

## 겨울기온 상승에 따른 복숭아 나무 ‘장호원황도’ 품종의 결과지에 대한 동상해위험 공간분석:

### II. 휴면심도로 표현한 생리적 내동성에 근거한 동해위험지수

김진희<sup>1</sup> · 김수옥<sup>1</sup> · 정유란<sup>1</sup> · 윤진일<sup>1\*</sup> · 황규홍<sup>2</sup> · 김정배<sup>3</sup> · 윤익구<sup>3</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 생태시스템공학과, <sup>2</sup>주식회사 에스티에이,

<sup>3</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 과수과

(2009년 12월 1일 접수; 2009년 12월 14일 수정; 2009년 12월 14일 수락)

## Geospatial Assessment of Frost and Freeze Risk in ‘Changhowon Hwangdo’ Peach (*Prunus persica*) Trees as Affected by the Projected Winter Warming in South Korea:

### II. Freezing Risk Index Based on Dormancy Depth as a Proxy for Physiological Tolerance to Freezing Temperature

Jin-Hee Kim<sup>1</sup>, Soo-Ock Kim<sup>1</sup>, Uran Chung<sup>1</sup>, Jin I. Yun<sup>1\*</sup>, Kyu-Hong Hwang<sup>2</sup>,  
Jung-Bae Kim<sup>3</sup> and Ik Koo Yoon<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Ecosystem Engineering, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea

<sup>2</sup>STA Inc., Seoul 151-780, Korea

<sup>3</sup>Fruit Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Sciences, Suwon 440-706, Korea

(Received December 1, 2009; Revised December 14, 2009; Accepted December 14, 2009)

#### ABSTRACT

In order to predict the risk of freeze injury for ‘Changhowon Hwangdo’ peach trees, we used the dormancy depth (i.e., the daily chill unit accumulation during the overwintering period) as a proxy for the short-term, physiological tolerance to freezing temperatures. A Chill-days model was employed and its parameters such as base temperature and chilling requirement were optimized for peach trees based on the 12 observational experiments during the 2008-2009 winter. The model predicted the flowering dates much closer to the observations than other models without considering dormancy depth, showing the strength of employing dormancy depth into consideration. To derive empirical equations for calculating the probabilistic freeze risk, the dormancy depth was then combined with the browning ratio and the budburst ratio of frozen peach fruit branches. Given the exact date and the predicted minimum temperature, the equations calculate the probability of freeze damages such as a failure in budburst or tissue browning. This method of employing dormancy depth in addition to freezing temperature would be useful in locating in advance the risky areas of freezing injury for peach trees production under the projected climate change.

**Key words** : Peach trees, Dormancy depth, Freezing risk, Chill-days model, Climate change

\* Corresponding Author : Jin I. Yun (jiyun@khu.ac.kr)

## I. 서 론

선행연구에서 복숭아 나무 ‘장호원황도’ 품종의 동해 유발온도는 월동기간 중 조사시기에 따라 달라지며 휴면해제일을 전후하여 크게 변하는 것을 확인하였다 (Chung *et al.*, 2009). 복숭아와 같은 온대낙엽과수는 낙엽 이후 월동기를 거쳐 다음 해 발아될 때까지는 성장활동을 최소한으로 억제하는 소위 ‘휴면’ (dormancy)에 접어들는데 식물의 성장주기상 휴면은 불량환경에서 생존하기 위한 고도의 진화형태로 알려져 있다 (Faust, 1989). 휴면기간에는 내한성이 증가하여 동해위험이 줄지만 휴면이 해제되면 내한성이 급격하게 약해져 동해에 취약하게 된다. 따라서 휴면의 ‘깊이’는 과수의 월동 중 생리적인 단기내동성과 관련이 깊은 것으로 알려져 있지만 아직까지 식물의 휴면 상태를 파악할 수 있는 직접적이며 비파괴적인 방법은 개발되지 못한 상태이다.

휴면의 깊이를 간접적으로 평가하기 위한 방법으로서는 온도시간(thermal time)에 근거한 휴면시계모형이 다수 제시되었다 (Butson and Gerber, 1964; Richardson *et al.*, 1974; Aron, 1983; Cesaraccio *et al.*, 2004). 그 중 일 최고기온과 최저기온자료만으로 온도범위에 따라 가중치를 달리하여 온도시간을 계산하는 Chill days 모형은 내생휴면 해제에 필요한 저온요구도(chilling requirement)와 강제휴면 해제에 필요한 고온요구도(heating requirement)가 여러 종류의 온대낙엽수목에서 부호만 반대일 뿐 그 값이 같다는 데 착안한 것이다 (Cesaraccio *et al.*, 2004). 이 모형은 이미 국내에 도입되어 밤나무, 포도 ‘캠벨얼리’, 배 ‘신고’ 등의 개화기 예측, 상해경보, 동해위험도 산정에 이용되었지만 (Jung *et al.*, 2005; Kwon *et al.*, 2005; Chung *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2009), 아직 복숭아에 대해서는 적용된 바가 없다.

본 연구의 수행목적은 첫째, Chill days 모형용 기준온도와 저온요구도 등의 주요 모수를 ‘장호원황도’에 맞게 도출하고 검증하는 데 있다. 둘째, 이러한 품종 맞춤형 모형에 의해 추정된 월동기간 중 휴면심도(생리적 단기내동성의 지표)를 선행연구에서 관찰된 동해 유발온도의 변이 해석에 활용하고자 하였다. 궁극적으로는 월동기간 중 한파가 왔을 때 그 시기의 휴면심도에 따라 동해위험도를 판정할 수 있는 객관적이며 정량화된 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대한다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 휴면시계모형의 모수 추정

2008년 12월 10일 국립원예특작과학원(National Institute of Horticultural & Herbal Science, 이하 원예원) 포장에서 복숭아 나무 ‘장호원황도(이하 황도)’ 품종의 중과지(길이 10~30cm) 250개를 채취하여 3°C 챔버에 보관하고 매주 15개씩 꺼내어 25°C 성장상에서 잎눈의 발아를 관찰하였다. 이 실험은 휴면이 해제된 잎눈이 발아에 걸리는 최소일수를 추정하기 위한 실험이다(이하 실험 1). 2008년 12월 13일부터 2009년 2월 26일까지 1주 간격으로 12회에 걸쳐 포장에서 새로운 중과지 15개씩을 채취하여 25°C 성장상에서 매일 잎눈의 발아여부를 관찰하였다. 이 과정은 실험 1에서 얻어진 최소발아일수와 함께 내생휴면해제일을 추정하는 실험이다(이하 실험 2). 전반적인 실험의 전개는 Balandier *et al.*(1993)의 방법을 따랐다.

가지 하나당 붙어있는 잎눈 개수의 차이가 심하면 발아소요기간의 평균값 뿐만 아니라 발아율의 결과에도 영향을 미칠 수 있기 때문에 실험 1과 실험 2에서 수삽처리된 15개의 가지 각각에 달려있는 잎눈의 개수가 동일한 것이 이상적이다. 하지만 모든 가지가 정확하게 같은 수의 잎눈을 갖도록 준비하지 못했으므로 발아한 눈의 총 개수가 적은 쪽으로 발아개수를 동일하게 맞춰주는 조건을 적용하였다. 예를 들어 1주차에 발아한 눈의 개수가 실험 1에서 10개였지만 실험 2에서는 15개였다면 실험 2의 발아개수는 10개까지만 발아로 인정하는 것이다.

본 실험에서 적용한 잎눈의 발아판정기준은 벌어진 인편 사이로 1~2mm 정도 앞 부분이 밀려나왔을 때이다(농촌진흥청, 2003). 시료가 처음 25°C 항온 성장상으로 옮겨진 후부터 실험이 종료되는 날까지 매일 정해진 시간(오전 10시~12시)에 잎눈의 발아 여부를 관찰하고 발아하기까지 소요된 일수를 기록하였다. 실험 1의 시료는 포장채취 후 지속적으로 3°C에 노출시켰으므로 일정 기간이 지나면 저온요구도가 모두 충족되고 이 때부터 발아소요기간은 더 이상 줄어들지 않을 것이다. 이후 발아에 걸리는 시간은 최적온도조건에서 물과 양분의 공급 등 잎눈 분열조직이 발아상태에 이르기까지 필요한 최소의 준비기간이라 할 수 있다. 반면 실험 2에서 관찰된 발아소요기간에는 포장에서 자연상태의 온도변동에 노출되어 적절한 온도범위

에서만 저온요구량을 채워가는 과정이 포함되어 있다. 일정 시점에 저온요구량이 충족되면 관찰된 발아소요기간이 실험 1의 최소발아일수와 같아지게 될 것이다. 따라서 실험 1에서 결정된 최소발아일수와 일치하는 발아소요일수가 관찰된 날짜가 바로 내생휴면해제일이다.

Cesaraccio *et al.*(2004)의 휴면시계모형은 이미 포도 품종 ‘캠벨얼리’, 배 품종 ‘신고’, 사과 품종 ‘후지’ 및 뽕나무의 생물계절 예측연구에서 그 실용성이 인정된 바 있다(Kwon *et al.*, 2005; Jung *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2009). 휴면시계모형을 본 시험에 맞도록 조정하는 과정은 모형의 기준온도와 저온 및 고온요구도 등 모수를 품종특성에 맞게 최적화 하는 것이다. 이를 위해서는 시료를 채취한 포장의 기상자료(일 최고 및 최저기온)와 발아기 관측자료가 필요하다. 본 연구에서는 포장에서 약 200m 떨어진 지점에 설치된 자동기상관측장비(HMP45 센서와 CR10X 데이터로거 자료집록기, Campbell Scientific, USA)로부터 2008년 12월 1일부터 2009년 3월 31일까지 기상자료를 수집하였으며 발아 및 만개기 관측자료는 원예원 과수과의 실측자료를 이용하였다. 이들 자료를 Cesaraccio

*et al.*(2004)의 휴면시계모형에 입력하여 실험 1과 2에서 도출된 기준온도와 저온 및 고온요구량 범위에서 구동한 다음 그 결과로부터 황도의 최적모수를 결정하였다.

**2.2. 모형 신뢰도 검증**

휴면의 깊이를 감지하거나 내생휴면해제를 직접 관찰할 수 있는 방법은 없으므로 엄밀한 의미에서 이 모형의 신뢰성을 검증할 수는 없다. 하지만 월동 후 발아, 개화 등 봄철 생물계절현상은 휴면생리의 연장선 상에 있으므로 휴면시계모형은 대개 개화기 예측에 사용된다(Kwon *et al.*, 2005; Jung *et al.*, 2005; Han *et al.*, 2008). 즉 휴면해제시기를 무시하고 봄철 기상 조건 혹은 환경조건만으로 개화기를 예측할 경우 이상 난동 등 특이년의 개화기 추정에 실패할 확률이 높아진다. 따라서 이 모형에 의한 개화기 추정결과를 기존 개화기 추정방법과 비교함으로써 간접적인 신뢰성을 검증할 수는 있을 것이다. 불행하게도 황도의 경우 원예원 포장이나 대규모 재배단지 등 공인된 복숭아 과원으로부터 검증에 필요한 충분한 기간의 만개기 실측

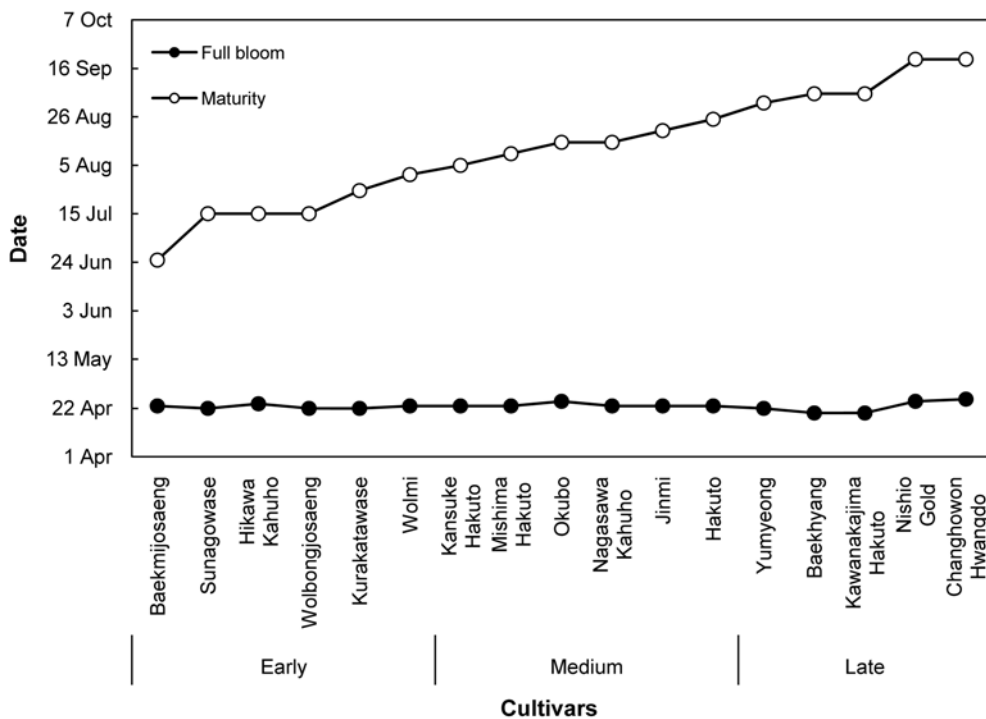


Fig. 1. Dates of the full bloom and the maturity for peach cultivars classified in different maturity groups (modified from <http://3good.nongup.gyeonggi.kr>).

자료를 얻을 수는 없었다. 대신 조생종으로 분류된 복숭아 품종 '창방조생'의 만개기 실측자료를 원예원 과수과로부터 수집할 수 있었다. 경기도농업기술원에서 제공하는 과수 재배기술지침(<http://3good.nongup.gyeonggi.kr>)에 따르면 복숭아의 품종군은 성숙기의 조만에 따라 조-중-만생종으로 구분하지만 이들 간의 발아 및 만개기 변이는 표준편차 1.5일로 큰 차이가 없다(Fig. 1). 따라서 1992년부터 2008년까지 원예원 포장에서 관찰된 '창방조생'의 만개기 관측기록을 검증자료로 사용하기로 하였다. 모형에 입력할 1991-2008 기간 일별 기온자료는 원예원 포장으로부터 5km 떨어진 기상청 수원기상대로부터 수집하였다.

발아와 만개기를 예측하는 생물계절모형에는 온도시간을 기반으로 하는 휴면시계모형 이외에도 여러 종류가 있다. 그 중 하나는 장기간 생물계절 관측자료를 활용한 통계적 방법으로 기상청 회귀모형이 대표적이며 이는 이미 서울지방의 벚꽃 개화일 예측에 대하여 우리 모형과의 비교 및 검증에 사용된 바 있다(Jung *et al.*, 2005). 다른 하나는 발육속도에 따라 발육단계를 적산하는 방법으로 국립농업과학원(1990)의 발육속도모형(이하 DVS 모형)이다. 휴면시계모형과 함께 만개기를 예측하는 이들 방법의 공통점은 발아 및 만개가 나무의 저장양분, 토양의 양·수분, 전년도 결실량, 신초의 발육정도, 기상조건 등의 여러 요인과 관련되어 있지만 그 중 해당지역의 기온과 높은 상관을 보임으로써 일 최고 및 최저기온자료로부터 만개기를 예측한다는 것이다.

따라서 모형에서 추정된 만개기를 원예원의 '창방조생' 실측 자료와 비교하고 상대적인 신뢰성 확인을 위해 기상청 회귀모형과 국립농업과학원의 DVS 모형을 사용하였다.

### 2.3. 동해위험지수 산정

선행연구(Chung *et al.*, 2009)에서 보고된 갈변 및 발아관찰실험 결과를 최저기온과 누적 Chill days 즉 휴면심도와 비교함으로써 동해위험도 추정함수로 표현하였다. 갈변의 경우는 최대휴면심도에서 총 개체가운데 25%의 피해가 관찰되는 온도를 피해유발온도로 정의하고 최저기온-휴면심도 조합에 따라 위험도(확률)를 계산하도록 하였다. 발아의 경우는 최대 휴면심도에서 총 개체 중 50% 이상의 발아장해가 관찰되면 그 때 온도를 동해유발온도로 규정하고 최저기온-휴면

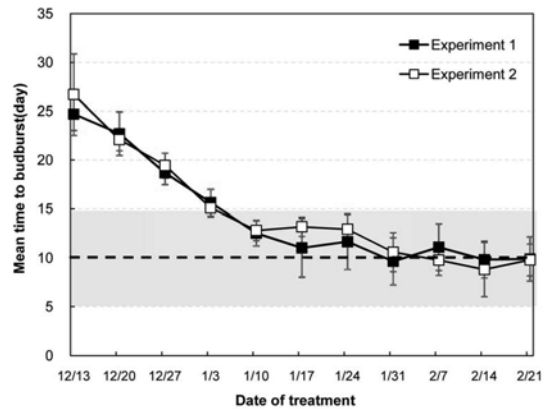


Fig. 2. Average number of days to leaf budburst of 'Changhowon Hwangdo' peach trees since translocation from 3°C chambers to 25°C chambers. Vertical bars indicate one positive and one negative standard deviation from the center symbols which are the arithmetic means. Gray box indicates the range of average number of days required for leaf budburst.

심도 조합에 따라 위험지수(확률)를 계산하도록 하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 3.1. 휴면심도 추정모형의 품종모수

실험 1에서 관찰한 발아소요일수가 6주차(1월 17일 처리)까지 전반적으로 감소하다가 이후 안정화 되는 경향을 보였다(Fig. 2). 이 결과로부터 추정되는 황도의 최소발아일수는 평균 10일이다. 따라서 실험 2에서 발아소요일수가 10일에 해당하는 8주차(1월 31일 처리)부터 7일에 해당하는 10주차(2월 14일 처리)까지를 황도의 내생휴면해제기간으로 예상할 수 있다(Fig. 2).

휴면시계모형에서 기준온도를 0.1 단위까지 임의의 숫자로 가정하여 2008년 10월 1일부터 실험 1과 2에 의해 예상되는 내생휴면해제일(1월 31일부터 2월 14일)까지 매일의 chill days를 적산하고 내생휴면해제일 다음날부터는 같은 기준온도에서 anti-chill days를 적산하여 chill days 적산량을 모두 상쇄시키는 날을 예상 발아기로 삼았다. 그 결과 원예원 포장의 실측 발아기(2009년 3월 22일)와 같은 날짜를 출력하는 [기준온도-저온요구량] 조합은 내생휴면해제일을 2월 3일로 둔 [5.7°C, -108.0]이었다.

고온요구도는 최적화된 모수를 이용하여 내생휴면해제일 다음날부터 장기간 관측된 실측 만개기까지 anti-chill days를 적산하고 각각의 평균값으로부터 최적화

**Table 1.** Comparison of model performance in predicting flowering dates of peach trees in 1992-2008. Daily maximum and minimum temperature data at the KMA Suwon office were used to run the Chill days model, the DVS model, and the KMA model, respectively. Full bloom dates of 'Kurakatawase' peach trees observed at the NIHHS orchard were used for the validation

Year	Observed Full bloom	Chill days Model ( $T_c=5.7, C_r=-108.0$ )		KMA Model		DVS Model	
		Predicted Full bloom	Deviation (Pre-Obs)	Predicted Full bloom	Deviation (Pre-Obs)	Predicted Full bloom	Deviation (Pre-Obs)
1992	17 Apr	19 Apr	2	16 Apr	1	9 Apr	-8
1993	24 Apr	27 Apr	3	21 Apr	-3	21 Apr	-3
1994	18 Apr	20 Apr	2	24 Apr	6	9 Apr	-9
1995	24 Apr	25 Apr	1	19 Apr	-5	17 Apr	-7
1996	30 Apr	1 May	1	22 Apr	-8	27 Apr	-3
1997	22 Apr	19 Apr	-3	18 Apr	-4	15 Apr	-7
1998	13 Apr	11 Apr	-2	17 Apr	4	9 Apr	-4
1999	19 Apr	19 Apr	0	18 Apr	-1	17 Apr	-2
2000	21 Apr	21 Apr	0	19 Apr	-2	17 Apr	-4
2001	21 Apr	23 Apr	2	23 Apr	2	16 Apr	-5
2002	15 Apr	17 Apr	2	18 Apr	3	13 Apr	-2
2003	16 Apr	21 Apr	5	21 Apr	5	12 Apr	-4
2004	15 Apr	15 Apr	0	19 Apr	4	13 Apr	-2
2005	28 Apr	26 Apr	-2	23 Apr	-5	19 Apr	-9
2006	28 Apr	25 Apr	-3	20 Apr	-8	15 Apr	-13
2007	19 Apr	19 Apr	-0	19 Apr	0	17 Apr	-2
2008	14 Apr	17 Apr	3	15 Apr	1	11 Apr	-3
		RMSE	2	RMSE	4	RMSE	7
		SD	2	SD	4	SD	3

\*NIHHS : National Institute of Horticultural and Herbal Sciences

\*\*KMA : Korea Meteorological Administration

시킬 수 있다. 그러나 앞서 언급한대로 황도에 대한 장기간 생물계절관측자료가 없기 때문에 원예원의 '창방조생' 실측 만개기 자료를 이용하여 고온요구도를 최적화하였다. 장기간 관찰된 '창방조생'(1992-2008년) 만개기 자료에 최적화된 모수를 적용하여 1991년 10월부터 2008년 6월까지 내생휴면해제일 다음날부터 '창방조생'의 실측 만개기까지 anti-chill days를 적산한 결과 고온요구도는 234.5로 추정되었다.

### 3.2. 모형의 신뢰성

황도의 기준온도, 저온 및 고온요구도에 의해 최적화된 휴면시계모형을 1992년부터 2008년까지 수원기상대 일 최고 및 최저기온자료에 의해 구동시켜 매년 예상 만개기를 출력한 결과, 2003년도를 제외한 나머지 해에서  $\pm 3$ 일의 오차를 보였으며 RMSE는 2.0이었다(Table 1). 이 같은 결과는 고온요구도를 최적화하는 과정에서 황도 대신 '창방조생' 자료를 이용한 것

을 감안해야 하므로 실용적인 측면에서 모형의 예측능력이 만족할 만하다고 할 것이다.

이에 반해 지금까지 널리 쓰여온 만개기 예측방법인 DVS 모형은 '창방조생'의 모수로 최적화 시켰음에도 불구하고 실제 만개기보다 지연추정하며 그 오차는 7일이나 된다(Table 1 and Fig. 3). 기상청의 회귀모형도 Jung *et al.*(2005)의 방법론에 따라 1964년부터 1995년 기간 중 결측기간을 제외한 13년간 수원기상대 노장에서 관측된 복숭아 조생종의 만개기 자료와 일 최고 및 최저기온 자료에 근거하여 최적화 시켰지만 만개기 추정오차(RMSE)가 4일을 초과하였다.

### 3.3. 동해위험지수

실험을 수행한 2008년 12월부터 2009년 2월 하순까지 Cesaraccio *et al.*(2004)의 방법에 따라 매일 휴면심도를 계산하고 이를 누적시켜 5회의 저온처리실험 결과(갈변율과 발아율)와 중첩시켜 보았다(Fig. 4). 갈

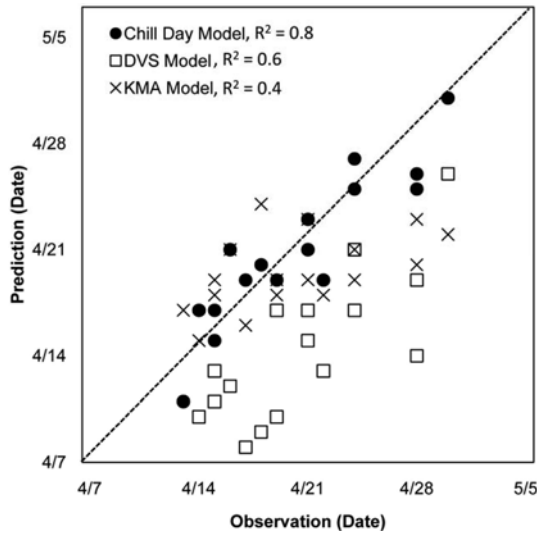


Fig. 3. Comparison of the observed full bloom dates of 'Kurakatawase' peach trees at the NIHHS orchard and the estimated full bloom dates of 'Changhowon Hwangdo' peach trees based on the Chill days model, the DVS and the regression model of KMA in Suwon using daily temperature data in 1991-2008 (NIHHS : National Institute of Horticultural and Herbal Sciences, KMA : Korea Meteorological Administration).

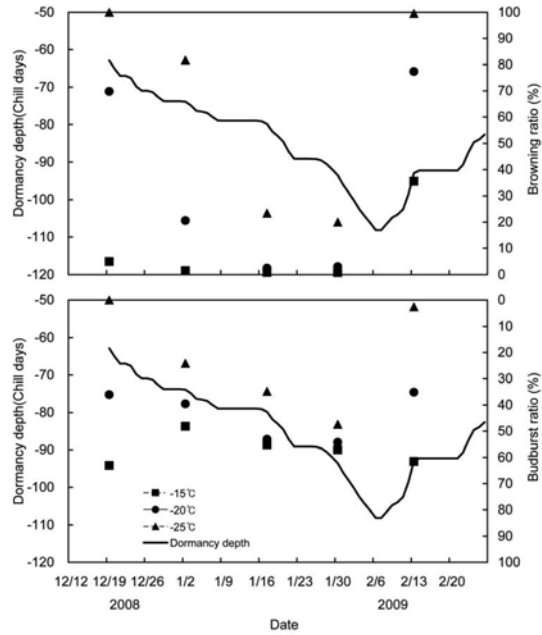


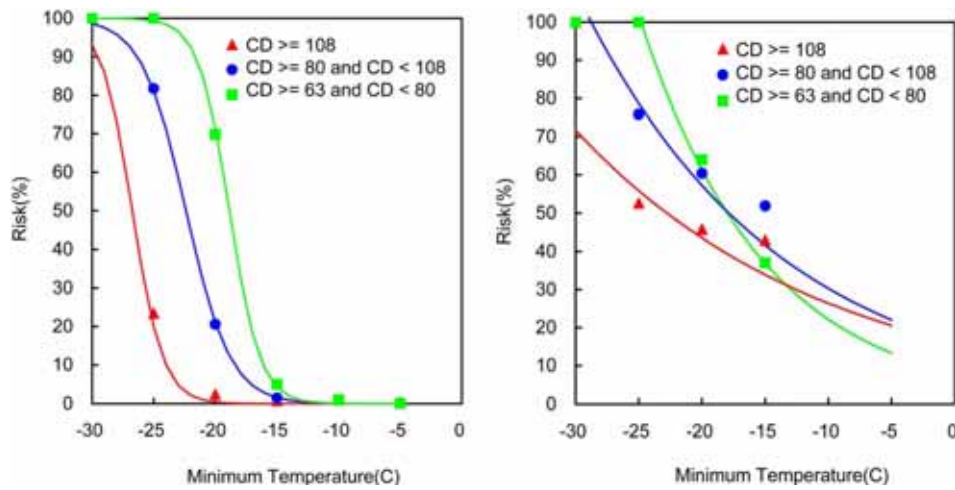
Fig. 4. Browning (top) and budburst (bottom) ratios observed in the freezing treated peach fruit branches sampled on 5 different dates during the 2008-2009 winter period. The line indicates the model estimated dormancy depth based on daily temperature observation.

변의 경우 -15°C에서 4차(1월 30일 처리)까지는 휴면 심도의 증가와 상관없이 꽃눈과 잎눈에서 갈변이 거의 관찰되지 않았으나 5차(2월 7일 처리)에서는 -15°C에서도 40% 이상의 갈변율을 보였다. -20°C에서는 -15°C와 다르게 1차(12월 19일 처리)에서부터 갈변이 관찰되었으나 휴면심도가 증가하면서 갈변율이 크게 감소하여 3차(1월 17일 처리)와 4차에서는 -15°C에서와 마찬가지로 꽃눈과 잎눈에서 갈변이 거의 관찰되지 않았다. 이 시기에 약 20일 동안 휴면심도는 -80에서 -108로 지속적으로 깊어진다. 그러나 최대 휴면심도 -108을 고비로 5차 실험에서는 꽃눈과 잎눈에서 갈변율이 다시 80%까지 상승하였다. -25°C에서는 3차 실험을 제외하고 모두 80% 이상의 갈변율을 보임으로써 -25°C는 황도의 눈이 치명적인 피해를 입을 수 있는 온도임을 보여주었다. 이것은 국립농업과학원(1990)에서 발표한 복숭아의 꽃눈이 -18°C에서 피해를 입기 시작하여 완전히 동사하는 온도범위(-26 ~ -29°C)에 근접하는 값이다. 그러나 내생휴면이 해제된 직후에는 -15°C에서도 35% 이상의 갈변율을 보였을 뿐 아니라 -20°C에서는 80%, -25°C에서는 100% 갈변됨으로써 휴면이 해제된 이후의 저온피해가 더 클 수 있음을

시사하고 있다.

발아의 경우 -15°C에서는 휴면심도와 상관없이 모든 시기에 60% 이상의 발아율을 보였지만, -20°C에서는 2차(1월 2일 처리)까지 발아율이 40% 미만으로 떨어졌다가 3, 4차시기에는 모두 50% 이상으로 회복되었다. 최대 휴면심도를 지나면 역시 5차 실험에서 발아율이 35%로 감소하였다. 한편 -25°C처리에서도 휴면심도가 깊어질수록 발아율이 증가하였지만 최대 휴면심도에 가까워져도 45%에 머물고 5차시기에는 5% 미만으로 떨어져 치명적인 온도임을 알 수 있다.

이 같은 결과로부터 주어진 조건에서 피해를 추정할 수 있는 소위 '동해위험지수'를 고안하였다. 갈변의 경우는 최대휴면심도에서 총 시료 가운데 25%의 피해가 관찰되는 온도를 피해유발온도로 정의하고 최저기온-휴면심도 조합에 따라 위험지수를 계산하도록 하였다. 발아의 경우는 최대 휴면심도에서 총 개체 중 50% 이상에서 발아장해가 관찰되면 그 때 온도를 동해유발 온도로 규정하고 최저기온-휴면심도 조합에 따라 위험지수를 계산하도록 하였다. 이 과정을 근사식으로 표현하면 다음과 같은데 먼저 갈변피해의 경우,



**Fig. 5.** Freezing risk represented by percent browning ratio (left) and by percent budburst ratio (right) in peach fruit branches across a range of daily minimum temperatures. Lines indicate the simulated response of peach fruit branches differing in dormancy depth (Chill Days, CD), which is considered in this study a proxy for a short-term, physiological tolerance to low temperature. Symbols represent observed values.

$$Risk(\%) = \frac{100}{1 + Ae^{(X+T_{min})D_{cd}}} \quad (1)$$

이다. 여기서  $T_{min}$ 은 최저기온이며  $D_{cd}$ 는 휴면심도에 근거한 황도의 내한성으로서 다음 근사식에 의해 그 값을 추정할 수 있고  $A$ 와  $X$ 는 곡선의 형태계수이다.

$$D_{cd} = C(|C_d - 108|)^2 + D \quad (2)$$

여기에서  $C_d$ 의 최대값은 기준온도 5.7°C에서 -108이며  $C$ 와  $D$ 는 휴면심도에 의해 결정되는 상수이다. 이 식을 최저기온 0 ~ -30°C와 휴면심도 -63 ~ -108 범위에 적용한 그림이 Fig. 5이다. 만약 최저기온이 -25°C일 때 황도 휴면아(dormant buds)의 최대 휴면심도가 -108이면 갈변될 확률은 25%이지만 휴면심도가 -80 이상이라면 갈변될 확률은 80%이다.

휴면심도 -63 ~ -108 범위에서 관찰된 잎눈의 발아율 곡선은 Fig. 5와 같았다. 갈변율의 경우 처리온도 -15°C에서는 휴면심도와 무관하게 피해가 거의 나타나지 않았지만, 같은 온도처리에서 발아율은 대조구의 50~60%에 그쳤다. 이것은 발아유도를 위해 수삽이라는 인위적인 환경을 조성했으며 온전한 상태가 아닌 수체로부터 절취한 가지를 대상으로 하여 이미 발아활성이 훼손되었기 때문으로 판단된다. 또한 최대 휴면심도에 도달한 시점에는 -20°C와 -25°C 처리 사이의 피해율이 완만하게 증가한 반면 -25°C와 -30°C 사이에서는 그 기울기가 급해지는데 이것은 황도 휴면아가

최대 휴면심도에 도달했는지라도 -25°C와 -30°C에서는 동해를 입을 확률이 아주 높음을 보여준다. Fig. 5에 보인 발아피해곡선은 다음 근사식으로 표현할 수 있다.

$$Risk(\%) = Ae^{-T_{min}D_{cd}} \quad (3)$$

복숭아에 있어 저온 조우에 따른 잎눈의 피해보다 꽃눈의 피해가 매우 취약하므로 더욱 세심한 시험관찰이 필요하다고 생각되는데 본 연구에서는 꽃눈의 가시적인 발아 개화는 관찰하지 못하였다. 갈변관찰에서 꽃눈이 전혀 갈변되지 않았음에도 불구하고 발아하지 못한 것이 발아유도환경에 문제가 있었는지 아니면 저온처리 후 꽃눈의 휴면타파를 위한 안정화 단계가 잎눈과 다른 데에서 기인한 것인지 그 원인을 찾지 못했다. 그러나 갈변관찰에서 꽃눈이 잎눈에 비해 얼마나 내한성이 약한지를 정량화할 수 있었기 때문에 그 비율을 적용하면 잎눈 관찰결과로부터 꽃눈의 동해위험지수를 추정하고 실용화 할 수 있을 것으로 기대된다.

지구온난화로 인하여 우리나라의 겨울철 최저기온이 상승하면서 월동과수의 동해위험도는 감소할 것이라는 예상을 뒤엎고 최근 동해발생빈도가 증가하는 현상을 설명하는 데는 최저기온에만 의존해서는 안 되며, 계절, 생장상태, 발육단계에 따라 크게 달라지는 생리적 단기내한성을 고려해야 한다. 본 연구에서는 주어진 시점까지 관찰된 일별 기온만으로 비교적 간단하게 추정할 수 있는 휴면심도를 내한성의 대체변수로 삼고

선행연구를 통해 확인된 동해유발온도와 결합함으로써 실용적인 동해위험지수를 개발하였다. 예상되는 기후 변화와 과수산업의 적응전략을 고려해 보면 재배적지의 선정과 신 품종의 도입은 매우 중요하며 그 과정에서 동해위험도는 의사결정을 위한 기본정보가 될 것이다. 동해위험지수 추정식을 고해상도 기후시나리오와 결합한다면 미래 복숭아 재배적지 판정 및 위험지역 검색에 크게 기여할 것으로 기대된다.

### 적 요

복숭아 나무 '장호원황도' 품종의 결과지에 대한 월 동기간 중 생리적 내한성을 가리키는 지표로서 일별 기온에 의해 계산되는 휴면심도를 설정하였다. 휴면심도 추정모형의 최적모수(기준온도, 저온요구도)를 도출하기 위해 2008-2009 겨울 동안 총 12회에 걸친 실험을 수행한 결과, 내생휴면해제에 필요한 '장호원황도'의 기준온도 5.7°C와 저온요구도 -108을 얻었다. 1992-2008년 기간 중 수원기상대 일 최고 및 최저기온자료를 이용하여 이 모형에 의해 '장호원황도'의 만개기를 예측하고 기존의 DVS모형과 회귀모형에 의한 예상 만개기와 비교한 결과 이 모형의 예측능력이 우수하였다. 이 모형에 의해 추정된 휴면심도를 선행연구에서 얻은 동해유발온도와 결합하여 동해위험확률을 계산할 수 있는 경험식을 도출하였다. 날짜와 최저기온이 주어지면 이 식에 의해 '장호원황도'의 갈변이나 발아장애 등 동해증상이 나타날 수 있는 확률, 즉 동해위험지수를 미리 알 수 있으므로 복숭아 재배농가의 동해 경감에 기여할 것으로 기대된다.

### 감사의 글

실험수행과정에 많은 도움을 준 국립원예특작과학원 및 경기도농업기술원 관계관 여러분께 감사드립니다. 이 연구는 2008년도 농촌진흥청 농업과학기술개발공동연구사업(과제명: GIS 기반 고해상도 복숭아 품종별 동상해 위험지대 구분도 작성)의 지원으로 이루어졌다.

### REFERENCES

- Aron, R. H., 1983: Availability of chilling temperatures in California. *Agricultural Meteorology* **28**, 351-363.
- 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.
- Butson, K. D., and F. J. Gerber, 1964: Temperature hazards to peaches in Florida. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* **77**, 395-401.
- Cesaraccio, C., D. Spano, R. L. Snyder, and P. Duce, 2004: Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. *Agricultural and Forest Meteorology* **126**, 1-13.
- Chung, U., S. O. Kim, and J. I. Yun, 2008: Plant hardiness zone mapping based on a combined risk analysis using dormancy depth index and low temperature extremes - a case study with "Campbell Early" grapevine-. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**, 121-131. (In Korean with English abstract)
- Chung, U., J. H. Kim, S. O. Kim, M. H. Choi, K. H. Hwang, and J. I. Yun, 2009: Geospatial assessment of frost and freeze risk in 'Changhowon Hwangdo' peach (*Prunus persica*) trees as affected by the projected winter warming in South Korea: I. Determination of freezing temperatures. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**, 206-212. (In Korean with English abstract)
- Faust, M., 1989: Resistance of fruit trees to cold. In *Physiology of Temperate Zone Fruit Trees*. John Wiley and Sons, 307-331.
- Han, J. H., S. H. Lee, J. J. Choi, S. B. Jung, and H. I. Jang, 2008: Estimation of dormancy breaking time by development rate model in 'Niitaka' pear (*Pyrus pirifolia* Nakai). *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**, 58-64. (In Korean with English abstract)
- Jung, J. E., E. Y. Kwon, U. Chung, and J. I. Yun, 2005: Predicting cherry flowering date using a plant phenology model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**, 148-155. (In Korean with English abstract)
- Kim, S. O., J. H. Kim, U. Chung, S. H. Kim, G. H. Park, and J. I. Yun, 2009: Quantification of temperature effects on flowering date determination in Niitaka pear. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**, 61-71. (In Korean with English abstract)
- Kwon, E. Y., G. C. Song, and J. I. Yun, 2005: Prediction of dormancy release and bud burst in Korean grapevine cultivars using daily temperature data. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**, 185-191. (In Korean with English abstract)
- Richardson, E. A., S. D. Seeley, and D. R. Walker, 1974: A model for estimating the completion of rest for Redhaven and Elberta peach trees. *HortScience* **9**, 331-332.
- 국립농업과학원, 1990: 주요과수재배지역의 기후특성. 농촌진흥청, p165-183.
- 농촌진흥청, 2003: 농업과학기술 연구조사분석기준. 농촌진흥청, p528.