



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.




변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

The logo of Jeju National University is a circular emblem. It features a stylized flame or leaf-like shape in the center, with the text 'JEJU NATIONAL UNIVERSITY 1952' around the top and '제주대학교' around the bottom. Inside the circle, there is a smaller 'JEJU 1952' logo.

博士學位論文

감귤원에서 네눈썹가지나방의 생태 연구:
섭식양상, 성페로몬 조성 및 개체군 모형

Bionomics of *Ascotis selenaria* (Lepidoptera: Geometridae) in
Citrus Orchards: Feeding Patterns, Sex Pheromone Composition
and Population Model

濟州大學校 大學院

農學科

崔耕山

2012年 2月



감귤원에서 네눈썹가지나방의 생태 연구: 섭식양상, 성페로몬 조성 및 개체군 모형

指導教授 金 桐 淳

崔 耕 山

이 論文을 農學 博士學位 論文으로 提出함

2011年 12月

崔耕山の 農學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長	_____	Ⓜ
副委員長	_____	Ⓜ
委員	_____	Ⓜ
委員	_____	Ⓜ
委員	_____	Ⓜ

濟州大學校 大學院

2011年 12月

목 차

TABLES 목록	iii
FIGURES 목록	v
ABSTRACT	x
I. 서언	1
II. 연구사	3
1. 네눈썹가지나방의 섭식 양상	3
2. 네눈썹가지나방의 성페로몬 조성	5
3. 네눈썹가지나방의 온도 발육과 개체군 모형	7
III. 재료 및 방법	9
1. 네눈썹가지나방의 섭식 양상	9
1-1. 감귤원에 발생하는 자나방류	9
1-2. 네눈썹가지나방의 형태와 산란 특성	9
1-3. 네눈썹가지나방의 발생과 가해 양상	10
2. 네눈썹가지나방의 성페로몬 조성	12
2-1. 성충의 교미리듬	12
2-2. 성페로몬의 성분 분석	13
2-3. 야외 유인력 시험	15
2-4. 자료 분석	15
3. 네눈썹가지나방의 온도 발육과 개체군 모형	16
3-1. 발육과 산란 실험	16
3-2. 생명표 통계량 추정	17
3-3. 온도 발육과 개체군 모형	18
IV. 결과 및 고찰	29
1. 네눈썹가지나방의 섭식 양상	29
1-1. 감귤원에 발생하는 자나방류	29

1-2. 네눈썹가지나방의 형태와 산란 특성	30
1-3. 네눈썹가지나방의 발생과 섭식 양상	31
2. 네눈썹가지나방의 성페로몬 조성	48
2-1. 성충의 교미리듬	48
2-2. 성페로몬의 성분 분석	48
2-3. 야외 유인력 시험	51
3. 네눈썹가지나방의 온도 발육과 개체군 모형	62
3-1. 생명표 통계량 추정	62
3-2. 온도 발육과 개체군 모형	63
V. 종합고찰	80
VI. 적요	84
1. 네눈썹가지나방의 섭식 양상	84
2. 네눈썹가지나방의 성페로몬 조성	85
3. 네눈썹가지나방의 온도 발육과 개체군 모형	85
인용문헌	87

LIST OF TABLES

Table 1. Species proportion (%) of Geometridae larvae collected in two citrus orchards in Jeju-do.	36
Table 2. Mean size of egg, larva, pupa, and adult of <i>Ascotis selenaria</i>	37
Table 3. Proportion of <i>Ascotis selenaria</i> larvae found on citrus fruits in a citrus orchard in Jeju-do.	38
Table 4. Number of citrus fruits damaged by Geometridae larvae in a citrus orchard in Jeju-do.	39
Table 5. Spatial distribution pattern of <i>Ascotis selenaria</i> larvae in citrus orchard in Jeju-do.	40
Table 6. Mean numbers of <i>Ascotis selenaria</i> males caught in sex pheromone traps baited with various ratios of 6Z,9Z- <i>cis</i> -3R,4S-epoxy-19:H (RS) and 6Z,9Z- <i>cis</i> -3S,4R-epoxy-19:H (SR).	54
Table 7. Life table of <i>Ascotis selenaria</i> at 23.2°C.	67
Table 8. The developmental zero temperatures and thermal constant of egg, larval, and pupal stage of <i>Ascotis selenaria</i>	68
Table 9. Estimated value of the parameters of developmental models for egg, larval, and pupal stage of <i>Ascotis selenaria</i>	69

Table 10. Estimated value of the parameters of distribution models for egg, larval, and pupal stage of <i>Ascotis selenaria</i>	70
Table 11. Estimated value of the parameters for an oviposition model of <i>Ascotis selenaria</i>	71
Table 12. Correlation coefficient between model outputs and actual data of <i>Ascotis selenaria</i> adult and 1st instar larva in different scenarios.	72
Table 13. Comparison of the peak dates in Julian between model outputs and actual data of <i>Ascotis selenaria</i> adult and 1st larva in a citrus orchard in Seogwipo, Jeju-do.	73

LIST OF FIGURES

- Fig. 1. Sex pheromone components of *Ascotis selenaria*. (Pictures from www.pherobase.com) 25
- Fig. 2. A simple view of a GC-EAD system. 26
- Fig. 3. A simple view of EAG recording system. 27
- Fig. 4. Structure of a population model for *Ascotis selenaria*. (S: survival rate for previous stage, PA: physiological age) 28
- Fig. 5. Geometridae adults (capital) and larvae (small letter) collected on citrus trees in citrus orchards, Jeju-do. A: *Ascotis selenaria*, B: *Ectropis excellens*, C: *Menophra senilis*, D: *Biston panterinaria*, E: *Ourapteryx nivea*, F: *Hypomecis puntinalis*, and G: *Odontopera arida*. 41
- Fig. 6. Developmental stages of *Ascotis selenaria*. E1: eggs, E2: eggs just before hatching, L1: 1st instar larvae, L3: 3rd instar larvae, L6: 6th instar larvae, P: pupae, and A1 & A2: adults males with different body colors. 42
- Fig. 7. Oviposition substrates tested in this study (A) and *Ascotis selenaria* female laying eggs (B). 43

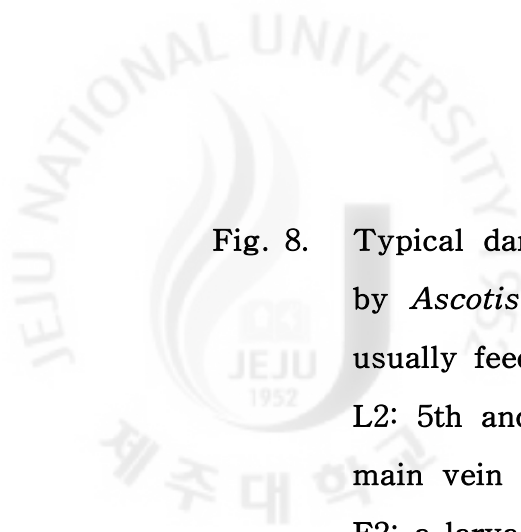


Fig. 8. Typical damage patterns of citrus leaves and fruits caused by *Ascotis selenaria*. L1: 1st and 2nd instar larvae which usually feed on leaves to result in small holes on the leaves, L2: 5th and 6th instar larvae eat whole leaves to leave the main vein only, F1: fruit scars caused by larval biting, and F2: a larva feeding on a fruit. 44

Fig. 9. Seasonal changes in citrus shoot and fruit damaged by Geometridae larvae in a citrus orchard at the Citrus Research Center, Seogwipo. 45

Fig. 10. Seasonal fluctuation pattern of *Ascotis selenaria* larvae in a citrus orchard at the Citrus Research Center, Seogwipo. 46

Fig. 11. Seasonal changes of *Ascotis selenaria* adult males caught in sex pheromone traps. (A) in a citrus orchard at the Citrus Research Center, Seogwipo, and (B) pooled averages in 15 commercial citrus orchards throughout Jeju-do. 47

Fig. 12. Emergence, calling, and mating rhythms of *Ascotis selenaria*. (■ Scotophase, □ photophase) (A) Emergence rhythms (♀: 86, ♂: 114). (B) Calling frequency of 10 virgin females in different age groups. (C) Mating rhythms of 9 females in different age groups when two males per female were placed in a plastic cage. 55

Fig. 13. GC-MS and GC-EAD traces of the gland extracts of *Ascotis selenaria* female. (A) GC-EAD trace of male antenna to the extract. (B) GC-MS total ion chromatogram of the gland extracts (n = 73). (C) Mass spectra of the sex pheromone components: Comp. A was 3Z,6Z,9Z-19:H and Comp. B was 6Z,9Z-cis-3,4-epoxy-19:H 56

Fig. 14. EAG responses of male *Ascotis selenaria* to the synthetic pheromone components and related compounds. (100 ng) (N = 5, R = 5). Different letters besides standard error bar indicate significant difference among the means at $P < 0.05$ (DMRT). 57

Fig. 15. EAG dose-responses of male *Ascotis selenaria* to different amount (ng) of the two sex pheromone components. (N = 5, R = 5). Different letters above standard error bars indicate significant difference among the means at $P < 0.05$ (DMRT). 58

Fig. 16. Changes in the amounts, 6Z,9Z-cis-3,4-epoxy-19:H and 3Z,6Z,9Z-19:H, produced in the sex pheromone gland of *Ascotis selenaria*. (A) Temporal profile of the pheromone quantity in 1 day-old females during scotophase (n= 8). (B) Pheromone amount rapidly decreased with female age when measured at 5 h after lights-off (n = 10). Different letters above standard error bars indicate significant difference among the means at $P < 0.05$ (DMRT). 59

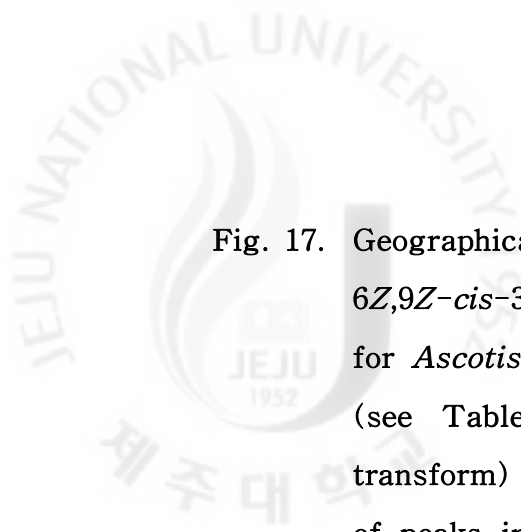


Fig. 17. Geographical variation in optimum blend ratio of 6Z,9Z-*cis*-3R,4S-epoxy-19:H and 6Z,9Z-*cis*-3S,4R-epoxy-19:H for *Ascotis selenaria* in Korea. The original trap catch data (see Table 6) were smoothed using FFT (fast Fourier transform) filtering between 5 and 12% to make the location of peaks in the actual data more distinct (Jandel Scientific, 1996). The smoothed data were scaled as ratios against the peak catches to compare among localities. The surveyed locations were noted in relation to the major and minor mountain ranges. 60

Fig. 18. Mean numbers of *Ascotis selenaria* males captured in the trap baited with 3Z,6Z,9Z-19:H added onto the lure containing 0.5 : 0.5 ratio between 6Z,9Z-*cis*-3R,4S-epoxy-19:H and 6Z,9Z-*cis*-3S,4R-epoxy-19:H at a citrus orchard in Aewol, Jeju-do during Sep. 9 ~ 29, 2009. Different letters above standard error bars indicate significant difference among the means at $P < 0.05$ (DMRT). 61

Fig. 19. Developmental rate curve (1/median day) of the egg, larval, and pupal stage of *Ascotis selenaria*. Hilbert and Logan model (Hilbert & Logan, 1983) was applied on each developmental stage. 74

Fig. 20. Relative frequency of cumulative developmental complete distribution of the egg, larval, and pupal stage of *Ascotis selenaria*. Weibull function (Wagner *et al.*, 1984) was applied on each developmental stage. 75

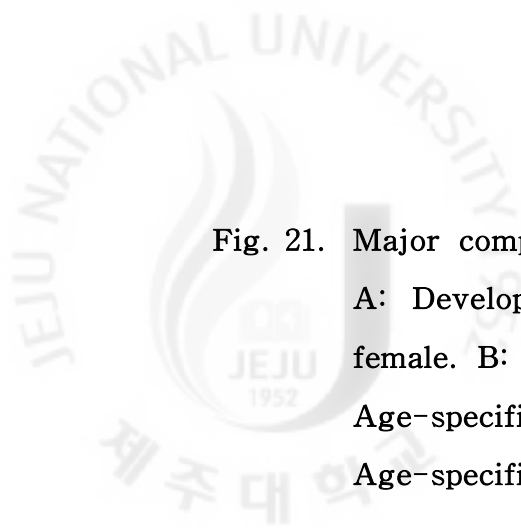


Fig. 21. Major component of oviposition model of *Ascotis selenaria*. A: Developmental rate curve (1/mean longevity) of adult female. B: Temperature-dependent total fecundity curve. C: Age-specific cumulative oviposition rate curve. D: Age-specific survival rate curve.76

Fig. 22. Predicted oviposition density curve of *Ascotis selenaria*.77

Fig. 23. Comparison of model outputs with actual data of *Ascotis selenaria* adult in a citrus orchard in Seogwipo, Jeju-do in 2008, 2009, and 2010. Model was simulated with two scenarios in the step of overwintered pupae(see Fig. 4). scenario 1 that one hundred pupae with zero value of physiological age used as influx population and scenario 2 that one hundred pupae consisted of 4 groups in a ratio of 2 : 3 : 3 : 2, where 0.6, 0.3, 0, -0.3 of physiological age were allocated, respectively.78

Fig. 24. Comparison of model outputs with actual data of 1st instar larvae of *Ascotis selenaria* in a citrus orchard in Seogwipo, Jeju-do in 2009 and 2010. Model was simulated with two scenarios in the step of overwintered pupae(see Fig. 4). scenario 1 that one hundred pupae with zero value of physiological age used as influx population and scenario 2 that one hundred pupae consisted of 4 groups in a ratio of 2 : 3 : 3 : 2, where 0.6, 0.3, 0, -0.3 of physiological age were allocated, respectively.79



ABSTRACT

This study was conducted to evaluate a Geometridae (Lepidoptera) species, *Ascotis selenaria*, as a pest in citrus orchards and to establish a monitoring and prediction method with their sex pheromone and population model in Jeju, Korea.

Seven Geometridae species were occurred in citrus orchards: *Ascotis selenaria*, *Ectropis excellens*, *Menophra senilis*, *Biston panterinaria*, *Ourapteryx nivea*, *Odontopera arida* and *Hypomecis punctinalis*. Among them, *A. selenaria* was most abundant and caused citrus fruit damage. Fruit damage of *Citrus unshiu* appeared as gnawed scars caused by young larvae feeding on fruit surface. Fruit damage on Shiranuhi appeared as a wide hole or deep scars caused by mature larvae (6th instar). Citrus leaf damage due to Geometridae larvae was high during May to June. Fruit damage started in late June as the spring-shoots of citrus hardened and increased sharply in late July. In the field experiments, mean of fruit damage reached 4.5% in the late season from 2008 to 2010. *A. selenaria* larvae were distributed randomly in citrus orchards because clump index was almost 0 from 2008 to 2010. In citrus orchards, *A. selenaria* larvae started to appear in mid-May and their populations peaked in mid-June, late July, and early to mid-September. Adult males of *A. selenaria* had a maximum peak in mid-May, and two other peaks in early to late July and late August to early September. *A. selenaria* male adults were collected in a pheromone traps constantly throughout Jeju Island.

In the sex pheromone glands of *A. selenaria* females, two components, (Z,Z)-6,9-cis-3,4-epoxynonadecadiene (6Z,9Z-cis-3,4-epoxy-19:H) and (Z,Z,Z)-3,6,9-nonadecatriene (3Z,6Z,9Z-19:H), were identified by GC-MS

analysis. However, 3Z,6Z,9Z-19:H neither elicited an EAG-response on the male antenna in GC-EAD nor increased the attractiveness of the first component for *A. selenaria* males in the field. Two isomers 6Z,9Z-cis-3R,4S-epoxy-19:H and 6Z,9Z-cis-3S,4R-epoxy-19:H, of 6Z,9Z-cis-3,4-epoxy-19:H, showed same retention time in GC-MS analysis and were critical for attracting of *A. selenaria* males. The optimum blend ratio of tow isomers showing peak catches of *A. selenaria* males had large variations among locations investigated. *A. selenaria* populations in Gunwi showed a peak activity at 0.9 : 0.1 ratio, while the populations of Goheung, Yeongam, and Jeju (Aewol & Harye) showed peak activity around 0.5 : 0.5 ratio. These variation in an optimum blend of *A. selenaria* would be caused by geographical isolation.

Egg, larva, and pupa developmental rate (1/median day) were incorporated into temperature-dependant developmental rate models, respectively, using Hilbert & Logan model. Weibull function was applied to describe their developmental distribution based on the summation of their daily developmental rate. An oviposition model consists of a total fecundity model, an age-specific cumulative oviposition model, and an age-specific survival model, in which physiological age was calculated from adult developmental rate model. A Gaussian model was applied to the total fecundity model and a sigmoid function was to an adult developmental rate model. A normalized cumulative oviposition rate and a survival rate with physiological age were incorporated into those age-specific models. A population model for *A. selenaria* was established by linking egg, larval, pupal, and oviposition models. Model outputs were compared with the actual 1st larva and adult occurrence surveyed in a citrus orchard in Seogwipo, Jeju from 2008 to 2010. A simulated output driven in the case that overwintered pupae were grouped with different developmental rates was successfully fit to actual 1st larva and adult occurrence and the peak time.

I. 서 언

제주도 지역에서 감귤(*Citrus* spp.)은 중요한 소득 작물 중 하나로 2009년 재배면적은 20,898 ha 이었고 연간 조수입은 6,011억원을 차지하고 있다(제주도특별자치도, 2010). 이 중 노지 감귤에서는 온주밀감(*Citrus unshiu*)이 대부분 생산되고 있고(2009년: 74만톤), 시설하우스에서는 주로 부지화(Shiranuhi: [*C. unshiu* × *C. sinensis*] × *C. reticulata*)가 주로 생산되고 있다.

이러한 제주도 농업의 기간 작물인 감귤에 발생하는 해충은 곤충 강에 속한 69종과 그 외 응애목 등 해충으로 5종이 기록되어 있다(Anonymous, 2002b). 그 중 귤응애(*Panonychus citri*), 귤굴나방(*Phyllocnistis citrella*), 조팝나무진딧물(*Aphis citricola*), 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*) 등이 큰 피해를 주는 우점 종으로 알려져 있다. 감귤에 발생하는 해충을 가해부위별로 구분하면 잎, 가지, 과실, 꽃을 가해하는 해충이 각각 36종, 16종, 41종, 2종이 있는데, 그 중 과실을 가해하는 해충으로 인한 피해율은 약 20%였고 상품성이 없는 피해과율은 약 6.5%이었다(Kim & Choi, 2000). 지금까지 감귤 수확기에 조사된 나방류의 피해과율은 약 2.1%로 보고되어 있어(Kim *et al.*, 2000), 경제적 측면에서 중요한 위치에 있음을 알 수 있다.

네눈썹가지나방(Denis *et* Schiffermüller, 1775)은 나비목 자나방과(Geometridae)에 속하고, 영명은 cotton geometrid, mugwort, looper, giant looper 등으로 주로 불리고 있다. 외국에서 네눈썹가지나방은 이스라엘의 경우 아보카도(*Persea americana*), 케냐의 커피(*Coffea* spp.), 러시아의 차(*Thea sinensis*)에서 중요한 해충이고, 그 외 오렌지(*Citrus sinensis*), 레몬(*Citrus limon*), 사과(*Malus* spp.), 땅콩(*Arachis hypogaea*), 알팔파(*Medicago sativa*) 등 작물에 심한 피해를 주는 것으로 알려져 있다(Wysoki, 1982). 국내에서도 재배작물 중에 감귤을 비롯하여 사과, 콩(*Glycine max*), 당근(*Daucus carota*), 감(*Diospyros kaki*) 등 작물에 발생하는 것으로 보고되어 있다(Kim & Beljaev, 2001).

네눈썹가지나방은 외국에서 연간 3~5회 발생하고, 용화는 땅속에서 이루어지며, 암컷 한 마리당 302~445개의 알을 낳는 것으로 보고되어 있다(Wysoki *et al.*, 1975). 제주도 감귤원에서는 연간 3~4 회 발생하는데, 주로 봄순이 경화되는 무렵인 6월부터 발생하여 9월까지 잎과 과실을 주로 가해한다고 알려져 있으며 (Anonymous, 2002b), 기타 자세한 생태는 알려진 바 없다.

농작물의 약제방제 체계와 관련하여 외국에서는 유기인계 농약살포가 네눈썹가지나방의 발생을 조장하는 것으로 보고하고 있다. 예를 들면 남아프리카공화국 감귤원에서 각지벌레와 응애류 방제를 위해 파라치온 농약을 살포하게 되면서 네눈썹가지나방의 밀도가 증가하였고, 탄자니아의 커피에서도 유사한 사례가 보고되었다(Wysoki *et al.*, 1975). 따라서 Erichsen & Schoeman(1994)은 네눈썹가지나방이 급증하여 경제적 피해를 주는 직접적인 원인이 화합물 농약의 무분별한 사용 때문이라고 주장하였다. 이러한 사실로 미루어볼 때 제주 감귤원의 대부분은 화학적 방제를 기본으로 하고 있기 때문에 네눈썹가지나방의 피해가 향후 더 감소할 것이라고 기대하기는 어려워 보인다.

현재까지 감귤원에서 자나방과 해충은 중요하지 않은 부차적 해충으로 취급되었으며, 경제적 피해와 해충으로서의 위치가 올바르게 검토되지 못하였다. 이로 인하여 자나방류에 의한 감귤 피해가 어떤 종류에 의해 발생하는지, 가해 종의 기초 생태와 정확한 방제 시기가 규명되어 있지 않다. 따라서 본 연구는 일차적으로 감귤 과실을 가해하는 종류와 피해양상을 규명하는 기초연구를 수행하고, 대상 해충을 효과적으로 예찰 또는 방제를 하기 위하여 성페로몬의 조성을 구명하였고, 마지막으로 자연적 또는 인위적 환경변화에 따른 대상 해충의 발생시기를 예측하거나 평가할 수 있도록 개체군 모형을 개발하였다.

II. 연구사

1. 네눈썹가지나방의 섭식 양상

감귤(*Citrus* spp.)에 발생하는 해충은 총 183종으로, 이 중 자나방류(Geometridae) 해충은 네눈썹가지나방(*Ascotis selenaria*), 은줄가지나방(*Chariaspilates formosaria*), 날개물결가지나방(*Ectropis bistortata*), 줄고운가지나방(*Ectropis excellens*), 붉은선두리푸른자나방(*Hemithea aestivaria*), 네눈푸른가지나방(*Ophthalmitis irrorataria*), 끝무늬애기자나방(*Pylargosceles steganiodes*) 이 기록되어 있다(Anonymous, 1986). 그러나 1996년부터 1998년까지 3년간 조사된 감귤해충 74종 중에서 자나방류 해충은 네눈썹가지나방만 보고되어 있다(Kim *et al.*, 2000).

외국에서 네눈썹가지나방은 이스라엘의 아보카도(*Persea americana*), 케냐의 커피(*Coffea* spp.), 러시아의 차(*Thea sinensis*)에서 중요한 해충이고, 그 외 오렌지(*Citrus sinensis*), 레몬(*Citrus limon*), 사과(*Malus* spp.), 땅콩(*Arachis hypogaea*), 알팔파(*Medicago sativa*) 등 작물에 심한 피해를 주는 것으로 알려져 있다(Wysoki, 1982). 국내에서는 감귤, 사과, 콩(*Glycine max*), 당근(*Daucus carota*), 감(*Diospyros kaki*) 등 작물에 네눈썹가지나방이 발생하는 것으로 보고되어 있다(Kim & Beljaev, 2001). 감귤에서 네눈썹가지나방은 온주밀감(*Citrus unshiu*)의 잎과 과실을 모두 가해하는데(Anonymous, 2002b), 꿀굴나방(*Phyllocnistis citrella*) 다음으로 가장 많이 발생하는 해충으로, 수확기 온주밀감의 나방류 해충으로 인한 과실 피해율은 약 2.1%로 보고되어 있다(Kim *et al.*, 2000). 이 외에 사과와 유자(*Citron junos*)에서는 잎을 가해하는 것으로 보고되어 있다(Ahn *et al.*, 1989; Anonymous, 2002a).

네눈썹가지나방은 외국에서 연간 3~5회 발생하고, 용화는 땅속에서 이루어진다(Wysoki *et al.*, 1975). 이스라엘에서 채배되는 아보카도의 과실 피해는 7~8월에 나타나는데, 과실에서 유충이 7월에 처음 발견되지만, 9월 이후로는 발견되지

않았다(Wysoki *et al.*, 1975). 남아프리카 공화국에서 네눈썹가지나방 유충에 의한 아보카도 과실 피해는 주로 1~3령 유충이 유과를 가해하여 과실 표면에 무정형의 피해자국이 있지만, 4~5령 유충이 큰 과실을 가해하면 과실에 큰 구멍이 나거나 부분적으로 함몰되었다(Erichsen & Schoeman, 1994). 국내 제주도 감귤원에서는 연간 3~4회 발생하는데, 주로 봄순이 경화 되는 무렵인 6월부터 발생하여 9월까지 잎과 과실을 주로 가해한다고 알려져 있다(Anonymous, 2002b). 일본의 차 재배원에서 성충은 3회의 발생주기를 보이는데, 성페로몬트랩에 6월, 7월, 8~9월에 주로 포획되었다(Witajaksono *et al.*, 1999). 감귤에서 네눈썹가지나방의 발생 생태에 관한 연구가 있으나(Begemann & Schoeman, 1998), 조사지역이 남아프리카공화국로 제주도와 기후대가 맞지 않았다.

야외에서 네눈썹가지나방의 산란에 관련된 자료나 보고는 매우 드물다. Abasa(1972)는 네눈썹가지나방 암컷이 지상에서 약 60cm 높이에서 커피나무 줄기에 붙어 있고, 산란처는 지상에서 122cm 이상을 넘어가지 않는다고 보고하였다. 이스라엘에서는 아보카도의 줄기나 가지의 밀폐된 장소에 산란한다고 보고되어 있다(Erichsen & Schoeman, 1994). 국내 감귤원에서 산란처는 알려져 있지 않다. 다만 암컷 한 마리가 평균 1,857개를 산란한다고 알려져 있다(Choi *et al.*, 2011). 외국에서는 이보다 적은 302~445개(Wysoki *et al.*, 1975)와 690개(Abasa, 1972)로 알려져 있다.

Wysoki *et al.*(1975)은 유기인계 농약 사용으로 네눈썹가지나방의 밀도가 증가하였다고 보고하였는데, 그 예로 남아프리카공화국에서는 깍지벌레와 응애 해충을 방제하기 위해 감귤에 파라치온 농약을 살포함에 따라 네눈썹가지나방의 밀도가 일시적으로 증가하였고, 탄자니아에서는 커피 작물에서 네눈썹가지나방의 발생밀도가 7배가 증가하였다고 한다. Erichsen & Schoeman(1994)은 이와 같이 네눈썹가지나방이 급증하여 경제적 피해가 화합물 농약의 무분별한 사용에 따른 직접적 영향이라고 논하였다.

2. 네눈썹가지나방의 성페로몬 조성

Butenandt *et al.*(1959)이 누에나방(*Bombyx mori*)에서 성페로몬(pheromone) 성분을 처음 구명한 이래, 지금까지 1,500여 종의 곤충에서 페로몬이 확인되었다(Tillman *et al.*, 1999). 페로몬은 곤충의 외부비 물질 종류로 곤충의 생리를 변화하거나 특정 행동을 유발하는 역할을 하는데, 성페로몬(sex pheromone)은 특정 행동을 유발하는 행동유기페로몬(releaser pheromone)으로, 장거리 또는 단거리에서 유인작용을 하여 암수가 서로 만날 수 있게 한다(부 등, 2005).

네눈썹가지나방의 성페로몬 성분은 탄소간의 이중결합과 에폭시 그룹이 있는 탄수화물 구조체로 제 2형 페로몬 그룹에 속하다(Byer, 2006; Millar, 2000). 제 2형 페로몬을 사용하는 개체들은 다불포화탄화수소(polyunsaturated hydrocarbons)가 중간물질로 사용된다(Roelofs & Bjostad, 1984). 이 물질은 지방체(fat body)나 복부의 표피세포와 연계된 편도세포(oenocyte)에서 생합성 되고(Diehl, 1975), 혈림프를 통해 운반되어 성페로몬 샘에 축적되었다가 방출된다(Schal *et al.*, 1998). 네눈썹가지나방은 성페로몬의 전구체로 (*Z,Z,Z*)-3,6,9-nonadecatriene(3*Z*,6*Z*,9*Z*-19:H)을 사용하는데, 이것은 리놀렌산(linolenic acid)으로부터 C₂ elongation에 의해 만들어진 탄소 수가 20개인 지방산이 만들어지고, 이후 탈카르복실화 과정을 거쳐 합성된다(Miyamoto *et al.*, 1999). 그리고 특이하게도 이 생합성 과정은 암컷의 혈림프에서만 일어난다(Wei *et al.*, 2003). 종 특이적인 에폭시그룹을 갖는 페로몬 성분은 매우 한정된 조건이나 상황에서만 전구체물질의 생산과 에폭시화 과정을 통해 이루어지는데(Wei *et al.*, 2004), 성페로몬 성분인 (*Z,Z*)-6,9-*cis*-3,4-epoxynonadecadiene (6*Z*,9*Z-cis*-3,4-epoxy-19:H)은 전구체인 3*Z*,6*Z*,9*Z*-19:H로부터만 합성되고, 에폭시화 과정은 성페로몬 샘에서만 이루어진다(Miyamoto *et al.*, 1999).

네눈썹가지나방 성페로몬 성분은 일본(Ando *et al.*, 1997)과 이스라엘(Becker *et al.*, 1990 Cossé *et al.*, 1992)에서 6*Z*,9*Z-cis*-3,4-epoxy-19:H와 3*Z*,6*Z*,9*Z*-19:H로 동정되었다(Fig. 1). 그러나 3*Z*,6*Z*,9*Z*-19:H는 풍동실험에서 수컷에게 어떤 반응도 일으키지 못했고(Cossé *et al.*, 1992), 야외에서 유인 효과도 보이지 않았다(Ando *et al.*, 1997; Becker *et al.*, 1990). 반면에

6Z,9Z-cis-3,4-epoxy-19:H는 네눈썹가지나방 수컷에 대한 높은 유인효과를 보였다. 이 성분은 두 가지 이성질체인 6Z,9Z-cis-3R,4S-epoxy-19:H(RS)와 6Z,9Z-cis-3S,4R-epoxy-19:H(SR)로 존재한다. 이들 이성질체의 활성은 지역에 따라 차이가 있었다. 일본의 네눈썹가지나방 개체군은 RS의 함량이 많은 유인제에 주로 유인되었고, 이스라엘 개체군은 다른 이성질체인 SR에만 유인되었다.

국내에 존재하는 나방류 해충 중에서 국내 또는 주변국과 성페로몬 성분의 변이에 관한 보고가 있다. 특히 한국에 존재하는 몇몇 농업 해충들이 이웃한 일본이나 중국과 달리 성페로몬 조성에 차이가 있다는 것이 종종 보고되었다(Boo, 1998; Boo & Park, 2005). 대표적으로 국내에 발생하는 애모무늬잎말이나방 (*Adoxyphytes orana*)은 다른 성페로몬 조성을 갖는 두 개의 집단이 존재하는데, 한 집단은 사과, 복숭아, 배를 선호하고 다른 집단은 차와 배를 선호하는 경향을 보였다(Han & Boo, 2002).

페로몬은 대상 해충 집단의 최초 발생 또는 이주 시기와 개체군의 밀도 변동을 쉽게 탐지할 수 있어 개체군을 예찰하는데 매우 효과적이고, 대량포살이나 교미교란 등 방제 수단으로도 사용된다. 한국에서도 사과와 배 재배원에 성페로몬을 농업적으로 적용하여 큰 성공을 거두었다. 복숭아순나방(*Grapholita molesta*)은 이들의 성페로몬 성분을 이용하여 이들 개체군의 발생을 예찰하여 방제시기를 판단할 수 있었고, 배 과원에서 교미교란을 적용한 이후 매년 10% 이상의 피해감소 효과를 보였다(Boo & Park, 2005). 일본에서도 성페로몬을 이용하여 차에 발생하는 네눈썹가지나방을 방제하는 시도가 있었다. 네눈썹가지나방 성페로몬의 전구체인 3Z,6Z,9Z-19:H의 이중결합 위치에 임의로 에폭시화 과정을 통해 만든 혼합물을 교미교란제로 만들어 ha 당 3,000~5,000개를 설치하였을 때 완벽하게 네눈썹가지나방의 교미를 억제하였다(Ohtani *et al.*, 2001).

이와 같이 성페로몬은 대상 해충의 예찰 외에도 방제수단으로 유용한 도구이다. 또한 외국에서 네눈썹가지나방에 대한 교미교란이 성공한 예를 보아 국내 감귤원에도 충분히 적용될 수 있다고 여겨진다. 그러나 성페로몬은 지역간에 변이가 존재하기 때문에 기존에 외국에서 성페로몬 성분이 보고되었다하더라도 국내에서 농업적으로 이용하기 위해서는 국내에서 이들이 최적으로 유인되는 성페로몬 조성을 규명하지 않으면 아니 될 것이다.

3. 네눈썹가지나방의 온도 발육과 개체군 모형

곤충은 기상, 먹이, 서식처 등 물리적, 생물적 환경 요소의 영향을 크게 받는다. 기상요소 중 곤충은 변온동물(poikilotherm)이므로 온도가 가장 큰 영향을 미친다. 1800년대 곤충의 발생을 예측하는데 많은 관심이 있었지만, 이와 같이 곤충의 발육에 온도가 중요하다는 것을 알게 되면서(Uvarov *et al.*, 1931), 온도에 의존적인 많은 모형들이 만들어져 곤충의 발육을 설명하거나 예측이 가능해졌다.

일반적으로 온도에 따른 곤충의 발육속도 - 단위 시간 당 발육이 완료되는 정도 - 는 저온영역에서 온도가 하한 치사온도 이상으로 증가하면 조금씩 발육속도가 증가하고, 적온영역에서는 온도 증가와 비례하여 발육속도가 증가하는데 이때 온도와 발육속도는 선형관계를 보인다. 고온영역에서는 발육속도가 점차 감소하여 온도가 상한 치사온도에 이를수록 발육속도도 급격히 감소한다.

온도에 따른 곤충의 발육속도를 설명하는 모형은 크게 선형 모형과 비선형모형으로 구분된다. 선형 모형은 적온영역에서 곤충의 발육속도가 온도와 선형관계를 이룬다는 가정에서 출발하여 선형모형으로부터 계산된 발육이 0이 되는 온도를 발육영점온도(developmental zero)라고 하고, 발육이 완료될 때까지의 필요한 발육영점온도 이상의 온도 값을 온량상수(thermal constant)라 한다. 이와 같이 선형모형으로부터 발육영점온도와 온도상수를 구하는 일도(degree-day) 모형의 접근 방식은 다수의 연구자들의 연구 결과를 바탕으로 만들어졌고, 이 방식의 적용과 이용이 쉬어 널리 사용되고 있다(Wagner *et al.*, 1984a).

선형모형은 저온영역과 고온영역에서의 발육을 잘 설명하지 못하는 단점이 있다(Howe, 1967). 이 점을 개선하고자 다양한 비선형모형이 만들어졌다. 경험적 모형으로는 로지스틱형 방정식(Davidson, 1942), 시그모이드형 방정식(Stinner *et al.*, 1974), Eyring 모형(Eyring, 1935), 가우스 모형(Taylor, 1981), Hilbert와 Logan 모형(Hilbert & Logan, 1983) 등이 있다. 경험적 모형과 달리 생물현상과 관련된 효소의 활성을 바탕으로 한 생물적 발육모형(Sharpe & DeMichele, 1977)도 개발되었다(Wagner *et al.*, 1984a). 이 모형은 온도에 따른 곤충의 발육을 모든 온도범위에서 잘 묘사하지만, 매개변수를 추정하기 어려운 단점이 있어 Schoolfield *et al.*(1981)가 매개변수 추정이 쉽도록 생물리적 모형(biophysic

model)으로 변형하였다.

Wagner *et al.*(1984b)은 위와 같은 기존의 모형들이 모두 온도가 곤충의 발육에 미치는 영향을 잘 나타낼 수 있지만, 개체들의 발육이 완료되는 분포에 대해서는 전혀 고려되어 있지 않다고 지적했고, Curry *et al.*(1978)은 다양한 온도 조건에서 개체군을 구성하는 개체들의 발육이 완료되는 시기를 예측하기 위해서는 온도에 비의존적인 분포가 필요하다고 하였다. 온도에 비의존적으로 표준화된 누적분포도에 Weibull 함수를 적용하였을 때, 다양한 온도조건에서 집단(cohort) 내의 개체들의 발육 분포가 시간에 따라 잘 묘사되었다(Wagner *et al.*, 1984b)

곤충의 산란은 온도에 의존적인 세 가지 요소, 즉 총산란수(total fecundity), 생리적 연령에 따른 산란율(age-specific oviposition rate), 생리적 연령에 따른 생존율(age-specific survival)로 표현할 수 있다(Curry & Feldman, 1987). Kim & Lee(2003)는 비선형 모형을 이용하여 위와 같은 구성으로 복숭아심식나방(*Carposina sasakii*)의 산란모형을 만들었고, 이 모형은 야외에서 발생하는 알 발생을 묘사하는데 적합하였다.

네눈썹가지나방은 감귤을 가해하는 해충으로 연간 3~4회 발생하는데, 보통 봄순이 경화 되는 무렵인 6월부터 발생하여 9월까지 잎과 과실을 주로 가해한다(Anonymous, 2002b). 이들은 땅속에서 용화를 하지만(Wysoki *et al.*, 1975), 감귤원에서 산란처는 알려져 있지 않다. 중국에서 네눈썹가지나방의 알, 유충, 용, 성충의 발육영점온도는 8.38, 11.34, 2.81, 14.77°C이고, 유효적산온도는 86.05, 341.86, 197.90, 48.53 DD(degree day)로 보고되어 있다(Yu *et al.*, 2001). 적산온도 모형은 해충의 발생시기를 예측하기에 간편한 방법이지만, 기상변화, 농약살포 등 환경조건의 변화를 반영하기 어렵다.

따라서 비선형모형을 이용하여 네눈썹가지나방 개체군 모형을 만들어 이들의 포장에서의 발생과 피해를 평가하고 정확한 방제시기를 예측하는데 도움이 되고자 본 실험을 수행하였다.

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 네눈썹가지나방의 섭식 양상

1-1. 감귤원에 발생하는 자나방류

제주도 서귀포시 하례리에 위치한 감귤시험장(서귀포 포장)과 제주시 오등동에 소재한 온난화대응농업연구센터의 감귤 포장(제주시 포장)에서 조사를 수행하였다. 서귀포 포장은 1,200m² 면적으로 약 20년 생 온주밀감(Shiranuhi : [*C. unshiu* × *C. sinensis*] × *C. reticulata*) 과 165m² 면적에 부지화(Shiranuhi : [*C. unshiu* × *C. sinensis*] × *C. reticulata*) 가 9주 재식된 시설재배로 구성되어 있었고, 제주시 포장은 300m² 면적으로 5년 생 온주밀감이 재식된 노지포장이었다. 조사기간 동안 살충제는 관행적으로 연간 4~5회 살포되었다.

2007년부터 2010년까지 서귀포 노지 포장과 2010년에 7일 간격으로 제주시 포장의 모든 감귤 나무의 잎과 과실을 육안으로 가해 받은 부위 주위를 조사하여 자나방과 유충을 채집하였다. 채집된 자나방과 유충은 외부 형태나 색깔에 따라 구분한 후, 감귤 신초나 인공사료(Choi *et al.*, 2011)를 제공하여 실내에서 사육하였다. 우화한 성충은 표본으로 제작한 후, 생식기를 적출하여 동정하였다(Kim *et al.*, 2001). 제작된 표본은 농촌진흥청 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구센터의 곤충표본관에 보관하였다.

1-2. 네눈썹가지나방의 형태와 산란 특성

네눈썹가지나방의 알, 유충, 번데기, 성충의 크기를 캘리퍼스(Mitutoyo Co., Japan)와 현미경 시스템(Leica MZ16A, Leica Microsystems Ltd., Hongkong, China)으로 측정하였다. 알은 장폭과 단폭, 유충은 탈피한지 1일된 개체의 두피 폭과 몸 전체 길이를, 번데기는 용화한지 2~3일된 개체의 몸길기와 폭을, 성충은 우화 1일 후 개체의 몸길기와 날개 편 길이를 측정하였다. 이외에 채색과 무

니 등 다른 형태적 특징도 관찰하여 기술하였다.

산란습성을 조사하고자 아크릴 산란상자(25 × 25 × 25cm, SPL Co.)에 교미하지 않은 암컷성충 3마리와 수컷성충 5마리를 넣어주었다. 산란매질로는 거즈(크기 8 × 8cm; 눈 크기 1mm), 수직방향으로 주름 잡힌 기름종이(크기 8 × 8cm; 높이 1cm), 수평방향으로 주름 잡힌 기름종이(폭 1cm × 길이 8cm)의 3 종류를 준비하여 이들을 함께 커다란 기름종이(22 × 22 × 22cm)에 임의로 배열하여 부착하였다. 산란매질들이 배열된 기름종이를 3개 준비하여 산란상자 내부 3면(좌, 우, 후)에 각각 부착하였다. 산란매질에 따른 산란유무와 산란행동을 관찰하여 기술하였다.

1-3. 네눈썹가지나방의 발생과 섭식 양상

1-3-1. 유충 발생 밀도와 공간 분포

서귀포 노지 온주밀감에서 채집된 네눈썹가지나방 유충 자료를 이용하여 시기별 발생밀도를 분석하였다. 또한 2008년부터 2010년까지 3년 동안 감귤시험장의 감귤 나무를 표본단위로 하여 각 표본단위에서 채집된 네눈썹가지나방 유충의 충수에 대하여 공간분포 양상을 분석하였다. 분산지수(dispersion index)는 표본평균에 대한 분산비(index of dispersion, ID)를 이용하였다. 조사포장의 표본단위가 30보다 높았기 때문에 d 통계량으로 계산하여 분산유형을 구분하였다. 집중지수(clumping index)는 Green(1966)이 고안한 GI(Green's index)를 이용하였다. 집중 분포는 음이항(negative binomial) 분포로, 무작위 분포는 포아송(Poisson) 분포로 χ^2 을 구하여 적합성을 검정하였다.

○ 분산지수(dispersion index)

$$\cdot ID = s^2 / \bar{X} \quad (\bar{X}: \text{표본평균}, s^2: \text{표본분산})$$

$$\cdot d = \sqrt{2\bar{X}} - \sqrt{2(N-1) - 1} \quad (\bar{X}: ID(N-1), N: \text{총표본단위수})$$

○ 집중지수(clumping index)

$$\cdot GI = (ID - 1) / (n - 1) \quad (n: \text{총개체수})$$

1-3-2. 네눈썹가지나방 성충의 발생 양상

네눈썹가지나방 성충의 시기별 발생밀도는 성페로몬 트랩을 이용하여 조사하였다. 유인제는 Ando *et al.*(1997)의 성페로몬 조성에 따라 Chemtech B. V.(암스테르담, 네델란드)에서 구입한 (Z,Z)-6,9-cis-3R,4S-epoxynonadecadiene (6Z,9Z-cis-3R,4S-epoxy-19:H), (Z,Z)-6,9-cis-3R,4S-epoxynonadecadiene (6Z,9Z-cis-3S,4R-epoxy-19:H), (Z,Z,Z)-3,6,9-nonadecatriene (3Z,6Z,9Z-19:H)을 33 : 38 : 2 비율로 조합한 다음 총량 1mg을 고무격막(ID. 8mm; Wheaton Industries Inc., 뉴저지, 미국)에 흡수시켜 제조하였다. 유인제는 왕트랩(그린아크로텍 Co., 경산시, 대한민국)의 하판 중앙에 설치하였으며, 한달 간격으로 유인제를 교체하였다. 트랩은 지상에서 1~1.5m 높이로 감귤나무 외부에 위치한 가지에 매달아 사용하였다. 서귀포 노지 포장에 50m 간격으로 성페로몬 트랩 3개를 설치하여 2007년부터 2010년까지 7일 간격으로 포획수를 조사하였고, 별도로 제주도 동·서·남·북부에 위치한 총 15개 농가 감귤원에 성페로몬트랩을 1개씩 설치하여 2007년부터 2008년까지 10일 간격으로 포획수를 조사하였다.

1-3-3. 네눈썹가지나방의 섭식 양상

감귤과실에서 자나방 피해증상은 위 서귀포 노지(온주밀감)와, 시설재배 포장(부지화)에서 2007년 감귤 생육기간 동안 관찰하여 사진과 함께 정성적으로 기술하였다. 감귤과실에 발생하는 자나방 종류와 영기별 분포는 서귀포 노지포장 전체에서 2009년(7월 6일~21일) 및 2010년(7월 13일~20일) 과실에 정착한 유충을 채집하였다. 과실에서 채집된 네눈썹가지나방 유충의 영기는 유충의 형태적인 특징에 따라 구분하였다. 또한 2008년 7월 22일, 2009년 8월 25일, 2010년 9월 8일의 3회에 걸쳐 서귀포 노지 포장의 착과한 모든 감귤나무에 대해서 육안으로 총과실수와 자나방 피해 과실수를 전수 조사하여 감귤 피해과율을 구하였다.

서귀포 노지 포장에서 자나방류 피해신초 및 피해 과의 연간발생소장을 2009년과 2010년 7월 간격으로 조사하였다. 조사 시기마다 모든 감귤나무의 신초와 과실에서 자나방 피해 여부를 육안으로 전수 조사하였다.

2. 네눈썹가지나방의 성페로몬 조성

2-1. 성충의 교미리듬

2-1-1. 실험 곤충의 사육과 성페로몬의 구입

실험에 사용된 곤충은 2007년 감귤원에서 채집한 네눈썹가지나방(*A. selenaria*) 유충들을 인공사료(Choi *et al.*, 2011)를 이용하여 실내에서 25±1℃ 온도조건과 16L8D 광 조건에서 누대 사육한 개체들을 사육하였다. 암수 구분은 용단계에서 수행하였고, 우화한 성충은 10% 설탕물을 먹이로 제공하였다. 실험에 사용된 모든 성페로몬성분은 Chemtech B. V. (암스테르담, 네델란드)에서 구입하였고, 순도는 95%이상이었다.

2-1-2. 성충의 교미리듬

용단계의 네눈썹가지나방 암컷 86마리와 수컷 116마리를 각각 플라스틱 사육상자(40 × 30 × 40cm, SPL Co.)에 넣고 1시간 간격으로 우화시간을 조사하였다. 암컷의 유인행동을 조사하기 위하여 플라스틱 사육상자(25 × 25 × 25cm, SPL Co.)에 암컷의 나이별(우화 후 0, 1, 2, 3일)로 10마리씩 넣었다. 조사는 불 꺼진 후 1시간 간격으로 수행하였다. 교미리듬은 플라스틱 상자(15 × 15 × 15cm, SPL Co.)에 암컷 1마리와 수컷 2마리(우화 후 1~3일)를 넣어 불 꺼진 후 30분 간격으로 교미쌍수를 조사하였다. 암컷은 나이별(우화 후 0, 1, 2, 3일)로 9반복(사육상자)으로 조사하였다.

2-2. 성페로몬의 성분 분석

2-2-1. 성페로몬의 추출과 성분 분석

우화한지 1~2일된 미 교미 암컷 73마리를 불 꺼진 후 5시간 쯤 성페로몬 성분을 추출하였다. 암컷을 CO₂로 마취한 후 암컷의 복부 8~10마디를 잘라내었다. 샘플들은 100 μ l에 15분간 침전시켜 성페로몬 성분을 추출하였다. 추출물은 모세관 칼럼(30m \times 0.32mm I.D., 0.25 μ m thick; Rtx5MS)이 장착된 GC-MS QP-2010(Shimadzu, Japan)으로 분석하였다. 주입구(inlet) 온도는 250 $^{\circ}$ C로 설정하였고, 오븐온도는 80 $^{\circ}$ C도에서 1분 간, 이후 분당 10 $^{\circ}$ C씩 상승시켜 최종적으로 200 $^{\circ}$ C에서 13분 간 유지되도록 설정하였다. 추출물 1 μ l를 비분배모드(splitless mode)로 주입하였고, 이후 이동상인 헬륨가스가 분당 2ml씩 흐르도록 설정된 칼럼에서 성분들이 분리되었다. 각각의 분리된 성분들은 최종적으로 전자충격방식의 질량분석기에서 분석되었다. 분석은 추출물의 머무름 시간(retention time, t_R)과 질량스펙트럼(mass spectrum)으로 관련물질들의 특징들과 비교하였다.

2-2-2. 성페로몬 추출물에 대한 GC-EAD 분석

성페로몬샘 추출물에서 성페로몬 성분을 확인하기 위하여 GC-EAD(gas chromatograph coupled with electroantennographic detector)시험을 수행하였다. HP7890(Agilent, USA)에 내장된 모세관 칼럼(30m \times 0.32mm I.D., 0.25 μ m thick; HP-5)의 끝 부분을 Y형 유리관을 이용하여 분석물질이 1 : 1 비율로 EAD(electroantennographic detector)와 FID(flame ionization detector)에 주입되게 구성하였다(Fig. 2). GC의 주입구와 검출기(detector)의 온도는 250 $^{\circ}$ C로 설정하였고, 질소가스가 운반상으로 사용되었다. 샘플 1 μ l를 비분리모드로 주입하였고, 오븐 온도는 처음에 80 $^{\circ}$ C에서 1분 간 유지한 후 분당 15 $^{\circ}$ C씩 170 $^{\circ}$ C까지 증가시켰고, 이후 분당 10 $^{\circ}$ C씩 200 $^{\circ}$ C까지 증가한 후 15분 간 유지시켰다. EAG(electroantennogram) 반응은 우화한 지 1~4일된 수컷 안테나의 양 끝을 잘라내어 EAG 탐침봉(PRG-2)의 기록전극과 대조전극에 전해질 젤(Parker laboratories Inc., USA)을 이용하여 붙였다. 준비된 안테나 샘플을 GC의 EAD쪽

으로 분리된 모세관과 연결된 유리관 가까이 접근시켰고, 유리관내에는 분당 600 ml의 습도가 높은 공기가 흐르게 하였다. EAG 반응은 Syntech EAG 2000 프로그램 시스템(Hilversum, Netherlands)으로 기록하였다.

2-2-3. 성페로몬 성분의 생산량 조사

암컷의 성페로몬 샘에서 생산되는 밤 시간대 성페로몬의 생산량을 조사하기 위하여, 밤 시간별로 우화한 지 1일된 암컷 8마리의 성페로몬 성분을 추출하였다. 추출방법은 각각의 성페로몬 샘을 20 μ l 추출용 용매에 15분 간 추출하였다. 추출용 용매는 정량분석용 표지물질로 (Z,Z,Z)-3,6,9-octadecatrienyl acetate (3Z,6Z,9Z-18:Ac)가 헥산 1 μ l당 50ng의 농도로 포함되도록 희석하였다. 암컷 나이에 따른 생산량을 비교하기 위하여 우화 후 0, 1, 2, 3, 4일 된 암컷 10마리를 불 꺼진 후 5시간 쯤 추출하였다. 분석은 1 μ l의 추출물을 Shimadzu GC-MS QP-2010에 주입하여 분석하였다. 분석방법은 성페로몬 분석과 동일한 조건에서 수행하였다.

2-2-4. 성페로몬 성분 화합물과 유사물질에 대한 EAG 반응

우화 3일된 수컷 5마리의 안테나를 사용하여 EAG 반응을 조사하였다(Fig. 3). 안테나는 GC-EAD 실험과정과 동일한 방법으로 준비하였다. 성페로몬 성분과 관련물질들에 대한 EAG 반응을 비교하기 위하여 각각의 성분을 희석하여 거름종이 조각(2 × 80mm)의 끝부분에 총량 100ng을 처리하였다. 두 성페로몬 성분인 RS와 SR 이성질체의 농도에 대한 수컷 안테나의 EAG 반응을 보기 위하여 1ng에서 10,000ng까지 농도 별로 거름종이 조각에 처리하였다. EAG 반응 시험의 대조구는 공기와 헥산이 처리된 거름종이 조각을 사용하였고, 모든 처리는 안테나 당 5반복 수행하였다.

2-3. 야외 유인력 시험

2009년에는 경북 군위에 소재한 사과 과원과 제주지역의 하례와 애월에 소재한 감귤과원에서 수행하였다. 성페로몬 성분인 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H의 이성질체인 RS와 SR의 비율을 1.0 : 0 에서 0 : 1.0 까지 비율로 총량 1mg이 되게 고무격막(11mm O.D., Wheaton)에 주입하였다. 트랩은 윈트랩(Green Agro Tech Co., Ltd.)을 사용하여 높이 1.2~1.5m되게 나무에 걸어놓았다. 트랩 간 간격은 5m이상 유지하였고, 반복간 거리는 20m이상 유지하여 설치하였다.

2010년에 경북 군위에 소재한 사과 재배원, 전남 영암에 소재한 감 재배원, 고흥에 소재한 유자 재배원, 경남 창녕에 소재한 감 재배원에서 두 성분비에 대한 야외 유인력 시험을 수행하였다. 유인제의 총량은 0.5mg으로 하였고, 그 외 실험방법은 2009년의 경우와 동일하였다.

3Z,6Z,9Z-19:H의 상승작용 여부를 조사하기 위하여, 두 성페로몬 성분인 RS와 SR을 0.5 : 0.5 비율로 총량 1mg을 함유된 유인제에 3Z,6Z,9Z-19:H를 각각 0.01, 0.05, 0.1, 0.2mg을 추가하였다. 야외 유인력 시험은 2009년 애월에 소재한 감귤원에서 실시하였고, 야외 시험 방법은 위에서 언급된 방법과 동일하게 수행하였다.

2-4. 자료 분석

실험의 모든 자료는 평균±표준오차로 표시하였고, 분석은 SAS 프로그램(SAS Institute Inc., 1996)을 이용하였다. 각 실험결과의 평균값들은 던칸다중검정(Duncan's multiple range test, DMRT) (P = 0.05)법으로 비교하였다.

3. 네눈썹가지나방의 온도 발육과 개체군 모형

3-1. 발육과 산란 실험

3-1-1. 실험 곤충 사육과 온도처리

실험에 사육된 개체들은 2007년 감귤원에서 채집한 네눈썹가지나방(*A. selenaria*) 유충들을 인공사료(Choi *et al.*, 2011)를 이용하여 실내에서 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 온도조건과 16L8D 광 조건에서 누대 사육한 개체들을 사용하였다. 용 단계에서 암수 성 구분을 하였고, 성충은 10% 설탕물을 먹이로 제공하였다.

발육시험은 온도가 12(성충은 13°C), 16, 20, 24, 28, 30, 32, 35°C 로 설정된 식물 성장상(growth chamber)에서 수행하였다. 성장상내 실제 온도는 온습도 측정장치(HOBO, ONSET computer Co., USA)로 측정하였고, 처리기간동안 측정된 평균온도를 분석에 이용하였다.

3-1-2. 발육과 산란 조사

알의 발육 조사는 산란된 지 24시간 이내의 난피를 1개씩 원형 용기(직경 90 mm, 높이 40mm, SPL Co.)에 넣은 다음 각 온도별로 설정된 성장상에 처리하였다. 이후 알에서 부화할 때까지 개체별 발육기간을 조사하였다.

유충과 용의 발육 조사는 부화한 지 24시간 이내의 1령 유충을 30~50마리가량 원형용기에 접종하여 각 처리 온도별로 총 200마리가 되도록 처리하였다. 먹이는 1령 유충의 먹이 접근과 섭식이 용이하도록 인공사료를 약 5mm 크기로 잘게 부수어 용기 안에 고르게 넣어 주었다. 실험에 사용된 개체들이 탈피할 때마다 새로운 용기에 옮겨 주었으며, 5령 유충부터 개별로 사육하였다. 조사는 유충의 영기별 발육기간과 용 기간을 조사하였다.

우화한 지 24시간 이내의 암컷 1마리와 우화한 지 1~3일된 수컷 2마리를 플라스틱 상자(15 × 15 × 15cm, SPL Co.)에 넣고, 성충의 일별 산란수를 조사하였다. 각 온도별로 플라스틱 상자는 20반복으로 처리 하였는데, 24°C 와 28°C 는 18반복, 16°C 는 21반복으로 처리하였다. 산란 상자의 내부 3면(입구기준으로 좌측면, 우측면, 후면)에는 암컷의 산란이 용이하도록 거름종이(13 × 13 × 13cm)에 거

즈(12 × 12 × 12cm)를 붙인 산란매질을 부착하였다. 산란된 산란매질은 조사 시마다 새 것으로 교체하였으며, 산란매질에 산란된 총 알 수를 조사하였다.

알, 유충, 용의 발육조사와 성충의 산란조사는 매일 오전 10:00~12:00 사이에 수행하였다.

3-2. 생명표 통계량 추정

네눈썹가지나방의 생명표 통계량을 추정하기 위하여 24℃로 온도가 설정된 성장상에서 조사된 알에서부터 성충까지의 발육과 산란 실험 자료를 이용하였다. 암수 성비는 1 : 1로 가정하였다. 알, 유충, 용의 발육기간(median)을 합한 성충 전 기간(day)과 성충의 연령(x)을 더하여 세대의 중심연령(pivotal age, X)을 구했고, 성충 전 기간의 생존율과 성충의 연령별 생존율을 곱한 값으로부터 연령에 따른 생존율(age-specific survival, l_x)을 구했다. m_x 는 암컷 성충의 연령에 따른 산란수(age-specific number of female oviposition, m'_x)와 암수 성비인 0.5를 곱하여 구하였다. 이와 같이 네눈썹가지나방의 생명표 통계량 추정하여, 총증식율(gross reproductive rate, GRR), 순증식율(net reproductive rate, R_o), 세대기간(generation time, T), 내적자연증가율(intrinsic rate of increase, r_m), 기간자연증가율(finite rate of increase, λ), 배가기간(doubling time, DT)을 계산하였다.

- 총증식율(GRR)

$$GRR = \sum m_x$$

- 순증식율(R_o)

$$R_o = \sum l_x m_x$$

- 세대기간(T)

$$T = \frac{\sum l_x m_x x}{R_o}$$

○ 내적자연증가율(r_m)

$$r_m = \frac{\log_e R_o}{T}$$

○ 기간증가율(λ)

$$\lambda = e^{r_m}$$

○ 배가기간(DT)

$$DT = \frac{\log_e 2}{r_m}$$

3-3. 온도 발육과 개체군 모형

3-3-1. 알, 유충, 용의 발육 모형

1) 발육영점온도와 온량상수

알, 유충, 용의 발육영점온도와 유효적산온도를 추정하기 위하여, 온도별 발육 기간(day)으로부터 중위수(median)를 구한 다음, 이것을 역수로 하여 발육속도(developmental rate, 1/median)를 구하였다. 온도 증가에 따른 발육속도가 선형 관계를 보이는 범위의 발육속도 값들에 대하여 선형모형($f(T) = a \cdot T + b$)을 적용하여, 매개변수 a 와 b 의 값을 추정하였다. $f(T) = 0$ 이 될 때의 T 값, 즉 발육영점온도(developmental zero)를 구하였다. 알, 유충, 용의 발육에 필요한 온량상수(thermal constant)값은 추정된 매개변수 a 의 값을 역수를 취하여 계산하였다.

2) 발육 모형

곤충의 온도 발육관련 모형은 두 개의 단위 모형인 발육속도 모형과 발육완료 분포모형으로 구성되어 있다. 알 발육속도 모형은 난괴에서 유충이 부화할 때까지 걸리는 온도별 발육기간(day)으로부터 중위수(median)를 구한 다음, 이것을 역수로 취하여 발육속도를 구하였다. 이 값들에 대해 Hilbert와 Logan 모형(Hilbert & Logan, 1983; 식 1)을 적용하였다.

$$r(T) = \psi \cdot \left[\frac{T^2}{T^2 + D^2} - e^{-(T_m - T)/\Delta T} \right] \quad \text{---- 식 1}$$

($T = T_o - T_b$, D : 매개변수)

여기서 T 는 대기온도를 의미하는 T_o 에서 임의의 발육영점온도를 의미하는 T_b 을 뺀 값이다. T_m 는 상한 치사온도를 의미하고, ψ 는 발육영점온도에서의 발육률을 의미하여, ΔT 는 고온영역의 넓이를 나타낸다. 이들 5개의 매개변수 값은 TableCurve 2D 프로그램(Jandel Scientific, 1996)으로 추정하였다.

유충과 용 발육속도 모형은 각각 유충이 용화되기까지 걸리는 기간(day), 용이 우화되기 까지 걸리는 기간(day)을 이용하여 온도별 발육속도 값을 구하였다. 적용 모형과 모형의 매개변수 값을 추정하는 방법은 알 발육모형과 같다.

발육완료 분포모형은 각 온도별 개체들의 발육완료시기 분포를 각 온도의 발육속도 값으로 표준화하여 생리적 연령(physiological age)에 따른 누적분포도를 만들었다. Weibull 함수(Wagner *et al.*, 1984; 식 2와 3)를 적용하여 이들 생리적 연령에 따른 발육완료 분포에 적합한 매개변수를 추정하였다. 알의 발육완료 분포 모형은 2개의 매개변수를 갖는 식 2를, 유충과 용은 3개의 매개변수를 갖는 식 3을 적용하였다.

$$f(x) = 1 - e^{-(x/\beta)^\delta} \quad \text{---- 식 2}$$

$$f(x) = 1 - e^{-((x-\gamma)/\beta)^\delta} \quad \text{---- 식 3}$$

$f(x)$ 는 생리적 연령 x 에서 발육을 완료한 개체들을 의미하고, 매개변수인 γ , β , δ 는 TableCurve 2D 프로그램(Jandel Scientific, 1996)을 이용하여 추정하였다.

3-3-2. 성충의 산란모형

1) 총산란수 모형

총산란수 모형(total fecundity model)은 네눈썹가지나방 암컷의 온도별 평균 산란수에 적합하도록 가우스 모형(Taylor, 1981)을 변형한 함수식(식 4)을 적용하였다.

$$f(T) = a \cdot e^{[1 + (b-T)/c - e^{(b-T)/c}]} \quad \text{---- 식 4}$$

$f(T)$ 는 네눈썹가지나방 암컷이 존재하는 장소의 온도(T)에서 산란할 수 있는 총산란수를 계산한다. 여기서 a , b , c 는 매개변수로, a 는 암컷 한 마리의 최대 산란수를, b 는 최대 산란수에 대응하는 온도를 의미한다. 매개변수 값은 TableCurve 2D 프로그램(Jandel Scientific, 1996)을 이용하여 추정하였다.

2) 생리적 연령

성충의 생리적 연령 함수를 계산하기 위하여 먼저 온도별 성충의 평균 수명 값에 역수를 취하여 성충의 발육속도(1/mean)로 취급하였다. 이 값에 지수함수식(식 5)을 적용하여, 매개변수 a , γ , δ 를 TableCurve 2D 프로그램(Jandel Scientific, 1996)을 이용하여 추정하였다.

$$r(T) = a + e^{-(T+\gamma)/\delta} \quad \text{---- 식 5}$$

이 식을 이용하여 성충의 생리적 연령(P_x ; 식 6)을 다음과 같이 계산하였다.

$$P_x = \int_0^n r(T_i) = \sum_{i=0}^n r(T_i) \quad \text{---- 식 6}$$

여기서 P_x 는 n 번째 일(발육기간)에서 생리적 연령을 의미하고, $r(T_i)$ 는 i 번째 일의 온도에서 성충 발육속도를 나타낸다.

3) 누적산란율과 생존율 모형

생리적 연령에 따른 누적산란율 모형은 성충의 발육속도 모형으로부터 계산된 생리적 연령을 독립변수로 하고, 종속변수로 온도별 누적산란수를 표준화시켜 추정하였다. 표준화된 누적산란분포도에 2개의 매개변수를 갖는 Weibull 함수(식 2)를 적용하였다. 생리적 연령에 따른 생존율 모형은 각 온도별 발육속도에 표준화된 생존율 분포에 시그모이드형 함수(Kim & Lee, 2003; 식 7)를 적용하였다. 각 모형의 매개변수들은 TableCurve 2D 프로그램(Jandel Scientific, 1996)을 이용하여 추정하였다.

$$s(Px) = \frac{1}{1 + \exp[(\gamma - x)/\delta]} \quad \text{---- 식 7}$$

4) 성충의 산란모형

네눈썹가이나방 산란모형은 총산란수 모형(total fecundity model: $f(T)$), 생리적 연령에 따른 누적산란율 모형(age-specific cumulative oviposition rate model: $p(Px)$, 생리적 연령에 따른 생존율 모형(age-specific survival rate

model: $s(Px)$)로 구성하였고, 암컷 한 마리의 온도에 따른 일별 산란밀도를 계산하는 식은 식 8과 같다.

$$f(T) [p(Px_{(i+1)}) - p(Px_i)] \frac{s(Px_i) + s(Px_{i+1})}{2} \quad \text{---- 식 8}$$

산란모형을 이용하여 단위시간 동안 산란수는 i 번째 일의 온도에서 총 산란수 값, 생리적 연령인 $Px_{(i+1)}$ 과 Px_i 에서의 누적산란율 값들의 차이, 생리적 연령인 $Px_{(i+1)}$ 과 Px_i 에서 생존율 값들의 평균 값을 곱하여 계산하였다..

3-3-3. 개체군 모형

1) 개체군 모형의 구조

네눈썹가지나방의 개체군 모형은 월동용 우화모형(emergence model of overwintered pupae), 발육단계 전이모형(알, 유충, 용), 산란모형(oviposition model)으로 구성하였다(Fig. 4). 알, 유충, 용의 발육단계 전이모형은 각각의 발육단계에서 만들어진 발육속도 모형과 발육완료분포 모형을 이용 제작하였다. 발육속도 모형은 발생이 시작되는 날의 평균 온도로부터 일별 발육속도 값을 계산하는데 사용하였고, 누적된 발육속도 값(생리적 연령)에 대응하는 발육완료분포 모형 값에서 일별로 개체가 발육이 완료되는 비율을 산출하였다. 산란모형은 성충이 발생하는 날의 온도를 이용 총산란수 모형으로부터 총 산란수 값과 성충 발육모형으로부터 일별로 성충의 발육속도 값을 구하였다. 누적된 성충 발육속도 값(생리적 연령)으로부터 당일과 다음날의 누적산란율과 생존율을 계산하였다. 이들 값을 식 7에 대입하여 일별 산란수를 구하였다. 월동용 발육단계 전이모형은 생육기의 용 모형을 적용하였다.

우선 산란모형을 이용하여 일별 산란수를 계산하였고, 1일 단위의 알 집단을 생성하였다. 이 알 집단은 각각 독립적으로 유충발육단계로 전이시켰다. 이때 알에서 전이되는 유충은 또다시 1일 단위의 유충 집단을 형성하였다. 결과적으로

알 발생이 시작되는 날부터 끝나는 날까지 일수가 n 일이면 n 개의 알 집단이 존재한다. 유충의 단위집단은 n 개의 알 집단이 유충으로 각각 전이될 때 동일한 날 전이된 유충을 모두 합하여 생성시켰다. 이런 과정을 반복하여 최종적으로 용이성충으로 우화되는 구조를 완성시켰다.

2) 모의발생 시나리오와 포장 적합성 검정

네눈썹가지나방 개체군 모형의 포장 적합성을 검정하기 위하여 2008년부터 2010년까지 서귀포 노지 감귤원에서 성페로몬트랩을 이용하여 포획한 성충 발생 양상 자료와 2009년과 2010년에 채집한 1령 유충자료를 예측치와 비교하였다.

감귤원에서 네눈썹가지나방의 발생을 모의실험하기 위하여 성충의 암수 성비, 각 단계별 생충률, 먹이조건 값들을 미리 설정하였다. 암수 성비는 1 : 1로 가정하였고, 생존율은 포장에서 산란처에서 부화한 1령 유충이 기주식물로의 이동과정에서 대량으로 사망하는 것을 감안하여 알 생존율은 2%로 설정하였다. 유충의 생존율은 기주 식물에 도착한 1령 유충이 성공적으로 6령 유충이 되어 지하로 이동하는 과정에서 천적 등에 의한 사망률을 감안하여 10%로 설정하였으며, 용이성충으로 우화하는 우화율과 우화한 암컷 성충이 생존하여 성공적으로 산란을 시작할 수 있는 비율은 80%로 설정하였다. 네눈썹가지나방의 먹이는 감귤의 경화되지 않은 잎과 과실(유과)이므로, 이들의 양을 시기적으로 반영하여 먹이 자원의 비율을 봄에 발생하는 1세대 유충에 대하여 100%, 여름에 발생하는 2세대 유충은 70%, 가을에 발생하는 3세대 유충은 20%로 설정하였다.

네눈썹가지나방이 겨울철 비휴면 상태를 보이므로 월동용의 생리적 상태를 가정하여 두 가지 시나리오를 설정하였다. 시나리오 1은 월동용의 생리적 연령이 동일하다는 것을 가정하고 '0' 상태의 생리적 연령을 갖는 100마리의 용을 입력값으로 모형을 구동시켰다. 시나리오 2는 네눈썹가지나방 월동태의 생리적 연령이 다양하다는 것을 가정하였다. 100마리의 월동 개체군을 4개의 집단 즉 20마리, 30마리, 30마리 및 20마리로 구성하였는데, 발육의 진전도에 따라 각각 생리적 연령을 -0.3, 0.0, 0.3, 0.6으로 할당하였다. 생리적 연령이 -0.3인 집단은 완전히 용화되지 못하고 겨울을 맞은 상태를 의미한다. 기타 생리적 연령이 0.3이나

0.6은 겨울철이 시작되기 전 용으로 발육하여 용의 발육이 이미 시작된 집단을 의미한다.

개체군 모형으로부터 시나리오별 예측치(estimated value)와 포장에서 발생량을 비교하기 위하여, 자료를 일별 발생비율과 채집일 별 발생 비율로 전환하였다. 모형의 정확도를 검증하기 위하여 SAS 프로그램 (SAS Institute Inc., 1996)을 이용하여 성충과 유충의 발생양상과 발생 최성기에 대하여 예측치와 실측 간 피어슨 상관계수를 구하였다.

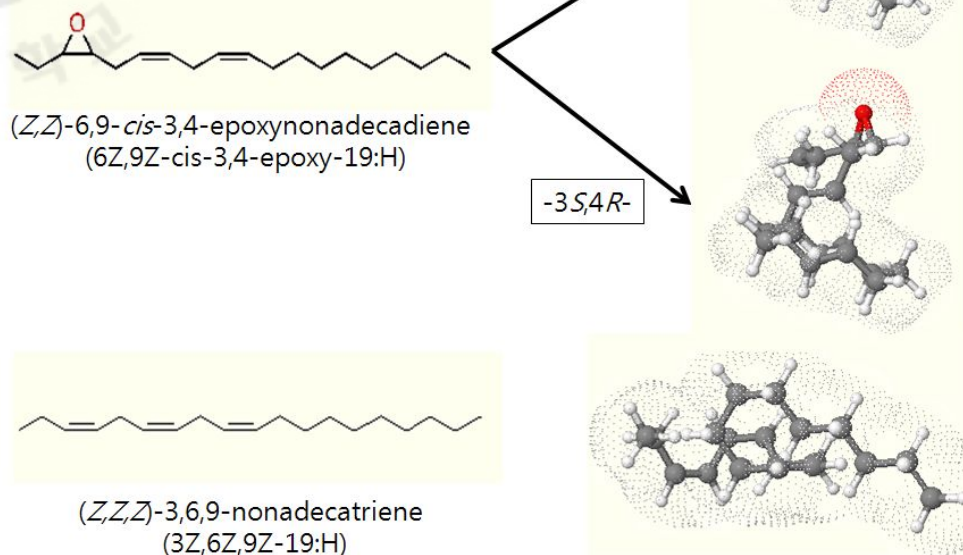


Fig. 1. Sex pheromone components of *Ascotis selenaria*.
 (Pictures from www.pherobase.com)

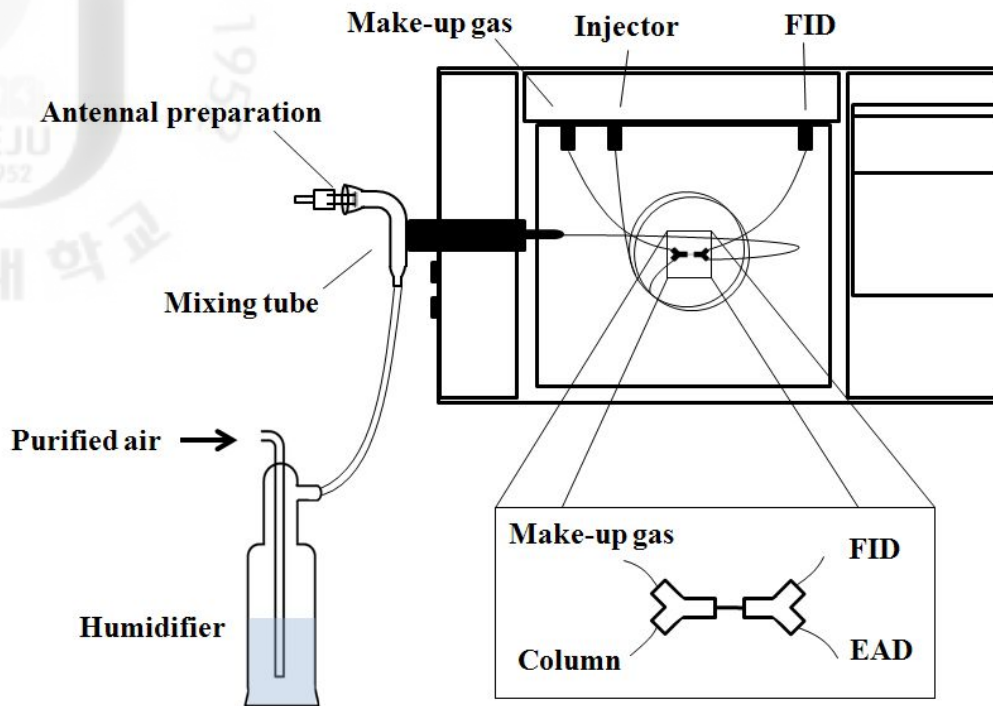


Fig. 2. A simple view of a GC-EAD system.

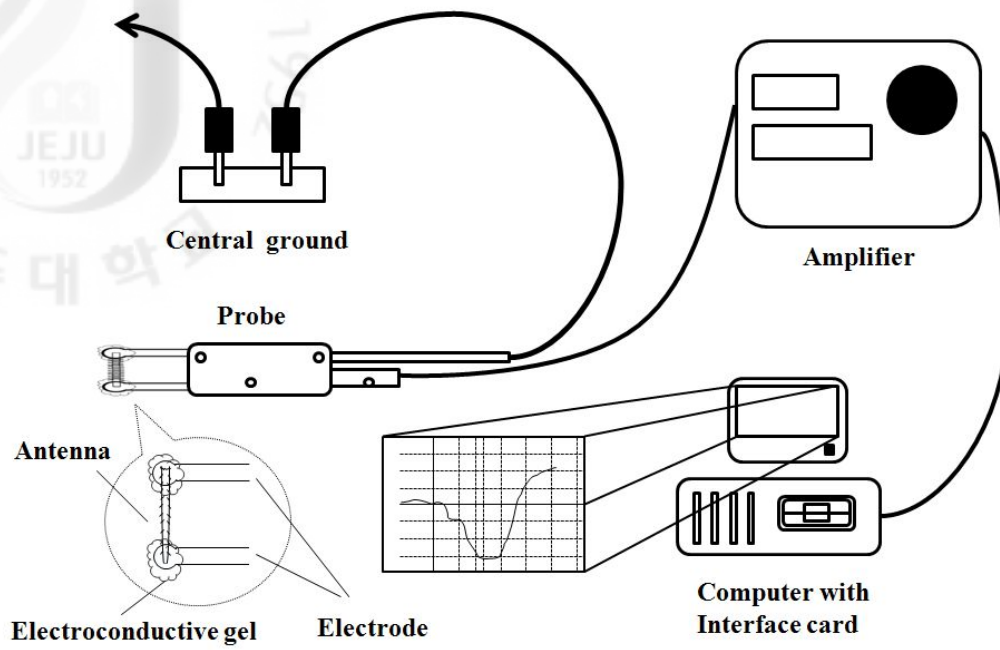


Fig. 3. A simple view of EAG recording system.

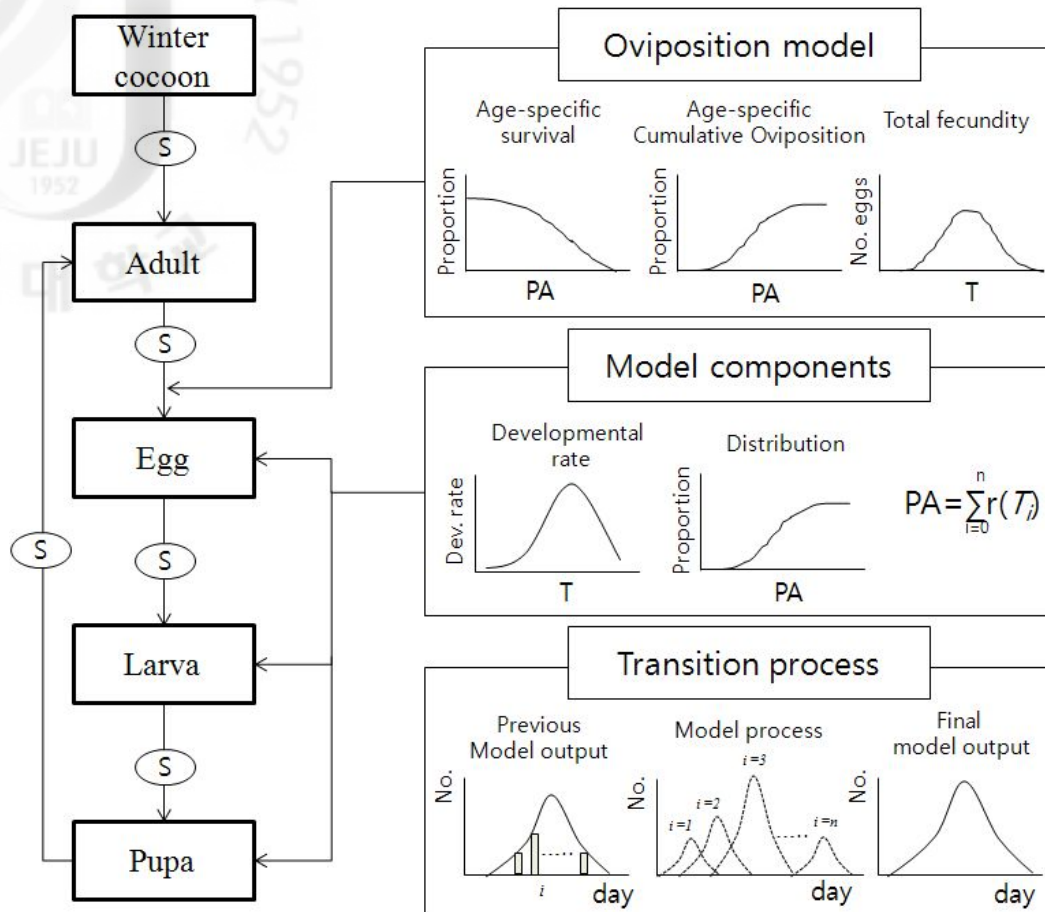


Fig. 4. Structure of a population model for *Ascotis selenaria*.
 (S: survival rate for previous stage, PA: physiological age)

IV. 결 과

1. 네눈썹가지나방의 섭식 양상

1-1. 감귤원에 발생하는 자나방류

한국식물병해충잡초명감(Anonymous, 1986)에 기록된 183종의 감귤해충 중 자나방류 해충은 7종이 기록되었으나, 그 뒤 Kim *et al.*(2000)은 현장조사를 통하여 감귤 해충 74종을 보고하면서 감귤을 가해하는 자나방류 해충으로 네눈썹가지나방 1종만을 확인하였다. 그들은 기존 183종은 감귤원에서 단순히 채집된 해충이 포함되었을 것으로 보았으며 감귤에 대한 직접적인 가해 여부에 근거하지 않았을 것이라고 추정하였다.

2007년부터 2010년까지 서귀포와 제주도 노지 온주밀감 포장에서 채집된 자나방류 유충을 우화시켜 동정한 결과, 네눈썹가지나방, 줄고운가지나방, 먹그림가지나방(*Menophra senilis*), 노랑띠알락가지나방(*Biston panterinaria*), 연노랑제비가지나방(*Ourapteryx nivea*), 남방갈고리가지나방(*Odontopera arida*), 네눈가지나방(*Hypomecis punctinalis*)으로 동정되었다(Fig. 5). 채집된 자나방류 유충 중에서 네눈썹가지나방이 서귀포와 제주도 포장에서 각각 65.1%와 75.7%로 가장 많았고, 줄고운가지나방이 각각 28.5%와 13.6%로 두 번째로 많은 종이였으며, 나머지 종중에서 먹그림가지나방이 각각 2.9%와 3.6% 발생하였다(Table 1).

본 조사연구에서 제주도 감귤에 발생하는 자나방류 해충 중 네눈썹가지나방과 줄고운가지나방의 2종만이 1986년 보고된 7종과 일치하였다. 본 연구에서 우화가 되지 않아 종을 확인하지 못한 유충 9개체 중에서 1986년 보고되었으나 본 조사에서 확인되지 않은 5종인 은줄가지나방, 날개물결가지나방, 붉은선두리푸른자나방, 네눈푸른가지나방, 끝무늬애기자나방 등이 포함되어 있었을 수도 있다. 그러나 새롭게 먹그림가지나방, 노랑띠알락가지나방, 연노랑제비가지나방, 남방갈고리가지나방, 네눈가지나방 등 5종(총 27개체)이 추가로 확인되었다. 따라서 네눈썹가지나방과 줄고운가지나방은 오래전부터 현재까지 지속적으로 발생하였지

만 나머지 종들은 소발생하여 조사당시 발견되지 않았거나 잘못 동정되었을 수 있고 아니면 그동안 재배환경 변화 등에 따라서 종 구성의 변화가 일어난 것으로 추측된다.

1-2. 네눈썹가지나방의 형태와 산란 특성

네눈썹가지나방의 알은 타원형 모양으로 평균 폭이 0.46mm이고, 평균 길이가 0.73mm이었다. 주로 녹색의 알이 난괴로 산란 되는데, 드물게 청색이나 살색 알이 산란되는 경우도 있었다. 배자발육이 진행되면서 알 일부분이 흰색으로 보이다가 부화 전에는 검은 줄무늬를 갖는 유충이 U자형으로 알 안에 있는 모습이 외부에서 관찰되었다(Table 2; Fig. 6. E1, E2).

부화한 1령 유충은 몸길이가 약 2mm이었고, 두폭은 약 0.3mm이었다(Table 2). 머리부분이 황갈색을 띄고 있고 몸통은 흰색바탕에 머리에서부터 복부 끝까지 이어진 두꺼운 검은 줄이 2개가 있었다(Fig. 6. L1). 2령 유충은 몸길이가 약 5.5mm, 두 폭은 약 0.5mm이었다. 1령 유충 때 있던 검은 줄무늬가 없고 체색은 회색을 띄었다. 3령 유충은 몸길이가 약 9mm, 두폭은 0.9mm이었다. 흉부 3번째 마디와 복부 첫 번째 마디 사이의 등 쪽에 검은 점이 이 시기에 나타났다(Fig. 6. L3). 4령 유충은 몸길이가 약 16mm, 두폭은 약 1.4mm이었고, 외형적 특징은 3령의 경우와 같았다. 5령 유충은 몸길이가 약 26mm, 두폭은 약 2.1mm이었다. 몸은 옅은 녹색을 띄고 등쪽 검은 점 바로 아래쪽에 두개의 큰 간모가 나타났다. 탈피한지 1일된 6령 유충은 몸길이가 41mm, 두폭은 3.2mm이었고, 외형적 특징은 5령의 경우와 같았다(Fig. 6. L6). 용화직전 6령 유충은 몸길이는 약 70mm, 두폭은 4mm 정도로 성장하였다.

번데기의 길이는 약 21mm, 폭은 약 6.6mm이었다. 대개 암컷 번데기가 수컷보다 크고 두꺼운 모양을 보였다(Fig. 6. P). 성충의 경우 암수 간에 체색이나 무늬에 뚜렷한 차이는 없었으나, 날개가 검고 복부에 검은 줄무늬가 있는 개체들이 성별에 관계없이 나타나기도 하였다(Fig 6. A1, A2). 몸길이는 암수가 약 22mm로 차이가 없었으나, 날개 편 길이는 암컷이 약 53mm로 수컷보다 약 4mm 정도 더 컸다 (Table 2).

네눈썹가지나방 암컷은 두 종류의 주름이 있는 기름종이 위에 산란하지 않았다. 거즈가 붙어있는 쪽에만 산란하였는데 거즈 위 표면이 아닌 거즈 밑의 기름종이 위에 산란하였고(Fig. 7a), 암컷은 산란관을 거즈의 틈새에 넣은 다음 유산지 위에 산란하는 모습을 보여주었다(Fig. 7b). 이스라엘에서도 네눈썹가지나방이 아보카도의 줄기나 가지의 밀폐된 장소에 산란한다고 보고되어 있다(Erichsen & Schoeman, 1994). 그러나 2007년부터 2010년까지 노지 감귤 나무에서 네눈썹가지나방의 산란처는 발견되지 않았고 감귤나무에는 네눈썹가지나방의 암컷이 산란을 선호할 만한 틈새나 밀폐된 부위가 거의 없었다.

Wysocki *et al.*(1975)은 네눈썹가지나방 암컷이 302~445개의 알을 산란하였고, Abasa(1972)는 커피나무에 약 690개를 산란한다고 하였다. Choi *et al.*(2011)은 실내에서 감귤 잎으로 사육한 암컷이 평균 약 1800개의 알을 산란한다고 보고하였다.

1-3. 네눈썹가지나방의 발생과 섭식 양상

1-3-1. 네눈썹가지나방의 감귤 섭식 양상

감귤원에서 발견된 대부분 종의 자나방류 유충들은 완전히 경화되지 않은 잎(주로 신엽)을 가해하였다. 대개 1~2령 유충이 가해한 잎은 가장자리 부근에 작은 구멍들이 생겼고(Fig. 8 L1), 3령 유충부터 잎 가장자리를 둥글게 가해하다가 5~6령 유충은 잎의 모든 부분을 가해하여 피해가 심할 경우 잎맥만 남았다(Fig. 8 L2). 감귤 과실 피해는 주로 네눈썹가지나방에 의해 발생하였는데, 노지 온주밀감 감귤과실에서 발견된 33마리 유충 중 32마리가 네눈썹가지나방 유충이었고, 1마리가 줄고운가지나방이었다(Table 3).

감귤 과실의 피해증상은 감귤종류에 따라 차이가 있었다. 노지 온주밀감의 과실 피해는 표면이 무정형으로 얇게 갇아 먹힌 피해증상이 있었는데(Fig. 8 F1), 이것은 5령 이상의 네눈썹가지나방 유충이 주로 가해하는 것이 아니라, Table 3과 같이 1~3령의 어린 유충이 과실에 발생하여 피해를 주기 때문인 것으로 판단되었다. 반면에 시설재배 부지화 과실은 6령 유충에 의해 과실에 구멍이 나거나 부분적으로 깊게 가해 받는 경우가 다수 발견되었다(Fig. 8 F2). 이와 같은

유충의 령기에 따른 피해 증상이 아보카도 과실에서도 보고되었다(Wysoki *et al.*, 1975). 그러나 온주밀감과 부지화에서 자나방 피해증상 차이는 온주밀감은 전년도에 생성된 순이 결과모지가 되지만 부지화는 당해 발생한 봄 순이 결과모지가 되는 감귤 종류의 생장 특성과 관련된 것으로 보인다.

노지 온주밀감에서 자나방류 해충에 의한 잎과 과실의 시기별 피해는 Fig. 9와 같다. 잎 피해는 5월 중순에 처음 발생하였고 이후 6월 상중순에 최성기를 보였다가 감귤 잎이 경화되는 6월 하순부터 급격히 감소하였다. 이후 7~8월 발생하는 여름순과 9~10월에 발생하는 가을 순에서 잎 피해량은 적었다. 과실 피해는 봄순이 경화되는 시기인 6월 하순 또는 7월초에 처음 발생하여 7월 말경 급증하였고 2010년에는 8월에도 피해가 높았다. 이와 같이 잎이 경화되면서 과실 피해가 증가하였다. 이것은 경화된 봄순을 먹지 못하는 어린 유충이 전년도에 형성된 결과모지에서 형성된 어린 과실을 가해하여 무정형의 피해증상을 발생하는 것으로 추정된다. 반면에 부지화의 과실의 피해 증상은 봄순을 먹고 5~6령으로 자란 유충이 봄순 끝 부분에 형성된 부지화 과실을 직접 가해하여 과실피해가 발생하는 것으로 판단된다.

서귀포 포장에서 자나방류 해충에 의한 감귤 과실의 피해율은 4.5%였고, 과실 피해가 발생한 피해주율은 78.1%였다(Table 4). Kim *et al.*(2000)은 제주도에서 관행적으로 관리되는 40개 과원에서 수확기에 조사한 나방에 의한 감귤과실 피해율이 2.1%라고 보고하였다. 여기에는 굴굴나방, 왕담배나방, 뒷흰날개밤나방 등의 나방 유충에 의한 피해도 포함되어 있을 수 있다. 하지만 관행적으로 방제하는 과원에서 네눈썹가지나방을 제외한 다른 나방의 발생과 피해가 매우 적었고 왕담배나방 피해과는 쉽게 부패하여 낙과하기 때문에 수확기에 조사한 Kim *et al.*(2000)의 감귤 과실 피해는 네눈썹가지나방 유충에 의한 과실 피해율이 대부분을 차지하였을 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서 자나방 유충에 의한 과실 피해율은 Kim *et al.*(2000)의 2.1%보다 훨씬 높은 수치로, 2008년부터 2010년까지 평균 4.5%였다(Table 3). 이러한 피해율 증가는 자나방류 해충 중에서 과실 피해를 유발하는 네눈썹가지나방 유충이 배 이상 증가하고 있는 것과 일치한다(Table 1).

이와 같이 감귤원에서 네눈썹가지나방은 과실을 직접 가해하여 경제적 피해

를 주기 때문에 직접해충(Luckmann & Metcalf, 1994)으로서 취급해야할 것으로 판단된다.

1-3-2. 네눈썹가지나방 유충의 공간 분포

네눈썹가지나방의 산란처가 감귤에서 발견되지 않았기 때문에 산란처가 감귤원 내부에 있는지 아니면 외부에 존재하는 산란처로부터 유충이 이동하여 오는지를 추정하기 위하여 서귀포 온주밀감원에서 채집된 네눈썹가지나방 유충의 감귤원내 공간분포 양상을 분석하였다(Table 5).

표본단위(N)의 수가 30보다 크기 때문에 ID 값으로부터 d 통계량을 구하여 분산유형을 구분하였다. d 통계량은 2008년부터 2010년까지 6.52, 8.68, 6.8로 모두 1.96 보다 높게 나타났다. d 통계량이 1.96 보다 크면 집중분포를, -1.96 과 1.96 사이에 있으면 무작위분포를 의미한다(Elliott, 1971). 따라서 음이항 분포를 이용하여 집중분포에 대한 적합성 검정을 수행하였다. 그 결과 2008년($df = 1$, $\chi^2 = 3.1$, $P < 0.05$)과 2009년($df = 3$, $\chi^2 = 1.86$, $P < 0.05$)은 집중분포에 적합한 것으로 나타났지만, 2010년($df = 3$, $\chi^2 = 13.64$, $P > 0.001$)에는 집중분포에 적합하지 않은 것으로 나타났다. 또한 무작위 분포에 대한 적합성 검정을 Poisson 분포를 이용하여 수행한 결과, 2008년($df = 2$, $\chi^2 = 7.97$, $P < 0.01$)은 유의하게 나타났지만 2009년($df = 4$, $\chi^2 = 21.64$, $P > 0.001$)과 2010년($df = 4$, $\chi^2 = 23.17$, $P > 0.001$)에는 무작위분포에 적합하지 않게 나타났다. 집중지수(GI)는 0 과 1 사의 값을 갖는다. 이때 0 은 무작위 분포를, 1 은 최대 집중분포를 의미한다. 집중지수는 표본단위, 표본평균, 총 개체수가 다양한 표본들 간에도 비교가 가능하다(Lugwig & Reynolds, 1988). 따라서 네눈썹가지나방 유충은 2008년과 2009년에 감귤원내에 집중분포에 적합한 것으로 분석되었다. 그러나 군집지수 GI가 0.0179와 0.0208로 0에 가까웠다. 2010년에는 집중분포와 무작위분포에 모두 적합하지 않았으나, GI 값은 0.0064로 2008년과 2009년보다 훨씬 낮은 0에 가까운 값을 보였다. 따라서 네눈썹가지나방은 유충 감귤원내 무작위 분포에 가까운 분포를 하는 것으로 판단되고, 이것은 감귤원내 네눈썹가지나방의 산란처

가 존재하지 않는다는 것을 반증하는 것으로 해석되었다.

1-3-3. 네눈썹가지나방 산란처와 부화 유충의 이동방법

Choi *et al.*(2011)은 실내에서 네눈썹가지나방 암컷이 평균 1,857개를 산란하였고 산란 범위가 1,019~2,955개라고 하였다. 만약 네눈썹가지나방이 노지 감귤원내 지표면이나 잡초 등에 산란하였다면 부화 유충은 산란처 주변의 감귤나무로 이동하게 되므로 산란처를 중심으로 유충이 집중분포를 할 것이다. 또한 틈새에 다량 산란하는 습성에 의해 알 기생봉 등 천적에 의한 알의 사망률은 높지 않을 것이고 산란처에서 가까운 거리의 기주식물로 이동하기 때문에 유충의 사망률이 높지 않아 감귤에서 다량의 유충이 발견될 것으로 예측할 수 있다. 그러나 네눈썹가지나방 유충 노지 감귤원에서 무작위분포에 가까운 분포를 보였고(Table 5), 과원에 재식된 감귤나무의 78.1%가 과실피해를 입었다(Table 4). 또한 매년 감귤원에서 발견된 유충의 숫자 또한 암컷 한 마리의 평균산란율의 10%에도 미치지 못할 정도로 낮은 수치였다(Table 1). 따라서 네눈썹가지나방의 산란처가 감귤원 내부보다 외부에 존재하고 외부에서 부화한 유충이 감귤원 내부로 분산 이동하는 과정에서 높은 사망률이 발생하는 것으로 추정하였다.

제주도 노지 감귤원 주위에 네눈썹가지나방 암컷이 산란을 선호할 만한 틈새나 밀폐된 부위를 갖는 것으로 돌담과 방풍수인 삼나무(*Cryptomeria japonica*)가 다수 존재한다. 자나방류 중에서 네눈썹가지나방과 비슷한 산란 습성(Fig. 7)을 갖는 겨울물결자나방(*Operophtera brumata*) 암컷은 사과원 주위의 땅이나 떡갈나무(*Quercus* spp.) 줄기의 겹껍질(bark) 등 틈새부위에 산란하고, 부화된 유충은 실을 만들어 바람을 타고 분산하는 것으로 보고되어 있다(Embree, 1970; Edland, 1971). 네눈썹가지나방 암컷은 지상에서 약 60cm 높이에서 커피나무의 줄기에 붙어 있고, 산란처는 지상에서 122cm 이상을 넘어가지 않았다(Abasa, 1972). 따라서 네눈썹가지나방의 산란처로는 감귤원을 둘러싼 삼나무나 돌담이 될 가능성이 높을 것으로 추정하였다. 만약 삼나무나 돌담에 산란된 알에서 부화한 유충이 지상으로 분산 및 이동할 경우 감귤원 중심부에 위치한 감귤나무보다 방풍수 근처의 감귤나무의 발생밀도가 높을 것이고, 겨울물결자나방과 같이 부화

유충이 가지 끝으로 이동한 후 바람을 타고 분산 및 이동한다면 감귤원내 어느 위치에서든지 발생밀도에는 큰 차이가 없을 것이다. 실제로 본 연구에서 감귤원내 네눈썹가지나방 유충은 거의 무작위 분포에 가까운 집중분포를 하였고, 감귤원 외부나 내부의 특정위치에 집중 분포한다는 결과는 나타나지 않았다(Table 5). 따라서 네눈썹가지나방 유충은 삼나무와 같은 감귤원 외부에 존재하는 산란처에서 가지 끝과 같은 높은 위치로 이동한 후 바람을 타고 분산 이동하는 것으로 추정된다. 이는 Choi *et al.*(2011)이 실내에서 관찰한 부화유충의 분산 행동의 습성과 일치한다.

1-3-4. 네눈썹가지나방 유충과 성충의 발생 양상

국내 제주도 감귤원에서는 연간 3~4회 발생하는데, 유충은 주로 봄순이 경화되는 무렵인 6월부터 발생하여 9월까지 잎과 과실을 주로 가해한다고 알려져 있다(Anonymous, 2002b). 본 연구조사도 비슷한 경향이 조사되었다. 서귀포 포장에서 네눈썹가지나방 유충은 5월 중순에 처음 발생이 시작되어 6월 중순에 뚜렷한 발생최성기를 보였고, 그 후 년도에 따라 불규칙한 발생양상을 보였지만 7월 하순 및 9월 상중순에 약한 발생 피크가 나타났다(Fig. 10).

페로몬 트랩으로 조사한 네눈썹가지나방 수컷성충은 서귀포 포장에서 4월 중순에 처음 발생하여 5월 중순에 최대 발생 최성기를 보였고, 이후 7~9월에 년도간 복잡하게 발생하였으나 7월 상순에서 하순 및 8월 하순에서 9월 상순에 발생 피크를 보였다(Fig. 11A). 일본의 경우 차 재배원에서 성충이 연간 3회의 발생주기를 보였고, 성페로몬 트랩에 6월, 7월, 8~9월에 주로 포획되었다(Witajaksono *et al.*, 1999). 제주도 동·서·남·북부에 위치한 15개 과원에서 조사된 결과를 보면(Fig. 11B), 네눈썹가지나방 수컷 성충은 감귤 개화기부터 생육기 동안 트랩당 평균 8마리 수준으로 유지되었고, 5월, 7월 하순, 8월 하순에서 9월 상순에 발생 최성기가 나타났다.

제주전역의 감귤원(15개 과원)에서 조사한 페로몬 트랩의 성충 포획수를 볼 때 감귤 과실이나 잎의 피해는 우발적이기보다는 네눈썹가지나방 개체군이 지속적으로 감귤원에 형성되어 가해하고 있는 것으로 생각된다.

Table 1. Species proportion (%) of Geometridae larvae collected in two citrus orchards in Jeju-do.

Species	CRC ¹				Mean	ARCCC ²
	2007	2008	2009	2010		2010
<i>Ascotis selenaria</i>	51.2	63.4	66.9	78.8	65.1	75.7
<i>Ectropis excellens</i>	16.5	27.7	24.2	15.8	28.5	13.6
<i>Menophra senilis</i>	0.8	4.5	3.2	3.2	2.9	3.6
<i>Biston panterinaria</i>	0.0	1.8	1.6	0.0	0.8	5.0
<i>Ourapteryx nivea</i>	0.0	0.0	0.8	1.4	0.5	1.4
<i>Odontopera arida</i>	0.0	0.0	0.8	0.0	0.2	0.0
<i>Hypomecis punctinalis</i>	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1	0.0
Unidentified	1.6	2.7	2.4	0.5	1.8	0.7
Total (n)	129	112	124	222		140

¹Citrus Research Center (CRC), 1318, Harye-ri, Seogwipo, Jeju-do. Geometridae larvae surveys were conducted from May 5 to Aug. 6 in 2007, May 7 to Sep. 4 in 2008, May 12 to Nov. 3 in 2009, and May 18 to Sep. 8 in 2010.

²Agricultural Research Center for Climate Change (ARCCC), 1696, Odeung-dong, Jeju-do. Geometridae larvae surveys were conducted from May 18 to Aug. 31 in 2010.

Table 2. Mean size of egg, larva, pupa and adult of *Ascotis selenaria*.

Developmental stage		No. of Individuals examined	Width ¹ (mm)	Length ² (mm)
Eggs		20	0.46 ± 0.004	0.73 ± 0.007
Larva	1st	20	0.31 ± 0.004	2.03 ± 0.06
	2nd	20	0.51 ± 0.007	5.49 ± 0.259
	3rd	17	0.85 ± 0.019	8.97 ± 0.421
	4th	20	1.37 ± 0.019	16.06 ± 0.786
	5th	20	2.14 ± 0.032	25.68 ± 0.929
	6th	17	3.19 ± 0.052	40.57 ± 1.870
Pupae		20	6.57 ± 0.093	21.36 ± 0.217
Adult	Female	34	53.2 ± 3.46	21.5 ± 0.30
	Male	34	49.1 ± 3.37	21.9 ± 0.35

Values are mean±SE.

¹The width of head capsule in larvae and the length of wing span in adults.

²The body length from head to the end of abdomen in larvae, pupae, and adults.

Table 3. Proportion (%) of *Ascotis selenaria* larvae found on citrus fruits in a citrus orchard in Jeju-do.

Year ¹	Larval stage						Total (n)
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	
2009	76.5	5.9	5.9	5.9	5.9	0.0	17
2010	33.3	13.3	33.3 ²	20.0	0.0	0.0	15
Mean	54.9	9.6	19.6	13.0	3.0	0.0	

¹Citrus Research Center, 1318, Harye-ri, Seogwipo, Jeju-do. Larval surveys were conducted from Jul. 6 to 21 in 2009 and July 13 to 20 in 2010.

²Only one *Ectropis excellens* larva was found but excluded.

Table 4. Number of citrus fruits damaged by Geometridae larvae in a citrus orchard in Jeju-do.

Year ¹	No. of trees examined	% tree infested	Fruits per tree base		
			Mean no. examined	Mean no. damaged	% damaged
2008	82	67.1	163.8	3.9	4.2
2009	85	94.1	321.6	9.6	4.2
2010	108	73.2	111.0	5.3	5.2
Mean		78.1			4.5

¹Citrus Research Center, 1318, Harye-ri, Seogwipo, Jeju-do. The survey was conducted on Jul. 22 in 2008, Aug. 25 in 2009, and Sep. 8 in 2010.

Table 5. Spatial distribution pattern of *Ascotis selenaria* larvae in a citrus orchard in Jeju-do.

Year ¹	No. of sample unit (N)	No. of individuals (n)	Means (\bar{X})	Var. (s^2)	Index		Goodness-of-fit test for distribution			
					Dispersion (d)	Clumping (GI)	Poisson		Negative binomial	
							χ^2	df	χ^2	df
2008	91	68	0.75	1.64	6.52	0.0179	7.97** ²	2	3.1*	1
2009	91	83	0.91	2.47	8.68	0.0208	21.64 ^{ns}	4	1.86*	3
2010	110	175	1.59	3.39	6.82	0.0064	23.17 ^{ns}	4	13.64 ^{ns}	3

¹Citrus Research Center, 1318, Harye-ri, Seogwipo, Jeju-do. larval surveys were conducted from May 5 to Aug. 6 in 2007, May 7 to Sep. 4 in 2008, May 12 to Nov. 3 in 2009, and May 18 to Sep. 8 in 2010.

²*: $P > 0.05$, **: $P > 0.01$, *ns*: not significant.

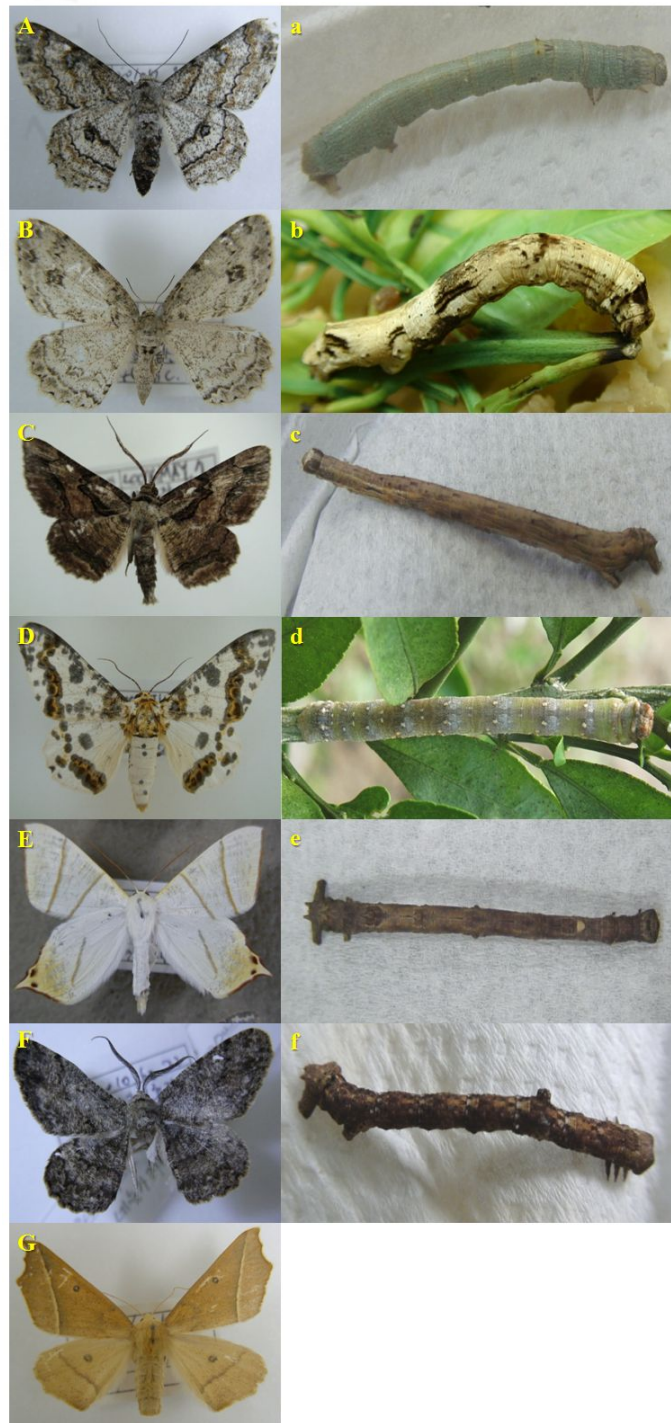


Fig. 5. Geometridae adults (capital) and larvae (small letter) collected on citrus trees in citrus orchards, Jeju-do. A: *Ascotis selenaria*, B: *Ectropis excellens*, C: *Menophra senilis*, D: *Biston panterinaria*, E: *Ourapteryx nivea*, F: *Hypomecis puntinalis*, and G: *Odontopera arida*.



Fig. 6. Developmental stages of *Ascotis selenaria*. E1: eggs, E2: eggs just before hatching, L1: 1st instar larvae, L3: 3rd instar larva, L6: 6th instar larva, P: pupae, and A1 & A2: adult males with different body colors.

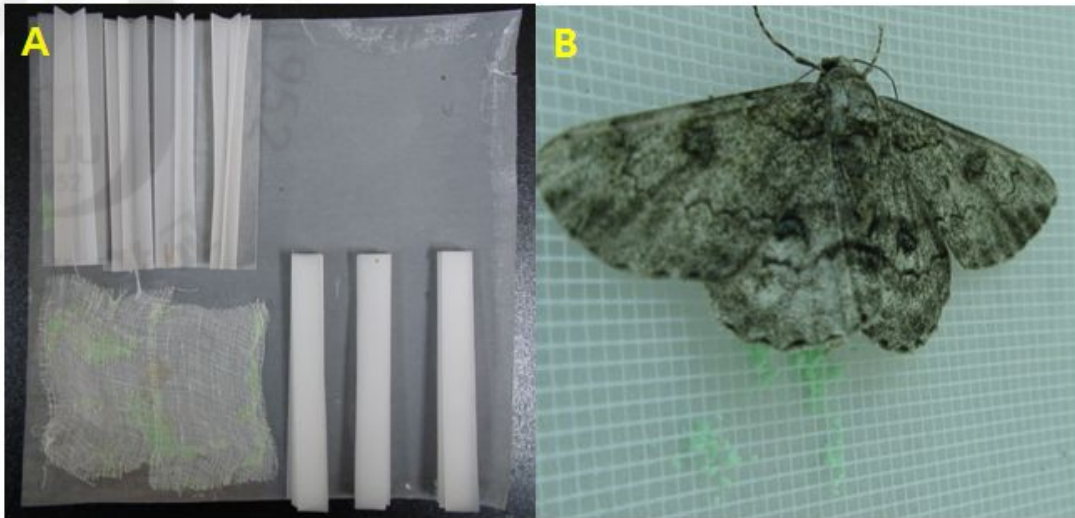


Fig. 7. Oviposition substrates tested in this study (A) and *Ascotis selenaria* female laying eggs (B).



Fig. 8. Typical damage patterns of citrus leaves and fruits caused by *Ascotis selenaria*. L1: citrus leaves fed by 1st and 2nd instar larvae which usually feed on leaves to result in small holes on the leaves, L2: 5th and 6th instar larvae eat whole leaves to leave the main vein only, F1: fruit scars caused by larval biting, and F2: a larva feeding on a fruit.

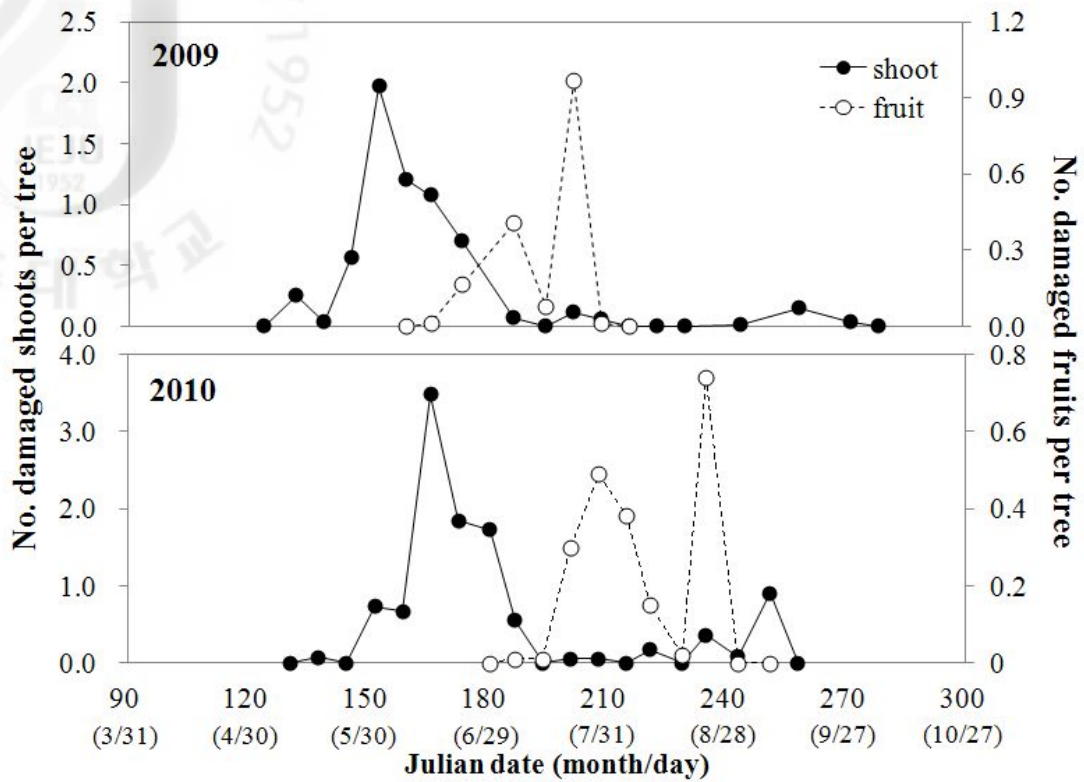


Fig. 9. Seasonal changes in citrus shoot and fruit damaged by Geometridae larvae in a citrus orchard at the Citrus Research Center, Seogwipo.

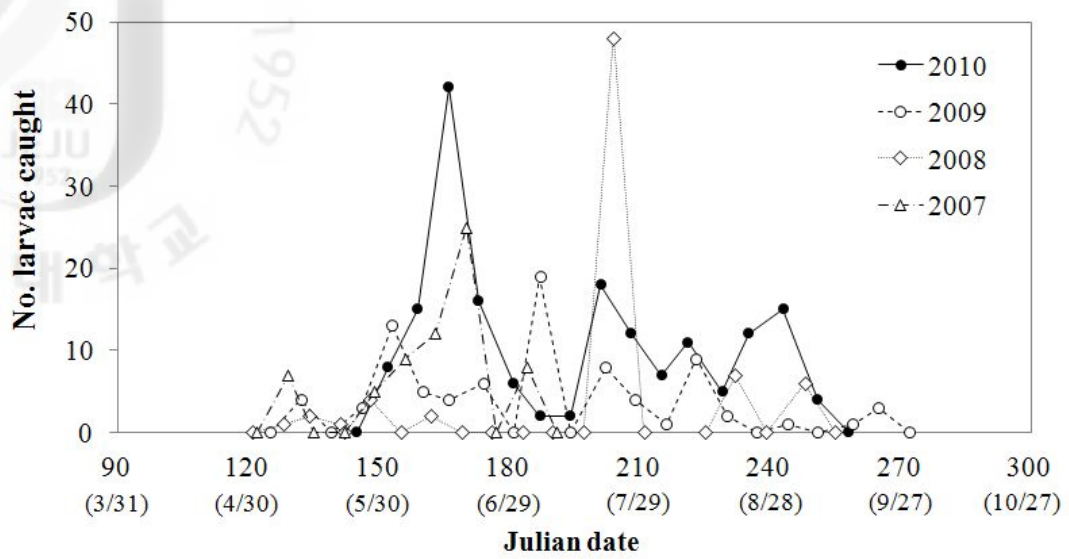


Fig. 10. Seasonal fluctuation pattern of *Ascotis selenaria* larvae in a citrus orchard at the Citrus Research Center, Seogwipo.

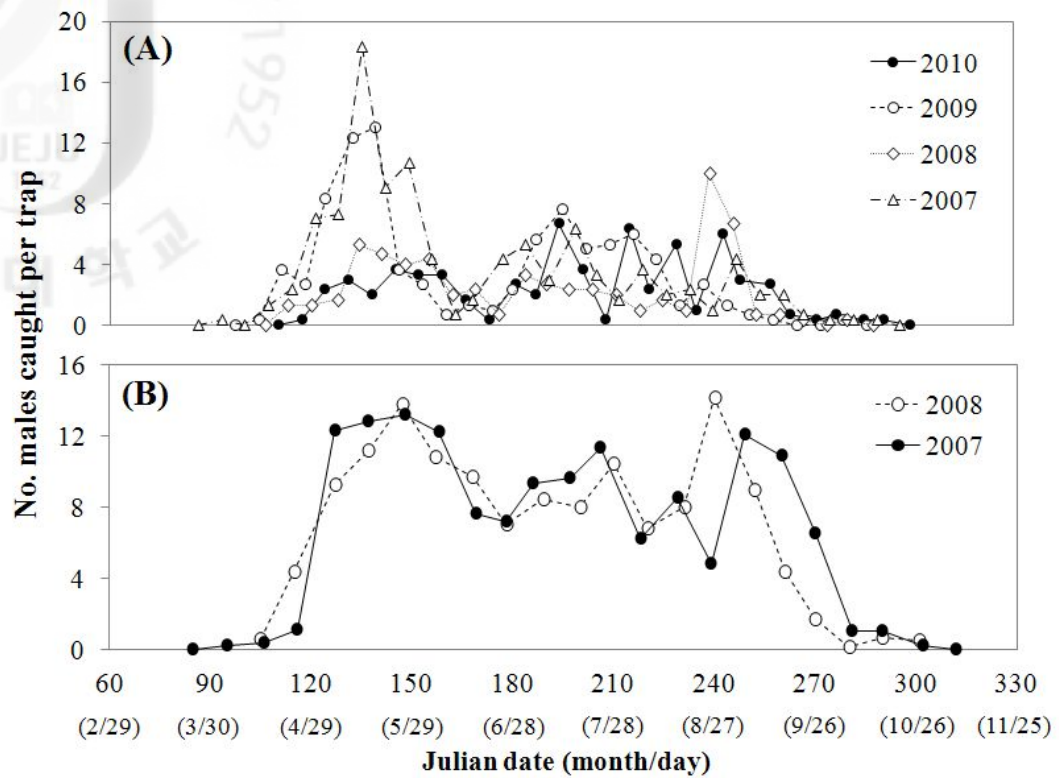


Fig. 11. Seasonal changes of *Ascotis selenaria* adult males caught in sex pheromone traps. (A) in a citrus orchard at the Citrus Research Center, Seogwipo, and (B) pooled averages in 15 commercial citrus orchards throughout Jeju-do.

2. 네눈썹가지나방의 성페로몬 조성

2-1. 성충의 교미리듬

네눈썹가지나방 성충은 불 꺼지기 3시간 전부터 불 켜진 후 3시간 사이에 주로 우화하였다. 우화 피크 시간은 암컷은 불 꺼지는 후 0시간, 수컷은 불 꺼진 후 1시간이었다(Fig. 12A). 암컷은 등 방향으로 몸을 S자형으로 굽힌 상태에서 복부 끝부분의 성페로몬 샘을 노출시켜 수컷을 유인하였다. 유인행동은 대개 불 꺼진 지 3시간 후에 시작하여 6시간까지 피크를 보였고, 불 켜진 지 2시간 후까지 지속되었다(Fig. 12B).

교미행동은 불 꺼진 지 2시간 후부터 9시간 사이에 주로 관찰되었고, 불 꺼진 후 3시간부터 7시간 사이에 피크를 보였다(Fig. 12C). 교미한 총 34마리의 암컷 중 2마리는 다른 수컷과 다시 교미를 하였고, 교미 지속시간은 191.5 ± 12.41 분 ($n = 34$)이었다.

2-2. 성페로몬의 성분 분석

2-2-1. 성페로몬의 성분

암컷 성페로몬 추출물에 대한 GC-EAD 시험 결과, 수컷 안테나의 EAG 반응을 보인 물질(Comp. B)의 피크 머무름시간(t_R)은 15.465분이었다(Fig. 13A). 그러나 성페로몬 추출물을 GC-MS로 분석한 결과, 두개의 성페로몬 후보물질이 각각 13.87분(Comp. A)과 16.75분(Comp. B)에 나타났다(Fig. 13B). Comp. A 물질($M = 262$)의 질량스펙트럼은 $M-183$ ($[-CH_2CH=CHCH_2CH=CH-]^+$)을 m/e 79에서, $M-154$ ($[-CH_2CH=CHCH_2CH=CH-]^+$)를 m/e 108에서, $M-56$ ($[CH_3CH_2CH=CH]^+$)을 m/e 206에서 보여주었고, 이 성분은 3Z,6Z,9Z-19:H로 동정되었다. Comp. B($M = 278$)의 질량스펙트럼은 $M-198$ ($[-CH_2CH=CHCH_2CH=CH-]^+$)을 m/e 80에서, $M-71$ ($[CH_3CH_2CH-O-CH]^+$)을 m/e 206에서 보여주었고, 이러한 특징은 실험실에서 합성된 6Z,9Z-cis-3,4-epoxy-19:H의 이성질체인 RS와 SR 화합물의 질량스펙트럼과 동일하였다(Fig. 13C).

일본(Ando *et al.*, 1997)과 이스라엘(Becker *et al.*, 1990; Cossé *et al.*, 1992)

에서도 네눈썹가지나방 성페로몬 샘 추출물에서 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H와 3Z,6Z,9Z-19:H가 발견되었다. 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H는 화학구조상 RS와 SR 형태의 이성질체를 갖고 있다(Fig. 1). Ando *et al.*(1997)은 네눈썹가지나방의 성페로몬 샘에서 이 두 가지 이성질체는 47 : 53 비율로 생산되었다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서 RS와 SR 화합물 피크는 GC-MS분석 시 분리가 되지 않았고, 머무름시간은 성페로몬 추출물의 Comp. B와 동일하였다.

2-2-2. 성페로몬 성분과 유사물질에 대한 EAG 반응

GC-EAD에서 반응을 보이는 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H물질의 두 가지 이성질체인 RS와 SR 화합물, 성페로몬 추출물에서 발견된 3Z,6Z,9Z-19:H, 그리고 유사 화합물에 대하여 EAG 반응을 조사하였다. 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H의 두 가지 이성질체인 RS와 SR는 모두 수컷안테나에서 다른 화합물에 비하여 매우 강한 EAG 반응을 나타냈다($F = 21.52$; $df = 7, 32$; $P < 0.0001$) (Fig. 14). 또한 두 화합물의 농도가 증가함에 따라 수컷 안테나의 EAG 반응은 증가하였고($F = 29.0$; $df = 11, 48$; $P < 0.0001$), 수컷 안테나의 반응은 두 물질의 농도가 100ng 이상부터 나타났다(Fig.15).

GC-EAD실험에서 3Z,6Z,9Z-19:H는 강한 수컷 안테나의 반응을 유발하지 않았고, EAG 반응 실험에서도 유의한 반응이 나타나지 않았다. 다수의 연구자들은 이 물질이 수컷 유인력에 길항작용하거나 아예 유인효과가 없다고 보고하였다. 일본에서 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H를 포함한 유인제에 3Z,6Z,9Z-19:H를 추가하였을 때 수컷 유인력에 상승작용(synergism)을 보여주지 않았다(Ando *et al.*, 1997). 이스라엘에서는 이물질을 처리하면 오히려 야외에서 유인력을 감소시켰고 풍동실험에서 수컷의 반응이 사라졌다(Cossé *et al.*, 1992). 또한 수컷의 암컷으로의 방향성(orientation)과 암컷과의 교미를 다소 억제시키기도 하였다(Ohtani *et al.*, 2001).

2-2-3. 성페로몬의 생산량 조사

우화 1일 된 암컷의 성페로몬 샘에서 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H 성분은 불 꺼진 후 생산되기 시작하여 지속적으로 증가하였다($F = 5.95$; $df = 6, 49$ $P < 0.0001$) (Fig. 16A). 그러나 3Z,6Z,9Z-19:H는 불 꺼진 후 0시간 쯤 성페로몬 샘에서 $13.2 \pm 0.58ng$ 생산되었고, 이후 그 양에 큰 변화가 없었다($F = 2.13$; $df = 6, 49$; $P < 0.066$) (Fig. 16A).

암컷의 나이가 성페로몬 생산에 미치는 영향은 Fig. 16B와 같다. 우화 당일의 암컷 성페로몬 샘에서 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H은 $113.0 \pm 14.99ng$ 생산되었으나, 암컷이 나이를 먹을수록 급격히 감소하여 우화 4일 된 암컷의 경우 $15.8 \pm 5.47ng$ 으로 감소하였다($F = 5.39$ $df = 4, 45$; $P = 0.0012$). 반면에 3Z,6Z,9Z-19:H는 우화 당일 암컷의 경우 $9.0 \pm 1.10ng$ 이 생산되었으나, 우화 3일 쯤 $25.2 \pm 8.13ng$ 으로 증가하였다($F = 2.62$; $df = 4, 45$; $P = 0.0471$). 최종적으로 우화 3일 이후 암컷의 성페로몬 샘에서 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H와 3Z,6Z,9Z-19:H의 생산량의 비율이 약 1 : 1이 되었다.

3Z,6Z,9Z-19:H는 리놀렌산(linolenic acid)으로부터 만들어진 후, 성페로몬에서 에폭시화 과정을 통해 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H를 생산하는 전구체로서 역할을 하였다(Miyamoto *et al.*, 1999). 본 연구에서 암컷의 나이에 따른 성페로몬 생산량의 변화는 암컷이 나이를 먹어감에 따라 에폭시 과정과 관련된 효소의 활성이 떨어지면서 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H의 생산량이 감소하게 되고 이로 인하여 전구체인 3Z,6Z,9Z-19:H가 성페로몬 샘에 비축됨에 따라 나타나는 현상으로 추정된다.

네눈썹가지나방 암컷의 나이에 따른 성페로몬 생산량의 변화는 수컷의 유인력에 영향을 미치는 것으로 판단된다. Hardar & Wysoki(1989)는 우화 2일 쯤까 교미를 시키지 않은 암컷이 산란한 알에서 부화율이 매우 낮았고, 3일 이상 교미를 지연시키면 알에서 부화가 이루어지지 않는다고 하였다. 또한 야외에서 암컷이 우화 3일 이상 되면 수컷에 대한 유인력이 거의 없다고 하였다. 또한 Witjaksono *et al.*(1999)은 3Z,6Z,9Z-19:H를 총량 1mg의 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H에 0.01mg부터 1mg까지 농도를 증가시켜 실험한 결과,

0.01mg을 추가하였을 때는 수컷 포획수가 증가하였지만, 농도를 높여 추가할수록 수컷 유인력이 점차 감소하였고, 최종적으로 1 : 1 비율이 되면 거의 유인되지 않았다고 보고하였다.

2-3. 야외 유인력 시험

EAG 실험에서 수컷 안테나에 반응을 보인 두 이성질체 성분인 RS와 SR에 대한 야외 시험 지역은 Fig. 17과 같다. 두 성분의 비율을 1.0 : 0에서 0 : 1.0까지 조합된 유인제들에 대한 야외 유인력 실험 결과, 지역간에 최적 조성비에 대한 차이가 있었다(Table 6, Fig 17). 군위에서 최적 성분비는 2009년에 0.9 : 0.1이었고, 2010년에는 0.8 : 0.2이었다(2009 : $F = 3.45$; $df = 11, 24$; $P = 0.0054$, 2010 : $F = 3.04$; $df = 11, 24$; $P = 0.0011$). 창녕에서는 0.9 : 0.1에서 0.2 : 0.8까지의 넓은 범위에서 수컷 성충이 포획되었으나, 두 성분비인 0.7 : 0.3과 0.4 : 0.6 비율에서 효과적으로 유인되는 2개의 피크를 형성하는 경향을 보였다($F = 3.51$; $df = 11, 24$; $P = 0.0049$). 전남지역(영암과 고흥)과 제주지역(애월과 하례)에서는 최다 포획이 대개 0.5 : 0.5 비율 근처에서 이루어졌고, 0.6 : 0.4 비율과 0.4 : 0.6 비율 사이에서 대부분 포획되었다(고흥: $F = 6.85$; $df = 11, 24$; $P < 0.0001$, 영암: $F = 5.27$; $df = 11, 24$; $P = 0.0003$, 애월: $F = 8.39$; $df = 11, 24$; $P < 0.0001$, 하례: $F = 3.76$; $df = 11, 24$; $P = 0.0032$).

국내 네눈썹가지나방은 군위에서 RS와 SR의 비율이 0.9 : 0.1 ~ 0.8 : 0.2일 때 최대로 유인되었고, 전남지역(영암과 고흥)과 제주(애월과 하례)에서는 0.5 : 0.5 비율 근처에서 최대로 유인되었다. 따라서 국내에 두개의 서로 다른 조성비를 갖는 네눈썹가지나방 개체군이 존재하는 것으로 추정된다. 이러한 네눈썹가지나방의 성페로몬 최적 조성비의 변이는 기주 식물이나 지리적 격리에 따라 발생한 것으로 판단된다. 군위 지역에서 사과가 주로 재배되는 반면, 다른 지역에서는 감, 유자, 감귤이 재배되고 있었다. 애모무늬잎말이나방(*Adoxyphytes orana*)도 다른 성페로몬 조성을 갖는 두 개의 집단이 존재하는데, 한 집단은 사과, 복숭아, 배를 선호하고 다른 집단은 차와 배를 선호하는 경향을 보였다(Han & Boo, 2002). 그러나 네눈썹가지나방은 다양한 작물에 피해를 주기 때문에(Wysoki,

1982). 기주 식물보다는 지리적 격리로 인하여 성페로몬에 변이가 발생한 것으로 추정된다. 지리적으로 군위지역과 전남 지역사이에는 크고 작은 산맥들이 존재하고 있고, 창녕은 군위와 전남지역(영암과 고흥)사이에 위치하고 있다. 창녕에서 네눈썹가지나방이 0.7 : 0.3 과 0.4 : 0.6 비율에서 피크를 보이는데, 이것은 다른 성페로몬 조성을 갖는 두 집단 즉 군위 지역에 존재하는 개체군과 전남과 제주 지역에 존재하는 개체군이 공존하여 나타난 현상으로 여겨진다.

한국에 존재하는 몇몇 농업 해충들이 이웃한일본과 중국과 달리 성페로몬 조성에 차이가 있다는 것이 종종 보고되었다(Boo, 1998; Boo & Park, 2005). 일본에서 네눈썹가지나방 성페로몬 샘에서 이 두 가지 이성질체 성분비는 47 : 53으로 보고되어 있어 있지만, 성페로몬 샘에서의 비율과는 맞지 않게 야외에서 네눈썹가지나방 수컷은 오히려 RS가 많이 첨가된 10 : 0 ~ 9 : 1 (RS vs SR)이었다(Ando *et al.*, 1997), 이스라엘에서는 SR에만 유인되었다(Becker *et al.*, 1990; Cossé *et al.*, 1992). 군위 지역의 네눈썹가지나방의 최적 조성비는 일본의 최적 조성비와 유사하지만, 전남과 제주의 최적조성비는 일본, 이스라엘, 군위지역의 개체군의 최적 조성비와 확연히 다르다.

RS와 SR가 0.5 : 0.5 비율로 총량 1mg 포함된 유인제에 3Z,6Z,9Z-19:H을 농도별로 추가하여 야외 유인력을 조사한 결과, 3Z,6Z,9Z-19:H의 추가 농도에 따른 수컷 유인력에는 통계적으로 유의하지 않았다($F = 0.94$; $df = 4, 10$; $P = 0.4798$) (Fig. 18).

Cossé *et al.*(1992)은 3Z,6Z,9Z-19:H가 암컷의 성페로몬 샘에 존재하고 공기중으로 방출되기 때문에 성페로몬 성분의 전구체로서의 역할과 페로몬시스템에서의 역할 두 가지를 모두 할 것이라고 제안하였다. 그러나 본 연구에서 3Z,6Z,9Z-19:H는 수컷의 안테나의 반응을 일으키지 못했고, 야외에서 수컷 유인력을 증대시키지 않았다. 일본에서도 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H를 포함한 유인제에 3Z,6Z,9Z-19:H를 추가하였을 때 수컷 유인력에 상승작용(synergism)을 보여주지 않았다(Ando *et al.*, 1997). 다수의 연구자들은 이 물질이 수컷 유인력에 길항작용하거나 아예 유인효과가 없다고 보고하였다. 이물질을 처리하면 오히려 야외에서 유인력을 감소시켰고 풍동실험에서 수컷의 반응을 사라졌다(Cossé *et al.*, 1992). 또한 수컷의 암컷으로의 방향성(orientation)과 암컷과의 교미를 다소

억제시키기도 하였고(Ohtani *et al.*, 2001), 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H를 포함한 유인제에 3Z,6Z,9Z-19:H를 농도를 1 : 1 비율까지 높이면 오히려 수컷 유인력이 점점 감소하였다고 하였다(Witjaksono *et al.*, 1999).

결론적으로 3Z,6Z,9Z-19:H는 네눈썹가지나방 수컷을 유인하는 성페로몬 성분으로서 역할을 하지 않는 것으로 판단된다. Watanabe *et al.*(2007)은 네눈썹가지나방 수컷 안테나에서 발견된 성페로몬결합단백질(pheromone binding protein, PBP)이 성페로몬 성분이나 유사물질에 대한 친화성에 큰 차이를 없었다고 보고하였다. 본 연구에서 암컷이 나이가 들수록 성페로몬 샘플에서 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H의 생산량은 감소하고 3Z,6Z,9Z-19:H의 생산량은 상대적으로 증가하였다. 따라서 이러한 상태의 성페로몬이 수컷 안테나에 도달하였을 때, 3Z,6Z,9Z-19:H는 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H와 경합하여 수컷의 반응성을 떨어뜨리는 길항물질의 역할을 할 것으로 추정된다.

Table. 6. Mean numbers of *Ascotis selenaria* males caught in sex pheromone traps baited with various ratios of 6Z,9Z-*cis*-3R,4S-epoxy-19:H (RS) and 6Z,9Z-*cis*-3S,4R-epoxy-19:H (SR).

Lure composition		Gunwi		Chanynyeong	Goheung	Yeongam	Aewol	Harye
RS	SR	Aug. 8-Sep. 7, 2009	Jun. 10-Jul. 22, 2010	Jun. 10-Jul. 22, 2010	Jun. 9-Jul. 21, 2010	Jun. 9-Jul. 21, 2010	Jul. 21-Aug. 19, 2009	Jul. 21-Sep. 8, 2009
1.0	0	1.3 abc ¹	2.7 ab	3.0 bcde	0.0 b	0.3 ef	0.0 d	0.0 c
0.9	0.1	2.7 a	2.3 abc	5.0 abcd	1.7 b	0.7 def	0.3 d	0.3 c
0.8	0.2	1.7 ab	3.7 a	6.0 abc	3.0 b	2.7 bcdef	0.3 d	0.3 c
0.7	0.3	0.0 c	2.0 abcd	8.3 a	3.3 b	3.7 bcd	3.3 abc	1.7 c
0.6	0.4	0.0 c	2.3 abc	6.0 abc	7.7 a	4.7 abc	3.0 bc	5.3 a
0.5	0.5	0.0 c	2.0 abcd	6.7 abc	8.0 a	5.7 ab	5.3 a	4.7 ab
0.4	0.6	0.3 c	0.7 bc	8.0 ab	8.7 a	3.3 bcde	4.0 abc	2.0 bc
0.3	0.7	0.0 c	0.7 bcd	6.7 abc	2.3 b	6.7 a	4.3 ab	2.3 bc
0.2	0.8	0.0 c	1.0 bcd	4.7 abcde	1.0 b	1.7 cdef	2.0 cd	1.0 c
0.1	0.9	0.0 c	0.3 cd	2.0 cde	0.3 b	3.0 bcdef	0.3 d	1.0 c
0	1.0	0.0 c	0.3 cd	0.3 de	0.0 b	0.7 def	0.0 d	0.0 c
0	0	0.0 c	0.0 d	0.0 e	0.0 b	0.0 f	0.0 d	0.0 c

¹Within a column, means followed by the same letter are not significantly different ($P > 0.05$; DMRT).

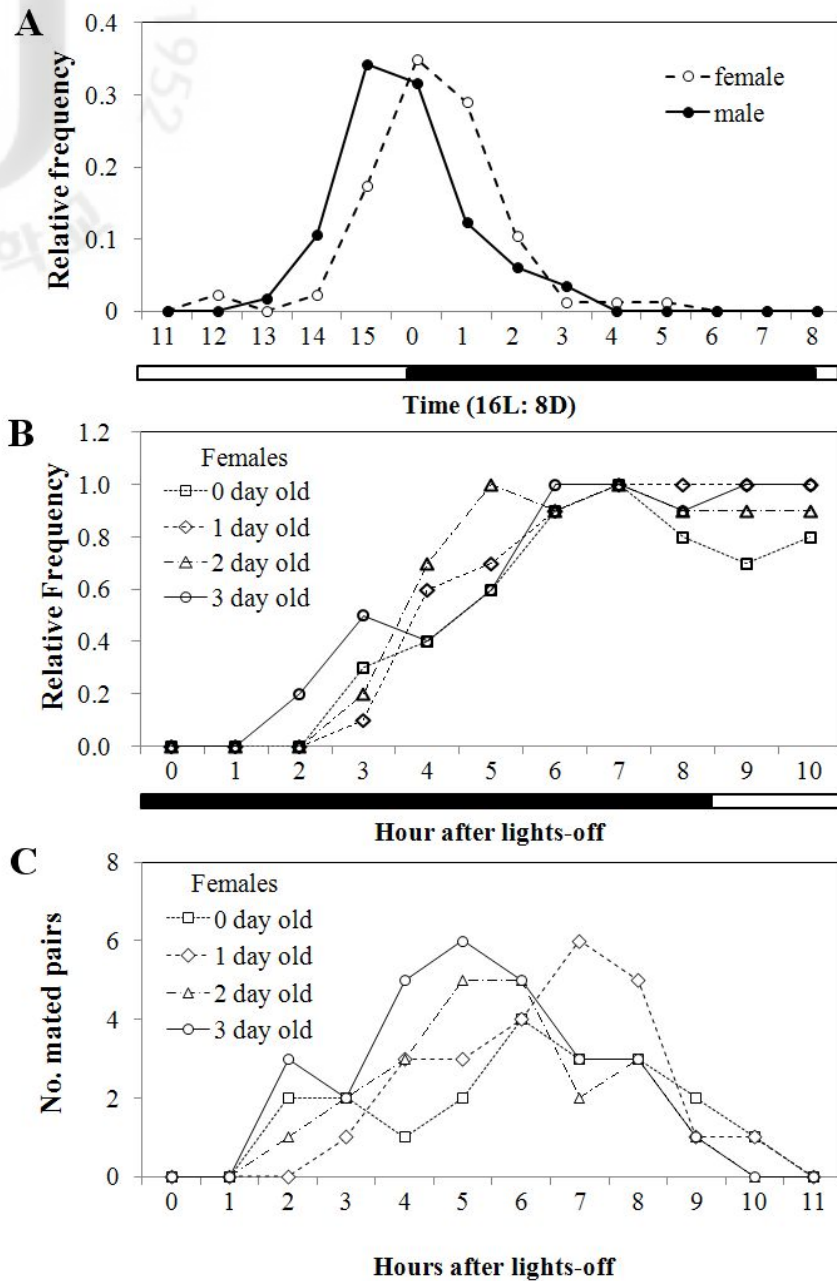


Fig. 12. Emergence, calling, and mating rhythms of *Ascotis selenaria*. (■ Scotophase, □ photophase) (A) Emergence rhythms (♀: 86, ♂: 114). (B) Calling frequency of 10 virgin females in different age groups. (C) Mating rhythms of 9 females in different age groups when two males per female were placed in a plastic cage.

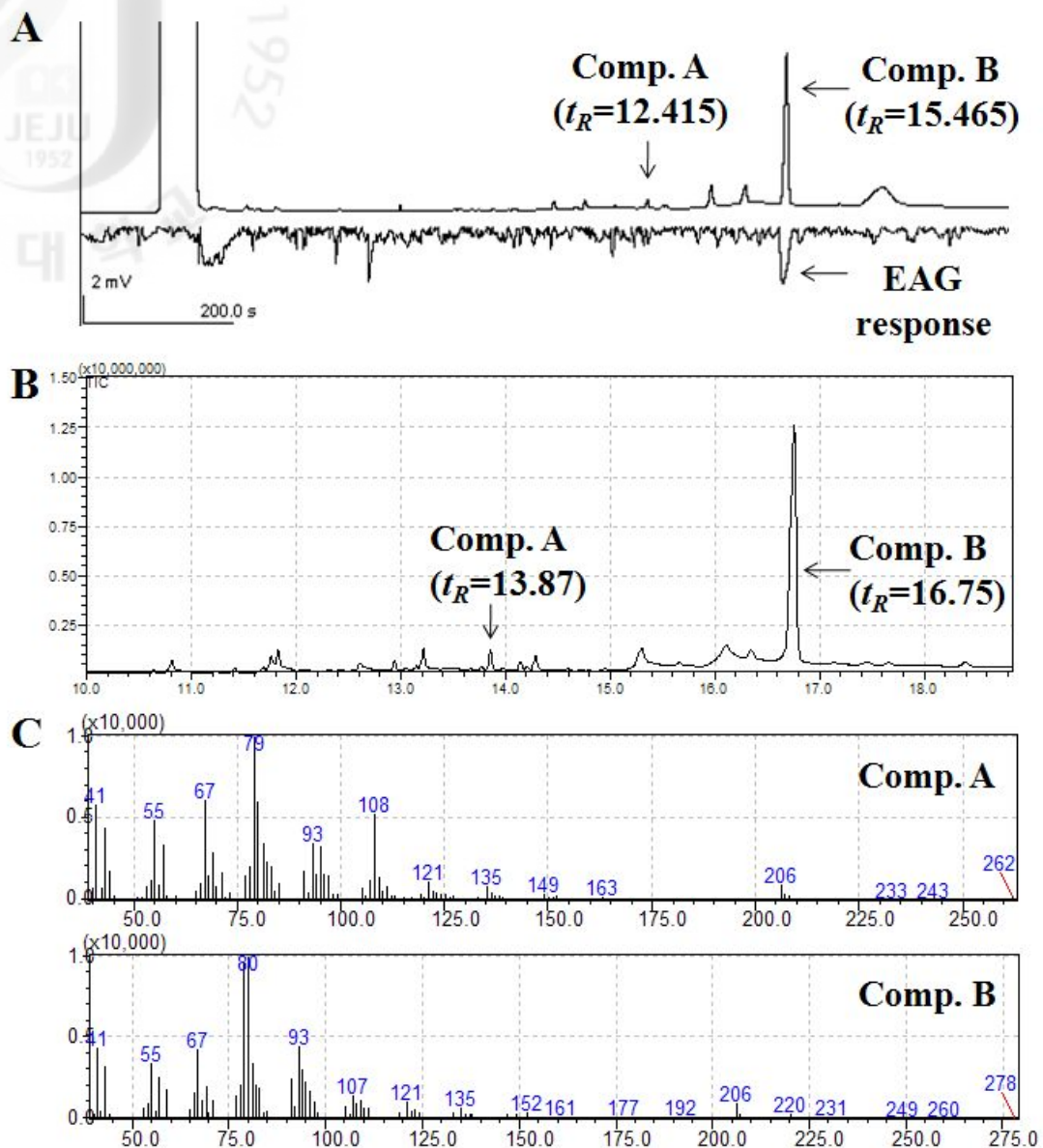


Fig. 13. GC-MS and GC-EAD traces of the gland extracts of *Ascotis selenaria* female. (A) GC-EAD trace of male antenna to the extract. (B) GC-MS total ion chromatogram of the gland extracts ($n = 73$). (C) Mass spectra of the sex pheromone components: Comp. A was 3Z,6Z,9Z-19:H and Comp. B was 6Z,9Z-cis-3,4-epoxy-19:H.

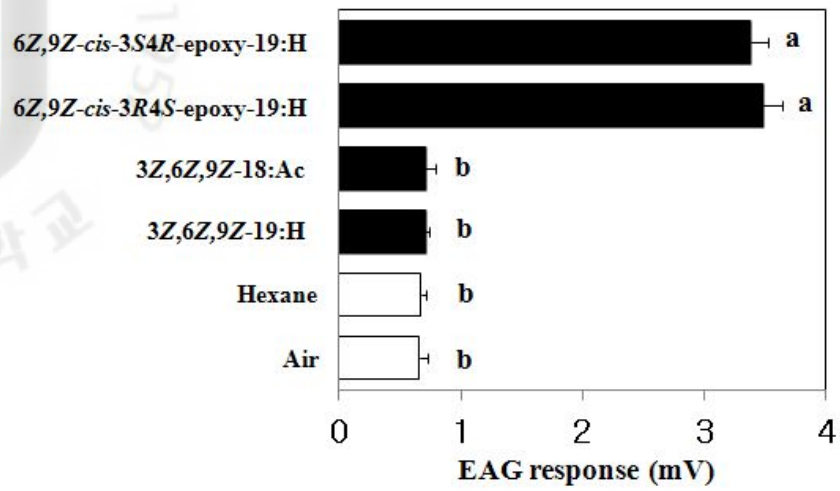


Fig. 14. EAG responses of male *Ascotis selenaria* to the synthetic pheromone components and related compounds (100 ng) (N = 5, R = 5). Different letters beside standard error bars indicate significant difference among the means at $P < 0.05$ (DMRT).

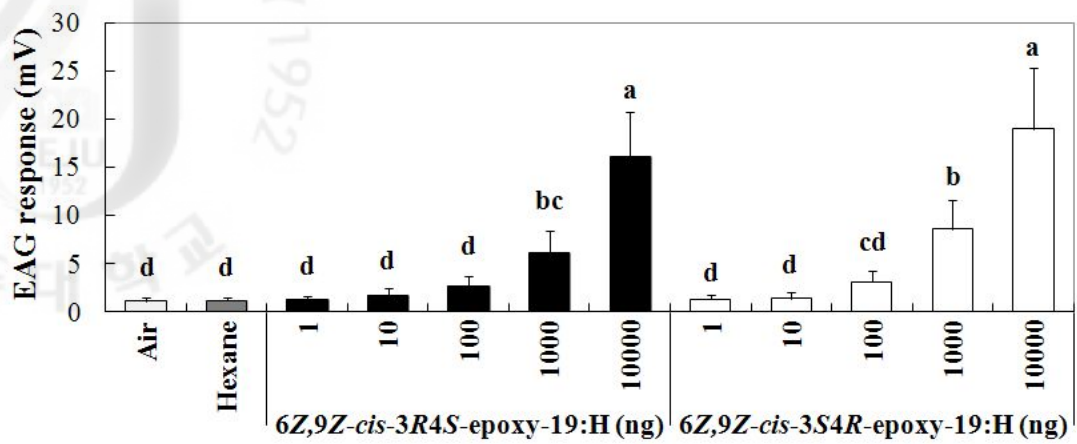


Fig 15. EAG dose-responses of male *Ascotis selenaria* to different amounts (ng) of the two sex pheromone components (N = 5, R = 5). Different letters above standard error bars indicate significant difference among the means at $P < 0.05$ (DMRT).

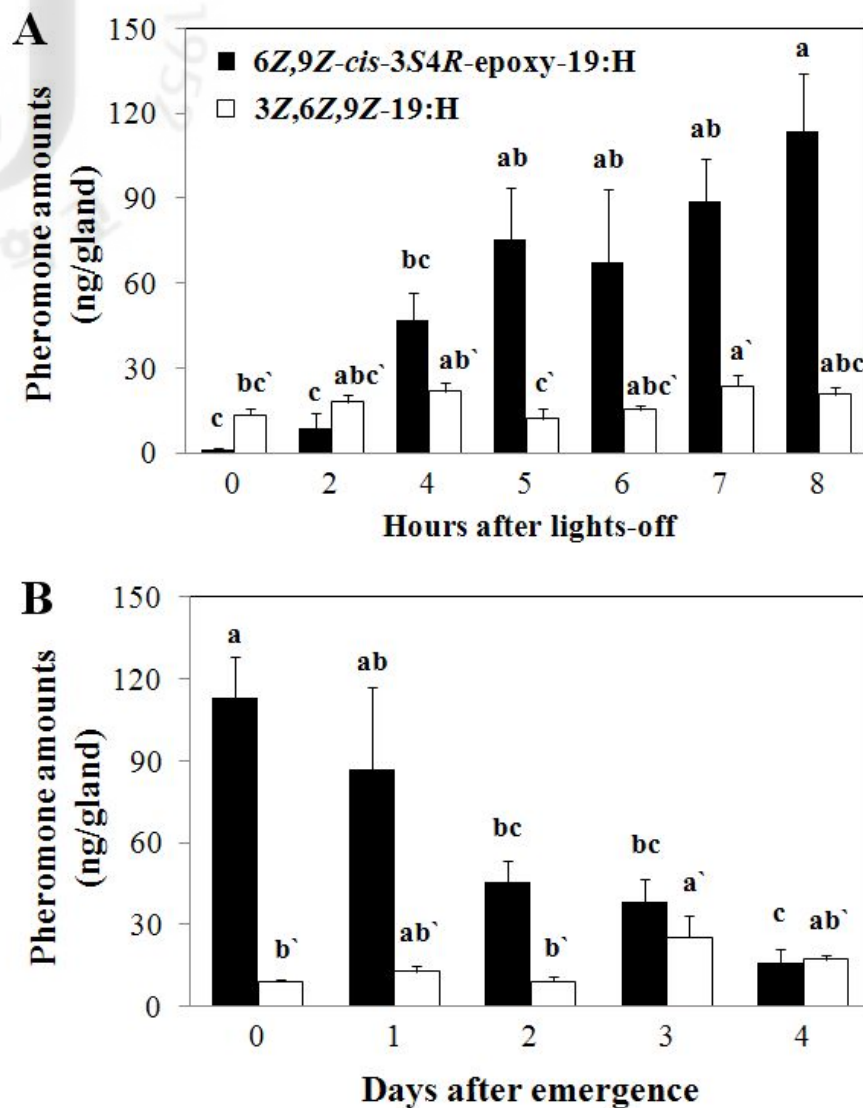


Fig. 16. Changes in the amounts, 6Z,9Z-cis-3,4-epoxy-19:H and 3Z,6Z,9Z-19:H, produced in the sex pheromone gland of *Ascotis selenaria*. (A) Temporal profile of the pheromone quantity in 1 day-old females during scotophase (n= 8). (B) Pheromone amount rapidly decreased with female age when measured at 5 h after lights-off (n = 10). Different letters above standard error bars indicate significant difference among the means at $P < 0.05$ (DMRT).

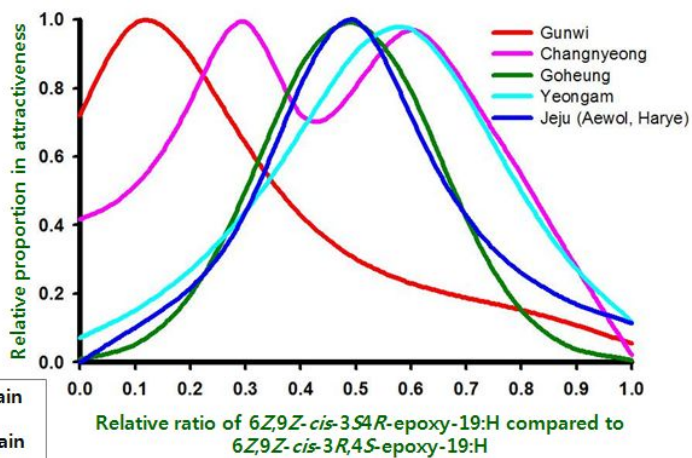
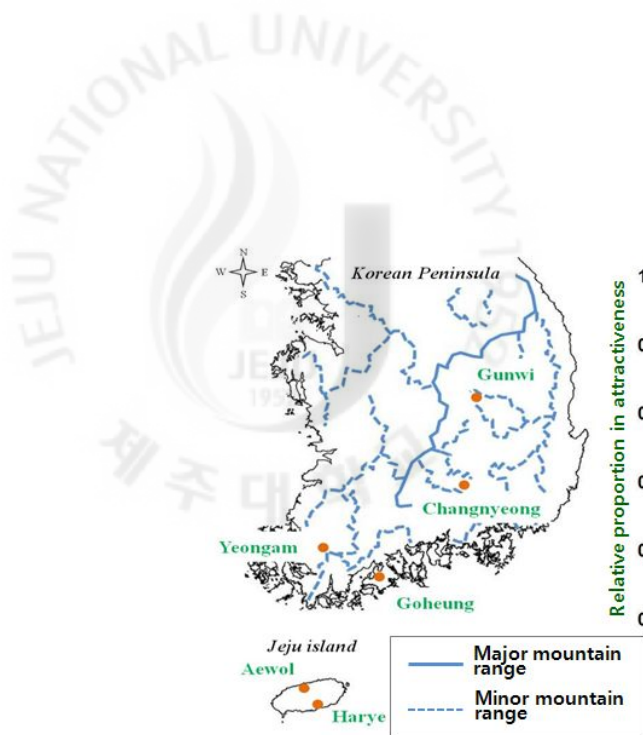


Fig. 17. Geographical variation in optimum blend ratios of 6Z,9Z-cis-3R,4S-epoxy-19:H and 6Z,9Z-cis-3S,4R-epoxy-19:H for *Ascotis selenaria* in Korea. The original trap catch data (see Table 6) were smoothed using FFT (fast Fourier transform) filtering between 5 and 12% to make the location of peaks in the actual data more distinct (Jandel Scientific, 1996). The smoothed data were scaled as ratios against the peak catches to compare among localities. The surveyed locations were noted in relation to the major and minor mountain ranges.

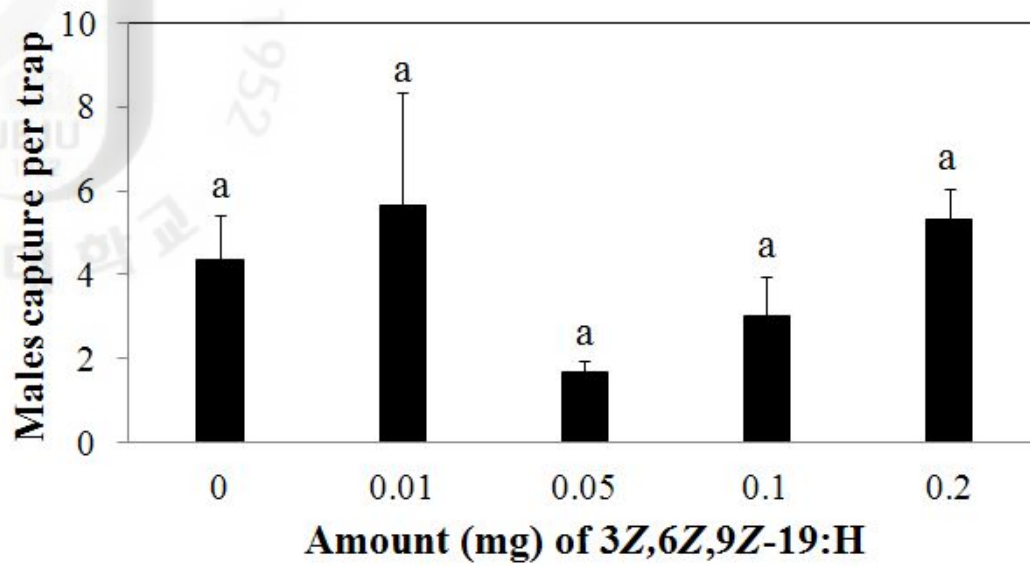


Fig. 18. Mean numbers of *A. selenaria* males captured in the traps baited with 3Z,6Z,9Z-19:H added onto the lure containing 0.5 : 0.5 ratio between 6Z,9Z-*cis*-3R,4S-epoxy-19:H and 6Z,9Z-*cis*-3S,4R-epoxy-19:H at a citrus orchard in Aewol, Jeju-do during Sep. 9 ~ 29, 2009. Different letters above standard error bars indicate significant difference among the means at $P < 0.05$ (DMRT).

3. 네눈썹가지나방의 온도 발육과 개체군 모형

3-1. 생명표 통계량 추정

조사기간의 평균온도는 23.2°C 이었고, 습도는 40~60% 범위로 측정되었다. 이 조건에서 알에서 우화될 때까지의 생존율은 40%였고, 성충전 기간까지의 알, 유충, 용의 수명(median)은 각각 6.6, 26.8, 13.5일로, 총합이 46.8일이었다. 성충전 기간의 수명은 알, 유충, 용이 각각 약 6.6, 26.8, 13.5일 이었고, 생존율은 알, 유충, 용이 각각 76.4, 59.2, 80.0%였다. 생명표 통계량 추정 결과(Table 7), 네눈썹가지나방의 총증식율(GRR)은 980.9였고, 순증식율(R_0)은 360.02였다. 세대기간(T)은 52.25일이었다. 내적자연증가율(r_m)은 0.113이었고, 기간증가율(λ)는 1.12 이었다. 개체군의 크기가 2배가 되는 배가시간(DT)은 6.15일이었다.

네눈썹가지나방의 산란수가 연구자마다 차이가 있었다. Wysoki *et al.*(1975)은 네눈썹가지나방의 산란수가 302~445개로 보고하였고, Abasa(1972)는 커피나무에서 약 690개를 산란한다고 하였다. Choi *et al.*(2011)은 감귤 잎으로 사육한 암컷이 평균 약 1800개의 알을 산란한다고 하였고, 네눈썹가지나방이 가해하는 콩(soy bean)을 기반으로 한 혼합사료(meridic diet)를 먹이로 사육한 개체들과 감귤 잎을 먹이로 사육한 개체들의 발육 및 산란에 차이가 없었다. 이러한 차이는 식물마다 영양적 가치가 다르기 때문에 나타난 결과로 해석된다(Awmack & Leather, 2002).

Wysoki *et al.*(1975)는 네눈썹가지나방이 연간 3~5회 발생한다고 하였지만, 국내 감귤원에서는 연간 3~4회 발생하는 것으로 보고되었다(Anonymous, 2002b). 23.2°C에서 성충전 기간은 46.8일이었고, 세대기간(T)은 52.25일이었다. 따라서, 국내에서 네눈썹가지나방은 연간 약 3~4회 가량 발생할 것으로 예상되었고, 개체군 모형으로 모의 실행 결과도 연간 3회 발생하는 것으로 나타났다.

3-2. 온도 발육과 개체군 모형

3-2-1. 발육영점온도와 유효적산온도

알, 유충, 용은 13~30℃로 설정된 조건에서 온도가 증가함에 따라 발육속도도 직선적으로 증가하는 경향을 보였다. 발육영점온도는 알이 10.98℃로 가장 높았고, 유충이 9.68℃이었으며, 용이 9.07℃로 가장 낮았다. 알의 발육에 필요한 온량상수(thermal constant)는 83.7이었고, 유충과 용의 경우 각각 340.7과 200.7이었다.

선형모형으로부터 계산된 네눈썩가지나방의 알, 유충, 용의 온량상수는 Yu *et al.*(2001)이 보고한 86.05, 341.86, 197.90과 비슷하였다. 그러나 알, 유충, 용의 발육영점온도가 Yu *et al.*(2001)이 보고한 8.38, 11.34, 2.81℃과 차이가 있었다. 선형모형은 저온영역에서 곤충의 발육을 저평가하고 고온영역에서 과대평가하는 단점이 있는데(Howe, 1967), 이로 인하여 발육영점온도나 유효적산온도 값을 추정하는 과정에서 연구자마다 그 결과에 차이를 보이는 것으로 판단된다.

3-2-2. 알, 유충, 용 발육 모형

선형모형은 저온영역에서 곤충의 발육을 저평가하고 고온영역에서 과대평가하는 단점이 있는데(Howe, 1967), 이러한 선형모형을 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서 곤충의 온도에 따른 발육을 비선형 모형을 이용하여 알, 유충, 용의 발육기간과 성충의 수명에 대한 발육 모형을 만들었다.

온도별 발육속도(1/median)값에 비선형 모형인 Hilbert와 Logan 모형을 적용하여 각 발육단계에서 매개변수를 추정하였다(Table 9). 추정된 매개변수 값을 적용한 결과, Hilbert와 Logan 모형으로 잘 설명되었다(Fig. 19). 즉 결정계수(R^2)가 알, 유충, 용 모형 모두 0.99로 매우 높았다. 추정된 발육속도 곡선은 온도별 알, 유충, 용의 발육을 잘 묘사하였다. 알, 유충, 용의 발육은 주로 10~35℃ 내에서 이루어졌고, 30~32℃사이에 발육속도가 최고를 보였다.

생리적 연령에 의한 발육완료 분포를 Weibull 함수에 적용시켜 매개변수를

추정하였다(Table 10). Weibull 함수의 곡선은 각 발육단계의 발육완료 분포 값들을 잘 표현하였다(Fig. 20). 추정된 곡선들의 결정계수(R^2)가 알과 용 단계에서 0.99로 아주 높았고, 유충의 경우 0.90으로 약간 낮았다.

3-2-3. 성충의 산란모형

성충의 발육속도 모형을 비롯하여 산란모형을 구성하는 총산란수 모형(total fecundity model), 누적 산란율 모형(age-specific cumulative rate model) 및 생존율모형(age-specific survival rate model)들의 매개변수를 추정하였다(Table 11). 이들 매개변수는 온도별 성충의 발육속도와 산란수 그리고 생리적 연령에 따른 누적 산란율과 생존율을 표현하는 데 적합하였다(Fig. 21). 결정계수(R^2)값은 성충 발육모형이 0.98로 가장 높았고, 총산란수 모형, 생리적 연령에 따른 누적산란율 모형과 생존율 모형에서 0.90~0.93으로 높은 수치를 보여주었다. 세 가지 모형인 총 산란수 모형, 생리적 연령에 따른 누적 산란율 모형, 생리적 연령에 따른 생존율 모형으로 구성된 산란모형을 이용하여 암컷 성충 한 마리가 온도와 수명에 따른 산란수를 추정한 결과는 Fig. 22와 같았다.

총산란수 모형에서 저온과 고온영역에서 실제보다 약간 높게 표현되어 있지만, 네눈썹가지나방 암컷이 약 19.8°C에서 2,490여개의 알을 최대 산란하였고, 13~35°C에서 주로 산란이 이루어지는 특성을 잘 묘사하였다.

3-2-4. 개체군 모형의 포장 적합

개체군 모형에서 해충의 발육 진행은 해충이 발생한 시간(day)이 경과함에 따라 일별 발육속도를 합산하는 방법을 사용하였다(Curry & Feldman, 1987). 생리적 연령을 독립변수로 사용하는 알, 유충, 용의 발육분포모형과 산란모형에서 산란율과 생존율 모형들은 Wagner *et al.*(1984a, 1985)이 사용한 발육속도를 합산하는 방법을 기반으로 두고 있다.

네눈썹가지나방의 개체군 모형을 이용하여 노지 감귤원에서 네눈썹가지나방

의 발생을 모의실험 시 알의 생존율을 2%로 낮게 설정하였다. 본 연구에서 노지 감귤원에서 네눈썹가지나방의 산란처는 감귤원 외부에 존재하고, 부화한 유충이 바람을 타고 감귤로 분산·이동하는 것으로 추정하였다. 따라서 부화한 유충이 기주식물로 분산·이동하는 과정에서 발생하는 사망률을 알의 생존율에 반영하였다. 실내에서 유충의 생존율은 59.2%였지만 야외에서 천적 등 생물적 요소에 의해 사망하는 수치를 감안하여 10%로 낮게 설정하였다. 용은 땅속에서 토와 (soil capsule)를 형성하기 때문에 실험실에서 얻어진 사망률인 80%를 적용했고, 네눈썹가지나방의 암컷은 야외에서 우화한 지 2일까지 수컷에 대한 유인력을 보인 것을 감안하면(Hardar & Wysoki, 1989), 야외에서 우화한 암컷은 빠른 시간 안에 교미하고 산란하게 되므로 생존율을 80%로 높게 설정하였다.

네눈썹가지나방의 알, 유충, 용 발육단계 전이모형과 성충의 산란모형으로 구성된 개체군 모형의 추측값과 실제 포장에서 조사된 성충과 1령 유충 발생 자료를 비교하였다. 2008년부터 2010년까지 포장에서 조사된 성충 발생양상과 시나리오에 따른 개체군 모형의 추측값을 비교해 보면(Fig. 23), 시나리오 2에 따른 결과(Estimated 2 in Fig. 23)가 성충 발생양상과 모두 유의하게 높은 상관관계를 보였다(Table 12). 또한 2009년과 2010년의 1령 유충 발생과 개체군 모형 결과를 보면 시나리오 2에 따라 추정된 곡선(Estimated 2)이 1령 유충 발생과 비슷한 패턴을 보였다(Fig. 24). 그러나 모의 결과와 포장 발생의 사이의 상관분석을 한 결과(Table 12), 2009년은 역 상관이었고, 2010년은 유의하게 높은 정 상관을 보이는 것으로 분석되었다. 1령 유충과 성충의 발생 최성기와 시나리오 2에 따른 추정 결과와의 상관분석을 한 결과(Table 13), 2009년과 2010년의 1령 유충과 성충에 대한 모의결과와의 상관계수(r)는 0.99로 유의하게 높게 나왔다.

생리적 연령이 동일한 월동용의 수를 100마리로 초기치를 준 시나리오 1로 개체군 모의실험 한 결과(Estimated 1 in Fig. 23, 24), 성충과 유충의 1세대 발생양상과 큰 차이가 있었다. 이것은 네눈썹가지나방의 용 휴면, 전년도 형성된 용의 발육 차이, 다른 지역에서 발생한 성충이 이동하여 온 것 세 가지 가능성이 있다. 현재까지 네눈썹가지나방이 휴면(diapause)과 관련된 보고는 없었으며, 실내 사육과정에서 4°C와 8°C의 저온에 용을 장기간 보관한 후 상온에서 우화하였을 때 사망률에 차이가 있을 뿐 우화가 지연되는 현상은 관찰되지 않았다. 따라

서 네눈썹가지나방의 용은 비휴면 상태로 월동하는 것으로 가정하였다. 네눈썹가지나방의 세대기간이 52.25일로 긴 편이고(Table 7), 성충이 4월 중순부터 10월 말까지 발생하지만(Fig. 11), 유충은 5~9월에 주로 발생하였다(Fig. 9). 따라서 개체군 모형의 모의는 1월 1일부터 시작되기 때문에 용화된 개체들의 발육시기와 모의 실행 시작점에 차이가 있다. 이와 같은 이유로 Kim & Lee(2010)는 복숭아심식나방의 월동 개체들에 대하여 별도의 우화모형을 만들어 개체군 모형에 사용하였다. 그러나 네눈썹가지나방의 월동개체의 채집이 어려워 이들의 우화모형을 별도로 만들 수 없어, 네눈썹가지나방의 월동용을 생리적 연령이 다르게 구성하였다. 시나리오 2는 100마리의 월동 개체군을 4개의 집단 즉 20마리, 30마리, 30마리 및 20마리로 구성하였는데, 발육의 진전도에 따라 각각 생리적 연령으로 -0.3, 0.0, 0.3, 0.6을 할당하였다. 여기서 생리적 연령이 -0.3인 집단은 완전히 용화되지 못하고 겨울을 맞은 상태를 가정하였다. 시나리오 2로 모의 실행한 결과, 1령 유충과 성충의 발생양상이 실측과 매우 유사하게 추정되었다(Estimated 2 in Fig. 23, 24). 모의 실행 결과의 2번째와 3번째 피크와 실제 성충의 발생과 차이가 있는데, 이것은 외부지역에서 우화한 개체들이 이동해온 것이거나 포장에서 약제 살포 등 환경요인의 영향이 원인으로 판단된다.

2009년 1령 유충의 발생양상과 모의실행 결과와의 상관분석에서 역 상관으로 분석되었는데(Table 12), 이것은 약제 살포나 우천 등 기상요인의 영향으로 판단된다. Kim & Lee(2010)는 복숭아심식나방의 개체군 모형에 살충제의 영향요소를 적용하여 실제 포장에서의 약제 살포에 따른 복잡한 개체군의 밀도변화를 성공적으로 묘사하였다.

Table 7. Life table of *Ascotis selenaria* at 23.2°C.

Adult age (days, x)	Pivotal age (X)	l_x	m'_x	m_x	$l_x m_x$	$X l_x m_x$
1	47.8	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00
2	48.8	0.40	217.28	108.64	43.46	2120.63
3	49.8	0.40	450.72	225.36	90.14	4489.19
4	50.8	0.40	268.61	134.31	53.72	2729.09
5	51.8	0.40	174.22	87.11	34.84	1804.94
6	52.8	0.40	176.06	88.03	35.21	1859.15
7	53.8	0.40	101.00	50.50	20.20	1086.76
8	54.8	0.40	84.61	42.31	16.92	927.34
9	55.8	0.40	100.33	50.17	20.07	1119.72
10	56.8	0.38	57.47	28.74	10.86	616.60
11	57.8	0.33	72.40	36.20	12.07	697.45
12	58.8	0.33	78.27	39.13	13.04	767.01
13	59.8	0.22	22.00	11.00	2.44	146.18
14	60.8	0.20	31.56	15.78	3.16	191.86
15	61.8	0.20	5.44	2.72	0.54	33.65
16	62.8	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00
17	63.8	0.18	8.63	4.31	0.77	48.91
18	64.8	0.11	13.20	6.60	0.73	47.52
19	65.8	0.07	19.00	9.50	0.63	41.67
20	66.8	0.07	13.00	6.50	0.43	28.95
21	67.8	0.07	1.00	0.50	0.03	2.26
22	68.8	0.02	67.00	33.50	0.74	51.22
23	69.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum				980.90	360.02	18810.10

x : age of adult female in days, X : a pivotal age (female age at age x) + (sum of developmental period (median) of egg, larva, and pupa, respectively), l_x : the age-specific survival rate (proportion of female alive at age x) \times (survival rate from egg to emergence), m'_x : the total number of eggs laid per female at age x , m_x : $P \cdot m'_x$ where P represents the proportion of females(0.5).

Table 8. The developmental zero temperatures and thermal constant of egg, larval, and pupal stage of *Ascotis selenaria*.

Developmental stage	Parameters of linear model ¹			Developmental zero (°C)	Thermal constant
	a	b	r ²		
Egg	0.0120 ^{**2}	-0.1311 ^{**}	0.99	10.98	83.7
Larva	0.0030 ^{***}	-0.0284 ^{***}	0.99	9.68	340.7
Pupa	0.0050 ^{***}	-0.0452 ^{**}	0.99	9.07	200.7

¹Linear model function: $f(T) = a \cdot T + b$, where $f(T)$ is the developmental rate at a temperature(T), a and b are parameters.

²***: $P < 0.001$, **: $P < 0.01$.

Table 9. Estimated value of the parameters of developmental models for egg, larval, and pupal stage of *Ascotis selenaria*.

Developmental stage	Parameters	Estimated value	SEM	R^2
Egg	ψ	0.3695	0.08232	0.99
	Tb	9.2604	1.51680	
	D	-16.8412	5.12291	
	Tm	26.0988	1.70822	
	ΔT	1.0083	0.35174	
Larva	ψ	0.1165	0.04736	0.99
	Tb	6.3298	2.02936	
	D	-23.3213	10.11832	
	Tm	29.2071	2.41728	
	ΔT	1.0575	0.37799	
Pupa	ψ	0.1427	0.01776	0.99
	Tb	9.6201	1.27155	
	D	-12.9130	3.04644	
	Tm	28.6765	1.39444	
	ΔT	1.5784	0.33725	

Hilbert and Logan model (Hilbert & Logan, 1983) was applied.

Table 10. Estimated value of the parameters of distribution models of development time for egg, larval, and pupal stage of *Ascotis selenaria*.

Developmental stage	Parameters	Estimated value	SEM	R^2
Egg	β	1.0179	0.00301	0.99
	ρ	28.2351	2.73029	
Larva	γ	0.7471	0.05124	0.96
	β	0.2931	0.05327	
	ρ	2.5278	0.54936	
Pupa	γ	0.6904	0.10471	0.99
	β	0.3342	0.10564	
	ρ	5.1170	1.79920	

Weibull function (Wagner *et al.*, 1984) was applied.

Table 11. Estimated value of the parameters for an oviposition model of *Ascotis selenaria*.

Oviposition model Components	Parameters	Estimated value	SEM	R^2
Adult developmental model	a	0.0361	0.00850	0.98
	γ	-43.8521	1.28971	
	δ	-5.9775	0.82153	
Total fecundity model	a	2490.491	253.2921	0.90
	b	19.7540	0.514	
	c	4.8753	0.5269653	
Age-specific cumulative oviposition rate model	β	0.3851	0.00933	0.93
	ρ	1.4616	0.07661	
Age-specific survival rate model	γ	1.0412	0.01147	0.92
	δ	-0.1836	0.01163	

Table 12. Correlation coefficient between model outputs and actual data of *Ascotis selenaria* adult and 1st instar larva in different scenarios.

Stage	Year	Correlation coefficient ¹ , <i>r</i> (probability)	
		Scenario 1 ²	Scenario 2 ³
Adult	2008	0.46 (0.0151)	0.55 (0.0030)
	2009	0.65 (0.0004)	0.70 (0.0001)
	2010	0.31 (0.1095)	0.41 (0.0327)
Larva	2009	-0.24 (0.2913)	-0.22 (0.3341)
	2010	0.30 (0.2534)	0.56 (0.0228)

¹Pearson correlation coefficient between model outputs and observed data.

²One hundred overwintered pupae with same physiological age were used as influx population in model simulation.

³One hundred overwintered pupae divided into 4 groups in a ratio of 2 : 3 : 3 : 2, where -0.3, 0, 0.3, 0.6 of physiological age were allocated, respectively.

Table 13. Comparison of peak dates in Julian between model outputs and actual data of *Ascotis selenaria* adult and 1st instar larva in a citrus orchard in Seogwipo, Jeju-do.

Stage	Year	1st peak		2nd peak		3rd peak		Correlation coefficient ¹ , <i>r</i> (probability)
		Actual	Estimated ²	Actual	Estimated	Actual	Estimated	
Adult	2008	134	148	184	203	239	244	0.99 (0.0710)
	2009	139	137	195	195	237	237	0.99 (0.0065)
	2010	145	149	194	202	243	240	0.99 (0.0604)
Larva	2009	153	148	187	197	223	240	0.99 (0.0345)
	2010	159	157	201	202	235	244	0.99 (0.0260)

¹Pearson correlation coefficient between model outputs and observed data.

²One hundred overwintered pupae consisted of 4 groups in a ratio of 2 : 3 : 3 : 2, where -0.3, 0, 0.3, 0.6 of physiological age were allocated, respectively.

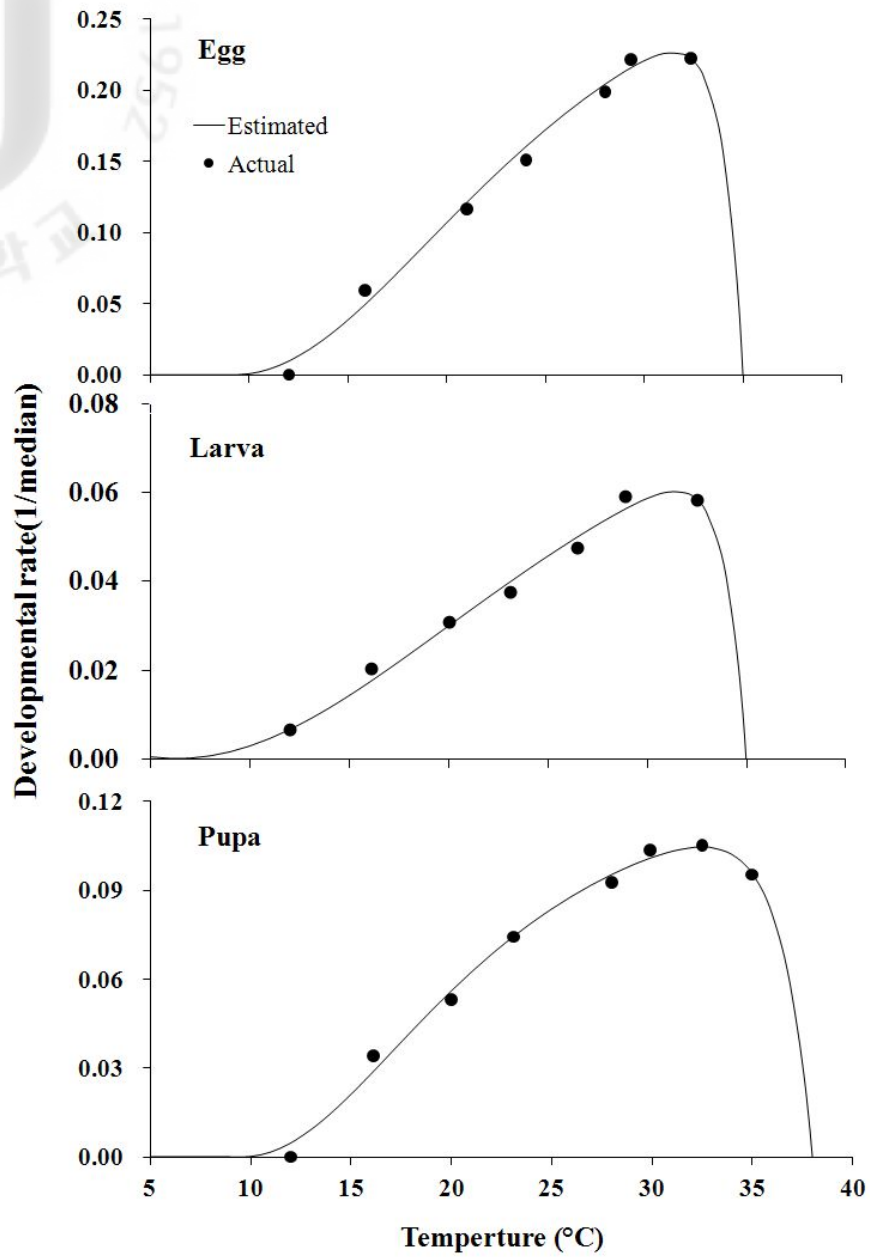


Fig. 19. Developmental rate curve (1/median day) of the egg, larval, and pupal stage of *Ascotis selenaria*. Hilbert and Logan model (Hilbert & Logan, 1983) was applied on each developmental stage.

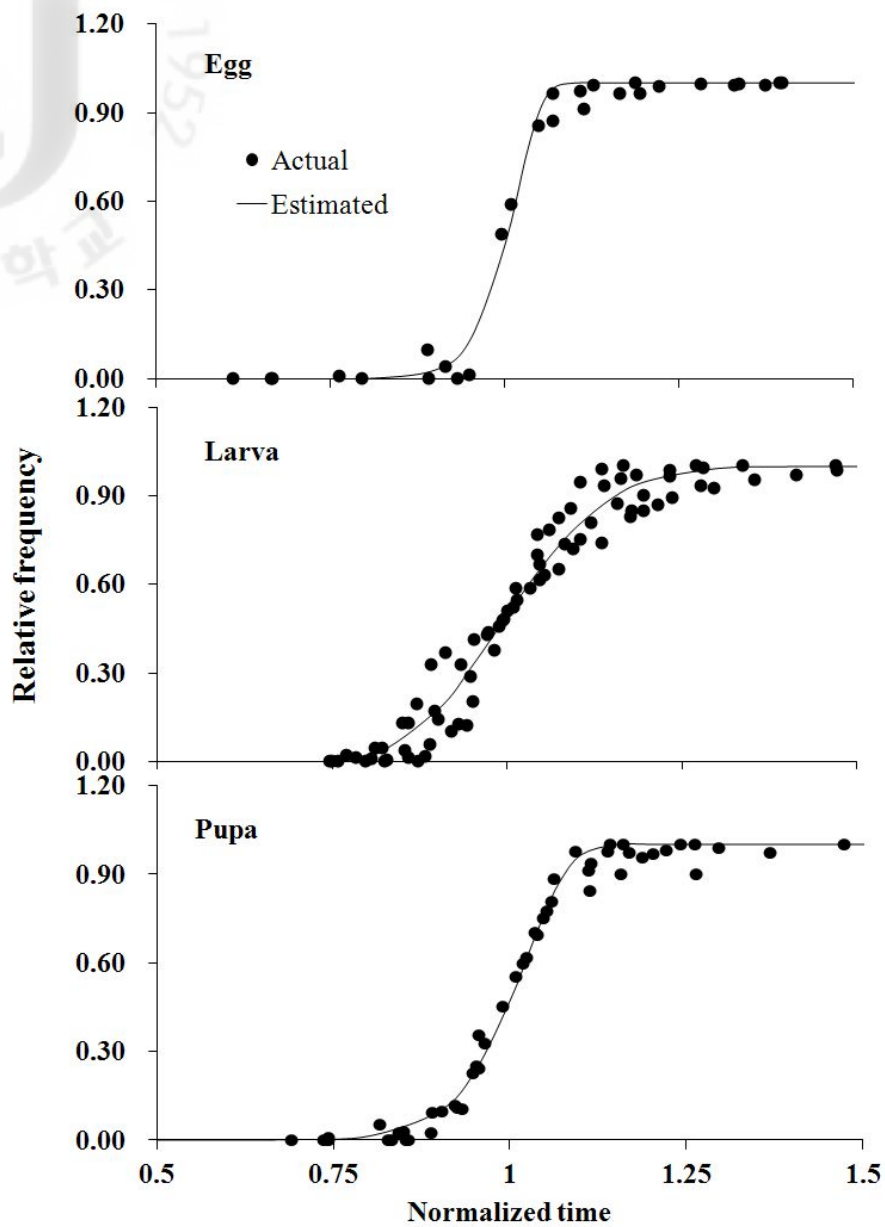


Fig. 20. Relative frequency of cumulative developmental complete distribution of the egg, larval, and pupal stage of *Ascotis selenaria*. Weibull function (Wagner *et al.*, 1984) was applied on each developmental stage.

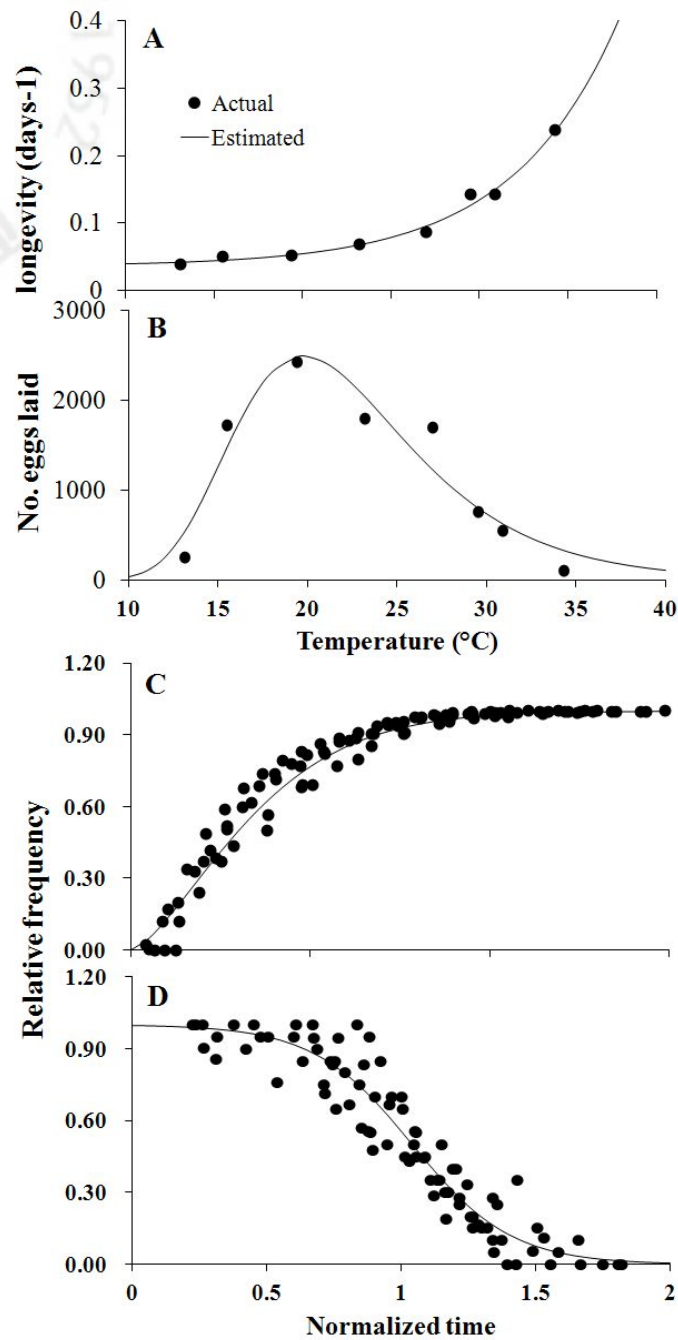


Fig. 21. Major component of the oviposition model of *Ascotis selenaria*. A: Developmental rate curve (1/mean longevity) of adult female. B: Temperature-dependent total fecundity curve. C: Age-specific cumulative oviposition rate curve. D: Age-specific survival rate curve.

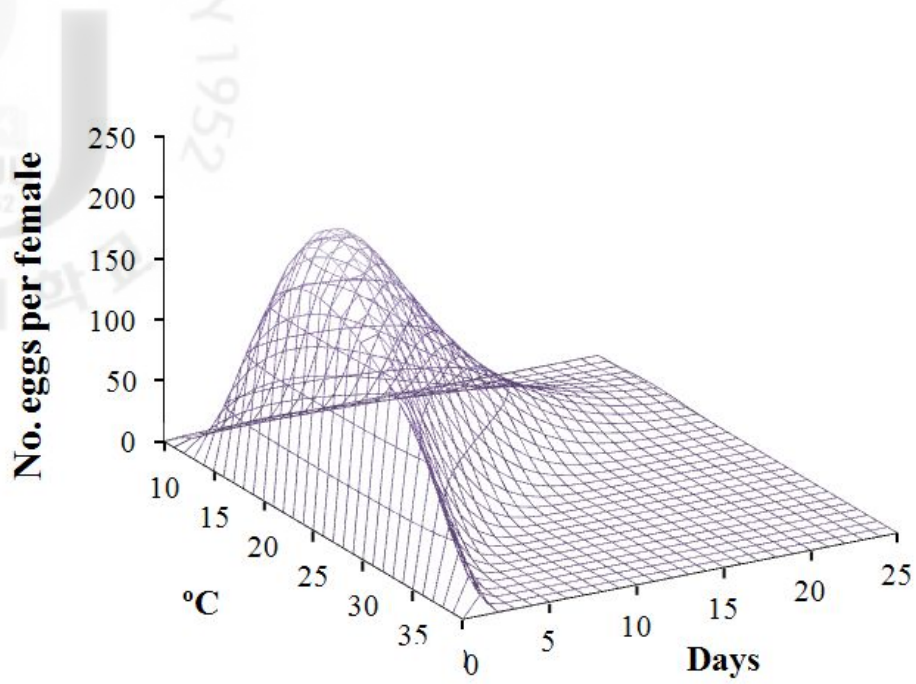


Fig. 22. Predicted oviposition density curve of *Ascotis selenaria*.

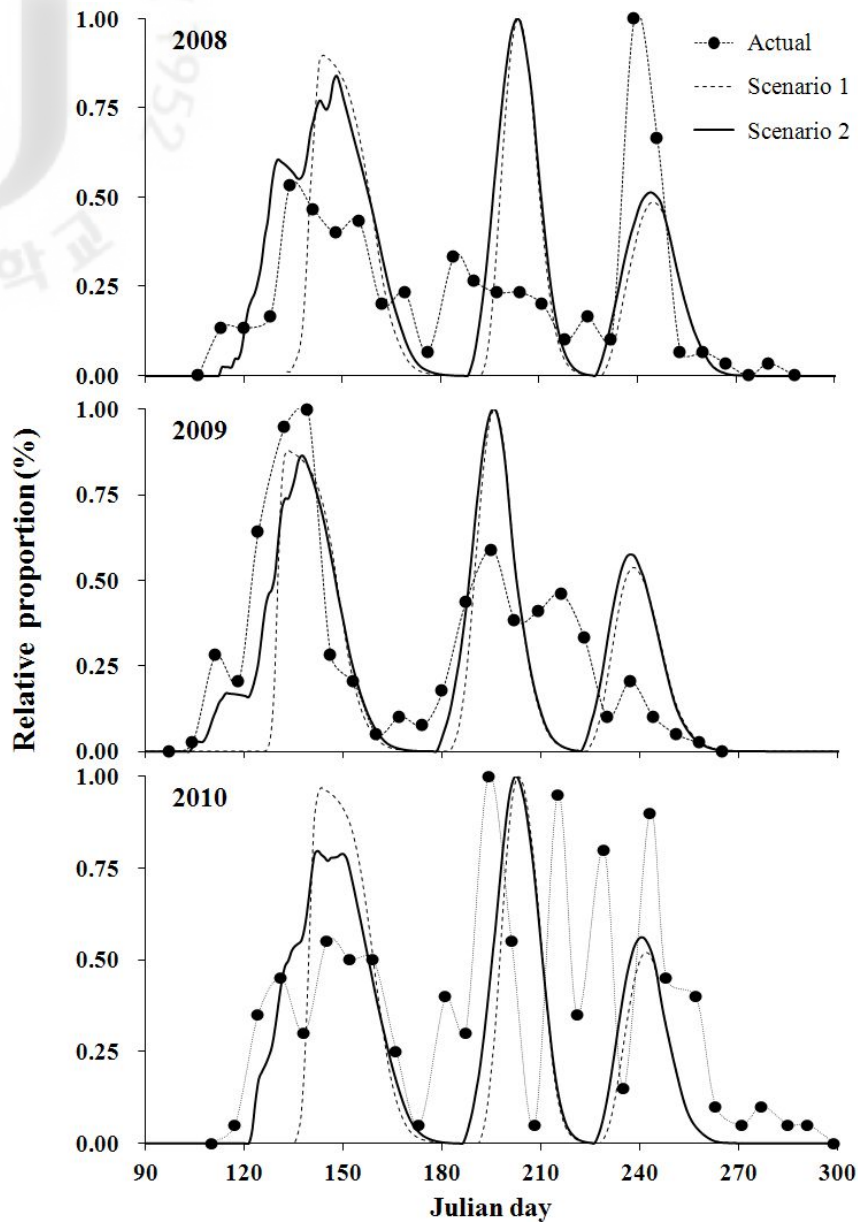


Fig. 23. Comparison of model outputs with actual data of *Ascotis selenaria* adults in a citrus orchard in Seogwipo, Jeju-do in 2008, 2009, and 2010. Model was simulated with two scenarios in the step of overwintered pupae(see Fig. 4). scenario 1 that one hundred pupae with zero value of physiological age used as influx population and scenario 2 that one hundred pupae consisted of 4 groups in a ratio of 2 : 3 : 3 : 2, where 0.6, 0.3, 0, -0.3 of physiological age were allocated, respectively.

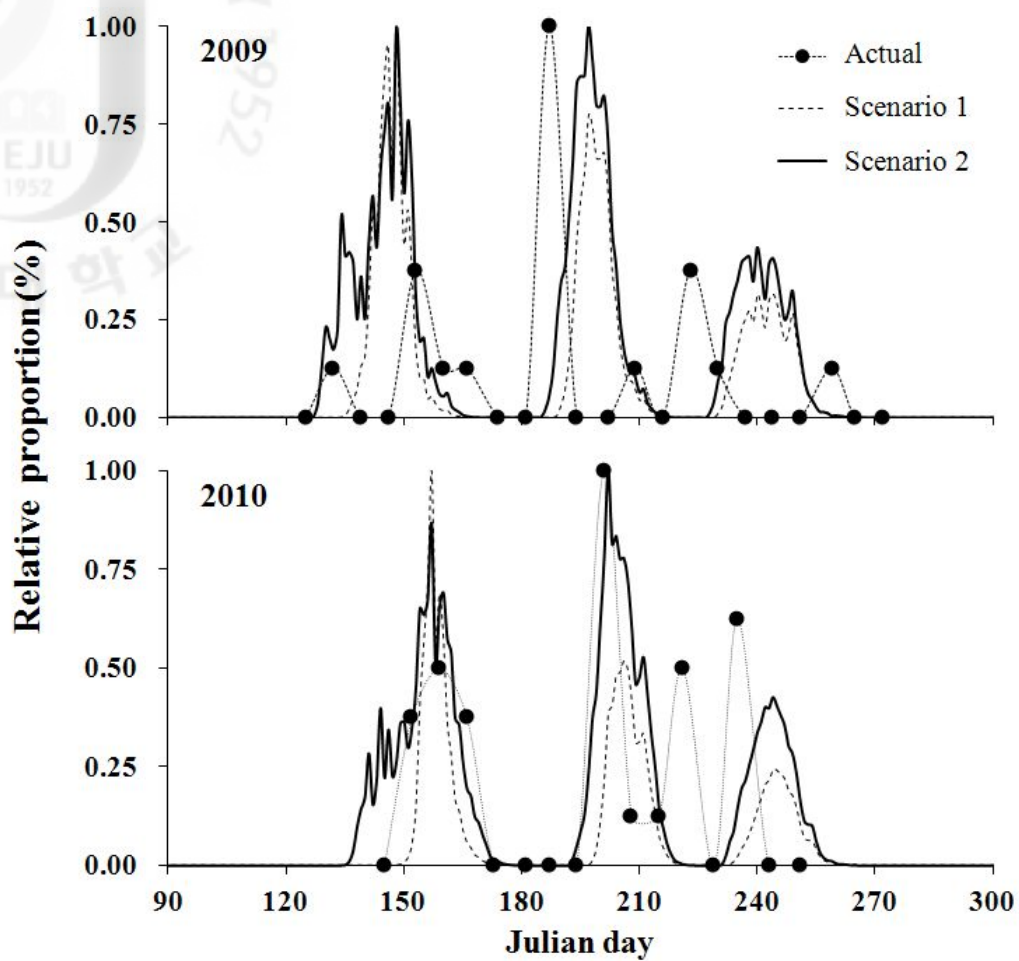


Fig. 24. Comparison of model outputs with actual data of 1st instar larvae of *Ascotis selenaria* in a citrus orchard in Seogwipo, Jeju-do in 2009 and 2010. Model was simulated with two scenarios in the step of overwintered pupae(see Fig. 4). scenario 1 that one hundred pupae with zero value of physiological age used as influx population and scenario 2 that one hundred pupae consisted of 4 groups in a ratio of 2 : 3 : 3 : 2, where 0.6, 0.3, 0, -0.3 of physiological age were allocated, respectively.

V. 종합고찰

국내 감귤원에서 7종의 자나방류 해충이 동정되었고, 이 중 네눈썹가지나방이 주로 발생하였다. 감귤과실 피해는 주로 네눈썹가지나방 유충에 의해 발생하였으나, 피해 증상은 노지 재배 온주밀감과 시설재배 부지화 감귤 간에 차이가 있었다. 온주밀감에서 과실 표면의 무정형의 갈아먹은 피해 증상은 1~3령의 어린 유충에 의해 주로 발생하였다. 반면에 부지화에서는 네눈썹가지나방 6령 유충이 과실 일부분 또는 전체적으로 가해하는 경우가 다수 발견되었다. 이러한 네눈썹가지나방 유충 령기에 따른 과실 피해증상이 아보카도 과실에서도 보고되었다(Wysoki *et al.*, 1975). 온주밀감과 부지화의 피해증상 차이는 감귤 종류의 착과 특성과 관련된 것으로 보인다. 온주밀감은 전년도에 생성된 순이 결과모지가 되지만 부지화는 당해 발생한 봄 순이 결과모지가 된다. 따라서 노지 온주밀감의 경우 봄순이 경화되면서 봄순을 먹지 못하는 어린 유충에 의해 과실의 피해가 발생하지만 부지화의 경우 당해 형성된 결과 모지의 봄순을 먹고 5~6령으로 자란 유충이 봄순 끝 부분에 달린 부지화 과실을 직접 가해하여 과실피해가 발생하는 것으로 추정된다.

Erichsen & Schoeman(1994)과 Choi *et al.*(2011)이 보고한 네눈썹가지나방 암컷의 산란 습성과 Abasa(1972)가 보고한 산란 위치를 고려하면 감귤나무에 네눈썹가지나방이 산란을 선호할 만한 부위가 거의 없었다. 실제로 조사기간 동안 감귤 나무에서 산란처나 산란흔도 발견되지 않았고, 2007년에 부지화 시설재배원에서 네눈썹가지나방이 감귤나무가 아닌 방충망에 산란하는 장면과 알 껍질이 관찰되었다. 본 연구에서 노지 감귤원에서 채집한 유충의 밀도가 암컷의 산란수에 비해 매우 낮았고 감귤원내 무작위 분포에 가까운 분포를 하고 있으며, 감귤원에 재식된 다수의 감귤나무에서 자나방 과실 피해가 발생하였다. 따라서 노지 온주밀감원에서 네눈썹가지나방은 감귤나무가 아니라 감귤원 외부의 다른 곳에 산란할 가능성이 높았다. 감귤원 외부의 산란처로는 방풍수인 삼나무 줄기의 껍질사이나 돌담의 틈새가 유력하였다. Choi *et al.*(2011)가 보고한 부화 유충의 이동·

분산 습성과 유충의 분포를 고려하면 외부에 존재하는 산란처에서 부화한 유충은 지상이 아닌 공중으로 이동하는 것으로 추정되었다. 실제로 자나방류 중 겨울 물결자나방(*Operophtera brumata*)의 암컷은 사과원 주위의 땅이나 떡갈나무(*Quercus* spp.) 줄기의 겉껍질(bark) 등 틈새부위에 산란하고, 부화된 유충은 실을 만들어 바람을 타고 분산하는 것으로 보고되어 있다(Embree, 1970; Edland, 1971). 이와같이 네눈썹가지나방 암컷도 감귤원 주위의 돌담이나 방풍수인 삼나무 줄기의 틈새부위에 산란하고, 알에서 부화한 유충이 가지 끝과 같은 높은 위치로 이동한 후 바람을 타고 감귤 나무로 이동하는 것으로 추정된다. 이러한 과정으로 봄순이 경화될 무렵부터 과실 주변에 안착한 부화 유충이 온주밀감 과실을 가해하는 것으로 추정된다.

23.2°C에서 추정한 생명표로부터 네눈썹가지나방의 세대기간(T)은 52.25일이었고, 개체군 모형으로 추정한 실험 결과도 연간 3회 발생하는 것으로 나타났다. 제주도 15개 지역에서 성페로몬 트랩으로 조사한 성충 포획수도 연간 약 3회의 발생주기를 보였고(Fig 11B), 국내 감귤원에서 연간 3~4회 발생하는 것으로 보고되었다(Anonymous, 2002b). 네눈썹가지나방의 기간증가율(λ)는 1.12로 세대가 경과하면서 개체군의 크기가 약간씩 증가하는 것으로 추정되었지만, 실제 감귤원에서 성충과 유충의 발생양상은 점차 감소하는 경향을 보였다(Fig. 10, 11). 이것은 먹이자원과 관련된 것으로 판단되는데, 감귤에서 네눈썹가지나방의 먹이인 신초와 유과는 봄과 여름에 풍부하고, 이 시기에 피해가 주로 발생하였다(Fig. 9).

감귤원에서 네눈썹가지나방은 과실을 직접 가해하여 경제적 피해를 주기 때문에 직접해충(Luckmann & Metcalf, 1994)으로서 취급해야하고, 이들을 효과적으로 관리할 수 있는 해충관리 도구가 필요하다. 네눈썹가지나방은 감귤원에서 연중 발생하고 있으며 유충이 감귤을 가해하였다. 따라서 유충의 발생시기를 기상환경변화에 능동적으로 예측하여 방제시기를 판단할 수 있는 해충관리 도구로 네눈썹가지나방의 개체군 모형을 개발하였다.

네눈썹가지나방의 개체군 모형은 월동용 우화모형(emergence model of overwintered pupae), 발육단계 전이모형(알, 유충, 용), 산란모형(oviposition model)으로 구성하였다(Fig. 4). 알, 유충, 용의 발육단계 전이모형은 각각의 발육

단계에서 만들어진 발육속도 모형과 발육완료분포 모형을 이용 제작하였다. 발육속도 모형은 발생이 시작되는 날의 평균 온도로부터 일별 발육속도 값을 계산하는데 사용하였고, 발육속도를 합산하는 방법(Wagner *et al.*, 1984a, 1985)을 기반으로 생리적 연령을 구하여 발육완료분포 모형 값에서 일별로 개체가 발육이 완료되는 비율을 산출하였다. 산란모형은 Kim and Lee(2003)가 구성한 바와 같이, 성충이 발생하는 날의 온도를 이용 총산란수 모형으로부터 총 산란수 값과 성충 발육모형으로부터 일별로 성충의 발육속도 값을 구하였고, 누적된 성충 발육속도 값(생리적 연령)으로부터 당일과 다음날의 누적산란율과 생존율을 계산하였다. 월동용 우화모형(emergence model of overwintered pupae)은 용 모델을 적용하였지만, 용화된 개체들의 발육시기와 모의 실험 시작점에 차이가 있기 때문에 100마리의 월동 개체군을 4개의 집단 즉 20마리, 30마리, 30마리 및 20마리로 구성하였고, 발육의 진전도에 따라 각각 생리적 연령으로 -0.3, 0.0, 0.3, 0.6을 할당하였다. 이렇게 구성된 네눈썹가지나방 개체군 모형을 모의 실험한 결과, 유충의 발생을 잘 묘사하였고(Fig. 24), 유충 발생 최성기도 높은 확률로 추정하였다(Table 12). 네눈썹가지나방의 개체군 모형은 Kim & Lee(2010)가 제작한 복숭아심식나방의 개체군 모형과 그 구조가 유사한데, 복숭아심식나방 개체군 모형은 실제 포장에서 개체군의 밀도변화를 잘 묘사하였다.

개체군 모델은 객관적인 관측 자료를 바탕으로 구동되어야 충분히 높은 정확도로 개체들의 밀도를 예측하여 방제적기를 산출할 수 있다(Shaffer and Gold, 1985). 성페로몬(sex pheromone)은 특정 행동을 유발하는 행동유기페로몬(releaser pheromone)으로 나방류 해충의 예찰에 매우 효과적인 방법이다(부 등, 2005). 따라서 네눈썹가지나방 개체군의 존재 여부나 크기를 객관적으로 측정할 수 있는 수단으로 성페로몬 조성을 규명하였다.

네눈썹가지나방 성페로몬 성분은 일본(Ando 등, 1997)과 이스라엘(Becker 등, 1990 Cossé 등, 1992)에서 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H와 3Z,6Z,9Z-19:H가 보고되었다. 제주도에서 채집한 네눈썹가지나방의 성페로몬 샘플에서도 일본과 이스라엘과 동일한 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H와 3Z,6Z,9Z-19:H가 발견되었으나 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H만이 수컷의 안테나의 반응을 일으켰고 야외에서 수컷을 유인하는 효과를 보였다. 6Z,9Z-*cis*-3,4-epoxy-19:H는 화학구조상 RS와 SR

형태의 두 가지 이성질체를 갖고 있는데, 국내에서는 RS와 SR의 최적조성비가 지역에 따라 차이가 있었다. 두 이성질체의 최적 조성비는 군위 지역에서 0.9 : 0.1 ~ 0.8 : 0.2 비율이었고, 전남(영암과 고흥)과 제주(애월과 하례)지역에서 0.5 : 0.5 비율이었다.

본 연구에서 규명한 성페로몬 조성으로 네눈썹가지나방 성충 밀도를 예찰하고, 이들 바탕으로 네눈썹가지나방 개체군 모형을 모의 실행할 경우 네눈썹가지나방의 유충 발생 밀도를 추정하여 적절한 방제시기를 예측하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

VI. 적 요

1. 네눈썹가지나방의 섭식 양상

감귤원에서 발생하는 자나방류 종류는 7종이 발생하였고, 이 중 네눈썹가지나방이 두 지역에서 각각 65.1%와 75.7%로 주로 발생하였다. 네눈썹가지나방의 알은 녹색의 타원형 모양으로 난괴로 산란된다. 유충은 1령부터 6령까지 6번의 탈피를 하여 번데기가 되고, 암컷의 용과 성충은 수컷보다 다소 크며, 성충의 날개와 몸 색은 회색 또는 검은색을 띄는 변이가 있다. 네눈썹가지나방 암컷은 매끈하거나 거친 표면보다는 틈새에만 산란하는 특성을 보였다.

감귤 과실 피해는 주로 네눈썹가지나방 유충에 의해 발생하는데, 노지 온주밀감은 1~3령의 저령기 유충이 주로 가해하여 무정형의 피해흔을 남기는 반면, 하우스 부지화는 6령 유충에 의해 크게 피해를 입는다. 이것은 감귤의 부지화와 온주밀감의 착과 위치 특성에 따른 차이로 보인다. 감귤원에서 자나방류 감귤 과실 피해율은 2008년부터 2010년까지 평균 4.5%였다. 감귤원에서 네눈썹가지나방 유충의 공간분포는 무작위분포에 가까운 수치의 군집지수를 보였다. 실제 노지 온주밀감 감귤원에서 채집된 유충 수와 암컷의 산란수를 고려하면, 네눈썹가지나방의 산란처는 감귤원 외부에 존재하는 것으로 추정된다.

온주밀감의 신초와 과실의 피해양상을 보면, 5월 중순에 신초피해가 처음 발생하였고, 6월 상중순에 최성기를 보였다. 이후 봄순이 경화되는 시기인 6월 하순부터 급격히 감소하여 여름순(7~8월)과 가을순(9~10월)에는 피해가 적었다. 과실은 봄순이 경화되는 시점(6월 하순 또는 7월 초)부터 증가하여 7월 말경 급증하였다. 실제 유충 발생시기는 잎과 과실 피해와 비슷하게 발생하는데, 유충은 5월 중순에 처음 발생하여 6월 중순에 발생최성기를 보였다. 이후 불규칙한 양상을 보이는데 7월 하순과 9월 상중순에 약한 발생피크를 보였다. 성충 발생은 5월 중순에 발생 최성기를 보였고, 7~9월은년도에 따라 복잡한 발생양상을 보이나, 대개 7월 상순부터 하순, 8월 하순~9월 상순에 발생 피크를 보였다.

2. 네눈썹가지나방의 성페로몬 조성

네눈썹가지나방 암컷의 유인행동은 불 꺼진 지 3시간 후부터 시작하여 6시간 후까지 피크에 이르렀고, 이후 불 켜진 후 2시간 까지도 지속되었다. 교미리듬은 불 꺼진 후 2시간부터 9시간 사이에 관찰되었다. 네눈썹가지나방의 교미시간은 약 192분이었다.

성페로몬 추출물에서 $Z6,Z9-cis-3,4-epoxy-19:H$ 과 $Z3,Z6,Z9-19:H$ 가 발견되었고, 이중 $Z6,Z9-cis-3,4-epoxy-19:H$ 의 두 이성질체만이 수컷 안테나에서 반응을 강하게 일으켰다. $Z3,Z6,Z9-19:H$ 는 수컷 안테나의 반응을 일으키지 못했고 야외에서도 수컷 유인력을 증대시키지 못했다. 따라서 이 성분은 성페로몬 성분이 아닌 것으로 판단된다. 성페로몬 샘플에서 두 물질의 생산량 변화를 보면 $Z6,Z9-cis-3,4-epoxy-19:H$ 성분은 불 꺼진 후 지속적으로 증가하는 반면, $Z3,Z6,Z9-19:H$ 의 양은 거의 변화가 없었다. 암컷의 나이에 따라 두 물질의 생산량에 차이가 있는데, $Z6,Z9-cis-3,4-epoxy-19:H$ 는 암컷이 나이를 먹을수록 감소하였고, $Z3,Z6,Z9-19:H$ 는 우화 3일째 생산량이 증가하여 두 물질의 성분비가 약 1 : 1.비율이 되었다.

야외 유인력 실험에서 $Z6,Z9-cis-3,4-epoxy-19:H$ 의 두 이성질체 ($Z6,Z9-cis-3R,4S-epoxy-19:H$ vs $Z6,Z9-cis-3S,4R-epoxy-19:H$)의 최적 유인비는 지역간에 차이가 있었다. 군위지역은 0.9 : 0.1 비율이었고, 제주지역(애월과 하례)과 전남지역(영암과 고흥)은 0.5 : 0.5 비율이었다. 두 지역의 중간 위치인 창녕은 넓은 범위의 비율에서 포획되었다.

3. 네눈썹가지나방의 온도 발육과 개체군 모형

성충전 기간의 네눈썹가지나방 알, 유충,蛹의 수명(median)은 23.2°C에서 각각 약 6.6, 26.8, 13.5일로 알부터 성충이 되기까지 걸리는 기간은 46.8일 이었다. 네눈썹가지나방의 총증식율(GRR)은 약 980.9였고, 순증식율(R_0)은 약 360.02였다. 세대기간(T)은 52.25일이었고, 내적자연증가율(r_m)은 0.113이었다. 개체군의

크기가 2배가 되는 배가시간(DT)은 6.15일이었다. 네눈썹가지나방의 발육영점온도와 유효적산온도는 각각 알이 10.98℃와 83.7 DD, 유충이 9.68℃와 340.7 DD, 용이 9.07℃와 200.7 DD 이었다.

알, 유충, 용 모형은 온도별 알, 유충, 용의 발육속도(1/median day)에 Hilbert와 Logan 모형을, 생리적 연령에 따른 발육완료 분포 값에 Weibull 함수를 적용하여 매개변수를 추정하였다. 산란모형은 총산란수 모형, 생리적 연령에 따른 누적산란율 모형, 생리적 연령에 따른 생존율 모형으로 구성하였다. 네눈썹가지나방의 개체군 모형은 알, 유충, 용, 산란 모형을 구성 요소로 하여 각 단계가 완료될 때마다 전이 되도록 구성하였다. 월동용을 2 : 3 : 3 : 2 비율로 나눈 그룹을 만들고, 각각의 그룹에 생리적 연령을 -0.3, 0, 0.3, 0.6을 할당하였다. 이 시나리오 조건으로 모의 실행하였을 때 실제 포장에서 1령 유충과 성충의 발생양상과 발생 최성기가 유사하게 모의되었다.

인 용 문 헌

- 부경생, 김용균, 박계청, 최만연. 2005. 곤충의 호르몬과 생리학. 서울대학교출판부, 서울, 대한민국. 875p.
- 제주특별자치도. 2010. 제주통계연보. ed. by 경제정책과. 일신옵셋인쇄사, 제주, 대한민국. 954p.
- Abasa, R. O. 1972. Fields and laboratory studies on the adults of *Ascotis selenaria reciprocaria* (Wik.) (Lep., Geometridae), a pest of arabica coffee in Kenya. Bulletin of Entomol. Research. 61: 559-563.
- Ahn, S. B., D. J. Im, I. S. Kim and W. S. Cho. 1989. Foliage-feeding lepidopterous pests on apple trees in Suwon. Research reports of the Rural Development Administration. Crop Prot. 31: 27-33.
- Ando, T., K. Ohtani, M. Yamamoto, T. Miyamoto and X. -R. Qin. 1997. Sex pheromone of Japanese giant looper, *Ascotis selenaria cretacea*: identification and field tests. J. Chem. Ecol. 23: 2413-2423.
- Anonymous. 1986. A list of plant diseases, insect pests, and weeds in Korea. 2nd ed., The Korean Society of Plant Protection. Leewoo Inseaso, Korea. 633p.
- Anonymous. 2002a. A pictorial book of citron pests (in Korean). Fruit Crop Experiment Station. Hosan Munhwasa, Gwangju, Korea. 85p.
- Anonymous. 2002b. Protection and diagnosis of the citrus pests (in Korean). Rural Development Administration. Seoul Munhwasa, Jeju, Korea. 226p.
- Awmack, C. S. and S. R. Leather. 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. Ann. Rev. Entomol. 47: 817-844.
- Becker, D., R. Cyjon, A. Cossé, I. Moore, T. Kimmel and M. Wysoki. 1990. Identification and enantioselective synthesis of (Z,Z)-6,9-cis-3S,4R-epoxynonadecadiene, the major sex pheromone

- component of *Boarmia selenaria*, Tetrahedron Lett. 31: 4923-4926.
- Begemann, G. J. and A. S. Schoeman. 1998. Bionomics and phenology of the citrus looper *Ascotis selenaria* Denis & Schiffermuler (Lepidoptera: Geometridae) on citrus at Zebediela, South Africa. Appl. Plant Sci. 12(1): 1-4.
- Boo, K. S. 1998. Variation in sex pheromone composition of a few selected lepidopteran species. J. Asia Pac. Entomol. 1: 17-23.
- Boo, K. S. and K. C. Park. 2005. Insect semiochemical research in Korea: overview and prospects. Appl. Entomol. Zool. 40: 13-29.
- Butenandt, A., R. Beckmann, D. Stamm, and E. Hecker. 1959. Über den sexuallockstoff des seidenspinners *Bombyx mori*. Reindarstellung und Konstitution. Z. Naturforsch. 14: 283-284.
- Byer, J. A. 2006. Pheromone component patterns of moth evolution revealed by computer analysis of the pherolist. J. Anim. Ecol. 75: 399-407.
- Choi, K. S., Y. M. Park and D. S. Kim. 2011. Rearing method for *Ascotis selenaria* (Lepidoptera: Geometridae) using an artificial diet. Kor. J. Appl. Entomol. 50(1): 55-63.
- Cossé, A. A., R. Cyjon, I. Moore, M. Wysoki and D. Becker. 1992. Sex pheromone components of the giant looper, *Boarmia selenaria*, Schiff. (Lepidoptera: Geometridae): identification, synthesis, electrophysiological evaluation, and behavioral activity. J. Chem. Ecol. 18: 165-181.
- Curry, G. L., R. M. Feldman and P. J. H. Sharpe. 1978. Foundations of stochastic development. J. Theor. Biol. 74: 397-410.
- Curry, G. L. and R. M. Feldman. 1987. Mathematical foundations of population dynamics. The Texas Engineering experiment station monograph series, No. 3, Texas A&M University Press, USA.
- Davidson, J. 1942. On the speed of development of insect eggs at constant temperatures. Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci. 20: 233-239.

- Diehl, P. A. 1975. Synthesis and release of hydrocarbons by the oenocytes of the desert locust, *Schistocerca gregaria*. J. Insect Physiol. 21: 1237-1246.
- Elliott, J. M. 1971. Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates. Scientific Publication No. 25: Freshwater Biological Association, The Ferry House, Ambleside, Westmorland, U.K.
- Edland, T. 1971. Wind dispersal of the winter moth larvae *Operophtera brumata* L. (Lep., Geometridae) and its relevance to control measures. Norsk Ent. Tidsskr 18: 103-105.
- Embree, D. G. 1970. The diurnal and seasonal pattern of hatching of winter moth eggs, *Operophtera brumata* (Geometridae: Lepidoptera). Can. Ent. 102: 759-768.
- Erichsen, C. and A. S. Schoeman. 1994. Identification and potential pest-status of looper on avocado. South African Avocado Grower's Ass. Yearbook. 17: 113-116.
- Eyring, H. 1935. The activated complex in chemical reactions. J. Chem. Phys. 3: 107-115.
- Green, R. H. 1966. Measurement of non-randomness in spatial distributions. Researches in Population Ecology 8:1-7.
- Hadar, D. and M. Wysoki. 1989. Studies on the biology and reproduction of the giant looper *Boarmia (Ascotis) selenaria* Schiff. Lepidoptera: Schiff. (Lepidoptera: Geometridae). Alon Hanotea. 44: 195-206.
- Han, K. S. and K. S. Boo. 2002. Mechanism of sexual isolation between the two *Adoxophyes orana* types in Korea. In Korea-UK Bilateral Workshop on Chemical Ecology. Seoul National University, Suwon, Korea, pp. 65-68.
- Hilbert, D. W. and J. A. Logan. 1983. Empirical model of nymphal development for migratory grasshopper, *Melanoplus sanguinipes* (Orthoptera: Acrididae). Environ. Entomol. 12: 1-5.
- Howe, R. W. 1967. Temperature effects on embryonic development in insects.

- Ann. Rev. Entomol. 12: 15-42.
- Jandel Scientific. 1996. TableCurve 2D. Automated Curve Fitting and Equation Discovery: Version 4.0. Jandel Scientific, Sam Rafael, CA, USA.
- Kim, D. -H., H. -M. Kwon and K. -S. Kim. 2000. Current status of the occurrence of the insect pests in the citrus orchard in Cheju island. Korean J. Appl. Entomol. 39: 267-274.
- Kim, D. S. and J. H. Lee. 2003. Oviposition model of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae). Ecol. Model. 162: 145-153.
- Kim, D. S. and J. H. Lee. 2010. A population model for the peach fruit moth, *Carposina sasakii* Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae), in a Korean orchard system. Ecol. Model. 221: 268-280.
- Kim, S. S. and E. A. Beljaev. 2001. Family Geometridae. Economic Insects of Korea 8, ed. by the editorial committee of Insecta Koreana. Ins. Koreana Suppl. 15. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea. 247p.
- Kim, S. S., E. A. Belijaev and S. H. Oh. 2001. Illustrated Catalogue of Geometridae in Korea (Lepidoptera: Geometridae, Ennominae). pp. 117-118. *In* Insects of Korea, Ser. 8, ed. by K. T. Park. Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology and Center for Insect Systematics. Chuncheon, Korea. 279p.
- Luckmann, W. H. and R. L. Metcalf. 1994. The pest-management concept. pp. 1-34. *In* Introduction to insect pest management. 3rd ed., eds. by R. L. Metcalf and W. H. Luckmann. John Wiley and Sons, Inc., New York. 650p.
- Ludwig, J. A. and J. F. Reynolds. 1988. Statistical Ecology: a primer on methods and computing. A Wiley-Interscience Publication. pp. 19-40.
- Millar, J. G. 2000. Polyene hydrocarbons and epoxides: a second major class of lepidopteran sex attractant pheromones. Ann. Rev. Entomol. 45: 575-604.

- Miyamoto, T., M. Yamamoto, A. Ono, K. Ohtani and T. Ando. 1999. Substrate specificity of the epoxidation reaction in sex pheromone biosynthesis of the Japanese giant looper (Lepidoptera: Geometridae). *Insect Biochem. Mol. Biol.* 29: 63-69.
- Ohtani, K., Witjaksono, T. Fukumoto, F. Mochizuki, M. Yamamoto and T. Ando. 2001. Mating disruption of the Japanese giant looper in tea gardens permeated with synthetic pheromone and related compounds. *Entomol. Exp. Appl.* 100: 203-209.
- Roelofs, W. L. and L. B. Bjostad. 1984. Biosynthesis of lepidopteran pheromones. *Bioorg. Chem.* 12: 279-298.
- SAS Institute Inc. 1999. SAS OnlineDoc, version 8.02. SAS Institute, Cary, NC.
- Schal, C., V. Sevala and R. T. Cardé. 1998. Novel and highly specific transport of a volatile sex pheromone by hemolymph lipophorin in moths. *Naturwissenschaften.* 85(7): 339-342.
- Schoolfield, R. M., Sharpe, P. J. H. and C. E. Magnuson. 1981. Non-linear regression of biological temperature-dependent rate models based on absolute reaction-rate theory. *J. Theor. Biol.* 88: 719-731.
- Shaffer, P. L. and H. J. Gold. 1985. A simulation model of population dynamics of the codling moth, *Cydia pomonella*. *Ecol. Model.* 30: 247-274.
- Sharpe, P. J. H. and D. W. DeMichele. 1977. Reaction kinetics of poikilotherm development. *J. Theor. Biol.* 64: 649-670.
- Stinner, R. E., A. P. Gutierrez and G. D. Butler, Jr. 1974. An algorithm for temperature-dependent growth rate simulation. *Can. Entomol.* 106: 519-524.
- Taylor, F. 1981. Ecology and evolution of physiological time in insects. *Am. Nat.* 117: 1-23.
- Tillman, J. A., S. J. Seybold, R. A. Jurenka and G. J. Blomquist. 1999. *Insect*

- pheromones—an overview of biosynthesis and endocrine regulation. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 29: 481 - 514.
- Uvarov, B. P. 1931. *Insects and climate*. Trans. Entomol. Soc. London. 79:1-247.
- Wagner, T. L., H. Wu, P. J. H. Sharpe, R. M. Schoolfield and R. N. Coulson. 1984a. Modeling insect development rate: a literature review and application of a biophysical model. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77: 208-225.
- Wagner, T. L, H. Wu, P. J. H. Sharpe and R. N. Coulson. 1984b. Modeling distribution of insect development time: a literature review and application of Weibull function. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77: 475-487.
- Wagner, T. L, H. Wu, R. M. Feldman, P. J. H. Sharpe and R. N. Coulson. 1985. Multiple-cohort approach for simulating development of insect population under variable temperatures. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 78: 691-704.
- Watanabe, H., H. Tabunoki, N. Miura, R. Sato and T. Ando. 2007. Analysis of odorant-binding proteins in antennae of a geometrid species, *Ascotis selenaria cretacea*, which produces lepidopteran Type II sex pheromone components. *Invert Neurosci.* 7: 109-118.
- Wei, W., T. Miyamoto, M. Endo, T. Murakawa, G. -Q. Pu and T. Ando. 2003. Polyunsaturated hydrocarbons in the hemolymph: biosynthetic precursors of epoxy pheromones of geometrid and arctiid moths. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 33: 397-405.
- Wei, W., M. Yamamoto, T. Asato, T. Fujii, G. -Q. Pu and T. Ando. 2004. Selectivity and neuroendocrine regulation of the precursor uptake by pheromone glands from hemolymph in geometrid female moths, which secrete epoxyalkenyl sex pheromones. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 34: 1215-1224.
- Witjaksono, K. Ohtani, M. Yamamoto, T. Miyamoto and T. Ando. 1999. Responses of Japanese giant looper male moth to synthetic sex

pheromone and related compounds. J. Chem. Ecol. 25: 1633-1642.

Wysoki, M., Y. Izhar, E. Swirski and S. Greenber. 1975. The giant looper "*Boarmia (Ascotis) selenaria*" Schiff. (Lepidoptera: Geometridae), a new pest in avocado plantations in Israel. California Avocado Society 1974-75 Yearbook 58: 77-82.

Wysoki, M. 1982. A bibliography of the giant looper, *Boarmia (Ascotis) selenaria* Schiffermüller, 1775 (Lepidoptera: Geometridae), for the years 1913-1981. Phytoparasitica 10: 65-70.

Yu, H., Q. Zhou and W.G. Chen. 2001. Studies on the developmental threshold temperature and thermal constant of *Ascotis selenaria cretacea* Butler. Acta Sericologica Sinica. 27: 310-312.

감사의 글

박사논문 외에도 지금까지 물심양면으로 많은 도움과 가르침을 주신 김동순 교수님께 감사드립니다. 교수님 덕분에 생태학이라는 학문에 조금이나마 개안을 한 것 같습니다. 그동안 짐만 되고 받기만 한 것 같습니다. 이제 앞으로 많은 도움이 되도록 노력하겠습니다.

학위논문 검토와 많은 조언을 주신 부경생 교수님께 감사드립니다. 석사 과정 때에도 많은 가르침을 주셨는데 박사 논문을 쓰면서 다시 석사과정 시기를 되돌아보는 계기가 되었습니다. 앞으로도 많은 조언 부탁드립니다.

바쁘신 와중에도 박사학위 논문을 심사해주시고 검토해주신 전용철 교수님과 현해남 교수님께 감사드립니다. 전용철 교수님과 현해남 교수님께서 조언해주시고 가르쳐 주신 것을 마음 속 깊이 간직하여 앞으로도 계속 다듬어나가도록 하겠습니다.

가장 바쁜 시기에 논문 심사를 해주시고 네눈썹가지나방 연구를 처음부터 끝까지 지원해주신 임한철 소장님, 작물보호실에서 함께 근무하면서 많은 도움을 주신 권혁모 과장님과 김동환 연구관님, 항상 옆에서 큰 힘이 되어준 강권수 군에서 항상 고마운 마음을 갖고 있습니다. 또한 본 연구가 결실을 맺기까지 많은 배려와 관심을 기울여 주신 현재 온난화대응농업연구센터와 예전 난지농업연구소 시절의 직원 모든 분에게 감사드립니다. 비록 다른 기관에 근무하시지만 항상 저의 연구에 관심과 도움을 주신 송정흡 박사님에게도 감사드립니다.

곤충생리실험실 식구들과 생태실 선배님들에게도 감사드립니다. 같은 직장에 근무하면서 저의 연구에 관심을 가져주신 정진교 박사님, 언제나 힘을 북돋아 주시고 동기를 부여해주는 조점래 박사님과 양창렬 박사님, 김원태, 박종호, 서보윤에게 항상 고마운 마음 간직하고 있습니다. 그리고 항상 관심을 갖고 지켜봐 주신 한경식 박사님에게도 감사드립니다. 후배들에게 아낌없는 관심과 조언을 주신 김광호 박사님, 박홍현 박사님, 박창규 박사님, 강택준 박사님에게도 감사의 마음 드립니다. 그리고 굳은 일 마다하지 않고 도와준 장용석, 양진영, 제주대 실험실 후배들에게 감사드립니다.