

## 목화진딧물(*Aphis gossypii*)과 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*) (Homoptera: Aphididae)을 먹이로 한 진디혹파리[*Aphidoletes aphidimyza* (Rondani)] (Diptera: Cecidomyiidae)의 발육 및 성충수명

김태흥\* · 김지수<sup>1</sup>

전북대학교 농업생명과학대학 생물자원과학부, <sup>1</sup>농촌진흥청 농업과학기술원 친환경농업과

## Development and Adult Life Span of *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Diptera: Cecidomyiidae) Fed on the Melon Aphid, *Aphis gossypii* Glover or the Green Peach Aphid, *Myzus persicae* (Sülzer) (Homoptera: Aphididae)

Tae-Heung Kim\* and Ji-Soo Kim<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

<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

**ABSTRACT :** The development of *Aphidoletes aphidimyza*, an aphidophagous gall midge, was studied at various constant temperatures ranging from 15 to 35°C, with 65±5% RH, and a photoperiod of 16L : 8D. When *A. aphidimyza* was fed either on *Aphis gossypii* or *Myzus persicae*, it took 43.9 and 44.5 days, respectively, to develop from egg to pupa at 15°C, whereas at 25°C, 14.3 and 15.8 days. The developmental zero was 10.7 and 10.0°C, respectively, while the effective accumulative temperatures were 210.8 and 245.5 day-degrees. The nonlinear shape of temperature-dependent development, shown by *A. aphidimyza* when fed on either species of the aphids, was well described by the modified Sharpe and DeMichele model. When distribution model of completion time of development for each growth stage was expressed as physiological age and fitted to the Weibull function, the completion time of development gradually shortened from egg to larva, and to pupa. In addition, the coefficient of determination  $r^2$  ranged between 0.86-0.93 and 0.85-0.94, respectively providing a good approximation of cumulative developmental rates. The life span of adult was 8.7 and 9.2 days at 15°C, and 3.1 and 2.7 days at 30°C, respectively. Egg incubation period was relatively short at 35°C but hatchability was less than 50% and the mortality of the larva at 35°C reached 100%. At 30°C, the time of development lengthened and the adult longevity was short suggesting ill effect of high temperatures. Even though the life span of adults at 15°C was relatively long, none moved freely in the rearing cage and no oviposition occurred. Accordingly, in case *A. aphidimyza* is adopted to suppress phytophagous aphid populations, it could be applicable to cropping systems with ambient temperatures above 20°C and below 30°C. Within this range, *A. aphidimyza* adults was observed to be active and oviposit fully.

**KEY WORDS :** *Aphidoletes aphidimyza*, Development model, Effective accumulated temperature

**초 록 :** 진디혹파리(*Aphidoletes aphidimyza* Rondani 1847)의 발육실험 조건은 15-35°C, 65±5% RH, 광주조건은 16L : 8D이었다. 알에서 번데기 기간까지 종합한 발육기간은 15°C에서 43.9, 44.5일이

\*Corresponding author. E-mail : bandy@moak.chonbuk.ac.kr

였고, 25°C에서 14.3, 15.8일이었으며, 발육영점온도는 10.7, 10.0°C이고, 유효적산온도는 210.8, 245.5일도였다. 두 종의 진딧물을 먹이로 한 온도별 발육율은 변형된 Sharpe와 DeMichele의 비선형 모형에 잘 적합되었다. 진디흑파리의 발육 단계별 발육완료 시기 분포 모형을 생리적 연령을 이용하여 Weibull function으로 보았을 때 알 → 유충 → 번데기 순으로 점차 발육 완료가 짧은 기간에 이루어지는 것을 볼 수 있었고 적합도를 나타내는  $r^2$ 은 0.86-0.93, 0.85-0.94로 누적 발육율을 비교적 잘 보여주고 있다. 성충 수명은 15°C에서 8.7, 9.2일이었고 30°C에서 3.1, 2.7일이었다. 이들 결과를 종합해 보면 알 기간에서 35°C의 경우 발육기간은 짧았으나 부화율이 50% 미만으로 낮았고, 유충은 35°C에서 번데기에 이르지 못하고 모두 사망하였고 30°C에서는 발육기간이 길어져 30°C 이상에서는 유충과 번데기가 부의 영향을 받아 기존의 보고와 상이하였다. 또한 성충수명에서 15°C의 경우 성충수명은 길었으나 케이지 내에서 움직임이 전혀 없었고 산란 또한 하지 않았으며 30°C에서도 성충기간이 짧아 산란 수가 아주 적거나 없을 것으로 생각된다. 따라서 진디흑파리를 진딧물 방제에 이용할 경우 성충이 자유롭게 움직이며 산란할 수 있는 20°C 이상 30°C 미만의 온도가 좋을 것으로 생각한다.

**검색어:** 진디흑파리, 목화진딧물, 복숭아흑진딧물, 발육영점온도, 유효적산온도, 발육모형

진디흑파리(*Aphidoletes aphidimyza* (Rondani))는 흑파리과(Cecidomyiidae), 흑파리아과(Cecidomyiinae)에 속하며 이탈리아의 Rondani(1847)가 보고한 이후 Barnes(1929)가 10속 37종을 정리하였으나 Harris(1973)에 의해 대부분이 synonym으로 밝혀졌다. 진딧물을 포식하는 흑파리는 5종으로 이중 4종은 *Aphidoletes* 속의 *A. abietis* (Kieffer), *A. urticae* (Kieffer), *A. thompsoni*과 *A. aphidimyza*이며 나머지 한 종은 *Monobremia sabterranea* (Kieffer)이다. 진디흑파리는 진딧물의 천적으로 작물의 주요 해충인 목화진딧물(*Aphis gossypii* Glover), 복숭아흑진딧물(*Myzus persicae*), 감자수염진딧물을 비롯한 80종 이상의 진딧물을 포식한다(Yukawa, 1998). 이처럼 다양한 진딧물을 포식하지만 진딧물 외 다른 종류를 먹지 않으며 온실 조건에서 반영속적으로 세대를 이어갈 수 있기 때문에 진딧물의 생물적 방제에 이용되고 있다(Asyakin, 1973; Havelka, 1978; Markkula et al., 1979). 진디흑파리를 이용한 예는 온실의 피망과 토마토에 발생하는 복숭아흑진딧물의 방제(Gilkeson, 1990)가 있고 오이에서 목화진딧물을 방제하기 위해 콜레마니진딧벌(*Aphidius colemani* Viereck)과 진디흑파리를 이용하였을 때 단일 천적을 이용한 것 보다 서로 다른 천적을 이용하는 것이 더 효과적이었다(Harizanova and Ekbohm, 1997). 캐나다, 네델란드, 독일, 핀란드, 러시아, 칠레에서는 대량사육 기술이 발달되어 있으며(van Leiburg and Ramakers, 1984) 온실 내 다양한 작물의 진딧물 방제에 이용되고 있다(Asyakin, 1973; Havelka, 1978; Markkula et al., 1979). 이와 같이 천적의 생물적 방제 이용은 친환경

농업의 실시에 따른 농약 의존도 감축, 안전 농산물의 생산과 함께 농업정책의 성공적 변화를 가져다 줄 것으로 믿는다. 따라서 진딧물 방제에서 천적인 진디흑파리를 이용하기 위한 연구의 일환으로 이미 목화진딧물(*Aphis gossypii*)의 생물자료를 제시하였고(Kim et al., 2004) 이하 진디흑파리(*A. aphidimyza*)의 생물적 발육자료인 알, 유충, 번데기 및 성충수명 등을 제시하는 바이다.

## 재료 및 방법

### 진디흑파리의 사육

농업과학기술원 해충과에서 누대 사육중인 개체군을 이용하였다. 증식은 어린 겉보리 식물체를 기주로 보리두갈래진딧물(*Schizaphis graminum*)을 사육하고 여기에 진디흑파리 성충을 접종하여 이루어지고 있다.

### 진딧물 사육과 진디흑파리의 산란

오이(*Cucumis sativus* L. 백다다기, white spine and semi white cucumber)를 직경 7 cm의 plastic pot에 파종하여 본 엽이 1-2매 출현한 묘에 목화진딧물을 접종하였다. 고추(*Capsicum annuum*)를 직경 15 cm plastic pot에 본 엽이 3-4매 출현했을 때 이식하고, 7일 이상 경과한 묘에 복숭아흑진딧물을 접종하였다. 목화진딧물은 엽당 200마리, 복숭아흑진딧물은 엽당 50마리 이상이 되면 15×15×20 cm의 사육상에 넣고 진

디혹파리 암컷 성충 50마리를 3시간 동안 넣어 산란을 유도하였다.

**단계 별 발육기간 조사**

난 기간은 오이 잎에 산란된 난을 계수한 후 직경 9 cm, 높이 3 cm의 petri-dish에 넣고 각각의 항온기에 넣어 난 부화를 조사하였다. 유충기간은 부화한 유충을 각 온도별로 30마리씩 직경 5 cm, 높이 9 mm의 petri-dish에 넣고, 50마리 이상의 목화진딧물, 복숭아혹진딧물이 있는 잎을 먹이로 넣어 주었다. 유충의 령은 구분하지 않았으며 유충기간은 알에서 부화하여 고치를 짓기 전까지의 기간으로 하였다. 번데기 기간은 고치를 지은 시점부터 우화 직전까지의 기간을 번데기 기간으로 하였다.

**성충수명**

각 항온기에서 번데기로부터 성충이 우화하면 이를 직경 10 cm, 높이 15 cm의 원통에 목화진딧물이 접종된 오이 묘를 넣은 후 진디혹파리 성충을 넣어 주었다. 성충의 먹이는 따로 공급하지 않았고 성충이 죽을 때까지 성충기간으로 하였다.

**발육모형 및 발육분포모형 분석**

알, 유충, 번데기의 발육기간, 성충 수명은 분산분석(ANOVA)를 이용하였고, 유의성 검정을 위해 Tukey's HSD를 실시하였다( $P < 0.05$ ) (SAS institute 1999).

온도에 따른 발육기간은 선형발육모형과 비선형발육모형을 이용하여 분석하였다. 선형발육모형은 온도별 발육기간을 역수로 하여 발육속도로 바꾼 후 온도와의 직선회귀식을 구하고, 이 식으로부터 발육속도가 0이 되는 온도를 발육영점온도로 하였으며, 유효적산온도는 기울기의 역수로 구하였다.

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

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

(수식 1)

여기서  $r(T)$ 는 절대온도( $^{\circ}K$ )에서의 발육률(1/발육기간)이고,  $R$ 은 기체상수( $1.987 \text{ cal degree}^{-1} \text{ mole}^{-1}$ )이며,  $RHO25$ 는  $25^{\circ}C$ 에서의 발육속도로 이 온도는 발육에 어떤 영향도 미치지 않는다는 가정을 포함한다.  $HA$ 는 모델에서 가정한 속도조절효소(rate-controlling enzyme)가 촉매하는 반응의 활성화 엔탈피이며,  $TL$ 은 속도조절효소가 저온에 의해 50% 활성을 나타내는 온도( $^{\circ}C$ )이고,  $HL$ 은 속도조절효소가 저온에 의해 50% 활성화되는 것과 관련된 엔탈피의 변화이다.  $TH$ 는 속도조절효소가 고온에 의해 50% 활성을 나타내게 되는 온도( $^{\circ}C$ )이며,  $HH$ 는 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 중앙값을 이용, 발육기간의 누적빈도를 구하고, 아래의 Weibull 함수(수식 2)에 적용시켜 정규화된 발육완료시기 분포를 얻었으며, 그 식은 다음과 같다(Wagner *et al.*, 1984b).

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

위 식에서  $F(x)$ 는 정규화된 시간(normalized time)  $x$ 에서 발육을 완료한 개체들의 비율이며,  $\beta, \gamma, \eta$ 는 추정되어야 할 매개변수들이다. 매개변수의 추정은 Table curve (Jandel, 1996) 프로그램을 이용하였다.

**결과 및 고찰**

**알 기간**

진디혹파리의 난 발육실험 결과 오이 잎에 산란했

**Table 1.** Hatchability and development of *Aphidoletes aphidimyza* on cucumber and red pepper leaves at various temperatures

Temp. ( $^{\circ}C$ )	On cucumber leaf			On red pepper leaf		
	n	Hatchability (%)	Mean $\pm$ SE (days)	n	Hatchability (%)	Mean $\pm$ SE (days)
15.0	112	63.4	4.7 $\pm$ 0.11a	44	73.0	4.7 $\pm$ 0.19a
20.0	129	85.3	3.4 $\pm$ 0.06b	163	85.3	3.6 $\pm$ 0.06b
25.0	182	84.6	2.9 $\pm$ 0.06c	52	82.7	3.0 $\pm$ 0.09c
30.0	104	86.5	2.4 $\pm$ 0.09d	52	90.4	2.4 $\pm$ 0.09d
35.0	167	46.7	2.2 $\pm$ 0.06d	117	45.5	2.4 $\pm$ 0.07d

Within column means with the same letters are not significantly different ( $P > 0.05$ , Tukey's studentized range test).

을 때 Table 1에서처럼 15°C 4.7일, 20°C 3.4일, 25°C 2.9일, 30°C 2.4일, 35°C 2.2일( $F = 172.54$ ,  $df = 4, 502$ ,  $r^2 = 0.58$ ,  $P = 0.0001$ )이었고, 발육영점온도는 3.4°C, 유효적산온도는 80.0일도이었으며, 고추 잎에서는 15°C 4.7일, 20°C 3.6일, 25°C 3.0일, 30°C 2.4일, 35°C 2.4일( $F = 138.25$ ,  $df = 4, 329$ ,  $r^2 = 0.63$ ,  $P = 0.0001$ )이었고, 발육영점온도는 3.2°C, 유효적산온도는 64.4일도였다. 온도의 상승에 따라 부화율이 높아지는 경향을 보이며, 발육기간은 짧아졌다. 그러나 35°C에서는 부화율이 아주 낮아 이온도에서 부화하는데 영향을 받은 것으로 보인다.

진디혹파리의 난 발육에 소요되는 시간은 35°C에서

**Table 2.** Development of lava and pupa of *A. aphidimyza* fed on *Aphis gossypii* at various temperatures

Temp. °C	Larva		Pupa		Total immature stage	
	n	Mean ± SE	n	Mean ± SE	n	Mean ± SE
15.0	21	9.9 ± 0.27a	13	30.3 ± 0.57a	13	43.9 ± 0.72a
20.0	24	7.8 ± 0.17b	20	15.2 ± 0.42b	20	25.7 ± 0.47b
25.0	26	4.4 ± 0.12d	15	8.2 ± 0.33c	15	14.3 ± 0.39d
30.0	22	6.0 ± 0.15c	9	9.4 ± 0.34c	9	17.7 ± 0.38c

Within column means with the same letters are not significantly different ( $P > 0.05$ , Tukey's studentized range test).

**Table 3.** Development of lava and pupa of *A. aphidimyza* fed on *M. persicae* at various temperatures

Temp. °C	Larva		Pupa		Total immature stage	
	n	Mean ± SE	n	Mean ± SE	n	Mean ± SE
15.0	15	13.1 ± 0.66a	13	27.8 ± 0.28a	13	44.5 ± 0.45a
20.0	23	7.4 ± 0.19b	12	17.5 ± 0.68b	12	27.7 ± 0.84b
25.0	21	5.0 ± 0.16c	15	8.4 ± 0.16c	15	15.8 ± 0.33c
30.0	12	5.1 ± 0.29c	9	9.7 ± 0.30c	9	16.5 ± 0.40c

Within column means with the same letters are not significantly different ( $P > 0.05$ , Tukey's studentized range test).

**Table 4.** Estimated parameter of a linear model and biophysical development rate (1/days) model regression for egg, larva, pupa, and the total immature stage of *A. aphidimyza* on *A. gossypii*

Life stage	Linear model <sup>a</sup>				Biophysical development rate model				
	Intercept	Slope	r <sup>2</sup>	p <sup>b</sup>	RH025	HA	TH	HH	r <sup>2</sup>
Egg	0.0411 (0.0193)	0.0121 (0.0007)	0.99	3.4	0.500	8571.7	310.8	10502.3	0.99
Larva	-0.0984 (0.0829)	0.0125 (0.0041)	0.90	7.9	0.445	13725.9	301.8	96547.3	0.85
Pupa	-0.105 (0.0277)	0.0089 (0.0014)	0.98	12.5	0.263	26496.3	299.2	62749.9	0.97
Total	-0.0504 (0.0176)	0.0047 (0.0009)	0.97	10.7	0.238	24297.7	298.6	70096.7	0.97

<sup>a</sup>The Linear model for the range of 15-25°C.

<sup>b</sup>The developmental threshold (p) = Intercept/Slope.

가장 짧은 2.2일이었고 15°C에서 가장 긴 4.7일이었다. Tukey's 검정을 통한 온도별 유의성 결과 15°C에서 30°C까지 유의성이 인정되었으나, 30-35°C에서는 유의성이 없는 것으로 나타났다( $P = 0.05$ ). 또한 15°C를 제외하면 식물의 잎 구조에 따른 부화율에는 차이가 없었다. Choi *et al.* (2001)은 복숭아혹진딧물을 이용했을 때 8°C에서 16.7일, 35°C에서는 2.4일, Harizanova and Ekblom (1997)은 20°C에서 3일, Havelka (1980)는 20°C에서 2.6일, Jeoung *et al.* (2003)은 15°C에서 8.4일, 30°C에서 1.6일, Malais and Ravensberg (1992)는 21°C에서 2-3일, Nijveldt (1988)는 3-4일, Uygun (1971)은 21°C에서 2.5일이라 하여, Jeoung *et al.* (2003)의 결과와 차이를 보이나 Choi *et al.* (2001), Nijveldt (1988)의 결과와는 유사한데 이는 실험 여건 및 방법에 따른 결과로 생각된다.

### 유충 기간

목화진딧물을 포식한 진디혹파리의 유충, 번데기, 알 → 번데기 기간의 발육은 Table 2와 같고, 직선회귀식을 이용한 발육영점온도 및 유효적산온도는 Table 4와 같다. 유충의 온도별 발육기간은 목화진딧물을 먹이로 공급하였을 때 15°C 9.9일, 20°C 7.8일, 25°C 4.4일, 30°C 6.0일로 15-25°C까지는 온도가 상승함에 따라 발육기간이 짧아지는 경향을 보였고 30°C에서 다시 길어졌다. Tukey's 검정을 통한 온도별 유의성 검정 결과 각각의 온도에 따라서 발육속도에 유의성이 있었다( $F = 160.84$ ,  $df = 3, 92$ ,  $r^2 = 0.84$ ,  $P = 0.0001$ ). 발육영점온도는 7.9°C, 유효적산온도는 80.0일도이었다( $F = 269.03$ ,  $df = 1, 2$ ,  $r^2 = 0.90$ ). 또한 복숭아혹진딧물을 먹이로 공급하였을 때 각 단계별 발육속도는 Table 3과 같고, 직선회귀식을 이용한 발육영점온도는 Table 4와 같다. 유충의 발육기간은 15°C 13.1일, 20°C 7.4일, 25°C 5.0일, 30°C 5.1일( $F = 166.50$ ,  $df = 3, 85$ ,  $r^2 = 0.86$ ,  $P = 0.0001$ )이었고, 발육영점온도는 8.8°C, 유효적산온도는 81.7일도였다( $F = 1805.35$ ,  $df = 1, 2$ ,  $r^2 = 0.99$ ). 따라서 목화진딧물과 복숭아혹진딧물을 먹이로 했을 경우 진디혹파리 유충의 발육에서 목화진딧물을 먹이로 하였을 경우 발육영점온도가 0.9°C 낮았다. 2종의 진딧물을 이용한 발육실험에서 35°C의 경우 유충의 발육이 이루어지지 않았는데 이는 35°C 이상의 온도가 진디혹파리 유충 발육에 영향을 주었다.

Choi *et al.* (2001)은 유충기간을 15°C에서 12.7일,

20°C에서 7.3일, Harizanova and Ekblom (1997)은 20°C에서 5.8일, Havelka (1980)는 20°C에서 7.0일, Havelka and Zemek (1999)는 23±1.5°C, 18 : 6 (L : D)에서 지리적 분포에 따라서 13.5-17일, Jeoung *et al.* (2003)은 15°C에서 13.0일, 25°C에서 3.2일, Malais and Ravensberg (1992)는 20°C에서 7-14일, Nijveldt (1988)는 18°C에서 12-17일, Uygun (1971)은 유충 기간이 21°C에서 3.8일, 27°C에서 3.0이라고 하였다. 본 연구 결과와 비교했을 때 Choi *et al.* (2001), Harizanova and Ekblom (1997), Havelka (1980), Malais and Ravensberg (1992)의 결과와 유사하였으나 Havelka and Zemek (1999), Uygun (1971)의 결과와 차이를 보이고 있다.

이는 Havelka and Zemek (1999)의 결과에서 보듯이 지리적인 분포가 다른 것만으로도 발육기간이 다른 것으로 볼 때 발육환경, 실험 수행방법에 따라 차이가 있을 수 있음을 알 수 있다.

### 번데기 기간

목화진딧물을 포식한 경우 번데기 기간은 15°C 30.3일, 20°C 15.2일, 25°C 8.2일, 30°C 9.4일( $F = 460.55$ ,  $df = 3, 56$ ,  $r^2 = 0.96$ ,  $P = 0.0001$ )이었다. 15-25°C 까지 온도에 따른 유의성이 있었고 반면 25-30°C에서는 유의성이 없었다. 발육영점온도는 12.5°C, 유효적산

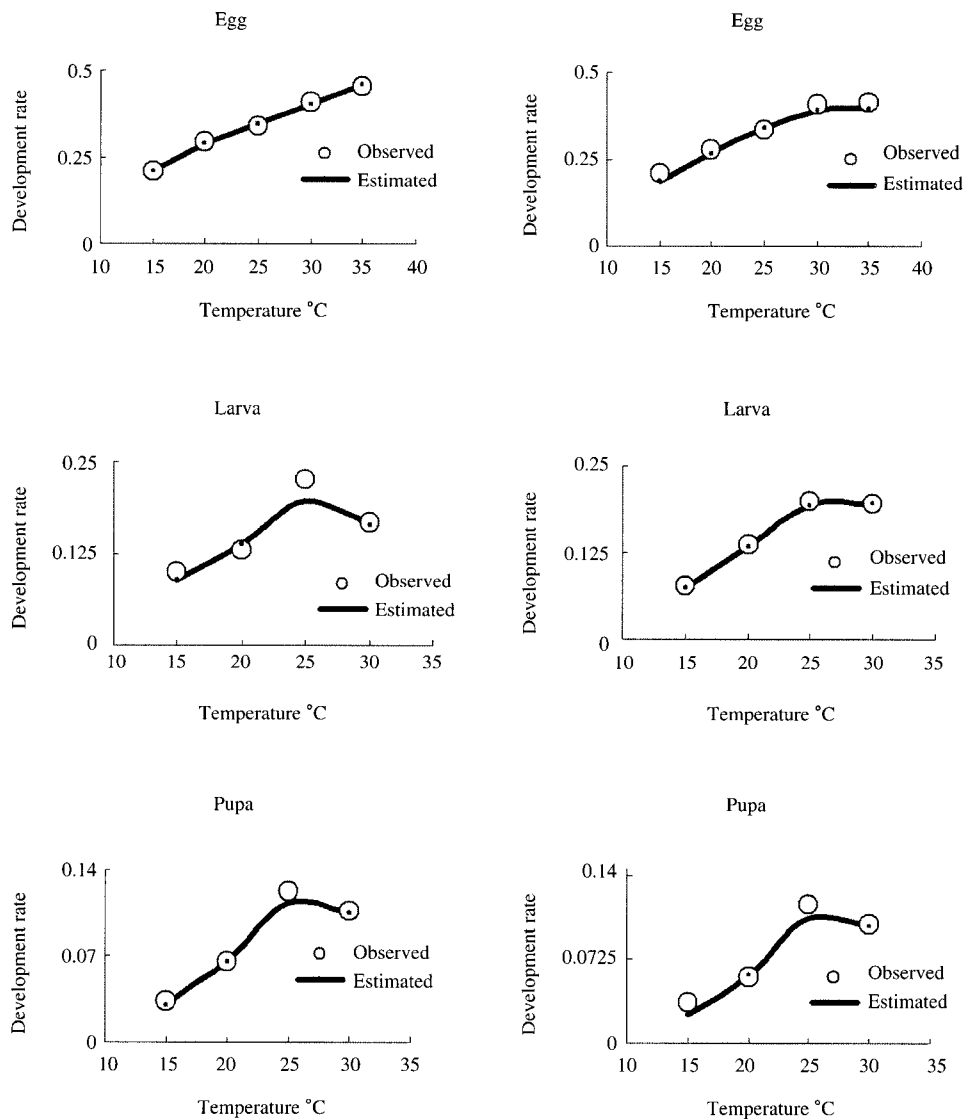
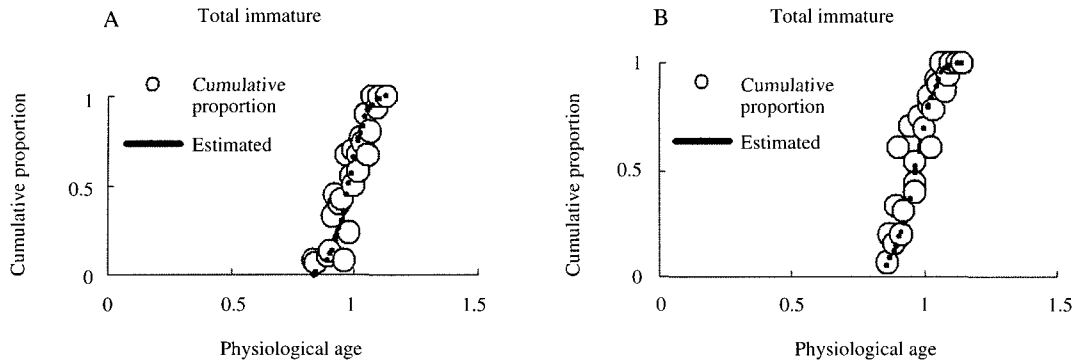


Fig. 1. Developmental rate (1/d) curve for immature stages of *A. aphidimyza* fed on *A. gossypii* (A) and *M. persicae* (B) at various temperatures.



**Fig. 2.** Cumulative proportions for the development completion time of *A. aphidimyza* fed on (A) *A. gossypii* and (B) *M. persicae* in the total immature stage as a function of physiological ages.

**Table 5.** Estimated parameter of a linear model and biophysical development rate (1/days) model regression for egg, larva, pupa, and the total immature stage of *A. aphidimyza* on *Myzus persicae*

Life stage	Linear model <sup>a</sup>				Biophysical development rate model				
	Intercept	Slope	r <sup>2</sup>	ρ <sup>b</sup>	RH025	HA	TH	HH	r <sup>2</sup>
Egg	0.0374 (0.0417)	0.0115 (0.0016)	0.95	3.2	0.552	15781.0	301.1	24366.2	0.96
Larva	-0.1080 (0.0059)	0.0123 (0.0003)	0.99	8.8	0.354	21210.8	299.8	43800.8	0.99
Pupa	-0.0954 (0.0484)	0.0083 (0.0024)	0.93	11.5	0.137	28524.3	301.1	68528.1	0.94
Total	-0.0412 (0.0161)	0.0041 (0.0008)	0.96	10	0.085	26008.3	300.6	525365	0.97

<sup>a</sup>The Linear model for the range of 15-25°C.

<sup>b</sup>The developmental threshold (ρ) = Intercept/Slope.

온도는 97.4일도였다 ( $F=9.46$ ,  $df=1, 2$ ,  $r^2=0.98$ ). 또한 알, 유충, 번데기 기간을 합하여 발육기간 및 발육영점 온도, 유효적산온도를 계산하면 목화진딧물은 15°C 43.9일, 20°C 25.7일, 25°C 14.3일, 30°C 17.7일 ( $F=551.57$ ,  $df=3, 56$ ,  $r^2=0.97$ ,  $P=0.0001$ ) 이었고, 발육영점온도는 10.7°C, 유효적산 온도는 210.8일도였다 ( $F=1267.16$ ,  $df=1, 2$ ,  $r^2=0.97$ ).

복숭아혹진딧물을 숙주로 한 경우 번데기에서는 15°C 27.8일, 20°C 17.5일, 25°C 8.4일, 30°C 9.7일 ( $F=538.53$ ,  $df=3, 48$ ,  $r^2=0.97$ ,  $P=0.0001$ ) 이었고, 발육영점 온도는 11.5°C, 유효적산온도는 119.8일도였다 ( $F=6.73$ ,  $df=1, 2$ ,  $r^2=0.93$ ). 또한 알, 유충, 번데기 기간을 합한 발육기간은 15°C 44.5일, 20°C 27.7일, 25°C 15.8일, 30°C 16.5일 ( $F=651.82$ ,  $df=3, 48$ ,  $r^2=0.98$ ,  $P=0.0001$ ) 이었고, 발육영점온도는 10.0°C, 유효적산온도는 245.5 일도이었다 ( $F=12.26$ ,  $df=1, 2$ ,  $r^2=0.96$ ). 15°C에서 급격하게 번데기 기간이 길어졌는데 이 온도에서 번데기

**Table 6.** Estimated parameters of Weibull distribution model for *A. aphidimyza* development completion times on *A. gossypii* and *M. persicae*

Life stage	Fed on <i>A. gossypii</i>				Fed on <i>M. persicae</i>			
	η	β	γ	r <sup>2</sup>	η	β	γ	r <sup>2</sup>
Egg	0.503	3.045	0.413	0.86	0.592	3.624	0.352	0.94
Larva	0.505	4.032	0.543	0.90	0.505	4.032	0.469	0.93
Pupa	0.364	3.325	0.643	0.93	0.425	5.437	0.579	0.86
Total	0.285	4.625	0.705	0.86	0.202	3.546	0.794	0.85

발육이 지연된 것으로 생각된다. 2종의 진딧물을 각각 포식했던 번데기는 모두 온도가 상승함에 따라 발육기간이 짧아지는 경향을 보였고, 온도에 따른 유의성에 있어서도 25°C까지 유의성이 인정되었으나 25-30°C에서는 유의성이 없었다. Choi *et al.* (2001)은 20°C에서 14.6일, Harizanova and Ekbohm (1997)은 20°C에서 11.9일, Havelka (1980)는 20°C에서 10.8일, Jeoung *et al.* (2003)은 15°C에서 17.3일, 25°C에서 7.9일, Malais and Ravensberg (1992)은 20°C에서 14일이라고 하여 본 연구결과와 비교하여 20°C 이상에 온도에서는 유사한 결과를 보여주고 있으나 15°C에서만은 Jeoung *et al.* (2003)의 결과와 차이를 보인다.

Fig. 1에서 A는 목화진딧물, B는 복숭아혹진딧물을 공급한 진딧혹파리의 알, 유충, 번데기 및 알→번데기와 15→30°C까지 Schoolfield *et al.* (1981)과 Wagner *et al.* (1984)이 제시한 온도별 발육모형에 적용한 결과를 보여주고 있으며, Table 4와 5는 매개변수 값을 보여주고 있다. 모형의 적합성을 나타내주는 r<sup>2</sup>값은 0.85-0.99, 0.94-0.99로 비교적 잘 부합하였다.

Fig. 2에서 A는 목화진딧물, B는 복숭아혹진딧물을 포식한 진딧혹파리의 각 단계별 발육기간의 빈도를 중앙값으로 정규화하여 얻은 진딧혹파리의 발육단계

**Table 7.** Longevity of *A. aphidimyza* fed on 2 species of aphids at various temperatures

Temp. °C	<i>A. gossypii</i>		<i>M. persicae</i>	
	n	Mean ± SE	n	Mean ± SE
15.0	15	8.7 ± 0.80a	15	9.2 ± 0.84
20.0	9	7.4 ± 0.41a	10	7.3 ± 0.45
25.0	6	6.8 ± 0.44a	8	5.0 ± 0.75
30.0	7	3.1 ± 0.14b	9	2.7 ± 0.41

Within column means with the same letters are not significantly different ( $P > 0.05$ , Tukey's studentized range test).

별 발육완료시기 분포모형을 생리적연령을 이용하여 누적분포율을 보여주고 있으며, Table 6은 그 파라미터들이다.  $r^2$ 값은 0.86-0.93, 0.85-0.94로 발육 시 누적 발육률을 비교적 잘 설명하고 있음을 알 수 있다.

### 성충수명

2종의 진딧물을 각각 포식했던 진디혹파리의 성충 수명은 Table 7과 같으며, 목화진딧물을 포식했을 때 15°C 8.7일, 20°C 7.4일, 25°C 6.8일, 30°C 3.1일( $F = 12.57$ ,  $df = 3, 34$ ,  $r^2 = 0.55$ ,  $P = 0.0001$ ), 복숭아혹진딧물을 포식했을 때 15°C 9.2일, 20°C 7.3일, 25°C 5.0일, 30°C 2.7일( $F = 253.36$ ,  $df = 3, 56$ ,  $r^2 = 0.96$ ,  $P = 0.0001$ )이었다. 15°C를 제외한 20-30°C까지 먹이와 작물에 상관없이 유사한 경향을 보여주고 있다.

El-Titi (1973)에 의하면 식물(植物)에 따라 산란수가 다른데 이는 먹이의 밀도에 기인한다. Jeoung *et al.* (2003)은 성충수명이 25°C에서 수컷은 7.3일, 암컷은 9.8일 산란수는 205.5개, Nijveldt (1988)는 실험실에서 사육했을 경우 수컷이 1-3일, 암컷은 10-17일이고 산란수는 약 100개라고 하였다. 본 연구결과와 비교하였을 때 Jeoung *et al.* (2003)의 결과보다 성충수명이 짧았으나 온도가 낮아지면서 성충수명은 길어지는 경향을 보였으며, 15°C에서 성충수명이 가장 길었으나 성충의 움직임이 없었다. 산란 또한 하지않아 진디혹파리는 저온인 15°C 이하에서는 세대가 지속될 수 없음을 알 수 있었으며 따라서 진디혹파리는 20-25°C의 온도 범위에서 유용하게 천적으로 이용할 수 있을 것으로 본다.

### Literature Cited

Asyakin, B.P. 1973. Use of *Aphidoletes phidimyza* (Rond.) (Diptera: Cecidomyiidae) against aphids on greenhouse cucumber.

Zapiski Lskhi. 212: 10-14.  
 Barnes, H.F. 1929. Gallmidges (Dipt. Cecidomyiidae) Bulletin de la societe Entomologique d'Egypte. 49: 25-45.  
 Choi, M.Y., G.H. Lee, C.H. Paik and D.H. Kim. 2001. Development and predation of an aphidophagous gall midge, *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Diptera:Cecidomyiidae) on *Myzus persicae* Sulzer. Korean J. Appl. Entomol. 40: 45-49.  
 El Titi, A. 1973. Einflüsse von Beutedichte und Morphologie der Wirtspflanze auf die Eiablage von *Aphidoletes phidimyza* (Rond.) (Diptera: Cecidomyiidae). Zeitschr. Angew. Ent. 72: 400-415.  
 Gilkeson, L.A. 1990. Cold storage of the predatory midge *Aphidoletes phidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae). J. Econ. Entomol. 83: 965-970.  
 Harizanova, V. and B. Ekbom. 1997. An Evaluation of the parasitoid, *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Braconidae) and the predator *Aphidoletes aphidimyza* Rondani (Diptera: Cecidomyiidae) for Biological control of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) on cucumber. J. Entomol. Sci. 32: 17-24.  
 Harris, K.M. 1973. Aphidophagous Cecidomyiidae (Diptera): Taxonomy, biology and assesments of field populations. Bull. Ent. Res. 63: 305-325.  
 Havelka, J. 1978. Predaceous gall midge *Aphidoletes aphidimyza* Rond. (Diptera: Cecidomyiidae); bionomy, mass laboratory rearing and use in glasshouse crops. Ph. D. Thesis. All-Union Plant Protection Institute, Leningrad, 289 pp.  
 Havelka, J. 1980. Effect of temperature on the developmental rate of preimaginal stages of *Aphidoletes aphidimyza* Rond. (Diptera: Cecidomyiidae). Ent. Exp. and Appl. 27: 83-90.  
 Havelka, J. and R. Zemek. 1999. Life table parameters and oviposition dynamics of various populations of the predacious gall-midge *Aphidoletes aphidimyza*. Entomol. Exp. Appl. 91: 481-484.  
 Jandel. 1996. Table curve 2D. Automated curve fitting and equation discovery; version 4.0. Jandel Scientific, San Rafael, CA.  
 Jeoung, Y.S., Y.S. Choe., I.S. Oh, K.H. Han, M.J. Seo and Y.N. Youn. 2003. Biological characteristics of the aphid-eating gall-midge, *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae) as a biological agent of aphids. Korean J. Appl. Entomol. 42: 241-248.  
 Kim, J.S., Y.H. Kim, T.H. Kim, J.H. Kim, Y.W. Byeon and K.H. Kim. 2004. Temperature-dependent development and its model of the melon aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae). Korean J. Appl. Entomol. 43: 111-116.  
 Malais, M. and W.J. Ravensberg. 1992. The biology of glasshouse pests and their natural enemies. Koppert B. V. 67-69 pp.  
 Markkula, M., K. Tiittanen, M. Hamalainen and A. Forsberg. 1979. The aphid midge *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae) and its use in biological control of aphids. Ann. Ent. Fenn. 45: 89-98.  
 Nijveldt, W. 1988. Cecidomyiidae. 271-277p. Mink, A.K. and P. Harrewijn (ed.). Aphids: Their biology natural enemies and control. Vol. B. World crop pests. Elsevier 364 pp.  
 Rondani, D. 1847. Osservazioni sopra parecchie speciedi esapodi afidicidi e sui loro nemeci. Nouvi Ann. Sci. Nat. Bologna 8: 37-351.  
 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.  
 Uygun, N. 1971. Einfluss der Nahrungsmenge auf Fruchtbarkeit und Lebensdauer von *Aphidoletes phidimyza* (Rond.) (Diptera: Cecidomyiidae). Zeitschr. Angew. Ent. 69: 234-258.  
 van Leiburg, M.T. and R.M.J. Ramakers. 1984. A method for the collection of *aphidoletes* lavare in water. Mededelingen van de Faculteit van Landbouwwentenschappen. Rijksuniversiteit Gent 49: 777-779.

Wagner, T.L., Wu, P.J.H. Sharpe and R.N. Coulson. 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, P.J.H. Sharpe, R.M. Schoolfield and R.N. Coulson. 1984b. Modeling insect development rate: A literature review and application of a biophysical model. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77: 208~225.

Yukawa, J., D. Yamaguchi, K. Mizata and O. Setokuch. 1998. Distribution and host range of on aphidophagous species of Cecidomyiidae *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera), in Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 33: 185~193.

(Received for publication 9 November 2004;  
accepted 17 December 2004)