



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](#)

碩士學位論文

감귤 귤응애(*Panonychus citri*) 생명표 통계량 및  
개체군 변동 행렬모형

Life Table Parameters of *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) on Citrus  
Leaves and a Matrix Model for the Population Projection

濟州大學校 大學院

農學科

梁進榮

2011年 7月

감귤 귤응애 (*Panonychus citri*)  
생명표 통계량 및 개체군 변동  
행렬모형

指導教授 金 桐 淳

梁 進 榮

이 論文을 農學 碩士學位 論文으로 提出함

2011年 7月

梁進榮의 農學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 \_\_\_\_\_ (印)

委 員 \_\_\_\_\_ (印)

委 員 \_\_\_\_\_ (印)

濟州大學校 大學院

2011 年 7月

# 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	iv
ABSTRACT .....	1
I. 서 론 .....	3
II. 연구 사 .....	5
III. 재료 및 방법 .....	9
1. 감귤 종별 궤응애 발육 및 생명표 통계량 .....	9
1-1 궤응애 발육 및 산란실험 .....	9
1-2 감귤 종별 생명표 통계량 추정 .....	9
1-3 감귤 포장에서 감귤 종별 개체군 발생밀도 조사 .....	10
1-4 감귤 종별 잎의 무기성분 함량 분석 .....	10
2. 행렬모형을 이용한 궤응애 개체군 동태 예측 .....	11
2-1 궤응애 온도발육관련 매개변수 추정 .....	11
2-2 개체군 밀도증가 추정 행렬모형 작성 .....	15
IV. 결 과 .....	18
1. 감귤 종별 궤응애 발육 및 생명표 통계량 .....	18
1-1 궤응애 발육 및 산란실험 .....	18
1-2 감귤 종별 생명표 통계량 추정 .....	18
1-3 감귤포장에서 감귤 종별 궤응애 발생밀도 조사 .....	19
1-4 감귤 잎의 무기성분 함량과 궤응애 발육과의 관계분석 .....	19
2. 행렬모형을 이용한 궤응애 개체군 동태 예측 .....	32
2-1 궤응애 온도발육관련 매개변수 추정 .....	32
2-2 개체군 밀도증가 추정 행렬모형 작성 및 포장적합 .....	32

IV. 고찰 .....	40
1. 감귤 종별 궤양에 발육 및 생명표 통계량 .....	40
2. 행렬모형을 이용한 궤양에 개체군 동태 예측 .....	42
V. 적요 .....	44
VI. 인용 문헌 .....	46



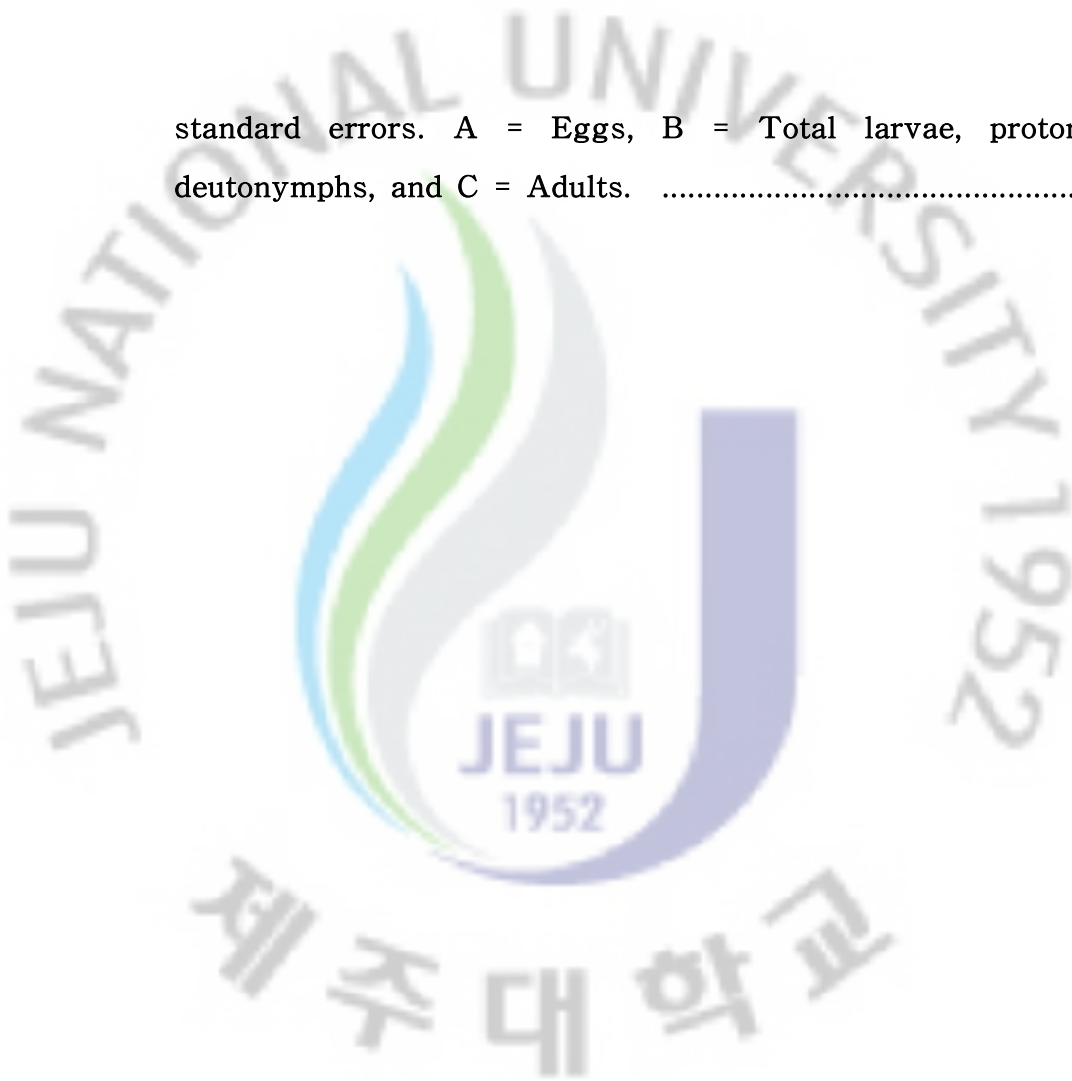
## List of Tables

Table 1. Temperature-dependent development data of <i>Panonychus citri</i> and source references. ....	12
Table 2. Developmental times(Mean $\pm$ SD) of <i>Panonychus citri</i> in days on different species of citrus leaves. ....	20
Table 3. Immature survival, longevity and fecundity(Mean $\pm$ SD) of <i>Panonychus citri</i> on different species of citrus leaves. ....	21
Table 4. Life table parameters of <i>Panonychus citri</i> on different species of citrus leaves(23 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C, 70 $\pm$ 10%, 16L). ....	28
Table 5. Inorganic nutrient contents on different species of citrus leaves. ....	30
Table 6. Pearson correlation coefficient between development parameters of <i>Panonychus citri</i> and nutrient contents in citrus leaves. ....	31
Table 7. Estimated parameter values ( $\pm$ SEM) for development models of <i>Panonychus citri</i> . ....	35
Table 8. Estimated parameter values for adult longevity completion rate (1/longevity), temperature-dependent total fecundity, age-specific oviposition rate, and age-specific survival rate of <i>Panonychus citri</i> . ....	37

## List of Figures

Fig. 1. Age-specific survival rate ( $l_x$ ) and age-specific fecundity ( $m_x$ ) of <i>Panonychus citri</i> on Myagawa. ....	22
Fig. 2. Age-specific survival rate ( $l_x$ ) and age-specific fecundity ( $m_x$ ) of <i>Panonychus citri</i> on Shiranui. ....	23
Fig. 3. Age-specific survival rate ( $l_x$ ) and age-specific fecundity ( $m_x$ ) of <i>Panonychus citri</i> on Kiyomi. ....	24
Fig. 4. Age-specific survival rate ( $l_x$ ) and age-specific fecundity ( $m_x$ ) of <i>Panonychus citri</i> on Setoka. ....	25
Fig. 5. Age-specific survival rate ( $l_x$ ) and age-specific fecundity ( $m_x$ ) of <i>Panonychus citri</i> on Lemon. ....	26
Fig. 6. Age-specific survival rate ( $l_x$ ) and age-specific fecundity ( $m_x$ ) of <i>Panonychus citri</i> on Kabusu. ....	27
Fig. 7. Changes in population density of <i>Panonychus citri</i> on different species of citrus leaves in the field. The arrows indicate spraying time of machine oil the corresponding Julian dates. ....	29
Fig. 8. Developmental rate curves of <i>Panonychus citri</i> , showing the relationship between temperatures and development rates. A = Eggs, B = Larvae, C = Protonymphs, and D = Deutonymphs. ....	34
Fig. 9. Component models for oviposition model of <i>Panonychus citri</i> . A = Adult longevity completion rate, B = Temperature-dependent total fecundity, C = Age-specific cumulative oviposition rate, and D = Age-specific survival rate. ....	36
Fig. 10. Comparison of matrix model-predicted outputs with actual data in early season in 2004. The vertical bars on the figure indicate standard errors. A = Eggs, B = Total larvae, protonymphs and deutonymphs, and C = Adults. ....	38
Fig. 11. Comparison of matrix model-predicted output with actual data in mid to late season in 2004. The vertical bars on the figure indicate	

standard errors. A = Eggs, B = Total larvae, protonymphs and deutonymphs, and C = Adults. .... 39





## ABSTRACT

The citrus red mite, *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae), is a serious pest in citrus orchards in Jeju, Korea. This pest feeds chlorophyll in the cells of leaves and fruits resulting in the inhibition of photosynthesis and early leaf drop. Eight to 13 generations are completed a year in Jeju area. Various computer simulation models that have been developed to analyse the population dynamics of Tetranychid mites require complex biological parameters with a lots of experimental data. In this studies, life table parameters of *P. citri* were estimated by using the age-specific survival and age-specific fecundity data on 6 species of citrus leaves. Also, temperature-related parameters were estimated by using previously reported development data, and a temperature-dependent matrix model for *P. citri* was constructed based on the parameters. The obtained results were as followings.

1. The egg incubation times were shorter on Shiranui, Kiyomi and Lemon as 7.7, 7.8, 7.5 d, respectively than other species of citrus. The development time of deutonymph was shortest on Kiyomi as 1.7 d. Total immature development time was shortest on Kiyomi as 13.3 d, while it was longest on Miyagawa as 15.4 d. In the experiments for the fecundity on different species of citrus, a higher fecundity was observed on Shiranui and Lemon as 39.6 and 29.7 eggs, respectively, while a lower fecundity was obtained on Kiyomi and Setoka as 21.6 and 21.1 eggs, respectively.

2. The obtained development and fecundity data were subjected to estimate the life table parameters of *P. citri* on different species of citrus leaves: net reproductive rate, generation time, intrinsic rate of natural increase, finite rate of increase and doubling time. The estimated values for intrinsic rate of natural increase which affect directly population increase in the field were high on Shiranui and Lemon as 0.1519 and 0.1395, respectively; while the values were low on Setoka and Kabusu as 0.1056 and 0.1177, respectively.

3. To analyse the effects of inorganic nutrient contents in citrus leaves on the development time and fecundity of *P. citri*, Pearson correlation coefficients were estimated between the paired variables. The results showed no statistical significantly

between differences contents and development or fecundity, although there were a higher positive correlation in P, K, and Na contents.

4. Temperature-related biological parameters of *P. citri* were estimated by using previously reported development data. In the estimated development modes of eggs, larvae, pronymphs, and deutonymphs, development rates increased with increasing temperature to a maximum, and then decreased in a high temperature region showing a typical development curve in arthropod species. Also, temperature-dependent total fecundity model, age-specific oviposition rate model, and age-specific survival rate model were developed to construct an oviposition model for *P. citri*.

5. A stage-structured matrix model was developed to project the population dynamics of *P. citri*, which composed of five age classes: eggs, larvae, protonymphs, deutonymphs and adults. The development models of each stage and fecundity curve of *P. citri* were successfully incorporated into the projection matrix.

6. To evaluate the predictability of the matrix model developed in this study, model outputs were compared with actual field data in a cool early season and hot mid to late season, 2004. The outputs of matrix model showed a typical exponential form of population growth. In the comparison of egg and adult populations, the model outputs pursued closely the actual field patterns till 30 d after model running in the both of early and mid to late seasons. Consequently, the developed matrix model could be used to estimate the population density of *P. citri* for a short period of 30 d in citrus orchards.

## I. 서 론

감귤은 제주도를 대표하는 작물로써 오래전부터 재배 및 생산되어 왔다. 1990년대 들어 점차 감귤 재배면적이 확대됨과 동시에 비닐하우스를 이용한 시설재배가 본격화되었지만 최근 고유가의 영향으로 다시 소폭 하락하고 있다. 2008년 노지감귤은 20,938ha에서 생산량은 592천톤, 조수입은 6,313억원이고, 하우스 감귤은 312.6ha에서 22,356천톤으로 꾸준한 조수입을 올리고 있지만, 2002년 이후 점차 재배면적은 줄어들고 있다. 제주도 감귤산업에서 가장 많이 재배되고 있는 품종은 온주밀감으로 2008년 18,456.6ha에서 520,350천톤으로 큰 비중을 차지하고 있다. 2009년 제주도에서는 농·축산업 조수입은 1조 8,452억으로 전년 1조 7,436억원으로 전년대비 5.8% 증가하였고, 농산물이 1조 2,238억원, 축산물이 6,214억원으로 농산물에서 4.8% 증가하였지만, 감귤에서는 약 6,000억원으로 전년도보다 6,313억원보다 소폭 감소하였다(제주특별자치도 농업정책과, 2010).

귤응애 (*Panonychus citri* McGregor)는 제주도 감귤원에 발생하는 주요한 해충 중의 하나이다. 제주도 감귤원에 발생하여 피해를 주고 있는 해충류는 곤충류 69종과 그 밖의 해충으로 5종이 조사되었는데, 그 중 귤응애(*Panonychus citri*), 귤굴나방(*Phyllocnistis citrella*), 조팝나무진딧물(*Aphis citricola*), 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*) 등이 감귤에 큰 피해를 주는 우점종들이다. 특히 꽃노랑총채벌레와 뒷흰날개밤나방(*Peridroma saucia*)은 최근 들어 국내에 유입된 해충으로 그 피해가 증가하고 있다. 감귤의 잎, 가지, 과실, 꽃을 가해하는 해충의 수는 각각 36종, 16종, 41종, 2종이 있다. 그중 해충에 의한 피해과율은 1997년과 1998년 조사에서 각각 20.5%와 18.6%로 약 20%정도의 피해를 받고 있으며, 그 중 비상품 과율은 각각 6.4%와 6.7%였다(Kim and Choi, 2000).

현재 제주도에서는 해충 방제에 유기합성농약을 이용한 화학적 방제에 전적으로 의존하고있어 약제저항성 발달 등과 같은 부작용 발생으로 인해 효율적인 방제가 매우 어려운 실정이다. 그리고 최근 들어 저농약농산물에 대한 소비자의 요구도가 급격히 증가되고 있어 친환경적인 병해충 관리법을 개발하기 위한 일환으로 천적을 이용한 생물적 방제에 관한 연구가 더욱 더 요구되고 있다. 귤응애에 대한 자생천적으로는 약 10여 종이 알려져 있는데, 그 중 민깨알반날개(*Oligota kashmirica benefica*)가 가장 유력한 천적으로 지목되고 있고(Kim, 1997; Kim and Choi, 2000), Choi(2002)에 의해 민깨알반날개의

생태와 이용에 관한 연구가 자세히 연구되기도 하였다.

굴응애는 응애류의 일반적 특성으로부터 생기는 개체군해석상의 어려운 문제점을 안고 있어, 이후 개체수 변동기구를 상세하게 설명해가기 위해서는 단기 예측 모형이 절실히 필요하다고 생각된다. 응애류는 절지동물 가운데서도 특히 몸이 작고 세대 기간이 짧으며, 세대가 심하게 겹치는 등 세대가 중복되지 않는 일반 곤충과 다른 특성을 갖고 있기 때문에 곤충에서 일반적으로 사용되고 있는 생명표를 중심으로 한 분석방법을 현장에 직접 이용하기 어려운 문제점을 안고 있다(Yasuda, 1982).

따라서 본 연구는 감귤 종별로 굴응애의 발육특성을 구명하고, 굴응애의 생명표 통계량 작성을 중심으로 한 행렬모형을 작성하여 감귤원에서 굴응애 개체군 밀도변동을 예측하는 모형을 구명하고 지구온난화와 같은 기후변화에 대비하고자 수행하였다.

## II. 연구사

굴응애는 거미강 응애목에 속하며, 암컷의 체장은 0.45mm 내외, 수컷은 0.36mm 정도로 그 크기가 작다. 굴응애 암컷 성충의 모양은 타원형이고, 체색은 처음에는 밝은 적색을 띠지만 나중에는 짙은 적자색으로 변한다. 수컷 성충은 끝으로 갈수록 가늘어지는 복부 형태와 몸 크기에 비해 긴 다리를 갖고 있고, 몸 크기는 암컷보다 작다. 알에서 유충, 제 1약충, 제 2약충의 3단계를 거쳐 성충이 된다. 유충단계에서는 3쌍의 다리를 갖고 있으며, 알보다 약간 더 크다. 그리고 제 1과 제 2약충 단계에서는 4쌍의 다리를 갖고 있으며, 성충보다 약간 작다. 알은 적색 타원형이며, 일반적으로 잎과 어린가지에 낳는다 (Song, 2003).

곤충과 응애류는 온도의 변화에 따라 발육 대사가 변하는 변온동물이다. 따라서 온도가 발육에 미치는 영향을 분석하여 발생 시기에 대한 예측과 방제에 응용하려는 시도가 많은 곤충 학자들에 의해 이루어졌다(Pruess, 1983; Curry and Feldman, 1987). 온도와 발육속도와의 관계를 직선으로 파악하여 발육영점온도를 구하고 다시 발육영점온도와 실제온도와의 차이를 발육기간으로 합산한 유효적산온도를 통해 곤충과 응애류의 발생 시기를 예측할 수 있다(Arnold, 1959; Baskerville and Emin, 1969; Allen, 1976). 굴응애의 온도발육특성은 시험자에 따라 약간의 차이가 있기는 하지만 일반적으로 온도가 높아질수록 발육기간이 짧아지는데, 25℃에서 알이 부화하여 성충이 되기까지 약 12~15일이 소요되며, 발육영점온도는 약 9~11℃이고, 유효적산온도는 약 130~140일℃인 것으로 보고되었다(Choi, 1997; Kim, 1997). 온도별 광자극 시험결과 굴응애는 밝은 것을 선호하는 것으로 알려져 있는데, 그 경향은 특히 20℃ 정도에서 매우 뚜렷하게 나타나며, 겨울에는 일사를 받는 곳이든 그늘진 곳이든 90% 이상이 잎의 뒷면에 서식하고 온도가 상승함에 따라 잎의 앞면에서의 서식비율이 높아진다고 하였다(眞梶, 1959; 1963). 수관 높이별 서식비는 봄과 겨울에는 중부에서, 여름과 가을에는 하부에서 높았으며, 연평균은 수관상부에서 28%, 중부에서 38%, 하부에서 34%로 수관 중부에서 가장 많이 서식활동을 하는 것으로 나타났다. 수관 내부와 외부에서의 서식비는 봄에는 60 : 40, 여름은 41 : 59, 가을은 32 : 68, 겨울은 63 : 37로 봄과 겨울에는 내부에서, 여름과 가을에는 외부에서 높았으며, 연평균 비율은 큰 차이가 없었다. 수관 방향별 서식비는 3월에는 남쪽이 42%, 5월에는 서쪽이 29%, 7월에는 북쪽이 26%, 9월에는 동쪽이 26%로 가장 높았으나 조사시기와 방향별 밀도 비율 사이에 유의성은 없다. 9월~10월 중에 신엽과 구엽에서의



서식비는 신엽이 66.7%로 구엽에서보다 현저히 높았다. 월별 굴응애 알의 엽면별 부착 비율은 1, 2, 3월에는 95% 이상이 잎의 뒷면에 부착되어 있었고, 6, 7, 8월에는 뒷면보다 표면이 더 높았다. 굴응애 성충의 엽면별 서식비의 일변화를 조사한 결과 3월과 4월에는 잎 뒷면의 비율이 각각 83%, 59%로 표면보다 높았으며, 오전에는 잎의 뒷면에서의 서식비가 90% 이상이었다가 하루 중 온도가 상승함에 따라 앞면의 비율이 높아지는 경향을 보였다. 7월과 8월에는 3, 4월과 정반대로 잎 표면의 비율이 각각 82%, 80%로 앞면보다 높았으며, 오전에는 주로 잎의 앞면에서 서식하다가 기온이 상승하면서 잎 뒷면으로 이동하였다(김 등, 1999)

제주지역에서는 일반적으로 잎당 굴응애 성충 밀도가 2~3마리일 때 방제하는 것을 권장하고 있다. 미국 캘리포니아 대학에서는 방제밀도를 두 가지로 제시하고 있는데, 그 한 가지는 잎당 평균밀도가 2.0마리로 하고 있으며, 굴응애에 대한 포식응애인 *Euseius tularensis*의 비가 0.2이상이면 방제하지 않는 것으로 추천하고 있고, 이때의 발생엽율은 0.73이었다. 또 다른 한 가지는 잎당 암컷 성충의 평균밀도가 3~4마리라고 하고 있는데, 이때의 굴응애에 대한 *E. tularensis*의 비가 1.0보다 높을 때 방제할 것을 추천하고 있으며, 잎당 암컷 성충의 평균밀도가 3.5마리일 때의 발생엽율은 0.85였다.(Flint, 1991). 감귤해충의 방제 기술은 많은 진전을 가져왔다. 그러나 굴응애의 방제에는 아직도 어려운 점이 많은데, 이것은 다른 해충을 방제하기 위하여 살포하는 유독성 농약에 의하여 굴응애의 천적은 심한 타격을 받으나 굴응애는 약제에 대한 저항성 발달로 타격을 받지 않기 때문이라고 보고한 바 있다(권, 1979).

일본에서는 굴응애 저항성의 발달이 지역에 따라 차이가 생기는데 그 이유가 굴응애 집단 유전적 요인에 따른 것인지 아니면 환경 조건에 따른 것인지 알아보기 위하여 시험을 실시하였는데, 지역에 따라서 굴응애의 저항성이 다르게 나타나는 이유가 주로 저항성 유전자의 분포에 차이가 있기 때문이라고 보고한 바 있다(眞梶 등, 1984). 감귤해충의 저항성 발달은 자연개체군 중에서 본래부터 살충제에 대해 강한 유전자를 가진 개체와 약한 유전자를 가진 개체가 혼재되어 있는데, 대부분이 후자인 개체들로 구성되어 있으므로 살충제 사용에 의한 도태를 여러 세대에 걸쳐서 되풀이함에 따라 강한 유전자를 가진 개체들이 많이 남아있게 되어 저항성이 증가하게 된다. 또한 해충의 집단 중에서 우연한 기회에 돌연변이를 일으켜 저항성 유전자를 획득하게 되면 그 해충개체가 살충제를 살포한 환경에서 살아남게 되고 그 자손이 계속 증가되기 때문에 저항성 발달계통이 출현하는 것으로 생각할 수 있다. 자연개체군에 희소하게 존재하는 저항성 유전자를 가진 개체는 살충제의 선발압(selective pressure)에 의하여 초기에는 서서히 증가하다가 계속

적 약제 살포에 의하여 저항성 속도가 빨라진다. 연중 발생횟수가 많고 밀도증가속도가 빠른 해충의 피해를 막기 위해서는 살충제를 계속 살포하지 않으면 안된다. 이와 같은 계속적인 약제살포는 저항성을 빨리 유발하는 원인이 된다. 동일종 해충 개체군이라도 약제 살포방법, 선발방법, 기주식물, 유전자의 특성 과수, 기상조건 등에 따라 저항성 수준이 다른 계통으로 발달하게 된다. 따라서 저항성 해충의 방제대책으로는 우선 약제 살포에 의한 저항성발달을 회피하거나 지연시킬 수 있는 방법으로 살충제의 과잉 사용과 동일계 약제의 연속사용을 피하고 작용기구가 다른 살충제의 교호살포를 들 수 있다. 특히 발생 횟수가 많고 저항성 유발이 쉬운 응애류의 방제는 작용기구가 다른 한 약제를 연 1회씩 교호살포 방식으로 사용하면 그 약제의 수명 연장과 효과적 방제를 기대할 수 있다(梁 등, 1993).

최근 국내에 보고된 곱응애의 화학적 방제는 2010년 국립원예특작과학원 감귤시험장에서 총 9가지의 살비제에 관한 곱응애의 약제 감수성 연구를 수행하였다. 제주도 감귤원에서 곱응애를 채집하여 9종의 살비제에 대한 감수성 수준을 구명하였으며, 지효성 또는 지속기간이 긴 살비제인 spirodiclofen, dicofol, spiromesifen etoxazole, propargite, cyhexatin, fenothiocarb 등 7가지 약제, 속효성 살비제인 bifenazate, dimethoate 2가지를 처리하였다. 결과적으로 spirodiclofen, propargite, bifenazate, fenothicarb가 곱응애에 대하여 약제감수성이 높은 것으로 나타났다. 특히, 알을 포함한 모든 생육단계에 걸쳐 효과가 있는 spirodiclofen, bifenazate, fenothicarb가 이후 제주도 감귤원에서 곱응애 방제에 효과적일 것으로 기대된다고 하였다. spirodiclofen은 유용 동물 및 천적에 비교적 안전한 약제이므로 병해충종합관리(IPM)에도 적합하리라 생각된다(오 등, 2010). 감귤원에서 곱응애 예찰법에 관한 연구도 이루어 졌는데, 김과 김(1999)은 곱응애 암컷성충의 발생엽률과 잎 당 밀도와의 관계를 분석함으로써 발생엽률이 75%(1.9마리/잎)일 때가 방제적기라고 하였으며, 송 등(2001)은 Taylor's power law에 의해 얻어진 상수 값을 이용하여 잎 표본 조사에 곱응애 유·약충과 성충에 대한 고정정확도 수준에서의 표본 조사법을 개발하였고, 또한 이항 표본조사법을 개발하여 곱응애의 예찰효율을 높이는데 기여하였다.

지금까지 응애류 개체군 동태를 분석하기 위한 다양한 형태의 컴퓨터 모형(시뮬레이션 모형)이 개발되었다(Dover et al, 1979; Berry et al, 1991). 하지만 이러한 모형은 매우 복잡한 생물적 매개변수가 필요하고, 그 매개변수를 추정하기 위해서는 수많은 실험자료가 필요하다. 적은 실험 자료와 단순한 생물적 매개변수를 이용하여 개체군 밀도 변동을 추정할 수 있는 방법이 행렬모형을 이용하는 것이라 할 수 있다. 행렬모형은 수명이 길고 1년에 1회 자손을 생산하는 동물에 적용하기 위하여 개발되었으나, 온도 의존적 생

리적 연령을 이용하여 곤충에 적용할 수 있음이 제시되었다(Bommarco, 2001; Caswell, 2001). 최근 이러한 행렬모형을 몇몇 곤충에 적용한 결과 이용 가능성이 높았다.





### Ⅲ. 재료 및 방법

#### 1. 감귤 종별 궤양에 발육 및 생명표 통계량

##### 1-1. 궤양에 발육 및 산란 실험

실험에 사용된 감귤 종은 궁천(*Citrus unshiu*), 부지화[*C. nobilis* × *C. sinensis* × (*C. reticulata*)], 청견(*C. nobilis* × *C. sinensis*), 세또카[(*C. nobilis* × *C. sinensis*) × (*C. nobilis* × *C. Deliciosa*)], 레몬(*C. limon*), 지각(*C. aurantium*)으로 궁천은 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구센터, 부지화와 세또카는 제주특별자치도 서귀포시 보목동, 청견은 서귀포시 토평동, 레몬은 서귀포시 남원읍 의귀리, 지각은 국립원예특작과학원 감귤시험장 시험포장에서 각각 채취하였다(2011년). 경화된 봄 순을 채취하였으며 채취한 잎을 2cm×2cm 크기로 자른 후 원형용기(Dia. 10cm, H. 4cm)에 수분을 머금은 탈지면을 넣고, 4개씩 잎을 부착하였다. 잎 당 성충 암컷 3, 수컷 2마리를 접종하여 산란을 유도하였으며, 5개의 알을 남기고 성충을 제거하였다. 발육기간은 알, 유충, 제 1약충, 제 2약충, 성충단계를 조사하였고, 탈피각을 제거하여 영기를 구분하였으며, 총 20반복으로 수행하였다.

실험은 온도 23±1℃, 70±10%, 16L8D 광조건에서 24시간 간격 조사하였고, 실험실내 온습도계(HOBO)를 넣고 실험 중 실측치를 측정하였으며, 실험 중 물에 빠져 죽은 개체는 반복에서 제외하였다.

산란 실험 방법은 위의 동일한 조건으로 20반복 수행하였으며, 각 종별 감귤 잎을 마련하고 갓 성충이 된 암수를 1:1 비율로 접종 후 매일 산란수를 조사 하였다. 물에 빠져 죽은 개체는 반복에서 제외하였으며, 수컷이 먼저 사망 시 추가 접종하였다.

감귤 잎별 발육 및 산란수의 차이를 알아보기 위하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, SAS Program으로 통계적 유의성 검정을 하였다.

##### 1-2. 감귤 종별 생명표 통계량 추정

감귤 종별 생명표 통계량을 추정하기 위하여 발육 산란 실험 자료에서 암컷 성충 연령, 성충전생존율, 일별평균산란수, 일별 총산란수, 일별 순산란수를 구했다. 세대증가율(Net reproductive), 평균세대기간(Generation), 내적자연증가율(Intrinsic rate of natural), 기간증가율(Finite rate of increase), 개체군배가기간(Doubling time)을 구하였고, 엑셀 매크로 프로그램을 이용하였다.

- 세대증가율( $R_0$ )

$$R_0 = \sum l_x m_x$$

- 평균세대기간( $T$ )

$$T = \frac{\sum X l_x m_x}{R_0}$$

- 내적자연증가율( $r_m$ )

$$r_m = \frac{\log(R_0)}{T}$$

- 기간증가율( $\lambda$ )

$$\lambda = e^r$$

- 개체군배가기간(DT)

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

### 1-3. 감귤포장에서 감귤 종별 궤응에 발생밀도 조사

감귤포장에서 종별 발생밀도를 조사하기 위해 궁천, 부지화, 청견, 세또카, 레몬, 지각 등 각각의 포장에서 조사를 실시하였다. 궁천은 제주특별자치도 서귀포시 서호동, 부지화와 세또카는 서귀포시 보목동, 청견은 서귀포시 토평동, 레몬은 남원읍 의귀리, 지각은 서귀포시 하례리 국립원예특작과학원 감귤시험장에서 조사를 수행하였다.

조사기간은 3월 상순부터 6월 상순까지 일주일 간격으로 육안 조사하였으며, 주당 5엽, 총 3주를 조사하였다. 조사 내용은 알, 약충, 성충으로 구분하여 조사하였으며, 각 포장에서 표본채취 후 실험실에서 현미경으로 각 발육태를 구분하였다.

각 과원에 HOBO Data를 설치하여 일별 평균온도를 얻었다.

### 1-4. 감귤 잎의 무기성분 함량과 궤응에 발육과의 관계분석

#### 1) 질소의 분해 및 분석 방법

경화된 봄 순을 채취 한 후 물로 깨끗이 세척, 건조 후 믹서기에 분쇄 후, 각 감귤 종별 0.5g의 시료를 준비하였다. 분해튜브에 시료 0.5g, 촉매제 3.5g(Potassium Sulphate+3.5mg Selenium) 1~2알, 진한황산 10ml을 넣었다. 분해기가 420℃까지 예열된 상태에서 시료가 들어있는 분해튜브를 stainless stand를 이용하여 분해기에 가스 포집기와 함께 장착하였다. 가스 중화장치 또는 아스피레이터를 작동하여 가스를 포집하였다. 분해는 약 50분 정도 소요되었고, 분해가 완료되면 분해기로부터 분해튜브를 꺼내어 냉각용 스탠드에서 상온까지 냉각 시켰다.

냉각된 시료가 들어있는 분해튜브를 켈달질소측정장치(Foss, 2400 Kjeldahl Analyzer unit)를 이용하여 분석하였다.

## 2) 여지를 사용 HNO<sub>3</sub>, HClO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>에 의한 습식분해

시약은 질산: 과염소산: 황산을 10: 4: 1의 비율로 혼합한 혼합산을 이용하여 식물체를 분해하였다. 시료 0.5g에 혼합산 10ml를 넣어 12시간 이상 방치 시킨 후 가열판 온도를 서서히 올리면서 분해하다가 적정온도(310~410℃)까지 증가시켰다. 분해가 끝나면 액상이 투명하게 변하게 되고, 이 분해액을 냉각시켜 50ml mass flask에 mass up을 하고 50ml 볼륨을 맞춘다.

Advatec No.6 여지를 사용하여 여과한 여과액을 가지고 ICP(유도결합플라즈마 분광광도계-GBC integra dual model)를 이용하여 K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, P의 함량을 분석하였다.

감귤 잎의 각 무기양분 함량과 궤용에 발육기간 및 산란수 간 상관관계가 있는지를 분석하기 위하여 피어슨 상관계수를 추정하여 비교 하였다(SAS Insitute, 1999).

## 2. 행렬모형을 이용한 궤용에 개체군 동태 예측

### 2-1. 궤용에 온도 발육 관련 매개변수 추정

#### 2-1-1. 온도발육 자료

궤용에 온도발육 관련 모형의 매개변수를 추정하기 위하여 이용된 자료는 표 1과 같다. 기존 보고된 자료를 수집하였으며 해당 자료의 출처는 표 1에 제시하였다. 수집 자료를 알, 약충, 제 1약충, 제 2약충, 산란전기간, 성충수명 및 산란수로 구분하여 정리하였다. 같은 온도조건에서 알 및 약충 발육기간은 출처 간 큰 차이가 없었으나 성충수명 및 산란수는 다소 차이가 있었다. 모형의 매개변수 추정 시 동일한 온도에서 복수의 자료 값이 있는 경우는 평균값을 이용하였다.

Table 1. Temperature-dependent development data of *Panonychus citri* and source references.

Temperature (°C)	Egg	Larva	Nymph			Pre-oviposition	Longevity	Fecundity	References
			Proto-Nymph	Deuto-Nymph	Total				
12	31.2	<sup>1</sup>	-	-	-	-	73.9	12.9	Yasuda, 1982
15	20.4	5.8	-	-	14.9	-	23.3	37.3	Choi, 2006
15	18.3	5.8	5.5	7.5	13	5.4	32.2	16.5	Kasap, 2009
16	14.4	-	-	-	-	-	35.5	20.9	Yasuda, 1982
20	7.8	2.5	2.7	3.6	6.3	1.8	15.5	22.1	Kasap, 2009
20	8.8	2.2	-	-	4.5	-	8.3	26.6	Choi, 2006
20	9.6	-	-	-	-	-	30.3	34.4	Yasuda, 1982
21	11.2	3.4	2.8	3.8	6.6	-	-	-	Kim and Kim, 1999
24	7.7	2.2	2.1	2.5	4.6	-	-	-	Kim and Kim, 1999
24	7.2	-	-	-	-	-	26.3	42.6	Yasuda, 1982
25	6.4	1.9	1.8	2.1	3.9	1.3	14.6	25.6	Kasap, 2009
25	5.5	1.5	-	-	4	-	6.3	28.4	Choi, 2006
25	-	-	-	-	-	-	14.9	67	Gotoh <i>et al.</i> , 2003
27	5.9	1.9	1.4	2.2	3.6	-	-	-	Kim and Kim, 1999
28	5.8	-	-	-	-	-	13	12.6	Yasuda, 1982
30	4.9	1.6	1.4	1.5	2.9	-	-	-	Kim and Kim, 1999
30	4.9	1.3	1.7	2	3.7	2.2	13.6	16.6	Kasap, 2009
30	4.8	1.3	-	-	3.3	-	6.1	24.4	Choi, 2006
33	5	1.4	1.3	1.5	2.8	-	-	-	Kim and Kim, 1999
32	5.3	-	-	-	-	-	10.5	7.3	Yasuda, 1982
35	4.3	1.4	1.4	2	3.4	-	-	-	Kasap, 2009

<sup>1</sup> No data available.

### 2-1-2. 온도 발육모형 추정

알, 유충, 제 1약충 및 제 2약충의 발육모형을 추정하였다. 각 온도의 발육기간에 역수(1/발육기간)를 취하여 발육율을 얻었으며, 온도와 발육율간의 관계는 경험적인 비선형 발육모형인 Gaussian 모형(Taylor, 1981; Eqn. 1)을 이용하여 적합시켰다.

$$y = a \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-b}{c}\right)^2\right] \text{ ---Eqn. 1}$$

여기서  $a$ 는 최대 발육율,  $b$ 는 최대 발육율을 보이는 온도,  $c$ 는 곡선의 좌우 폭을 조절하는 매개변수이다. 여기서  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 는 각각의 매개변수 값으로 이 값을 추정하기 위해 TableCurve 2D Program(Jandel Scientific, 1996)을 이용하였다.

### 2-1-3. 산란모형을 구성하는 단위모형 추정

곤충의 산란모형(생식모형)은 온도별 총산란수, 연령별 산란율, 연령별 생존율 등 3개의 단위모형으로 구성할 수 있다(Curry and Feldman, 1987; Kim and Lee, 2003a). 이 때 변온조건에서 산란율 및 생존율 모형을 구현하려면 온도 의존적인 성충의 연령(즉 일령, 日齡)을 온도와 독립된 생리적 연령으로 변화시켜야한다. 본 연구에서는 꿀응애 성충 수명의 역수 값을 성충발육율(성충수명 완료율)로 취급하여 성충의 생리적 연령 추정에 이용하였다.

#### 1) 성충수명 완료모형

온도( $T$ )와 성충 발육율(1/성충수명,  $r(T)$ ) 간 관계는 Eyring's 모형(Eqn. 2; Eyring, 1935; modified by Curry and Feldman, 1987)을 이용하여 추정하였다. 본 모형은 온도 증가에 따라 성충수명이 감소하는 특성을 기술하는데 적합하였다.

$$r(T) = \alpha \cdot T \cdot \exp(-\beta/T) \text{ ---Eqn. 2}$$

여기서  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 추정해야 할 매개변수이며, 이 식을 이용하여 성충의 생리적 연령( $P_x$ )을 다음과 같이 계산하였다.

$$P_x = \int_0^n r(T_i) = \sum_{i=0}^n r(T_i) \text{ ---Eqn. 3}$$



여기서  $Px$ :  $n$  번째 일(발육기간)에서 생리적 연령,  $r(T_i)$ :  $i$  번째일 온도에서 성충 발육율을 나타낸다.

## 2) 온도별 총산란수 모형

본 모형은 온도에 따라 암컷 성충이 평생 동안(수명기간) 낳을 수 있는 총 알 수(자식 수)의 분포를 나타낸다. 연구자에 따라 꿀응애 총 산란수가 다소 차이가 있었으므로 가장 넓은 온도범위에서 실험을 실시한 Yasuda(1982)의 자료를 기반으로 하여 온도별 총산란수 모형을 추정하였고, 25°C에서는 Kasap(2009), Choi(2006), Gotoh et al.(2003) 등 자료의 평균값을 이용하였다(Table 1). 온도와 총 산란수의 관계를 나타내는 데 있어서 아직까지는 생물학적 의미를 갖고 있는 수식(모형)은 없는 상태이며 경험적인 비선형식 또는 다항회귀식을 이용하고 있다(Richards 1959, Hilbert and Logan 1983, Shaffer and Gold 1985, Allen et al. 1995; Kim and Lee 2003a, 2003b).

$$p(Px) = 1 - \exp[-(Px/\rho)^\eta] \quad \text{---Eqn. 4}$$

여기서  $\rho$  와  $\eta$  는 추정해야 할 매개변수이며, 성충의 수명을 생리적 연령( $Px$ , Eqn. 3)으로 변환시키고 이에 대응하는 연령별 누적산란율( $p(Px)$ )을 계산하여 수식(모형)의 매개변수 값을 추정하였다. 각 온도에서 생리적 연령에 대응하는 누적산란율은 일별 산란수를 누적하여 각각을 총 산란수로 나누어 얻었다. 이런 과정을 거쳐서 온도에 따른 산란곡선의 변이를 표준화시켜 온도와 독립적인 누적산란율 곡선을 얻을 수 있었다. 모형추정에 이용된 원 자료는 Kasap(2009)이 보고한 것으로 연령별 산란수 그래프 자료를 수치화하여 얻었다.

## 3) 연령별 생존율 모형

연령별 누적생존율(Age-specific survival rate)은 갖 우화한 어떤 성충집단이 시간이 경과하여 어느 연령에 도달했을 때 살아있는 개체수의 비율이다. 지금까지 곤충의 연령별 생존율을 표현하기 위하여 지수함수(Birley 1977), Gompertz 함수(Clements and Paterson 1981, Readshaw and Van Gerwen 1983), Weibull 함수(Bartlett and Murray 1986, Madden et al. 1986) 등이 이용된바 있다. 본 연구에서는 시그모이드 모형을 이용하였다(Eqn. 5; Kim and Lee, 2003a).

$$s(Px) = \frac{1}{1 + \exp[(\gamma - px)/\delta]} \quad \text{---Eqn. 5}$$

여기서  $s(Px)$ 는 생리적 연령  $Px$ 에서 생존율,  $\gamma$ 는 50% 생존율에 대응하는 생리적 연령,  $\delta$ 는 매개변수이며, 성충의 수명을 생리적 연령( $Px$ , Eqn. 3)으로 변환시키고 이에 대응하는 연령별 생존율( $s(Px)$ ) 값을 이용하여 수식(모형)의 매개변수 값을 추정하였다. 어느 생리적 연령에 대응하는 생존율은 그때까지 생존수를 처음 개체수로 나눈 값으로 표현된다. 본 연구에서는 Kasap(2009)이 보고한 연령별 생존율 그래프 자료를 수치화하여 이용하였다.

## 2-2. 개체군 밀도증가 추정 행렬모형 작성 및 포장적합

### 2-2-1. 행렬모형 작성

굴응애 개체군 동태를 분석하기 위하여 상이한 연령군으로 구성된 행렬모형[발육단계 내포 행렬모형](Leslie and Lefkovitch, 1965)을 이용하였다. 굴응애 발육단계는 알, 유충, 제 1약충, 제 2약충, 성충 5단계로 구분하였다. 기본 행렬모형은 아래와 같은 구조를 가지고 있다.

$$n_i(t+1) = A(t) n_i(t)$$

여기서  $n$ 은 열벡터로서 이것의 구성성분  $n_i(t)$ 는 시간  $t$ 에서  $i$ -번째 발육단계의 개체수이고,  $n_i(t+1)$ 는 시간  $t+1$ 에서 개체수이다. 본 연구 모형운영 시간 간격은 24h(1일)이 적용되었다. 전환행렬  $A$ 의 각 구성인자들인  $a_{ij}$ 는  $i$ -번째 발육단계에서  $i+1$ -번째 발육단계로의 전이확률, 각 발육단계 전이과정의 사망률 또는 성충의 생식율 등을 나타낸다.

열벡터 즉 연령구조 벡터  $n(t)$ 는 시간  $t$ 에서 개체군 상태(즉, 개체군 밀도)를 나타내는 것으로 다음과 같이 배열된다.

$$n(t) = \begin{bmatrix} n_e(t) \\ n_L(t) \\ n_{PN}(t) \\ n_{DN}(t) \\ n_A(t) \end{bmatrix}$$

여기는  $n_e(t)$ ,  $n_L(t)$ ,  $n_{PN}(t)$ ,  $n_{DN}(t)$ ,  $n_A(t)$ 은 각각 시간  $t$ 에서 알, 유충, 제 1약충, 제 2약충, 성충의 개체수를 표시한다. 전환행렬  $A(t)$ 는 다음과 같은 형태를 갖는다.

$$A(t) = \begin{bmatrix} P_e(t) & 0 & 0 & 0 & f(T_t) \\ M_e(t) & P_L(t) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_e(t) & P_{PN}(t) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_{PN}(t) & P_{PN}(t) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_{PN}(t) & P_A(t) \end{bmatrix}$$

여기서  $f(T_t)$ 는 시간  $t$  및 온도  $T$  °C에서 성충의 생식률 계수를 나타내며,  $M_i(t)$ 는  $i$ -번째 발육단계에 있는 개체들이 발육을 완료하여  $i+1$ 번째 발육단계로 이동하는 전이확률이다. 또한  $P_i(t)$ 는  $i$ -번째 발육단계에 있는 개체들이 모형운영 시간단위 내에서 발육을 완료하지 못하고 그 발육 단계에 잔존하는 확률을 나타낸다(e: 알, L: 유충, PN: 제 1약충, DN: 제 2약충, A: 성충).

전환(전이)행렬의 각 인자에 대하여 앞에서 추정된 각 발육단계의 발육모형을 바탕으로 어떤 발육단계에서 다음 발육단계로 이동하는 전이확률( $M_i(t)$ ) 및 그 발육단계에 잔존확률( $P_i(t)$ )을 구하였다.

$$\begin{aligned} M_i(t) &= r_i(t) \\ P_i(t) &= 1 - M_i(t) \end{aligned}$$

여기서  $r_i(T_t)$ 는 온도  $T$  °C에서  $i$ -번째 발육단계의 발육률이다. 생식률 계수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$f(T_t) = Fc(T_t) \cdot r_a(T_t)$$



여기서  $F_c(T_t)$ 는 온도  $T$  °C에서 암컷의 총 산란수,  $r_a(T_t)$ 는 성충의 발육율이 다(1/수명). 각 발육단계의 생존율이 추가되는 경우  $M_i(t)$ 는  $r_a(T_t) \cdot S_i$ 로 표현할 수 있다( $S_i$ :  $i$ -번째 발육단계에서의 생존율).

### 2-2-2. 행렬모형의 포장 적합

수립된 행렬모형의 실제 유효성을 평가하기 위하여 실제 감귤과원에서 조사된 굴응애 개체군 밀도를 행렬모형의 초기 값으로 입력하여 밀도증가를 추정한 다음 실측치와 비교하였다. 포장상태에서 굴응애 발육단계별 생존율에 대한 정보가 없었으므로 임의로 80%를 적용하였다. 성비(암컷의 비율)는 0.7(Yasuda, 1982)로 가정하였다.

제한된 자원 환경(감귤 잎)에서 굴응애의 밀도가 무한정 증가할 수 없기 때문에 밀도의존적 요소를 추가하였다. 감귤 잎 당 굴응애 최대 발생밀도 기록을 조사한 결과 알을 포함하여 900이 최고 기록이었다(Takafuji, 1983). 따라서 감귤 잎의 굴응애 수용능력( $K$ )을 잎 당 900마리로 설정하였으며, 밀도의존적 효과( $D(N)$ )가 성충의 산란능력에만 영향을 미치는 것으로 가정하였다. Takafuji(1983)가 제시한 바에 따라 밀도가 산란능력에 미치는 효과는 다음과 같이 계산하였다.

$$D(N) = (K - N/K) \quad (N = \text{굴응애 밀도}, N > K \text{ 이면 } D(N) = 0 \text{ 적용})$$

따라서 최종적인 산란수는  $f(T_t) \cdot D(N)$ 으로 추정하였다.

행렬모형 전개에 필요한 온도는 감귤포장에서 가까운 기상청 기상대 자료(대기평균온도)를 이용하였다.

제주시 도련동 일반재배 포장(연 8내지 9회 약제 살포)에서 조사된 자료(2004)를 이용하였다(김, 2005). 본 자료는 엽 당 굴응애 발생밀도를 조사한 것으로 저온기인 생육 초기(4월 28일~6월 9일) 및 고온기인 생육중후기(8월 2일~9월 27일)로 분리하여 예측치와 비교하였다. 계절초기 초기밀도로 4월 28일 조사된 잎 당 알 1.14, 약충 0.26, 성충 0 마리 자료를 입력하였으며 약충 수는 유충, 제 1약충, 제 2약충 각각 0.0867마리로 균등히 분할하여 사용하였다. 계절중후기 초기밀도로 8월 2일 조사된 잎 당 알 0.68, 약충 0.06, 성충 0.04 마리 자료를 입력하였으며 약충 수는 유충, 제 1약충, 제 2약충 각각 0.02마리로 균등히 분할하여 사용하였다. 모형결과는 알, 약충(유충+제 1약충+제 2약충), 성충으로 구분하여 실측치와 비교하였다.

## IV. 결 과

### 1. 감귤 종별 꺾임에 발육기간 및 생명표 통계량

#### 1-1. 꺾임에 발육 및 산란실험

감귤이 꺾임에 발육에 미치는 영향을 분석하기 위하여 총 6종의 감귤 잎에 접종하여 영기별 발육기간을 얻은 결과는 표 2와 같았다. 알기간에서는 궁천이 8.5일, 부지화가 7.7일, 청견이 7.8일, 세토카가 8.5일, 레몬이 7.5일, 지각이 8.1일 이었다. 알은 레몬에서 가장 빨리 부화하였으며, 궁천과 세토카에서 가장 늦게 부화하였다( $F=14.51$ ;  $df=5, 244$ ;  $P<0.001$ ). 유충과 제 1약충기간은모든 시험 감귤 종에서 비슷하게 발육하였으며 통계적으로 유의성이 없었다. 제 2약충기간은 궁천이 2.8일, 부지화가 2.1일, 청견이 1.7일, 세토카가 1.9일, 레몬이 2.2일, 지각이 2.0일로 청견에서 가장 빠른 발육을 보였다. ( $F=19.37$ ;  $df=5, 244$ ;  $P<0.001$ ). 총 발육기간에서는 궁천이 15.4일, 부지화가 13.7일, 청견이 13.3일, 세토카가 14.5일, 레몬이 13.6일, 지각이 14.1일로 청견에서 가장 빨랐으며 ( $F=31.57$ ;  $df=5, 244$ ;  $P<0.001$ ), 궁천에서 발육이 가장 늦었다.

감귤 종별 꺾임에 산란 실험 결과 표 3과 같았다. 각 감귤 잎에서의 평균 성충 생존율은 궁천이 86.8%, 부지화 86.4%, 청견 77.0%, 세토카 81.8%, 레몬 85.4%, 지각 84.8%로 생존율에서는 감귤 종간에 별다른 차이가 없었다. 암컷 성충의 산란기간과 총산란수는 궁천에서 11.0일, 27.3개의 알을 산란하였고, 부지화 13.5일, 39.6개, 청견이 10.1일, 21.6개, 세토카 12.1일, 21.1개, 레몬 12.6일, 29.7개, 지각 14.8일, 25.6개이었다. 부지화와 레몬이 높은 산란수를 보였던 반면 청견과 세토카에서는 산란수가 적었다( $F=2.98$ ;  $df=5, 97$ ;  $P>0.0151$ ).

위의 발육 및 산란 실험의 결과를 이용하여 생명표 통계량 작성에 필요한 연령별 생존율과 연령별 산란수를 각 감귤 종별 구하였는데 그 내용은 그림 1에서 그림 6과 같다.

#### 1-2. 감귤 종별 생명표 통계량 추정

감귤 발육 및 산란 실험에서 얻어진 결과를 이용하여 생명표 통계량 작성에 기본적으로 이용되는 연령별 생존율과 연령별 산란수를 구하였다. 이 값을 이용하여 꺾임에 생명표 통계량 작성 및 추정을 하였는데 세대증가율(Net reproductive rate), 평균세대기

간(Generation time), 내적자연증가율(Intrinsic rate of natural increase), 기간증가율(Finite rate of increase), 개체군배가기간(Doubling time) 등 각각의 값을 작성한 내용이 표 4와 같다. 야외포장에서 개체군 밀도증가에 가장 직접적인 요인을 갖고 있는 내적자연증가율(Intrinsic rate of natural increase)은 부지화가 0.1519로 가장 높은 값을 보였고, 레몬이 0.1395로 그 다음으로 높았고, 세또카가 0.1056, 지각이 0.1177로 세또카에서 내적자연증가율은 가장 낮았다. 실제 포장에서도 부지화와 레몬이 발생이 많을 것으로 생각되어 진다.

### 1-3. 감귤 포장에서 감귤 종별 굴응에 발생밀도 조사

생명표 통계량 작성에 있어 내적자연증가율이 가장 높은 값을 나타내었기 때문에 부지화와 레몬의 밀도가 가장 높을 것이라고 예상하였다. 감귤 야외 포장조사 결과 그림 7과 같으며, 실제 조사 결과 레몬에서는 높은 개체군 밀도를 나타냈다. 하지만 부지화에서는 밀도가 증가되지 못하고 계속 낮은 밀도를 유지하고 있었다. 레몬에서는 3월 상순부터 6월 상순까지 화학적 방제를 하지 않아 개체군 밀도가 유지될 수 있었으며, 부지화인 경우 3월초 기계유유제의 약제 살포로 인하여 개체군 밀도가 증가되지 못한 것으로 생각된다.

### 1-4. 감귤 잎의 무기성분 함량과 굴응에 발육과의 관계분석

경화된 봄 순을 각 과원에서 채집하여 무기원소 함량을 분석한 결과 표 5와 같았다. 이 자료를 이용하여 굴응에 발육 및 산란수에 영향이 있는지 피어슨 상관계수로 분석하였는데 그 값은 표 6과 같다. 상관계수는 P 0.6824, K 0.4622, Na 0.76 등으로 정(+)의 상관관계를 나타냈지만 통계적으로 유의성은 없었다. 굴응에는 일반적으로 잎의 엽록소 및 세포액을 흡즙하기 때문에 발육과 산란에 무기성분이 영향을 미칠 것으로 생각되었지만, 무기성분보다는 다른 외적인 요인에 영향이 있을 것이라 생각되었다. 그 외적인 요인으로는 화학성분, 환경조건(기온, 강우, 습도 등), 식물의 물리적 방어기작 등의 영향 일 것으로 판단되므로 이 부분에 대해서는 추후에 추가적인 검토가 필요하다.

Table 2. Developmental times(Mean  $\pm$  SD) of *Panonychus citri* in days on different species of citrus leaves.

Citrus species	n	Stage				
		Eggs	Larvae	Protonymphs	Deutonymphs	Total
Miyagawa (궁 천)	39	8.5 $\pm$ 0.71 a <sup>1</sup>	2.1 $\pm$ 0.44 a	2.0 $\pm$ 0.36 a	2.8 $\pm$ 0.48 a	15.4 $\pm$ 0.83 a
Shiranui (부 지 화)	36	7.7 $\pm$ 0.61 c	1.9 $\pm$ 0.28 a	1.9 $\pm$ 0.33 a	2.1 $\pm$ 0.35 bc	13.7 $\pm$ 0.65 cd
Kiyomi (칭 견)	40	7.8 $\pm$ 0.70 bc	2.0 $\pm$ 0.27 a	1.8 $\pm$ 0.42 a	1.7 $\pm$ 0.52 d	13.3 $\pm$ 0.84 e
Setoka (세 또 카)	34	8.5 $\pm$ 0.88 a	2.2 $\pm$ 0.55 a	1.9 $\pm$ 0.45 a	1.9 $\pm$ 0.54 c	14.5 $\pm$ 0.74 b
Lemon (레 문)	63	7.5 $\pm$ 0.73 c	2.0 $\pm$ 0.33 a	1.9 $\pm$ 0.50 a	2.2 $\pm$ 0.60 b	13.6 $\pm$ 1.00 de
Kabusu (지 각)	38	8.1 $\pm$ 0.62 b	2.1 $\pm$ 0.39 a	2.0 $\pm$ 0.39 a	2.0 $\pm$ 0.54 c	14.1 $\pm$ 0.76 c

<sup>1</sup>Means followed by same letters in a column are not significantly different by DMRT( $P=0.05$ ).

Table 3. Immature survival, longevity and fecundity(Mean  $\pm$  SD) of *Panonychus citri* on different species of citrus leaves.

Citrus species	n	Immature Survival(%)	Female Longevity(day)	Fecundity (No. eggs per female)
Miyagawa (궁 천)	16	86.8	11.0 $\pm$ 4.60 a <sup>1</sup>	27.3 $\pm$ 18.02 b
Shiranui (부 지 화)	17	86.4	13.5 $\pm$ 5.27 a	39.6 $\pm$ 17.46 a
Kiyomi (청 견)	19	77.0	10.1 $\pm$ 3.60 a	21.6 $\pm$ 14.34 b
Setoka (세 또 카)	16	81.8	12.1 $\pm$ 7.18 a	21.1 $\pm$ 17.90 b
Lemon (레 문)	19	85.4	12.6 $\pm$ 4.32 a	29.7 $\pm$ 12.78 ab
Kabusu (지 각)	17	84.8	14.8 $\pm$ 5.53 a	25.6 $\pm$ 14.16 a

<sup>1</sup> Means followed by same letters in a column are not significantly different by DMRT ( $P=0.05$ ).

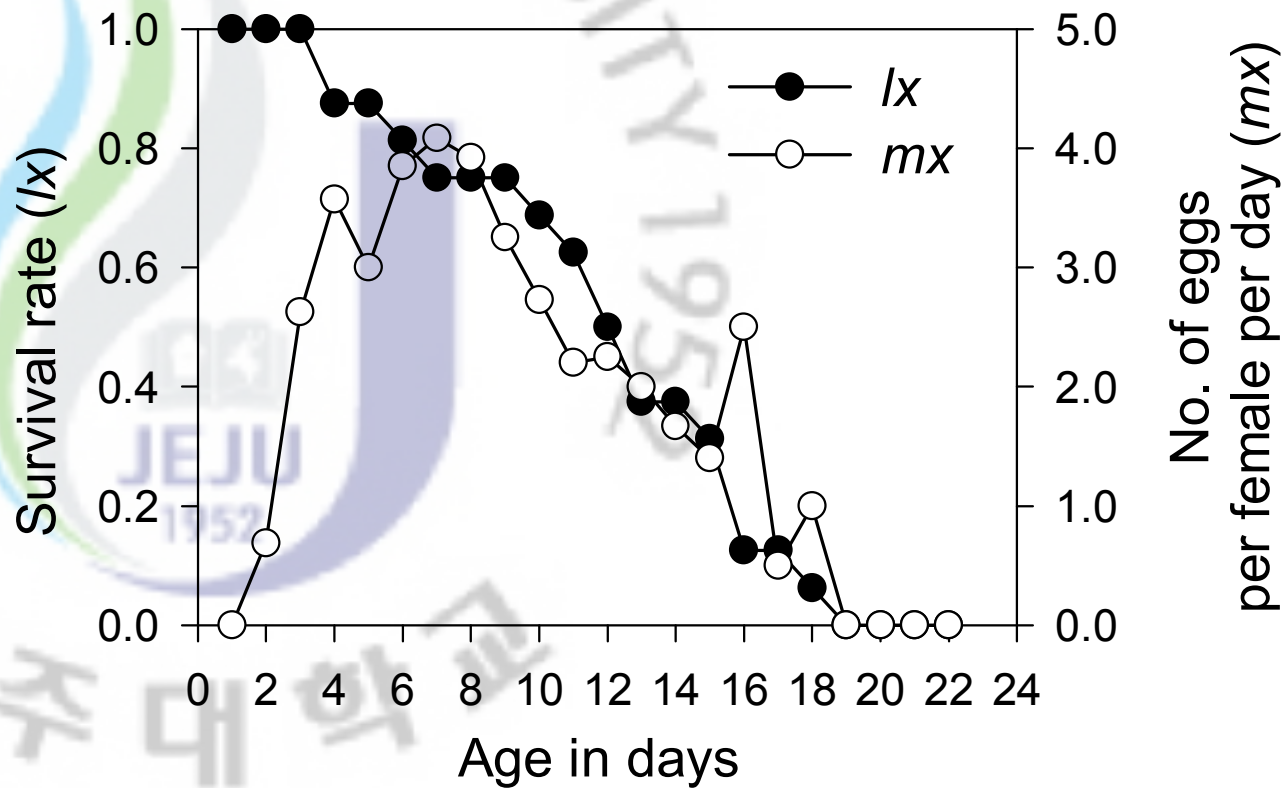


Fig. 1. Age-specific survival rate ( $l_x$ ) and age-specific fecundity ( $m_x$ ) of *Panonychus citri* on Miyagawa(궁천).



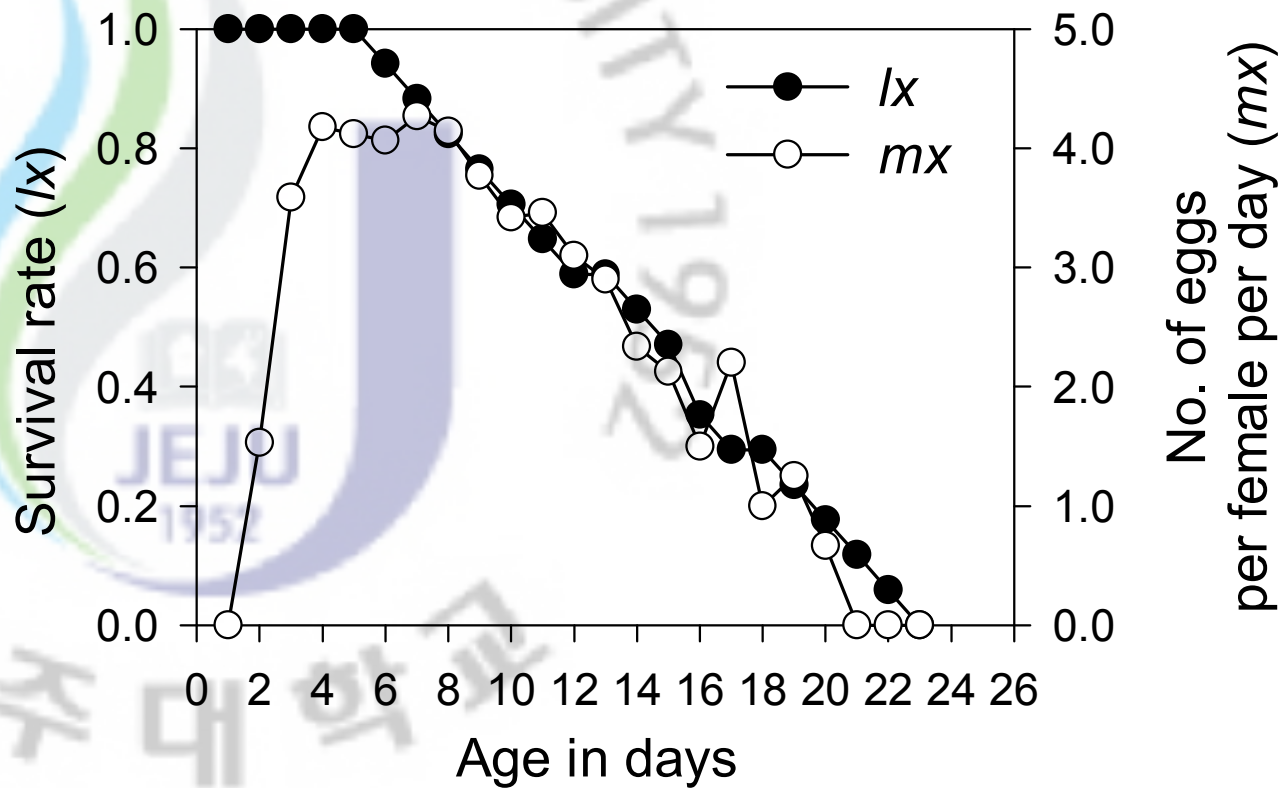


Fig. 2. Age-specific survival rate ( $l_x$ ) and age-specific fecundity ( $m_x$ ) of *Panonychus citri* on Shiranui(부지화).

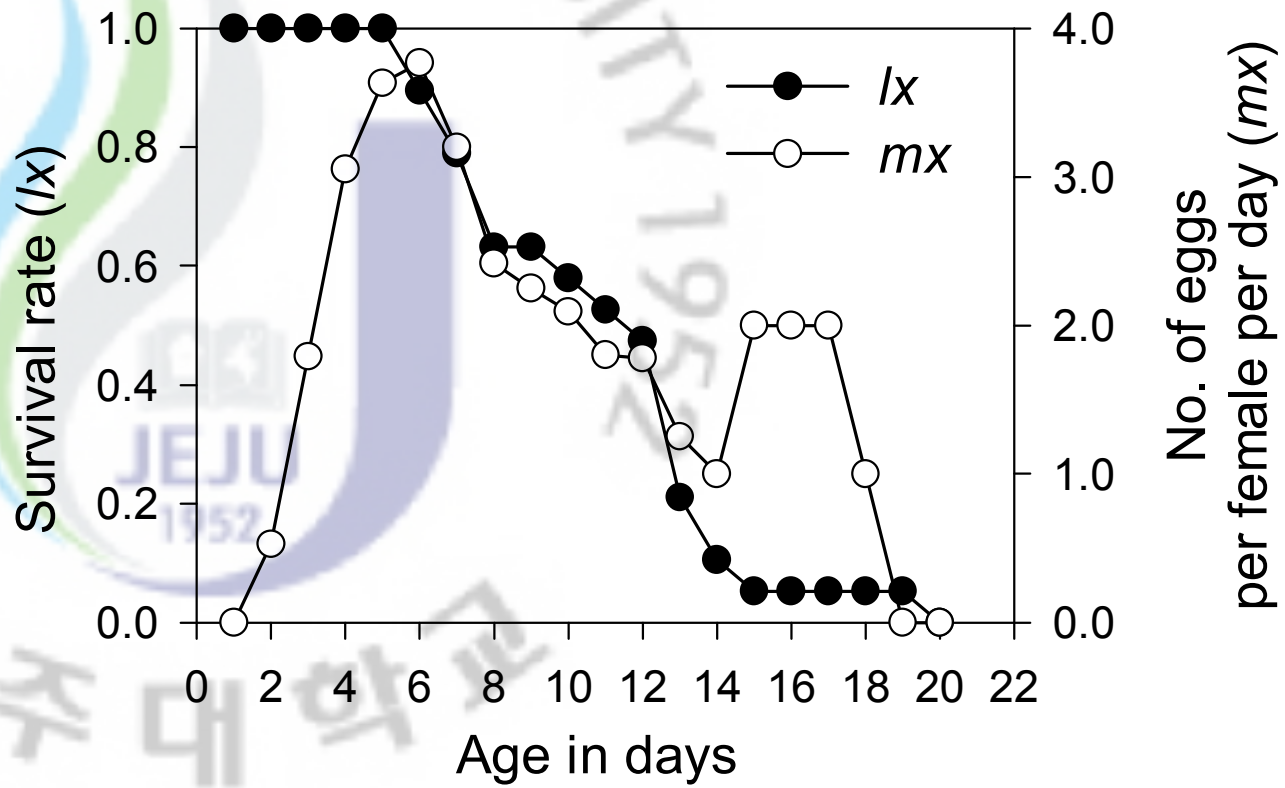


Fig. 3. Age-specific survival rate ( $l_x$ ) and age-specific fecundity ( $m_x$ ) of *Panonychus citri* on Kiyomi(청견).



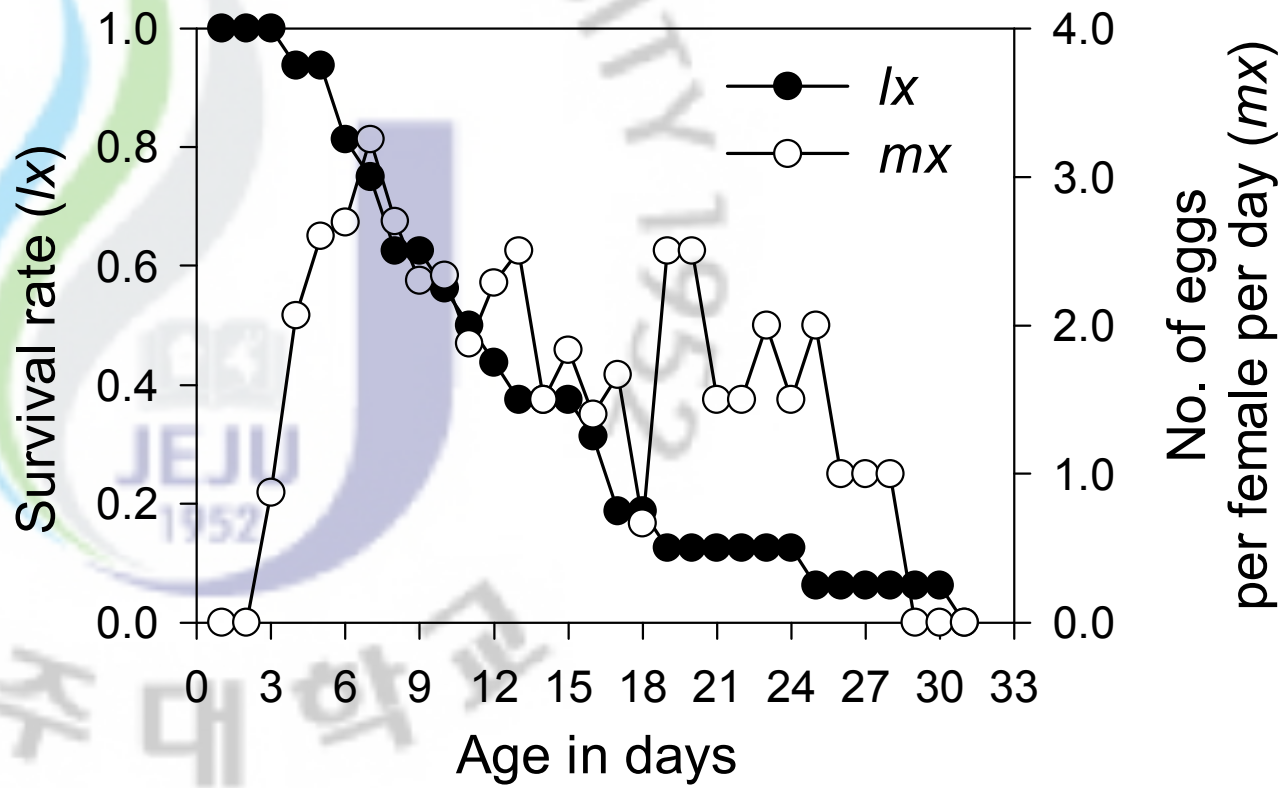


Fig. 4. Age-specific survival rate ( $l_x$ ) and age-specific fecundity ( $m_x$ ) of *Panonychus citri* on Setoka(세또카).

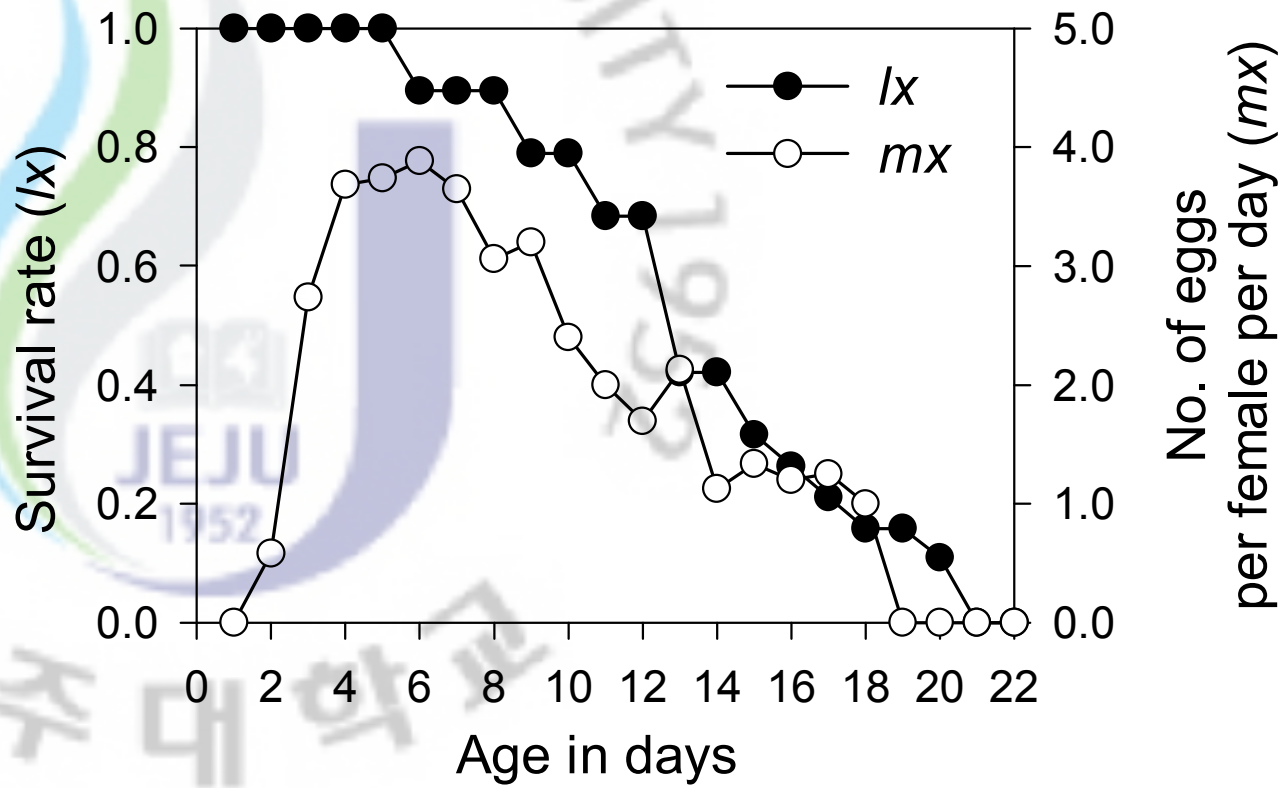


Fig. 5. Age-specific survival rate ( $l_x$ ) and age-specific fecundity ( $m_x$ ) of *Panonychus citri* on Lemon(레몬).

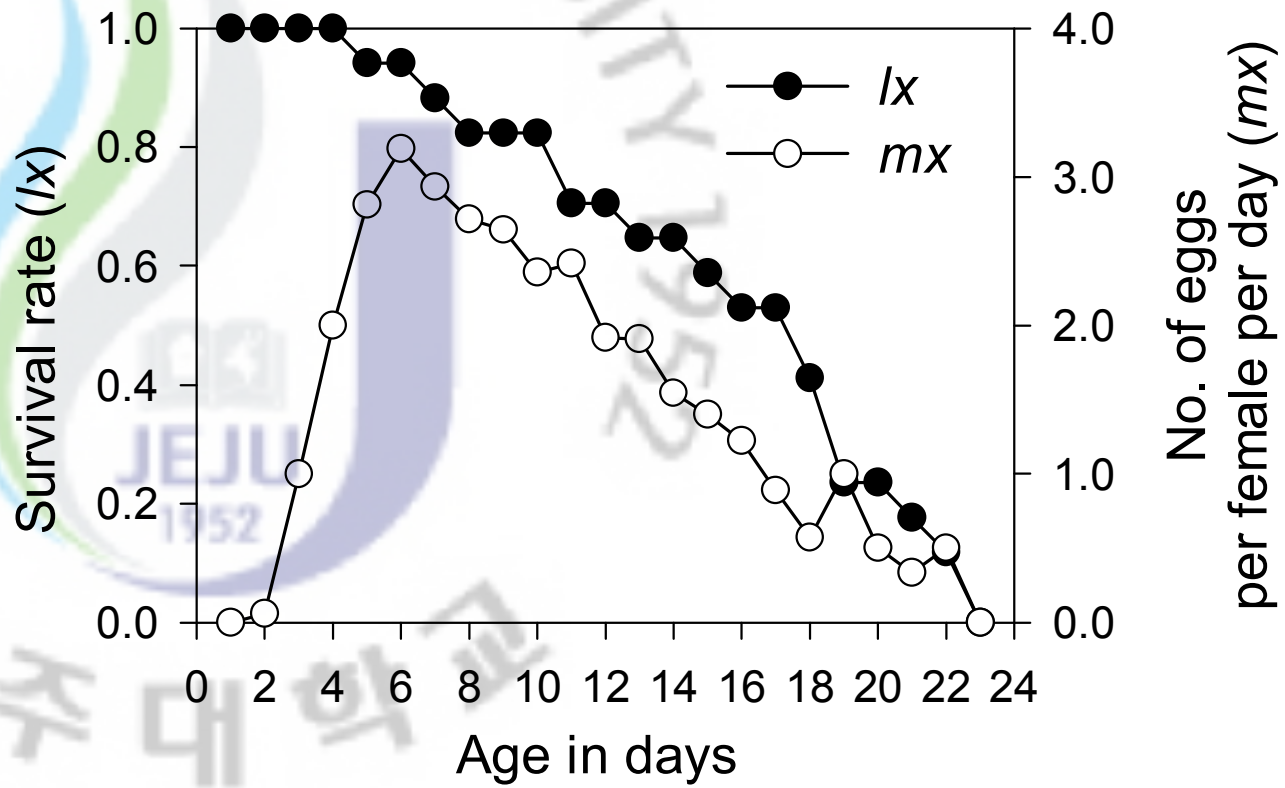


Fig. 6. Age-specific survival rate ( $l_x$ ) and age-specific fecundity ( $m_x$ ) of *Panonychus citri* on Kabusu(지각).

Table 4. Life table parameters of *Panonychus citri* on different species of citrus leaves(23 ± 1°C, 70 ± 10%, 16L8D).

Citrus species	GRR	$R_0$	$T$	$r$	$\lambda$	DT
Miyagawa (궁 천)	28.86	14.12	20.04	0.1321	1.14	5.25
Shiranui (부 지 화)	37.52	22.72	20.57	0.1519	1.16	4.56
Kiyomi (청 견)	24.89	11.33	18.94	0.1282	1.14	5.41
Setoka (세 또 카)	34.33	10.91	22.11	0.1056	1.11	6.57
Lemon (레 문)	27.06	16.00	19.87	0.1395	1.15	4.97
Kabusu (지 각)	23.15	14.80	22.90	0.1177	1.12	5.89

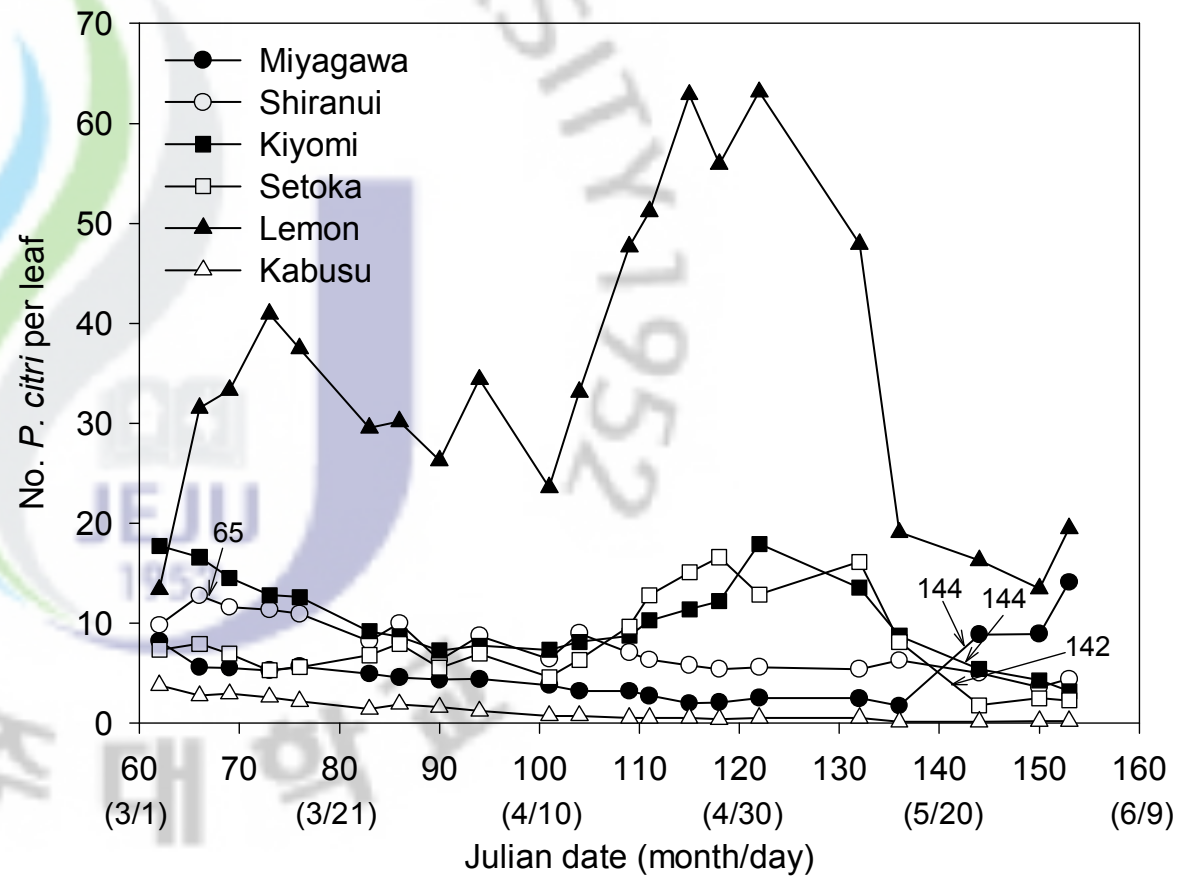


Fig. 7. Changes in population density of *Panonychus citri* on different species of citrus leaves in the field. The arrows indicate spraying time of machine oil the corresponding Julian dates.

Table 5. Inorganic nutrient contents on different species of citrus leaves.

Citrus species	Inorganic nutrients (Mean, %, ppm)									
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
Miyagawa (궁 천)	2.453	0.25	1.34	1.74	0.24	0.18	119.7	19.6	12.4	3.28
Shiranui (부 지 화)	2.282	0.12	0.95	2.37	0.28	0.07	107.3	25.1	27.5	2.41
Kiyomi (칭 견)	2.566	0.14	1.12	1.89	0.43	0.07	137.9	15.2	51.8	20.8
Setoka (세 또 카)	2.395	0.12	1.2	2.43	0.27	0.05	112.1	104.3	42.3	99.5
Lemon (레 문)	2.237	0.17	0.98	2.08	0.24	0.04	105.1	34.1	20.8	13.9
Kabusu (지 각)	2.121	0.14	0.59	3.36	0.34	0.05	115.2	47	17.1	5.59

Table 6. Pearson's correlation coefficient between development parameters of *Panonychus citri* and nutrient contents in citrus leaves.

Variable	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
Develop- ment	0.1028 (0.8464)	0.6824 (0.1353)	0.4622 (0.3560)	-0.1207 (0.8198)	-0.5575 (0.2504)	0.7572 (0.0813)	-0.1182 (0.8235)	0.2220 (0.6725)	-0.5089 (0.3026)	0.1365 (0.7966)
Fecun- dity	-0.4074 (0.4228)	-0.0409 (0.9388)	-0.2186 (0.6774)	0.0025 (0.9962)	-0.4059 (0.4246)	0.0445 (0.9333)	-0.5777 (0.2298)	-0.4164 (0.4115)	-0.4402 (0.3823)	-0.5558 (0.2521)

The values in parenthesis indicate statistical probability.

## 2. 행렬모형을 이용한 굴렁애 동태 예측

### 2-1 굴렁애 온도 발육관련 매개변수 추정

굴렁애 알, 유충, 제 1약충, 제 2약충 발육율과 온도와의 관계는 그림 8과 같았다. 모든 발육단계는 온도가 증가할수록 발육율은 증가하다가 고온에서는 오히려 발육율이 감소하는 전형적인 변온동물의 온도의존 발육양상을 보였다. 각 발육단계의 발육모형에 대한 추정된 매개변수 값은 표 7과 같았다. 상한 치사온도를 나타내는 매개변수인  $b$  값은 알  $37.3^{\circ}\text{C}$  ( $R^2=0.96$ ), 유충  $34.4^{\circ}\text{C}$  ( $R^2=0.92$ ), 제 1약충  $32.9^{\circ}\text{C}$  ( $R^2=0.95$ ), 제 2약충  $32.0^{\circ}\text{C}$  ( $R^2=0.92$ )로  $32^{\circ}\text{C}$ 에서  $37^{\circ}\text{C}$  사이에서 사망률이 증가함을 보여주었다.

온도와 성충수명 관계는 그림 9A와 같았다. 온도가 증가할수록 성충 발육율 즉 성충수명 완료율은 급격히 증가하였으며(즉 성충의 수명 감소), 반대로 저온에서는 감소하였다. 온도별 총 산란수 모형은 그림 9B와 같았으며, 약  $21.9^{\circ}\text{C}$ (매개변수  $b$ )에서 최대 산란수인 42.3(매개변수  $a$ )개를 보였다(표 8).

### 2-2. 개체군 밀도증가 추정 행렬모형 작성 및 포장적합

#### 1) 행렬모형 작성

굴렁애 각 발육단계별 온도발육모형, 성충 총산란수 모형 등의 매개변수를 이용하여  $25^{\circ}\text{C}$ 에서 전환행렬의 각 구성요소에 대한 확률을 추정하면 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix} 0.8513 & 0 & 0 & 0 & 2.0445 \\ 0.1487 & 0.4775 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5225 & 0.4440 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5560 & 0.5575 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4425 & 0.9418 \end{bmatrix}$$

즉  $M_i(t) = r_i(25) = 0.1487$ 이며, 따라서  $P_i(t) = 1 - 0.1487 = 0.8513$ 이 된다. 산란률 계수  $f(T_i)$ 는  $Fc(T_t) \cdot r_a(T_t)$  이므로  $0.0582 \times 35.1287 = 2.0445$ 가 된다. 이렇게 매일 평균온도를 바탕으로 전환행렬을 갱신함으로써 변온조건인 실제 야외조건에서 굴렁애의 개체군 밀도변동을 추정하는 것이 가능해진다. 어느 날( $t$ )의 평균온도가  $25^{\circ}\text{C}$ 이고 열벡터 즉 각 연령계급별 개체수가 다음과 같이 주어졌을 때(알=1; 유충=2; 제 1약충=3, 제 2약충=4; 성충=5마리), 다음 날( $t+1$ )의 개체 수는 다음과 같이



추정할 수 있다(성비=0.7; 각 발육단계 생존율 80% 가정).

$$\begin{bmatrix} 0.8513 & 0 & 0 & 0 & 2.0445 \\ 0.1487 & 0.4775 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5225 & 0.4440 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5560 & 0.5575 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4425 & 0.9418 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_e(t)=1 \\ n_l(t)=2 \\ n_{PN}(t)=3 \\ n_{DN}(t)=4 \\ n_A(t)=5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_e(t+1) \\ n_l(t+1) \\ n_{PN}(t+1) \\ n_{DN}(t+1) \\ n_A(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8.0 \\ 0.8 \\ 2.0 \\ 3.2 \\ 5.1 \end{bmatrix}$$

즉 t+1에서 알 수는  $0.8513 \times 1 + 0 \times 2 + 0 \times 3 + 0 \times 4 + 2.0445 \times 5 \times 0.7 = 8.0$ 이 되며, 유충 수 및 약충수도 같은 방법으로 계산할 수 있다. 여기서  $0.8513 \times 1$ 은 t 시간에 존재하는 알 중에서 다음 발육단계인 약충으로 발육하지 못하고 그대로 알 상태로 있는 개체수를 나타내고,  $0.0582 \times 0.7$ 은 성비가 0.7일 때 성충이 새로 낳는 알을 나타낸다. 시간 t+1에서 성충수는  $0 \times 1 + 0 \times 2 + 0 \times 3 + 0.4425 \times 4 + 0.9418 \times 5 \times 0.7 = 5.1$ 이 되는데,  $0.4425 \times 4$ 는 이전 발육단계인 약충에서 성충으로 전이 해오는 개체수를 표시하고  $0.9418 \times 5$ 는 t 시간에 존재하는 성충 중에서 죽지 않고 살아남은 수를 의미한다.

## 2) 행렬모형 포장적합

2004년 실제 감귤원에서 조사된 굴응애 실측밀도와 행렬모형으로 추정된 개체군 밀도를 비교하면 그림 10 및 11과 같다. 행렬모형의 결과는 전형적인 지수함수적인 개체군 성장모형을 보였다. 계절초기 저온기 적합결과에서 알 개체군의 경우는 약 30일까지 실측치와 예측치가 일치하였으며 그 후 차이가 벌어졌다(그림 10A). 약충개체군의 경우는 15일 이후부터 모형이 과대평가되었다(그림 10B). 성충개체군의 경우 처음에는 실측치와 예측치 간 차이가 있었으나 약 40일후에는 예측치가 실측치의 오차 범위 내에 있었다(그림 10C). 계절중후기 고온기 적합결과에서 알 개체군의 경우는 약 30일까지 실측치와 예측치 간 큰 차이가 없었다(그림 11A). 약충개체군의 경우는 모형 개시 초기부터 예측치와 실측치 간 차이가 있었다(그림 11B). 성충개체군의 경우 모형 개시 약 30일까지 실측치와 예측치 간 차이가 없었으며, 약 45일후도 큰 차이가 없었다.

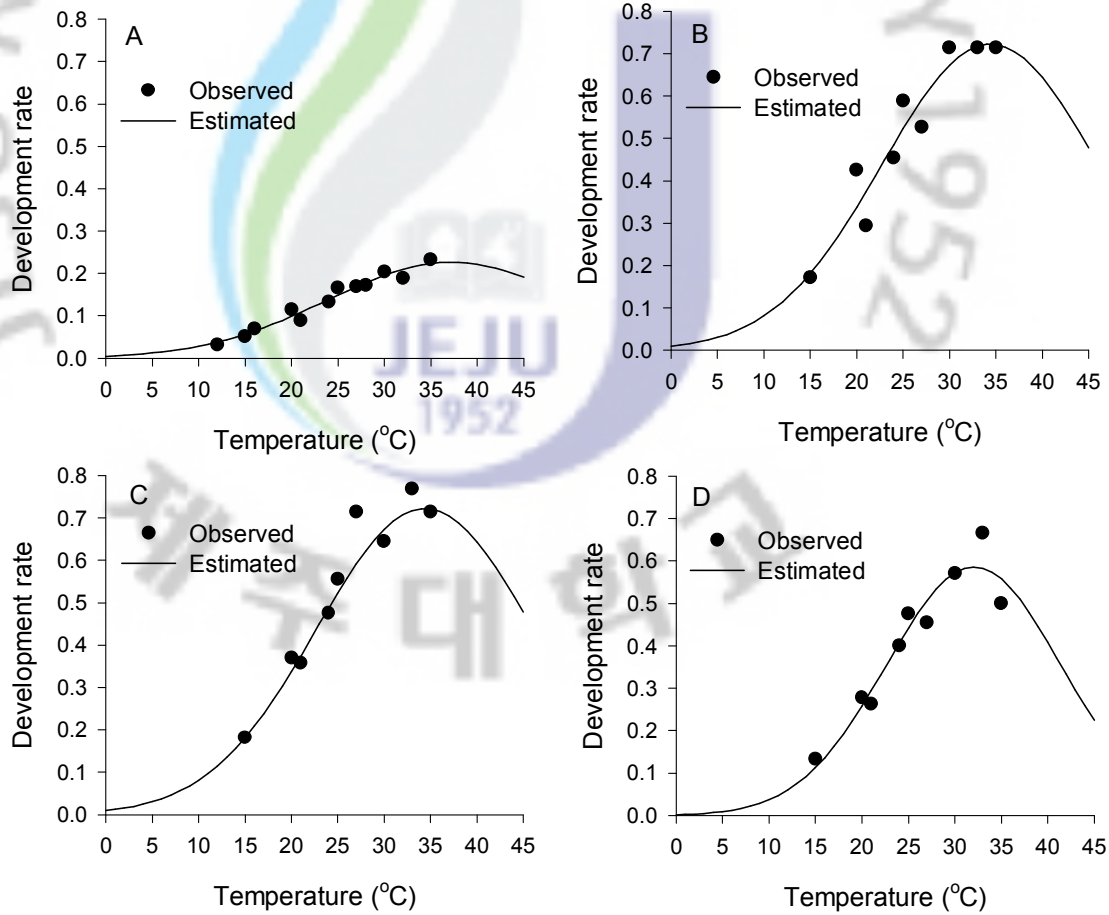


Fig. 8. Developmental rate curves of *Panonychus citri*, showing the relationship between temperatures and development rates. A = Eggs, B = Larvae, C = Protonymphs, and D = Deutonymphs.

Table 7. Estimated parameter values ( $\pm$  SEM) for development models of *Panonychus citri*.

Parameter	Egg	Larva	Protonymph	Deutonymph
<i>a</i>	0.2263 $\pm$ 0.01931	0.7222 $\pm$ 0.04729	0.7382 $\pm$ 0.0284	0.5862 $\pm$ 0.028122
<i>b</i>	37.2674 $\pm$ 3.19336	34.3895 $\pm$ 3.02193	32.8975 $\pm$ 1.51283	32.0328 $\pm$ 1.38700
<i>c</i>	13.3820 $\pm$ 1.95755	11.6693 $\pm$ 2.49551	10.4908 $\pm$ 1.41012	9.3791 $\pm$ 1.39111
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.96	0.92	0.95	0.92

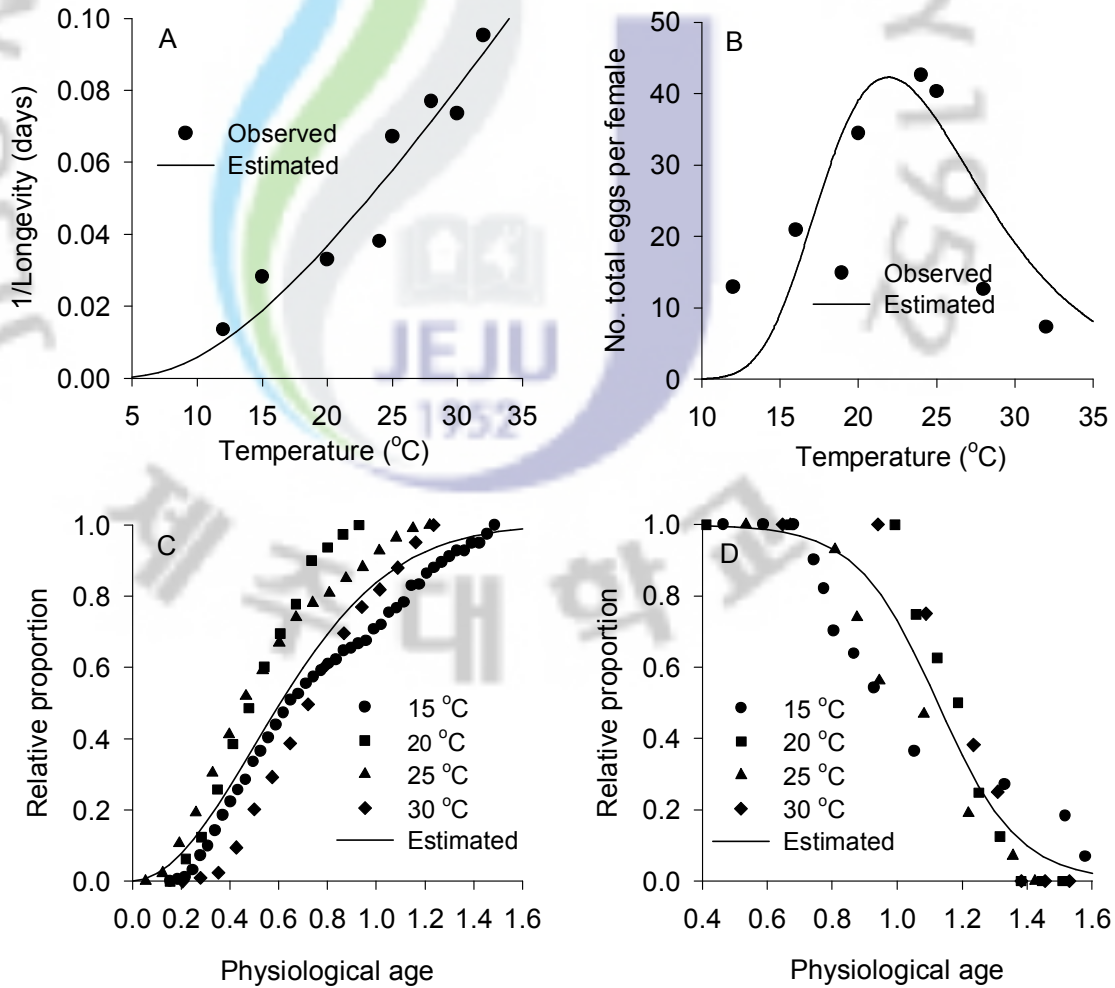


Fig. 9. Component models for oviposition model of *Panonychus citri*. A = Adult longevity completion rate, B = Temperature-dependent total fecundity, C = Age-specific cumulative oviposition rate, and D = Age-specific survival rate.

Table 8. Estimated parameter values for adult longevity completion rate(1/longevity), temperature-dependent total fecundity, age-specific oviposition rate, and age-specific survival rate of *Panonychus citri*.

Model	Parameter	Estimated	SEM	R <sup>2</sup>
Adult development (1/longevity)	$\alpha$	0.0058	0.00174	0.91
	$\beta$	22.8363	8.19534	
	$a$	42.3077	4.96578	
Total fecundity	$b$	21.9017	0.69451	0.86
	$c$	5.0806	0.76542	
	$\rho$	0.7338	0.01674	
Age-specific oviposition rate	$\eta$	1.9278	0.12768	0.89
	$\gamma$	1.1242	0.01221	
Age-specific survival rate	$\delta$	-0.1240	0.00956	0.96

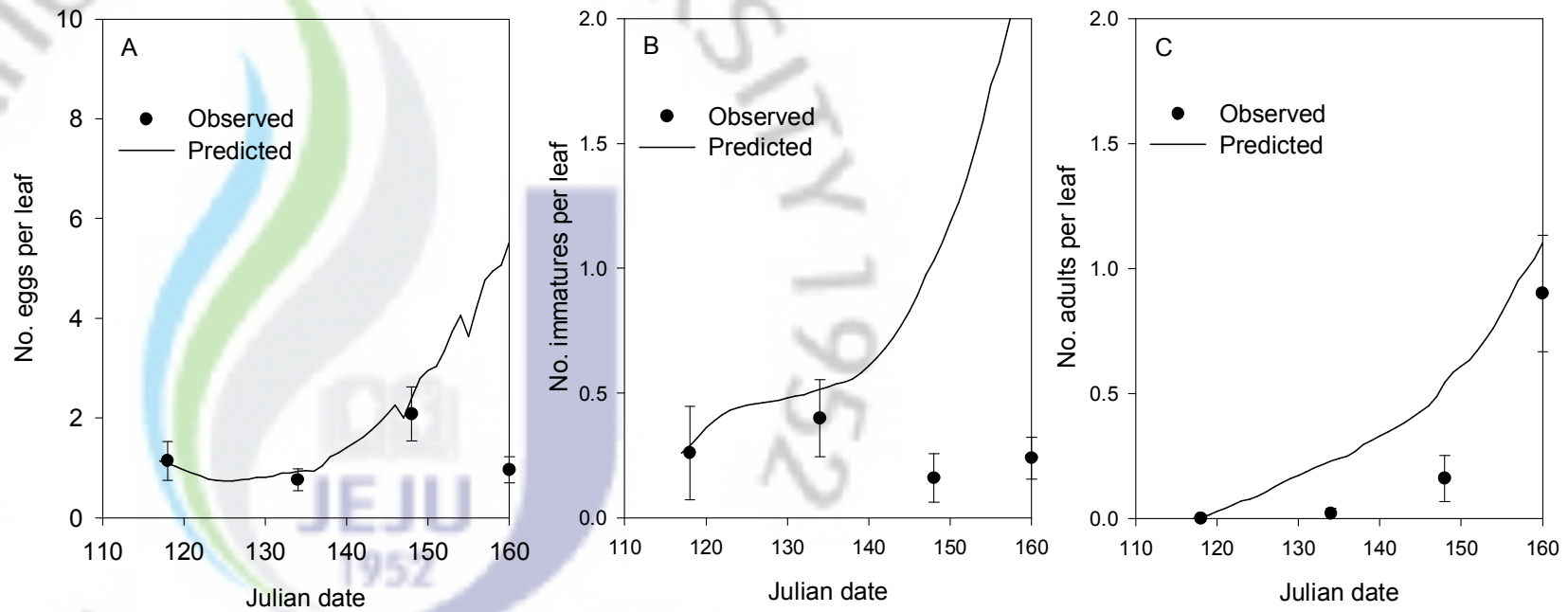


Fig. 10. Comparison of matrix model-predicted outputs with actual data in early season in 2004. The vertical bars on the figure indicate standard errors. A = Eggs, B = Total larvae, protonymphs and deutonymphs, and C = Adults.



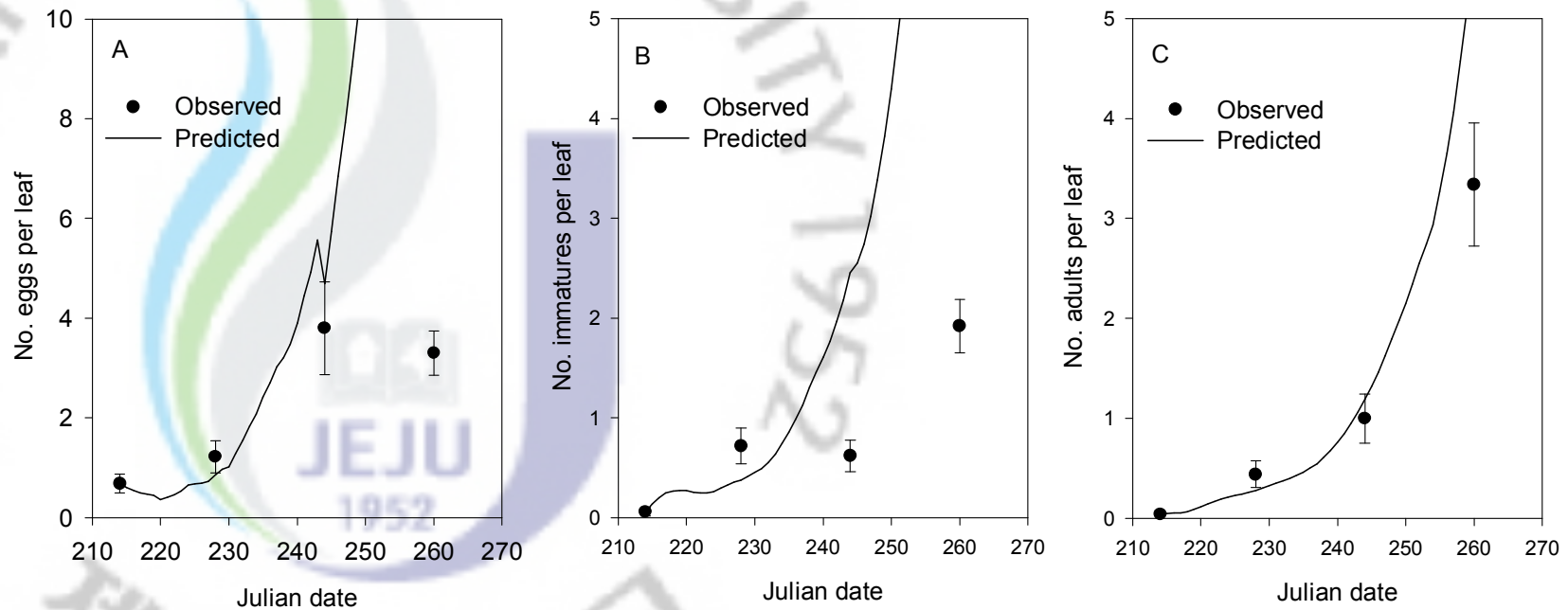


Fig. 11. Comparison of matrix model-predicted output with actual data in mid to late season in 2004. The vertical bars on the figure indicate standard errors. A = Eggs, B = Total larvae, protonymphs and deutonymphs, and C = Adults.

## V. 고찰

### 1. 감귤 종별 궤옹애 발육 및 생명표 통계량

#### 1) 궤옹애 발육특성

궤옹애의 계절적인 발생소장과 서식위치는 온도가 낮은 겨울에는 햇빛에 관계없이 90% 이상이 잎 뒷면에 존재하며, 온도가 상승함에 따라 잎 앞면에 존재하는 비율이 증가한다. 고온기에는 잎 표면에 궤옹애가 많이 분포하지만 직사광선을 받는 잎보다 그늘진 곳에 위치한 잎에 더 많이 분포한다(眞梶, 1959, 1963). 궤옹애는 궤나무 속만을 가해하는 해충으로 알려져 있는데, 아직까지 궤옹애에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 온주밀감에서의 발육기간을 보면 20℃, 22℃, 25℃, 28℃, 30℃, 32℃에서 21.9일, 18.1일, 14.5일, 11.7일, 10.3일, 9.1일로 온도가 높아질수록 발육기간이 짧아진다(Fukuda and Shinkaji, 1954; 眞梶, 1959). Fukuda and Shinkaji(1954) 등은 궤옹애 알의 발육영점온도는 8.01℃라고 보고하였고, Norizumi(1950)는 감귤을 먹이로 알에서 성충까지 발육기간이 25℃에서 9.4일, 28℃에서 8.4일이라고 보고하였으며, Yasada(1978, 1979)는 25℃, 16시간 명조건에서 알부터 성충까지 암컷은 10.86일, 수컷은 10.79일 이라고 보고하였다. 궤옹애의 부화율과 번식력을 고려하면 발육최적온도는 25℃라고 하였다. 또한 유자에서의 발육기간은 15℃, 20℃, 25℃, 30℃에서는 41.1일, 15.5일, 11.0일, 9.4일로 유자에서도 온도가 높아질수록 발육기간이 짧았다(최, 1998). 기존 발육 자료를 보면 저온에서의 발육기간은 실험자마다 차이가 있었는데 이것은 사육조건 및 실험 방법에서의 차이가 있을 것으로 판단된다. 본 실험에서 23℃조건 감귤 종별 궤옹애 발육실험에서는 궁천 15.4일, 부지화 13.7일, 청견 13.3일, 세또카 14.5일, 레몬 13.6일, 지각 14.1일 이었다. 비슷한 온도에서 실험한 온주밀감에서 궤옹애 발육기간이 약 21.9일로 궁천에 비해 전체적으로 모든 실험에서 발육기간은 빨랐지만 감귤 종간 발육기간에서는 차이가 있었다. 또한 유자에서는 발육기간에서 비슷한 경향을 보였다. 감귤 종별 발육 및 산란 실험에서 감귤 종간 차이가 있었고 성충생존율 및 산란패턴도 각각 다르게 나타났다. 감귤 종별 무기성분이 발육과 산란에 영향을 미치지 않는 것으로 판단되므로 사육조건 및 식물체의 다른 성분의 함량에 차이가 있을 것으로 판단되어진다. 야외에서 밀도 증가와 관련하여 많은 차이가 있는데 이는 기상, 천적, 응애습성 등의 영향으로 밀

도증가와 관련된 요소들이 있을 것으로 생각된다. 최근 제주도에서 시설재배가 본격화 되면서 하우스내 꿀응애 피해가 문제가 되고 있는데 이것은 강우에 영향을 받는 기상적인 요인을 차단하고, 시설재배로 인한 외부에서의 천적 유입이 차단되어 그 피해는 더 많을 것으로 판단된다. 본 발육실험에서는 여러 조건의 온도에서 병행하지 않아 감귤 중간 온도별 발육속도까지 알 수는 없었지만, 감귤 종별 꿀응애 산란패턴에는 다소 다르게 나타났다. 식물체의 왁스(Wax)층, 엽록소 함량 등의 세 부적인 실험은 추후 추가적인 연구를 통해 보완해야 할 부분으로 판단된다.

## 2) 꿀응애 산란습성

꿀응애 알의 크기는 매우 작으며 적색 타원형이며, 일반적으로 잎과 어린가에 알을 낳는다(Song, 2003). 감귤원에서 포장 조사결과 산란 위치를 보면 가지보다는 잎 뒷면에 집중 분포하고 있는 경향이 많았으며 우화한 약충은 다른 가지로 분산하고 있었다. 환경이 불리해지면 계속적인 정지기를 갖고 환경 조건이 좋아지면 즉 기온, 습도, 등 여러 가지 조건이 알맞으면 부화하여 활동을 시작하여 밀도가 증가되어 피해를 주기 시작했었다.

꿀응애는 암컷 성충이 11~14일 동안 평균 17~37개의 알을 낳는다는 보고가 있다(김, 1997). 감귤 중간 산란양 실험에서는 다양한 온도에서 실험을 수행하지 못하였지만 산란 실험 결과 각 감귤 중간 동일조건에서 부지화 잎을 먹고 자란 성충이 39.6개로 궁천에 비해 약 45%증가했음을 알 수 있었다.

## 3) 꿀응애 생명표 통계량

지금까지 제주도에서는 전적으로 꿀응애의 방제를 화학적 방제에 의존하고 있는데 이는 화학적 살충제의 남용으로 환경파괴, 약제 저항성 등 새로운 문제로 대두되기 시작했다(Song, 2003). 이러한 화학적 방제의 영향으로 꿀응애의 빠른 약제 저항성 등 새로운 문제 들이 나타나기 시작했다. 그리고 실제 농가에서도 정확한 해충 발생 예찰을 하지 않고 화학적 방제를 하고 있어 그 문제는 훨씬 심각한 수준이다. 꿀응애 약제를 살포하지 않은 노지감귤원에서 꿀응애는 4월 상순경부터 밀도가 증가하여, 연간 2회(4월 하순~6월 중순, 10월 하순~11월 상순)의 발생 최성기를 보인다고 보고되었다. 또한 노지 감귤원과 시설 감귤원에서의 연간 꿀응애 방제 횟수는 각각 2.4, 4.7회로 꿀응애를 방제하고 있는 것으로 나타났다(김, 2006).

그러나 최근 소비자들의 안전 농산물에 대한 요구 증가와 환경오염에 대한 인식이 생기면서 유기합성농약의 사용을 최소화 할 수 있는 방법들이 모색되고 있다.

최근 생물적 방제인자를 찾기 위해 3종의 이리응애(자생종 1종, 도입종 2종)의 굴응애 포식 능력을 검토하고 선발하였다(Kim et al, 2003). 하지만 이러한 생물적 방제도 기상환경이라는 변수가 있기 때문에 천적이 그 과원에 정착하기까지 많은 시간과 비용이 들것으로 판단되어진다. 따라서 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 이용한 방제시기를 적절히 파악하기 위해서는 수많은 생물적 매개 변수가 필요할 것으로 판단된다. 기존에 사용되고 있는 매개변수만으로는 한계가 있다. 그러므로 곤충의 생물적 특성, 기상환경, 천적, 재배조건 등의 더 많은 매개변수 값이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 제주에서 발생하고 있는 굴응애의 개체군 밀도변동을 예측하기 위해 굴응애 발육 및 산란 실험을 통해 개체군 연령별 생충율 및 연령별산란율을 구해 감귤 종별 발육특성을 알아보고자 생명표 통계량을 작성하였다. 야외에서 개체군 밀도 증가와 가장 직접적인 영향을 갖는 내적자연증가율((Intrinsic rate of natural increase)은 부지화와 레몬이 각각 0.1591, 0.1395로 높은 값을 나타냈으며, 세토카와 지각이 각각 0.1056, 0.1177로 그 값은 낮았다. 따라서 야외 포장조사에서도 레몬과 부지화가 밀도가 높게 형성될 것으로 예상되었고 세토카와 지각이 밀도가 낮을 것으로 예상되었다. 실제 감귤 종별 야외 포장 조사에서 레몬에서 높은 밀도를 형성하였지만 부지화에서는 밀도가 낮게 형성하고 있었다. 이는 조사 초기 기계유유제의 살포로 밀도가 증가하지 못하고 계속 낮게 형성한 것으로 판단된다.

또한 감귤 종간에 따라 발육 및 산란에 차이가 있었으므로 기온, 습도 등 기상 환경적인 변수를 제외한 식물체간 무기성분 함량에 차이가 있을 것이라는 가정에 감귤 종별 엽분석을 수행하였다. 그 결과 P, K, Na에서 정(+)상관관계를 보였지만, 통계적 유의성은 없었으므로 발육 및 산란에 관한 식물체별 무기성분에 따른 영향은 없는 것으로 생각되었다. 이것은 식물체의 다른 방어기작(식물의 물리적 방어작용, 화학적 방어작용 등), 기상 환경, 천적 등에 의한 영향이 작용하는 것으로 생각된다.

## 2. 행렬모형을 이용한 굴응애 개체군 동태 예측

굴응애의 개체군 동태를 분석하기 위하여 굴응애 연령군을 알, 유충, 제 1약

충, 제 2약충, 성충 등 5단계로 구분하여 행렬모형[발육단계 내포 행렬모형]을 작성하였다. 전환행렬의 각 구성요소의 확률은 앞에서 추정된 온도발육관련 매개변수를 이용하였다.

2004년 제주도 도련동 일반재배 포장에서 조사된 자료를 이용하여 실제 감귤원에서 조사된 귤응애 실측밀도와 행렬모형으로 추정하여 개체군 밀도를 비교하였다. 그 결과 알 및 성충 개체군은 약 30일까지 예측치와 실측치 간 큰 차이가 없었다. 약충 개체군 예측에서 다소 차이가 발생한 원인은 포장상태와는 다른 초기 밀도를 입력해서 나타나는 결과로 보인다. 즉 포장조사 자료가 알, 약충, 성충으로만 구분되어 있었으므로 모형에 초기 밀도를 입력할 때 약충 밀도를 유충, 제 1약충, 제 2약충으로 균등히 배분하여 입력하였다. 만일 정확한 초기 값을 입력하였다면 다른 결과가 나타났을 수 있다. 따라서 본 개발된 행렬모형을 이용하여 30일 내외의 단기간 동안은 귤응애의 개체군밀도 증가를 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 계절초기 저온기 및 계절중후기 고온기에 모두 단기예측이 가능하였으므로 어느 시기에든 적용할 수 있을 것이다. 하지만 더 정확하고 중장기 예측모형으로 사용하기 위해서는 매개변수들의 개선이 필요하고 생각된다. 즉 야외 상태에서 귤응애 개체군 밀도는 천적, 강우 등 환경조건, 기주식물, 기상요인과 관련된 귤응애의 생리적 반응 등 많은 요인에 영향을 받을 수 있다. 하지만 이러한 요인들이 본 행렬모형에는 고려되지 않았다. 행렬모형을 이용하여 보다 더 정확한 귤응애 밀도 예측을 위해서는 앞으로 더 많은 생물적 매개변수들이 추가되어야 할 것으로 판단된다.



## 적 요

귤응애(*Panonychus citri* McGregor)는 거미강 응애목 잎응애과에 속하며, 제주도 감귤에서 심각한 해충이다. 이 해충은 감귤의 잎과 열매에서 엽록소 등 식물체의 세포액을 흡즙하여 광합성 저해 및 조기 낙엽을 유발하며, 제주도에서는 연간 8~13세대 발생한다. 응애류의 개체군 동태를 분석하기 위한 다양한 형태의 컴퓨터 모형이 개발되었지만, 이러한 모형은 매우 복잡하고 생물적 매개변수가 필요하며, 그 매개변수를 추정하기 위해서는 수많은 실험 자료가 필요하다. 발육 및 산란 실험에서 얻어진 연령별 생존율과 연령별 산란율을 구하여 생명표 통계량을 작성하였다. 위의 자료를 이용하여 행렬모형을 작성하였고, 그 결과 다음과 같다.

1. 귤응애 발육 및 산란 실험에서 알 기간은 부지화, 청견, 레몬에서가 각각 7.7, 7.8, 7.5일로 빨리 발육하였고, 제 2약충 기간은 청견이 1.7일로 가장 빨랐으며, 전체기간(알에서 성충)은 청견이 13.3일로 가장 빨리 발육한 반면 궁천에서는 15.4일로 가장 늦게 발육하였다. 감귤 중별 산란 실험에서는 부지화가 39.6개, 레몬이 29.7개로 산란수가 많았고, 청견과 세토카에서 21.6, 21.1개로 산란수는 적었다.

2. 발육, 산란 실험의 자료를 이용하여 세대증가율, 평균세대기간, 내적자연증가율, 기간증가율, 개체군배가기간 등 생명표 통계량을 작성하였는데 야외포장에서 개체군 밀도증가에 가장 직접적인 요인을 갖고 있는 내적자연증가율은 부지화와 레몬이 각각 0.1519, 0.1395로 높았으며, 세토카와 지각이 각각 0.1056, 0.1177로 그 값은 낮았다.

3. 귤응애 발육 및 산란에 감귤의 무기원소 함량이 미치는지 알아보기 위해 엽분석을 실시하여 피어슨 상관계수로 검정한 결과 P, K, Na에서 정상관관계를 보였지만 통계적으로 유의성은 없었으므로 발육과 산란에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

4. 기존의 온도발육자료를 이용하여 온도발육 관련 매개변수 값을 추정하였다. 알, 유충, 제 1약충, 제 2약충의 발육모형은 온도의 증가에 따라 발육율이 증가하다가 고온에서는 감소하는 전형적인 절지동물의 발육곡선을 보였다. 또한 산란모형 작성에 필요한 온도별 총산란수 모형, 연령별 누적산란율모형, 연령별 생존율 모형의 매개변수 값을 각각 추정하였다.

5. 개체군 동태를 분석하기 위하여 상이한 연령군으로 구성된 행렬모형 [발



육단계 내포 행렬모형]을 작성하였다. 굴응애는 알, 유충, 제 1약충, 제 2약충, 성충 등 5단계로 구분하였으며, 발육단계별 온도발육 매개변수를 이용하여 전환행렬을 작성하였다.

6. 수립된 행렬모형의 포장적합 능력을 평가하기 위하여 실제 감귤원에서 조사된(2004년) 굴응애 실측밀도와 행렬모형으로 추정된 개체군 밀도를 비교하였다. 계절 초기 저온기와 계절중후기 고온기로 나누어 비교하였다. 행렬모형 결과는 전형적인 지수함수적 개체군 성장형태를 보였다. 실측치와 비교한 결과 알 및 성충 개체군은 계절초 및 중후기 모두 약 30일까지 예측치와 실측치 간 큰 차이가 없었다. 따라서 본 개발된 행렬모형을 이용하여 30일 내외의 단기간 동안은 굴응애의 개체군밀도 증가를 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

## VI. 인용 문헌

- Allen, J. C. 1976. A modified sine wave method for calculating day degrees. Environ. Entomol. 5: 388-396.
- Allen, J. C., Yang, Y. Y, and Knapp, J. L. 1995. Temperature effects on development and fecundity of the citrus rust mite (Acari: Eriophyidae). Environ. Entomol. 24: 996-1004.
- Arnold, C. Y. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. proc. Amer. Soc. Hortic. Sci. 74: 430-435.
- Bartlett, P. W. and A. W. A. Murray. 1986. Modeling adult survival in the laboratory of diapause and non-diapause colorado beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae) from Normandy, France. Ann. Appl. Biol. 108: 487-501.
- Baskerville, G. L. and P. Emin. 1969. Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. Ecology 50: 514-517.
- Berry, J. S., T. O. Holtzer and J. M. Norman. 1991. Mitesim - a simulation model for the banks grass mite (Acari: Tetranychidae) and the predatory mite, *Neoseiulus fallacis* (Acari: Phytoseiidae) on maize: model development and validation. Eco. Model. 53: 91-117.
- Birley, M. 1977. The estimation of insect density and instar survivorship functions from census data. J. Anim. Ecol. 46: 497-510.
- Bommarco, R. 2001. Using matrix models to explore the influence of temperature on population growth of arthropod pests. Agric. Forest. Entomol. 3: 275-283.
- Caswell, H. 2001. Matrix population models. Sinauer Asscoiate, Sunderland.
- Choi, D. S. 1997. Binomics and natural enemies of citrus red mite, *Panonychus citri* (Acarina: Tetranychidae) on Yuzu (Citrus junos). M. S. thesis, Chonnam Nat'l Univ. p. 31
- Choi, D. S. 2002. Biology and utilization of *Oligota kashmirica benefica* Naomi (Coleoptera: Staphylinidae), a predator of the citrus red mite. ph. D. thesis, Chonnam Nat'l Univ. p. 84.
- Clements, A. N. and Paterson, G. D. 1981. The analysis of mortality and survival

- rates in wild populations of mosquitoes. *J. Appl. Ecol.* 18: 373-399.
- Curry, G. L. and Feldman, R. M., 1987. *Mathematical Foundations of Population Dynamics*. Mono. Ser. 3. Tex. Eng. Exp. Stn., College Station, TX.
- Dover, M. J., B. A. Croft, S. M. Welch. and R. L. Trmmala. 1979. Biological control of *Panonychus ulmi* (Acarina: Tetranychidae) by *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiidae) on apples: a prey-predator model. *Environ. Entomol.* 8: 282-292.
- Eyring, H. 1935. The activated complex in chemical reactions. *J. Chem. Phys.* 3: 107-115.
- Flint, M. L. 1991. *Integrated pest management for citrus* (University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, no 3303). UC Regents. 2nd ed.
- Fukuda, J. and N. Shinkaji. 1954. Experimental studies on the influence of temperature and relative humidity up on the development of the Citrus red mite. 1. On the influence of temperature and relative humidity upon the development of the egg. *Bull. Hort. Stn. Tokai-kinki Agric. Exp. stn.* 2: 160-171.
- Gotoh, T., Y. Ishikawa and Y. Kitashima. 2003. Life-history traits of the six *Panonychus* species from Japan (Acari: Tetranychidae). *Exp. Appl. Acarol.* 29: 241-252.
- Hilbert, D. W. and J. A. Logan. 1983. Empirical model of nymphal development for migratory grasshopper, *Meldnophus sanguinipes* (Orthoptera: Acrididae). *Environ. Entomol.* 12: 1-5.
- Kasap I. 2009. The biology and fecundity of the citrus red mite *Panonychus citri* (McGREGOR) (Acari: Tetranychidae) at different temperatures under laboratory conditions. *Turk Agric For* 33: 593-600.
- Jandel Scientific. 1996. *TableCurve 2D. Automated curve fitting and equation discovery: version 4.0.* Jandel Scientific, San Rafael, CA.
- Kim, D. S. and J. H. Lee. 2003a. Oviposition model of overwintered adult *Tetranychus urticae*(Acari: Tetranychidae) and mite phenology on the ground cover in apple orchards. *Exp. Appl. Acarol.* 31: 191-209.
- Kim, D. S. and J. H. Lee. 2003b. Oviposition model of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae). *Eco. Model.* 162: 145-153.
- Kim. D. H. 1997. *Studies on Ecology of Panonychus citri* (McGregor) in Cheju island. 38pp. M. S. thesis. Cheju Nat'l Univ.
- 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, K .S, and D. S. Choi. 2000. Natural enemies of citrus red mite, *Panonychus citri*, and seasonal occurrence of major predators on Yuzu tree. Korean J. Appl. Entomol. 39: 13-19.
- Kim, D. H., Kim, K. S, Hyun, J. W. and Lim, H. C. 2003. Release Level of *Amblyseius citri* Garman (Acarina: Phytoseiidae) for Biological Control of *Panonychus citri* McGregor (Acari: Tetranychidae) on Citrus. Korean J. appl. Entomol. 42: 233-240
- Lefkovitch L. P. 1965. The study of population growth in organisms grouped by stages. Biometrics 21: 1 - 18.
- Logan, J. A., D. J. Wollkind, S. C. Hoyt. and L. K. Tanigoshi. 1976. An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. Environ. Entomol. 5: 1133-1140.
- Madden, L .V., Nault, L. R. Heady, S. E. and Styer, W. E., 1986. Effect of temperature on the population dynamics of three *Dalbulus leafhopper* species. Ann. Appl. Biol. 108: 475-485.
- McMurtry, J. A. 1985. Citrus. In W. Helle and W. Sabelis [eds.], Spider mites: their biology, natural enemies and control, vol. 1B. Elsevier, p. 339-347. Amsterdam.
- Norizumi, S. 1962. Studies on seasonal fluctuation of Citrus red mite. Tokai-kini National Agricultural Experiment Station. Horticulture 5: 143-166.
- Pruess, K. P. 1983. Day-degree methods for pest management. Environ. Entomol. 12: 613-619.
- Readshaw, J. L. and Van Gerwen, A. C. M. 1983. Age-specific survival, fecundity and fertility of the adult blowfly in relation to crowding, protein food and population cycles. J. Anim. Ecol, 52: 879-887.
- Richards, F. J., 1959. A flexible growth function for empirical use, J. Exp. Bot. 10: 290-300.
- SAS Institute 1999. SAS OnlineDoc<sup>®</sup>, Version 8, SAS Institute Inc. Cary, NC
- Saunt, J. 2000. An illustrated guide: Citrus varieties of the world. Sinclair International Limited, Norwich, English. P. 48-147.
- Shaffer, P. L., Gold, H. J. 1985. A simulation model of population dynamics of the

- codling moth, *Cydia pomonella*. Ecol. Model. 30, 247-274.
- Song J. H. 2003. Development of Optimum Sampling Plan of Citrus Red Mite Based on Its Spatial Distribution in Jujy Citrus Groves. thesis. Cheju Nat'l Univ.
- Takafuji. A. 1983. Diapause attributes and seasonal occurrences of two populations of the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGREGOR) on pear (Acarina: Tetranychidae). Entomological Laboratory, College of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606, Japan.
- Taylor, F. 1981. Ecology and evolution of physiological time in insects. Am. Nat. 117: 1-23.
- Yasuda, M. 1978. Reproduction and factors influencing dispersal of the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGREGOR) under laboratory conditions. Appl. Ent. Zool. 22: 12-17.
- Yasuda, M. 1979. Ecological studies on the reproduction and dispersal of the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGREGOR). Appl. Ent. Zool. 14: 310-318.
- Yasuda, M. 1982. Influence of temperature on some of the life cycle parameters of the Citrus Red Mite, *Panonychus citri* (McGREGOR) (Acari: Tetranychidae). Jap. J. Appl. Ent. Zool. 26: 52-57.
- 권혁모. 1979. 감귤 병해충에 관한 연구. 제주농업시험장시험연구결과보고서: 230-239.
- 김동순. 2005. 방임 과원 및 약제 살포 감귤원에서 포식성 응애류에 의한 귤응애 밀도억제 비교. 제주대학교 아열대농업생명과학연구지. 21: 21-27.
- 김동환, 1997. 제주도내 귤응애의 발생 생태에 관한연구, 제주대학교 원예학과 석사학위논문.
- 김동환, 문두길, 권혁모, 김광식. 1999. 감귤나무 수관내 귤응애(*Panonychus citri* Mcgregor) 분포비의 계절적 변동. 한국응용곤충학회지. p. 76
- 김동환, 김광식. 1999. 귤응애의 발생생태 및 방제법 연구. 시험연구보고서, 제주감귤시험장.
- 김동환, 2006. 시설 감귤원 귤응애의 생물적 방제를 위한 팔리시스이리응애의 생태적 특성과 이용에 관한 연구, 순천대학교 응용생물전공 박사학위논문.
- 송접흡, 이창훈, 강상훈, 김동환, 강시용, 류기중. 2001. 온주밀감에서 귤응애의 이항표본조사법 개발. 한국응용곤충학회지. 40: 197-202
- 오승협, 이평호, 황록연, 현재욱. 2010. 제주도 감귤원에서 채집된 귤응애들의 살비제에



- 대한 감수성 정도. 2010년도 한국응용곤충학회 추계학술발표회. p. 169
- 제주특별자치도 농업정책과. 2010 주요 농축산 현황. <http://www.JeJu.go.kr>
- 최덕수, 김규진. 유자에서 귤응애의 발생소장, 온도별 발육특성 및 방제 밀도별 피해정도. 한국응용곤충학회지. p. 193-198.
- 최덕수. 2006. 귤응애의 발생생태. <http://www.wjatc.go.kr/cd/main/농업기술정보총모음/data/과수/유자/병해충/귤응애의%20발생생태.htm> (2006년 12월).
- 梁桓承, 李斗珩, 李什燦. 1993. 三訂 新農藥. 郷文社: 251-255.
- 眞梶徳純. 1959. ミカンハダニの發生に及ぼす温濕度の影響, II. 孵化以後の發育形態に及ぼす温濕度の影響. 東海近畿農試研報. 5: 129-142.
- 眞梶徳純. 1963. ミカンハダニの生息活動について. 園藝農試研報 1: 192~05.
- 眞梶徳純, 浜村撤三, 芦原 亘, 井上晃一. 1984. ミカンハダニの殺だに濟珉抗成に關する研究. ミカンハダニのベンヅメート低抗性の地域による發達の相違. 日本植物防疫協會: 14-19.



## 감사의 글

포기하고 싶은 날도 많았습니다. 하지만 2년 전 꿈과 열정을 갖고 입학하던 때의 저의 모습을 생각하면서 초심으로 돌아왔습니다. 그 동안 크고 작은 일들이 많았지만 흔들릴 때마다 옆에서 지켜봐주시고 조언해 주신 모든 분 들께 진심으로 감사의 마음을 전합니다.

먼저 2년의 대학원 생활과 이 논문이 완성되기까지 모든 과정을 지켜봐 주시고 부족한 제자를 물심양면으로 지도해주신 김동순 지도교수님께 깊이 감사드립니다. 바쁘신 와중에도 부족한 저의 논문을 심사해주신 강영길 교수님, 송창길 교수님, 현해남 교수님, 전용철 교수님, 김주성 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

부족한 제 논문에 대해 지속적인 관심을 가져주시고 끝까지 검토를 해주신 제주도 농업기술원 송정흡 박사님 감사드립니다. 그리고 온난화대응농업연구센터장이신 임한철 소장님, 아낌없는 자료를 지원해주신 김동환 연구관님, 이 논문에 대해 지속적인 관심을 가져주시신 서형호 연구관님, 좌재호 연구사님, 문경환 연구사님께 깊은 감사를 드립니다. 항상 2% 부족한 저를 위해 언제나 열정을 다하여 충고와 관심을 가져 주신 최경산 연구사님 진심으로 감사의 말씀을 전합니다.

또한 학부 때부터 많은 관심과 조언을 가져주시신 저의 정신적 지주 박성준 선생님, 이충선 선생님께 감사드립니다. 그리고 우리 곤충학실험실 장용석, 김용근, 양경식, 이영돈, 현승용, 강성혁, 황록연 선배님들, 항상 굿은일을 도맡아 하는 김수빈 후배님께 감사드리고, 학과조교 송진영, 하영삼, 고우리 선생님께 감사의 글을 전합니다. 그리고 영향평가실 가족분들 김형순, 강권수, 고영주, 임유정, 이지윤, 문경환, 전옥경 선생님들께 감사드리고, 논문 쓰느라 정신없는 와중에 술 마시러 가자고 유혹하는 상협, 혁만, 영완, 지훈, 성환, 명수, 명희 선생님들 아주 빠 속 깊이 감사드립니다. 운영지원팀 자칭 축구계의 메시 김영관 선생님, 김용순 선생님, 자기 일처럼 언제나 나를 도와주었던 선미, 모두 감사드립니다.

지금은 서울에서 열심히 직장 다니면서 열심히 돈 벌고 있는 나의 영원한 물주 죽마고우 영기, 부산에서 생활하는 한솔, 남주고등학교 양숙 맹섭, 인득, 이제는 서로가 바빠 서로 얼굴 보기 힘든 승환, 승철, 은규, 서한에게 자주 연락하지 못한 미안한 마음과 감사의 말을 전합니다.

제주대학교 봉사동아리 보통사람들 32기 동기들 광자, 미영, 안나, 혜란에게 감사하고, 우리 양. 창. 봉. 이. 클럽 지현, 창림, 조봉, 정용, 아직은 준회원인 고보필 정회원 될 수 있게 분발하고, 언제나 감사하다고 전하고 싶습니다.

제주대학교 농학과 원우회, 식물자원환경전공 과 동기들에게 감사의 말을 전하고 싶습니다.

그리고 중국에서의 인연 민형이형, 그 인연안의 또 다른 인연 유주인 선생님, 강원도 시골아이 근화에게도 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 세상에서 가장 소중한 가족들, 누이 내외와 사랑하는 나의 첫 조카 수

현, 그리고 말없이 언제나 든든하게 버티고 서있는 형, 언제나 아들 걱정으로 애를 쓰시는 세상에서 가장 사랑하는 아버지, 어머니께 이 논문을 바칩니다.

