

보리두갈래진딧물 [*Schizaphis graminum* (Rondani)]의 온도발육과 발육모형이장호* · 김태흥 · 김지수¹ · 황창연 · 이상계²전북대학교 농업생명과학대학 생물자원과학부, ¹농촌진흥청 농업과학기술원 친환경농업과, ²농촌진흥청 연구개발국 연구관리과Temperature-dependent Development and Its Model of the Greenbug, *Schizaphis graminum* (Rondani) (Homoptera: Aphididae)Jang-Ho Lee*, Tae-Heung Kim, Ji-Soo Kim¹, Chang-Yeon Hwang and Sang-Guei Lee²

Faculty of Biological Resources Science, College of Agriculture and Life Sciences, Institute of Agricultural Science & Technology, Chonbuk National University, Chonju, Chonbuk, 561-756

¹Organic Farming Technology Division, Crop Life Safety Department, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon Gyeonggi, 441-707²Research Management Division, Research Management Bureau, RDA

ABSTRACT : The development of *Schizaphis graminum* (Rondani) was studied at various constant temperatures ranging from 15 to 32.5°C, with 65±5% RH, and a photoperiod of 16L:8D. Mortality of the 1st-2nd and the 3rd-4th stage nymphs were similar at most temperature ranges while at high temperature of 32.5°C, more 3rd-4th stage individuals died. The total developmental time ranged from 13.8 days at 15°C to 4.9 days at 30.0°C suggesting that the higher the temperature, the faster the development. However, at higher end temperature of 32.5°C the development took 6.4 days. The lower developmental threshold temperature and effective accumulative temperatures for the total immature stage were 6.8°C and 105.9 day-degrees, respectively and the nonlinear shape of temperature related development was well described by the modified Sharpe and DeMichele model. The normalized cumulative frequency distributions of developmental period for each life stage were fitted to the three-parameter Weibull function. The attendance of shortened developmental times was apparent with 1st-2nd nymph, 3rd-4th nymph, and total nymph stages in descending order. The coefficient of determination r^2 ranged between 0.80 and 0.87.

KEY WORDS : Greenbug, *Schizaphis graminum*, Development, Model, Banker plant

초 록 : 보리두갈래진딧물 [*Schizaphis graminum* (Rondani)]의 발육실험은 15-32.5°C, 상대습도 65±5%, 광주기 16L:8D 조건에서 조사하였다. 진딧물의 발육 중 약충 사충률은 15°C에서 32.5°C까지 조사했을 때, 어린약충기간의 사충률이 대부분을 차지하였고, 온도가 높아지면서 사충률이 점차적으로 감소하였다. 그러나 30°C부터 다시 증가하여, 32.5°C에서 다른 온도보다 사충률이 높게 나타났다. 진딧물의 전체 약충 발육기간을 보면 30°C에서 4.9일로 가장 짧았고, 15°C에서 13.8일로 가장 길었다. 15°C에서 30°C까지 온도가 증가함에 따라 발육기간이 짧아지는 경향을 보이지만, 32.5°C부터 다시 발육기간이 6.4일로 길어졌고, 35°C에서는 모든 약충이 죽어서 발육기간에 포함하지 않았다. 발육영점온도는 6.8°C이었고, 유효 적산온도는 105.9일도였다. 온도별 발육율은 Sharpe and DeMichele의 모델을 변형시켜 Schoolfield 등이 제시한 온도별 발육모형에 잘 부합되어 보리두갈래 진딧물의 발육모형을 적용하는데 적합한 것으로 생각한다. 생리적 연령에 따른 발육완성시기를 Weibull function을 이용했을 때 온도별 발육시기의 누적발

*Corresponding author. E-mail: junggl2@hanmail.net

육률을 비교적 잘 설명하였다.

검색어 : 보리두갈래진딧물, 발육영점온도, 발육, 발육모형

보리(*Hordeum vulgare* L. emend. Bowden)를 포함하는 맥류는 벼와 함께 주요 식량작물로 재배되고 있다. 그러나 근래의 국내 맥류 생산량 및 재배면적은 급격히 감소하고 있다(Lee, 1996b). 맥류의 재배면적은 1999년 7만6천여 ha에서 2003년 6만4천여 ha로 감소하였으며, 생산량은 24만여 톤에서 16만여 톤까지 감소하였다(Ministry of Agricultural and Forestry, 2004).

우리나라 보리에 발생하는 해충은 약 74종이 보고되었으며(An, 1984), 그 중에서 진딧물類는 옥수수테두리진딧물(*Rhopalosiphum prunifoliae* Fitch), 보리수염진딧물(*Macrosiphum granarium* Kirby), 옥수수진딧물(*Aphis maidis* Fitch)이 보고되었다(Lee, 1963). 1969년에는 기장진딧물(*Rhopalosiphum prunifoliae* Fitch) (Gu, 1969)이, 1972년에는 기장테두리진딧물(*Rhopalosiphum padi* Linnaeus), 빈대면충(*Paracletus cimiciformis* Heyden)이 보고되었다(Paik, 1972). 진딧물은 흡즙으로 인한 직접적인 피해보다 감로의 배출로 그을음병을 유발하고, 바이러스를 매개하는 등의 간접적인 피해로 식물의 성장과 결실에 많은 피해를 준다(Eastop, 1983). 전 세계 약 4,000여종 중에서 약 200여종의 진딧물이 160여개의 바이러스를 매개하는 것으로 알려졌으며, 보리두갈래진딧물[*Schizaphis graminum* (Rondani)]은 Barley yellow dwarf virus (BYDV), Sugarcane mosaic virus (SMV), Maize dwarf mosaic virus (MDMV)를 매개하는 것으로 알려졌다(Mink, 1993; Rochow, 1977).

1970년대 초에 폴리에틸렌 필름의 보급과 함께 시설하우스 재배가 시작되면서 재배면적과 농산물 생산량이 꾸준히 증가하면서 시설재배지 해충이 문제시 되고 있는데 특히 발생량이 많은 해충으로는 진딧물류(aphids), 응애류(mites), 총채벌레류(thrips), 온실가루이류(whiteflies) 등으로(Lee, 1999) 이들 해충은 일반적으로 미소해충으로 불릴 만큼 총채가 작은 것이 특징이며, 세대기간이 짧아 방제 약제에 대해 저항성 개체의 출현속도가 빠르게 증가하고 있다. 특히 진딧물류는 단성생식을 하여 다른 곤충보다 번식력이 뛰어나며 약제에 대해 저항성 또한 다른 곤충에 비해 쉽게 획득하여 방제에 어려운 점이 있다(Akey & Butler 1989; Eastop, 1983; King & Phillips,

1989; Slosser *et al.*, 1989). 진딧물 전용약제만 국내에 40여종 정도가 품목고시되어 있으며 약제 소비금액이 318억원으로 단일 해충방제비용으로 높은 수준이다(Lee, 1996a). 게다가 최근 먹을거리에 대한 안전성이 부각되면서 화학적방제보다 천적이거나 유기농업 자재를 이용한 방제 방법에 많은 관심을 갖게 되었다. 이런 흐름에 맞추어 시설재배지 진딧물 방제의 한 방법으로 기생봉 등 천적을 이용시 재배 작물에 피해를 최소화 하면서 방제효과를 극대화 하기위해 천적유지식물을 이용하고 있는데 보리두갈래진딧물은 천적을 유지하기위한 좋은 자원으로 본 연구는 보리두갈래진딧물의 온도별 약충 사충률, 약충 발육기간 등을 조사하고, 발육모형을 만들어 시설재배에서 종합방제의 기초 자료로 이용하고자 실시하였다.

재료 및 방법

보리두갈래진딧물의 사육

본 연구에 이용한 보리두갈래진딧물[*Schizaphis graminum* (Rondani)]은 농촌진흥청 농업과학기술원에서 분양받았으며, 항온기(25±1°C, 65±5% RH, 16L:8D)에서 누대 사육하고 있는 것을 사용하였다. 보리두갈래진딧물은 직경 8 cm, 높이 7.5 cm의 비닐포트와 직경 10 cm, 높이 9 cm의 플라스틱 포트에 원예용 상토[홍농종묘]를 넣고, 맥주보리[호품보리(밀양114호)]를 파종하였으며, 14일 이상 경과한 맥주보리에 보리두갈래진딧물을 집중하여 사육하였다.

약충의 온도별 사충률 및 발육기간

사육실에서 직경 8 cm, 높이 7.5 cm의 비닐포트에 심어진 보리에 성충을 30-40마리를 집중하여 4시간 동안 산자를 받았다. 맥주보리 잎이 2장 출현한 보리를 직경 7 mm, 길이 30 mm의 con tube에 맞게 뿌리를 잘라 넣은 후 입구를 탈지면 조각으로 물이 흘러나오지 않게 막았다. 이와 같이 준비한 보리를 플라스틱 패트리디쉬(직경 10

cm, 높이 4.2 cm)에 넣고 산자를 한 마리씩 올려놓은 것을 처리 온도별로 30개씩 개체사육을 하면서 조사하였다. 조사 온도는 15.0, 17.5, 20.0, 22.5, 25.0, 27.5, 30.0, 32.5°C로 8개에서, 습도는 65±5%, 광주기는 16L:8D에서 12시간 간격으로 발육 상태 및 사충률을 조사하였다. Shim et al. (1979)은 진딧물 약충이 3회 탈피한 후 성충이 된다고 하였으나, Akey & Butler (1989)는 약충을 4단계로 나누어 1령, 2령, 3령, 4령이라 하였다(Kim, 2004). 실험을 통한 관찰 결과 보리두갈래진딧물 역시 4번의 탈피 과정을 거치는 것으로 확인되었다.

본 실험에서는 조사의 정확성과 완전한 영기 구분을 위해 각 령별 발육기간을 1-2령기간, 3-4령기간 두 단계로 구분하였으며, 전체기간을 약충기간으로 하고, 4회 탈피 후부터 죽을 때까지를 성충기간으로 하여 발육영점온도와 유효적산온도를 구하고, 발육분포모형에 적용하였다.

발육모형 및 발육분포모형

약충 발육기간, 성충수명, 산자수는 분산분석(ANOVA)을 이용하였으며, Tukey's HSD를 이용하여 유의성 검정을 하였다($P < 0.05$) (SAS Institute 1999).

온도와 발육기간의 관계는 선형발육모형과 비선형발육모형을 이용하였다. 선형발육모형은 온도별 발육기간의 역수를 취하여 온도별 발육속도로 바꾼 후 온도와의 직선 회귀식을 구하고, 그 식으로부터 발육속도가 0이 되는 온도를 발육영점온도로 정하였으며, 유효적산온도는 사육한 온도와 발육영점온도와의 차이를 발육기간에 곱한 값의 평균으로 구하였다.

비선형발육모형은 비선형 회귀분석을 통하여 매개변수를 추정할 수 있도록 수정된 Schoolfield et al. (1981)의 생물물리학적 모형(수식 1)을 이용하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$r(T) = \frac{P_{25} \frac{T}{298.15} \exp\left[\frac{HA}{R} \left(\frac{1}{298.15} - \frac{1}{T}\right)\right]}{1 + \exp\left[\frac{HL}{R} \left(\frac{1}{TL} - \frac{1}{T}\right)\right] + \exp\left[\frac{HH}{R} \left(\frac{1}{TH} - \frac{1}{T}\right)\right]} \quad (\text{수식 1})$$

여기서 $r(T)$ 는 절대온도(K)에서의 발육률(1/발육기간)이고, R 은 기체상수($1.987 \text{ cal degree}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)이며, RHO_{25} 는 상온(25°C)에서의 평균발육속도이다. HA 는 모델에서 가정한 속도조절효소(rate-controlling enzyme)가 촉매하는 반응의 활성화 엔탈피이며, TL 은 속도조절효소가 저

온에 의해 50% 활성을 나타내는 온도(K)이고, HL 은 속도조절효소가 저온에 의해 50% 활성화되는 것과 관련된 엔탈피의 변화이다. TH 는 속도조절효소가 고온에 의해 50% 정도로 활성을 저해 받게 되는 온도(K)이며, HH 는 발육상온에서 이와 관련된 엔탈피의 변화를 의미한다. 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 온도에서 발육기간의 중앙값을 이용하여 각 개체들의 발육기간을 나누어 생리적 연령을 구한 다음, 생리적 발육완료기간의 누적빈도를 구하여, 아래의 Weibull 함수(수식 2)에 적용시켜 정규화된 발육완료시기 분포를 얻었다. 그 식은 다음과 같다(Wagner et al., 1984b).

$$f(x) = 1 - \exp(-[(x - \gamma)/\eta]^\beta) \quad (\text{수식 2})$$

위 식에서 $f(x)$ 는 정규화된 시간(normalized time) x 에서의 발육을 완료한 개체들의 비율이며, β , γ , η 는 추정되어야 할 매개변수들이다. 이 매개변수의 추정은 Table curve (Jandel, 1996) 프로그램을 이용하였다.

결과 및 고찰

약충의 온도별 사충률 및 발육기간

보리두갈래진딧물의 크기는 약 1.3-2.1 mm이고, 안테나, 검은색의 뿔관(comicles), 검은색의 발마디(tarsi)를 갖는다. 체색은 옅은 녹색을 띠며, 등 가운데 아래쪽으로 검은색 줄무늬가 있다.

보리두갈래진딧물의 발육 중 약충 사충률은 Table 1에서와 같이 15°C에서 32.5°C까지 조사했을 때, 어린 약충기간(1st-2nd nymph stage)의 사충률이 대부분을 차지하였고, 온도가 높아지면서 사충률이 점차적으로 감소하다가 30°C부터 다시 증가하여, 32.5°C에서 다른 온도보다 사충률이 높게 나타났다. 25°C를 제외한 모든 온도에서 어린 약충 기간의 사충률이 높게 나타나 어린약충이 온도에 더 민감하게 반응하는 것으로 생각한다.

본 실험에 사용된 보리두갈래진딧물은 22.5°C 이하와 32.5°C 이상의 온도에서 20% 이상의 높은 사충률을 보였다. 고온과 저온 모두 사충률이 높은 것으로 보아 25~30°C 사이의 온도에서 잘 적응하는 것으로 보인다. 따라서 연중

일정한 온도조건을 유지하는 시설재배지의 천적 유지식물에 활용할 수 있는 가능성이 높은 것으로 생각한다.

보리두갈래진딧물의 약충 발육기간은 30°C에서 4.9일로 가장 짧았고, 15°C에서 13.8일로 가장 길었다. 15°C에서 30°C까지 온도가 증가함에 따라 발육기간이 짧아지는 경향을 보이지만, 32.5°C부터 다시 발육기간이 6.4일로 길어졌고, 35°C에서는 모든 약충이 죽어서 발육기간에 포함하지 않았다(Table 2). 각 단계(1st-2nd stage nymph → 어린약충, 3rd-4th stage nymph → 노숙약충, 약충)에 따른 온도별 발육에서 20°C 이하에서는 온도에 따라서 발육률의 차이에 유의성을 보이나, 22.5°C 이상의 온도에서는 유의성이 있지만 차이가 크지 않았다. 본 실험의 각 단계 모두 P 값이 0.01보다 작으므로 고도의 유의성이 있으며, 단계 사이의 유의성이 인정 된다(1st-2nd stage nymph $F = 93.51$, $df = 7, 217$, $r^2 = 0.76$, $P = 0.0001$; 3rd-4th stage nymph $F = 117.72$, $df = 7, 201$, $r^2 = 0.81$, $P = 0.0001$; 약충기간 $F = 235.06$, $df = 7, 201$, $r^2 = 0.89$, $P = 0.0001$). Gregg & Russell (2005)은 60~70°F(약 17~

30°C)에서 7~9일 후 성충이 된다고 하였다. Reed *et al.* (1981)은 발육기간이 15°C에서 12.12일, 20°C에서 7.75일, 25°C에서 5.08일, 30°C에서 4.79일, 35°C에서 6.96일이라고 하였다. Table 2에서도 30°C에서 4.9일로 가장 짧은 발육기간을 보이는 것으로 보아 30°C가 발육에 가장 적합한 온도로 생각된다. 그러나 22.5°C에서 30°C까지 발육기간의 차이가 크지 않은 것으로 보아 넓은 온도범위에서 발육이 용이한 것으로 생각한다.

온도와 발육률의 관계를 직선회귀에 의해서 분석한 결과는 Table 3과 같이 나타났다. 직선회귀에 의해서 분석할 때 처리한 모든 온도를 이용하여야 하나 고온에 의해 부영향을 받아 발육기간이 다시 길어진 32.5°C의 발육기간을 분석에 포함했을 경우 보리두갈래진딧물의 발육영점온도와 차이가 있을 것으로 생각되어 32.5°C는 제외하고 직선회귀에 적용한 결과, 각 발육단계 모두 r^2 값이 0.91 이상으로 보리두갈래진딧물 발육은 직선회귀에 부합되었다. 각 단계별 발육영점온도(DT)는 어린약충기간이 7.6°C, 노숙약충기간이 6.5°C, 약충기간이 6.8°C이었다. 유효적

Table 1. Age-specific mortality of *Schizaphis graminum* at various temperatures in the laboratory

Temperature (°C)	n	Nymphal mortality (%)		
		1 st -2 nd nymph	3 rd -4 th nymph	Total
15.0	30	20.0	0	20
17.5	30	13.3	6.7	20.0
20.0	30	26.7	0	26.7
22.5	30	16.7	3.3	20.0
25.0	30	0	6.7	6.7
27.5	30	3.3	0	3.3
30.0	30	16.7	0	16.7
32.5	30	23.3	13.3	36.6

Table 2. Developmental period (no. days, mean±SE) for nymph stages of *Schizaphis graminum* at various temperatures in the laboratory

Temperature (°C)	1 st -2 nd nymph	3 rd -4 th nymph	Nymph
15.0	6.1±0.13 a*	7.6±0.21 a	13.8±0.25 a
17.5	5.9±0.26 a	5.3±0.24 b	11.4±0.32 b
20.0	3.9±0.27 b	3.8±0.18 c	7.6±0.28 c
22.5	2.8±0.13 c	3.0±0.12 de	5.9±0.16 de
25.0	2.6±0.10 c	2.7±0.09 e	5.2±0.11 ef
27.5	2.4±0.10 c	2.6±0.11 e	5.1±0.15 ef
30.0	2.2±0.11 c	2.5±0.08 e	4.9±0.13 f
32.5	2.7±0.10 c	3.6±0.25 cd	6.4±0.30 d

* Within a column, means with the same letter are not significantly different ($P > 0.05$, Tukey's studentized range test).

산온도(DD)는 어린약충기간이 48.1일도, 노숙약충기간이 55.2일도, 약충기간이 105.9일도였다(1st-2nd nymph stage F = 85.42, df = 1, 6, P = 0.0002; 3rd-4th nymph stage F = 53.11, df = 1, 6, P = 0.0008; 약충기간 F = 59.98, df = 1, 6, P = 0.0006). Reed et al. (1981)은 발육영점온도가 5.2°C, 유효적산온도는 어린약충기간이 51.2일도, 노숙약충기간이 62.5일도, 약충기간이 112.0일도라고 보고하여, 본 실험에서 구한 발육영점온도는 6.8°C로 높았으며, 유효적산온도는 105.9일도로 낮았다.

온도별 발육일수와 직선회귀를 이용한 발육영점온도를

구하였지만, 실제 포장에서 발육기간을 알아보기 위해서는 계절별로 온실과 포장에서 발육조사를 함께하여 종합하는 것이 좀 더 정확한 자료를 얻을 수 있는 방법이라고 생각한다.

Fig. 1은 보리두갈래진딧물 어린약충, 노숙약충 및 약충의 15°C에서 32.5°C까지의 범위에서 Schoolfield et al. (1981)과 Wagner et al. (1984b)이 제시한 온도별 발육모형에 적용한 결과를 나타내며, Table 4에서 r²값이 0.99로 보리두갈래진딧물의 비선형회귀식을 이용한 발육모형이 잘 부합되었다. 또한 약충을 비교했을 때 모형에 적합성을

Table 3. Estimated parameter of a linear model regression for nymphal and total immature stages of *Schizaphis graminum*

Stage	1 st -2 nd nymph	3 rd -4 th nymph	Total
Intercept	-0.1588(0.0523)***	-0.1192(0.0583)	-0.06581(0.0286)
Slope	0.0210(0.0023)	0.0184(0.0025)	0.0096(0.0014)
DT*	7.6	6.5	6.8
DD**	48.1	55.2	105.9
r ²	0.94	0.91	0.94

* DT : The developmental threshold (DT) = intercept/slope

** DD : Degree- days

*** () : Standard error.

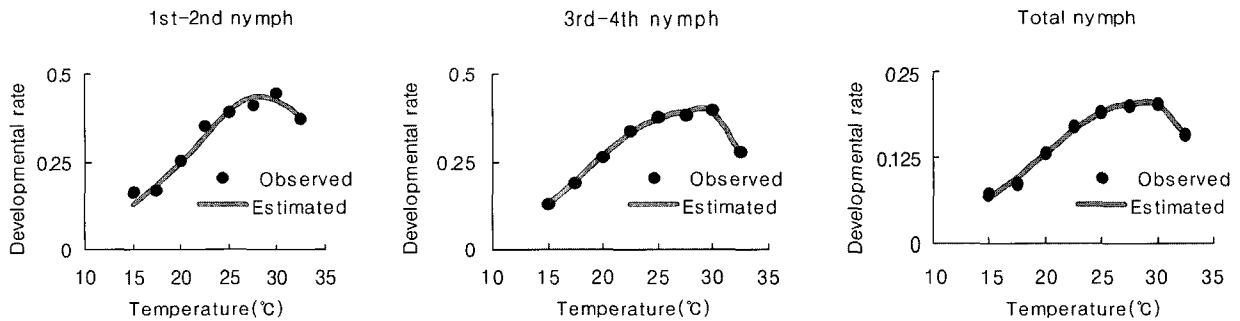


Fig. 1. Developmental rate (1/d) curve for each growth stage of *Schizaphis graminum* at various temperatures.

Table 4. Estimated parameters of biophysical developmental rate model for each growth stage of *Schizaphis graminum*

Parameter	1 st -2 nd nymph	3 rd -4 th nymph	Total
RHO25*	0.5128	0.4819	0.3174
HA	23056.3	5987.8	10778.7
HL	-1.3E+07	-44021.9	-41261
TL	264.8	293.8	296.7
HH	50450.7	693416.3	724793.8
TH	302.0	305.9	306.0
r ²	0.96	0.99	0.99

* RHO25°C; development rate at 25°C assuming no enzyme inactivation, HA; enthalpy of activation of the reaction that is catalyzed by a rate-controlling enzyme, TL; Kelvin temperature at which the rate-controlling enzyme is half active and half low-temperature inactive, HL; change in enthalpy associated with low temperature in activation of the enzyme, TH; Kelvin temperature at which the rate-controlling enzyme is half active and half high-temperature inactive, HH; change in enthalpy associated with high-temperature inactivation of the enzyme.

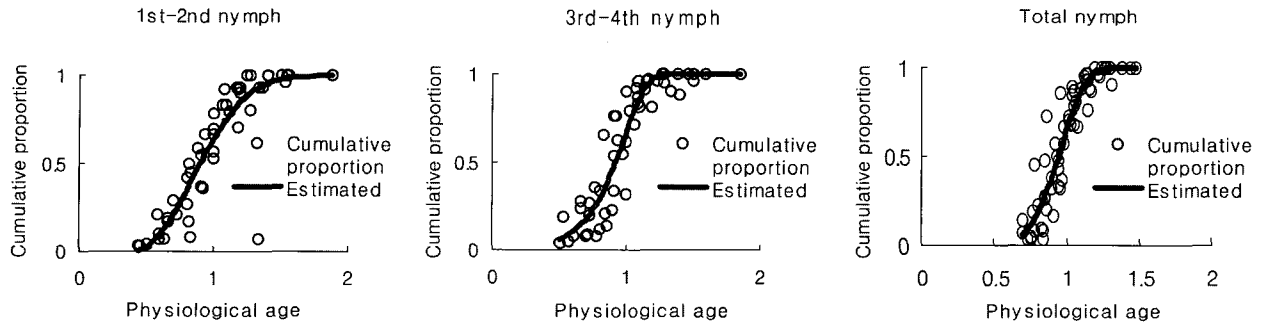


Fig. 2. Cumulative proportions for the development completion time of *Schizaphis graminum* in nymphal and total immature stages as a function of physiological ages.

Table 5. Estimated parameters of Weibull distribution model for development completion times of *Schizaphis graminum* nymphs

Parameter	1 st -2 nd nymph	3 rd -4 th nymph	Total
η	0.3977	0.4387	0.2821
β	0.5993	0.4891	0.7159
γ	2.1871	2.8376	5.0647
r^2	0.80	0.87	0.87

β ; starting value is calculated as $\bar{Y}_i - 0.1^3$, γ ; the expected normalized time just before complete development of the first insect, η ; determined by transforming the Weibull distribution to the linear form.

나타내는 r^2 값이 직선회귀에서는 0.91~0.94인 반면 비선형발육모형은 0.99로 비선형발육모형이 보리두갈래진딧물의 발육모형을 보다 정확하게 나타내고 있다. 직선회귀에서는 조사온도 범위, 조사조건에 따라 조사결과를 누락하여야 할 경우도 있어 비선형발육모형을 적용하는 것이 좋을 것이다. 또한 이 모형은 절지동물의 발육모형으로도 쓰여진다. 하지만 발육영점온도를 계산할 경우 비선형발육모형으로는 어려운 점이 있어 이 두 가지 모형이 앞으로 발육실험에서 계속 이용될 것이다.

Fig. 2는 각 단계 및 약충 전체의 생리적 연령에 따른 발육 완성시기를 Weibull function으로 나타내고 있고, Table 5는 그 parameters를 보여주고 있다. 모형의 적합성을 나타내는 r^2 값이 각 발육단계별로 0.80~0.87로 구해진 수식이 각 온도별 발육시기의 누적 발육률을 비교적 잘 설명하고 있다.

진딧물의 발육과 관련된 문헌의 부족(Shim *et al.*, 1979; Son & Song, 1994)으로 보리두갈래진딧물의 밀도증가 예측, 또는 밀도변화 예측에 이용할 자료가 부족하였다. 따라서 본 실험의 결과를 통하여 밀도 변화의 예측과, 방제에 이용, 천적 유식물에 활용, 그리고 곤충의 발육모형을 연구하는데 도움이 될 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 전북대학교 지원 연구비 IR-2006-12에 의하여 연구되었음.

Literature Cited

- Akey, D.H. & G.D. Butler Jr. 1989. Developmental rates and fecundity of apterous *Aphis gossypii* on seedlings of *Gossypium hirsutum*. *Southwestern Entomologist*. 14: 295-299.
- An, S.L. 1963. On pests of barley in Korea. 10.
- Eastop, V.F. 1983. The biology of the principle virus vectors. In: *Plant virus epidemiology*. (Ed) Plumb, R.T.; Thresh, J.M. Oxford: Blackwell Scientific Publication. 115-132.
- Gregg, S.N. & R.T. Negata. 2005. Greenbug, *Schizaphis graminum* (Rondani) (Insecta: Heteroptera: Aphididae). 1-4.
- Gu, K. 1969. Agricultural insect pest. Bumin Munhwasa, Seoul. 77-198.
- Jandel. 1996. Table curve 2D. Automated curve fitting and equstion discovery; version 4.0. Jandel Scientific, San Rafael, CA.
- Kim, J.S. 2004. Bionomics of aphids on vegetable in the greenhouse. Ph. D. thesis, Chonbuk Nat'l Univ. 9-14.
- King, E.G. & J.R. Phillips. 1989. The 42nd annual conference report on cotton insect research and control. In: *Proc. Beltwide Cotton Production Research Conference*, Memphis, Tennessee, USA. 180-191.

- Lee, E.S 1963, Agricultural pests, Seoul. 236.
- Lee, G.H. 1999. Ecological characteristics and potentials of *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysophidae) as a predator of vegetable aphids. Chonnam National Univ. Ph. D. thesis.
- Lee, H.R. 1996a. Studies on the preservation and utilization of useful natural enemies for conservative strategies of environment (IPM: Integrated Pests Managements). Department of Agricultural Biology, College of Agriculture, Chungbuk National University. 121-122.
- Lee, K.J. 1996b. Characteristics and genome organization of barley mild mosaic virus in Korea. Chonbuk National Univ. Ph. D. thesis. pp. 7.
- Ministry of Agriculture and Forestry. 2004. Agricultural and Forestry statistical yearbook. 74-122.
- Mink, G.I. 1993. Pollen and seed transmitted viruses and viroids. Annu. Rev. Phytopathol. 31: 375-402.
- Paik, W.H. 1972. Encyclopedia of animals and plants in Korea (Insect V). Samwha publish Co.
- Reed, L.K., I.D. Peries, & G.C. Hamilton. 1981. Differentiation and developmental rate of nymphal instars of greenbug reared on sorghum. Journal of the Kansas Entomological Society 54: 743-747.
- Rochow, W.F. 1977. Dependent virus transmissions from mixed infections. In: K.F. Harris and K. Maramorosch (Editors), Aphids as virus vectors. Academic Press, New York and London, 253-273.
- SAS Institute. 1999. SAS version 8.1 Intitute Cary, N.C.
- Schoolfield, R.M., P.J.H. Sharpe & C.E. Magnuson. 1981. Non-linear regression of biological temperature-dependent rate models based on absolute reaction rate theory. J. Theor. Biol. 88: 719-731.
- Shim, J.Y., J.S. Park & W.H. Paik. 1979. Studies on the life history of cotton aphid, *Aphid gossypii* Glover (Homoptera). Korean J. Pl. Prot. 18: 85-88.
- Slosser, J.E., W.E. Pinchak, & D.E. Rummel. 1989. A review on known and potential factors affecting the population dynamics of the cotton aphid. Southwestern Entomologist. 14: 302-313.
- Son, J.S. & Y.H. Song. 1994. Ecological characteristics alatae and apterae of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sülzer) (Homoptera : Aphididae) on tobacco plants. J. Korean Soc. Tobacco Sci. 16: 113-121.
- Wagner, T.L., Wu, P.J.H. Sharpe, & R.N. Coulson. 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, P.J.H. Sharpe, R.M. Schoolfield & R.N. Coulson. 1984b. Modeling insect development rate: A literature review and application of a biophysical model. Ann. Entomol. Soc. Am. 77: 208-225.

(Received for publication November 3 2006;
accepted June 8 2007)