

## 휴면타파부터 개화개시까지의 일 최저온도가 사과 생물계절에 미치는 영향

남궁경봉, 윤성철\*

선문대학교 제약생명공학과

(2023년 08월 28일 접수; 2023년 09월 11일 수정; 2023년 09월 13일 수락)

## The Effect of Daily Minimum Temperature of the Period from Dormancy Breaking to First Bloom on Apple Phenology

Kyung-Bong Namkung and Sung-Chul Yun\*

Department of Pharmaceutical Engineering and Biotechnology, Sunmoon University, Asan, 31460, Korea

(Received August 28, 2023; Revised September 11, 2023; Accepted September 13, 2023)

### ABSTRACT

Accurate estimation of dormancy breaking and first bloom dates is crucial for effective fire blight control by disease model such as *Maryblyt* in apple orchards. The duration from dormancy breaking to first bloom in apple trees was influenced by daily minimum temperatures during the dormant period. The purpose of this study is to investigate the relationship between minimum temperatures during this period and the time taken for flowering to commence. Webcam data from eight apple orchards, equipped by the National Institute of Horticultural and Herbal Science, were observed from 2019 to 2023 to determine the dates of starting bloom (B1). Additionally, the dormancy breaking dates for these eight sites were estimated using an apple chill day model, with a value of -100.5 DD, based on collected weather data. Two regressions were performed to analyze the relationships: the first regression between the number of days under 0°C ( $X_1$ ) and the time from calculated dormancy breaking to observed first bloom (Y), resulting in  $Y = 0.87 \times X_1 + 40.76$  with  $R^2 = 0.84$ . The second regression examined the starting date of breaking dormancy ( $X_2$ ) and the duration from dormancy breaking to observed first bloom (Y), resulting in  $Y = -1.07 \times X_2 + 143.62$  with  $R^2 = 0.92$ . These findings suggest that apple anti-chill days are significantly affected by minimum temperatures during the period from dormancy breaking to flowering, indicating their importance in fire blight control measures.

**Key words:** Fire blight, *Maryblyt*, Phenology model, Web-cam



\* Corresponding Author : Sung-Chul Yun  
(scyun@sunmoon.ac.kr)

## I. 서 론

휴면해제, 발아, 개화 단계로 발달하는 사과나무 생물계절은 휴면을 시작하는 늦가을부터 봄까지 경과 기온 변동에 따라 각 발달 단계를 거치는 기간들이 달라진다(Guo *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2020). 예를 들어, 휴면 동안의 따뜻한 기온은 꽃눈 발아와 개화를 지연시키지만(Sugiura, 2002), 휴면타파 이후 1~4월 중 따뜻한 기온은 꽃눈 발아와 개화를 앞당긴다(Kim *et al.*, 2020). 매년 변하는 사과나무 개화기간을 파악하면 과수 화상병 꽃감염 방제를 위한 *Maryblyt*와 같은 병모델(Turechek and Biggs, 2015)을 구동할 수 있을 뿐만 아니라, 발아 직전 동계 살포 및 개화 직전 화상병 1차 예방 약제 살포 적기를 판단할 수 있다(Namkung and Yun, 2022a). 최근 온난화가 지속되면서 꽃에 동상해가 잦아데, 피해의 원인은 1~4월 중 따뜻한 기온에 의해 일찍 개화한 꽃에 갑자기 발생한 늦서리 혹은 냉해 때문이다(Kim and Kim, 2018; Kim *et al.*, 2019). 과수 재배 농민들은 이미 핀 꽃의 동상해를 막기 위해 이른 새벽에 물을 뿌리는 경종적 방법을 사용하기도 한다.

우리나라에서 사과 화상병은 2015년에 충북에서 발병이 처음 보고된 후(Myung *et al.*, 2016), 2020년까지는 발생 면적이 증가되었다가 이후 2023년 현재까지 발생 면적은 차츰 감소되었지만, 현재까지 발병하지 않았던 지역으로의 확산은 계속되고 있다(Ahn and Yun, 2021; Ham *et al.*, 2020). 화상병은 우리나라 금지병해충으로서 공적방제를 시행 중인데, 건전한 사과나무로 병원균 유입을 차단하는 것이 중요하다(Slack and Sundin, 2017; Wallis *et al.*, 2020). 화상병원균은 1~2개 궤양만으로도 과수원 전체를 감염시킬 수 있고, 확산 속도도 매우 빨라(Thomson, 2000) 감염초기 선제적 방제가 필요하다.

*Maryblyt*는 사과나무 개화기간 중 매일 변하는 꽃의 암술머리에서 증식하는 *Erwinia amylovora* 병원균의 밀도 변동과 강우나 이슬 같은 수분에 의해 병원균이 주두로부터 씻겨 내려가 식물 내부로 유입되는 꽃감염 시기를 예측함으로써 방제 적기를 찾는 일종의 의사결정 화상병 병모델이다(Steiner, 1990; Turechek and Biggs, 2015). *Maryblyt*를 구동하려면 해당 과수원에서 직접 개화 여부를 확인하고 병모델에 입력해야 한다. 2020년까지 발병이 심했던 충주, 제천 등 충북 지방의 사과 화상병 연구(Ahn and Yun, 2021)는 점진적인 단계로 진행되었는데 먼저, 2019~2020년 충주시 산

척면 과수원에서 관측된 개화기간 영상 자료를 근거로 사과나무 생육모델에 필요한 생육단계별 *anti-chill day* (Ca) 기준값을 설정했다. 이렇게 설정된 Ca 기준값을 적용한 생육모델에 충북 내 여러 지점들의 기상자료를 입력함으로써 각 지점들의 사과나무 개화기간을 추정했다. 추정한 개화기간을 *Maryblyt*에 입력하여 충북 각 지점들의 화상병 꽃감염 위험도와 궤양병징 예측일을 추정할 수 있었다.

사과 화상병의 전국적 확산을 막기 위해 *Maryblyt*를 활용하려면 우리나라 사과 과수원 전체를 대상으로 관측한 방대한 개화기간 정보가 필요하다. 인력을 활용하거나 웹캠을 통해 원격으로 사과나무 개화기간을 관측할 수도 있겠지만, 현재로서는 기상청과 농진청에서 구축한 수백 대 이상의 자동기상 관측망에서 수집하고 있는 기상자료를 사과나무 생육모델에 입력하여 추정한 개화기간을 *Maryblyt*에 입력하는 것이 적절하다. *chilling and forcing* 모델(Cesaraccio *et al.*, 2004)은 사과나무 생육모델 중 한 종류로서 가을철 낙화 이후 저온 요구도를 완성할 때까지 *chill-day*(Cd)값을 Degree Day(DD)로 누적하여 정해진 Cd 기준값에 도달한 날을 자발휴면 타파일로 추정한다. 자발휴면 타파일로부터 *anti-chill days*(Ca)값을 Degree Day(DD)로 누적하여 이듬해 생육을 시작한 사과나무의 일련의 발달 단계에 해당하는 날짜를 추정하는데, 눈 발아 50% 이상인 날(GT), 개화 시작일(B1), 과수원 전체 80% 꽃이 피는 만개일(BB) 등의 추정은 정해진 각 생육 단계별 Ca 기준값에 도달한 날로 결정된다(Cesaraccio *et al.*, 2004).

본 연구의 목적은 사과나무 개화기간을 정확하게 추정한다기보다는 화상병 꽃감염 방제를 위해 *Maryblyt* 구동에 필요한 우리나라 전국의 사과 과수원들의 개화기간을 적절하게 추정하는 것이다. 비록 생육모델로 추정한 개화기간이 실제 과수원에서 관측한 개화기간과 정확히 일치하지 않더라도 사과꽃이 대부분 피어있는 개화 개시일부터 만개일까지 개화기 전반부 기간을 파악할 수 있으면 현장에서 요구하는 화상병 꽃감염 적기 방제 정보를 얻는데 충분하다. 특히 이전 연구에서 사과나무 개화기간 추정을 위해 사용한 충북 Ca 기준값을 우리나라 사과 재배 전 지역에 적용할 수 있는지를 알아보기 위해 전국에 골고루 분포한 8곳 과수원의 영상자료로부터 관측한 개화기간과 추정한 개화기간을 비교하고, 필요하면 생육모델 Ca 기준값을 보정하고자 한다. 또한 월동기간 중의 온화해진 기온에 따라 달라지는 사과나무 생물계절 변동은 이듬 해 영농을 준비하

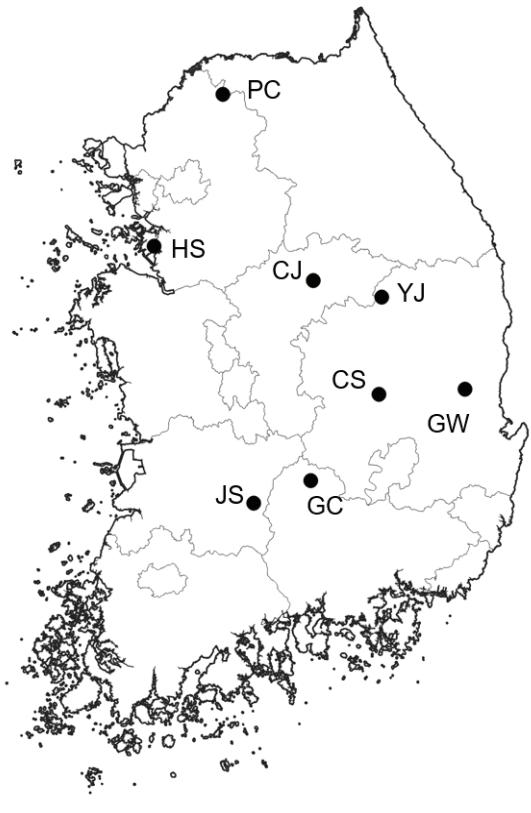
는 과수 농가뿐만 아니라 농정 당국이 기후변화에 선제적으로 대응할 수 있는 중요한 정보이므로 본 연구에서는 월동부터 자발휴면 타파까지 그리고 그 이후부터 개화 개시일까지 일 최저기온이 사과나무 생육계절에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 사과 과수원 웹캠 영상자료 관측 및 기상

#### 자료 수집

원예특작과학원에서는 우리나라 전역에 분포한 8곳의 사과 과수원(Fig. 1, Table 1)내 같은 장소에 웹캠과 자동기상측정 장비를 설치하고 2019년부터 영상 및 기상자료를 수집하여 제공 중이다(<https://fruit.nihhs.go.kr>). 본 연구에서는 2019년부터 2023년까지 사과나무 생육 중 발아(GT, BBCH scale 07), 과수원에서 처음 개화 관측(B1, BBCH scale 61), 과수원에서 80% 이상 개화한 만개(BB, BBCH scale 68), 낙화 완료(PF, BBCH scale 69) 등 일련의 발달 단계별로 영상을 관측하고 해당일을 기록하였다. 또한 같은 기간 동일 장소에서 수집한 기상자료로 사과나무 생육모델인 chilling and forcing 모델(Cesaraccio *et al.*, 2004)을 구동하여 추정된 개화기간과 영상자료로 관측한 개화기간을 비교하였다. 수집한 기상자료는 낙엽이 시작되는 전년도 10월 1일부터 이듬해 낙화가 완료되는 5월 중순까지 일 최저기온과 최고기온, 일 강수량이었다. 본 연구에 사용한 영상 및 기상자료 수집 기간은 총 8개 과수원 중 경기도 포천, 화성 그리고 충주 과수원들은 2020~2023년까지였고, 나머지 다섯 과수원의 기상 및 영상 자료는 2019~2023까지의 기록이었다(Table 1). 충주 자료는



**Fig. 1.** Geographical distribution of eight apple orchards with web-cam equipment established by National Institute of Horticultural and Herbal Science (NIHHS).

2020년에는 충주시 산척면 과수원에서 수집했으나, 해당 과수원이 공적방제되어 폐원됨에 따라 2021년부터 2023년까지의 충주 자료는 측정장비가 옮겨진 충주 안

**Table 1.** The eight sites of apple orchards with web-cam and Automated Weather Station (AWS) installed by National Institute of Horticultural and Herbal Science (NIHHS)

Site	Data collection	Latitude	Longitude	Address
Pocheon (PC)	2020~2023	37.1204	127.6087	경기 포천시 영북면 운천리 산1번지
Hwaseong (HS)	2020~2023	37.1753	126.7523	경기 화성시 마도면 해운로 630번길 13
Chungju (CJ)	2020~2023	36.9687	127.9723	충북 충주시 안림동 37
Yeongju (YJ)	2019~2023	36.8655	128.4942	경북 영주시 봉현면 두산리 534-2
Cheongsong (CS)	2019~2023	36.3017	129.1185	경북 청송군 부남면 양숙리 609
Gunwi (GW)	2019~2023	36.2787	128.4662	경북 군위군 소보면 위성리 251-4
Geochang (GC)	2019~2023	35.7593	127.9455	경남 거창군 주상면 남산리 210-1
Jangsu (JS)	2019~2023	35.6222	127.5191	전북 장수군 장수읍 개정리 238-66

림동 과수원에서 수집한 자료였다.

**2.2. 사과 생물계절 추정**

사과 생육단계 중 자발휴면 타파일을 추정하기 위해 chilling and forcing 모델을 활용하였다. 사과나무가 휴면을 개시하는 전년도 10월 1일부터 chill days를 적산하여 정해진 Degree day 기준값을 충족한 날이 자발 휴면 타파일이었다. 우리나라 후지 품종 연구(Kim *et al.*, 2009)로부터 적산온도에 사용되는 한계온도(threshold)를 6.1°C로, 자발휴면 타파일 기준값은 -100.5 DD에 도달하는 날로 정했다.

휴면타파 이후 사과 생육단계를 결정하는 anti-chill day의 적산온도 계산을 위해서는 이 기간 중의 일 최고기온(Tx), 일 최저기온(Tn), 그리고 6.1°C로 결정한 한계온도(threshold temperature, Tc)가 필요하다. 이 세 온도의 상대적인 높낮이로 결정되는 다섯 조건들에 따라 다음과 같이 Ca값을 계산하였다(Cesaraccio *et al.*, 2004). 첫째, 한계온도(6.1°C)가 일 최저(Tn)기온보다 낮으면, Ca = 평균기온 - 6.1로 계산하였다. 둘째, 한계온도(6.1°C)가 일 최저기온보다는 높지만 일 최고기온보다 낮으면, Ca = (일 최고기온 - 6.1°C)/2로 계산하였다. 셋째, 일 최고기온, 최저기온 모두 한계온도(6.1°C)보다 낮으면, Ca = 0으로 하였다. 넷째, 일 최저기온이 0°C보다 낮고 일 최고기온은 한계온도(6.1°C)보다 낮으면, Ca = 0으로 하였다. 마지막 다섯째는, 일 최저기온이 0°C보다 낮고, 일 최고기온은 한계온도(6.1°C)보다 높으면, Ca = (일 최고기온 - 6.1°C)/2로 계산하였다(Cesaraccio *et al.*, 2004). 매일 Ca 값을 누적하면서 휴면타파 이후 각 발달 단계별로 정해진 Ca 기준값에 Ca

계산값이 도달되면 사과나무는 해당한 발달 단계를 달성하는 것으로 정하였다. 사과나무 발달 단계별 Ca 기준값은 발아 50%인 날(GT)은 Ca가 140.3 DD에 도달하는 날, 개화 개시일(B1)은 Ca가 255.0 DD에 도달하는 날이었고, 만개일(BB)은 Ca가 326.0 DD에 도달하는 날이었으며, 낙화일은 만개일로부터 12일 후로 정하였다(Yang *et al.*, 2022).

**2.3. 사과나무 개화기간 관측값과 추정값 비교**

2019~2023년 동안 8군데 사과 과수원 개화기간 영상자료 관측값과 생물계절 모델로 계산한 개화기간 추정값을 비교한 결과(Namkung and Yun, 2022b), 앞서 제시한 충주 관측을 기반으로 정한 Ca 기준값을 적용한 생육모델에 기상자료를 입력하여 추정한 개화기간이 전북 장수를 제외한 7개 과수원에서 관측한 개화기간과 유사하였다. 반면, 전북 장수에서 관측한 사과나무 개화기간은 충주 Ca 기준값으로 생육모델이 추정한 개화기간보다 너무 늦게 개화가 시작되어(Namkung and Yun, 2022b) 화상병 모델 구동에 적합하지 않았다. 따라서 2019~2022년의 웹캠에서 관측한 자료를 활용하여 전북 장수만을 위한 새로운 Ca 기준값을 설정하였다(Table 2). Table 2를 요약하면, GT에 도달하는 Ca 기준값은 107.97 DD, B1에 도달하는 Ca 기준값은 223.45 DD, 그리고 BB에 도달하는 Ca 기준값은 266.95 DD였고 만개일부터 낙화까지 기간은 12일로 정하였다. 장수 지역을 위한 새로운 Ca 기준값으로 추정한 개화 개시일은 충주 지역 Ca 기준값으로 추정한 개화 개시일보다 대략 4~5일 앞당겨졌다(Namkung and Yun, 2022b).

**Table 2.** Observed dates of 50% of green tip sprouting (GT), the first day of bloom (B1), and full bloom (BB) determined by visually analyzing video images taken in apple orchards in Jangsu-eup, Jangsu-gun (JS), from 2019 to 2022, and the calculation standard for the chilling and forcing model for Jangsu-gun (DVR) model with high-temperature demand

Apple growth stage	Date of the images taken				Anti Chill day (DD)				Calculation standard
	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	
Green tip 50% (GT)	4/01	3/29	3/26	3/31	107.97	119.53	130.76	120.64	107.97
First day of bloom (B1)	4/23	4/25	4/12	4/18	223.45	224.16	230.12	238.59	223.45
Full bloom (BB)	4/29	5/01	4/19	4/24	252.09	270.56	257.62	287.55	266.95
Petal Fall (PF)	5/09	5/13	4/30	5/04	10 d	12 d	11 d	10 d	10 d

Calculation standards for green tip 50% (GT) and first day of bloom (B1) were decided based on the minimum Anti Chili Day (DD), and those for the full bloom (BB) were decided based on the average of DD for the four years.

2.4. 휴면타파일부터 개화개시까지의 회귀분석

사과나무 자발휴면 타파일로부터 이듬해 생육이 시작되어 과수원에서 처음 핀 꽃을 관측한 개화 개시일까지의 일 최저온도가 이 기간의 길이에 미치는 영향을 알아보았다. 이 기간의 시작일인 자발휴면 타파일은 chili-day model을 이용해 계산한 추정일이었고, 이 기간이 끝나는 개화 개시일은 8개 과수원의 웹캠 영상에서 개화를 관측한 날이었다. 2019년도 영상관측은 5개 과수원에서만 얻을 수 있었고, 2020년부터 2023년까지는 8개 과수원 모두에서 자료를 얻을 수 있어, 분석에 사용한 기간들은 5년간 총 37개 자료였다. 이 기간 동안 일 최저온도 중에서 0°C 이하, -3°C 이하, -5°C 이하, -7°C 이하인 날들이 각각 며칠인지를 확인하였

다. 이 기간 중 각 온도 이하인 날이 며칠인지를 독립변수( $X_i$ )로 하고 자발휴면 타파일로부터 개화한 꽃을 과수원에서 처음 관측한 날까지의 기간을 종속변수( $Y$ )로 하는 첫 번째 단순선형 회귀분석을 0°C 이하, -3°C 이하, -5°C 이하, -7°C 이하 등 4가지 온도별로 각각 실시하였다(Table 2).

두 번째 단순선형 회귀분석은 휴면타파일로부터 개화 개시일까지의 기간과 자발휴면 타파가 완료되어 anti-chili day 누적( $Ca$ )을 시작하는 날짜(Julian day) 사이의 관계를 알아보기로 독립변수는 줄리안데이로 환산한 자발휴면 타파일( $X_2$ ), 종속변수는 자발휴면 타파일로부터 개화를 최초로 관측한 날짜까지의 기간( $Y$ )으로 하는 단순선형 회귀분석을 실시하였다.

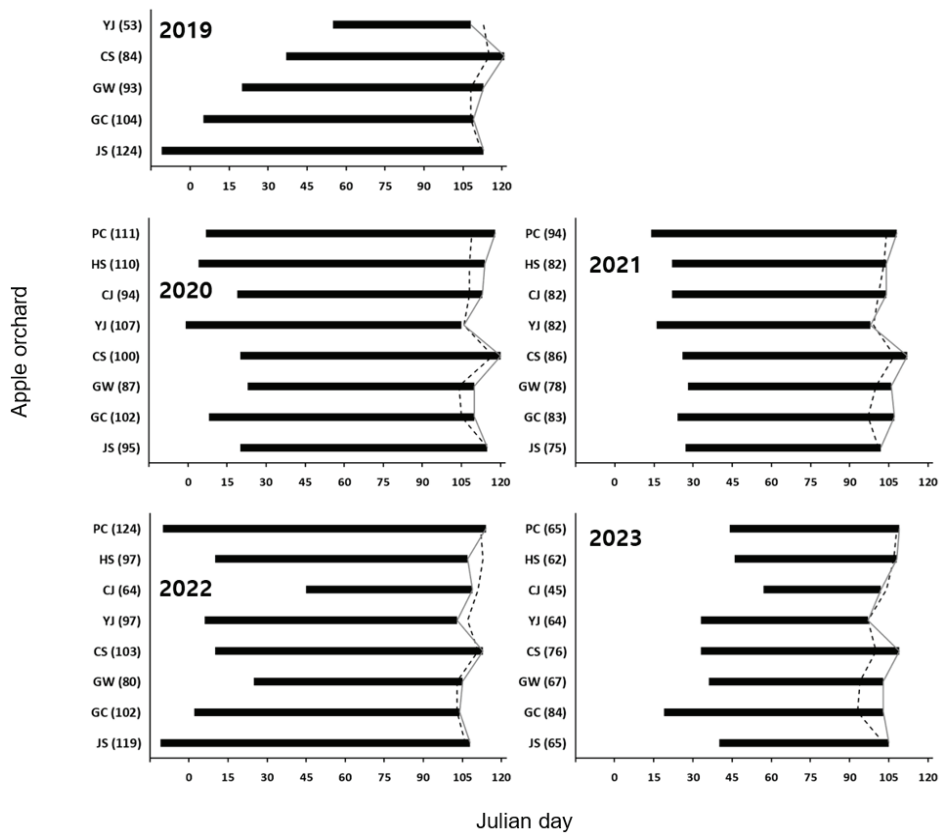


Fig. 2. Duration from dormancy breaking to first flowering (B1) of apple trees in eight orchards. The starting dates of dormancy breaking were calculated using an apple chili model, and the ending dates of first apple flowering were observed using web-cam. The dotted lines represent the calculated first flowering (B1) based on the model. The orchard locations are abbreviated as follows: PC for Pocheon, HS for Hwasong, CJ for Chungju, YJ for Yeongju, CS for Cheongsong, GW for Gunwi, GC for Geochang and JS for Jangsu. The numbers in parentheses indicate the length of the day from dormancy breaking to first flowering date in each orchard.

### III. 결 과

#### 3.1. 자발휴면 타파일로부터 개화까지 기간

Fig. 2은 8개 과수원 기상자료로 생육모형을 구동하여 추정된 자발휴면 타파일로부터 과수원에서 개화를 처음 관측한 날까지 기간을 2019년부터 2023년까지 연도별로 나눈 것이다. 각 연도별 그림들에서는 8개 과수원들의 기간을 가로선 길이로 표시했는데 Y축에는 과수원 지점을 영문 약자로 표기하고 괄호 안에는 가로선의 길이인 기간을 숫자로 나타냈다. 과수원은 가장 북쪽인 경기 포천을 맨 위로 가장 남쪽인 전북 장수를 맨 아래로 위도 순으로 배열하였다. 이 기간은 지역별 차이보다는 연도별 차이가 더 컸는데, 8개 과수원의 연평균 기간은 2020년 평균이 100.5일로 가장 길었고 1~4월이 따뜻했던 2023년 평균은 불과 66.0일이었다. 2023년을 제외하면 나머지 4개 연도의 평균은 82.8~100.5일이었다. 충주는 다른 지역보다 대체로 이 기간이 짧았지만, 중부지방이 남부지방보다 짧다고 할 수는 없었다.

한편 관측한 개화 개시일(Fig. 2의 가로선 오른쪽 끝, 실선 연결)과 생육모형에서 Ca 기준값을 활용하여 기상자료로 계산한 추정된 개화 개시일(Fig. 2의 가로선 오른쪽 끝, 점선 연결)간의 차이는 추정일이 관측일보다 대체로 2~5일, 많게는 9~10일 더 빨랐으나 2022년도의 영주, 충주, 화성 그리고 2023년도의 충주, 2021년과 2019년의 영주에서는 반대로 추정일이 관측

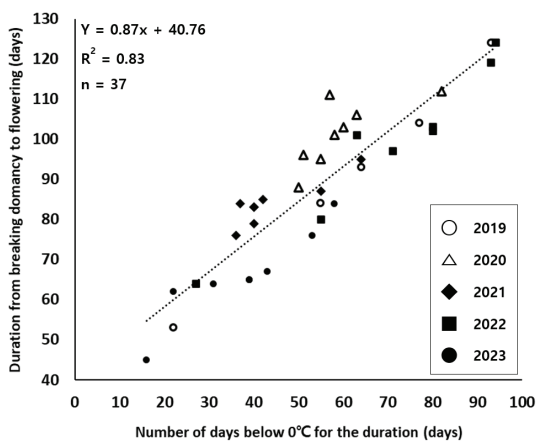


Fig. 3. Regression analysis of the duration (Y) from dormancy breaking to first flowering in apple trees and the number of days (X<sub>1</sub>) below 0°C of daily minimum temperatures during that period.

일보다 2~6일 더 늦었다(Fig. 2).

#### 3.2. 자발휴면 타파일로부터 개화까지 기간 중의 일 최저온도의 영향

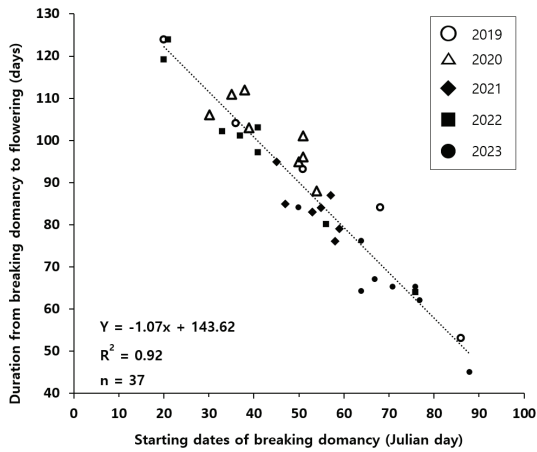
2019~2023년 동안 일 최저기온이 0°C 이하인 날은 최저 15일부터 94일까지 다양하였는데, 특히 2023년(Fig. 3의 ● 표시)은 다른 해보다 0°C 이하인 날이 16~58일로 비교적 적었고, 휴면타파부터 개화 개시일까지의 기간도 45~84일로 짧았다. 한편, 2022년에는 충주를 제외하면 0°C 이하인 날이 55~94일로 비교적 많았고, 기간은 80~119일로 길었다. 즉, 일 최저온도가 0°C 이하인 날이 많을수록 휴면 타파일로부터 개화 개시일까지 기간이 길어지는 양의 상관관계를 뚜렷하게 보였다(Fig. 3).

Table 3은 자발휴면 타파일부터 개화까지 기간 중 0°C 뿐만 아니라 -3°C, -5°C, -7°C 이하인 날이 며칠 인지를 독립변수로 하는 네 가지 단순선형 회귀분석들을 비교한 결과인데, 0°C 이하인 날을 독립변수로 한 회귀식이 두 변수의 양의 상관관계를 가장 뚜렷하게 나타냈다(Table 3).

자발휴면 타파일부터 개화 개시일까지의 37개의 기간을 종속변수(Y)로 하고, 자발휴면 타파일을 줄리안데이(Julian day)로 환산한 날짜를 독립변수(X<sub>2</sub>)로 하는 단순선형 회귀분석을 실시하였다(Fig. 4). 이 회귀분석 결과 자발휴면 타파일(X<sub>2</sub>)이 늦을수록 기간(Y)이 짧아지는 부의 상관관계를 뚜렷하게 보였는데(Fig. 4), 특히, 이 기간이 비교적 짧았던 2023년에는 영주와 청송의 자발휴면 타파일이 66 줄리안데이(3월 7일)였고, 충주는 88 줄리안데이(3월 29일)로 추정되었다. 한편 비교적 기간이 길었던 2021년과 2022년에는 자발휴면 타파일이 20~50 줄리안데이였는데, 이는 1월 20일부터 2월 20일에 자발휴면이 타파된 것으로 추정되며, 이

Table 3. The results of the regression analyses between the periods from dormancy breaking to first bloom and the number of days under the four different threshold temperatures during the period

Threshold (°C)	Regression equations	R <sup>2</sup>
0	y = 0.8736x + 40.767	0.8370
-3	y = 0.8919x + 56.579	0.6905
-5	y = 0.9592x + 64.310	0.6243
-7	y = 1.0768x + 70.384	0.5101

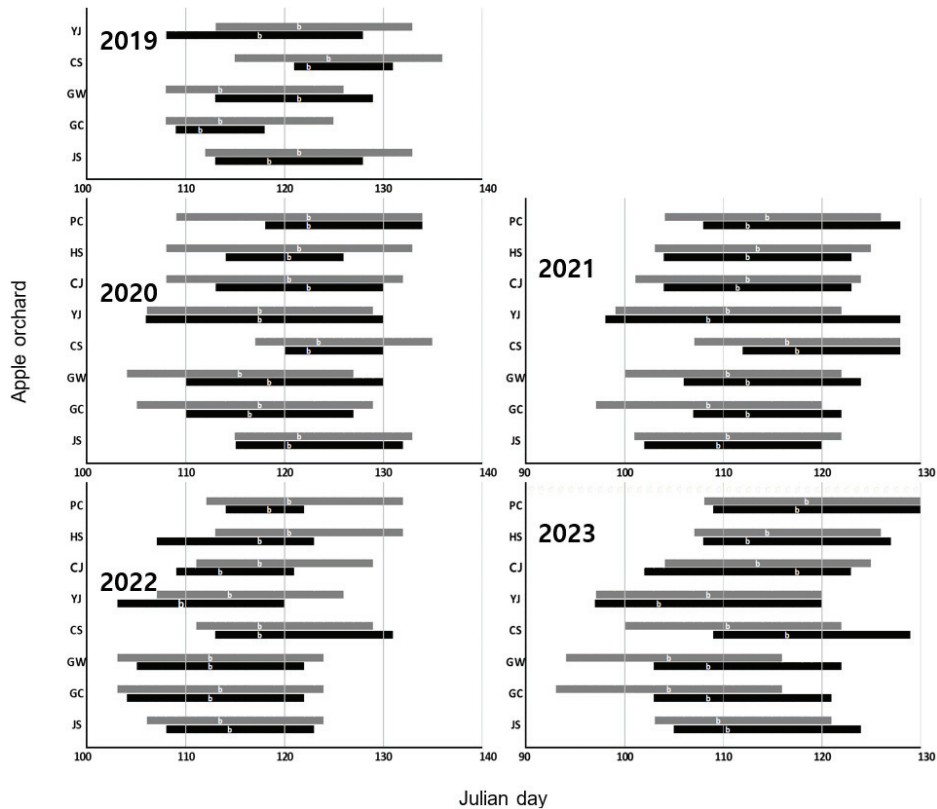


**Fig. 4.** Regression analysis of the duration (Y) from dormancy breaking to first flowering of apple trees and the starting date (X<sub>2</sub>) of the dormancy breaking.

휴면 타파일부터 개화까지 소요되는 기간은 90~120 일로 추정되었다. Fig. 4에서 마이너스로 표시된 줄리 안데이는 2019년 장수, 2022년 장수와 포천에서 각각 -11, -11, -10일이었는데, 마이너스는 전년도를 의미하며, -11일은 12월 20일이었고 -10일은 12월 21일이었다.

**3.3. 과수원에서 관측한 개화기간과 생육모델이 계산한 개화기간 비교**

Fig. 5는 2019~2023년의 8개 과수원의 영상자료로부터 관측한 개화기간과 같은 장소에서 측정된 기상자료로 생육모델을 구동하여 추정된 개화기간을 나란히 비교한 것이다. 전남 장수의 추정 개화기간은 수정한 Ca 기본값(Table 2)을 기준으로 계산하였다. 관측된 개화기간은 지역과 연도에 따라 변이가 컸는데 2022년 포천에서 관측한 개화기간은 불과 8일이었던 반면 2021년 영주의 관측 개화기간은 30일이었다(Fig. 5).



**Fig. 5.** Comparison of opening blossom duration between forcing and chilling model calculation (■) and observation (■) by web-cam at eight orchards from 2019 to 2023. The letter 'b' represents the day of full bloom, indicating when 80% of flowers were opened. Orchards: PC - Pocheon, HS - Hwaseong, CJ - Chungju, YJ - Yeongju, CS - Cheongsong, GW - Gunwi, GC - Geochang, JS - Jangsu.



한편 생육모델로 추정된 개화기간은 20일 내외로 일정하였다. Fig. 5의 관측한 개화기간과 추정된 개화기간 막대선들에서 b로 표시된 날은 개화기간 중 과수원에 약 80% 꽃들이 핀 만개일로 추정(Fig. 5의 회색선) 혹은 관측된(Fig. 5의 검은선) 날이다. 과수원에서 개화 개시일부터 만개일까지의 기간인 B1~BB 즉, 개화 전 반부 기간은 과수원 내 대부분의 꽃이 집중적으로 피는 기간이므로 *Maryblyt* 입력시 개화기간에 반드시 포함되어야 한다. 이러한 개화 전반부 기간의 길이는 관측에서는 2~11일이었던 반면, 기상자료를 기반으로 생육모델로 추정된 개화기간에서는 이 기간이 6~13일이었다. 특히 2022년의 화성, 충주, 영주 과수원에서는 관측된 개화 개시일이 생육모델로 추정된 개화 개시일보다 각각 6일, 2일, 4일 더 빨랐으므로, 이들 세 과수원에서 추정된 개화기간으로 구동한 병모델 결과에는 2~6일 전에 이미 개화한 꽃감염 위험도 정보가 없어 현장 적용에 문제가 있다(Fig. 5). 또한 2023년 충주 그리고 2021년과 2019년의 영주에서도 추정일보다 각각 1일, 5일 먼저 개화가 관측되어 같은 문제점이 있었다. 한편, 장수는 생육모델의 모수를 보정한 후 추정된 개화기간은 관측한 개화기간을 충분히 포함하였다(Fig. 5). 또한 만개 후 낙화까지의 개화 후반부 기간은 생육모델에서는 12일로 정하였지만, 실제 관측된 만개로부터 낙화까지의 기간은 5~15일로 매우 다양하였다.

#### IV. 고 찰

본 연구를 통해 2019년부터 2023년까지 다섯 차례의 월동기간 분석만으로도 일 최저기온이 사과나무 월동부터 개화 초기까지의 생육 기간을 연장시키거나 단축시킨다는 사실을 충분히 확인할 수 있었다. 전년도 가을 낙엽 이후 월동 시작부터 일 최저기온을 누적한 Cd값이 -100.5 DD를 충족해야만 자발휴면이 타파되므로(Kim *et al.*, 2009) 휴면기간 중 추위가 심하면 휴면 타파일은 12월 20일까지도 앞당겨졌으나, 휴면기간이더라도 추위가 심하지 않으면 휴면 타파일은 2월 25일까지 늦춰졌다. 2019년부터 2022년까지 8개 과수원에서 추정된 자발휴면 타파일로부터 관측된 개화 개시일까지 기간들 중에서 2019~2022년까지 8개 과수원의 연평균 기간은 83~100일이었으나, 1~4월이 온화했던 2023년 8개 과수원의 평균 기간은 66일에 불과하기 때문에 2023년에는 휴면타파부터 개화까지 발달이 지난 4년보다도 더 빠르게 진행되었다. 한편 2022년

가을부터 시작한 사과나무 월동기간 중 기온도 온화했기 때문에 자발휴면 타파일은 지난 4년보다 늦춰졌다. 2023년의 사과나무 생육은 자발휴면 타파는 뒤늦었으나 휴면타파부터 개화 개시일까지 기간은 지난 4년보다 17~34일 단축되어 이 둘을 반영한 2023년 개화 개시일은 대략 4월 초였다. 비교적 빠른 4월 초에 개화한 사과꽃에 저온이 발생하면 동상해 위험이 높는데, 향후 온난화가 지속된다면 이와 비슷한 상황이 종종 나타날 것으로 예상된다.

경기 포천부터 전북 장수까지 우리나라 전역의 주요 사과단지를 포함하는 8곳의 과수원들 간의 개화 개시일의 최소값과 최대값의 차이인 범위는 같은 해끼리는 30일 이내였던 반면, 지난 5년 동안 개화 개시일의 연도별 평균들 간의 범위는 30일보다 더 컸다. 즉, 우리나라 전체 사과나무 생육단계별 범위는 지역별 범위보다 연도별 범위가 더 크므로 향후 온난화에 따른 사과나무 생물계절의 범위는 우리가 예상할 수 있는 지역들 간의 차이보다도 훨씬 클 것이다.

모델이 권고하는 방제를 수행할 목적으로 사과나무 생육모델로 추정된 개화기간을 *Maryblyt*에 입력할 때 유의할 점은 추정된 개화기간과 실제 개화기간이 일치하지 않더라도 추정된 개화기간이 실제 관측한 개화기간을 충분히 포함해야 화상병 꽃감염 저기 방제를 위한 정보로서 가치가 있다. 특히 개화 개시일부터 80% 꽃이 피는 만개일 사이인 개화 전반부 기간의 추정값이 실제 개화기간을 포함하는 것이 중요하다(Steiner, 1990). 지난 5년 중 2022년을 제외한다면 본 연구에 사용된 생육모델로 추정된 개화 개시일은 관측일보다 대체로 먼저 시작하므로 개화 전반부를 포함하게 되어 병모델을 구동하는데 충분하다. 한편, 만개부터 낙화까지 개화 후반부 기간도 실제 관측에서는 5~15일로 다양하게 관측되었다. 생육모델에서 정한 개화 후반부 기간은 12일로 고정했는데, 이 기간도 향후에는 재배자가 병모델에 직접 입력함으로써 과수원 상황을 따르는 것이 바람직하다.

자발휴면 타파일부터 개화 개시일까지 기간 동안 일 최저기온이 0°C 이하인 날이 지난 5년간 15~90일이었고 이 중 대부분 30일에서 80일 사이가 대부분이었다. 첫 번째 회귀식의 의미는 일 최저기온이 0°C인 날이 하루 증가할 때마다 자발휴면 타파일부터 개화 개시일까지 기간은 0.87일씩 증가하고 여기에 40.767일을 합해 최종 기간이 된다는 것이다. 즉, 일 최저 기온이 0°C 이하인 날이 30일이었다면 이 기간은 67일로 추정



되며, 일 최저 기온이 0°C 이하인 날이 80일이었다면 이 기간은 110일로 추정된다. 지난 5년간 자발휴면 타파일은 -11~55 줄리안데이였고, 이들 중 대부분은 1~45 줄리안데이였다. 두 번째 회귀식의 의미는 자발휴면 타파일이 하루 늦춰짐에 따라 자발휴면 타파일부터 개화 개시일까지 기간은 143.62일로부터 1.0709일씩 단축된다는 것이다. 자발휴면 타파일이 1 줄리안데이면 이 기간이 약 143일이므로 개화 개시일은 4월 24일로 추정되며, 자발휴면 타파일이 45 줄리안데이면 이 기간이 95일이므로 개화 개시일은 4월 20일로 추정된다.

본 연구는 주요 화상병 발병지인 충북 지역을 포함하여 경기, 경북 그리고 충남 및 일부 전북과 경남까지 우리나라 주요 사과 재배 단지를 대표할 수 있는 8곳의 과수원에서 최근 5년간 웹캠으로 관측한 개화기간을 비교·분석함으로써 이전 연구(Yang *et al.*, 2022)에서 결정한 사과 생육모델 충북 Ca 기준값을 우리나라 사과나무 주요 산지 중 어느 지역까지 적용할 수 있는지를 확인할 수 있었다. 그 결과 전북 장수를 제외한다면, 경기, 경북, 충남, 경남의 7개 과수원 개화기간 추정에 선행 연구에서 결정된 충북의 Ca 기준값 적용이 가능하였다. 이러한 결과는 *Maryblyt* 구동을 위해 배 생육 단계를 추정했던 이전 연구(Namkung and Yun, 2022a)에서 경북 상주의 개화 개시일이 다른 지역보다 4~7일 빨라 개화기간 보정을 위해 생육모델 모수 변경이 필요했지만, 다른 지역의 배나무 개화기간 예측에 경기 안성 기준값을 적용하더라도 무방했던 사례와 비슷하였다. 결국 충북 자료로 얻은 Ca 기준값을 우리나라에서 재배되는 모든 지역의 사과나무에 대한 생육모델 기준값으로 동일하게 적용할 수는 없지만, 화상병 주요 발생지인 중부지방으로만 국한한다면 충북 Ca 기준값을 적용은 가능하다.

금지병인 과수 화상병의 성공적 방제를 위해 본 사과 개화기간 연구결과를 활용하는 방안은 월동 중 일 최저 기온으로 Cd값을 계산하여, 사과나무 휴면이 완료되는 자발휴면 타파일을 추정하는 것이다. 그 다음으로는 추정된 자발휴면 타파일로부터 개화 개시일까지 기간을 알 수 있는 방법은 앞에서 추정된 자발휴면 타파일을 본 연구의 Fig. 4의 회귀식에 대입하면 되므로 결국 자발휴면 타파일을 알면 개화 개시일을 추정할 수 있다. 개화 개시일을 알 수 있으면 개화전 화상병 방제를 선제적으로 준비할 수 있다. 현재 전국적으로 서비스([monitor.fireblight.org](http://monitor.fireblight.org))되고 있는 *K-Maryblyt* 시스템(Yang *et al.*, 2022)은 수백 개의 기상관측 지점별로 월

동을 시작하는 전년도 10월부터 기상자료 수집하고 있다. 이 시스템을 활용하면 전년도 12월부터 시작해서 늦어도 3월까지 모든 지점의 자발휴면 타파일 추정이 완료될 것이고, 본 연구의 회귀모형으로 자발휴면 타파일부터 개화까지의 기간을 예측하고, 이로부터 모든 지역의 개화 개시일 추정이 가능하므로 이를 *K-Maryblyt* 시스템에서 화상병 선제적 방제를 위한 생육계절 정보로 제공할 수 있다.

## 적 요

정확한 자발휴면 타파일 및 개화기간 추정은 사과 화상병의 효과적 방제를 위해 매우 중요하다. 자발휴면 타파일부터 개화 개시일까지 기간은 이 기간 동안의 일 최저기온에 의해 영향을 받았다. 본 연구는 이 기간의 일 최저기온이 사과 생육단계 중 개화기간에 미치는 영향을 조사함으로써 화상병 방제를 위한 병모델 구동이 목적이었다. 원예특작과학원에서 제공하는 우리나라 사과나무 재배지역을 대표하는 8개 과수원에서 2019년부터 2023년까지 웹캠으로 관측한 영상자료로부터 최초 개화 관측일을 얻었다. 또한 같은 과수원에서 자발휴면 타파일은 전년도 10월 1일부터 자동기상 측정 장비로부터 받은 기상자료를 활용하여 자발휴면 타파일은 -100.5 DD에 도달하는 날로 추정하였다. 본 연구에서 실시한 회귀분석은 자발휴면 타파일부터 개화 개시일까지의 기간(Y)을 종속변수로 이 기간 중 일 최저 기온이 0°C 이하인 날( $X_1$ )이 며칠 인지를 독립변수로 하는 회귀식으로서  $Y = 0.87 \times X_1 + 40.76$ ,  $R^2 = 0.83$ 의 결과로서 뚜렷한 양의 상관관계를 얻었다. 또한 같은 기간(Y)을 종속변수로 하고 자발휴면 타파일을 줄리안데이( $X_2$ )를 독립변수로 하는 회귀분석을 실시하여  $Y = -1.07 \times X_2 + 143.62$ ,  $R^2 = 0.92$ 의 결과로서 뚜렷한 부의 상관관계를 얻었다. 따라서 자발휴면 타파일로부터 개화 개시일까지의 기간은 월동 중 최저기온에 영향을 받으며, 이것이 사과 화상병 감염에 중요한 개화기간 변동에 영향을 준다는 것을 확인하였다.

## 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구개발사업(과제번호: RS-2020-RD009731)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## REFERENCES

- Ahn, M. I., and S. C. Yun, 2021: Application of the *Maryblyt* model for the infection of fire blight on apple trees at Chungju, Jecheon, and Eumsung during 2015-2020. *Plant Pathology Journal* **37**, 543-554.
- Cesaraccio, C., D. Spano, R. L. Snyder, and P. Duce, 2004: Chilling and forcing model to predict budburst of crop and forest species. *Agricultural and Forest Meteorology* **126**, 1-13.
- Guo, L., J. Dai, M. Wang, J. Xu, and E. Luedeling, 2015: Responses of spring phenology in temperate zone trees to climate warming: a case study of apricot flowering in China. *Agricultural and Forest Meteorology* **201**, 1-7.
- Ham, H., K. J. Lee, S. J. Hong, H. G. Kong, M.-H. Lee, H.-R. Kim, and Y. H. Lee, 2020: Outbreak of fire blight of apple and pear and its characteristics in Korea in 2019. *Research in Plant Disease* **26**, 239-249. (In Korean with English abstract)
- Kim, D. J., and J. H. Kim, 2018: An outlook of changes in the flowering dates and low temperature after flowering under the RCP8.5 projected climate condition. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **20**, 313-320. (In Korean with English abstract)
- Kim, J. H., D. J. Kim, S. O. Kim, E. J. Yun, O. Ju, J. S. Park, and Y. S. Shin, 2019: Estimation of freeze damage risk according to developmental stage of fruit flower buds in spring. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **21**, 55-64. (In Korean with English abstract)
- Kim, J. H., E. J. Lee, and J. I. Yun, 2013: Prediction of blooming dates of spring flowers by using digital temperature forecasts and phenology model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **15**, 40-49. (In Korean with English abstract)
- Kim, J. H., E. J. Yun, D. J. Kim, D. K. Kang, B. H. Seo, and K. M. Shim, 2020: Evaluation of regional flowering phenological models in Niitaka pear by temperature patterns. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **22**, 268-278. (In Korean with English abstract)
- Myung, I. S., J. Y. Lee, M. J. Yun, Y. H. Lee, Y. K. Lee, D. H. Park, and C. S. Oh, 2016: Fire blight of apple, caused by *Erwinia amylovora*, a new disease in Korea. *Plant Disease* **100**, 1774.
- Namkung, K. B., and S. C. Yun, 2022a: A *Maryblyt* study to apply integrated control of fire blight of pears in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **24**, 305-317. (In Korean with English abstract)
- Namkung, K. B., and S. C. Yun, 2022b: Validation of K-*Maryblyt* models for blossom blight control on apple and pear tree (Report No. 1-13). 60<sup>th</sup> Annual Meeting & Fall International Conference, *The Korean Society of Plant Pathology*.
- Slack, S. M., and G. W. Sundin, 2017: News on ooze, the fire blight spreader. *Fruit Quarterly* **25**, 9-12.
- Steiner, P. W. 1990: Predicting apple blossom infections by *Erwinia amylovora* using the *Maryblyt* model. *Acta Horticulturae* **273**, 139-148.
- Steiner, P. W. 2000: Integrated orchard and nursery management for the control of fire blight. In *Fire blight: the disease and its causative agent, Erwinia amylovora*, ed. J. L. Vanneste, pp. 339-358. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Sugiura, T. 2002: Dormancy and chilling requirement of deciduous fruit tree. *Series of Agricultural Technology* **8**, 2-50.
- Thomson, S. V. 2000: Epidemiology of fire blight. In *Fire blight: the disease and its causative agent, Erwinia amylovora*, ed. J. L. Vanneste, pp. 9-36. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Turechek, W. W., and A. R. Biggs, 2015: *Maryblyt* v. 7.1 for Windows: an improved fire blight forecasting program for apples and pears. *Plant Health Prog.* **16**, 16-22.
- Wallis, A., J. Carroll, and K. Cox, 2020: Fire blight. Cornell University and the New York State IPM Program. [ecommons.cornell.edu/handle/1813/41246](https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/41246)
- Yang, H. J., M. I. Ahn, S. C. Yun, K. B. Namkung, S. K. Kim, E. W. Park, and Y. K. Han. 2022: Prediction and comparative study on the fire blight infection risk using the K-*Maryblyt* model for 2020-2022 in Korea. 24<sup>th</sup> Conference on Agriculture and Forest Meteorology.