

배과원에서 꼬마배나무이 월동성충의 수상 이동시기 예측 모형

김동순^{1*} · 양창열² · 전흥용²

¹제주대학교 생명자원과학대학 생물산업부, 아열대농업생명과학연구소

²농촌진흥청 원예연구소 원예환경과

(2007년 8월 7일 접수; 2007년 11월 28일 수락)

An Empirical Model for the Prediction of the Onset of Upward-Movement of Overwintered *Caccopsylla pyricola* (Homoptera: Psyllidae) in Pear Orchards

Dong-Soon Kim^{1*}, Chang-Yeol Yang² and Heung-Yong Jeon²

¹Faculty of Bioscience and Industry, College of Applied Life Science, Cheju Natl. Univ., Cheju 690-756, Republic of Korea; The Research Institute for Subtropical Agriculture and Biotechnology

²Horticultural Environment Division of National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 441-440, Korea

(Received August 7, 2007; Accepted November 28, 2007)

ABSTRACT

Pear psylla, *Caccopsylla pyricola* (Homoptera: Psyllidae), is a serious insect pest in pear orchards. *C. pyricola* overwinters as adults under rough bark scales of pear trees. When the weather warms up in the spring, the overwintered adults become active, climb up to the tree branches, and inhabit on fruit twigs to lay eggs. This study was conducted to develop a forecasting model for the onset of upward-movement of overwintered *C. pyricola* adults to control them by timely spraying of petroleum oil. The adult population densities were observed under rough barks (B) and on fruit twigs (T) of pear trees. Relative upward-movement rates (R) were calculated as $T/(B+T)$. Low threshold temperatures for the activation of overwintered *C. pyricola* adults were selected arbitrarily from 5 to 9°C at a 1°C interval. Then, the days (D) when daily maximum air temperatures were above each low threshold temperature were counted from 1 February until to the dates with $R \geq 0.8$. The same methods were applied for the prediction of the first observation of eggs. The variation of coefficients (CV) for the mean D_s were lowest with the low threshold temperature of 6°C. At this selected threshold temperature, the upward movement of *C. pyricola* adults occurred with 12 D and they started laying eggs with 25 D. In the field validation, the model outputs with the 6°C threshold temperature reasonably well explained the observed data in Suwon and Cheonan in 2002. Practical usages of the model were also discussed.

Key words : *Caccopsylla pyricola*, Pear pests, Forecasting model, Petroleum oil

I. 서 언

꼬마배나무이(*Caccopsylla pyricola*)는 약충과 성충이 주로 배나무 잎을 흡즙하는 해충으로 직접적인 흡즙 피해뿐만 아니라 감로를 분비하여 그을음병을 유발

하기 때문에 더욱 문제가 되는 해충이다. 또한 과실을 가해하는 경우 그을음병을 유발하여 과실의 상품가치를 떨어뜨리거나 과실의 저장력을 약화시키는 것으로 알려져 있다(Alden and Seney, 1991). 유럽과 북미 등 외국의 경우 꼬마배나무이가 마이코플라즈마병을

매개하여 서양배에 치명적인 피해(pear decline)를 주는 것으로 알려져 있으며, 약제저항성이 쉽게 발달하기 때문에 방제가 어려운 것으로 보고되고 있다 (Burts, 1970; Mustafa and Hodgson, 1984; Follett *et al.*, 1985). 우리나라에서는 1993년 국지적으로 발생했다가 1998년부터 전국적으로 문제가 되고 있다 (Jeon *et al.*, 2000)

꼬마배나무이 성충은 여름철 생육기에 나타나는 여름형과 월동형인 겨울형의 형태가 매우 달라 과거에는 다른 종으로 오인되기도 하였다. 여름형 성충은 연한 녹색이나 녹갈색으로 몸길이가 2.0 mm 가량 되며 날개는 반투명한 녹색이다. 반면 겨울형 성충은 몸체가 흑갈색으로 흑색에 가까우며 몸길이가 2.5 mm로 여름형 보다 길고, 날개는 시맥을 제외하고는 투명한 특징이 있다(Beers *et al.*, 1993). 월동성충은 배나무의 들떠있는 거친 껍질 밑에서 무리를 지어 집단으로 월동하며 봄철 날씨가 따뜻해지면 나무 위 단과지(fruit twigs)로 이동하여, 눈 또는 손가락 굵기의 기부에 알을 낳는다. 꼬마배나무이는 저온성 해충으로 봄철에 발생했다가 고온기인 여름철에는 발생이 감소하고 기온이 서늘해지는 8월 중순 이후 밀도가 다시 증가하는 것으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2000). 가을철 발생한 꼬마배나무이는 주로 일장에 의하여 휴면이 유도되는데, Ahn *et al.*(1996)은 꼬마배나무이 수원 개체군의 경우 일제일장을 13.5시간으로 추정하였으며 3령기부터 휴면자극을 받을 수 있다고 보고하였다.

꼬마배나무이 발생밀도가 자연적으로 감소하는 고온기 이전 경제적 피해수준에 도달하지 못하도록 하기 위해서는 월동기 방제가 매우 중요하다. 즉 초기 월동 밀도를 낮추어서 그 후에 나타나는 천적 등 자연사망 요인들과 종합적으로 꼬마배나무이가 경제적 피해수준 이상으로 발생하지 않도록 관리하는 전략이다(Alden and Seney, 1991). 월동기 방제에 주로 사용하는 약제는 기계유유제로써 전형적인 접촉 피부독작용으로 해충을 죽이는 약제이다(Tomlin, 2003). 꼬마배나무이 월동성충이 거친 껍질 밑에 있을 때는 약제를 살포하여도 접촉이 불량하여 방제효과를 기대하기 어렵다. 따라서 월동성충이 나무위로 올라왔을 때 적기 방제가 매우 중요하다. 배과원에서 월동기 기계유유제 살포 시기는 2월 하순에서 3월 상순 경으로 꼬마배나무이 월동성충의 이동상황과 무관하게 경험적으로 살포하고 있다. 최근 늦겨울에서 초봄 사이 기상변화가 심하기

때문에 월동성충이 이동하기 전에 기계유유제를 살포하는 경우 꼬마배나무이 개체군 관리에 실패하기 쉽다. 따라서 본 연구는 월동중인 꼬마배나무이 성충이 나무위로 이동하는 시기를 예측하는 방법을 강구하고자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

2.1. 성충 및 알 발생조사

배나무의 거친 껍질 밑에서 월동한 꼬마배나무이 성충이 나무 위로 이동하는 시기를 예측하는 기후생물학적 발생시기 모형을 작성하기 위하여 배나무의 거친 껍질 밑과 단과지에서 시기별 꼬마배나무이 성충발생 정도를 조사하였다. 배나무의 거친 껍질 밑에서의 성충 조사는 주지 및 부주지 분기점의 껍질이 들떠있는 부분(5×5 cm)을 임의로 선택하여 실시하였다. 조사 시기 마다 총 5주를 임의로 선택하였으며 주당 3 지점을 조사하였다. 단과지에서 성충 조사는 주당 20개의 단과지를 임의로 선택하여 총 5주에서 조사하였다. 조사 시기는 1995, 2001 및 2002년 2월 상순부터 3월 하순까지였으며, 5~7일 간격으로 실시하였다. 각 년도 및 시기에 수원시 이목동 원예연구소 배 시험연구포장에서 조사하였고, 2002년에는 충남 천안시 왕림리에 위치한 한 개 과원이 추가되었다.

월동형 꼬마배나무이 성충이 낳은 알 발생 시기는 성충발생을 조사한 수원의 동일한 배과원에서 1994, 2001 및 2002년 실시하였다. 3월 중순부터 약 1주일 간격으로 조사하였으며, 조사 시기마다 주당 20개의 단과지를 임의로 선택하여 총 5주에서 조사하였다.

2.2. 자료분석

거친 나무껍질 밑에서 월동중인 꼬마배나무이 성충이 나무위로 이동하는 정도는 아래와 같이 단과지에서 발견되는 성충의 상대적 비율(R)을 계산하여 판단하였다. 각 조사일별 상대적 성충 이동비율을 계산하고 그 값이 0.8을 초과하는 시기를 유의미한 성충이동이 일어난 것으로 간주하였다.

$$\text{상대적 성충 이동비율 (R)} = \frac{\text{성충수/단과지(T)}}{\text{성충수/조피 } 25\text{cm}^2\text{(B)} + \text{성충수/단과지 (T)}}$$

꼬마배나무이는 휴면이 타파된 상태에서 최고기온이

7°C 이상 되면 활동을 시작한다는 Alden and Seney (1991) 등의 보고에 근거하여 성충 이동과 관련된 기상변수로 일중 최고온도를 선택하였다. 아직 꼬마배나무이 월동성충의 활동개시에 필요한 하한온도에 대한 공식적인 보고가 없기 때문에 7°C를 중심으로 5~9°C 범위에서 임의로 하한온도를 가정하고, 2월 1일부터 일별 최고온도가 임의의 하한온도 이상인 날의 수를 누적하여 성충이동시기와 비교하였다. 즉 각 임의의 하한온도를 기준으로 성충이동 상대비율이 0.8을 초과하는 날까지 누적일수를 계산하였다. 그리고 각 하한온도에서 연도 간 누적일수 평균 및 표준편차를 산출하여 변이계수가 가장 작은 경우(Arnold, 1960)를 꼬마배나무이 월동이동시기 예측모형의 매개변수값 선택하였다. 모형작성 목적을 위하여 본 연구와 동일한 장소 및 방법으로 조사한 1993 및 1994년의 꼬마배나무이 월동성충 이동자료를 포함시켰다(Kim *et al.*, 2000). 따라서 모형작성에는 1993~1995, 2001년 자료가 이용되었으며, 2002년에 수집한 수원 및 천안 자료는 모형의 포장적합자료로 사용되었다. 꼬마배나무이 알 초발생일은 처음 산란이 관찰된 조사일과 이전 조사일의 중간일로 간주하였다. 그 날까지 성충이동시기 예측과 동일한 방법으로 각 하한온도 이상의 날 수를 누적하였다. 기상자료는 기상청 기후자료 DB에서 수원 및 천안 기상대의 일별 최고온도 자료를 이용하였다(http://www.kma.go.kr).

III. 결 과

꼬마배나무이 월동성충의 월동처인 거친 껍질 밑에서 나무 위 단과지로의 이동은 점차적이기 보다는 짧은 기간 내에 급격하게 일어났으며, 연간 변이가 심하

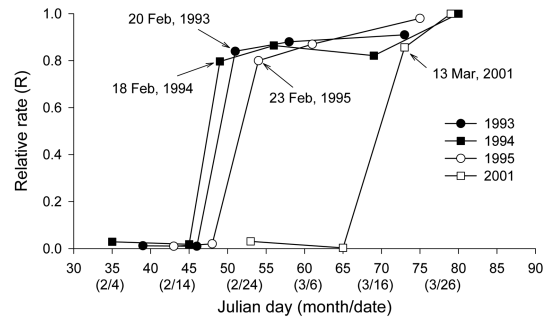


Fig. 1. Relative upward-movement rates (R) of overwintered *Cacopsylla pyricola* adults in Suwon. The data of 1993 and 1994 were obtained from Kim *et al.* (2000). Relative upward-movement rates (R) were calculated by $T/(B+T)$, where B is the number of adults under rough barks and T is the number of adults on fruit twigs.

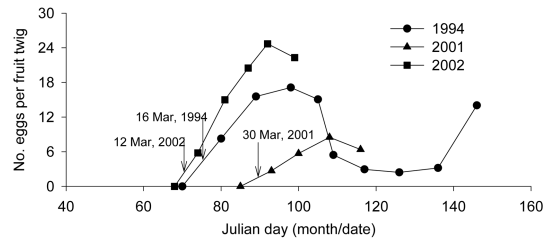


Fig. 2. Egg population densities of *Cacopsylla pyricola* in the early season in pear orchards, Suwon. The arrows indicate the estimated dates of the first egg observation in each year.

였다(Fig. 1). 1993~1995년에는 2월 20일경 수상이동이 관측되었으나 2001년에는 3월 중순에 꼬마배나무이 수상이동이 일어났다. 가장 빨랐던 1994년과 가장 늦었던 2001년 간에는 약 20일의 차이가 있었다. 월동성충이 낳은 알의 초발생은 1994년과 2002년에는 3월 중순 관찰되었고, 2001년에는 3월 하순이었다(Fig. 2). 순차적으로 알 발생최성기는 1994년과 2002년에는

Table 1. The number of days when daily maximum air temperatures were above each low threshold temperature from February 1st until the dates with $R \geq 0.8$ in the upward-movement of overwintered *Cacopsylla pyricola*

Year	First date with $R \geq 0.8$	Low threshold temperature,				
		5	6	7	8	9
1993	20 Feb	16	13	8	7	2
1994	18 Feb	10	9	5	3	2
1995	23 Feb	13	11	7	5	5
2001	13 Mar	18	13	12	9	6
Mean		14	12	8	6	4
CV ^a		24.6	16.7	36.8	43.0	55.0

^aCoefficient of variation among years for days until $R \geq 0.8$

Table 2. The number of days when daily maximum air temperatures were above each low threshold temperature from February 1st until the dates of the first observation of *Cacopsylla pyricola* eggs

Year	Date of the 1 st egg observation	Base temperature,				
		5	6	7	8	9
1994	16 Mar	26	23	21	18	10
2001	30 Mar	35	29	28	22	17
2002	12 Mar	30	23	19	15	13
Mean		30	25	23	18	13
CV ^a		14.9	13.9	20.9	19.2	26.3

^aCoefficient of variation among years for days until the first observation date of eggs.

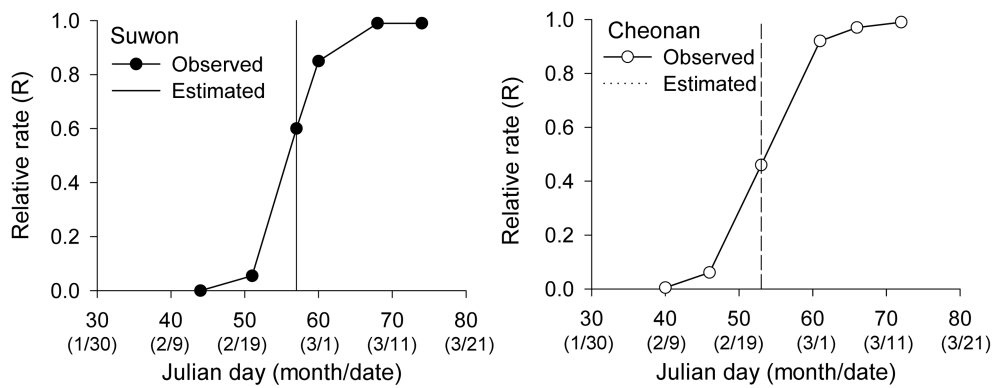


Fig. 3. Observed relative upward-movement rates (R) of overwintered *Cacopsylla pyricola* adults comparing with estimated date with $R \geq 0.8$ in Suwon and Cheonan, 2002. R was calculated as $T/(B+T)$, where B is the number of adults under rough barks and T is the number of adults on fruit twigs. The estimated dates were based on 12 days ($R \geq 0.8$) above 6 in daily maximum air temperatures from 1 February.

4월 상순, 2001년에는 4월 중하순에 나타났다.

꼬마배나무이 월동성충의 상대적 이동비율이 0.8 이상 될 때까지 일별 최고온도 기준 2월 1일부터 임의의 하한온도 이상 누적일수는 Table 1과 같았다. 하한온도 5°C에서 1°C 간격 9°C까지 각 누적일수의 평균은 14, 12, 8, 6, 4일 이었다. 하한온도 6°C에서 평균의 변이계수가 가장 낮았으며, 6°C 이상 또는 이하 하한온도에서는 변이계수가 다소 증가하였다. 꼬마배나무이 월동성충이 낳은 알의 초발생일까지 2월 1일부터 일별 최고온도 기준 임의의 하한온도 이상 누적일수는 Table 2와 같았다. 하한온도 5°C에서 1°C 간격 9°C까지 각 누적일수의 평균은 30, 25, 23, 18, 13일 이었다. 하한온도 6°C에서 최초 알 발생일까지 누적일수 평균의 변이계수가 가장 낮았다.

수원 및 천안지역에서 2002년 조사한 꼬마배나무이 월동성충 이동 실측자료와 예측치를 비교한 포장적합 결과는 Fig. 3과 같았다. 성충 이동일은 Table 1에서

변이계수가 가장 적었던 임계온도 6°C 및 누적일수 12일을 기준으로 추정하였다. 실제 포장상태에서 꼬마배나무이 월동성충의 이동은 위와 같은 방법으로 예측한 날을 중심으로 일어났다.

IV. 고 찰

일반적으로 해충 발생시기 예측모형은 발육영점온도 이상의 온도를 일별로 누적하는 적산온도 방법이 많이 이용되고 있다(Arnold, 1960; Higley *et al.*, 1986; Raworth, 1995). 이러한 적산온도 모형은 곤충의 생리적인 발육과 온도와의 선형적 관계(Higley *et al.*, 1986)를 이용하는 것으로 월동알 부화시기 또는 성충 우화시기(번데기 또는 노숙유충 월동) 등 해충의 기후생물학적 발생시기 예측에 유용하게 이용될 수 있다. 본 연구에서 사용한 꼬마배나무이 월동성충 이동시기 예측 모형은 근본적으로 적산온도 모형과 같다. 다만

적산온도 계산시 사용하는 일유효온도 즉 온일도 (degree-day)를 누적하는 대신에 하한온도 이상의 날 수를 누적하였다. 이와 같은 방법으로 꼬마배나무이의 수상이동 시기 예측이 가능하였다(Table 1, Fig. 3). 또한 일별 평균대기온도 대신에 최고온도를 사용하였는데, 이는 성충으로 월동하는 해충의 경우 하루 중 하한온도 이상 온도범위에 민감하게 반응하기 때문에 타당한 것으로 보인다(Kim and Lee, 2003).

본 결과에서 꼬마배나무이 월동성충 활동 하한온도를 6으로 했을 때 수상이동이 일어나는 시기까지 누적일수의 평균이 12일로 변이계수가 가장 적었다. 또한 같은 하한온도에서 알 초발생일까지 누적일수는 25일로 변이계수가 가장 적었다. 따라서 꼬마배나무이 월동성충은 2월 1일부터 최고온도 6°C 이상인 날 수를 누적하여 12일 되었을 때 수상으로 이동이 일어나며, 25일 되었을 때 산란을 시작한다고 말할 수 있겠다. 기계유유제를 이용한 꼬마배나무이 월동기 방제에서 산란일 예측은 아주 중요한 요소라 할 수 있다. 즉 꼬마배나무이 알에 대한 기계유유제 방제효과가 매우 낮기 때문에 산란을 시작하기 전에 기계유유제를 살포할 필요가 있다(Kim *et al.*, 2002). 실제 농가포장에서는 편차를 감안하여 꼬마배나무이 수상이동이 확실되는 시기인 누적일수 16일에서 산란이 시작되기 전인 20일 사이에 기계유유제를 살포하는 것이 안전할 것으로 생각된다.

본 꼬마배나무이 월동성충 이동시기 예측모형은 수원에서 얻은 경험적 자료를 바탕으로 하였다. 수원 및 천안지역에서 포장적합결과 모형을 통하여 얻은 예측일을 중심으로 꼬마배나무이 월동성충의 실제 이동이 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 우리나라 중부지역에서는 이 예측모형의 실제 적용이 가능할 것으로 판단된다. 아직 배 주산단지인 나주 및 울산 등 남부지역에서는 이 예측모형이 검증되지 않은 상태에 있다. 우리나라 중부지역에서 1월 중 최고온도가 6°C를 초과하는 날이 거의 없기 때문에 2월 1일부터 하한온도 이상의 날 수를 누적하는 것은 큰 무리가 없는 것으로 보인다. 하지만 날씨가 온난한 남부지역에서는 1월 달의 기온이 꼬마배나무이 월동성충의 생리적 상태에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 남부지역에서 얻은 꼬마배나무이 월동성충 이동 실측자료를 이용하여 향후 포장검증이 필요할 것이다. 하지만, 이러한 작업이 완료되기 전까지 본 결과는 남부지역에서도 꼬

마배나무이 월동기 방제시기를 추정하는 데 보조적 수단으로 유용할 것이다.

적 요

꼬마배나무이(*Caccopsylla pyricola*)는 배나무의 주요한 해충으로 배나무의 거친 껍질 밑에서 성충상태로 월동하는 해충이다. 봄철 날씨가 따뜻해지면 월동성충은 활동을 시작하여 나무 가지로 이동하고 단과지에 알을 낳는다. 본 연구는 기계유유제를 이용한 꼬마배나무이 월동성충 적기 방제를 위하여 월동해충이 나무 위로 이동하는 시기를 예측하는 모형을 개발하고자 수행하였다. 봄철 배나무 거친 껍질 밑 및 수상 단과지에서 꼬마배나무이 월동성충 밀도를 조사하여, 성충의 상대적인 이동비율(단과지에서 상대적 발생비율)을 계산하였다. 임의로 5~9°C까지 1°C 간격으로 꼬마배나무이 월동성충 활동에 필요한 하한온도를 선정하고 2월 1일부터 일별 최고온도 자료를 이용하여 상대적 이동비율이 0.8 이상 되는 날까지 각 하한온도를 초과하는 누적일수를 계산하고 비교하였다. 또한 같은 방법으로 꼬마배나무이 월동성충이 낳은 알 초발생일까지 누적일수를 계산하였다. 그 결과 하한온도를 6으로 했을 때 각 예측일까지 누적일수의 평균에 대한 변이계수가 가장 낮았으며, 평균 누적일수가 12에 도달할 때 월동성충의 이동이 일어났고, 25일 때 산란이 관측되었다. 이 조건의 모형 매개변수를 이용하여 수원 및 천안 지역에서 포장적합결과 모형 예측결과는 실측 이동시기를 잘 표현하였다. 기타 실제 농가포장에서 꼬마배나무이 월동성충 이동시기 예측모형의 활용방안에 대하여 고찰하였다.

감사의 글

본 자료는 농촌진흥청 원예연구소 경상연구과제 '과수해충 발생실태 및 종류조사' 항목의 2002년 결과입니다.

REFERENCES

- Alden, A., and H. Seney, 1991: *Integrated Pest Management for Apples and Pears*. 214pp. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Publication 3340.

- Arnold, C. Y., 1960: Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. *Proceedings of American Society for Horticultural Science* **76**, 682-692.
- Ahn, J. H., M. S. Kim, and D. S. Kim, 1996: Effects of photoperiod and temperature on formation and fecundity of two seasonal forms of psylla (Homoptera: Psyllidae). *Korean Journal of Applied Entomology* **35**(3), 205-208. (in Korean with English abstract)
- Beers, E. H., J. H. Brunner, M. J. Willett, and G. M. Warner, 1993: *Orchard Pest Management*. 276pp. Good Fruit Grower, Yakima, Washington.
- Burts, E. C., 1970: The pear psylla in Central Washington. Washington Agricultural Station Circular 516.
- Follett, P. A., B. A. Croft, and P. H. Westigard, 1985: Regional resistance to insecticides in *Psylla pyricola* from pear orchards in Oregon. *Canadian Entomologist* **117**(5), 565-573.
- Higley, L. G., L. P. Pedigo, and K. R. Ostle, 1986: DEGDAY: a program for calculating degree-days, and assumptions behind the degree-day approach. *Environmental Entomology* **15**(5), 999-1016.
- Jeon H. Y., D. S. Kim, M. R. Cho, M. S. Yiem, and Y. D. Chang, 2000: Recent status of major fruit tree pest occurrences in Korea. *Journal of Korean Society for Horticultural Science* **41**(6), 607-612 (in Korean with English abstract).
- Kim D. S., M. R. Cho, H. Y. Jeon, M. S. Yiem, and J. H. Lee, 2000: Population trends and temperature-dependent development of pear psylla, *Cacopsylla pyricola* (Homoptera: Psyllidae). *Korean Journal of Applied Entomology* **39**(2), 73-82 (in Korean with English abstract).
- Kim, D. S., and J. H. Lee, 2003: Oviposition model of overwintered adult *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and mite phenology on the ground cover in apple orchards. *Experimental and Applied Acarology* **31**, 191-209.
- Kim, D. S., Y. C. Yang, H. Y. Jeon, and M. S. Yiem, 2002: Survey for current status and occurring species of fruit tree pests. In Annual Report of NHRI (CD ROM version), RDA.
- Mustafa, T. M., and C. J. Hodgson, 1984: Observations on the effects of photoperiod on the control of polymorphism in *Psylla pyricola*. *Physiological Entomology* **9**, 207-213.
- Raworth, D. A., 1995: Estimation of degree-days using temperature data recorded at regular intervals. *Environmental Entomology* **23**(4), 893-899.
- Tomlin, C., 2003: *The Pesticide Manual* (13th ed.). British Crop Protection Council, Hampshire, UK.