

# 툽다리개미허리노린재의 체색변이를 이용한 발생세대 예측

이효석<sup>1</sup> · 정종국<sup>2</sup> · 임재성<sup>3</sup> · 박마라나<sup>1</sup> · 이승현<sup>3</sup> · 이준호<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 농업생명과학대학 농업생명과학연구원, <sup>2</sup>국립낙동강생물자원관 담수생물조사연구실, <sup>3</sup>서울대학교 농생명공학부 곤충학전공

## Predicting the Occurrence of Generation for *Riptortus pedestris* (Fabricius) Using Their Body Color

Hyoseok Lee<sup>1</sup>, Jong-Kook Jung<sup>2</sup>, Jae Seong Im<sup>3</sup>, Marana Park<sup>1</sup>, Seunghyun Lee<sup>3</sup>, Joon-Ho Lee<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Gwanakro 1, Gwanakgu, Seoul 08826, Korea

<sup>2</sup>Freshwater Bioresources Research Division, Nakdonggang National Institute of Biological Resources, 137 Donam 2-gil, Sangju 37242, Korea

<sup>3</sup>Entomology Program, Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Gwanakro 1, Gwanakgu, Seoul 08826, Korea

**ABSTRACT:** *Riptortus pedestris* (Fabricius) is one of the important insect pests of leguminous crops, which occurs in most areas of South Korea. It is hard to distinguish each generation in crop fields since not only the longevity of adult *R. pedestris* is long but also the developmental period is short. Especially, the 2nd generation adults cause enormous damage to soybean while the occurrence time is synchronized with the podding stage of soybean. Controlling the 1st generation of *R. pedestris* helps to decrease the damage by decreasing the 2nd generation density. This study was conducted to distinguish between the 1st generation and the overwintering generation by using differences in body coloration which is dependent on the day-length during the nymph stage. In addition, the difference was verified by the population dynamics model of *R. pedestris*. The occurrence time of 1st generation adults could be considered when the summer form is 20% or more. These results will be used for beneficial management decisions to reduce the 2nd generation population.

**Key words:** Stink bug, Soybean pest, Population dynamics, Body color variation, Photoperiod

**조 록:** 툽다리개미허리노린재(*Riptortus pedestris* (Fabricius))는 콩과 작물을 가해하는 해충으로 국내 대부분의 지역에서 발견된다. 툽다리개미허리노린재는 성충 수명이 길고 발육기간이 짧아 야외에서 여러 세대가 혼재되어 발생하고 있어 각 세대를 구분하기 어렵다. 특히, 제2세대 성충의 발생시기는 콩의 착엽기와 일치하여 큰 피해를 주고 있어, 제1세대 성충의 방제는 제2세대 밀도를 감소시켜 콩과 작물의 피해를 줄이는데 도움이 될 것으로 예상된다. 따라서 본 연구는 약충기간의 광주기가 성충의 체색변이에 영향을 주는 특성을 이용하여 야외 포장에서 월동세대와 제1세대의 발생시기를 구분하였다. 또한 툽다리개미허리노린재 개체군 모형을 수립하고 적용하여 이를 검증하였다. 여름형 성충의 비율이 20% 이상 되는 시기를 제1세대 툽다리개미허리노린재 성충의 발생시기로 추정할 수 있으며, 이는 제2세대 성충의 밀도를 억제하기 위한 방제시기를 결정하는데 활용될 것으로 기대된다.

**검색어:** 노린재, 콩 해충, 개체군 모형, 체색변이, 광주기

툽다리개미허리노린재(*Riptortus pedestris*)는 콩과 작물의 중요한 해충으로 우리나라에 전국적으로 분포하며 연중 2~3세대 발생하는 것으로 알려져 있다(Huh et al., 2005; Park et al., 2015). 콩 포장 주변 또는 야산의 낙엽층에서 성충으로 월동한 후 이듬해 봄에 기주 식물이 있는 곳으로 비래하여 농작물에 피

해를 주며(Lee et al., 2004; Shin et al., 2012), 약제 살포시 성충은 뛰어난 비행능력을 이용하여 인근지역으로 회피하기 때문에 방제가 어려운 해충으로 알려져 있다(Shin et al., 2012). 콩은 착엽기(R<sub>3</sub>~R<sub>4</sub>)에 노린재류에 의한 피해를 받게 되면 수량 감소가 가장 크며(Boethel et al., 2000; Jung et al., 2005), 그 시기는 툽다리개미허리노린재의 제2세대 성충의 발생시기와 일치한다(Huh et al., 2005). 따라서 제2세대 성충의 밀도를 억제하는 것이 콩에서 툽다리개미허리노린재의 피해를 경감시키는데 중요

\*Corresponding author: [jh7lee@snu.ac.kr](mailto:jh7lee@snu.ac.kr)

Received October 28 2015; Revised November 9 2015

Accepted November 10 2015

할 것이다. 따라서 세대별 발생시기를 예측하는 것은 콩에서 톱다리개미허리노린재의 방제시기 결정에 중요할 것으로 판단된다.

하지만 항온조건에서 톱다리개미허리노린재 성충의 수명은 48~165일로 길고, 알에서 성충까지 발육기간은 19~67일로 성충 수명에 비해 상대적으로 짧아(Kim et al., 2009) 야외에서 여러 세대의 성충이 혼재하기 때문에 성충의 세대 구분이 어려운 문제가 있다(Lim, 2013). 따라서 세대를 구분하기 위해서 암컷의 난소발육 상태를 확인하거나(Huh et al., 2005), 밀도 변동 양상 예측 모델을 활용하는(Park et al., 2015) 등 다양한 접근이 시도되고 있다. 하지만 농가에서는 이런 방법을 이용하여 발생 세대를 구분하는 것은 현실적으로 쉽지 않을 것으로 생각된다. 따라서 방제시기를 설정하는데 도움을 주기 위해서는 기존에 알려진 방법들보다 효과적으로 세대를 구분할 수 있는 현장 적용형 방법이 필요한데, 광주기에 따른 체색의 변이 현상을 이용하는 것이 그 대안 중 한 방법이 될 것으로 생각된다. Kobayashi and Numata (1993)는 약충시기의 광주기가 성충의 가슴옆면 및 가슴아랫판의 체색변이에 영향을 주며, 휴면유기에도 영향을 준다고 보고한 바 있다. 약충시기에 단일조건에 노출된 경우 성충의 가슴옆면 및 가슴아랫판에 흰색 무늬를 띠게 되는데, 이런 특성을 이용하여 톱다리개미허리노린재의 성충을 여름형과 가을형 개체로 구분이 가능하며, 이를 이용하면 야외 포장에서 특정 세대를 구분할 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 톱다리개미허리노린재 암컷 성충의 체색변이는 가슴옆면과 가슴아랫판의 체색에 따라 각각 3단계로 나뉘며, 수컷은 각각 4~5단계로 좀 더 세분화 되어 나타난다(Kobayashi and Numata, 1995).

따라서 본 연구는 시기별로 채집되는 톱다리개미허리노린재 성충의 외부 형태적인 체색 차이를 통해 특정 세대의 발생시기를 손쉽게 확인함으로써 적절한 방제시기를 정하기 위한 기초자료로 활용하기 위해 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 개체군 모형을 이용한 톱다리개미허리노린재 성충 발생시기 추정

**월동성충 유입모형 작성.** 2015년 4월부터 5월까지 군산(35°57'53" N, 126°44'31" E)과 밀양(35°27'19" N, 128°48'10" E)의 콩포장에서 집합페로몬트랩(주그린아그로텍)을 사용하여 일주일 간격으로 톱다리개미허리노린재의 발생량을 조사하였다. 집합페로몬 루어는 4주마다 교체하였으며, 지역별 3개의 트랩을 지상에서 1 m 높이에 설치하였다. Matsui (1985)는 일반적으로 월동성충의 경우 봄철 휴면에서 깨어난 후 먹이원으

로 이동하기까지 일정 시간이 소요되며, 이는 주로 온도에 영향을 받기 때문에 적산온도를 활용하여 이 시기를 예측할 수 있다고 보고하였다. Park et al. (2015)에 의하면, 5월이 월동성충의 발생 최성기라고 보고되었기 때문에 본 연구에서는 4월부터 5월까지 월동처에서 포장으로 월동성충이 유입된다고 가정하였으며, 유입 이후 월동성충에 대해 성충 모형을 적용하였다. 이 자료를 이용하여 경험적 월동성충 유입모형을 작성하기 위해 3-변수 Weibull모형(Wagner et al., 1984)을 사용하였다(수식 1). 월동성충의 누적 유입량이 50%가 되는 시기를 기준으로 가장 작은 변이계수 값을 가지는 온도를 기준온도(성충활동임계 온도)로 설정하였으며, 이를 활용하여 적산온도(Degree-day)를 기반으로 한 월동성충 유입모형을 작성하였다.

$$F(x) = 1 - \exp[-((x - \gamma)/\eta)^\beta] \quad (1)$$

수식 (1)에서 F(x)는 x 적산온도에서 월동성충의 누적 유입률을 의미하며, 매개변수인  $\gamma$ ,  $\eta$ ,  $\beta$ 는 TableCurve 2D (SYSTAT, 2002)를 사용하여 추정하였다.

**개체군모형 작성.** 월동세대 유입 후 세대별 발생을 예측하기 위해 Kim et al. (2009)이 개발한 톱다리개미허리노린재의 발육 및 산란모형을 활용하였다. 발육단계전이모형은 Kim et al. (2001)의 방법에 따라 발육모형과 발육완료분포모형을 조합하여 작성하였다. 산란모형은 Kim and Lee (2003)의 방법에 따라 성충수명완료율, 연령별 산란율, 온도별 총 산란수 및 연령별 생존율 곡선을 종합하여 작성하였다. 월동성충의 경우 포장으로 유입한 시기의 생리적 연령은 1로 가정하여 유입된 이후 성충 모형을 적용하였다. 위 기본모형의 구현은 이미 검증되었기 때문에 본 논문에서는 상세히 기술하지 않았으며, 시뮬레이션은 R프로그래밍(R Core Team, 2011)을 이용하여 수행하였다.

### 개체군 모형을 이용한 여름형 성충 발생시기 추정 및 포장 적합

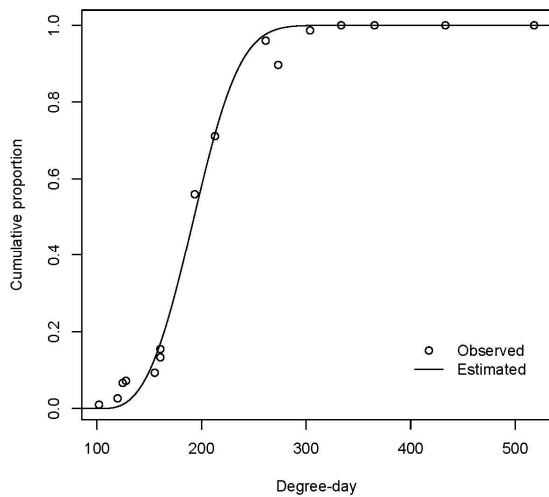
**야외 개체군의 체색변이 조사.** 2015년 4월부터 8월까지 당진(36°55'52" N, 126°40'39" E)과 밀양(35°27'19" N, 128°48'10" E)의 콩 포장에서 일주일 간격으로 집합페로몬 트랩을 통해 채집된 톱다리개미허리노린재 성충의 시기별 체색변이를 조사하였다. 매주 트랩에 포획된 성충을 수거하여 성별 및 Kobayashi and Numata (1995)의 방법에 따라 가슴옆면 및 가슴아랫판의 체색을 구분하였다. 체색에 따라 여름형과 가을형으로 구분하였으며, 매 시기별 채집된 총 개체수당 여름형 개체수의 비율로 변환하였다.

**여름형 성충 발생시기 추정 및 포장적합.** 기상청에서 제공하는 일별 기상자료를 사용하여 2015년 당진 및 밀양에서 월동세대부터 제1세대 및 제2세대 성충의 발생을 추정하였다. 개체수를 특정하기 불가능하였으므로, 모형의 제1세대(여름형) 발생과 당진과 밀양에서 조사된 시기별 톱다리개미허리노린재 여름형 성충의 비율을 비교하였다. 월동성충은 100마리로 가정하였으며, 포장적합을 목적으로 모든 결과값은 최대값을 중심으로 표준화시켰다.

## 결과 및 고찰

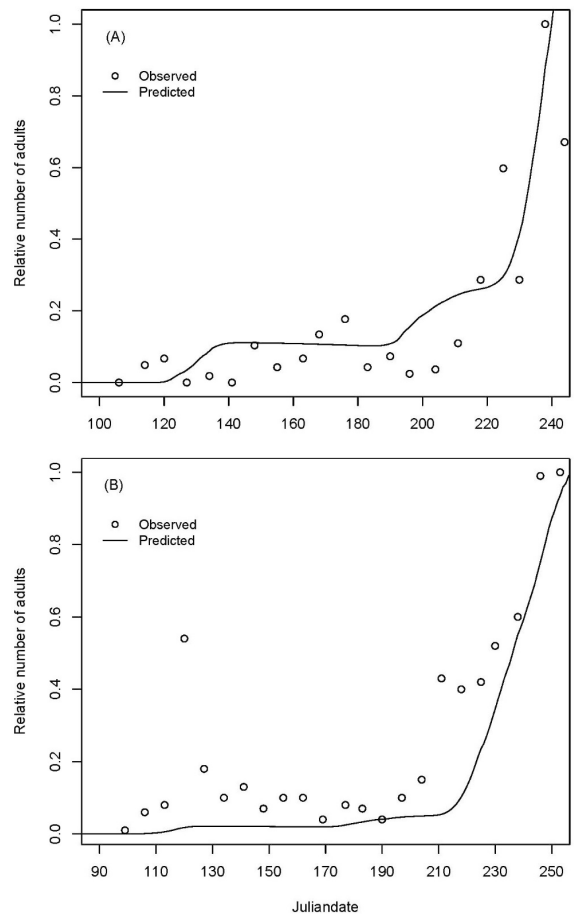
5월(150 Julian date)까지 포획된 성충을 유입하는 월동세대로 간주하여 모형을 구동한 결과, 월동세대의 야외 발생을 비교적 잘 설명하였다(Fig. 1). 하지만 집합페로몬을 이용한 성충의 발생밀도 조사 결과, 월동세대와 제1세대간 차이는 명확하게 구분되지 않았으나, 제2세대 성충의 경우 밀도가 급격히 증가하여 제1세대와 제2세대는 발생 밀도 차이에 의해 명확하게 구분되는 것으로 나타났다(Fig. 2). 이러한 결과는 기존의 Park et al. (2015)이 수행한 연구와도 일치한다. 본 연구에서는 5월까지 유입된 성충을 월동세대로 간주하여 그 누적 유입량의 50%가 되는 시기를 기준으로 가장 작은 변이계수를 가지는 8.99°C를 기준온도로 설정하였으며, 이를 이용하여 각 지역별 적산온도를 계산하고 누적 유입량과의 관계를 추정하였다. TableCurve 2D로 추정된 월동성충 유입모형의 매개변수는  $\gamma=101.885$ ,  $\eta=102.723$ ,  $\beta=3.008$ 이었으며,  $r^2=0.99$ 로 높은 모형 적합성을 보였다(Fig. 1).

하지만 월동세대의 발생 추정에 비해, 야외에서 월동세대와

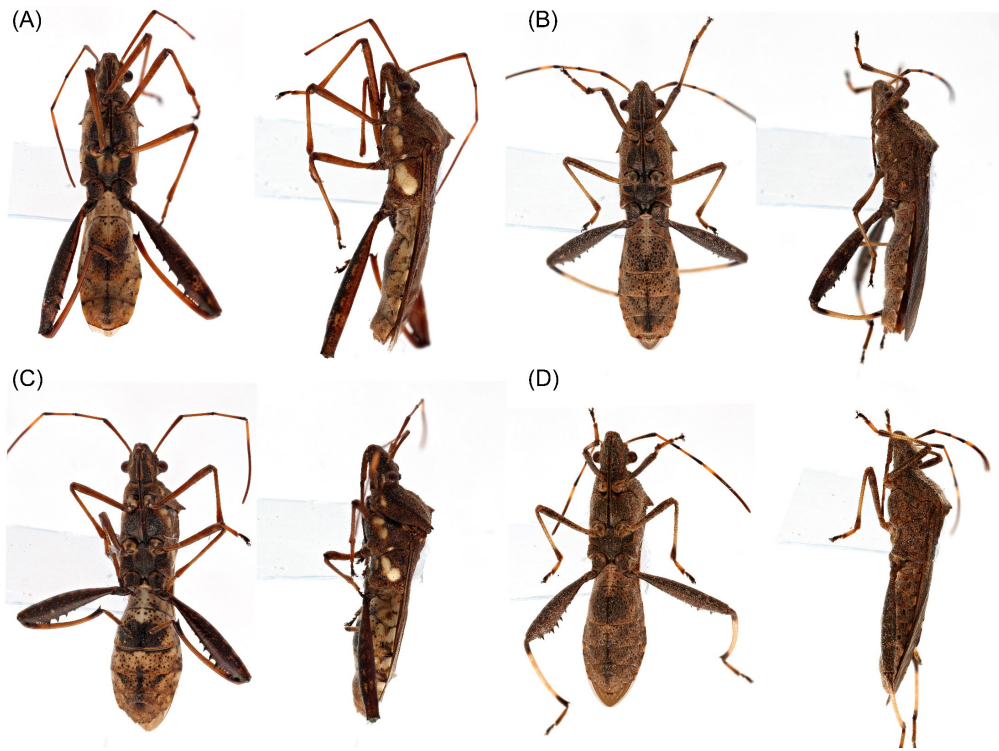


**Fig. 1.** Degree-day based cumulative immigration model of overwintered adults.

제1세대의 발생을 구분하는 것은 보다 어려운 것으로 생각된다. Huh et al. (2005)에 의하면, 경남 진주 개체군의 난소발육상태와 실내에서 조사된 발육기간을 근거로 7월 상순에 채집된 개체의 경우 제1세대 성충, 8월 중순부터 채집된 개체는 제2세대 성충으로 추정할 바 있다. 이와 유사하게, 본 연구에서 작성된 톱다리개미허리노린재의 개체군 모형을 구동한 결과에서도 당진과 밀양 지역에서 4월부터(110~120 Julian date) 월동성충이 발생하기 시작하여 7월부터 제1세대 성충이 발생하고, 8월경(210 Julian date)에 제2세대 성충이 발생이 급격하게 증가하는 것을 확인하였다(Fig. 2). Kim et al. (2009)은 25.3°C 조건에서 난에서부터 성충으로 우화하기까지 31.9일이 소요된다고 보고하였고, 당진과 밀양의 7월 평균기온이 각각 24°C와 25°C임을 고려한다면, 8월경 채집된 개체는 제2세대 성충일 것으로 생각된다. 하지만 월동세대와 제1세대 성충의 경우, 야외 포장에서 시기별 발생밀도 차이는 크지 않아 밀도차이를 통한 월동세대와 제1세대의 구분은 어려운 것으로 확인되었다.



**Fig. 2.** Relative number of *R. pedestris* adults collected in aggregation pheromone trap (○, observed; —, predicted) at A, Gunsan-si; B, Miryang-si.



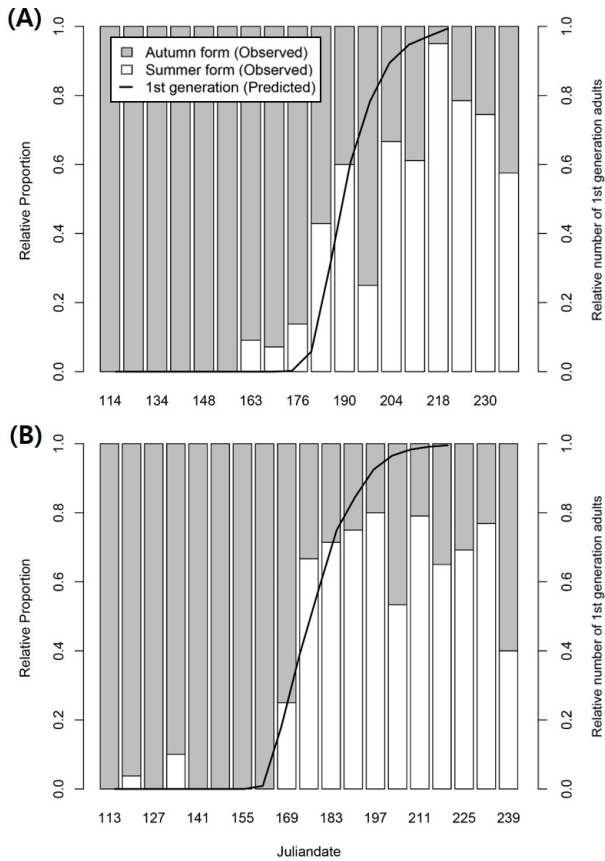
**Fig. 3.** Differences of the determination of body coloration. Males: summer form (A), autumn form (B). Females: summer form (C), autumn form (D).

본 연구에서 Kobayashi and Numata (1995)의 방법에 따라 가슴옆면 및 가슴아래판의 체색을 통해 여름형과 가을형 개체로 구분하여(Fig. 3), 이들의 발생 변화를 추정하였다(see observed data in Fig. 4). 야외 포장 조사 결과, 일부 개체의 경우 8월 (210~240 Julian date)에도 가을형 개체가 발생하였다. Kobayashi and Numata (1995)에 의하면 일장이 13.5시간 이상이 되었을 때 여름형 성충의 비율이 지속적으로 증가하지만, 14시간 이상의 일장 조건에도 일부 개체는 가을형 체색을 띤다고 보고한 바 있다. 따라서 한여름에도 일부 개체는 가을형 체색을 띤 것으로 생각된다.

또한 당진과 밀양에서 조사된 여름형 성충의 경우, 제1세대 성충의 발생시기에 그 비율이 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있었으나, 월동세대에서도 일부 여름형 성충이 발견되었는데, 이는 체색변이에 온도도 영향을 주기 때문인 것으로 생각된다. Kobayashi and Numata (1995)의 결과에서 단일조건임에도 불구하고 고온에서 일부 개체가 여름형의 특성을 보였던 것로부터 추정이 가능하다. 이러한 결과는 수명이 긴 톱다리개미허리노린재의 특성상 일부 월동개체의 경우 늦여름에 생식하기 때문에 초가을에 짧아진 일장조건에도 불구하고 고온조건으로 인해 여름형 성충이 발생할 가능성이 있는 것으로 생각된다.

비록 일부 개체들의 체색이 발생 시기간 혼재되는 양상을 보

이는 경우도 있었지만, 대체적인 발생 비율은 뚜렷하여 톱다리개미허리노린재의 체색변이 정보들을 활용한다면 월동세대와 제1세대 성충의 발생시기를 보다 명확하게 구분할 수 있을 것으로 판단되었다. 실제 야외에서 채집된 톱다리개미허리노린재 여름형 성충의 비율이 급격히 증가하는 시기와 제1세대 성충이 발생하는 시기가 서로 일치하는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 4). 즉, 야외 포장에서 여름형 톱다리개미허리노린재 성충의 비율을 주기적으로 확인하면 제1세대 성충의 발생시기를 확인할 수 있을 것으로 기대된다. 월동성충에서 적은 비율로 여름형 성충이 발견되는 경우도 있기 때문에 야외에서 여름형 성충의 비율이 0.2이상이 되는 시기를 제1세대 성충이 발생하는 시기로 추정할 수 있을 것이다. 콩의 수확량 관리에 있어 제2세대 성충의 발생시기는 매우 중요하다고 할 수 있는데, 그 이유는 제2세대 성충의 발생이 급격하게 증가하는 8월이 콩의 착엽기 ( $R_3$ )에서 립비대성기( $R_6$ )로 이 시기에 톱다리개미허리노린재가 콩을 가해하는 경우 콩 수확량이 크게 감소하기 때문이다 (Kono, 1989; Jung et al., 2005). 따라서 본 연구를 통해 확인된 체색변이 정보를 이용하여 제1세대 성충의 발생시기를 예측한다면, 적절한 시기에 제1세대 성충 및 제2세대 약충에 대한 방제를 실시함으로써 이후 여름철 톱다리개미허리노린재에 의한 피해를 줄이는데 큰 도움이 될 것으로 기대된다.



**Fig. 4.** Estimated cumulative proportion of 1st generation adults (—) and observed seasonal proportion of autumn and summer form at A, Dangjin-si; B, Miryang-si.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ009962)의 지원에 의하여 수행되었으며, 밀양에서 조사를 도와준 이진익 학생에게 감사드립니다.

## Literature Cited

- Boethel, D.J., Russin, J.S., Wier, A.T., Layton, M.B., Mink, J.S., Boyd, M.L., 2000. Delayed maturity associated with southern green stink bug (Heteroptera: Pentatomidae) injury at various soybean phenological stages. *J. Econ. Entomol.* 93, 707-712.
- Huh, H.-S., Huh, W., Bae, S.-D., Park, C.-G. 2005. Seasonal occurrence and ovarian development of bean bug, *Riptortus clavatus*. *Korean J. Appl. Entomol.* 44(3), 199-205.
- Jung, J.K., Youn, J.-T., Im, D.J., Park, J.H., Kim, U.H., 2005. Soybean seed injury by the bean bug, *Riptortus clavatus* (Thunberg) (Hemiptera: Alydidae) at reproductive stage of soybean (*Glycine max* Linnaeus). *Korean J. Appl. Entomol.* 44, 299-306.
- Kim, D.-S., Lee, J.-H., 2003. Oviposition model of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: carposinidae). *Ecol. Model.* 162, 145-153.
- Kim, D.-S., Lee, J.-H., Yiem, M.-S., 2001. Temperature-dependent development of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) and its stage emergence models. *Environ. Entomol.* 30, 298-305.
- Kim, H., Baek, S., Kim, S., Lee, S.-Y., Lee, J.-H., 2009. Temperature-dependent development and oviposition models of *Riptortus clavatus* (Thunberg) (Hemiptera: Alydidae). *Appl. Entomol. Zool.* 44, 515-523.
- Kobayashi, S., Numata, H., 1993. Photoperiodic responses controlling the induction of adult diapause and the determination of seasonal form in the bean bug, *Riptortus clavatus*. *Zool. Sci.* 10, 983-990.
- Kobayashi, S., Numata, H., 1995. Effects of temperature and photoperiod on the induction of diapause and the determination of body coloration in the bean bug, *Riptortus clavatus*. *Zool. Sci.* 12, 343-348.
- Kono, S., 1989. Analysis of soybean seed injuries caused by three species of stink bug. *Jpn. J. Appl. Ent. Zool.* 33, 128-133.
- Lee, G.H., Paik, C.H., Choi, M.Y., Oh, Y.J., Kim, D.H., Na, S.Y., 2004. Seasonal occurrence, soybean damage and control efficacy of bean bug, *Riptortus clavatus* Thunberg (Hemiptera: Alydidae) at soybean field in Honam province. *Korean J. Appl. Entomol.* 43, 249-255.
- Lim, U.T., 2013. Occurrence and control method of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae): Korean Perspectives. *Korean J. Appl. Entomol.* 52, 437-448.
- Matsui, M., 1985. Temperature dependence of flight muscle development and flight activity of overwintered adults of the rice water weevil, *Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel (Coleoptera: Curculionidae). *Jpn. J. Appl. Ent. Zool.* 29, 67-72.
- Park, C.-G., Yum, K.-H., Lee, S.-K., Lee, S.-G., 2015. Construction and evaluation of cohort based model for predicting population dynamics of *Riptortus pedestris* (Fabricius) (Hemiptera: Alydidae) using DYMEX. *Korean J. Appl. Entomol.* 54, 73-81.
- R Core Team. 2011. R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austrira. <http://www.R-project.org/>
- Shin, Y.H., Yun, S.H., Park, Y.U., An, J.J., Yoon, C., Youn, Y.N., Kim, G.H., 2012. Seasonal fluctuation of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) in Chungbuk Province. *Korean J. Appl. Entomol.* 51, 99-109.
- SYSTAT software inc., 2002. TableCurve 2D Automated curve fitting analysis: version 5.01. Systat software. Inc. San Jose, CA.
- Wagner, T.L., Wu, H., Sharpe, P.J.H., Coulson, R.N., 1984. Modeling distributions of insect development time: a literature review and application of the Weibull function. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77, 475-487.