

목화진딧물(*Aphis gossypii* Glover)의 온도발육과 발육모형

김지수*, 김용현, 김태홍¹, 김정환, 변영웅, 김광호

농촌진흥청 농업과학기술원 농업해충과, ¹전북대학교 농과대학 생물자원과학부 농생물전공

Temperature-dependent Development and Its Model of the Melon Aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae)

Ji-Soo Kim*, Yong-Heon Kim, Tae-Heung Kim¹, Jeung-Hwan Kim,
Young-Woong Byeon and Kwang-Ho Kim

Entomology Division, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-707, Republic of Korea

¹Agricultural Biology Major, Faculty of Biological Resources Science, College of Agriculture and Life Sciences,
Chonbuk National University Chonju Chonbuk 561-756, Republic of Korea

ABSTRACT : The development of *Aphis gossypii* was studied at various constant temperatures ranging from 15 to 35°C, with 60-70% RH, and photoperiod of 16:8 (L:D h). Mortality of *A. gossypii* was high in the early developmental stages, and at high temperatures. The total immature developmental period ranged from 4.6 to 11.5 days. The lower developmental threshold temperature and effective cumulated temperature for all immature stages were 5.0°C and 106.8 degree-day, respectively. The nonlinear shape of temperature-dependent development was well described by the modified Sharpe and DeMichele model. The normalized cumulative frequency distributions of developmental period for each life stage were fitted to the three-parameter Weibull function.

KEY WORDS : Melon aphid, *Aphis gossypii*, Development, Threshold, Modeling

초 록 : 목화진딧물 발육실험은 15-35°C, 습도는 60-70%, 광주기는 16:8(L:D h)에서 수행하였다. 진딧물 약충 사망률은 초기 1-2령의 사망률이 대부분을 차지하고, 온도의 상승에 따라 사망률이 높아져 32.5°C에서 36%였으며, 35°C에서는 1-2령의 사망률이 44%, 3-4령이 56%로 이 온도에서는 진딧물의 발육이 이루어지지 않았고, 3-4령의 사망률이 1-2령의 사망률보다 높게 나타났다. 전체약충의 온도별 발육기간을 보면 15-30°C까지 온도의 상승에 따라 발육기간이 11.5에서 4.6일로 짧아지는 경향을 보였고, 고온의 영향을 받은 것으로 생각되는 32.5°C에서는 오히려 발육기간이 5.5일로 길어졌다. 발육영점온도는 5.0°C이었고, 유효적산온도는 106.8일도였다. 온도별 발육율은 변형된 Sharpe와 DeMichele의 비선형 모형에 잘 적합되었다. 발육단계별 발육기간을 표준화하여 누적시킨 값들은 3개의 변수를 갖는 Weibull function에 적합되었다.

검색어 : 목화진딧물, 발육영점온도, 발육, 발육모형

목화진딧물(*Aphis gossypii*, cotton aphid, melon aphid)은 열대, 아열대 및 온대에 걸쳐 널리 분포하며 온대지역의 채소와 과수, 포장과 온실에도 존재한다 (Leclant and Deguine, 1994). 우리나라에서는 약 50종

의 기주식물이 기록되었으며 약 45종의 각종 바이러스병을 매개하는 것으로 보고되어 있다(Paik, 1972). 한편, 국내에서 이들은 주로 박과채소류를 기해하는 경향이 크므로 본고에서는 Cotton Aphid의 다른 이름인

*Corresponding author. E-mail: bioagr@hanmail.net

Melon Aphid라 하였다.

목화진딧물의 생활사는 가을을 제외한 봄, 여름 및 초가을에는 약충과 성충으로만 나누어지며, 가을에는 약충, 성충, 알이 있다. 가을에 유일하게 암·수가 존재하며, 모두 유시충이다. 온대지역에서는 알로 겨울을 난다. 갓낳은 알은 노란색이지만 곧 밝은 검정색이 된다. 일반적으로 개오동나무류 또는 장미에 산란을 하여 월동하는 것으로 알려져 있다(Caphnera, 2000). 우리나라에서는 무궁화, 부용, 석류나무 등에서 수정난 상태로 월동하며 4월 상순부터 부화를 시작해서 4월 하순-5월 상순에 부화를 끝낸다(Shim et al., 1979). 성충의 크기는 무시형 진딧물이 1-2 mm이고, 유시형 진딧물의 크기가 1.1-1.7 mm이다. 채색은 밝은 녹색, 어두운 녹색이 가장 일반적이나 흰색, 노란색, 녹색을 갖는 개체도 나타난다. 알을 낳은 암컷은 어두운 녹색이며 수컷 또한 암컷과 비슷하다. 월동 알이 부화하여 간모가 된다. 이후 수세대 동안 기주 이동이 없으며, 2차 기주로 이동하기 위해 유시충이 된다. 가을에 다시 월동기주로 이동하기 위해 유시충이 되고 암·수가 발생하여 알을 산란하게 된다. Shim et al. (1979)은 약충이 3회 탈피한 후 성충이 된다 하였으나 Akey and Butler (1989)는 약충을 4단계로 나누어 1령, 2령, 3령, 4령이라 하였으며 27.5°C에서 5일, 10°C에서 24.6일간 약충발육이 이루어졌고, 10°C에서 25.2일, 25°C에서 5.4일이라 보고한 Liu et al. (2000)이 있다. 발육최적온도는 28°C로 보고한 Isely (1946), 굴류에서 29.7°C라고 보고한 Komazaki (1982), 27°C로 보고한 Liu and Perng (1987)이 있다.

본 실험은 이처럼 다양한 기주 범위와 피해를 주고 있는 목화진딧물을 진디혹파리 등의 천적을 이용하여 밀도를 억제하기 위한 실험의 일환으로 이들의 온도별 발육모형과 이에 따른 천적의 발육모형을 상호연관지어 구명해 보기 위해 수행하였으며, 본 논문에서는 일차적으로 목화진딧물의 온도의존적인 발육모형에 관한 결과를 보고한다.

재료 및 방법

목화진딧물 사육

실험에 사용한 목화진딧물은 농촌진흥청 농업과학기술원 해충과에서 누대사육하고 있는 충을 이용하였다.

목화진딧물을 직경 7cm, 높이 7cm의 비닐 포트에 오이(*Cucumis sativus* L. 백다다기, White Spine and Semi White Cucumber)를 파종, 20일이 경과한 오이에 목화진딧물을 사육하였다.

발육 조사

목화진딧물 발육실험은 15°C에서 35°C까지 9개 온도, 습도는 60-70%, 광주기는 16:8 (L:D h)에서 수행하였으며, 직경 5 cm 페트리디ッシュ에 Advantec filter paper (Toyo Roshi Kaisha Ltd. Japan) No. 3호 여과지 1매를 깔고 그 위에 가로 세로 1.5 cm의 솜을 놓았다. 중류수를 솜과 여과지가 물이 흐르지 않을 정도로 적시고(1 mL) 그 위에 직경 2.5 cm로 자른 오이 잎을 아래 면이 위로 향하게 놓았다. 성충을 파종 4주된 오이에 접종 후 5-6시간 동안 받은 산자를 준비된 오이 잎에 올려놓고 12시간 간격으로 조사하였다. 온도별 반복은 50 마리였다. Shim et al. (1979)은 약충이 3회 탈피한 후 성충이 된다 하였으나 Akey and Butler (1989)는 약충을 4단계로 나누어 1령, 2령, 3령, 4령이라 하였다. 실험결과 목화진딧물을 4회 탈피하며 출산직후를 1령, 첫 번째 탈피 후를 2령, 두번째 탈피 후를 3령, 세번째 탈피 후를 4령으로 하였고 마지막 네 번째 탈피한 개체를 산자전기간으로 하였다. 산자전기간부터 성충으로 우화한 것으로 보았다. 본 실험에서는 조사한 각 령별 발육기간을 다음과 같이 둘로 나누어 분석하였다. 1-2령은 전약충, 3-4령은 후약충, 1-4령은 전체약충 기간으로 하여 발육영점온도와 유효적산온도를 구하고, 발육분포모형에 적용하였으며, 산란전기를 포함한 죽을 때까지를 성충기간으로 하였다.

발육모형 및 발육분포모형 분석

약충 발육기간, 성충 수명, 산자수는 Tukey's HSD를 이용하여 온도별 발육기간에 대한 차이를 유의수준 0.05에서 결정하였다.

온도에 따른 발육기간은 직선회귀모형과 비선행발육모형을 이용하여 분석하였다. 직선회귀모형은 온도별 발육기간의 역수를 취하여 온도별 발육속도로 바꾼 후 온도와의 직선회귀식을 구하고, 이 식으로부터 발육속도가 0이 되는 온도를 발육영점온도로 하였으며, 유효적산온도는 사육한 온도와 발육영점온도와의 차이의 평균을 발육기간에 곱하여 구하였다.

비선형발육모형은 비선형회귀 분석을 통하여 매개변수를 추정할 수 있도록 수정된 Schoolfield *et al.* (1981)의 생물물리학적 모형(식 1)을 이용하였으며, 그 식은 다음과 같다.

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

여기서 $r(T)$ 는 절대온도(K)에서의 발육율(1/발육기간)이고, R 은 기체상수($1.987 \text{ cal degree}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)이며, $RHO25$ 는 상온(25°C)에서의 평균발육속도이다. HA 는 모델에서 가정한 속도조절효소(rate-controlling enzyme)가 촉매하는 반응의 활성화 에너지이며, TL 은 속도조절효소가 저온에 의해 50% 활성을 나타내는 온도(K)이고, HL 은 속도조절효소가 저온에 의해 50% 활성화되는 것과 관련된 엔탈피의 변화이다. TH 는 속도조절효소가 고온에 의해 50% 정도로 활성을 저해받게 되는 온도(K)이며, HH 는 발육상온에서 이와 관련된 엔탈피의 변화를 의미한다. 매개변수의 추정은 Wagner *et al.* (1984a)이 제시한 SAS 프로그램을 이용하였다 (SAS, 1999).

각 발육단계의 발육완료시기 분포모형은 각 발육기간의 빈도분포를 표준화시켜 얻었다. 즉 각 온도에서 발육기간의 중앙값으로 각 개체들의 발육기간을 나누어 생리적 연령을 구한 다음, 이들 생리적 발육완료기간의 누적빈도를 구하고, 아래의 Weibull 함수(식 2)에 적용시켜 정규화된 발육완료시기 분포를 얻었으며, 그 식은 다음과 같다(Wagner *et al.*, 1984b)

$$f(x) = 1 - \exp(-[(x-\gamma)/\eta]^\beta) \quad (\text{식 } 2)$$

위 식에서 $f(x)$ 는 정규화된 시간(normalized time) x 에서의 발육을 완료한 개체들의 비율이며, β, γ, η 는 추정되어야 할 매개변수들이다. 매개 변수의 추정은 Table curve (Jandel, 1996) 프로그램을 이용하였다.

결과 및 고찰

약충 사망률

목화진딧물의 발육 중 약충 사망률은 Table 1에서와 같이 15°C 에서 35°C 까지 조사했을 때, 어린 약충인 1-2령충 시기의 사망률이 대부분을 차지하였고, 온

도가 높아지면서 사망률이 점차적으로 증가하여 32.5°C 에서는 다른 온도보다 사망률이 높게 나타났으며, 35°C 에서는 1-2령이 44%, 3-4령이 56%의 사망률을 보였으며 특히 3-4령의 사망률이 1-2령의 사망률 보다 조금 높게 나타나 고온에서 노숙 약충이 더 적응하지 못한 것으로 생각한다. Kersting *et al.* (1999)은 15°C 와 $30\text{-}35^\circ\text{C}$ 의 변온조건에서 사망률이 높게 나타났는데, 이것은 고온조건이 목화진딧물의 발육에 부의 영향을 주었다는 것을 의미한다고 설명하였다. 본 실험에 사용된 목화진딧물은 32.5°C 이하의 온도에서 낮은 사망률을 보였다.

Table 1. Stage-specific mortality of *A. gossypii* at various temperatures

Temp.(°C)	n	Nymph stage mortality (%) of <i>A. gossypii</i>				Total nymph
		1st	2nd	3rd	4th	
15.0	50	10	0	0	0	10
17.5	50	8	0	4	0	12
20.0	50	8	4	0	0	12
22.5	50	22	0	0	0	22
25.0	50	14	4	2	4	24
27.5	50	14	0	6	4	24
30.0	50	12	12	0	0	24
32.5	50	24	4	2	6	36
35.0	50	28	16	24	32	100

약충 발육기간

목화진딧물의 약충 발육기간은 27.5°C 와 30°C 에서 4.6일로 가장 짧았고, 15°C 에서 11.5일로 가장 길었다. 15°C 에서 30°C 까지 온도의 증가에 따라 발육기간은 짧아지는 경향을 보이나 32.5°C 부터 발육기간이 5.5일로 길어졌고 35°C 에서는 4령 이내에서 모두 사망하여 발육기간에 포함시키지 않았다(Table 2). 각 단계 (1-2령기 → 전약충, 3-4령기 → 후약충, 전체약충기간)에 따른 온도별 발육에서 20°C 이하는 온도에 따라서 발육율의 차이에 유의성이 인정되나 22.5°C 이상의 온도에서는 유의성이 낮아져 27.5°C 와 30°C 에서는 온도에 따른 유의차가 없었다. 본 실험에서 전약충, 후약충, 전체약충기간 모두 P 값이 0.01보다 작으므로 1%의 유의성이 있으며, 계급간 유의성이 인정된다(전약충, $F = 109.66$, $df = 7, 329$, $\gamma^2 = 0.70$, $P = 0.0001$; 후약충 $F = 211.63$, $df = 7, 316$, $\gamma^2 = 0.83$, $P = 0.0001$; 전체약충기간 $F = 404.46$, $df = 7, 314$, $\gamma^2 = 0.90$, $P = 0.0001$). Kersting *et al.* (1999)은 15°C 에서 12.0일, 30°C 에서

4.5일이라 하였고, Kerns and Stewart (2000)는 $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 발육기간이 5.67-6.29일이라 하였으며, 10°C 에서 25.2일, 25°C 에서 5.4일이라고 한 Liu *et al.* (2000)과 10°C 에서 24.6일, 27.5°C 에서 5일이라고 한 Akey and Butler (1989)가 있으며, Komazaki (1982)는 최적온도가 29.7°C , Isely (1946)는 28°C 라 하였다. 또한 Shim *et al.* (1979)은 야외 포장에서 목화진딧물의 발육을 조사했을 때 발육기간이 8.04일이라 하였다. 본 실험에서는 27.5°C 와 30°C 에서의 발육기간이 4.6일로 발육기간은 Kersting *et al.* (1999)의 결과와 가장 유사하였고, 최적온도는 이 두 온도 사이에 존재할 것으로 생각되어 Komazaki (1982)와 Isely (1946)의 결과와 유사한 것으로 생각한다. 야외 포장에서 조사한 Shim *et al.* (1979)의 결과와 본 실험치를 통해서 보았을 때 야외 온도가 $17.5\text{-}20^{\circ}\text{C}$ 사이였을 것으로 생각된다.

온도와 발육율의 관계를 직선회귀에 의해 분석한 결과는 Table 3과 같다. 직선회귀 분석시 처리한 모든 온도를 이용하여야 하나 고온에 의해 부의 영향을 받아 발육기간이 다시 길어진 32.5°C 의 발육기간을 분

석에 포함했을 경우 목화진딧물 발육영점온도와 차이가 있을것으로 생각되어 32.5°C 는 제외하고 직선회귀에 적용한 결과 각 발육단계 모두 γ^2 값이 0.93 이상으로 본 실험에서 수행한 온도 $15\text{-}32.5^{\circ}\text{C}$ 중 $15\text{-}30^{\circ}\text{C}$ 까지의 목화진딧물 발육은 직선회귀에 부합되었다. 각 단계별 발육영점온도는 전약충이 5.6°C , 후약충은 4.2°C , 전체약충 기간이 5.0°C 이었다. 전약충, 후약충 및 전체약충 기간의 유효 적산온도는 각각 52.0일도, 56.5일도, 106.8일도였다(전약충 $F = 133.40$, $df = 1, 6$, $P = 0.0001$; 후약충 $F = 66.64$, $df = 1, 6$, $P = 0.0004$; 전체약충 $F = 98.24$, $df = 1, 6$, $P = 0.0002$). Kersting *et al.* (1999)은 발육영점온도가 6.2°C , 유효적산온도는 108.9일도라 하였고, Liu *et al.* (2000)은 발육영점온도가 5.9°C , 유효적산온도는 106.6일도라 하여, 본 실험에서 구한 발육영

Table 2. Development period (day, mean \pm SE) for nymph stages of *A. Gossypii* at various temperatures

Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Development for nymph stage of <i>A. gossypii</i>		Total nymph
	Pre-nymph	Post-nymph	
15.0	$5.8 \pm 0.08\text{a}^*$	$5.8 \pm 0.10\text{a}$	$11.5 \pm 0.11\text{a}$
17.5	$4.5 \pm 0.09\text{b}$	$4.5 \pm 0.14\text{b}$	$9.0 \pm 0.14\text{b}$
20.0	$3.4 \pm 0.07\text{c}$	$3.5 \pm 0.06\text{c}$	$6.9 \pm 0.1\text{c}$
22.5	$2.8 \pm 0.05\text{d}$	$2.9 \pm 0.08\text{d}$	$5.6 \pm 0.07\text{d}$
25.0	$2.6 \pm 0.1\text{de}$	$2.5 \pm 0.09\text{de}$	$5.0 \pm 0.16\text{ef}$
27.5	$2.3 \pm 0.08\text{de}$	$2.4 \pm 0.14\text{e}$	$4.6 \pm 0.17\text{f}$
30.0	$2.4 \pm 0.07\text{e}$	$2.2 \pm 0.06\text{e}$	$4.6 \pm 0.07\text{f}$
32.5	$2.9 \pm 0.13\text{d}$	$2.9 \pm 0.24\text{d}$	$5.5 \pm 0.17\text{de}$

*Within a column, means with the same letter are not significantly different ($P > 0.05$, Tukey's HSD)

Table 3. Estimated parameter of a linear model regression for each nymph stage and total immature of *A. gossypii*

Life stage	Linear model of <i>A. gossypii</i>				
	Intercept	Slope	γ^2	p^*	D.D.**
Pre-nymph	-0.10871 (0.03895)	0.01952 (0.00169)	0.96	5.6	52.0
Post-nymph	-0.07527 (0.05035)	0.01783 (0.00218)	0.93	4.2	56.5
Total	-0.04661 (0.02189)	0.00941 (0.000949)	0.95	5.0	106.8

*The developmental threshold(p) = (-intercept/slope)

**Degree-days

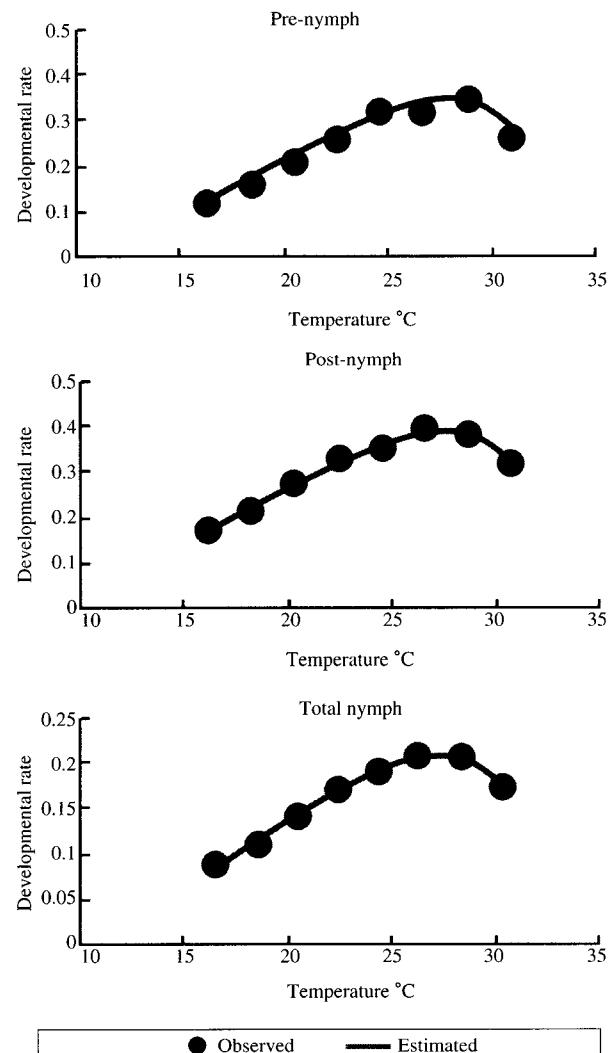


Fig. 1. Developmental rate (1/d) curve for pre-, post- and total nymph of *A. gossypii* at various temperatures.

점온도와 유효적산온도가 Liu et al. (2000)의 결과와 더 유사하였다. 온도별 발육일수와 직선회귀를 이용한 발육영점 온도를 구하였으나 실제 포장에서 목화진딧물의 발육기간을 알아보기 위해서는 항온기를 이용한 조사 외에 계절별로 온실에서, 그리고 Shim et al. (1979)의 조사처럼 포장에서 발육 조사를 하여 이들 결과를 종합한다면 목화진딧물을 발육과 관련된 보다 좋은 결과가 나오리라 생각한다.

Fig. 1은 목화진딧물 전약충, 후약충 및 전체약충의 15°C에서 32.5°C까지의 범위에서 Schoolfield et al. (1981)과 Wagner et al. (1984a)이 제시한 온도별 발육 모형에 적용한 결과를 보여주고 있으며, Table 4에서 γ^2 값이 0.99로 목화진딧물의 비선회귀식을 이용한 발육모형이 잘 적합되었다. 또한 전체 약충을 비교했을 때 모형에 적합성을 나타내는 γ^2 값이 직선회귀에서는 0.93-0.96인 반면 비선회귀식은 0.99로 비선회귀식이 목화진딧물의 발육모형을 보다 적합하게 나타내 주고 있음을 알 수 있으며, 직선회귀에서는 조사온도 범위에 따라 조사 결과를 누락하여야 할 경우도 있어 비선회귀식을 적용하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 또한 이 모형은 절지동물의 발육모형으로 쓰여지고 있다. 하지만 발육영점온도를 계산할 경우 비선회귀식으로는 어려운점이 있어 이 두가지 모형이 발육실험에서 계속 이용되어질 것이다.

Fig. 2는 목화진딧물 각 령기 및 전체약충의 생리적 연령에 따른 발육완성시기를 Weibull function으로 보여주고 있으며 Table 5는 그 파라미터를 보여주고 있다. 모형의 적합성을 나타내는 γ^2 값이 각 발육단계별로 0.87-0.94로 구해진 수식이 각 온도별 발육시기의 누적발육율을 비교적 잘 설명하고 있음을 알 수 있다.

진딧물의 발육과 관련된 문헌이 적어(Shim et al., 1979; Son and Song, 1994a,b) 목화진딧물의 밀도증가 예

측, 방제시 밀도변화를 예측에 이용할 자료가 없었다. 따라서 본 결과를 통해서 밀도 변화의 예측과, 방제에 이용, 그리고 곤충의 발육모형을 연구하는데 도움이

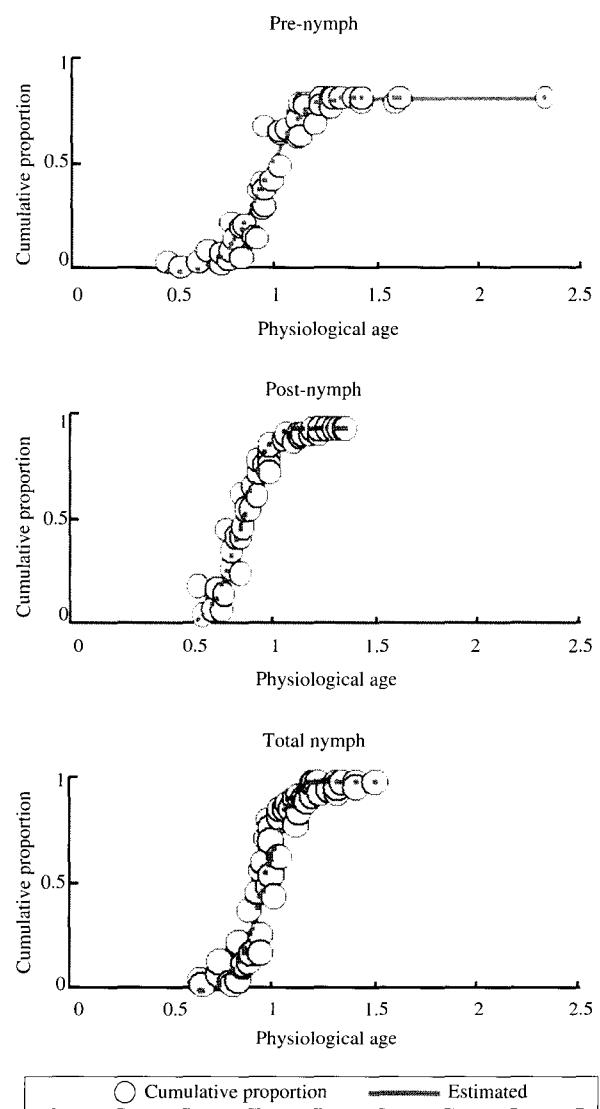


Fig. 2. Cumulative proportions for the development completion time of *A. gossypii* in each stage and total immature as a function of physiological age.

Table 4. Estimated parameters of biophysical development rate model for each stage of *A. gossypii*

Stage	Pre-nymph	Post-nymph	Total
RHO25	0.6844	0.480168	0.372596
HA	-7074.3	1626.439	-8982.55
HL	-32397	-32665.7	-33337.5
TL	296.7	290.44	297.63
HH	833788.9	85002.1	137560.6
TH	305.8	307.098	307.449
γ^2	0.99	0.99	0.99

Table 5. Estimated parameters of Weibull function for development completion of nymphs of *A. gossypii*

Life stage	Weibull distribution of <i>A. gossypii</i>			
	η	β	γ	γ^2
Pre-nymph	0.602	3.625	0.356	0.94
Post-nymph	0.525	4.254	0.342	0.94
Total	0.648	6.541	0.312	0.87

될 것으로 사료된다.

Literature Cited

- Akey, D.H. and G.D. Butler Jr. 1989. Developmental rates and fecundity of apterous *Aphis gossypii* on seedlings of *Gossypium hirsutum*. Southwestern Entomologist. 14: 295~299.
- Capinera, J.L. 2000. Creatures. Ifas.ufl.edu/veg/aphid/melon aphid.htm.
- Iseley, D. 1946. The cotton aphid. Ark. Agric. Expt. Sta. Bull. No. 462.
- Jandel. 1996. Tablecurve 2D. Automated curve fitting and equation discovery: version 4.0. Jandel Scientific, San Rafael, CA.
- Kerns, D.L. and S.D. Stewart. 2000. Sublethal effects of insecticides on the intrinsic rate of increase of cotton aphid. Entomol. Exp. Appl. 94: 41~49.
- Kersting, U.S. Satar and N. Uygun. 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.
- 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.
- Leclant, F. and J.P. Deguine. 1994. Aphids (Hemiptera: Aphididae). In: insect pests of cotton. Eds. by G.A. Matthew and J.P. Tunstall Wallingford UK Cab International. 285~323
- Liu, Y.C. and J.J. Perng. 1987. Population growth and temperature dependent effect of cotton aphid *Aphis gossypii* Glover. Chin. J. Entomol. 7: 95~112.
- Liu, Y.C., M.H. Kuo and S.C. Yang. 2000. The development, fecundity and life table of *Aphis gossypii* Glover on lily. Plant Prot. Bull. 4 : 1~10.
- Paik, W.H. 1972. Illustrated Flora and Fauna of Korea Vol. 13 (Insecta V). Ministry of Education. pp. 751.
- SAS Institute. 1999. SAS Version 8.1 Institute Cary, N.C.
- Schoolfield, R.M., P.J.H. Sharpe and C.E. Magnuson. 1981. Nonlinear regression of biological temperature-dependent rate models based on absolute reaction rate theory. J. Theor. Biol. 88: 71 9~731.
- Shim, J.Y., J.S. Park and W.H. Paik. 1979. Studies on the life history of cotton aphid, *Aphid gossypii* Glover (Homoptera). Korean J. Pl. Prot. 18: 85~88.
- Son, J.S. and Y.H. Song 1994a. Occurrence and Ecological Characteristics of Colour Morphs of the Green Peach Aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera : Aphididae) in Tobacco Field. J. Korean Soc. Tobacco Sci. 16: 76~82.
- Son, J.S. and Y.H. Song 1994b. Ecological Characteristics Alatae and Apteræ of the Green Peach Aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera : Aphididae) on Tobacco Plants. J. Korean Soc. Tobacco Sci. 16: 113~121.
- Wagner, T.L., Wu, P.J.H. Sharpe, R.M. Schoolfield and R.N. Coulson. 1984a. Modeling insect development rate: a literature review and application of a biophysical model. Ann. Entomol. Soc. Am. 77: 208~225.
- Wagner, T.L., Wu, P.J.H. Sharpe and R.N. Coulson. 1984b. Modeling distribution of insect development time: A literature review and application of Weibull function. Ann. Entomol. Soc. Am. 77: 475~487.

(Received for publication 19 January 2004;
accepted 23 February 2004)