

다채를 기주로 양배추가루진딧물 [*Brevicoryne brassicae* (Linnaeus)]의 생명표 분석

김소형 · 김광호¹ · 황창연 · 임주락² · 김강혁³ · 전성욱^{4*}

전북대학교 농업생명과학대학, ¹국립농업과학원 작물보호과, ²전라북도농업기술원, ³무주농업기술센터, ⁴국립원예특작과학원 원예특작환경과

Life Table Analysis of the Cabbage Aphid, *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) (Homoptera: Aphididae), on Tah Tsai Chinese Cabbages

So Hyung Kim, Kwang-Ho Kim¹, Chang-Yeon Hwang, Ju-Rak Lim², Kang-Hyeok Kim³ and Sung-Wook Jeon^{4*}

College of Agriculture & Life Sciences, Institute for Biodiversity Reserch, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

¹Division of Crop Protection, Department of Crop Safety, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Jeonju 560-500, Korea

²Jeollabuk-do Agricultural Research & Extension Services, Iksan 570-704, Korea

³Muju Agricultural Technology Center, Muju 749-2, Korea

⁴Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Suwon 441-440, Korea

ABSTRACT: Life table analysis and temperature-dependent development experiments were conducted to understand the biological characteristics of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) on detached Tah Tsai Chinese cabbage (*Brassica campestris* var. *narinosa*) leaves at seven constant temperatures (15, 18, 21, 24, 27, 30 and 33±1 °C; 65±5% RH; 16L:8D). Mortality was lowest at 24 °C with 18% and 0% at 1st~2nd and 3rd~4th nymphal stages, respectively. The developmental period of 1st~2nd nymphal stage was 8.4 days at 18 °C, and it decreased with increasing temperature. The developmental period of the 3rd~4th nymphal stage was 6.7 days at 18 °C. The lower threshold temperature calculated using a linear model was 7.8 °C, and the effective accumulative temperature was 120.1DD. Adult longevity was 14.9 days at 21 °C, and total fecundity was observed 58.5 at 24 °C. According to the life table, the net reproduction rate was 47.5 at 24 °C, and the intrinsic rate of increase and the finite rate of increase were 0.36 and 1.43, respectively, at 27 °C. The doubling time was 1.95d at 27 °C, and mean generation time was 7.43d at 30 °C.

Key words: *Brevicoryne brassicae*, Life table, Chinese cabbage, Nonlinear model, Longevity, Fecundity

조 록: 양배추가루진딧물 [*Brevicoryne brassicae* (Linnaeus)]의 생명표를 작성하고자 다채(*Brassica campestris* var. *narinosa*)를 기주로 7개 온도 (15, 18, 21, 24, 27, 30, 33±1 °C, 65±5% RH, 16L : 8D)에서 온도발육 실험을 수행하였다. 24 °C에서 온도별 사망률은 어린약충기간(1st ~ 2nd)에서 18%였고, 노숙약충기간(3rd ~ 4th)에서는 0%였다. 18 °C에서 어린약충의 발육기간은 8.4일이었고, 온도가 증가 할수록 발육기간은 짧아졌으며 노숙약충은 6.7일이었다. 선형회귀분석을 이용한 전체약충의 발육영점온도는 7.8 °C였고, 유효적산온도는 120.1일도였다. 성충의 수명과 산자수는 모든 약충이 사망한 15 °C와 33 °C를 제외하고 5개 온도에서 조사하였다. 성충수명은 21 °C에서 14.9일이었고, 24 °C에서 58.5개의 산자를 생산하였다. 생명표에서 순증가율(R_0)은 24 °C에서 47.5였으며, 내적자연증가율(r_m)과 기간증가율(λ)은 27 °C에서 각각 0.36, 1.43이었다. 배수기간(D_2)은 27 °C에서 1.95d이었고, 평균세대기간(T)은 30 °C에서 7.43d이었다.

검색어: 양배추가루진딧물, 생명표, 다채, 비선형발육모형, 수명, 산자수

전 세계적으로 배추과(Cruciferae) 식물은 주로 북반구인 한 대, 온대 및 고산지대에서 200속 1,800여종이 자생하는 것으로 알려져 있고, 우리나라에서는 22속 48종 1아종 18변종 1품종이 보고되었다(Lee and Oh, 1982). 우리나라에서 배추과 작물은 노지에서 주로 재배 되어왔으나, 최근 들어 시설재배 기술의

*Corresponding author: sw3109@gmail.com

Received October 14 2014; Revised November 14 2014

Accepted November 14 2014

밭달로 엽채류 재배가 늘어나고 있다(Kim et al., 2004a). 시설 재배를 이용한 엽채류(쌈채소)의 재배 면적은 전체 시설재배 면적의 약 17% 이상을 차지하고 있다(Kim et al., 2004a). 우리나라의 시설 재배용 쌈채소로는 청경채(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis*), 꽃양배추(*B. oleracea* L. var. *botrytis*), 갓(*B. juncea* L. Czern var. *juncea*), 다채(*B. campestris* L. var. *narinosa*), 꽃케일(*B. oleracea* L. var. *acephala* DC. Alef) 등이 있으며(Kim et al., 2004a), 이들 중 다채는 Vitamin B1, B2 성분과 카로틴, 철분, 갈슘이 풍부한 녹색쌈채소로(Woo et al., 2007), 쌈채소로 분류되어 쌈, 무침, 샐러드 등으로 이용되고 있다(Lim et al., 2010; Kim et al., 2004a).

다채에 발생하는 주요 해충으로는 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae* Sulzer), 양배추가루진딧물(*Brevicoryne brassicae* Linnaeus), 좁은가슴잎벌레(*Phaedon brassicae* Baly), 배추벼룩잎벌레(*Phyllotreta striolata* Fabricius), 총채벌레(*Scirotothrips* sp.) 등이 알려져 있다(Lim et al., 2010).

이들 중에서 양배추가루진딧물은 분류학상 매미목(Homoptera) 진딧물과(Aphididae) 진딧물아과(Aphidinae)에 속하는 해충으로(Anonymous, 1994), 유럽에서 시작하여 현재 전 세계에 분포하고 있으며(Waterhouse and Sands, 2001), 우리나라에서는 노지재배와 시설재배의 배추과 작물에서 연중 발생하고 있다(Lim et al., 2010). 발생량은 노지에서는 가을철 엽당 50~100 마리, 시설재배에서는 엽당 10~20마리 이상이며(Lim et al., 2010; Theunissen, 1989), 6월과 8월에 2회의 최성기 발생량을 보이는 것으로 알려져 있다(Chio, 2007). 양배추가루진딧물의 피해 특징으로는 작물체에 구침을 꽂아 식물의 수액을 흡즙하고, 감로를 배출하여 식물의 성장 방해 및 기형을 유발한다(Ibbotson, 1953; Oatman and Platner, 1969). 특히 순무모자이크바이러스(Turnip mosaic virus, TuMV) 등을 비롯한 약 20여 종의 바이러스를 매개하는 매개충으로 알려져 있다(Marcić et al., 2007).

최근 들어 시설재배의 발달로 인해 계절에 구애 받지 않고 삼채소의 생산이 가능해지면서 쌈채소류를 기주로 하는 해충의 발생도 증가하고 있는 실정이다. 시설내 해충은 특히 온도에 민감하게 반응하며 개체수가 늘어나는 경향이 강하므로 이들 시설해충은 온도의존적 발육 모형, 누적 발육완료 분포 모형 등을 통해 적절한 방제 대책을 수립하는 것이 현명한 대처방안의 하나가 될 수 있을 것이다(Lim et al., 2010). 따라서 본 연구에서는 시설재배의 대표적 쌈채소 중 하나인 다채를 기주로 양배추가루진딧물의 온도발육 실험을 수행하여 온도의존적 비선형 발육 모형, 누적발육분포곡선, 그리고 생명표를 작성하여 방제를 위한 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

실험 곤충의 사육

본 연구에 이용한 곤충은 2010년 전라북도 농업기술원에서 누대 사육중인 양배추가루진딧물(*Brevicoryne brassicae* Linnaeus)을 분양받아 항온기(24±1°C; 65±5% RH; 16L : 8D)에서 누대 사육하며 실험에 사용하였다. 실험 곤충의 먹이로는 다채 잎을 공급하였다. 다채(아시아종묘)는 플라스틱 포트(6 × 6 × 6 cm, 직경 9.5 × 높이 9 cm)에 원예용 상토[홍농종묘(바이오 생산토)]를 넣고, 파종한 후 4주 이상이 경과한 건전한 잎을 이용하여 사육하였다.

온도 발육 실험

항온기(24±1°C; 65±5% RH; 16L : 8D)에서 누대 사육중인 양배추가루진딧물에서 성충 50~60마리를 선발하여 별도의 건전한 다채 잎에 접종하고, 4시간 동안 산자(産子)를 받아 온도발육 실험에 사용하였다. 온도발육은 7개 온도(15, 18, 21, 24, 27, 30, 33±1°C; 65±5% RH; 16L : 8D)에서 수행하였다. 실험 방법은 직경 5.5 × 높이 1.5 cm의 페트리디쉬에 물이 젖은 탈지면을 깔고, 그 위에 직경 3 cm 크기로 자른 다채 잎을 잎의 뒷면이 위를 향하도록 올려놓은 후, 산자를 받은 약충을 각각 한 마리씩 올려놓고, 온도별로 30마리씩 개체사육을 하였다. 발육 조사는 영기별 탈피각의 유무를 기준으로 발육태 변화를 판정하여 약충기간을 어린약충기간(1st ~ 2nd)과 노숙약충기간(3rd ~ 4th)으로 구분하였고, 4령 이후부터 죽을 때 까지를 성충기간으로 설정하였다.

발육 모형 및 발육 분포 모형

선형 발육모형

선형 발육 모형식을 찾기 위하여 온도에 따른 영기별 발육을 값은 온도별 발육기간의 평균 값을 구한 후, 그 값의 역수를 취하였으며, 이 값들을 직선회귀식에 적용시켰다(식 1).

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

$r(T_c)$ 는 온도별 발육율, T_c 는 대기온도(°C)이며, a 는 직선회귀식의 기울기, b 는 y -절편이다.

직선회귀식은 각 단계별로 모든 영기를 분석하여 구하였고,

매개변수의 추정에는 SAS PROC REG (SAS Institution, 1999)를 이용하였다. 발육 단계별 발육영점온도는 직선회귀식의 x 절편($x = -\frac{b}{a}$)값 이고, 영기별 유효적산온도는 직선회귀식에서 기울기의 역수값이다($DD = \frac{1}{a}$).

비선형 발육모형

비선형 발육모형은 Logan et al. (1976) 등의 모형을 변형한 Lactin 2 모형(Lactin et al., 1995)을 이용하여 구하였다(식 2).

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

여기서, $r(T)$ 는 온도별 발육률, ρ , T_{\max} , Δ , λ 는 모형에 최적화된 매개변수들이다. 매개변수 추정은 Table Curve 4.02를 이용하였다.

발육 완료 분포 모형

발육 단계별 발육완료 분포 모형은 Wagner et al., (1984)이 제시한 3-parameter Weibull함수 모형을 이용하여 구하였다(식 3).

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

$F(x)$ 는 동일 연령집단의 개체들 중 다음 연령단계로 발육이 완료된 누적 개체들의 비율이고, x 는 각 개체들의 표준화된 발육완료시간이며, γ , η , β 는 모형에 최적화된 매개변수로서 Jandel (1996)의 Table Curve 2D ver. 4.02를 이용하여 구하였다.

온도별 성충 수명과 산자수

양배추가루진딧물의 성충 수명과 산자수 조사는 발육중인 약충이 모두 사망한 15°C와 33°C를 제외하고 나머지 5개 온도(18, 21, 24, 27, 30±1°C 65±5% RH, 16L : 8D)에서만 조사하였다. 성충의 수명은 약충이 4회 탈피 후부터 죽을 때까지의 기간으로 계산하였고, 산자수는 성충이 죽을 때까지 출산한 산자를 12시간의 간격으로 나누어 계산하였으며, 중복 조사를 피하기 위해 조사한 모든 개체는 제거하였다.

생명표

양배추가루진딧물의 생명표 작성을 위한 성비는 여름형으로 단일 암컷자손만이 태어나 0.99로 설정하였다. 약충의 발육

기간, 사망율, 성충의 수명, 산자수 등을 구하여 생명표를 작성하였다(Maia et al., 2000). 매개변수 추정은 Meyer et al. (1986)이 제시한 Jackknife방법을 사용하여 각각의 parameter값[순증가율(net reproductive rate (R_0)): 다음 세대에 미치는 암컷의 순기여도로, 전체 산란 기간 동안 암컷 당 총 암컷의 자손, 내적 자연증가율(intrinsic rate of increase (r_m)), 평균세대기간(mean generation time (T)): 한 세대의 개체가 출생하여 다음 세대를 산란할 시기까지의 기간, 배수기간(doubling time (Dt)): 개체군의 크기가 두 배가 되는 기간, 기간증가율(finite rate of increase (λ)): 각각의 기간 동안에 원래의 개체군의 증가 요인]을 구하였다.

결과 및 고찰

온도 발육 및 발육 분포 모형

양배추가루진딧물(*Brevicoryne brassicae* Linnaeus)의 온도 발육 실험에서 사망률은 어린약충기간(1st ~ 2nd)에서 24°C가 18%로 가장 낮았고, 고온(33°C: 100%)과 저온(15°C: 98%)에서 높게 나타났다. 노숙약충기간에서는 24°C가 0%의 사망률을 보였고, 15°C에서는 발육중인 약충이 모두 사망하였다(Table 1). 24°C에서 약충기간 사망률이 가장 낮았고 (18%) 고온과 저온으로 갈수록 사망률은 증가하였으며, 15°C와 33°C에서는 모든 약충이 발육을 완료하지 못하고 사망하였다(Table 1). 이것은 Satar et al. (2005)이 양배추를 기주로 한 온도발육 실험의 결과에서 20°C가 가장 낮은 사망률을 보였고, 저온과 고온으로 갈수록 사망률이 증가하였으며, 30 ~ 33°C의 변온 조건에서는 사망률이 100%로 나타나 이와 유사한 결과를 보임을 보고하였다. Kim et al. (2004b)의 목화진딧물의 실험에서도 30°C를 초

Table 1. Mortality of *Brevicoryne brassicae* nymphs under seven constant temperatures with a photoperiod 16L:8D

Temp. (°C)	n.	Mortality (%)		
		Nymphal stage		Total
		1 st ~2 nd	3 rd ~4 th	
15	50	98	2	100
18	50	40	8	48
21	50	24	4	28
24	50	18	0	18
27	50	22	4	26
30	50	32	10	42
33	50	100	-	100

과하는 온도에서 사망률이 급격히 증가하여 35°C 에서 100%였고, Barlow (1962)와 Kim and Kim (2004)의 복숭아혹진딧물 실험에서도 30°C를 초과하는 온도에서 사망률이 급격한 증가를 보여 양배추가루진딧물, 목화진딧물, 복숭아혹진딧물등은 30°C를 초과하는 온도조건에서는 발육을 완료하지 못하고 사망하는 것을 알 수 있었다. 본 온도발육실험에서 15°C의 경우 약충이 모두 사망하였으나, Lee et al., (2008)의 싸리수염진딧물에서는 13.3%, Kim et al. (2004b)과 Kim et al. (2012)의 목화진딧물에서는 각각 10%, 33.3%, Kim and Kim (2004)의 복숭아혹진딧물은 20%, Satar et al. (2005)의 양배추를 먹이로 한 양배추가루진딧물의 온도발육실험에서도 사망률이 26.7%로 나타났고, 발육영점온도도 복숭아혹진딧물(Kim and Kim 2004)은 4.9°C, 싸리수염진딧물(Lee et al., 2008)은 2.7°C, 목화진딧물(Kim et al., 2004b; Kim et al., 2012)은 각각 5.0°C, 6.8°C, 양배추를 먹이로 한 양배추가루진딧물(Satar et al., 2005)은 4.0°C로 대부분의 진딧물 약충은 15°C 이하의 온도조건에서도 발육이 가능한 것으로 나타났으나, 본 실험에서는 실험시기의 문제 등으로 인해 15°C에서는 정상 발육을 하지 못하였다. 이는 차후 반복실험을 수행해 봄으로써 그 원인을 더 고찰해 보아야 할 것으로 여겨진다.

양배추가루진딧물 약충의 발육기간은 어린 약충기간에서 18°C가 8.4일로 가장 긴 발육을 보였고, 온도가 증가함에 따라 발육기간이 짧아졌으며, 30°C에서 3.0일을 기록하였다. 노숙 약충기간에서는 18°C에서 6.7일로 가장 긴 발육기간을 보였고, 온도가 증가함에 따라 발육기간이 짧아졌으며, 30°C에서 2.8일을 기록하였다. 전체 약충의 발육기간은 18°C에서 가장 긴 14.7일을 기록하였고, 온도가 증가함에 따라 발육기간이 짧아져 30°C에서 5.8일을 기록하였다(Table 2)(1st~2nd stage: F=180.31, df=4, 224, p=0.0001, 3rd~4th stage: F= 433.58, df=4, 178, P=0.0001, Total stage: F=736.56, df=4, 172, p=0.0001). 양배추

Table 2. Developmental period of nymphal stages of *Brevicoryne brassicae* under five constant temperatures with a photoperiod 16L:8D

Temp. (°C)	Nymphal stages (day)		
	1 st ~2 nd nymph	3 rd ~4 th nymph	Total
18	8.4±0.32 a*	6.7±0.18 a	14.7±0.28 a
21	4.1±0.08 b	4.0±0.03 b	8.0±0.07 b
24	3.3±0.08 c	3.3±0.05 c	6.5±0.11 c
27	3.2±0.07 c	2.9±0.06 d	5.9±0.07 d
30	3.0±0.05 d	2.8±0.06 d	5.8±0.06 d

*Means followed by the same letter within a column are not significantly different (P > 0.05, Duncan's multiple range test).

가루진딧물 약충의 발육기간 조사에서 어린약충기간은 온도가 증가 할수록 발육기간이 짧아지는 경향을 보였으나, 노숙약충과 전체약충의 발육기간은 온도가 증가 할수록 발육기간은 짧아졌으나, 27°C와 30°C에서 유의성이 인정되지 않았다. Satar et al. (2005)의 실험에서도 온도가 증가함에 따라 양배추가루진딧물의 발육기간은 짧아지는 경향을 보였으나, 25°C와 30°C의 발육기간의 유의성 없었고, Kim (2004b) 등의 목화진딧물의 온도발육 실험에서도 온도가 증가함에 따라 발육기간이 짧아졌으나, 27.5 ~ 30.0°C 구간에서는 유의성이 인정되지 않았다. Kim and Kim (2004)의 복숭아혹진딧물도 25 ~ 30°C의 구간에서 유의성이 인정되지 않았고, 32.5°C에서는 오히려 발육기간이 늘어나는 경향을 보였다. 따라서 진딧물의 발육에 있어 가장 큰 영향을 주는 것은 온도로 판단되며, 30°C를 초과하는 온도는 양배추가루진딧물의 발육을 저해하는 요소로 작용함을 알 수 있었다. 이는 Isely (1946)와 Komazaki (1982)가 목화진딧물의 발육 최적 온도를 각각 30°C 미만인 28°C와 29.7°C라 판단한 것과 유사한 결과로 해석된다.

온도와 발육율과의 관계를 약충이 모두 사망한 15°C와 33°C, 그리고 27°C와 유의성이 인정되지 않은 30°C를 제외한 4개 온도(18, 21, 24, 27°C)의 값을 직선회귀식에 분석한 결과 발육영점온도(low developmental threshold temperature)Developmental zero)는 어린 약충기간에서 8.6°C였고($r^2=0.83$), 노숙약충기간에서는 7.2°C였으며($r^2=0.90$), 전체약충기간의 발육영점온도는 7.8°C($r^2=0.86$)였다. 유효적산온도(DD)는 어린약충기간은 59.9온일도였고, 노숙약충기간은 61.2온일도였다. 전체약충기간의 유효적산온도는 120.1온일도였다(1st~2nd stage: F=14.92, df=1, 5, p=0.0307 $r^2=0.83$, 3rd~4th stage: F= 27.81, df=1, 5, P=0.0133, $r^2=0.90$, Total stage: F=18.17, df=1, 5, p=0.0237, $r^2=0.86$ (Fig. 1).

18°C와 30°C 범위에서 양배추가루진딧물의 온도발육 자료를 바탕으로 온도와 발육율과의 관계를 발육영기별로 Lactin et al. (1995)의 비선형 발육온도 모형에 적용시킨 결과, 적합도(r^2)가 0.99 이상으로 Lactin 2 비선형 온도발육 모형에 잘 부합되었다(Table 3). 비선형모형은 온도 증가에 따라 양배추가루진딧물의 발육율도 증가하였으며, 전체약충의 발육율은 27~30°C 구간에서 발육율의 최고점을 기록하였고, Lactin et al. (1995)의 관찰값을 보면 30°C를 초과하는 온도에서는 양배추가루진딧물의 발육은 급격히 감소함을 알 수 있었다(Fig. 2). 모형의 적합도(r^2)는 어린약충기간, 노숙약충기간, 그리고 전체약충기간 모두에서 0.99로 선형 모형에 비해 비선형 모형이 약충의 발육에 더 적합함을 보였다(Table 3).

Satar et al. (2005)이 직선회귀 모형을 이용해 양배추가루진

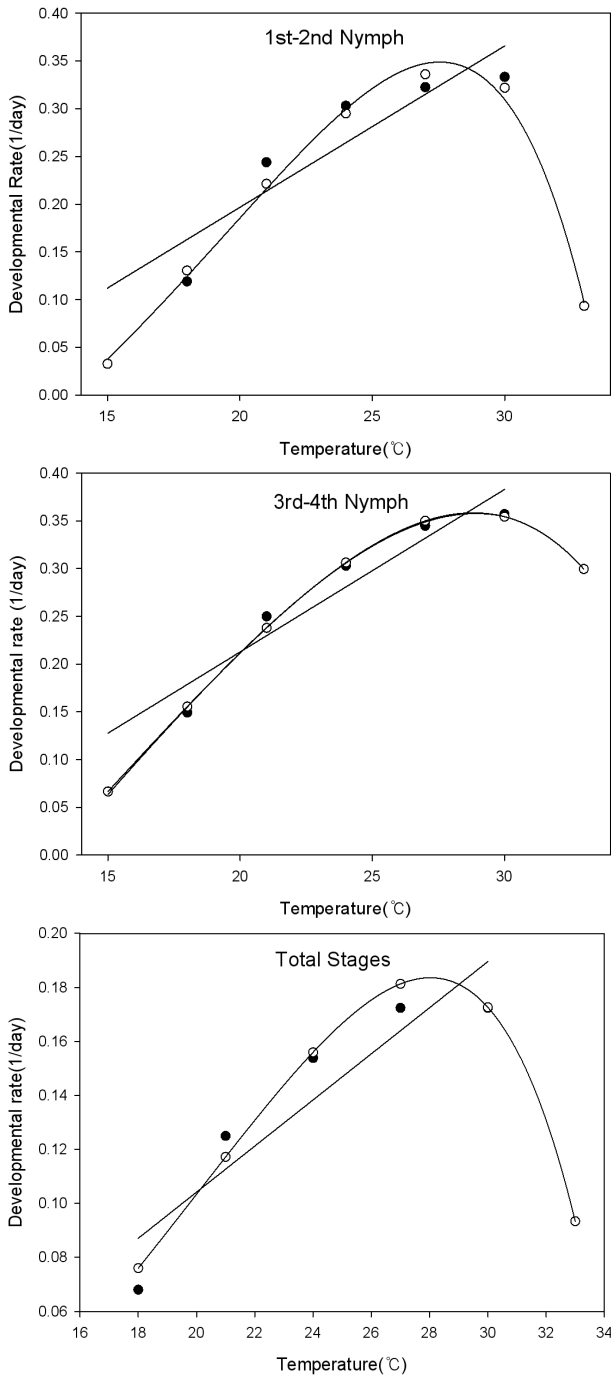


Fig. 1. Developmental rate curve of *Brevicoryne brassicae* under five constant temperatures (Fitted linear equation is $r(T_c) = aT_c + b$) and Fitted nonlinear equation is $r(T) = e^{\rho T} - e^{\rho T_{max} - (T_{max} - T)/\Delta} + \lambda$ (Lactin 2, 1995)). Black point is observed, and white point is estimated. (SigmaPlot 10.0.1, 2007 Systat Software, Inc. <www.systat.com>)

덧물의 발육을 분석한 결과, 발육영점온도는 4.0°C, 유효적산온도는 142.9온일도였고, 모형 적합도(r^2)는 0.99였으며, Kim et al. (2004b)의 목화진딧물은 발육영점온도가 5.0°C, 유효적

Table 3. Estimated parameters of a nonlinear model (Lactin-2 model, 1995) for the developmental stages of *Brevicoryne brassicae*

Nymphal Stage	ρ	T_{max}	Δ	λ	r^2
1 st ~2 nd	0.07	40.71	11.78	-0.81	0.99
3 rd ~4 th	0.06	43.59	13.09	-0.86	0.99
Total	0.13	35.96	7.89	-0.11	0.99

ρ : controls the rate of increase of the development rate with temperature, T_{max} : 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.

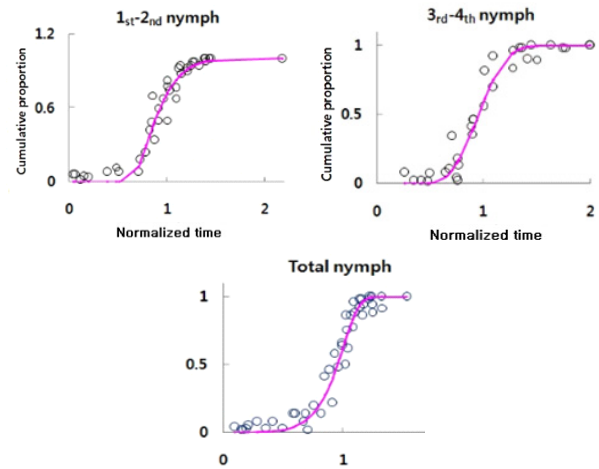


Fig. 2. Cumulative proportion of the development completion time to each nymphal stage of *Brevicoryne brassicae* (3-parameter Weibull function was used).

산온도 106.8온일도였고, 선형모형의 적합도(r^2)는 0.93이상, 비선형모형의 적합도(r^2)는 0.99로 본 실험과 비슷한 결과를 얻을 보였다. 특히 Satar et al. (2005)의 온도발육 값의 발육영점온도가 본 실험보다 낮은 결과 값을 보였고, 유효적산온도는 더 높은 값을 보였으며, 모형의 적합도도 선형모형에서 0.99로 본 실험의 0.86보다 더 적합함을 보였는데, 이것은 Satar et al. (2005)가 직선회귀 모형에 15~30°C 4개 온도범위에서 조사된 결과를 이용하였고, 특히 이 범위는 대개의 곤충들의 생존을 반응이 직선회귀에 최적화 될 수 있는 범위 내에 있기 때문으로 풀이된다.

발육완료 분포모형

양배추가루진딧물의 발육완료 분포 모형은 Curry et al. (1978)이 제시한 동일 연령 집단 간 발육완료 분포를 추정하여 각 개체들의 발육기간을 발육기간의 평균 값으로 나누어 3-parameter

Table 4. Adult longevity and fecundity of *Brevicoryne brassicae* under five constant temperatures with a photoperiod 16L:8D

Temp. (°C)	n.	Longevity (days)	Fecundity	Daily fecundity
18	26	11.4±0.48 c	23.4±1.15 c	2.0±0.06 d
21	36	14.9±0.60 a	44.7±0.82 b	3.3±0.04 b
24	41	13.7±0.23 b	58.6±0.99 a	4.7±0.08 a
27	37	10.8±0.13 c	43.1±1.73 b	4.4±0.10 a
30	29	5.5±0.20 d	12.9±0.61 d	2.9±0.09 c

*Means followed by the same letter within a column are not significantly different ($P > 0.05$, Duncan's multiple range test).

의 Weibull함수에 적용한 결과, 대부분 개체가 평균 발육 완료 시기를 중심으로 분포하여 발육 기간의 변이가 적었고, 모형의 적합도도 0.85 ~ 0.86으로 발육 완료 분포 모형에 잘 부합되었다(Fig. 2).

성충 수명 및 산자수

양배추가루진딧물 성충의 평균 수명은 21°C가 14.9일로 가장 오래 살았고, 온도가 증가함에 따라 성충의 수명은 짧아졌으며, 30°C에서는 5.5일로 가장 짧은 수명을 보였다(Table 4). 성충의 산자수는 24°C에서 58.6개로 가장 많은 수의 산자를 생산하였고, 24°C를 기준으로 저온과 고온으로 갈수록 산자수는 감소하였다. 일일 산자수는 24°C가 4.7개로 가장 많은 수의 산자를 생산하였으나, 27°C와 유의 차이를 보이지 않았으며, 고온과 저온으로 갈수록 산자수는 감소하였다(Table 4)(longevity: $F=146.92$, $df=4, 169$, $p=0.0001$, $r^2=0.78$, fecundity: $F=235.30$, $df=4, 169$, $P=0.0001$, $r^2=0.85$, daily fecundity: $F=155.41$, $df=4, 169$, $p=0.0001$, $r^2=0.79$).

성충의 수명과 산자수와의 관계를 비교해 보면 양배추가루진딧물 성충의 수명은 21°C가 14.9일로 가장 오래 살았으나, 산자수는 24°C가 가장 많은 산자를 생산하여 성충 수명과 산자수와의 관련은 없는 것으로 생각되었다. Satar et al. (2005)의 실험에서도 성충 수명은 온도 증가에 따라 짧아지는 경향을 보였고, 일일 산자수는 25°C에서 4.2개로 가장 많은 산자를 생산하였고 저온과 고온으로 갈수록 줄어드는 경향을 보였다.

Fig. 3은 양배추가루진딧물의 성충의 기간 동안 생존곡선과 산자수와의 관계를 나타낸 것이다. 성충의 최대 생존일수는 18°C에서 23일로 가장 긴 생존일수를 보였고, 온도가 증가할수록 성충의 생존일수는 감소하였다. 성충의 생존율은 24°C에서 가장 많은 개체가 생존하였으며, 고온과 저온으로 갈수록 생존율은 감소하는 경향을 보였다. 성충의 최초 산란일은 18°C의

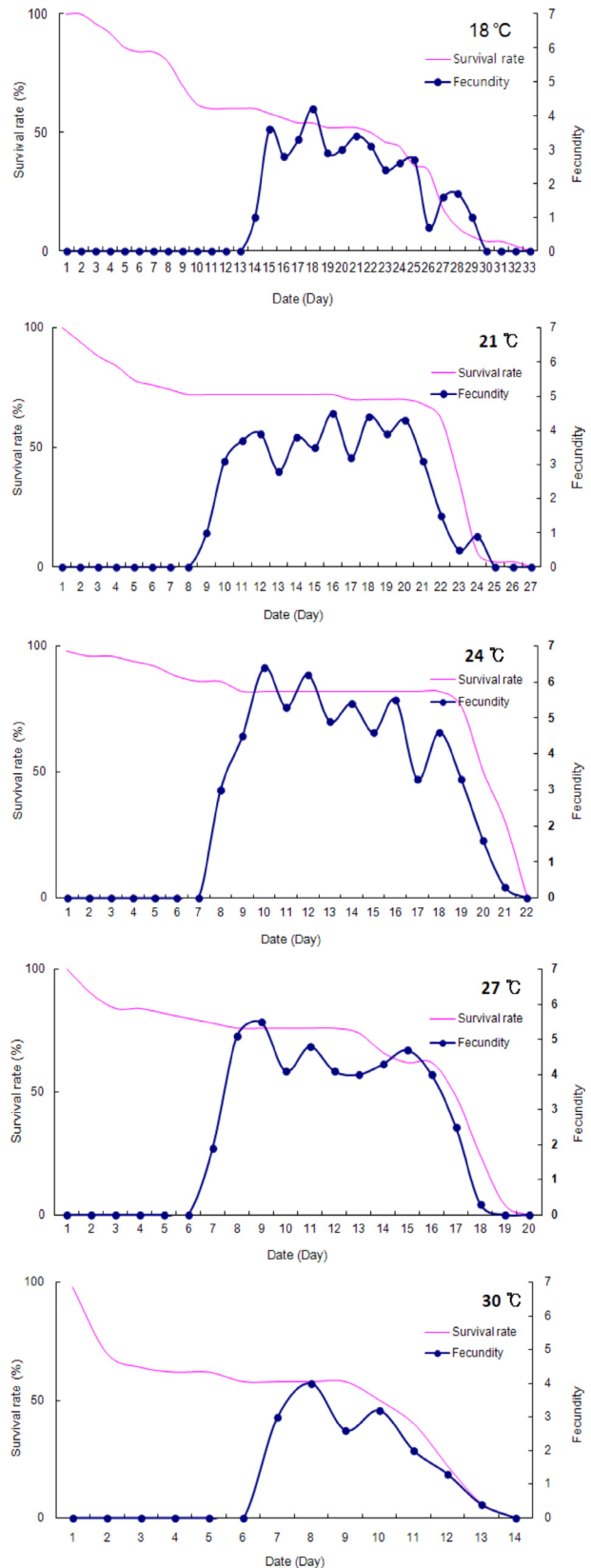


Fig. 3. Age-specific survivorship and fecundity, of *Brevicoryne brassicae* adults under five constant temperatures.

Table 5. Associated fertility life table estimates of *Brevicoryne brassicae* under five constant temperatures

Temp. (°C)	Reproductive rate(R_0) (aphids/aphid)	Intrinsic rate of increase(r_m) (aphids/aphid/day)	Finite rate of increase(λ) (aphids/aphid/day)	Generation time(T) (days)	Doubling time(D_t) (days)
18	12.1±1.22	0.15±0.006	1.16	17.15	4.77
21	31.9±1.19	0.27±0.003	1.30	13.08	2.62
24	47.5±1.63	0.35±0.004	1.42	11.04	1.98
27	31.6±2.56	0.36±0.006	1.43	9.71	1.95
30	7.4±0.72	0.27±0.009	1.31	7.43	2.58

13일을 제외하고, 5~6일경에 산란을 시작하였고, 성충의 생존율이 가장 높은 24°C에서 일일 산란수와 전체 산란수 모두 가장 높은 값을 보였다(Fig. 3).

온도별 생존곡선과 산자수와의 관계를 비교해 보면 성충의 개체별 생존일과 산자수와의 관계는 없었으나, 전체 성충의 생존율이 높은 경우에는 산자의 생산량도 증가하는 것으로 나타났다.

생명표

Table 5는 Maia et al. (2000)의 방법을 이용하여 양배추가루진딧물의 생명표 분석을 통해 얻어진 파라미터를 정리한 것이다. 온도별 순증가율(R_0)은 24°C에서 가장 큰 47.5를 나타냈고, 저온과 고온으로 갈수록 작아지는 경향을 보였다. 내적자연증가율(r_m)은 18°C는 가장 작은 0.15였고, 27°C에서 가장 큰 0.356을 나타냈다. 기간자연증가율(λ)도 순증가율과 같이 18°C가 1.16으로 가장 작은 값을 보였고, 온도가 증가함에 따라 증가하다가 27°C를 초과하면서 다시 감소하는 경향을 보였다. 평균세대기간(T)은 18°C에서 17.15로 가장 긴 세대기간을 보였고, 온도가 증가할수록 세대기간은 짧아지는 경향을 보였다. 배수기간(D_t)은 온도 증가에 따라 짧아지는 경향을 보였고, 30°C에서는 다시 길어지는 경향을 보였다. 온도별 순증가율(Net Reproductive Rate(R_0))은 암컷 한 마리가 일생동안 다음 세대에 몇 마리의 자손을 낳길 수 있는가 하는 수치인데, Satar et al. (2005)의 실험에서 양배추가루진딧물의 온도별 순증가율(R_0)은 25°C에서 가장 큰 47.1이었고, 30°C에서 가장 작은 1.5를 보였으며, 내적자연증가율(r_m)은 25°C가 가장 큰 0.317을 보였고, 평균세대기간(T)도 15°C에서 22.6로 가장 긴 값을 보여 본 실험과 유사한 경향을 보였다. 따라서 본 실험의 생명표 결과에서는 양배추가루진딧물의 생육과 번식에 적합한 온도는 24~27°C 사이의 범위라 판단되었다.

우리나라의 시설하우스 발달로 인해 계절에 구애 받지 않고 쌈채소류의 연중 생산이 가능해져 다채의 생산이 매년 증가하

고 있으며, 다채를 기주로 발생하는 양배추가루진딧물의 발생량도 증가하고 있는 현실이나 마땅한 방제방법이 제시되지 못하고 있는 실정이다 (Lim et al., 2010). 따라서 본 연구는 다채에 발생하는 양배추가루진딧물의 방제 방법을 모색하고자 기초 연구 중 하나로 온도발육과 생명표를 작성한 결과 양배추가루진딧물 약충의 최적 발육조건은 목화진딧물과 복숭아혹진딧물(27°C) 보다 낮은 24°C였고, 성충의 수명과 산란수 및 생명표에서는 24~27°C의 범위로 판단되어 양배추가루진딧물의 생육과 번식에 적합한 온도 조건은 24~27°C의 범위로 생각된다. 따라서 본 연구 자료를 토대로 우리나라 노지재배와 시설하우스에서 발생하는 양배추가루진딧물의 발생양상 및 발생패턴의 예측이 가능하여 방제의 시기 결정이 가능할 것이라 판단된다. 하지만 본 조사에서는 항온조건의 실험만이 수행되었고, 실제 변온조건인 시설하우스에서의 실험이 수행되지 못하여 보다 정밀한 발생양상 및 발생패턴의 결과를 도출하지 못하였다. 차후 변온조건의 연구가 수행되어 보다 정밀한 자료가 구성된다면 노지 및 시설재배에서 양배추가루진딧물의 방제를 위한 보다 정확한 자료가 구성되어 다양한 방제 방법의 모색이 가능할 것으로 생각된다.

사사

본 연구는 농촌진흥청 농업분야 기후변화 적응기술 개발 과제(과제번호: PJ0094162014)로 수행한 연구 결과의 일부입니다.

Literature Cited

- Anonymous, 1994. Check list of insects from Korea. Kon-Kuk Univ. Press, Seoul, Korea, pp. 103.
- Barlow, C.A. 1962. The influence of temperature on the growth of experimental populations *Myzus persicae* (Sulzer) and *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas)(Aphididae). Can. J. Zool. 40, 145-156.
- Chio, N.R., 2007. Study on consumption status and preference level for vegetables. Sookmyung Womens Univ. 3-39.

- Curry, G.L., Feldman, R.M., Smith, K.C., 1978. A stochastic model of a temperature - dependent population. *J. Theor. Pop. Biol.* 13, 197 - 213.
- Ibbotson, A., 1953. Studies on cabbage aphid infestations on brussels sprouts. *Plant Pathology*. 2, 25-30.
- Isely, D., 1946. The cotton aphid. *Ark. Agric. Expt. Sta. Bull. No.* 462.
- Jandel., 1996. Table curve 2D. Automated curve fitting and equistat discovery; version 4.0. Jandel Scientific, San Rafael, CA.
- Kim, D.I., Choi, D.S., Ko, S.J., Kang, B.Y., Park, C.G., Kim, S.G., Park, J.D., Kim, S.S., 2012. Comparison of development times of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) between the constant and variable temperatures and its temperature-dependent development models. *Korean J. Appl. Entomol.* 51, 431 - 438.
- Kim, D.J., Kim, J.M., Hong, S.S., 2004a. The composition of dietary fiber on brassica vegetables. *J. Korean. Soc. Food Sci. Nutr.* 33, 700-704.
- Kim, T.H., Kim, J.S., 2004. Development time and development model of the green peach aphid, *Myzus persicae*. *Korean J. Appl. Entomol.* 43, 305-310.
- Kim, J.S., Kim, Y.H., Kim, J.H., Byeon, Y.W., Kim, K.H., 2004b. Temperature-dependent development and its model of the melon aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera : Aphididae). *Korean J. Appl. Entomol.* 43, 297-304.
- Komazaki, S., 1982. Effects of constant temperature on population growth of three aphid species, *Toxoptera citricidus* (Kirsaldy), *Aphis citricola* van der Goot and *Aphis gossypii* Glover (Homoptera : Aphididae) on citrus. *Appl. Entomol. Zool.* 17, 75-81.
- 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.
- Lee, S.G., Kim, H.H., Kim, T.H., Park, G.J., Kim, K.H., Kim, J.S., 2008. Development model of the foxglove aphid, *Aulacorthum solani* (Kaltenvach) on lettuce. *Korean J. Appl. Entomol.* 47, 359-364.
- Lee, Y.N., Oh, Y.J., 1982. Taxonomy of vascular plants. pp.130 - 131. Saegul. Seoul.
- 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.
- Lim, J.R., Kim, J., You, J., Kim, J.H., Park, S.H., Cheong, S.S., Lim, S.Y., Chio, D.C., Hwang, C.Y., 2010. Research of using natural enemy and integrated pest management on green vegetable in vinyl house. *Jeollabuk-do Agricultural Research Rep.* 273-320p.
- Maia, A.H.N., Luiz, A.J.B., Campanhola, C., 2000. Statistical inference on associated fertility life table parameters using Jackknife technique: Computational aspects. *J. Econ. Entomol.* 93, 511-518.
- Marčić, D., Kljajić, P., Perić, P., Krnjajić, S., Perić, I., 2007. Experimental evaluation of insecticide efficacy in controlling *Brevicoryne brassicae* L. in cabbag. *Proc. III Balkan Symp. Vegetables and Potatoes. Serbia.* 471-475.
- Meyer, J.S., Igersoll, C.G., MacDonald, L.L., Boyce, M.S., 1986. Estimating uncertainty in population growth rates: Jackknife vs bootstrap techniques. *Ecology.* 67, 1156-1166.
- Oatman, E.R., Platner, G.R., 1969. An ecological study of insect populations on cabbage in southern California. *Hilgardia.* 40, 1-40.
- SAS Institute., 1999. SAS version 9.1 Intitute Cary, N. C.
- Satar, S., Kersting, U., Ulusoy, M.R., 2005. Temperature dependent life history traits of *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hom., Aphididae) on white cabbage. *Turk. J. Agric.* 29, 341-346.
- Theunissen, N., 1989. Integrated control of aphids on field-grown vegetables. In : *Aphids, their biology, natural enemies and control.* Vol. C. pp. 285-289.
- Wagner, T.L., Wu, P.J., Sharpe, H., Coulson, R.N., 1984. Modeling distributions of insect development time : A literature review and application of Weibull function. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77, 475-487.
- Waterhouse, D.F., Sands, D.P.A., 2001. Classical biological control of arthropods in Australia. pp.137-138. CSIRO Entomology, Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia.
- Woo, N.Y., Song, E.H., Kim, Y.J., Seo, M.S., Kim, A.J., 2007. The comparison of antioxidative of sprouts extract. *Korean J. Food & Nutr.* 20, 356-362.