

Chill Unit 축적과 휴면해제시기 공간변이 추정 프로그램 : CUMAP

김광수¹ · 정유란² · 윤진일²

¹아이오와주립대학교(미국) 식물병리학과

²경희대학교 생태시스템공학과

(2004년 7월 13일 접수; 2004년 8월 28일 수락)

CUMAP : A Chill Unit Calculator for Spatial Estimation of Dormancy Release Date in Complex Terrain

Kwang S. Kim¹, Uran Chung², and Jin I. Yun²

¹Department of Agronomy, Iowa State University, Ames, IA, USA.

²Department of Ecosystem Engineering, Kyung Hee University, Suwon, Korea

(Received July 13, 2004; Accepted August 28, 2004)

ABSTRACT

A chill unit has been used to estimate chilling requirement for dormancy release and risk of freezing damage. A system that calculates chill units was developed to obtain site-specific estimates of dormancy release date for grapes and evaluated in Baekgu myun near Kimje City, Chunbuk, Korea from September 2002 to March 2003. The system utilized daily minimum and maximum temperature maps generated from spatial interpolation with temperature correction for topography. Hourly temperature was temporally interpolated from the daily data using a sine-exponential equation (Patron and Logan, 1981). Hourly chill units were determined from sigmoid, reverse sigmoid, and negatively increasing sigmoid functions based on temperature ranges and summed for 24 h. Cumulative daily chill units obtained from measurements did not increase until 20 October 2002, which was used as a start date for accumulation to estimate the dormancy release date. As a result, a map of dormancy release date in the study area was generated, assuming 800 chill units as a threshold for the chilling requirement. The chill unit accumulation system, implemented using Microsoft Visual Basic and C++ (Microsoft, Redmond, WA, USA), runs in the Windows environment with ArcView (ESRI Inc., Redlands, CA, USA).

Key words : Chill Unit, Dormancy, Fruits, Trees, Spatial Analysis

I. 서 언

온대과수가 이듬해 새순을 틔우고 꽃을 피우기 위해서는 일정기간 휴면상태를 유지해야 하는 것으로 알려져 있다. 이렇게 생리적인 요구에 따른 휴면기간, 즉 내생휴면기간에는 내동성이 강해서 웬만한 한파에도 생장점이 보호되며 환경조건이 일시적으로 좋아져도 싹이 트는 일은 없다. 일단 휴면으로부터 깨어나면 내동성도 약해지고 일시적으로 따뜻해진 날씨에 의해 불

시출아가 될 수도 있다. 따라서 휴면상태에 관한 정보는 과수재배농가에게 매우 유용하게 쓰일 수 있다. 하지만 포장상태에서 휴면의 시작과 끝을 육안으로 알아 낼 수 있는 방법은 없기 때문에 휴면기간 동안의 기온자료를 근거로 한 저온요구량(chilling requirement)을 통해 추정하는 방법이 쓰여 왔다. 저온요구량의 척도로는 Chill Unit이 사용되는데, Chill Unit은 매 시간 기온자료에 의해 계산된다(Seely, 1996).

내생휴면의 해체에 필요한 저온요구량은 과종 및 품

중에 따라 다른데, 만약 정확한 저온요구량이 알려져 있으면 재배농가 입장에서 많은 도움을 받을 수 있다. 예를 들어 전북 김제의 포도 시설재배농가에서는 조기 출하를 목적으로 12월 상순에 하우스를 설치하고 내생 휴면이 끝나자마자 가온을 시작하여 출아를 촉진하는 방법을 사용한다. 하지만 정확한 휴면해제시기를 알지 못하므로 대개 개인적인 경험에 의해 12월 하순에서 1월 상순에 걸쳐 가온을 시작한다. 만약 가온시기가 실제 휴면해제에 비해 빨랐다면 비효율적인 연료낭비만 초래할 것이고, 늦게 시작했다면 축성재배효과가 반감되는 결과를 낳게 된다. 이 때 Chill Unit 계산에 의해 해당 품종의 저온요구량과 비교한다면 정확한 휴면해제날짜를 알 수 있고 따라서 가장 효율적인 가온시기를 결정할 수 있다. 또한 과수의 내동성은 휴면의 깊이와 정의 상관이 있으므로(Faust, 1989), Chill Unit 축적량을 근거로 내동성을 추정한다면 기상청의 한파예보에 따른 동해위험정도를 미리 알 수 있어 실용적인 동해정보시스템을 만들 수도 있을 것이다.

가장 흔하게 쓰이는 Chill Unit 계산법은 매시 기온을 측정하여 기온계급별 가중치를 부여하는 소위 Utah 모형이다(Richardson *et al.*, 1974). 만약 매시 기온자료가 없다면 일 최고, 최저기온자료를 적절한 시간내삽법에 의해 매시 기온값으로 변환하는 등 여러 가지 수정을 거쳐 이 방법은 외국의 경우 연구자들뿐 아니라 농가에서도 널리 이용되어 왔다(Valentini *et al.*, 2001; Egea *et al.*, 2003). 이 방법을 우리나라의 주요 과수재배지역에 적용하는 데 있어서 가장 큰 문제는 지형조건이다. 외국 과수원의 경우 광활한 평지 혹은 완만한 구릉지에 대규모로 조성되어있어 기온의 분포가 상당히 균질적이어서 몇 개의 지점에서 측정된 기온자료만으로 전 지역을 대표할 수 있지만, 우리나라의 과수원은 대개 규모가 작고 개별 과수원의 기온양상이 지형조건에 의해 크게 다른 특징을 보인다. 기온의 공간변이가 크다면 당연히 Chill Unit 축적량의 공간변이 역시 커질 수밖에 없으므로 Utah 모형의 공간적인 적용방법이 개발되어야 한다.

최근 공간정보기술의 발전에 힘 입어 복잡지형의 일 최고 및 최저기온 공간내삽법의 신뢰도가 크게 향상되었으므로, 본 연구에서는 이를 토대로 Utah 모형을 공간적으로 적용하여 임의 지역 내 Chill Unit 축적량의 분포 및 휴면해제일의 공간변이를 추정하는 소프트웨어를 개발하고자 하였다.

II. 방 법

2.1. 기온자료 준비

2.1.1. 일 최고, 최저기온 공간내삽

임의 지역의 특정 연도 휴면해제시기를 공간적으로 계산하기 위해서는 먼저 기상관측소의 일 최고 및 최저기온 자료를 적절한 공간내삽법에 의해 규칙적인 격자 단위로 변환해야 한다. 즉 전년도 9월부터 당해연도 3월까지 일별 최고 및 최저기온자료가 원하는 해상도의 격자단위로 준비되어야 한다. 일 최고기온의 공간내삽에는 캐나다 산림청의 BioSIM을 근간으로 경사면 일사수광량 계산모듈을 추가한 방법을 사용하였다(Regnier *et al.*, 1996; Chung *et al.*, 2003). 일 최저기온의 공간내삽에는 야간 냉기침강 및 온난대효과를 보정하는 Chung *et al.*(2002)의 방법을 이용하였다. 공간내삽에 의해 생성되는 일 최고, 최저기온자료는 모두 ArcGIS(ESRI, Redlands, CA) Grid 파일로 저장하였다.

2.1.2. 일별 기온자료의 시간내삽

Chill Unit 계산은 한 시간 단위로 이루어지므로 준비된 일 최고, 최저기온자료로부터 매시기온을 추정해야 한다. 그 날의 아침 최저기온과 낮 최고기온값으로부터 sine-exponential equation에 의해 시간별 기온을 추정하는 Parton and Logan(1981)의 시간내삽법이 가장 널리 이용되므로 본 연구에서도 이 방법을 수정 없이 사용하였다. 이 방법에서 임의의 시간 i 의 기온은 다음 식에 의해 계산될 수 있다.

$$T_i = (T_X - T_N) \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot (m-b)}{Y+2a}\right) + T_N \quad (1)$$

$$T_i = T_N + (T_s - T_N) \cdot \exp\left(\frac{-cn}{Z}\right) \quad (2)$$

여기서 T_X , T_N 은 각각 일 최고 및 최저기온, Y 는 낮의 길이(시간), Z 는 밤의 길이(시간), T_s 는 일몰시 기온, m 은 일 최저기온 발생시가 이후 일몰까지의 시간, n 은 일몰 이후 다음 날 최저기온 발생시점까지 걸린 시간, a , b , c 는 최고기온의 계수, 야간기온의 계수, 일출이후 최저기온발생시점 결정계수로서 각각 1.86, 0.17, 2.20을 사용한다.

2.2. Chill Unit 모형

Seely(1996)는 Utah 모형으로부터 온도범위에 따라

sigmoid - reverse sigmoid - negatively increasing sigmoid 곡선을 도출하였는데, 이것을 SAS NLIN과정(SAS Institute, Cary, NC)에 적용해 보면 다음 함수로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & y=0, \quad T_i \leq -2 \\
 & y = \frac{1}{1+28(T_i+2)^{-3}}, \quad -2 < T_i \leq 6 \\
 & y = 1 - \frac{1}{1+28(14-T_i)^{-3}}, \quad 6 < T_i \leq 14 \\
 & y = \frac{-1}{1+28(T_i-14)^{-3}}, \quad T_i > 14
 \end{aligned} \tag{3}$$

2.3. 시스템 프로그래밍

ArcGIS Grid 형태로 준비된 일 최고, 최저기온 자료를 Parton and Logan(1981) 방법에 의해 시간별 기온자료로 변환하고, 식 (3) - (5)에 의해 매시 Chill Unit을 계산하는 과정을 Visual BASIC(MicroSoft Inc., USA)으로 프로그래밍 하였다(Fig. 1). 이 프로그램(CUMAP ver. 1.0으로 명명)은 Chill Unit의 일

별 적산 값 외에 사용자가 정하는 임계값(휴면해제에 필요한 저온 요구도) 도달날짜를 추정하여, Chill Unit 축적량과 동일한 해상도로 생성하는 기능도 가지고 있다. CUMAP ver. 1.0은 ArcView 3.2의 입출력 함수를 이용하여 Visual BASIC으로 작성했기 때문에 구동을 위해서는 반드시 ArcView GIS 3.2가 설치되어야 한다.

또한 CUMAP.exe의 설치 위치는 ESR\AV_GIS30\ARCVIEW\Bin32 폴더로 정해져 있다.

Fig. 2는 이 프로그램을 구동시킨 초기화면을 보여 준다. 사용자는 먼저 해당 지역코드(①), 위도(②)를 입력하고, 입력자료로 사용될 Grid와 출력될 Grid의 경로를 [...]버튼으로 지정한다(③). Chill Unit의 임계값, 즉 휴면해제에 필요한 저온요구량을 설정한다(④). CUMAP은 지역코드와 명명규약 즉 Protocol(⑤)을 이용해 해당 변수별로 Grid를 읽어 들이는데, 입력될 일 최고, 최저기온 Grid의 Protocol은 각각 TMX, TMN, 출력될 Chill Unit Grid는 CHU, 휴면해제시기를 날짜로 출력할 Grid는 CUD, 대상지역의 Masking Grid의 이름은 MSK라고 한다. 입력 Grid 이름은 지역코드(보통 2글자 내외), Protocol(영문 3자), 날짜(Yymmdd)의 형식으로 준비되어야 한다. 또한 각 변수별 입력 Grid들은 Protocol과 동일한 이름을 가진 하위 폴더에 저장되어야 한다. 예를 들어 전북 김제의 10월 1일 일 최고기온 Grid는 TMX 폴더에 'tmxg021001'이라는 이름으로 저장되어야 한다(Table 1).

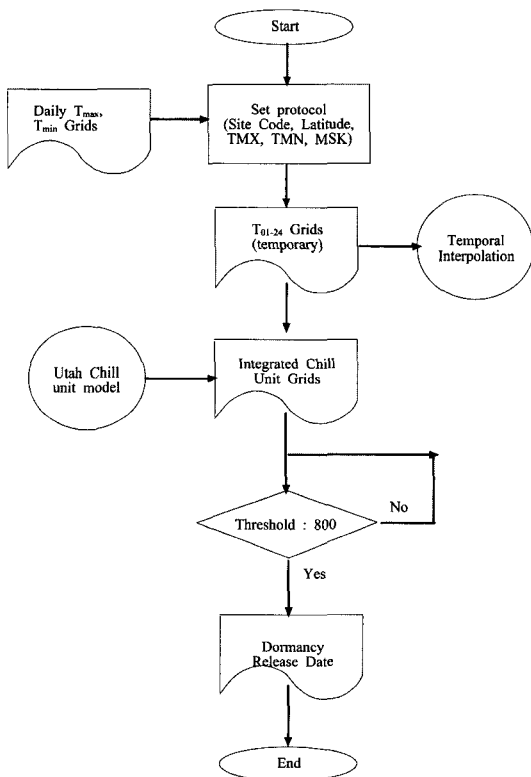


Fig. 1. Structure and flow diagram of CUMAP, a spatial chill unit calculator.

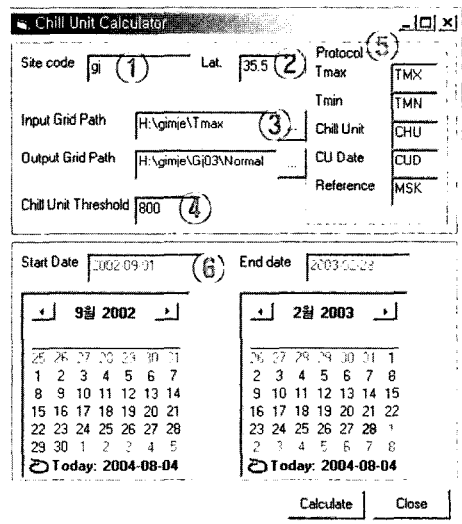


Fig. 2. User interface for spatial chill unit calculator, CUMAP.

Table 1. Summary input grid type with protocol name and path for running ChillUnitGUI.exe.

Type	Protocol name	Grid type	File path (for example)
Input	TMX	Daily maximum temperature grids	Gimje\TMX\txmgj020901
	TMN	Daily minimum temperature grids	Gimje\TMN\tnngj020901
	MSK	Mask grid	Gimje\Mask\mask0
Output	CHU	Hourly Integrated Chill Unit grids	Gimje\CU800\chugj020902
	CUD	Requirement Chill Unit with date grid	Gimje\CU800\cudgj

Mask Grid(reference)의 경우 입력 Grid가 저장되어 있는 폴더에 위치해야 하며 Mask Grid가 입력 Grid의 하위 폴더에 저장되어 있을 때에는 Grid 이름과 함께 하위 폴더명을 함께 지정해주어야 한다. 예를 들어 Mask Grid가 Mask란 하위폴더에 'mask0'이라는 이름으로 저장되어 있을 때에는 Mask\mask0을 입력해야 한다. 마지막으로 Chill Unit을 계산할 날짜의 범위를 설정하고(⑥), '계산'버튼을 클릭하면 계산이 시작된다.

III. 적용사례

3.1. 대상지역 선정 및 일별 기온 Grid 준비

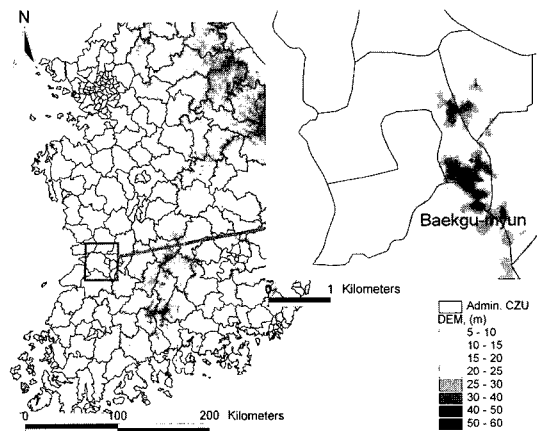
전라북도 김제시 백구면은 북위 35°5', 동경 126°45'에 위치하고 있고, 주변에 큰 산이나 깊은 계곡이 없는 구릉지로 포도(Campbell Early 품종)가 주요작물이다. 이 곳 포도원에서는 가끔씩 월동기간에 동해가 나타나는데 이 지역에 CUMAP을 적용하여 Chill Unit 분포도를 작성하면 내동성 정도를 파악할 수 있고, 이를 피해공간분포와 비교해 볼 수 있을 것이다. 본 연구에서는 백구면 내에서도 포도원이 많이 모여 있는 4.5×6.0km 지역에 CUMAP을 적용하기로 하였다. 먼저 국토지리정보원으로부터 이 지역의 5,000 : 1 수치지형도를 얻어 주곡선 layer로부터 TIN(triangulated irregular network) 표면을 생성하고, 이것을 10m 격자간격의 DEM(digital elevation model)으로 변환하였다(Fig. 3). 기온공간내삽에 필요한 '기상지형'은 기상청 자동기상관측소(AWS) 고도값을 250m 해상도로 IDSW 내삽에 의해 생성하였고, 준비된 10m DEM의 해발고도 면에서 '기상지형'의 해발고도 면을 빼줌으로써 28만개 격자점의 고도편차를 계산하였다. 백구면을 포함한 인근 4곳(군산, 전주, 부안, 정읍)의 무인기상관측소로부터 2002년 9월 1일에서 이듬해 3월 31일까지 212일 간 일 최고, 최저기온값

을 획득하여 단순내삽 및 각 날짜별 기온감율에 의한 해발고도보정을 거친 후 최고, 최저 지형기후모형에 적용하여 백구면 일대의 212일간 일 최고, 최저기온 Grid 총 424개를 계산하였다.

3.2. 저온요구량 추정

정확한 저온요구량의 판정을 위해서는 조절환경실험과 병행하여 해부, 생리, 생화학적 검정이 적용되어야 하나, 국내에서는 아직 과수의 저온요구량을 추정하기 위한 본격적인 연구사례가 보고된 적이 없다. 본 연구에서는 백구면 포도농가의 시설재배시 관행적인 가온시점을 기준으로 역산하여 대략적인 저온요구량을 찾고자 하였다.

2002년 9월 1일부터 백구면 주변의 기상관측(군산, 전주, 부안, 정읍)로부터 입수된 일별 기온자료에서 이들 지점의 Chill Unit 경시변화 양상을 추적해보면 10월 20일까지는 Chill Unit이 축적되지 못하고 오히려 부의 값이 지속적으로 증가하는 경향이다(Fig. 4). 이 날을 지나면 4지점 모두 Chill Unit이 축적되기

**Fig. 3.** Location map of the study area with the agrometeorological station sites.

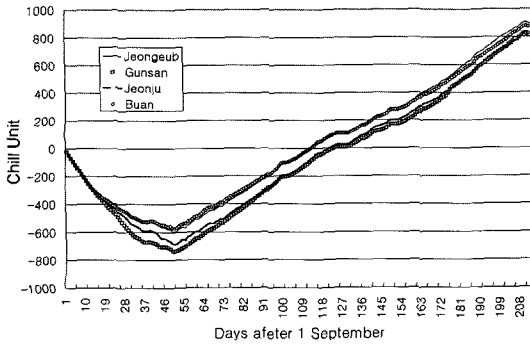


Fig. 4. Temporal march of Chill Unit accumulation at 4 sites with the KMA offices from 1 September 2002 to 31 March 2003. Initially decreasing curves rebound at the lowest point on a specific date (20 October in this 2002 case) and this point is believed to be the beginning of endodormancy.

시작하는데 이 날짜를 휴면개시일로 보는 것이 일반적이다. 시설포도 재배농가에서 가운을 시작하는 시점은 군산에서 1월 중순, 부안에서 1월 하순이므로 10월 21일부터 이 시기까지 축적된 Chill Unit 값을 찾아보면 약 800임을 알 수 있다(Fig. 5). 이 값에 도달하는 시기는 4지점 가운데 군산에서 가장 빠르고 부안에서 가장 늦으며, 전주와 정읍은 이들의 중간정도이다. 이 결과를 근거로 하여 본 연구에서는 포도 Campbell Early 품종의 저온요구량은 800이라고 가정하였다.

3.3. 계산결과

CUMAP에 의해 매일 매일의 적산 Chill Unit Grid 212개가 생성되었고, 휴면해제에 필요한 저온요

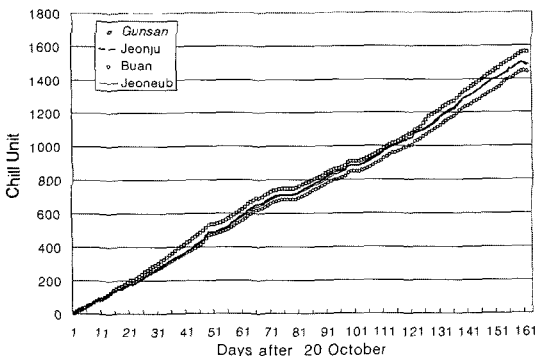


Fig. 5. Chill Unit accumulation since 20 October at 4 sites during the 2002-2003 winter season.

구도 임계값 800에 도달하는 날짜를 격자로 표현한 1개의 Grid가 생성되었다. 예상했던 대로 이 지역 내 휴면해제일의 공간변이는 매우 커서 두 포도원간 거리가 300m만 떨어져도 휴면해제시기가 10일까지 차이 나는 것을 볼 수 있다(Fig. 6).

이 방법을 이용하면 몇 개 지점의 일 최고 및 최저기온은 관측 자료만으로 넓은 지역의 Chill Unit 분포를 손쉽게 계산할 수 있으므로 각종 온대과수의 휴면상태와 기후간의 연구에 유용한 도구로 활용될 수 있을 것이다. 만약 Chill Unit 계산에 의해 어떤 과수의 현재 휴면상태, 즉 휴면의 깊이를 파악할 수 있다면 내동성의 크기를 정량적으로 추정할 수 있을 것이며 이 정보는 일기예보와 함께 과수재배농가의 동태 대책 마련에도 도움이 될 것이다. 한편, 이 방법을 통해 평년의 휴면해제시기에 대한 특정연도 휴면해제시기를 원하는 공간 해상도로 비교할 수 있다면 지역에 따른 시설재배의 가온시기 결정 등에 활용될 수 있다.

IV. 적 요

기온의 공간변이가 심한 넓은 지역에서 Chill Unit 축적량과 휴면해제일의 공간분포를 얻기 위해서 Utah Chill Unit 모형을 지리정보시스템과 결합하여 Chill Unit 공간적산기(CUMAP)를 개발하였다. CUMAP은 Grid 형태의 일 최고, 최저기온을 입력받아 시간내삽법에 의해 매시기온을 추정하고, Utah 모형에 의해

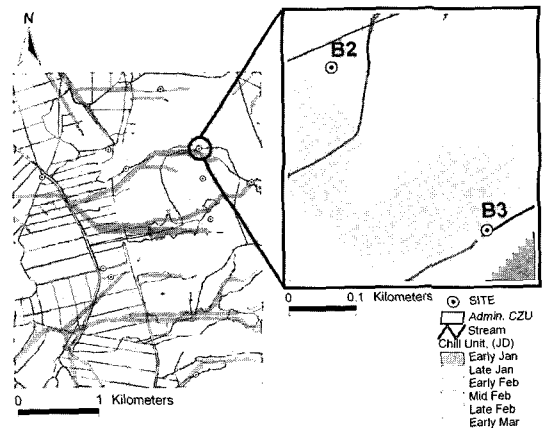


Fig. 6. Spatial distribution of the predicted dates for dormancy release in Campbell Early grape variety (assuming 800 Chill Units for chilling requirement) in Baegu region. Insert is a part of zoomed image.

매시 Chill Unit을 계산한다. 하루 단위로 Chill Unit이 누적되면 Grid 파일로 저장되며, 사용자가 정하는 저온요구량(임계값)에 도달하는 날짜를 역시 Grid 파일로 생성한다. 전라북도 김제시 백구면 일대 포도재배지역에 대해 CUMAP을 적용하여 10m 해상도의 Chill Unit 일별 적산값과 휴면해제일 추정분포도를 작성하였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 농업특정연구사업 (과제명: 포도동해 발생의 지형기후학적 해석연구) 지원으로 수행되었다.

인용문헌

- Balandier, P., M. Bonhomme, R. Rageau, F. Capitan, and E. Parisot, 1993: Leaf bud endodormancy release in peach trees: evaluation of temperature models in temperate and tropical climates. *Agricultural and Forest Meteorology* **67**, 95-113.
- Chung, U., H. H. Seo, K. H. Hwang, B. S. Hwang, and J. I. Yun, 2002: Minimum temperature mapping in complex terrain considering cold air drainage. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **4**(3), 133-140.
- Chung, U., B. S. Hwang, H. H. Seo, and J. I. Yun, 2003: Relationship between exposure index and overheating index in complex terrain. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**(3), 133-140.
- Egea, J., E. Ortega, P. Martinez-Gomez, and F. Dicenta, 2003: Chilling and heat requirement of almond cultivars for flowering. *Environmental and Experimental Botany* **50**, 79-85.
- Faust, M., 1989: Resistance of fruit trees to cold. In *Physiology of Temperate Zone Fruit Trees*. John Wiley and Sons, 307-331.
- Parton W. J., and J. A. Logan, 1981: A model for diurnal variation in soil and air temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* **23**, 205-216.
- Richardson, E. A., S. D. Seely, and D. R. Walker, 1974: A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. *HortScience* **10**, 559-560.
- Seely, S. D., 1996: Modeling climatic regulation of bud dormancy. In G. A. Lang (ed.) *Plant Dormancy - Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. CAB International, Wallingford, U.K., 361-376.
- Valentini, N., G. Me, and R. Ferrero, 2001: Use of bioclimatic indexes to characterize phenological phase of apple varieties in northern Italy. *International Journal of Biometeorology* **45**, 191-195.