

가루깍지벌레(*Pseudococcus comstocki* (Kuwana)) 월동알의 온도발육 및 부화시기예찰 모형

Modeling Temperature-Dependent Development and Hatch of Overwintered Eggs of *Pseudococcus comstocki* (Homoptera: Pseudococcidae)

전흥용¹ · 김동순¹ · 임명순¹ · 이준호²

Heung-Yong Jeon¹, Dong-Soon Kim¹, Myoung-Soon Yiem¹ and Joon-Ho Lee²

ABSTRACT Temperature-dependent development study for overwintered eggs of *Pseudococcus comstocki* (Kuwana) was conducted to develop a forecasting model for egg hatch date. Hatch times of overwintered eggs were compared at five constant temperatures (10, 15, 20, 25, 27°C) and different collection dates. A nonlinear, four-parameter developmental model with high temperature inhibition accurately described ($R^2=0.9948$) mean developmental rates of all temperatures. Variation in developmental times was modeled ($R^2=0.9729$) with a cumulative Weibull function. Least-squares linear regression ($rate=0.006358[Temp.]-0.07566$) described development in the linear region (15~25°C) of the development curve. The low development threshold temperature was estimated 11.9°C and 154.14 degree-days were required for complete development. The linear degree-day model (thermal summation) and rate summation model (Wagner *et al.* 1985) were validated using field phenology data. In degree-day models, mean-minus-base method, sine wave method, and rectangle method were used in estimation of daily thermal units. Mean-minus-base method was 18 to 28d late, sine wave method was 11 to 14d late, rectangle method was 3 to 5d late, and rate summation model was 2 to 3d late in predicting 50% hatch of overwintered eggs.

KEY WORDS *Pseudococcus comstocki*, degree-day, forecasting model, development model, Weibull function

초 록 가루깍지벌레 월동알 부화시기 예찰모형을 수립하기 위하여 월동알에 대한 온도발육 실험이 수행되었다. 5개 온도(10, 15, 20, 25, 27°C)와 채집시기별로 월동알 부화기간을 조사하여 비교분석하였다. Wagner 등(1984a)의 비선형발육모형이 온도별 평균발육률에 대하여 적용되었으며($R^2=0.9948$), 발육완료시기의 분포는 Weibull 분포가 이용되었다($R^2=0.9729$). 발육영점온도는 15~25°C 영역에서 얻은 직선회귀식에 의하여 11.9°C로 추정되었으며, 발육완료를 위해서는 154.14일도가 필요하였다. 적산온도 모형과 발육률적산(Wagner 등 1985) 모형이 부화시기 예측에 이용되었다. 적산온도 모형은 평균온도에서 발육영점온도 이상의 온도를 적산하는 방법(Mean-minus-base 추정법), Sine wave 추정법(Allen 1976), 그리고 Rectangle 추정법(Arnold 1960)을 이용하여 계산하였다. 50% 부화예측일을 실측일과 비교한 결과 적산온도를 이용하는 경우 Mean-minus-base 추정법은 18~28일, Sine wave 추정법은 11~14일, 그리고 Rectangle 추정법은 3~5일의 편차를 보였고, 발육률 적산모형은 2~3일의 편차가 있었다.

검색어 가루깍지벌레, 적산온도, 발생예찰, 발육모형, Weibull 분포

가루깍지벌레(*Pseudococcus comstocki*)는 우리나라에서 배나무의 가장 큰 문제해충으로 알려져 있다(최 1990, 박과 홍 1992). 이 해충은 생태적 특성상 약제방제가 쉽지 않아, 농약을 주기적으로 살포하는 과원에

서도 5% 내외의 피해과을 보이고 있으며(원예연 1994) 방제를 소홀히 할 경우 큰 경제적 손실을 일으킨다.

가루깍지벌레는 왁스물질에 싸인 난괴상태로 배나무의 조피틈이나 전정가지 절단면의 틈 등에서 월동하

¹원예연구소 원예환경과(Dept. of Horticultural Environment, National Horticultural Research Institute RDA, Suwon 441-440, Korea)

²서울대학교 농업생명과학대학 농생물학과(Dept. of Agricultural Biology, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National Univ., Suwon 441-744, Korea)

고, 월동알에서 부화된 약충들은 조피름 등의 새살이 나온 곳에 서식하다가 과실로 이동하여 가해한다. 보통은 과실에 봉지를 씌우기 때문에 봉지속의 과실에 정착한 개체들은 약제살포로 쉽게 방제되지 않는다. 그러므로 봉지를 씌우기전 발생밀도를 낮추는 것이 필요하고 그 적기는 월동알이 부화하는 시기라 할 수 있다. 그것은 가루깍지벌레가 성장할수록 조피아래 깊은 곳으로 이동하여 정착하고 왁스물질을 분비하여 약제가 충체에 직접 접촉하기 힘들므로 방제효과가 떨어지기 때문이다.

이러한 예찰방제의 중요성에도 불구하고 현재까지 우리나라에서 가루깍지벌레 월동알 부화시기 예찰이 시도된 바 없다. 최근들어 농약의 오용과 과용에 대한 위험이 증대되고 있고 농약사용을 절감하려는 해충종합관리 방안이 강화되고 있으며, 이는 천적을 이용한 생물적방제와 저공해 농약의 투입 뿐만아니라 발생예찰에 의한 합리적 약제살포시기 결정(Metcalf 1994)도 중요시 되고 있다.

현재까지 해충발생예찰은 유효적산온도를 이용한 방법이 폭넓게 이용되고 있으며 실제로 좋은 예측결과를 나타내는 것으로 알려져 있다(Eckenrode와 Chapman 1972, AliNiazee 1976, Butts와 McEwen 1981). 그러나 유효적산온도 방법은 발육영점온도를 직선회귀식에 의해 추정하기 때문에 저온이나 고온부근에서 오차가 발생된다는 단점이 있다(Howe 1967). 최근들어서는 이러한 문제점을 보완하는 발육속도 개념에 근거한 발육률을 적산하여 예측하는 방법이 개발되고 있으며(Wagner 등 1985), 적산온도를 이용한 모형 보다 좋은 적응도를 보이는 것으로 보고되고 있다. Judd와 McBrien(1994)은 사과와 노린재 해충인 *Campylomma verbasci*의 월동알 부화시기 예측에서 적산온도 모형은 실제 포장조사와 5.2±4.3일의 편차를 보였으나 발육률 적산 모형은 -0.5±3.4일의 편차를 보였다고 하였으며, Knight(1991) 등은 매미충 해충인 *Typhlocyba pomaria*의 발육률 적산을 통한 약충발생시기 예찰에서 0-4일의 편차를 보였다고 하였다. 본 연구는 가루깍지벌레 월동알의 부화시기 예찰모형을 수립하고자 수행하였으며, 비선형발육모형과 발육완료시기 분포모형을 이용한 발육률적산 모형과 적산온도 모형을 비교분석 하였다.

재료 및 방법

온도발육실험

실험에 사용한 가루깍지벌레 월동알은 원예연구소(수원시 이목동) 배과원에서 채집하였는데 시기별(1993년 2월 9일, 2월 25일, 3월 4일, 3월 11일, 3월 25일, 4월 8일)로 10-15개의 난과를 채집하여 실험에 이용하였다. 시기별로 채집한 난과는 날개의 알로 분리하여 임의로 60~90개씩 10, 15, 20, 25, 27±1°C 항온조건에 처리하였다. 가루깍지벌레의 휴면과 광조건에 대한 연구자료가 없었으므로 광조건은 가루깍지벌레가 휴면에 들어가지 않고 발육을 계속하는 우리나라 여름 기간의 낮길이 보다 긴 16L : 8D로 하였다.

온도처리시 알을 무독성 접착제(Glue Stick[®])를 이용하여 여과지에 접착시킨 다음 페트리디쉬(φ55×12 mm)에 넣어 각 온도의 항온기에 처리하였다. 월동알의 부화유무는 해부현미경을 이용하여 조사하였으며 유충이 난과에서 2/3이상 빠져나온 것까지를 부화된 것으로 판단하였다. 매일 09시와 18시 30분 2회 조사하였으며 조사하지 못한 날은 다음날 09시에 조사한 개체수를 양분하여 결과로 이용하였다.

배과원에서 월동알 부화시기 조사

배과원에서 월동알 부화시기는 온도발육실험에 이용된 월동알을 채집한 동일한 과원에서 조사되었다. 4월 상순 배나무 조피름에서 월동중인 난과를 표시해 놓고 4~5일 간격으로 100% 부화시기까지 부화유무를 확대경(12×)을 이용 조사하였다. 부화율은 난과를 단위로 조사하였으며 2/3이상 부화된 난과를 부화된 것으로 판단하였다. 1992년에는 87개, 1993년에는 102개의 난과가 조사되었다.

분석모형 적용

비선형발육모형은 비선형회귀분석을 통하여 매개변수(parameter)를 추정할 수 있도록 수정한 Schoolfield 등(1981)의 아래 식을 이용하였다.

$$r(T) = \frac{RHO25 \frac{T}{298.15} \exp\left[\frac{HA}{R} \left(\frac{1}{298.15} - \frac{1}{T}\right)\right]}{1 + \exp\left[\frac{HL}{R} \left(\frac{1}{TL} - \frac{1}{T}\right)\right] + \exp\left[\frac{HH}{R} \left(\frac{1}{TH} - \frac{1}{T}\right)\right]}$$

여기서 $r(T)$ 는 절대온도(°K)에서의 발육속도(1/발육기간), R 은 기체상수(1.987 cal · deg⁻¹ · mole⁻¹), RHO 25는 25°C에서의 발육속도, HA 는 발육에 관여하는 속도조절효소가 촉매하는 반응의 활성화 엔탈피, TL 은 속도조절효소가 저온영역에서 50% 활성을 나타내는 온도(°K), HL 은 속도조절효소가 저온영역에서 50% 활

성화 되는 것과 관련된 엔탈피의 변화, TH는 속도조절 효소가 고온영역에서 50% 활성이 저해되는 온도(°K), HH는 속도조절효소가 고온영역에서 50% 활성이 저해 되는 것과 관련된 엔탈피의 변화를 의미한다. 매개변수 추정은 Wagner 등(1984a)이 제시한 SAS프로그램을 이용하였다.

선형발육모형은 처리온도와 발육률(1/발육기간)간의 직선회귀식을 구하여 작성하였으며, 이 식으로 부터 발육률이 0이 되는 온도를 추정하여 발육영점온도를 구하였다. 월동알의 발육완료에 필요한 적산온도는 각 처리온도와 발육영점온도와와의 차이를 발육기간과 곱한 값으로 추정하여 평균값을 구하였다.

가루깍지벌레 월동알의 발육완료시기 분포모형은 월동알이 부화되기까지 걸리는 개별 발육기간의 빈도 분포를 표준화 시켜 얻었다. 즉 각 온도에서 발육기간의 누적빈도를 구한 뒤 누적빈도가 1, 5, 10, 95, 99, 100% 되는 발육기간을 산출한 다음 각 온도의 발육기간 중앙값으로 나누어 정규화 시켜 온도와 독립적인 표준분포를 구하고, 아래의 Weibull Function(Curry 등 1978)에 적용시켜 정규화된 발육완료시기 분포모형을 얻었다.

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left[\frac{x - \gamma}{\eta}\right]^\beta\right)$$

여기서 F(x)는 정규화된 시간 x에서 발육을 완료한 개체들의 비율이며 γ, β, η 는 추정되어야 할 매개변수이다. 매개변수는 Wagner 등(1984b)이 개발한 SAS프로그램을 이용 추정하였다.

월동알 부화시기 예측

가루깍지벌레 월동알 부화시기 예측에 있어서 환경 변수는 대기온도 만을 포함시켰으며 온도자료는 조사된 배과원에서 약 4 km 떨어진 수원기상대의 자료를 이용하였다. 부화시기 예측은 발육률을 적산하는 방법과 적산온도를 이용하는 방법에 의하여 수행하였다(SAS 1985).

발육률적산에 의한 방법은 일별온도를 가지고 비선형발육모형을 통해 일별 평균발육률을 구하고 이들을 누적하여 발육이 완료되는 시기를 결정(누적발육률=1)한 후 발육완료시기 분포모형로 시기별 누적부화률을 추정하는 방식으로 하였으며, 이는 Wagner 등(1985)의 SAS프로그램을 이용하여 수행하였다.

적산온도는 일별 평균온도에서 발육영점온도 이상의 온도를 누적하는 Mean-minus-base 추정법, Sine wave 추정법(Allen 1976), 그리고 Rectangle 추정법(Arnold 1960) 등의 방법으로 구하였으며, DEGDAY 프로그램(Higley 등 1986)을 이용하였다.

결과 및 고찰

시기별로 가루깍지벌레의 월동알을 야외에서 채집하여 항온조건에 처리한 결과 평균발육기간은 표 1과 같다. 채집시기가 봄철에 가까워질수록 알발육기간은 짧아지는 경향을 나타냈다(15°C: df=5, F=173.04 ; 20°C: df=6, F=98.60; 25°C: df=6, F=94.25; 27°C: df=6, F=86.31). 27°C와 25°C에서는 2월 18일에서 3월 4일사이에 채집한 알들의 발육기간이 일정하게 유지되었고, 20°C에서는 3월 4일과 3월 11일, 15°C에서는 2월 25일과 3월 4일 채집한 알들의 발육기간이 일정하게 유지

Table 1. Development time (days; Mean ± STD) of *P. comstocki* eggs collected at different dates and held at different constant temperatures

Collection dates	Temperature				
	10°C	15°C	20°C	25°C	27°C
9 Feb.	- ^a	56.21 ± 3.250a (44) ^b	26.06 ± 1.523a (52)	14.15 ± 1.480a (55)	13.15 ± 1.225a (53)
18 Feb.	-	48.01 ± 1.337b (51)	22.61 ± 1.005b (58)	11.61 ± 0.580b (56)	12.24 ± 0.655b (48)
25 Feb.	-	42.44 ± 1.098c (53)	19.24 ± 0.540d (67)	11.72 ± 0.590b (65)	12.29 ± 0.709b (57)
4 Mar.	-	43.87 ± 1.079c (82)	21.53 ± 0.993c (88)	11.59 ± 0.423b (85)	12.46 ± 0.529b (81)
11 Mar.	-	39.58 ± 0.789d (66)	20.42 ± 0.902c (76)	10.04 ± 0.489c (84)	11.47 ± 0.405c (65)
25 Mar.	-	37.15 ± 4.349e (55)	18.83 ± 1.870d (54)	9.10 ± 0.597d (53)	9.48 ± 0.707d (48)
8 Apr.	-	-	17.55 ± 2.485e (54)	9.40 ± 1.934d (52)	9.57 ± 2.579d (51)

^a There were no eggs hatched 95 days after treatment, ^b Sample size
Means followed by the same letter within a column are not significantly different (p>0.05, Duncan's Multiple Range Test) (SAS 1985)

되었다. 10°C 처리에서는 95일 이후에도 부화하는 개체가 없었다. 또한 채집시기가 이르거나 늦어 질수록 개체들간의 발육기간 편차가 증가하였다.

가루깍지벌레의 휴면유기와 종료에 관한 연구는 지금까지 잘 알려져 있지 않으나 본 실험자료를 통하여 추정해 볼 때 월동에 들어갔던 가루깍지벌레 알이 다음해 발육을 시작하는 시기는 적어도 2월 하순경으로 판단된다. 가정으로써 휴면을 종료한 개체들의 비율이 100%에 가까울수록 발육기간의 편차는 0에 가까워 질 것이다. 즉 2월 9일 채집한 알의 경우는 2월 18일 채집한 알들 보다 발육기간이 길고 표준편차도 현저히 컸다. 이것은 2월 9일 까지는 아직 휴면중인 개체들이 일부 포함되어 있어서 그 개체들의 발육기간이 길어졌기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 각 처리온도에서 2월 18일 또는 2월 25일부터 3월 초사이에 채집된 알들의 발육기간이 일정하게 유지되고 있다는 점은 이 시기에는 휴면이 종료되어 있다는 것을 시사한다. 3월 11일 이후에 채집된 알들은 서서히 발육기간이 짧아지고 있으며 4월 8일 채집된 알들의 경우 발육기간의 편차도 다시 증가하였다. 이것은 이 시기에는 기온이 휴면을 종료한 가루깍지벌레의 알발육에 영향을 줄 만큼 상승하였기 때문으로 해석된다(Fig. 1).

이상의 결과는 2월 18일에서 3월 4일 사이에 채집된 알들의 온도별 발육기간 자료가 알부화시기 예측을 위한 발육모형 작성에 유효하고, 이 기간중 어느 시기를 알부화시기 예측을 위한 온도적산의 출발점으로 잡아도 타당함을 시사한다. 이를 근거로 가루깍지벌레 월동알 발육모형은 2월 18일, 2월 25일, 3월 4일 채집한 알들의 발육기간을 평균하여 작성하였으며, 3월 1일부터의 온도를 적산하여 알부화시기를 예측하였다.

가루깍지벌레 월동알의 비선형발육모형은 고온영역

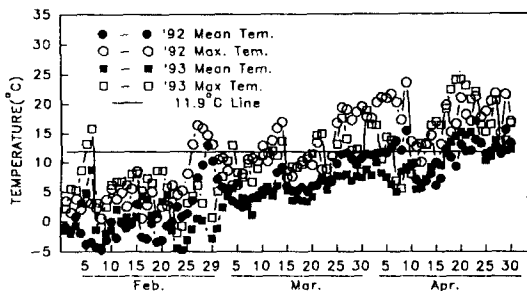


Fig. 1. Average and maximum temperature from 1 Feb. to 30 Apr. during two years (1992 and 1993) in Suwon.

에서 발육이 저해되는 특징을 보였으며 그림 2와 같다. 추정된 비선형발육모형의 매개변수값은 표 2와 같다. 가루깍지벌레 월동알의 발육영점온도는 온도와 발육률간 선형관계에서 벗어났다고 판단된(Fig. 2) 27°C를 제외한 처리온도와 발육률간 직선회귀식에 의하여 11.9°C로 추정되었고 발육완료에 필요한 적산온도는 154.14일도 이었다(Table 3).

각 처리온도별 발육기간 빈도를 중앙값으로 정규화하여 얻은 가루깍지벌레 월동알의 발육완료시기 분포모형은 그림 2와 같으며, 각 매개변수값은 표 2와 같다.

가루깍지벌레 월동알의 비선형발육모형(Fig. 2)과 최

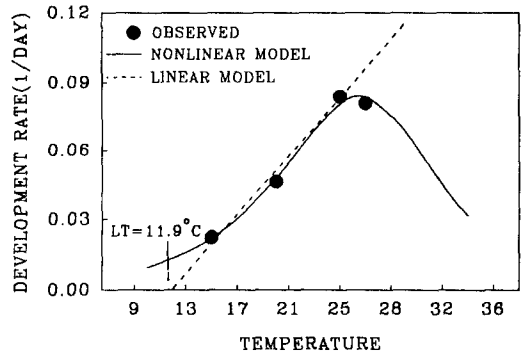


Fig. 2. Development rate (1/day) curve for *P. comstocki* overwintered eggs as a function of temperature. Four parameters model was fitted with high temperature inhibition.

Table 2. Estimated values for parameters in equations used to describe development of overwintered eggs of *P. comstocki* held at constant temperatures

Models	Parameters	Estimated values	SE	R ²
Nonlinear developmental model ^a	RHO25	0.11155	0.017203	0.99
	HA	26916.32725	3223.974518	
	TH	300.71190	1.166772	
	HH	66849.73128	8798.848965	
Developmental distribution model ^b	Eta	0.11378	0.024736	0.98
	Beta	3.16974	0.783304	
	Gamma	0.89428	0.024129	

^a Four-parameter model was fitted with high temperature inhibition (Fig. 2).

^b Cumulative Weibull distribution fitted to weighted average of normalized cumulative frequency curves for development times at different temperatures (Fig. 3).

고, 최저온도를 이용 일별 발육률을 적산하고 발육완료시기 분포모형(Fig. 3)을 통하여 시기별 누적알부화율을 예측한 결과는 그림 4와 같다. 1992년과 1993년 모두 예측한 결과보다 실제 포장에서 알이 일찍 부화하기 시작하였다. 그러나 50% 부화일은 실측일과 2~3일 차이로 예측되었다(Table 4).

적산온도를 통하여 얻은 50% 부화 예측일은 Mean-minus-base 추정법을 이용한 경우 실측일과 비교하여 18-28일의 편차를 보였고, Sine wave 추정법을 이용한 경우는 12~15일의 편차를 보였으며, Rectangle 추정법을 이용한 경우는 3~5일의 편차를 보였다(Table 4). 또한 50% 부화일까지 누적된 적산온도는 Mean-minus-

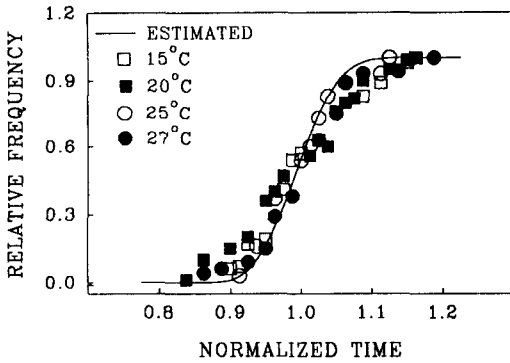


Fig. 3. Standard cumulative distribution of normalized development time for *P. comstocki* overwintered eggs. Weibull function is fitted to all data for overwintered eggs.

base 추정법을 이용한 경우 1992년 30일도, 1993년 60일도이고, Sine wave 추정법을 이용한 경우 1992년 98일도, 1993년 96일도로 추정된 154.14일도와는 큰 차이를 보였고, Rectangle 추정법을 이용한 경우는 1992년 143일도, 1993년 124일도로 위의 두가지 방법보다 추정된 적산온도와 근접하였다(Fig. 5). 이와같은 큰 차이에 영향을 미치는 주 요인은 적산온도를 계산

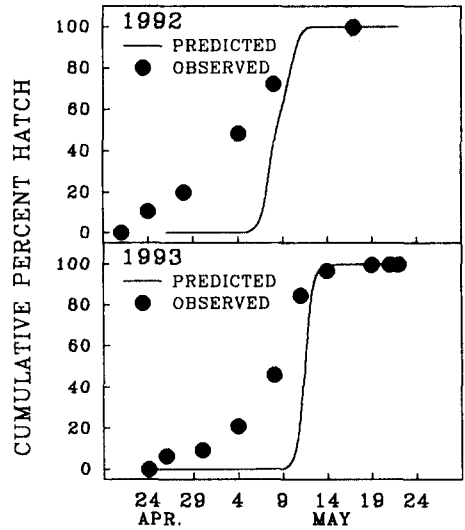


Fig. 4. Observed cumulative hatching frequency of *P. comstocki* egg masses in different years and predicted cumulative hatching curves estimated by rate summation method (Wagner *et al.* 1985).

Table 3. Estimation of lower developmental threshold temperature(LT) and thermal requirements for the development of overwintered eggs of *P. comstocki*

Regression equation ^a	SE ^b	R ²	LT(°C)	Degree-days
y=0.006358x-0.075660	0.000908	0.98	11.9	154.14±15.39

^a y=ax+b where y is the development rate and x is the temperature (°C).

^b Standard error of regression coefficient.

Table 4. Comparison of the differences between predicted and observed dates of 50% hatch of *P. comstocki* overwintered egg masses using rate summation and various degree-day summation methods

Years	Rate summation	Thermal summation			Observed
		Mean-minus base method	Sine wave method	Rectangle method	
1992	8 May (3)	2 June (28)	19 May (14)	8 May (3)	5 May
1993	11 May (2)	27 May (18)	20 May (11)	14 May (5)	9 May

Numbers in parentheses are differences between observed and predicted dates.

All models used 1 March as a starting date.

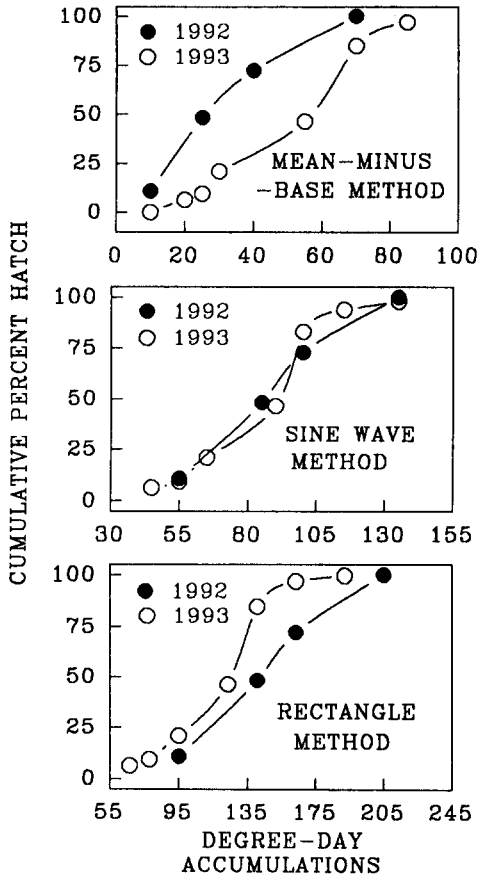


Fig. 5. Comparison of cumulative frequency curves for hatch of *P. comstocki* egg masses using various degree-day accumulation methods above 11.9°C starting 1 March.

하는 데 있어서 생물의 온도발육에 대한 특성과 기상 온도 변화에 대한 특성을 무시한 결과로 생각된다. 즉 평균온도만을 이용할 경우 하루 중 온도가 추정된 발육영점온도 이상으로 유지되더라도 평균온도가 발육영점온도 이하이면 온도적산에서 무시해 버리므로 실제 발육상황을 과소평가하게 된다(Mean-minus-base 추정법). 그러나 이러한 오차를 보완하는 Sine wave 추정법에 의한 추정도 큰 차이를 보이고 있는 것은 추정된 발육영점온도 이하에서도 발육이 진행되고 있음을 시사한다. 여기서 추정된 발육영점온도 11.9°C는, 10°C에서 발육이 거의 이루어지지 않는 것(Table 1)으로 보아, 크게 과대평가 되었다고는 볼 수 없다. 그러므로 발생된 오차는 추정된 발육영점온도 이하에서도 발육이 진행되는 것을 무시해서 나타난 결과로 생각된다.

즉, 여기서 이용하고 있는 발육영점온도는 추정된 수치일 뿐이지 생리적으로 발육이 정지되는 실질적인 온도는 아니기 때문이다. Judd 등(1994)은 *Campylomma verbasci*(Miridae)의 경우 발육영점온도가 9.2°C로 추정되었으나 그 이하의 온도에서도 발육이 진행되고 있었다고 하였다. 또한 발생된 오차는 하루 중 추정된 발육영점온도 이상의 온도와 발육영점온도 이하의 온도가 교차하는 경우 발육영점온도 이하기간 동안에 발육이 정지하지 않으므로써 보다 증가된 것으로 판단된다. 뿐만아니라 변온조건에서는 곤충의 발육이 달라질 수도 있다. Rectangle 추정법에서 Sine wave나 Mean-minus-base 추정법 보다 50% 부화일까지 적산온도가 크게 추정된 것은 적산온도를 계산하는 방법상의 차이로 판단된다. Rectangle 추정법에서는 하루 중 최저온도가 발육영점온도 이상일 때는 Mean-minus-base 추정법과 동일하고, Sine wave추정법과도 큰 차이가 없다(Arnold 1960). 그러나 최저온도가 발육영점온도 이하일 경우에는 최저온도를 무시하고 최고온도와 발육영점온도의 평균값을 그 날의 평균온도로 이용하므로써 이러한 상황에서는 Mean-minus-base 추정법이나 Sine wave 추정법 보다 유효온도가 크게 추정된다. 이와같이 발육영점온도를 이용한 적산온도 모형에서는 일일 유효온도를 추정하는 방법들이 개선되더라도 발육영점온도가 경험적으로 추정되므로써 발육영점온도 부근의 저온에서는 발육상황을 과소평가하게 되고 최적 발육온도 이상의 고온에서는 과대평가하는 모순점을 배제할 수 없다. 그러므로 우리나라와 같이 3, 4월 비교적 저온이 긴 기간 지속되는 현실에서는 발육진행을 과소평가하기 쉽다. 특히 전통적으로 많이 이용되고 있는 Mean-minus-base 추정법은 큰 오차가 발생되기 쉽다.

앞에서 서술했듯이 경험적으로 추정된 발육영점온도를 이용한 예찰의 모순점을 보완하는 발육모형을 통한 발육률 적산에 의한 예측은 보다 좋은 적합을 보여 주었다. 여기서 발생된 50% 부화일의 오차는 기상을 측정할 장소와 알부화를 조사한 장소가 다르므로 나타난 결과로 판단된다. 그리고 누적알부화를 분포에서 실제 부화시기 분포와 예측된 분포가 차이가 있는 것(Fig. 4)은 발육완료시기 분포모형을 추정하는 데서 생긴 오차로 생각된다. 여기서 추정된 발육완료시기 분포모형은 난피가 아닌 알의 발육기간을 이용하여 추정하였으므로 포장에서 난피단위로 조사된 부화시기 분포와는 차이를 보일 수 있다. 또한 월동알을 항온조건

에 처리했을 때 실제 야외조건 보다는 동일한 조건에 놓이게 되어 개체간의 유전적 차이에 의한 발육기간만의 차이가 발생되었지만, 야외 포장조건에서는 월동알의 위치에 따라 다른 환경조건에 놓이게 되므로 발육기간의 분산은 커지게 될 것이다. 그러므로 그림 4에서 보는 바와 같이 야외포장의 실제 부화시기 분포는 완만한 경사의 시그모이드형을 보이지만 예측된 분포는 급격한 경사의 곡선을 보여주고 있다.

이상의 결과는 가루깍지벌레 월동알 부화시기 예측의 경우 적산온도를 통한 예측 보다는 발육률적산을 통한 예측이 적합함을 보여 주었다. 하지만 발육률적산을 통한 방법은 계산과정이 복잡하고 컴퓨터에 의존해야 하기 때문에 불편한 단점이 있다. 이러한 점에서 농가수준에서 쉽게 사용할 수 있는 형태의 통합예찰시스템의 개발이 필요하다. 또한 본 연구에서는 분석의 편의상 50% 부화시기만을 가지고 비교하였지만 실제 방제라는 측면에서는 달라질 수 있으므로 부화시기별 방제실험이 보완되어야 할 것으로 판단된다. 그래야만 현재까지 주기적인 약제살포에 의한 가루깍지벌레 방제에서 탈피하여 예찰방제가 달성될 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

- AliNiasee, M. T. 1976. Thermal unit requirements for determining adult emergence of the western cherry fruit fly (Diptera: Tephritidae) in the Willamette Valley of the Oregon. *Environ. Entomol.* **5**: 398-402.
- Allen, J. C. 1976. A modified sine wave method for calculating degree days. *Environ. Entomol.* **5**: 388-396.
- Arnold, C. Y. 1960. Maximum-minimum temperature as a basis for computing heat units. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* **76**: 682-692.
- Butts, R. A. & F. L. MeEwen. 1981. Seasonal populations of the diamond back moth: *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), in relation to day-degree accumulation. *Can. Entomol.* **113**: 127-131.
- 최광렬. 1990. 배 가루깍지벌레의 생리 생태 및 방제연구. *농시논문집* **33**: 23-28.
- Curry, G. L., R. M. Feldman & K. C. Smith. 1978. A stochastic model of a temperature-dependent population. *J. Theor. Pop. Biol.* **13**: 197-213.
- Eckenrode, C., J. & R. K. Chapman. 1972. Seasonal adult cabbage maggot populations in the field in relation to thermal-unit accumulation. *Ann. Entomol. Soc. Am.* **65**: 151-156.
- Higley, L. G., L. P. Pedigo & K. R. Ostlie. 1986. DEG-DAY: a program for calculating degree-days, and assumptions behind the degree-day approach. *Environ. Entomol.* **15**: 999-1016.
- 원예연구소. 1994. 과수해충 발생실태 및 예찰연구. 원예연, 시험연구보고서. pp. 456-466.
- Howe, R. W. 1967. Temperature effects on embryonic development in insects. *Annu. Rev. Entomol.* **10**: 15-42.
- Judd, G. J. R. & H. L. McBrien. 1994. Modeling temperature-dependent development and hatch of overwintered eggs of *Campylomma verbasci* (Heteroptera: Miridae). *Environ. Entomol.* **23**: 1224-1234.
- Knight, A. L., E. H. Beers & E. A. Elsner. 1991. Modeling postdiapause eggs and nymphal development of the white apple leafhopper (Homoptera: Cicadellidae). *Environ. Entomol.* **20**: 1659-1664.
- Metcalf, R. L. 1994. Insecticides in pest management. In R. L. Metcalf and W. H. Luckmann, [eds.], Introduction to insect pest management. 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- 박종대, 홍경희. 1992. 배를 가해하는 가루깍지벌레류의 가해양상 및 밀도변동. *한울곤지* **31**: 133-138.
- SAS Institute. 1985. SAS user's guide : statistics, version 5. SAS Institute, Cary, NC.
- Schoolfield, R. M., P. J. H. Sharpe & C. E. Magnuson. 1981. Nonlinear regression of biological temperature-dependent rate models based on absolute reaction-rate theory. *J. Theor. Biol.* **88**: 719-731.
- Wagner, T. L., H. Wu, P. J. H. Sharpe, R. M. Schoolfield & R. N. Coulson. 1984a. Modeling insect development rates : A literature review and application of a biophysical model. *Ann. Entomol. Soc. Am.* **77**: 208-225.
- Wagner, T. L., H. Wu, P. J. H. Sharpe & R. N. Coulson. 1984b. Modeling distributions of insect development time : A literature review and application of the Weibull function. *Ann. Entomol. Soc. Am.* **77**: 475-487.
- Wagner, T. L., H. Wu, R. N. Feldman, P. J. H. Sharpe & R. N. Coulson. 1985. Multiple-cohort approach for simulating development of insect populations under variable temperatures. *Ann. Entomol. Soc. Am.* **78**: 691-704.