

## 호박과실파리 발생생태 및 계절초기 성충우화시기 예찰 모형

강택준<sup>1\*</sup> · 전흥용<sup>1</sup> · 김형환<sup>1</sup> · 양창열<sup>1</sup> · 김동순<sup>2</sup>

<sup>1</sup>원예연구소, <sup>2</sup>제주대학교

(2008년 9월 8일 접수; 2008년 12월 9일 수정; 2008년 12월 25일 수락)

## Population Phenology and an Early Season Adult Emergence model of Pumpkin Fruit Fly, *Bactrocera depressa* (Diptera: Tephritidae)

Taek-Jun Kang<sup>1\*</sup>, Heung-Yong Jeon<sup>1</sup>, Hyeong-Hwan Kim<sup>1</sup>,  
Chang-Yeol Yang<sup>1</sup> and Dong-Soon Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon

<sup>2</sup>Faculty of Bioscience and Industry, College of Applied Life Science, Cheju National University, Cheju

(Received September 8, 2008; Revised December 9, 2008; Accepted December 25, 2008)

### ABSTRACT

The pumpkin fruit fly, *Bactrocera depressa* (Tephritidae: Diptera), is one of the most important pests in Cucurbitaceae plants. This study was conducted to investigate the basic ecology of *B. depressa*, and to develop a forecasting model for predicting the time of adult emergence in early season. In green pumpkin producing farms, the oviposition punctures caused by the oviposition of *B. depressa* occurred first between mid- and late July, peaked in late August, and then decreased in mid-September followed by disappearance of the symptoms in late September, during which oviposition activity of *B. depressa* is considered active. In full-ripened pumpkin producing farms, damaged fruits abruptly increased from early August, because the decay of pumpkins caused by larval development began from that time. *B. depressa* produced a mean oviposition puncture of 2.2 per fruit and total 28.8-29.8 eggs per fruit. Adult emergence from overwintering pupae, which was monitored using a ground emergence trap, was first observed between mid- and late May, and peaked during late May to early June. The development times from overwintering pupae to adult emergence decreased with increasing temperature: 59.0 days at 15°C, 39.3 days at 20°C, 25.8 days at 25°C, and 21.4 days at 30°C. The pupae did not develop to adult at 35°C. The lower developmental threshold temperature was calculated as 6.8°C by linear regression. The thermal constant was 482.3 degree-days. The non-linear model of Gaussian equation well explained the relationship between the development rate and temperature. The Weibull function provided a good fit for the distribution of development times of overwintering pupae. The predicted date of 50% adult emergence by a degree-day model showed one day deviation from the observed actual date. Also, the output estimated by rate summation model, which was consisted of the developmental model and the Weibull function, well pursued the actual pattern of cumulative frequency curve of *B. depressa* adult emergence. Consequently, it is expected that the present results could be used to establish the management strategy of *B. depressa*.

**Key words :** Pumpkin fruit fly, *Bactrocera depressa*, Pumpkin fruit, Temperature-dependent development, Phenology model

\* Corresponding Author : Taek-Jun Kang (tjkang72@rda.go.kr)

## I. 서 론

호박(*Cucurbita* spp)은 2006년 기준으로 우리나라 5대 과채류 중 하나로, 국내 재배면적은 약 9,500ha 정도이고 노지재배가 약 6,000ha로 노지재배 비율이 전체 재배 면적의 64%로 타 작물에 비하여 높고 점차 증가하는 추세이다(Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2006). 이는 최근 웰빙식품으로 인기가 있는 단호박, 맷돌호박 등 숙과호박의 수요 증가로 재배면적이 증가하는 것이 한 요인으로 추정된다. 이러한 숙과호박류 재배면적 증가에 따라 각종 병해충 문제가 대두되고 있는데 그 중 중산간 및 고지대 재배 숙과호박류를 중심으로 호박과실파리(*Bactrocera depressa*)에 의한 피해가 매년 증가하고 있다(Han *et al.*, 1994; Jeon, 2008).

과실파리류는 세계적으로 500속, 4,000여종 이상이 기록되어 있으며(Foote *et al.*, 1993), 호박과실파리(*B. depressa*)는 파리목, 과실파리과(Tephritidae: Diptera)에 속하는 해충으로 세계적으로 한국, 일본, 중국에 분포하고 있어(Han and Kwon, 2000) 미국에서는 검역 해충이기 때문에 한국산 박과류의 자국내 수입 허용을 금지하다가 2004년에 조건부 수입허용 결정을 내렸다(National Plant Quarantine Service, 2004). 국내에는 홍천, 횡성, 무주, 진안, 곡성 등 전국 30여 개 시군 지역 이상에서 발생 피해가 확인 보고되고 있는데 주로 고지대 노지 호박 및 수박 재배 단지에서 피해가 심하지만(Han *et al.*, 1994; Kim *et al.*, 1999) 노지 재배 시 발생하는 호박과실파리의 방제 및 발생예찰 체계 수립을 위한 연구가 부족한 상태이다(Kim and Kim, 2002).

일반적으로 호박과실파리의 피해는 성충이 어린 호박에 산란관을 꽂고 과실 내에 산란함으로써 과실 속에서 부화한 유충들이 과실을 가해하여 낙과 부패를 일으켜 피해를 일으키는 것으로 보고되고 있다(Yoshifumi, 1952; Han *et al.*, 1994). 과실 속의 어린 유충들은 색깔이 연하고 작아서 재배자들이 쉽게 관찰하기 어려워 피해를 거의 모르다가 유충들이 성장하면서 과실이 부패되기 시작하면서 증세가 대부분 나타난다. 또한 일부는 정상과와 차이가 나지 않으면서 과실 내부에 유충이나 번데기로 남아 그대로 유통되어 소비자들에게 혐오감을 심어주고 있어 향후 소비시장의 위축이 염려된다(Jeon, 2008).

호박과실파리 유충은 일반 파리 유충과 형태가 비슷한데, 일반 파리 유충과 다른 점은 피해 과실을 갈라서 호박과실파리 유충들을 외부에 노출시켰을 경우 몸을 웅크렸다가 툭툭 튀는 특징이 있다. 과실 속에서 충분히 영양분을 섭취한 다자란 유충들은 번데기가 되기 위하여 과육을 탈출하여 주변 토양 속에서 번데기로 월동하고 다음해 성충으로 우화하여 피해를 유발한다. 성충 크기는 약 10mm 정도로 큰 편인데 암컷은 수컷과 비교하여 특이하게 몸통 끝부분에 뾰족한 산란관을 지니고 있어서 연약한 과실 표면에 구멍을 뚫어 내부에 산란한다(Kim, 1999; Jeon, 2008).

그러므로 호박과실파리는 향후 국내 중산간 지역 및 고랭지 숙과호박재배지를 중심으로 재배상 가장 큰 문제를 야기할 해충으로 여겨진다. 따라서 호박과실파리의 정확한 발생생태 및 효과적인 예찰 방제체계를 개발하는 것이 중요하다고 생각하여 본 시험을 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 호박과실파리 발생양상 및 피해조사

노지호박에서 호박과실파리 피해시기를 구명하기 위하여 2006년과 2007년에 각각 6월부터 10월까지 약 2주 간격으로 시기별 피해 정도를 조사하였다. 전년도 호박과실파리 발생이 많았던 곳을 조사대상 농가로 선택하였다. 선택된 농가는 경기도 양평군 무농약 숙과호박 생산 농가(0.1ha), 강원도 춘천시 애호박 재배 농가(0.2ha), 그리고 홍천군 단호박 생산 농가(0.2ha)였다. 그리고 야외 토양 속에서 월동하는 호박과실파리 월동번데기 채집을 위하여 2006년과 2007년 3월 중순에 전라북도 무주군내에 위치한 재래식 숙과맷돌 호박 재배농가들을 추가로 탐색하여 월동번데기 개체들을 채집하였다. 양평 무농약 포장의 경우에는 5월 하순에 주로 맷돌호박을 중심으로 노지에 정식하고 포복재배를 실시하여 7월 초순부터 10월까지 수확하는 작형이었다. 애호박이나 단호박 재배 포장의 경우 5월 초중순에 동양계 애호박과 서양계 단호박을 주로 노지에 정식한 후 터널식 유인구조물에 그물망을 씌워 호박 줄기들을 유인 재배하고 애호박의 경우에는 6월 초중순부터 9월까지 수시로 수확하고, 단호박의 경우 8월 이후부터 10월 전후로 수확을 하는 작형이었다.

호박과실파리는 산란 시 호박 표면에 1~2mm의 작은 산란관 구멍이 나타나기 때문에 조사 시기별 각

포장 내에서 50~100여 개의 호박을 임의로 선택한 다음 과실의 표면을 육안으로 검사하여 산란흔적이 있는 과실을 피해과로 판정하였다. 또한 생육후기에는 호박과실파리의 피해를 받은 호박은 유충들이 성장함에 따라 부패되기 때문에 호박 내부의 유충을 직접 확인하여 피해과로 판정하였다. 호박과실파리의 산란 습성을 구명하기 위하여 피해과 조사 후 피해가 확인된 호박을 실험실로 가지고 와서 과실당 산란 흔적, 산란수, 산란 깊이 등을 조사하였다.

호박재배지가 위치한 고도에 따른 호박과실파리 피해 정도를 구명하기 위하여 2006년 피해가 발생한 조사 애호박 농가에서 5~6km 이내 다른 애호박 재배 포장에서 앞서 제시한 똑같은 방법으로 호박과실파리 피해를 조사하였다. 조사 농가의 고도는 간이형 고도계(Suunto E203)로 측정하였다.

## 2.2. 월동번데기의 우화시기 조사

호박과실파리 월동번데기의 성충으로 우화시기를 구명하기 위하여 호박 재배 조사 농가에 2006년 3월 중순에 깔대기형 우화트랩(폭 0.23m, 높이 0.34m)을 설치하였다. 일반적으로 호박과실파리의 피해를 받아서 부패한 호박과실에서 노숙 유충으로 탈출하고 토양 속으로 들어가 번데기로 된 후 월동에 들어가므로 전년도 피해호박이 있는 주변을 선정하고 지표 약 0.05~0.10m 깊이에 우화트랩을 설치하였다. 우화트랩 내에 유인된 호박과실파리 성충을 10~15일 간격으로 조사하였다.

또한 호박과실파리 월동번데기의 우화시기를 보다 정확히 구명하기 위하여 2007년 3월 중순 양평과 무주 노지포장에서 월동번데기를 채집하였다. 채집한 번데기 일부는 온도발육 실험에 사용하였고, 나머지는 우화시기 구명을 위하여 수원 원예연구소 노지 시험포장에 묻었다. 이 때 지표 5~10cm 깊이에 월동번데기를 매설하고 그 위에 텐트형 우화트랩(가로 1×세로 1×높이 1 m)을 고정 설치하였으며, 2~3일 간격 이내로 우화된 성충의 마리 수를 조사하였다.

## 2.3. 성충 우화시기 예찰모형 개발

온도발육실험: 월동 성충의 우화시기 예측에 필요한 호박과실파리의 발육영점온도 및 유효적산온도를 구하기 위하여 전년도 10월 이후 포장에서 채집한 번데기들을 야외 노지 토양 속에 매설하고 다음 해 봄까지

유지하여 휴면타파를 시켰다. 월동번데기에서 우화까지 온도별 발육기간을 15, 20, 25, 30, 35± 2°C의 5개 온도에서 조사하였다. 페트리디쉬(직경 0.10×높이 0.04m)에 모래(수분함량 70%, Soil PH & Moisture Tester DM-5)를 반 정도 채운 뒤 월동번데기를 0.01~0.02m 깊이로 각각 5개체씩 묻고 각 온도별로 항온기에 처리하였다. 각 온도별로 월동번데기 40개를 처리하였다. 매일 성충 우화 수를 조사하였으며 매 조사시기마다 스프레이를 이용하여 적당한 수분공급을 하였다.

번데기에서 성충까지 기간은 분산분석(ANOVA)을 이용하여 통계 분석하였고 평균간 비교는 Duncan 검정을 실시하였다(SAS Institute, 1999).

자료분석: 선형 및 비선형 모형을 이용하여 온도와 월동번데기 발육률(=1/성충우화까지 기간)과의 관계를 분석하였다. 발육영점온도 및 발육완료에 필요한 적산온도 추정은 처리온도와 발육률(=1/발육기간)간의 직선 회귀식을 구하고, 이 식으로부터 발육률이 0이 되는 온도를 추정하여 발육영점온도를 구하였다(= -절편/기울기). 각 발육단계별 발육완료에 필요한 적산온도는 추정된 회귀식 기울기의 역수 값으로 구하였다.

비선형 모형은 적은 관측 자료 수를 이용 모수를 추정할 수 있는 비선형발육모형인 Gaussian 함수를 하였다(Taylor, 1981).

$$r(T) = R_{max} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{T - T_{max}}{k}\right)^2\right] \quad (\text{식 1})$$

여기서  $r(T)$ 는 온도  $T$ (°C)에서 발육률,  $R_{max}$ 는 최대 발육률,  $T_{max}$ 는 최대 발육률에서의 온도,  $k$ 는 곡선의 기울기를 조절하는 모수이다.

호박과실파리 월동번데기의 발육완료기간 변이는 Weibull 함수를 이용하였다(Smith, 1992; Fisher et al., 1996).

$$f(px) = 1 - \exp\{-[p(x/\beta)]^\delta\} \quad (\text{식 2})$$

여기서  $f(px)$ 는 어느 발육단계의 표준화된 연령  $px$ 에서 발육을 완료하는 개체 수들의 누적 비율이며,  $\beta$ 와  $\delta$ 는 모수이다. Weibull 함수의 모수를 추정하기 전 실험자료는 생리적 연령에 대응하는 발육을 완료하는 개체 수들의 누적빈도분포로 변환시켰다. 즉, 어떤 처리온도에서 얻은 각 발육기간에 대한 빈도분포를 작성하고 이 빈도수를 누적하여 누적빈도분포를 만들었다. 표준화된 누적빈도분포는 어떤 계급(발육기간)에

대응하는 누적빈도수를 총 개체 수로 나누어서 얻었다. 이러한 방법으로 각 온도별 표준화된 누적빈도분포를 구하였다(각 온도의 누적빈도분포는 0~100% 범위의 분포로 표준화됨). 온도에 독립적인 누적빈도분포를 얻기 위하여 평균 발육기간으로 각 계급을 나누었다. 따라서 각 온도의 누적빈도분포는 동일한 생리적 연령에 대응되었다. 발육모형 및 발육완료기간 분포모형의 모수 추정에는 TableCurve 프로그램을 사용하였다(Jandel Scientific, 1996).

포장 적합성: 야외 포장 내 실제 우화 발생한 자료를 이용하여 적산온도 모형의 정확성을 분석하였다. 선형 발육모형에 기초한 적산온도 모형은 일별 평균온도에서 발육영점온도 이상의 온도를 누적하는 Mean-minus-base 추정법(Allen, 1976)을 사용하였다. 적산온도는 일 평균 기온이 발육 영점온도 이상이 되는 3월 1일부터 계산하였으며 482.3 도일(degree-days, DD) 되는 날을 50% 성충발생기로 간주하였다.

비선형 발육모형(식 1, Gaussian 모형)과 발육완료시기 분포모형(식 2, Weibull 함수)에 기초한 발육률 적산모형은 발육완료시기 분포모형을 이용 월동번데기가 성충으로 전이되는 개체 수들의 비율을 0~100% 까지 추정하는 것이 가능하다. 일별 평균온도를 발육모형에 입력하여 일별 발육률을 계산하고, 이 값을 누적하여 호박과실파리 월동번데기의 생리적 연령을 구한 다음 분포모형의 입력변수로 사용하였다. 최종적으로 발육완료시기 분포모형은 월동번데기의 생리적 연령에 대응한 성충으로 우화 확률을 출력하게 된다. 발육모형 작성시 평균 발육기간을 사용했으므로 50% 성충우화시기는 발육률을 누적하여 생리적 연령이 '1'이 되는 시점이 된다. 3월 1일부터 발육률을 적산하였다.

호박과실파리 성충우화 포장자료는 수원 원예연구소 노지 시험포장에서 얻은 자료를 이용하였고, 기상자료는 적합자료를 얻은 포장으로부터 약 3km 떨어져 있는 수원기상대에서 측정한 것을 이용하였다.

### III. 결 과

#### 3.1. 호박과실파리 피해양상

호박과실파리의 산란흔적은 7월 하순부터 발견되기 시작하였다(Fig. 1). 애호박의 경우에는 수확 후반기인 8월 하순에 포장 내 전체 조사 과실의 약 20%에서 호박과실파리에 의한 산란 흔적이 발견된 이후 점차

감소하기 시작하여 10월에는 발견되지 않았다. 숙과호박의 경우에도 산란 흔적 및 부화한 유충에 의한 부패과실 발생 위주로 피해 조사를 실시하였는데 최초 7월 하순에 피해과가 조사된 이후 수확이 완료되는 10월 중하순까지 피해과실이 급격히 증가하였다.

2006년 애호박의 피해발생지 포장을 중심으로 반경 5~6km 이내 여러 애호박 재배 포장을 대상으로 산란에 의한 과실피해들을 육안 및 실내에서 현미경으로 정밀 조사한 결과 호박과실파리에 의한 피해는 고도나 지역에 따라 일관성을 보이지 않았다(Fig. 2). 호박과실파리의 산란흔적이 있는 호박을 채집하여 실험실에서 조사한 결과 애호박의 경우 과실당 평균 2.2개의 산란흔적과 평균 29.8개의 알들이 발견되었다(Table 1). 숙과호박의 경우에는 산란이 이루어진 후 과실 표면의 색깔이 너무 빨리 변하고 치유되면서 경화되어 버리는 경향이 있어서 야외 포장에서 정확한 산란 흔적을 찾기가 어려웠고 실험실내에서 정밀 조사한 결과 산란수

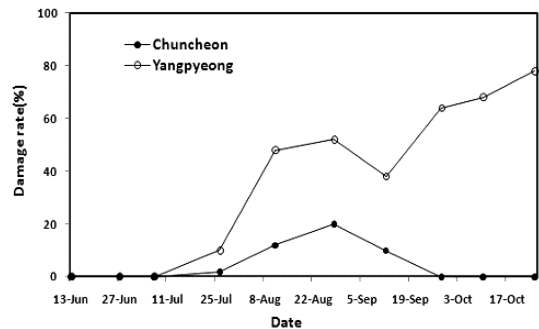


Fig. 1. Changes in damage rates caused by *B. depressa* in a green pumpkin production farm (in Chuncheon) and a full-ripened pumpkin production farm (in Yangpyeong) in 2006.

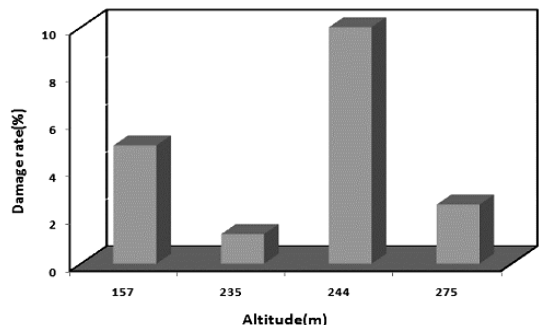


Fig. 2. Damage rates of pumpkin fruits by *B. depressa* according to the altitude of pumpkin farm in Chuncheon in 2006.

**Table 1.** Oviposition related variables (Mean  $\pm$  SE) of *B. depressa* on different cultivars of pumpkin fruits

Variable	Cultivar for green pumpkin production	Cultivar for full-grown pumpkin production
No. oviposition traces per fruit	2.2 $\pm$ 0.7	-
No. eggs per fruit	29.8 $\pm$ 3.3	28.8 $\pm$ 5.4
Depth of oviposition (mm)	10.2 $\pm$ 0.4	10.3 $\pm$ 0.5

**Table 2.** Development periods in days of *B. depressa* from overwintering pupae to adult emergence at constant temperatures

Temperature ( $^{\circ}$ C)	n	Developmental periods (Mean $\pm$ SE)	% Emergence	Sex ratio ( $\text{♂} : \text{♀}$ )
15	40	59.0 $\pm$ 13.0a	43	1.43
20	40	39.3 $\pm$ 1.0b	60	0.83
25	40	25.8 $\pm$ 1.7c	38	0.88
30	40	21.4 $\pm$ 0.7c	13	1.50
35	40	- <sup>1</sup>	0	-

<sup>1</sup>Failed to emergence.

<sup>2</sup>Means followed by the same letter within a column are not significantly different ( $p < 0.05$ , Duncan's multiple range test).

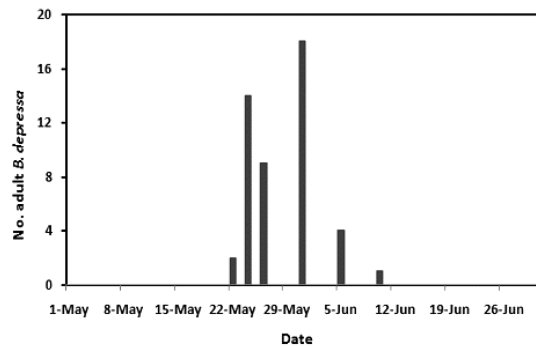
는 애호박과 비슷한 과실 당 28.8개 이었다. 애호박과 숙과호박 모두 과실표면에서 약 10mm 깊이에 산란하였다(Table 1).

### 3.2. 월동번데기의 우화시기

2006년 노지 호박재배지에 설치한 깔대기형 우화 트랩에 충분한 성충들이 채집되지 않아 정확한 호박 과실파리의 우화양상을 파악하기는 어려웠으나 홍천에서 5월 16일과 26일 사이에 처음으로 1개체가 유인되었고, 그 후 6월 13일 1개체가 더 발견되었다. 춘천지역에서는 5월 26일과 6월 13일 5개체가 유인되었다. 2007년 수원에서 월동번데기 우화 양상은 Fig. 3과 같았다. 호박과실파리 월동번데기는 5월 22일 최초로 우화하였고 50% 우화일은 5월 31일이었다.

### 3.3. 월동번데기 발육 및 우화시기 예측

온도별 호박과실파리 월동번데기의 우화시까지의 발육기간은 온도가 증가함에 따라 점점 짧아졌으며 (Table 2), 온도에 따라 발육기간은 유의한 차이가 있었다( $F = 57.65$ ;  $df = 3$ ;  $P < 0.001$ ). 30 $^{\circ}$ C에서의 발육기간이 21.4일로 가장 짧았으며 가장 길게 나타난 15 $^{\circ}$ C에서의 발육기간은 30 $^{\circ}$ C 발육기간 보다 약 38일 길었다. 그러나, 우화율은 20 $^{\circ}$ C에서 60%로 가장 높았고, 그 이상의 온도에서는 감소하다가 35 $^{\circ}$ C에는 모든 개체가 우화하지 못하였다. 성비( $\text{♂} : \text{♀}$ )는 0.83~1.50



**Fig. 3.** Adult emergence frequency distribution of *B. depressa* from overwintering pupae in the soil, monitored by ground emergence traps (n=48) in Suwon, 2007.

범위에 있었으며 평균 1.03이었다.

온도와 월동번데기 발육기간에 대한 선형모형 추정 결과는 Table 3, Fig. 4와 같았다. 발육영점온도는 6.8 $^{\circ}$ C로 추정되었고 발육완료에 필요한 적산온도는 482.3 DD 이었다. 월동번데기 발육률과 온도와의 관계 Fig. 4와 같으며, 비선형 모형의 모수 추정값은 Table 3과 같다. 온도가 증가함에 따라 발육률이 증가하다가 고온에서는 감소되는 양상을 보였다.

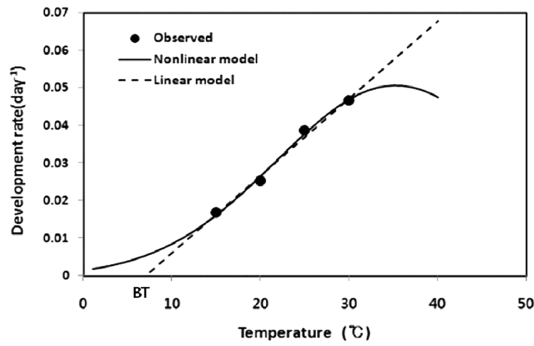
2007년 각 지역별 일별 평균온도에서 발육영점온도 이상의 온도를 누적한 결과 수원에서는 5월 30일 50% 우화시기인 482 DD에 도달하였다. 실제 관측된 50% 우화일은 5월 31일로 예측치와 1일의 차이가 있었다. 발육률 적산모형을 이용한 호박과실파리 월동

**Table 3.** Estimated values for describing the development model of *B. depressa* from overwintering pupae to adult emergence

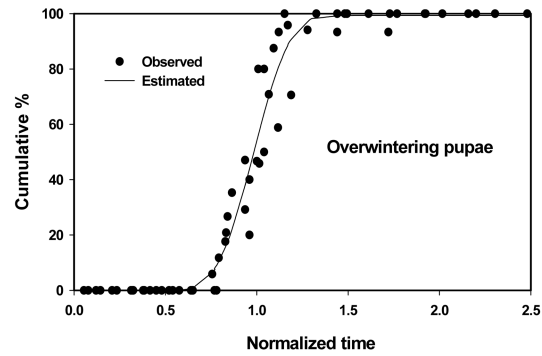
Model	Parameter	Estimated value	SEM	r <sup>2</sup>
Nonlinear development model <sup>1</sup>	R <sub>max</sub>	0.051	0.006	0.94
	T <sub>max</sub>	35.19	4.72	
	k	13.413	2.778	
Linear development model <sup>2</sup>	Intercept	-0.014	0.003	0.99
	Slope	0.0021	0.0001	
	DT (°C)	6.8	-	
	Degree day (DD)	482.3	-	

<sup>1</sup>Gaussian model was applied.

<sup>2</sup>y=ax+b, where a is slope, b is intercept, x is temperature (°C), and y is developmental rate. DT=-b/a, Degree day (DD) = 1/a



**Fig. 4.** Development rate (1/day) curve of overwintering pupae of *B. depressa* as a function of temperature. BT indicates the estimated threshold temperature.



**Fig. 5.** Cumulative percent distribution for development completion times of overwintering pupae of *B. depressa* as a function of physiological age by using Weibull function.

번데기의 우화 최적기 예측결과와 실측일 간에는 약 4일의 편차를 보였다(Table 4). 한편 양평 및 홍천지역에서 호박과실파리 월동번데기 적산온도 완료일(482 DD)은 각각 5월 29일 및 6월 3일 이었다. 호박과실파리 월동번데기가 성충으로 우화하는 발육단계의 생리적 연령에 대응한 발육완료시기 분포는 Fig. 5와 같았다. 발육단계는 Weibull 함수에 잘 적합되었고 ( $r^2=0.97$ ) 추정된 모수  $\delta$ 와  $\beta$ 는 각각  $3.403(\pm 1.780)$ 과  $0.511(\pm 0.227)$ 으로 분석되었다.

#### IV. 고 찰

월동중인 호박과실파리 번데기에서 우화한 성충의 조사 결과 홍천에서는 5월 16일과 26일 사이에 채집되었고, 수원에서는 5월 22일 우화 성충이 처음 발견되었다. 따라서 호박과실파리 월동번데기의 우화 초발일은 5월 중순에서 5월 하순경 사이로 추정된다. 7월 하순경부터 호박과실파리 산란흔적이 발견되었으므로 초발일부터 산란에 의한 피해가 최초로 확인되기까지

**Table 4.** Comparison of the difference between predicted and observed dates of 50% hatch of *B. depressa* overwintering pupae using degree-day methods

Observed (Suwon)	Estimated by degree-days <sup>1</sup>			Estimated by rate summation <sup>3</sup>		
	Suwon	Yangpyeong	Hongcheon	Suwon	Yangpyeong	Hongcheon
May 31	May 30 (1) <sup>2</sup>	May 29	June 3	May 27(4)	May 28	May 31

<sup>1</sup>Degree-days were accumulated from 1. March by daily average temperature minus low temperature for mean-minus-base method from Allen(1976).

<sup>2</sup>Deviation between observed and predicted dates.

<sup>3</sup>Daily development rates were accumulated.

는 약 2개월의 공백이 있었다. 다른 과실파리의 경우 짧은 산란전기간을 갖고 있는데 반하여(Vargas and Mitchell, 1987; Sunday *et al.*, 2007) 이 종은 아주 특이한 경우로 보인다. 일반적으로 호박과실파리는 전년도 피해호박 주변에서 번데기로 월동하고 다음 해 우화하여 주변 숲 등 서식처로 이동하여 산란전기간(성적 성숙기간)을 보내고 7~9월 사이에 다시 기주식물인 박과류 특히 호박과실로 이동하여 산란하는 특이한 생활사를 갖고 있는 것으로 알려져 있다(Han *et al.*, 1994; Kim, 1999). 성충이 박과류 기주에 모이는 것은 영양을 섭취하기보다는 산란 및 휴식을 취하기 위한 것으로 알려져 있는데 산란전기간이 다른 종에 비해 긴 이유는 월동번데기 우화 이후 성충들이 산란을 위한 충분한 영양을 섭취하기 위해 포장주변 중간 기주에서 생활하기 때문으로 추정된다(Jeon, 2008), 아직까지 구체적으로 연구된 바가 없는 실정이다.

호박과실파리 피해과는 7월 하순 발생하기 시작하여 증가하다가 애호박에서는 8월 하순 최성기를 보이고 그 후 감소하였다. 반면 수과호박 생산 농가에서는 9월 상순 약간의 감소 후 피해과율이 급격히 증가하였다. 이와 같은 수과용 호박의 피해증가는 생육초중기 산란된 알이 유충으로 성장함에 따라 생육후기 부패과의 발생이 크게 증가하였기 때문이었다. 즉 애호박의 경우 수확주기가 짧아서 알이 유충으로 발육이전 수확되어 제거되므로 부패과가 나타나지 않아 산란흔적을 기준으로 한 피해과만 조사되었지만, 수과호박에서는 초기 미숙과 시기에는 산란흔적뿐만 아니라 후기 부패과가 모두 피해과로 누적되었다. 이런 결과를 보면 애호박에서 피해과 발생량 및 시기는 호박과실의 산란활동시기를 나타낸다고 볼 수 있다. 즉 호박과실파리의 산란활동은 7월 하순부터 시작되고 8월 하순 최성기를 보이며 9월 중순 종료된다고 판단된다.

호박과실파리 피해과실 당 산란흔적은 평균 2.2개였으며 산란수는 과실 당 28.8~29.8개이었다. 과실파리류의 경우 산란 후 한 개체가 산란한 다른 과실에의 중복산란을 방지하기 위하여 어떤 표식 행위를 하는 것으로 알려져 있다(Reuven *et al.*, 2001; Prokopy and Duan, 1998). 실제 호박과실파리 산란행동에서 표식행동이 관찰되었으며(Seo *et al.*, 2008), 앞으로 이 물질을 분리하여 호박과실파리의 산란방지제를 개발하는 것도 가능할 것으로 보인다.

우화트랩으로 조사한 호박과실파리 월동번데기의 우

화시기는 초발일이 5월 중순에서 하순 사이로 나타났고, 최성기는 5월 하순 내지 6월 상순이었다. 전남지역에서 초발생일이 6월 1일로 보고 된 바 있는데(Kim and Kim, 2002), 훨씬 북쪽 지역인 강원도 홍천에서 더 빨리 우화되었다는 사실은 매우 흥미롭다. 이것은 남쪽 지역이라 하더라도 고도가 높은 지역에서 조사되었기 때문에 적산온도 기준으로 볼 때는 늦을 수도 있다. 하지만 그 지역의 조사지점 온도자료가 없기 때문에 그 차이를 설명하기는 쉽지 않다. 또한 McPhail 트랩으로 조사한 호박과실파리 성충의 발생최성기는 전남지역에서 6월 하순으로 보고되었다(Kim and Kim, 2002). 본 연구에서 우화트랩으로 조사된 우화최성기와는 1개월 정도 차이가 있었다. 호박과실파리는 앞에서 언급했듯이 긴 산란전기간을 갖고 있기 때문에 포장상태에서는 성충 밀도가 누적되어 월동번데기의 우화최성기보다 늦게 성충의 활동최성기가 나타나는 것으로 보인다.

본 연구에서 제시한 우화성충 예측모형은 비교적 정확하게 호박과실파리 월동번데기의 우화시기를 예측하였다. 호박과실파리가 주로 산간지역에 발생하고 있기 때문에 그 지역의 온도분포에 따라 발생시기가 크게 변동될 수 있다. 이런 영향으로 앞에서 언급했듯이 남쪽인 전남지역보다 북쪽인 홍천에서 더 빨리 성충이 우화할 수도 있다. 공간기후 내삽 기술 등을 이용 일 정고도별 온도를 추정하면 보다 정확하게 산간지역에서 호박과실파리의 우화시기를 예측할 수 있을 것이다. 본 예측모형은 이러한 용도에 유용하게 이용될 것이다.

과실파리류가 문제되었던 외국의 경우, 방제를 위하여 오랜 기간 동안 기초연구와 대 농민 교육 및 방제 기술을 체계적으로 수립하여 많은 성과를 이루었다. 즉 발생 피해가 예상되는 지역에서 주기적인 발생조사를 통한 방제시기 설정, 피해 받은 과실 및 오염원 제거, 단백질성 유인물질 트랩을 이용하여 지속적으로 성충을 포획하여 오랜 기간에 걸쳐서 발생 밀도를 낮추어 많은 효과를 보았다(Roger *et al.*, 2006; Huang *et al.*, 2006). 국내에서는 아직 구체적인 호박과실파리 방제대책이 마련되지 않고 있는 상태이다. 앞으로 호박과실파리 관리 전략을 수립하는데 기초 자료로 본 자료의 이용이 기대된다.

## 적 요

호박과실파리(*Bactrocera depressus*)는 파리목 과실

파리과에 속한 곤충으로 박과류 작물의 중요한 해충이다. 이 연구는 호박과실파리의 호박 피해관련 기초생태를 구명하고 성충우화시기 예측모형을 개발하고자 수행하였다. 애호박 생산농가에서 호박과실파리 산란 흔적은 7월 중하순부터 발생되기 시작하여 8월 하순 최성기를 보였으며 9월 하순부터는 발견되지 않았으며, 이 기간이 호박과실파리 산란활동 시기로 판단되었다. 숙과호박 농가에서는 7월 하순 어린 과실에 산란 흔적이 발견되었고 8월 이후 유충에 의한 호박의 부패가 시작, 10월까지 피해과가 급격히 증가하였다. 호박 과실파리 산란흔적은 호박 과실 당 평균 2.2개가 발견되었으며, 과실 당 28.8~29.8개의 산란수를 보였다. 우회트랩으로 조사한 호박과실파리 월동번데기의 우화 시기는 초발일이 5월 중순에서 하순 사이로 나타났고, 최성기는 5월 하순 내지 6월 상순이었다. 호박과실파리 월동번데기의 우화까지 발육기간은 15°C에서 59.0일, 20°C 39.3일, 25°C 25.8일, 30°C 21.4일이었고 35°C에서는 발육하지 못하였다. 온도와 월동번데기 발육기간 관계에 대한 선형모형 추정결과는 발육영점온도는 6.8°C로 추정되었고 발육완료에 필요한 적산온도는 482.3 DD 이었다. 또한 월동번데기 발육률과 온도와 비선형적 관계는 Gaussian 모형으로 잘 설명되었다. 적산온도 모형으로 50% 성충우화일을 예측한 결과 실측치와 편차가 1일로 적중률이 높았다. 또한 발육모형과 발육완료시기 분포모형(Weibull 함수)을 이용한 발육률 적산모형의 예측치는 실측치의 우화양상과 유사하였다. 본 연구결과는 향후 호박과실파리의 관리전략 수립에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- Allen, J. C., 1976: A modified sine wave method for calculating degree days. *Environmental Entomology* **5**, 388-396.
- Fisher, S. R., W. P. Kemp, and F. B. Pierson. 1996: *Aulocara elliolti* (Othoptera: Acarididae): diapause termination, postdiapause development, prediction of hatch. *Environmental Entomology* **25**, 1118-1166.
- Footo, R. H., F. L. Blanc, and A. L. Norrbom, 1993: *Handbook of the Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) of America and North of Mexico*. Ithaca, NY/London: Comstock. 571pp.
- Han, H. Y., and Y. J. Kwon, 2000: Economics insects of Korea 3 (Diptera: Tephritidae). *Insecta Koreana Supplement* **10**, 113. (in Korean with English abstract)
- Han, M. J., S. H. Lee, S. B. Ahn, J. Y. Choi, and K. M. Choi, 1994: Distribution, damage and host plants of pumpkin fruit fly, *Paradacus depressa* (Shiraki). *RDA Journal of Agricultural Science*, 346-350. (in Korean with English abstract)
- Huang T. C., Edward Y. C., C. H. Kao, Y. B. Hwang, and M. Y. Chiang, 2006: Area-wide control of the Oriental fruit fly and Melon fly in Taiwan. *Proceeding of the International Symposium on Area-Wide Management of Insect Pests*, 137-146.
- Jandel Scientific, 1996: *Table Curve 2D Software*. San Rafael, CA.
- Jeon, S. W., 2008: Biological characteristics of *Bactrocera (Paradacus) depressa* (Shiraki) 39pp. M. S. Thesis, Chonbuk National University. (in Korean with English abstract)
- Kim, T. H., J. S. Kim, and J. H. Mun, 1999: Distribution and bionomics of *Bactrocera (Paradacus) depressa* (Shiraki) in Chonbuk province. *Korean Journal of Soil Zoology* **4**, 26-32. (in Korean with English abstract)
- Kim, J. S., 1999: Distribution and life cycle of *Bactrocera (Paradacus) depressa* (Shiraki) in Chonbuk Province. 28pp. M. S. Thesis, Chonbuk National University. (in Korean with English abstract)
- Kim, T. H., and J. S. Kim, 2002: Annual occurrence and bionomics of the pumpkin fruit fly [*Bactrocera (Paradacus) depressa* Shiraki]. *Korean Journal of Soil Zoology* **7**, 1-5. (in Korean with English abstract)
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2006: Agricultural statistics (<http://www.maf.go.kr/index.jsp>).
- National Plant Quarantine Service, 2004: (<http://www.npqqs.go.kr>)
- Prokopy, R. J., and J. J. Duan, 1998: Socially facilitated egg laying behavior in Mediterranean fruit flies. *Behavioral Ecology and Sociobiology* **42**, 117-122.
- Reuven, D., J. P. Ronald, R. P. Dan, and J. D. Jian, 2001: Egg Laying Behavior of Mediterranean Fruit Flies (Diptera: Tephritidae): Is Social Facilitation Important? *The Florida Entomologist* **84**, 665-671.
- Roger, I. V., F. L. M. Ronald, W. Lyle, and B. J. Eric, 2006: Successful utilization of the Area-wide approach for the management of fruit flies in Hawaii. *Proceeding of the International Symposium on Area-Wide Management of Insect Pests*, 31-40.
- SAS Institute, 1999: *SAS/STAT User's Guide (Release 6.11 Ed.)* SAS Institute, Cary, NC.
- Seo, Y. D., S. Park, E. J. Ban, J. Y. Yang, T. J. Kang, H.-Y. Jeon, and D. S. Kim, 2008: Oviposition behavior of pumpkin fruit fly, *Bactrocera depressa* (Tephritidae: Diptera) in a cage environment. *Journal of Subtropical Agriculture and Biotechnology* **24**, 43-47.



- Smith, A. U., 1992: Modeling the development and survival of eggs of pea weevil (Coleoptera: Bruchidae). *Environmental Entomology* **21**, 314-321.
- Sunday E., W. N. Peterson, and L. C. Chiou, 2007: Adaptation to and small-scale rearing of invasive fruit fly *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae) on artificial diet. *Annals of the Entomological Society of America* **100**, 562-567.
- Taylor, R. A. J., 1981: The behavioural basis of redistribution. II. Simulations of the delta-model. *The Journal of Animal Ecology* **50**, 587-604
- Vargas R. I., and S. Mitchell, 1987: Two artificial larval diets for rearing *Dacus latifrons* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology* **80**, 1337-1339.
- Yoshifumi, T., 1952: On ecology of pumpkin fruit fly. *Applied Insect* **8**, 14-18.