

# 실내 항온과 온실 변온조건에서 목화진딧물의 온도 발육비교

김도익\* · 고숙주 · 최덕수 · 강범용 · 박창규<sup>1</sup> · 김선곤 · 박종대 · 김상수<sup>2</sup>

전남농업기술원 연구개발국, <sup>1</sup>국립농업과학원 농업생물부 <sup>2</sup>순천대학교 원예생물의학부

## Comparison of Temperature-dependent Development Model of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) under Constant Temperature and Fluctuating Temperature

Do-ik Kim\*, Suk-Ju Ko, Duck-Soo Choi, Beom-Ryong Kang, Chang-Gyu Park<sup>1</sup>, Seon-Gon Kim, Jong-Dae Park and Sang-Soo Kim<sup>2</sup>

Jeollanamdo Agricultural Research & Extension Services, Naju 520-715 Korea

<sup>1</sup>Crop Protection Division, Department of Agricultural biology, National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-853 Korea

<sup>2</sup>Division of Horticulture and Plant Medicine, Suncheon National University, Suncheon 540-742 Korea

**ABSTRACT:** The developmental time period of *Aphis gossypii* was studied in laboratory (six constant temperatures from 15 to 30°C with 50~60% RH, and a photoperiod of 14L:10D) and in a cucumber plastic house. The mortality of *A. gossypii* in the laboratory was high in the 2nd (20.0%) and 3rd stage (13.3%) at low temperature but high in the 3rd (26.7%) and 4th stage (33.3%) at high temperatures. Mortality in the plastic house was high in the 1st and 2nd stage but there was no mortality in the 4th stage at low temperature. The total developmental period was longest at 15°C (12.2 days) in the laboratory and shortest at 28.5°C (4.09 days) in the plastic house. The lower threshold temperature at the total nymphal stage was 6.8°C in laboratory. The thermal constant required to reach the total nymphal stage was 111.1DD. The relationship between the developmental rate and temperature fit the nonlinear model of Logan-6 which has the lowest value for the Akaike information criterion(AIC) and Bayesian information criterion(BIC). The distribution of completion of each development stage was well described by the 3-parameter Weibull function ( $r^2=0.89\sim0.96$ ). This model accurately described the predicted and observed outcomes. Thus it is considered that the model can be used for predicting the optimal spray time for *Aphis gossypii*.

**Key words:** *Aphis gossypii*, Developmental time, Developmental rate, Degree-day

**초 록:** 목화진딧물 (*Aphis gossypii*)의 온도에 따른 발육시험을 실내 15, 18, 21, 24, 27, 30°C의 6개 항온, 광주기 14L:10D, 상대습도 50~60% 조건과 오이 비닐하우스에서 3월 23일부터 8월 20일까지 6회 집중하여 수행하였다. 실내사망률은 저온에서는 2~3령충의 사망률이 높았고 온도가 증가할수록 3~4령충의 사망률이 높았으며 고온에서 전체 사망률이 높았다. 전체 약충의 발육기간은 실내에서 15°C에서 12.2일로 가장 짧았으며 변온의 28.5°C에서 4.09일로 가장 짧았다. 온도와 발육율과의 관계를 보기위해 선형 및 3개의 비선형 모형(Briere 1, Lactin 2, Logan 6)을 이용하여 분석한 결과, 선형모형을 이용하여 전체약충의 발육영점온도는 6.8°C였으며 발육유효적산온도는 각각 111.1DD였다. 3가지 비선형 모형중 Logan-6 모형이 전약충, 후약충 전체약충 단계에서 AIC와 BIC 값이 가장 적어 온도와 발육율과의 관계를 잘 설명하였으며, 발육단계별 발육완료분포는 3-parameter Weibull 함수를 사용하였으며 전약충, 후약충, 전체약충에서  $r^2$  값이 0.88~0.91로 높은 값을 보여 양호한 모형 적합성을 보였으며 정식시기별 성충 발생 예측치와 포장 조사치가 일치하여 방제시기 추정에 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

**검색어:** 목화진딧물, 발육기간, 발육율, 적산온도

목화진딧물(*Aphis gossypii* Glover, the cotton aphid the

melon aphid)은 열대, 아열대 및 온대에 걸쳐 널리 분포하며, 온대지역의 야외와 온실에서 재배하는 채소와 과수에 발생한다 (Leclant and Deguine, 1994). 목화진딧물은 봄, 여름 및 초가을에는 약충과 성충으로 구분되지만, 온대지역에서는 가을에 유

\*Corresponding author: doik1020@korea.kr

Received April 19 2012; Revised October 23 2012

Accepted November 13 2012

일하게 암수가 존재하며, 알로 월동한다. 갓 낳은 알은 노랑색이지만 곧 밝은 검정색이 된다. 목화진딧물은 개오동나무류 또는 장미에 산란하여 월동하는 것으로 알려져 있으며(Capinera, 2000), 우리나라에서는 무궁화나무, 부용, 석류, 접시꽃, 목화 등에 산란한다(Shim et al., 1979). 목화진딧물은 다식성으로 목화를 포함한 박과류, 감귤류, 국화류 등이 있다(Leclant and Deguine, 1994). Florida에서만 최소 60종이 알려져 있으며, 세계적으로는 700종 이상이다(Capinera, 2000). 우리나라에서는 약 50종의 숙주식물이 기록되었으며, 약 45종의 각종 바이러스 병을 매개하는 것으로 보고되어 있다(Paik, 1972). 또한 감로의 배출로 그을음병을 유발과 식물체 흡즙으로 인한 식물체의 위축과 식물생장 저해로 인한 수확량 감소의 피해를 주고 있다. 그러나 잦은 약제의 살포로 약제저항성을 가지며, 천적의 제거로 목화진딧물의 피해가 증가하고 있다(King and Phillips, 1989; Slosser et al., 1989).

온도는 곤충의 발생시기, 발생밀도, 분포 등 개체군 기초 생태에 영향을 미치는 가장 중요한 물리적 요인이며, 해충의 방제 전략수립과 밀도 변동을 예측하기 위한 기본적 요소로서 곤충 발육과 온도와의 관계를 해석하고자 많은 시도가 이루어져 왔다(Campbell et al., 1974; Lactin et al., 1995; Logan et al., 1976; Schoolfield et al., 1981; Briere and Pracros, 1998; Briere et al., 1999). 현재까지 곤충발생예찰은 유효적산온도를 이용한 방법이 폭넓게 이용되고 있으며 실제로 좋은 예측결과를 나타내는 것으로 알려져 있다(Eckenrode and Chapman, 1972; Ali Niaze, 1976; Butts and McEwen, 1981). 그러나 유효적산온도 방법은 발육영점온도를 직선회귀식에 의해 추정하기 때문에 저온이나 고온부근에서 오차가 발생하는 단점이 있다(Howe, 1967; Scopes and Biggerstaff, 1977). 최근 들어서는 이러한 문제점을 보완하는 발육속도 개념에 근거한 발육율을 적산하여 예측하는 방법이 개발되고 있으며(Wagner et al., 1984a, b), Schoolfield et al.(1981)이 변형한 비선형 모형은 적산온도를 이용한 모형보다 좋은 적중도를 보이는 것으로 보고되고 있으며(Han et al., 1993; Kim et al., 2001; Kim and Lee, 2003; Park et al., 2010a,b; Kim et al., 2004), 이들 비선형 모형중에서 적절한 모형을 선택하기 위해 변수선택(variable selection), 통계적 검정(hypothesis testing), 정보기준(information criteria) 등을 이용한 다양한 방법이 있으며(Lee, 2010) 그중에서 많이 쓰이는 기준으로 아카이케정보기준(Akaike Information Criterion: AIC)과 베이시안정보기준(Bayesian Information Criterion : BIC)이 보고되어 있다(Burnham and Anderson 2004; Shi and Ge, 2010). 목화진딧물에서도 이러한 연구들이 이루어져 온도에 의한 약충발육기간(Akey and Butler, 1989; Liu et al.,

2000)과 성충의 출산 최적온도와 일일 출산 약충수(Isely, 1946; Komazaki, 1982)등의 연구와 함께 실내 조건에서 온도 의존적인 발육모형에 관한 연구가 이루어져, 목화진딧물의 밀도 변화 예측과 방제이용 가능성을 보여준바 있다(Kim et al., 2004). 본 연구는 시설 재배지에서 피해를 주고 있는 목화진딧물의 온도 발육 특성을 파악하고 개체군 밀도 변동을 구성하는 온도 의존적 발육 모형을 개발하여, 변온 상태의 비닐하우스에서 오이 정식시기별로 성충 발생 상황과 개발된 발육모형이 얼마나 적합한지 검정하여 적기 방제 시기를 포착하기 위한 기초자료로 활용코자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 진딧물 사육

목화진딧물(*Aphis gossypii* Glover)은 전남농업기술원 친환경 경연구소 내에서 누대 사육하고 있는 것을 사용하였다. 진딧물의 사육은 직경 7 cm, 높이 7 cm의 plastic pot에 오이(*Cucumis sativus* L. 백다다기)를 파종하고, 30일이 경과하여 본엽이 1~2 장 나온 오이에 목화진딧물을 접종하였다. 25℃ 항온조건의 사육실에서 35×25×30 cm 사육상에 5~8개의 plastic pot를 넣어 증식하였다. 비닐하우스에서 시기별 접종을 하기 위해서 접종 15일전에 성충이 접종된 오이포트를 비닐하우스에 놓아 포장 온도에 적응시킨 후 사용하였다.

### 약충의 온도별 사망률 및 발육기간

목화진딧물의 실내발육시험은 오이화분에 목화진딧물을 접종하여 6시간 동안 산자를 받았다. 직경 5 cm, 높이 7 mm의 페트리디쉬에 직경 2.5 cm의 오이 잎을 뒷면이 위로 향하도록 놓고 산자를 각각 한 마리씩 접종하여 다단실향온기(NK-system TG-100-ADCT, ±1.0℃, RH 50~60%, L:D=14:10)에 넣었다. 온도는 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33℃ 6개 항온조건으로 12시간 간격으로 발육상태를 조사하였다. 각 온도별로 15마리를 1반복으로 총 45마리를 접종하였다. 각 령기는 4령을 기준으로 하여 출산 직후를 1령, 첫 번째 탈피 후를 2령, 두 번째 탈피 후를 3령, 세 번째 탈피 후를 4령으로 명명하였다. 본 실험에서는 조사한 각 령별 발육기간을 다음과 같이 나누어 분석하였다. 1~2령은 전약충, 3~4령은 후약충, 1~4령은 전체 약충기간으로 하여 발육영점온도와 유효적산온도를 구하고, 발육분포모형에 적용하였다.

## 온도발육 모형 및 발육 완료 분포 모형

### 선형 모형

온도와 발육과의 관계를 나타낸 선형 모형은 최소자승법 (Campbell et al., 1974)을 사용하여 구하였으며(식 (1)), 온도에 따라 발육단계별 평균 발육기간의 역수로 표현하였다.

$$r(T_c) = aT_c + b \quad (1)$$

식 (1)에서  $r(T_c)$ 은 온도에 따른 발육율이며,  $T_c$ 는 온도(°C),  $a$ 는 직선회귀식의 기울기이며,  $b$ 는 0°C에서 발육율이다. 직선회귀의 분석은 15~30°C까지 5온도별 발육율을 사용하였으며, 매개변수의 추정은 SAS의 PROC REG (SAS Institute, 1999)를 사용하였다. 각 발육단계별 발육영점온도는 회귀직선식의 X절편 ( $-b/a$ )값이 되고, 발육단계별 발육 완료에 필요한 유효적산온도 (Degree-day)는 기울기의 역수 ( $1/a$ ) 값이 된다.

### 비선형 모형

온도와 발육율과의 관계를 분석하기 위해 사용된 비선형 모형은 Briere 1 (Briere et al., 1999) (수 (2)), Lactin 2 (Lactin et al., 1995) (식 (3)), Logan 6 (Logan et al., 1976) (식 (4)) 모형을 사용하였다.

$$r(T_c) = aT_c(T_c - T_0)(T_L - T_c)^{1/2} \quad (2)$$

식 (2)에서  $r(T_c)$ 은 온도에 따른 발육율,  $T_c$ 는 온도(°C),  $a$ 는 매개변수,  $T_0$ 는 발육영점온도,  $T_L$ 은 치사 상한온도 의미한다.

$$r(T_c) = \frac{(pT_c)}{e} - \frac{(pT_L) - (T_L - T_c)/\Delta T}{e} + \lambda \quad (3)$$

식 (3)에서  $r(T_c)$ 은 온도에 따른 발육율,  $T_c$ 는 온도(°C),  $p$ 는 최적온도에서 발육율 상수,  $T_L$ 은 치사 상한온도,  $\Delta T$ 는 고온부 분 경계지역의 온도 범위로서 생리적인 장애가 최우선 영향이 되는 온도 범위를 의미하며,  $\lambda$ 는 이 식에서 음의  $y$ 절편 값을 가지게 만듦으로써 발육영점온도를 추정할 수 있도록 해주는 값이다.

$$r(T_c) = \Psi \left( e^{\frac{(pT_c)}{e}} - e^{\frac{(pT_L) - (T_L - T_c)/\Delta T}{e}} \right) \quad (4)$$

식 (4)에서는  $r(T_c)$ 은 온도에 따른 발육율,  $\Psi$ 는 최대발육

율,  $T_c$ 는 온도(°C),  $p$ 는 최적온도에서 발육율 상수,  $T_L$ 은 치사 상한온도,  $\Delta T$ 는 고온부 분 경계지역의 온도 범위로서 생리적인 장애가 최우선 영향이 되는 온도 범위를 의미한다. 분석에서 사용된 모든 비선형 모형의 매개변수 추정을 위해서 윈도우용 TableCurve 2D ver. 5.01 (SYSTAT, 2002)의 사용자 정의 비선형 모형 분석을 사용하였다.

### 발육모형 선택

발육모형으로 사용된 Briere 1, Lactin 2, Logan 6 모형 중에 적절한 모형을 선택하기 위해 아카이케정보기준(Akaike Information Criterion: AIC)(식 (5)) 과 베이지안정보기준(Bayesian Information Criterion : BIC)(식 (6))을 이용하였다.

$$AIC = -2((-N/2) * \ln(RSS/N)) + 2K \quad (5)$$

$$BIC = -2((-N/2) * \ln(RSS/N)) + K * \ln(N) \quad (6)$$

식 (5)와 (6)에서  $N$ 은 표본크기,  $RSS$ 는 잔차제곱합,  $K$ 는 에러를 포함한 파라메타 개수이다.

### 유충 발육완료 분포 모형

각 발육단계별 발육완료 분포 모형을 구하기 위하여 3-parameter Weibull 모형을 사용하였다 (Wagner et al., 1984b) (식 (7)).

$$F(x) = 1 - \exp[-((x-\gamma)/\eta)^\beta] \quad (7)$$

식 (7)에서  $F(x)$ 는 표준화된 시간  $\chi$  (발육기간/평균발육기간)에서 동일한 연령집단의 개체들 중에 다음 연령단계로 발육이 완료된 개체의 누적 비율을 의미한다.  $\gamma, \eta, \beta$ 는 비선형 회귀식의 매개변수이며, 이들이 추정하기 위하여 윈도우용 TableCurve 2D ver. 5.01 (SYSTAT, 2002)의 사용자 정의 비선형 모형 분석 모듈을 사용하였다.

### 발육모형 포장평가

포장발육실험은 전남농업기술원 친환경연구소 무가온 1층 비닐하우스에서 2011년 3월 3일부터 15일 간격으로 10회에 걸쳐 1령을 접종하였는데, 3월 15일까지 접종한 개체는 전부 사망하였다. 3월 23일부터 성충을 파종 4주된 오이에 접종 후 5~6 시간 동안 받은 1령 약충을 준비된 오이에 한 마리씩 접종하고 12시간 간격으로 조사하였다. 1령 접종 후 진딧물의 이동을 방지하기 위해 clip cage(36.5×25.4×9.5 mm, BioQuip)를 씌워 주

었다. 집중 시기별 처리는 1반복당 15마리씩 45마리였다. 이 시기의 온도는 데이터로거(WatchDog model 450)를 이용하여 매 시간 온도가 기록되게 하여 3개월 단위로 수집하였다. 이 온도를 이용하여 집중시기별 성충 발육완료 곡선과 집중시기별로 얻은 성충 누적 빈도 곡선과 비교하여 포장 적합성을 검정하였는데, 온도는 최고온도에 3을, 최저온도에 2를 곱하여 나눈 평균값을 이용하였다. 각 정식시기의 평균온도와 편차는 12.6±10.3℃(3월 23일~4월 15일), 14.4±8.3℃(4월 3일~4월 28일), 17.6±6.8℃(4월 19일~5월 14일), 20.2±6.2℃(5월 3일~5월 24일), 21.5±5.9℃(5월 16일~6월 2일), 28.5±3.8℃(8월 3일~8월 20일)로 저온일수록 온도 편차가 크게 나타났다.

## 결과 및 고찰

목화진딧물의 실내사망률은 15℃~33℃ 까지 조사했을 때 저온에서는 2~3령층의 사망률이 높았고 온도가 증가할수록 3~4령층의 사망률이 높았으며 고온에서 전체 사망률이 높았다(Table 1). 특히 33℃에서 사망률이 60%까지 올라가 이후 발육 모형 및 발육완료분포 모형에서 제외하였다. Kim et al.(2004)은 목화진딧물 3~4령이 실내 향온조건에서 고온에 더 적응하지 못한다고 하여 본 시험 결과와 일치하였으나, 비닐하우스에서는 온도가 올라갈수록 사망률이 더 낮게 나타나 변온조건에서 사망률이 높게 나타나 고온조건이 목화진딧물의 발육에 부의 영향을 준다는 Kersting et al.(1999)의 보고와는 다르게 나타났다. 이것은 실제 비닐하우스의 8월 평균온도가 26.7℃ 일

때 사망률이 6.7%로 Choe et al.(2006)의 25℃ 향온에서 6.7%와 유사한 결과를 보여 Kersting et al.(1999)의 극한의 변온조건이 아닌 상태에서는 한여름일지라도 목화진딧물의 사망률은 크지 않은 것으로 보이며, Komazaki(1982)와 Isely(1946)처럼 최적온도가 각각 29.7℃와 28℃라고 보고한바 있어 실제 포장에서 8월의 평균기온이 30℃를 넘지 않기 때문으로 판단된다.

목화진딧물의 실내 향온조건에서 발육기간은 30℃에서 4.83일로 가장 짧았다(Table 2). 15℃ 저온에서 발육기간이 가장 길었으며 온도가 올라갈수록 기간은 짧아졌으나 27℃와 30℃의 기간은 유의성이 인정되지 않았다. 본 실험에서 각령기별 약충과 전체약충 모두 P값이 0.001보다 작아 5% 유의성이 인정된다(1st nymph F = 204.68, df = 5, P = 0.001, 2nd F = 114.62, df = 5, P = 0.001, 3rd F = 111.44, df = 5, P = 0.001, 4th F = 99.41, df = 5, P = 0.001). 비닐하우스 조건에서 저온에서 12.03일로 가장 길었으며 고온기인 8월에는 4.09일로 가장 짧았다. 평균온도로 볼 때 12.6℃와 14.4℃에는 발육기간이 차이가 없었지만 평균 온도차이가 아주 작은 17.6℃, 20.2℃, 21.5℃에서는 유의성이 있는데(1st nymph F = 29.59, df = 5, P = 0.001, 2nd F = 65.8, df = 5, P = 0.001, 3rd F = 48.94, df = 5, P = 0.001, 4th F = 52.85, df = 5, P = 0.001), 이것은 고온보다는 저온에 얼마나 더 많이 노출되었는가에 따른 원인으로 보여진다. Kerns and Stewart(2000)는 21±1℃에서 발육기간이 5.67~6.29라 하여 본 실험의 8.28일과는 차이를 보였으며, 본 실험의 실내조건에서 24℃에서 5.91일과 27℃에서 4.83일과 기존의 25℃에서 5.4일(Liu et al., 2000)과 27.5℃의 5일(Akey and Butler, 1989)

**Table 1.** Age-specific mortality of *Aphis gossypii* at various temperatures in the laboratory and plastic house

Place	Temperature (°C)	Nymphal mortality (%)				
		1st	2nd	3rd	4th	Total
Laboratory	15	0.0	20.0	13.3	0.0	33.3
	18	0.0	6.7	6.7	0.0	13.3
	21	0.0	6.7	6.7	0.0	13.3
	24	0.0	6.7	6.7	0.0	13.3
	27	0.0	0.0	13.3	6.7	20.0
	30	0.0	0.0	20.0	13.3	33.3
	33	0.0	0.0	26.7	33.3	60.0
Plastic house	12.6±10.3 (23 Mar.~15 Apr.)	13.3	3.3	3.3	0.0	19.9
	14.4±8.3 (3 Apr.~28 Apr.)	11.1	15.6	2.2	0.0	28.9
	17.6±6.8 (19 Apr.~14 May)	8.9	17.8	2.2	0.0	28.9
	20.2±6.2 (3 May~24 May)	17.8	8.9	0.0	0.0	26.7
	21.5±5.9 (16 May~2 Jun.)	0.0	13.3	0.0	0.0	13.3
	28.5±3.8 (3 Aug.~20 Aug.)	6.67	0.0	0.0	0.0	6.67

**Table 2.** Development period(day, mean±SE) for nymph stages of *Aphis gossypii* at various temperatures

Place	Temperature (°C)	Developmental periods (days ± SE)				
		1st	2nd	3rd	4th	Total
Laboratory	15	2.58±0.45a <sup>a)</sup>	3.05±0.41a	3.39±0.48a	3.18±0.53a	5.63±1.17a
	18	1.99±0.51b	2.83±0.29b	2.29±0.24b	2.34±0.26db	4.82±1.28b
	21	1.49±0.43c	2.47±0.28c	2.16±0.51b	2.16±0.48b	3.96±1.64c
	24	0.70±0.53d	1.61±0.39d	1.661±0.29c	1.94±0.42c	2.31±1.57d
	27	0.41±0.23e	1.60±0.45d	1.43±0.44d	1.39±0.50d	2.01±1.53e
	30	0.39±0.11e	1.56±0.54d	1.48±0.60cd	1.39±0.32d	1.95±1.50e
Plastic house	12.6±10.3 (23 Mar.~15 Apr.)	2.79±0.42a	3.15±0.35a	3.18±0.42a	2.91±0.08a	12.03±0.51a
	14.4±8.3 (3 Apr.~28 Apr.)	2.10±0.15b	3.22±0.07a	3.18±0.24a	2.98±0.31a	11.48±0.41a
	17.6±6.8 (19 Apr.~14 May)	1.72±0.09c	2.41±0.25b	2.21±0.23b	2.13±0.11b	8.47±0.53b
	20.2±6.2 (3 May~24 May)	1.56±0.09c	1.97±0.05c	1.88±0.05b	1.82±0.24bc	7.23±0.48c
	21.5±5.9 (16 May~2 Jun.)	1.54±0.05c	1.45±0.14d	1.40±0.10c	1.60±0.16c	5.99±0.24d
	28.5±3.8 (3 Aug.~20 Aug.)	1.02±0.04d	1.02±0.04e	1.00±0.00c	1.05±0.04d	4.09±0.04e

<sup>a)</sup> values followed by the same letter within a column are not significantly different ( $P > 0.05$ , DMRT).

**Table 3.** Lower developmental threshold and thermal constant estimated by linear regression for *A. gossypii*

Stage	Intercept	Slope	r <sup>2</sup>	Lower threshold temperature <sup>a)</sup>	Degree Day (DD) <sup>b)</sup>
1st	-2.410	0.166	0.90	14.5	6.0
2nd	-0.064	0.025	0.87	2.6	40.0
3rd	-0.079	0.027	0.93	2.9	37.0
4th	-0.109	0.028	0.92	3.9	35.7
Pre-nymph	-0.241	0.026	0.94	9.3	38.5
Post-nymph	-0.047	0.014	0.94	3.4	71.4
Total	-0.061	0.009	0.96	6.8	111.1

<sup>a)</sup> Lower threshold temperature = | intercept/slope | .

<sup>b)</sup> Degree Day = 1/slope.

과 비슷한 결과를 보였으나 Choe et al.(2006)의 25°C에서 10.8 일과는 차이를 많이 보였는데 이것은 오이와 들깨에서 시험한 기주식물의 차이로 보여 진다. Shim et al.(1979)은 야외포장에서 목화진딧물의 발육기간이 8.04일이라고 하였으며 Kim et al.(2004)은 이시기의 야외온도가 17.5~20°C 사이였을 것으로 추측하였는데, 본 실험의 결과로 비교하여 보면 실내조건에서는 21~24°C, 포장조건에서는 4월 19일부터 5월 24일 사이일 것으로 보인다.

온도와 발육율의 관계를 직선회귀식에 의해 분석한 결과 (Table 3), 각 령기별 발육영점온도는 각각 14.5, 2.6, 2.9, 3.9 °C 였으며 전약충은 9.3°C, 후약충은 3.4°C, 전체약충은 6.8°C 였다. 유효적산온도는 전약충, 후약충, 전체약충이 각각 38.5, 71.4, 111.1 일도이었다. Kersting et al.(19990)은 전체유충의 발육영

점이 6.2°C, 유효적산온도는 108.9 일도라고 하였고, Liu et al.(2000)은 5.9°C와 106.6 일도라고 보고하였으며 Kim et al.(2004)의 5.0°C, 106.8DD로 실내조건에서는 유효적산온도가 비슷하였으나 Choe et al.(2006)의 4.9°C, 221.2DD와는 큰 차이가 있었다.

선형과 3가지 비선형 모형(Briere 1, Lactin 2, Logan 6)을 이용하여 온도와 발육율과의 관계를 분석한 결과(Table 4), 1 령의 발육치사온도( $T_L$ )가 세 모형 모두 비현실적으로 추정되었으며 특히 Briere 1 모형에서 크게 나타났다. Lactin 2 모형도 치사상한온도가 Logan 6 모형 보다 높고, 각 령기 및 전약충, 후약충, 전체약충에서 Logan 6 모형의 r<sup>2</sup> 값이 상대적으로 높았다. 정보 기준으로 평가할 때(Table 5) Briere 1, Lactin 2, Logan 6의 AIC 값은 전체약충에서 -146.3, 152.8, -164.0으로 수치가 작을

**Table 4.** Parameter estimates of three non-linear models describing the relationship between temperature and development rate of nymphal stage of *Aphis gossypii*

Model	Parameter	Nymphal stage				Pre-nymph	Post-nymph	Total nymph
		1st	2nd	3rd	4th			
Briere 1	a	0.00015	0.00025	0.00032	0.00008	0.00021	0.00011	0.00008
	$T_0$	14.48	-0.71	1.72	-22.532	6.23	-3.58	2.16
	$T_L$	2289.97	37.75	36.32	64.73	44.42	40.70	41.90
Lactin 2	$\rho$	0.1415	0.1816	0.1638	0.1723	0.1747	0.1533	0.1497
	$T_L$	325.97	34.02	34.49	35.91	35.61	35.88	36.59
	$\Delta T$	7.06	5.49	6.07	5.79	5.71	6.50	6.67
	$\lambda$	-0.1983	0.14837	0.0954	0.1780	0.0107	0.0507	0.0052
Logan 6	$\psi$	0.0305	0.0982	0.1074	0.1197	0.0323	0.0605	0.0243
	$\rho$	0.1585	0.0741	0.0723	0.0653	0.1072	0.0651	0.0798
	$T_L$	482.01	33.58	32.78	30.37	33.11	30.16	31.20
	$\Delta T$	2.29	2.41	1.89	0.20	2.04	0.10	0.72

**Table 5.** Goodness-of-fit evaluation of *Aphis gossypii* at nymphal stage

Model	Parameter	Nymphal stage				Pre-nymph	Post-nymph	Total nymph
		1st	2nd	3rd	4th			
Briere 1	$r^2$	0.9643	0.8977	0.9642	0.9249	0.9499	0.9507	0.9662
	AIC	-52.0	-99.7	-113.7	-101.3	-108.6	-129.2	-146.3
	BIC	-49.2	-96.9	-110.8	-98.4	-105.8	-126.4	-143.5
Lactin 2	$r^2$	0.9890	0.9276	0.9737	0.9392	0.9670	0.9622	0.9806
	AIC	-67.6	-102.9	-116.3	-102.5	-113.1	-131.5	-152.8
	BIC	-64.1	-99.3	-112.8	-99.0	-109.5	-128.0	-149.3
Logan 6	$r^2$	0.9877	0.923	0.9764	0.9554	0.9702	0.978	0.9921
	AIC	-64.0	-100.0	-116.3	-105.1	-112.6	-137.6	-164.0
	BIC	-59.7	-95.7	-112.0	-100.9	-108.4	-133.3	-159.8

수록 더 적합한 모형으로 판단했을 때 Logan 6 모형이 가장 적절하였다. 또한 BIC 역시 Briere 1, Lactin 2, Logan 6의 값이 -140.8, 149.3, 159.8로 나타나 이들 값의 절대치 차이가 10이상이면 매우 큰 차이, 6에서 10사이면 큰차이가 난다는 Raftery (1995)의 기준으로 보았을 때 Logan 6 모형이 Briere 1과 16.3, Lactin 2와는 10.5의 차이로 큰차이가 나서 Logan 6 모형이 적합한 것으로 판단된다. Park et al.(2010)도 흑다리긴노린재의 약충 발육단계에서 비선형 모형 중 Logan 6 모형이 온도와 발육율과의 관계를 가장 잘 설명된다고 한바 있다. 또한 Kim et al.(2004)도 직선회귀에서는 조사온도 범위에 따라 조사결과를 누락할 경우도 있어 비선형회귀식이 목화진딧물의 온도별 발육모형에 더 적합하다고 하였다.

실내조건에서 각각의 온도에서 개체들의 발육기간을 평

균발육기간으로 나누는 방법으로 발육기간을 정규화시킨 후 3-parameter Weibull 함수에 적용시켜 동일한 발육단계와 연령 집단의 발육완료를 추정하였다(Table 5). 각 발육단계별로 모형의 적합성을 나타내는  $r^2$  값이 차이가 있어 실내에서 1령충이 0.78로 낮게 나타났을 뿐 다른 영기에서는 0.85~0.93으로 각 온도별 발육시기의 누적 발육율을 잘 나타내고 있었다.

변온인 비닐하우스에 목화진딧물을 정식시기별로 1령충을 접종하여 성충이 되는 날의 비율을 누적한 조사값과 각 정식시기의 비닐하우스 온도를 바탕으로 성충 발육을 예측한 값을 비교한 결과(Fig. 1), 매일의 최고온도에 3을, 최저온도에 2를 곱하여 나는 평균값으로 성충발육을 예측하였을 때 가장 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 저온에서 실제 조사값은 예측값보다 더 늦게 성충이 나타났으나 온도가 올라가는 4월 중순이후 5월까지

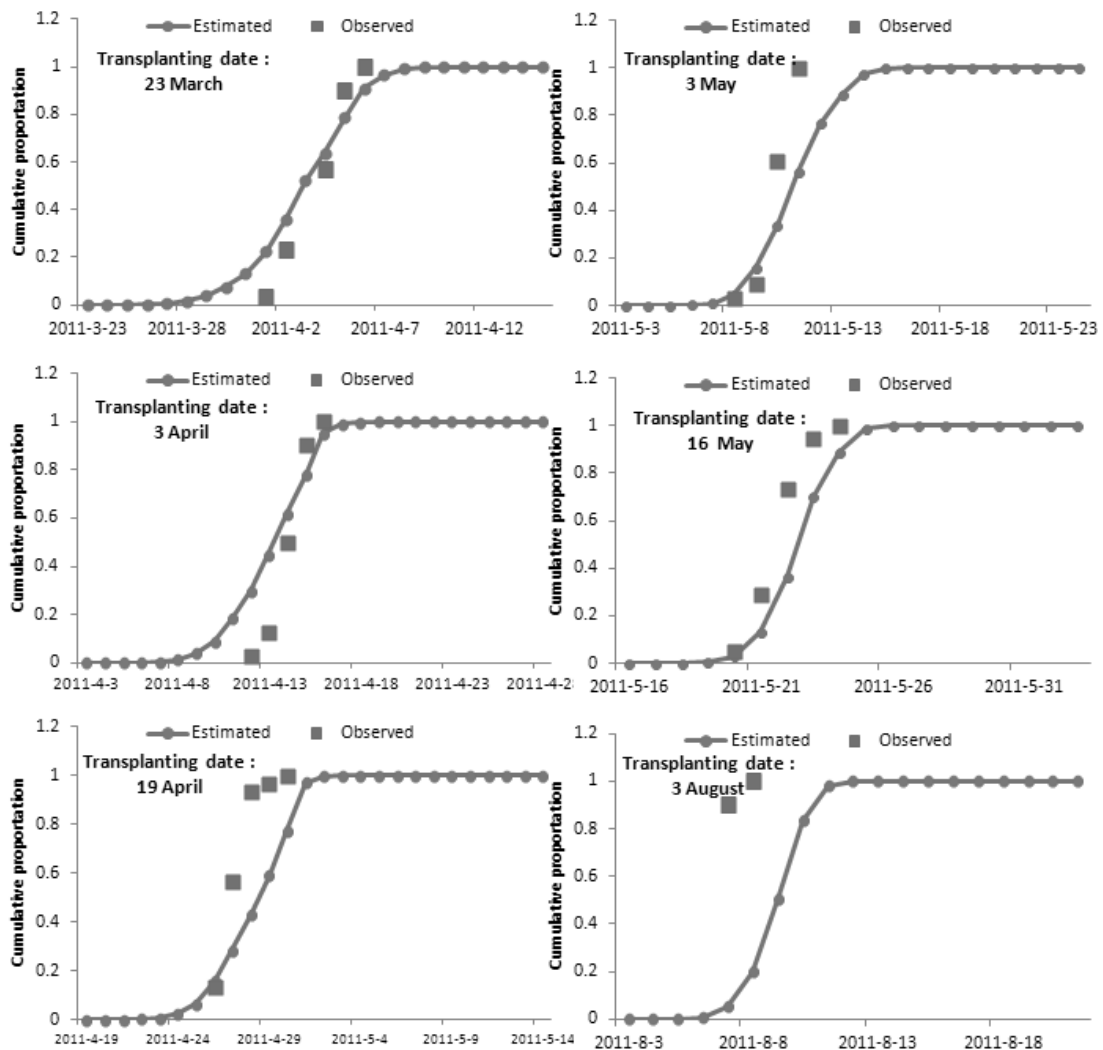


Fig. 1. Comparison of predicted cumulative curves and observed proportion on each transplanting date of *Aphis gossypii*.

Table 6. Estimated parameters of Weibull function for development completion of nymph of *Aphis gossypii*

Life stage	$\eta$	$\beta$	$\gamma$	$r^2$
1st	53.624	173.080	-52.625	0.78
2nd	35.854	209.295	-34.857	0.91
3rd	121.232	530.678	-120.222	0.85
4th	1.250	6.533	-0.249	0.93
Pre-nymph	10.040	48.366	-8.989	0.90
Post-nymph	1.538	6.891	-0.497	0.89
Total	1.214	5.683	-0.165	0.91

지는 예측값 보다 더 빠르게 성충이 나타났다. 특히 고온인 8월에는 예측값에 비해 성충이 더 빠르게 나타나 고온일수록 예측

값보다 실제 발생이 더 빠르게 나타났다. 이러한 결과는 Park et al.(2011)도 애벌레의 월동개체군의 발육모델에 의한 성충 우화비율의 예측결과가 실측치보다 늦게 나타난다고 보고한바 있으며 이러한 원인으로 휴면타파 전후의 생리적 발육의 차이, 생태종의 존재(Chon et al., 1975)등에 의해 차이 날수도 있지만 비닐하우스내의 8월 온도가  $28.5^{\circ}\text{C} \pm 3.8$ 로 고온에서 목화진딧물이 빠르게 성충이 될 수 있는 조건 때문으로 판단된다.

## 사사

본 연구는 농촌진흥청의 ‘진딧물 개체군 동태 모델 및 방제 의사결정 체계 개발(과제번호: PJ007395092012)’ 과제의 지원에 의해 수행되었음.

## Literature cited

- Akey, D.H., Butler Jr. G.D., 1989. Developmental rates and fecundity of apterous *Aphis gossypii* on seedlings of *Gossypium hirsutum*. Southwestern Entomol. 14, 295-299.
- Ali Niaze, M.T., 1976. Thermal unit requirements for determining adult emergence of the western cherry fruit fly in the Willamette Valley of Oregon. Environ. Entomol. 5, 397-401.
- Briere, J.F., Pracros, P., 1998. Comparison of temperature-dependent growth models with the development of *Lobesia botrana* (Lepidoptera : Tortricidae). Environ. Entomol. 27, 94-101.
- Briere, J.F., Pracros, P., Le Roux, A.Y., Pierre, J.S., 1999. A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. Environ. Entomol. 28, 22-29.
- Burnham, K.P., Anderson, D.R., 2004. Multimodel inference : understanding AIC and BIC in model selection. Sociol. Methods Res. 33, 261-304.
- Butts RA., McEwen FL., 1981. Seasonal populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), in relation to day-degree accumulation. Canadian Entomol. 113, 127-131.
- Campbell, A., Frazer, B.D., Gilbert, N., Gutierrez, A.P., Markauer, M., 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. J. Appl. Ecol. 11, 431-438.
- Capinera, J.L., 2000. www. Creatures. Ifas.ufl.edu/veg/aphid/melon\_aphid. htm.
- Choe, Y.S., Park, D.G., Han, H.K., Choe, K.R., 2006. Temperature -dependent development of *Aphis gossypii* Glover and *Aphis egomae* Shinji on leaves of green perilla and their seasonal abundance patterns in protected greenhouse in Geumsan, Korea. Kor. J. Appl. Entomol. 45, 260-274.
- Chon, T.S., Hyun, J.S., Park, C.S., 1975. A study on the population dynamics of overwintered small brown plat hopper, *Laodelphax striatellus* (Fallen). Kor. J. Entomol. 5, 21-23.
- Eckennode, C.K., Chapman, R.K., 1972. Seasonal adult cabbage maggot populations in the field in relation to thermal unit accumulations. Ann. Entomol. Soc. Am. 65, 151-156.
- Han, M.W., Lee, J.H., Lee, M.H., 1993. Effects of temperature on development of oriental tobacco budworm, *Helioverpa assulta* Guenee. Kor. J. Appl. Entomol. 32, 236-244.
- Howe, R.W., 1967. Temperature effects on embryonic development in insects. Annu. Rev. Entomol. 10, 15-42
- Isely, D., 1946. The cotton aphid. Ark. Agric. Expt. Sta. Bull. No. 462.
- Kerns, D.L., Stewart, S.D., 2000. Sublethal effects of insecticides on the intrinsic rate of increase of cotton aphid. Entomologia Experimentalis et Applicata. 94, 41-49.
- Kerstings, U., Satar, S., Uygun, N., 1999. Effect of temperature on development rate and fecundity of apterous *Aphis gossypii* Glover (Hom., Aphididae) reared on *Gossypium hirsutum* L.J. Appl. Ent. 123, 23-27.
- Kim, D.S., Lee, J.H., 2003. Oviposition model of *Carposina sasakii* (Lepidoptera : Carposinidae). Ecol. model. 162, 145-153.
- Kim, D.S., Lee, J.H., Yiem, M.S., 2001. Temperature-dependent development of *Carposina sasakii* (Lepidoptera : Carposinidae) and its emergence models. Environ. Entomol. 30, 298-305.
- Kim, J.S., Kim, Y.H., Kim, T.H., Kim, J.H., Byeon, Y.W., Kim, K.H., 2004. Temperature-dependent development and its model of the melon aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae). Kor. J. Appl. Entomol. 43, 111-116.
- King, E.G., Phillips, J.R., 1989. The 42nd annual conference report on cotton insect research and control. In: Proc. Beltwide Cotton Production Research Conference, Memphis, Tennessee, USA. pp. 180-191.
- Komazaki, S., 1982, Effects of constant temperature on population growth of three aphid species, *Toxoptera citricidus* (Kirsaldy), *Aphis citricola* van der Goot and *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) on citrus. Appl. Entomol. Zool. 17, 75-81.
- Lactin, D.J., Holliday, N.J., Johnson, D.I., Craigen, R., 1995. Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. Environ. Entomol. 24, 68-75.
- Leclant, F., Deguine, J.P., 1994. Aphids (Hemiptera: Aphididae). In: Matthew, G.A., Tunstal, J.P. (eds.), Insect pests of cotton. Wallingford UK vab international. pp. 285-323.
- Lee, Y.H., 2010. Simulation study on model selection based on AIC under unbalanced design in linear mixed effect models. Kor. J. A. Stat. 23, 1169-1178.
- Liu, Y.C., Kuo, M.H., Yang, S.C., 2000. The development, fecundity and life table of *Aphis gossypii* Glover on lily. Plant Prot. Bull. 42, 1-10.
- Logan, J.A., Wolkind, D.J., Hoyt, S.C., Tanigoshi, L.K., 1976. An analytical model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. Environ. Entomol. 5, 1113-1140.
- Paik, W.H., 1972. Illustrated Flora and Fauna of Korea Vol. 13 (Insecta V). Ministry of Education. pp. 751.
- Park, C.G., Park, H.H., Uhm, K.B., Lee, J.H., 2010a. Temperature-dependent development model of *Paromius exiguus* (Distant) (Heteroptera: Lygaeidae). Kor. J. Appl. Entomol. 49, 305-312.
- Park, C.G., Park, H.H., Kim, K.H., 2011. Temperature-dependent development model and forecasting of adult emergence of overwintered small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallen, population. Kor. J. Appl. Entomol. 50, 343-352.
- Park, C.G., Kim, H.Y., Lee, J.H., 2010b. Parameter estimation for a temperature-dependent development model of *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae). J. Asia Pac. Entomol. 13, 145-149.
- Raftery, A.E., 1995. Bayesian model selection in social research. Sociol. Methodol. 25, 111-163.
- Schoolfield, R.M., Sharpe, P.J.H., Mugnison, C.E., 1981. Nonlinear



- 
- regression of biological temperature-dependent rate models based on absolute reaction-rate theory. *J. Theor. Biol.* 66, 21-38.
- Scopes, N.E.A., Biggerstaff, S.B., 1977. The use of a temperature integrator predict the developmental period of the parasite *Aphidius matricariae*. *J. Appl. Ecol.* 14, 799-802
- Shi, P., Ge, F., 2010. A comparison of different thermal performance functions describing temperature-dependent development rates. *J. Thermal Biol.* 35, 225-231.
- Shim, J.Y., Park, J.S., Paik, W.H., 1979. Studies on the life history of cotton aphid, *Aphid gossypii* Glover (Homoptera). *Kor. J. Pl. Prot.* 18, 85-88.
- Slosser, J.E., Pinchak, W.E., Rummel, D.E., 1989. A review on known and potential factors affecting the population dynamics of the cotton aphid. *Southwestern Entomol.* 14, 302-313.
- Systat software inc. 2002. TableCurve 2D Automated curve fitting analysis: Ver. 5.01. Systat software. inc. San jose. CA.
- Wagner, T.L., Wu, H., Sharpe, P.J.H., Coulson, R.N., 1984a. Modeling distribution of insect development time: A literature review and application of Weibull function. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77, 475-487.
- Wagner, T.L., Wu, H., Sharpe, P.J.H. Schoolfield, R.M., Coulson, R.N., 1984b. Modeling insect development rate: A literature review and application of a biophysical model. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77, 208-225.