

## 화랑곡나방 (나비목: 명나방과)에 기생한 보리나방살이고치벌 (벌목: 고치벌과)의 발육과 온도와의 관계

### Effect of Temperature on the Development of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) Parasitizing Indianmeal Moth (Lepidoptera: Pyralidae)

김나경 · 나자현 · 류문일

Na Kyoung Kim, Ja Hyun Na and Mun Il Ryoo

**Abstract** - Development of *Bracon hebetor* Say parasitizing Indianmeal moth (*Plodia interpunctella* (Hübner)) was studied at five temperature conditions (17, 20, 25, 28 and 32±0.5°C) under a photoperiod of 16 : 8 (L : D). Developmental period (mean±s.e.) of *B. hebetor* from egg to eclosion decreased from 28.6±0.50 to 9.3±0.09 days and 28.1±0.51 to 9.2±0.09 days for female and male, respectively, as the temperature increased from 17 to 32°C. The combination model provided a good description of the relationship between temperature and development. The low temperature thresholds were estimated to be 14.0, 12.8, 15.1°C for development of egg, larva and pupa. The thresholds for normal development (outside of the boundary layer of the development) were 14.0, 17.5, 15.1°C for egg, larva and pupa, respectively, indicating that the larval stage is more sensitive to the low temperature than the other stages. The results suggested that the present *B. hebetor* population could be another ecological race adapting to the seasonal temperature conditions of this area.

**Key Words** - *Bracon hebetor*, *Plodia interpunctella*, Temperature, Development

**초 록** - 화랑곡나방 (*Plodia interpunctella* (Hübner)) 유충에 기생하는 보리나방살이고치벌 (*Bracon hebetor* Say)의 발육을 장일조건 (16시간 광)의 5 가지 정온 조건 (17, 20, 25, 28 and 32±0.5°C)에서 조사하였다. 보리나방살이고치벌의 전발육기간은 온도가 17°C에서 32°C로 상승함에 따라 암컷과 수컷에서 각각 28.6±0.50일과 28.1±0.51일에서부터 9.3±0.09일과 9.2±0.09일로 감소하였다. 알의 발육은 32°C에서 지연되었다. 고치벌의 발육과 온도와의 관계는 조합모형으로 잘 설명되었으며 ( $R^2 > 0.99$ ), 각 충태별 저온발육임계온도는 알, 유충, 번데기에서 각각 14.0, 12.8, 15.1°C로 추정되었다. 그러나 경계역을 제외한 정상발육이 예상되는 저온한계는 각각 14.0, 17.5, 15.1°C로 추정되었다. 타 충태에 비해 유충의 발육임계역이 넓은 것으로 추정됨으로써 유충이 타 충태에 비해 온도에 대한 감수도가 큰 것으로 판단되었다. 본 실험에서 나타난 고치벌의 발육과 온도의 관계는 다른 지역에서 보고된 바와 부분적으로 차이를 보였으며 이로 미루어 이 고치벌이 다른 지역에 분포하는 개체군과는 상이한 생태형인 것으로 판단된다.

**검색어** - 보리나방살이고치벌, 화랑곡나방, 온도, 발육

보리나방살이고치벌 (*Bracon hebetor* Say) (이하 ‘고치벌’로 지칭)은 화랑곡나방 (*Plodia interpunctella* Hüb-

ner) 등 저장식품을 가해하는 수 종 나방들의 외부기생봉이다. 이 때문에 고치벌의 생태와 저장해충의 생

물적 방제 인자로서의 응용에 대해 많은 연구들이 이루어져왔다 (Doutt, 1958; Reinert and King, 1971; Hagstrum and Smittle, 1977; Hagstrum, 1983; Cline *et al.*, 1984; Brower and Press, 1990; Cline and Press, 1990; Ohh, 1993; Yu *et al.*, 1999). 고치벌의 생물적방제 인자로서의 효율은 방사시기, 회수, 장소, 대상 저장식품 등에 따라 달라질 수 있으므로 대상식품과 장소에 따라 그에 상응하는 전략이 강구되어야 한다.

고치벌의 발육생태는 방사시 방제 대상 기주 개체군의 연령분포에 상응하는 조건을 추정하는 과정에서 검토되어야 하는 가장 중요한 요소이다. 그러나 고치벌의 생태에 대한 집중적인 연구와 생물적 방제에의 응용가능성에 대한 그동안의 연구에도 불구하고 고치벌의 발육생태에 대해서는 단지 한 가지 온도조건에서 보고되어 있을 뿐 발육과 온도의 관계에 대한 전반적으로 검토가 없다 (Jackson and Butler, 1984; Taylor, 1988; Yu *et al.*, 1999).

본 실험은 보리나방살이고치벌의 발육과 온도와의 관계를 정립함으로써 고치벌의 발육생태를 밝히고자 수행된 것이다. 이러한 연구를 통하여 화랑곡나방 등 저곡해충의 생물적 방제인자로서의 고치벌의 적용가능성과 그의 효율성에 대한 검토가 보다 합리적으로 이루어질 것이기 때문이다.

## 재료 및 방법

### 실험곤충

화랑곡나방은 1995년 여름 경북 달성군 소재 건조 채소창고에서 채집된 것으로 고려대학교 개체군생태학 실험실에서 청경채 (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* Jul.)를 사료로 누대사육된 계통이다. 다른 곡물이나 건조 채소에서 보다 청경채에서 화랑곡나방의 우화율이 높았으므로 화랑곡나방의 사육에 청경채를 사료로 하였다 (Na and Ryoo, 2000). 보리나방살이고치벌은 1998년 화랑곡나방의 사육상에서 채집된 것으로 화랑곡나방 유충(4령 이상)을 기주로 누대 사육된 계통이다. 화랑곡나방과 고치벌은 모두 온도 28°C, 상대습도 70~75%, 장일조건 [16:8(L:D)h]에서 사육된 성충들이었다.

### 실험 방법

패트리 접시(직경 90 mm)에 청경채 10 g 과 4령 이상된 화랑곡나방 유충 15 마리를 넣었다. 여기에 우화한지 24시간 미만의 고치벌 1 쌍을 접종하고 뚜껑을 덮었다. 접종된 패트리 접시들은 각각 17, 20, 25, 28, 32±0.5°C, 상대습도 70~75 %, 장일 조건 [16:8(L:D)h]에서 24 시간 보관되었다. 각 패트리 접시로부터 기간 중 산란된 기생봉 알과 고치벌에 의해 마취되었

으나 기생되지 않은 화랑곡나방 유충을 수집하였다. 소형 패트리 접시(직경 35 mm)에 마분지로 4개의 방을 만들어 각 방에 마취된 화랑곡나방 유충 한 마리씩을 넣고, 가는 붓을 사용하여 보리살이나방고치벌의 알 1개를 유충의 복부에 접종하고 뚜껑을 덮었다. 알이 접종된 각 패트리 접시들을 고치벌 알이 산란된 조건과 동일한 조건에서 보관하면서 고치벌의 발육단계를 매일 조사하였고 우화한 개체의 성을 구분하였다. 조사는 고치벌이 우화할 때까지 지속되었다. 각 온도별 발육실험은 10회 이상 반복되었고 관찰된 고치벌 개체수는 우화수 기준 40마리 이상이었다.

### 자료 분석

고치벌의 각 충태별, 온도별 발육일수는 각 충태의 출현일부터 다음 충태의 출현일까지로 하였고 그의 역수를 발육 속도로 하였다. 모든 자료는 필요에 따라 t-검정과 F-검정에 의한 통계분석을 수행하였다.

### 온도발육 모형

각 충태별 발육 기간은 해당 충태 출현일부터 다음 충태 출현일까지로 하였다.

온도와 발육과의 관계는 Ryoo and Cho (1988) 의 다음 조합모형에 의거하였고 그 통계량들은 SAS NLIN PROC (SAS Institute, 1988)을 이용하여 추정하였다.

$$r(T) = \alpha \left( [1 + k \cdot \exp(-\rho T)]^{-1} - [1 + k \cdot \exp(-\rho T_m)]^{-1} \right) \cdot \exp(-\tau) - [1 + k]^{-1} \cdot \exp(-\tau')$$

여기에서  $r(T)$ 는  $T$ 에서의 발육속도(발육일수의 역수),  $T$ 는 저온발육임계온도( $T_L$ ) 이상의 온도( $T = t - T_L$ ),  $T_m$ 은 고온발육임계온도,  $\alpha$ 는 최고발육속도,  $k$ 는 발육상수,  $\rho$ 는 발육속도 증가율, 그리고  $\tau$ 와  $\tau'$ 는 각각  $(T_m - T)/\Delta T$ ,  $T/\epsilon$ 이며  $\Delta T$ 와  $\epsilon$ 은 고온 또는 저온 경계충이다.

## 결과 및 고찰

보리나방살이고치벌의 발육에 미치는 온도의 영향 실험 온도 조건에서의 보리나방살이고치벌의 충태(蟲態)별 발육일수는 Table 1과 같다.

실험 온도 범위(17~32°C)에서 각 충태별 발육일수는 온도의 상승에 따라 짧아지는 일반적인 현상을 보였다. 유충태와 용태에서는 32°C에 이르러서도 계속 발육이 빨라지는데 반하여 난태(卵態)에서는 28°C에서의 발육을 정점으로 하여 32°C에서는 오히려 지체되는 모습을 보였다. 알에서 성충까지의 총 발육일수는 알에서의 차이에도 불구하고 온도가 상승함에 따라 짧아져서 암컷의 경우 17°C에서의 28.58±2.80일 부터 32°C에서의 9.27±0.55일로, 수컷은 28.06±2.95

Table 1. Developmental periods (Mean  $\pm$  SD) of different stages of *B. hebetor* parasitizing Indianmeal moth at five different temperatures

Temperature ( $^{\circ}$ C)	N <sup>a</sup>	Sex	Egg	Larva	Pupa	Total
17	31	F	4.774 $\pm$ 0.056a <sup>b</sup>	5.000 $\pm$ 1.065a	17.742 $\pm$ 2.909a	28.581 $\pm$ 2.802a
	30	M	4.576 $\pm$ 0.614a	4.939 $\pm$ 0.998a	17.55 $\pm$ 2.251a	28.06 $\pm$ 2.947a
20	33	F	3.636 $\pm$ 0.489b	3.515 $\pm$ 0.566b	13.394 $\pm$ 0.827b	21.545 $\pm$ 0.869b
	31	M	3.581 $\pm$ 0.620b	3.484 $\pm$ 0.508b	13.000 $\pm$ 0.775b	21.129 $\pm$ 1.056b
25	55	F	2.091 $\pm$ 0.290c	2.182 $\pm$ 0.331c	8.927 $\pm$ 0.384c	14.200 $\pm$ 0.292c
	40	M	2.075 $\pm$ 0.267c	2.400 $\pm$ 0.545c	8.725 $\pm$ 0.640c	14.200 $\pm$ 0.405c
28	39	F	1.230 $\pm$ 0.267e	1.949 $\pm$ 0.320d	5.923 $\pm$ 0.422d	10.103 $\pm$ 0.447d
	34	M	1.206 $\pm$ 0.479e	2.029 $\pm$ 0.300d	5.824 $\pm$ 0.387d	10.059 $\pm$ 0.776d
32	41	F	1.707 $\pm$ 0.461d	1.195 $\pm$ 0.511e	5.390 $\pm$ 0.771e	9.268 $\pm$ 0.549e
	31	M	1.710 $\pm$ 0.461d	1.355 $\pm$ 0.608e	5.194 $\pm$ 0.654e	9.194 $\pm$ 0.477e

<sup>a</sup> Total number of adults emerged

<sup>b</sup> Means within a column followed by the same letter are not significantly different (LSD; P=0.05)

에서  $9.19 \pm 0.48$  일로 짧아졌다. 각 온도에서의 암컷과 수컷간의 발육일수는 유의한 차이를 보이지 않았다 (LSD=0.197, Table 1). 화랑곡나방에서의 이 고치벌의 발육에 대해서는 연구자에 따라 차이가 있다. Yu 등 (1999)은  $28^{\circ}\text{C}$ 에서의 고치벌의 발육일수 ( $\pm$ 표준오차)가  $10.85 \pm 0.05$  일이었다고 보고하였고 Ohh (1993)은  $25^{\circ}\text{C}$ 에서 유충기가 7일, 용기가 10일이었다고 하였다. 이러한 차이는 기주의 영기, 영양상태와 밀도가 이 고치벌의 생활사 특성에 영향을 준 결과로 생각된다 (Livingston and Reed, 1936; Reinert and King, 1971). Yu 등 (1999)은 화랑곡나방 유충 당 고치벌의 기생수를 조정하지 않은 상태에서 고치벌의 발육을 조사하였는데, 이로 인하여 고치벌의 증기생 (superparasitism)에 의한 고치벌 유충간의 경쟁을 유발시키고 결과적으로 우화율의 저하와 유충발육의 지체를 초래했을 가능성이 있다. 유충 발육의 지체가 본 결과보다 긴 발육기간을 보인 이유일 것이다. 유충기가 현저히 길었다는 Ohh (1993)의 결과는 광주기 (12:12 [L:D]) 등 사육조건이 달랐던 데서 기인된 것일 가능성이 있으나 확실하지는 않다. 광주기는 화랑곡나방의 휴면과 관계가 있는 것으로 보고되고 있는데 (Williams, 1964), 이것이 또한 고치벌의 발육에도 영향을 미칠 수 있다고 생각되기 때문이다.

Jackson과 Butler (1984)가 보고한 고치벌의 온도와 발육간의 관계는 본 결과와 차이가 있었다. 그들은 목화다래나방 (*Pectinophora gossypiella* (Saunders))에 기생하는 고치벌의 경우 20, 25, 30,  $35^{\circ}\text{C}$ 에서 발육일수를 각각 17.9, 10.8, 8.6, 6.7 일로 추정하였는데 이는 본 실험에서 관찰된 각 온도에서의 발육일수보다 유의하게 짧은 값이다 (95% 신뢰구간). 온도에 대한 발

육반응에서의 차이는 특히 알의 발육에서 두드러져서 본 실험 결과와는 달리 알의 발육이  $35^{\circ}\text{C}$ 에 이르기까지 계속해서 빨라져서 고온에 의한 발육지체를 보이지 않았다고 하였다. Jackson과 Butler (1984)가 관찰하였던 고치벌이 인도와 파키스탄에서 도입된 계통임을 감안한다면 두 계통의 온도에 대한 발육반응의 차이는 적어도 본 고치벌과는 다른 생태형임을 암시하는 것으로 생각된다. 그러나 이러한 차이가 특히 고온에서의 알의 발육 양상에서 나타나는 이유는 확실하지 않다. 앞으로 이에 대한 자세한 조사가 필요하다고 생각된다.

#### 온도에 대한 보리나방살이고치벌 발육모형

Fig. 1은 각 온도에서의 고치벌 발육속도 (발육일수<sup>-1</sup>)를 기초로 온도와 발육속도와의 관계를 보인 것이다 (관계식은 부록 참조). 암컷의 발육임계온도는 알, 유충, 번데기에서 각각  $14.0, 12.8, 15.1^{\circ}\text{C}$ 로 추정되었고, 수컷의 경우는 각각  $14.3, 12.8, 15.1^{\circ}\text{C}$ 로 추정되었으며, 성간 차이는 없었다 (95% 신뢰한계 기준) (Table 2). 다른 충태에 비해 유충의 발육임계온도가 낮은 것으로 추정되었다. 그러나 경계역 (boundary layer, Ryoo and Cho, 1988)의 범위가 타 충태보다 넓어 정상발육 온도 하한 (임계온도+경계역)은 오히려 다른 충태보다 높은  $17.5^{\circ}\text{C}$ 로 추정되었는데 이는 저온역에서 유충의 발육이 온도에 민감함을 암시하는 것이다.

동일 종에서도 충태별 발육임계온도에서 차이가 있다는 것은 잘 알려진 사실이다 (Ryoo and Cho, 1988; Abbas and Ali, 1992; Kim *et al.*, 1999; Skovgard *et al.*, 1999). 그러나 이러한 충태별 임계온도의 차이가 단순히 실험상의 오차나 추정과정에서의 문제에 의한 것

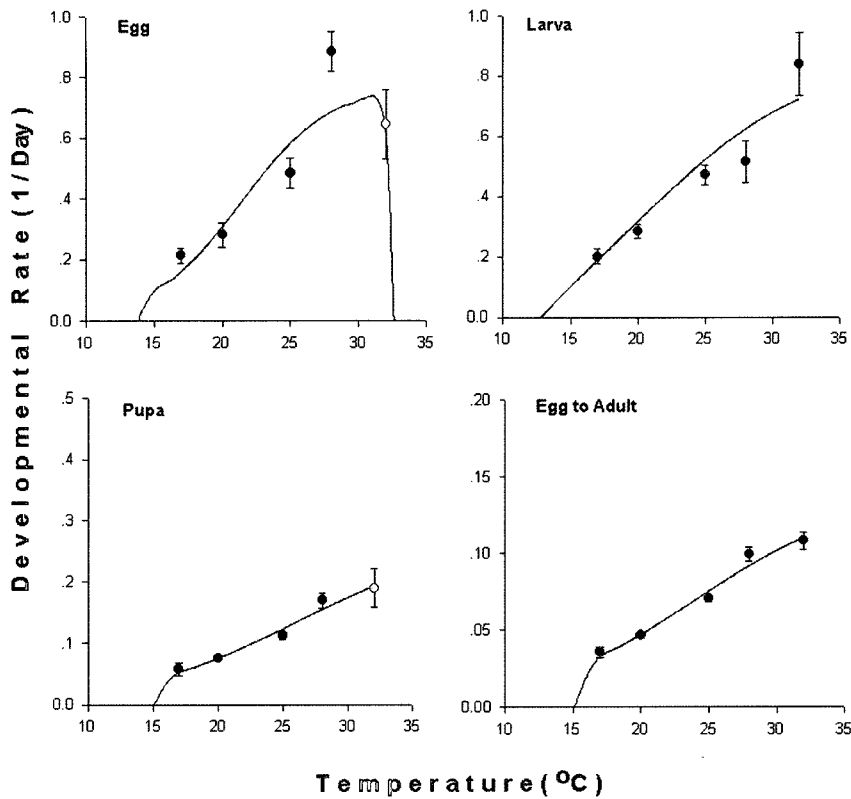


Fig. 1. Developmental rate curves for egg, larva, pupa and egg to adult of *Bracon hebetor* fitted to the combination model.

Table 2. Low temperature threshold (LT) and upper threshold temperature (UT) ( $\pm$  standard error) for the developmental stages of *B. hebetor* estimated by the combination model<sup>a</sup>

Stage	N	Temperature threshold (°C)		r <sup>2b</sup>
		LT	UT	
Egg	199	13.99 $\pm$ 1.80	32.72 $\pm$ 0.00	0.86
Larva	199	12.82 $\pm$ 0.01	.c	0.94
Pupa	199	15.06 $\pm$ 0.61	.	0.99
Overall	199	15.10 $\pm$ 0.51	.	0.99

<sup>a</sup> see text (Materials and Methods) for the parameters of the model see text.

<sup>b</sup> Coefficient of determination of the estimated model

<sup>c</sup> UT could not be estimated

인지 또는 생물학적인 의미-적응 등-가 있는지에 대해서는 지금까지 논의된 바가 없어 어떤 결론을 내리기가 어렵다.

우리나라에서 이 고치벌은 년 중 4월 초와 9월의 2회 우화 피크를 이루는 2세대를 경과하는 것으로 알려져 있는데 (Ohh, 1993), 온도에 대한 고치벌의 발육 반응은 이 고치벌의 계절적 발생상을 잘 설명하고 있다.

알의 고온발육임계온도 이상의 온도 조건이 나타나는 하절기의 증식억제 (알의 고온발육임계온도: 32.7°C), 저온임계온도 이하의 온도 조건이 지배하는 동절기의 증식억제, 그리고 적당한 온도조건이 형성되는 그 중간 활동성기에서의 개체군증식이 예측되기 때문이다.

Na와 Ryoo (2000)는 화랑곡나방의 발육임계온도를 15°C 부근 (14.8~15.7°C)으로 추정하였는데 이는 보리살이나방고치벌의 발육온도와 유사한 것으로 양자간의 상호작용이 밀접하게 일어났음을 보여주는 것이다. 그러나 생활사에서의 유사도가 화랑곡나방과 고치벌의 상호작용과 고치벌의 천적으로서의 역할가능성에 어떤 영향을 미치는지에 대해서는 앞으로 밝혀져야 할 것이다.

### 인 용 문 헌

Abbas, A. and M.J. Gaylor. 1992. Effects of temperature and larval diet on development of the beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ. Entomol.* 21: 780~786.

Brower, J.H. and J.W. Press. 1990. Interaction of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) and *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in suppressing stored-product moth populations in small shell peanut

- storages. J. Econ. Entomol. 83: 1096~1101.
- Cline, L.D. and J.W. Press. 1990. Reduction in almond moth (Lepidoptera: Pyralidae) infestations using commercial packaging of foods in combination with the parasitic wasp, *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). J. Econ. Entomol. 83: 1110~1113.
- Cline, L.D., J.W. Press and B.R. Flaherty. 1984. Preventing the spread of the almond moth (Lepidoptera: Pyralidae) from infested food debris to adjacent uninfested packages, using the parasite, *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). J. Econ. Entomol. 77: 331~333.
- Doutt, R.L. 1958. The biology of parasitic Hymenoptera. Annu. Rev. Entomol. 4: 161-181.
- Hagstrum, D.W. 1983. Self-provisioning with paralyzed hosts and age, density, and concealment of hosts as factors influencing parasitization of *Ephestia cautella* by *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae). Environ. Entomol. 12: 1727~1732.
- Hagstrum, D.W. and B.J. Smittle. 1977. Host-finding ability of *Bracon hebetor* and its influence upon adult parasite survival and fecundity. Environ. Entomol. 6: 437~439.
- Jackson, C.G. and G.D. Butler, Jr. 1984. Development time of three species of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) on the pink ball worm (Lepidoptera: Gelechiidae) in relation to temperature. Ann. Entomol. Soc. Am. 77: 539~542.
- Kim, J.H., Y.H. Kim, M.W. Han, G.S. Lee and J.O. Lee. 1999. Effect of temperature on the development and oviposition of minute pirate bug, *Orius strigicollis* (Hemiptera: Anthracoridae). Korean J. Appl. Entomol. 38: 29~33. (in Korean with English abstract)
- Livingston, E.M. and W.D. Reed. 1936. Insect fauna of cured tobacco in storage in the United States. J. Econ. Entomol. 29: 1017~1022.
- Na, J.H. and M.I. Ryoo. 2000. The influence of temperature on development of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) on dried vegetable commodities. J. stored Prod. Res. 36: 125~129.
- Ohh, M.H. 1993. Studies on biological characteristics of parasitic Hymenoptera, *Bracon hebetor* Say (Braconidae, Hymenoptera). Korean J. Entomol. 23: 143~149.
- Ryoo, M.I. and K.J. Cho. 1988. A model for the temperature-dependent developmental rate of *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) on rice. J. stored Prod. Res. 24: 79~82.
- Skovgard, H., N. Holst and P.S. Nielson. 1999. Simulation model of the mediterranean flour moth (Lepidoptera: Pyralidae) in Danish flour mills. Environ. Entomol. 28: 1060~1066.
- Williams, G.C. 1964. The life-history of the Indianmeal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lep. Phycitidae) in a warehouse in Britain and on different foods. Ann. Appl. Bio. 53: 459~475.
- Yu, S.H., M.I. Ryoo and J.H. Na. 1999. Life history of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) on *Plodia interpunctella* on dried vegetable commodity. J. Asia-Pacific Entomol. 2: 149~152.

(2000년 7월 31일 접수; 2000년 10월 28일 수리)

Appendix. Estimated statistics of the temperature dependent developmental model of *Bracon hebetor* parasitizing Indianmeal moth

Stage	Statistics <sup>a</sup>	$\alpha$	$\rho$	$k$	$T_m$	$T_l$	$\Delta T$	$\epsilon$	$r^2$
Egg		0.78	0.31	9.55	32.72	14.00	0.31	0.04	0.86
Larva		0.85	0.15	5.20	·	12.82	·	4.73	0.94
Pupa		0.27	0.15	5.55	·	15.07	·	0.09	0.99
Total		0.14	0.17	4.46	·	15.10	·	0.09	0.99

<sup>a</sup> Meaning of the parameters is as follows:

$\alpha$ : maximum developmental rate,  $\rho$ : the rate of increase to optimum temperature,  $k$ : constant,  $T_m$ : upper threshold temperature,  $T_l$ : lower threshold temperature,  $\Delta T$ :  $(T - T_l)/\epsilon$ , where  $\epsilon$ : the width of lower boundary layer.