

꼬마배나무이 (*Cacopsylla pyricola* (Foerster)) 발생소장 및 온도별 발육기간

Population Trends and Temperature-Dependent Development of Pear Psylla, *Cacopsylla pyricola* (Foerster) (Homoptera: Psyllidae)

김동순 · 조명래 · 전흥용 · 임명순 · 이준호¹

Dong-Soon Kim, Myoung-Rae Cho, Heung-Yong Jeon,
Myoung-Soon Yiem and Joon-Ho Lee¹

Abstract - Two Psyllidae species of *Cacopsylla pyricola* (Foerster) and *C. pyrisuga* (Foerster) damaging pear trees have been reported in Korea. However, their ecological characteristics and damage patterns have not been evaluated yet. To establish basic control measures of *C. pyricola*, field phenology, overwintering ecology, seasonal fluctuation and temperature-dependent development of *C. pyricola* were examined. *C. pyricola* overwintered under the bark scale of pear trees as winter form adults and they moved to fruiting twigs from mid-February. Honeydew produced by *C. pyricola* nymphs and adults as they feed caused serious black sooty mold on leaves and fruits. The seasonal occurrence of *C. pyricola* was different every year. In 1993, characterized by cold temperature and heavy precipitation, *C. pyricola* population was maintained highly during growing season. However, the population was decreased rapidly from early July in 1994, year of hot and dry weather condition. In 1995, year of average temperature, the density of *C. pyricola* population was decreased during hot months of July and August, and rebuilt up in September and October. The development periods of *C. pyricola* eggs were 13.33 days at 15°C, 9.32 days at 20°C, 7.82 days at 25°C, 6.60 days at 30°C, and 7.75 days at 35°C. The development periods of nymphs were 33.75 days at 15°C, 23.77 days at 20°C, 15.21 days at 25°C, and 17.40 days at 30°C. Their development periods and mortalities were increased in higher temperatures. The parameters of nonlinear development model, Weibull and linear development models of *Cacopsylla pyricola* were estimated.

Key Words - *Cacopsylla pyricola*, Population trend, Pear, Temperature-dependent development

초 록 - 지금까지 우리 나라에서 배를 가해하는 나무이과(Psyllidae) 해충은 배나무이 (*Cacopsylla pyrisuga*)와 꼬마배나무이 (*C. pyricola*) 두 종으로 알려져 있었으나, 정확한 생태가 아직 밝혀지지 않았다. 본 연구는 꼬마배나무이의 생태를 구명하여 방제기초 자료를 마련하고자 월동생태 및 발생소장, 온도발육 실험 등을 수행하였다. 꼬마배나무이는 겨울형 성충태로 배나무 거친 껍질 밑에서 월동하였으며, 월동성충은 2월 중순경부터 활동을 시작하였다. 성충과 약충이 배나무 잎이나 과실을 흡즙하면서 그을음병을 유발시켜 피해가 발생하였다. 꼬마배나무이의 포장발생 정도는 이상저온이었던 1993년에는 연중 다발생 되었고, 한발고온이었던 1994년에는 7월 이후 발생이 급격히 감소하였으며, 기온이 평년수준이었던 1995년에는 7~8월에 발생이 감소하는 경향이었으나 9, 10월 발생이 다시 증가하는 특성을 보였다. 꼬마배나무이 알의 온도별 발육기간은 15, 20, 25,

원예연구소 원예환경과 (Horticultural Environment Division of National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 441-440, Korea)

¹ 서울대학교 농업생명과학대학 농생명공학부 (Major in Entomology, School of Agricultural Biotechnology, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suwon, 441-744, Korea)

30, 35°C에서 각각 13.33, 9.32, 7.82, 6.60, 7.75일 이었으며, 1령에서 5령까지 온도별 발육기간은 15, 20, 25, 30°C에서 각각 33.75, 23.77, 15.21, 17.40일 이었다. 고온영역에서 꼬마배나무이의 발육기간은 증가하였고 사망률도 증가하였다. 또한 온도와 꼬마배나무이 발육율과의 관계를 비선형 발육모형과 선형발육모형을 통하여 검토하였다.

검색어 - 꼬마배나무이, *Cacopsylla pyricola*, 발생소장, 배, 온도발육

꼬마배나무이 학명은 처음에는 *Psylla pyricola* Foerster로 명명되었으나 후에 *Cacopsylla pyricola* (Foerster, 1848)로 속명이 변경되었다. 꼬마배나무이는 미국, 캐나다 등 북미지역에서 문제해충으로 알려져 있으며, 근연종인 *C. pyri* (L.)는 주로 유럽에서 문제해충으로 알려져 있다 (Etienne *et al.*, 1992). 우리 나라에서 배나무를 가해하는 나무이과 (Psyllidae) 해충은 배나무이와 꼬마배나무이 등 두 종이 기록되어 있으며, 각각 *Psylla pyrisuga* Foerster와 *P. pyricola* Foerster로 학명을 기재하고 있다 (The Entom. Soc. Kor. and Korean Soc. Appl. Entom., 1994). 따라서 본 논문에서는 최근 변경된 속명에 따라 꼬마배나무이의 학명을 *Cacopsylla pyricola* (Foerster)로 표기하고자 한다.

꼬마배나무이 성충은 여름철 생육기에 나타나는 여름형과 월동형인 겨울형의 형태가 매우 달라 과거에는 다른 종으로 오인되기도 하였다. 여름형 성충은 연한 녹색이나 녹색갈색으로 몸길이가 2.0 mm 가량 되며 날개는 반투명한 녹색이다. 반면 겨울형 성충은 몸체가 흑갈색으로 흑색에 가까우며 몸길이가 2.5 mm로 여름형 보다 길고, 날개는 시맥을 제외하고는 투명한 특징이 있다 (Beers *et al.*, 1993). 이러한 외형적 특징으로 꼬마배나무이의 여름형과 겨울형 성충은 쉽게 구별된다. 꼬마배나무이와 배나무에서 발생하는 다른 나무이류 해충과의 구별은 여름형인 경우 외형적으로 유사하기 때문에 분류형질을 비교해야만 가능하다. 그러나 월동형인 경우에는 꼬마배나무이 겨울형 성충 앞날개 중앙 윗부분에 엷은 흑색반점이 있어서 다른 종과 쉽게 구별할 수 있는 것으로 알려져 있다 (Mustafa and Hodgson, 1984; Beers *et al.*, 1993).

꼬마배나무이는 약충과 성충이 배나무의 어린잎, 꽃봉오리, 과실 등을 흡즙하여 1차적 피해를 준다. 또한 감로를 분비하여 그을음병을 유발하기 때문에 잎의 광합성 능력을 저해하여 2차적 피해를 준다. 더 나아가 과실을 가해하는 경우 그을음병을 유발시켜 과실의 상품가치를 떨어뜨리거나 과실의 저장력을 약화시키는 것으로 알려져 있다 (Alden and Seney, 1991). 유럽과 북미 등 외국의 경우 꼬마배나무이가 마이코플라즈마병을 매개하여 서양배에 치명적인 피해 (pear decline)를 주는 것으로 알려져 있으며, 약제저항성이 쉽게 발달하기 때문에 방제가 어렵다 (Burts, 1970; Mustafa and Hodgson, 1984; Follett *et al.*, 1985).

우리나라에서 꼬마배나무에 대한 보고는 부분적인 휴면생태 연구 (An *et al.*, 1996) 이외에 구체적으로 연구된 자료가 없는 상태이다. 다만 배나무이 (*C. pyrisuga*)는 과원 주변 잡초에서 성충 형태로 월동하고 봄철 배과원으로 비래하여 배나무를 가해하다가 1회 발생후 다른 중간기주로 이동하는 것으로 알려져 있으며, 봄철 이후에는 배나무에서 더 이상 발생하지 않기 때문에 큰 피해를 주지는 않는 것으로 알려져 있다 (Kim *et al.*, 1995). 현재까지는 농업기술센터의 지도사나 관련 연구자들은 꼬마배나무이와 배나무이의 생태를 구분하지 않고, 문헌에 기록된 배나무이 발생생태 자료를 기초로 배재배농가의 배나무이류 방제를 지도하였다. 그 결과 배과원에서의 실제적인 배나무이류 발생생태와 자료상의 지도내용이 상이하여 농가들로부터 많은 민원이 제기되기도 하였다. 1993년에는 주요 배 재배지역에서 배나무이류가 봄철부터 가을까지 계속 발생하여 피해를 주는 것으로 조사된 바 있다 (Kim D. S., unpublished observation).

따라서 본 연구는 우리나라 배과원에서 다발생하고 있는 꼬마배나무이의 포장 발생생태와 온도발육을 구명하여 방제대책의 기초 자료를 마련하고자 수행하였다.

재료 및 방법

배과원에서 발생생태 조사

서식부위 및 피해증상 등 기초생태 관찰 : 1993년부터 1995년까지 부정기적으로 시기별 꼬마배나무이의 서식부위 및 피해증상 등 기초생태를 관찰하였다. 관찰은 경기도 수원시 이목동 원예연구소 배과원과 안성시 공도면 양기리 일반 농가의 배과원에서 각각 실시하였다.

월동생태 조사 : 배과원에서 꼬마배나무이의 월동처를 확인하기 위하여 1993년과 1994년 2월상순 원예연구소 (수원시 이목동) 배과원에서 배나무 거친껍질 밑, 배나무 단과지, 지면잡초, 낙엽 등에 있는 월동형 성충을 조사하였다. 배나무 거친껍질 밑은 주지 및 부주지 분기점의 껍질이 들떠있는 부분을 찾아서 주당 3지점 5주에서 총 15지점을 조사하였다. 단과지는 주당 20개씩 5주에서 총 100개를 조사하였다. 잡초에서는 과원 지면에서 무작위로 잡초 20포기를 채취하여

조사하였으며, 낙엽에서는 10개 지점을 임의로 선정하고 한 지점 당 50엽을 임의로 채취하여 조사하였다.

월동후 꼬마배나무이의 활동시기를 구명하기 위하여 1994년 2월 상순부터 3월하순까지 배나무 거친껍질 밑과 배나무 지상부 과실이 맺히는 단과지에서 시기별로 밀도변화를 조사하였다. 조사방법 및 표본수는 월동생태 조사와 동일하였다. 월동처 조사결과 주 월동처가 배나무 거친껍질 밑이었으므로 거친껍질 밑에서 밀도감소는 월동중인 성충이 산란을 위하여 지상부의 단과지로 이동하는 것으로 판단하였다. 조사방법은 월동처 조사와 동일한 방법이었으며 2월 상순에서 3월 하순까지 시기별로 조사하였다.

발생소장 조사 : 꼬마배나무이의 배 생육기 발생소장을 구명하기 위하여 1993년부터 1995년까지 3년간 원예연구소 배과원에서 시기별 발생밀도를 조사하였다. 조사방법은 주당 20엽씩 5주에서 총 100엽을 임의로 선택하여 5월부터 10월까지 월 3회 조사하였다. 밀도조사시 성충과 약충을 구분하였으며 9월부터는 월동형 성충도 구분하여 조사하였다. 잎이 완전히 전개되지 않은 5월 이전에는 주당 20개씩 5주에서 총 100개 단과지에 있는 월동형 성충만을 조사하였다.

온도별 발육기간 분석

온도별 발육기간 조사 : 실험에 이용된 꼬마배나무이는 1995년 2월 상순 원예연구소 배과원에서 직접 채집하였다. 채집한 월동형 성충은 휴지중인 배나무(품종: 신고) 1년생가지를 잘라 물에 꽃은 후 여기서 싹터 나온 잎에 접종하여 유지시켰다(Fye, 1981). 꼬마배나무이 온도별 발육은 휴지중인 배나무 1년생가지를 15 cm 길이로 잘라 싹을 틔운 다음 한 개의 잎만을 남기고 모두 제거하고 실시하였다. 알 발육기간은 위와 같이 준비된 배나무 잎에 월동형 성충을 접종하여 충분히 산란시킨 후 60개의 알이 되도록 조절하여 수행하였다. 이때 산란을 시작한 월동형 성충만을 접종하여 24시간 이내에 산란된 알만을 이용하였다. 약충의 발육기간 조사를 위하여 갓 부화된 약충을 가는 붓을 이용하여 엽당 1마리씩 접종하였으며 온도별 총 30마리를 반복하였다. 꼬마배나무이를 접종한 배나무 가지를 물에 흠뻑 적신 압축스폰지(오아시스)에 꽂아서 아크릴 케이스(W17×L23×H22 cm)로 씌운 다음 15, 20, 25, 30, 35±1°C로 온도가 조절된 항온기에 처리하였다. 광조건은 L:D=16:8h로 하였다. 각 영기는 탈피각을 이용하여 확인하였으며 매일 09:00~12:00 사이에 발육상황을 조사하였다.

자료분석 : 온도와 발육기간 관계는 비선형발육모형과 선형발육모형을 이용하여 분석하였다. 비선형발육모형은 비선형회귀분석을 통하여 매개변수(parameter)

를 추정할 수 있도록 수정된 Schoolfield *et al.*(1981)의 생물리적 모형(biophysical model)을 이용하였다. 이 모형은 Eyring (1935), Johnson and Lewin (1946) 등의 온도와 효소반응 및 생물리적 이론 모형을 기초로 Sharpe and DeMichele (1977)이 종합한 모형이다. 국내에서는 가루까지벌레 월동알 예측모형과 담배나방 온도발육 분석에 이용된 바 있다(Jeon *et al.*, 1996; Han, 1993). 이 모형은 한 생물의 발육이 온도와 밀접히 관련된 1개의 효소에 의하여 조절된다는 것을 가정하고 있으며 다음식과 같다.

$$r(T) = \frac{RHO25 \frac{T}{298.15} \exp\left[\frac{HA}{R} \left(\frac{1}{298.15} - \frac{1}{T}\right)\right]}{1 + \exp\left[\frac{HL}{R} \left(\frac{1}{TL} - \frac{1}{T}\right)\right] + \exp\left[\frac{HH}{R} \left(\frac{1}{TH} - \frac{1}{T}\right)\right]}$$

여기서 r(T)는 절대온도 °K에서 발육속도(1/발육기간), R은 기체상수(1.987 cal degree⁻¹ mole⁻¹), RHO25는 25°C에서 발육속도, HA는 발육에 관여하는 속도 조절효소가 촉매하는 반응의 활성화 엔탈피, TL는 속도 조절효소가 저온영역에서 50% 활성을 나타내는 온도(°K), HL은 속도 조절효소가 저온영역에서 50% 활성화되는 것과 관련된 엔탈피의 변화, TH는 속도 조절효소가 고온영역에서 50% 활성이 저해되는 것과 관련된 엔탈피의 변화를 의미한다. 각 매개변수 추정은 Wagner *et al.*(1984)이 제시한 SAS프로그램을 이용하였다(SAS Institute, 1995).

꼬마배나무이 각 발육단계의 발육완료시기 분포모형은 각 발육기간의 빈도분포를 표준화시켜 얻었다. 즉 각 온도에서 평균발육기간을 이용 발육기간의 누적빈도를 구하고, 아래의 Weibull 함수(Curry *et al.*, 1978)에 적용시켜 정규화된 발육완료시기 분포를 얻었다.

$$F(x) = 100(1 - \exp(-[(x - \gamma)/\eta]^\beta))$$

여기서 F(x)는 정규화된 시간 x에서 발육을 완료한 개체들의 비율이며, η, β, γ는 추정되어야 할 매개변수이다. 매개변수의 추정은 TableCurve (Jandel, 1996)을 이용하였다.

선형발육모형은 처리온도와 발육율(1/발육기간)간의 직선회귀식을 이용하였다. 이 때 온도구간은 비선형발육모형에서 발육율이 직선적으로 변화는 구간만을 선택하였다. 이 식으로부터 발육율이 0이 되는 온도를 추정하여 발육영점온도를 구하였다. 각 발육단계 완성에 필요한 적산온도는 직선회귀식 기울기에 역수를 취하여 추정하였다.

결과 및 고찰

서식부위 및 피해증상 등 기초생태 관찰

2월 중순이후 월동처에서 배나무 지상부의 단과지로 이동한 꼬마배나무이는 햇빛이 잘 드는 가지에서 주로 발견되었다. 2월 하순부터 꼬미하는 모습이 관찰되었고 3월 중순부터는 산란된 알이 발견되었다. 월동형 성충의 산란장소는 주로 단과지에 있는 눈의 기부나 손가락 굽기의 가지였으며, 알은 일렬로 가지를 빙 돌아가며 낳았다. 월동형 성충이 산란한 알은 개화전인 4월 중순경부터 부화하기 시작하였으며, 갓 부화된 약충은 배나무 개화전후까지 과정틈이나 엽병틈에 정착하였다. 배나무 개화기 무렵부터 꼬마배나무이가 서식하고 있는 부분에는 감로와 흰 납물질이 관찰되었다.

배나무 낙화후 잎이 전개되고 과실이 착과됨에 따라 꼬마배나무이는 잎과 과실로 이동하여 흡즙하였다. 잎에서는 주로 뒷면의 엽맥주위에 정착하였으나 밀도가 높은 경우에는 잎 표면에서도 흡즙하였다. 봉지를 찢지 않은 과실에서는 주로 꽃받침 부분에 정착하였고, 봉지를 찢은 과실의 경우에는 위치에 상관없이 과실전체에서 발견되었다. 꼬마배나무이 3령 약충기부터는 감로의 분비량이 증가하였으며 분비된 감로속에서 몸을 보호하고 흡즙하였다. 또한 이 때부터 실모양의 납물질 분비도 증가하였다. 시간이 지남에 따라 꼬마배나무이가 서식하는 잎이나 과실은 6월 중하순부터 심하게 그을음병이 발생되기 시작하였다.

5월 중순부터 여름형 성충이 발생되기 시작하였으며 잎자루(엽병), 잎의 가장자리, 엽맥 주위, 신초 줄기 등에 산란하였다. 알은 한 쪽이 가는 타원형으로 쌀알같이 생겼으며 처음에는 유백색이나 부화기로 갈수록 황적색으로 변하였다. 약충은 납작한 타원형으로 알에서 갓 부화했을 때는 유백색이나 시간이 지날수록 황색을 띠었다. 3령기부터 날개돌기가 가슴 양쪽 가장자리에 나타나고 녹색으로 변하였다. 5령기에는 날개돌기가 진하게 착색되고 몸이 경화되었으며 몸색깔도 진하게 적갈색으로 되었다.

배재배 농가에서는 흰 납물질을 분비하거나 감로를 분비하여 그을음병을 유발하는 배나무면충, 가루각지벌레, 조팝나무진딧물 등과 꼬마배나무이의 피해를 혼동하는 경우가 있으나 몇가지 점에서 차이가 있었다. 배나무면충 피해엽은 잎의 끝 부분이 두터워지면서 뒤쪽으로 말리고, 말린 부분 속에 흰 납물질과 감로가 분비되어 있는 상태로 나타난다. 또한 피해잎에서 감로가 밑의 잎으로 촛물같이 떨어져 아래 잎에 그을음병이 심하게 유발된다. 가루각지벌레는 잎보다는 줄기의 거친껍질 밑 새로 나온 조직이나 과실을 가해하

며, 납물질이 몸 표면에 흰 가루를 덮어 쓴 것 같이 나타난다. 다만 산란기 때 난괴를 보호하기 위하여 다량의 납물질을 분비하기 때문에 피해과는 더덕더덕 납물질이 붙어있는 형태로 나타나고 분비된 감로에 의하여 그을음병도 발생된다. 조팝나무진딧물은 납물질을 분비하지 않으며, 새로 나오는 가지(신초)에 서식하면서 감로를 분비하여 신초 및 하단부 잎에 그을음병이 발생된다. 꼬마배나무이는 몇가닥 실 모양으로 복부 끝에서 납물질을 분비하고 잎을 말거나 심하게 변형시키지 않기 때문에 다른 해충의 피해증상과 구분되었다.

월동생태

배과원에서 꼬마배나무이의 월동처를 조사한 결과 배나무 거친껍질 밑에서 대부분이 발견되었다(Table 1). 배나무이는 과원주변 잡초에서 월동하는 것으로 알려져 있으나 꼬마배나무이는 잡초에서는 전혀 발견되지 않았다. 배나무 단과지와 낙엽에서도 발견은 되었으나 그 양은 매우 적었으며 거친껍질 밑에서 97% 이상 발견되었다. 배나무 거친껍질 밑에서는 밀도가 높은 경우 25 cm²당 50마리 이상까지 무리지어 있었다. 배과원 주변에 있는 벗나무, 사과나무, 침엽수류의 껍질 밑에서도 월동성충이 발견되었으나 생육기 기주 식물은 아닌 것으로 판단된다. Alden and Seney (1991)는 꼬마배나무이는 배나무에서만 세대를 완성할 수 있는 것으로 보고하였다.

배나무 거친껍질 밑에서 월동중인 성충은 2월 중순부터 배나무 지상부 단과지로 이동하기 시작하여 3월

Table 1. Density of *Cacopsylla pyricola* winter form adults at different overwintering sites in the pear orchard

Year	No./fruiting twig	No./under rough bark of 25 cm ²	No./weed	No./fallen leaf
1993	1.0	33.2	0	0.10
1994	0.3	16.0	0	0.01
Average	0.65	24.60	0	0.05

Table 2. Density changes of *Cacopsylla pyricola* winter form adults under rough bark and on fruiting twig of pear in early season in Suwon, 1994

	Feb. 4	Feb. 14	Feb. 18	Feb. 25	Mar. 10	Mar. 21
No./fruiting twig	1.0	0.3	18.8	8.3	11.5	4.8
No./under rough bark of 25 cm ²	33.2	16.0	4.8	1.3	2.5	0.0

중순경에는 대부분 단과지 부위에서 발견되었다 (Table 2). Alden and Seney (1991) 등은 꼬마배나무이의 휴면이 타파된 상태에서 최고기온이 7°C 이상 되면

활동을 시작한다고 보고하였는데, Fig. 1과 같이 조사 기간 동안 2월 중순이후 최고온도가 7°C 이상 되는 날이 많았다. 즉 수원지역에서 월동중인 꼬마배나무이의 활동 개시 시기는 2월 중순경으로 판단된다. 일반적으로 과수재배 농가에서 월동기 해충방제로 수행하는 기계유유제 처리시기는 2월 하순에서 3월 상순경이다. 따라서 이 시기에 기계유유제가 처리된다면 꼬마배나무이가 수상으로 이동하여 노출된 상태와 일치하므로 방제가 가능할 것으로 생각된다.

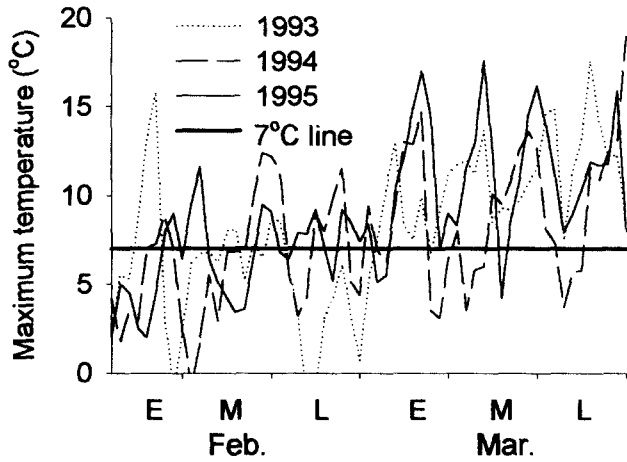


Fig. 1. Daily maximum temperature changes from 1 February to 31 March for three years (1993~1995) in Suwon.

발생소장

꼬마배나무이 발생소장을 1993년부터 1995년까지 수원에서 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 이상저온이 특징이었던 1993년(7, 8월 최고기온 평균 각각 27.4, 27.0°C)에는 연중 다발생하는 경향을 보였으며, 한발 고온이었던 1994년(7, 8월 최고기온 평균 각각 32.8, 31.5°C)에는 7월 이후 발생이 급격히 감소하였다. 기상조건이 평년(1995년 기준 30년 평균 7, 8월 최고기온 평균 각각 28.4, 29.4°C) 수준이었던 1995년(7, 8월 최고기온 평균 각각 28.3, 30.0°C)에는 전년도의 밀도

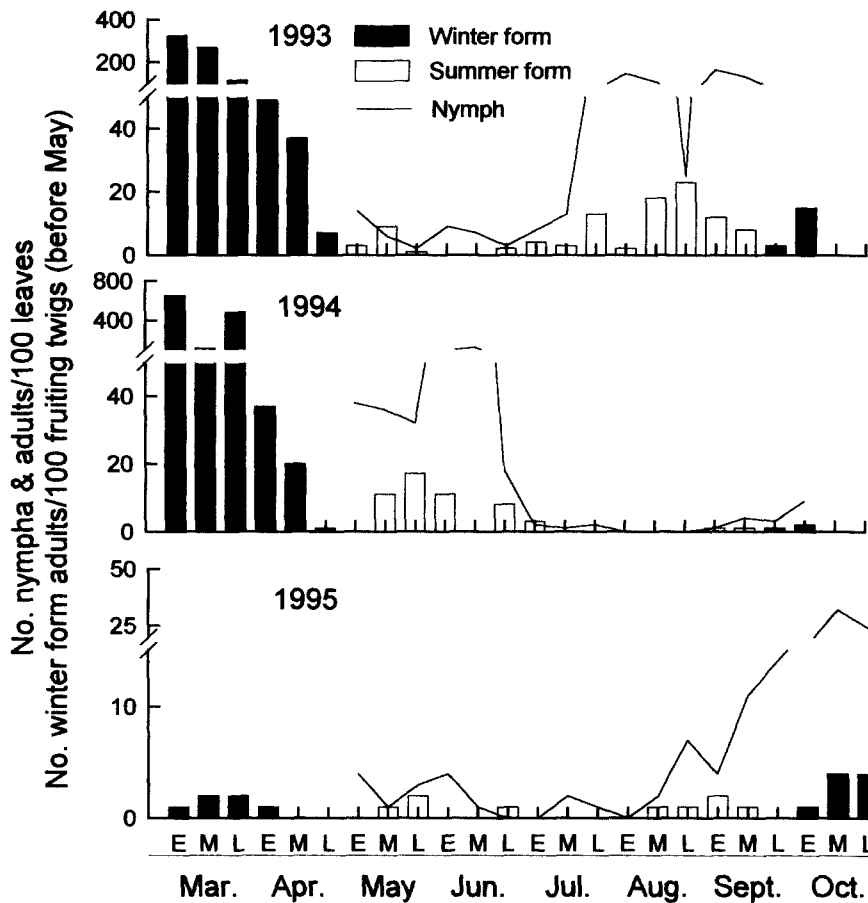


Fig. 2. Population densities of *Cacopsylla pyricola* from 1993 to 1995 in Suwon.

감소로 월동밀도가 낮았던 원인으로 생육기에 밀도는 낮았으나 연중 발생하였고 8월 이후부터 밀도가 급격히 증가하였다. 꼬마배나무이는 기온이 32.2°C 이상이면 산란수가 감소하고 약충의 사망율이 증가하므로 고온기에는 발생이 감소하는 것으로 알려져 있다 (McMullen and Jong, 1977). 실제 온도발육 실험에서도 5령충의 경우 35°C에서는 생존하지 못하였다 (Table 3). 그러므로 이상저온이었던 1993년에는 여름철이 서늘하여 7, 8월을 포함하여 연중 발생하였고 이상고온이었던 1994년에는 7월 이후 밀도가 급격히 감소된 것으로 판단된다. 평년의 경우는 1995년의 경우와 같이 고온기인 여름철에는 밀도가 감소되었다가 기온이 서늘해지는 8월 중순 이후 밀도가 다시 증가하는 것으로 판단된다. 1999년 2월중에 천안 및 안성지역에 꼬마배나무이 월동밀도가 매우 높았다 (Kim, D. S., unpublished observation). 이것은 1998년 집중호우와 연속된 강우로 여름철 기온이 상대적으로 서늘하여 고온기인 여름철에도 꼬마배나무이의 밀도가 유지되었고 수확기 무렵 약제살포가 중단됨에 따라 수확 후 밀도가 급증했기 때문으로 판단된다. 따라서 꼬마배나무이 발생은 여름철 기온과 밀접히 관련되어 있는 것으로 생각된다.

배과원에서 꼬마배나무이 월동형 성충은 9월 하순부터 발견되기 시작하였다 (Fig. 2). 꼬마배나무이는 주로 광길이에 의하여 휴면이 유기되는 것으로 알려져 있다. An et al. (1996)은 꼬마배나무이 수원 개체군의 경우 임계광길이를 13.5시간으로 추정하였으며 3령기부터 휴면자극을 받을 수 있다고 보고하였다. 수원지역에서 8월 19일 이후 광길이가 13.5시간 이하로 떨어지므로 8월 20일부터 9월 10일까지 실제 평균온도 93년 22.3°C, 94년 24.5°C, 95년 23.5°C 하에서 8월 20일경 3령기였던 약충이 성충으로 되는 (Table 3 참조) 9월상순에는 월동형 성충 출현이 가능하다. 이와 같이 이론적인 추정과 실제 과원에서 발견되는 현상과의 차이는 꼬마배나무이 겨울형 성충 형성시 광길이가 중요한 요인이지만 식물체의 먹이로써 질도 관여하고 있는 것으로 이해된다 (McMullen and Jong, 1976).

온도발육 특성

꼬마배나무이 온도별 발육기간 및 누적사망률은 Table 3과 같다. 꼬마배나무이 알 발육기간은 처리온도가 증가함에 따라 30°C까지는 감소하였으나 35°C에서는 증가하여 온도차이가 10°C가 되는 25°C와 비슷한 발육기간을 보였다. 약충 각 영기의 발육기간은

Table 3. Development time in days (Mean \pm STD) of *Cacopsylla pyricola* at constant temperatures

Stage	Temperature (°C)				
	15	20	25	30	35
Egg	13.33 \pm 1.54a	9.32 \pm 1.01b	7.82 \pm 0.92c	6.60 \pm 0.66d	7.75 \pm 1.39cd
1st instar	7.58 \pm 1.25a (10.0) ^a	3.43 \pm 0.50b (10.0)	2.44 \pm 0.64c (16.7)	3.35 \pm 0.76bd (43.4)	3.39 \pm 0.64bd (23.3)
2nd instar	5.56 \pm 1.33a (16.7)	3.40 \pm 0.80b (16.7)	2.09 \pm 0.28c (23.3)	2.36 \pm 0.64c (63.3)	5.00 \pm 0.87a (73.3)
3rd instar	6.85 \pm 1.15a (33.3)	3.86 \pm 0.97b (26.7)	2.44 \pm 0.69c (40.0)	3.40 \pm 0.66bc (66.7)	6.34 \pm 2.44a (76.6)
4th instar	8.14 \pm 1.81a (53.3)	5.60 \pm 1.02b (50.0)	3.75 \pm 0.83c (50.0)	4.29 \pm 0.70bc (76.7)	14.34 \pm 2.06d (90.0)
5th instar	11.00 \pm 2.53a (66.7)	7.38 \pm 0.84b (56.7)	4.86 \pm 1.19c (56.7)	5.29 \pm 1.03c (76.7)	— ^b (100)
Total (1st-5th)	38.75 \pm 1.64a	23.77 \pm 1.85b	15.21 \pm 1.21c	17.40 \pm 2.06c	— (100)

Means within a row followed by same letter are not significantly different by Tukey's Studentized Range Test (P=0.05).

^a Cumulative mortality of 30 individuals from 1st instar to 5th instar.

^b Not survived.

Table 4. Estimated parameter values (SEM) of biophysical development model^a of *Cacopsylla Pyricola*

Stage	RHO25	HA	TH	HH	r ²
Eggs	0.1358 (0.0114)	9009.4188 (1802.18449)	309.1129 (1.2374)	50477.8490 (17516.1279)	0.99
1st instar	0.8079 (0.2473)	29097.6289 (5565.5813)	298.2527 (2.0052)	58600.4430 (6006.5500)	0.95
2nd instar	0.5034 (0.0733)	17356.0144 (3768.5038)	303.3907 (1.7709)	68336.8248 (11981.2964)	0.98
3rd instar	0.4349 (0.0205)	18010.6672 (1372.1049)	302.4456 (0.3118)	103051.9554 (13764.4336)	0.96
4th instar	0.2824 (0.0140)	13997.1681 (1349.8193)	303.6016 (0.4580)	85164.0911 (5145.4398)	0.99
5th instar	0.2095 (0.0070)	14159.9571 (1135.7657)	303.9149 (0.2650)	113047.8025 (11655.4841)	0.96

^a Model of Sharpe and DeMichele (1977)

처리된 온도 중 25°C에서 가장 짧았으며 30°C부터는 증가하였다. 3령기 경우 15°C와 35°C의 발육기간이 비슷하였으며, 4령기에서는 저온인 15°C보다 35°C 발육기간이 약 6일 정도 길었다. 또한 4령기의 경우 발육기간이 가장 짧은 25°C와 비교해서 35°C에서는 3.8배 정도 증가하였다. 발육기간이 가장 짧았던 25°C에서 영기 간의 발육기간을 비교해보면 1령부터 3령까지는 큰 차이가 없었으나 4령부터 다소 증가하여 5령의 발육기간이 가장 길었다. McMullen and Jong (1977)은 꼬마배나무이 알 발육기간이 10°C에서 14.9일, 15.6°C에서 10.0일, 21.1°C에서 8.7일, 26.7°C에서 5.8일, 29.4°C에서 5.9일, 32.2°C에서 6.6일로 보고하였다. 이는 본 실험결과와는 약간의 차이가 있었으나 30°C 이상에서 발육이 저해되는 경향은 동일하였다. 또한 그들은 약충 발육기간의 경우 26.7°C에서 1령 3.8일, 2령 2.9일, 3령 3.2일, 4령 3.6일, 5령 7.7일로 보고하였으며, 본 연구결과와는 달리 5령기의 발육기간이 더 큰 비율로 증가하였다.

1령기부터 5령까지 누적사망율은 30°C 이상에서 높은 경향을 보였고, 특히 30°C 이상 온도에서는 2령기부터 사망율이 급속히 증가하였다 (Table 3). McMullen and Jong (1977)은 32.2°C 이상에서는 2령기 이후 생존이 불가능하다고 보고한 바 있다. 하지만 본 실험결과에서는 5령충만이 35°C에서 100% 사망하였고, 32.2

°C 보다 2.8°C 높은 35°C에서 비록 생존율은 낮았지만 3령충과 4령충의 생존이 가능하였다 (Table 3). 우리나라에서 한 여름 최고온도는 32.2°C 이상 올라가는 경우가 자주 있으며 이 당시 실제 배과원에서 낮은 밀도이기는 하지만 2령기 이상의 꼬마배나무이를 관찰할 수 있다 (Kim, D.S., unpublished observation). 따라서 우리 나라에서 꼬마배나무이의 발육상한 임계온도는 최소한 32.2°C 보다는 높고 1령부터 4령의 경우는 35°C 보다 높은 온도일 것으로 판단된다. 꼬마배나무이는 명백히 고온에서 발육기간이 증가하고 사망율이 증가하여 자연적으로 밀도가 감소할 뿐만 아니라 다른 밀도의존적인 개체군 조절인자와 결합하여 고온기에는 개체군 밀도가 감소되는 것으로 판단된다. 즉 이상고온이었던 1994년 7월 상순이후 밀도가 급격히 감소된 사실이 이와 같은 판단을 뒷받침한다.

꼬마배나무이 발육율과 온도와의 비선형적인 관계는 Fig. 3과 같다. 모든 발육단계는 고온영역에서 발육이 저해되는 특징을 보였으며 저온영역에서 발육저해는 보이지 않았다. 즉 Sharpe and DeMichele (1977)의 발육모형에서 고온 발육저해를 조절하는 매개변수를 포함하여 4개의 매개변수가 추정되었다 (Table 4). 매개변수 중 속도조절효소가 고온영역에서 50% 활성이 저해되는 온도를 나타내는 TH 값(섭씨온도로 변환)이 알의 경우 36.0°C, 1령, 2령, 3령, 4령 및 5령은 각

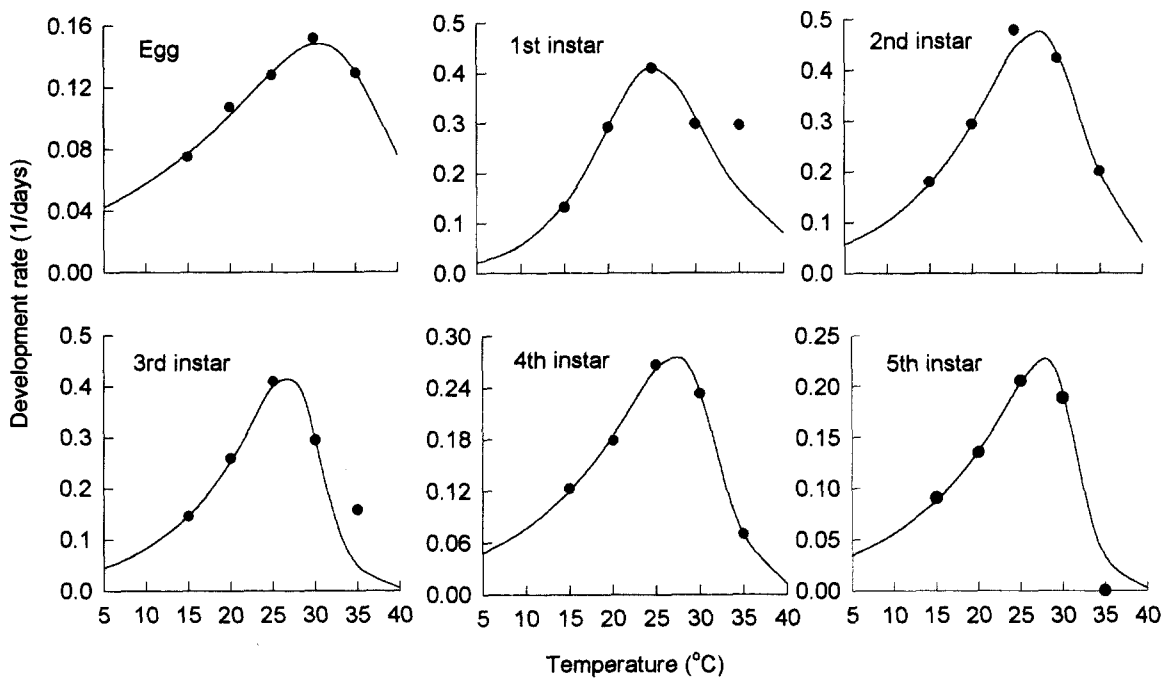


Fig. 3. Development rate (1/days) curves of *Cacopsylla pyricola* by stages as a function of temperature. Four parameter models of Sharpe and DeMichele (1977) were fitted with high temperature inhibition. The solid line and solid circle represent estimated and observed data, respectively.

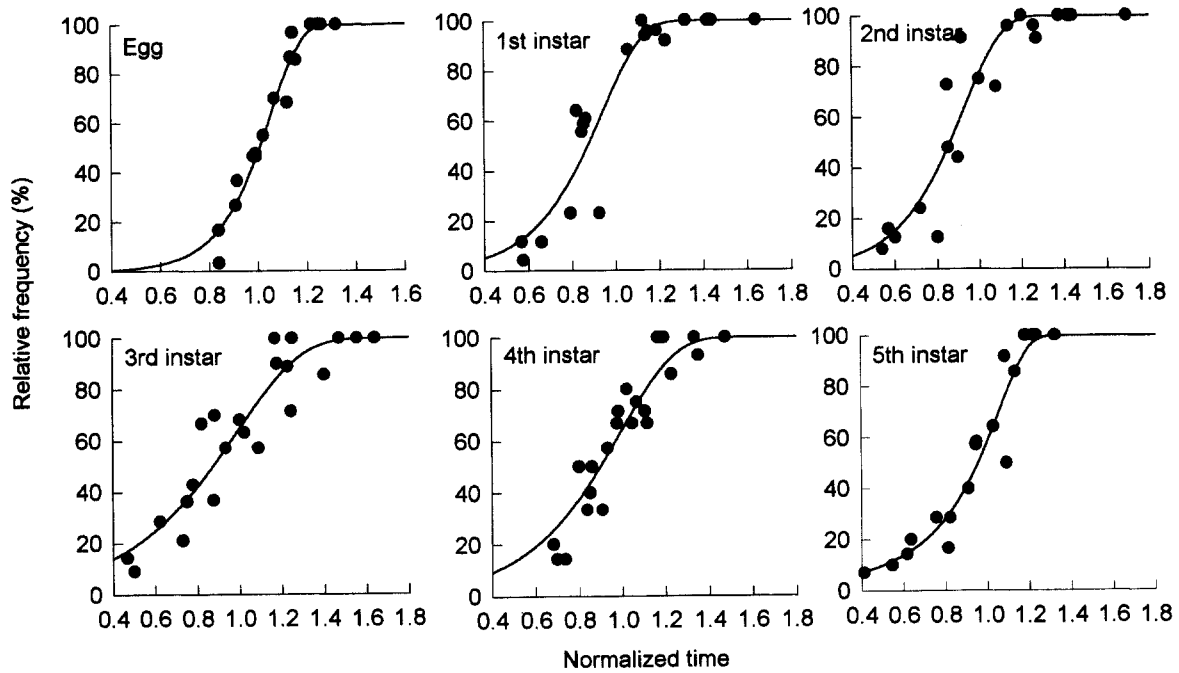


Fig. 4. Standard cumulative distribution of normalized development time for *Cacopsylla pyricola* by stages. Weibull function (Curry *et al.*, 1978) is fitted with all data of each stages. The solid line and solid circle represent estimated and observed data, respectively.

Table 5. Estimated parameter values (SEM) of Weibull distribution model^a for *Cacopsylla pyricola* development completion times

Stage	η	β	γ	r^2
Eggs	39.5103 (97.2988)	-38.4601 (97.3056)	-305.8606 (844.0356)	0.96
1st instar	79.5766 (187.7192)	-78.6394 (187.7409)	-425.2056 (1212.9454)	0.86
2nd instar	130.2321 (125.2747)	-129.3052 (125.2893)	-709.3959 (1002.4853)	0.85
3rd instar	123.8857 (316.9533)	-122.9019 (316.9769)	-398.5637 (1190.1137)	0.84
4th instar	84.0846 (171.8639)	-83.0941 (171.8765)	-397.3279 (951.7566)	0.88
5th instar	1.8052 (1.0242)	-0.7835 (1.0348)	-4.4045 (5.3668)	0.92

^a Model of Curry *et al.* (1978)

각 25.1, 30.2, 29.3, 30.5 및 30.8°C이었다. 즉 모형의 가정에 의하면 알보다는 약충이 고온으로 갈수록 빨리 발육저해가 나타나는 것을 의미한다. 위 발육모형은 생물의 생물리학적 현상을 기반으로 하고 있다 하더라도 치사온도로 알려진 저온이나 고온영역에서 양의 발육율이 추정되는 등 실제 생물현상과 모순되는 점을 갖고 있다 (Hilbert and Logan 1983). 따라서 일정한 범위의 온도영역에서만 모형의 결과를 이해해야 할 것으로 판단된다. 꼬마배나무이 발육단계별 발육완료시기 분포와 추정된 매개변수는 Fig. 4와 Table 5와 같다. 발육완료시기 분포는 모든 발육단계에서 높은 유의성으로 설명할 수 있었다 ($r^2 > 0.84$). 꼬마배나무

이 발육율과 온도와의 선형모형은 Table 6과 같다. 각 발육단계 완성에 필요한 적산온도는 알의 경우 약 200일도, 약충의 경우는 250일도 이었다. 추정된 알의 발육영점온도가 가장 낮았으며, 약충 영기별로는 1령에서 5령으로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다. 이렇게 후기 발육단계의 발육영점온도가 낮은 경우는 다른 곤충에서도 종종 발견된다. 이러한 현상은 월동중인 곤충 발육단계의 경우 중요한 생태적 의미가 있는 것으로 알려져 있다 (McCann *et al.*, 1989). 즉 *Heliothis armigera*의 경우 월동중인 번데기는 저온에 의하여 휴면이 타파된 후 휴면에서 완전히 정상적인 번데기로 되는 과정(I)과 번데기가 발육하여 성충으로 우화

Table 6. Estimation of lower developmental threshold temperature (LT) and thermal requirement for each stage of *Cacopsylla pyricola*

Stage	Estimation of LT			Thermal requirement (DD ± STD)
	LT (°C)	Regression equation ^a	r ²	
Egg	-0.58	y=0.0050x + 0.0029	0.99	200.3 ± 5.68
1st instar	10.01	y=0.0278x - 0.2781	0.99	36.2 ± 1.47
2nd instar	9.37	y=0.0299x - 0.2797	0.98	33.4 ± 2.04
3rd instar	9.71	y=0.0264x - 0.2561	0.99	37.7 ± 1.46
4th instar	6.83	y=0.0144x - 0.0983	0.98	69.5 ± 3.10
5th instar	7.46	y=0.0115x - 0.0857	0.98	86.9 ± 4.09
Total (1st-5th)	8.85	y=0.0040x - 0.0353	0.99	249.7 ± 11.27

^a y=ax + b where y is the development rate and x is the temperature (°C).

하는 과정(II)으로 구분할 수 있는데 I의 발육영점은 II의 발육영점보다 높다. 따라서 외부온도가 충분히 II의 발육을 유지할 수 있는 시기가 될 때까지 I 단계가 정지상태에 있게 되므로 효과적으로 이후의 발육이 진행될 수 있다. 하지만 발육영점은 온도와 발육율과의 직선적인 관계를 가정하고 추정된 것이기 때문에 실제 발육이 정지되는 온도를 정확히 추정하는 것은 아니라고 생각된다. 따라서 여기서 추정된 매개변수들은 모형이 가정하는 제한된 범위에서만 포장에서의 생물기후학(phenology)적 관찰이나 예찰에 이용될 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 원예연구소 경상연구 사업비(1994~1995)로 수행되었음. 실험곤충사육과 실험수행에 많은 도움을 주신 파주군 농업기술센터 오정희님께 깊은 감사를 드립니다.

인 용 문 헌

Alden, A. and H. Seney. 1991. Integrated pest management for apples and pears. 214pp. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. publication 3340.

An, J.H., M.S. Yiem and D.S. Kim. 1996. Effects of photoperiod and temperature on formation and fecundity of two seasonal forms of *Psylla pyricola* (Homoptera: Psyllidae). Korean J. Appl. Entomol. 35: 205~208. [In Korean with an English abstract]

Beers, E.H., J.H. Brunner, M.J. Willett and G.M. Warner. 1993. Orchard pest management. 276 pp. Good Fruit Grower, Yakima, Washington.

Burts, E.C. 1970. The pear psylla in Central Washington. Wash. Agric. Stn. Circ. 516.

Curry, G.L., R.M. Feldman and K.C. Smith. 1978. A stochastic model of a temperature-dependent population. J. Theor. Pop. Biol. 13: 197~213.

Etienne, J.C., T.X. Nguyen and E.C. Burts. 1992. Susceptibility of *Cacopsylla pyri* and *C. pyricola* to avermectin B1 applied topically and as residues on pear foliage. J. Econ. Entomol. 85: 182~186.

Eyring, H. 1935. The activated complex in chemical reactions. J. Chem. Physics 3: 107~115.

Follett, P.A., B.A. Croft and P.H. Westgard. 1985. Regional resistance to insecticides in *Psylla pyricola* from pear orchards in Oregon. Can. Entomol. 117: 565~573.

Fye, R.E. 1981. Method for rearing the Pear Psylla. J. Econ. Entomol. 74: 490~491.

Han, M.W. 1993. Studies on forecasting models of the oriental tobacco budworm, *Helicoverpa assulta*, 87 pp. Ph.D. dissertation. Seoul National University, Suwon, Korea.

Hilbert, D.W. and J.A. Logan. 1983. Empirical model of nymphal development for migratory grasshopper, *Melidnoplus sanguinipes* (Orthoptera: Acrididae). Environ. Entomol. 12: 1~5.

Jandel. 1996. TableCurve 2D. Automated curve fitting and equation discovery: version 4.0. Jandel scientific, San Rafael, CA.

Jeon H. Y., D.S. Kim, M.S. Yiem and J.H. Lee. 1996. Modeling temperature-dependent development and hatch of overwintering eggs of *Pseudococcus comstocki* (Homoptera: Pseudococcidae). Korean J. Appl. Entomol. 35: 119~125.

Johnson, F.H. and I. Lewin. 1946. The growth rate of *E. coli* in relation to temperature, quinine and coenzyme. J. Cell. Comp. Physiol. 28: 47~75.

Kim, D.S., H.Y. Jeon, M.S. Yiem, M.R. Chlo and S.B. Kim. 1995. Ecological studies on the pear psylla. pp. 736~742. In Annual report of NHRI, RDA., No. 31235-51850-56-2.

- 927 pp. [In Korean]
- McCann, I.R., J.D. Lopetz Jr. and J.A. Witz. 1989. Emergence model for field population of overwintering *Heliothis zea* and *H. virescens* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ. Entomol.* 18: 618~624.
- McMullen, R.D. and C. Jong. 1976. Factors affecting induction and termination of diapause in *Pear Psylla* (Homoptera: Psyllidae). *Can. Entomol.* 108: 1001~1005.
- Mustafa, T.M. and C.J. Hodgson. 1984. Observations on the effects of photoperiod on the control of polymorphism in *Psylla pyricola*. *Physiol. Entomol.* 9: 207~213.
- Sas Institute. 1995. SAS/STAT user's guide, release 6.11 ed. SAS Institute, Cary, NC.
- Schoolfield, R.M., P.J.H. Sharpe and C.E. Mugnison. 1981. Nonlinear regression of biological temperature-dependent rate models based on absolute reaction-rate theory. *J. Theo. Biol.* 88: 715~731.
- Sharpe, P.J.H. and D.W. DeMichele. 1977. Reaction kinetics of poikilotherm development. *J. Theo. Biol.* 64: 649~670.
- The Entomological Society of Korea & Korean Society of Applied Entomology. 1994. Check list of insects from Korea. 744 pp. Seoul, Konkuk Univ. Publisher.[In Korean]
- Wagner, T.L., H. Wu, P.J.H. Sharpe, R.M. Schoolfield and R. N. Coulson. 1984. Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77: 208~225.

(1999년 9월 28일 접수, 2000년 7월 31일 수리)