

# 콩줄기명나방(*Ostrinia scapularis*) (나비목: 포충나방과)의 발육과 산란에 미치는 온도의 영향

안정준 · 김은영<sup>1</sup> · 서보윤<sup>2</sup> · 정진교<sup>1\*</sup>

국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소, <sup>1</sup>국립식량과학원 재배환경과, <sup>2</sup>국립식량과학원 기초기반과

## Effects of Temperature on the Development and Reproduction of *Ostrinia scapularis* (Lepidoptera: Crambidae)

Jeong Joon Ahn, Eun Young Kim<sup>1</sup>, Bo Yoon Seo<sup>2</sup> and Jin Kyo Jung<sup>1\*</sup>

Research Institute of Climate Change and Agriculture, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Jeju-si 63240, Korea

<sup>1</sup>Crop Cultivation and Environment Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea

<sup>2</sup>Crop Foundation Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

**ABSTRACT:** *Ostrinia scapularis* is one of important pests in leguminous crops, especially red bean. In order to understand the biological characteristics of the insect, we investigated the effects of temperature on development of each life stage, adult longevity and fecundity of *O. scapularis* at eleven constant temperatures of 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, and 36°C. Eggs and larvae successfully developed next life stage at most temperature subjected except 7, 10 and 13°C. The developmental period of egg, larva and pupa decreased as temperature increased. Lower and higher threshold temperature (*TL* and *TH*) were calculated by the Lobry-Rosso-Flandrois (LRF) and Sharpe-Schoolfield-Ikemoto (SSI) models. The lower developmental threshold (LDT) and thermal constant (*K*) from egg hatching to adult emergence of *O. scapularis* were estimated by linear regression as 13.5°C and 384.5DD, respectively. *TL* and *TH* from egg hatching to adult emergence using SSI model were 19.4°C and 39.8°C. Thermal windows, i.e., the range in temperature between the minimum and maximum rate of development, of *O. scapularis* was 20.4°C. Adults produced viable eggs at the temperature range between 16°C and 34°C, and showed a maximum number, ca. 416 offsprings, at 25°C. Adult models including aging rate, age-specific survival rate, age-specific cumulative oviposition, and temperature-dependent fecundity were constructed, using the temperature-dependent adult traits. Temperature-dependent development models and adult oviposition models will be useful components to understand the population dynamics of *O. scapularis* and will be expected using a basic data for establishing the strategy of integrated pest management in leguminous crops.

**Key words:** *Ostrinia scapularis*, Temperature, Development, Nonlinear function, Oviposition model

**초록:** 콩줄기명나방은 콩과작물 특히 팥을 가해하는 해충으로 알려져 있다. 본 연구는 온도가 콩줄기명나방의 발육단계별 발육기간, 성충의 수명과 산란특성에 미치는 영향을 파악하고자 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 36°C 항온조건에서 조사하였다. 알과 유충은 7, 10, 13°C를 제외한 항온조건에서 다음 생애단계로 성공적으로 발육하였다. 알, 유충, 번데기의 발육기간은 온도가 상승할수록 짧아지는 경향을 보였다. 콩줄기명나방 발육단계별 발육 최저, 최고 한계는 LRF와 SSI모형을 이용하여 계산하였고 발육영점온도와 유효적산온일도는 선형회귀분석을 이용하였다. 1령 유충 부화부터 성충출현까지의 발육영점온도와 유효적산온일도는 13.5°C와 384.5DD로 추정되었다. SSI모형을 이용한 부화부터 성충출현까지 발육 최저 및 최고온도는 19.4°C와 39.8°C였고 이들간의 차이 즉 발육적정온도범위는 20.4°C였다. 성충은 16°C와 34°C 범위에서 부화하는 알을 생산하였고, 25°C에서 최대 약 416마리의 자손을 낳았다. 노화율, 나이별 생존율, 나이별 누적산란율, 온도의존 산란수에 관련된 성충모형들이 작성되었다. 본 연구에서 제시한 온도발육모형과 산란모형은 야외에서 콩줄기명나방의 개체군동태를 이해하고 콩과작물의 종합적인 해충관리체계를 마련하는데 기초기반자료로 활용될 것으로 기대된다.

**검색어:** 콩줄기명나방, 온도, 발육, 비선형함수, 산란모형

\*Corresponding author: [jungjk@korea.kr](mailto:jungjk@korea.kr)

Received September 14 2022; Revised October 17 2022

Accepted October 18 2022

콩줄기명나방(*Ostrinia scapularis*)(포충나방과)은 한국, 중국, 일본, 북인도, 러시아 및 유럽에서 발생하였다고 기록된 곤충이다(CABI website, N.D.; Park, 1975; Calcagno et al., 2010). 이 곤충의 기주식물로는 일본에서 팥(*Vigna angularis*), 강낭콩(*Phaseolus vulgaris*)(콩과)을 포함하여 홉(*Humulus lupulus*), 도꼬마리(*Xanthium* spp.), 수염(*Rumex* spp.), 물억새(*Miscanthus sacchariflorus*), 갈대(*Phragmites communis*), 쑥(*Artemisia princeps*), 쪽(*Polygonum tinctorium*) 등 8과 이상의 기주식물을 가해하는 광식성 곤충으로 알려져 있다(Mutuura and Munroe, 1970; Hattori and Mutuura, 1987; Ishikawa et al., 1999).

1975년 처음 국내에 서식하는 종으로 보고되었고(Park, 1975), 성충 표본 기록으로 국내 전 지역에서 발생하는 것으로 기록된 바 있다(Bae, 2001). Jung et al. (2009)은 국내 팥 포장에서는 팥 꼬투리 생장기간에 콩명나방(*Maruca vitrata*)(포충나방과), 팥나방(*Matsumuraeses phaseoli*)(말미나방과)과 함께 꼬투리와 줄기를 가해하는 *Ostrinia*속 곤충 일종을 보고한 바 있다. 이후 수컷 생식기와 가운데다리 종아리마디의 털 모양, 미토콘드리아COI과II 유전자의 부분 염기서열, 암컷 성페로몬 성분 동정 및 기주식물에 관한 문헌 고찰을 통해 이 해충을 콩줄기명나방으로 추정하였다(Jung et al., 2012). 2019년 9월 하순 수원의 녹두(*V. radiata*)와 동부(*Vigna unguiculata* subsp. *unguiculata*) 포장에서 채집된 유충도 콩줄기명나방으로 확인된 바 있다(Jung, J.K., unpublished observation).

현재 콩줄기명나방의 연중 발생 세대에 대해 알려진 기록은 전혀 없다. 콩줄기명나방의 연중 발생 시기를 탐지할 수 있는 수단 하나로서 성페로몬 조성이 밝혀져 있으나(Huang et al., 1997; 2002), 이를 이용한 연중 발생시기에 관한 기록은 없었다. 밝혀진 성페로몬 성분으로 조제된 여러 조성의 미끼를 이용하여 국내에서 성충을 포획하려는 시도도 있었으나 성공을 거두지 못하였다(Jung, J.K., unpublished observation). 콩줄기명나방 월동 특성에 대해서는, 9월 중순에 국내에서 채집된 유충의 가온사육(25°C)에서 2월말 성충이 우화하였고, 9월 말~10월 중순에 채집된 노숙 유충이 야외에서 월동하여 230일 이상의 긴 용화 전 기간을 거쳐 이듬해 6월 초와 7월 초 사이에 성충으로 우화한 결과로부터 콩줄기명나방이 노숙유충으로 휴면 월동하는 특성을 가지고 있는 것으로 추정되었다(Jung et al., 2012). 이러한 특성은 같은 속 곤충으로 옥수수(*Zea mays*)(벼과)의 주요 해충인 조명나방(*O. furnacalis*)과 매우 유사하였다(Park et al., 2017; Kim et al., 2020). 콩줄기명나방의 야외 발생 특성이 연중 2-3회 성충 발생을 보이는 조명나방(Kim et al., 2020; Jung et al., 2021a)과 유사하다고 가정한다면, 월동세대 후 겨울 휴면으로 진입하기 전까지 1~2회

성충 세대가 발생할 가능성이 있고, 팥 피해시기와 유충 분포시기(Jung et al., 2009)를 고려할 때 2 혹은 3회기 성충이 8월 말~9월 초순 사이에 팥 포장 안으로 침입할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 여러 온도조건에서 비휴면태 콩줄기명나방 미성숙태와 성충의 발육과 생식 특성을 조사하였다. 변온동물인 곤충은 온도에 따라 발육, 생식, 이동 등의 여러 생명현상의 진행과정이 변형되는 것으로 알려져 왔다(Hoffmann, 1985; Ratte, 1985). 연구자들은 온도에 대한 곤충 종의 발육, 생존, 생식 등의 생명현상 전개과정을 수리함수를 이용하여 수식화하였고 이러한 결과들을 이용하여 대상 곤충 종의 개체군동태 이해와 궁극적으로 종합적 해충 관리에 응용하여 왔다(Campbell et al., 1974; Logan et al., 1976; Sharpe and DeMichele, 1977; Schoolfield et al., 1981; Lactin et al., 1995; Briere et al., 1999; Kim and Lee, 2003; Ikemoto 2005; Kim et al., 2017; Ahn et al., 2019a, b; Jung et al., 2021a, b). 본 연구는 콩줄기명나방의 생명현상에 대한 온도 영향 자료를 분석하여 발육 및 산란 시기를 예측가능하게 하는 수리모형을 추정하였다. 조사 및 분석 결과는 향후 콩줄기명나방 개체군 동태 변동을 정밀하게 예측하여 해충군종합관리(Hyun, 2005)에 응용하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험곤충 인공사육

실험곤충의 실내집단은 2008년과 2009년 경기도 수원시의 팥 포장(37°16'N 126°59'E)에서 꼬투리와 줄기를 가해하는 유충을 채집하여 유지하였다. 유충 먹이로는 팥나방, 어리팥나방, 콩명나방에 공동으로 사용되고 있는 인공사료를 사용하였다(Heo et al., 2009; Jung et al., 2012, 2016). 유충은 뚜껑을 철망(200 mesh)으로 막은 직사각 플라스틱통(232 × 165 × 95 mm) 안에서 인공사료를 조각으로 잘라 넣고 집단으로 사육하였다. 유충이 번데기가 될 무렵에는 김스와이프스 와이퍼를 접어 사육통 안쪽 옆면에 수직으로 붙여 번데기가 되는 장소를 마련해주었다. 전용 혹은 번데기를 성충 산란상자에 넣고 성충이 되면 교미하도록 유도하였다. 산란상자(260 × 415 × 255 mm)로는 아크릴 골격에 밑면을 제외한 다른 5면을 철망으로 막은 상자를 제작하여 사용하였다. 옆 4면은 마름모꼴의 좁은 눈(6 × 3.5 mm)의 철망으로 막았고, 윗면은 넓은 마름모꼴 눈(10.7 × 5.6 mm)의 철망으로 막았다. 상자는 키친타월을 깔 사각쟁반 위에 설치하였다. 솜가개를 한 삼각플라스크에 10% 설탕물과 증류수를 넣어 성충 먹이로 공급하였다. 상자 윗면에는 유산지를 윗면 면적에 맞추어 바깥쪽 위에서 덮고 그 위를 다시 젖은 수건

으로 덮었다. 교미한 성충이 상자 안쪽에서 윗면에 있는 유산지에 산란하도록 하였다. 산란된 알뭉치들이 붙은 유산지는 수거하여 밀폐형 원형 플라스틱통(직경 90 × 높이 30 mm)에 넣고 부화할 때까지 놓아 두었다. 실내집단은 곤충사육실(25±2°C, 15:9 시간=명:암, 60% 상대습도)에서 유지하였다.

## 저온 처리 알 부화율 조사

콩줄기명나방 알 저온처리를 통해 사육 일정을 조절할 수 있는지를 알기 위해 알을 5°C 저온배양기(Dasol, Hwaseong, Korea)(암조건)에 처리하였다. 실내 사육조건에서 수거한 알을 나이별(0, 1, 2, 3, 4일)로 알뭉치를 16개씩 준비하여 5일, 10일, 15일 동안 각각 처리한 후 곤충사육실로 옮겨 부화율을 산출하였다. 4일째 알은 저온 처리 전 이미 부화한 알뭉치들이 있어서 부화한 유충들을 제거하고 부화율을 산출하였다.

## 온도 별 발육 및 번식 실험

알과 유충 발육 실험은 7~34°C 온도범위에서 3°C 간격으로 10개 온도와 36°C를 합쳐 11개 온도에서 실험하였다. 19°C 이상의 발육실험에는 4연실 배양기(Dasol, Hwaseong, Korea)를, 16°C 이하는 2연실 저온배양기(Dasol, Hwaseong, Korea)를 이용하였다. 배양기의 일일 광주기는 15:9 = 명:암 시간으로 설정하였다. 알 발육실험은 곤충사육실에서 당일 산란된 유산지에서 십수~수십개(30±11개(평균±편차), 전체 208개 알뭉치)의 알이 있는 알뭉치 하나를 택해 플라스틱 페트리디시(직경 50 × 높이 10 mm)에 넣은 후 실험온도가 설정된 배양기에 넣었다. 유충이 부화할 때까지 매일 관찰하면서 부화한 유충 수를 기록하였다. 온도 별로 적용한 알뭉치 수는 5~25개였다. 알 발육기간은 실험 온도에서 부화한 전체 알 수를 반복으로 하여 평균값을 산출하였다. 생존율은 온도 별로 적용한 알뭉치 수를 반복으로 산출하였다. 부화가 가능할 것으로 짐작되는 온도에 처리한 알뭉치 중 유충이 전혀 부화하지 못한 알뭉치가 있었으나 이를 모두 합한 전체 알뭉치를 이용하여 평균값을 계산하였다.

유충 발육 실험은 실내 집단의 유산지 알뭉치에서 갓 부화한 유충을 실험 온도가 설정된 배양기로 옮겨 실시하였다. 페트리디시(직경 50 × 높이 10 mm)에 인공사료를 넣고 한 마리씩 사육하면서 번데기가 될 때까지 매일 탈피와 사망 여부를 조사하였다. 번데기는 소형 플라스틱컵으로 옮겨 습도 유지용의 인공사료를 같이 넣고 성충이 될 때까지 관찰하였다. 유충이 번데기까지 발육이 가능했던 16~36°C 범위에서 25°C를 제외한 다른 온도에서는 6령 혹은 7령(28°C와 31°C)까지 탈피하는 개체 변

이가 관찰되었다. 전체적으로 5령 비율이 높았기 때문에 (84.1%), 5령 이후 번데기까지 기간을 모두 5령 기간으로 표시하였다. 각 온도 별로 갓부화 유충 100마리를 사육하였고, 발육태 별 발육기간과 생존율을 산출하였다.

성충 생식 특성 실험은 13~34°C 온도 범위에서 3°C 간격으로 8개 온도와 36°C를 합쳐 9개 온도에서 실시하였다. 실내 집단으로부터 채집한 번데기의 성별을 구분한 후 개체 별로 분리하여 두고, 성충출현 당일 암수 1쌍을 교미 및 산란용 플라스틱 상자(72 가로 × 72 세로 × 100 높이 mm)(SPL Life Sciences, Pocheon, Korea)에 옮긴 후, 먹이로 증류수와 10% 설탕물을 유리 바이알에 넣어 공급하면서 사망할 때까지 사육하였다. 산란은 상자 안쪽에 알뭉치를 산란하도록 하였다. 매일 관찰하면서 산란한 교미쌍은 새 상자로 옮겼고, 알뭉치가 부착된 상자는 25°C로 옮겨 사육하면서 부화한 유충 수를 조사하였다. 부화한 유충 수와 부화하지 못한 알 수를 더해 총 산란수를 계산하였다. 온도 별로 30쌍을 처리하였다. 산란 전 기간, 산란기간, 산란 후 기간, 성충 수명, 암컷당 총산란수(전체 알 수와 부화한 알 수)를 산출하였다. 발육과 생식 특성 실험은 2009년과 2010년에 걸쳐 수행되었다.

## 자료분석

실험 결과 통계 분석에서, 처리 별 반복이 있는 경우 SAS 프로그램의 PROC GLM을 이용하여 분산분석을 하고 Tukey 다중비교를 이용하여 95% 신뢰수준에서 처리 사이 평균값 차이의 통계적 유의성을 비교하였다(SAS Institute, 2004). 선형과 비선형 온도 발육함수의 매개변수들은 TableCurve2D (Jandel Scientific, 1994) 혹은 R statistics (2015)를 이용하여 추정하였다.

## 발육모형 매개변수 추정

온도와 발육단계별 발육률(발육기간의 역수)과의 관계는 선형과 비선형함수를 이용하여 분석하였다. 선형함수는 Campbell et al. (1974)이 제시한 방법을 이용하여 각 발육단계별 선형함수( $y=aT+b$ ,  $y$  = 발육률,  $T$  = 실험온도)에서 얻어진 결과를 바탕으로 발육영점온도( $-\frac{b}{a}$ )와 유효적산온일도( $\frac{1}{a}$ )를 계산하였다. 비선형함수는 Ratkowsky and Reddy (2017)와 Shi et al. (2017)의 평가를 기초로 Lobry-Rosso-Flandrois (LRF)함수(식 1)과 Sharpe-Schoolfield-Ikemoto (SSI)함수(식 2)를 이용하였다.

$$r(T) = \mu_{opt} \frac{(T - T_{max})(T - T_{min})^2}{(T_{opt} - T_{min})(T_{opt} - T_{min})(T - T_{opt}) - (T_{opt} - T_{max})(T_{opt} + T_{min} - 2T)} \quad (1)$$

여기서  $r(T)$ 는 온도  $T(^{\circ}\text{K})$ 에서 발육률,  $\mu_{opt}$ 는  $T_{opt}$ 에서 발육률,  $T_{opt}$ 는 발육최적온도,  $T_{max}$ 는 발육이 진행되는 최고온도,  $T_{min}$ 는 발육이 진행되는 최저온도이다.

SSI모형은 Sharpe and DeMichele (1977)이 기본적인 골격을 제시하였고 Schoolfield et al. (1981)와 Ikemoto (2005)에 의해 자료분석에 적합하도록 수정되었다. SSI모형의 이론적 전제는 발육을 조절하는 효소의 활성은 적정온도 범위에서 이루어진다는 것이었다. Shi et al. (2017)가 개발한 R 프로그램을 이용하여 SSI모형의 매개변수를 계산하였다.

$$r(T) = \frac{\rho_0 \frac{T}{T_0} \exp\left[\frac{\Delta HA}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right]}{1 + \exp\left[\frac{\Delta HL}{R} \left(\frac{1}{TL} - \frac{1}{T}\right)\right] + \exp\left[\frac{\Delta HH}{R} \left(\frac{1}{TH} - \frac{1}{T}\right)\right]} \quad (2)$$

이 식에서  $r(T)$ 는 절대온도( $^{\circ}\text{K}$ )에서의 발육률,  $R$ 은 기체상수 (1.987 kcal/ $^{\circ}\text{K}/\text{mol}$ ),  $\rho_0$ 는 효소 활성의 저해가 없다고 가정한 기준 온도,  $T_0$ 는 최적공통온도로서 활성화 상태에서 속도조절 효소의 활성이 최고조에 이른 온도,  $\Delta HA$ 는 발육에 관여하는 속도조절효소가 촉매하는 반응의 활성화 엔탈피,  $\Delta HL$ 은 속도조절효소의 활성이 저온영역에서 저해되는 것과 관련된 엔탈피의 변화( $HL$ ),  $TL$ 은 속도조절효소가 1/2 불활성화되어 1/2 활성화 되어 있는 저온 영역의 절대온도( $TL$ ),  $\Delta HH$ 는 속도조절효소의 활성이 고온영역에서 저해되는 것과 관련된 엔탈피의 변화( $HH$ ),  $TH$ 는 속도조절효소가 1/2 불활성화되어 1/2 활성화 되어 있는 고온 영역의 절대온도( $TH$ )이다.

발육단계별 다음 발육단계 출현 분포에 대한 누적비율과 정규화한 발육시간(발육단계별 발육기간/평균발육기간)의 관계(발육완료분포모형)는 3-매개변수 Weibull함수를 이용하였다(Weibull, 1951; Wagner et al., 1984).

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (3)$$

$F(t)$ 는 정규화된 시간(각 개체의 발육기간/평균발육기간),  $\gamma, \alpha, \beta$ 는 Weibull함수의 매개변수들이다. 정온조건에서 콩줄기명나방 성충이 출현하는 빈도를 비선형함수와 발육완료분포모형을 이용하여 추정하였다(식 4).

$$F(x, T) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x r(T) - \gamma}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (4)$$

$F(x, T)$ 는 시간  $x$ 와 온도  $T$ 에서 콩줄기명나방 성충이 출현하는 빈도로서  $r(T)$ 는 온도와 발육률간의 관계를 설명하는 비선형함수,  $\gamma, \alpha, \beta$ 는 발육완료분포모형에서 얻은 매개변수들이다.  $F(x, T)$ 의 결과는  $x_{t+1}$ 과  $x_t$  결과의 차이를 나타낸다.

### 신란모형 매개변수 추정

성충산란모형은 성충노화율함수, 연령별 생존율함수, 연령별 누적산란율함수, 온도별 총산란수 함수으로 구성되어 있다.

#### 성충노화율함수

성충노화율(1/성충수명)과 온도와의 관계는 비선형함수(식 5)를 이용하였다.

$$r(T) = aT \exp\left(-\frac{b}{T}\right) \quad (5)$$

$r(T)$ 는 온도( $T$ )에서 성충의 노화율,  $a, b$ 는 비선형함수의 매개변수이다.

#### 연령별 생존율함수

콩줄기명나방의 연령별 생존율은 2-매개변수 Weibull함수(식 6)를 이용하였다(Pinder III et al., 1978).

$$S(t) = \frac{1}{\exp\left[\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right]} \quad (6)$$

$S(t)$ 는 동일 연령집단의 개체들에서 시간  $t$ (정규화한 시간 = 각 개체의 성충연령/평균연령)에 살아있는 개체수의 비율을 의미하며,  $\alpha, \beta$ 는 함수식의 매개변수들이다.

#### 연령별 누적산란율함수

성충의 연령변화에 따른 누적산란율은 3-매개변수 Weibull함수(식 7)를 이용하였다.

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-c}{d}\right)^e\right] \quad (7)$$

$F(t)$ 는 정규화된 시간(각 성충암컷의 산란시기/평균성충수명),  $c, d, e$ 는 Weibull함수의 매개변수들이다.

## 온도별 총산란수함수

온도에 따른 총산란수 함수는 Briere et al. (1999)가 제시한 함수(식 8)를 이용하였다.

$$f(t) = gT(T - T_L)(T_M - T)^{\frac{1}{m}} \quad (8)$$

$f(t)$ 는 온도  $T$ 에서 암컷 성충의 총산란수,  $T_L$ 는 산란이 가능한 최저온도,  $T_M$ 는 산란이 가능한 최대 온도,  $g$ ,  $m$ 은 함수와 관련된 매개변수이다.

동일 연령집단의 암컷으로부터 생산될 수 있는 암컷당 일일 산란수(시간  $t_i$ 와  $t_{i+1}$ 의 차이)는 다음과 같이 추정하였다(식 9).

$$f(t) \cdot F(t_{i+1} - t_i) \cdot \left( \frac{S_{i+1} + S_i}{2} \right) \quad (9)$$

$f(t)$ ,  $F(t)$ ,  $s(t)$ 는 위 식에서 정의하였다.

## 결 과

### 알의 저온 처리 효과

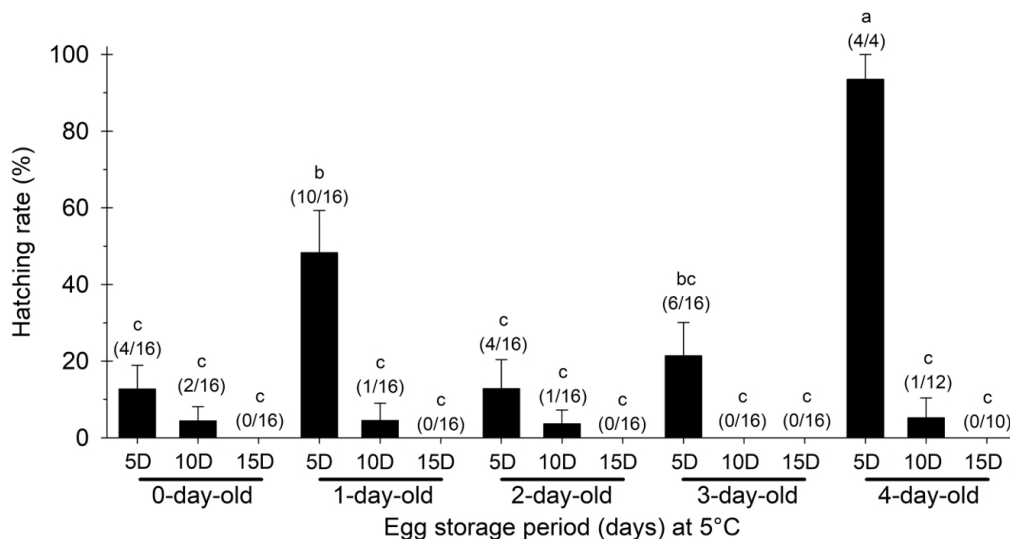
콩줄기명나방 알을 5°C에 15일간 보관한 모든 나이의 알들은 모두 부화하지 못했다. 10일 보관된 전체 알들과 5일 보관된

알들 대부분의 부화율이 낮아 15일간 처리와 유의한 차이가 없었다. 1일된 알을 5일 보관하였을 때 약 50%가 부화하였고, 4일된 알은 5일 보관에서 거의 대부분 부화하였다(Fig. 1).

### 발육단계별 온도발육

콩줄기명나방은 알 발육단계에서 온도조건 16~36°C에서 부화율은 10.4~98.6%였고 7~13°C 온도범위에서는 부화를 하지 못하였다. 16~36°C에서 발육기간은 3.0~17.6일로 온도가 올라갈수록 발육기간이 짧아졌고 온도처리에 따라 유의한 차이를 나타내었다(Table 1). 유충은 7°C, 10°C, 13°C를 제외하고 조사된 항온조건(16~36°C)에서 성충으로 발육이 가능하였다(Table 2). 유충부터 성충이 출현하는데 필요한 발육기간은 23.2일(36°C)~169.0일(16°C)로 실험 온도가 올라갈수록 짧아졌다(Table 2). 유충과 번데기시기의 생존율은 24%~82%, 16%~76%로 유충은 28°C, 번데기는 34°C에서 가장 높은 생존율을 보였다. 콩줄기명나방의 발육단계별 발육률과 온도와의 관계는 선형과 비선형함수를 이용하여 나타내었다(Fig. 2). 알, 유충, 번데기, 부화부터 성충 출현까지 추정된 발육영점온도는 13.1°C, 13.6°C, 12.8°C, 13.5°C였다(알:  $F_{1,4} = 274.12$ ,  $P < 0.0001$ , 유충:  $F_{1,3} = 96.07$ ,  $P = 0.0023$ , 번데기:  $F_{1,4} = 100.25$ ,  $P = 0.0005$ , 부화부터 성충출현:  $F_{1,3} = 138.73$ ,  $P = 0.0013$ )(Table 3). 알, 유충, 번데기, 유충부터 성충출현까지 유효적산온일도는 56.72, 281.70, 116.09, 384.54DD였다.

SSI함수를 이용한 콩줄기명나방 알 발육기간과 부화부터 성



**Fig. 1.** Effects of low temperature treatments on egg hatching of *Ostrinia scapularis*. Different ages of eggs in insectary (25±2°C, 15:9 h = light:dark) were stored for 5, 10, and 15 days at 5°C, and then transferred to insectary again. Numbers in parentheses on bars indicate the number of hatched egg masses per the number of treated egg masses. Different letters on bars are significant differences among means of hatching rates of treatments by the Tukey studentized range test at  $\alpha = 0.05$ .

**Table 1.** Developmental periods and hatchability of *Ostrinia scapularis* (Lepidoptera: Pyralidae) eggs at constant different temperatures (T)

T (°C)	No. of egg mass tested (No. of mean egg)	Development time (days)	Hatchability (%)
7	5 (40.8±2.5)	-	0.0±0.0 c <sup>1</sup>
10	5 (52.4±7.8)	-	0.0±0.0 c
13	20 (15.6±1.0)	-	0.0±0.0 c
16	25 (26.0±1.8)	17.6±0.06 a <sup>1</sup>	78.0±5.0 ab
19	25 (36.7±1.9)	10.0±0.01 b	68.1±4.3 b
22	25 (31.7±1.7)	6.0±0.00 c	93.7±4.0 ab
25	9 (42.4±4.0)	5.0±0.00 d	98.6±1.4 a
28	20 (26.0±2.1)	4.0±0.01 e	87.5±4.5 ab
31	24 (26.8±1.3)	3.0±0.01 f	84.6±5.9 ab
34	25 (29.7±1.3)	3.0±0.00 f	93.6±3.6 ab
36	25 (35.0±1.7)	3.1±0.02 f	19.1±4.0 c

Data are expressed as mean±standard error. <sup>1</sup>Means followed by the same letter within a row are not significantly different (Tukey studentized range test at  $\alpha = 0.05$ ). ANOVA: development time  $F_{7, 3766} = 46077.4, P < 0.0001$ ; hatchability  $F_{10, 197} = 62.6, P < 0.0001$ .

**Table 2.** Developmental periods (days) (mean±SEM) and survivorship (S, %) for each life stage of *Ostrinia scapularis* at constant different temperatures (T)

T (°C)	Life stage (L: larva; P: pupa)														
	L1	S1	L2	S2	L3	S3	L4	S4	L5	S5	Total L	SL	P	SP	L+P
7	- <sup>1</sup>	0									-	0			-
10	-	0									-	0			-
13	27.9±1.12 a <sup>2</sup>	24	19.0±3.32 a	4	-	0					-	0			-
16	14.7±0.59 b	46	9.1±0.60 b	40	12.5±0.85 a	35	15.1±0.89 a	32	85.2±7.80 a	26	143.6±7.57 a	24	40.1±0.42 a	16	169.0±6.46 a
19	7.9±0.09 c	91	5.9±0.06 c	79	7.2±0.08 b	77	9.4±0.15 b	76	26.0±1.37 b	39	56.8±1.45 b	37	23.3±0.23 b	34	78.2±0.95 b
22	3.8±0.09 d	78	3.7±0.08 d	78	4.1±0.09 c	76	5.0±0.16 c	76	12.1±0.41 c	71	28.8±0.46 c	69	11.4±0.13 c	65	40.2±0.49 c
25	3.7±0.07 d	94	2.9±0.05 e	90	3.1±0.05 d	85	4.0±0.09 d	83	10.9±0.23 c	80	24.4±0.24 cd	80	8.4±0.12 d	75	32.8±0.26 d
28	2.9±0.03 e	94	2.3±0.08 ef	91	2.3±0.09 e	91	2.9±0.12 e	88	10.1±0.39 c	84	20.6±0.44 de	82	7.6±0.13 e	73	27.7±0.34 e
31	3.0±0.08 e	85	2.0±0.10 f	81	2.5±0.10 e	79	3.0±0.11 e	78	10.6±0.34 c	77	21.1±0.44 de	77	6.8±0.07 f	66	27.5±0.38 e
34	2.1±0.06 f	89	1.6±0.08 f	85	2.1±0.06 ef	83	2.8±0.08 e	82	9.5±0.39 c	81	18.0±0.44 e	80	6.4±0.07 f	76	24.2±0.42 ef
36	2.1±0.03 f	98	1.9±0.04 f	94	1.8±0.08 f	90	2.8±0.08 e	85	8.5±0.29 c	75	17.1±0.34 e	69	6.4±0.06 f	61	23.2±0.27 f

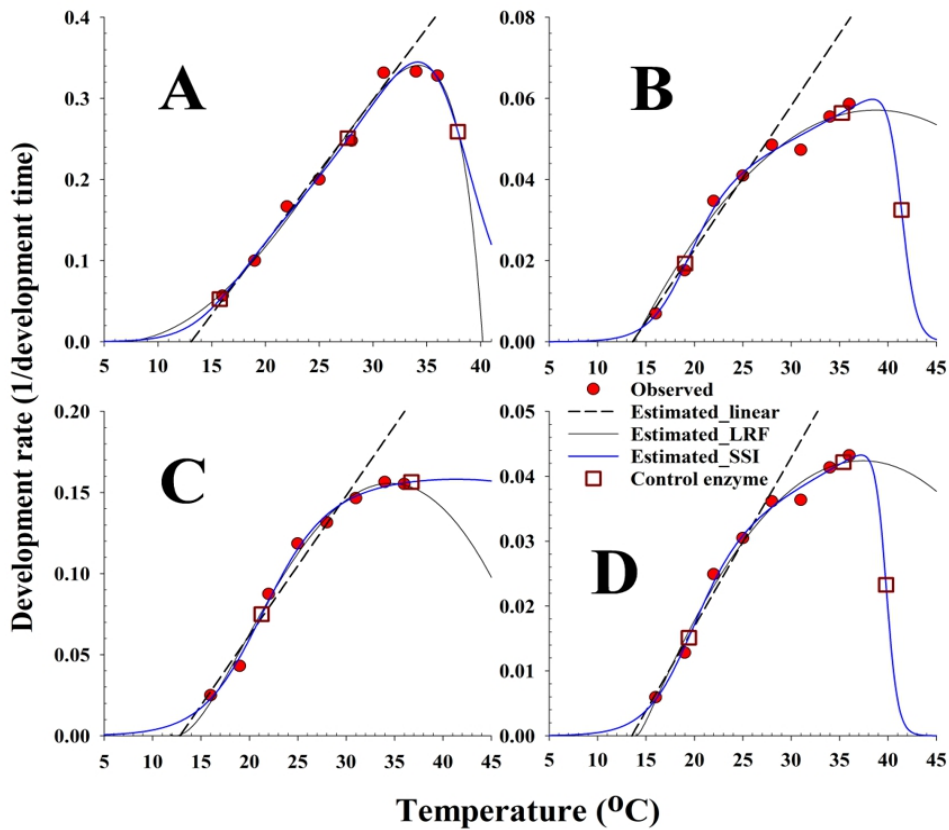
One hundred neonate larvae were treated to the temperatures, respectively. Survivorships indicate cumulative survival rates.

<sup>1</sup>All larvae in the stage could not develop to the next stage. <sup>2</sup>Means followed by the same letter within a row are not significantly different (Tukey studentized range test at  $\alpha = 0.05$ ). 1st larva  $F_{8, 671} = 1083.24, P < 0.0001$ , 2nd larva  $F_{8, 615} = 296.48, P < 0.0001$ , 3rd larva  $F_{7, 589} = 278.68, P < 0.0001$ , 4th larva  $F_{7, 573} = 297.82, P < 0.0001$ , 5th larva  $F_{7, 506} = 133.59, P < 0.0001$ , Total larva  $F_{7, 490} = 371.44, P < 0.0001$ , Pupa  $F_{7, 442} = 2409.01, P < 0.0001$ , and larva to adult emergence  $F_{7, 442} = 686.04, P < 0.0001$ .

충출현까지 TL은 15.8°C, 19.4°C,  $T_{\phi}$ 는 27.7°C, 35.4°C, TH는 37.9°C, 39.8°C였다. 1령부터 5령유충까지 최적공통온도( $T_{\phi}$ )는 35.1°C, 32.0°C, 36.5°C, 37.4°C, 35.1°C였다. 콩줄기명나방의 알 발육단계 및 유충에서 성충출현까지 발육온도범위, 즉 TL과 TH의 차이는 22.1°C, 20.4°C로 알의 발육적정온도범위가 넓었다(Table 4).

3-매개변수 Weibull함수는 콩줄기명나방 발육단계별 발육

완료분포와 정규화된 시간과의 관계를 잘 설명해주었다(Fig. 3) (알:  $F_{2, 13} = 3290.03, P < 0.0001, r^2 = 0.99, \gamma = 0.8504, a = 0.1078, \beta = 4.8850$ ; 전체유충기간:  $F_{2, 125} = 571.14, P < 0.0001, r^2 = 0.90, \gamma = 0.4584, a = 0.5599, \beta = 2.7635$ ; 번데기:  $F_{2, 41} = 451.37, P < 0.0001, r^2 = 0.96, \gamma = 0.5063, a = 0.4839, \beta = 5.1567$ ; 부화부터 성충출현:  $F_{2, 87} = 853.71, P < 0.0001, r^2 = 0.95, \gamma = 0.7396, a = 0.2488, \beta = 2.1523$ ). 15~40°C의 항온조



**Fig. 2.** Linear and two nonlinear functions fitted to the data of developmental rates ( $\text{day}^{-1}$ ) for each life stage of *Ostrinia scapularis*. The closed three squares from left to right represent the development rates at  $T_L$ ,  $T_\phi$  and  $T_H$ .  $T_L$  and  $T_H$  which are temperatures at which the control enzyme has equal probability to be active or inactive by low or high temperature inactivation, and  $T_\phi$  is the intrinsic optimum temperature. A: egg stage, B: total larva, C: pupa and D: larva to adult emergence.

**Table 3.** Linear regression analysis for *Ostrinia scapularis*, lower developmental threshold (LDT) and thermal constant (K)

Life stage	Linear regression	$r^2$	LDT ( $^{\circ}\text{C}$ )	K (DD)
Egg	0.0176 T - 0.2305	0.99	13.08	56.72
1st larva	0.0199 T - 0.23.4	0.95	11.55	50.12
2nd larva	0.0271 T - 0.3236	0.99	11.93	36.88
3rd larva	0.0232 T - 0.2793	0.96	12.02	43.04
4th larva	0.0232 T - 0.3173	0.99	13.69	43.13
5th larva	0.0076 T - 0.1026	0.91	13.49	131.42
Total larva	0.0036 T - 0.0483	0.97	13.62	281.70
Pupa	0.0086 T - 0.1105	0.96	12.82	116.09
Total immature	0.0026 T - 0.0353	0.98	13.54	384.54

Total immature means from 1st larva to adult emergence.

건에서 콩줄기명나방 알 부화부터 성충출현기간의 온도발육함수와 발육완료분포함수의 매개변수들을 이용하여 콩줄기명나방 성충출현빈도를 추정한 결과 37°C(22일)에서 성충 출현빈도가 가장 높았다(Fig. 4).

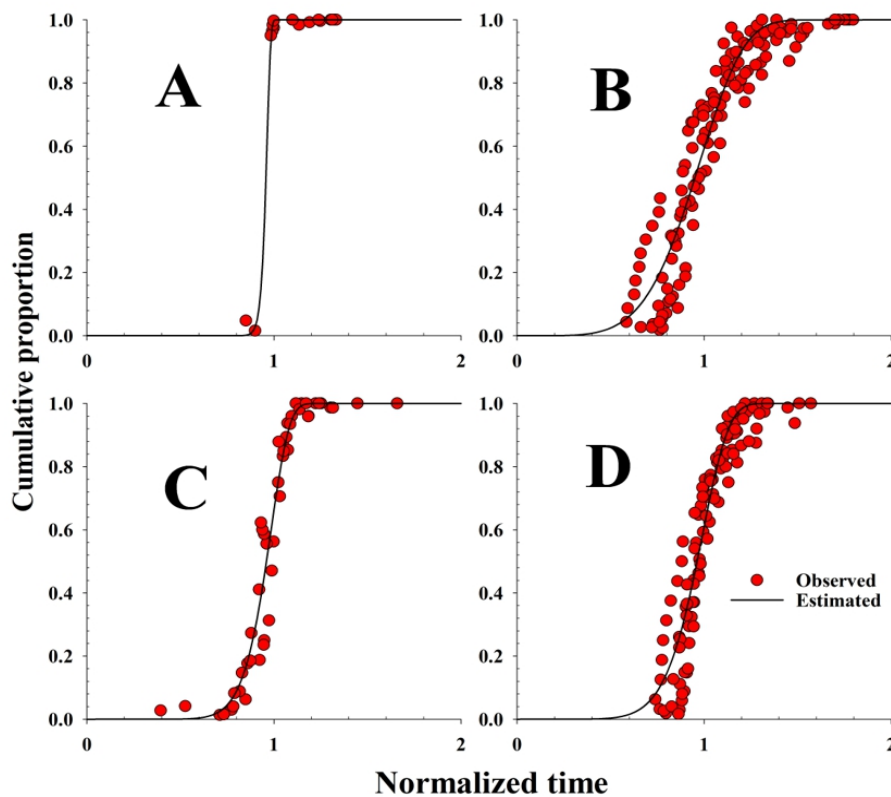
### 온도별 성충의 수명, 산란수 및 산란모형

콩줄기명나방 성충은 13~36°C 범위에서 생존이 가능하였지만 13°C에서 산란을 하지 못하였고 36°C에서 산란하였으나

**Table 4.** Parameter estimates of two nonlinear developmental rate models of *Ostrinia scapulalis* at constant different temperatures

Function	Para- meters	Life stage (Larva: L; Pupa: P)								
		Egg	L1	L2	L3	L4	L5	Total L	Pupa	L+P
LRF	$\mu_{opt}$	0.3408	0.9353	0.6242	0.7537	0.5261	0.1094	0.0571	0.1557	0.0423
	$T_{max}$	313.3468	439.6015	309.6872	382.0986	383.5978	324.6998	336.8744	324.6851	333.3418
	$T_{min}$	279.4656	283.8868	276.2897	286.1146	285.2087	287.9021	286.8915	285.5123	287.1018
	$T_{opt}$	307.3684	362.9347	307.8294	334.4876	334.4008	306.3003	311.8839	307.7089	310.5617
	$r^2$	0.99	0.96	0.99	0.97	0.94	0.94	0.97	0.99	0.99
SSI	$\rho_0$	0.2541	0.4608	0.5555	0.6018	0.3781	0.1090	0.0565	0.1609	0.0423
	$T_0$	300.8069	308.2458	305.1722	309.6102	310.5449	308.2702	308.388	309.8857	308.5461
	$\Delta HA$	12400.8	6830.279	10512.24	5995.826	-2809.232	1886.643	3775.962	295.5787	3086.39
	$\Delta HL$	-68661.81	-56790.17	-51516.19	-53370.53	-44675.17	-102057.1	-80885.79	-53867.73	-68460.7
	$\Delta HH$	91238.12	350798.3	251916.2	3307.413	26749.67	10000	266177.7	29683.64	333355.4
	$TL$	288.9026	290.826	288.687	292.247	296.498	292.2924	292.1916	294.4154	292.586
	$TH$	311.031	312.2665	309.9763	554.2854	332.9499	527.4939	314.5488	337.9321	312.9632
	$\chi^2$	0.0017	0.0115	0.0015	0.0056	0.0025	0.0018	0.0007	0.0014	0.0005
	$r^2$	0.99	0.98	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99

LRF function Egg  $F_{3,4} = 117.67$ ,  $P < 0.0002$ , 1st larva  $F_{3,5} = 45.81$ ,  $P < 0.0004$ , 2nd larva  $F_{3,5} = 239.02$ ,  $P < 0.0001$ , 3rd larva  $F_{3,4} = 40.69$ ,  $P < 0.0019$ , 4th larva  $F_{3,4} = 21.30$ ,  $P < 0.0063$ , 5th larva  $F_{3,4} = 20.66$ ,  $P < 0.0068$ , Total larva  $F_{3,4} = 48.34$ ,  $P < 0.0013$ , Pupa  $F_{3,4} = 147.31$ ,  $P < 0.0002$ , and larva to adult emergence  $F_{3,4} = 96.11$ ,  $P < 0.0003$ .



**Fig. 3.** Cumulative proportions of development completion for egg (A), larva (B), pupa (C) and egg hatching to adult emergence (D) of *Ostrinia scapulalis* as a function of normalized time (developmental time/mean developmental time). The observed data was fitted by using the two-parameter Weibull function (solid line).



부화한 유충은 없었다(Table 5). 알, 수컷의 평균수명은 저온에서 온도가 올라갈수록 줄어드는 경향이었고 산란수는 25°C (310개)에서 가장 많았다. 온도는 콩줄기명나방 성충의 산란전 기간, 산란기간, 산란후기간, 수명, 산란수에 유의한 영향을 미쳤다(Table 5). Fig. 5는 온도별 콩줄기명나방 성충의 일별 생존율 및 산란수의 변화를 보여주고 있다. 생존율은 16°C에서 6일 이후, 19°C에서 21일 이후, 22°C에서 10일 이후, 25°C에서 7일 이후, 28°C에서 5일 이후, 31°C에서 4일 이후, 34°C에서 4일

이후, 36°C에서 3일 이후에 급속히 감소하였다.

콩줄기명나방 산란모형과 관련된 여러 함수들의 매개변수는 Table 6에 제시하였다 (성충노화율함수:  $F_{1,7} = 96.36, P < 0.0001$ , 연령별생존율함수:  $F_{1,146} = 2831.44, P < 0.0001$ , 연령별누적산란율함수:  $F_{2,231} = 1809.17, P < 0.0001$ , 온도별총산란수함수:  $F_{3,2} = 22.13, P < 0.0435$ ). 산란이 가능한 추정온도 범위는 14~36°C이며 최대산란수를 생산하는 추정온도는 25.3°C이다(Fig. 6). 36°C에서 산란된 알은 부화하지 못할 것으로 보인다. 암컷 성충의 연령과 항온 조건을 고려하여 추정된 일별 산란수는 Fig. 7에 나타내었다.

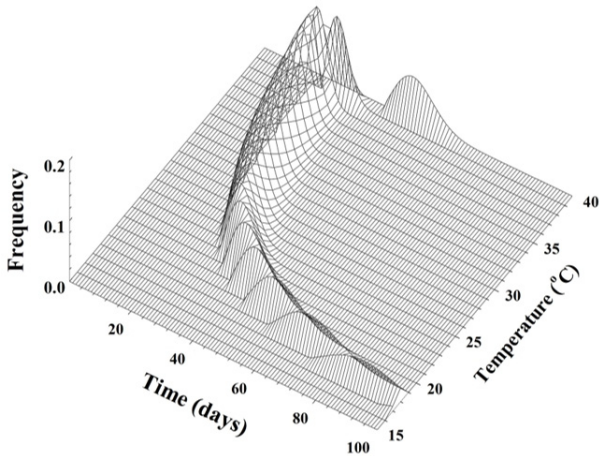


Fig. 4. Simulated temperature-dependent adult emergence of *Ostrinia scapularis* using SSI model.

## 고찰

본 연구는 수원지역 팔 포장에서 채집하여 인공사료를 이용하여 누대사육하고 있던 콩줄기명나방을 이용하여 발육단계별 발육기간, 생존율, 성충수명과 산란을 7~36°C에서 조사하였다. 알을 5°C에 5일 저온저장 할 경우 산란된 후 0~1일된 알은 최대 50%, 2~3일된 알은 최대 30%, 4일된 알은 100% 부화할 수 있었다. 10일 저온저장 할 경우 0~1일된 알은 12.5%, 2~3일된 알은 6.3%, 4일된 알은 8.3% 부화할 수 있었고, 15일 이상 저온저장 시 부화한 알은 없는 것으로 조사되었다. 알 나이와 저온저장 기간에 따라 부화율에 차이가 있으므로 10일 이내로 저온저장된 알을 이용하여 사육 일정을 조절할 수 있을 것으로 보인다. 알

Table 5. Preoviposition, oviposition, postoviposition, longevity (female and male) and total fecundity (eggs/female) (mean±SE) of *Ostrinia scapularis* at constant different temperatures (T)

T (°C)	Pre-oviposition (days)	Oviposition (days)	Post-oviposition (days)	Longevity (days)		Fecundity (no. of eggs)	
				Female <sup>1</sup>	Male	Total No.	Hatched No.
13	-	-	-	33.5±3.66 a	23.0±3.42 a	-	-
16	13.1±2.85 a	17.0±3.43 a	16.1±4.31 a	26.3±3.93 b	22.8±3.67 a	133.9±47.12 ab (13) <sup>2</sup>	24.8±13.57 b (4)
19	10.1±1.68 a	16.1±2.29 a	5.3±1.30 b	29.6±2.14 ab	24.8±2.38 a	164.1±24.97 a (21)	168.5±23.50 ab (14)
22	4.4±1.12 b	7.0±1.26 b	4.0±1.26 b	14.7±1.01 c	13.4±1.25 b	193.1±53.14 a (15)	188.8±55.26 ab (9)
25	3.4±0.32 b	6.8±0.72 b	4.7±0.89 b	15.0±0.93 c	12.9±0.93 b	310.1±59.62 a (30)	415.8±103.02 a (10)
28	3.3±0.49 b	3.6±0.56 b	3.4±1.02 b	9.3±0.99 cd	8.8±1.02 bc	174.5±39.54 a (11)	147.3±39.72 ab (6)
31	2.5±0.54 b	6.2±0.90 b	2.2±0.32 b	10.1±0.77 cd	8.2±0.66 bc	262.6±56.85 a (18)	306.3±118.01 ab (3)
34	2.8±0.47 b	3.9±0.68 b	1.7±0.48 b	7.6±0.61 d	5.9±0.75 c	78.2±19.69 bc (15)	22.0 b (1)
36	2.3±1.15 b	1.3±0.58 b	1.7±0.58 b	6.0±0.65 d	6.2±0.49 c	34.7±18.90 c (3)	- (0)

Preoviposition, oviposition, and postoviposition periods included only ovipositing female.

<sup>1</sup>Combined data of ovipositing and non-ovipositing females.

<sup>2</sup>The number of parentheses means that females could lay eggs or produced offsprings during experimental periods. Means followed by the same letter within a row are not significantly different (Tukey studentized range test at  $\alpha = 0.05$ , except the hatched egg No., which is applied to Duncan's test). ANOVA: Pre-oviposition  $F_{7,112} = 10.37, P < 0.0001$ ; Oviposition  $F_{7,112} = 11.00, P < 0.0001$ ; Post-oviposition  $F_{7,112} = 7.81, P < 0.0001$ ; Female longevity  $F_{8,264} = 27.27, P < 0.0001$ ; Male longevity:  $F_{8,264} = 16.03, P < 0.0001$ ; Fecundity of total No.  $F_{7,112} = 2.73, P = 0.012$ ; Fecundity of hatched No.  $F_{6,40} = 3.19, P = 0.0118$ .

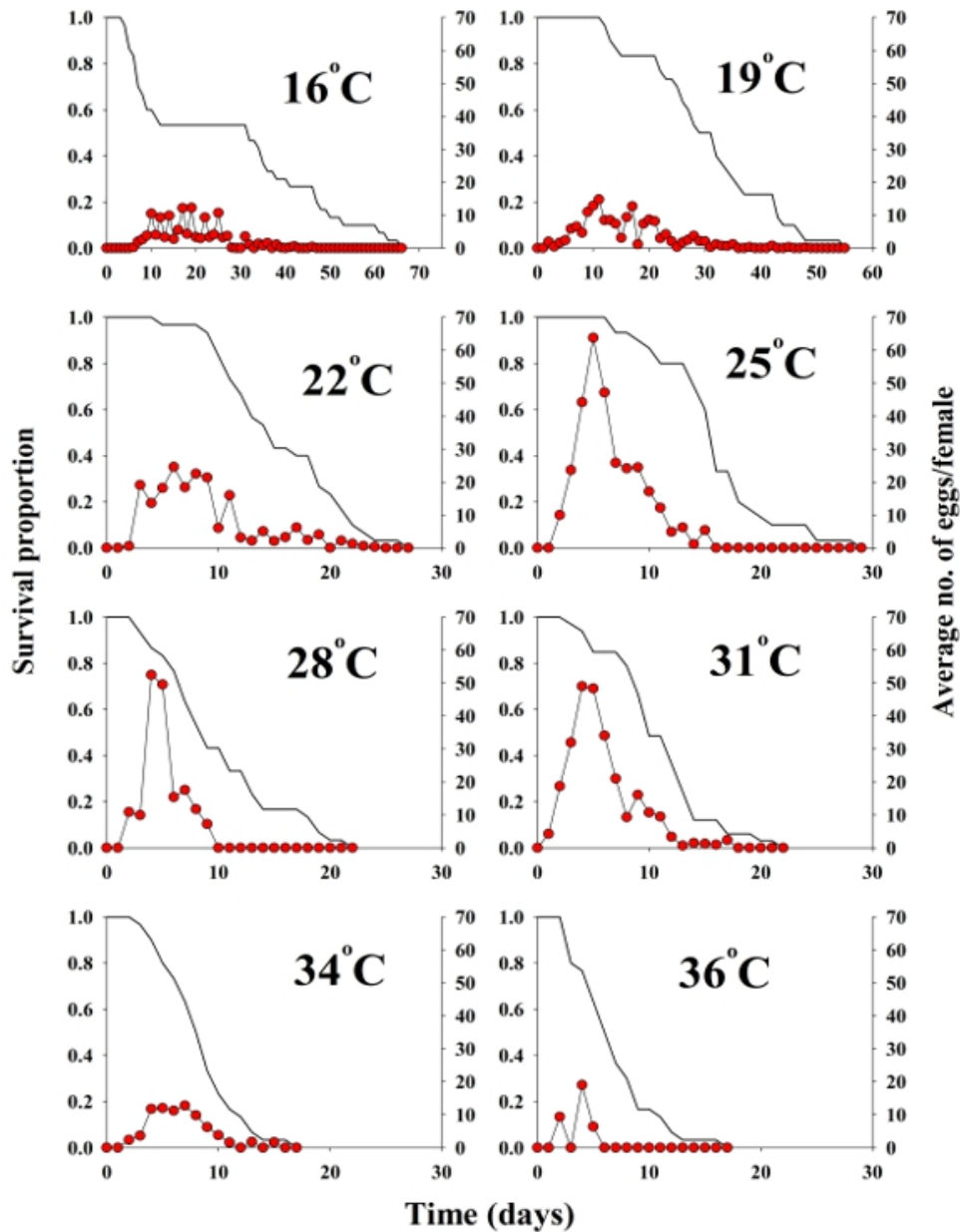


Fig. 5. The daily fecundity (mean eggs/female/day) of *Ostrinia scapularis* and survival proportion at different constant temperatures.

이 산란된 후 부화까지 배자발육 단계별로 저온에 반응이 다를 수 있을 것으로 추측되나, 이에 대해서는 후속 연구가 필요하다.

본 연구는 세계 최초로 콩줄기명나방 발육과 산란에 미치는 온도영향을 조사하고 분석하였다. 콩줄기명나방 알, 유충, 번데기는 16~36°C 범위에서 다음 발육단계로 발육할 수 있었다 (Table 1 and 2). 이러한 발육특성은 같은 속 조명나방의 비후면태 알, 유충, 번데기 발육이 15~35°C 범위에서 가능하다고 한 결과(Jung et al. 2021b)와 유사하였다. 본 연구의 콩줄기명나방 유충 발육기간이 16~36°C에서 17~144일(25°C에서 24.4일)

이었고, 조명나방은 15~35°C에서 21~92일(25°C에서 22.5일)로 온도에 대한 두 종의 반응이 조금 다른 경향을 나타내었다. 조명나방은 25°C를 제외한 15~35°C 범위 안의 다른 온도에서 유충 영기 수에서 개체 변이를 보였는데, 콩줄기명나방도 같은 현상(25°C를 제외한 다른 온도에서 최대 7령까지 관찰됨, 본 연구에서 구체적인 자료 미제시)을 보였다. 한편 조명나방 성충은 33°C에서 산란할 수 있었는데(Jung et al., 2021b), 콩줄기명나방도 같은 온도에서 산란이 가능하였다. 콩줄기명나방 성충은 13°C에서 산란하지 못하였으나, 조명나방 성충은 같은 온

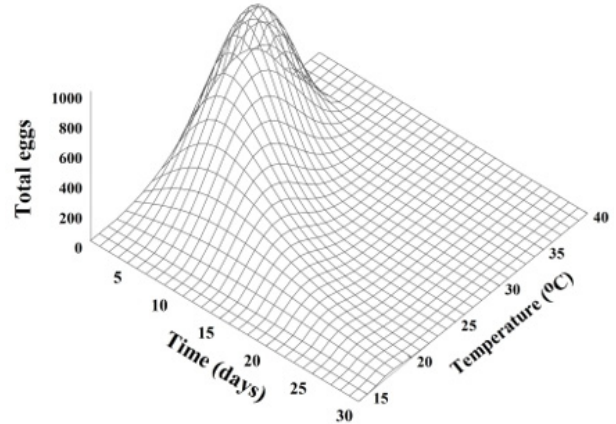
**Table 6.** Parameter estimates for temperature-dependent adult traits models of *Ostrinia scapularis*

Models	Parameters	Estimated values	$r^2$
Adult aging rate model	$a$	0.0079±0.0018	0.93
	$b$	23.1019±6.6117	
Age-specific survival rate model	$a$	1.0921±0.0128	0.95
	$\beta$	2.0616±0.0768	
	$c$	0.0338±0.0625	
Age-specific cumulative oviposition rate model	$d$	0.5790±0.0675	0.94
	$e$	2.0065±0.2782	
	$g$	0.8925±1.3784	
Temperature dependent fecundity model	$T_L$	14.73±0.9661	0.97
	$T_M$	36.0±2.1123	
	$m$	0.6985±0.2726	

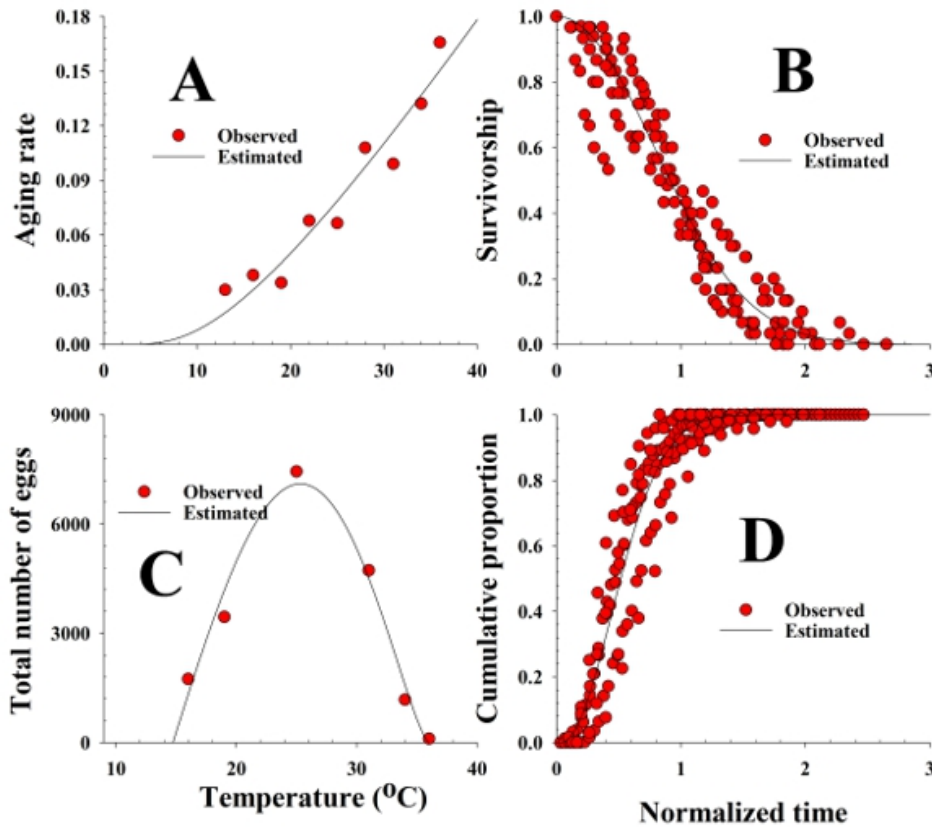
Adult aging rate model:  $F_{1,7} = 96.36$ ,  $P < 0.0001$ , Age-specific survival rate model:  $F_{1,146} = 2831.44$ ,  $P < 0.0001$ , Age-specific cumulative oviposition rate model:  $F_{2,231} = 1809.17$ ,  $P < 0.0001$ , Temperature dependent fecundity model:  $F_{3,2} = 22.13$ ,  $P < 0.0435$

도에서 적은 수의 알을 낳았다. 따라서 두 종은 온도에 대한 반응과 먹이식물의 차이 때문에 야외 조건에서 서로 다른 발육 과정을 보일 것으로 사료된다.

발육영점온도는 관찰된 결과를 이용하여 직선회귀함수를 통해 얻어진 x축(온도)과 교차하는 외삽된 결과이다(Table 3



**Fig. 7.** Simulated oviposition density curves of *Ostrinia scapularis* related to temperature (°C) and cohort age.



**Fig. 6.** Important components of oviposition model on *Ostrinia scapularis*. A: adult aging rate curve (1/mean longevity), B: temperature-dependent total fecundity curve, C: age-specific cumulative survival rate curve and D: age-specific cumulative oviposition rate curve.

and Fig. 2). 발육영점온도는  $r(LDT) = 0$ 가 되는 온도를 의미한다(Shi et al., 2010). 발육최저온도와 발육최고온도는 발육을 조절하는 효소의 활성이 저온과 고온영역에서 50% 불활성화 되는 온도를 나타낸다. 즉  $r(TL) \neq 0$ 을 의미한다. 발육영점온도와 발육최저온도 개념의 정의와 Fig. 2에서 나타난 것처럼 각 발육단계별 발육영점온도는 발육최저온도보다 낮게 나타난다.

동속종인 조명나방 휴면 유도실험에서 7월 중하순~8월 중순에 발육을 시작하는 갓 부화한 유충 집단에서부터 성장한 유충들은 짧아지는 일장에 반응하여 일부 개체는 같은 해에 다음 세대로 진행하고 일부는 휴면에 들어가는 개체변이를 보였다(Kim et al., 2020). 이러한 개체변이가 생기는 세대는 대개 2세대 유충들로 추정되었다. 8월 하순부터 발육하는 유충집단은 대부분이 휴면에 들어가는데 이들은 대부분 3세대 유충으로 추정되었다. 9월 하순부터 자라는 갓 부화한 유충들은 월동태까지 이르지 못하고 사망률이 급격하게 높아졌다. 단일조건에 민감한 발육단계는 말령 탈피 직후 연령대로 추정되었다(Kim et al., 2020). 따라서 수원지방에서 조명나방 성충의 8월 이후 발생은 세대가 다른 개체들이 섞여 있고 월동 유충들도 혼합된 세대 구성을 갖고 있는 것으로 예측되었다. 콩줄기명나방도 9월 중순에 채집된 유충 모두가 이미 휴면 조건을 받은 것으로 보고되었는데(Jung et al., 2012), 콩줄기명나방 유충이 조명나방과 유사한 특성으로 단일조건에 반응하여 휴면에 들어간다고 가정한다면, 수원지방에서 조명나방과 유사하게 연중 2 혹은 3세대를 경과할 수 있다. 이 가정에 따라 콩줄기명나방 월동세대 성충 대부분이 6월 중 출현한다면(Jung et al., 2012), 팔 포장에서 9월 중순부터 10월 중순까지 발견되는 유충들은 1세대 혹은 2세대 성충의 자손으로 2세대와 월동하는 유충(2 혹은 3세대)으로 구성될 것으로 추정된다(Jung et al., 2009).

Jung et al. (2009)의 결과에 의하면 팔 포장에서 나비목 해충의 발생과 피해양상 조사를 통해 팔 생식생장기 후기에 *Ostrinia* sp.가 우점하였다. *Ostrinia* sp. 유충이 팔의 생식생장기 개화기 이후 3령 유충 이후의 개체들이 9월 12일 가장 높은 밀도를 보여 8월 중 성충이 발생할 가능성이 있다고 유추하였다. Jung et al. (2012)은 9월과 10월에 걸쳐 야외에 서식하고 있는 *Ostrinia* sp. 노숙 유충들이 암컷의 경우 다음 해 6월 19~7월 7일에 성충으로 출현한다고 하였다. 같은 보고에서 이 종은 기주식물 범위 및 성페로몬 성분을 고려하여 콩줄기명나방으로 추정되었다. 2005년 평균기온을 이용하여 콩줄기명나방 월동 성충 출현시기를 6월 29일(발육영점온도 13.54°C를 고려한 경우), 7월 4일, 7월 7일이라고 가정하였을 때 알과 부화 후 성충출현까지의 발육영점온도와 유효적산온일도, 산란전기간, 25°C에서 산란최성일을 고려하여 1세대 성충 출현일을 추정하였다. 콩줄기명

나방 월동 성충이 6월 29일에 출현하면 1세대 성충은 8월 13일, 2세대 3령 유충은 9월 9일에 나타나기 시작하였고, 7월 4일에 월동 성충이 출현하면 1세대 성충과 2세대 3령 유충은 8월 16일, 9월 12일에 나타나기 시작하였다. 7월 7일에 월동 성충이 출현하면 1세대 성충과 2세대 3령 유충은 8월 19일, 9월 14일에 나타나기 시작하였다. 1세대 성충이 8월 13~8월 19일에 나타날 것으로 계산되었는데 Jung et al. (2009)이 “8월 중 성충이 발생할 가능성이 있다고 보여진다”는 추정을 뒷받침할 수 있었다. 팔 포장에는 콩줄기명나방, 팔나방, 콩명나방이 동시에 발생할 수 있는데(Jung et al., 2009), Ahn et al. (2022a)은 Jung et al. (2009)이 보고한 팔나방의 2005년 9월 초 유충발생 최성기 자료와 팔나방의 발육단계별 발육영점온도, 유효적산온일도를 이용하여 8월 22일에 성충 발생이 최대에 이를 것이라고 계산하였다. 2005년 수원지역 평균기온값을 이용하여 콩명나방 알 발육영점온도(9.8°C)와 유효적산온일도(49.1DD), 산란전기간(22~25°C에서 약 2~4일), 성충 우화 후 최대산란일(22~25°C에서 약 6~7일)을 이용하여 콩명나방 성충의 우화시점을 계산하였을 때 유충발견 12~14일 이전인 8월 16일로 추정되었다(Ahn et al., 2022b). 그러므로 전년도 콩줄기명나방 노숙유충이 월동 상태에 들어간 후 다음해 성충이 출현하는 시점에 따라 팔 포장에서 발견되는 3종 나방(콩줄기명나방, 팔나방, 콩명나방)의 유충의 구성이 달라질 수 있다고 사료된다.

본 연구에서는 인공사료를 이용하여 콩줄기명나방 알, 유충의 온도발육과 생존율, 성충의 수명과 산란을 조사하였으며 이를 바탕으로 온도발육모형, 발육완료모형, 산란모형을 작성하였다. 본 연구에서 제시한 생물적 자료들과 수학적 모델들은 콩과작물 특히 팥에 피해를 주는 콩줄기명나방의 생물계절학을 이해하고 콩줄기명나방을 포함한 콩명나방, 팔나방, 어리팔나방 등의 종합적인 개체군관리를 수행하기 위한 기본적인 자료로 이용될 수 있을 것이라 사료된다.

## 사사

본 연구는 농촌진흥청 어젠다 연구과제(PJ01527801)를 수행하는 과정에서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었다.

## Statements for Authorship Position & Contribution

Ahn, J.J.: Natl. Inst. of Hortic. & Herbal Sci., Researcher; Analyzed the data, and wrote and edited the manuscript.

Kim, E.Y.: Natl. Inst. of Crop Sci., Researcher; Analyzed the data, and edited the manuscript.

Seo, B.Y.: Natl. Inst. of Agric. Sci, Researcher; Conducted the experiments.

Jung, J.K.: Natl. Inst. of Crop Sci., Researcher; Designed the research, conducted the experiments, and wrote and edited the manuscript.

All authors have read and approved the manuscript.

## Literature Cited

- Ahn, J.J., Choi, K.S., Koh, S., 2019a. Effects of temperature on the development, fecundity, and life table parameters of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae). *Appl. Entomol. Zool.* 54, 63-74.
- Ahn, J.J., Choi, K.S., Koh, S., 2019b. Using viable eggs to determine oviposition models and life table analysis of *Riptortus pedestris* (Fabricius) (Hemiptera: Alydidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 58, 111-120.
- Ahn, J.J., Kim, E.Y., Seo, B.Y., Jung, J.K., 2022a. Effects of temperature on the development and reproduction of *Matsumuraeses phaseoli* (Lepidoptera: Tortricidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 61, 461-473.
- Ahn, J.J., Kim, E.Y., Seo, B.Y., Jung, J.K., Lee, S.-W., 2022b. Effects of temperature on the development and fecundity of *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 61, 563-575.
- Bae, Y.S., 2001. Family Pyraloidea: Pyraustinae & Pyraliae. *Economic Insects of Korea 9. Ins. Koreana Suppl.* 16, Junghaeng-Sa, Seoul, p. 252.
- Briere, J.F., Pracros, P., Le Roux, A.Y., Pierre, J.S., 1999. A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. *Environ. Entomol.* 28, 22-29.
- CABI website, N.D. <https://www.cabi.org> (accessed on 12 September, 2022).
- Calcagno, V., Bonhomme, V., Thomas, Y., Singer, M.C., Bourguet, D., 2010. Divergence in behaviour between the European corn borer, *Ostrinia nubilalis*, and its sibling species *Ostrinia scapulalis*: adaptation to human harvesting?. *Proc. R. Soc. B* 277, 2703-2709.
- Campbell, A., Frazer, B.D., Gilbert, N., Gutierrez, A.P., Mackauer, M., 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. *J. Appl. Ecol.* 11, 431-438.
- Hattori, I., Mutuura, A., 1987. Identification of Japanese species belonging to the genus *Ostrinia* with the host relationship. *Plant Prot.* 41, 24-31. (Japanese journal)
- Heo, H.J., Son, Y.R., Seo, B.Y., Jung, J.K., Kim, Y., 2009. A molecular marker discriminating the soybean podworm, *Matsumuraeses phaseoli* and the podborer, *M. falcana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 48, 547-551.
- Hoffmann, K.H., 1985. Metabolic and enzyme adaptation to temperature, in: Hoffmann, K.H. (Ed.), *Environmental physiology and biochemistry of insects*. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 1-32.
- Huang, Y., Takanashi, T., Hoshizaki, S., Tatsuki, S., Ishikawa, Y., 2002. Female sex pheromone polymorphism in adzuki bean borer, *Ostrinia scapulalis*, is similar to that in European corn borer, *O. nubilalis*. *J. Chem. Ecol.* 28, 533-539.
- Huang, Y., Tatsuki, S., Kim, C.-G., Hoshizaki, S., Yoshiyasu, Y., Honda H., Ishikawa, Y., 1997. Identification of sex pheromone of adzuki bean borer, *Ostrinia scapulalis*. *J. Chem. Ecol.* 23, 2791-2802.
- Hyun, J.-S., 2005. Integrated pest control - principles and practices -. *Korean J. Appl. Entomol.* 44, 73-90.
- Ikemoto, T., 2005. Intrinsic optimum temperature for development of insects and mites. *Environ. Entomol.* 34, 1377-1387.
- Ishikawa, Y., Takanashi, T., Kim, C., Hoshizaki, S., Tatsuki, S., Huang, Y., 1999. *Ostrinia* spp. in Japan: their host plants and sex pheromones. *Entomol. Exp. Appl.* 91, 237-244.
- Jandel Scientific, 1994. *TableCurve user's manual*. San Rafael, CA.
- Jung, J.K., Seo, B.Y., Cho, J.-R., Kwon, Y.-H., Kim, G.-H., 2009. Occurrence of lepidopteran insect pests and injury aspects in adzuki bean fields. *Korean J. Appl. Entomol.* 48, 29-35.
- Jung, J.K., Seo, B.Y., Park, D.-S., Oh, H.-W., Lee, G.-S., Park, H.-C., Cho, J.R., 2012. Species identification and developmental biology of a red bean pest in *Ostrinia* sp. (Lepidoptera: Crambidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 51, 469-477.
- Jung, J.K., Seo, B.Y., Kim, Y., Lee, S.-W., 2016. Can *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae) over-winter in Suwon Area? *Korean J. Appl. Entomol.* 55, 439-444.
- Jung, J.K., Seo, B.Y., Jeong, I.-H., Kim, E.Y., Lee, S.W., 2021a. Application timings of insecticides to control the first generation of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* in waxy maize fields. *Korean J. Appl. Entomol.* 60, 431-448.
- Jung, J.K., Seo, B.Y., Kim, E.Y., 2021b. Effects of temperature on survival, development, and reproduction of the non-diapause Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 60, 449-462.
- Kim, D.-S., Lee, J.-H., 2003. Oviposition model of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae). *Ecol. Model.* 162, 145-153.
- Kim, D.-S., Ahn, J.J., Lee, J.-H., 2017. A review for non-linear models describing temperature-dependent development of insect populations: characteristics and developmental process of models. *Korean J. Appl. Entomol.* 56, 1-18.
- Kim, E.Y., Kim, I.H., Seo, B.Y., Kim, Y., Park, C.-G., Jung, J.K., 2020. Diapause and voltinism in *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Crambidae) in Suwon, and larval instar sensitivity to diapause induction. *Korean J. Appl. Entomol.* 59, 185-202.
- Lactin, D.J., Holliday, N.J., Johnson, D.L., Craigen, R., 1995. Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. *Environ. Entomol.* 24, 68-75.

- Logan, J.A., Wollkind, D.J., Hoyt, S.C., Tanigoshi, L.K., 1976. An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. *Environ. Entomol.* 5, 1133-1140.
- Mutuura, A., Munroe, E., 1970. Taxonomy and distribution of the European corn borer and allied species: genus *Ostrinia* (Lepidoptera: Pyralidae). *Mem. Entomol. Soc. Can.* 102, 1-112.
- Park, K.T., 1975. Taxonomic study of the corn stem borer in Korea with allied species of the genus *Ostrinia* (Lep.; Pyralidae). *Kor. J. Pl. Prot.* 14, 221-225.
- Park, C.-G., Seo, B.Y., Jung, J.K., Kim, H.-Y., Lee, S.-W., Seong, K.Y., 2017. Forecasting spring emergence of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Crambidae), based on post-diapause development rate. *J. Econ. Entomol.* 110, 2443-2451.
- Pinder III, J.E., Wiener, J.G., Smith, M.H., 1978. The Weibull distribution: a new method of summarizing survivorship data. *Ecology* 59, 175-179.
- R statistics, 2015. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. <http://www.r-project.org> (accessed on 20 January, 2022).
- Ratkowsky, D.A., Reddy, G.V.P., 2017. Empirical model with excellent statistical properties for describing temperature-dependent developmental rates of insects and mites. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 110, 302-309.
- Ratte, H.T., 1985. Temperature and insect development, in: Hoffmann, K.H. (Ed.), *Environmental physiology and biochemistry of insects*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 33-66.
- SAS Institute, 2004. SAS System for Window, Release 8.02. SAS Institute, Cary, NC.
- Schoolfield, R.M., Sharpe, P.J.H., Mugnison, C.E., 1981. Non-linear regression of biological temperature-dependent rate models based on absolute reaction-rate theory. *J. Theor. Biol.* 88, 719-731.
- Sharpe, P.J.H., DeMichele, D.W., 1977. Reaction kinetics of poikilotherm development. *J. Theor. Biol.* 64, 649-670.
- Shi, P., Ge, F., Men, X., 2010. How to compare the lower developmental thresholds. *Environ. Entomol.* 39, 2033-2038.
- Shi, P.-J., Reddy, G.V.P., Chen, L., Ge, F., 2017. Comparison of thermal performance equations in describing temperature-dependent developmental rates of insects: (II) two thermodynamic models. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 110, 113-120.
- Wagner, T.L., Wu, H.-I., Sharpe, P.J.H., Schoolfield, R.M., Coulson, R.N., 1984. Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77, 208-220.
- Weibull, W., 1951. A statistical distribution functions with wide applicability. *J. Appl. Mech.* 18, 293-297.