

복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*) 의 발육과 발육모형김지수\* · 김태흥<sup>1</sup>농촌진흥청 농업과학기술원 친환경농업과, <sup>1</sup>전북대학교 농업생명과학대학 생물자원과학부Development Time and Development Model of the Green Peach Aphid, *Myzus persicae*Ji-Soo Kim\* and Tae-Heung Kim<sup>1</sup>

Organic Farming Technology Division, Crop Life Safety Department, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon Gyeonggi, 441-707, Republic of Korea

<sup>1</sup>Faculty of Biological Resources Science, College of Agriculture and Life Sciences, Institute for Biodiversity Research, Chonbuk National University, Chonju, Chonbuk 561-756, Republic of Korea

**ABSTRACT :** The development of *Myzus persicae* (Sülzer) was studied at temperatures ranging from 15 to 32.5°C under 70±5% RH, and a photoperiod of 16:8 (L:D). Mortality of 1st-2nd nymph was higher than that of 3rd-4th nymph at the most temperature ranges whereas at high temperature of 32.5°C, more 3-4 nymph stage individuals died. The total developmental time ranged from 12.4 days at 15°C to 4.9 days at 27.5°C, suggesting that higher the temperature, faster the development. However, at higher end temperature ranges of 30 and 32.5°C, the development took 5.0 and 6.3 days, respectively. The lower developmental threshold temperature and effective accumulative temperatures for the total immature stage were 4.9°C and 116.5 day-degrees. The nonlinear shape of temperature related development was well described by the modified Sharpe and DeMichele model. When the normalized cumulative frequency distributions of developmental times for each life stage were fitted to the three-parameter Weibull function, attendance of shortened developmental times was apparent with pre-nymph, post-nymph, and total nymph stages in descending order. The coefficient of determination  $r^2$  ranged between 0.87 and 0.94.

**KEY WORDS :** *Myzus persicae*, Development model, Effective accumulative temperatures

**초 록 :** 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*)의 온도별 발육상을 조사하기 위해 15°C에서 32.5°C까지 2.5°C 간격으로 8개 온도에서 조사를 하였으며, 상대습도는 70±5%, 광주기는 16L:8D 조건으로 처리하였다. 일반적으로 진딧물의 약충 단계는 1령에서 4령까지로 구분하나 본 연구에서는 1-2령을 (1st-2nd nymph), 3-4령을(3rd-4th nymph)이라 하여 2단계로 구분하였다. 대부분의 온도에서 사망률은 초기 1-2령이 3-4령보다 더 높았으나 32.5°C에서는 오히려 3-4령의 사망률이 대부분을 차지하였다. 온도별 발육기간은 15°C에서 12.4일로 가장 길었고 온도가 상승함에 따라 점차 짧아져 27.5°C에서는 4.9일로 가장 짧았으나 30에서 32.5°C까지는 오히려 5.0일과 6.3일로 발육 기간이 길어지는 양상을 보였다. 약충의 발육영점온도는 4.9°C이고, 유효적산온도는 116.5일도 이었다. 각 온도별 발육률은 변형된 Sharpe와 DeMichele의 비선형 모형에 잘 적합되었다. 발육단계별 발육기간을 표준화하여 누적시킨 값을 3개의 변수를 갖는 Weibull function에 적용하여 보았을 때 1-2령 → 3-4령 → 전체 약충 순으로 발육기간이 짧아지는 경향을 보여 주었고  $r^2$ 는 0.87-0.94로 나타났다.

**검색어 :** 복숭아혹진딧물, 발육영점온도, 발육모형, 유효적산온도

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

복숭아혹진딧물(*Myzus persicae* Sülzer)은 우리나라는 물론 전 세계에 분포하고 기주식물은 40과 이상 수백종에 이른다. 특히 여름에 상추, 고추, 배추, 수박 등 기주 범위가 넓어 작물의 주요 해충으로 알려져 있다. 우리나라에서 복숭아혹진딧물은 뽕나무속에서 알로 월동하며 봄에 식물이 성장을 시작하면 알에서 부화 꽃, 어린 잎, 줄기 등을 흡즙하고 몇 세대 후 유시충이 여름기주로 이동한다(Capinera, 2000). 일반적으로 곤충의 온도에 따른 발육은 생존 가능한 온도 범위에서 직선 관계를 갖지 않는다. 따라서 직선회귀식의 이용에 있어서도 직선 관계에 있는 온도 범위 내에서 발육영점온도를 구하였으며(Kim *et al.*, 2004; Park, 2004) Sharp and DiMichele (1977)이 제안하고 Schoolfield *et al.* (1981)이 변형한 비선형 모형을 제시하였다. 비선형모형은 Kim *et al.* (2004)이 목화진딧물에서, Lee and Ahn (2000)이 점박이응애에서, Park (2004)이 오이총채벌레에서 이용하였고 절지동물에서 잘 적용되는 모형으로 알려져 있다. Wagner *et al.* (1984b)이 제시한 온도 독립적 발육 분포 모형은 개체군의 동태모형을 만들기 위해 필요한 필수적으로 개체군 동일 연령 집단의 발육 분포 모형으로 Kim *et al.* (2004)이 목화진딧물에서 Lee and Ahn (2000)이 점박이응애에서 Park (2004)이 오이총채벌레에서 이 모형을 적용하였다. 이와 같이 직선회귀식을 이용하여 복숭아혹진딧물의 발육영점온도와 유효적산온도를 구하고 비선형회귀식을 이용하여 발육모형을 알아보고자 하였으며 포식 및 기생성 천적을 이용한 방제에 기초 자료로 이용코자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험충의 사육

유리온실에서 직경 22 cm의 화분에 원예용 상토(바르커 서울농자재(주))를 넣고 파종 20일이 경과한 배추(*Brassica campestris*) 묘를 이식하였다. 25°C, 16:8 (L:D)의 사육실에서 35×35×50 cm의 케이지에 이식 후 15일 이상 경과한 배추를 넣고 복숭아혹진딧물을 접종하여 사육하였다.

### 발육 조사

유리온실에서 화분에 재배한 배추에 복숭아혹진딧

물 성충을 접종하여 5-6시간 동안 산자를 받았다. 직경 5 cm, 높이 7 mm의 페트리디쉬에 직경 2.5 cm의 배추잎을 뒷면이 위로 향하도록 놓고 산자를 각각 1마리 씩 각각 접종하여 항온기에 넣었다. 조사 온도는 15.0, 17.5, 20.0, 22.5, 25.0, 27.5, 30.0, 32.5°C였고, 광조건은 16:8 (L:D), 상대습도 70±5%에서 12시간 간격으로 발육 상태를 조사하였다. 각 온도별로 40 마리를 조사하였다. 일반적으로 진딧물의 약충 단계는 1령에서 4령까지로 구분하나 본 연구에서는 1-2령을 (1st-2nd nymph), 3-4령을(3rd-4th nymph)이라 하여 2단계로 구분하였다. 네번째 탈피 직후부터 산자하기 전까지를 산란 전기로 하였고, 네 번째 탈피 전까지를 약충 발육기간으로 하였다.

### 발육모형 및 발육분포모형 분석

약충 발육기간, 성충 수명, 산자 수는 분산분석(ANOVA)를 이용하였고, 유의성 검정을 위해 Tukey's HSD를 실시하였다( $P < 0.05$ ) (SAS institute 1999).

온도와 발육기간의 관계는 선형발육모형과 비선형 발육모형을 이용하여 분석하였다. 선형발육모형은 온도별 발육기간을 역수로 하여 발육속도로 바꾼 후 온도와의 직선회귀식을 구하고, 이 식으로부터 발육속도가 0이 되는 온도를 발육영점온도로 하였으며, 유효적산온도는 사육한 온도와 발육영점온도와의 차이를 발육기간에 곱한 값의 평균으로 산출하였다.

비선형발육분포 모형은 비선형회귀 분석을 통하여 매개변수를 추정할 수 있도록 수정된 Schoolfield *et al.* (1981)의 생물리적 모형(수식 1)을 이용하였다.

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

여기서  $r(T)$ 는 절대온도(°K)에서의 발육률(1/발육기간)이고,  $R$ 은 기체상수(1.987 cal degree<sup>-1</sup> mole<sup>-1</sup>)이며,  $RHO25$ 는 25°C에서의 발육속도로 이 온도는 발육에 어떤 영향도 미치지 않는다는 가정을 포함한다.  $HA$ 는 모델에서 가정한 속도조절효소(rate-controlling enzyme)가 촉매하는 반응의 활성화 엔탈피이다.  $TL$ 은 속도조절효소가 저온에 의해 50% 활성을 나타내는 온도(°C)이고,  $HL$ 은 속도조절효소가 저온에 의해

50% 활성화되는 것과 관련된 엔탈피의 변화이다. TH는 속도조절효소가 고온에 의해 50% 활성을 나타내게 되는 온도(°C)이며 HH는 이와 관련된 엔탈피의 변화를 의미한다. 매개변수의 추정치는 Wagner *et al.* (1984a)이 제시한 SAS프로그램을 이용하였다(SAS, 1999).

각 발육단계의 발육완료시기 분포모형은 각 발육기간의 빈도분포를 표준화시켜 얻었다. 즉 각 온도에서 발육기간의 중앙값을 이용하여 발육기간의 누적빈도를 구하고, Weibull 함수(수식 2)에 적용시켜 정규화된 발육완료시기 분포를 얻었다(Wagner *et al.*, 1984b).

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

위 식에서 F(x)는 정규화된 시간(normalized time) x에서의 발육을 완료한 개체들의 비율이며, β, γ, η는 추정하는 매개변수들이다. 매개 변수의 추정치는 Table curve (Jandel, 1996) 프로그램을 이용하였다.

### 결과 및 고찰

복숭아혹진딧물의 사망률은 27.5°C에서 2.5%로 가장 낮았다(Table 1). 30°C 이상의 온도에서 사망률이 급격하게 증가하였다. 32.5°C에서는 약충의 90%가 사망하였고 약충을 낳기 전에 나머지 10%가 사망하였으며 특히 3-4령의 사망률이 높아졌다. 32.5°C를 제외한 온도에서는 초기 1-2령(평균 15.0%)의 사망률이 3-4령(평균 2.2%)보다 약 7배 높았다. Barlow (1962)는 복숭아혹진딧물이 30°C에서 사망률이 급격해져 성충에 도달하는 개체가 없었고, Liu and Meng (1999)은 2.9°C와 33.5°C에서 성충이 우화하지 않았다고 하여 본 결과는 이 두 실험의 중간 값을 보여주었다.

복숭아혹진딧물의 약충 발육은 15°C에서 12.4일로 가장 길었고, 27.5°C에서 4.9일로 가장 짧았다(1st-2nd nymphs F = 148.22, df = 7, 269, r<sup>2</sup> = 0.80, P = 0.0001; 3rd-4th nymphs F = 249.07, df = 7, 232, r<sup>2</sup> = 0.89, P = 0.0001; 전체 약충 F = 345.42, df = 7, 232, r<sup>2</sup> = 0.91, P = 0.0001) (Table 2). 15-30°C까지는 온도의 상승에 따라 발육기간이 짧아지는 경향을 보이나 32.5°C에서는 오히려 길어지는 것을 볼 수 있었다. 25-30°C에서는 온도간 발육기간에 차이가 없었지만 15-25°C의 범위에서는 온도가 낮아질수록 발육기간이 길어졌다. 32.5°C에서는 발육기간이 늘어났고 성충으로 우화는 하였지

만 약충을 출산한 개체가 없었다.

복숭아혹진딧물 약충의 발육기간에 대해 Barlow (1962)는 15°C에서 6.3일, Liu and Meng (1999)은 14.3°C에서 14.3일, Song and Motoyama (1996)는 말라치 온 감수성 계통이 15°C에서 12.0일, 25°C에서는 7.0일이라고 하였다. 본 실험 결과는 Barlow (1962)의 결과와는 차이를 보이거나 Liu and Meng의 결과와 유사하였으며, Song and Motoyama의 결과와 비교하면 저온인 15°C에서는 유사한 결과를 보이거나 온도가 상승하면서 발육기간에 차이가 나타났다. 이러한 차이는 기주

**Table 1.** Age-specific mortality of *Myzus persicae* at various temperatures in the laboratory

Temp. (°C)	n	Nymphal mortality (%)				
		1st	2nd	3rd	4th	Total
15.0	40	20.0	0.0	0.0	0.0	20.0
17.5	40	10.0	0.0	0.0	0.0	10.0
20.0	40	17.5	2.5	2.5	2.5	25.0
22.5	40	5.0	0.0	2.5	2.5	10.0
25.0	40	10.0	7.5	0.0	0.0	17.5
27.5	40	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5
30.0	40	20.0	7.5	2.5	2.5	32.5
32.5	40	5.0	15.0	17.5	52.5	90.0

**Table 2.** Development period (days, mean ± SE) for nymph stages of *Myzus persicae* at various temperatures in the laboratory

Temp. (°C)	1st-2nd nymph	3rd-4th nymph	Total nymph
15.0	5.9 ± 0.2a*	6.5 ± 0.1a	12.4 ± 0.2a
17.5	4.7 ± 0.1b	5.0 ± 0.1b	9.7 ± 0.2b
20.0	3.6 ± 0.1c	3.6 ± 0.1cd	7.2 ± 0.1c
22.5	3.1 ± 0.1d	3.4 ± 0.1d	6.5 ± 0.1d
25.0	2.4 ± 0.1ef	2.9 ± 0.0e	5.4 ± 0.1e
27.5	2.2 ± 0.1f	2.7 ± 0.1e	4.9 ± 0.1e
30.0	2.1 ± 0.1f	2.9 ± 0.1e	5.0 ± 0.1e
32.5	2.9 ± 0.1de	4.3 ± 0.2bc	6.3 ± 0.4cde

\*Within a column, means with the same letter are not significantly different (P > 0.05, Tukey's studentized range test).

**Table 3.** Estimated parameter of a linear model regression for nymphal and total immature stages of *Myzus persicae*

Life stage	Intercept	Slope	DT*	DD**	r <sup>2</sup>
1st-2nd nymph	-0.15769 (0.02211)***	0.02158 (0.000959)	7.3	45.8	0.99
3rd-4th nymph	-0.03347 (0.05484)	0.01418 (0.00238)	2.3	72.2	0.88
Total	-0.04260 (0.01983)	0.00867 (0.00086)	4.9	116.5	0.95

\*The developmental threshold (DT) = intercept/slope.

\*\* DD : Degree- days.

\*\*\* ( ) : Standard error.

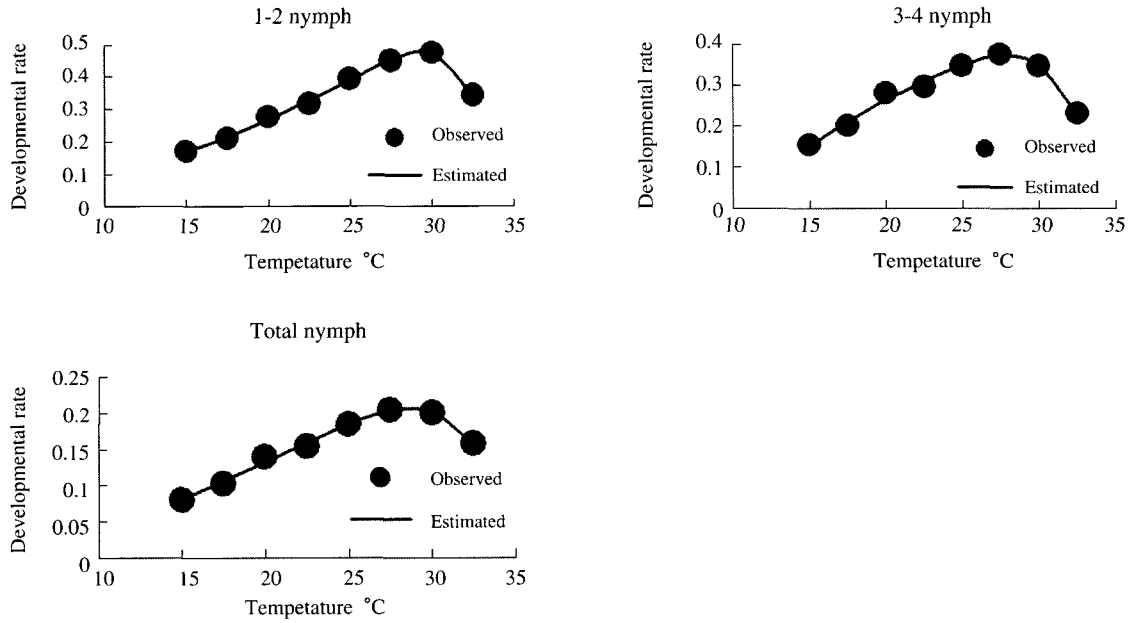


Fig. 1. Developmental rate (1/d) curve for each growth stage of *Myzus persicae* at various temperatures

와 실험방법에 따라서 발육기간이 영향을 받는 것으로 생각한다.

32.5°C에서의 발육 기간을 제외하고 온도와 발육속도의 관계를 직선회귀식으로 분석한 결과는 Table 3과 같다. 모든 온도를 분석에 사용하여야 하나 32.5°C에서는 오히려 발육기간이 다시 길어져서 이 결과를 분석에 포함시켰을 경우 복숭아혹진딧물의 발육영점온도가 왜곡될 수 있다. 각 발육단계의 r<sup>2</sup>값이 0.88 이상으로 본 실험에서 수행한 온도 중 15-30°C까지는 직선회귀식에 비교적 잘 부합되었다. 각 단계별 발육영점온도는 전약충이 7.3°C, 후약충이 2.3°C, 전체약충기간이 4.9°C이었다.

1st-2nd nymph, 3rd-4th nymph 및 전체 약충기간의 유효적산온도는 각각 45.8일도, 72.2일도, 116.5일도이었다(1st+2nd nymph F = 506.2, df = 1, 6, P = 0.0001; 3rd+4th nymph F = 35.5, df = 1, 6, P = 0.0019; 전체 약충 F = 101.4, df = 1, 6, P = 0.0002). 복숭아혹진딧물 약충의 발육영점온도에 대해 Barlow (1962)는 5.0°C 이하라 하였고, Liu and Meng (1999)은 4.3°C, Kocourek and Berankova (1989)는 6°C(유효적산온도 116.3일도), Whalon and Smilowitz (1979)은 발육영점온도가 4°C 이고 유효적산온도는 129.0일도라 하였다. 본 실험에서 유효적산온도는 Kocourek and Berankova (1989)의 실험결과와 가장 유사하였다. 직선회귀식을 이용한 분

석결과 결정계수 값이 0.88-0.99로 잘 설명되었다.

일반적으로 곤충의 온도에 따른 발육율은 생존가능 전 온도범위에서 직선의 관계를 갖지는 않는다. 따라서 15°C-32.5°C까지의 범위에서 각 령 및 전체 약충기간을 Schoolfield *et al.* (1981)과 Wagner *et al.* (1984b)이 제시한 온도별 발육모형에 적용한 결과는 Fig. 1과 같다. 비선형발육모형은 모든 발육단계에서 결정계수 값이 0.99 이상을 보여 모형의 적합성이 높았다(Table 4). Park (2004)은 오이총채벌레에서 비선형회귀식을 이용하였을 때 결정계수값이 0.99 이상이라고 하였다. 이

Table 4. Estimated parameters of biophysical development rate model for each growth stage of *Myzus persicae*

Stage	1st-2nd nymph	3rd-4th nymph	Total
RHO25	0.43	0.35	0.19
HA	8864.88	6988.99	10024.70
HL	-22100.60	-58311.10	-51837.60
TL	283.26	286.28	284.24
HH	131294.70	106600.40	83949.50
TH	305.86	305.44	305.93
r <sup>2</sup>	0.99	0.99	0.99

RHO25°C; development rate at 25°C assuming no enzyme inactivation, HA; enthalpy of activation of the reaction that is catalyzed by a rate-controlling enzyme, TL; Kelvin temperature at which the rate-controlling enzyme is half active and half low-temperature inactive, HL; change in enthalpy associated with low temperature in activation of the enzyme, TH; Kelvin temperature at which the rate-controlling enzyme is half active and half high-temperature inactive, HH; change in enthalpy associated with high-temperature inactivation of the enzyme.

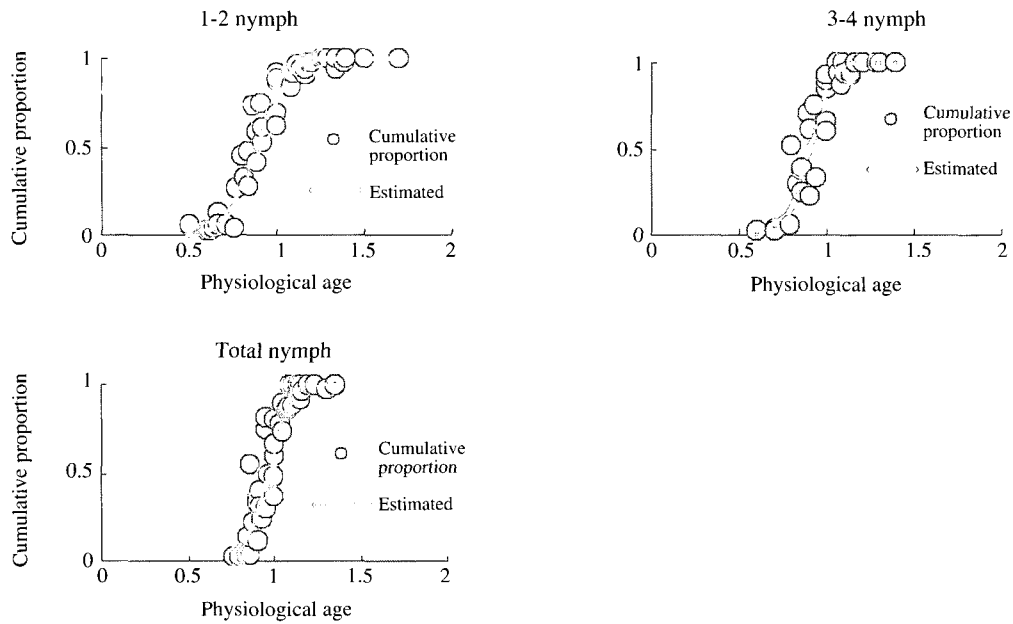


Fig. 2. Cumulative proportions for the development completion time of *Myzus persicae* in nymphal and total immature stages as a function of physiological ages.

Table 5. Estimated parameters of Weibull distribution model for development completion times of *Myzus persicae* nymphs

Life stage	$\eta$	$\beta$	$\gamma$	$r^2$
1st-2nd nymph	0.546	4.054	0.394	0.94
3rd-4th nymph	0.483	4.853	0.459	0.87
Total	0.697	7.054	0.312	0.89

$\beta$ : starting value is calculated as  $Y_i - 0.1^3$ ,  $\gamma$ : the expected normalized time just before complete development of the first insect,  $\eta$ : determined by transforming the Weibull distribution to the linear form

모형은 적용에 어려운 점이 있기는 하나 절지동물의 발육모형으로 자주 채택되고 있다(Kim *et al.*, 2004; Lee and Ahn, 2000; Park, 2004).

복숭아혹진딧물 개체군 동일 연령 집단의 발육 분포 모형이다. 온도 독립적인 발육완료 기간의 분포 모형을 구하기 위하여 발육기간의 평균값을 이용하여 분포를 정규화 시켰다. Fig. 2와 Table 5는 3개의 매개 변수를 갖는 Weibull 함수의 각 발육단계별 매개변수 값과 그 수식으로부터 얻어진 곡선의 모양을 나타낸 것으로 발육완료 누적 분포모형의 적합성을 나타내는  $r^2$  값이 1st-2nd nymph에서는 0.94로 높았으나 3rd-4th nymph 및 전체 약충기간은 0.87-0.89로 다소 낮아 1-2령 약충은 온도 변화에 고르게 영향을 받아 안정적으로 발육한 반면 3-4령은 온도에 따라 발육의 변이가 큰 경향을 보였다. Park (2004)은 오이총채벌레에서

알과 약충이 온도에 고르게 발육한 반면 전충과 용은 온도에 따라 발육의 변이가 크다고 하여 본 실험 결과와 유사하게 발육 초기단계에는 온도에 고르게 발육하나 후기 단계에는 온도에 따라 변이가 큰 것으로 나타났다.

### Literature Cited

- Barlow, C.A. 1962. The influence of temperature on the growth of experimental populations of *Myzus persicae* (Sülzer) and *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Aphididae). *Can. J. Zool.* 40: 145-156.
- Capinera, J.L. 2000. www. Creatures. Ifas.ufl.edu/veg/aphid/melon\_aphid. htm.
- Choi, J.S., C.Y. Hwang, H.G. Goh, I.S. Kim and S.G. Lee. 1996. Insect pests fauna and their spatial distribution pattern on Kale (*Brassica oleracea* L. var. *Acephala* DC). *Korean J. Appl. Entomol.* 38: 489-494.
- Horsfall, J.L. 1924. Life history studies of *Myzus persicae* Sülzer. *Pennsylvania Agric. Exp. Stn. Bull.* 185: 16 pp.
- Jandel. 1996. Table curve 2D. Automated curve fitting and equation discovery; version 4.0. Jandel Scientific, San Rafael, CA.
- Kennedy, J.S., M.F. Day and V.F. Eastop. 1962. A conspectus of aphids as vectors of plant viruses. Commonwealth Institute of Entomology, London. 114 pp.
- Kocourek, F. and J. Beraniova. 1989. Temperature requirements for development and population growth of the green peach aphid *Myzus persicae* on sugar beet. *Acta Entomol. Bohemoslov.* 86: 349-355.
- Lee, J.H. and J.J. Ahn. 2000. Temperature effects on development, fecundity, and life table parameters of *Amblyseius*

- womersleyi* (Acari: Phytoseiidae). Environ. Entomol. 29: 265~271.
- Liu, S.S. and X.D. Meng. 1999. Modelling development time of *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) at constant and natural temperatures. Bulletin Entomological Research 89: 53 ~ 63.
- Park, C.K. 2004. Development of sampling plan and population dynamics model of *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) in greenhouse cucumbers. ph. D. Thesis. Seoul National Univ. 150 pp.
- SAS Institute. 1999. SAS version 8.1 Intitute 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: 719~731.
- Song, S.S. and N. Motoyama. 1996. Effect of temperatures on the growth of susceptible and malathion resistant green peach aphid strains. Korean J. Appl. Entomol. 35: 297~301.
- Wagner, T.L., Wu, P.J.H. Sharpe, R.M. Schoolfield and R.N. Coulson. 1984a. Modelling 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. Modelling distribution of insect development time: A literature review and application of Weibull function. Ann. Entomol. Soc. Am. 77: 475~487.
- Whalon, M.E. and Z. Smilowitz. 1979. Temperature-dependent model for predicting field populations of green peach aphid *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). Can. Ent. 111: 1025~1032.

(Received for publication 11 November 2004;  
accepted 17 December 2004)