

흰띠명나방의 온도발육 모형

이상구* · 김 주¹ · 정성수¹ · 김연국 · 이상계 · 황창연²

국립농업과학원, ¹전라북도농업기술원, ²전북대학교 농업생명과학대학

Temperature-dependent Development Model of Hawaiian Beet Webworm *Spoladea recurvalis* Fabricius (Lepidoptera: Pyraustinae)

Sang-Ku Lee*, Ju Kim¹, Seong-Soo Cheong¹, Yeon-Kook Kim, Sang-Guei Lee and Chang-Yeon Hwang²

Crop Protection Division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Republic of Korea

¹Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 570-704, Republic of Korea

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

ABSTRACT: The Hawaiian beetle webworm (*Spoladea recurvalis*) is one of the serious insect pests found on red beet (*Beta vulgaris* var. *conditiva*) in Korea. The study was conducted to investigate the development period of *S. recurvalis* at various constant temperatures, 15.0, 17.5, 20.0, 22.5, 25.0, 27.5, 30.0, 32.5 and 35.0°C, with 65±5% RH and a photoperiod of 16L:8D. The developmental period from egg to pre-adult was 51.0 days at 17.5°C and 14.6 days at 35.0°C. The developmental period of *S. recurvalis* was decreased with increasing temperature. The relationship between the developmental rate and temperature was fitted well by linear regression analysis ($R^2 \geq 0.87$). The lower developmental threshold and effective accumulative temperature of the total immature stage were 10.4°C and 384.7 degree days, respectively. The nonlinear relationship between the temperature and developmental rate was well described by the Lactin model. The relationship between the cumulative frequency and normalized distributions of the developmental period for each life stage were fitted to the Weibull function with $R^2=0.63 \sim 0.87$.

Key words: *Spoladea recurvalis*, Lower development threshold, Weibull distribution, Linear and nonlinear developmental rate model

초 록: 비트의 주요 해충인 흰띠명나방을 9개의 다른 온도조건(15.0, 17.5, 20.0, 22.5, 25.0, 27.5, 30.0, 32.5 및 35.0°C), 상대습도 65±5%, 광조건 16L:8D에서 발육특성을 조사한 결과, 알에서 성충 우화 전까지의 발육기간은 17.5°C에서 51.0일로 가장 길었고, 35°C에서 14.6일로 가장 짧게 조사되었다. 온도와 발육율의 관계를 직선회귀에 의해 분석한 결과, 결정계수(R^2) 값이 0.87 이상으로 나타났으며, 온도에 따른 발육은 직선회귀에 부합되었다. 알부터 성충 우화 전까지의 발육영점온도와 유효적산온도는 10.4°C와 384.7일도를 나타내었다. 각 태별 발육모형은 R^2 값이 0.97~0.99로 비선형회귀식에 잘 부합되었다. 각 태별 발육누적분포와 발육기간에 대한 평균 발육기간으로 나눈 값을 Weibull 함수에 적용한 결과 r^2 값이 0.63~0.87이었다.

검색어: 흰띠명나방, 발육영점온도, 발육완료 분포 모델

비트(*Beta vulgaris* var. *conditiva*)는 중심자목(Caryophyllales)의 명아주과(Chenopodiaceae)에 속하는 두해살이 식물로서 유럽남부가 원산지이며, 기원전 10세기경부터 약용으로 이용하였으며, 유럽에서는 17~18세기부터 재배가 이루어졌으나, 우리나라에서는 재배역사가 짧다. 무(*Raphanus sativus*)와는 달

리 땅 위에서 비대되는데 구형 또는 긴 원추형으로 비대된 뿌리이며, 비교적 재배가 쉽고, 뿌리는 샐러드용으로, 잎은 쌈채로 식물체 전체를 식용할 수 있어 외국에서는 집에서 손쉽게 재배하는 인기작물이다(Kim et al., 1999).

비트를 가해하는 해충은 도둑나방(*Mamestra brassicae*), 흰띠명나방(*Spoladea recurvalis*), 담배겨세미나방(*Spodoptera litura*), 파밤나방(*Spodoptera exigua*), 배추좀나방(*Plutella xylostella*), 양배추은무늬밤나방(*Trichoplusia ni*), 길쭉바구미(*Lixus imperpressiventris*), 굴파리류(Agromyzidae spp.) 등이 보고되었다(Lim et al., 2009).

*Corresponding author: leesk3316@hanmail.net

Received April 16 2012; Revised November 15 2012

Accepted January 4 2013

흰띠명나방(*S. recurvalis*)은 이문나방아목(Ditrysia), 명나방상과(Pyraloidea), 포충나방과(Crambidae)의 들명나방아과(Pyraustinae)에 속하며, 우리나라에서는 6~11월에 발생하고 발생최성기는 8월 중순이다(Park, 1993; Bae, 2001). 한국과 일본에서 *Hymenia*속으로 취급되었으나, 최근 Bae and Paek(2006)와 Shirai(2006)은 *Spoladea*속으로 취급하고 있다. 한국, 일본, 중국, 인도, 오스트레일리아, 하와이, 아메리카 및 아프리카 등의 열대와 아열대 지역에 널리 분포하고(Walker and Anderson, 1940; Batra and Bhattacharjee, 1960; Suehiro, 1960; Bhattacharjee and Menon, 1964), 명아주과, 비름과(Amaranthaceae), 백합과(Liliaceae) 등을 가해하며, 특히 엽채류인 시금치, 근대, 비트 등의 작물에서 피해를 주고 있다(Bae and Paek, 2006).

대부분의 엽채류는 생식을 하기 때문에 신선도와 안전성이 요구되고 있어, 안전농산물 생산을 위한 친환경적 해충종합방제(IPM) 기술이 크게 요구되는데, 명아주과 엽채류에서 돌발해충으로 피해가 증가하고 있는 흰띠명나방은 분류학적 곤충상 조사와 관련된 연구가 주로 이루어져 있고(Park, 1979, 1993; Shin and Cheong, 1992; Park et al., 1997; Nam et al., 2002; Sohn et al., 2005), 생태 및 생물적 특성에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구는 비트에서 피해 발생량이 증가하고 있는 흰띠명나방을 다른 온도에서 알, 유충, 번데기의 발육과의 관계를 구명하고 발육모형을 수립하여 방제 전략 수립을 위한 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

실험 곤충 사육

흰띠명나방(*S. recurvalis*)은 2010년 전라북도농업기술원의 비트(*B. vulgaris* var. *conditiva*) 재배포장에서 채집하였고, 전라북도농업기술원 곤충사육실(25±2℃, RH 65±5%, 16L:8D)에서 비트를 먹이로 공급하면서 사육하였다.

플러그 트레이(28 × 54 cm) 128구에 원예용상토[바이오생생상토(홍농종묘)]를 넣고 파종하여 비트[디트로이트다크레드비트(아시아종묘)]를 2주간 키운 후, 플라스틱포트(직경 100 mm × 73 mm)에 이식하고 3~4주정도 재배한 비트를 성충이 들어있는 아르킬사육상(300 × 300 × 500 mm)에 10% 설탕물과 함께 넣어주어 산란을 받았으며, 부화한 유충은 곤충사육용기(직경 100 mm × 150 mm)에서 비트 잎을 먹이로 넣어주어 누대사육하면서 실험곤충으로 활용하였다.

온도발육실험

흰띠명나방 성충이 들어있는 아르킬사육상에 비트를 넣고 6 시간동안 산란을 받았으며, 산란된 비트 잎이 건조되지 않도록 곤충사육용기(직경 90 mm × 40 mm)바닥에 여과지(Advantec filter paper No.2, 직경 90 mm)를 깔고, 증류수가 흐르지 않을 정도로 적신 후 그 위에 올려 놓고 관찰하였다.

알기간은 곤충사육용기(직경 90 mm × 40 mm)에 산란된 잎을 넣어두고 부화여부를 확인하여 산란된 날부터 부화된 날까지이며, 유충기간은 부화한 유충을 곤충사육용기(직경 90 mm × 40 mm)에 각각 1마리씩 넣고 신선한 비트 잎을 먹이로 공급하며 탈피각의 유무를 확인하며 부화 유충이 번데기로 될 때까지 각 영기별로 조사하였다.

번데기기간은 곤충사육용기(직경 90 mm × 40 mm) 바닥에 약 1 cm 정도 두께로 모래를 깔아 노령유충이 모래 속에서 고치를 만들 수 있도록 한 후 번데기가 형성될 때부터 우화할 때까지의 기간을 조사하였다.

흰띠명나방 영기별 발육기간 및 생존율을 9단계 온도(15.0, 17.5, 20.0, 22.5, 25.0, 27.5, 30.0, 32.5, 35.0℃)와 상대습도 65±5%, 광주기 16L:8D의 항온기에서 각각 50개체씩을 넣어 개체사육하며 24시간 간격으로 조사하였고, 발육영점온도와 유효적산온도를 구하고 발육분포모형에 적용하였다.

발육모형 및 발육분포모형

온도와 발육기간의 관계는 선형발육모형과 비선형발육모형을 이용하였다. 선형발육모형은 온도별 발육기간의 역수를 취하여 온도별 발육속도로 바꾼 후 온도와의 직선회귀식을 구하였다(수식 1).

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

$r(T_c)$ 은 발육율, T_c 은 대기온도(℃)을 나타내고 a 는 직선회귀식의 기울기, b 는 y 절편의 추정치를 나타낸다.

위의 식으로부터 발육속도가 0이 되는 온도를 발육영점온도로 정하였으며, 유효적산온도는 사육한 온도와 발육영점온도의 차이의 평균을 발육기간에 곱한 값으로 구하였다.

비선형발육모형은 온도발육의 비대칭성에 착안한 Logan et al.(1976)의 모형을 변형해 발육영점온도를 빠르게 결정하고 매개변수를 추정할 수 있도록 수정된 Lactin et al.(1995)의 모형을 이용하였다(수식 2).

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

$r(T)$ 는 T 의 증가율, ρ 는 최적온도까지의 발육증가율, T_{\max} 는 발육상한온도, Δ 는 발육최적온도와 발육상한온도와의 차이, λ 는 발육영점온도의 추정값이다.

매개변수의 추정은 Wagner et al.(1984b)이 제시한 SAS 프로그램을 이용하였다(SAS Institute, 1999).

각 발육단계의 발육완료시기 분포모형은 각 발육기간의 빈도분포를 표준화시켜 얻었다. 즉 각 온도별 발육기간의 중앙값을 이용하여 각 개체들의 발육기간을 나누어 생리적 연령을 구한 다음, 생리적 발육완료기간의 누적빈도를 구하여, 아래의 Weibull 함수에 적용시켜 정규화된 발육완료시기 분포를 얻었다(Wagner et al. 1984a)(수식 3).

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

$f(x)$ 는 정규화된 시간(normalized time) x 에서의 발육을 완료한 개체들의 비율이며, β , γ , η 는 추정되어야 할 매개변수들이다. 이 매개변수의 추정은 Table curve 2D ver. 5.01 프로그램을 이용하였다.

결과 및 고찰

흰띠명나방의 온도발육과 발육모형

흰띠명나방의 각태별 발육기간은 17.5°C에서 알기간은 6.5일, 유충기간은 25.4일, 번데기기간은 19.2일로서 알에서 성충 우화 직전까지 51.0일이 소요되었고, 35°C에서 알기간은 2.2일,

유충기간은 6.2일, 번데기기간은 6.3일로서 알에서 성충 우화 직전까지 14.6일이 소요되어 전체적인 발육기간은 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 15°C에서 알기간은 7.6일이었고, 1령의 기간은 6.6일이었으나 2령부터는 발육하지 못하였다(Table 1)(Egg: F=732.86, df=8, R²=0.94, P=0.0001; 1st instar: F=517.52, df=8, R²=0.92, P=0.0001; 2nd instar: F=274.11, df=7, R²=0.86, P=0.0001; 3rd instar: F=253.61, df=7, R²=0.85, P=0.0001; 4th instar: F=280.96, df=7, R²=0.86, P=0.0001; 5th instar: F=276.34, df=7, R²=0.86, P=0.0001; Pupa: F=2653.81, df=7, R²=0.98, P=0.0001; Total: F=3229.36, df=7, R²=0.99, P=0.0001).

온도에 따른 흰띠명나방의 유충 영기별 사충수는 Table 2과 같다. 17.5~35.0°C의 범위에서 1~2령의 사충수가 가장 많았고, 15.0°C에서는 2령충 이후에 모두 죽었으며, 25.0~30.0°C의 범위에서는 총사충수에 큰 변화가 없었다.

Table 3은 흰띠명나방의 온도별 부화율과 우화율을 나타낸 것이다. 알의 부화율은 15.0°C, 17.5°C와 35.0°C를 제외한 나머지 온도에서 90.0% 이상이였으며, 우화율은 25°C에서 91.5%로 가장 높았고, 35°C에서 57.1%로 가장 낮았으며, 15°C에서는 우화를 하지 않았다.

20.0~32.5°C의 넓은 범위에서 유충의 사충수, 부화율과 우화율에 큰 차이를 보이지 않았는데, 이는 야외에서도 오랜기간동안 발생하여 농작물에 피해를 줄 수 있을 것으로 생각된다.

Bhattacharjee and Menon(1964)와 Yamada et al.(1979)는 15°C에서 알이 부화는 하지만 번데기와 성충으로 우화할 수 없다고 보고하여 본 실험과 동일하였다.

Yamada and Koshihara(1976)는 시금치와 근대를 먹이로 하여 발육기간을 조사한 결과, 20°C에서 알, 유충, 번데기기간이 각

Table 1. Developmental period (day, mean±SE) for stage-specific of *S. recurvalis* at various temperatures in the laboratory

Temp. (°C)	Egg	Larva					Pupa	Total
		1st	2nd	3rd	4th	5th		
15.0	7.6±0.07 a	6.6±0.14 a	-	-	-	-	-	-
17.5	6.5±0.10 b	5.3±0.09 b	4.8±0.09 a	4.8±0.09 a	5.0±0.07 a	5.5±0.10 a	19.2±0.12 a	51.0±0.25 a
20.0	5.4±0.08 c	3.6±0.08 c	3.1±0.05 b	3.0±0.02 b	3.2±0.06 b	4.2±0.06 b	15.3±0.08 b	37.8±0.27 b
22.5	4.4±0.07 d	3.0±0.02 d	2.5±0.08 c	2.6±0.07 c	2.7±0.07 c	3.4±0.08 c	13.6±0.08 c	32.2±0.17 c
25.0	3.5±0.07 e	2.2±0.06 e	2.2±0.05 d	2.3±0.07 d	2.3±0.07 d	2.8±0.07 d	11.6±0.07 d	26.7±0.15 d
27.5	3.2±0.06 f	2.1±0.04 e	2.0±0.02 de	2.0±0.02 e	2.0±0.03 e	2.4±0.07 e	10.0±0.05 e	23.8±0.11 e
30.0	3.0±0.00 f	2.0±0.00 ef	1.9±0.05 e	1.8±0.06 f	1.9±0.04 e	2.1±0.05 f	8.4±0.07 f	21.0±0.16 f
32.5	2.5±0.08 g	1.8±0.07 fg	1.5±0.08 f	1.4±0.08 g	1.5±0.08 f	1.8±0.06 g	7.3±0.07 g	17.8±0.15 g
35.0	2.2±0.08 h	1.6±0.10 g	1.0±0.00 g	1.0±0.04 h	1.1±0.05 g	1.5±0.10 h	6.3±0.09 h	14.6±0.21 h

Within a column, means with the same letter are not significantly different (P>0.05, Duncan's multiple range test).

Table 2. Death number of *S. recurvalis* at various temperatures in the laboratory

Temp. (°C)	No.*	Death number					Total
		Larva					
		1st	2nd	3rd	4th	5th	
15.0	50	22	28	-	-	-	50
17.5	50	9	6	6	3	2	26
20.0	50	5	3	1	0	1	10
22.5	50	4	1	0	0	2	7
25.0	50	0	1	0	1	1	3
27.5	50	1	1	0	1	1	4
30.0	50	2	0	0	0	0	2
32.5	50	2	3	1	1	2	9
35.0	50	7	5	2	4	4	22

* No. : Number of individuals tested.

Table 3. Egg hatchability and adult emergence of *S. recurvalis* at various temperatures in the laboratory

Temp.(°C)	No.*	Hatchability(%)	No.*	Emergence(%)
15.0	67	74.6	-	-
17.5	70	87.1	24	75.0
20.0	72	91.7	41	85.4
22.5	70	92.9	43	86.1
25.0	74	94.6	47	91.5
27.5	70	92.9	46	89.1
30.0	68	95.6	48	89.6
32.5	75	90.7	41	75.6
35.0	65	87.7	28	57.1

* No. : Number of individuals tested.

각 5.3일, 14.4일, 15.6일이고, 25°C에서 알, 유충, 번데기기간이 각각 3.1일, 11.9일, 8.7일이라고 보고하였는데, 20°C 유충기간과 25°C 번데기기간을 제외한 나머지 발육기간은 본 실험의 결과와 비슷하였다.

Shin et al.(2000)은 25°C에서 목화바둑명나방(*Palpita indica*)의 알기간이 5.2일, 유충기간이 18.9일, 번데기기간이 10.5일이라고 보고하였고, Kim(2002)는 25°C에서 조명나방(*Ostrinia furnacalis*)의 알기간이 4.1일, 유충기간이 20.8일, 번데기기간이 9.1일이라고 보고하였고, Choi et al.(2008)은 25°C에서 세줄콩들명나방(*Omiodes indicatus*)의 알기간이 5.0일, 유충기간이 12.7일, 번데기기간이 8.0일이라고 보고하였는데, 다른 들명나방아과보다 흰띠명나방의 알기간이 짧고, 번데기기간이 긴 것을 알 수 있다.

온도와 발육율의 관계를 직선회귀에 의해서 분석한 결과는 Table 4와 같이 나타났다. 각 발육단계에서 알의 경우 결정계수

(R^2)는 0.92였으며, 유충은 0.87~0.98, 번데기는 0.97, 전체기간이 0.98로 흰띠명나방 발육은 직선회귀에 부합되었다(Egg: $F=83.14$, $df=8$, $R^2=0.92$, $P=0.0001$; 1st instar: $F=39.01$, $df=7$, $R^2=0.87$, $P=0.0008$; 2nd instar: $F=64.27$, $df=7$, $R^2=0.91$, $P=0.0002$; 3rd instar: $F=58.18$, $df=7$, $R^2=0.91$, $P=0.0003$; 4th instar: $F=284.05$, $df=7$, $R^2=0.98$, $P=0.0001$; 5th instar: $F=167.18$ $df=7$, $R^2=0.97$, $P=0.0001$; Pupa: $F=309.10$, $df=7$, $R^2=0.98$, $P=0.0001$; Total: $F=257.24$, $df=7$, $R^2=0.98$, $P=0.0001$).

발육영점온도는 알이 6.9°C, 유충은 10.8~12.4°C, 번데기는 9.7°C이었으며, 알에서 우화까지는 10.4°C이었다. 또한 유효적산온도는 알기간이 66.2일도, 유충기간은 27.2~38.8일도, 번데기기간은 166.0일도이었으며, 알에서 우화까지는 384.7일도이었다.

Yamada and Koshihara(1976)는 유효적산온도가 알기간이 52.7일도, 알에서 우화까지의 기간이 약 340일도라 보고하였는데 본 실험보다는 적었다.

Table 4. Estimated parameters of a linear model regression for pre-adult stages and total immature stages of *S. recurvalis*

	Intercept	Slope	DT**	DD***	R ²
Egg	-0.1556(0.06419)*	0.0227(0.00249)	6.9	66.2	0.92
Larva					
1st	-0.4496(0.15726)	0.0366(0.00585)	12.3	30.0	0.87
2nd	-0.4559(0.12343)	0.0368(0.00459)	12.4	27.2	0.91
3rd	-0.4336(0.12467)	0.0354(0.00464)	12.3	27.4	0.91
4th	-0.3089(0.04306)	0.0270(0.0016)	11.4	30.2	0.98
5th	-0.0489(0.00944)	0.0045(0.00035)	10.8	38.8	0.97
Pupa	-0.0585(0.00918)	0.0060(0.00034)	9.7	166.0	0.97
Total	-0.0269(0.00434)	0.0026(0.00016)	10.4	384.7	0.98

* () : Standard error

** DD : Degree days

*** DT(Development threshold) = intercept/slope.

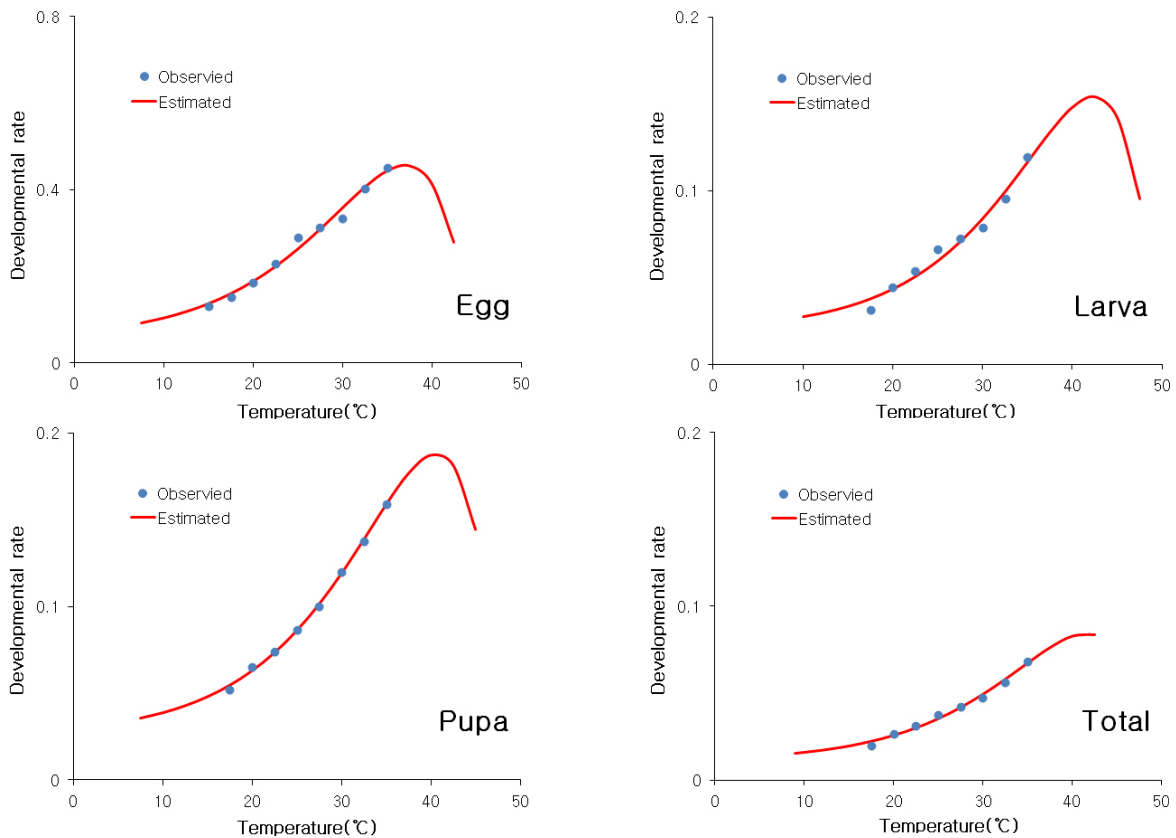


Fig. 1. The relationship between the developmental rate(1/d) and temperature for each developmental stage of *S. recurvalis* at various temperatures.

Shin et al.(2000)은 목화바둑명나방에서 발육영점온도가 알이 13.4°C, 유충이 10.6°C, 번데기가 11.6°C, 전체기간이 11.5°C, 유효적산온도는 알기간이 55.3일도, 유충기간이 251.5일도, 번데기기간이 138.3일도, 전체기간이 346.1일도라고 보고하였고, 본 실험과는 비슷한 경향을 나타내었다.

발육분포모형

Fig. 1은 흰띠명나방의 알, 유충, 번데기기간과 알에서 우화까지의 기간을 15~35°C의 범위에서 Lactin et al.(1995)이 제시한 온도별 발육모형에 적용한 결과를 나타내고 있다. 알, 유충,

변태기를 비교했을 때 결정계수(R^2)는 직선회귀(Table 2)에서는 0.87~0.98인 반면 비선형발육모형(Table 5)은 0.97~0.99로 비선형발육모형이 흰띠명나방의 발육모형을 보다 정확하게 나타내고 있다.

발육기간 분포는 온도에 영향을 받기 때문에 온도조건마다 각기 다른 시간대에 다른 모양으로 나타난다. 이를 표준화하기 위하여 곤충의 발육기간을 물리적 시간에서 생리적 기간(발육기간/평균발육기간)으로 변환하여 Weibull function식을 이용

하여 비선형곡선을 얻었다(Fig. 2). Table 6은 Weibull function식의 매개변수값을 보여주고 있다.

결정계수(R^2)는 각 발육단계별로 0.63~0.87이었으며, 알부터 성충까지의 전체 발육의 분포는 발육시기의 누적빈도분포를 비교적 잘 설명하고 있다.

이상의 결과에서 흰띠명나방의 발육에는 온도가 중요한 영향을 미치며, 흰띠명나방의 증식에 적합한 온도범위는 25.0~30.0°C인 것으로 나타났다. 그러나 이 결과는 실내에서 누대사

Table 5. Estimated parameters of the biophysical developmental rate model for each developmental stage of *S. recurvalis*

Parameter	Egg	Larva	Pupa	Total
ρ^*	0.134	0.141	0.136	0.138
T_{max}^{**}	44.498	49.420	47.955	48.806
Δ^{***}	7.43	7.07	7.33	7.22
λ^{****}	0.054	0.020	0.026	0.011
R^2	0.98	0.97	0.99	0.99

* ρ : controls the rate of increase of the development rate with temperature

** T_{max} : the lethal (upper) temperature at which development stops

*** Δ : temperature range over which 'thermal breakdown' becomes the overriding influence (shape parameter)

**** λ : makes the curve intercept the x-axis, thus allowing the estimation of the development temperature threshold.

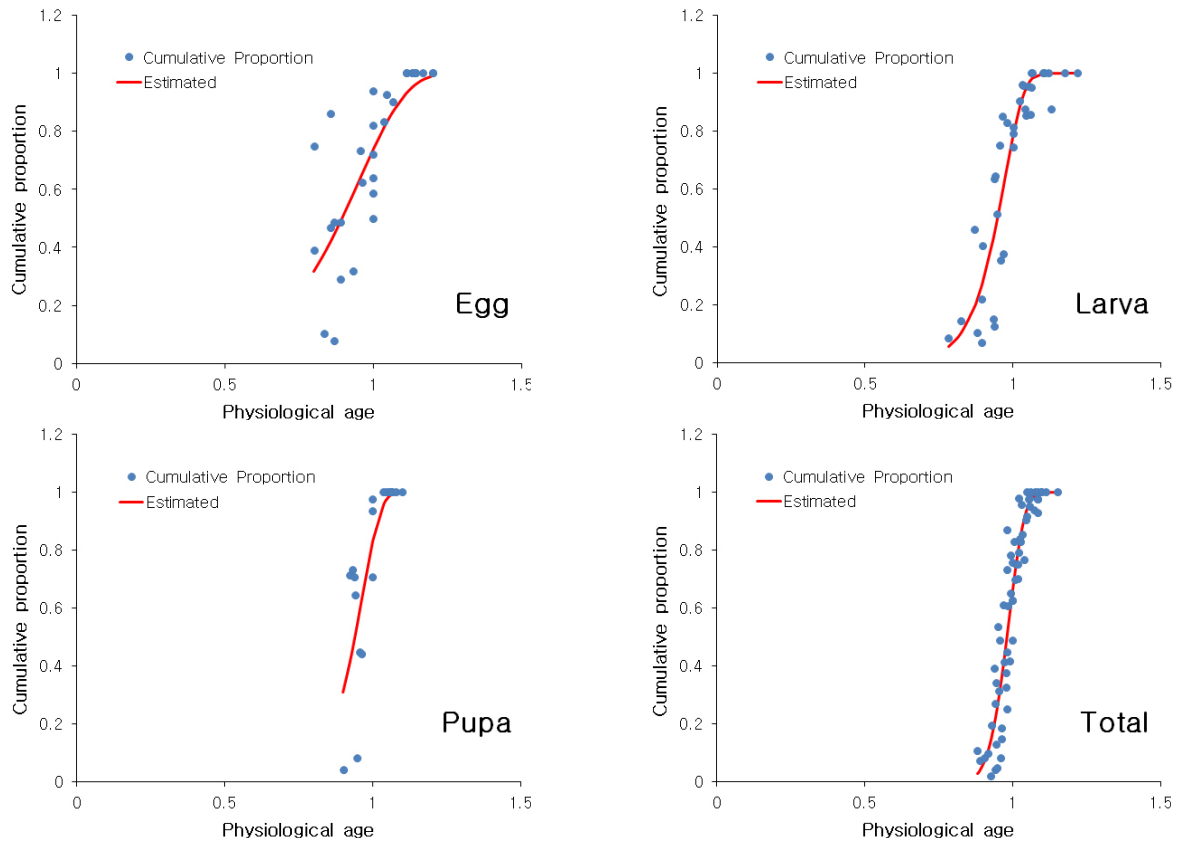


Fig. 2. Cumulative proportions for the development completion time of *S. recurvalis* in egg, larva, pupa and total immature stages as a function of physiological ages.

Table 6. Estimated parameters of the Weibull distribution model for each developmental stage of *S. recurvalis*

Parameter	Egg	Larva	Pupa	Total
η^*	17.00199	40.05879	-20.2379	0.230595
β^{**}	105.907	600.1871	-318.099	5.154229
γ^{***}	-16.0474	-39.0861	21.20117	0.765672
R^2	0.63	0.83	0.64	0.87

* η : determined by transforming the Weibull distribution to the linear form

** β : starting value is calculated as $\bar{Y}_i - 0.13$

*** γ : the expected normalized time just before complete development of the first insect.

육한 흰띠명나방을 균일한 조건으로 실험한 것이기 때문에 앞으로 환경의 변화가 다양한 야외조건에 대한 검토가 수행되어야 할 것으로 생각된다. 또한 앞으로 성충의 산란과 생존 모형이 개발될 경우 개체군 밀도 변동 예측 모형 개발도 가능하리라 생각된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 시험연구과제인 ‘오이, 국화 등 15작물의 돌발해충 예찰방법 표준화 기술개발(과제번호: PJ009194)’로 수행되었습니다.

Literature Cited

- Bae, Y.S., 2001. Lepidoptera (Pyraloidea: Pyraustinae & Pyralinae). National Institute of Agricultural Science and Technology. 251pp.
- Bae, Y.S., Paek, M.K., 2006. Host-plants for larvae of Pyraloidea (Lepidoptera). National Institute of Agricultural Science and Technology. pp. 126-127.
- Batra, H.A., Bhattacharjee, N.S., 1960. Occurrence of *Hymenia recurvalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Pyralidae) as a bad pest of some leaf vegetables. Indian J. Entomol. 22, 128-130.
- Bhattacharjee, N.S., Menon, M.G.R., 1964. Bionomics, biology and control of *Hymenia recurvalis* (Fabricius) (Pyralidae: Lepidoptera). Ibid. 26, 176-183.
- Choi, K.H., Hong, Y.K., Chang, Y.J., Moon, J.S., Kim, C.S., Choi, D.C., Kim, T.H., 2008. Development under constant temperatures and seasonal prevalence in soybean field of the bean pyralid, *Omiodes indicatus* (Lepidoptera: Crambidae). Korean J. Appl. Entomol. 47, 353-358.
- Kim, K.S., 2002. Temperature-dependent development model and analysis of occurrence phenology of Asian Corn Borer (*Ostrinia furnacalis* (Guenee)). Master thesis. Department of Agricultural Biology, College of Agriculture, Seoul National Univ. 39pp.
- Kim, S.H., Ahn, S.W., Bai, D.K., Kim, K.S., Hwang, B., Lee, H.Y., 1999. Continuous production of natural colorant, betacyanin, by *Beta vulgaris* L. hairy root. J. Microbiol. Biotechnol. 9, 716-721.
- 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.
- Lim, J.R., Kim, J., You, J., Kim, J.H., Park, S.H., Cheong, S.S., Lim, S.Y., Choi, D.C., Hwang, C.Y., 2009. Research of using natural enemy and integrated pest management on green vegetable in vinyl house. Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services. pp. 273-320.
- Logan, T.A., Wollking, D.J., Hoyt, S.C., Tanigoshi, L.K., 1976. An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods authors. Environ. Entomol. 5, 1133-1140.
- Nam, S.H., Cho, Y.H., Jang, S.W., Park, Y.J., Lee, S.Y., Na, S.H., 2002. The Lepidopterous insects fauna of Mt. Seoda (Chungcheongnamdo, Geumsan-gun). Natural Science (Daejeon University). 13, 13-27.
- Park, H.C., Kim, S.M., Kim, Y.C., Lee, C.Y., Choi, I.S., 1997. A systematic study on the insects in Amnam park, Busan, Korea. J. Agri. Tech. & Dev. Inst. 1, 84-89.
- Park, K.T., 1979. Catalogue of the Pyralidae of Korea (Lepidoptera). I. Evergestiinae and Pyraustinae. Korean J. Pl. Prot. 18, 89-100.
- Park, K.T., 1993. Pyralidae and Thyrididae (Lepidoptera) from north Korea. Korean J. Appl. Entomol. 32, 151-167.
- SAS Institute, 1999. SAS version 9.1 Intitute Cary, N. C.
- Shin, W.K., Kim, G.H., Song, C., Kim, J.W., Cho, K.Y., 2000. Effect of temperature on development and reproduction of the Cotton Caterpillar, *Palpita indica* (Lepidoptera: Pyralidae). Korean J. Appl. Entomol. 39, 135-140.
- Shin, Y.H., Cheong, S.W., 1992. Lepidopterous insects on Kōje island, Korea. Theses Collection. Kyung Hee Univ. 21, 305-324.
- Shirai, Y., 2006. Flight activity, reproduction, and adult nutrition of the beet webworm, *Spoladea recurvalis* (Lepidoptera: Pyralidae). Appl. Entomol. Zool. 41, 405-414.
- Sohn, J.C., Han, Y.E., Im, E.J., Cho, S.W., 2005. A faunistic study of Lepidoptera (insecta) in Is. Jin-do, Korea. Korean J. Syst. Zool. 5, 81-104.
- Suehiro, A., 1960. Insects and other arthropods from midway atoll. Proceedings, Hawaiian Entomological Society. 17, 289-298.
- Wagner, T.L., Wu, H., Sharpe, P.J.H., Coulson, R.N., 1984a. Modeling distribution of insect development time: A literature review and

-
- application of Weibull function. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77, 475-487.
- Wagner, T.L., Wu, H., Sharpe, P.J.H., Schoolfield, R.M., Coulson, R.N., 1984b. Modeling insect development rate: A literature review and application of a biophysical model. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77, 208-225.
- Walker, H.G., Anderson, L.D., 1940. Control of the hawaiian beet webworm. *J. Econ. Entomol.* 33, 272-275.
- Yamada, H., Koshihara, T., 1976. Development of the hawaiian beet webworm, *Hymenia recurvalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Pyralidae). *Jpn. J. Appl. Entomol.* 20, 213-214.
- Yamada, H., Koshihara, T., Tanaka, K., 1979. Biology and seasonal life history of the hawaiian beet webworm, *Hymenia recurvalis* (Fabricius). *Bull. Veg. Ornam. Crops Res. Stn.* A6, 171-184.