 297-303.

Hyun, J. S. 1968. Study on the major mortality factors of the pine moth, *Dendrolimus spectabilis*, and their effects on the population fluctuations. Ph. D. thesis. College of Agriculture. Seoul National University. 1 ~ 24.

Hölldobler, B. and E. O. Wilson, 1990. The ants. Springer Verlag. 732pp.

Kim, C. H. and Yozo Murakami, 1983. Ecological on *Formica yessensis* Forel, with Special Reference to Its Effectiveness as a Biological Control Agent of the Pine Caterpillar Morth in Korea. J. Fac. Agr. Kyushu Univ. 28: 71-82.

Laing, J. E. and G. M. Eden. 1990. Mass-production of *Trichogramma minutum* Riley on factitious host eggs. pp. 10-24. In S. M. Smith, J. R. Carrow and J. E. Laing[eds.], Inundative release of the egg parasitoid, *Trichogramma minutum*

(Hym,: Trichogrammatidae), against forest insect pests such as the spurce budworm, *Choristoneura fumiferana*(Lep.: Tortricidae): the Ontario Project 1982-1986. Mem. entomol. Soc. Canada No. 153.

Larson, P. P. 1976. All about ants. 218pp.

Lee, H. P. and K. S. Lee. 1994. Artificial Rearing *In vitro* of *Ooencyrtus Kuvanae* Howard (Hym.: Encyrtidae). Korean J. Entomol. 24(4): 311-316.

Li L. Y. 1984. Research and utilization of Trichogramma in China. In: Proceedings of the Chinese Academy of Sciences/United States National Academy of Sciences Joint Symposium on Biological Control of Insects, September 25-28, 1982, Beijing. Science Press. Beijing. pp. 204-223.

Li, L. Y. 1994. World-wide use of *Trichogramma* for biological control on different crops: a survey, pp. 37-54. *In* E. Wajnberg and S. A. Hassan [Eds.] Biological control with egg parasitoids. CAB, Wallingford, UK.

Marston, N. and L. R. Ertle. 1969. Host Age and Parasitism by *Trichogramma minutum*. Ann. Entomol. Soc. Am. 62: 1476~1482.

Miura, K. and K. Masahiro, 1993. Effect of Temperature on the Development of *Trichogramma chilonis* ISHII (Hymenoptera: Trichogrammatidae), an Egg Parasitoid of the Diamondback Moth. Appl. Entomol. Zool. 28: 393 ~ 396.

Park, C. H. and B. K. Byun. 1997. Life cycle of *Kunugia yamadai* Nagano (Lepidoptera, Lasiocampidae) in Korea. Korean J. Appl. Entomol. 36: 73 ~ 76.
Partridge, L. and P. H. Harvey, 1988. The ecological context of life history evolution. Science. 214: 1449-1455.

Peng, J. W., W. Y. Ma, X. L. Wang, Y. Z.Zuo, and X-Q. Wan. 1984. Influence of

enhancement of host egg supply on population increment of egg parasities in pine forests. Acta Ent. Sin. 27: 39-47.

Pielou, E. C. 1969. An Introduction to Mathematical Ecology. John Wiely & Sons, New York.

Ridgway, R. L. and R. K. Morrison. 1985. Worldwide perspective on practical utilization of *Trichogramma* with special reference to control of Heliothis on cotton. In: King, E. G., D.L. Bull, L. F. Bouse and J. R. Phillips(Eds.), biological control of the bollworm and tobacco budworm on cotton by augmentative releases of *Trichogramma*. Southwest. Entomol.(suppl.)8: 1-198.

Salt, G. 1937. The sense used by *Trichogramma* to distinguish between parasitized and unparasitized hosts. Proceedings of the Royal Society, London 122, 57-75.

SAS Institute. 1990. SAS users guide, 4th ed. SAS institute. Cary, NC.

Schmidth, G. T. 1970. The Effect of Host Development on Parasitism and Mortality of Two Pests Attacked by *Trichogramma evanescens* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 63: 1319-1322.

Schmidth, J. M. and J. J. B. Smith. 1985. Host volume measurement by the parasitoid wasp *Trichogramma minutum*: the roles of curvature and surface area. Entomologia Experimentalis et Applicata 39: 213-221.

Smith, S. M. 1996. Biological control with *Trichogramma*: advances, successes, and potential for their use. Annu. Rev. Entomol. 41: 375-406.

Sudd, J. H., 1987. The behavioural ecology of ants. Blackie. 206pp.

Taylor, T. A. and V. M. Stern. 1971. Host-Preference Studies with the Egg Parasite *Trichogramma semifumatum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 64: 1381-1390.

Thorpe, K. W. and Galen P. Dively. 1985. Effects of arena size on laboratory evaluations of the egg parasitoids *Trichogramma minutum, T. pretiosum,* and *T. exiguum* (Hym.: Trichogrammatidae). Environ. Entomol. 14: 762-767.

Voegele, J., J. Pizzol, and A. Babi. 1988. The overwintering of some *Trichogramma* species.

Vogt, E. A. and J. R. Nechols. 1991. Diel activity pattern of the squash bug egg parasitoid. *Gryon pennsylvanicum*(Hymenoptera: Scelionidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 84: 303-308.

Wilson, E. O., 1955. A monographic revision of the ant genus *Lasius.* Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College, 113: 1-201.

Wu, J. W., Fang, H. L., Yang, M. D. and Y. Y. Lian. 1986. Rearing technology of *Trichogramma dendrolimi* Matsumura for controlling pine caterpillar(*Dendrolimus punctatus* Walker) and effect of releasing *Trichogramma* to control insect pest on a large scale for sixteen successive years in Zhejiang province. Ed. INRA, Paris, 43.

Yu, D. S. K., J. E. Laing, and E. A. C. Hagley. 1984. Dispersal of *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in an apple orchard after inundative release. Environ. Entomol. 13: 371-374.

김창환, 이택열. 1968. 송충의 방제에 관한 연구보고(II) - 송충의 생물학적방제법 연구. 고대 곤충 연구보고. 48-63.

김창효·김종만, 1973. 불개미를 이용한 송충의 방제에 관한 연구. Korean J. Plant Prot., 12(3): 109-114.

이범영, 정영진. 1997. 한국수목해충. 97

임업연구원. 1981. 1996. 1998. 1999. 산림병해충발생예찰보고.

류문일, 현재선, 박기남. 1976. 솔나방 월동율에 미치는 몇가지 환경요인의 영향. 한국곤충학회지, 6(1): 21-25.

박기남, 현재선. 1982. 최근 솔나방 발생상황과 강우와의 관계. 한국식물보호학회지, 21(4): 195-199.

현재선. 1965. 솔나방의 분포양식에 관한 연구. 고려대곤충연구소연보. 1: 57-66.

현재선. 1965. 솔나방의 생명표에 관한 연구. 고려대곤충연구소연보. 1: 31-56.

현재선. 1966. 강우가 솔나방난 및 유충의 생육에 미치는 영향. 고려대곤충연구소연보. 2: 40-43

현재선. 1966. 솔나방의 집단동태학적 연구. 고려대곤충연구소연보. 2: 18-39.

현재선. 1968. 솔나방 집단변동에 미치는 주요치사인자에 관한 연구. 식물보호 별책1호. 24p.

Fig. Pine moth, *Dendrolimus spectabilis*

Fig. Chungsan island Jeollanam-do

Fig. Kyodong island Incheon

Fig. Population of pine moth, last instar

Fig. Chemical control method

Fig. Chemical control method

Fig. 4.1. Rearing of pine moth larva.

Fig. 4.2. Overwintering of pine moth larva.

Fig. 4.3. Braconidae, parasitoid of pine moth larva.

Fig. 4.4. Tachinidae, parasitoid of pine moth larva.

Fig. 4.5. Exposured of Tachinidae on Gypsy moth larva.

Fig. 4.6. *Trichogramma* sp.

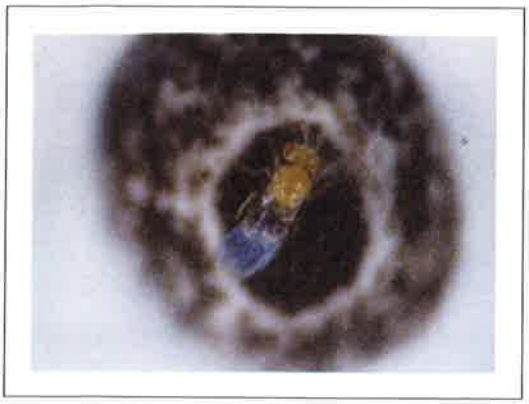


Fig. 4.7. *Trichogramma chilonis* on *Kunugia yamadai* egg.

Fig. 4.8. *Anastatus* sp.

Fig. 4.9. *Antheraea pernyi* egg card.

Fig. 4.10. *Trichogramma dendrolimi* on pine moth egg.

Fig. 4.11. Infested with fungi

Fig. 4.12. Infested with virus.

Fig. 4.13. Tachinidae larva on pine moth pupa.

Fig. 4.14. *Formica yessensis.*

Fig. 4.15. *Pristonyrmex pungens*

Fig. 4.16. Incubation box.

Fig. 4.17. Rearing cage.

Fig. 5.1. *Antheraea pernyi* cocoon and adults.

Fig. 5.2. *Trichogramma* on *Antheraea pernyi* egg.

Fig. 5.3. Egg mass of *Kunugia yamadai*.

Fig. 5.4. Tachinidae larva.

Fig. 5.5. Artificial egg card.

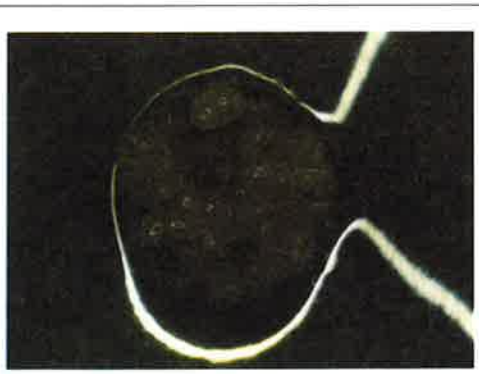


Fig. 5.6. *Trichogramma* larva reared on artificial egg.

Fig. 5.7. Pupa of *Trichogramma dendrolimi*.

Fig. 6.1. Experimental plot.

Fig. 6.2. Release trap(A).

Fig. 6.3. Release trap(B).

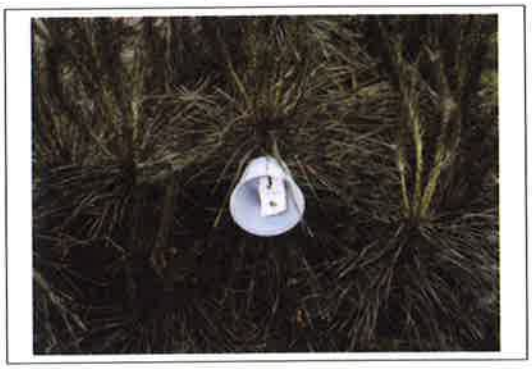


Fig. 6.4. Egg card trap.

Fig. 7.1. *Antheraea pernyi* pupa

Fig. 7.2. *Antheraea pernyi* eggs

Fig. 7.3. Collecting egg machine in China.

Fig. 7.4. Mass production of artificial eggs in China.

Fig. 7.5. Artificial eggs in Korea.

Fig. 7.6. Incubator for mass rearing