

보안과제(), 일반과제(O) 과제번호 ARPC 09 - 0176

만간등록번호

11-1541000-000505-01

**천적이리응애 *Neoseiulus californicus* 산업화를 통한
사과원 응애관리**

Spider mite management in apple orchards using
Neoseiulus californicus and its industrialization

연구기관
서울대학교

농림수산식품자료실



0004592

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “천적이리응애 *Neoseiulus californicus* 산업화를 통한 사과원 응애관리에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2010 년 5 월 31 일

주관연구기관명 : 서울대학교

주관연구책임자 : 이 준 호

세부연구기관명 : (주) 나비스

세부연구책임자 : 권 기 면

세부연구기관명 : 안동대학교

세부연구책임자 : 정 철 의, 임재환

연 구 원 : 안 정 준	연 구 원 : 강 성 영
연 구 원 : 김 헌 성	연 구 원 : 정 충 렬
연 구 원 : 김 태 균	연 구 원 : 권 혜 진
연 구 원 : 이 수 연	연 구 원 : 함 은 혜
연 구 원 : 강 민 지	연 구 원 : 김 지 원
연 구 원 : 권 용 준	연 구 원 : 윤 성 미
연 구 원 : 임 재 성	연 구 원 : 이 순 원
연 구 원 : 이 민 혜	연 구 원 : 이 상 윤
연 구 원 : 노 영 자	연 구 원 : 류 귀 희
연 구 원 : 김 호 은	연 구 원 : 정 종 국
연 구 원 : 유 주 원	연 구 원 : 박마라나
연 구 원 : Kawashima Mitsuhiro	
연 구 원 : Taj Hasan Fuad EL	

요 약 문

I. 제 목

천적이리응애 *Neoseiulus californicus* 산업화를 통한 사과원 응애관리에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구의 목적은 신규 국내계통 천적 응애인 사막이리응애(*Neoseiulus californicus*)의 산업화 및 이를 이용한 사과원 응애류의 생물적 방제 시스템을 개발하는 것이다. 사과원 병해충관리는 생물적 방제를 중심으로 한 IPM 체계가 가장 과학적이고 합리적이며 IPM 체계 구축에서 이차해충인 응애류 및 진딧물류의 생물적 방제는 친환경 병해충관리수준의 척도가 되고 있다. 우리나라에서 사과원 응애류의 우점 천적은 긴털이리응애(*Neoseiulus womersleyi*)이다. 그러나 긴털이리응애는 사과원에서 초여름 발생시기가 점박이응애보다 늦기 때문에 사과 생육 전반기의 생물적 방제에 어려움이 있다. 또한 긴털이리응애는 점박이응애에 대한 선호도가 높은 반면, 사과응애에 대한 포식능력은 매우 낮아, 점박이응애와 사과응애가 동시 발생하는 현 상황에서 최선의 방제원으로 이용되기 어렵다. 사막이리응애는 선진 16개국 이상에서 노지 작물용 응애류 생물적 방제원으로 활용되고 있는 유망 천적으로, 국내에서 발견, 기록된 계통에 대한 계통 특이적 연구 및 산업화의 가치는 매우 크다. 소비자 가격에 비해 생산비 비중이 높은 비율을 차지하고 있어서 사막이리응애의 효과적 대량 사육 및 분배 시스템을 구축하여 생산원가의 20%를 절감하고 IOBC 기준에 부합하는 품질관리 기술을 개발하여 장기저장 및 운송, 적용 시스템을 개발하여 품질관리 시스템을 구축하는 것이 중요하다.

III. 연구개발 내용 및 범위

사과원 응애류와 사막이리응애의 개체군 상호작용을 이해하기 위해서 사막이리응애의 기본적인 생물적 특성을 연구하였다. 이를 위해서 사막이리응애의 온도발육, 온도별 산란력, 점박이응애와 사과응애에 대한 포식력을 조사하였다. 사막이리응애와 사과원응애류의 개체군 동태분석모형을 작성하고 작성된 모형의 현장 적용 및 민감도 분석을 실시하였다. 또한 제주도에서만 서식하는 것으로 알려진 사막이리응애에 대해서 사과 주 생산지인 경북지역에서의 월동 가능성을 구명하기위한 월동성과 환경 적응성 연구를 수행하였다. 월동성 연구는 저온 감응성, 야외 월동 가능성 및 월동 성공률을 높일 수 있는 기술에 응용할 수 있으며, 환경 적응성은 크게 기상환경(온도와 습도), 먹이적응성(점박이응애와 사과응애)을 중심으로 조사하였다. 기상환경에 따른 적응성은 특정 생물 고유 특성을 파악하기 보다는 비슷한 생태적 특징을 가진 기존의 생물적 방제원인 토착 긴털이리응애, 수입산 천적인 칠레이리응애 등과의 비교 실험을 통해 상대적 가치를 평가하였다. 사막이리응애의 방사량과 방사시기에 따른 이들의 사과원 정착율과 생물적 방제 효과를 평가하였다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 사과원 응애 생물적 방제 가이드라인/매뉴얼을 작성하였다. 사막이리응애의 산업화에 중요한 사막이리응애의 경제적 대량생산 및 품질관리기술을 개발하

기 위해 사막이리응애 생산방법별 생산성과 경제성 조사, IOBC 기준에 부합하는 품질관리 요소 평가, 장기저장 및 운송 적용 시스템 연구, 용도별 포장재 개발 및 용기 개발을 수행하였다.

IV. 연구개발결과

사막이리응애는 알에서 성충 발현 까지, 사망률은 36℃에서 4.7% 로 가장 낮았으며, 38℃에서 15.2%로 가장 높았다. 대부분의 사망이 알과 유충시기에 일어나는 것으로 조사되었다. 저온 조건에서 사망률은 고온보다 낮은 편이었다. 알-성충 출현기간은 32℃에서 2.98일로 가장 짧았으며, 12℃에서 18.38일로 가장 길었다. 각 발육단계별 발육누적분포는 Weibull 함수로 잘 기술되었다 ($r^2=0.91\sim0.93$). 사막이리응애의 발육단계별 온도발육은 Lactin1 모델을 적용하여 발육모델을 작성하였다. 사막이리응애 암컷 성충의 수명 및 총 산란수는 온도에 의한 영향을 받았다 (longevity : $F_{5,191} = 20.57$, $p = 0.0007$; total fecundity: $F_{5,190} = 15.24$, $p = 0.0001$). 온도가 높아질수록 성충의 수명은 짧아졌고, 수명과 산란 전기간은 각 온도별로 비슷한 경향을 나타내었다 ($F_{5,190} = 3.23$, $p = 0.008$). 온도별 사막이리응애의 산란($F_{5,190} = 31.85$, $p = 0.0001$) 및 산란 후기간 ($F_{5,190} = 3.23$, $p = 0.008$)은 16℃에서 가장 긴 것으로 나타났지만 총 산란수는 24℃에서 가장 많은 것으로 나타났다. 산란 전기간 ($F_{5,190} = 112.22$, $p = 0.0001$)은 온도가 36℃에 이르면서 급격히 감소하였으며 모든 실험 온도에서 산란전기간 및 후기간보다 산란기간이 더 긴 것으로 나타났다.

사막이리응애의 점박이응애 알 섭식량은 초기밀도에 따라 통계적으로 다르게 나타났다 (사과 $df=5$, $F=41.69$, $p<0.0001$, 배 $df=5$, $F=48.48$, $p<0.0001$). 뿐만 아니라 실험에 이용된 잎의 종류에 따라 포식량의 차이가 나타났다. 사막이리응애를 사과나무 가지에 접종하는 위치- 가지 끝, 중간, 수간부에 가까운 부위-에 따라 점박이응애 밀도 억제에 유의한 차이를 보였다. 가지 끝에 접종하는 것이 다른 접종 방법보다 효과적으로 점박이응애 밀도를 억제하였다.

제주도산 사막이리응애는 1세대와 2세대에 걸친 누적 단일 및 온도 처리에서 월동 휴면이 유도되지 않아 겨울이 추운 온대지방에서 겨울철 적용은 저온 감응을 통해 이루어 질 것으로 판단되었다. 비휴면 사막이리응애와 휴면 또는 비휴면 유기 긴털이리응애를 저온처리한 후 일정 기간 이후 생존율과 이후 산란 능력을 평가한 결과 -6℃와 -9℃에서 생존율과 생존기간은 사막이리응애가 긴털이리응애보다 낮았으며, -12℃에서는 차이가 없었으나 모두 하루를 넘기지 못했다. 따라서 생리적 요인보다는 생태적 요인이 월동 생존에 더 큰 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다. 사막이리응애는 제주도 굴 과원에서는 지면잡초에서 월동하는 것이 확인되었으며, 사막이리응애 월동 생존율을 높이기 위해서는 우레탄폼 등 월동서식처를 먹이와 함께 제공할 때 높아 질 수 있음을 확인하였다.

사과응애를 먹이로 제공하였을 때 사막이리응애의 발육은 온도의존적 패턴을 보이는데 미성숙충 생존율, 암컷비율은 25℃에서 92.8, 78%로 가장 높았고 34℃ 고온에

서는 74.3, 68%로 가장 낮았다. 산란력은 25℃에서 3.3 eggs/female/day로 가장 높았다. 개체군 내적 자연 증가율은 30℃에서 0.29로 가장 높았고 15℃에서 0.09로 가장 낮았다. 발육영점온도는 10.89~10.98℃로 나타났다. 또한 34℃에서 약간의 고온 장애가 나타났으나 그 영향은 크지 않았다. 타 연구자료와 비교할 때 사과응애를 먹이로 할 때 사막이리응애의 생물적 특성은 점박이응애를 먹이로 할 때와 큰 차이가 없었다.

칠레이리응애나 긴털이리응애에 비하여 사막이리응애는 고온과 건조 조건에서 알 부화율, 유충 생존율, 성충 생존율과 산란율이 가장 높게 나타났다. 긴털이리응애 알 부화율은 온도보다는 습도의 영향을 더 많이 받았다. 50% 알부화 습도는 긴털이리응애의 경우 82%, 칠레이리응애는 저온에서 66% 이상, 고온(>30℃)에서 95% 이상을 요구하나, 사막이리응애의 경우 56~77%로 낮은 습도에도 잘 적응된 것으로 밝혀졌다.

사과응애를 방사할 경우, 수관부와 가지 방사를 비교할 때 가지에 방사하는 것이 더 효과적인 것으로 파악되었다. 6월 중순 이전에는 지면 잡초에 점박이응애가 서식할 경우 지면잡초 방사도 가능하나, 수관부로 점박이응애의 이동이 이루어졌거나, 사과응애가 우점일 경우 가지 선단부를 중심으로 방사를 하는 것이 좋을 것으로 분석되었다. 천적군 형성이 적은 과수원에서는 추가적인 방사의 효과가 있으나, 천적군이 복잡한 경우 추가적 방사의 실효를 거두기 어려울 수 있을 것으로 분석되었다.

같은 면적(1×1m²)에서 항온조건(실내사육: 온도 30±2℃, 습도 63~77%)이 변온조건보다 밀도가 더 높게 형성되었으며, 작은 면적 안에 형성된 높은 밀도의 점박이응애는 사막이리응애가 먹이를 포식하는데 더욱 유리한 것으로 나타났고, 가장 효율이 높은 생산 면적으로 1×1m²을 선정하였다. 1차와 2차년도를 거쳐 생산비와 인건비를 줄이고 작업효율을 높였으며, 생산체계의 확립으로 판매가 증가 된다면 생산 원가의 20%정도 절감 효과를 볼 수 있을 것으로 분석되었다.

사막이리응애 2000마리를 넣은 제품에 사막이리응애의 수는 모두 제품에 부합되는 기준을 초과하여 평균 2079.54마리로 조사되었다. 암컷 성비는 IOBC 기준이 60%보다 더 높은 95%로 정도였으며, 사막이리응애의 암컷의 5일간 산란수의 합계는 IOBC의 기준인 7개보다 높은 13.6개로 조사되었다. 이는 기준치에 약 2배정도 산란하는 것을 알 수 있었다. 산란을 한 암컷의 생존수는 27±1.3 마리로, IOBC의 기준인 80%보다 높은 90.7%였다.

튕박보다 질석을 이용한 경우가 사막이리응애 생존율이 높았다. 운송에 있어 아이스팩 2개의 경우 100%의 생존율을 보였다. 48시간 후에는 83%, 73%, 87.9%를 나타내었고, 72시간 후에는 76.5%, 67.0%, 78.5%, 96시간 후에는 54.2%, 57.0%, 67.7%의 생존율을 보였다. 따라서 평균 48시간 이내 전국 택배운송이 되므로 아이스팩을 2개 정도 처리하여 예상되는 사망률에 따른 마리수를 보충하여 공급하면 농가에 적정수가 유통이 가능할 것으로 분석되었다. 병제품보다 티백으로 포장한 경우가 사막이리응애를 확인하는 것이 더 용이했다. 티백형 포장을 이용한 사막이리응애의

방사실험에서 완충재 안에 들어있는 사막이리응애의 사망률은 제품 포장 중에 눌러져서 10%정도 되었다. 티백을 이용한 실험실 내 실험에서 대부분의 사막이리응애는 1일안에 다 빠져 나왔으며, 1~2마리가 남아 3일째 모두 빠져 나왔다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

사막이리응애의 생물적 특성 - 온도발육, 암컷 성충의 산란력, 포식력- 에 관한 주요 자료를 얻었다. 사막이리응애가 사과원응애류 밀도를 억제하는데 필요한 조건들 - 방사시기, 방사방법, 방사량, 방사위치-에 대한 기본적인 자료들을 본 연구를 통해 얻을 수 있었다. 개체군동태 모형들을 실제 과수원 실험자료에 적용한 결과 현재의 자료를 통해 다음 자료의 근사치를 알아낼 수 있으며 이를 통해 적합한 방제 전략을 수립할 수 있을 것으로 기대된다. SCI급 국제학술지에 논문 3편 게재, 국내 학술대회에서 8편 학술발표, 홍보 및 방송에 1건, 특허 국내출원 1건, 국내 등록 1건을 하였고 3편 이상의 논문을 현재 국제학술지에 투고중이거나 준비하고 있다. 또한 사과원 응애류 생물적 방제 매뉴얼을 제작하여 사과원 종합관리시스템의 응애류 생물적 방제에 중요한 자료로 이용될 것이다.

SUMMARY

(영문요약문)

The purpose of this project is to study spider mite management in apple orchards by developing the mass production system of *Neoseiulus californicus*.

The developmental time and survival of immature stages of *N. californicus* were studied at nine constant temperatures (12, 16, 24, 24, 28, 32, 36, 38 and 40°C), 60–70% RH, and a photoperiod of 16:8 (L:D) h. The total mortality of immature *N. californicus* was lowest at 24°C (4.5%) and highest at 38°C (15.2%). The total developmental time decreased with increasing temperature between 12 (18.38 days) and 32°C (2.98 days), and increased beyond 32°C. The relationship between the developmental rate and temperature was fitted by five nonlinear developmental rate models (Logan 6, Lactin 1, 2 and Briere 1, 2). The nonlinear shape of temperature development was best described by the Lactin 1 model ($r^2=0.98$). The developmental variation of each stage was well described by the three-parameter Weibull distribution model ($r^2=0.91\sim0.93$). The temperature-dependent developmental models of *N. californicus* developed in this project could be used to determine optimal temperature conditions for its mass rearing, to predict its seasonal population dynamics in fruit tree orchards or greenhouse crops, or to develop a population dynamics model of *N. californicus*. The longevity and fecundity of adult female *N. californicus* were investigated at different temperatures (16, 20, 24, 28, 32 and 36°C) and the oviposition model of gravid female was developed in this project. The longevity and fecundity of gravid female were significantly influenced by temperature. The longevity period decreased exponentially as temperature increased. The longevity was longest at 16 °C (46.7 ± 5.25) while it was shortest at 36°C (12.8 ± 0.75). The oviposition period was from 42.1 to 68.1 % of adult longevity at tested temperature. At 24°C, gravid female laid 43.8 ± 3.23 eggs for 23.9 days of oviposition period. Total fecundity per female was lowest at 36 °C (15.9 ± 1.50). The oviposition model was constructed by three main components as temperature-dependent total fecundity, age-specific oviposition rate and age-specific survival rate. The adult development rates (1/mean longevity) was described by Lactin-1 model ($r^2=0.95$). The temperature-dependent total fecundity per female was presented by a quadratic equation. The age-specific cumulative oviposition rate was calculated by three-parameter Weibull function ($r^2=0.96$). The age-specific survival rate was described by a sigmoid equation ($r^2=0.85$).

The effective biological control of *N. californicus* to *T. urticae* was tested by

releasing position and releasing density of *N. californicus* in apple branch. The mortile stages of *N. californicus* and *T. urticae* were investigated once per day. The extinction time of *T. urticae* was different among treatments. The most effective ratio and releasing position for controlling *T. urticae* were 1:5 (*N. californicus* : *T. urticae*) and top position of apple branch. This results will be used to decide optimal economic injury level for controlling *T. urticae* in apple orchard.

The number of *T. urticae* consumed by *N. californicus* was different depending on the initial density of *T. urticae* and the surface type of leaves. *N. californicus* consumed more eggs of *T. urticae* than did *Amblyseius womersleyi*.

Overwintering habitat: So far *N. californicus* is only naturally distributed in Jeju, Korea in association with citrus. In citrus orchard, *N. californicus* overwintered on the leaves of rosetta-form weeds and many immature stages were found in late winter implying that they would not in reproductive diapause by only females. The Jeju population of *N. californicus* did not show any diapause induction given short photoperiods and low temperature combinations, even exposed to 2 consecutive generations. Low temperature tolerance was as comparable as the native phytoseiid mite, *N. womersleyi*. Overwintering survival could be enhanced by providing wintering habitat or shelters such as cardboard strips or urethan forms with additional food sources.

Food flexibility: When provided with European red mite (ERM) as food source, immature development and adult performance of *N. californicus* were as comparable as when given two-spotted spider mite (TSM) as food. Immature survival and female ratio, fecundity were highest at 25°C, and intrinsic rate of population growth was highest at 30°C (0.29) but with high temperature inhibition from 34°C. Immature developmental threshold was estimated 10.89–10.98°C. This data is close to the findings of the experiments done with TSM as food.

Adaptation to the physical environmental conditions: Compared to two representative phytoseiid mites; one imported and used in greenhouse crops, *Phytoseiulus persimilis*(Pp) and the other native and used in the field crops, *N. womersleyi*(Nw), *N. californicus*(Nc) is most tolerable to the low humidity and high temperature conditions when evaluated by the egg hatch, immature survival, adult survival and fecundity. For example, temperature and humidity both affect the egg hatch of PP and Nc but only humidity affect the egg hatch of Nw. RH50e were 82% for NW, over 66% in low temperature and >95% at high temperature (>30°C) for PP, while 56–77% for NC.

When additionally release *N. californicus*, it is suggested to release those on branch rather than on the main trunk, and better on leafy canopy than branch. Before the early June, release into ground vegetation can result in good colonization if twospotted spider mites are present on the ground. Otherwise it is suggested to release to the canopy. The effect of release is complicated by the presence of the natural enemy complex. If the natural enemy structure is simple then the additional release of *N. californicus* provided additional effect. But if the natural enemy complex is intricately then the additional release effect would not be seen. No research on resistant strain of *N. californicus* work has been done and the field is demanded from growers' sides with complementary biocontrol.

The mass production system of *N. californicus* in constant temperature condition was more safe than that in alternating temperature condition. The ratio of 20:1 (*T. urticae* : *N. californicus*) was more suitable than other ratio system to produce and maintain *N. californicus* population in mass rearing system. The production of *N. californicus* in 1m² was more effective than other production area. Multistage rearing system was better than other rearing system to produce *N. californicus*.

Effective storage and transport system is one of important factors to maintain quality of *N. californicus* and to save economic loss. When sawdust was spread on the bottom of bottle for protecting *N. californicus* the survival rate of *N. californicus* was higher than that of other methods. When two of ice pack was utilized to conserve *N. californicus* in transport system the survival rate of *N. californicus* was better than that of other systems.

The package of tea bag was better than bottle for *N. californicus* to escape from package and to disperse in apple orchard. More than 90% of *N. californicus* in tea bag was escaped from the package and established in apple branch within 24 hours.

The quantity of *N. californicus* per package was exceeded the standard of IOBC. The ratio of adult females of *N. californicus* per package was more than 95%. Eggs oviposited by one female were about fourteen within five days.

The number of trademark was registered (40-2009-0002806). The number of product package was also registered (30-2010-0012545).

CONTENTS

(영 문 목 차)

Chapter 1. Introduction	15
Section 1. The purpose of project	15
Section 2. The need and scope of project	15
Chapter 2. The current states of international and internal technology development	17
Section 1. The current states of international technology development	17
Section 2. The current states of internal technology development	17
Chapter 3. The contents and results of project	18
Section 1. The biological characteristics of <i>N. californicus</i>	18
Subtitle 1. Temperature dependent development and mortality of <i>N. californicus</i>	18
Subtitle 2. Temperature dependent oviposition model of <i>N. californicus</i>	26
Subtitle 3. Predatory capacity of <i>N. californicus</i>	28
Section 2. The interaction between <i>T. urticae</i> and <i>N. californicus</i>	31
Subtitle 1. Optimal inoculation position and density of <i>N. californicus</i> for controlling <i>T. urticae</i> on the apple branch	31
A. Optimal inoculation position of <i>N. californicus</i> for controlling <i>T. urticae</i> on the apple branch	31
B. Optimal density of <i>N. californicus</i> of controlling <i>T. urticae</i> on the apple branch	44
Subtitle 2. The interaction between <i>N. californicus</i> and <i>N. womersleyi</i>	45
Subtitle 3. Population dynamics between <i>N. californicus</i> and <i>T. urticae</i>	53
A. Population dynamics between <i>N. californicus</i> and <i>T. urticae</i> by releasing position on apple branch	53
B. Population dynamics between <i>N. californicus</i> and <i>T. urticae</i> by releasing density on apple branch	56
Section 3. The evaluation of biological control and releasing methods of	

<i>N. californicus</i> for controlling <i>T. urticae</i>	58
Subtitle 1. The study of overwintering of <i>N. californicus</i>	58
A. Evaluate whether <i>N. californicus</i> overwinter or not internally	58
Subtitle 2. Environmental adaptation of <i>N. californicus</i>	68
A. Food environment - developmental status when <i>N. californicus</i> prey on <i>Panonychus ulmi</i>	68
B. Environmental adaptation : temperature and humidity	70
Subtitle 3. The evaluation of effective biological control and establishment rate of <i>N. californicus</i> in apple orchard by releasing methods	77
Section 4. The economical industrialization of <i>N. californicus</i>	86
Subtitle 1. The establishment of mass production system of <i>N. californicus</i>	86
A. Economic analysis and evaluation of production systems	86
1. Productivity per inoculation density	86
2. Productivity per production scale	88
3. Mass production system using multistage tray	90
4. Development of harvesting methods	92
5. Economic evaluation of production system	93
Subtitle 2. The establishment of storage and transport system of <i>N.</i> <i>californicus</i>	93
A. Storage	93
B. Transport	94
C. Survivorship survey during storage	95
Subtitle 3. Product packaging	96
A. Survey whether <i>N. californicus</i> is or not in the package	96
B. Survey the efficiency of releasing methods	97
C. Laboratory test of tea-bag package	98
Subtitle 4. The evaluation of product quality by IOBC criteria	98
A. Survey the quantitative standard	98
B. Survey the fecundity and longevity of female <i>N. californicus</i>	99
C. Survey the sex ratio	100
D. Trademark registration and development of product design	101
Subtitle 5. Development of releasing program	101
Chapter 4. The achievement of project goal and the level of contribution to related field	104

Chapter 5. The results of project and plan of extending results	107
Chapter 6. International technology information during project performance	108
Chapter 7. References	114
Appendix	118

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	15
제 1 절	연구개발 목적	15
제 2 절	연구개발 필요성 및 범위	15
제 2 장	국내외 기술개발 현황	17
제 1 절	국외기술개발 현황	17
제 2 절	국내기술개발 현황	17
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	18
제 1 절	사막이리응애의 생물적 특성	18
1.	사막이리응애의 온도별 발육 및 사망률	18
2.	사막이리응애의 온도 의존적 산란모델 실험	26
3.	사막이리응애의 포식력 실험	28
제 2 절	점박이응애와 사막이리응애의 상호작용	31
1.	점박이응애의 효과적인 방제를 위한 사막이리응애 접종 위치 및 접종 밀도 선정	31
가.	점박이응애의 효과적인 방제를 위한 사막이리응애의 접종 위치	31
나.	점박이응애의 효과적인 방제를 위한 사막이리응애 접종 밀도 선정	44
2.	사막이리응애와 긴털이리응애의 상호작용	45
3.	사막이리응애와 점박이응애의 개체군 동태 모형	53
가.	사막이리응애 접종위치따른 두 종의 개체군 밀도변화	53
나.	사막이리응애 접종밀도따른 두 종의 개체군 밀도변화	56
제 3 절	사막이리응애의 방사체계 및 생물적 방제 평가	58
1.	사막이리응애의 월동성 연구	58
가.	사막이리응애의 국내 월동가능성 평가	58
2.	사막이리응애의 환경 적응성	68
가.	먹이환경 - 사과응애를 먹이로 한 발육생태	68
나.	온습도 환경 적응	70
3.	노지 사과원 방사 방법에 따른 정착율 및 생물적 방제 효과 평가	77
제 4 절	사막이리응애의 경제적 산업화	86
1.	사막이리응애의 대량 생산 체계 확립	86
가.	생산방법별 생산성과 경제성 평가	86

(1) 접종 밀도별 생산량	86
(2) 단위 생산 규모별 생산성	88
(3) 다단식 트레이를 이용한 대량 사육	90
(4) 수확 방법 개발	92
(5) 생산체계에 대한 경제성 평가	93
나. 저장 및 운반체계 확립	93
(1) 저장	93
(2) 운송	94
(3) 저장 중 공급 먹이별(점박이용애) 생존율 조사	95
다. 제품 포장	96
(1) 방사 방법별 용애 유무조사	96
(2) 방사 방법(tea bag)에 따른 효율 조사	97
(3) 티백형을 이용한 사육실내 사막이리용애 방사실험	98
2. IOBC 기준에 부합하는 품질 관리 요소 평가	98
가. 규격 수량 조사	98
나. 사막이리용애의 산란수와 산란한 암컷 수명 조사	99
다. 성비 조사	100
라. 상표등록 및 디자인 특허	101
3. 방사프로그램 개발	101
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	104
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	105
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	108
제 7 장 참고문헌	114
부록	118

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 목적

본 과제의 목적은 신규 국내계통 사막이리응애(*Neoseiulus californicus*)의 사과원에 서의 이용기술을 개발하여 생물적 방제 가이드라인을 제공하고 경제적 산업화를 통해 사막이리응애 생산원가를 20% 절감하는 것이다.

제 2 절 연구개발 필요성 및 범위

최근 각 국과의 FTA 체결과 농산업 인구의 노령화, 여성화 및 인건비 상승으로 국내 과수 및 과채류농가의 위기의식이 고조되고 있다. 농업경영인들은 고품질 안전 농산물 생산만이 살길이라는 절박한 심정으로 친환경농법에 대한 관심이 점차 고조되고 있으나 이에 따른 과학적 접근이 미흡하다. 사과원 병해충관리는 생물적 방제를 중심으로 하는 IPM 체계가 가장 과학적이고 합리적인 대안으로 주목받고 있다. 사과원의 주요 관건해충인 과실 가해 심식나방류는 응애류 천적에 영향이 적은 선택성 농약을 사용하여 방제하거나 성페로몬 교미교란제의 실용화로 발전해 가고 있어 응애류의 천적을 이용한 생물적 방제의 가능성이 높아지고 있다. 한편 응애류의 경우 초생재배, 약제 사용횟수의 절감, 기타 천연/유기 자제의 시용으로 인해 절대 밀도는 상당량 감소되었으나 사과원 주요 응애가 점박이응애 우점에서 점박이응애와 사과응애 두 종이 비슷한 수준으로 발생하여 적절한 관리가 요구되고 있다. 우리나라의 경우, 사과원 응애류의 우점 천적이 긴털이리응애(*Neoseiulus womersleyi*)로 알려져 있으나 긴털이리응애는 사과원에서 초여름 발생시기가 점박이응애보다 늦기 때문에 사과 생육 전반기동안 생물적 방제에 어려움이 있다. 또한 긴털이리응애는 점박이응애에 대한 선호도가 높은 반면, 사과응애에 대한 포식능력은 매우 낮아 점박이응애와 사과응애가 동시 발생하는 현 상황에서 최선의 방제원으로 이용되기 어렵다. 2005년과 2006년 제주도 전역의 굴과원에서 포식성 이리응애가 광범위하게 분포함이 확인되었고 정 등(2006)은 이 종이 *Neoseiulus californicus*(사막이리응애)로서 제주도 지역에 분포하고 있음을 공식적으로 보고하였다.

사막이리응애는 전 세계적으로 약 16개국에서 산업화에 성공하여 생물적 방제원으로 널리 이용되고 있는 천적으로 국내에서는 구체적인 연구 및 적용사례가 없었다. 미국, 유럽 등지에서 사과응애 및 사과응애와 같은 속의 응애류에 대한 생물적 방제 가능성이 높은 것으로 검토되었으며, 점박이응애 등의 잎응애속 응애에도 매우 좋은 천적으로 연구되어 왔다.

응애류를 방제하기 위한 살비제의 개발비는 계속 증가하고 있으며, 이로 인한 농가 부담이 증가하고 있는 실정이다(그림 1). 현재 사과등 원예작물 생산비에서 농약 비용은 10%를 넘어서고 있다(농진청, 2002). 전 세계적으로 해충 방제를 위한 생물 농약과 천적 등의 시장은 약 3억 4천만 달러(1991년 기준, Ridgway 와 Inscoe 1998)로 그 비중은 계속 증가하는 추세이다. 국내 천적류의 산업화를 통한 천적 시장 규모는

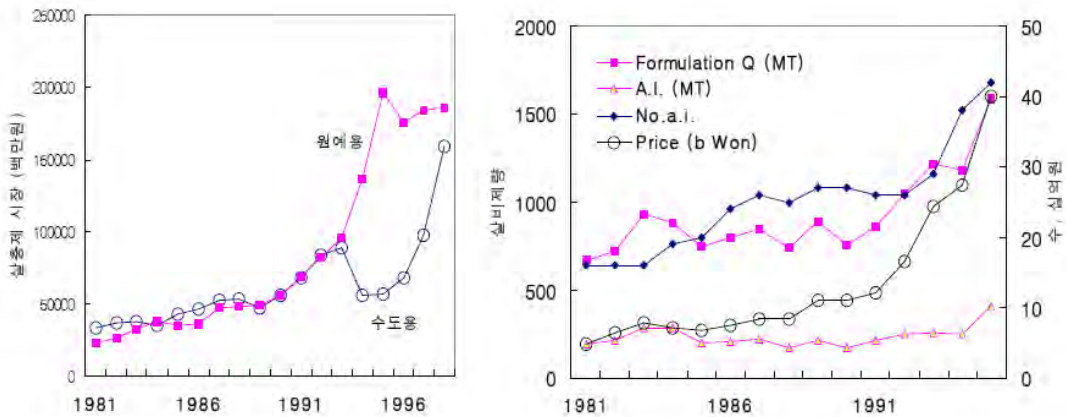


그림 1. 국내 원예용과 수도용 살충제 시장(왼쪽)과 살비제의 양, 성분량, 시장규모의 변화 (농약공업협회, 1983-1999 자료)

약 10% 수확수준에서 약 570억원으로 추정된 바 있으나(임과 조, 2001) 이는 주로 온실작물을 중심으로 한 결과이다. 사과원에서 응애류의 천적 시장은 사과 재배 면적의 10%에 천적을 이용한다는 가정하에, 년 25억원 규모가 될 것이다(정, 미발표). 현재, 국내 응애류 천적은 2,000마리 기준으로 약 25,000~30,000원 선으로 거래되고 있으나, 소비자가격 중 생산비 비중이 약 40%대로 매우 높아, 생산비를 절감할 수 있는 생산시스템 과학화 및 경제성 제고가 필요하다. 사막이리응애에 대해서 미국, 유럽 일부 국가 및 일본에서 집중적인 연구가 진행되고 있으나, 지역 계통별로 생물/생태학적 특징들의 변이가 다양한 것으로 보고 되었다. 따라서 2006년 새로이 밝혀진 국내 계통(제주계통) 사막이리응애의 생물학적 특성을 파악하고 국내 현실에 맞는 생물적 방제체계의 개발은 매우 시급하며 또한 이를 지원하기 위한 제주계통 사막이리응애의 경제적 산업화가 절실히 요구된다.

따라서 본 연구는 사막이리응애의 사과원 응애류의 생물적 방제기술과 사막이리응애의 산업화를 위한 생산기술 개발을 위해 수행되었다. 이를 위해서 사막이리응애의 기본적인 생물적 특성(사막이리응애의 온도발육, 온도별 산란력, 점박이응애와 사과응애에 대한 포식력)을 연구하였다. 사막이리응애와 사과원 점박이응애의 개체군 동태분석 모형을 작성하고 모형의 현장 적용 및 민감도 분석을 실시하였다. 또한 사막이리응애의 월동가능성 조사, 사막이리응애 방사량 및 방사시기에 따른 사과원 정착율과 생물적 방제 효과를 연구하여 사과원 응애류 생물적 방제 가이드라인을 작성하였다. 사막이리응애의 경제적 대량생산 및 품질관리기술을 개발하기 위해 사막이리응애 생산 방법별 생산성과 경제성 조사, IOBC기준에 부합하는 품질관리 요소 평가, 장기저장 및 운송, 적용 시스템 연구, 용도별 포장제 개발 및 용기 개발을 수행하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국외기술개발 현황

2003-2005 3개년에 걸쳐 EU 중 6개국의 공동 참여로 건조기후 적응성 사막이리응애의 현장 적응성 향상 연구(EU-Californicus Project)가 실시되었고 이 연구의 결과가 2006년 세계응애학회에서 다수 발표되었으며 논문으로 게재되었다. 뿐만 아니라 EU국을 중심으로 연구의 결과들이 현장에 적용되고 있는 실정이다. 일본에서는 고베대학교를 중심으로 일본에 서식하는 사막이리응애의 생물적 특성 및 포식능력이 연구되어 일본 굴 과원의 생물적 방제원으로 사막이리응애가 활용되고 있다. 치바대학교와 이바라키대학교에서는 사막이리응애가 배과원에서 우점인 원인을 규명하였고 이러한 연구 결과를 이용하여 배과원에서 사막이리응애를 생물적 방제원으로 활용하는 연구를 실시하였다. 네덜란드에 본사를 두고 있는 천적전문회사 코퍼트는 유럽지형과 기후에 적합한 사막이리응애를 대량 생산 및 보급하는 연구를 실시하였다. 다양한 온실작물의 생물적 방제원으로 사막이리응애를 활용하였고 많은 양을 전 세계에 수출하고 있다. 미국에서는 플로리다대학을 중심으로 노지 딸기재배에서 사막이리응애를 이용한 점박이응애의 생물적 방제에 관한 여러 연구 결과를 논문으로 발표하였다.

제 2 절 국내기술개발 현황

농촌진흥청 산하 난지농업연구소에서는 굴응애에 대한 생물적 방제원으로 사막이리응애의 활용도를 평가하는 과제를 수행하고 있다. 이외에는 본 연구가 유일한 상황이다. 본 연구의 결과는 국외계통 사막이리응애의 생물적 특성과 국내계통 사막이리응애의 생물적 특성을 잘 비교하여 보여주고 있으며 우리나라의 사과원에 적합한 생물적 방제 전략과 경제적 생산방법을 제공한다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 사막이리응애의 생물적 특성

1. 사막이리응애의 온도별 발육 및 사망률

가. 재료 및 방법

실험에 이용된 사막이리응애는 2006년 제주도 난지연구소에서 분양받아 (주)나비스에서 사육중인 개체들을 일부 분양받아 서울대학교에서 누대 사육한 개체군을 이용하였다. 사막이리응애 사육을 위한 먹이로는 점박이응애(*Tetranychus urticae*)를 이용하였다. 점박이응애는 강낭콩(*Phaseolus vulgaris* var. *humilis*) 잎을 먹이로 사육실조건 (온도 22~26℃, 상대습도 50~70%)에서 증식시켰다. 강낭콩은 기주 사육실(온도 22~26℃, 상대습도 40~60%)에서 재배하였다. 실험은 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 38, 40℃의 항온기내에서 각 온도별로 실시하였다. 반복수는 50~80회로 하였다. 24시간 내 사막이리응애 암컷 성충이 산란한 알을 가는 붓을 이용하여 점박이응애 알이 있는 강낭콩 잎 뒷면 위에 1개씩 접종하였다. 사막이리응애 알이 부화한 후에는 먹이가 부족하지 않도록 계속해서 점박이응애의 알과 다른 발육단계를 공급하였다. 조사는 24시간 간격으로 하는 것을 기본으로 하고, 고온 조건(28, 32, 36, 38℃)에서는 12시간 간격으로 조사하였다. 조사는 해부현미경(x16)을 이용 하였다. 온도별 평균발육기간에 대한 자료는 6가지 모델-Logan 6, Lactin1, 2, Briere1, 2, Taylor-을 이용하여 분석 하였다. 발육기간에 대한 평균간 비교는 SAS프로그램을 이용하여 Tukey검정을 하였다. Weibull function을 이용, 각 발육단계별 발육완료 누적분포 그래프를 구하였다.

나. 결과

표 1은 각 온도별 사막이리응애 각 발육단계의 사망률을 나타낸 것이다. 알에서 성충 발현 까지, 사망률은 36℃에서 4.7% 로 가장 낮았으며, 38℃에서 15.2%로 가장 높았다. 대부분의 사망이 알과 유충시기에 일어나는 것으로 조사되었다. 저온 조건에서 사망률은 고온보다 낮은 편이었다.

표 2는 각 온도에 대한 발육단계별 평균발육기간을 보여주고 있다. 알~성충 출현 기간은 32℃에서 2.98일로 가장 짧았으며, 12℃에서 18.38일로 가장 길었다. SAS를 이용한 Tukey 분석결과, 통계적으로 28℃에서 38℃까지 별 차이가 없다고 나타났다. 40℃에서 알의 부화가 일어나지 못했다. 온도별 약충발육기간이 성충발현 전기간의 50%정도를 차지하였다.

표 1. 각 온도에 따른 사막이리응애의 각 발육단계별 사망률(%)

온도 (°C)	알	유충	제 1 약충	제 2 약충
12	5.3 (36)	0.0 (36)	2.8 (35)	0.0 (35)
16	5.6 (34)	0.0 (34)	2.9 (33)	0.0 (33)
20	6.7 (42)	0.0 (42)	0.0 (42)	0.0 (42)
24	4.5 (42)	0.0 (42)	0.0 (42)	0.0 (42)
28	5.4 (35)	0.0 (35)	0.0 (35)	0.0 (35)
32	2.2 (44)	2.3 (43)	2.3 (42)	0.0 (42)
36	4.7 (84)	0.0 (80)	0.0 (80)	0.0 (80)
38	7.3 (38)	0.0 (38)	7.9 (35)	0.0 (35)

괄호 속 숫자는 분석에 사용된 개체수를 나타냄.

그림 1은 Weibull 함수를 이용한 발육단계별 발육완성 누적분포 그래프로 발육 단계별 결정계수(r^2)가 0.91~0.93 으로 이 함수를 이용하여 현 실험결과들을 잘 설명해 주고 있다. SAS 프로그램을 이용하여 파라미터를 추정하였다. 각 단계별 파라미터값과 결정 계수값은 표 3과 같다.

표 2. 사막이리응애의 각 발육단계별 발육기간 (발육기간(일) ± 표준오차)

온도 (°C)	알	유충	제 1 약충	제 2 약충	성충발현 전기간	암컷 비율
12	6.50±0.44a (36)	2.91±0.13a (36)	4.45±0.30a (35)	4.45±0.29a (35)	18.38±0.73a (34)	0.53
16	3.02±0.19b (34)	1.73±0.12b (34)	3.36±0.12b (33)	3.30±0.15b (33)	11.48±0.20b (32)	0.41
20	2.92±0.15b (42)	1.76±0.08b (42)	2.09±0.09c (42)	1.95±0.09c (42)	8.73±0.12c (42)	0.40
24	2.09±0.14c (42)	1.09±0.04c (42)	1.16±0.05de (42)	1.64±0.12c (42)	6.00±0.18d (42)	0.51
28	1.17±0.08d (35)	0.74±0.05d (35)	1.04±0.05de (35)	0.87±0.04d (35)	3.82±0.10e (35)	0.51
32	0.98±0.05d (44)	0.55±0.02d (43)	0.82±0.04e (42)	0.61±0.03d (42)	2.98±0.04e (41)	0.46
36	0.83±0.02d (71)	0.56±0.02d (76)	0.96±0.03de (77)	0.79±0.03d (80)	3.23±0.05e (80)	0.57
38	0.75±0.04d (38)	0.52±0.01d (38)	1.37±0.03d (35)	1.10±0.03d (35)	3.75±0.08e (35)	0.49
40	0.89±0.06d (41)					

괄호 속 숫자는 분석에 사용 된 개체수를 나타냄.

Tukey검정 결과, 같은 칸에 같은 알파벳일 경우 통계적으로 유의한 차이가 없음을 뜻한다. (p<0.001).

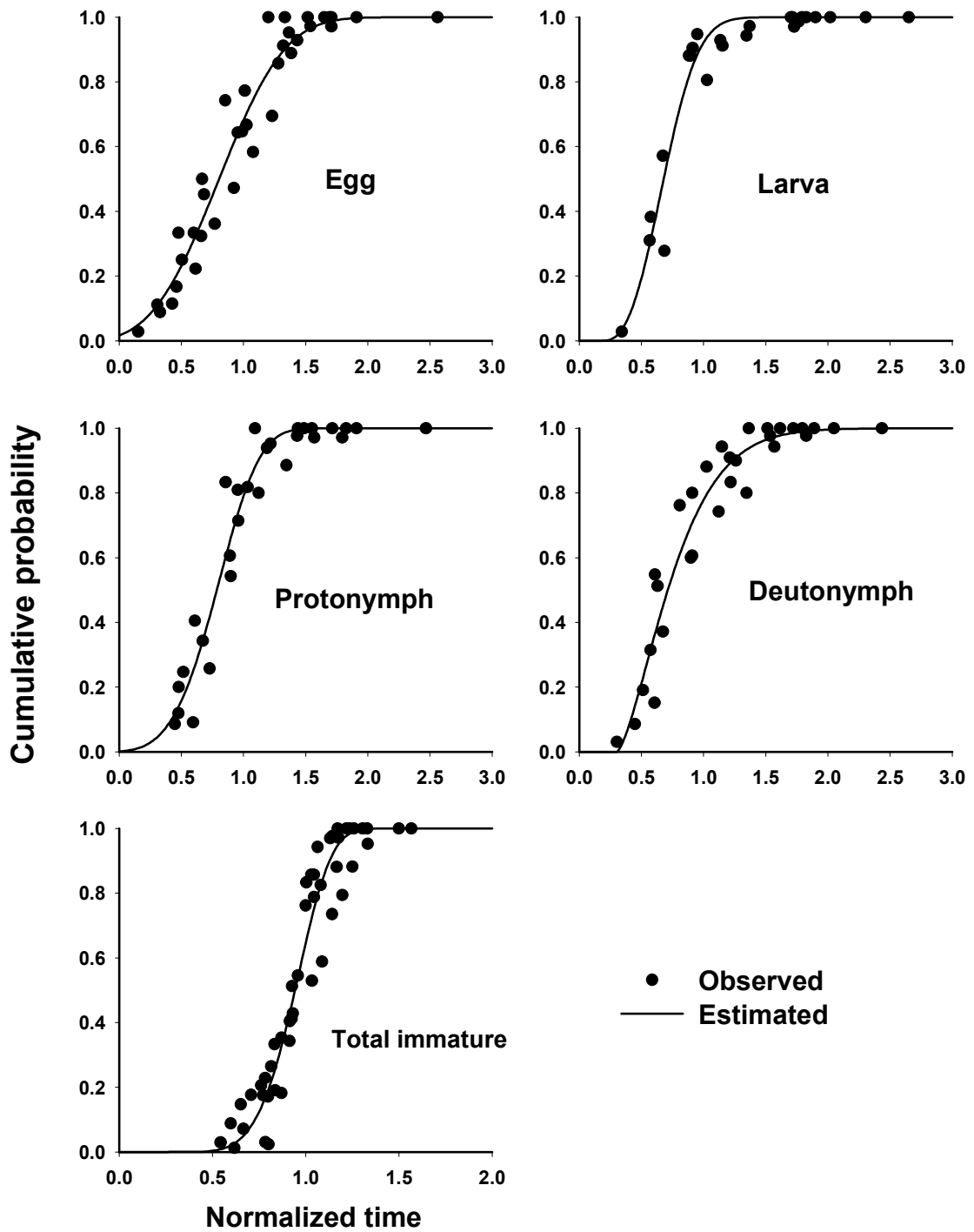


그림 2. Weibull Function을 이용한 단계별 발육완성 누적분포. ● 관찰값, — 예측값

표 3. 사막이리응애의 각 발육단계별 Weibull 함수 파라미터 값들

발육단계	사막이리응애의 Weibull 분포			
	n	β	γ	r^2
알	1.319 (0.6495)	3.259 (1.7504)	-0.374 (0.6340)	0.93
유충	0.568 (0.3355)	2.598 (1.5998)	0.186 (0.3228)	0.93
제 1 약충	1.106 (1.0132)	4.234 (4.2568)	-0.228 (0.9990)	0.93
제 2 약충	0.526 (0.1836)	1.463 (0.5382)	0.302 (0.1615)	0.91
성충 발현 전기간	0.734 (0.5365)	5.007 (3.9507)	0.260 (0.5313)	0.92

괄호 속 숫자는 표준오차를 나타냄.

표 4는 각 온도별 발육기간별 평균발육기간 자료를 이용하여 각 모델에 적용하여 보았을 때 모델식이 얼마나 현 자료를 잘 설명해주고 있는가를 보여주는 모델식에 대한 결정계수 값들을 나타낸 것이다. Lactin1 모델이 실험 결과를 가장 잘 설명해주는 모델이었다. 모델식을 이용하여 발육이 진행되지 않는 발육 최저, 최고온도와 발육 최적온도를 구할 수 있었다. 이러한 결과를 통해 사막이리응애가 월동에서 나와 활동 가능한 시기가 언제인가를 예측할 수 있다. 최적온도의 예측은 사막이리응애의 대량 사육 시스템을 구축하는데 도움이 될 것이다. 고온에서 사막이리응애의 생존 가능성이 높으므로 여름철 야외 포장에서 점박이응애 방제를 위해 사막이리응애를 이용할 수 있을 것으로 보인다.

각 모델의 파라미터 값들은 표 5에 나타내었다. 각 모델의 파라미터 값들을 이용한 결과는 그림 2에 나타내었다. 그림을 통해서 발육 최적, 최고, 최저 온도를 쉽게 알 수 있다.

표 4. 사막이리응애의 각 발육기간의 모델식에 대한 결정계수 값

	알	유충	제1약충	제2약충	성충출현 전기간
Logan6	0.9543	0.9541	0.9318	0.9877	0.9838
	0.9848	0.9645	0.9403	0.8720	0.9718
	0.4600	0.8336	0.7546	0.7957	0.8450
Lactin 1	0.9634	0.9641	0.9496	0.9779	0.9872
	0.9886	0.9734	0.9552	0.9040	0.9788
	0.4640	0.8336	0.7546	0.7957	0.8507
Lactin 2	0.9542	0.9572	0.9433	0.9914	0.9230
	0.9872	0.9685	0.9460	0.9230	0.9745
	0.5743	0.8952	0.9194	0.9257	0.9916
Briere 1	0.9484	0.9274	0.9229	0.7875	0.9102
	0.9623	0.9605	0.9508	0.9389	0.9682
	0.5477	0.8902	0.8901	0.9105	0.9597
Briere 2	0.9523	0.9300	0.9023	0.9299	0.9444
	0.9853	0.9703	0.9509	0.9208	0.9768
	0.5674	0.9029	0.9628	0.9162	0.9913
Taylor	0.9581	0.9412	0.8956	0.7711	0.9249
	0.9716	0.9488	0.9320	0.9326	0.9627
	0.5116	0.8679	0.8769	0.8713	0.9389

각 모델의 첫 번째 열은 현 연구 결과를 이용한 결정계수값 두 번째 열은 Gotoh등(2004)의 실험결과를 이용한 결정계수값, 세 번째 열은 Canlas등 (2006)의 실험결과를 이용한 결정계수값이다

$$\text{Logan 6: } r(T) = \Psi(e^{(\rho T)} - e^{(\rho TL - (TL - T)/\Delta T)})$$

$$\text{Lactin 1: } r(T) = (e^{(\rho T)} - e^{(\rho TL - (TL - T)/\Delta T)})$$

$$\text{Lactin 2: } r(T) = (e^{(\rho T)} - e^{(\rho TL - (TL - T)/\Delta T)}) + \lambda$$

$$\text{Briere 1: } r(T) = aT (T - T_0) (T_L - T)^{1/2}$$

$$\text{Briere 2: } r(T) = aT (T - T_0) (T_L - T)^{1/m}$$

$$\text{Taylor: } r(T) = R e^{(-0.5((T - T_m)/T_0)^2)}$$

$r(T)$: 발육율 (1/발육기간, 발육기간은 일일을 단위로 하였음), T : 사육온도(실험에 이용된 온도), Ψ : 최대 발육율, ρ : 최적 온도에서 발육율을 나타내는 상수, TL : 최고 치사온도, ΔT : 최적온도와 최고온도 사이의 온도 범위, a : 상수, T_0 : 최저치사온도, T_m : 발육율이 최고일때 온도, T_0 : 모델 그래프의 모양을 결정하는 상수, R : 온도 T 에서 최대 발육율

표 5. 각 모델의 파라미터 값들

		알			유충			제1약충			제2약충			성충 출현 전기간		
		AT*	Gotoh	Canlas	AT	Gotoh	Canlas	AT	Gotoh	Canlas	AT	Gotoh	Canlas	AT	Gotoh	Canlas
Logan6	Ψ	1.00	1.00	1.00	0.12	0.99	1.00	0.09	0.99	1.00	0.04	0.99	1.00	0.01	1.00	1.00
	ρ	0.13	0.16	0.12	0.10	0.16	0.14	0.14	0.15	0.13	0.14	0.14	0.16	0.13	0.16	0.15
	TL	47.35	46.30	47.75	71.05	41.33	42.29	135.54	41.86	42.18	73.83	41.41	41.70	106.44	46.67	44.97
	ΔT	7.64	6.22	8.41	5.63	6.09	6.90	6.02	6.48	7.32	4.38	6.89	6.20	5.25	6.41	6.50
	Optimal	39.71	40.08	39.34	65.42	35.24	35.39	129.52	35.38	34.86	69.46	34.52	35.49	101.19	40.26	38.47
Lactin 1	ρ	0.13	0.16	0.11	0.13	0.16	0.14	0.15	0.15	0.14	0.17	0.14	0.16	0.15	0.16	0.15
	TL	45.68	39.59	48.84	43.53	37.71	40.46	39.66	37.97	40.12	39.41	37.93	38.40	40.90	38.33	39.78
	$\Delta\Delta T$	7.64	6.22	9.03	7.59	6.09	6.91	6.53	6.48	7.32	5.72	6.89	6.20	6.56	6.40	6.78
	Optimal	38.04	33.37	39.81	35.94	31.62	33.55	33.13	31.50	32.80	33.69	31.04	32.20	34.34	31.93	33.00
Lactin 2	ρ	0.13	0.17	0.03	0.14	0.14	0.06	0.15	0.13	0.05	0.18	0.06	0.05	0.01	0.13	0.02
	TL	45.56	40.00	66.97	42.88	38.40	46.73	39.83	39.00	47.44	39.23	42.68	45.29	42.80	39.30	59.45
	ΔT	7.53	5.72	15.07	7.07	6.86	9.11	6.79	7.62	10.76	5.43	9.82	9.88	2.02	7.46	16.22
	λ	0.01	0.05	-1.15	0.10	-0.32	-1.50	-0.05	-0.24	-1.33	0.08	-1.36	-1.52	-1.11	-0.05	-1.11
	Optimal	38.03	34.27	51.91	35.82	31.54	37.61	33.04	31.38	36.68	33.80	32.86	35.40	40.78	31.85	43.24
Briere 1	a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	T0	5.61	8.88	2.89	3.39	10.20	7.87	9.24	8.90	7.19	11.35	7.72	10.75	8.76	9.25	9.14
	TL	51.87	43.63	53.87	48.16	37.55	42.03	39.16	37.66	39.98	39.34	37.18	38.36	41.69	38.47	40.28
	Optimal	42.10	35.92	43.40	38.88	31.26	34.52	32.41	31.16	32.79	32.85	30.63	31.98	34.36	31.85	33.28
Briere 2	a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	T0	-1.56	4.01	7.37	-1.19	6.38	10.36	6.87	4.66	11.23	8.56	8.89	12.87	5.38	4.62	11.74
	TL	40.10	35.00	83.46	39.39	35.20	71.93	38.38	35.34	69.55	38.14	38.31	63.34	38.52	35.22	69.98
	m	17.42	56.51	0.58	6.75	5.73	0.47	2.99	5.04	0.37	4.10	1.56	0.39	4.82	6.81	0.40
	Optimal	38.96	34.71	46.50	36.63	32.66	37.77	33.43	32.37	33.50	34.53	30.28	32.41	35.18	32.98	35.10
Taylor	R	1.44	0.92	0.99	1.97	2.35	2.00	1.28	1.24	1.02	1.59	1.17	1.06	0.32	0.30	0.28
	Tm	40.97	35.75	42.87	38.54	30.54	34.93	30.91	30.46	32.55	31.81	29.39	31.48	33.77	31.49	33.18
	T σ	13.96	11.44	16.04	13.75	8.91	11.75	8.55	9.39	10.93	7.54	9.16	9.28	10.05	9.73	10.58

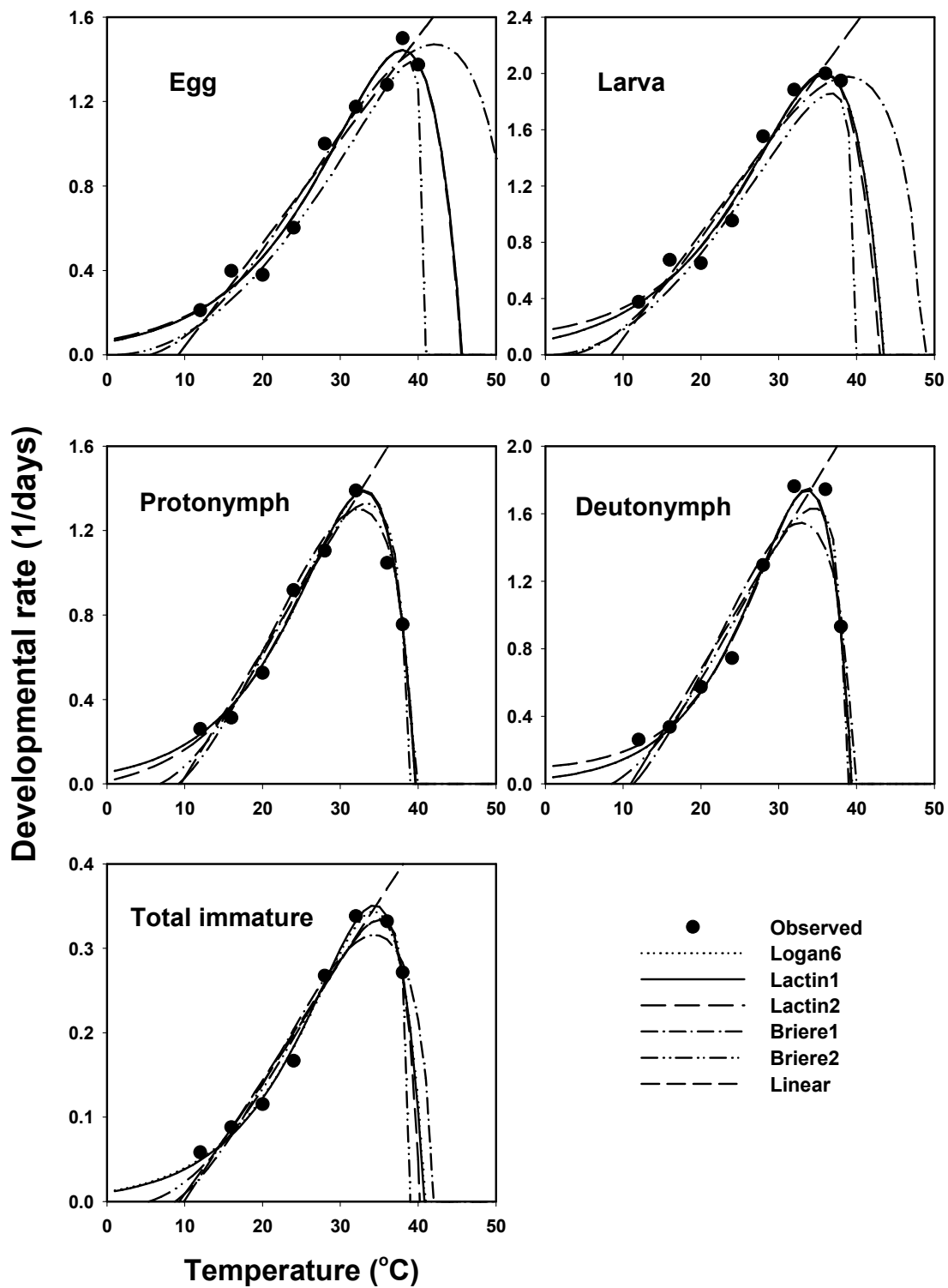


그림 3. 각 모델의 파라미터 값을 이용한 사막이리응애의 발육율과 온도와의 관계

2. 사막이리응애의 온도 의존적 산란모델 실험

가. 재료 및 방법

재료는 '1-가'와 동일하다. 성충으로 갓 부화한 암컷과 수컷을 이용하였다. 교미한 암컷 사막이리응애를 이용하여 16, 20, 24, 28, 32, 36°C의 항온기에서 각 온도별로 산란수를 조사하였다. 현미경(x16)을 이용하여 24시간 간격으로 산란수를 기록하였다. 사막이리응애의 생명표 분석을 실시하였다.

나. 결과

사막이리응애 암컷 성충의 수명 및 총 산란수는 온도에 많은 영향을 받았다(표 6)(longevity : $F_{5,191} = 20.57$, $p = 0.0007$; total fecundity: $F_{5,190} = 15.24$, $p = 0.0001$). 온도가 높아질수록 성충의 수명은 짧아졌고, 수명과 산란 전기간은 각 온도별로 비슷한 경향을 나타내었다($F_{5,190} = 3.23$, $p = 0.008$). 12°C 실험결과 산란전 기간이 약 13일이며, 평생 12개의 알을 산란 하였지만, 산란 후 기간까지 생존 하지 못한 것으로 조사되었다. 온도별 사막이리응애의 산란($F_{5,190} = 31.85$, $p = 0.0001$) 및 산란 후기간($F_{5,190} = 3.23$, $p = 0.008$)은 16°C에서 가장 긴 것으로 나타났지만 총 산란수는 24°C에서 가장 많은 것으로 나타났다. 산란 전기간($F_{5,190} = 112.22$, $p = 0.0001$)은 온도가 36°C에 이르면 급격히 감소하였으며 모든 실험 온도에서 산란전기간 및 후기간보다 산란기간이 더 긴 것으로 나타났다. 그림 4와 5는 사막이리응애 암컷 성충 발육율, 온도 의존적 총 산란수, 총 누적 산란수, 생존율과 연령별, 온도별 일일 산란수의 예측모형을 나타낸 것이다.

표 6. 사막이리응애의 온도에 따른 수명 및 총 산란수 (평균±표준오차).

온도 (°C)	사용된 사막이리응애 성충수	총산란수	일일 산란수	산란 전기간	총 수명
16	31	24.7±2.40bc	0.6±0.03c	5.3±0.21a	46.7±5.25a
20	34	29.4±2.84b	0.8±0.05c	3.6±0.19a	36.7±3.47a
24	24	43.8±3.23a	1.3±0.07b	3.0±0.13b	35.1±3.08a
28	37	32.5±2.17b	1.9±0.12a	1.5±0.09c	19.1±1.62b
32	31	32.5±1.95b	1.9±0.08a	1.4±0.11c	18.1±1.17b
36	39	15.9±1.50c	1.2±0.09b	1.8±0.08b	15.9±1.50b

($P > 0.0001$, Tukey's test)

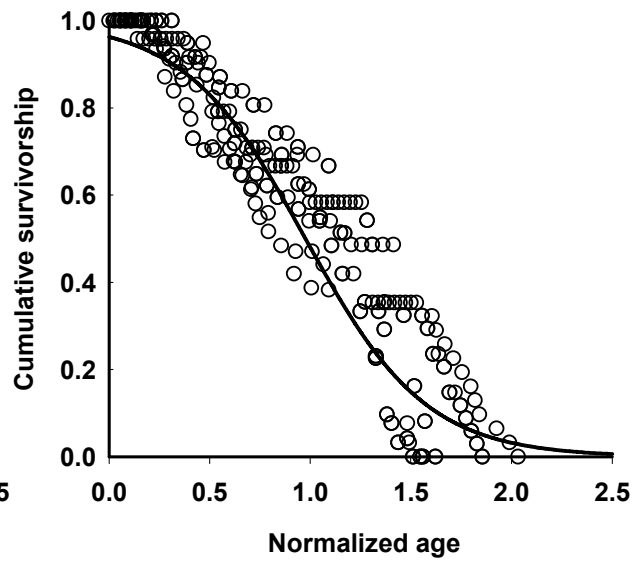
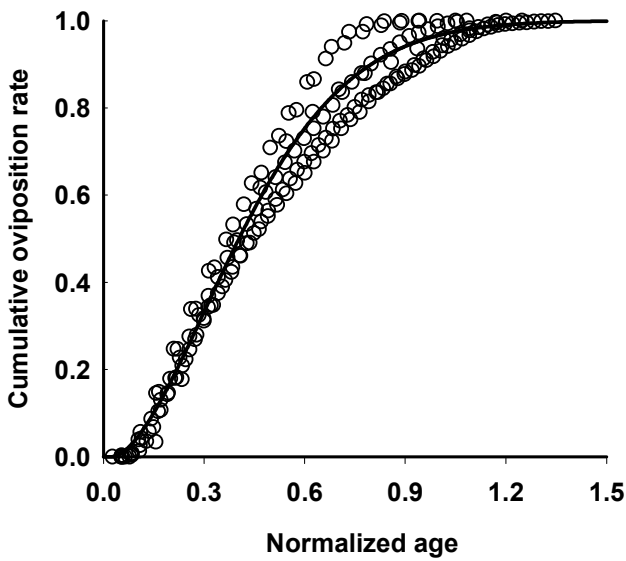
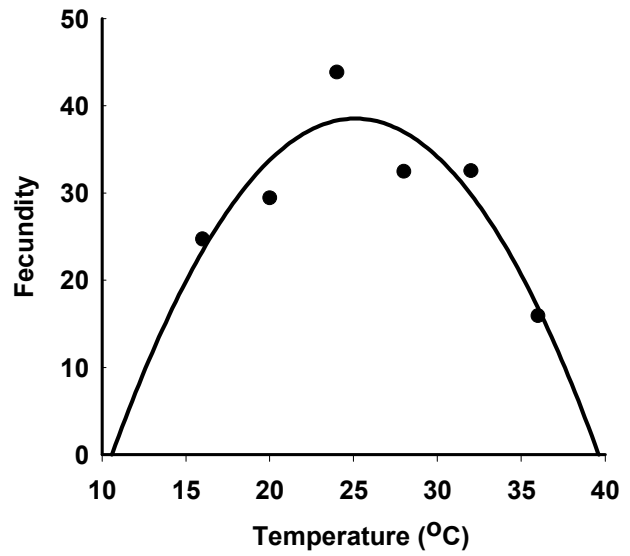
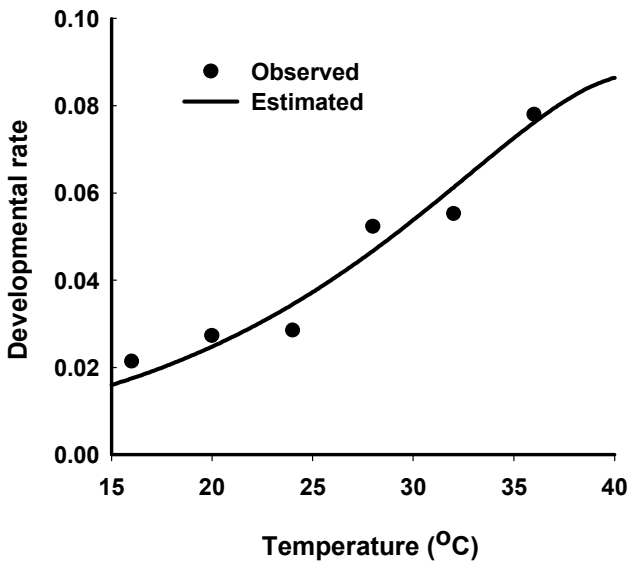


그림 4. 사막이리응애 암컷 성충 발육을 회귀분석(a), 온도 의존적 총 산란수(b), 총 누적 산란수(c), 생존율(d), ● 관찰값, — 예측값

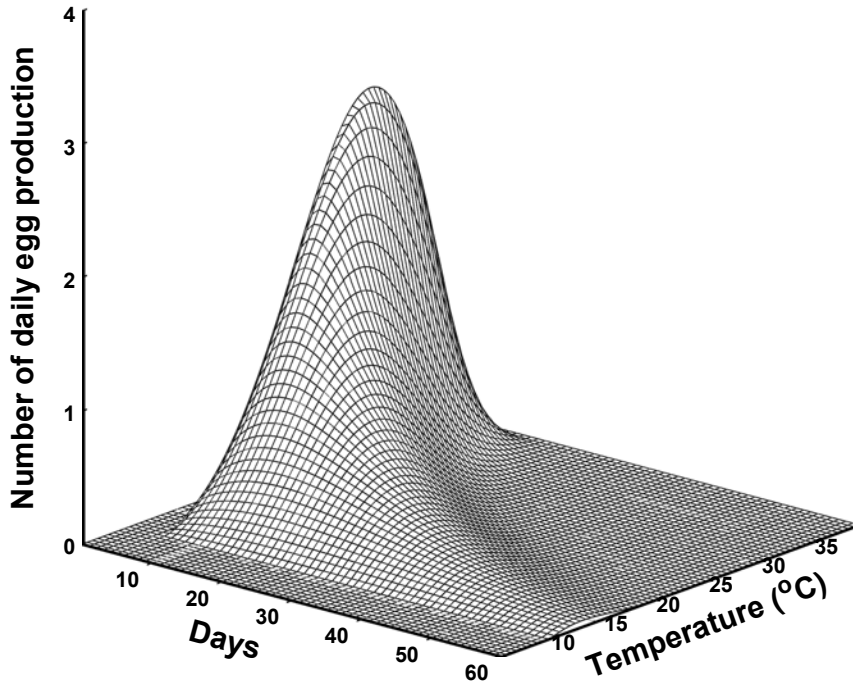


그림 5. 사막이리응애의 연령별, 온도별 일일 산란수의 예측모형

3. 사막이리응애의 포식력 실험

가. 재료 및 방법

재료는 '1-가'와 동일하다. 점박이응애 알을 먹이로 실험을 실시하였다. 각 먹이조건에서 먹이 수를 5, 10, 20, 40, 80, 120으로 하여 사막이리응애 암컷 성충의 기능반응을 조사하였다. 24시간이 지난 후 사막이리응애가 포식한 알의 갯수를 기록하였다. 반복은 10회로 하였다. 포식량 결과는 Royama(1971)와 Rogers(1972)의 수식을 이용하여 분석하였다. 초기밀도별 평균 포식량을 비교하기 위하여 Tukey 검정을 실시하였다.

나. 결과

사막이리응애의 점박이응애 초기 알 밀도에 대한 포식량은 표 7에 나타내었다. 초기밀도에 따라 사막이리응애가 섭식하는 양은 통계적으로 다르게 나타났다(사과 $df=5$, $F=41.69$, $p<0.0001$, 배 $df=5$, $F=48.48$, $p<0.0001$). 뿐만 아니라 실험에 이용된 잎의 종류에 따라 포식량의 차이가 있었다. 배 잎의 경우 잎 뒷면에 털이 주맥을 따라 있고 다른 부분은 털이 거의 없는 것으로 관찰되었는데 이것은 사막이리응애가 이동하기 편한 환경이라고 할 수 있다. 사과 잎의 경우 잎 뒷면에 털이 많이 있어서 사막이리응애의 이동에 어려움을 준 것으로 사료된다.

표 7. 사막이리응애의 점박이응애 초기 알 밀도에 대한 일일 포식량

초기밀도	사과잎에서의 포식량	배잎에서의 포식량
5	4.67±0.187 d*	4.78±0.222 c
10	7.50±0.479 cd	9.22±0.324 cb
20	11.25±0.827 c	10.06±0.818 cb
40	19.54±1.148 b	13.13±1.757 b
80	22.37±2.764 ab	26.75±1.176 a
120	29.6±3.371 a	30.61±2.306 a

*: 같은 칸 내에 같은 알파벳은 통계학적으로 유의성이 없음을 나타냄(p<0.001). Tukey 검정을 통해 평균간 비교를 실시함.

Rogers의 'random predator equation'을 이용한 결과는 표 8과 같다.

표 8. 'Random predator equation'을 이용하여 얻어진 파라미터 값

함수의 종류	사과	배
Rogers	a: 0.076±0.022 Th: 0.62±0.061	a: 0.047±0.012 Th: 0.56±0.069

a: 탐색면적 (성공적인 공격률), Th: 처리기간 (한 마리의 피식자를 처리하는데 걸리는 시간), Rogers 함수: $y=N\{1-\exp[-aT/(1+aThN)]\}$, y=공격받은 피식자의 수, N: 피식자의 초기밀도 수, T: 처리기간 (24h)

a값은 배잎에서의 결과가 두 함수에서 사과잎에서의 결과보다 작았다.

이 기능반응 모델의 파라미터 값들을 이용하여 얻어진 결과를 그림 6에 나타내었다. 한(2002)과 김과 이(1993)의 결과는 긴털이리응애의 기능반응 결과이다. 사막이리응애의 포식량이 긴털이리응애 보다 많음을 알 수 있다.

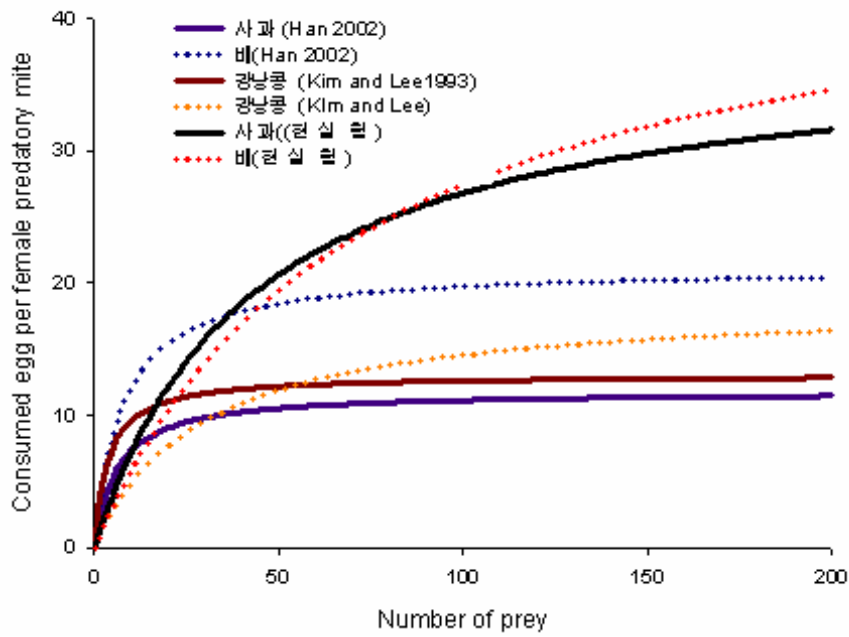


그림 6. 사막이리응애와 긴털이리응애의 기능반응결과 비교

제 2 절 점박이응애와 사막이리응애의 상호작용

1. 점박이응애의 효과적인 방제를 위한 사막이리응애 접종 위치 및 접종 밀도 선정
 가. 점박이응애의 효과적인 방제를 위한 사막이리응애의 접종 위치

(1) 재료 및 방법

재료는 ‘제 1 절-1-가’와 동일하다. 경기도 수원시 권선구 서울대학교 실험농장 내에 위치하고 있는 비닐온실(5 x 14m) 에서 실험을 실시하였다(그림 7).

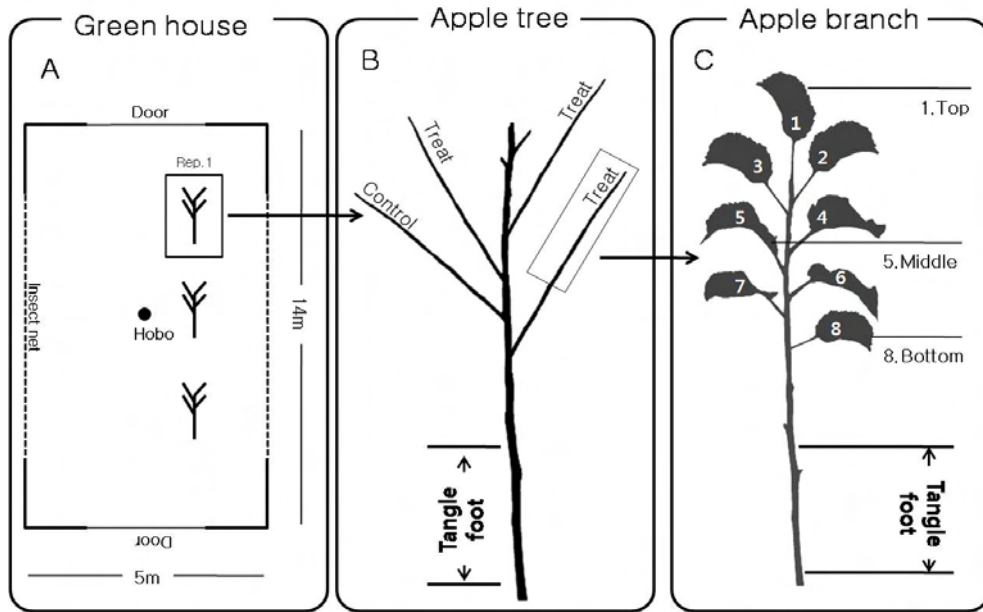


그림 7. 사과나무 가지에서 사막이리응애를 활용한 점박이응애 밀도억제력 평가 실험 방법

사과나무(후지, 3년생) 한 그루에 네 개의 가지만 남기고 나머지 가지는 제거하였다. 한 가지에 9개의 잎을 일정한 간격으로 남기고 나머지 잎은 제거하였다. 점박이응애가 자연스럽게 사과나무로 이동하기 위하여 점박이응애가 접종된 강낭콩 잎을 가지의 가장 아랫잎에 클립을 사용하여 고정하였다. 24시간 후, 강낭콩잎과 함께 클립으로 고정된 사과잎을 제거하여 8개의 잎만 남겼다. 엽당 정착한 점박이응애의 수를 확인하고 정착한 점박이응애 수의 20분의 1 비율로 사막이리응애를 접종하였다. 접종위치는 좌, 우 구분 없이 상엽에서 하엽으로 가지의 가장 윗엽을 시작으로 아랫잎까지 엽순을 정하여 점박이응애와 사막이리응애의 엽당 밀도를 조사하기 위해 1에서 8까지 번호를 부여하였다. 윗쪽(1번) 중간(5번), 아랫쪽(8번) 잎에 가는 붓을 사용하여 사막이리응애 암컷 성충을 접종하였다(그림 7). 응애의 다른 가지로의 이동을 제한하기 위하여 가지 가장 아랫부분에 탱글푯을 발라 두었다.



그림 8. 실험이 진행되었던 수원 서울대학교 실험농장 내 실험온실 외, 내부 사진

처리(상, 중, 하)와 무처리 각 3반복 하였으며, 실험 종료일은 처리구의 사막이리응애와 점박이응애 밀도가 '0'인 시점으로 정하였다. 24시간 간격으로 루페(16x)를 이용하여 엽당 점박이응애와 사막이리응애 개체수를 기록하였다. 사막이리응애와 점박이응애의 알을 제외한 모든 발육 단계를 조사하였다. 실험은 2008년 8월 5일에서 9월 2일까지 총 29일 동안 실시하였으며 전체 평균온도는 29.17℃였다 (Hobo 측정). 사막이리응애 접종 위치에 따른 점박이응애 방제효과 차이는 점박이응애의 밀도 최고치 시점이후인 10일, 20일, 29일째 되는 날의 엽당 평균 밀도 값을 PROC GLM을 통해 분석하였다. 연속적으로 관찰된 응애밀도는 profile분석(MANOVA)을 이용하여 분석하였다. 각 처리구와 대조구의 점박이응애와 사막이리응애의 평균 밀도 비교는 SAS프로그램을 이용하여 Tukey검정을 하였다.

(2) 결과

(가) 사막이리응애와 점박이응애의 밀도 변화

표 13은 사막이리응애 접종 위치에 따른 점박이응애와 사막이리응애의 엽당 평균밀도이다. 초기 밀도를 통해서 점박이응애의 접종이 성공적으로 이루어졌음을 알 수 있다. MANOVA 분석 결과, 처리간 점박이응애의 밀도는 통계적으로 유의한 차이가 있었다(표 14). 사막이리응애를 상단부에 접종한 처리구의 경우 접종후 10일에 대조구와 상당한 밀도의 유의한 차이를 보여주고 있다. 사막이리응애 접종 후 20일 이후에도 대조구와 처리구간에 점박이응애 밀도에 유의한 차이를 보여주었다. 사막이리응애의 밀도는 접종후 10일에 하단부에 접종한 것과 비교하여 상단부와 중간부위에 접종한 사막이리응애의 개체수가 많았다. 10일 이후 상단부의 사막이리응애 개체수가 빠르게 감소하였는데 이는 점박이응애 개체수의 감소에 반응하여 사막이리응애가 다른 곳으로 이동하는 것으로 사료된다. 그림 9와 10은 각 처리구와 대조구의 점박이응애와 사막이리응애의 밀도 변동을 나타낸 것이다. 모든 가지에서 9~10일 사이 엽당 밀도가 가장 높았다. 밀도가 높았던 기간에 가지 상단부위에 사막이리응애를 접종한 곳에선 점박이응애의 밀도가 엽당 40을 넘어서지 못했지만 다른 처리구와 대조구의 점박이응애 밀도는 50이상을 기록하였다. 이러한 결과에서, 사막이리응애를 가지 상단부위에 접종 하는 것이 점박이응애를 방제하는데 효과적임을 유추할 수 있다.

표 13 사막이리응애 접종 위치에 따른 점박이응애와 사막이리응애 밀도 변동 (엽당 밀도평균 ± 표준오차)

Location of <i>N. californicus</i> released	Initial density of <i>T. urticae</i>	Initial density of <i>N. californicus</i>	Initial pest/predator ratio	<i>T. urticae</i> density per leaf			<i>N. californicus</i> density per leaf		
				10days	20days	29days	10days	20days	29days
Top	22.75±4.27a	1.13±0.65a	20.2a	20.21±3.87b	0.00±0.00b	0.00±0.00b	5.54±0.96a	0.54±0.24b	0.00±0.00a
Middle	26.96±2.47a	1.33±0.78a	20.2a	41.13±7.97ab	0.08±0.06b	0.00±0.00b	4.33±0.51ab	3.33±0.92ab	0.00±0.00a
Bottom	16.42±3.27a	0.80±0.45a	20.7a	39.67±7.77ab	0.25±0.09b	0.00±0.00b	2.88±0.52b	4.54±1.20a	0.00±0.00a
Control	15.42±2.81a	-	-	54.75±9.68a	15.25±2.11a	12.17±2.70a	-	-	-

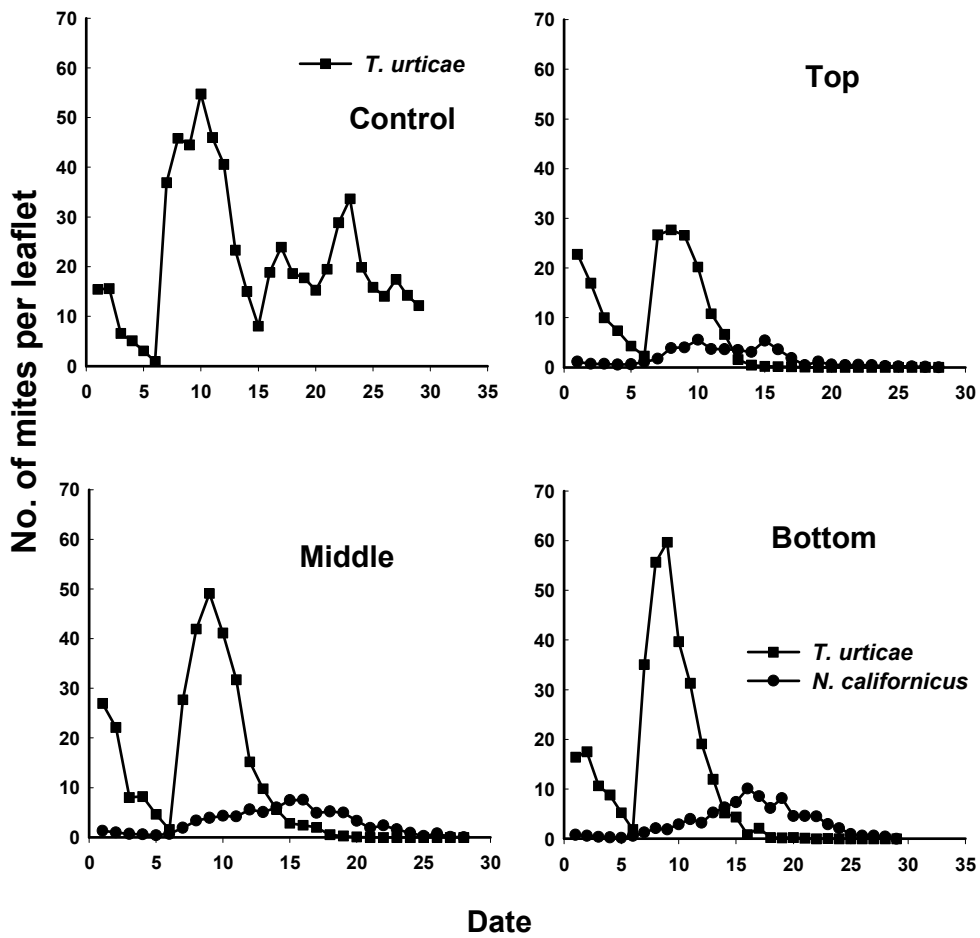


그림 9. 사막이리응애 집중위치에 따른 점박이응애와 사막이리응애의 엽당 밀도 변화

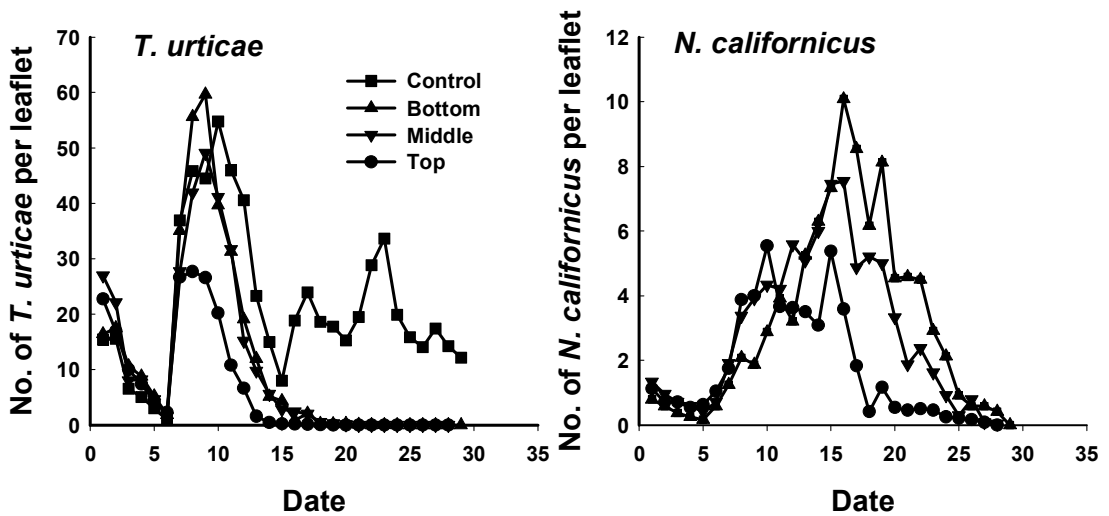


그림 10. 사과나무 가지에서 사막이리응애 집중 위치에 따른 점박이응애와 사막이리응애의 엽당 밀도변화

표 14. 점박이용애의 밀도 변화에 대한 MANOVA 분석

구분	df	MS	F	p>F
처리	3	30278.24	16.13	<0.0001
에러	90	1877.03		
시간	28	14960.21	59.27	<0.0001
시간 x 처리	84	1022.49	4.05	
에러	2520	252.41		

df: degree of freedom, MS: mean sum of square

(나) 사막이리용애와 점박이용애의 사과가지내 분포

사막이리용애와 점박이용애의 분포패턴을 Taylor's power law를 이용하여 분석하였다.

$$s^2 = am^b$$

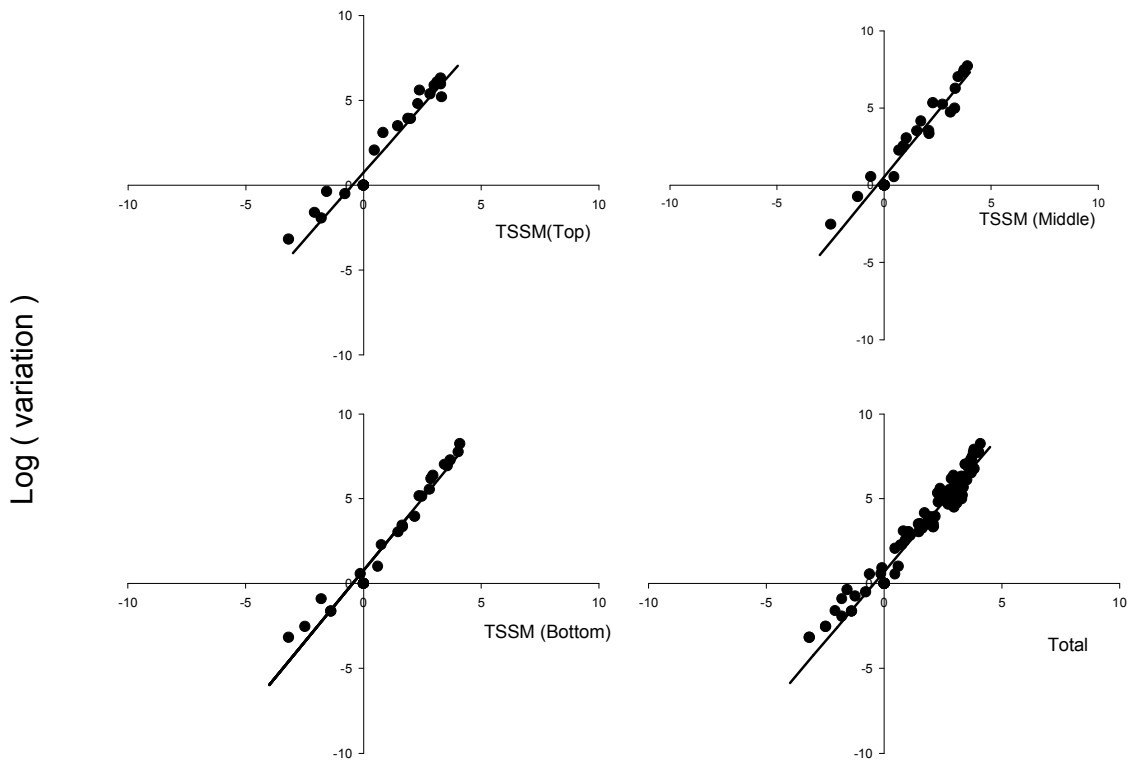
s^2 : 분산, m : 엽당 평균밀도, a : 표본크기와 관련된 비례인자, b : 종의 집중도 지수

사과가지 내에서 사막이리용애와 점박이용애 분포 양상을 확인하기 위하여 Taylor's power law와 Iwo의 mean crowding을 이용하여 분석 하였으나 mean crowding 분석법을 이용하였을 때 결정계수가 낮아 Talor's power law를 이용하여 점박이용애와 사막이리용애의 사과나무 가지 내 분포패턴을 확인하였다. 엽당 평균 밀도와 분산을 직선 회귀식을 이용, b값으로 이들의 분포패턴을 추정하였다.

$$1=b \text{ (random)}, 1>b \text{ (uniform)}, 1<b \text{ (clumped)}$$

점박이용애와, 사막이리용애의 시·공간적 분포 변화 양상은 엑셀 프로그램의 조건부 서식을 사용하여 확인하였다.

그림 11(점박이용애)과 그림 12(사막이리용애)는 Taylor's power law를 이용하여 각 처리구별 분산과 평균값을 이용하여 얻은 직선 회귀식이다. 각 처리구별 직선회기식과 결정계수는 표 15 (점박이용애)와 표 16(사막이리용애)과 같다.

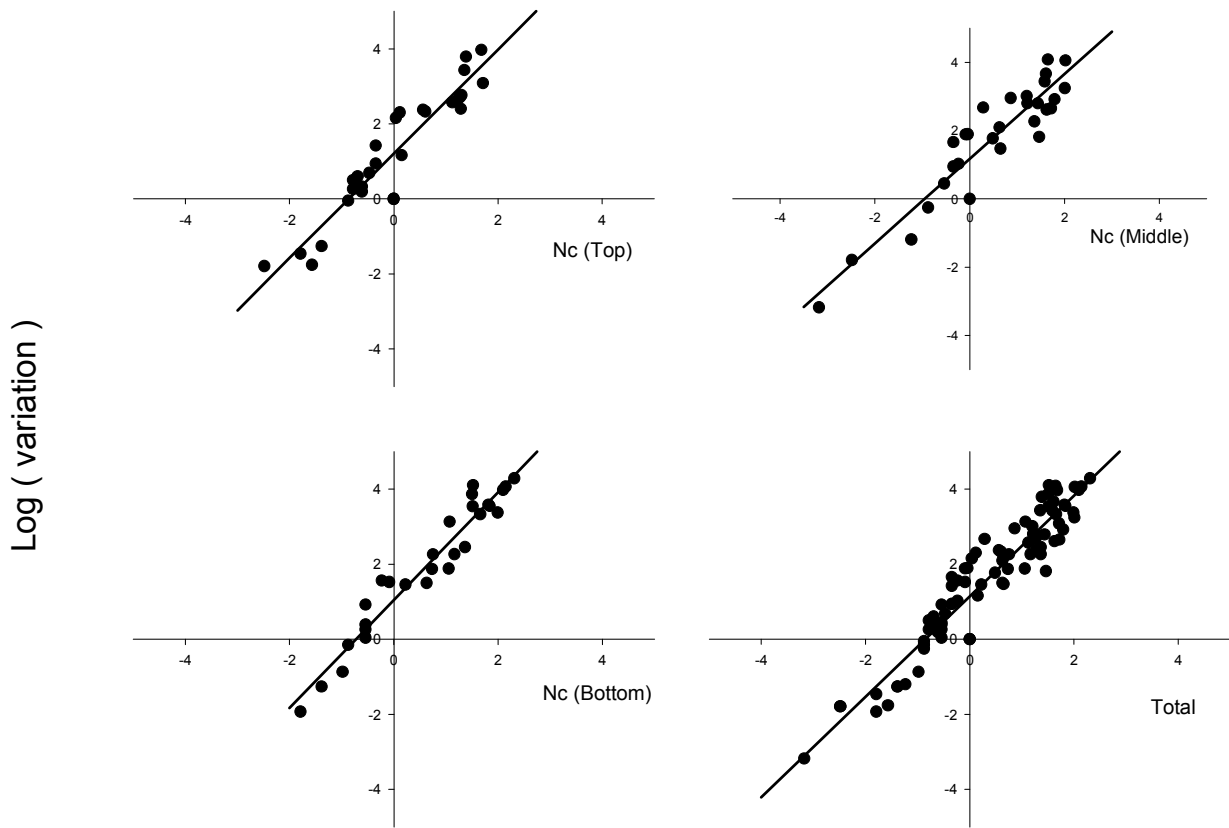


Number of TSSM per leaflet

그림 11. 사막이리응애 접종 위치에 따른 점박이응애의 엽당 평균밀도와 분산률 이용한 직선회귀식

표 15. Taylor's power law 분석법을 사용한 점박이응애 분포패턴 분석

접종된 위치	회귀식	결정계수
상단부위	$y=1.577x+0.739$	0.94
중간부위	$y=1.693x+0.548$	0.94
아래부위	$y=1.688x+0.773$	0.97
대조구	$y=1.640x+0.580$	0.91



Number of Nc per leaflet

그림 12. 사막이리응애 접종 위치에 따른 사막이리응애의 엽당 평균밀도와 분산을 이용한 회귀식

표 16. Taylor's power law 분석법을 사용한 사막이리응애 분포패턴 분석

접종된 위치	회귀식	결정계수
상단부위	$y=1.391x+1.200$	0.89
중간부위	$y=1.240x+1.174$	0.87
아래부위	$y=1.437x+1.045$	0.94

점박이응애와 사막이리응애의 분포패턴은 회귀식으로부터 'b'값이 '1'보다 크므로 집중분포를 하는 것으로 분석되었다.

사과나무 가지에서의 점박이용애와 사막이리용애의 분포양상을 엑셀프로그램을 이용한 결과는 그림 13, 14, 15, 16과 같다. 격자를 이용하여 조건부 서식에 따라 일별, 엽위치별 존재하는 사막이리용애와 점박이용애 밀도를 음영을 사용하여 표현하였다.

		Day																												
TSSM		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
L e a f N b .	1	14	13	6	2	1	2	30	2	5	30	50	30	10	3	2	10	15	15	21	28	29	42	28	26	5	4	15	22	21
	2	10	5	5	2	1	2	10	7	4	24	40	40	18	3	4	24	35	35	34	36	28	32	34	50	5	8	37	51	51
	3	6	6	1		1	1	9	1		2	3	50	21	21	15	25	25	35	34	35	28	31	20	17	38	31	39	36	51
	4	4				1		1	1	4	7	2	10	5	8	1	9	14	7	11	16	22	36	20	13	14	2	14	20	10
	5	1	9		3			4	2	4	3	7	7	10	17	6	10	10	4	28	19	29	50	34	30	30	12	15	14	5
	6	1	11		3			20	11	45	10	40	4	2	4	2	5	7	4	5	7	11	20	10	5	7	4	7	10	5
	7	14	7	2				8		30	10	10	18	7	3	7	6	4	3	6	10	12	20	21	30	5	14	9	5	4
	8	13			4			4	12			15	14	12	5	2	1	6	10	9	5	3	1	1			3	2	9	14
		0	1-10	10-20	20-30	30-50	50-100	100<																						

그림 13. 엽 위치와 시기별 점박이용애(대조구; 사막이리용애 무처리구) 분포와 밀도 변화

그림 13은 사막이리용애를 접종하지 않은 대조구에서 점박이용애의 분포 양상을 위치별, 일별로 나타낸 것이다. 전체적으로 가지 상단부(1~4번엽)에 많이 분포하는 것을 알 수 있다. 그림 14, 15, 16은 사막이리용애를 각각 상위, 중간 및 하위 엽에 접종한 사과나무 가지에서의 점박이용애와 사막이리용애의 분포와 밀도변화를 나타내고 있다. 전체 가지에서 접종 후, 3일째 되는 시점에서 사막이리용애의 이동을 확인할 수 있었는데 1번과 5번엽에 접종된 사막이리용애 암컷 성충은 상엽에서 하엽으로 8번엽에 접종된 사막이리용애 암컷 성충은 하엽에서 상엽으로 이동하면서 점박이용애를 섭식하고 산란하였다. 가지 상단부위와 중간부위에 접종된 사막이리용애는 그곳에 서식하고 있는 점박이용애를 섭식하고 아래부위로 이동하는 것을 알 수 있었다. 아래부위에 서식하고 있는 점박이용애의 밀도가 낮아지면 사막이리용애는 다시 상단부위로 이동하였다. 하단부에 사막이리용애를 접종하였을 때는 아래로 이동하였다가 다시 올라오는 과정으로 인하여 다른 처리구에 비해 점박이용애 밀도 억제능력이 떨어져 보이는데 이 결과를 뒷받침할 수 있는 부가적인 실험이 필요하다. 아래부위에 머물고 있던 사막이리용애는 점박이용애를 따라 상단부로 이동하였다. 사막이리용애 암컷 성충은 점박이용애 개체수가 소멸되면 다른 가지나 지면으로 이동하는 것으로 사료된다. 가지 상단에 사막이리용애를 접종하는 것이 점박이용애 방제에 보다 효과적인 것으로 분석되었다.

Top

		Day																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29							
L e a f N b .	1	12	7	4	5	6	6	11	19	31	14	2	4	12	5	29	13	7	2	3	2	2	6	6	2	1	1	2									
	2				1			2	9	9	13	11	10	8	5	15	10	7		4	4		3		1		2										
	3			1				2	5	9	12	17	13	5	10	13	13	12	4	7	4	5		2		1											
	4							1	1	6	6	3	2	4	11	6	3	2	2		2				1												
	5			1	1				4	2	5	4	9	15	15	18	8	2		2		1		1	1	1	1										
	6								1	6	5	3	8	1		4										1											
	7			1					2	1	8	6	3	5	1	3																					
	8								1	5	3	7	3	7		1									1												
		0	1-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30+	Nc total (except egg)																												

		Day																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29							
L e a f N b .	1	12	7	4	5	6	6		3	4			4	11			6																				
	2				1			2	1	2	3	5	2	1			3																				
	3			1				1	1	1	4	17	13	4	3		10	3																			
	4							1	1	5	5	3				5																					
	5			1	1				1	5	4	8	2	1		2																					
	6									6	5	3	5																								
	7			1					1	8	2																										
	8									5	3	5	2																								
		0	1-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30+	Nc Adult female (except egg)																												

		Day																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29							
L e a f N b .	1	69	64	10	10	14	5	53	30	17	10	6	16	12	2																						
	2	19	19	39	25	20	8	90	24	10	32	33	14	5			1																				
	3	77	42	43	28	11	1	40	30	20	29	80	23	5	2	4	1	1																			
	4	17	20		19	8	4	35	50	100	80	16	19	3																							
	5	31	5	4	4	3	1	26	27	30	22	13	18	1	2																						
	6	10	5	2	3	6		17	50	40	60	6	4	1																							
	7	13	42	2	9	2	1	36	30	25	25	11	2	1	1	1		1																			
	8	7	11	2	11		1	5	30	10	36	10	16	4																							
		0	1-10	10-20	20-30	30-50	50-100	100+	TSSM total (except egg)																												

		Day																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
L	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	1	1	3	1		1	1		1		1		1			
	3	2	2	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1		1		1				
	4	2	2		2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1		1			1					
	5	2	2	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1		1		1		1	1	1	1			
	6	2	2	2	2	2		2	2	3	3	3	3	3	1		1									1				
	7	2	2	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	1	3													
	8	2	2	2	2		2	2	2	3	3	3	3	3	1		1								1					
		No Mite	Only Nc	only TSSM	Coexst. TSSM total + Nc total (except egg)																									
			1	2	3																									

그림 14. 가지 상위 엽에 사막이리응애를 접종한 가지에서의 점박이응애와 사막이리응애의 밀도 변동과 분포패턴의 변화

Middle

		Day																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29							
L e a f	1							3	2	4	8	5	10	10	8	7	13	10	6	6	6	4	4	2				2									
	2									1	6	12	7	7	12	7	6	6	6	4	2	2	6	2	4			2									
	3							2		2	3	3	1	2	4	15	16	6	3	2	3	1	2	1	2												
	4							2	11	7	3	1	7	5	3	8	3	3	9	5	2	1	1	1													
N b	5	12	1	1	1		3	2	5	5	2	3	7	9	6	8	6	4	6	9	5	2		2													
	6		7	1		1		3	4	6	4	8	7	1	7	7	7	1	1	3	2																
	7			4	3				1	1	5		3	1	1	4	1			1																	
	8							3	4	4	4		2	5	1	4																					
		0	1-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30+	Nc total (except egg)																												

		Day																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29							
L e a f	1								1	4	8	5	1	1			7	1																			
	2									1	6	12	4	5			4	2																			
	3							2		1	3	3	1	1	2	3	8	3	2																		
	4							1	4	5	3	1	5	4	1	4	2	2	2	1																	
N b	5	12	1		1		1		2	2	1	5	8	1	1	1	4																				
	6		7			1			1	4	8	3	1	2	1																						
	7			3					1	4		1																									
	8								2	4		2	2																								
		0	1-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30+	Nc Adult female (except egg)																												

		Day																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29							
L e a f	1	18	22	10	9	5	2	69	49	70	56	47	14	7	2	2	4	2																			
	2	25	22	12	17	11	1	48	94	115	98	81	22	7	5	3	1	1																			
	3	35	36	11	12	7	2	35	77	70	49	38	22	21	8		3	4	1	1																	
	4	33	27	9	7	4	1	12	35	22	12	13	15	15	10	6	3	2	1																		
N b	5	44	29	11	10	3	3	22	21	43	43	20	14	5	4	4	3	2																			
	6	35	14	7	8		1	9	15	15	34	35	10	6	3	1																					
	7	25	26	2	3	4	1	14	15	19	33	4	1	1	1																						
	8	23	19	4	4	2		28	21	35	14	5	8																								
		0	1-10	10-20	20-30	30-50	50-100	100+	TSSM total (except egg)																												

		Day																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
L e a f	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1				1		
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1			1		
	3	2	2	2	2	2	2	3	2	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	1	1	1	1	1					
	4	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1					
N b	5	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1		1						
	6	2	3	3	2	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1									
	7	2	2	3	3	2	2	2	3	3	3	2	3	3	3	1	1			1										
	8	2	2	2	2	2		3	3	3	3	2	3	1	1	1														
		No Mite	Only Nc	only TSSM	Coexst. TSSM total + Nc total (except egg)																									
			1	2	3																									

그림 15. 가지 중위 엽에 사막이리응애를 접종한 가지에서의 점박이응애와 사막이리응애의 밀도 변동과 분포패턴의 변화

Bottom

		Day																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29							
L e a f N b ·	1					1		4		3	3	10	1	11	11	8	11	16	20	12	12	6	12	13	9	7		1	1								
	2						2		4	3	2	1	2	13	4	3	10	2		1	2		1	4				1									
	3			2				2	5	8	2	3	1	4	11	7	11	4	10	6	6	2	1	3	1			2		1							
	4								4	6	9	5	4	13	10	9	12	3		7	4																
	5			1	1					4	5	9	10	14	21	27	9	14	16	12	12	8	6	5	2			2									
	6				2							2	5	7	6	4	5	4		4	2					4											
	7			2					2	3	6	1	7	12	3	6	2	6	10	7	5	2	1														
	8	6	4								1	4	5	5	2	2	6	3	4											1							
		0	1-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30+	Nc total (except egg)																												

		Day																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29							
L e a f N b ·	1					1				1	2	1		7	1	2			3					1													
	2						2		3		2			1																							
	3			2				2				2		3						1																	
	4								1	2	8	3	3		1		3																				
	5			1	1				4		8	6	12	7	2				4																		
	6				2								3	4	2																						
	7			2					3	5		1	9	1	4	2																					
	8	6	4									3	4	2																							
		0	1-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30+	Nc Adult female (except egg)																												

		Day																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29							
L e a f N b ·	1		4	3	3	1	3	19	13	25	5	5	6	3	1	2	1					1															
	2	4	4	6	4	2		76	80		19	16	4	8		2	1																				
	3	24	25	9	2	1	3	37	60	40	8	9	7	7	2				1																		
	4	26	38	28	5	17	2	40	60	140	40	20	7	10	3		3	1			1			1													
	5	33	24	26	15	9	2	40	40	20	22	13	6	5	1	1	1	1		1	1	1															
	6	17	10	1	14	2		9	3		8	6	3	2	1		1		1																		
	7	6	4		4	3	2	5	4	1	20	8	1	2	4	5																					
	8	11	2	1	2		2	25	17	7	14	20	4	6	3	2		1																			
		0	1-10	10-20	20-30	30-50	50-100	100+	TSSM total (except egg)																												

		Day																															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			
L e a f N b ·	1		2	2	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1				
	2	2	2	2	2	2	1	2	3	1	3	3	3	3	1	3	3	1		1	1		1	1				1					
	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1			1		1			
	4	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3		1	3			2								
	5	2	2	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	1	1			1					
	6	2	2	2	3	2		3	2		3	3	3	3	3	3	1	3		3	1					1							
	7	2	2	1	2	2		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1										
	8	3	3	2	2		3	2	2		3	3	3	3	3	3	3	1	3							1							
		No Mite	Only Nc	only TSSM	Coexst. TSSM total + Nc total (except egg)																												
			1	2	3																												

그림 16. 가지 하위 엽에 사막이리응애를 접종한 가지에서의 점박이응애와 사막이리응애의 밀도 변동과 분포패턴의 변화

그림 17은 1~4번엽을 가지상단 즉 바깥쪽, 주가지에서 떨어진 부분, 5~8번엽을 가지하단으로 정하고 일별 점박이용애와 사막이리용애의 분포 비율을 나타낸 것이다. 점박이용애와 사막이리용애의 분포 비율은 시간이 지날수록 가지 상단에서 분포 비율이 높았고 점박이용애와 사막이리용애는 가지 안쪽보다는 바깥쪽에 더 많이 분포하는 경향을 보이고 있다(그림 18).

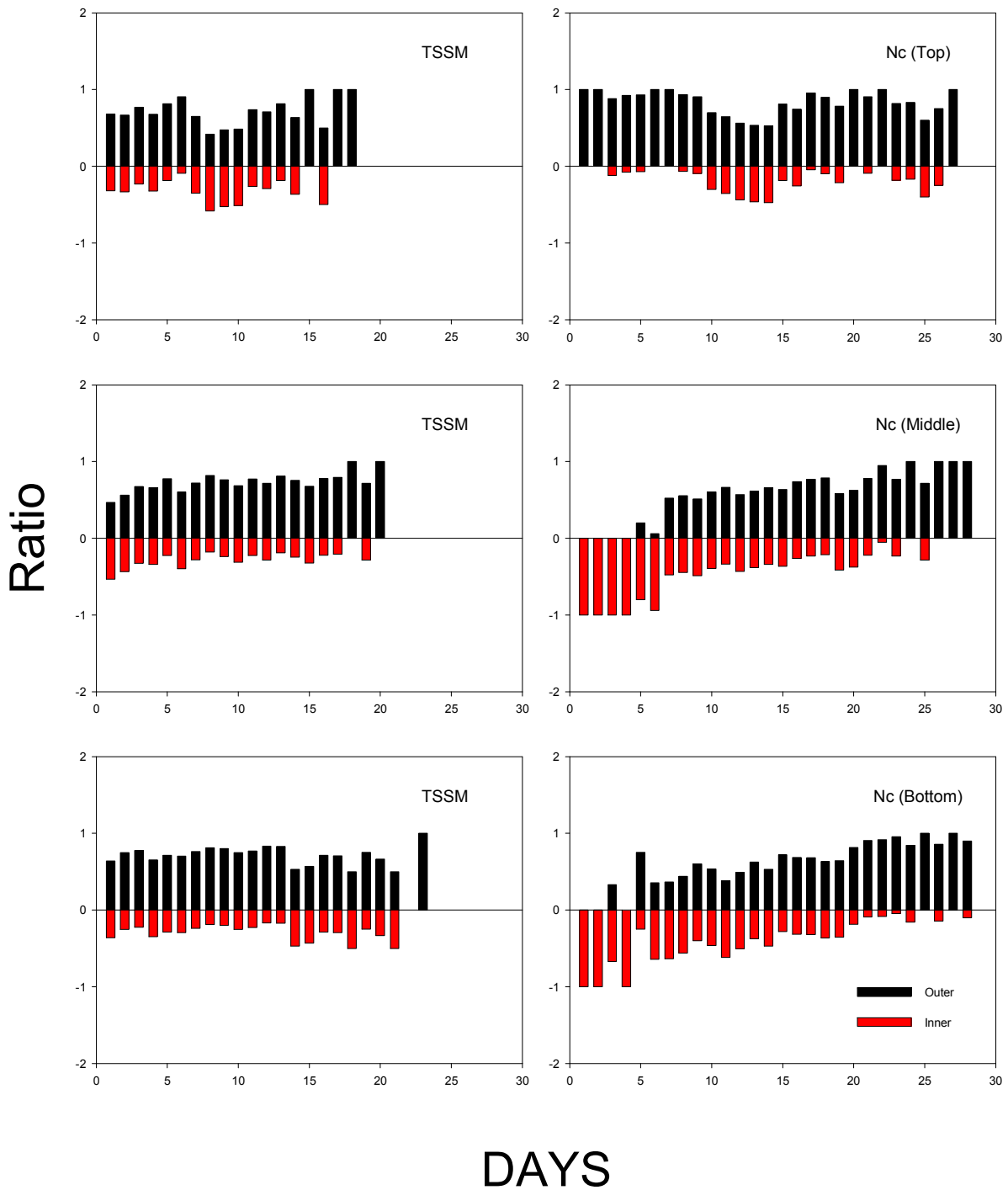


그림 17. 사막이리용애 접종 위치에 따른 점박이용애와 사막이리용애 밀도 및 분포 변화

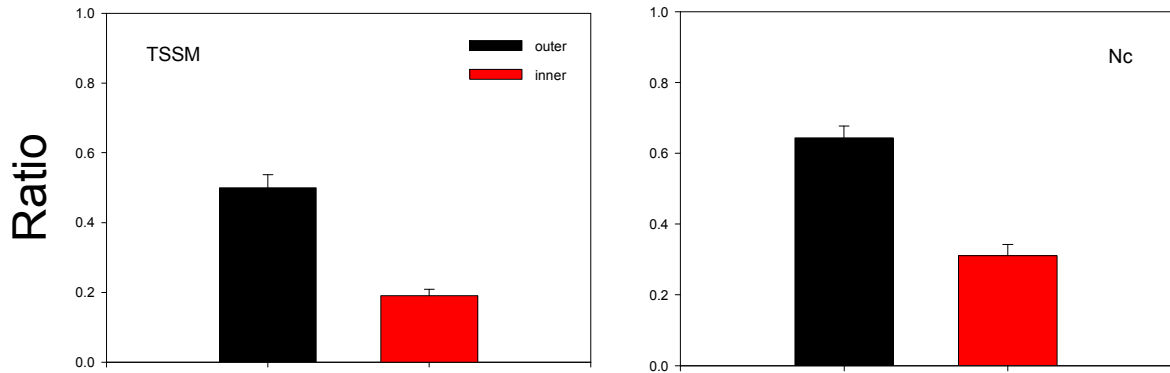


그림 18. 전체시기 점박이용애(왼쪽)와 사막이리용애(오른쪽)의 가지 안쪽과 바깥쪽에 대한 분포 비율

나. 점박이용애의 효과적인 방제를 위한 사막이리용애 접종 밀도 선정

(1) 재료 및 방법

재료는 ‘제 1 절-1-가’와 동일하다. 경기도 수원시 권선구 서울대학교 실험농장 내에 위치하고 있는 비닐온실(5m x 14m)에서 실험을 실시하였다 (그림7과 8). 점박이용애에 대한 사막이리용애의 비율은 2:1, 5:1, 10:1 (점박이용애:사막이리용애)으로 하였다. 점박이용애가 서식하고 있는 강낭콩잎을 클립을 이용하여 사과잎에 고정시키므로써 자연스럽게 점박이용애가 사과잎에 정착하도록 하였다. 사과잎에 정착한 점박이용애의 수를 기준으로 위에 언급한 3가지 비율로 사막이리용애 암컷 성충을 붓을 이용하여 접종하였다. 알을 제외한 점박이용애와 사막이리용애의 모든 발육단계를 매일 조사하여 기록하였다.

(2) 결과

점박이용애의 개체군 밀도는 상대적으로 사막이리용애 밀도비율이 높았던 처리구에서 빠르게 감소하였다 (그림 19).

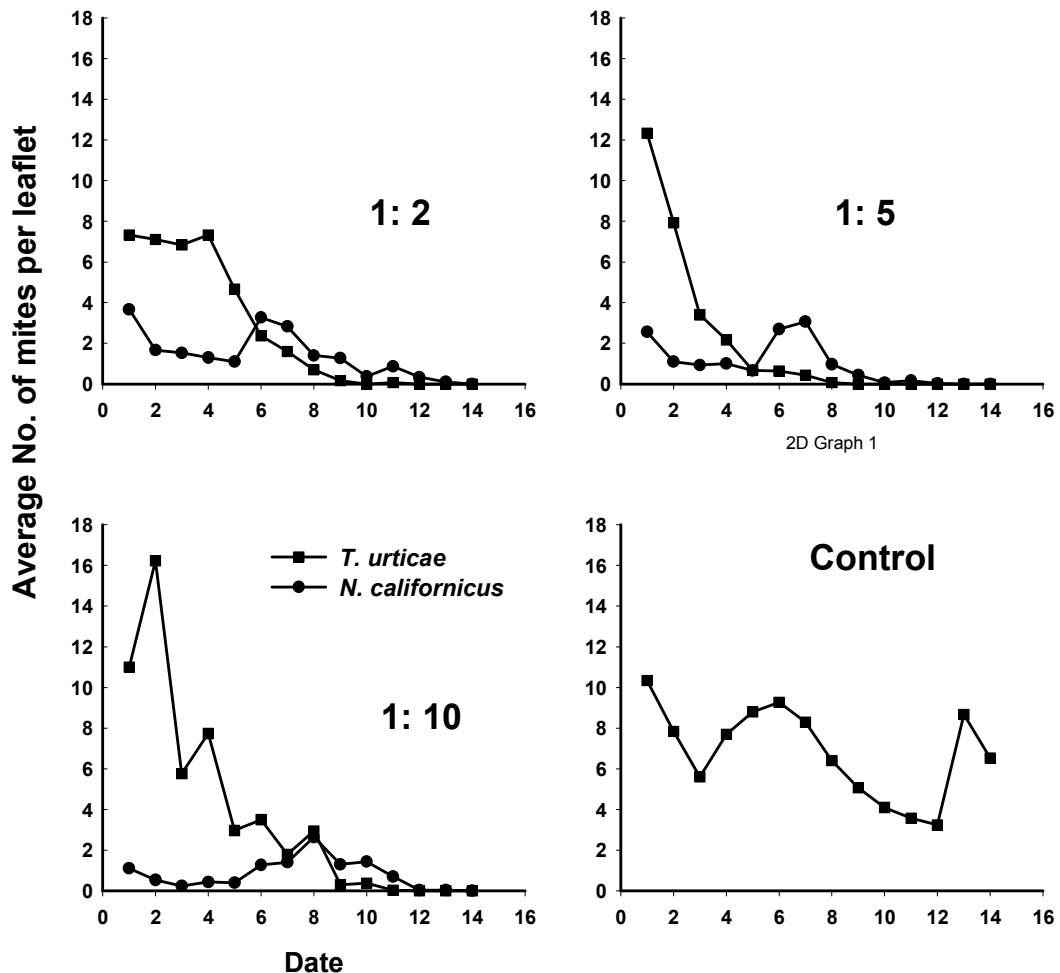


그림 19. 접종비율에 따른 점박이응애와 사막이리응애의 엽당 밀도 변화

2. 사막이리응애와 긴털이리응애의 상호작용

가. 재료 및 방법

재료는 '제 1 절-1-가'와 동일하다. 본 실험에 앞서 긴털이리응애와 사막이리응애의 중간 알 섭식실험을 실시하였다. 사막이리응애와 긴털이리응애의 암컷과 수컷 성충 10마리를 각 한 마리씩 지름 2.5cm 강낭콩 잎디스크에 옮겨 24시간동안 굶기고 긴털이리응애에게 사막이리응애 알 5개를, 사막이리응애에게 긴털이리응애 알 5개를 가는 붓을 사용 공급하였다. 24시간 후, 남아 있는 알을 통하여 섭식 여부를 확인하였으며, 평균 사막이리응애의 수컷과 암컷이 각 0.5개와 2.1개, 긴털이리응애 수컷과 암컷이 2개와 2개를 섭식하였다. 두 종 모두 다른 포식성응애의 알을 섭식함을 확인하였다. 본 실험은 항온기내 (25°C, 16:8(L:D)h 광주기)에서 페트리디시(지름 x 높이 9.2 x 4.2cm)를 이용하여 실시하였다(그림 20과 21).

사막이리응애와 긴털이리응애의 제 2 약충을 50 마리씩 점박이응애가 접종된 잎 디스크에 옮겨 25°C에서 5일 동안 성충으로 발육시킨 뒤 암컷과 수컷 성충이 자연스럽게 교미가 이루어지

게 하였다. 실험은 교미가 이루어진 암컷성충을 이용하였다. 처리구 3, 무처리구 1가지의 방법으로 각 5반복 진행 하였다.

1. 사막이리응애 (4) +점박이응애 (20)
2. 긴털이리응애 (4) +점박이응애 (20)
3. 긴털이리응애 (2) +사막이리응애 (2) + 점박이응애 (20)
4. 점박이응애 (20)

* 괄호안 숫자는 접종된 암컷 성충 수이다.

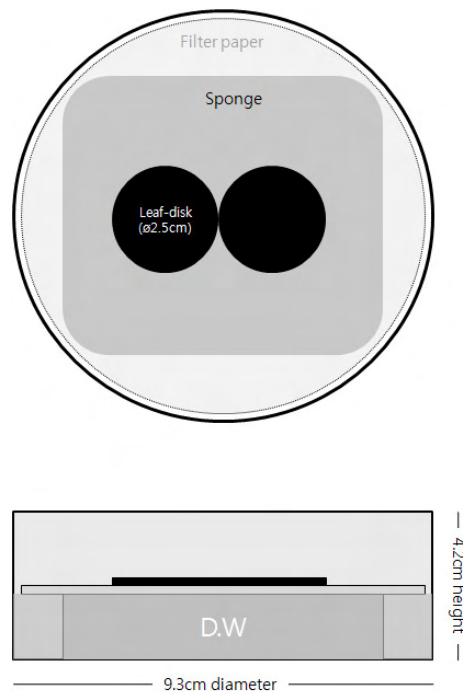


그림 20. 사막이리응애와 긴털이리응애의 상호작용을 알아보기 위한 실험 세트

사막이리응애와 긴털이리응애는 오른쪽 잎 디스크에 점박이응애는 왼쪽 잎 디스크에 접종 하고 24시간 간격으로 해부현미경을 이용하여 점박이응애와 각 포식성응애의 모든 발육단계를 조사하였다. 실험기간동안 증류수 보충 외에 추가의 먹이공급이나 잎 디스크 교환은 없었다. 실험에 있어 2개의 잎 디스크를 사용한 이유는 포식이리응애의 출현으로 점박이응애가 다른 잎 디스크로 이동, 회피하는지와 긴털이리응애와 사막이리응애의 공존도를 조사하기 위함이었다. 실험은 약 14일 동안 실시하였으며 무처리구를 제외한 실험구에서 사막이리응애, 긴털이리응애, 점박이응애의 알을 포함한 개체수가 '0'을 기록하는 시점에서 실험을 종료 하였다. 포식성응애 처리구와 대조구간의 점박이응애와 포식성응애의 평균 개체수는 Tukey's test를 통해 통계적 유의성을 검증하였다.

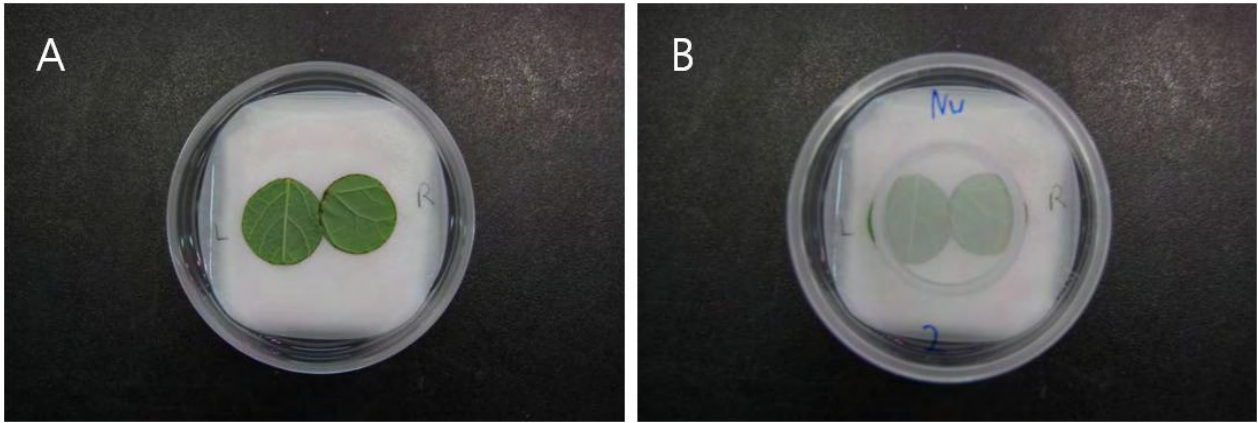


그림 21. 상호작용 실험이 진행된 페트리디시(A:내부, B:외부) 사진

나.결과

각 처리구와 대조구의 점박이응애 엽당 밀도를 알, 유충, 성충 암컷, 성충 수컷으로 나누어 그림 22에 나타냈다. 포식이리응애 접종 후, 7일 이후에 대조구를 제외한 모든 처리구에서 점박이응애 밀도가 '0'이었으며 처리간 점박이응애 개체수의 통계적 차이를 분석하기 위해 3, 5, 7, 9일의 엽당 평균 개체수를 이용하였다(표 17). 점박이응애 알의 밀도는 포식이리응애를 접종한 후 3일까지는 대조구와 처리구간에 통계적인 유의차가 없었다. 사막이리응애를 단독으로 접종한 것과 사막이리응애와 긴털이리응애를 함께 접종한 실험 디스크의 점박이응애 개체수가 긴털이리응애만을 접종한 실험 디스크보다 적은 것으로 보아 사막이리응애의 점박이응애 포식력이 긴털이리응애 보다 우수한 것으로 보인다. 대조구의 경우 점박이응애가 정상적인 발육을 통해 성충이 출현하는 반면 포식이리응애 처리구의 경우 점박이응애의 모든 발육단계가 사막이리응애와 긴털이리응애에게 포식되는 관계로 개체군을 유지할 수 없었다. 사막이리응애의 경우 점박이응애의 특정 발육단계를 선호하는 경향을 보이지 않는다는 보고가 있다(Blackwood 등 2001).

표 17. 처리구와 대조구의 점박이용애 엽당 평균 밀도에 대한 차이 분석

Stage		the day after phytoseiidae released				
		Initial	3th	5th	7th	9th
Egg	Control	-	203.5±56.90a	83.6±20.45a	27.7±13.57a	-
	Nc	-	75.0±22.85a	26.3±15.11b	2.1±2.10a	-
	Nw	-	112.0±37.23a	38.4±10.36ab	0.0±0.00a	-
	Nc+Nw	-	72.9±28.80a	15.8±7.92b	0.38±0.38a	-
Immature	Control	-	1.1±0.55a	66.4±20.77a	130.1±30.12a	79.6±17.56a
	Nc	-	0.1±0.10a	4.4±2.29b	0.0±0.00b	0.0±0.00b
	Nw	-	0.2±0.20a	17.2±7.27b	1.0±0.73b	0.0±0.00b
	Nc+Nw	-	0.13±0.13a	4.5±4.50b	0.13±0.13b	0.0±0.00b
Male	Control	-	-	0.0±0.00a	-	1.0±0.67a
	Nc	-	-	0.0±0.00a	-	0.0±0.00a
	Nw	-	-	0.1±0.10a	-	0.0±0.00a
	Nc+Nw	-	-	0.0±0.00a	-	0.0±0.00a
Female	Control	20	6.6±1.80a	3.8±1.17a	0.9±0.46a	-
	Nc	20	5.2±1.11a	2.5±0.96a	0.0±0.00a	-
	Nw	20	7.0±1.96a	3.6±0.93a	0.1±0.10a	-
	Nc+Nw	20	5.6±1.27a	5.6±1.27a	0.0±0.00a	-

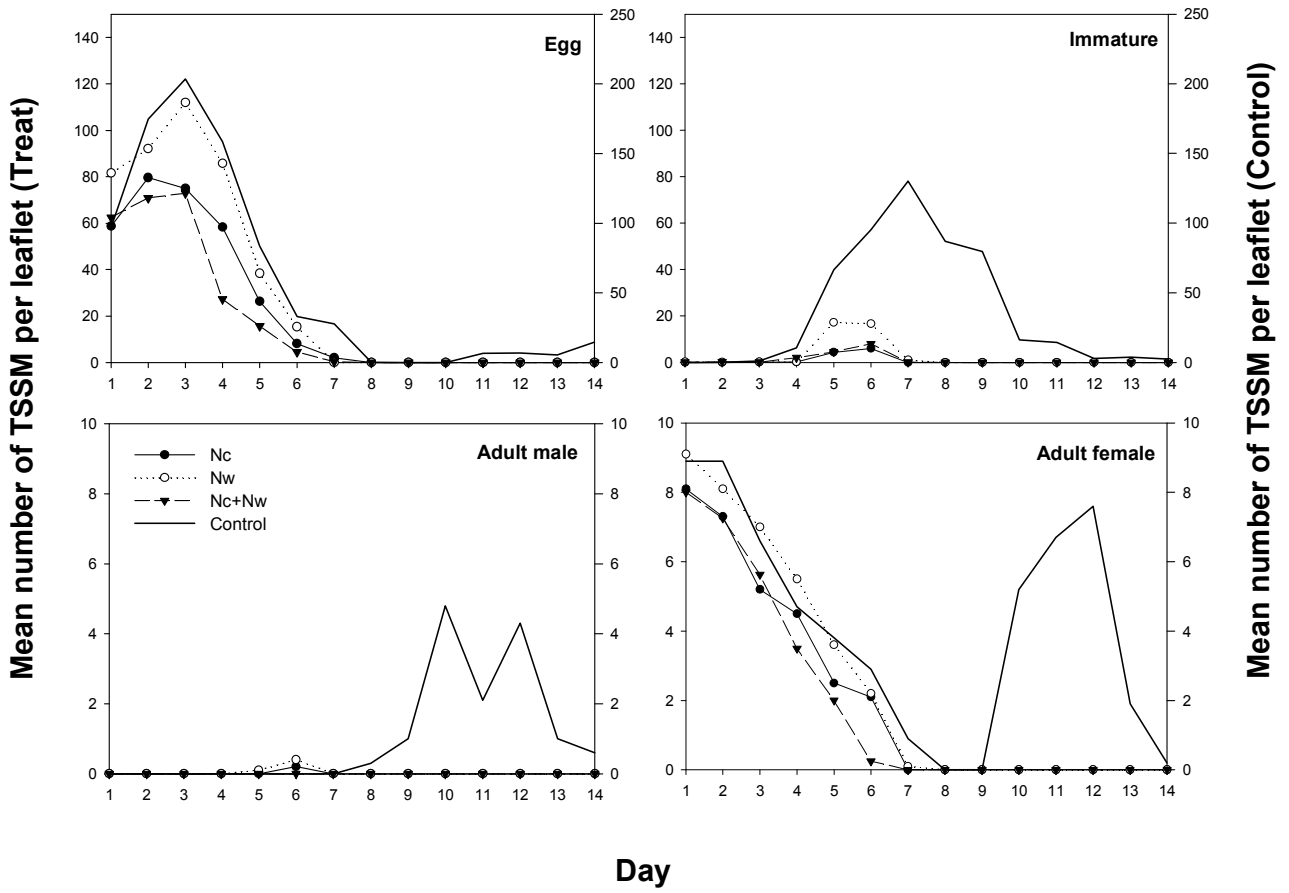


그림 22. 포식성어리응애 처리와 무처리에 따른 점박이응애의 각 발육단계별 엽당 평균 밀도의 변화

사막이리응애와 긴털이리응애 구분없이 처리구(사막이리응애, 긴털이리응애, 사막이리응애 + 긴털이리응애) 별로 포식성이리응애 각 발육 단계의 엽당 밀도를 그림 23에 나타내었다. 점박이응애 개체수가 '0'을 기록하였던 7~8일 이후, 사막이리응애와 긴털이리응애는 잎 디스크를 이탈하여 익사하였거나 동종포식, 다른 포식성응애 포식(intraguild predation) 등으로 개체수를 유지하였다. 처리구별 포식성응애의 발육단계별 엽당 평균 밀도에 대한 통계적 유의성은 없었다(표 18).

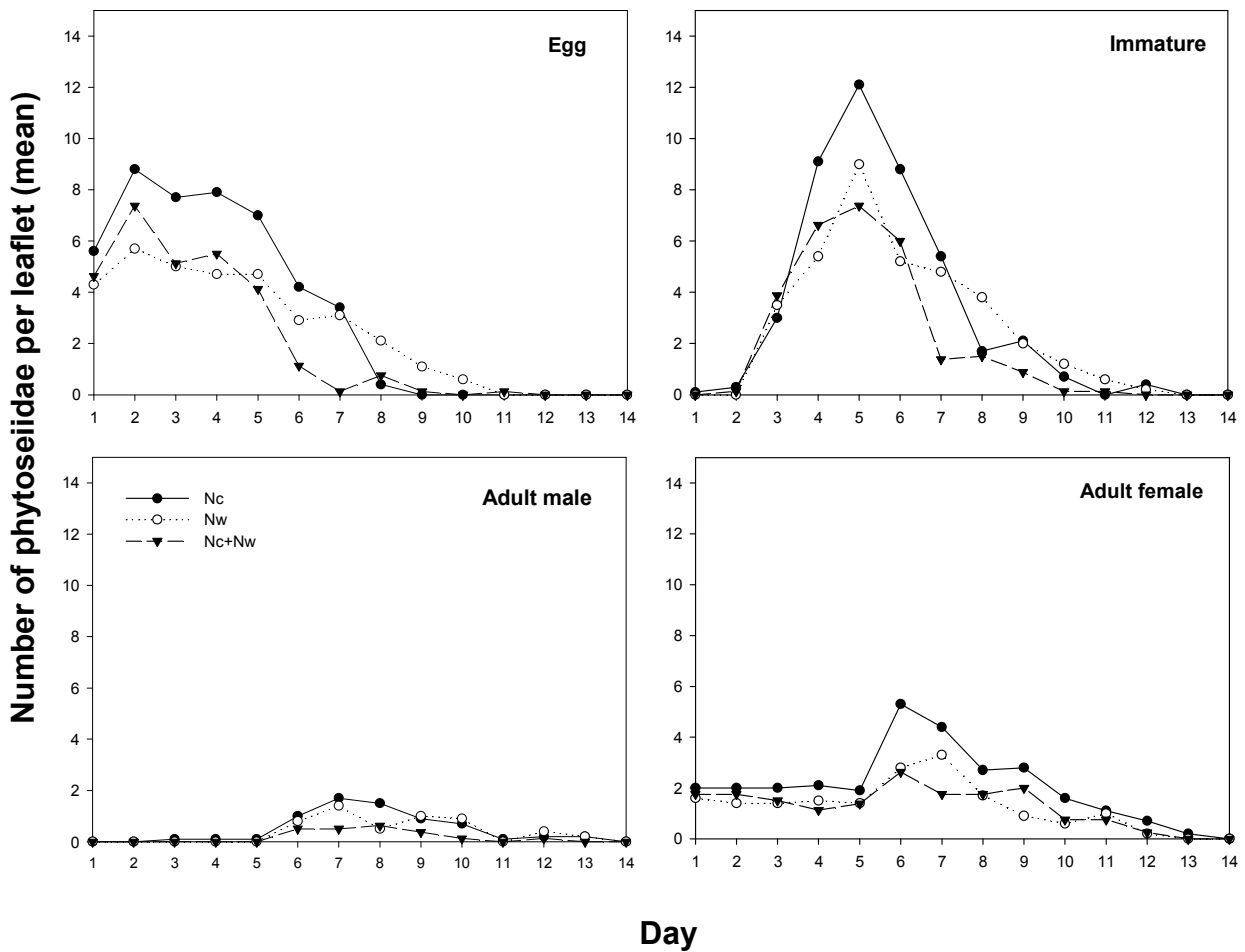


그림 23. 포식성이리응애 처리에 따른 포식성이리응애 각 단계별 엽당 평균밀도

표 18. 처리구간 포식성응애의 엽당 평균 밀도에 대한 차이 분석

Stage		the day after phytoseiidae released				
		Initial	3th	5th	7th	9th
Egg	Nc	-	7.7±2.59a	7.0±1.87a	3.4±1.22a	0.0±0.00a
	Nw	-	5.0±1.90a	4.7±1.68a	3.1±1.39a	1.1±0.60a
	Nc+Nw	-	5.1±2.16a	4.1±1.99a	0.1±0.13a	0.1±0.13a
Immature	Nc	-	3.0±1.04a	12.1±3.06a	5.4±1.29a	2.1±0.89a
	Nw	-	3.5±1.48a	9.0±3.3a	4.8±1.46a	2.0±0.75a
	Nc+Nw	-	3.9±1.51a	7.4±2.35a	1.4±0.65a	0.9±0.40a
Male	Nc	-	0.1±0.10a	0.1±0.10a	1.7±0.47a	0.9±0.28a
	Nw	-	0.0±0.00a	0.0±0.00a	1.4±0.52a	1.0±0.39a
	Nc+Nw	-	0.0±0.00a	0.0±0.00a	0.5±0.27a	0.1±0.13a
Female	Nc	4	2.0±0.56a	1.9±0.46a	4.4±0.78a	2.8±0.47a
	Nw	4	1.4±0.50a	1.4±0.43a	3.3±1.01a	1.1±0.31a
	Nc+Nw	4	1.5±0.57a	1.4±0.53a	1.8±0.56a	2.0±0.68a

사막이리응애와 긴털이리응애의 동종포식은 보고된 바 있으며 (Schausberger 2003) 본 실험을 통해서도 관찰되었다 (그림 24).

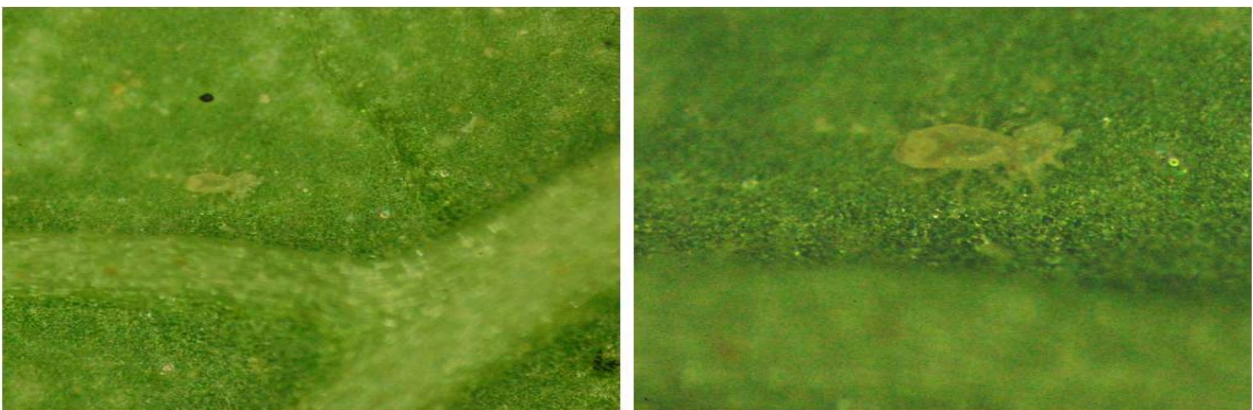


그림 24. 사막이리응애의 동종포식장면

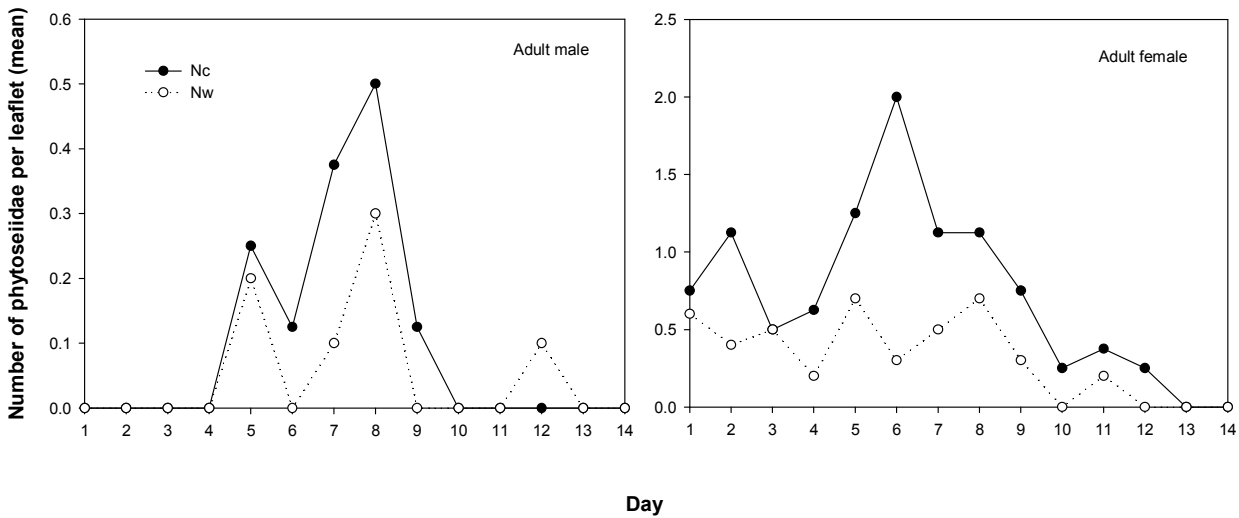


그림 25. 사막이리응애와 긴털이리응애를 같이 접종한 잎 디스크에서 포식성이리응애의 평균밀도 변화

그림 25는 사막이리응애와 긴털이리응애 암컷을 같이 2마리씩 접종한 잎 디스크에서의 암수 성충의 엽당 평균 밀도 변화를 나타내고 있다. 전체적으로 사막이리응애 성충의 밀도가 높게 유지되는 것 같으나 표 19와 같이 통계적 유의성은 관찰 7일째 사막이리응애 암컷 성충의 밀도가 긴털이리응애 암컷 성충 밀도보다 높게 나타나고 그 이전 및 이후에는 유의성이 없었다. 이러한 결과는 먹이가 없어 사막이리응애가 긴털이리응애를 포식했을 가능성과, 긴털이리응애가 먹이 탐색을 위해 잎 디스크를 이탈한 것으로 보인다.

표 19 . 사막이리응애와 긴털이리응애를 같이 접종한 잎 디스크에서의 포식성이리응애 평균 밀도 변화

Stage		the day after phytoseiidae released				
		Initial	3th	5th	7th	9th
Male	Nc	-	-	-	0.4±0.18a	0.3±0.16a
	Nw	-	-	-	0.1±0.13a	0.1±0.13a
Female	Nc	2	0.9±0.35a	0.9±0.35a	1.6±0.56a	1.3±0.41a
	Nw	2	0.6±0.26a	0.5±0.19a	0.1±0.13b	0.8±0.49a

3. 사막이리응애와 점박이응애의 개체군 동태 모형

사막이리응애와 점박이응애의 개체군 동태 모형은 아래와 같은 수식을 이용하여 분석하였다. 수식에 이용된 사막이리응애와 점박이응애 개체수는 접종 위치별 및 접종 밀도별 실험 결과를 이용하였다.

$$R_N = a + bN_t + cP_t$$

$$R_P = d + eN_t + fP_t$$

$$R_N = \ln(N_{t+1}) - \ln(N_t)$$

$$R_P = \ln(P_{t+1}) - \ln(P_t)$$

N: 피식자(점박이응애), P: 포식자(사막이리응애), a, b, c, d, e, f는 파라미터이다. t: 조사시기 위의 식은 Berryman(1999)에 의해서 제시된 것이다(함수 1: R- function).

$$N_{t+1} = N_t + rN_t (1 - N_t / K) - gN_tP_t$$

$$P_{t+1} = hN_tP_t + (1 - m)P_t$$

N: 피식자(점박이응애), P: 포식자(사막이리응애), r: 내적 자연증가율, K: 환경수용력(carrying capacity), g: 포식자에 의한 피식자의 사망률, h: 피식자를 섭식함으로써 생기는 포식자의 증가율, m: 포식자의 사망률

위의 식은 Neubert와 Kot(1992)에 의해 제시되었다(함수 2: N&E function).

본 연구에서는 Holling의 기능반응식을 Neubert와 Kot(1992)가 제시한 함수에 첨부하였다.

$$N_{t+1} = N_t + rN_t (1 - N_t / K) - sN_tP_t / (1 + uN_t)$$

$$P_{t+1} = vN_tP_t / (1 + xN_t) + (1 - m)P_t$$

N: 피식자(점박이응애), P: 포식자(사막이리응애), r: 내적 자연증가율, K: 환경수용력(carrying capacity), s, u, v, x, m은 함수의 파라미터이다(함수 3: functional response function).

가. 사막이리응애 접종위치에 따른 두 종의 개체군 변화

위의 세가지 함수를 통해 얻어진 파라미터값들을 표 20에 제시하였으며 이 모델들을 이용한 시뮬레이션한 결과는 그림 26(점박이응애), 27(사막이리응애)과 같다.

(1) 점박이용애

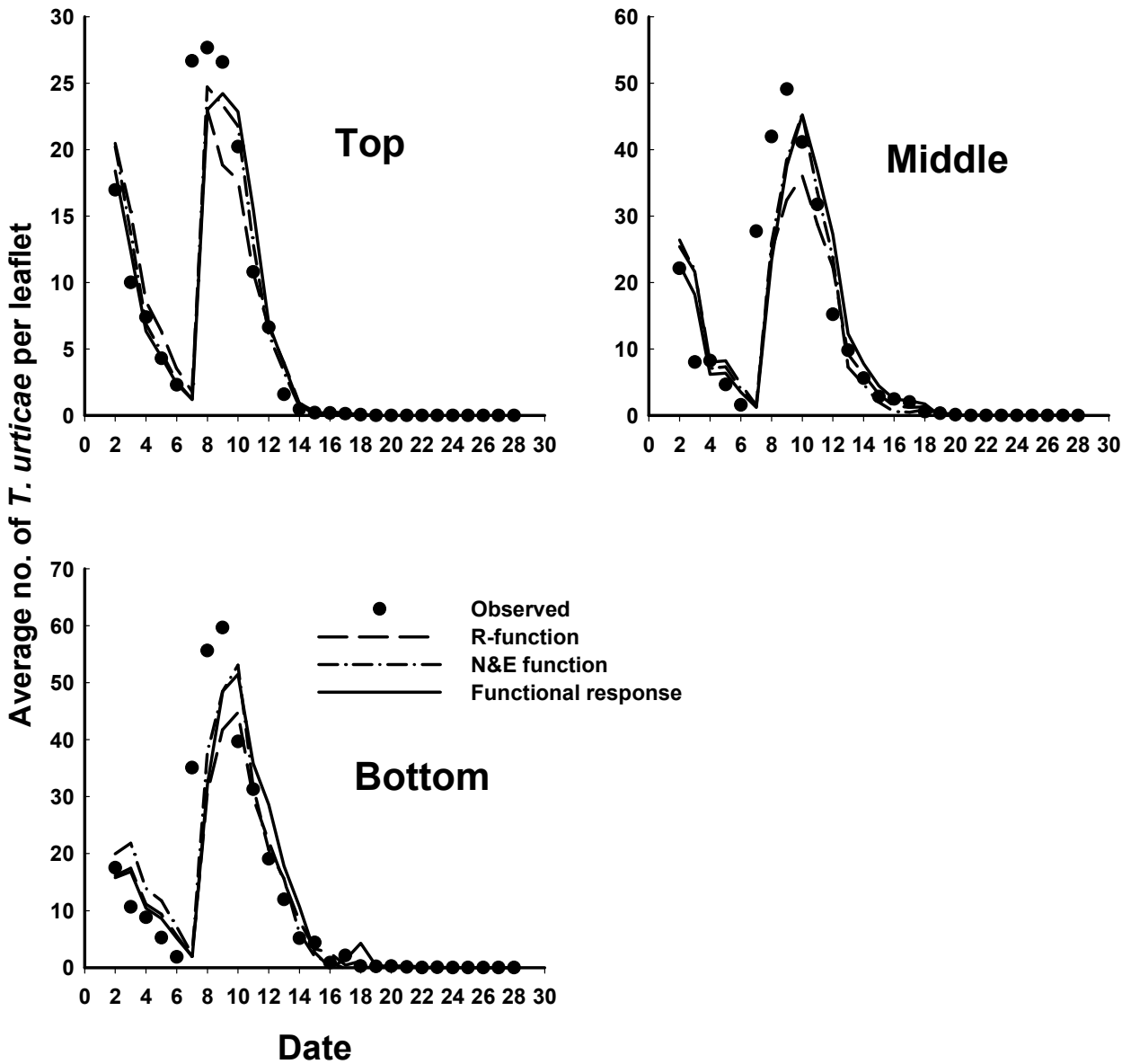


그림 26. 사막이리 접종 위치별 점박이용애의 관찰값과 모델 예측결과

표 20. 함수 1, 2, 3의 파라미터 값

	피식자	a	b	c		포식자	d	e	f
함수1	Top	-0.146	0.007	-0.116		Top	-0.112	0.016	-0.055
	Middle	0.057	0.001	-0.102		Middle	-0.297	0.009	0.021
	Bottom	0.118	-0.004	-0.085		Bottom	-0.076	0.006	-0.006
		r	K	g			h	m	
함수2	Top	-0.449	26.098	0.047		Top	0.010	0.199	
	Middle	-0.123	14.522	0.094		Middle	0.006	0.104	
	Bottom	0.402	114.0	0.160		Bottom	0.009	0.094	
		r	K	s	u		v	x	m
함수3	Top	-0.502	36.633	-0.251	0.166	Top	4.369	6.563	0.638
	Middle	-0.260	71.283	-0.045	-1.340	Middle	0.186	0.399	0.300
	Bottom	0.008	3.767	-0.042	-0.301	Bottom	0.171	0.306	0.306

(2) 사막이리응애

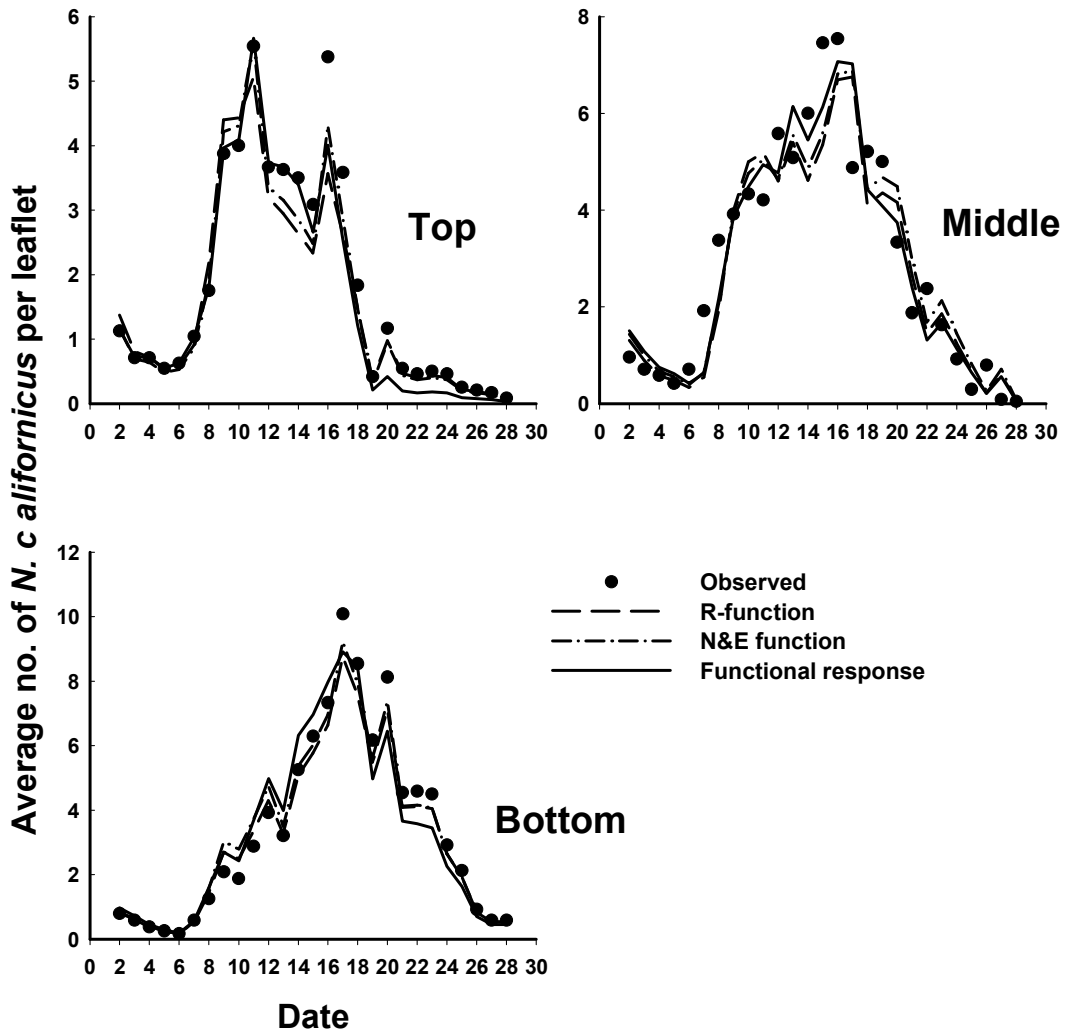


그림 27. 사막이리응애 접종 위치별 사막이리응애의 관찰값과 모델 예측 결과

나. 사막이리응애 접종밀도에 따른 두 종의 개체군 밀도변화

(1) 점박이응애

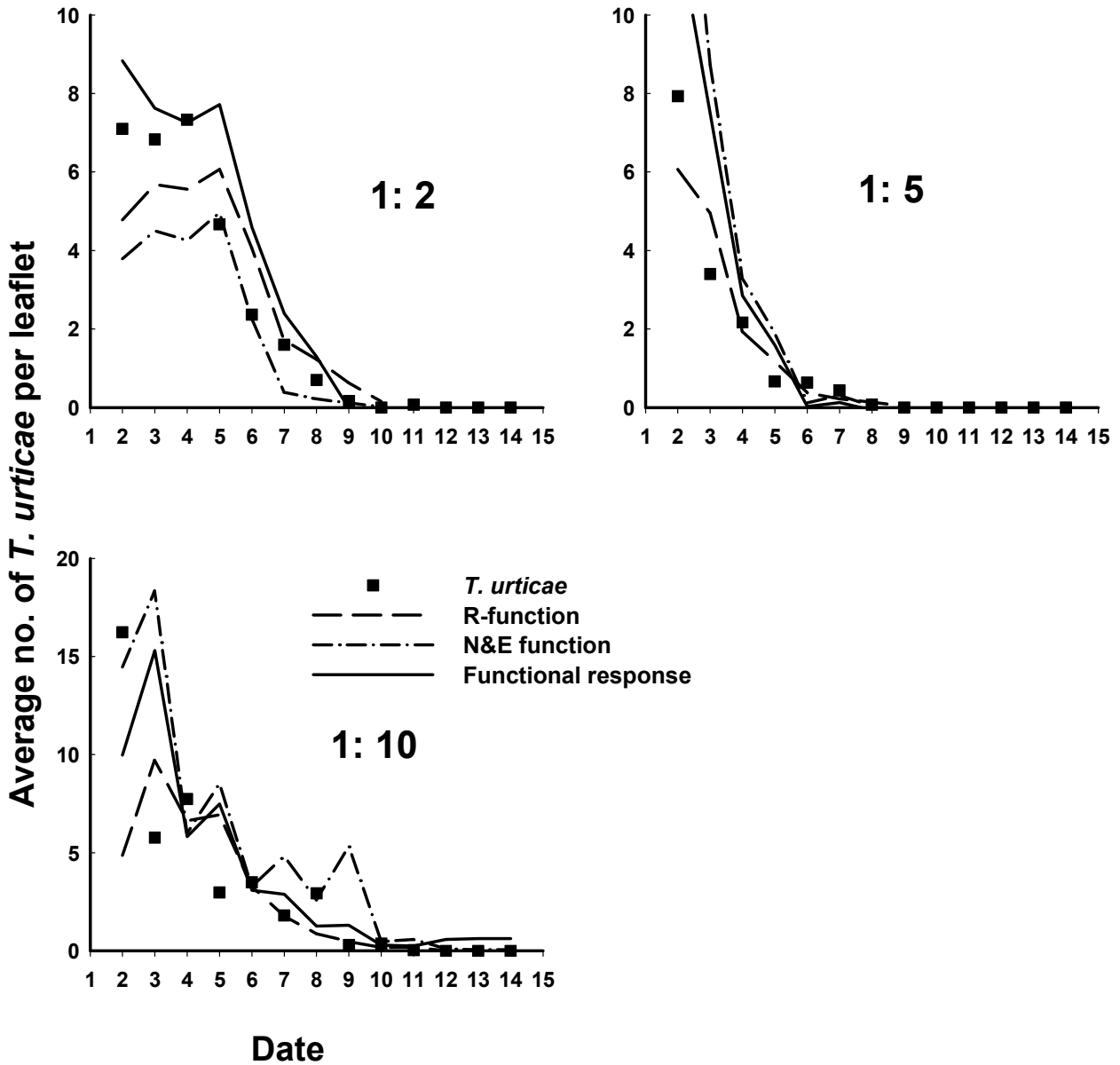


그림 28. 사막이리응애 접종밀도별(이리응애:점박이응애 = 1:2, 1:5, 1:10) 점박이응애의 관찰값과 모델 예측 결과

표 21. 함수 1, 2, 3의 파라미터 값

	피식자	a	b	c		포식자	d	e	f
함수1	1:2	0.033	-0.012	-0.101		1:2	-0.208	0.081	-0.214
	1:5	-0.429	0.029	-0.252		1:5	-0.246	0.005	-0.131
	1:10	0.554	-0.036	-0.875		1:10	-1.164	-0.003	0.967
		r	K	g			h	m	
함수2	1:2	-0.799	10.401	-0.067		1:2	-0.009	0.250	
	1:5	-0.625	39.848	-0.178		1:5	-0.022	0.237	
	1:10	0.053	1.185	-0.322		1:10	-0.029	0.111	
		r	K	s	u		v	x	m
함수3	1:2	-0.878	9.914	0.111	0.096	1:2	0.759	2.681	0.530
	1:5	-0.701	27.572	-42397	65336	1:5	13.027	22.471	0.859
	1:10	0.624	0.909	-0.175	-0.278	1:10	179.5	75.726	2.524

(2) 사막이리응애

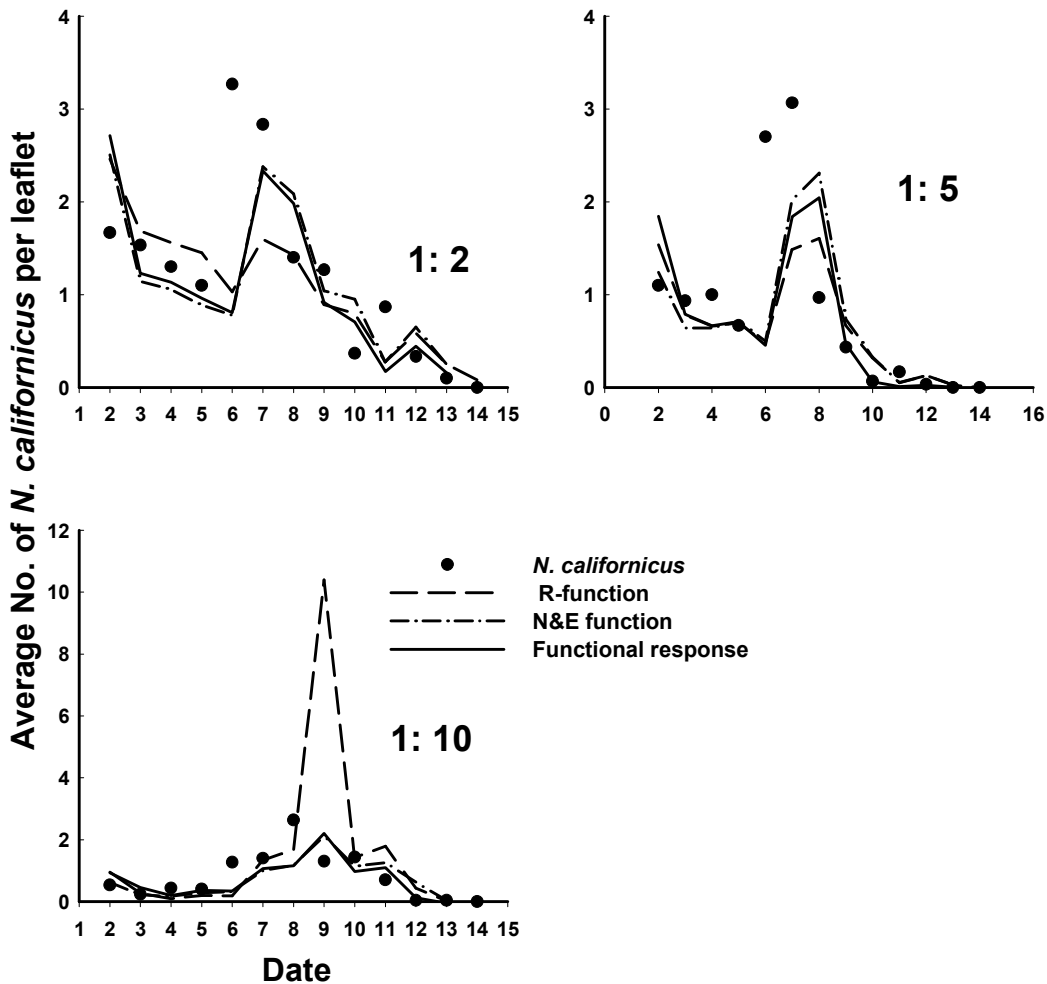


그림 29. 사막이리응애 접종밀도별 사막이리응애의 관찰값과 모델 예측 결과

제 3 절 사막이리응애의 방사체계 및 생물적 방제 평가

1. 사막이리응애의 월동성 연구

가. 사막이리응애의 국내 월동가능성 평가

(1) 재료 및 방법

실내온도조건(25℃)에서 강낭콩을 이용해 사육하고 있는 점박이응애를 먹이로 사막이리응애를 사육하였다. 사막이리응애는 2006년 제주도 난지농업연구소에서 제주도 관내 감귤원에 자생하는 개체를 채집하여 사육 중인 계통이다. 이는 Jung 등(2006)이 국내 최초 발생 보고를 한 계통과 같은 계통으로 사료된다.

월동성 연구는 실내외 내한성 연구와 실내에서 월동 휴면 유기 여부를 조사하였다.

월동 휴면 유기: 많은 수의 곤충을 비롯한 절지동물들은 저온 조건을 극복하기 위하여 휴면이라는 생리적 반응을 하게 된다. 이리응애류의 월동 휴면 방법은 난소발육을 정지시키는 전형적인 reproductive diapause로, 성충의 산란 중지 또는 산란 억제 반응을 통하여 휴면 여부를 판단한다. 본 연구에서는 실내 사육 중인 사막이리응애를 단계별로 다양한 온도와 광주조건에 노출시켜 휴면이 유기되는 지 여부를 조사하였다. 기본 조건으로 온도(14, 18, 20, 25℃)와 광(8:16, 10:14, 12:12, L:D) 조건을 조합하여 각 12가지의 처리를 두었다. 또한 포식성 이리응애의 최적 휴면 유기조건으로 판단되는 18℃, 8:16 L:D 조건에서 노출 기간을 달리하는 처리를 추가하였다. 조사는 산란전기간을 매 12시간 간격으로 조사하였다. 또한 산란을 하게 될 경우, 평균 산란수와 평균 점박이응애 알의 섭식 수를 조사하였다.

야외 월동 상황 연구: 2008년 사막이리응애가 자연분포하는 것으로 알려진 제주도 굴 과원에서 굴 나무, 지면 잡초, 방풍림에서 월동 응애류 상 조사를 실시하였다. 이를 통해 월동 사막이리응애의 월발육태, 월동 서식처를 구명하고 먹이와의 연관성 파악. 또한 전년도 집중 방사가 이루어진 경북 청송, 문경 사과원 일대를 이른 봄 조사를 통해서 월동 생존 사막이리응애 유무를 조사하였다.

실외 내한성 연구: 실외 내한성 연구는 사막이리응애가 저온에서 얼마나 견딜 수 있는지를 판단하게 된다. 본 연구를 위하여 저온 순응기간을 거친 사막이리응애를 0℃ 조건과 동절기 야외조건에서 생존율을 파악하였다(그림 30). 처리는 15℃에서 1세대 순응시킨 응애를 centrifuge tube에 화분(차나무), 점박이응애, 은신처(우레탄), 수분 추가 등의 처리를 두었다. 조사는 1달에 한번씩 하는 장기 처리와 매주 조사하는 단기처리로 나누었다. 또한 2008-9년에는 사막이리응애 월동 생존율을 향상시킬 수 있는 방안으로 지피물인 우레탄폼 및 먹이인 점박이응애를 추가하였을 경우, 실질적으로 월동 생존율의 변화를 파악하였다.

(2) 결과

월동 휴면 유기: 본 연구에서 사막이리응애는 월동휴면을 하지 않은 것으로 조사되었다. 모든 조건에서 사막이리응애는 산란을 하였으며, 산란전기간 및 기타 자료는 아래 표와 같다.



그림 30. 실외 내한성 사망률 평가를 위한 실험구 배치

표 22. 각 온도와 광조건의 조합 처리에 따른 사막이리응애의 산란전 기간

Photoperiod	Preoviposition periods (Mean±SE)				P value
	15°C	18°C	21°C	24°C	
6:18	5.68±0.0.23a	3.76±0.16b	2.24±0.09c	1.38±0.11d	<0.0001
8:16	5.44±0.31a	3.63±0.14b	2.08±0.14c	1.19±0.09d	<0.0001
10:14	5.03±0.21a	3.64±0.23b	1.82±0.10c	1.22±0.09d	<0.0001
12:12	5.53±0.28a	3.5±0.25b	1.72±0.09c *	1.14±0.07d	<0.0001
14:10	5.21±0.21a	3.04±0.14b	1.96±0.04c *	1.06±0.04d	<0.0001
P value	0.36	0.09	0.0003	0.07	

Preoviposition period measured in days.

Mean ± SE with the same letters were not significantly different at P<0.0001.

표 23. 18°C와 L:D 6:18 조건에서 노출기간을 달리하였을 때, 사막이리응애의 산란전 기간

Generations	Stages	Preoviposition period (Mean±SE)	
2 nd	Adult - Adult	2.41±0.15	c
2 nd	Egg - Adult	3±0.12	b
2 nd	Larva - Adult	3.22±0.15	b
2 nd	Nymph - Adult	2.75±0.07	bc
1 st	Egg-Adult	3.76±0.16	a
ANOVA		F=16.0 Df=4,148	P<0.0001

표 24. 각 처리 조건에서 사막이리응애 월동 휴면가능성(%)

Progenies	Temperature (°C)	% diapauses under various photoperiods (L:D)				
		6:18	8:16	10:14	12:12	14:10
F ₁ Egg - Adult	15	0	0	0	0	0
	18	0	0	0	0	0
	21	0	0	0	0	0
	24	0	0	0	0	0
F ₂ Egg - Adult Larva - Adult Nymph - Adult Adult - Adult	18	0	-	-	-	-
		0	-	-	-	-
		0	-	-	-	-
		0	-	-	-	-

표 25. 각 온도와 광조건의 조합 처리에서 휴면하지 않는 사막이리응애의 일평균 산란수

Photoperiod	Fecundity under different temperature				P value
	15°C	18°C	21°C	24°C	
6:18	0.79±0.04d*	1.14±0.04c	2.11±0.07b*	2.67±0.05a*	<0.0001
8:16	0.76±0.05d*	1.26±0.04c	1.93±0.06b*	2.71±0.06a*	<0.0001
10:14	0.92±0.04d	1.24±0.06c	2.21±0.04b	2.91±0.07a	<0.0001
12:12	0.92±0.04d	1.3±0.04c	2.19±0.06b	2.76±0.06a*	<0.0001
14:10	0.94±0.03d	1.31±0.05c	2.09±0.05b*	2.92±0.05a	<0.0001
P value	0.0024	0.125	0.0099	0.0059	

표 26. 18°C와 L:D 6:18 조건에서 노출기간을 달리하였을 때, 휴면하지 않는 사막이리응애의 일평균 산란수

Generations	Stages	Preoviposition period (Mean±SE)	
		Mean	SE
2 nd	Adult - Adult	1.34	0.04
2 nd	Egg - Adult	1.26	0.04
2 nd	Larva - Adult	1.20	0.04
2 nd	Nymph - Adult	1.37	0.03
1 st	Egg-Adult	1.15	0.04
ANOVA		F = 6.18	
		Df = 4,147	0.0001

Mean ± SE with the same letters were not significantly different at P 0.0001.

표 27. 각 온도와 광조건의 조합 처리에서 휴면하지 않는 사막이리응애의 점박이응애 알 섭식수(평균±SE)

Photoperiod	Prey egg consumption under different temperature				P value
	15°C	18°C	21°C	24°C	
6:18	4.59±0.28d	6.65±0.26c*	9.80±0.25b*	12.95±0.34a*	<0.0001
8:16	5.31±0.3d	8.75±0.26c	10.80±0.37b*	13.15±0.33a*	<0.0001
10:14	4.69±0.27d	8.50±0.5c	11.90±0.34b	13.40±0.22a*	<0.0001
12:12	5.20±0.38d	8.16±0.73c*	11.75±0.47b	13.90±0.17a*	<0.0001
14:10	4.84±0.27d	9.30±0.39c	11.85±0.43b	14.20±0.3a	<0.0001
P value	0.337	0.249	0.0008	0.016	

표 28. 18°C와 L:D 6:18 조건에서 노출기간을 달리하였을 때, 휴면하지 않는 사막이리응애의 점박이응애 알 섭식수(평균±SE)

Generations	Stages	Preoviposition period (Mean±SE)	
2 nd	Adult - Adult	8.00±0.32a	
2 nd	Egg - Adult	7.50±0.37ab	
2 nd	Larva - Adult	7.95±0.4b	
2 nd	Nymph - Adult	8.70±0.38a	
1 st	Egg-Adult	6.65±0.26b	
ANOVA		F = 5.30 Df = 4,49	0.0014

Mean ± SE with the same letters were not significantly different at P<0.0001.

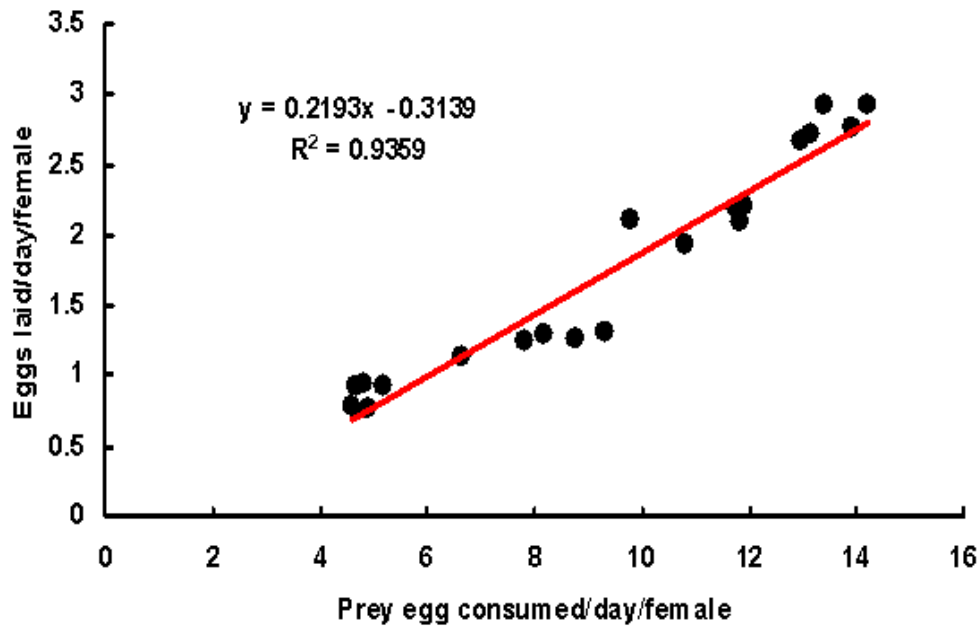


그림 31. 점박이용애 알을 포식한 휴면하지 않는 사막이리응애의 전환율.

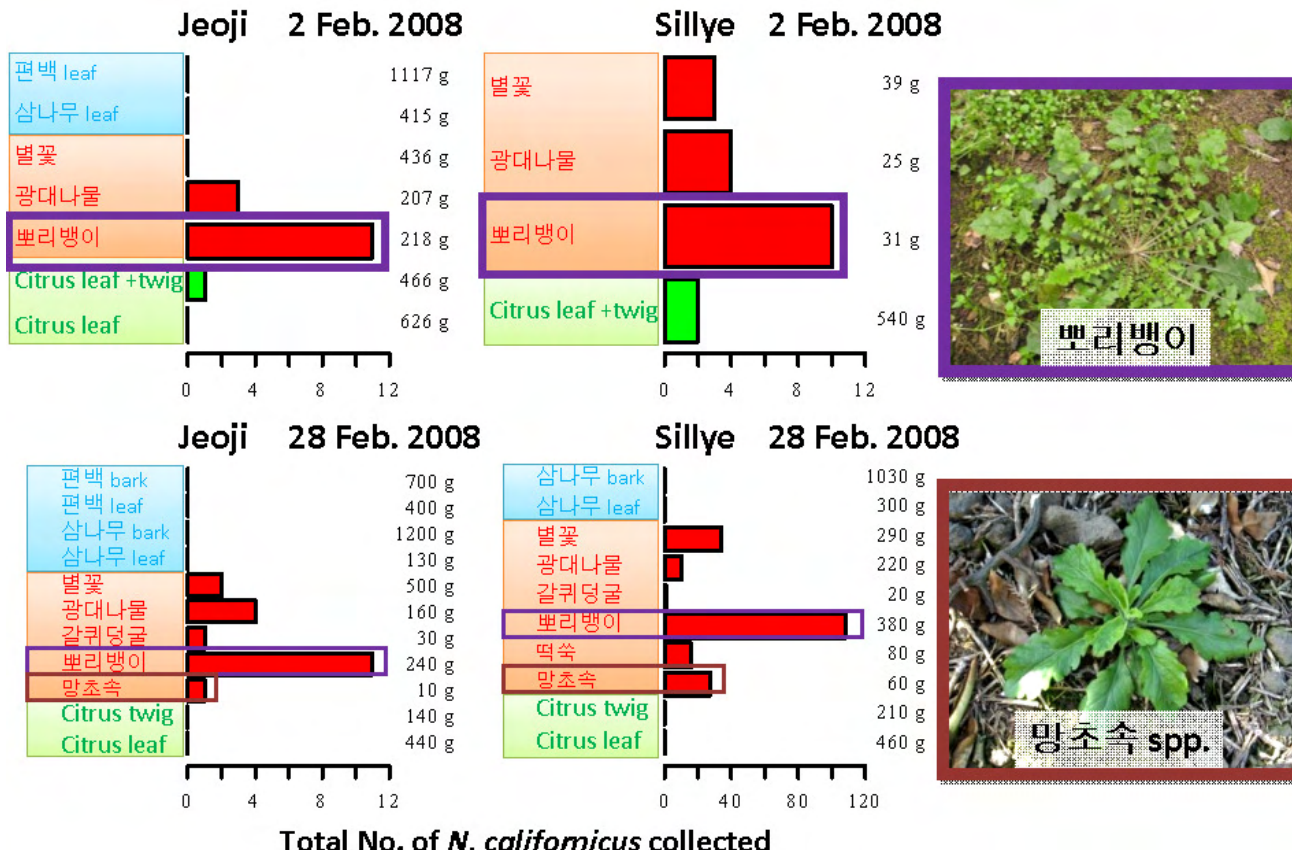


그림 32. 제주 굴파원에서 사막이리응애의 월동 서식처 조사 결과. 2008. 2월 2일과 28일 조사.

야외 월동 상황 연구: 2008년 2월 제주도 온주 감귤 과수원 조사 결과 사막이리응애는 전적으로 지면 잡초에서 월동을 하는 것으로 나타났다. 굴나무의 가지나 잎에서 월동하는 개체는 극히 적었으며, 과수원을 둘러싸고 있는 방풍림인 삼나무나 측백나무에서도 월동하지 않는 것으로 나타났다. 특히 지면 잡초 중에는 월동형 잎이 납작하게 전개되는 로제타형 잡초인 망초류, 보리쟁이 등에서 특히 밀도가 높게 나타났다. 반면 이 잡초에서 잎응애류는 상대적으로 매우 낮은 밀도로 나타났으며 이는 월동 기간에 섭식 등의 행동은 매우 제한적일 수 있다는 점과 사막이리응애가 응애류 먹이 이외의 다양한 절지동물의 알이나 유충, 화분 등을 섭식한다는 점에서 탄력적으로 생각해야 할 부분이다. 또한 월동 사막이리응애 조사를 위한 잡초 조사가 매우 필요함을 증명하는 자료이다.

표 29. 월동 중인 사막이리응애 조사를 위한 표본에서 채집된 잎응애상과 응애류 발생 현황

Plant	Dry weight of plant samples (g)		Total tetranychoids collected ^a			
	2 Feb. ^b	28 Feb. ^c	Bryobiini	<i>Panonychus</i>	Tenuipalpidae	Tuckerellidae
Satsuma mandarin trees	1,632	1,250	0	222	0	0
Herbaceous plants	956	1,990	33	24	1	5
Surrounding woody plants	1,532	3,760	263 ^d	1	0	117

^a All motile stages.

^b Dry weight was measured to the nearest 1 g.

^c Dry weight was measured to the nearest 10 g.

^d Mites of Bryobiini were collected only from bark samples.

See Tables 1 and 2 for detailed sample information on the plants.

실외 내한성 연구: 2007년 12월에서 2008년 3월까지 수행한 실외 내한성 연구에서 사막이리응애는 2달 동안 100% 사망하는 것으로 나타났다. 단기 조사에서는 주기적 훼손(1주일 간격으로 같은 시료를 실내로 들여와서 조사하고 다시 야외 설치)으로 인해 사망률이 더 높을 수도 있지만, 장기 조사 처리에서도 사막이리응애는 모든 처리에서 100% 사망률을 보였다. 그러나 사막이리응애는 겨울철 12월에서 1월까지 50% 이상이 생존하였으며, 2월까지 30%까지 생존하였다. 그러나 3개월이 지나서는 100% 사망하였다. 물론 본 실험이 야외의 환경을 제대로 모사하지 못하였을 수도 있고 반복이 적기 때문에 2009년 초 겨울에 반복적인 연구가 필요하다. 2009년 동절기 원예특작과학원 사과시험장 포장에서 수행된 연구 결과에서도 사막이리응애는 3월까지 생존하지 않았다. 그러나 지피물인 우레탄폼을 설치한 처리구와 점박이응애 먹이를 제공할 경우 1월 월동 생존율은 훨씬 높음을 알 수 있었다. 또한 문경의 사과원에서 2008년 방사한 사막이리응애가 1월 사과원 잡초에서 월동하고 있음을 확인한 바 있다(정철의, BK-산학연구 보고서, 2008).

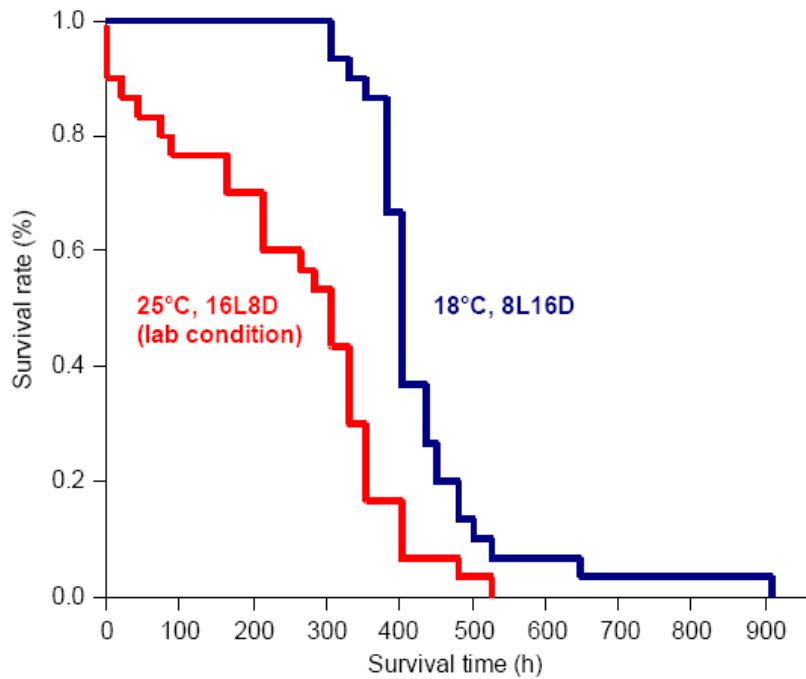


그림 33. 실내 내한성에 따른 사막이리응애의 생존율 변화 추이. Logrank test에서 두 콜로니는 유의하게 다르게 나타남.

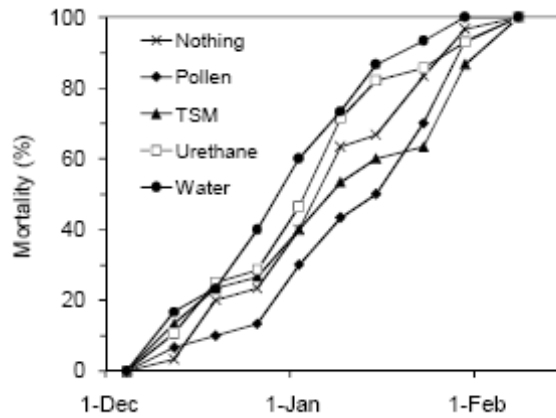


그림 34. 1주일 단위의 조사를 통한 실외 내한성 결과. 처리(각 화분, 점박이응애, 은신처, 수분제공)에 따른 1주일 단위의 사망률 변화

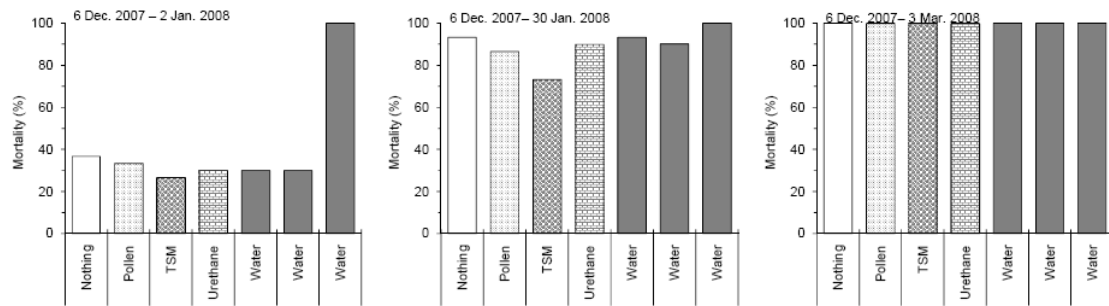


그림 35. 야외 1달 간격 조사를 통한 사막이리응애의 사망률 변화 추이

표 30. 1.7ml 튜브 속에 사막이리응애를 넣고 지면 지피물을 달리했을 때 시기별 사의 생존율 (2007-8)

Date (2007-2008)	Period (days)	Survival rate (%) (alive/dead) ^a			Test ^b	
		Bare ground	Under fallen leaves	Under urethane foam	d.f.	χ^2
6 December	0 (set)					
2 January	27	0 (0/30)	70.0 (21/9)	70.0 (21/9)	2	51.0
30 January	55	0 (0/28)	10.0 (3/27)	6.7 (2/28)	2	4.1
5 March	90	0 (0/5)	0 (0/22)	0 (0/21)	2	0.0

^a Observation of the survival was destructively conducted. Although 30 individuals (= microtub) collected on each date, the tubes in which the agar gel was completely dry were excluded from

^b Log-linear model for 2 × 3 contingency table were used on each date.

표 31. 2008-9년 사과시험장 사과 포장 지면에서 사막이리응애 방사 후 채집된 개체수의 분포

Date (2009)	Sample size (no. of plots)	Mean ± SE	
		<i>N. californicus</i>	<i>Tetranychus</i>
2 January	20	1.65 ± 0.50	18.55 ± 5.03
31 January	20	0.20 ± 0.14	1.55 ± 0.54
2 March	20	0	3.45 ± 2.67

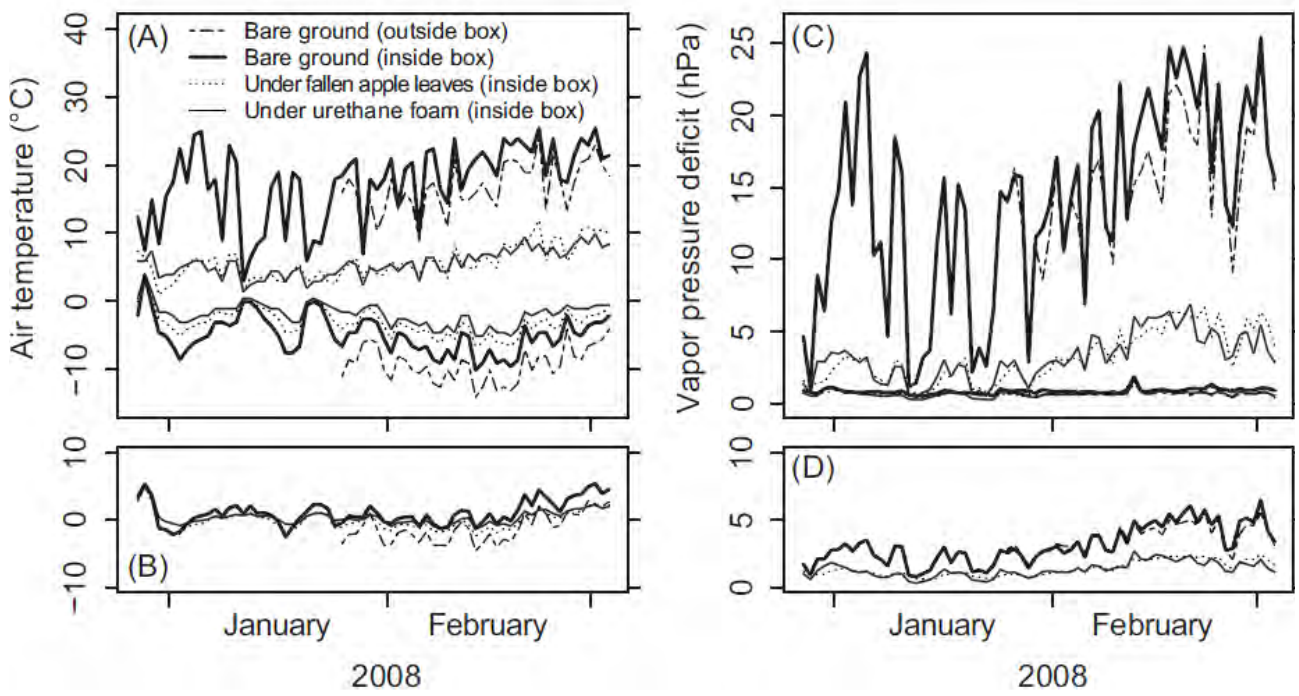


그림 36. 지면 지피물 처리에 따른 토양 표면의 온도와 습도의 변화. 지피물이 있을 경우 토양 지표면의 온습도 환경은 매우 안정하게 변화한다.

표 32. 사과시험장에서 수행한 먹이인 점박이용애의 다소, 지피물인 피난처의 제공 유무에 따른 사막이리응애 월동 개체군의 크기 (2009.1월)

Plot type	Sample size (no. of plots)	Mean \pm SE	
		<i>N. californicus</i>	<i>Tetranychus</i>
<i>T. urticae</i> release			
Small no. of <i>T. urticae</i>	10	0.9 \pm 0.28	2.6 \pm 1.24
Large no. of <i>T. urticae</i>	10	2.4 \pm 0.93	34.5 \pm 6.99
Shelter on the ground			
No artificial shelter	10	0.1 \pm 0.1	23.2 \pm 8.63
Urethane foam	10	3.2 \pm 0.73	13.9 \pm 5.25

표 33. GLMM으로 분석한 파라미터와 AIC 값. 제공된 인공서식처와 먹이가 중요한 요인임을 보여주고 있다

Order	Model: no. of <i>N. californicus</i> =	AIC	Parameter estimate		
			Intercept	Shelter ^a	No. of <i>Tetranychus</i> (motile stages)
1	shelter + no. of <i>Tetranychus</i> mites	20.8	-3.02	Urethane: 3.80 No shelter: 0	0.0225
2	shelter	24.4	-2.30	Urethane: 3.47 No shelter: 0	-
3	null	59.2	0.50	-	-
4	no. of <i>Tetranychus</i> mites	60.7	0.39	-	0.0054

GLMMs with Poisson error distribution and log link function. The “-” symbols indicate parameters excluded from the models.

^a For shelter effect, a reference level was set to zero (i.e., no artificial shelter: 0), when the parameter existed in the models.

2. 사막이리응애의 환경 적응성

가. 먹이환경 - 사과응애를 먹이로 한 발육생태

(1) 재료 및 방법

실험에 이용된 사막이리응애는 2006년 제주도 난지연구소에서 분양받아 실험실에서 누대사육 중인 개체를 이용하였다. 사막이리응애 사육을 위한 먹이로서는 점박이응애(*Tetranychus urticae*)를 이용하였다. 사과응애는 사과원에서 채집한 계통을 실내에서 사과잎에서 유지하면서 일정량씩 먹이로 공급하였다. 먹이로 공급되는 사과응애의 발육단계는 따로 구분하지 않았으며 충분한 양이 먹이가 제공되게 하였다. 실험은 15, 20, 25, 30, 35℃의 항온기내에서 각 온도별로 실시하였다. 반복수는 30 이상으로 하였다. 사막이리응애가 산란한 알을 12시간 내 가는 붓을 이용하여 사과응애가 있는 사과잎 절편(지름 3cm) 뒷면에 1개씩 접종하였다. 사막이리응애 알이 부화한 후에는 먹이가 부족하지 않도록 계속해서 사과응애의 알과 다른 발육단계를 공급하였다. 조사는 12시간 간격으로 하는 것을 기본으로 하였다. 조사는 해부현미경(x16)을 이용 하였다. 온도별 평균발육기간에 대한 자료는 6가지 모델-Logan 6, Lactin1, 2, Briere1, 2, Taylor-을 이용하여 분석 하였다.

(2) 결과

표 34는 사과응애를 먹이로 한 사막이리응애 발육단계별 발육기간이다. 15℃에서 성충전기기간이 15일정도로 길었고 30℃에서 3.37일로 가장 짧았다. 35℃에서는 3.43일로 30℃와 통계적으로 유의차 없었다. 전 발육기간의 분포가 비슷한 경향을 나타냈다.

표 34. 사과응애를 먹이로 했을 때 사막이리응애의 각 발육단계별 발육기간 (발육기간(일) ± 표준오차)

온도 (℃)	알	유충	제 1 약충	제 2 약충	성충발현 전기간	암컷 비율
15	5.24±0.12 (18)	2.09±0.06 (18)	4.45±0.13 (18)	3.52±0.17 (18)	15.28±0.21 (18)	0.75
20	2.11±0.08 (16)	0.98±0.08 (16)	1.71±0.07 (16)	1.50±0.08 (16)	6.29±0.03 (16)	0.74
25	1.10±0.02 (16)	0.69±0.07 (16)	1.14±0.03 (16)	0.90±0.03 (16)	3.82±0.08 (16)	0.77
30	0.84±0.06 (16)	0.55±0.04 (16)	0.97±0.05 (16)	1.00±0.23 (16)	3.37±0.24 (16)	0.73
35	0.82±0.07 (17)	0.55±0.04 (17)	1.03±0.05 (17)	1.08±0.09 (17)	3.43±0.13 (17)	0.68

생명표 분석의 결과 내적 자연증가율은 30℃에서 0.3으로 가장 컸으며 35℃에서는 20℃와 비슷한 수준인 0.18로 크게 작아짐을 볼 수 있다. 즉 사막이리응애의 발육은 25-30℃에서 가장 왕성하게 일어남을 알 수 있으며 이 정도의 온도범위에서 가장 개체군 증가율이 클 수 있음을 암시한다. 세대기간 역시 30℃에서 11.8일로 가장 작았으며 15℃에서는 36.9일로 매우 컸다. 즉 저온에서의 발육이 상당히 지체되고 산란수 역시 낮음을 알 수 있다.

표 35. 사과응애를 먹이로 하였을 때 사막이리응애의 생명표 분석

온도	순증가율(R ₀)	내적자연증가율(r)	평균세대기간	먹이종류
15	26.78	0.09	36.94	<i>P. ulmi</i> (egg)
20	38.39	0.19	19.45	
25	49.24	0.25	15.31	
30	35.09	0.3	11.80	
35	6.81	0.18	10.70	

사과응애를 먹이로 할 경우 사막이리응애의 온도 발육을 기존에 제시된 비선형 발육모형 6개에 적용시킨 결과는 표 36과 같다. 표에서 보듯이 대부분 발육단계에서 비선형 모형이 잘 적용되는 것으로 보인다.

표 36. 사과응애를 먹이로 하였을 경우, 사막이리응애 발육의 각 비선형 발육모델의 파라미터와 결정계수

		알	유충	제 1 약충	제 2 약충	성충출현 전기간
Logan6	Ψ	3.49	1.56	0.21	0.15	0.07
	ρ	0.16	0.10	0.16	0.16	0.15
	TL	38.56	45.44	37.00	36.12	37.66
	ΔT	6.04	9.47	5.91	5.71	6.22
	Optimal	32.52				
	r^2	0.91	0.48	0.93	0.91	0.87
Lactin 1	ρ	0.16	0.10	0.17	0.16	0.15
	TL	38.30	45.46	37.00	36.13	37.66
	ΔT	5.89	9.39	5.99	5.88	6.33
	Optimal					
	r^2	0.91	0.48	0.93	0.91	0.87
Lactin 2	ρ	0.08	0.05	0.10	0.11	0.01
	TL	44.51	50.32	39.95	38.18	47.83
	ΔT	10.46	10.57	8.98	8.27	7.15
	λ	-0.98	-1.09	-0.66	-0.71	-1.23
	Optimal					
	r^2	0.98	0.57	0.99	0.99	0.99
Briere 1	a	0.0006	0.0003	0.0007	0.0009	0.0002
	T0	11.35	-2.71	10.54	10.82	9.95
	TL	39.71	46.39	36.76	35.51	37.46
	Optimal					
	r^2	0.98	0.58	0.99	0.99	0.98
Briere 2	a	0.0004	2.5×10^{-6}	0.0009	0.001	6.8×10^{-5}
	T0	11.68	5.98	9.91	10.61	11.21
	TL	41.97	68.78	35.89	35.34	41.31
	m	1.55	0.54	2.48	2.12	1.17
	Optimal					
	r^2	0.98	0.63	0.99	0.99	0.99
Taylor	R	1.22	1.75	1.09	1.27	0.31
	Tm	32.72	36.43	30.01	28.38	30.51
	To	9.37	14.59	8.56	7.44	8.99
	r^2	0.98	0.56	0.96	0.96	0.99

나. 온습도 환경 적응

(1) 재료 및 방법

온습도 환경에 따른 이리응애의 적응성 평가는 국내 토착종이며 과수원에서 가장 많이 발견되는 긴털이리응애, 외래종으로 국내 시설 원예에서 가장 많이 사용되는 칠레이리응애, 그리고 제주도산 사막이리응애를 이용하여 다양한 온습도 환경에서 알 생존율, 유약충 생존율, 성충 생존율과 산란력을 조사 비교하였다. 인큐베이터에서 15, 20, 25, 30, 35°C에서 각 온도별로 33, 51, 75, 95%의 상대습도로 시험하였다. 플라스틱 용기(D. 15cm, H. 15cm)로 만든 Humidity chamber에 각각 33, 51, 75, 95%의 습도를 유지하기 위해 $MgCl_2$, $6H_2O$, $Ca(NO_3)_2$, $4H_2O$, NaCl, Na_2HPO_4 ,

12H₂O를 사용하였다. 점박이응애가 있는 강낭콩 잎에 알을 가진 교미한 암컷 성충으로부터 12시간 이내에 산란된 알을 plexiglass cell을 한 개씩 옮겼다. Cell은 plexiglass (8x3.5x0.3 LWH)의 직사각형 조각에 두 개의 구멍이 있고 밑바닥의 얇은 나일론 망사와 윗부분은 슬라이드 글라스로 덮여있다. 각 Cell 속으로 알을 하나씩 옮겼다. 40-60개의 알을 대상으로 부화율을 추정하였다.

또한 실내 저온 감응 비교를 위해 긴털이리응애 휴면태와 비휴면태, 사막이리응애 성충을 저온 처리 한 후 20°C에서 생존율과 산란력을 비교하였다. 긴털이리응애와 제주에서 채집한 사막이리응애를 -6, -9 그리고 -12°C에서 Cold hardness(내한성)를 측정하였다. 두 종의 응애들은 알에서 성충까지 15°C와 광주기 8L:16D 조건에서 비휴면기 긴털이리응애는 15°C와 광주기 16L:8D 조건에서 사육하였다. 휴면기 긴털이리응애는 -6°C에서 실험을 하지 않았다. 우화 후 6~10일된 각 타입 두 종의 암컷성충은 각 온도에서 0, 1~7, 10, 12일간 시험하였다. 마이크로튜브(10 by 4mm H)에 점박이응애 알, 약충, 성충이 혼재된 콩잎을 3 × 0.7 mm로 잘라서 넣고 포식응애 암컷성충을 한 마리씩 접종하였다. (반복수는 15반복) 처리된 마이크로튜브를 플라스틱 용기에 담고 모든 플라스틱 용기를 7일간 0°C 암조건에서 보관하였다. 7일후 각 플라스틱 용기를 -6, -9 그리고 -12°C 조건의 인큐베이터로 옮기고 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10 & 12일간 시험하였다. (0일은 대조구로 간주) 일정 기간 동안 각 온도에 노출시킨 플라스틱 용기들을 20°C 광주기 16L:8D 조건에서 보관하고 24시간 후 암컷 성충의 사망률을 조사 후 10일 동안 일일간격으로 산란된 포식응애 알을 조사하였다

(2) 결과

온습도 환경 적응: 이리응애류의 온습도 환경 적응성 평가에서 사막이리응애는 긴털이리응애나 칠레이리응애보다 고온과 건조에 더 나은 적응성을 보여주었다. 부화율을 보면, 모든 개체군에서 습도 감소에 따라 알의 사망률도 증가하였다(표 37). 15°C 조건의 사막이리응애를 제외 하고는 상대습도 50% 보다 낮을 때에 높은 사망률을 보였다. 그러나 긴털이리응애는 습도만이 알의 부화에 영향을 미쳤다. 칠레이리응애는 습도와 온도의 상호작용이 중요하였다. 모든 종에서 낮은 습도는 높은 알 사망률을 보였다. 과도하게 낮은 수분이 알의 막을 오그라들게 한 것이 가장 큰 이유로 보인다. 35°C의 높은 온도에서 칠레이리응애는 사막이리응애나 긴털이리응애에 비해 높은 습도 수준에서조차 알의 부화가 없었다.

부화된 유충은 세 종 모두 55%이상의 상대습도에서 전약충까지 살아남지 못하였다. 사막이리응애 유충은 약충 단계까지 살아남았다(around 50% at 75% RH and almost 100% at 95% RH)(그림 37). 긴털이리응애 유충은 75%의 상대습도에서 살아남지 못하였으나 80%에서는 전약충까지 온도와 관계없이 발전하였다. 칠레이리응애는 낮은 온도에서 전약충까지 거의 살아남았으나 온도에 따라 증가하였다. 73%의 상대습도에서 유충의 생존은 10%까지 감소하였다. 95%의 상대습도에서 대부분의 유충은 전약충 단계까지 생존하였다. 이 실험은 전약충까지 발육에 먹이가 필요하지 않음을 확인했다. 그러나 전약충에서 더 발육하기 위해서는 먹이의 포식이 필요하다. 하나이 알을 가지고 시험했을때 전약충은 후약충까지 발육하지 못하였으나 다섯개의 알의 결과는 발육을 하였다. 포식은 사막이리응애에서 높았고 이리응애에서 낮았으며 이

결과는 더 나아가 포장과 온실에서 잎응애의 생물적 방제와 관계가 있다.

표 37. 상대습도와 온도의 알 부화율에 대한 영향(GLM regression)

Species	R ²	Intercept	Humidity (%)	Temperature (°C)	H*Temp ¹
<i>N. californicus</i>	0.84	0.19 (0.38) ²	0.017 (0.001)	0.018 (0.02)	³
<i>N. womersleyi</i>	0.71	0.606(0.001)	0.0135 (0.0001)		
<i>P. persimilis</i>	0.77	1.232(0.03)	0.030 (0.001)	0.0296 (0.1)	0.0007 (0.01)

¹ Interaction of humidity and temperature

² Number in the parenthesis represent the P value of the parameter from T distribution.

³ " " represents non significant parameter

표 38. 회귀직선으로 추정한 포식용애 3종 알의 반수치사 습도 (LH₅₀)

Species	Temperatures (°C)				
	15	20	25	30	35
<i>N. californicus</i>	56.5	61.8	67.1	72.4	77.7
<i>N. womersleyi</i>	82.0	82.0	82.0	82.0	82.0
<i>P. persimilis</i>	66.1	71.3	79.4	93.8	¹

¹ " " represents no data available because of no egg hatching at this temperature

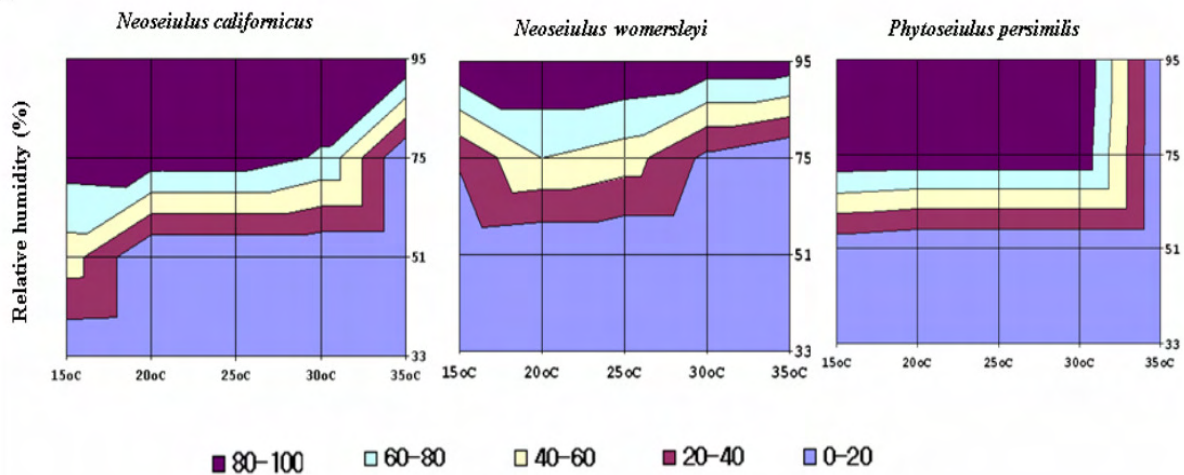


그림 37. 포식성 이리응애 3종 알의 온습도 조건에 따른 부화율

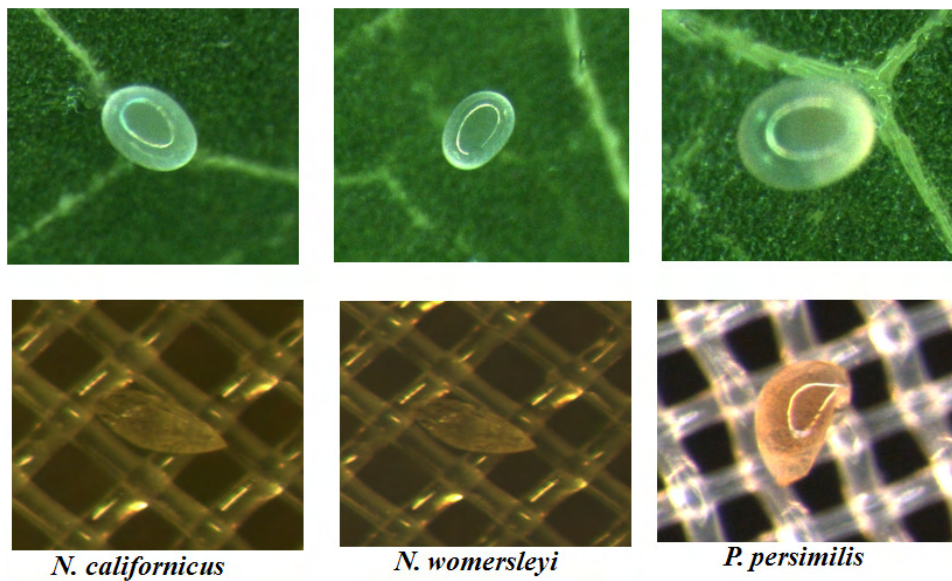


그림 38. 정상적인 알과 건조에 의해 위축된 알의 모습

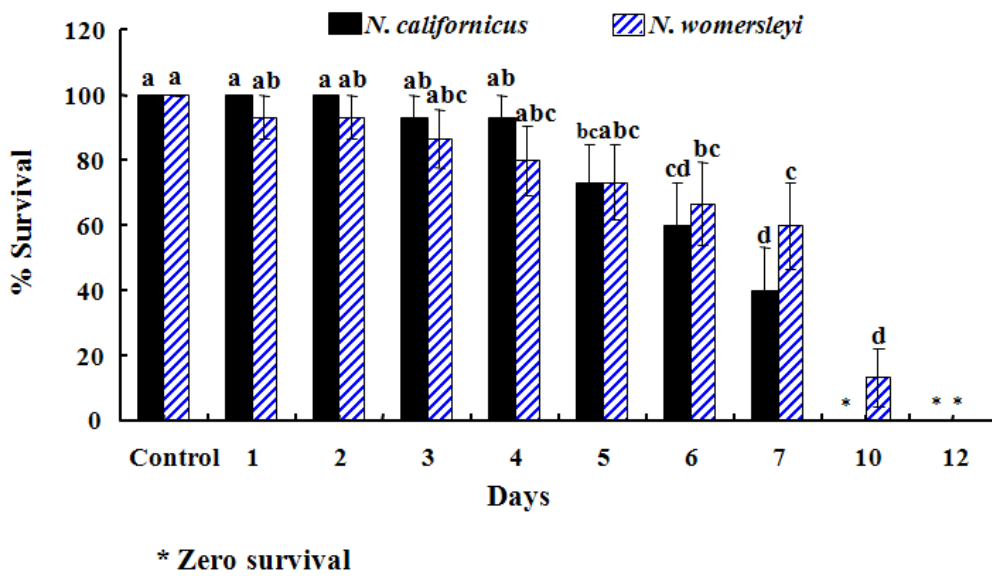


그림 39. -6°C에 저장했을 때 사막이리응애와 긴털이리응애의 생존율 변화

저온 환경 적응성: 휴면기와 비휴면기 긴털이리응애 모두 사막이리응애보다 -6 와 -9°C에서 생존율이 높았다. 하지만 비휴면기 긴털이리응애가 -12°C에서는 26.67%의 생존율로 휴면기 긴털이리응애와 사막이리응애에 비해 낮은 생존율을 보였다. 휴면기 긴털이리응애는 -9°C에서 비휴면기 긴털이리응애와 사막이리응애보다 오래 생존하였고, 알 또한 더 많이 산란하였다. 이 결과들은 사막이리응애가 긴털이리응애에 비해 추운조건에서 낮은 생존율과 생식력을 가졌다는 것을 보여준다. 이는 제주도 보다 평균기온이 낮은 한국 본토에서 사막이리응애가 발견되지 않는 주요한 이유로 생각된다. 다른 한편으로는 긴털이리응애가 한국 본토에서 자연적으로 발

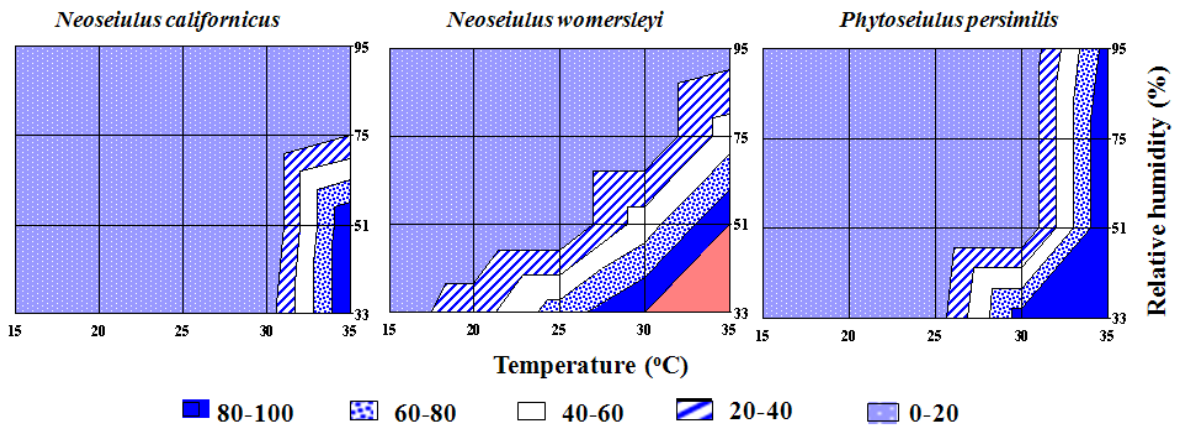


그림 40. 온습도에 따른 성충 이리응애류의 생존율 변화

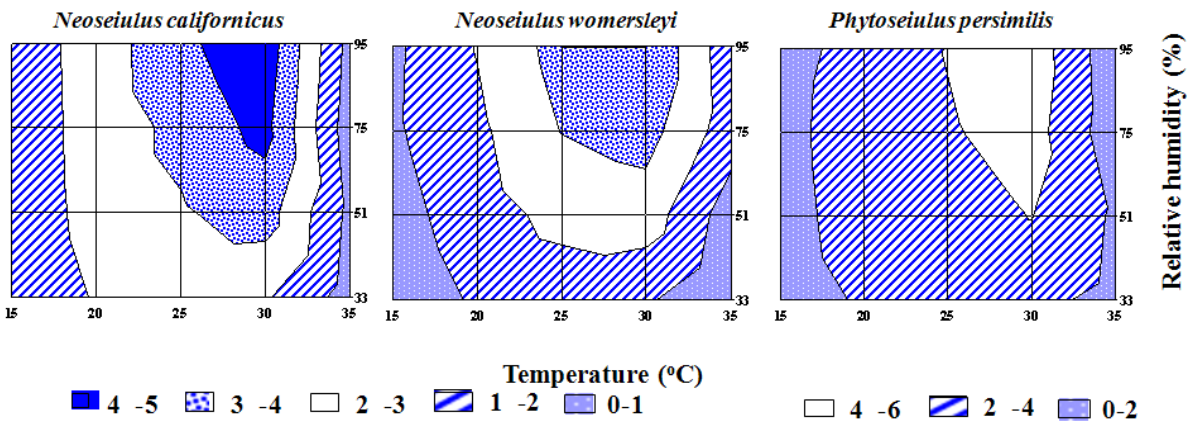


그림 41. 온습도 조건에 따른 이리응애류의 산란수 변화 분포. 사막이리응애(좌)의 산란수가 각 온습도 조건에서 가장 안정되어 있다.

생하는 것은 휴면 능력과 높은 내한성 (Cold hardiness) 때문인 것으로 생각된다.

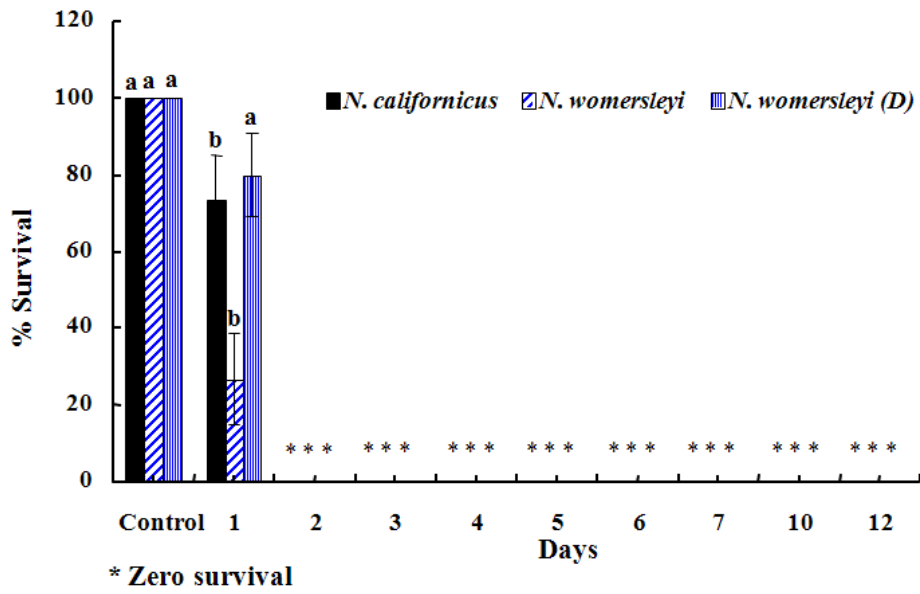


그림 42. -12°C에 저장했을 때 사막이리응애와 긴털이리응애의 생존율 변화

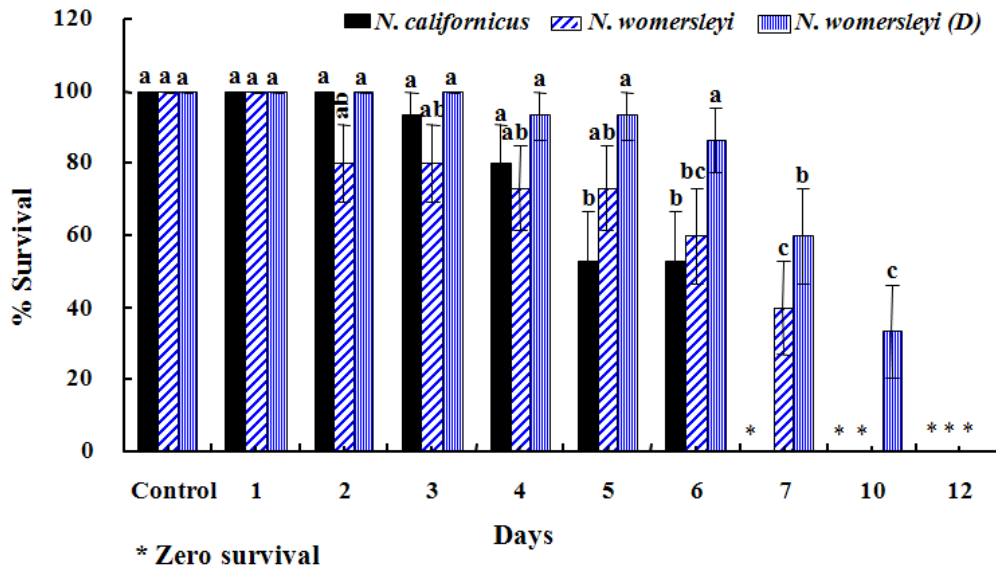


그림 43. -9°C에 저장했을 때 사막이리응애와 긴털이리응애의 생존율 변화

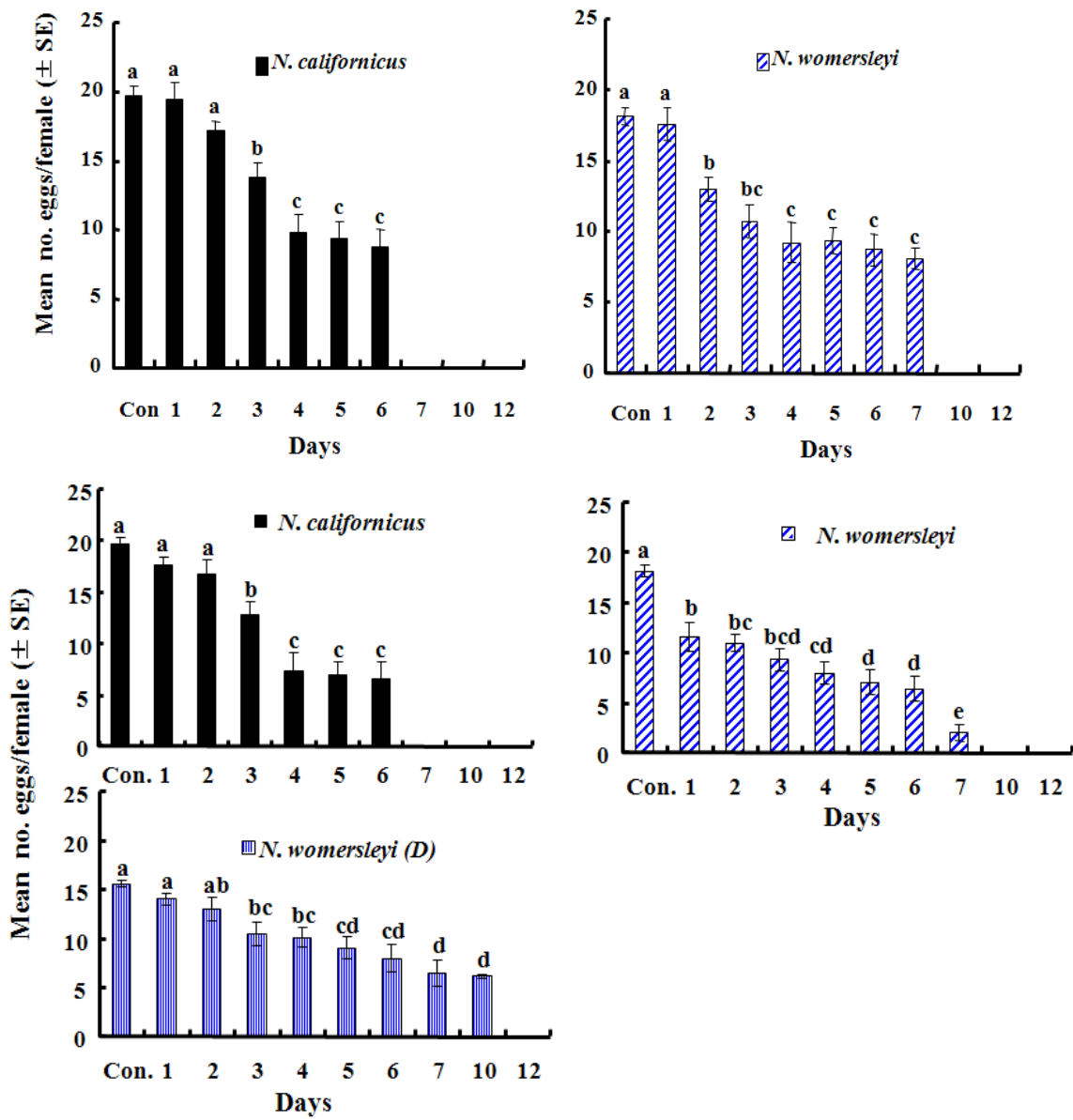


그림 44. -6℃와 9℃에 일정시간 노출한 후 20℃로 옮겼을 때 사막이리응애와 긴털이리응애(휴면태=D, 비휴면태)의 산란수 변화

3. 노지 사과원 방사 방법에 따른 정착율 및 생물적 방제 효과 평가

가. 재료 및 방법

(1) 청송 과수원 포장

임의의 격자구조로 실험 포장을 나눈 다음 5x5m내에 있는 나무 3그루를 선정하였다. 3그루 나무에서 2가지지를 정하고 각 가지에서 20엽을 수관 안쪽에서 바깥쪽으로 점박이용애와 사과응애 밀도를 루페(x16)를 이용하여 조사하였다. 방사 실험은 저고밀식 M9과수원과 M26 성목과수원으로 하였으며, 방사는 각 지표 초지, 주지의 가운데, 가지에 방사, 그리고 무방사로 나누었으며, 주지 방사의 경우 각 나무마다 방사하는 것과 하나건너 하나씩 방사하는 것을 나누었다. 1 주 간격으로 격자구조 (5x5 m)내에 있는 나무 3그루를 선정하고 나무 당 20엽을 따서 실험실로 가져와 해부현미경으로 점박이용애, 사과응애, 사막이리응애의 밀도를 조사하였다.

(2) 안동 길안 과수원과 안동대 포장 연구

2008년과 2009년에 걸쳐 경상북도 안동시 길안면에 위치한 사과 과수원, 안동대 사과원에서 실시되었다. 실험이 이루어지는 동안 살충제는 사용하지 않았으며 살균제는 4회(2008년 5월 25일, 6월 30일, 8월 4일, 9월 5일) 살포하였다. 실험용 나무는 사막이리응애를 방사한 나무 10그루와 방사하지 않은 나무 10그루를 선정하였다. 실험에 사용하는 사막이리응애는 (주)나비스에서 공급 받았으며 2008년에 두 번 방사를 하였다. 사과응애의 밀도는 방사 전 2008년 6월 16일 사막이리응애를 방사하게 될 나무($1.0 (\text{mean}) \pm 0.11 (\text{SE})$)와 방사하지 않을 나무(1.0 ± 0.16)로 비슷하게 나타났다. 첫 번째 방사는 2008년 6월 19일에 실시하였으며 사과나무 잎의 사과응애 밀도에 따라 사과응애: 사막이리응애의 비율 5: 1로 10그루의 나무 수간에 방사 하였다. 두 번째 방사는, 10개의 일년생 가지의 끝 자락에 주당 4000마리의 사막이리응애를 방사하였다.

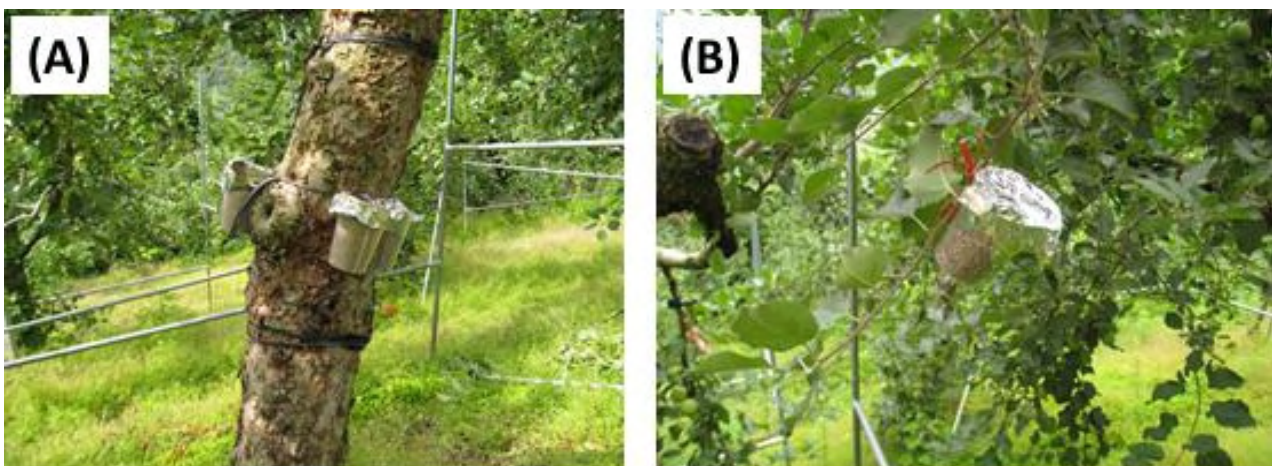


그림 45. 사막이리응애의 방사 위치. (A)는 첫 번째 방사, (B)는 두 번째 방사.

응애 밀도조사는 2008년 6월 11일부터 7월 1일 각각의 나무에서 무작위로 나뭇잎 20개를 선택하여

잎을 관찰하고 응애 수를 세었다. 2008년 6월 11일 각각의 나무에서 아래쪽 가지의 잎 20개와 위쪽 가지의 잎 20개를 무작위로 선택하여 잎을 관찰하고 응애 수를 세었다.

나. 결과

(1) 청송 과수원 포장

대상과원은 과원관리가 비교적 잘 되고 있는 관행과원이었으며 노지에서 발생하는 응애의 포식성 천적은 긴털이리응애이나 그 밀도가 상대적으로 제한된 과원이었다. 이러한 과원에서 방사한 사막이리응애는 방사구 전역에서 정착이 확인되었으며, 응애류 밀도는 낮추는 게 기여하는 것으로 조사되었다. 방사구에서 잎응애류 밀도는 무방사구보다 낮게 유지되었으며, 방사구에서 이리응애 밀도는 무방사구보다 높게 나타났다.



그림 46. 방사 연구를 위한 청송 농가 포장 전경

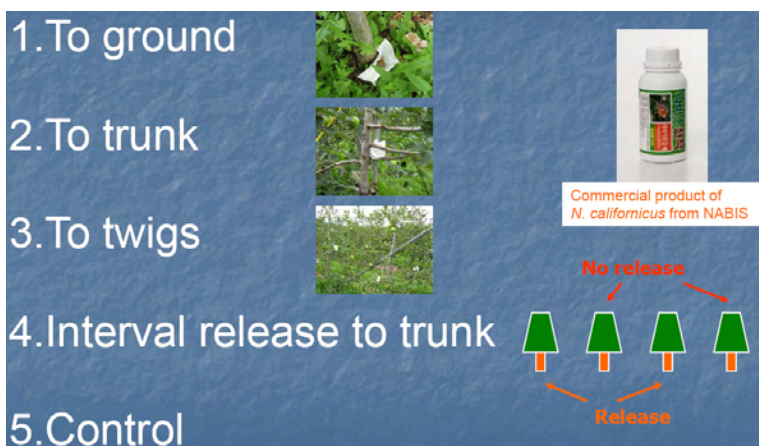


그림 47. 청송 농가 포장에 사막이리응애의 방사 방법 모식도

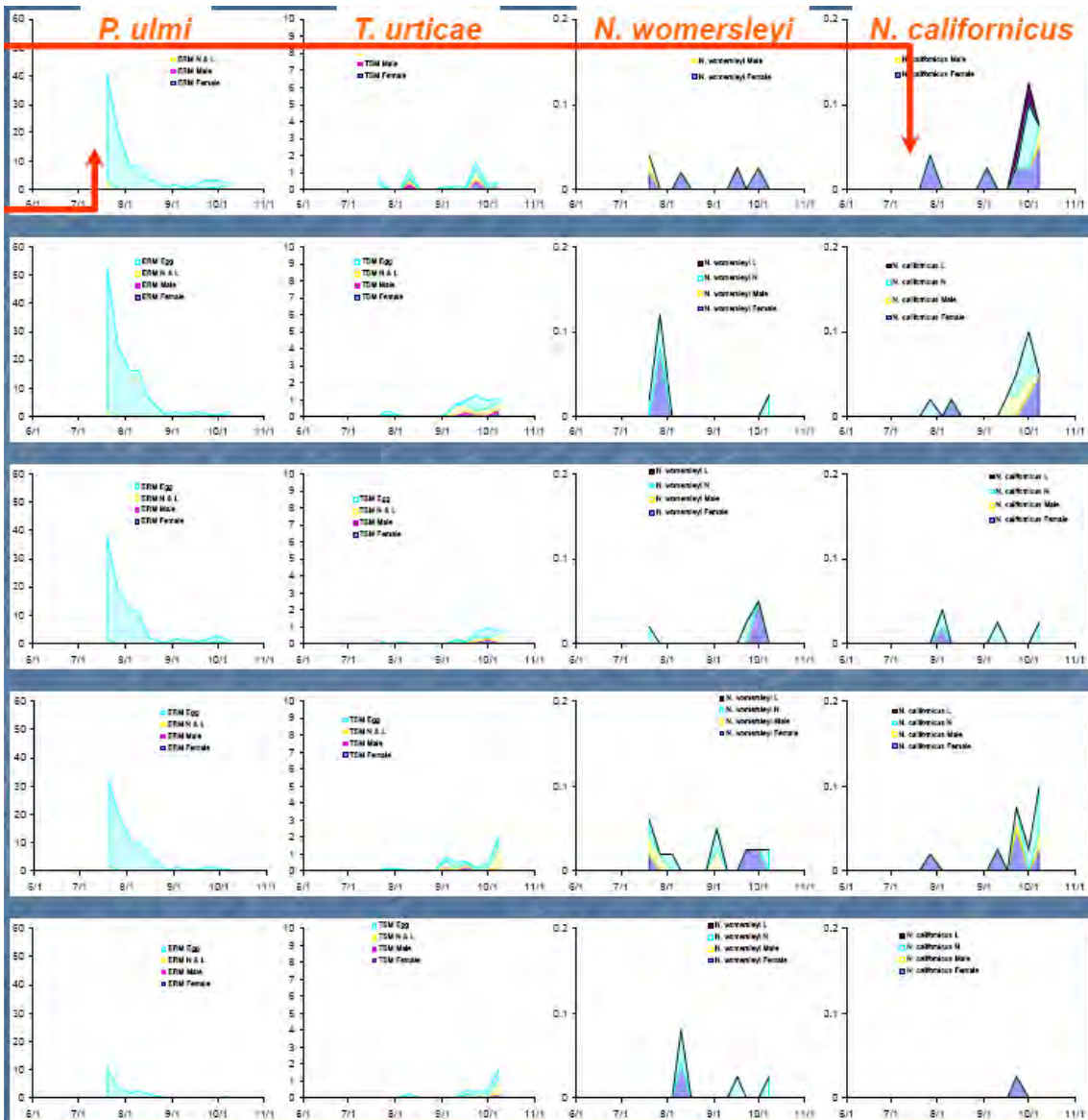
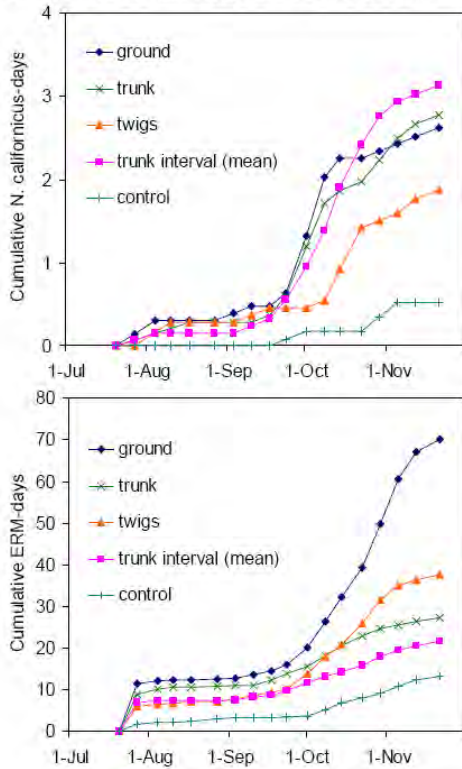


그림 48. 저고 밀식과수원에서 사막이리응애의 방사 후 사과응애, 점박이응애, 긴털 이리응애와 사막이리응애의 밀도 변동 (위에서 아래로, 지표면, 주지, 가지, 인터벌 주지 방사 및 무방사). 인터벌 주지는 각 대상 나무를 하나 걸러 하나에 방사함. 위 화살표는 사막이리응애의 방사일, 아래 화살표는 살비제 살포임.

(a) Comparison among release methods



(b) Treated and untreated trees in interval release

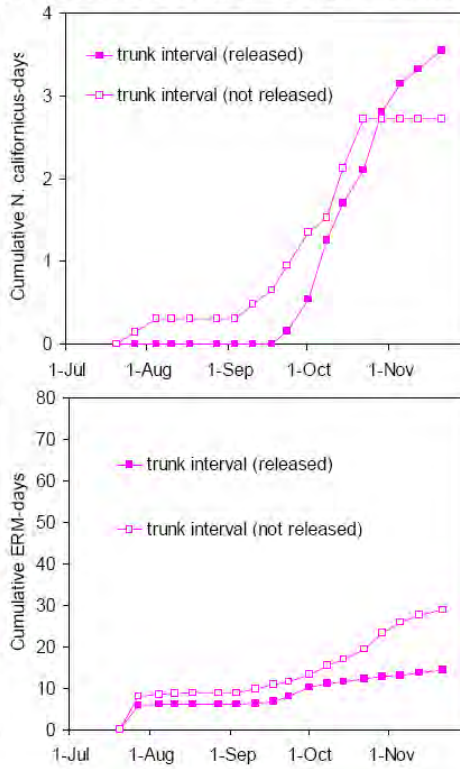


그림 49. 각 방사방법 별 사막이리응애의 사과응애 발생 누적분포(a)와 인터벌 주지 방사의 경우 방사한 나무와 방사하지 않은 나무에서 발생 (b)

날 짜	살충제 및 농약사용기록		
	Common Name	Trade Name	Type
4월 2일	기계유제		
4월 2일	thiophanate-methyl	톱신(균)	카바메이트계
4월 19일	iminocladinetriacetate	베푸란(균)	구아니딘계
	phosphamidon	포스팜(충)	Organophosphorous
5월 11일	fluquinconazole	싱그롱(균)	혼합계
	flufenoxuron	카스케이드(충)	Acylurea
6월 2일	kresoxim-methyl	해비치(균)	스토로빌루린계
	etofenprox	트레분(충)	Synthetic pyrethroid
6월 24일	dithianon	딜란(균)	퀴논계
	teflubenzuron	노플트(충)	요소계
7월 16일	iminocladinetriacetate	베푸란(균)	구아니딘계
	methidathion	수푸라사이드(충)	Organophosphorous
7월 27일	captan	캡탄(균)	트리할로메칠치오계
	bifenthrin	타스타	Synthetic pyrethroid
8월 11일	metconazole	살림꾼(균)	트리아졸계
	ethofenprox	만장일치(충)	혼합계(글로르니코티닐계+합성피레스로이드계)
8월 23일	prodione	로브랄(균)	디카복시미드계
8월 30일	iminocladinetriacetate	삼진왕(균)	혼합계
	Dichlorvos	디다브이피(충)	Organophosphorous
품종	후지+시나노스위트+국로		
면적	5000평		
나무간 간격	1.8M		
줄간 간격	3.8M		
묘부	5년생+3년생		

그림 50. 조사 과원 중 하나인 김후석 농가의 약제 살포력.

(2) 안동 길안과 안동대 포장

2008-9년에 안동 길안 포장에서 수행된 결과는 청송의 관행 과원에서 나타난 패턴과 상이하다. 즉 이 과원은 약제 살포가 극히 제한된 포장으로 다양한 천적군이 형성된 과원에서 추가적인 사막이리응애의 방사 효과는 제한적으로 나타났다.

표 39. 안동 길안과원이 약제 살포력(2008)

Date	Agrochemicals applied		Trade name
5 May 2008	Synthetic pheromones	Mating disruptant	Confuser R®
25 May 2008	Kresoxim-methyl	Fungicide	해비치
30 Jun 2008	Dithianon	Fungicide	델란
4 Aug 2008	Pyraclostrobin	Fungicide	카브리오에이
5 Sep 2008	A mixture of difenoconazole and iminoctadine-triacetate	Fungicide	삼진왕

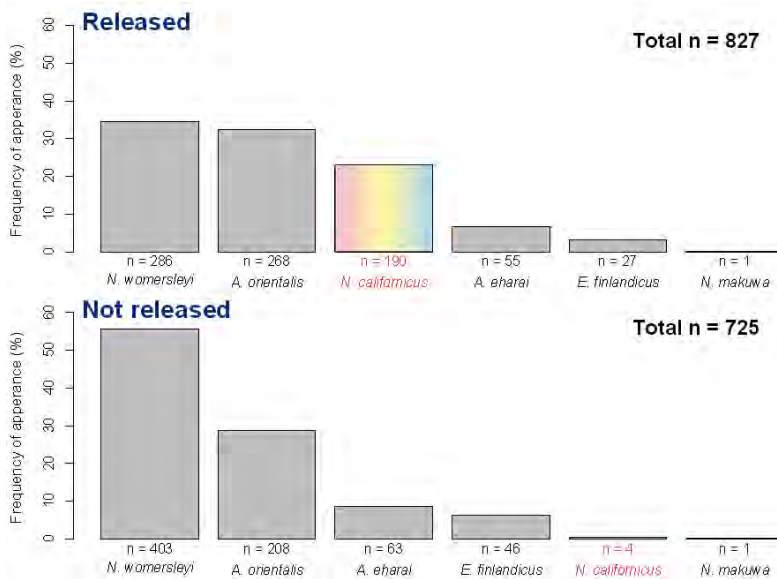


그림 51. 안동 길안 사과원에 사막이리응애 추가 방사 후 천적상의 구조

사막이리응애의 방사 결과, 포식응애 출현량의 순서는 차이가 있으나 전체적인 이리응애류 천적군의 크기는 변하지 않았다. 긴털이리응애는 사막이리응애 무방사구보다 방사구에서 많이 낮게 나타났으며 긴털이리응애와 동양이리응애의 양은 두 처리에서 모두 윌등했다. 무방사구에 비하여 방사구에서 사막이리응애의 밀도는 높게 나타났으며, 무방사구의 사막이리응애는 방사구에서 이동한 것으로 판단된다. 주목할 점은 방사구에서 긴털이리응애의 개체군 크기가 감소하는 데, 그 감소량은 방사한 사막이리응애의 개체군 크기와 비슷하다는 점이다.

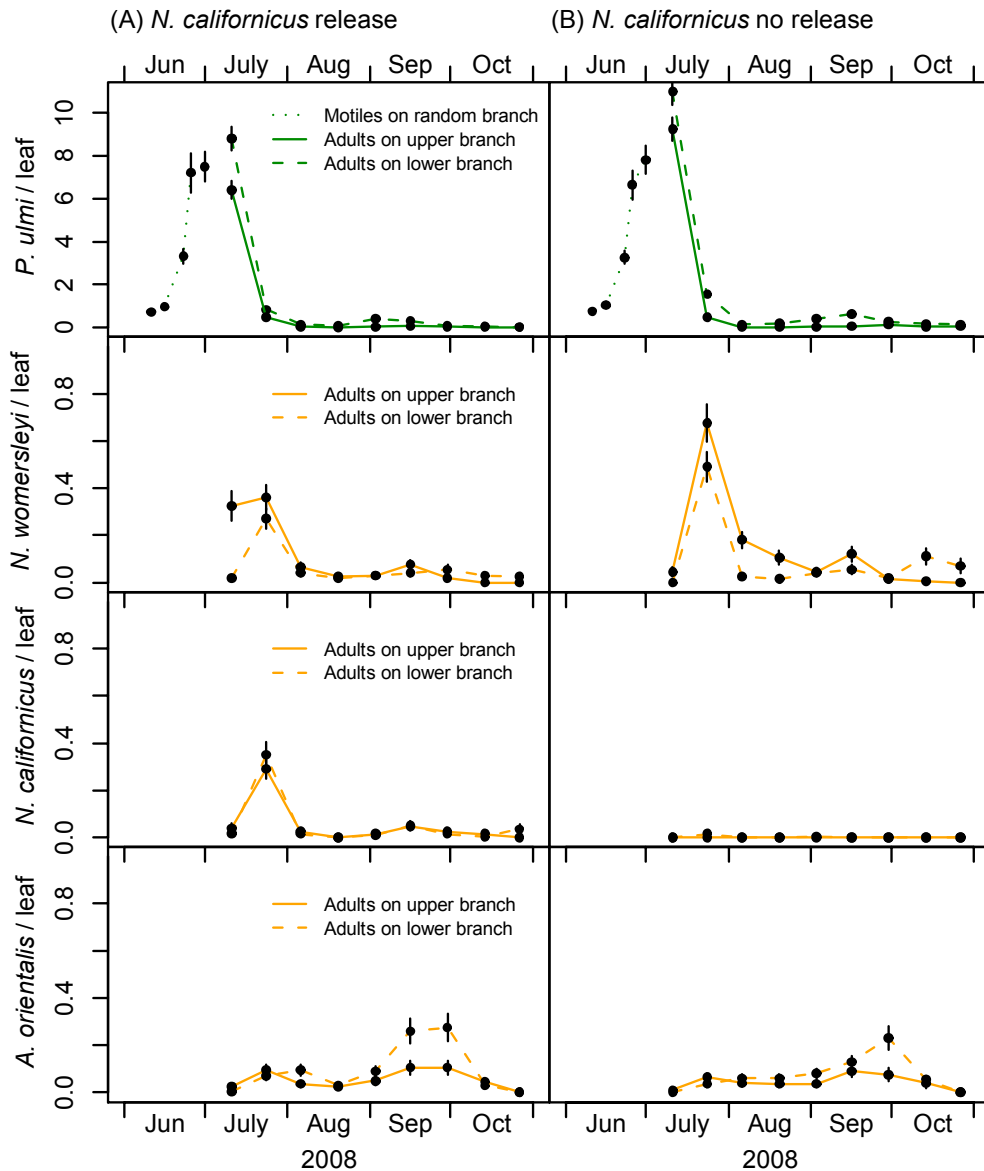


그림 52. 사과응애와 사막이리응애의 방사구와 무방사구에서 가장 많이 나타난 포식응애 그래프. 사막이리응애는 2008년 6월 19일과 7월 4일 두 번에 걸쳐 나무에 방사하였다.

사과응애의 수는 6월 초에 늘어났으며 7월 중순에는 최고치에 달했고 7월 말에 급격히 감소하였다. 긴털이리응애는 사과응애가 많은 기간에 두 처리에서 모두 발견되었다. 사막이리응애 또한 방사된 나무에서 같은 기간에 많이 발견되었다. 동양이리응애는 9월에서 10월 늦은 철에 대개 발견되었다. 7월 11일 각 잎의 사과응애 최고 밀도는 비록 위쪽 가지의 잎보다 아래쪽 가지의 잎이 높았지만 사막이리응애의 방사구와(아래쪽 가지: $8.8 (\text{mean}) \pm 0.54(\text{SE})$, 위쪽 가지: 6.4 ± 0.42)와 무방사구(낮은쪽 가지: 11.0 ± 0.64 , 위쪽 가지: 9.2 ± 0.55)(GLMM with Poisson errors,

treatment and branch direction as fixed effects, tree as a random effect, $z = 0.865$, $P = 0.387$)에서 차이는 없었다. 사과응애 밀도가 최고치에 달했을 때 포식곤충, 노린재류 (Hemiptera: Anthocoridae) 또한 많이 발견할 수 있었고 두 처리에서 모두 사과응애를 포식했다.

표 40. ANOVA를 이용한 각 잎에서 포식응애 최대치의 mite-days 누적

Source	d.f.	MS	F value	P value	
(A) For <i>Neoseiuluscalifornicus</i>					
<i>N. californicus</i> release	1	338.29	48.48	< 0.001	***
Branch direction	1	1.22	0.17	0.679	
<i>N. californicus</i> release × branch direction	1	0.07	0.01	0.918	
Residuals	36	6.98			
(B) For <i>Neoseiuluswomersleyi</i>					
<i>N. californicus</i> release	1	222.43	7.91	0.008	**
Branch direction	1	161.1	5.73	0.022	*
<i>N. californicus</i> release × branch direction	1	10.79	0.38	0.540	
Residuals	36	28.12			
(C) For <i>Amblyseiusorientalis</i>					
<i>N. californicus</i> release	1	37.93	1.74	0.195	
Branch direction	1	198.92	9.15	0.005	**
<i>N. californicus</i> release × branch direction	1	6.01	0.28	0.602	
Residuals	36	21.74			

사막이리응애의 mite-days 누적은 방사하지 않은 나무와 사막이리에 관계되지 않은 잎의 가지 쪽 보다 방사한 나무가 높게 나타났다. 비록 사막이리응애 방사는 사과나무에서 긴털이리응애의 분포에 관련이 없는 것으로 보이나 긴털이리응애의 mite-days 누적은 사막이리응애를 방사하지 않은 나무보다 방사한 나무가 낮게 나타났고 아래쪽 가지의 잎보다 위쪽 잎에서 긴털이리응애가 많이 발견되었다. 동양이리응애의 mite-days 누적은 사막이리응애의 방사에 영향을 받지 않았고 두 처리 모두 낮은 가지의 잎에서 발견되었다.

반면 2009년 안동 길안 포장에서는 동양이리응애의 밀도가 가장 높게 형성되었으며, 방사한 사막이리응애의 밀도는 방사구에서 약하게 형성되었으나 지속되지 않았다. 주요 응애류 해충은 사과응애이었으며, 사과응애의 밀도는 방사구와 무방사구에서 차이가 없었다. 포식성 응애류와 포식성 곤충류가 다양하게 발생하는 과원에서 추가적 방사의 효과를 회색시키는 결과를 보인다. 이러한 패턴은 2009년 안동대 포장에서 수행한 결과에서도 나타난다. 안동대 포장에서는 점박이응애를 인위적으로

방사한 후 밀도 변동 및 사막이리응애의 방사 효과를 평가하였다. 방사한 사막이리응애는 잘 정착하였으며, 정착된 사막이리응애는 점박이응애 밀도 억제에 어느 정도 관여는 하였으나 다른 천적류의 밀도가 높기 때문에 직접적 영향으로 간주하기는 어렵다. 과원에 추가적 방사를 통한 사과원 응애류 관리에서 신규로 친환경 관리로 방제 전략을 수정하는 과원 등, 토착 응애류 천적군 형성이 미약한 과원에서는 긍정적 효과를 기대할 수 있으나 천적군이 복잡하게 형성된 과원에서는 그 역할이 다소 미약할 수 있다.

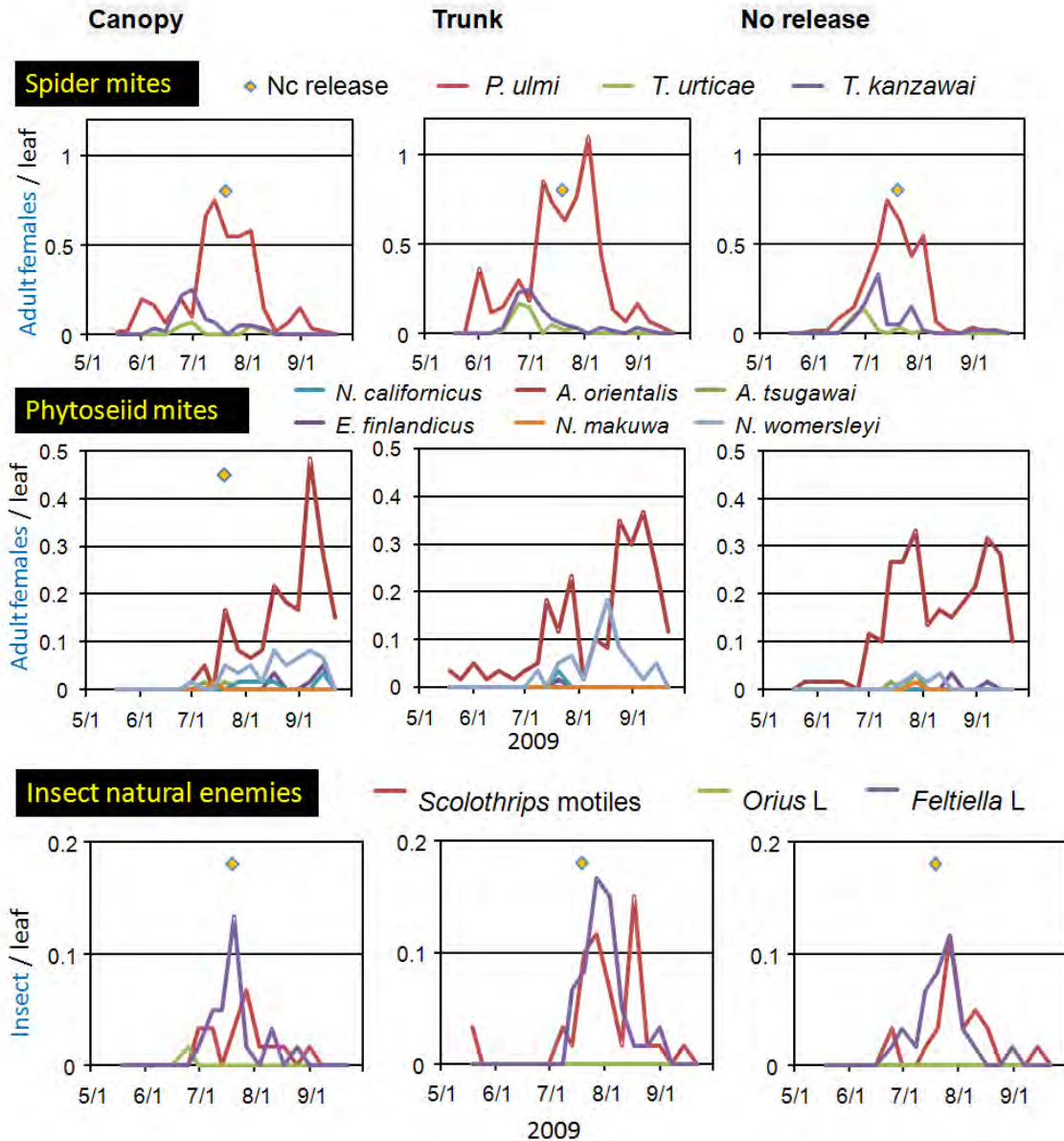


그림 53. 2009년 안동 길안 포장에서 사막이리응애 방사구와 무방사구에서 응애류, 포식성 응애류, 응애의 포식성 천적류의 발생 패턴

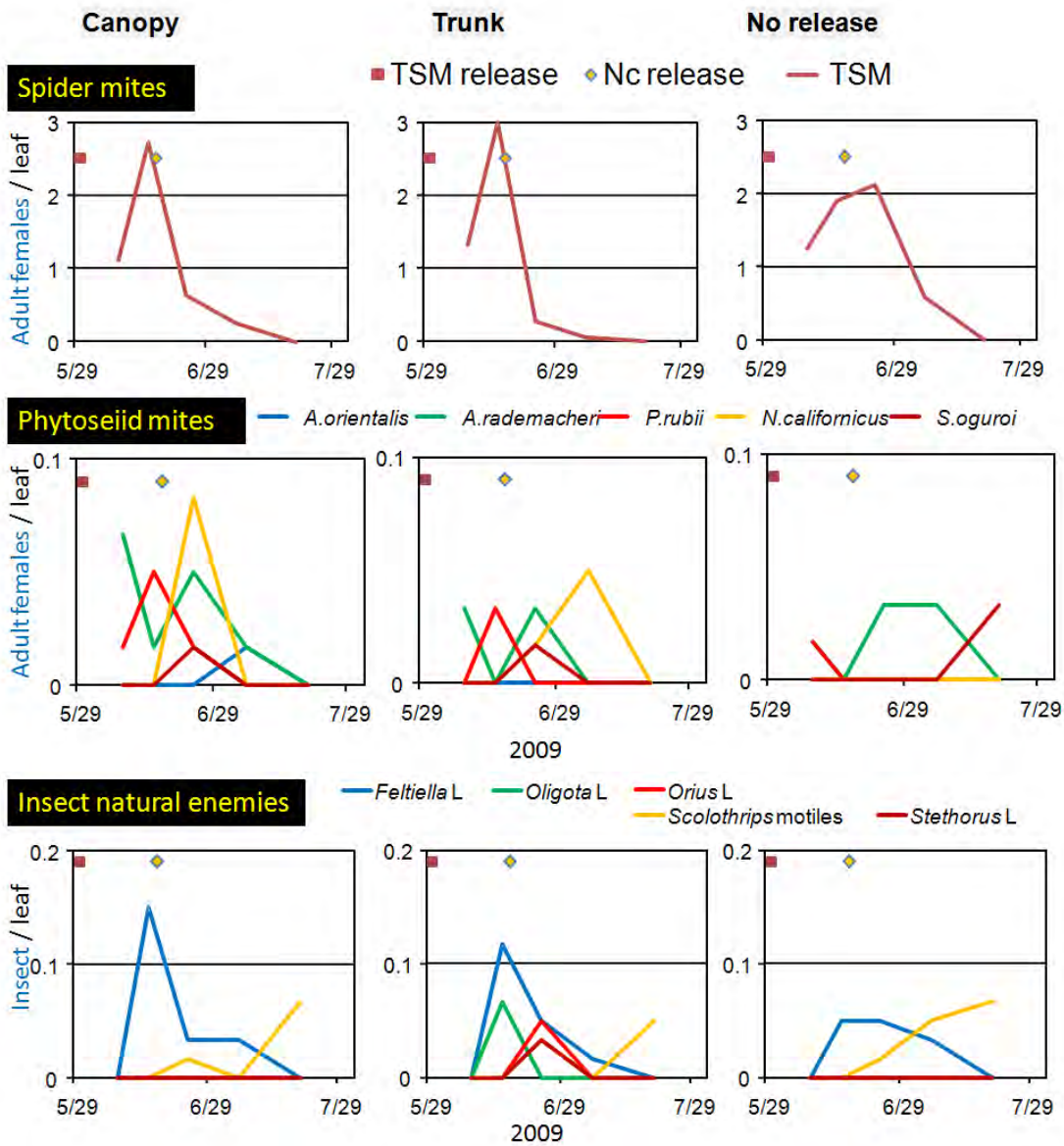


그림 54. 2009년 안동대 포장에서 점박이용애와 이리용애류, 포식성 천적류의 발생.

제 4 절 사막이리응애의 경제적 산업화

1. 사막이리응애의 대량 생산 체계 확립

사막이리응애를 생산하기 위한 기본적인 생산 공정도는 그림 55와 같으며, 전체 생산 기간은 4 주일이 소요되었다.

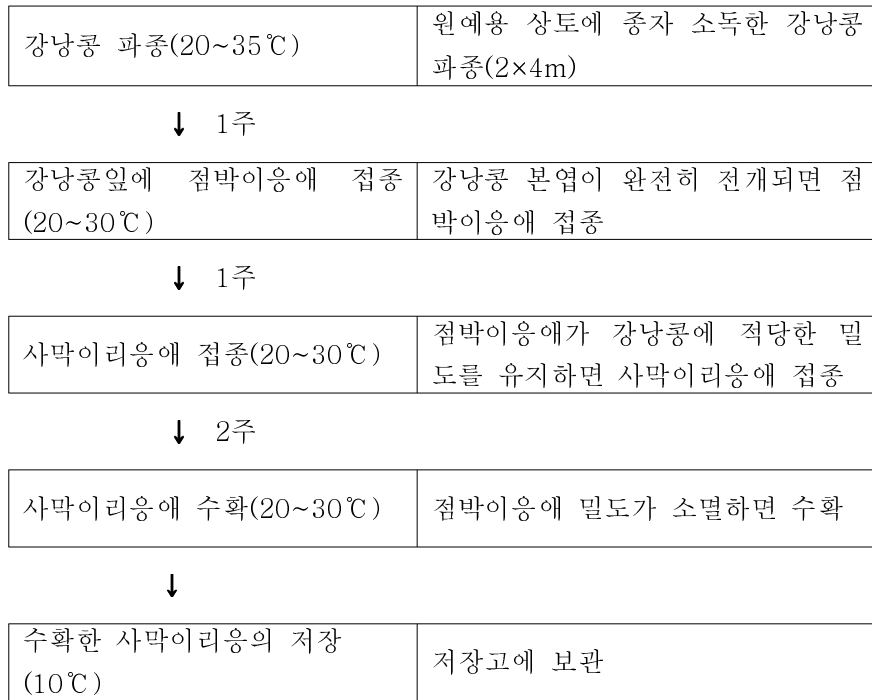


그림 55. 사막이리응애 생산 기본 공정도.

가. 생산방법별 생산성과 경제성 평가

(1) 접종 밀도별 생산량 (30℃ 항온조건)

(가) 재료 및 방법

항온 조건(30℃)의 실내에서 베드 위에 16개의 포트(직경 20cm)를 올려놓고 각각 강낭콩을 파종하였다. 2분엽이 완전히 전개(파종 후 7일)되면 점박이응애를 접종시켜 밀도를 증식시켰다. 7일 후 주당 점박이응애의 평균 마리수에 대해 사막이리응애의 초기 방사량을 결정하였다. 강낭콩 파종은 6월 7일, 점박이응애 접종은 6월 14일, 사막이리응애 접종은 6월 21일에 실시하였다. 점박이응애 접종 일주일 후 5:1, 10:1, 20:1(점박이응애 : 사막이리응애) 비율로 사막이리응애를 방사하고, 사막이리응애의 밀도를 2-3일 간격으로 수확직전 까지 1포기씩 전수조사 하였다.

(나) 결과

실내 항온 조건(30℃)에서 사막이리응애와 점박이응애의 개체군 밀도 변동은 그림 56, 57,

58과 같다.

- ① 점박이용애와 사막이리응애의 비율을 5:1로 접종하였을 경우(그림 56)
포기당 10마리의 점박이용애를 접종하고 7일 경과 후 포기당 4마리의 사막이리응애를 접종하였다. 사막이리응애를 접종한지 11일 경과 후 포기당 평균 8.8배(35마리), 수확직전(16일 후)에는 포기당 평균 26배(104마리)로 증가하였다.
- ② 점박이용애와 사막이리응애의 비율을 10:1로 접종하였을 경우(그림 57)
포기당 20마리의 점박이용애를 접종하여 7일 경과 후 포기당 4마리의 사막이리응애를 접종하였다. 사막이리응애를 접종한지 11일 경과 후 포기당 평균 13배(52마리), 수확 직전(16일 후)에는 포기당 평균 31.5배(126마리)로 증가하였다.
- ③ 점박이용애와 사막이리응애의 비율을 20:1로 접종하였을 경우(그림 58)
포기당 40마리의 점박이용애를 접종하여 7일 경과 후 포기당 3마리의 사막이리응애를 접종하였다. 사막이리응애를 접종한지 11일 경과 후 포기당 평균 18배(54마리), 수확 직전(16일 후)에는 포기당 평균 38.3배(115마리)로 증가하였다.

이상의 결과는 1차년도 변온조건(비닐하우스 : 온도 20-37℃, 습도 61-92%)의 밀도별 실험에서 5:1로 접종하였을 때 3.7배로 증가, 10:1접종하였을 때 5.5배 증가, 20:1 접종하였을 때 4.8배 증가하였던 것보다 월등히 높았다. 1년차 변온 조건의 실내실험(실내사육: 온도 14-25℃, 습도 63-77%, 접종비율 15:1)에서도 사막이리응애를 4마리 접종한 후 17일 후 수확할 때 포기당 8배(36마리)로 증가한 것 보다 월등히 높았다.

따라서 항온조건(실내사육: 온도 30±2℃, 습도 63-77%)이 변온조건보다 더 많은 양을 수확하였다.

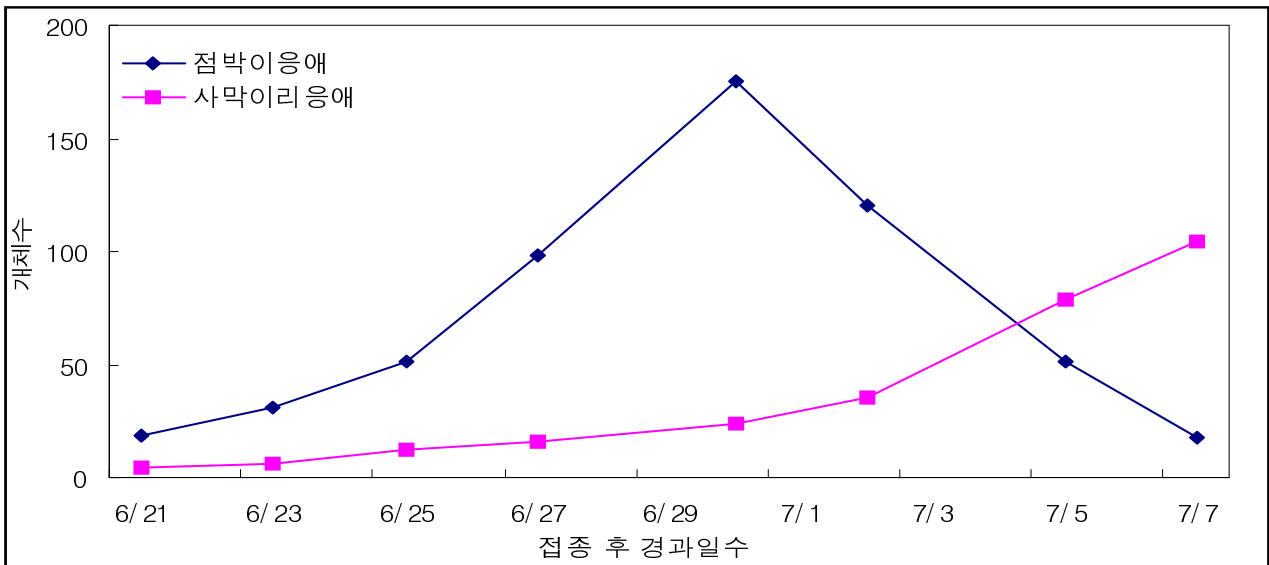


그림 56. 점박이용애와 사막이리응애(5:1)의 경시적 밀도 변동 (온도: 30±2℃, 습도: 63-77% 조명: 16:8).

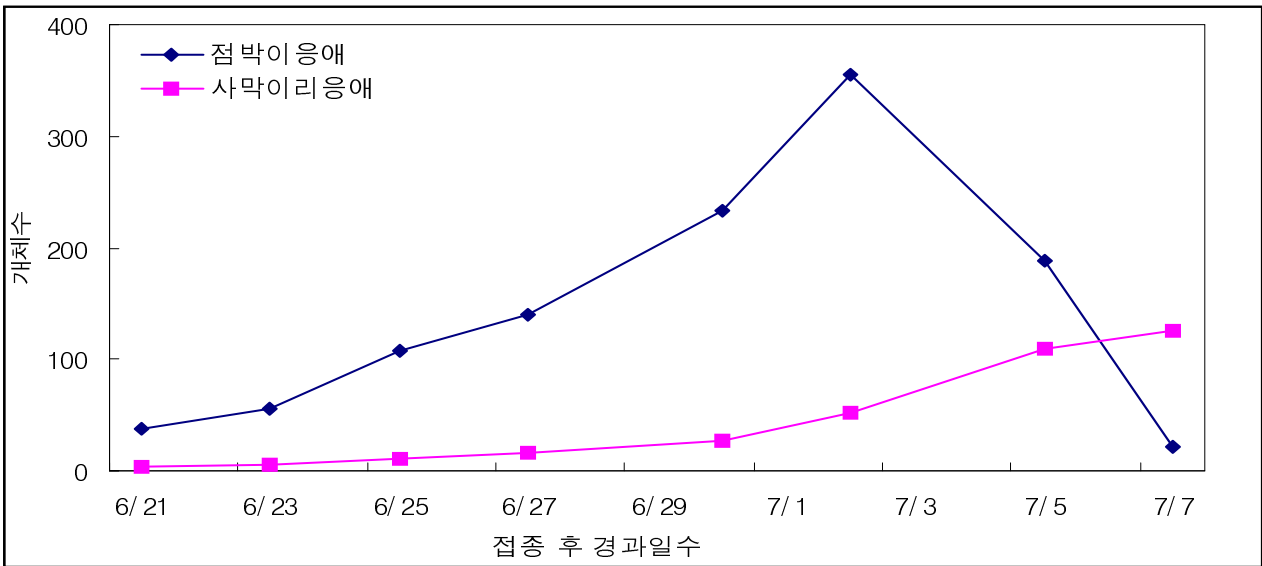


그림 57. 점박이응애와 사막이리응애(10:1)의 경시적 밀도 변동 (온도: $30\pm 2^{\circ}\text{C}$, 습도: 63~77% 조명: 16:8).

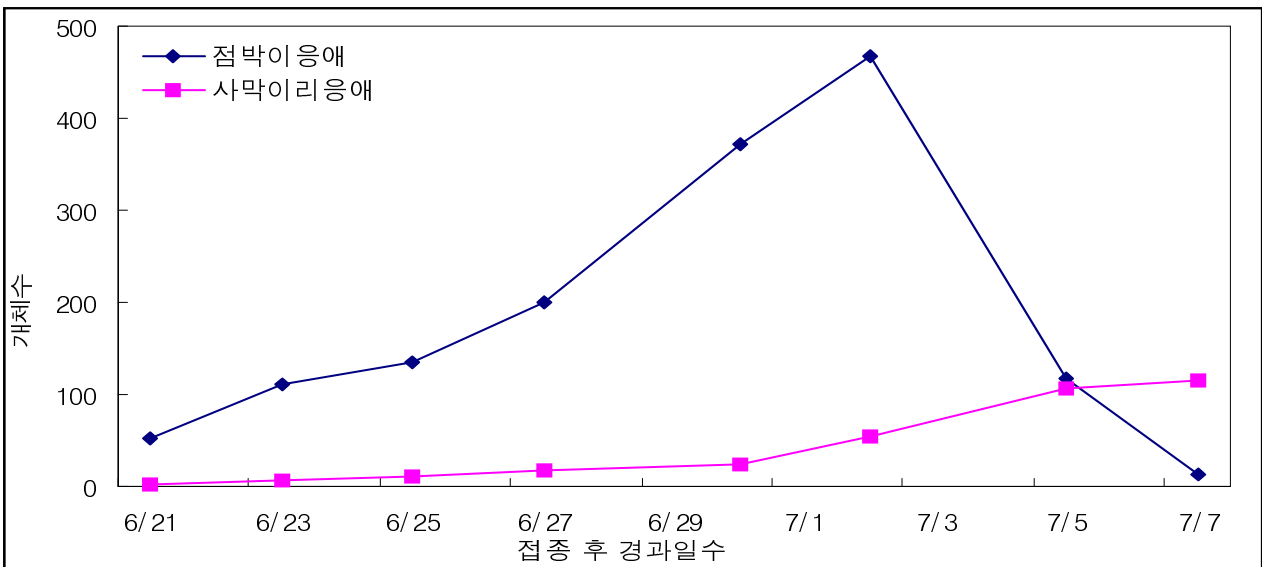


그림 58. 점박이응애와 사막이리응애(20:1)의 경시적 밀도 변동(온도: $30\pm 2^{\circ}\text{C}$, 습도: 63~77% 조명: 16:8).

(2) 단위 생산 규모별 생산성

(가) 재료 및 방법

비닐하우스 변온 조건에서 엽당 점박이응애의 평균 마리수에 대해 사막이리응애를 10:1로 접종하였다. 면적별(1×1, 1×4, 2×4m)로 강낭콩을 파종하여 재배한 후 점박이응애를 접종하여 밀도를 증가시킨 후 사막이리응애를 접종하여, 밀도를 2-3일 간격으로 수확직전까지 조사하였다. 강낭콩 파종은 7월 7일, 점박이응애 접종은 7월 14일, 사막이리응애 접종은 7월 21일에 실

시하였다.

(나) 결과

비닐하우스 변온 조건에서 면적별(1×1, 1×4, 2×4m)로 강낭콩을 재배한 후 사막이리응애와 점박이응애의 개체군 밀도 변동은 그림 59, 60, 61과 같다.

① 단위 생산 규모가 1×1m일 경우(그림 59)

점박이응애 접종 7일 경과 후 포기당 점박이응애가 92마리일 때 8마리의 사막이리응애를 접종하였다. 사막이리응애는 수확직전(10일)에 포기당 9.75배(78마리)로 증가하였다.

② 단위 생산 규모가 1×4m일 경우(그림 60)

점박이응애 접종 7일 경과 후 포기당 점박이응애 100마리일 때 12마리의 사막이리응애를 접종하였다. 사막이리응애는 수확직전(10일)에 포기당 8.50배(102마리)로 증가하였다.

③ 단위 생산 규모가 2×4m일 경우(그림 61)

점박이응애 접종 7일 경과 후 포기당 점박이응애 112마리일 때 12마리의 사막이리응애를 접종하였다. 사막이리응애는 수확직전(11일)에 포기당 6.25배(63마리)로 증가하였다.

이상의 결과를 볼 때 작은 면적이 큰 면적보다 더 높은 밀도를 나타내므로, 생산 효율이 높은 생산 면적율은 1×1m였다.

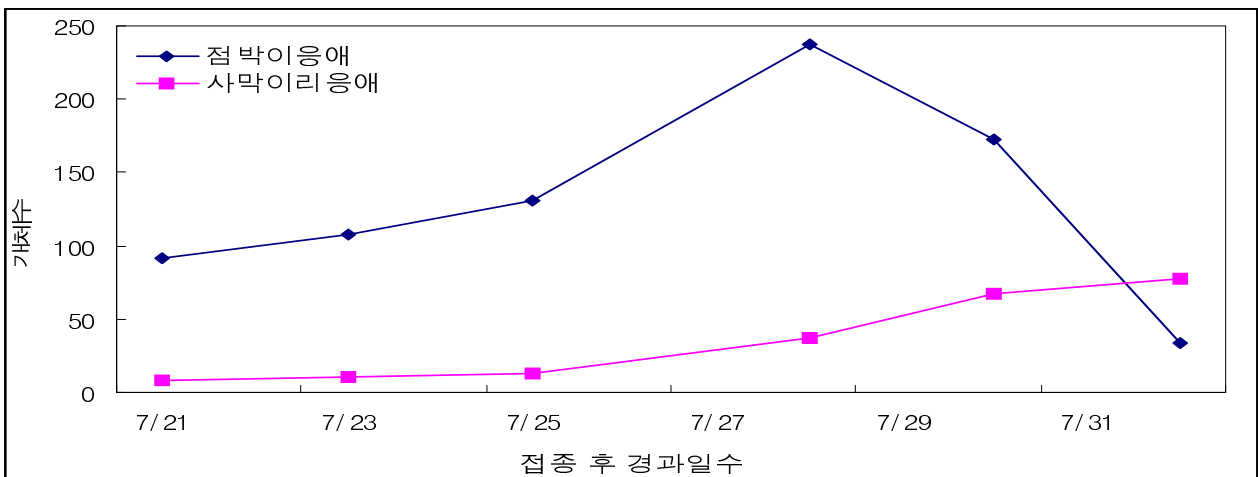


그림 59. 면적이 1×1m에서 점박이응애와 사막이리응애의 경시적 밀도 변동 (온도: 21-35℃, 습도: 61-92%).

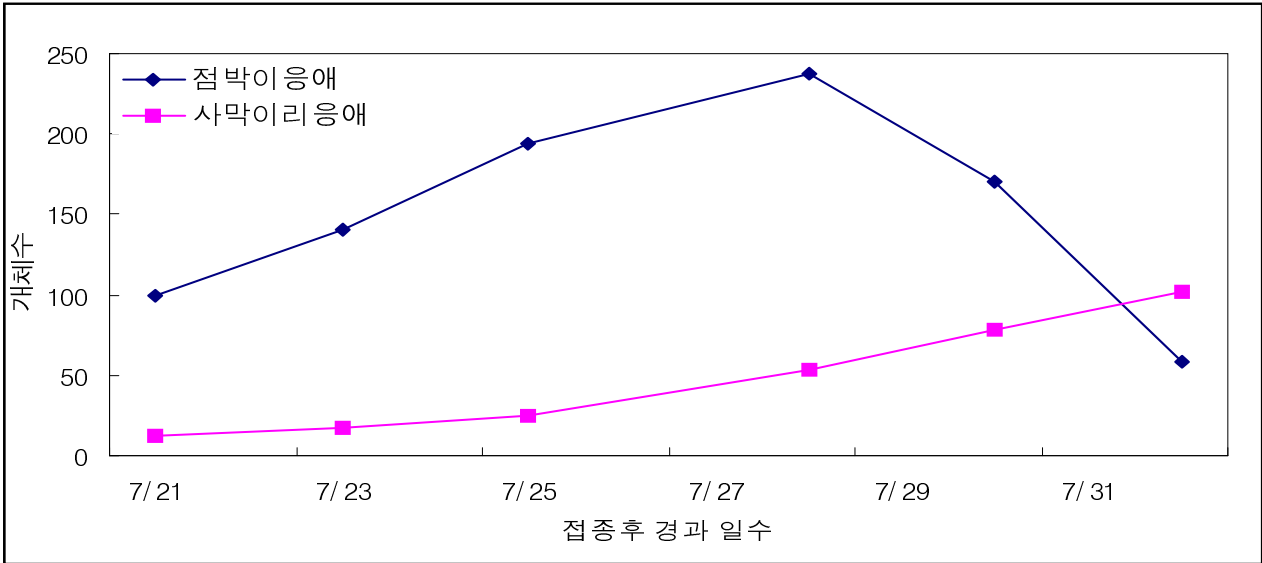


그림 60. 면적이 1×4m에서 점박이응애와 사막이리응애의 경시적 밀도 변동 (온도: 21-35℃, 습도: 61-92%).

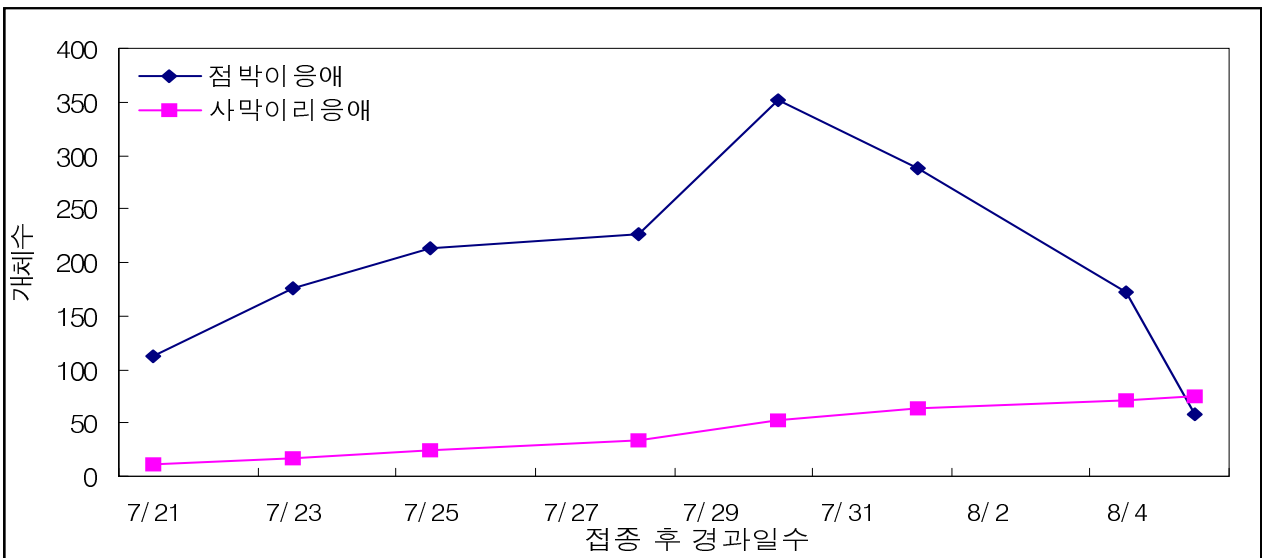


그림 61. 면적이 2×4m에서 점박이응애와 사막이리응애의 경시적 밀도 변동 (온도: 21-35℃, 습도: 61-92%).

(3) 다단식 트레이를 이용한 대량 사육

(가) 재료 및 방법

온도가 14-32℃인 비닐 하우스에서 자연광을 이용하여 강낭콩을 재배하였다. 비닐하우스(온도 14-37℃, 습도 61-92%) 내에 다단식 사육대(180×40×180cm)를 설치하고, 40×40×10cm 크기의

트레이에 콩 25포기를 파종하였다(그림 62). 실내 사육실(온도는 18-27℃)에서는 인공광을 보충하여 재배하였다. 2분엽이 완전히 전개된 후 점박이용애를 접종하였고, 점박이용애의 밀도가 정착된 후 20:1 비율로 사막이리용애를 접종하여 밀도를 조사하였다.



그림 62. 다단식 사육대에 사막이리용애 사육 장면

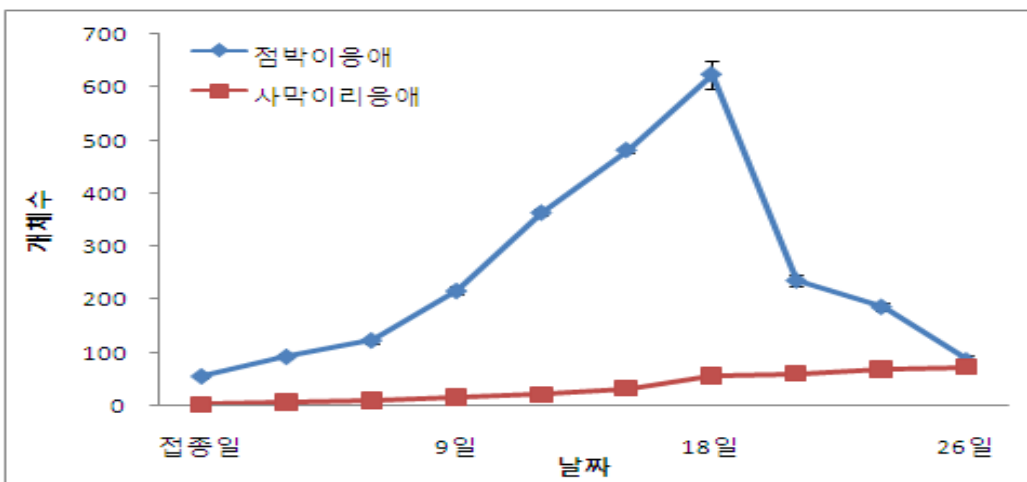


그림 63. 비닐 하우스 내 다단식 사육대에서 사육한 사막이리용애의 경시적 증식율(온도 14-37℃, 습도 61-92%).

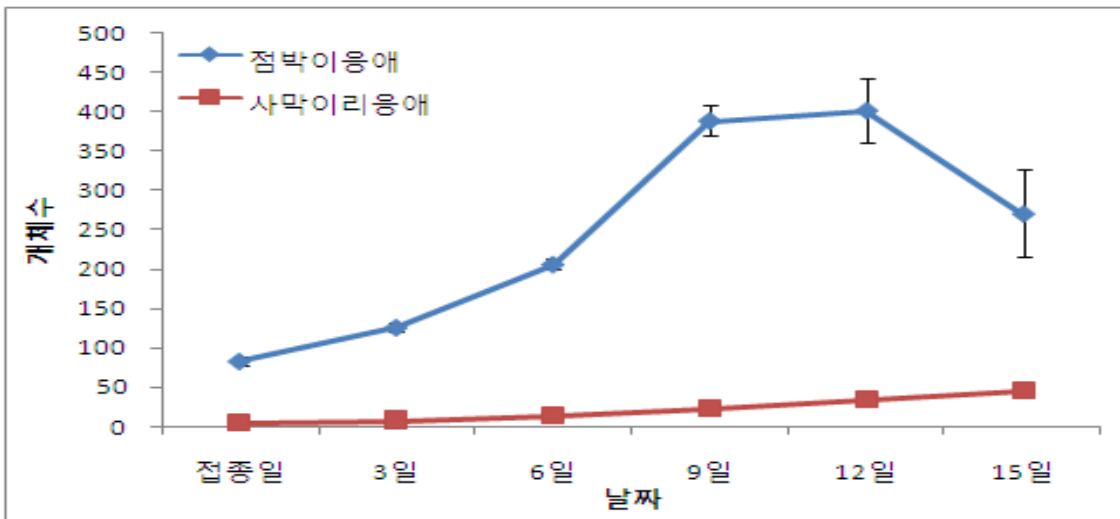


그림 64. 실내 사육실내 다단식 사육대에서 사육한 사막이용애의 경시적 증식율(온도 18-27℃, 습도 63-77%).

(나) 결과

실외 변온 조건(비닐하우스)에서 다단식 사육대를 이용한 사육에서는 사막이용애를 사육하여 수확하는 기간이 26일이 소요되었다(그림 63). 1년차 실외 변온 조건(비닐하우스: 온도 20-37℃, 습도 61-92%)에서 20:1로 접종하였을 때 수확(16일 후)한 결과인 4.8배 보다 2배 정도 높은 9.2배를 나타냈다. 실내 사육실에서 사육한 경우 사육기간이 15일이 소요되었다(그림 64). 실내 사육실(온도 18-27℃, 습도 63-77%)에서 다단식 사육대를 이용한 실험에서는 접종 12일 후 7배, 수확직전(15일) 9.2배로 증가하였다. 1년차 실내 변온 조건(실내 사육실 14-25℃, 습도 63-77%, 접종 비율 15:1)에서는 사막이용애를 4마리 접종한 17일 후 수확할 때 포기당 8배(36마리)로 증가하였었다. 이번 실험에는 1년차 실내 변온 조건의 실험결과보다 높은 9.2배로 조금 높게 증가하였다. 다단식의 사육대를 이용할 경우 생산량을 높을 수 있으나 과중하는데 불편함이 있었다. 강낭콩이 커감에 따라 콩의 줄기가 서로 엉키지 않도록 해야 하고, 수확과정과 물을 주는 과정에서 많은 노동력이 들어감으로 비효율적이었다.

(4) 수확 방법 개발

(가) 재료 및 방법

강낭콩에 있는 사막이용애 개체수(n=500)를 확인한 후 수확대를 이용한 수확과 물이 든 비이커에 사막이용애가 붙은 강낭콩잎을 흔들어 씻어 분리시킨 후 물속의 사막이용애는 40mesh와 60mesh체를 이용하여 2단으로 걸러 수확한 후 개체수를 비교 조사하였다(5반복).

(나) 결과

수확방법에 따른 수확량의 차이를 500마리 기준으로 5반복하여 조사한 결과(표 41), 수확망을 이용하였을 경우에는 95%를 수확할 수 있었고, 물을 이용하여 수확하였을 때는 48%를 수확하였으므로, 수확망을 이용한 경우가 물을 이용한 경우보다 2배 이상 수확할 수 있었

다.

표 41. 수확 방법별 수확량

구분	수확량 이용	물을 이용한 수확
수확량(마리)	475±12.2	242.2±38.5

※ 실험 개체수는 500마리.

(5) 생산체계에 대한 경제성 평가

사막이리응애의 생산원가 비교는 표 42와 같다. 1차 년도는 생산방법과 수확 방법의 연구 결과로서 기존 생산원가에서 보다 10% 정도 낮아진 29%(7,262원/25,000원)였다. 2차 년도는 햇빛이 잘 들도록 생산 시설을 개선하고 이동거리를 단축시켜 작업효율을 높였으며, 결과적으로 인건비를 줄여서 생산원가를 24%(5,917원/25,000원) 이하로 낮추었다. 3차 년도는 생산판매량은 2차 년도와 비슷한 수준이었으며, 강낭콩과 포장병의 가격 상승으로 생산원가(5,958원/25,000원)가 조금 높아졌다. 영업이 원활히 이루어져 판매만 잘 되면, 생산 증가분에 대한 추가 경비가 많이 들어가지 않으므로, 생산원가는 20% 이하가 될 것이다.

표 42. 사막이리응애의 생산원가 비교

항 목	기존		2007년		2008년		2009년	
	가격(원)	비율(%)	가격(원)	비율(%)	가격(원)	비율(%)	가격(원)	비율(%)
강낭콩	83.3	0.33	83.3	0.33	50.3	0.20	50.5	0.20
상토 및 파종 재료	563.3	2.25	488.3	1.95	447.1	1.79	447.1	1.79
제품 포장 비 용	1,956.7	7.87	1,956.7	7.83	1,986.7	7.95	1,996.7	7.99
기타 재료비	1,233.3	4.87	1,233.3	4.93	1,233.3	4.93	1,263.5	5.05
인건비	6,166.7	24.67	3,500.0	14.00	2,200.0	8.80	2,200.0	8.80
계	10,003.3	40.01	7,261.6	29.04	5,917.4	23.66	5,957.8	23.83

나. 저장 및 운반체계 확립

(1) 저장

(가) 재료 및 방법

사육실에서 사육중인 개체를 톱밥에는 7,800마리를, 질석에는 6,800마리를 넣어서 10℃ 저장고에 보관하였다. 3일 간격으로 3반복 조사하였다.

(나) 결과

툽밥과 질석을 이용한 사막이리응애의 저장실험에서는 4일차까지는 툽밥과 질석에 보관한 사막이리응애의 생존율이 80% 이상이였으나, 6일차부터는 각 55%와 69%의 생존율을 나타내었고, 10일차에는 26%와 35%, 14일차에는 0%와 14%의 생존율을 나타내었다. 툽밥보다 질석을 이용한 경우가 생존율이 높은 것으로 나타났다(그림 65).

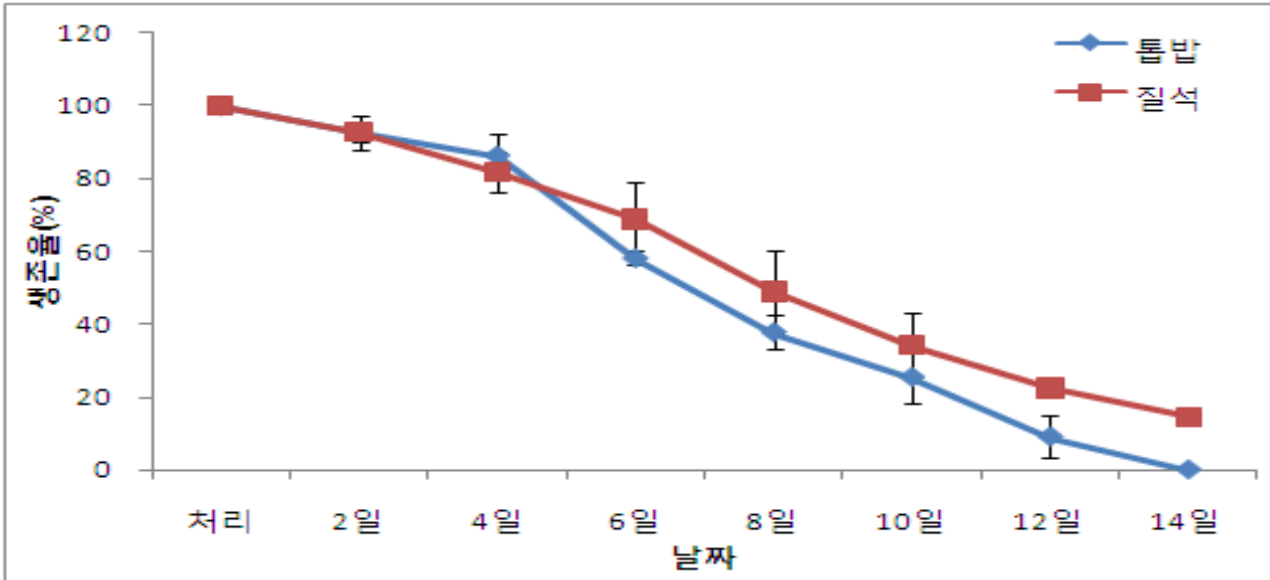


그림 65. 툽밥과 질석을 이용한 사막이리응애 저장 실험 시 생존율(%)

(2) 운송

(가) 재료 및 방법

제품으로 출하할 사막이리응애의 병을 임의로 선별하였다. 제품병을 아이스박스에 포장하여 차량에 실은 후, 운송 시간별(1, 2, 3일)로 내부의 온도를 조사하며, 사막이리응애의 생존율을 조사하였다.

(나) 결과

외부 온도와 아이스박스의 속에 온도 차이는 5-10℃ 정도 차이가 났고, 아이스팩의 효과는 24시간 정도 영향이 있었다(그림 66). 24시간 경과 후부터 아이스 박스 속의 사막이리응애의 생존율은 무처리의 경우에는 93%, 아이스팩 1개의 경우 93.5%, 아이스팩 2개의 경우 100%의 생존율을 나타내었다(그림 67). 48시간 후에는 83%, 73%, 87.9%를 나타내었고, 72시간 후에는 76.5%, 67.0%, 78.5%, 96시간 후에는 54.2%, 57.0%, 67.7%이 생존율을 나타내었다. 평균 48시간 이내 택배가 운송되므로 아이스팩을 2개 넣으면 천적의 손실이 거의 없이 유통이 가능하였다.

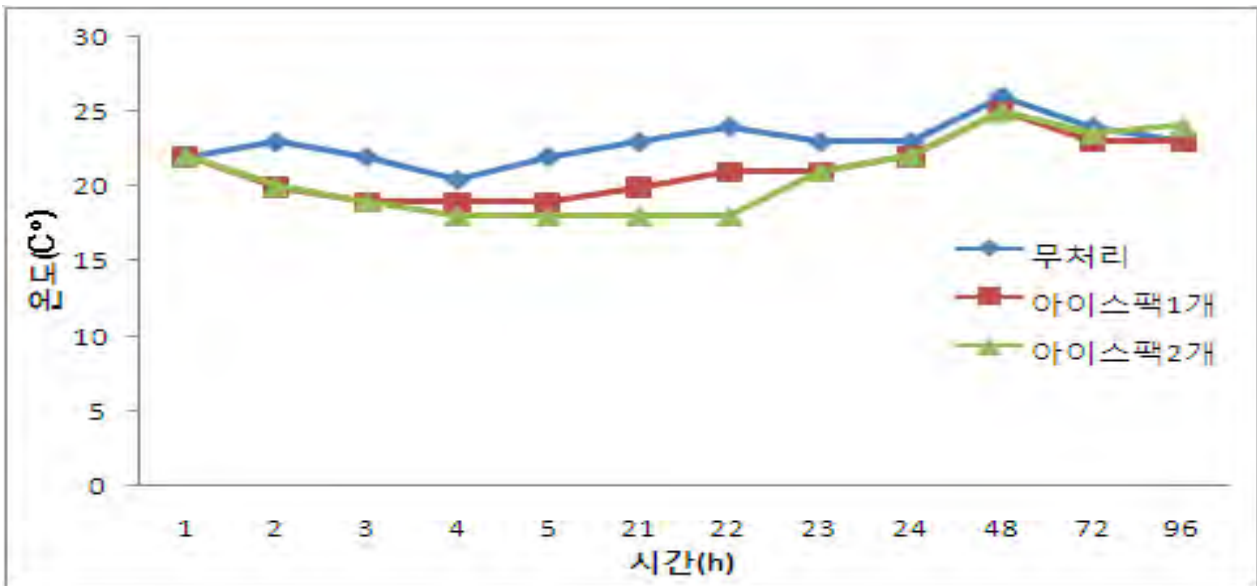


그림 66. 아이스박스 내의 시간별 온도 변화.

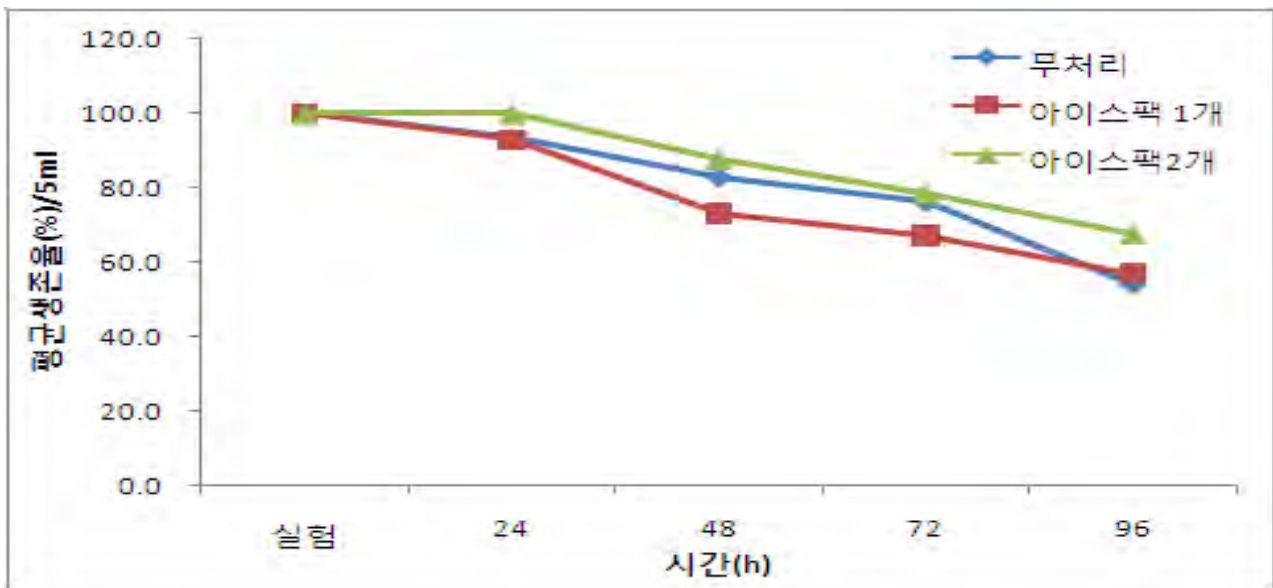


그림 67. 아이스박스에서 시간별 생존율 변화

(3) 저장 중 공급 먹이별(점박이용애) 생존율 조사

(가) 재료 및 방법

저장고에 보관중인 사막이리응애에 점박이용애를 공급한 것과 공급하지 않는 것의 생존율을 조사하였고, 점박이용애 공급은 사막이리응애 개체수와 동일한 수로 공급한 것과 점박이용애를 2배로 공급한 것으로 구분하여 실험하였다. 저장고의 온도는 평균 $10 \pm 2^\circ\text{C}$ 였다.

(나) 결과

저장 중인 사막이리응애에 먹이로 점박이용애를 공급하였을 때 저장 7일후까지는 밀도의 차

이가 적었으나, 7일 이후부터는 점박이용애 공급 밀도별로 생존율의 차이가 있었다(그림 68). 8 일까지는 모두 80% 이상이 생존하였고, 14일째에는 먹이를 넣어 주지 않은 처리에서는 36.2%, 먹이를 1:1 비율로 넣어준 처리에는 68.2%, 먹이를 2:1 비율로 넣어준 처리에는 70.8%가 생존 하였다. 18일 이후에는 먹이를 넣어주지 않은 처리에서는 모두 사망하였고, 반면 먹이를 공급 한 처리에서는 1달 이후에도 계속 생존하였다.

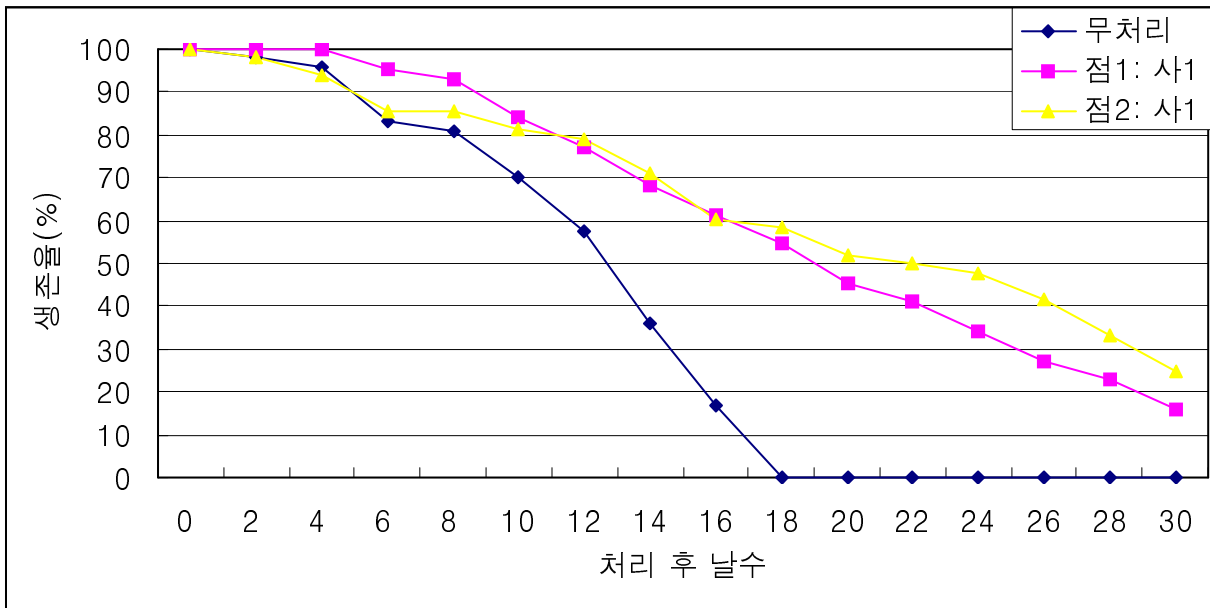


그림 68. 저장중인 사막이리응애에 점박이용애를 비율로 공급한 후 생존율 변화.

다. 제품 포장

(1) 방사 방법별 응애 유무조사

(가) 재료 및 방법

사육실에서 사육중인 사막이리응애 400마리를 각각 병 제품(400마리/병) 1개와 티백형 (20마리/tea bag)제품으로 20개 포장하여 사과나무(M9, 7년생) 10주에 나누어 방사하였다. 7일후와 14일후 나무 당 100엽씩 3반복으로 밀도를 조사하였다.

(나) 결과

병제품 방사는 7일후 100엽에서 0.7마리를 확인하였는데, 티백제품 방사에서는 5.3마리를 확인 하였다. 14일 후에도 병제품의 경우보다 티백으로 포장한 경우가 사막이리응애를 확인하는 것이 더 용이 했다(표 43).

표 43. 병제품과 티백형 제품을 이용한 방사실험

	병(400마리/병)	티백(20마리/티백)
7일 후	0.7±0.6	5.3±1.5
14일 후	0.3±0.6	2.3±0.6

(2) 방사 방법(티백, tea bag)에 따른 효율 조사

(가) 재료 및 방법

사육중인 사막이리응애를 티백형으로 포장하여 실험하였다. 133마리/티백와 333마리/티백을 3 반복으로 실험하였다. 제품 병을 이용하는 대신 티백형을 이용하여 사막이리응애를 방사하고 (그림 69), 나무에서 조사된 사막이리응애의 수와 티백 속에 남아있는 사막이리응애의 생존율 및 사망율을 조사하였다.



그림 69. 티백형 포장을 이용한 사막이리응애 방사실험.

(나) 결과

티백형 포장을 이용한 사막이리응애의 방사실험에서 완충재 안에 들어있는 사막이리응애는 제품 포장 중에 눌러져서 10%정도 사망하였다. 7일 후에는 2처리 모두 90% 이상이 티백에서 나왔고, 14일 이후에는 2처리 모두 99% 이상이 티백에서 나왔다(표 44).

표 44. 티백형 제품을 이용하여 사과원내 사막이리응애를 방사한 후 남아있는 밀도

	사막이리응애 (133마리/티백)	사막이리응애 (333마리/티백)
7일 후	7.7±0.6	9.3±2.3
14일 후	0.0±0.0	0.3±0.6

(3) 티백형을 이용한 사육실내 사막이리응애 방사실험

(가) 재료 및 방법

티백형 포장을 이용하여 사육실내(25±2℃)에서 사막이리응애의 방사실험을 하였다. 처리는 티백당 20, 40, 60마리씩 처리당 3반복하였다. 방사 후 1일, 2일, 3일 째에 티백을 찢어 남아있는 사막이리응애의 수를 조사하였다.

(나) 결과

티백을 이용한 실험실내 실험에서 대부분의 사막이리응애는 1일 안에 다 나왔으며, 1-2마리는 3일째 모두 나왔다(표 45).

표 45. 티백형 제품을 이용하여 실험실내 사막이리응애를 방사한 후 남아있는 밀도

	사막이리응애 (20마리/티백)	사막이리응애 (40마리/티백)	사막이리응애 (60마리/티백)
1일 후	0.7±1.2	1.0±0.0	5.0±7.8
2일 후	0.3±0.6	0.3±0.6	0.3±0.6
3일 후	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0

2. IOBC 기준에 부합하는 품질 관리 요소 평가

가. 규격 수량 조사

(1) 재료 및 방법

IOBC 기준에 따라 제품 병속의 사막이리응애 수를 조사하였다. 사막이리응애 2,000마리가 들어있는 제품병을 잘 섞은 후 스푼을 이용하여 2g을 꺼내고, 체(315µm, 90µm)를 겹쳐 사막이리응애를 완충재와 분리가 되도록 찬물로 씻었다. 이때 사막이리응애가 부서지지 않도록 조심하였다. 완충재는 윗체에 사막이리응애는 아래체에 분리된다. 따뜻한 물을 담아 아래쪽 체에 붙은 사막이리응애를 균일하게 편 후, 살짝 건조시킨 후 개체수를 확인하였다. 실험은 월별 3반복으로 실시하였다.

(2) 결과

사막이리응애 2000마리를 넣은 제품에 사막이리응애의 수는 모두 제품에 부합되는 기준을 초과하여 평균 2,079.5마리로 조사되었다 (표 46).

표 46. 하나의 포장된 제품속에 있는 사막이리응애 개체수

조사시기	사막이리응애 평균 개체수 (2g)	제품의 무게 (g)	사막이리응애 환산한 개체수 (평균 개체수×평균 제품 무게)
5월	22.7±2.1	184.5±0.8	2091.3
6월	23.0±2.6	180.9±1.2	2080.4
7월	23.3±1.5	181.8±0.9	2120.5
8월	22.0±1.0	184.3±0.8	2027.7
9월	23.3±1.5	178.1±1.3	2077.7
평균	22.9±1.8	182.0±1.0	2,079.5

나. 사막이리응애의 산란수와 산란한 암컷 수명 조사

(1) 재료 및 방법

사막이리응애 2,000마리가 들어있는 제품에서 암컷 30마리를 무작위로 선발하여 페트리디시 (직경 5cm)에 5반복 실험하였다. 접박이응애의 약충과 성충이 10-15마리씩 움직이고 있는 강낭콩 잎을 직경 2.7cm로 잘라 2% 한천 배지 위에 올렸다(그림 70). 한 개의 페트리디시(직경 5cm)에 사막이리응애를 1마리씩 접종한 후 5일간 산란량을 조사하였다. 이때 페트리디시를 뒤집어 놓아야 습기가 생겨 응애가 물에 빠져 죽는 것을 방지 할 수 있었다. 총 실험기간 중 48

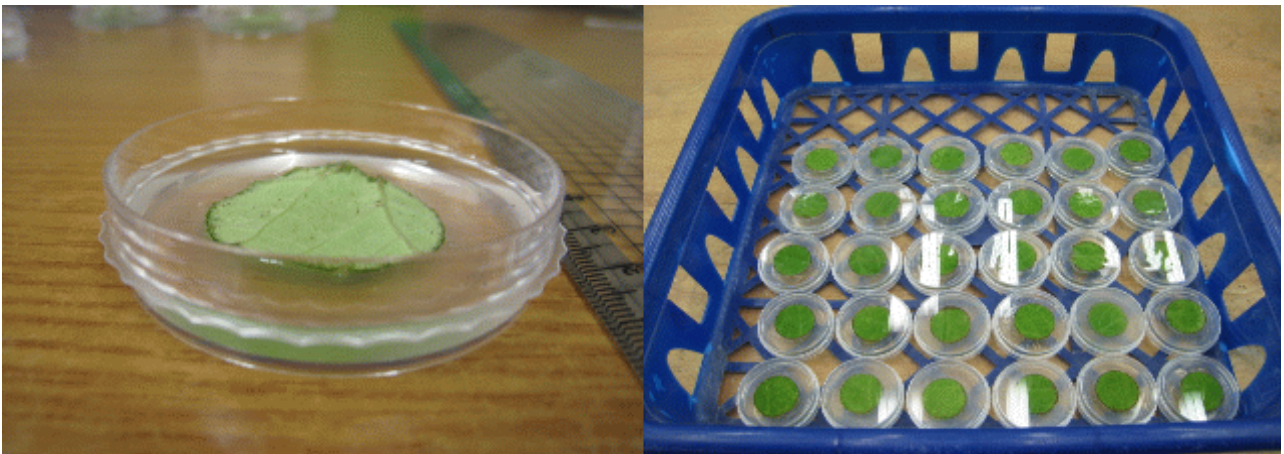


그림 70. 제품으로 포장된 암컷의 산란수 및 수명 실험

시간 후에 점박이용애가 접종된 새 강낭콩잎에 암컷 성충을 옮겨 나머지 72시간 동안의 산란수를 조사하였다. 2일 동안 산란된 난수와 약충 수, 나머지 3일 동안 산란된 난수와 약충 수를 더하여 산란총수로 하였다(Steiberg 와 Dale, 2004). 실험한 암컷 성충 중 5일 동안 산란도 하며 살아남은 개체에 대한 생존율도 조사하였다.

(2) 결과

암컷의 5일간 산란수의 합계는 IOBC의 기준인 7개보다 많은 13.6개로 조사되었다. 이는 기준치에 약 2배 정도 산란하는 것을 알 수 있었다(표 47). 5일간 산란한 암컷의 생존수는 27±1.3마리로, IOBC의 기준인 80%보다 높은 90.7%로 조사되었다 (그림 71).

표 47. 사막이리용애 5일간 산란수 (n=30마리)

구분		산란수	IOBC 기준
일 수	2일차	6.4±0.4	-
	3일차	7.2±1.3	-
평균(총수)	5일차	13.6±1.4	7

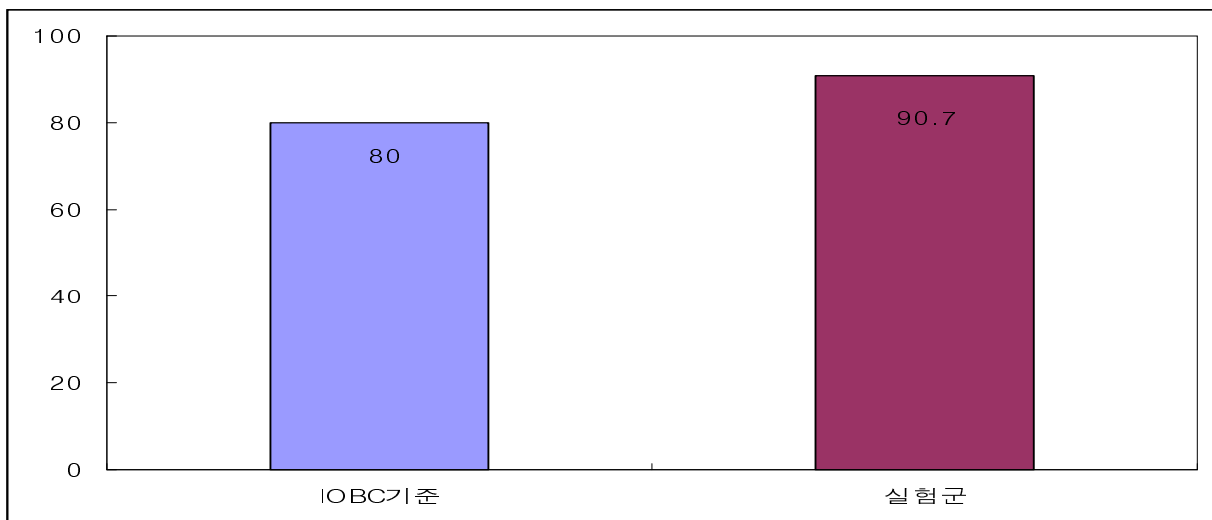


그림 71. 제품으로 포장된 사막이리용애 암컷의 5일간 생존율(%)

다. 성비 조사

(1) 재료 및 방법

제품 전체에서 표본을 추출하여 암컷의 성비를 조사하였다. 사막이리용애를 제품이 출하되기 전에 선발하여 시기별로 100마리씩 5회 샘플링 하였다. 70% 알콜에 담아두었다가 슬라이드 표본을 제작하여 건조시킨 후 현미경 상에서 생식기를 확인하여 암수를 조사하였다. 암컷의 경우 배면의 3번과 4번 다리 사이에 저장낭을 확인하였고, 저장낭이 보이지 않을 경우 가동지를

확인하여 수컷으로 판단하였다.

(2) 결과

암컷 성비에 조사에서는 IOBC 기준인 60.0%보다 더 높은 95.0%였다(표 48).

표 48. 사막이리응애 100마리당 암컷과 수컷의 비율

	암컷	수컷	미동정
개체수	95.0±2.0	4.7 ±2.1	0.3±0.6

라. 상표등록 및 디자인 특허

상표등록은 상표명을 네칼(Ne-cal)로 하여, 출원일자가 2009년 1월 20일이며, 출원번호는 40-2009-0002806이었다. 사막이리응애 분기용기 디자인 특허 출원은 출원일자가 2010년 3월 23일이고, 출원번호는 30-0012545이다.

3. 방사프로그램 개발

가. 재료 및 방법

2009년 5월부터 문경시 산북면 내화리(시나노스위트, 5년생, 3,300m²)와 문경시 문경읍 평천리(후지, 33년생, 3,600m²)의 2필지에 응애류의 발생 밀도에 따라 천적 사막이리응애를 방사하거나, 친환경자재를 살포하여 응애류의 밀도 변동을 조사하였다. 사막이리응애의 방사는 (주)나비스 제품을 500ml의 원통형 병에 2,000마리씩 포장하여 고르게 섞어서 하였다. 방사 위치는 사과나무의 굵은 줄기나 사과나무의 잎이 많이 모여있는 곳에 하였다. 친환경자재는 1,000배액으로 희석하여 SS기에 넣어서 살포하였다. 5월 중순부터 10월 말까지 매주 1회씩 방문하여 필지당 사과잎 전체에서 80엽씩 고른 분포로 따서 육안 조사하였다. 필지별 사막이리응애와 친환경자재의 처리는 ㉠ 산북면에는 사막이리응애를 6월12일에 3마리/m²를, 8월 14일에는 9마리/m²를 방사하였다. ㉡ 문경읍에는 사막이리응애를 6월 5일, 7월 7일과 8월 6일에 3마리/m²를 방사하였다. 친환경자재는 8월 16일, 8월 24일, 9월 9일에 총 3회를 살포하였다.

나. 결과

문경시 산북면 내화리와 문경읍의 2지역을 대상으로 사막이리응애와 함께 친환경자재를 이용하여 사과원내 발생하는 응애류를 방제하였으며, 결과는 그림 72, 73과 같았다.

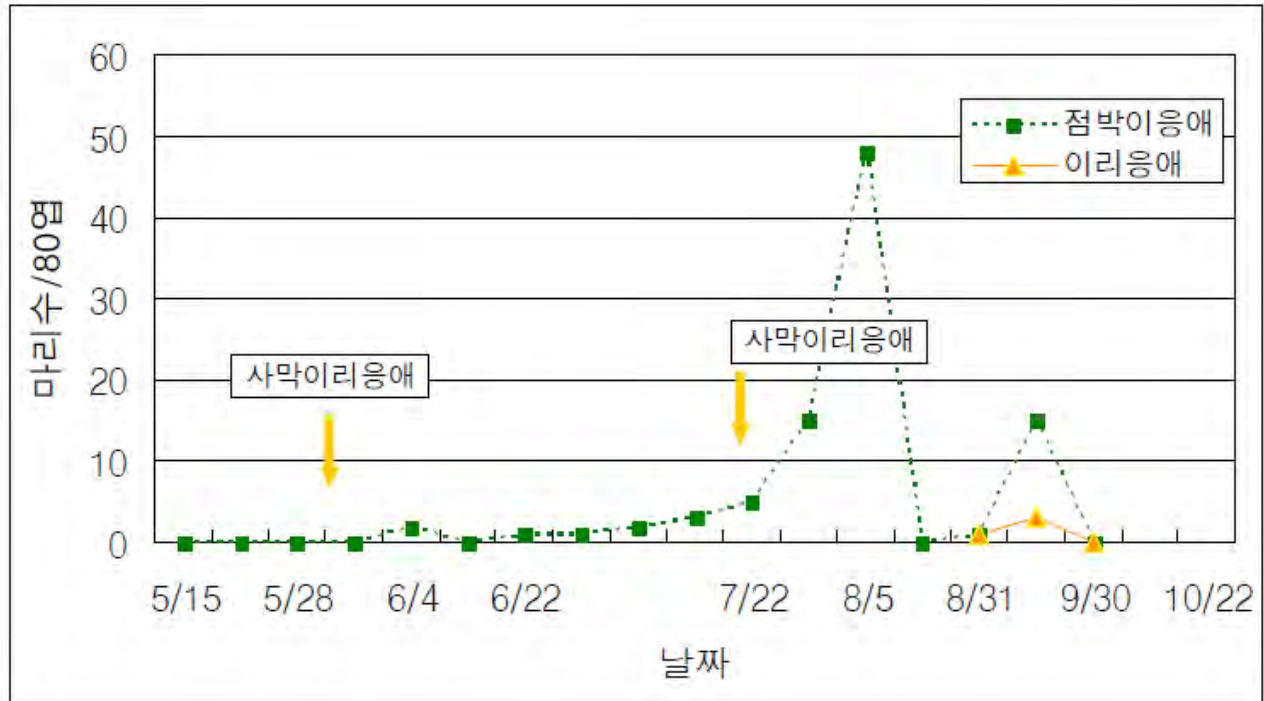


그림 72. 사막이리응애 방사와 응애류 및 천적류 밀도 변동(2009, 산북면)

산북면에는 8월에 사막이리응애를 기준에 비해 3배를 방사하여 점박이응애를 방제할 수 있었다. 9월 초에 다시 점박이응애 밀도가 높아졌으나 사막이리응애에 의해 방제되어 10월 초순 이후에는 점박이응애와 사막이리응애 모두 관찰할 수 없었다.

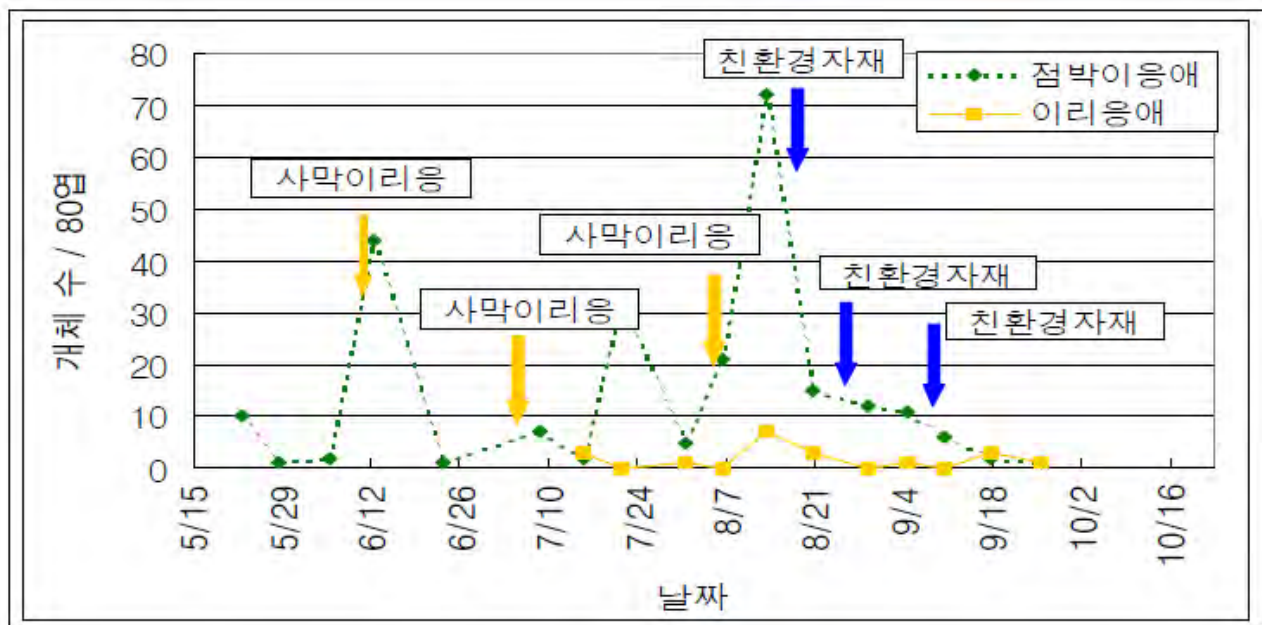


그림 73. 사막이리응애 방사와 친환경 자재 살포 후 응애류 및 천적류 밀도 변동 (2009, 문경읍)

문경읍에는 사막이리응애를 3회 방사하고, 친환경자재를 3회 살포하여 점박이응애를 방제할 수 있었다. 6월에서 7월에는 사막이리응애로 점박이응애의 밀도를 억제할 수 있었으나, 8월 이후 고온이 되면서 점박이응애의 밀도가 급격히 올라갔을 때는 친환경자재를 이용하여 방제하였다. 농장의 환경에 따라 다르겠지만, 권장하는 응애류 방제 프로그램은 전년에 사과응애가 많은 포장은 3월에 기계유제를 살포하여 동계 방제를 하고, 6-8월에 사막이리응애를 3회 방사하고, 8월 이후에도 계속하여 응애류가 문제되면 친환경자재 2회 살포하는 것을 권유한다. 산북에서와 같이 6월에서 7월에 사막이리응애가 잘 정착이 된다면 친환경자재를 이용하지 않아도 될 것으로 보여진다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

연도별 연구목표 및 평가착안점에 입각한 연구개발목표의 달성도는 아래 표와 같다.

표 49. 연구별 세부연구개발 목표 및 평가착안점에 입각한 연구개발목표의 달성도

구분	연도	세부연구개발 목표	평가의 착안점 및 기준	%
1차 년도	07-08	사과원 응애류와 사막이리응애 개체군 상호작용분석	사막이리응애의 생물적 특성과 개체군 동태모형	100
		월동성 연구 및 방사법 연구	사막이리응애 월동가능성 파악의 적절 성 및 실현성 여부	100
		경제적 대량 사육시스템 연구	사막이리응애의 경제적 생산 및 상품 성 여부	100
2차 년도	08-09	사과원 응애류 - 사막이리응애 개체군동태 모형 개발	사막이리응애와 식식성응애류의 개체 군동태모형 및 포장자료비교	100
		방사량 및 방사시기 연구	사과원 응애 천적 방사 기준의 적절성 및 현실성 여부	100
		상품화 기술 연구	사막이리응애의 상품성 및 품질관리	100
3차 년도	09-10	사과원 응애류의 사막이리응애 에 의한 생물적 방제모형 개발	생물적방제 모형의 현장적용 평가	100
		응애류 생물적 방제 평가	생물적 방제 효과 및 적용확대 가능성	100
		제품 저장 및 품질관리기술 개 발	장기저장 및 품질관리기술개발	100
최종 평가	2010	사과원 응애류 생물적 방제모 델 개발	생물적 방제 모델의 개발 및 현장적용	100
		천적방제체계 및 생물적 방제 평가	사막이리응애의 방사체계 및 생물적 방제 평가	100
		사막이리응애 경제적 산업화	사막이리응애의 경제적 상품화 및 품 질관리	100

사막이리응애의 대량사육시스템을 안정화하고 경제적으로 생산하는데 본 연구의 결과가 기여할 것이다. 사과원 병해충 종합관리시스템에 본 연구의 결과는 유용하게 이용될 수 있다. 사막이리응애의 월동성 여부는 사과원응애류 특히 점박이응애와 사과응애를 효과적으로 방제하는데 주요한 요인이다. 제주도 감귤과원에서 사막이리응애가 발견된 결과는 지구온난화와 관련된 주제와 연결하여 내륙에서 사막이리응애의 월동가능성을 예측할 수 있다. 단순화한 상태로 나타낸 사막이리응애와 점박이응애의 개체군 동태는 포장에서 이루어지는 복잡한 현상의 일부를 나타낸 것이다. 실제 사과원내에서는 응애류를 비롯한 다수의 해충들과 천적들이 먹이그물을 이루고 살아가고 있다. 응애류의 밀도를 조절하는 주요 생물적 요인들의 지속적인 관찰은 방사되는 혹은 생존하고 있는 사막이리응애의 역할을 보다 선명하게 알려줄 것이다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

본 연구를 통해 얻어진 성과는 아래 표와 같다. 그리고 본 연구 결과를 활용보급하기 위하여 첨부와 같이 생물적 방제 가이드라인을 제시하였다. 본 연구과제의 대상 천적인 사막이리응애의 사과원 사용 시 유의해야할 농약 선택을 위하여 국내 저독성 약제 선발에 관한 자료(2010, 최병렬 등, 한국응용곤충학회 발표) 중 일부를 추가하였다.

표 50. 연차별 연구 목표 및 달성도

구분	특허		신제품				유전자원 등록	논문		기타	
	출원	등록	품명 명칭 등록	품종 등록	생산 수입 판매 신고	품종보호		SCI	비SCI		
						출원					등록
1차년도	목표							1	1		
	달성										
2차년도	목표		1	상표등록 1				1	2		
	달성			1				1			
3차년도	목표	1						2	3		
	달성							2			
계	목표	1	1	1				4	6		
	달성			1				3			

표 51. 논문게재 성과

게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2009	Temperature-dependent developmental model of <i>Neoseiulus californicus</i> (McGregor)(Acari, Phytoseiidae)	김태균	이준호	안정준	Journal of applied entomology	133(2009) 284-291	국외	SCI
2010	Effect of cover on the abundance of phytoseiid mites overwintering on the ground	정철의	정철의	가와시마	Experimental and Applied Acarology	DOI 10.1007/s10493-010-9347-y	국외	SCI
2010	Overwintering sites of the predacious mite <i>Neoseiulus californicus</i> (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) in satsuma mandarin orchards on Jeju Island, Korea	정철의	정철의	가와시마	Applied Entomology and Zoology	45(1):191-199	국외	SCI

표 52. 사업화 현황

(단위: 천원)

사업화명	사업화내용	사업화 업체 개요				기매출액	연도별 매출액	매출액 합계
		업체명	대표자	종업원수	사업화형태			
사막이리응애 경제적 산업화	사막이리응애를 이용한 파급효과	(주) 나비스	김성석	76	바이오 산업		202,000	202,000
							180,875	180,875
							183,000	183,000

표 53. 인력지원 성과

지원 총인원	지원 대상 (학위별, 취득자)				성별		지역별		
	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	대전	기타지역
	1	2			2	1	2		1

SCI급 학술지에 3편의 논문을 이미 게재하였으며 현재 SCI급 학술지에 2편을 투고하여 심사 중에 있으며 2편을 투고하기 위해 준비 중이다. 기타 국내 학회지에 4편의 논문을 게재하기 위해 준비 중이다. 한편 본 연구를 통해 얻은 결과를 이용하여 사막이리응애를 이용한 사과원 응애류 생물적 방제 가이드라인/매뉴얼 작성이 가능할 것이다. 사막이리응애의 국내 시장개척을 위해서는 농약 사용과 천적사용 비용을 비교 분석하여 경제성 점검을 실시한 뒤 사과원에 적합한 방법을 채택하도록 한다. 친환경 농업육성법에 따른 정부지원의 한계와 차후 농민경제에 미치는 천적사용의 유용성을 제시할 수 있는 결과의 확보 및 홍보를 지속적으로 가능하게 하는 시스템을 개발하도록 한다. 사막이리응애의 수출시장 개척가능성 확보를 위해서 수입계통과의 비교 검토가 필요하다. 이를 위해서는 일본에서 이루어지고 있는 실험 보고를 통해서 국내계통과 수입계통의 생물적 특성을 비교 검토하는 것이 필요하다. 사과원 응애류 생물적 방제기술을 다른 작물 및 작형에 적용 확대 가능성을 검토할 수 있을 것이다. 사과원이외의 다른 과수원 즉 배, 복숭아, 포도 및 차밭 등 노지포장에 적용하는 방법을 개발할 필요가 있다. 외국에서처럼 온실 과채류의 해충에 대한 사막이리응애의 생물적 방제시스템을 개발하는 것이 필요하다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 사막이리응애의 생물적 특성

표 54는 현재까지 이루어진 다른 연구자들이 발표한 사막이리응애의 발육단계별 발육기간을 나타낸 것이다. 온도 조건에 따라 발육기간의 차이를 보이고 있고 실험이 이루어진 지역 즉 지역계통과 먹이 조건에 따라 같은 온도조건에서 발육기간의 차이가 있음을 알 수 있다.

표 55는 다른 연구자들이 발표한 사막이리응애 성충의 산란 전기간, 산란기간, 산란 후기간을 보여주고 있다. 산란 전기간이 대부분 온도 조건에서 다른 기간보다 짧은 것으로 보고되었다. 산란 기간보다 산란 후기간이 대부분의 실험에서 긴 것으로 나타났다. 성충 수명은 25℃에서 가장 긴 것으로 조사되었다. 각 온도별 성충이 출현하는 시기까지의 시간과 사망률을 비교하여 보았을 때 항온 조건에서 사육할 경우 32℃가 가장 적합한 온도인 것으로 나타났다. 성충 수명을 고려하여 생산시스템의 온도를 25~28℃로 유지하는 것이 적합한 것으로 보인다.

표 56은 다른 연구자들이 발표한 온도 조건 및 먹이 종류에 따른 사막이리응애의 암컷당 총산란수와 일일 산란수를 나타낸 것이다. 25℃에서 *T. ludeni*를 먹이로 하였을 때 가장 많은 산란수를 얻을 수 있었던 것으로 조사되었다. 사과응애보다는 점박이응애를 먹이로 하였을 때 더 많은 산란수를 얻었던 것으로 조사되었다. 온도조건과 먹이조건에 따라 산란수의 차이와 실험에 이용된 지역계통간에도 차이가 있음을 알 수 있다. 표 57은 사막이리응애의 온도별 생명표분석을 통해 얻은 파라미터 값들을 나타낸 결과들이다. 온도발육기간을 통해 얻은 결과와 유사하게 32℃에서 높은 내적 자연증가율과 짧은 세대기간을 보여주었다. 먹이 종류로는 *T. ludeni*를 먹고 자란 사막이리응애의 순 증가율 및 내적 자연 증가율이 높았었다. 생명표분석에 따른 파라미터 값들의 지역계통간 차이를 볼 수 있었다. 먹이조건과 온도조건에 따라 파라미터 값들이 변하였다.

사막이리응애는 동종을 잡아먹는 습성이 있으므로 대량사육시 먹이의 공급에 관심을 가져야 한다 (Croft 등 1998; Monetti와 Croft 1997; Palevsky 등 1999; Walzer와 Schausberger 1999; Schausberger와 Croft 2000).

다른 실험자들에 의한 사막이리응애의 기능반응결과는 표 58과 같다. 실험에 이용된 사막이리응애 계통에 따라 일일 포식량의 차이가 있는 것으로 보고되었다.

표 54. 사막이리응애의 온도 및 먹이에 따른 각 발육단계별 발육기간

온도	알	유충	제1약충	제2약충	성충출현 까지의 기간	먹이종류	참고
12	6.5	2.91	4.45	4.45	18.38	<i>Tetranychus.urticae</i> (composite)	현재 실험
15	5.2	1.95	3.5	3.55	14.2	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
15					11.5	<i>T.urticae</i>	Castagnoli 와 Simoni 1991
15	6.505	2.79	4.775	6.655	20.73	<i>T.urticae</i> (composite)	Canlas 등 2006
16	3.02	1.73	3.36	3.3	11.48	<i>T.urticae</i> (composite)	현재 실험
16.4	3.8	1.3	3.1	2.9	11.9	<i>T.urticae</i> (egg)	Ma 와 Laing 1973
17.5	3.4	1	1.65	1.6	7.7	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
20	2.92	1.76	2.09	1.95	8.73	<i>T.urticae</i> (composite)	현재 실험
20	3.05	0.95	1.6	1.6	7.2	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
20					7.3	<i>T.urticae</i>	Castagnoli 와 Simoni 1991
20	2.205	0.955	1.575	1.96	6.705	<i>T.urticae</i> (composite)	Canlas 등 2006
20	3.8	1.2	1.8	2.3	9.2	<i>T.urticae</i>	Rencken 와 Pringle 1998
22.5	2.15	0.65	1.2	1.15	5.15	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
23					7	<i>T.pacificus</i>	McMurtry 1977
24	2.09	1.09	1.16	1.64	6	<i>T.urticae</i> (composite)	현재 실험
25	2.5	0.7	1	1.4	5.7	<i>T.urticae</i>	Rencken 와 Pringle(1998)
25	1.8	0.55	1	1	4.3	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
25					5.8	<i>T.urticae</i>	Castagnoli 와 Simoni 1991
25	2.4075	0.930833	1.685	1.434583	6.4575	<i>T.urticae</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25	2.095833	1.077083	1.51875	1.269167	5.960833	<i>T.turkestanii</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25	1.851667	0.8825	1.088333	0.850417	4.672917	<i>T.ludeni</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25	2.275	1.030833	2.4225	1.88875	7.617083	<i>T.evansi</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25					3.88	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25					3.85	<i>T.kanzawai</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25					4.02	<i>A.viennensis</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25					4.07	<i>P.citri</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25					4.33	<i>P.ulmi</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25					3.79	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25					4.04	<i>T.kanzawai</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25					4.05	<i>A.viennensis</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25					4.11	<i>P.citri</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25					4.39	<i>P.ulmi</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	1.51	0.775	1.255	1.295	4.84	<i>T.urticae</i> (composite)	Canlas 등 2006
25					4.458	<i>T.urticae</i>	Mesa 등 1990
25					4.708	<i>M.tanajoa</i>	Mesa 등 1990
25					7.32	<i>Polyphagotarsonemus latus</i>	Castagnoli 와 Falchini 1993
25	1.9	0.6	1.5	1.1	5.1	<i>T.urticae</i> (egg)	Ma 와 Laing 1973
25	1.96	0.92	1.23	1	5.11	<i>T.urticae</i> (egg),tomato(parador)	Cedola 와 Sanchez2003
25	2.04	0.53	1.47	1	5.04	<i>T.urticae</i> (egg)tomato(fortaleza)	Cedola 와 Sanchez2003
25	2.1	0.54	1.93	1.15	5.72	<i>P.persimilis</i> (larvae)	Walzer 와 Schausberger 1999
25	2.17	0.54	2.74	2.18	7.63	<i>N.californicus</i> (larvae)	Walzer 와 Schausberger 1999
27.5	1.45	0.45	0.85	0.85	3.6	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
28	1.17	0.74	1.04	0.87	3.82	<i>T.urticae</i> (composite)	현재 실험

온도	알	유충	제1약충	제2약충	성충출현 까지의 기간	먹이종류	참고
28					7.35	<i>Aceria dioscoridis</i>	El-Laithy 와 El-sawi 1998
28					9.63	Date palm(pollen)	El-Laithy 와 El-sawi 1998
29					9.68	Castor oim(pollen)	El-Laithy 와 El-sawi 1998
30	2.4	0.5	0.6	1.2	4.8	<i>T.urticae</i>	Rencken 와 Pringle 1998
30	1.15	0.4	0.75	0.85	3.15	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
30					4.4	<i>T.urticae</i>	Castagnoli 와 Simoni 1991
30	1.715	0.54	1.05	0.94	3.86	<i>T.urticae</i> (composite)	Canlas 등 2006
32	0.98	0.55	0.82	0.61	2.98	<i>T.urticae</i> (composite)	현재 실험
32	1.4	0.5	1.1	0.9	3.9	<i>T.urticae</i> (egg)	Ma 와 Laing 1973
35	1.2	0.5	1.05	1.1	3.8	<i>T.urticae</i>	Gotoh 등 2004
35	1.085	0.5	0.99	1.015	3.595	<i>T.urticae</i> (composite)	Canlas 등 2006
36	0.83	0.56	0.96	0.79	3.23	<i>T.urticae</i> (composite)	현재 실험
38	0.75	0.52	1.37	1.1	3.75	<i>T.urticae</i> (composite)	현재 실험
40	0.89					<i>T.urticae</i> (composite)	현재 실험

표 55. 사막이리응애 성충의 온도 및 먹이에 따른 산란전기, 산란기간, 산란후 기간

온도	산란전기	산란기간	산란후기간	성충 전기	먹이종류	참고
16.4	4.1	19.6		27.3	<i>T.urticae</i> (egg)	Ma 와 Laing 1973
20	2.5	24.7	18.9	46.1	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
20	2.2	16.7	17.6	36.2	<i>T.urticae</i> (composite)	Canlas 등 2006
25	1.6	19.4	12.9	33.8	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
25	1.19375	20.48			<i>T.urticae</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25	1.25	20.35			<i>T.turkestani</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25	1	21.15			<i>T.ludeni</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25	3.1825	4.32			<i>T.evansi</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25	1.6	14.07	58.87	74.53	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	1.57	15.5	57.5	74.17	<i>T.kanzawa</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	1.6	15.6	67.6	84.8	<i>A.viennensis</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	1.73	14.73	53.4	69.87	<i>P.citri</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	1.53	13.87	29.07	44.47	<i>P.ulm</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	1.4	13.67	63.2	78.27	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	1.47	14.53	64.4	80.4	<i>T.kanzawa</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	1.53	13.53	69.4	84.47	<i>A.viennensis</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	1.4	16.47	53.73	71.6	<i>P.citri</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	1.43	16	28.57	46	<i>P.ulm</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	1.68	17.91	10.18	29.27	<i>T.urticae</i> (composite)	Canlas 등 2006
25		18.1			<i>T.urticae</i>	Mesa 등 1990
25		15.5			<i>M.tanajoa</i>	Mesa 등 1990
25	1.5	13.4		20.2	<i>T.urticae</i> (egg)	Ma 와 Laing 1973
25	0.53	6.64			<i>T.urticae</i> (egg),tomato(parador)	Cedola 와 Sanchez 2003
25	0.31	6.73			<i>T.urticae</i> (egg)tomato(fortalez a)	Cedola 와 Sanchez 2003
30	1.3	12.3	9.8	23	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
30	1.1	11.7	7.7	27.9	<i>T.urticae</i> (composite)	Canlas 등 2006
32	1.5	10		11.6	<i>T.urticae</i> (egg)	Ma 와 Laing 1973

표 56. 사막이리응애의 온도 및 먹이종류에 따른 총산란수와 일일산란수

온도	암컷당 총산란수	암컷당 일일산란수	먹이종류	참고
16.4	32.8	1.7	<i>T.urticae</i> (egg)	Ma 와 Laing 1973
20	38.4	1.6	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
20	25.8	1.54	<i>T.urticae</i> (composite)	Canlas 등 2006
25	41.6	2.2	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
25	56.67	2.7	<i>T.urticae</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25	58.64	2.66	<i>T.turkestanii</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25	63.11	2.97	<i>T.ludeni</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25	5.95	0.79	<i>T.evansi</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25	46.2	3.31	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	48.14	3.14	<i>T.kanzawai</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	47.8	3.07	<i>A.viennensis</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	44.67	3.03	<i>P.citri</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	43.8	3.17	<i>P.ulmi</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	46.67	3.42	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	49	3.36	<i>T.kanzawai</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	43.73	3.23	<i>A.viennensis</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	48.33	2.95	<i>P.citri</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	47.71	3.03	<i>P.ulmi</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	34.73	1.94	<i>T.urticae</i> (composite)	Canlas 등 2006
25	44.8		<i>T.urticae</i>	Mesa 등 1990
25	36.7		<i>M.tanajoa</i>	Mesa 등 1990
25	21.4		<i>Polyphagotarsonemus latus</i>	Castagnoli 와 Falchini 1993
25	30.5		<i>Dermatophagoides farinae</i>	Castagnoli 등 1999
25	19.64		<i>Aculops lycopersici</i>	Castagnoli 등 2004
25	28.3		<i>Quercus</i> (pollen)	Castagnoli 와 Liguori 1994
25	43.3	3.1	<i>T.urtica</i> (egg)	Ma 와 Laing 1973
25	15.83		<i>T.urticae</i> (egg),tomato(parador)	Cedola 와 Sanchez 2003
25	14.65		<i>T.urticae</i> (egg)tomato(fortaleza)	Cedola 와 Sanchez 2003
25		0.5	<i>T.evansi</i>	Moraes 와 McMurtry 1985
25		2	<i>T.urticae</i>	Moraes 와 McMurtry 1985
25-27	23.7		<i>T.cinnabarinus</i>	Swirski 등 1970
25-27	12.5		<i>Eutetranychus orientalis</i>	Swirski 등 1970
25-27	4.8		<i>Brevipalpus phoenicis</i>	Swirski 등 1970
25-27	5.3		<i>Aonidiella aurantii</i>	Swirski 등 1970
25-27	10.7		Castor bean(pollen)	Swirski 등 1970
25-27	8.8		Maize(pollen)	Swirski 등 1970
25-27	10.7		<i>Carpobrotus edulis</i>	Swirski 등 1970
25-27	8.1		Almond	Swirski 등 1970
25-27	11.2		Avocado	Swirski 등 1970

30	28.4	2.4	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
30	27.9	2.34	<i>T.urticae</i> (composite)	Canlas 등 2006
32	28.2	3.1	<i>T.urticae</i> (egg)	Ma 와 Laing 1973

표 57. 사막이리응애의 생명표분석에 따른 파라미터 값

온도	순증가율(Ro)	내적자연증가율(r)	평균세대기간	먹이종류	참고
16.4	12.73	0.112	22.72	<i>T.urticae</i> (egg)	Ma 와 Laing 1973
20	23.674	0.173	18.271	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
20	18.09	0.162	20.61	<i>T.urticae</i> (composite)	Canlas 등 2006
20	9.71	0.122	20.11	<i>T.urticae</i>	Rencken 와 Pringle 1998
25	11.18	0.227	11.63	<i>T.urticae</i>	Rencken 와 Pringle 1998
25	28.558	0.274	15.303	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
25	29.1	0.287	11.7		Ma 와 Laing 1973
25	25.3	0.19	16.7	<i>Mononychellus progresivus</i> (all stages)	Mesa 등 1990
25	29.9	0.19	17.4		Mesa 등 1991
25	36.6	0.259	13.9	<i>T.urticae</i> (not specified)	Castagnoli 와 Simoni 1991
25	11.2	0.227	11.6	<i>T.urticae</i> (all stage)	Rencken 와 Pringle 1998
25		0.118		<i>T.urticae</i> (not specified)	Castagnoli 등 1999
25		0.274		<i>T.urticae</i> (not specified)	Castagnoli 등 1999
25	49.25	0.283	17.46	<i>T.urticae</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25	42.93	0.267	17.89	<i>T.turkestani</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25	47.37	0.337	16.04	<i>T.ludeni</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25	3.33	0.084	14.5	<i>T.evansi</i>	Escudero 와 Ferragut 2005
25	32.948	0.3112	11.232	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	33.941	0.3064	11.502	<i>T.kanzawai</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	34.04	0.2953	11.944	<i>A.viennensis</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	31.019	0.2942	11.676	<i>P.citri</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	28.809	0.305	11.017	<i>P.ulmi</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	33.4665	0.3281	10.699	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	34.553	0.3098	11.433	<i>T.kanzawai</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	30.065	0.3048	11.165	<i>A.viennensis</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	33.868	0.2961	11.897	<i>P.citri</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	32.199	0.3072	11.302	<i>P.ulmi</i> (egg)	Gotoh 등 2006
25	22.92	0.209	17.55	<i>T.urticae</i> (composite)	Canlas 등 2006
25	25.3	0.19	16.7	<i>M.tanaja</i>	Mesa 등 1990
25	29.9	0.19	17.4		Mesa 등 1990
25		0.194		<i>Polyphagotarsonemus latus</i>	Castagnoli 와 Falchini 1993
25		0.143		<i>Dermatophagoides farinae</i>	Castagnoli 등 1999

25		0.172		<i>Aculops lycopersici</i>	Castagnoli 등 1999
25	29.09	0.287	11.74	<i>T.urticae</i> (egg)	Ma 와 Laing 1973
28		0.21		<i>Aceria dioscoridis</i>	El-Laithy 와 El-sawi 1998
30	19.727	0.34	10.454	<i>T.urticae</i> (egg)	Gotoh 등 2004
30	16.74	0.285	16.79	<i>T.urticae</i>	Canlas 등 2006
30	10.54	0.251	10.2		
32	17.82	0.307	9.38	<i>T.urticae</i> (egg)	Ma 와 Laing 1973

표 58. 사막이리응애의 일일 포식량

초기밀도	일일 포식량	참고
10	6.2	Laing과 Osborn (1974)
20	6.9	
30	8.2	
40	7.5	
50	10	
60	9.7	
80	8.7	
100	10.9	
120	12.7	
150	14	
180	13.6	
210	12.6	
1	0.87	Friese 와 Gilstrap (1982)
3	2.38	
5	4.57	
10	7.9	
40	10.05	
1	1	Cuellar 등 (2001)
3	3	
7	6.9	
15	14.5	
30	24.8	
105	25	
200	39.72	
4	1.11	Cedola 등 (2001)
8	1.44	
16	2	
32	3.33	
64	4.25	
5	2.17	Canlas 등 (2006)
10	4.23	
20	12.83	
30	16.06	
40	17.49	
50	20.91	

제 7 장 참고문헌

- Berryman AA. 1999. Principles of population dynamics and their application. Stanley Thornes Ltd. 243pp.
- Briere JF, Pracros P, Le Roux AY, Pierre JS, 1999. A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. Environ. Entomol. 28, 22-29.
- Canlas LJ, Amano H, Ochiai N, Takeda M, 2006. Biology and predation of the Japanese strain of *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae). Syst. Appl. Acarol. 11, 141-157.
- Castagnoli M, Falchini L, 1993. Suitability of *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae) as prey for *Amblyseius californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae). Redia. 76, 273-279.
- Castagnoli M, Simoni S, 1991. Influence of temperature on population increase of *Amblyseius californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae). Redia 74, 621-640.
- Cedola CV, Sanchez NE, 2003. Effect of tomato pubescence on development, survival and fecundity of *Tetranychus urticae* Koch and *Neoseiulus californicus* McGregor (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae). Acarologia 3. 255-260.
- Cedola CV, Sanchez NE, Liljestron GG, 2001. Effect of tomato leaf hairness on function and numerical response of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). Exp. Appl. Acarol. 25, 819-831.
- Croft BA, MonettiLN, Praft PD, 1998. Comparative life histories and predation types: are *Neoseiulus californicus* and *N. fallacis* (Acari: Phytoseiidae) similar type II selective predators of spider mites? Environ. Entomol. 27, 531-538.
- Cuellar ME, Calatayud PA, Melo EL, Smith L, Bellotti AC, 2001. Consumption and oviposition rates of six phytoseiid species feeding on eggs of the cassava green mite, *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae). Florida Entomol. 84, 602-607.
- El-Laithy AY, El-Sawi SA, 1998. Biology and life table parameters of the predatory mite *Neoseiulus californicus* fed on different diet. Journal of Plant Diseases and Protection. 105, 532-537.
- Escudero LA, Ferragut F, 2005. Life-history of predatory mites *Neoseiulus californicus* and

- Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) on four spider mite species a prey, with special reference to *Tetranychus evansi* (Acari: Tetranychidae). *Biological Control* 32, 378-384.
- Friese DD, Gilstrap FE, 1982. Influence of prey availability on reproduction and prey consumption of *Phytoseiulus persimilis*, *Amblyseius californicus* and *Metaseiulus occidentalis* (Acarina: Phytoseiidae). *Internat. J. Acarol.* 8, 85-89.
- Gotoh T, Tsuchiya A, Kitashima Y, 2006. Influence of prey on developmental performance, reproduction and prey consumption of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.* 40, 189-204.
- Gotoh T, Yamaguchi K, Mori K, 2004. Effect of temperature on life history of the predatory mite *Amblyseius (Neoseiulus) californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.* 32, 15-30.
- Jung C, Kim DW, Ryu MO, 2006. A new finding of a the predatory mite, *Amblyseius californicus* (Acari: Phytoseiidae) in Jeju, Korea. *J. Asia-Pacific Entomol.* 9, 321-325.
- Kawashima, M. and C. Jung 2010 Effect of cover on the abundance of phytoseiid mites overwintering on the ground. *Experimental and Applied Acarology*. (DOI 10.1007/s10493-010-9347-y)
- Kawashima, M. and C. Jung 2010 Overwintering sites of the predacious mite *Neoseiulus californicus*(McGregor) (Acari: Phytoseiidae) in satsuma mandarin orchards on Jeju Island, Korea. *Applied Entomology and Zoology* 45(1):191-199
- Lactin DJ, Holliday NJ, Johnson DL, Craigen R, 1995. Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. *Environ. Entomol.* 24, 68-75.
- Laing JE, Osborn JAL, 1974. The effect of prey density on the functional and numerical response of three species of predatory mites. *Entomophaga* 19, 267-277.
- Logan JA, Wollkind DJ, Hoyt SC, Tanigoshi, LK, 1976. An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. *Environ. Entomol.* 5, 1133-1140.
- Ma W-L, Laing JE, 1973. Biology, potential for increase and prey consumption of *Amblyseius chilensis* (Dosse) (Acarina: Phytoseiidae). *Entomophaga* 18, 47-60.
- McMurtry JA, Croft BA, 1997. Life-style of phytoseiid mites and their roles in biological

- control. *Annu. Rev. Entomol.* 42, 291-321.
- Mesa NC, Braun AR, Belotti AC, 1990. Comparison of *Mononychellus progresivus* and *Tetranychus urticae* as prey for five species of phytoseiid. *Exp. Appl. Acarol.* 9, 159-168.
- Monetti LN, Croft BA, 1997. *Neoseiulus californicus* and *N. fallacis*: larval responses to prey and humidity, nymphal feeding drive and nymphal predation on phytoseiid eggs. *Exp. Appl. Acarol.* 21, 225-234.
- Moraes GJ, McMurtry JA, 1985. Comparison of *Tetranychus evansi* and *T. urticae* (Acari: Tetranychidae) as prey for eight species of Phytoseiid mites. *Entomophaga* 30, 393-397.
- Neubert MG, Kot M, 1992. The subcritical collapse of predator populations in discrete-time predator-prey models. *Math. Biosci.* 110, 45-66.
- Palevsky E, Reuveny H, Okonis O, Gerson U. 1999. Comparative behavioral studies of larval and adult stages of the phytoseiids (Acari: Mesostigmata) *Typhlodromus athiasae* and *Neoseiulus californicus*. *Exp. Appl. Acarol.* 23, 467-485.
- Rencken IC, Pringle KL, 1998. Developmental biology of *Amblyseius californicus* (McGregor) (Acarina: Phytoseiidae), a predator of tetranychid mites, at three temperatures. *Afr. Entomol.* 6, 41-45.
- SAS Institute, 2002. SAS user's guide; statistics, version 9.1ed. SAS Institute, Cary, NC.
- Schausberger P, Croft BA, 2000. Cannibalism and intraguild predation among phytoseiid mites: are aggressiveness and prey preference related to diet specialization? *Exp. Appl. Acarol.* 24, 709-725.
- Swirski E, Amitai S, Dorzia N, 1970. Laboratory studies on feeding habits, post-embryonic survival and oviposition of the predacious mites *Amblyseius chilensis* Dosse and *Amblyseius hibisci* Chant (Acarina: Phytoseiidae) on various food substances. *Entomophaga* 15, 93-106.
- Walzer A, Schausberger P, 1999a. Cannibalism and interspecific predation in the phytoseiid mites *Phytoseiulus persimilis* and *Neoseiulus californicus*: predation rates and effects on reproduction and juvenile development. *BioControl.* 43, 457-468
- Walzer A, Schausberger P, 1999b. Predation preferences and discrimination between con-

and heterospecific prey by the phytoseiid mites *Phytoseiulus persimilis* and *Neoseiulus californicus*. *BioControl*. 43, 469–478.

부 록

천적이리응애 *Neoseiulus californicus* 산업화를 통한 사과원 응애 관리

(사과원 응애류 생물적방제 가이드)

서울대학교

사과원 응애류 생물적방제 가이드

1. 국내 사과 재배 현황

2009년 사과 재배면적은 30,451ha로 2008년보다 445ha (1.5%) 증가하였으며 올해에는 (2010) 30,740ha로 증가할 것으로 예측된다.

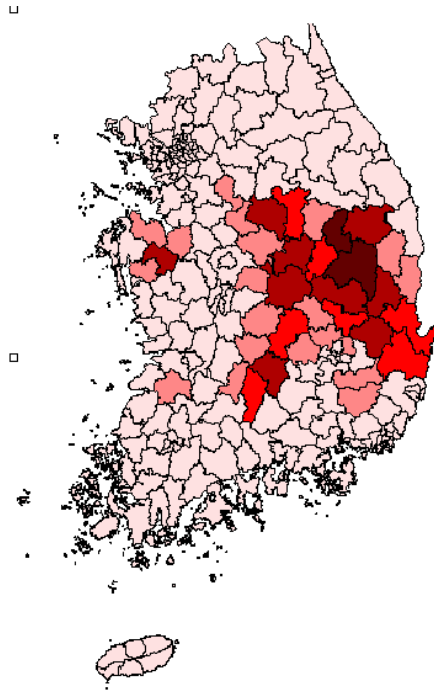
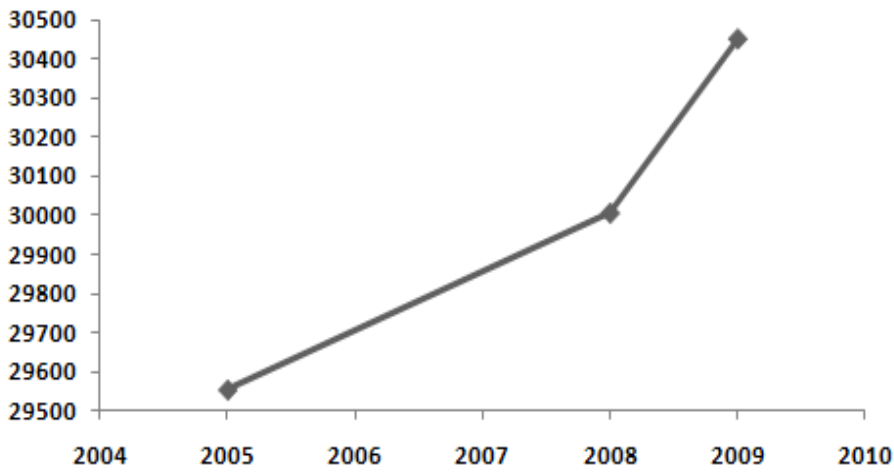


그림 1. 국내 사과 재배면적 변화

국내 사과재배면적



국내 사과생산량 (천톤)

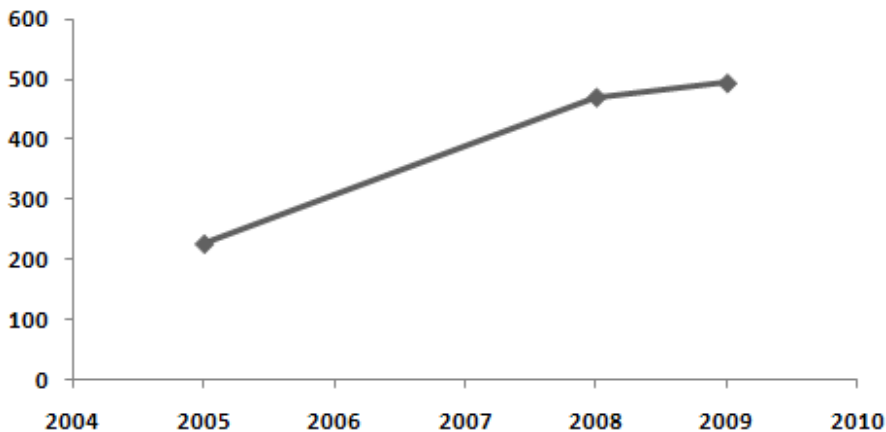


그림 2. 국내 사과 재배면적 및 생산량 변화

2. 사과원 주요 해충류

우리나라에서 사과 해충은 1988년에 조사된 결과 총 312종으로 알려져 있다. 대부분은 방제를 해야 될 정도로 피해를 주지 않으나 일부 해충류는 발생과 피해가 많아 방제대상이 된다. 이들 해충류는 응애류 (사과응애, 점박이응애 등), 진딧물류 (사과혹진딧물, 조팝나무진딧물), 굴나방(사과굴나방, 은무늬굴나방), 잎말이나방(사과무늬잎말이나방, 애모무늬잎말이나방, 매실애기잎말이나방) 그리고 심식나방류로 복숭아순나방, 복숭아심식나방 등이 있다. 이들 해충류의 활동 시작 시기와 월동 형태, 월동 장소는 아래 표 1과 같다. 최근에는 사과재배지가 산지와 하천변으로 확대되면서 노린재류, 왕풍뎅이, 장님노린재류, 참콩풍뎅이 등의 피해가 보고되

며, 흡수나방류가 간헐적으로 대발생하고 복숭아순나방붙이 같은 해충이 돌발하는 등 사과원의 해충상과 발생 패턴이 최근 기후변화 등과 함께 복잡화되어 가는 추세이다. 현재까지 개발된 사과병해충종합관리에 관한 보다 자세한 내용들은 아래의 웹문서를 이용하기 바랍니다.

(http://www.namu-ro.com/tree_hospital/fruite/sagwa/004.htm)

3. 응애류 해충

국내 사과원에서 발생하는 응애류는 크게 사과응애와 점박이응애로 나누어 설명할 수 있다. 60~70년대 전국 사과원에 우점을 차지하던 사과응애는 80~90년대 점박이응애에 의해 대치되는 듯 했으나, 최근 사과응애 다발생 과원이 점차 증가하는 추세이다.

사과응애는 우리나라에서 과거에 발생도 많고 피해가 가장 많은 종이였으나 합성농약을 주방제수단으로 이용하던 8-90년대에 발생 밀도가 극히 낮아졌었다. 그러나 최근 IPM 체계가 보급되면서 약제관리가 이루어지고, 주요 나방류에 대한 살충제 사용이 줄어들면서 다시 밀도가 증가하는 추세이다. 농약을 살포하지 않을 경우에는 5월부터 밀도가 증가하여 7월중에 최고 밀도에 도달한다. 사과응애는 9월하순 이후에 성충으로 되는 개체군에 의하여 10월상순-11월에 월동란을 주로 산란한다. 월동란 부화는 다음해 4월하순-5월상순으로 비교적 일정하고 단기간에 이루어지며 개화기와 거의 일치하므로 이 시기를 전후하여 월동란 또는 초기밀도 억제를 위한 효과적인 방제대책을 수립하는 것이 좋다. 사과응애는 사과나무에서만 발생하므로 발생예찰을 통해 사막이리응애 등을 이용한 생물적 방제를 실시할 수 있다.

점박이응애는 나무의 주간 및 주지부의 조피 틈이나 수관하부의 잡초 및 낙엽에서 암컷성충으로 월동한다. 3월중순경부터 4월에는 월동처에서 이동하여 잡초나 주간부의 도장지 등에서 증식되고 5~6월에는 여름형 성충으로 나무나 잡초로의 상하이동이 일어나며 수관내부에 주로 집중분포 하였다. 7~9월에는 잡초에서 계속적으로 나무수관내부로의 상하이동과 함께 급격히 점박이응애 밀도가 증가되어 수관전체로 분산하는데 점박이응애 밀도가 매우 높은 경우에는 조기낙엽 현상이 일어난다. 9~11월에는 나무수관으로부터 지면과 나무 조피로 이동이 일어난다. 점박이응애는 여러 농약에 대한 저항성이 쉽게 유발되는 생물적 특성을 가지고 있어서 포식성 천적류를 이용하여 초기에 이들의 발생밀도를 억제하는 것이 연간 발생밀도를 낮게 유지하는데 도움이 된다.



(출처: www.uku.fi/~holopain/ento/Kasvin...isto.htm, gsa.go.kr/plant/prevention/bugs/...4-02.htm)

그림 3. 점박이응애 (좌) 암컷 성충과 사과응애 (우) 암컷 성충 사진

4. 응애류 천적

포식성 응애류: 국내 포식성 응애류는 긴털이리응애 (*Neoseiulus womersleyi*), 나팔이리응애, 긴꼬리이리응애, 동양이리응애, 오이이리응애, 사막이리응애(*Neoseiulus californicus*)등 이리응애과 응애들이 있고, 마름응애과(*Stigmaeidae*)에 가는털마름응애 (*Agistemus terminalis*), *A. lobatus*등이 있다.

포식성 곤충류: 포식성 총채벌레인 응애총채벌레(*Scolothrips takahashii*), 깨알반날개 (*Oligota yasumatui*), 깨알반날개(*O. kashmirica benefica*), 응애혹파리(*Feltiella acarisuga*),애꽃노린재류(*Orius spp.*), 꼬마무당벌레(*Stethorus punctillum*), 무당벌레, 풀잠자리류 등이 있다.



(출처: www.tiptopbio.com/farm_n_califor...cus.html, www.animalpicturesarchive.com)

그림 4. 긴털이리응애 (좌) 암컷 성충과 사막이리응애 (우) 암컷 성충 사진

5. 해충종합관리에서 응애류 생물적 방제

사과 해충의 종합관리는 심식나방류 등 나방류 해충은 페로몬트랩을 이용한 예찰, 교미교란제 처리, 타 해충에 대해서는 환경 위해가 적고 천적 등에 선택적인 약제 처리를 통해 전체적으로 화학농약에 대한 의존도를 줄이는 방향으로 진행되고 있다. IPM 체계에서 이차해충인

응애, 진딧물류의 생물적 방제 체계의 정착은 친환경 해충관리 수준의 척도라 일컬을 만큼 중요하다.

6. 이리응애가 효율적인 이유

우리나라 사과원에서 주로 발생하는 포식성응애는 긴털이리응애 등 13종이 알려졌으며, 긴털이리응애는 발생 밀도와 빈도가 매우 높다. 점박이응애에 대해 높은 포식율을 보이는 긴털이리응애는 지역 환경과 사과원 사용 약제에 잘 적응되어 있는 것으로 판단되나, 사과응애에 대한 선호성이 낮고, 건조한 조건을 싫어하고 환경변화에 민감하게 반응한다는 단점이 있다. 반면 제주도에 분포하는 것으로 알려진 사막이리응애는 고온 건조한 조건에서도 생육과 번식이 양호하고 사과응애와 점박이응애를 포식할 수 있을 뿐 만 아니라 응애류 먹이가 없을 때에는 꽃가루 등의 섭식을 통해 산란할 수 있다. 사막이리응애는 단독으로뿐 만 아니라 그룹을 지어 점박이응애 성충을 잡아먹는 습성을 보이기도 한다. 두 종 이리응애 이외에 긴꼬리이리응애, 동양이리응애 등도 생물적 방제원으로 이용가치는 높다. 이리응애는 응애류 해충에 대한 선호성이 높고 발육기간이 상대적으로 짧아 응애류 해충보다 개체군 증가가 더 빠를 수 있다. 응애류 밀도에 따라 포식하는 양이 증가하기 때문에 해충 밀도 조절이 용이하며, 먹이 탐색 능력이 좋아 낮은 밀도의 응애류에 대한 반응이 빠르다.

7. 이리응애 이용 방법

(1) 천적 보존

천적 보존을 위한 관리는 크게 서식처 관리와 약제 관리로 나눌 수 있다. 서식처관리는 천적의 월동, 피난처 및 번식할 수 있는 공간을 만들어주는 것으로써 초생관리, 과원 주변 식생 관리 또는 인공 지피물의 추가 등을 들 수 있다. 월동하는 천적을 위한 나무 주변에 보온용 천/종이 등을 추가하는 것도 좋은 방안이 될 것이다. 천적의 생육이 사과원에서 지속될 수 있도록 선택성 농약을 살포하도록 한다.

(2) 천적 추가 방사

점박이응애 천적으로서 사막이리응애를 방사하는 시기는 사과원에 발생하는 응애류의 발생 밀도를 조사한 후 결정하는 것이 바람직하다. 30년 정도의 지역별 평균 온도를 바탕으로 해충 응애류가 월동에서 깨어나는 시기를 예상할 수 있으나 요즘과 같은 기상 변화가 심한 경우 일주일 혹은 일일 기온 변화를 조사하는 것이 필요하다. 초생재배를 하는 경우 4월 초 잡초와 수관부에서 발생하는 점박이응애를 일주일에 한번씩 관찰하는 것이 필요하다. 6~7월 점박이응애가 나무의 수관부에 정착하면 밀도가 증가하며 따라 가지 바깥으로 이동하는 특성을 보인다. 이와 같은 시기에는 사막이리응애를 가지 바깥에 접종하여 점박이응애의 분산과 증식을 막을 수 있다.

(3) 천적방사위치

해충 응애류가 발생하기 시작하는 4월과 5월에는 잡초내와 수관부 중심에 접종을 한다. 6~9월 점박이응애가 수관부에서 밀도를 형성하여 증식을 하는 경우에는 가지 바깥에 접종하여 점박이응애 밀도를 억제하도록 하는데 이것은 이미 살포된 사막이리응애가 잡초에서 나무 수관으로 이동하므로써 양방향에서 점박이응애를 섭식하는 전략으로 이용할 수 있다.

(4)천적방사방법

사막이리응애를 방사하는 방법에는 여러 가지가 있으나 현재 시판되고 있는 제품의 사용 설명서를 따르는 것이 가장 이상적이다.

8. 응애류 천적에 해로운 살균제, 살비제, 살충제

저독성이 아닌 살균제, 살비제, 살충제 (살충율 30% 이상)

살균제 (농약 품목명): 만코지, 지오판, 프로피

살비제: 펜부탄, 테부펜피라드, 페나자퀸, 펜피록시메이트, 피리다벤, 프로지, 디코폴, 플루페녹수론, 아바멕틴

살충제: 그로포, 다수진, 디디브이피, 메치온, 메타, 메프, 아시트, 아진포, 오메톤, 파라치온, 포스팜, 피리다, 나크, 메소밀, 푸라치오카브, 델타린, 싸이스린, 할로스린, 주론, 테프루벤주론, 이미다클로프리드

표 1. 사과원 주요 해충류의 월동형태, 월동장소 및 활동시작시기

해충명	월동형태	월동장소	활동시작시기
사과응애	알	1~3년생가지 눈기부, 분지점	4월 중~5월 상순
점박이응애	암컷성충	거친껍질틈, 낙엽, 잡초	3월 상~4월 중순
사과혹진딧물	알	1년생 가지	3월 하~4월 중순
조팝나무진딧물	알	1년생가지, 조팝나무	3월 하~4월 중순
사과굴나방	번데기	피해낙엽	3월 하~4월 중순
은무늬굴나방	암컷성충	건물벽, 나무틈, 하수구	3월 하~4월 중순
사과무늬잎말이나방	유충	거친 껍질틈, 움푹한 곳	4월
애모무늬잎말이나방	유충	거친 껍질틈, 움푹한 곳	4월
매실애기잎말이나방	알	가지	4-5월
복숭아순나방	유충	거친껍질틈, 봉지조각	4월
복숭아심식나방	유충	나무밑 땅속	6-7월