

호박꽃과실파리 온도 발육모형

전성욱* · 조명래 · 김양표¹ · 이상계¹ · 김소형² · 유진² · 이종진² · 황창연²

국립원예특작과학원, ¹국립농업과학원, ²전북대학교 농생물학과

Temperature-dependent Development Model of the Striped Fruit Fly, *Bactrocera scutellata* (Hendel) (Diptera: Tephritidae)

Sung-Wook Jeon*, Myoung-Rae Cho, Yang-Pyo Kim¹, Sang Guei Lee¹, Jong-Jin Lee², So-Hyung Kim², Jin Yu² and Chang-Yeon Hwang²

Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Suwon 441-440, Korea;

¹Crop Protection Division, Department of Agricultural Biology, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea;

²College of Agriculture and Life Sciences, Chonbuk National University, Chonju, Chonbuk 561-756, Korea

ABSTRACT: The striped fruit fly, *Bactrocera scutellata*, damages pumpkin and other cucurbitaceous plants. The developmental period of each stage was measured at seven constant temperatures (15, 18, 21, 24, 27, 30, and 33±1.0°C). The developmental time of eggs ranged from 4.2 days at 15°C to 0.9 days at 33°C. The developmental period of larvae was 4.2 days at 15°C, and slowed in temperatures above 27°C. The developmental period of pupa was 21.5 days at 15°C and 7.6 days at 33°C. The mortality of eggs was 17.1% at 15°C and 22.9% at 33°C, Larval mortalities (1st, 2nd, 3rd) were 24.1, 27.3 and 18.2%, respectively, at 15°C, Pupal mortalities were 18.2% at 15°C and 23.1% at 33°C. The relationship between developmental rate and temperature fit both a linear model and a nonlinear model. The lower threshold temperatures of eggs, larvae, and pupae were 12.5, 10.7, and 6.3°C, respectively, and threshold temperature of the total immature period was 8.5°C. The thermal constants required to complete the egg, larval, and pupal stages were 33.2, 118.3, and 181.2 DD, respectively. The distribution of each development stages was described by a 3-parameter Weibull function.

Key words: *Bactrocera scutellata*, striped fruit fly, linear model, Weibull function

초록: 호박의 주요 해충인 호박꽃과실파리 [*Bactrocera scutellatus* (Hendel)]를 함온함습기(24±1.0°C, 70±5% RH, 14L:10D) 7개 온도(15, 18, 21, 24, 27, 30, 33±1.0°C, RH 70±5%, 14L:10D)에서 온도발육실험을 수행하였다. 알의 온도별 발육기간은 15°C에서 4.2일로 가장 길었고 33°C에서 0.9일이 걸려 온도가 증가할수록 발육기간은 짧아지는 경향을 보였다. 유충은 2령을 제외한 1, 3령에서 온도가 증가할수록 발육기간이 짧아지다가 27°C 이상에서는 발육 속도가 둔화하였다. 번데기 기간은 15°C에서 21.5일로 가장 길었고 33°C에서 7.6일로 온도가 증가할수록 짧아졌다. 알의 사망율은 33°C에서 22.9%로 가장 높았으며, 유충의 사망율은 15°C에서 1, 2, 3령 각각 24.1, 27.3, 18.2% 33°C에서는 14.8, 17.4, 31.6%를 보여 고온과 저온에서 가장 높았다. 번데기 발육기간중의 사망율은 15°C에서 18.2, 33°C에서 23.1%였다. 알, 유충, 번데기 기간의 발육영점온도는 12.5, 10.7, 6.3°C였고, 발육기간 동안의 발육영점온도는 8.5°C였으며 알, 유충, 번데기의 발육단계별 유효적산온도는 33.2, 118.3, 181.2일도였다. 각각의 온도에서 개체들의 발육기간을 평균 발육기간으로 나눈 값들을 3-parameter의 Weibull 함수에 적용한 결과 r² 값이 0.78-0.86 이었다.

검색어: 호박꽃과실파리, 발육모델, 유효적산온도, 발육완료 분포 모델

과실파리류는 전 세계적으로 약 500속 4,000여종이 기록되어 있으며, 약 250여 종이 대표적 경제 작물인 박과류(호박, 수박

메론)와 오렌지 사과, 체리 등의 과실을 가해하는 해충으로 알려져 있다(White and Elson-Harris, 1992; Foote *et al.*, 1993; Han and Kwon, 2000). 우리나라 과실파리류는 45속 85종이 보고되어 있다(Han and Kwon, 2000). 이러한 과실파리류 중 박과작물을 가해하는 과실파리로는 호박과실파리 [*Bactrocera depressa* (Shiraki)]와 호박꽃과실파리 [*Bactrocera scutellatus* (Hendel)]

*Corresponding author: sw3109@gmail.com

Received October 6 2011; Revised November 4 2011;

Accepted December 3 2011

두 종이 있다(Kim *et al.*, 1999; Jeon, 2008; Kim *et al.*, 2010).

호박꽃과실파리는 한국, 일본, 대만, 중국, 부탄, 태국, 인도, 말레이시아에 분포하며 (Han *et al.*, 1994; Kim *et al.*, 2010), 하늘타리속의 수꽃을 야생기주로 삼고 있다(Shiraki, 1968). 호박꽃과실파리는 산간지대와 평야지대 모두에서 발견되며, 교미한 암컷이 개화중인 호박수꽃의 화관을 뚫고 꽃 내부에 산란을 하여 알에서 부화한 유충이 수꽃 봉오리를 섭식하는 것으로 알려져 있다(Shiraki 1968; Han and Kwon, 2000; Kim *et al.*, 2010). 호박꽃과실파리에 관한 연구는 일본에서 *Trichosanthes cucumeroides*의 식물에서 성충이 우화한 기록(Tanaka, 1936), *Melothria liukuensis*의 꽃과 *Lasioptera* sp.가 만든 식물의 충영과 야생 조롱박에서 유충이 발견되었다는 보고(Sugimoto *et al.*, 1988), *Trichosanthes laceribracteata*, *T. miyagii*, *T. multiloba*, *T. ovigera*의 수꽃에서 유충이 발견된 기록이 있으며(Ohno *et al.*, 2006), 최근 Miyatake *et al.*(2000)의 트랩을 이용한 연중 발생소장에 관한 기록이 있다. 중국에서는 유충의 기주가 배(*Pyrus communis*)라는 기록이 있다(Yang, 1988).

우리나라에는 Jung(1994)의 국내 발생소장 조사와 보길도와 자개도의 채집기록(Kim and Chang, 1982)이 있으며 최근 들어 Kim *et al.*(2010)이 호박꽃과실파리 성충이 호박 수꽃만이 아닌 암꽃과 어린과육도 산란한다는 연구 결과가 있다.

현재까지 우리나라에서는 호박꽃과실파리를 비롯한 과실파리류에 관한 생태 연구가 미미한 실정이나 과실파리류의 피해는 매년 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 박과류에 피해를 주고 있는 호박꽃과실파리의 온도와 발육과의 관계를 구명하고 발육 모형을 수립하여 호박꽃과실파리의 발생시기예측, 방제 전략 수립을 위한 기초 자료로 이용하고자 시험을 수행하였다.

재료 및 방법

실험 곤충 사육

호박꽃과실파리는 2009년 전북 완주군 진안읍 일대 호박재배지에서 호박꽃과실파리에 의해 피해를 받은 호박 수꽃으로부터 3령의 노숙 유충을 수거한 후, 항온항습기 (24±2°C, RH 70±5%, 14L:10D)에서 누대 사육한 개체를 이용하였다. 유충의 먹이는 호박꽃과실파리 성충의 접근이 차단된 비닐하우스에서 개화되지 않은 애호박 수꽃을 수거하여 냉장고(4°C)에 보관하며 꽃잎을 제거한 후 먹이로 공급하였다. 성충 개체군 유지 및 채란을 위해 아크릴사육상(35×35×35 cm)에 인공먹이(전지분유, yeast hydrolysate, 설탕)를 1:1:3의 비율로 조성하여 공급하고, 한천을 이용하여 3%의 별도 수분을 공급하는 방법을 사용하였다.

온도 발육 실험

항온항습기(24±2°C, RH 70±5%, 14L:10D)에서 누대 사육 사육중인 호박꽃과실파리 성충 중 짝짓기 한 암컷 약 50마리를 먹이가 들어있는 별도의 아크릴사육상(35×35×35 cm)에 따로 분리 한 후, 삼각플라스틱에 물을 넣고 호박 수꽃 8개를 한 묶음으로 공급하면서 24시간 간격으로 산란을 받았다. 수거한 알은 페트리디쉬(직경 5 cm, 높이 1 cm)에 필터페이퍼를 깔고 7개 항온항습기(15, 18, 21, 24, 27, 30, 33±1.0°C RH 70±5%, 14L:10D)에 각각 30개체씩 넣어 개체사육을 하였다. 알기간은 성충이 산란하여 1령 약충으로 부화한 날까지 약충 기간은 알에서 부화하여 1, 2, 3령충을 거쳐 번데기가 된 기간까지 번데기 기간은 번데기가 된 직후부터 성충으로 우화할 때 까지로 계산하였다. 각 온도에 따른 단계별 발육 조사는 12시간 간격으로 수행하였으며 탈피각의 존재 유무를 기준으로 발육태 변화를 판정하였다.

발육모형 및 발육분포모형

선형 발육모형

온도와 발육과의 관계는 Campbell *et al.*(1974)의 최소자승법(수식 1)을 사용하였고 온도에 따른 영기별 발육율은 발육단계별 발육기간의 평균값에 역수를 온도별 발육속도로 바꾸어 계산하였다.

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

$r(T_c)$ 은 발육율, T_c 는 대기온도(°C)를 나타낸다. a 는 직선회귀식의 기울기 b 는 y 절편의 추정치를 나타낸다. 직선회귀식은 각 단계별 모든 영기를 분석하였고, 매개변수의 추정은 SAS PROC REG(SAS Institution, 1999)를 사용하였다. 발육단계별 발육영점온도는 직선회귀식의 X 절편($-b/a$)이며, 발육완료율을 위한 유효적산온도는 기울기의 역수 값이 된다($1/a$).

비선형 발육모형

Logan *et al.*(1976)을 변형한 Lactin 2(Lactin *et al.*, 1995)의 모형을 사용하였다(수식 2).

$$r(T) = e^{\rho T} - e^{\left[\rho T_{\max} - (T_{\max} - T)/\Delta\right]} + \lambda \quad (2)$$

$r(T)$ 는 온도에 따른 발육율, ρ 는 최적온도를 찾기위한 매개변수, T_{\max} 는 발육율 상한온도와의 차이, λ 는 발육영점온도 추정 값이다.

발육완료 분포모형

발육단계별 발육완료 분포 모형을 구하기 위해 3-parameter Weibull함수 모형을 사용하였다(Wagner *et al.*, 1984) (수식 3).

$$F(x) = 1 - \exp[-((x - \gamma)/\eta)^\beta] \quad (3)$$

F(x)는 동일한 연령집단의 개체들 중에서 다음 연령단계로 발육이 완료된 누적 개체수들의 비율, x는 표준화된 시간, γ , η , β ,는 매개변수로 Window용 TableCurve 2D ver. 5.01을 사용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

온도에 따른 발육 특성 및 발육 모형

온도별 알의 발육기간은 15°C에서 4.2일로 가장 길었고 33°C에서 0.9일로 온도가 증가할수록 짧아지는 경향을 보였다(Table 1). 1, 3령 유충은 온도가 증가 할수록 발육기간이 짧아졌다. 번데기는 15°C에서 21.5일로 발육기간이 가장 길었고 33°C에서

7.6일로 온도가 증가할수록 짧아졌으며, 알에서 번데기까지 전체 발육기간은 15°C에서 38.5일이었고 33°C에서 12.0일이 소요되었다(Table 1).

사망률은 알은 15°C에서 17.1%였고 33°C에서 22.9%였다(Table 2). 유충은 1, 2, 3령충 모두 15°C에서 24.1, 27.3, 18.2%였고 33°C에서는 14.8, 17.4, 31.6%를 보여 고온과 저온에서 사망률이 높은 경향을 보였으며, 번데기도 15°C에서 18.2%, 33°C에서 23.1%의 사망률을 보였다(Table 2). 전체적으로 21-27°C 사이가 사망률이 낮은 값을 나타냈다.

발육기간과 사망률과의 관계를 종합해 보면 18°C 이하와 27°C 이상이의 온도 조건에서 발육율이 저하되고 사망률도 높아 21-27°C가 생육에 적합한 온도 범위로 판단된다(Table 1, 2).

알, 유충, 번데기의 발육단계별 발육영점온도는 12.3, 10.7, 6.3°C였고 전체 발육기간 동안의 발육영점온도는 8.5°C였다(Table 3, Fig. 1). 알의 경우 호박과실파리에 비해 상당히 높은 발육영점온도를 보였으나 토마토 과실파리가 11.4°C로 비슷한 경향을 보였다(Thierry and Quilici, 2000). 발육단계별 선형모형의 r^2 값은 0.93-0.98, 비선형모형(Lactin 2)의 r^2 값은 0.98-0.99

Table 1. Developmental period (day, mean±SE) of each stage of *Bactrocera scutellata* under seven constant temperatures with a photoperiod of 14L:10D

Temp. (°C)	Egg	Larva			Pupa	Total immature
		1st	2nd	3rd		
15	4.2±0.67a*	3.6±0.27 a	3.0±0.27 a	6.6±2.49 a	21.5±3.98 a	38.5±5.78 a
18	3.5±0.56 b	3.2±0.45 b	2.5±0.36 b	5.8±0.70 b	17.0±2.05 b	31.6±4.09 b
21	2.8±0.48 c	2.7±0.46 c	2.4±0.40 b	3.2±0.54 c	14.8±2.34 c	26.4±4.19 c
24	2.3±0.40 d	2.0±0.34 d	1.6±0.26 c	2.1±0.34 d	11.6±1.74 d	20.2±3.07 d
27	1.4±0.24 e	1.0±0.17 e	1.5±0.23 c	1.6±0.22 de	10.9±1.43 e	16.5±2.29 e
30	1.1±0.19 f	1.0±0.15 e	1.4±0.20 c	1.5±0.19 de	8.3±1.14 f	13.4±1.86 f
33	0.9±0.16 g	1.0±0.14 e	0.7±0.07 d	1.9±0.15 e	7.6±0.42 g	12.0±0.93 g

* Within a column, means with same letter are not significantly different (P>0.05).

Table 2. Mortalities of eggs, larvae, and pupae of *Bactrocera scutellata* under seven constant temperatures with a photoperiod of 14L:10D

Temp. (°C)	n.	Mortality(%)					
		Egg	Larva			Pupa	Total
			1st	2nd	3rd		
15	35	17.1	24.1	27.3	31.3	18.2	74.3
18	35	14.3	13.3	11.5	4.3	4.5	40.0
21	35	2.9	2.9	0.0	3.0	3.1	11.4
24	35	0.0	2.9	2.9	6.1	3.2	14.3
27	35	0.0	8.6	6.3	3.3	3.4	20.0
30	35	14.3	13.3	7.7	8.3	9.1	42.9
33	35	22.9	14.8	17.4	31.6	23.1	71.4

Table 3. Lower threshold temperature and thermal constants for *Bactrocera scutellata* estimated by linear regression

Stages	Regression equation	r ²	Developmental threshold(DT)	Degree days(DD)
Egg	y=0.0503x-0.628	0.93	12.30	28.5
larva	y=0.0132x-0.122	0.99	10.70	101.4
Pupa	y=0.0048x-0.029	0.98	6.30	155.3
Total immature	y=0.0033x-0.028	0.98	8.50	255.0

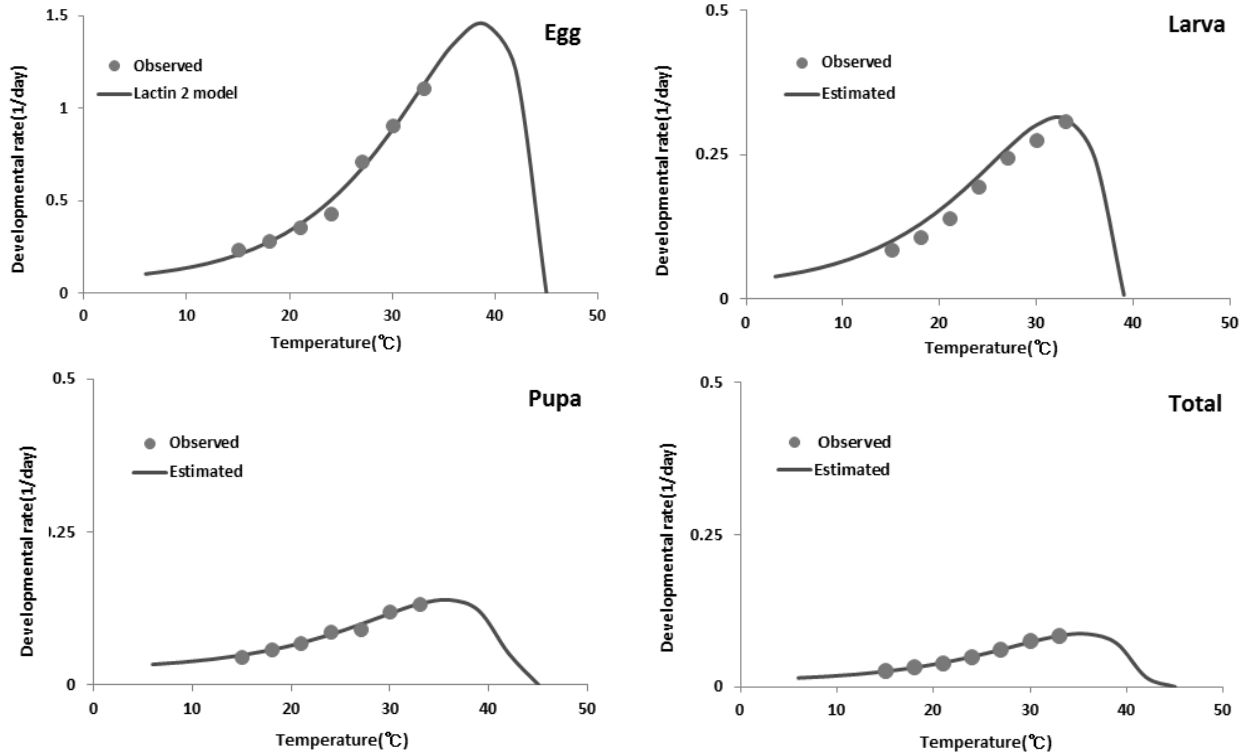


Fig. 1. Developmental rate (1/d) curve of *Bactrocera scutellata* at various temperatures.

Table 4. Estimated parameters of a non-linear model for developmental stages of *Bactrocera scutellata*

Parameters	Egg	Larva	Pupa	Total
ρ	0.16	0.15	0.14	0.14
T_{max}	45.14	38.91	42.65	42.25
Δ	6.29	6.72	6.98	6.98
λ	0.06	0.02	0.02	0.01
r ²	0.99	0.98	0.99	0.99

로 선형모형과 비선형모형 모두가 적합함을 보였으나 비선형 모형의 r²이 더 높은 경향을 보였다(Table 3, 4). 발육단계별 유효적산온도는 28.5, 101.4, 155.3일도였으며, 전체 유효적산온도는 255.0일도였다(Table 3).

이러한 결과는 국내 근연과실파리인 호박과실파리(Jeon, 2008)의 발육영점온도(5.9°C)와 비슷하였으나, 유효적산온도

의 경우 호박과실파리(731.6일도)와는 상당한 차이를 보였다(Table 3). 이러한 차이는 호박과실파리에 비해 호박꽃과실파리의 크기가 상대적으로 작기 때문인 것으로 생각된다.

발육완료 분포모형

Curry *et al.*(1978)의 방법으로 동일 연령집단의 발육 완료 분

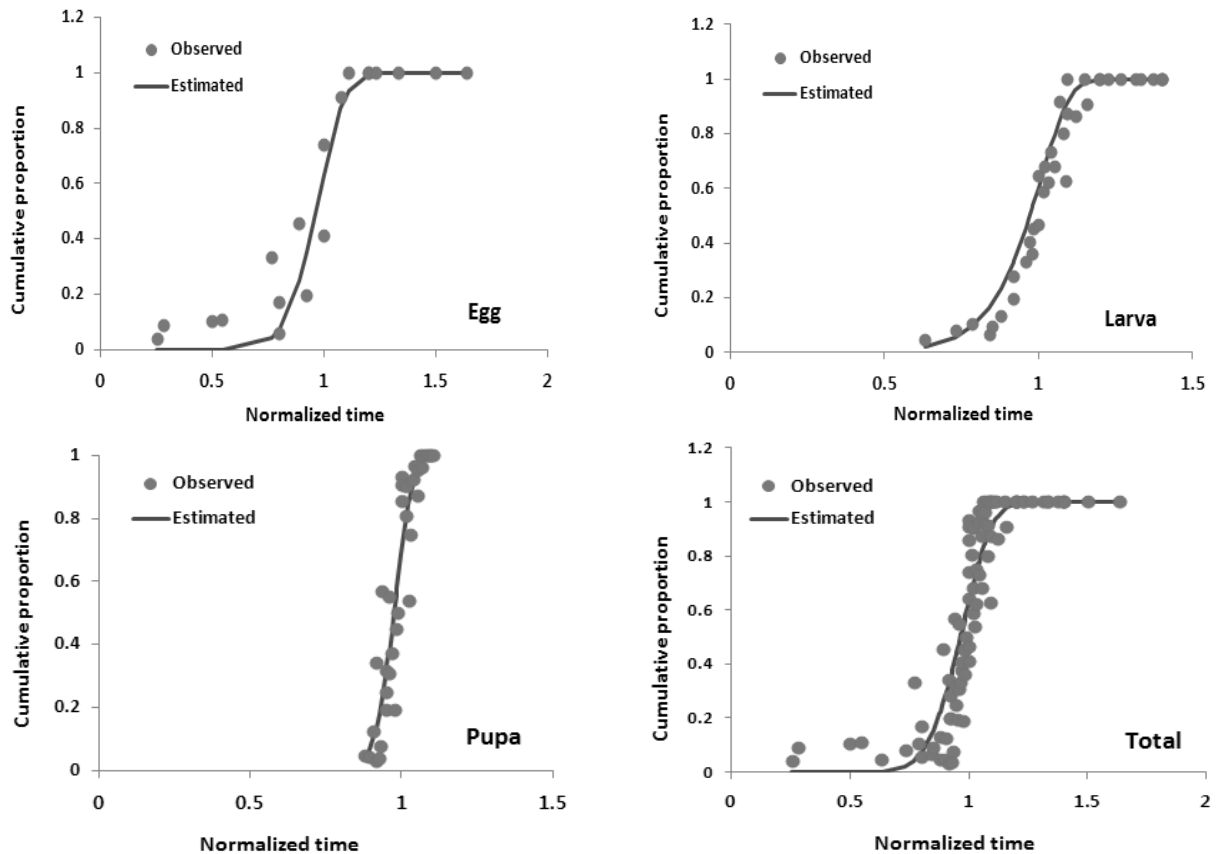


Fig. 2. Cumulative proportions for the development completion time of *Bactrocera scutellata* in egg, larval, pupal, and total immature stages as a function of normalized time.

Table 5. Estimated parameters (mean \pm SE) of a 3-parameter Weibull distribution model for pre-adults stages of *Bactrocera scutellata*

Parameters	Egg	Larva	Pupa	Total
η	0.5 (0.1239)	0.688 (0.7023)	0.239 (0.2900)	0.5 (0.1319)
β	5.0 (1.8510)	7.514 (8.0272)	4.99 (6.4765)	5.0 (1.4654)
γ	0.5 (1.8510)	0.339 (0.7003)	0.754 (0.2872)	0.5 (0.1310)
r^2	0.91	0.96	0.87	0.85

포를 추정하였다. 주어진 온도 조건에서의 각각의 개체들의 발육기간을 발육기간의 평균으로 나눈 3-parameter의 Weibull함수에 적용시켰다. 발육단계 중 알의 경우를 제외한 유충과 번데기 단계에서 발육 평균 완료시기를 중심으로 분포하여 동일 온도 조건에서의 발육기간의 변이가 적은 것으로 판단되며(Fig. 2), r^2 값도 0.81-0.86으로 모형의 적합성을 보였다(Table 5).

이상의 결과를 종합해 볼 때, 호박꽃과실파리의 온도별 발육에 관한 자료를 토대로 실제 포장에서 유충의 발생 시기와 발생 패턴 및 방제 시기의 결정의 기초 자료로 이용이 가능할 것으로

판단된다. 또한 앞으로 성충의 산란과 생존 모형이 개발될 경우 개체군 밀도 변동 예측 모형 개발도 가능하리라 생각된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 농업현장 신문제 해충 발생 생태 및 방제 연구와 일부 2010년 전북대학교 식물의학연구센터의 지원 사업에 의하여 수행되었습니다.

Literature Cited

- Campbell, A., B.D. Frazer, N. Gilbert, A.P. Gutierrez and M. Markauer. 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. *J. Appl. Econ.* 11: 431-438.
- Curry, G.L., R.M. Feldman and K.C. Smith. 1978. A stochastic model of a temperature-dependent population. *J. Theor. Pop. Biol.* 13: 197-213.
- Foote, R.H., F.L. Blanc and A.L. Norrbom. 1993. Handbook of the fruit flies (Diptera: Tephritidae) of America North of Mexico. Ithaca, NY/London: Comstock. 571 pp.
- Han, H.Y. and Y.J. Kwon. 2000. Economic Insects of Korea 3. Diptera(Tephritidae) 113 pp.
- 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 depressus* (Shiraki) RDA. *J. Agri. Sci.* 36: 346-350.
- Jeon, S.W. 2008. Biological characteristics of *Bactrocera (Paradacus) depressa* (Shiraki). 39pp. M. S. Thesis, Chonbuk National Univ.
- Jung, H.K. 1994. Check list of insects from Korea. Konkuk Univ. press. 744 pp.
- Kim, J.I. and K.S. Chang. 1982. On the summer seasonal insects from the group of Soan island, Wando-kun. Report on the survey of natural environment in Korea, 2: 161-184. *Kor. Cen. Coun. Nat. Preserv.*
- Kim, T.H., J.S. Kim and J.H. Mun. 1999. Distribution and bionomics of *Bactrocera(Paradacus) depressa* (Shiraki) in Chonbuk Province. *Kor. J. Soil Zool.* 4: 26-32.
- Kim, Y.P., S.W. Jeon, S.G. Lee, N.J. Choi and C.H. Hwang. 2010. Seasonal occurrence and damage of *Bactroera scutellata* (Diptera: Tephritidae) in Jeonbuk province. *Kor. J. Appl. Entomol.* 49: 299-304.
- 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: 68-75.
- Logan, J.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: 1133-1140.
- Miyatake, T., H. Kuba and J. Yukawa. 2000. Seasonal occurrence of *Bactrocera scutellata*(Diptera:Tephritidae), a cecidophage of stem galls produced by *Lasioptera* sp.(Diptera: Cecidomyiidae) on wild gourds (Cucurbitaceae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 93: 1274-1279.
- Ohno, S., D. Haraguchi and T. Kohama. 2006. New host and distribution records of the fruit fly, *Bactrocera scutellata* (Hendel) (Diptera: Tephritidae), in southwestern Japan, and a case of infestation of the species on cucumber fruits at Okinawa island. *Jpn. J. Entomol.* 9: 7-9.
- Thierry, B. and S. Quilici. 2000. Relationships between temperature, development and survival of different life stages of the tomato fruit fly, *Neoceratitis cyanescens*. *Entomologia Entomol. Exp. Appl.* 94: 25-30.
- SAS Institute. 1999. SAS version 9.1, SAS, Institute Cary, N.C.
- Shiraki, T. 1968. Fruit flies of the Ryukyu islands. United States national museum bulletin 263 pp.
- Sugimoto, S., M. Kanda, K. Tanaka and M. Tao. 1988. Some biological note on *Dacus scutellatus*(HENDEL). *Res. Buill. Pl. Prot. Japan* 24: 49-51.
- Tanaka, K. 1936. On *Zeugodacus bezzii* Miyake. *Nojikairyo-shiryō* 106: 42-46.
- Wagner. T.L., P.J. Wu, H. Sharpe, R. M. Schoolfield and R.N. Coulson. 1984. Modeling distribution of insect development rate: a literature review an application of a biophysical model. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77: 208-225.
- White, I.M. and M.M. Elson-Harris. 1992. Fruit flies of economic significance: Their identification and bionomics. ed. 252 pp. CAB International, UK.
- Yang, P. 1988. Status of fruit fly research in China. Research institute of Entomology Zhongshan(Sun Yatsen) Univ. 29p.