

## 꼬마남생이 무당벌레 [*Propylea japonica* (Thunberg)]의 온도발육모형\*

이상구\*\* · 박부용\*\*\* · 전성욱\*\* · 정인홍\*\* · 박세근\*\* · 김정환\*\* · 지창우\*\* · 이상범\*\*

### The Temperature-Dependent Development Characteristic of Predatory Natural Enemy, *Propylea japonica* Thunberg (Coleoptera: Coccinellidae)

Lee, Sang-Ku · Park, Bueyong · Jeon, Sung-Wook · Jeong, In-Hong ·  
Park, Se-Keun · Kim, Jeong-Hwan · Ji, Chang-Woo · Lee, Sang-Bum

The present study was conducted to investigate the developmental characteristics of *Propylea japonica* Thunberg (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of aphids under laboratory conditions. The development times of the egg and immature stages of *Propylea japonica* were investigated at ten constant temperatures (15, 17.5, 20, 22.5, 25, 27.5, 30, 32.5, 35 and 38±1°C; 14L:10D; 60±5% RH). Development time was longest at 17.5°C. The developmental periods of *P. japonica* from the time of egg oviposited to adult emergence was 36.9 days at 17.5°C, and it decreased as temperature increasing. Threshold temperature of development and degree days of the *P. japonica* from egg to adult were 11.9°C and 196.0 respectively. The Briere 2 and Lactin 2 models were best fitted for all development stages. The distribution of completion of each development stage was explained relatively well that 2-parameter, 3-parameter and Logistic model except egg and pupal stage.

Key words : Natural enemy, Nonlinear development model, *Propylea japonica*

\* 이 연구의 수행은 농촌진흥청 기관고유사업(PJ01094501)의 지원으로 이루어졌다.

\*\* 농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과

\*\*\* Corresponding author, 농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과 농업연구사(florigen1@korea.kr)

## I. 서 론

우리나라에서 발생하고 있는 채소류 해충은 14목 86과 318종에 이른다(Lee, 1999). 이중 환경조절이 어느 정도 가능한 시설채소에는 노지채소 해충에 비하여 상대적으로 적은 종이 발생하지만, 시설 내 환경조건에 부합하는 해충은 개체 수가 급격히 늘어나기 때문에 큰 피해를 주게 된다. 시설재배작물에서 문제되는 해충으로는 진딧물류(aphids), 응애류(mites), 총채벌레류(thrips), 온실가루이류(whiteflies) 등이다(Lee, 1999).

이중 진딧물은 전 세계적으로 약 4,000여 종이 알려져 있다. 진딧물은 짧은 발육기간, 강한 번식력 및 연간 많은 세대를 거쳐 방제가 어려운 해충이다. 크기는 2 mm 정도로 작으며, 구침을 이용하여 작물의 수액을 흡즙하여 생육을 억제하는 직접적인 피해를 줄 뿐만 아니라, 감로의 배설로 그을음병 유발 및 바이러스를 매개함으로써 간접적인 피해가 더 큰 해충이다(King and Phillips, 1989). 우리나라에서는 약 370여 종의 진딧물이 보고되었고 이 중 34종이 각종 바이러스를 매개한다고 알려져 있다(Lee and Kim, 1989).

진딧물류의 포식성 천적으로 많이 연구된 무당벌레과(Coccinellidae)는 세계적으로 490속, 4,000여종에 이르고, 일본에서는 49속, 153종(Choi, 1983), 한국에서는 6아과 37속, 89종이 기록되어 있다(Park et al., 2000). 국내의 경우 꼬마납생이무당벌레(*Propylea japonica* Thunberg)와 무당벌레(*Harmonia axyridis* Pallas) 2종이 우점종으로 보고된 바 있다(Park et al., 2000). 무당벌레는 무당벌레붙이아과(Epilachninae)에 속한 이십팔점박이무당벌레(*Henosepilachna vigintioctipunctat*) 등 식식성 무당벌레 4종을 제외하고는 대부분이 육식성으로써 다양한 곤충들을 포식한다. 특히 대부분의 무당벌레과에 속하는 종들은 성충과 유충이 모두 포식성으로 진딧물, 깍지벌레 및 응애의 생물적 방제에 가능성이 큰 것으로 평가되어 외국에서는 생물적 방제 측면에서 이들의 생리, 생태 구명 및 대량사육방법에 관한 연구가 과거에는 활발하게 이루어졌으나(Atallah and Killebrew, 1967; Atallah and Newsom, 1966; Matsuka et al., 1982; Okada, 1970; Singh, 1977; Smirnoff, 1958; Smith, 1965) 최근에는 거의 다루어지지 않았다.

무당벌레류가 진딧물의 천적으로써 유용하게 이용될 수 있음에도 불구하고 국내에서는 이들의 활용에 관한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 무당벌레의 경우는 생태와 포식능력 및 인공사육에 대해 다소간 연구가 되어 있으나(An and Im, 1979; Choi, 1983; Choi and Kim, 1985; Lee and Kim, 1989; Seo and Youn, 2000), 다른 우점종인 꼬마납생이무당벌레의 경우는 보리(Kwon and An, 1985), 유자(Kim and Choi, 2000), 콩(Paik et al., 2007) 그리고 휴경논(Paik et al., 2009)에서 주요 천적으로 보고는 되어 있으나 생태적 특성, 포식능력, 대량사육 등의 기초연구가 많이 이루어지지 않았다. 특히 2000대 이후에는 무당벌레의 RNAi 등 분자생물학적 접근으로 연구의 방향이 바뀌어 생태적 연구는 전혀 이루어지지 않은 상황이다.

곤충의 생태는 온도와 밀접한 관계가 있으며 온도에 따라 발육에 미치는 영향이 다양하게 나타나므로 이를 계량화하기 위하여 다양한 발육 모델들이 개발되었다(Logan et al., 1976; Lactin et al., 1995; Briere et al., 1999; Sharpe and DeMichele, 1977; Schoolfield et al., 1981).

따라서 본 연구는 진딧물류의 주요한 천적인 꼬마납생이무당벌레의 온도발육특성을 조사하여, 몇 가지 발육 모형에 적용하여 가장 적합한 모형을 구명하고 천적으로 활용 시 대량사육기술 개발을 위한 기초자료 확보를 위해 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험 곤충 사육

본 연구에서 사용한 곤충은 2015년 3곳의 야외포장(충남 논산, 전북 완주, 전남 담양)에서 채집한 꼬마납생이무당벌레(*propylea japonica* Thunberg)를 국립농업과학원 작물보호과 해충사육실 (24±1℃, 60±5% RH, 14L : 10D)에서 아크릴 사육 상자 (40.0×45.0×40.0 cm)에 넣고 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae* Sulzer)을 먹이로 공급하면서 누대사육하였고, 먹이인 복숭아혹진딧물은 피망(*Capsicum annuum* L. var. *angulosum* Mill)을 기주로 공급하여 사육하였다.

### 2. 알 및 유충 온도발육

꼬마납생이무당벌레를 직경 100 mm, 높이 40 mm, 뚜껑에는 직경 40 mm의 망사(Mesh) 공기구멍이 있는 페트리디시(SPL 310102)에 암수 2쌍씩을 넣고 복숭아혹진딧물을 먹이충으로 공급하며 약 6시간 동안 사육실에서 산란 받았다. 채란한 알은 페트리디시에 여과지(Advantec filter paper)를 깔고, 여과지가 충분히 적셔지도록 증류수를 부은 후 알을 넣고 10개 온도조건(15.0, 17.5, 20.0, 22.5, 25.0, 27.5, 30.0, 32.5, 35.0, 38.0℃)으로 설정한 다단실향온기(16L:8D, 60±5% RH)에 넣어 부화 여부를 관찰한 후 온도별로 각각 50개체씩을 개체사육하며 24시간 간격으로 발육기간을 조사하였다.

알기간은 성충을 제거한 페트리디시를 각 온도별로 넣어두고 부화여부를 확인하여 산란된 날로부터 부화된 날까지로 설정하였다. 유충기간은 부화한 유충을 가는 붓을 이용하여 복숭아혹진딧물이 붙어 있는 피망 잎을 넣은 플라스틱 페트리디쉬(직경 50 mm, 높이 15 mm)에 각각 1마리씩 넣고, 매일 진딧물을 공급하면서 각 영기별 기간과 생존율을 조사하였다. 번데기 기간은 용화 후 우화할 때까지 기간으로 하였다.

이상에서 얻어진 결과를 이용하여 영기별 발육영점온도와 유효적산온도를 계산하였다. 발육영점온도는 사육온도별 평균 발육일수를 역수로 변화하여 발육속도로 바꾼 후 온도와 발육과의 회귀직선식을 구한 후 계산하였고, 유효적산온도는 추정된 회귀식 기울기의 역수 값으로 구하였다.

### 3. 발육 모형 및 발육완료 분포 모형

#### 1) 선형모형

온도에 따른 알 및 약충의 영기별 발육률은 각 발육단계별 평균 발육기간의 역수로 계산하였으며 다음(수식 1) 직선회귀식에 적용시켰다.

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

수식 (1)에서  $r(T_c)$ 는 온도조건에 따른 발육률,  $T_c$ 는 실험 온도(°C)이며,  $a$ 는 직선회귀식의 기울기,  $b$ 는 0°C에서의 발육률이다. 매개변수의 추정은 TableCurve 2D v4를 이용하였다.

직선회귀식은 각 온도조건별로 나타난 발육률을 이용하였다. 각 단계별 발육영점온도는 직선회귀식의 X절편(-b/a)의 값이고, 발육단계별 발육 완료에 필요한 유효적산온도(Degree-day)는 기울기의 역수(1/a)값이다.

#### 2) 비선형 모형

온도조건별 발육률을 분석하기 위해 사용된 비선형 발육모형은 경험모형(Empirical Model)의 Logan 모형 계열인 Logan 6 (Logan et al., 1976)(수식 (2)), Logan의 모형을 변형한 Lactin 2 모형(Lactin et al., 1995)(수식 (3)) 및 Briere 1, 2 (Briere et al., 1974)(수식 (4, 5))과 생물리학적 모형(Biophysical Model)의 Sharp and DeMichele 계열 모형인 SS 모형(Schoolfield et al., 1981)(수식 (6))을 이용하여 온도조건에 따른 발육률을 분석하였다.

$$r(T_c) = \psi(e^{\rho T_c} - e^{\rho T_L - (T_L - T_c)/\Delta T}) \quad (2)$$

수식 (2)에서  $r(T_c)$ 는 온도에 따른 발육률,  $\psi$ 는 최대발육률,  $T_c$ 는 온도(°C),  $\rho$ 는 최적온도에서 발육률 상수,  $T_L$ 은 치사 상한온도,  $\Delta T$ 는 고온 경계지역의 온도범위로서 생리적인 장애가 최우선 영향이 되는 온도 범위를 의미한다.

$$r(T) = e^{\rho T} - e^{\rho T_{\max} - (T_{\max} - T)/\Delta} + \lambda \quad (3)$$

수식 (3)에서  $r(T)$ 는 온도별 발육률,  $\rho$ ,  $T_{max}$ ,  $\Delta$ ,  $\lambda$ 는 각각 최적온도까지의 발육증가율, 발육상한온도, 발육최적온도와 발육상한온도와의 차이, 발육영점온도를 추정할 수 있게 하는 값이다.

$$r(T_c) = aT_c(T_c - T_0)(T_L - T_c)^{1/2} \tag{4}$$

$$r(T_c) = aT_c(T_c - T_0)(T_L - T_c)^{1/b} \tag{5}$$

수식 (4, 5)에서  $r(T_c)$ 는 온도에 따른 발육률,  $T_c$ 는 온도(C), a, b는 매개변수,  $T_0$ 는 발육영점온도,  $T_L$ 은 치사 상한온도를 의미한다.

$$r(T) = \frac{\rho_\phi \frac{T}{T_\phi} \exp\left[\frac{HA}{R} \left(\frac{1}{T_\phi} - \frac{1}{T}\right)\right]}{1 + \exp\left[\frac{HL}{R} \left(\frac{1}{TL} - \frac{1}{T}\right)\right] + \exp\left[\frac{HH}{R} \left(\frac{1}{TH} - \frac{1}{T}\right)\right]} \tag{6}$$

수식 (6)에서  $r(T)$ 는 절대온도에서의 발육속도(1/발육기간)이며,  $R$ 은 기체상수(1.987 cal degree-1 mole-1)이다.  $\rho_\phi$ 은 활성의 저해가 없다고 가정한 기준온도인 25C에서의 발육속도,  $HA$ 는 발육에 관여하는 속도조절이 촉매하는 반응의 활성화 엔탈피,  $HL$ 은 속도조절의 활성이 저온영역에서 저해되는 것과 관련된 엔탈피의 변화,  $TL$ 은 속도조절이 1/2만큼 활성화되어있는 저온영역의 절대온도,  $TH$ 는 속도조절이 1/2 활성화되어있는 고온영역의 절대온도이며,  $HH$ 는 속도조절의 활성이 고온영역에서 저해되는 것과 관련된 엔탈피의 변화이다.

상기 모형을 분석하기 위해 TableCurve 2D v4 (Jandel Scientific, 1996) 분석 툴을 사용하였다.

### 3) 발육완료 분포 모형

발육 단계별 발육완료 분포 모형은 Wagner 등(1984)이 제시한 2-parameter Weibull 함수, 3-parameter Weibull 함수 및 Sigmoid 모형(Neter and Wasserman, 1974)을 이용하여 구하였다(수식 (7, 8, 9)).

$$F(x) = 1 - \exp[-((x - \eta)^\beta)] \tag{7}$$

$$F(x) = 1 - \exp[-((x - \gamma)/\eta)^\beta] \tag{8}$$

$$F(x) = e^{(\beta_0 + \beta_1 x)} / (1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}) \tag{9}$$

수식 (7, 8, 9)에서  $F(x)$ 는 동일 영기집단의 개체들 중 다음단계로 발육이 진행되어 완료된 개체들의 누적 비율이고,  $x$ 는 표준화된 각 개체들의 발육완료시간,  $\gamma$ ,  $\eta$ ,  $\beta$  및  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ 은 모형에 최적화된 비선형 회귀식의 매개변수이다. 이의 추정은 Table Curve 2D v4 (Jandel Scientific, 1996)를 이용하여 구하였다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 온도별 알 및 유충 발육기간

꼬마남생이무당벌레의 알 발육은 38.0°C를 제외한 모든 온도조건에서 정상적으로 부화되었다. 그러나 15.0°C에서는 정상 부화 후 다음단계로 넘어간 개체가 없이 100% 사망하였다. 이 외에는 17.5°C의 온도조건에서 발육기간이 8.1일로 가장 길었으며 35.0°C에서 2.0일로 가장 짧았다(Table 1). 유충의 발육은 15.0°C와 38.0°C를 제외한 모든 온도조건에서 성충까지 발육이 완료되었다. 유충 전 기간의 온도별 발육기간은 17.5°C에서 18.8일로 가장 길었

Table 1. Mean developmental period for stage-specific of *P. japonica* at various temperatures in the laboratory

Temp. (°C)	Developmental periods (days)*						
	Egg	Larva				Pupa	Total
		1st	2nd	3rd	4th		
15.0	10.46±0.50a	-	-	-	-	-	-
17.5	8.11±0.32b	5.58±0.77a	3.63±0.83a	3.58±0.84a	6.05±0.62a	9.95±0.78a	36.89±1.20a
20.0	6.00±0.00c	4.00±0.52b	2.52±0.59b	2.91±0.29b	4.09±0.90b	7.22±0.60b	26.74±0.54b
22.5	4.23±0.29d	2.58±0.57c	1.81±0.43c	2.19±0.43c	2.58±0.49c	4.50±0.48c	17.88±0.63c
25.0	3.32±0.48e	2.32±0.54c	1.39±0.50d	1.94±0.51c	2.52±0.57c	4.03±0.18d	15.52±0.63d
27.5	3.11±0.31ef	1.84±0.37d	0.91±0.35e	1.42±0.42d	1.95±0.40d	3.05±0.23e	12.27±0.69e
30.0	3.00±0.00f	1.07±0.25e	1.04±0.28e	1.20±0.47d	1.80±0.63d	2.82±0.39ef	10.93±0.25f
32.5	2.58±0.50g	1.00±0.00e	1.03±1.16e	1.08±0.27de	1.87±0.34d	2.34±0.48f	9.89±0.65g
35.0	2.00±0.00h	0.93±0.18e	0.83±0.24e	0.81±0.25e	1.66±0.32d	2.17±0.38g	8.40±0.50h
38.0	-	-	-	-	-	-	-

\* Mean±standard deviation with 50 individuals.

\* Tukey's Studentized Range (HSD) Test. (P>0.05)

으며 35.0°C 에서 4.2일로 가장 짧았다. 전체적으로 온도조건이 높아질수록 발육기간은 짧아졌다. Choi (1983)은 25°C 에서 콩진딧물(*Aphis glycines*)을 먹이로 공급하였을 때 무당벌레의 발육기간은 14.6일이 걸리는 것으로 조사되었고, Obrycki and Orr (1990)은 23±2°C 에서 완두수염진딧물(*Acyrtoshon pisum*)을 먹이로 공급하였을 때 큰꼬마납생이무당벌레(*Propylea quatuordecimpunctata*)의 발육기간은 14.8일이라 하였고, 칠성무당벌레(*Coccinella septempunctata*)는 19.4일이 걸리는 것으로 조사되었다. 또한 Han 등(1996)의 연구에서는 무당벌레의 유충기간이 13.5일, 번데기 기간은 4.9일로 총 17.4일, Park 등(2001)은 19.5일이라 보고하였다. Chi and Yang (2003)은 25.0°C 에서 꼬마납생이무당벌레의 알, 유충 및 번데기 기간이 각각 3.0일, 6.9일 및 4.2일 이라고 보고하였다. 이는 본 실험의 15.5일과 큰 차이가 없었으며 오히려 꼬마납생이무당벌레는 타 무당벌레류에 비하여 발육기간이 약간 짧은 경향을 나타낸다.

사망률은 17.5°C 의 온도조건에서는 알에서 성충까지의 발육과정 중 50%가 사망하였고 30.0°C 의 온도조건에서는 8%로 가장 낮은 사망률을, 35.0°C 의 온도조건에서는 14%의 사망률을 나타내었다(Table 2). 유충의 발육에 있어 30.0°C 의 온도조건이 가장 사망률이 낮은 온도조건으로 판단된다.

Table 2. Mortality of *P. japonica* larvae at various temperatures in the laboratory (Photoperiod 14L:10D)

Temp. (°C)	No.*	Mortality				
		Larva				Total (%)
		1st	2nd	3rd	4th	
15.0	50	50	-	-	-	100
17.5	50	17	3	2	3	50
20.0	50	14	6	2	0	44
22.5	50	11	4	2	1	36
25.0	50	10	2	1	0	26
27.5	50	6	2	0	0	16
30.0	50	3	0	1	0	8
32.5	50	3	1	0	1	10
35.0	50	6	0	0	1	14
38.0	50	-	-	-	-	-

\* No. : Number of individuals tested.

직선회귀식을 이용하여 추정한 발육영점온도는 알 기간에서 11.3°C, 발육 완료까지의 유효적산온도는 50.2DD였다. 유충과 번데기 단계에서의 발육 영점온도는 각각 11.5°C, 12.7°C였고, 유효적산온도는 각각 98.5DD, 48.8DD였다. 발육 영점온도는 각 태별로 차이가 크지 않았으나 유효적산온도는 번데기가 48.8DD로 가장 적은 반면에 유충은 98.5DD로 상대적으로 높은 일도가 요구되었다(Table 3).

Table 3. Lower threshold temperature of development (LT) and Degree day (DD) of *P. japonica*

Stage	Regression	LT	DD	r <sup>2</sup>
Egg	Y=0.02049X-0.23156	11.3	50.2	0.91
Larva	Y=0.01012X-0.11585	11.5	98.5	0.95
Pupa	Y=0.02070X-0.26175	12.7	48.8	0.90
Egg-Pupa (Total)	Y=0.00512X-0.06073	11.9	196.0	0.97

15.0°C에서 38.0°C까지 10가지 온도조건의 꼬마납생이무당벌레의 온도발육 자료를 이용하여 이를 Logan 6 모형 등 몇 가지 대표적인 비선형 모형에 적용하여 각각의 매개변수를 추정하여 온도와 발육률의 관계를 살펴보았다(Table 4). 알 발육의 경우 모든 모형에서 적합도(r<sup>2</sup>)가 0.96 이상으로 모형에 잘 부합되었다. 유충의 경우는 모형에 따라 적합도가 0.82에서 0.99까지 다소 변이가 있었다. 세부적으로 살펴보면 1령 유충과 종령인 4령 유충에서는 적합도가 0.91에서 0.97 사이로 나타났지만 2령과 3령 유충에서는 0.82에서 0.99까지 나타나 1령 및 5령 유충과 차이를 보였다. 유충 전 기간으로 보면 적합도가 높은 편이지만 각 유충별로 보았을 때 이러한 편차가 생기는 것은 향온기와 페트리디시를 이용한 실내 실험의 특성상 좁은 공간에서 인공조명을 받고 생육하는 조건에서 나온 스트레스의 영향으로 영기별 편차가 생긴 것으로 판단된다. 또한, 가장 낮은 적합도를 보인 모형은 Sharp and DeMichele 계열 모형인 SS 모형이었고, Lactin 2, Briere 2 모형은 가장 높은 적합도를 나타냈다.

적합도가 높은 두 모형 중 Lactin 2 모형은 0°C 부근에서 발육률을 높게 나타내는 경향이 있으나 치사 상한온도, 발육상한온도의 차이 값이 실제 데이터와 더 가까운 경향을 보였다. Briere 2 모형의 경우는 발육영점온도를 다소 낮게 표현하였다. 따라서 꼬마납생이무당벌레의 경우 Lactin 2 모형이 가장 적합한 것으로 판단되나 최종 결정을 위해선 좀더 세밀한 연구가 추가되어야 할 것이라 여겨진다.



Table 4. Mean developmental period for stage-specific of *P. japonica* at various temperatures in the laboratory

Model	Parameter & $r^2$	Developmental periods (days)*						
		Egg	Larva				Pupa	Total
			1st	2nd	3rd	4th		
Logan6	$\Psi$	0.0616996	0.0186348	0.1295360	0.0687984	0.0869493	0.0907666	0.0545135
	$\rho$	0.1063114	0.1290528	0.1423896	0.0935377	0.1337727	0.1490703	0.1364517
	$T_L$	50.125272	37.837041	40.777795	66.243602	40.410743	41.79032	43.6974
	$\Delta T$	8.3291191	2.1226737	6.5304099	7.8179538	6.8777302	6.529593	7.2179065
	$r^2$	0.96	0.97	0.88	0.99	0.94	0.99	0.98
Lactin2	$\rho$	0.1077835	0.1742767	0.0586527	0.1327270	0.0901227	0.1297204	0.1324721
	$T_L$	49.108586	40.801936	48.754767	52.316814	44.039130	43.216112	43.68511
	$\Delta T$	9.2065458	5.7235842	11.506301	7.4988129	10.568039	7.6692339	7.5409963
	$\lambda$	-0.033686	-0.053776	-1.372077	0.0685391	-0.363498	-0.057788	-0.006098
	$r^2$	0.96	0.97	0.91	0.99	0.96	0.99	0.99
Briere1	a	6.232798	0.0002621	0.0005479	4.4596498	0.0002788	0.0001507	3.085812
	$T_0$	1.207068	12.918644	11.650838	4.6644745	9.7025221	10.599425	8.6432814
	$T_L$	76.123355	65.364053	41.45113	635.1166	40.418924	47.855481	51.81732
	$r^2$	0.97	0.95	0.91	0.98	0.96	0.99	0.99
Briere2	a	1.0343415	0.0015230	1.3683757	3.1002658	5.6327039	3.3573330	3.2124724
	$T_0$	3.1306979	12.255707	13.651467	4.336412	12.692406	11.238322	10.042858
	$T_L$	123.86804	35.0	57.180793	2977.4509	55.650132	58.920828	85.963997
	b	0.7463722	119.07611	0.6578661	2.2478867	0.6209439	1.1313715	0.6519415
	$r^2$	0.97	0.96	0.92	0.99	0.97	0.99	0.99
SS (Sharp & DeMichele)	$\rho(25)$	0.4762	0.6262	0.8653	0.7971	1.0055	0.5142	0.1499
	HA	21238.6	27001.5	27970.0	23490	2715.3	19615.9	7874.17
	HL	22275239	567387770	2323000	94070000	-49139.7	-44174.9	-50591.7
	TL	389.47	10940.34	8848.0	-69840	295.10	289.90	292.82
	HH	19469.9	28560.33	31840	13420	2929.7	18693.0	-412.91
	TH	300.29	303.93	303.2	301.4	306.1	299.78	315.42
	$r^2$	0.96	0.91	0.82	0.91	0.97	0.99	0.99

\* Mean±standard deviation with 50 individuals.

## 2. 알 및 유충의 발육완료

온도를 감안하지 않은 발육완료 모형을 얻기 위해서는 각 발육단계별 발육기간의 중앙값으로 발육기간을 나누어서 누적빈도분포곡선을 얻을 수 있다(Sharpe et al., 1977; Curry and Feldman, 1978). 이에 본 연구에서는 Curry and Feldman (1978)이 제시한 동일 개체군들의 발육기간을 평균 발육기간으로 나누어 2-parameter와 3-parameter Weibull 및 Logistic 함수에 적용하였다. 그 결과 3개의 모형 모두 알과 번데기의 경우 발육완료 적합도( $r^2$ )는 0.56 정도로 낮게 나타났으나 유충의 경우 0.80으로 다소 높게 나타났고, 전 기간의 발육 완료 적합도는 3개 모형 모두 0.97로 높게 나타났다(Table 5). 높은 적합도를 나타낸 전 기간의 경우 3-parameter Weibull 함수가 다른 두 함수에 비하여 고온 영역의 곡선 기울기를 가파르게 표현하는 경향을 나타내었지만, 모델 간 큰 차이는 없었다.

Table 5. Estimated parameters of three stage emergence models for each stage of *P. japonica*

Model	Parameter & $r^2$	Developmental periods (days)*			
		Egg	Larva	Pupa	Total
2-parameter Weibull	$\beta$	1.6037	4.5471	1.4548	10.4843
	$\eta$	130.772	4.9543	214.131	1.9868
	$r^2$	0.55	0.80	0.50	0.97
3-parameter Weibull	$\beta$	6.8938	2.2974	7.3238	235.4048
	$\gamma$	-3.4943	0.5322	-4.5131	-20.8051
	$\eta$	7.1479	1.4591	8.5317	22.0434
	$r^2$	0.56	0.80	0.50	0.97
Logistic	a	-4.7126	-7.4164	-4.4991	-14.0513
	b	1.5322	4.8042	1.3186	11.5336
	$r^2$	0.56	0.79	0.50	0.97

\* Mean±standard deviation with 50 individuals.

## 3. 생육 최적조건

이상의 결과를 보면 30°C의 온도조건에 꼬마납생이무당벌레의 사충률은 8% 수준으로 가장 낮았으며, 발육기간도 평균 10.93일로 다른 온도에 비하여 상당히 적은 일수가 소요된

다. 따라서 대량사육을 위한 최적 생육 조건은 30℃로 여겨진다. 또한, 발육영점온도는 알 단계에서 11.3℃, 번데기 단계에서 12.7℃로 나타났다. 차후 이 발육영점온도 이하의 온도에서 생존율이 높은 온도를 구명한다면 저장보관 측면에서 유용한 자료가 될 것으로 판단된다.

본 연구결과는 국내 시설재배지의 진딧물류 방제를 위한 사육법을 확립하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 실질적인 활용을 위해서는 기주선호성, 포식량 실험 등이 추가로 필요하며, 특히 사육 공간, 사육 밀도, 동종포식(Cannibalism)에 대한 연구 및 저장성을 높이기 위한 저온 보관에 대한 연구를 통해 대량사육 기술의 확립이 필요하다. 본 연구를 통해 도출된 최적 온도조건에 향후 상기의 연구가 추가로 이루어진다면 대량 사육을 통한 안정적인 천적 공급이 가능할 것으로 판단된다.

[Submitted, September. 12, 2017 ; Revised, October. 11, 2017 ; Accepted, October. 16, 2017]

## References

1. An, J. H. and M. S. Im. 1979. A study on the ecological characteristics of natural enemy (*Harmoma axyridis* PALLAS). Bull. of Chung-buk Univ. 18: 195-200.
2. Atallah, Y. H. and L. D. Newsom. 1966. Ecological and nutritional studies on *Colemegilla maculata* de Geer (Coleoptera: Coccinellidae). I. The development of an artificial diet and a laboratory rearing technique. J. Econ. Entomol. 59: 1173-1179.
3. Atallah, Y. H. and R. Killebrew. 1967. Ecological and nutritional studies on *Colemegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae) IV. Amino acid requirements of the use of C<sub>14</sub> labelled acetate. Ann. Entomol. Soc. Amer. 60: 186-188.
4. Briere, J. F., B. D. Frazer, N. Gilbert, A. P. Gutierrez, and M. Markauer. 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. J. Appl. Ecol. 11: 431-438.
5. Chi, Hsin and Ta-Chi Yang. 2003. Two-sex life table and predation rate of *Propylaea japonica* Thunberg (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae). Environ. Entomol. 32(2): 327-333.
6. Choi, S. Y. 1983. Preliminary studies on the aphidivorous of coccinellid beetles (*Harmonia axyridis* PALLAS) and their artificial rearing. Seoul Nat'l Univ., Coll. of Agric. Bull. 8(1): 55-64.
7. Choi, S. Y. and G. H. Kim. 1985. Aphidivorous activity of a coccinellid beetle, *Harmonia*

- axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). Korean J. Plant Prot. 24(1): 11-14.
8. Curry, G. L. and R. M. Feldman. 1978. Foundations of stochastic. J. Theor. Biol. 74: 397-410.
  9. Kim, K. C. and D. S. Choi. 2000. Natural enemies of Citrus red mite, *Panonychus citri* MCGREGOR, and seasonal occurrence of major predators on Yuzu tree (*Citrus junos*). Korean J. Appl. Entomol. 39: 13-19.
  10. King, E. G. and J. R. Phillips. 1989. 42<sup>nd</sup> Annual conference report on cotton insect research and control. In Proc. Belt. Cotton Prod. Res. Conf., 180-192.
  11. Kwon Y. J. and S. L. An. 1985. Studies on the insect pests of barley in Korea. Agric. Res. Bull. Kyungpook Natl. Univ. 3: 129-150.
  12. Lactin, D. J., N. J. Holliday, D. L. Johnson, and R. Craigen. 1995. Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. Environ. Entomol. 24(1): 68-75.
  13. Lee, H. R. and J. W. Kim. 1989. Studies on the aphidivorous activity of predacious ladybeetle *Harmonia axyridis* and their selective toxicity. J. Agr. Sci. Chungbuk Nat'l Univ. 7: 110-118.
  14. Logan, T. A., D. J. Wollkind, S. C. Hoyt, and L. K. Tanigoshi. 1976. An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods authors. Environ. Entomol. 5(6): 1133-1140.
  15. Matsuka, M., M. Watanabe, and K. Nijima. 1982. Longevity and oviposition of vedalia beetles on artificial diets. Environ. Entomol. 11: 816-819.
  16. Neter, J., W. Wasserman. 1974. Applied linear statistical models. regression, analysis of variance, and experimental designs. Ed. R. D. Irwin, Illinois.
  17. Obrycki, J. J. and C. J. Orr. 1990. Suitability of three prey species for nearctic populations of *Coccinella septempunctata*, *Hippodamia variegata*, and *Propylea quatuordecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). J. Econ. Entomol. 83(4): 1292-1297.
  18. Okada, I. 1970. A new method of artificial rearing of coccinellids, *Harmonia axyridis* Pallas. HEREDITY 24: 32-35 (In Japanese with English summary).
  19. Paik, C. H., G. H. Lee, G. Kang, Y. K. Jeon, M. Y. Choi, and H. Y. Seo. 2009. Plant flora and insect fauna in the fallow paddy fields of Jeonnam and Jeonbuk province. Korean J. Appl. Entomol. 48: 285-294.
  20. Paik, C. H., G. H. Lee, M. Y. Choi, H. Y. Seo, D. H. Kim, C. Y. Hwang, and S. S. Kim. 2007. Status of occurrence of insect pests and their natural enemies in soybean fields in Honam province. Korean J. Appl. Entomol. 46: 275-280.
  21. Park, H. C., Y. B. Lee, M. A. Kim, H. Y. Kim, and V. N. Kuznetsov. 2001. Classification

- of Coccinellidae Distribution chart and ecological study. RDA Annual Report. 27-45.
22. Schoolfield, R. M., P. J. H. Sharpe, and C. E. Mugnuson. 1981. Nonlinear regression of biological temperature-dependent rate models based on absolute reaction-rate theory. *J. Theor. Biol.* 88: 719-731.
  23. Seo, M. J. and Y. N. Youn. 2000. The asian ladybird, *Harmonia axyridis*, as biological control agents: I. Predacious behavior and feeding ability. *Korean J. Appl. Entomol.* 39(2): 59-71.
  24. Sharpe, P. J. H. and D. W. DeMichele. 1977. Reaction kinetics of poikilotherm development. *J. Theor. Biol.* 64, 649-670.
  25. Singh, P. 1977. Artificial diets for insect, mites, and spiders. *IFI/Plenum Data Comp.* p. 594.
  26. Smirnoff, W. A. 1958. An artificial diet for rearing coccinellid beetles. *Can. Entomol.* 90: 563-565.
  26. Smith, B. C. 1965. Growth and development of coccinellid larvae on dry foods (Coleoptera: Coccinellidae). *Can. Entomol.* 97: 910-919.
  27. Wagner, T. L., H. Wu, P. J. H. Sharpe, R. N. Coulson. 1984. Modeling distribution of insect development time: a literature review and application of Weibull function. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77: 475-483.