



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

지구온난화에 따른 제주도 내
참다래 개화일의 지리적 이동
Geospatial Shift of Kiwifruits Blooming Date in Jeju
Island as Influenced by the Global Warming.

指導教授 尹 進 一

慶熙大學校 大學院

생태시스템공학과

權 英 淳

2011年 8月

지구온난화에 따른 제주도 내
참다래 개화일의 지리적 이동
Geospatial Shift of Kiwifruits Blooming Date in Jeju
Island as Influenced by the Global Warming.

指導教授 尹 進 一

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함

慶熙大學校 大學院

생태시스템공학과 생태정보학전공

權 英 淳

2011年 8月

權英淳의 理學碩士 學位論文을
認准함

主審 教授 김 응 진 (인)

副審 教授 고 재 흥 (인)

副審 教授 윤 진 일 (인)

慶熙大學校 大學院

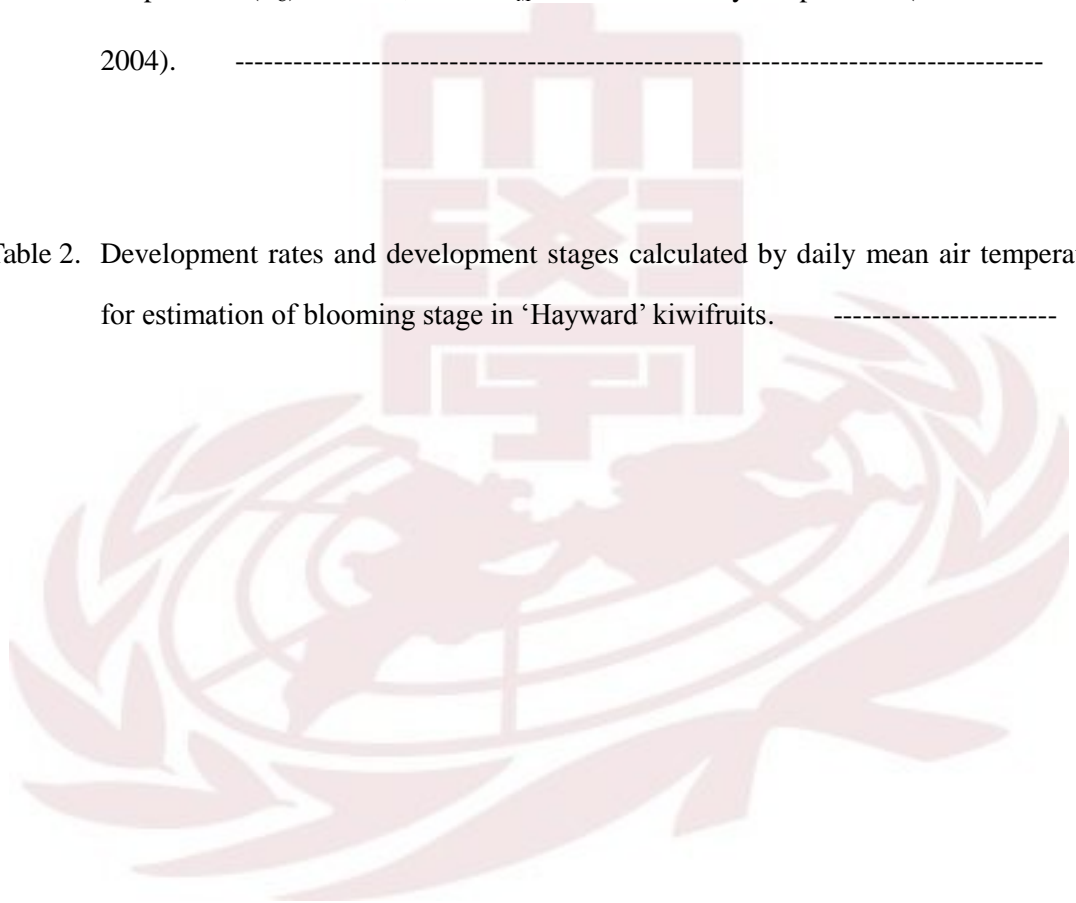
2011年 8月

목 차

List of Tables	II
List of Figures	III
I. 서언	1
II. 만개일 예측방법	4
2.1. ‘휴면시계’ 모형 기반의 예측	4
2.2. 발육속도 기반 만개일 예측	7
2.3. 만개기 예측방법의 신뢰성 비교	8
III. 제주지역의 미래 기온변화 추정	9
IV. 결과 및 고찰	12
4.1. ‘휴면시계’ 기반의 개화일 예측모형	12
4.2. 발육속도기반 만개기 추정모형	16
4.3. 개화기 예측방법의 신뢰성	19
4.4. 제주지역 ‘헤이워드’ 개화기의 이동	21
V. 적요	26
참고문헌	27
ABSTRACT	30

List of Tables

- Table 1. Equations to calculate chill day (C_d) and anti-chill day (C_a) for the five cases that relate the daily maximum (T_x) and minimum (T_n) temperature to the threshold temperature (T_C) and 0°C , where T_M is the mean daily temperature (Cesaraccio *et al.*, 2004). ----- 5
- Table 2. Development rates and development stages calculated by daily mean air temperature for estimation of blooming stage in 'Hayward' kiwifruits. ----- 18



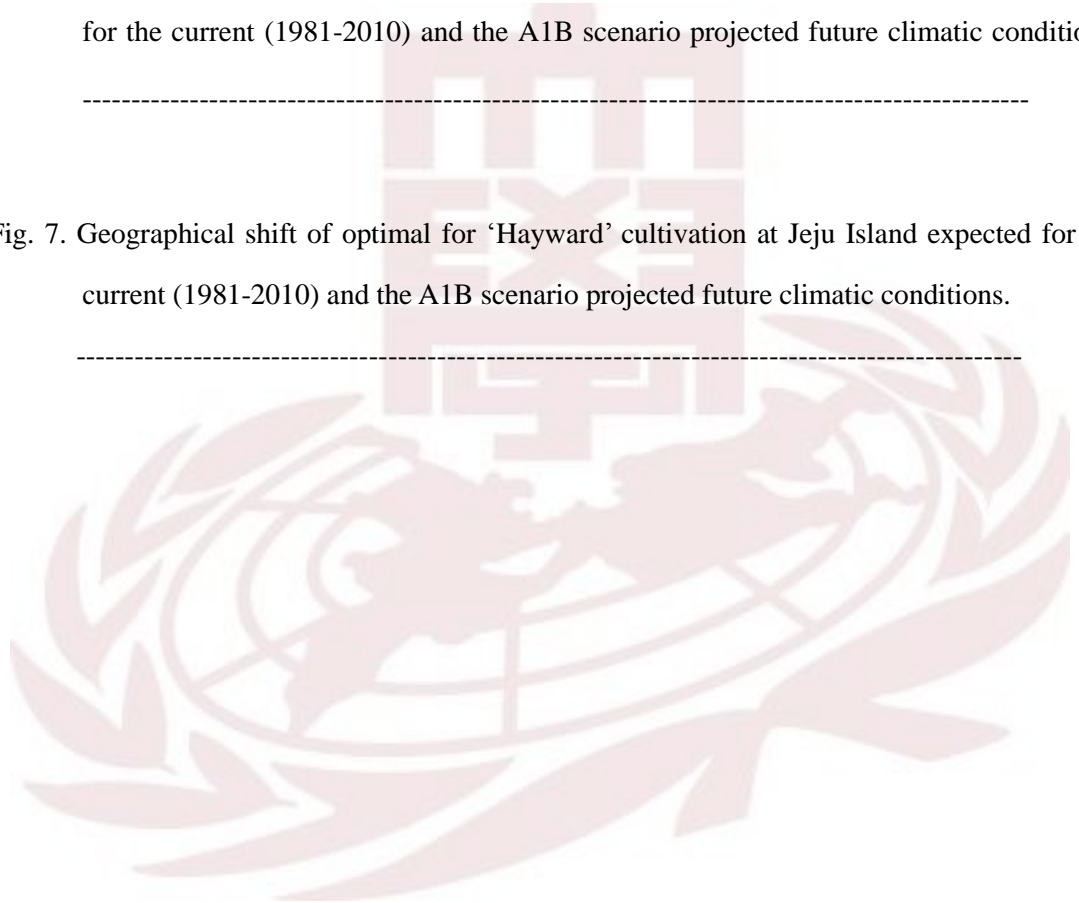
List of Figures

- Fig. 1. Locations of the synoptic (triangle symbols) and automated (circle symbols) weather stations of the Korea Meteorological Administration in 16 watersheds of Jeju Island. ----- 11
- Fig. 2. Changes in the number of days required for bud-break of 'Hayward' twigs after moving from the optimal condition for chilling (5°C) to that for growth (25°C). Empty symbols indicate the same changes but those from the open field condition to the optimal condition for growth (25°C). Each vertical bar indicates one positive and one negative standard deviation from the center symbol which is the arithmetic mean of the 10 buds each. ----- 13
- Fig.3. The time course change in chill-day accumulation for 'Hayward' kiwifruit grown at Jeju during the 2008/2009 season. Simulated by the chill-day model parameterized with $T_c = 7^{\circ}\text{C}$ and $Cr = -115.9$. ----- 15
- Fig. 4. Relationship between the day number to the flowering since the first day with 7°C or above and the daily mean temperature. ----- 17

Fig. 5. Comparison of the model performance in predicting flowering date of ‘Hayward’ kiwifruit during 2006-2011. Filled symbols for the chill-day model and empty symbols for the DVS model. ----- 20

Fig. 6. Geographical shift of the full bloom stage in ‘Hayward’ kiwifruit at Jeju Island expected for the current (1981-2010) and the A1B scenario projected future climatic conditions. ----- 22

Fig. 7. Geographical shift of optimal for ‘Hayward’ cultivation at Jeju Island expected for the current (1981-2010) and the A1B scenario projected future climatic conditions. ----- 24



I. 서 언

IPCC (Inter-governmental Panel on Climate Change)에 따르면 20세기 중반 이후 지구 평균 기온의 상승은 대부분 인위적 온실가스 농도의 증가에서 기인했을 가능성이 매우 높고, 최근 50년 동안 남극대륙을 제외한 모든 대륙에서 인간 활동에 의한 인위적 온난화가 상당히 진행되었다 (IPCC, 2007). 그 근거로서 전 지구 평균기온 상승, 빙하지역 감소, 해수면 상승 등이 관찰된 20세기에 지속적인 산업화로 인하여 대기 중 이산화탄소 농도가 30% 증가 하였음을 제시하였다. 이러한 추세는 당분간 지속될 것이며 향후 20년 동안 10년 마다 약 0.2℃ 상승률로 온난화가 진행될 것으로 전망된다.

재배기술, 유전적 소질, 그리고 환경 등 세가지 요소는 농업의 수량삼각형이라 하며 생산성과 직접적인 관련이 있다. 이들 가운데 기후는 인간이 선택하거나 제어할 수 있는 범위가 제한적이어서 기후의 연차변이는 그 지역 농작물의 생육 및 수량에 절대적인 영향을 미친다. 농작물의 안전재배지대를 구분하기 위해 기상, 토양, 작물의 특성, 사회경제적 조건 등이 고려되어야 하지만 그 중에서도 기상조건이 가장 중요하다. 안정된 기후조건에서는 관찰된 기후의 연차변이와 그에 따른 농작물의 반응이 기술개발의 기반이지만, 기후자체가 변할 것이 확실시되는 지금 시대에는 기존 작물의 재배적지 이동양상을 정확하게 예측하는 일 또한 농업연구의 중요한 부분이다.

지구온난화로 인하여 우리나라의 기온이 1℃ 상승하게 되면 농작물 재배가능지역이 위도상으로 81km 북상하며 온대성 작물의 재배가능 지역은 북부지방, 산간지방 등으로 확대되며, 한라봉은 제주에서 전북 김제, 사과는

경북에서 경기 포천까지 재배지가 북상할 것으로 예측되었다(Lee, and Shim, 2011). 사과는 현재보다 2℃만 기온이 상승하더라도 현재의 주산지 가운데 일부는 폐원의 위기에 몰리 수 있는 반면, 남해안 일부 지역에서는 참다래와 같은 난지과수의 재배가 일반화 되고 제주도에서는 아열대과수의 재배가 가능할 것으로 전망되었다(Seo, 2003). 한편, Shim *et al.*(2004)은 최근 겨울철 기온상승이 기후변화의 가장 두드러진 현상이며, ‘춥지 않은 겨울’로 인한 월동작물의 기상환경 변화로 농작물의 생육과 수량에 큰 변동이 있을 것으로 예상하고, 기존에 설정된 작물의 안전재배지대에 대한 재조정이 요구된다고 하였다.

참다래는 1974년에 국내에 도입된 후 제주, 전남, 경남 지역을 중심으로 재배면적이 꾸준히 증가되어 2009년 현재 재배면적은 1,025ha이다. 국내 과실류 중 판매가격이 가장 높은 고부가가치 과실로서 국내 소비량은 4.2만톤 정도로 65%를 수입에 의존하고 있다. 참다래는 연평균기온 15℃이상, 겨울철 최저기온 1℃이상인 지역에서 자라며 기상환경 변화에 민감한 천근성 낙엽과수로서 동해, 습해, 상해, 풍해에 취약하므로 재배적지 선정이 매우 중요하다. 향후 지구온난화에 따른 기온의 상승은 참다래 재배적지의 확대를 가져올 것으로 예상되지만, 보다 구체적이고 정량적인 평가를 위해서는 온도상승에 따른 휴면, 발아, 개화 등 생물계절 예측방법이 선행되어야 한다. 기후예측시나리오 가운데 가장 신뢰성이 높은 기온자료를 이용하면 현재의 생물계절 모델링기술 수준에서 여러 작물의 미래 개화기를 실용적으로 예측할 수 있다(Yun, 2006; Kim *et al.*, 2009).

국내에서는 사과, 배, 복숭아, 포도 등에서 발육속도(development rate, DVR)를 기반으로 하는 모델을 만개기 예측에 이용하고 있다. DVR를 기반으로 하는 모델은 예측에 적용하고자 하는 기준온도 출현으로부터 만개기에 다가가는 DVR과 그

속도를 적산한 발육단계(development stage, DVS)를 구하여 만개기를 예측하는 방법으로서 가장 보편적으로 사용하고 있다. Lee *et al.*(2002)은 사과 ‘후지’ 품종에 있어서 발육속도 기반의 모형으로 만개기를 예측하였고, Han *et al.*(2008)은 배 ‘신고’ 품종의 자발휴면타과시기를 추정 한 바 있다. Cesaraccio *et al.* (2004)의 ‘휴면시계’ 모형은 휴면이 시작된 가을부터 이듬해 봄까지 휴면상태를 반영한 개화일 예측이 가능하다 (Jung *et al.*, 2006). 국내에서는 이 모형을 이용하여 배 ‘신고’의 개화기 예측, 포도 ‘캠벨얼리’, ‘거봉’의 휴면해제와 발아기 추정 및 상해 경보 시스템 개발, 벚꽃의 개화일 예측, 복숭아 ‘장호원황도’의 휴면해제와 생리적 내동성에 근거한 동상해위험 예측 등에 이용된 바 있다.

현재와 미래의 기온자료에 의해 어떤 작물의 정확한 개화시기를 예측할 수 있다면 재배적지의 지리적인 이동에 대해서도 그 방향과 규모에 대해 일정 부분 평가할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 참다래 중 가장 널리 재배되고 있는 ‘헤이워드’ 품종의 개화기 추정방법을 확립하고, 현재 및 시나리오기후 조건에서의 개화기 분포를 추정하여 그 변동양상에 대한 정보를 얻고자 하였다. 과수는 한번 심으면 경제적 수령이 다할 때까지 그 자리에서 계속 재배되어야 하고 다른 작물에 비해 기후의존도가 매우 높아 기후변화에 상당히 취약하기 때문에 (Seo, 2003), 지구온난화로 인한 재배적지의 변동이 일어날 가능성이 높다. 따라서 기온자료에 근거한 참다래의 개화기 예측은 이 작물의 재배한계지 결정 및 재배적지 이동과 관련하여 유용한 정보를 줄 것이다.

II. 만개일 예측방법

2.1. ‘휴면시계’ 모형 기반의 예측

Cesaraccio *et al.* (2004)이 제시한 ‘휴면시계’모형(Chill-day model)은 휴면을 내생휴면(rest)과 환경휴면(quiescence)으로 구분하고, 품종 별로 고유한 기준온도(threshold temperature, T_c)와 저온요구도(chill requirements, Cr) 및 고온요구도(anti-chill requirements, Hr)를 모수로 이용한다. chill-day의 적산값인 저온요구도와 anti chill-day의 적산값인 고온요구도는 같은 값을 가지나 부호가 반대이며, 매 시간 온도에 따른 가중치를 달리하여 적산되는 온도시간으로 표현된다(Table 1). 내생휴면이 해제되기 위해서는 T_c 보다 낮은 온도에서 일정시간 경과하여 Cr 이 충족되어야 한다. 이후 기준온도보다 높은 온도에서 일정시간 경과하여 고온요구도가 충족되면 발아가 시작된다.

온대 과수가 휴면에 들어가는 시기를 정확하게 알 수 없지만 chill-day 모형에서는 일 최저기온이 기준온도 이하로 내려가지 않으면 실제 냉각량이 축적되지 않기 때문에 편의상 chill-day 적산 시작일을 10월 1일로 설정한다. 그 이후로 일 최고 및 최저기온자료를 Table 1의 조건별 식에 대입하여 일별 chill-day를 계산하고 Cr 이 충족될 때까지 매일 누적시킨다. 저온요구도가 충족된 날(내생휴면해제일) 이후로는 매일 anti chill-day값을 계산하여 Cr 로부터 차감해 가다가 Cr 이 ‘0’에 도달하는 날짜를 발아일로 가정한다.

Table 1. Equations to calculate chill day (C_d) and anti-chill day (C_a) for the five cases that relate the daily maximum (T_x) and minimum (T_n) temperature to the threshold temperature (T_c) and 0°C , where T_M is the mean daily temperature (Cesaraccio *et al.*, 2004).

Number	Temperature	Chill day	Anti-chill day
1	$0 \leq T_c \leq T_n \leq T_x$	$C_d = 0$	$C_a = T_M - T_C$
2	$0 \leq T_n \leq T_c < T_x$	$C_d = -\left[(T_M - T_n) - \frac{(T_x - T_c)}{2} \right]$	$C_a = \frac{T_x - T_c}{2}$
3	$0 \leq T_n \leq T_x \leq T_c$	$C_d = -(T_M - T_n)$	$C_a = 0$
4	$T_n < 0 < T_x \leq T_c$	$C_d = -\left(\frac{T_x}{T_x - T_n} \right) \left(\frac{T_x}{2} \right)$	$C_a = 0$
5	$T_n < 0 < T_c < T_x$	$C_d = -\left[\left(\frac{T_x}{T_x - T_n} \right) \left(\frac{T_x}{2} \right) - \left(\frac{T_x - T_c}{2} \right) \right]$	$C_a = \frac{T_x - T_c}{2}$

2008년 12월 30일 제주시 화북동에 위치한 노지재배 포장에서 참다래 ‘헤이워드’ 품종을 대상으로 10개 이상 눈이 있고 15~25cm 정도 길이가 되도록 가지를 절단하여 150여 개를 준비하였다. 절단된 정단부에는 톱신페스트(thiophanate-methyl, 3%)로 도포하여 증발과 감염을 방지하였다. 준비된 시료를 내생휴면타과에 필요한 3℃ 향온 챔버에 보관한 뒤 일주일 마다 10개씩 25℃ 향온 챔버로 옮기고 기부를 물에 잠기게 하여 매일 같은 시간대에 발아여부를 관찰 하였다. 25℃ 향온 챔버에 옮긴 날짜를 기준으로 발아일까지 걸린 날짜를 계산하였다. 3℃ 향온 챔버에서 시료는 점차 저온요구도가 채워지며 내생휴면이 해제된 후 강제휴면상태에 놓여있게 된다. 따라서 처음에는 발아일까지 걸린 날짜가 큰 값을 보이다가 점차 감소하여 일정한 날짜에서 거의 안정화되는데 이 날짜를 육안으로 판정하여 ‘최소발아일수’로 간주하였다. 최소발아일수는 발아가 육안으로 관찰되기까지 식물체 내부적인 생리대사작용이 일어나는 기간이다.

또한 매주 포장에서 새롭게 시료를 채취하여 최소발아일수 추정 실험과 동일한 방식으로 25℃ 향온 챔버에 수습처리하였다. 마찬가지로 참다래 눈의 발아소요일수를 계산하여 최소발아일수와 일치하면 내생휴면이 해제된 것으로 보고, 그때의 날짜를 내생휴면해제일로 간주하였다.

개화에 필요한 고온요구도를 도출하기 위해 포장에 설치된 CR10X (Campbell Scientific, USA) 기반의 자동기상관측장비로부터 2008년 10월부터 2009년 5월까지 일 최저 및 최고기온자료를 수집하였다. 기준온도 후보를 6, 7, 8, 9℃로 두고 각각의 경우에 대해 2008년 10월 1일부터 챔버실험에서 추정된 내생휴면해제일까지 chill-day를 계산하여 적산하고 이를 저온요구도로 간주하였다. 내생휴면해제일 이후에는 anti-chill day를 계산하여 저온요구도로부터 차감하기 시작하여 예상발아일을

추정하였다. 이를 실제 포장에서 관찰된 발아일과 비교하여 ± 1 일 오차범위에서 일치하는 기준온도와 저온요구도를 찾았다. 내생휴면해제일로부터 실측 만개일까지 매일 anti-chill day를 계산하고 이들을 적산한 값을 개화일 예측에 필요한 고온요구량으로 간주하였다.

2.2. 발육속도 기반 만개일 예측

일정 생육기간 내에서 기온이 높아지면 예측하고자 하는 생육단계에 도달하는 기간이 짧아진다는 이론을 기초로 하여 기온을 함수로 개화일을 예측하고자 하는 것이 발육속도기반 개화일 모형이다. 개화일 예측에 활용하기 위해서는 첫째로 예측에 적용하고자 하는 기준온도를 설정하여야 한다. 과수에서는 대체로 발아기 무렵 일 평균기온을 적용하는데 사과, 배, 복숭아, 포도는 식물기간 기준온도인 일평균기온 5°C 를 적용하며, 참다래는 7°C 가 가장 적합하다고 알려져 있다 (Salinger et al., 1993). 둘째는 기온을 함수로 하는 개화일까지의 기온반응식을 결정하여야 한다. 기준온도 출현일부터 개화일까지의 일수와 기온과의 관계식이 일차함수 혹은 지수함수로 표현된다. 셋째, 기준온도 출현일부터 개화 전일까지의 적산온도를 구하고, 매일의 일 평균기온을 적산온도로 나누어 발육속도를 구한 다음, 발육속도와 평균기온과의 관계식을 도출하면 된다.

본 연구에서는 전라남도 해남(전라남도농업기술원 과수연구소)에서 1999~2005 기간(7년간) 중 관찰한 참다래 ‘헤이워드’ 품종의 만개일자료와 기상청 해남기상대의 기온 관측자료를 이용하여 기준온도 출현일부터 만개일까지의 일수와 평균기온과의 관계식으로부터 기온반응식을 도출하였다. 참다래의 기준온도인 7°C

이상 출현일부터 만개전일까지의 적산기온을 구하고, 매일의 평균기온을 적산기온으로 나누어 백분율로 나타냄으로써 발육속도를 구했다. 발육속도와 평균기온과의 최적 회귀식을 도출하였다.

2.3. 만개기 예측방법의 신뢰성 비교

전라남도농업기술원 과수연구소로부터 확보한 2006-2009 (4 년간) 해남지역 ‘헤이워드’ 만개일 관측자료와, 국립원예특작연구소 온난화대응농업연구센터로부터 수집한 2010-2011 (2 년간) 제주시 화북동 참다래 노지재배포장의 만개일 관측자료를 모형 검증에 이용하였다. 해남기상대의 2006~2009 기간 및 제주기상대의 2010~2011 기간 중 일 최고, 최저기온자료를 수집하여 휴면시계모형과 발육속도모형을 각각 구동하고 예측된 만개일과 실측만개일 간 편차를 비교하였다.

III. 제주지역의 미래 기온변화 추정

표준기상관측소의 평년 월별 기온값을 수치고도모형(digital elevation model, DEM) 등 지리공간정보에 의해 보정하여 원하는 해상도의 격자형 디지털 기온분포도로 변환하는 방법(공간기후모형)은 특히 산악지역을 대상으로 널리 활용되었으며, 최근 도서지역을 제외한 남북한 전역에 대해서 1971~2000 평년의 30m 해상도의 분포도가 제작된 바 있다(Yun, 2010; Kim and Yun, 2011). 본 연구에서는 공간기후모형을 제주도 지형(30m DEM)에 적용하여 현재평년(1981~2010)의 기온분포도를 제작하고 IPCC SRES (Special Report on Emission Scenarios) A1B 조건에서의 2021~2100 미래 기온분포를 같은 해상도로 추정하였다. 다음 사항을 제외한 모든 과정은 내륙지방 기온분포도 제작과 동일하다.

먼저 제주도 내 표준기상관측소 4지점과, 자동기상관측소(AWS) 19개 가운데 잔디 피복의 중문(328), 유수암(727), 가시(792), 식생 피복의 진달래밭(870), 윗세오름(871) 등 5개 지점에 대해 1981-2010년 기간 기온자료를 준비하였다(Fig. 1). 자동기상관측소의 운영은 주로 2000년대에 이르러 시작되었으므로 중복되는 기간에 인근 표준기상관측지점과 AWS 간의 기온자료 비교를 통해 관계식을 도출하고, 표준기상관측자료만 존재하는 기간에 대해 이 식을 이용하여 AWS 지점의 기온을 추정하였다. 다음에는 고도증가에 따른 기온감율을 구하기 위해 표고가 높은 진달래밭과 윗세오름의 기온자료가 확보된 2006~2007 기간 중 4개 표준기상관측지점과 5개 AWS 지점 자료를 분석에 이용하였다. 기상관측소가 위치한 DEM 격자값을 독립변수로 두고, 기상관측소의 일별 기온을 종속변수로 두어 얻어진 추세선의 기울기를 기온감률로 간주하였다. 최고기온의

공간기후모형을 적용하기 위해 제주와 고산 등 일사관측기상대 두 곳의 실측일사량을 토대로 성산과 서귀포의 일사량을 추정하였고 이들 4지점의 수평면 일사량을 이용하여 제주도 전역의 지형을 고려한 사면 일사수광량을 계산하였다.

기상청 기후변화정보센터(www.climate.go.kr)에서 IPCC SRES A1B 조건에서 예상되는 2011~2100 한반도 상세 기온자료(해상도 30m) 가운데 제주지역에 해당되는 부분을 수집하였다. 개화기 변동 분석을 위해 ‘가까운 미래’에서 ‘먼 미래’까지 10년 단위로 5 세트(2021-2030, 2041-2050, 2061-2070, 2081-2090)의 일 최고 및 최저기온 월별평균자료를 준비하였다. 하지만 개화기 예측방법(DVS 및 휴면시계모형)을 제주지역에 적용하기 위해서는 일별 기온자료가 필요하다. 앞서 제작된 현재평년(1981~2010)의 월별 기온자료세트와 함께 모두 6세트의 제주지역 기온자료를 조화분석(harmonic analysis)에 의해 일별 최저 및 최고기온자료 세트로 변환하였다(Seino, 1993).

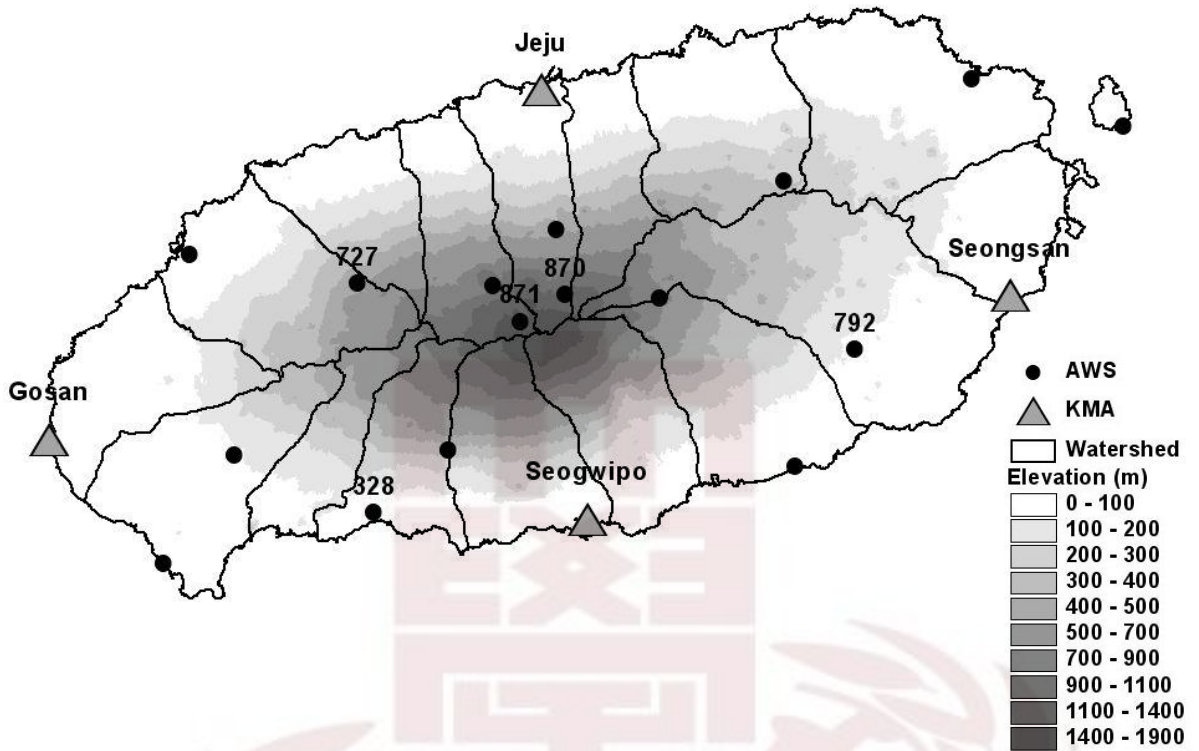


Fig. 1. Locations of the synoptic (triangle symbols) and automated (circle symbols) weather stations of the Korea Meteorological Administration in 16 watersheds of Jeju Island.

IV. 결과 및 고찰

4.1. ‘휴면시계’ 기반의 개화일 예측모형

최소발아일수는 최적성장조건에서 눈을 구성하는 분열조직이 성장하여 발아상태에 이르기까지 필요한 최소기간으로서 내생휴면이 해제된 후부터 발아일까지 걸리는 최소기간이다. ‘헤이워드’ 품종의 내생휴면해제에 필요한 최소발아일수는 17~20일 정도로 추정된다(Fig. 2A). 가로축에 이동날짜, 세로축에 발아에 걸리는 기간을 나타내면 초기의 발아소요기간은 시간이 갈수록 점차 감소하여 안정화된다. 이 날짜를 육안으로 판정하여 최소발아일수로 추정하게 되는데 본 실험에서는 안정화되는 양상이 뚜렷하게 나타나지 않았다. 최소발아일수를 참고하여 추정한 실험 기간 중 ‘헤이워드’의 내생휴면해제일은 2월 10일이었다(Fig. 2B).

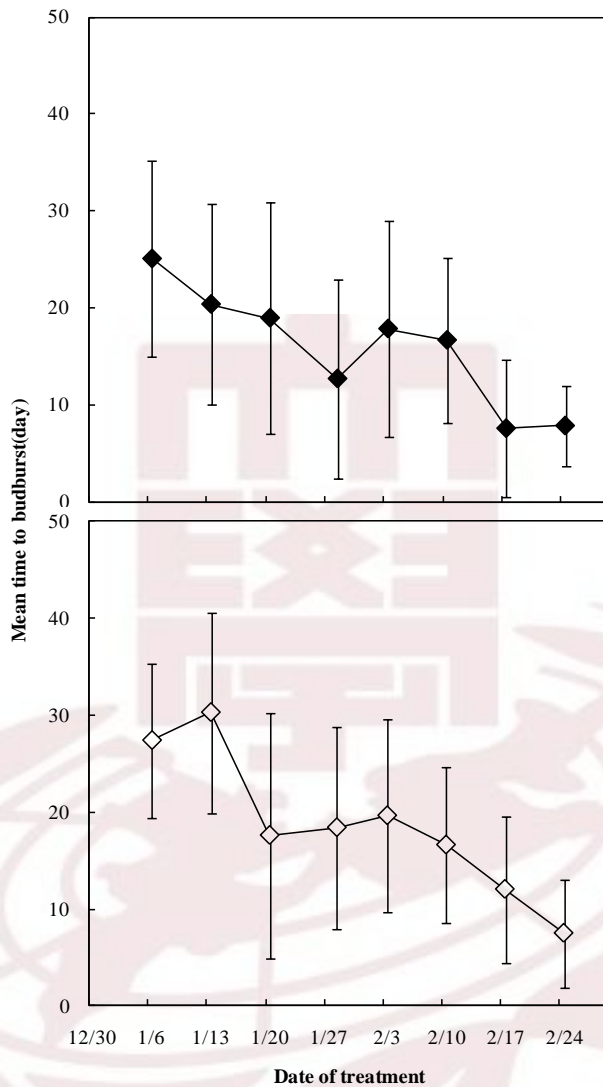


Fig.2. Changes in the number of days required for bud-break of 'Hayward' twigs after moving from the optimal condition for chilling (5°C) to that for growth (25°C). Empty symbols indicate the same changes but those from the open field condition to the optimal condition for growth (25°C). Each vertical bar indicates one positive and one negative standard deviation from the center symbol which is the arithmetic mean of the 10 buds each.

2009년의 발아일 관측자료에 최적화 시킨 chill-day 모형의 모수조합은 기준온도 7℃, 저온요구도 -115.9로 추정되었다. 발아일 예측 모수를 이용하여 내생휴면해제일 다음날부터 2009년의 실측 만개일 5월 20일까지 anti-chill day를 적산한 결과 +577을 얻었으므로 이 값을 참다래 만개를 위한 고온요구도로 간주하였다(Fig. 3).



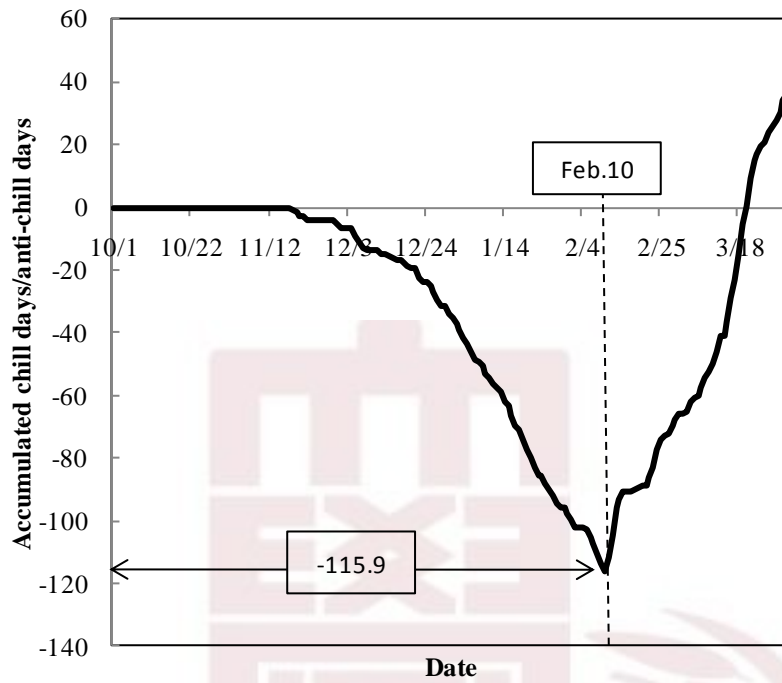


Fig. 3. The time course change in chill-day accumulation for ‘Hayward’ kiwifruit grown at Jeju during the 2008/2009 season. Simulated by the chill-day model parameterized with $T_c = 7^{\circ}\text{C}$ and $Cr = -115.9$.

4.2. 발육속도 기반 만개기 추정모형

전라남도 해남지역에서 1999~2005 기간(7년) 중 관찰한 참다래 ‘헤이워드’ 품종의 만개일 자료와, 같은 기간 기상청 해남기상대 평균기온자료를 기반으로 분석한 결과 기준온도 7℃ 출현초일부터 만개일까지 일수와 평균기온 사이에 직선적인 관계가 확인되었다(Fig. 4). 기준온도 7℃ 이상 출현초일부터 만개전일까지 적산온도는 917.8℃로 계산되었다. 매일의 평균기온을 이 적산온도로 나누어 백분율로 나타낸 것이 발육속도(DVR)인데, DVR과 평균기온(T) 사이의 관계는 다음 식으로 표현할 수 있었다.

$$DVR_i = 0.1089 \times T \quad \text{-----} \quad (1)$$

매일의 발육속도를 적산하면 발육단계(DVS)가 되는데 T 가 7℃보다 낮을 경우에는 DVR을 0으로 하며, DVS가 100이 될 때를 만개한 것으로 간주한다 (Table 2).

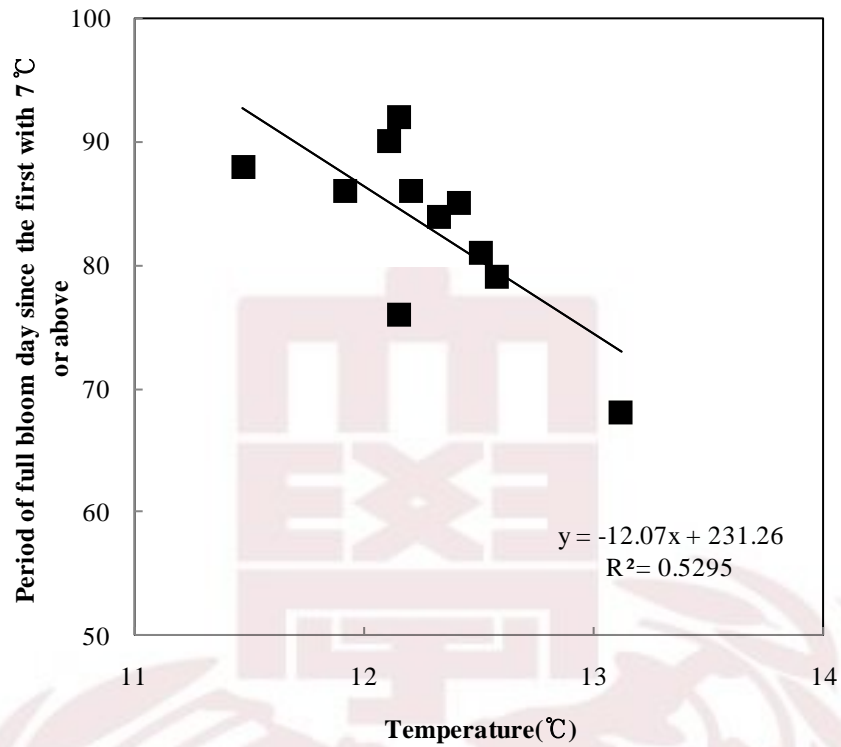


Fig. 4. Relationship between the day number to the flowering since the first day with 7°C or above and the daily mean temperature.

Table 2. Development rates and development stages calculated by daily mean air temperature for estimation of blooming stage in ‘Hayward’ kiwifruits

Month /Day	Daily mean air temperature(°C)	DVR(%)	DVS(%)	Month /Day	Daily mean air temperature(°C)	DVR(%)	DVS(%)
3/16	8.4	0.83	0.83	4/21	14.5	1.57	41.11
3/17	8.4	0.95	1.78	4/22	13.6	1.46	42.57
3/18	8.6	1.14	2.92	4/23	12.7	1.35	43.92
3/19	7.2	0.90	3.82	4/24	12.0	1.34	45.26
3/20	7.8	0.87	4.68	4/25	12.3	1.37	46.64
3/21	8.7	0.98	5.66	4/26	12.4	1.33	47.96
3/22	8.4	0.95	6.61	4/27	12.6	1.33	49.30
3/23	7.7	0.88	7.49	4/28	13.7	1.45	50.74
3/24	7.6	0.93	8.42	4/29	14.9	1.53	52.27
3/25	7.8	0.90	9.32	4/30	15.6	1.65	53.91
3/26	8.6	0.93	10.25	5/1	15.9	1.69	55.61
3/27	9.3	1.01	11.26	5/2	15.9	1.73	57.34
3/28	7.9	0.80	12.06	5/3	16.0	1.72	59.06
3/29	8.0	0.82	12.88	5/4	16.1	1.75	60.80
3/30	8.7	0.85	13.73	5/5	16.4	1.79	62.59
3/31	9.3	0.94	14.67	5/6	15.7	1.76	64.35
4/1	10.2	1.04	15.71	5/7	16.1	1.79	66.14
4/2	9.8	0.98	16.69	5/8	16.0	1.84	67.98
4/3	9.4	0.99	17.68	5/9	16.0	1.82	69.80
4/4	9.3	1.04	18.72	5/10	15.7	1.81	71.60
4/5	10.0	1.08	19.80	5/11	16.1	1.78	73.39
4/6	10.7	1.05	20.85	5/12	15.7	1.68	75.07
4/7	11.0	1.14	21.99	5/13	16.0	1.71	76.78
4/8	11.6	1.31	23.30	5/14	16.5	1.76	78.53
4/9	12.0	1.40	24.70	5/15	16.9	1.86	80.40
4/10	11.6	1.34	26.04	5/16	16.9	1.85	82.25
4/11	11.6	1.25	27.29	5/17	16.8	1.85	84.10
4/12	11.9	1.30	28.60	5/18	16.9	1.86	85.96
4/13	11.8	1.29	29.89	5/19	17.1	1.85	87.81
4/14	11.7	1.20	31.09	5/20	17.6	1.89	89.70
4/15	12.0	1.26	32.35	5/21	18.3	2.01	91.71
4/16	11.8	1.22	33.57	5/22	18.6	2.08	93.78
4/17	13.1	1.34	34.91	5/23	18.5	2.03	95.81
4/18	14.4	1.59	36.50	5/24	18.5	2.06	97.88
4/19	13.4	1.51	38.01	5/25	18.9	2.12	100.00
4/20	13.6	0.83	0.83				

4.3. 개화기 예측방법의 신뢰성

해남지역(2006~2009) 및 제주지역(2010~2011) 일별 기온자료를 ‘휴면시계모형’과 발육속도모형에 각각 적용하여 매년 개화일을 추정한 결과 RMSE는 휴면시계모형에서 2.5일, 발육속도모형에서 4.0일이었다(Fig. 5). 발육속도모형의 경우 개화기 예측에 이른봄의 평균기온만을 이용하기 때문에 이른봄부터 나타나는 기온의 영향만을 반영하지만 휴면시계모형은 겨울부터 봄철의 일 최저, 최고기온을 모형에 입력함으로써, 겨울에서 봄까지의 기온변동을 만개기 예측에 반영할 수 있다는 차이 점을 가지고 있다. 참다래는 아직까지 우리나라 남해안 지역에서만 재배되고 있고 재배역사가 길지 않아 검증에 이용할 수 있는 만개일 관측자료를 충분히 확보할 수가 없어서 두가지 모형의 차이점에 대해서 좀 더 심도 있게 밝히지는 못하였으나 이러한 차이점이 ‘헤이워드’의 만개일 예측 결과에도 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

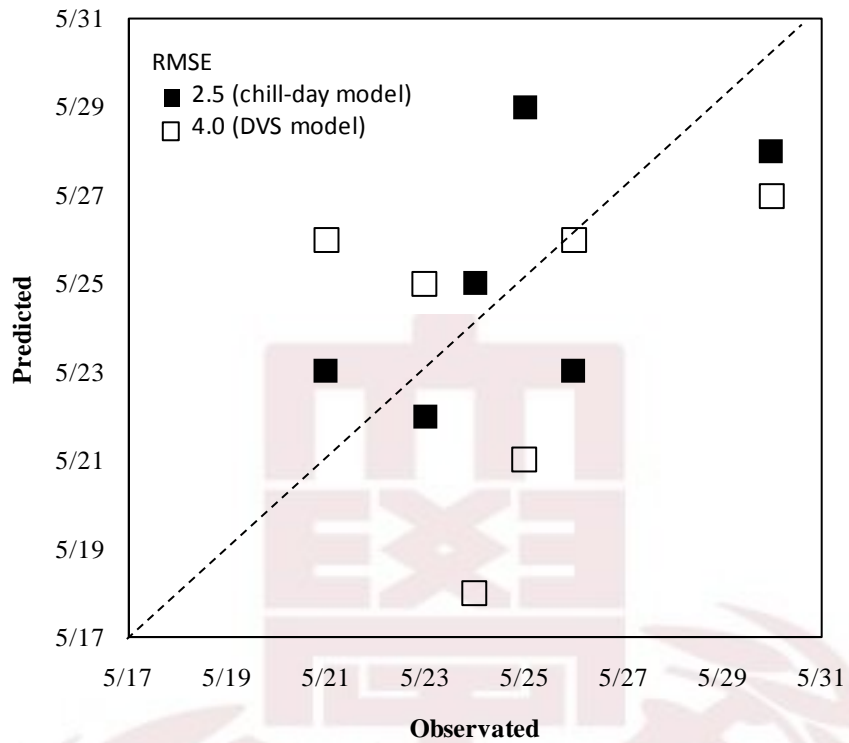


Fig. 5. Comparison of the model performance in predicting flowering date of ‘Hayward’ kiwifruit during 2006-2011. Filled symbols for the chill-day model and empty symbols for the DVS model.

4.4 제주지역 ‘헤이워드’ 개화기의 이동

상대적으로 신뢰도가 높은 휴면시계모형을 제주도의 1981-2010 평년 기온자료 (30m 해상도 격자형 일별 최고 및 최저기온)에 의해 구동시켜 ‘헤이워드’ 개화일의 분포도를 작성한 결과 해안으로부터 4~10km 범위에서는 5월 말까지 만개하는 것으로 추정되었다. 특히 서귀포를 중심으로 하는 남쪽 해안 부근에서 빨랐다 (Fig. 6).



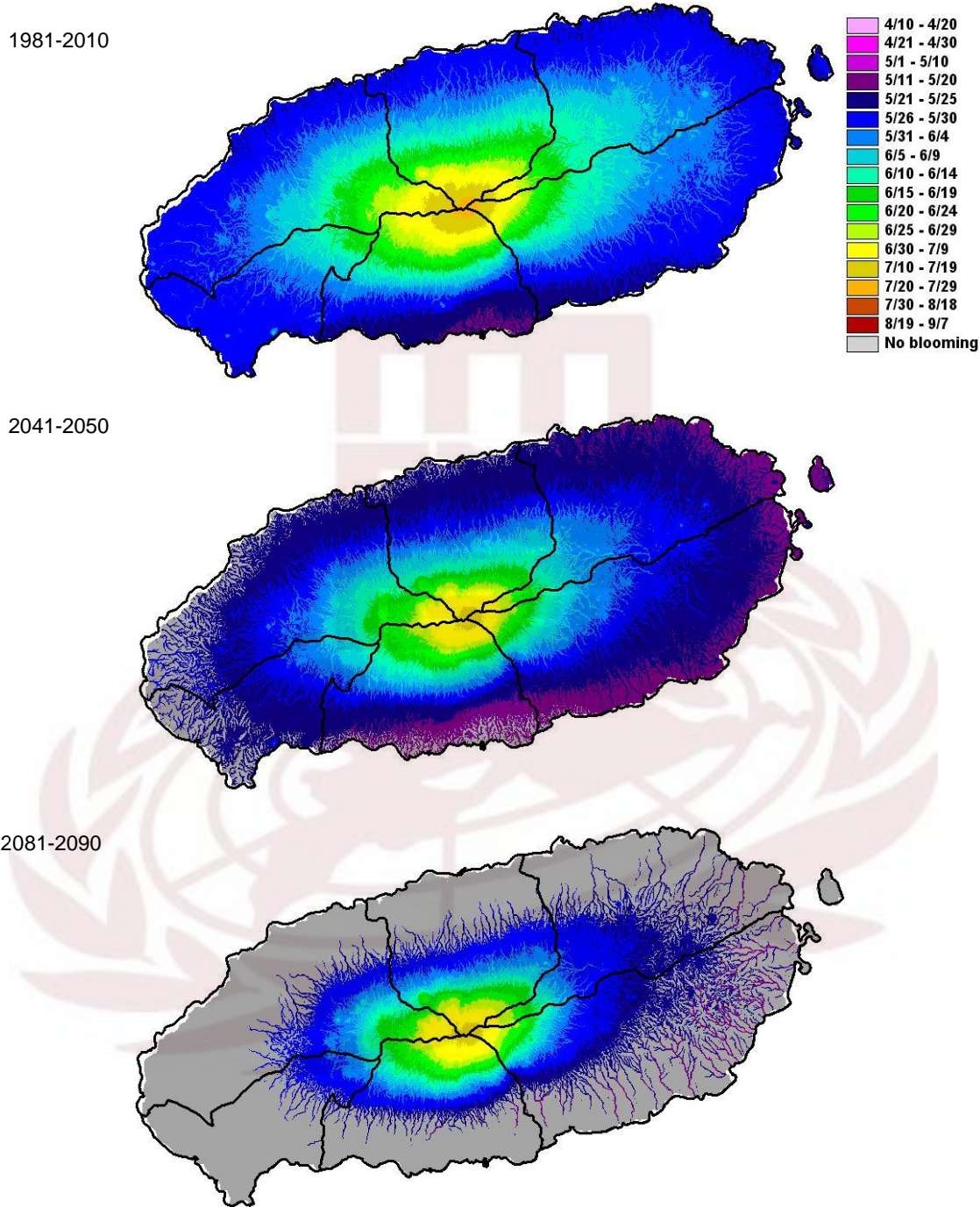


Fig. 6. Geographical shift of the full bloom stage in 'Hayward' kiwifruit at Jeju Island expected for the current (1981-2010) and the A1B scenario projected future climatic

conditions.

A1B 시나리오에 입각한 ‘헤이워드’의 미래 만개기 예상 분포도를 보면, 현재평년에 비해 대부분 개화기가 앞당겨진다. 하지만 일부 해안 근처에서 개화기가 다소 늦춰지거나 아예 개화가 되지 않는 현상도 예상된다. 이것은 휴면시계모형에서는 월동기간 중 저온요구도가 충족되지 않을 경우 발아 불능상태가 되는 것으로 가정하기 때문이다. 현실세계에서는 전면적인 발아불능보다는 균일하지 못한 발아가 예상되며 후속단계인 개화에까지 영향을 미칠 것으로 보인다. 소위 ‘휴면병’으로 불리는 이 현상은 이웃 일본의 남부지방에서 흔히 보고되어왔다(National Institute of Fruit Tree Science, 2003). 온난한 겨울 때문에 참다래 ‘헤이워드’의 개화가 어려워지는 지역은 미래로 갈수록 증가할 것으로 예상되는데, 2041-2050에는 제주도 전체의 6.7% 가량이지만, 2061-2070에는 32.7%, 2081-2090에는 58%로 확대될 것이다(Fig. 6).

현재 제주에서 참다래가 많이 재배되는 지역의 만개기는 5월 하순 ~ 6월 초순경으로, 이 시기는 봄철 첫서리에 의한 꽃눈의 피해와 수확기 지연에 따른 과일의 가을서리 피해를 모두 피할 수 있는 최적기라 할 수 있다. 따라서 모의결과에 의해 만개기가 이 시기에 해당하는 지역을 안전재배지역으로 간주할 수 있다. 제주도 내에서 만개기가 5월 하순에서 6월 초순 사이에 해당하는 지역의 면적을 추산해보면, 1981-2010에는 118,200ha이었으며 2021-2030에는 129,300ha로 증가할 것으로 예상된다. 하지만 2041-2050에는 119,300ha로 감소하며 이 추세가 지속되어 2081-2090에는 52,100ha로 반감할 것으로 추정된다. 재배적지는 현재 해안지대(평균고도 114m)에서 미래에는 한라산 주변의 해발고도가 높은 지역(평균고도 371.5m)으로 점차 이동할 것으로 예상된다(Fig. 7).

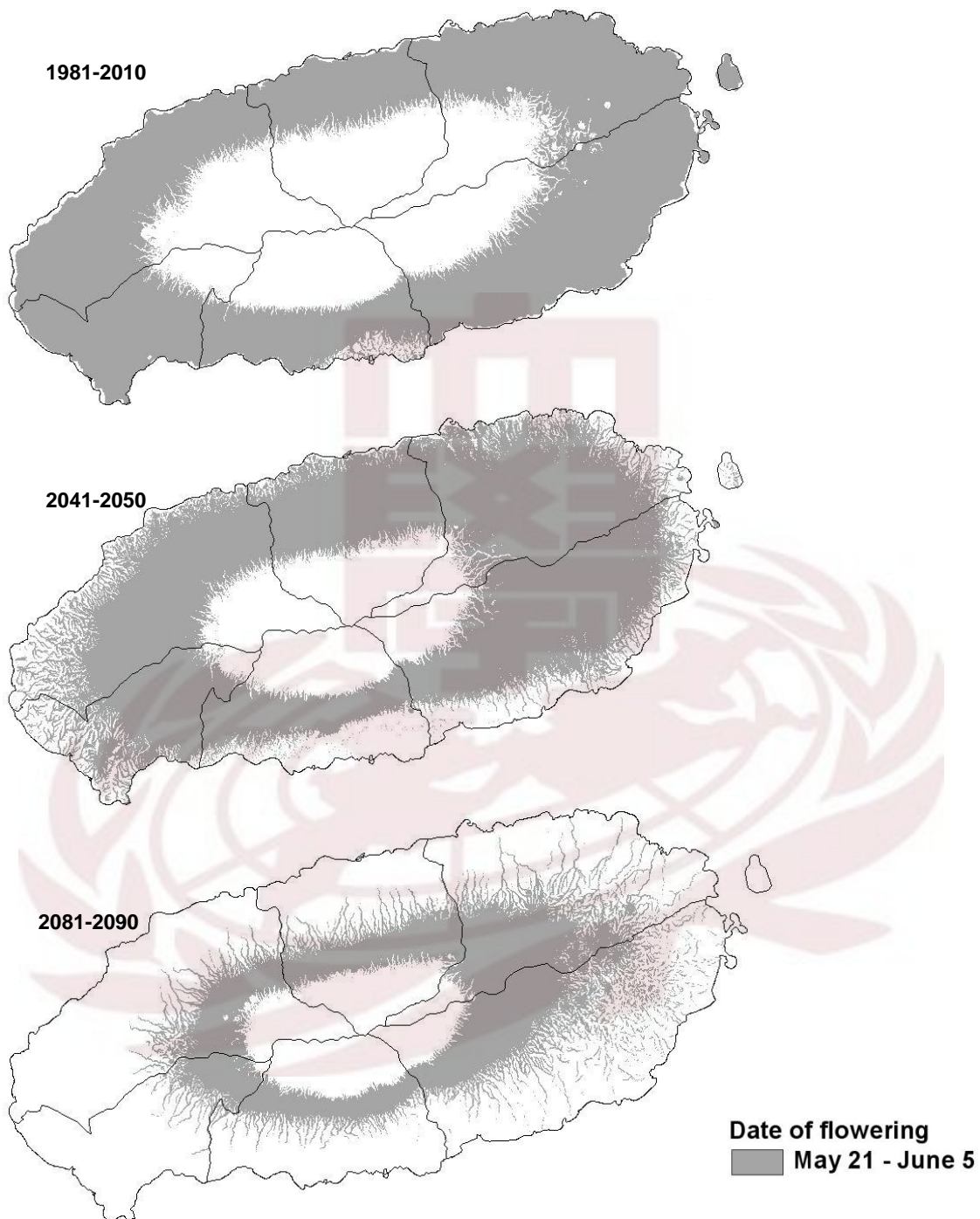


Fig. 7. Geographical shift of optimal for ‘Hayward’ cultivation at Jeju Island expected for the current (1981-2010) and the A1B scenario projected future climatic conditions.

A1B 시나리오기후 하에서는 미래로 갈수록 만개기가 빨라지는 동시에 개화불량인 지역이 늘어나기 때문에 100년 후에는 현재 주산지인 제주도와 남해안보다는 내륙 및 산간지방이 참다래 재배에 더 적합한 지역이 될 것으로 예상된다.

기온은 과수 생육반응의 가장 중요한 요소라 할 수 있으며, 기온에 의한 생육단계의 예측은 재배관리의 가장 기초적이고 중요한 기술정보이다. 만개기 예측에 대한 정보는 상해위험지 판정, 재배지대 구분, 농작업의 적기 판단 등 영농 계획 수립에 활용될 수 있고(Jang *et al.*, 2002), 기상정보만 있다면 우리나라 전역 뿐만 아니라 북한 지역의 확대 적용도 가능하다. 또한 지구온난화에 의한 기온상승 시 과수의 만개일 변동을 미리 예측하여 과수산업의 대응전략 마련에 기여할 수 있다. 하지만 예측된 만개기의 신뢰성을 실용수준에서 충분히 확보할 수 없다면 이런 종류의 모의실험은 이론에 그칠 뿐이며, 그 결과를 영농현장에 적용해서는 안될 것이다. 만개기 예측의 정확도를 높이는 일이 선행되어야 하며 그러기 위해서는 지역별 정규 관측시설에 의해 정밀하게 조사, 관측되어 잘 정리된 농업기상자료가 필수적이다. 기상청, 농진청 등 관련 기관에서 조사방법을 표준화 하고 이러한 정보가 오랜 기간 축적된다면 예측의 신뢰도를 확보하는 데 크게 도움이 될 것이다.

V. 적 요

제주도의 새로운 소득 과수인 참다래 ‘헤이워드’를 대상으로 IPCC의 미래 시나리오 기후조건에서 개화기 분포를 정밀하게 추정함으로써 도내 재배적지의 지리적 이동을 가시화 하였다. 개화기 예측을 위해 휴면시계모형과 발육속도모형을 각각 ‘헤이워드’ 품종에 맞도록 조정하였으며, 시공간적으로 독립적인 자료(해남 2006-2009, 제주 2010-2011)에 의해 검증한 결과 개화일 추정오차는 $RMSE = 2.5$ 일(휴면시계모형)과 4.0일(발육속도모형)로 나타났다. 제주도의 현재평년(1981-2010) 기온 및 A1B 시나리오에 따른 10년 단위 미래 기온을 중관기상자료와 공간기후추정기술에 의해 상세 격자형 분포도로 제작하였다. 일별 기온분포도를 이용하여 휴면시계모형을 구동시켰으며 그 결과를 30m 해상도의 상세 개화일분포도로 가시화 하였다. 이 모의결과에 따르면 미래로 갈수록 현재평년에 비해 개화일이 앞당겨지는 한편, 저온요구도의 부족으로 개화불량인 지역이 늘어날 것으로 추정된다. 개화기에 근거한 재배적지의 면적은 가까운 미래에는 증가하지만 먼 미래로 갈수록 급격히 줄어들어 21세기 말에는 현재의 절반이 될 것이며, 같은 기간 재배적지는 해안지대로부터 해발 257m 정도 한라산 방향으로 이동할 것으로 예측된다.

참고문헌

- 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**, 55-64. (In Korean with English abstract).
- Jang, H. I., H.H. Seo and S. J. Park, 2002: Strategy for fruits cultivation research under the changing climate. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **20**, 270-275.(In Korean with English abstract).
- Jung, J. E., H. C. Seo, U. Chung, and J. I. Yun, 2006: Spring phenology of a grapevine cultivar under the changing climate in Korea during 1921-2000. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **8**, 116~124(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
- Kim, S. O., U. Chung, S. H. Kim, I. M. Choi, and J. I. Yun, 2009: The suitable region and site for 'Fuji' apple under the projected climate in South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**, 162-173. (In Korean with English abstract)

- Kim, S. O., and J. I. Yun, 2011: Mapping monthly temperature normals across North Korea at a landscape scale. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **13**, 28-34. (In Korean with English abstract)
- Lee, D. B., and K. M. Shim, 2011: Effects by climate change and counterplan for agriculture. Outlook of agriculture 2011(I), Korea Rural Economic Institute. 319-344.
- Lee, Y. S., J. T. Lee, K. M. Shim, and K. H. Hwang, 2002: Estimation of full bloom stage of apple(*Malus domestica* Borkh. cv. Fuji) in Chungju Area. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **4**, 114-118.
- National Institute of Fruit Tree Science, 2003: Research report of fruit production constitution, 59-65.
- Salinger, M. J., G. J. Kenny, and M. J. Morley-bunker, 1993: Climate and kiwifruit cv. Hayward. 1. Influences on development and growth. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* **21**, 235-245.
- Seino, H., 1993: An estimation of distribution of meteorological elements using GIS and AMeDAS data. *Journal of Agricultural Meteorology (Japan)* **48**, 379-383. (In Japanese with English abstract)
- Seo, H. H., 2003: Growth and quality of horticultural crops affected by climate change (focusing to fruit tree). *5th Conference on Agricultural and Forest Meteorology*, 131-137.
- Shim, K. M., J. T. Lee, Y. S. Lee, and G. Y. Kim, 2004: Reclassification of winter barley

cultivation zones in Korea based on recent evidences in climate change. . *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **6**, 218-237. (In Korean with English abstract)

Yun, J. I., 2006: Climate change impact on the flowering season of japons cherry (*prunus serrulata* var. *spontanea*) in Korea during 1941-2100. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **8**, 68-76. (In Korean with English abstract)



ABSTRACT

Geospatial Shift of Kiwifruit Blooming Date in Jeju Island as Influenced by the Global Warming

Young soon, Kwon

Department of Ecosystem Engineering

Major in Ecosystem Informatics

Graduate School of Kyung Hee University

Advisor: Jin I. Yun, Ph.D.

A kiwifruit cultivar 'Hayward' is a promising economic crop for farmers in Jeju Island where the current climate is favorable for growing this crop. Visualization of the geographical shift of the phenology in the future might be helpful for the kiwifruit farmers to adapt to the local climate change. Two phenology models (chill-day and DVS) were parameterized for estimating flowering date of 'Hayward' kiwifruit based on the data collected from both field plot and chamber experiments in the southern coastal and island locations in South Korea. A spatio-temporally independent datasets were used to evaluate the performance of these models in predicting flowering date of 'Hayward'. Results showed better performance of the chill-day model than the DVS model and the chill-day model was applied to the high-definition daily temperature data for Jeju Island during 2021-2100 under the A1B scenario climate. Model calculations predict flowering of kiwifruits would be accelerated and the area with poor flowering due to insufficient chilling could be found in Jeju Island in the future. Optimal land area for growing 'Hayward' could increase for a while in the near future (2021-2030), followed by a rapid decrease to half the current value by the year 2100. Geographic locations optimal for 'Hayward' cultivation will move from the current coastal proximity toward Mt. Halla at an altitude range between 114~371 m a.s.l.