한국농림기상학회지, 제20권 제4호(2018) (pISSN 1229-5671, eISSN 2288-1859)
Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 20, No. 4, (2018), pp. 313~320
DOI: 10.5532/KJAFM.2018.20.4.313
ⓒ Author(s) 2018. CC Attribution 3.0 License.

기후변화 시나리오에 근거한 과수 개화기 변화 및 개화 후 저온 발생 전망

김대준* · **김진희**
(재)국가농림기상센터
(2018년 11월 6일 접수; 2018년 12월 7일 수정; 2018년 12월 10일 수락)

An Outlook of Changes in the Flowering Dates and Low Temperature after Flowering under the RCP8.5 Projected Climate Condition

Dae-jun Kim* and Jin-Hee Kim
National Center for Agro-Meteorology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea.
(Received November 6, 2018; Revised December 7, 2018; Accepted December 10, 2018)

ABSTRACT

In the spring of 2018, opened-flowers of fruit trees were frozen to death due to abnormal low temperature around Jeonbuk Province and southern Gyeonggi Province areas. In the 2000s, abnormal weather is observed all over the world very frequently. As a consequence, various sectors of the society suffer from economic damage and negative effects of the abnormal weather. Moreover, recent global climate change is believed to increase the incidence of extreme weathers, which are out of the normal range of the local climate. It is necessary to identify these abnormal weather phenomena accurately and analyze the effects of them on crops in order to understand the effects of them on crop yields. This study projected the trend of the low-temperature occurrence in the future by predicting the changes in future flowering dates and quantifying the temperature distribution after flowering using climate change scenarios. This study targeted areas actually producing a major portion of pear, peach, and apple in South Korea. The results of this study predicted that the flowering dates of these fruits will be approximately 20 days earlier than the current normal year in the future (2071-2100) for the study area. Moreover, it was found that the distribution of low temperature would vary by fruit type and region to some degree. The results of this study present only a portion of fruit trees cultivars grown in South Korea. It was expected that, when this approach is applied to various crops and fruit trees, it will be possible to contribute to preparing countermeasures for climate change in the agricultural sector.

***Key words*: Flowering Day, RCP 8.5, Apple, Pear, Peach, Low temperature**

* Corresponding Author : Dae-jun Kim
(djkim@ncam.kr)

I. 서 언

2000년대 들어서면서 한반도를 비롯해 전 세계적으로 이상기후 현상이 빈번하게 발생하고 있으며, 이로 인한 사회 여러 분야에 경제적인 피해와 악영향이 증가 하고 있는 추세이다. Stern(2006)은 기상이변에 따른 전세계의 경제적 피해의 범위가 2100년까지 세계 총 GDP의 5~20%에 달할 것으로 예상하였고, 실제로 국내에서도 2016년 크고 작은 기상재해로 인해 연간 2,884억원의 재산피해가 발생했다(KMA, 2017). 기상이변의 원인은 여러 가지가 있겠지만, 가장 큰 원인으로 지구온난화가 지목되고 있다. 온난화가 진행되면서 북극진동(Arctic Oscillation)의 편서풍이 약해지고, 이로 인해 북극의 찬 공기가 비정기적으로 하강하여, 이상한파 등이 발생한다는 것이다. 기후변화가 농작물 생산에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 이상기상 현상을 정확하게 파악하고 이에 따른 농작물의 영향을 분석할 필요가 있으며, 국내에서도 다양한 작목에 대한 기후변화의 영향에 대하여 연구가 진행되고 있다(Park *et al*., 2014; Lee *et al*., 2017; Lee *et al*., 2008; Lee and Lee, 2008; Kim *et al*., 2016).

국내에서 재배되고 있는 다년생 식물의 경우, 각 작물별로 고유의 내동성을 가진다. 추운 겨울을 나기 위하여, 월동기 휴면상태에는 내동성이 매우 강하지만, 발아, 개화를 지나며 내동성은 매우 약화된다. 최근 온난화로 인해 개화일이 과거에 비해 빨라지고 있는 추세인 반면, 이상저온 현상이 자주 발생하고 있는데, 개화된 꽃이 일정 온도 이하의 저온 상태에 놓이게 되면 수정 불량, 낙화 등의 피해가 발생할 수 있다.

실제로 2018년 봄 전북, 경기 남부지역을 중심으로 배, 사과 등의 과수에서 개화된 꽃이 갑작스러운 이상저온에 의해 얼어죽는 일이 발생했다. 개화 직전까지 평년을 웃도는 온난한 기온으로 평년보다 개화가 빨랐지만, 4월 7~8일 이틀간에 걸친 갑작스러운 저온으로 인해 큰 피해를 입었다. 가장 큰 피해를 입은 전라북도 지역의 경우, 이틀간의 이상저온으로 인하여, 농작물 피해가 2,916 ha, 그 중 과수 작물의 피해가 2,260 ha에 이르렀다. 전북지역 중에서도 피해가 가장 큰 지역은 장수군이었는데, 기상청 종관 관측 기준, 장수 지역의 최저기온은 4월 3일에서 5일 사이에 7.8~9.1℃ 범위로 평년 최저기온의 2.2℃에 비해 높았다. 하지만, 4월7일에는 -0.9℃, 4월 8일에는 -4.8℃로 최저기온이 급격하게 떨어져, 하루 이틀 사이 최저기온의 편차가 15℃ 이상 나는 이상저온 현상이 발생했다(KMA, 2018; Jeollabuk-do, 2018).

최근의 기후변화는 지구온난화와 더불어, 지역 기후의 정상 범위로부터 벗어나는 기상이변의 발생빈도 또한 증가할 것으로 예상된다(Min *et al*., 2006; NIMS, 2012; Lee *et al*., 2012). 본 연구에서는 배, 복숭아, 사과 등 과수 작물이 실제 재배되고 있는 국내 주산지역에 대하여 기후변화 시나리오를 이용하여, 미래 개화일의 변화를 각각 예측하고, 개화 후 온도 분포를 정량화함으로써, 미래의 저온 발생 추세를 전망하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 미래 시나리오 자료

기상청에서는 RCP (Representative Concentration Pathway; 대표농도경로) 온실가스 시나리오를 토대로 제작된, 135km 해상도의 전지구 기후변화 시나리오를 추가로 가공하여, 한반도 지역을 12.5km 해상도로 2100년까지 제공하고 있다(NIMR, 2011). 현재는 시나리오를 통계적으로 한번 더 상세화하여, 1km 해상도의 고해상도 상세 기후변화 시나리오를 산출하여 제공 중이다(Kim *et al*., 2012; 2013). 본 연구에서는 이 1km 격자해상도의 남한 상세 RCP8.5 시나리오의 일별 Raster 자료 중 1981-2100년에 해당하는 일 최고기온, 일 최저기온의 자료를 기상청으로부터 수집하였다.

한편 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS; Water Management Information System)에서는 수자원개발, 계획 및 관리업무의 효율적 추진을 위하여, 남한에 대하여 유역별로 나누어 '수자원단위지도(ver3.0)'라는 명칭으로 정보를 제공하고 있는데, 이중 표준유역에 해당되는 850개의 유역지도를 수집하였다.

수집된 1km 해상도에 해당하는 격자의 값을 표준유역지도의 집수역(watershed) 별로 평균 하였다. 마지막으로 각 작물별 주산지에 해당되는 격자의 값을 추출하였다(Fig. 1). 수집된 데이터는 총 850개 집수역 단위 값 × 120년 × 365일 × 최고, 최저기온 = 74,460,000 개의 값이다.

2.2. 미래시나리오 적용 주요 과수 개화일 산출

본 연구의 대상작물로는 개화기에 저온피해에 취약한 과수 작물, 그 중에서 과수를 대표하고 비교적 생물계절 모형 연구가 많이 진행된 배(신고), 사과(부사), 복숭아(장호원)를 선정하였다. 한편, 기후가 달라짐에 따라 발아, 개화 등의 생물계절 또한 변하기 때문에 과종별로 기후시나리오 조건에 따른 변화를 최대한 정확하게 추정해야 할 필요가 있는데, 본 연구에서는 Cessaraccio *et al.*(2004)이 제시한 휴면시계모형을 이용하였으며, 배(신고), 복숭아(장호원), 사과(부사)에 대해 기존에 각각 도출된 모수를 이용하였다. 해당 정보는 Table 1에 제시하였다.

한편 현재기준으로 과종별로 가장 많이 재배되는 대표 주산지를 각 과종별로 선정하였는데, 통계청에서 제공하고 있는 국가통계포털(KOSIS) 농림어업총조사(2015) 내 작물별 농가 및 면적 정보를 참고 하였다(Table 2). 지리적으로 인접한 시군의 경우 하나의 지역군으로 묶어 연구를 진행하였으며, 각 과종별로 2개의 지역군 씩 선정하였다(Fig. 1). 시군의 경계 내에 포함되는 모든 집수역을 선정하였다.

2.3. 미래시나리오 적용 주요 과수 개화일 이후 최저기온 분석

과종별로 1981-2100 기간에 대하여, 1년 단위로 해당 시군이 포함된 집수역 별로 Cessaraccio휴면시계모형을 구동하여, 개화일에 대한 정보를 수집하였다. 또한 이를 지역 별로, 그리고 각각 30년간의 평년 별로 표준화하여 변화 추세를 조사하였다. 1981-2010 기간을 현재 평년으로 하며 2011-2040평년, 2041-2070평년, 2071-2100평년 등 3개의 미래 평년까지 총 4개 평년에 대하여, 개화일의 미래 변화, 지역 별 차이 경향을 조사하였다. 마지막으로 개화일로부터 낙화기까지 개화기간은 작물별로 차이가 있으나, 자료 정량화의 용이성을 고려하여 20일로 통일하였다. 개화 시작 후 20일간의 최저기온을 수집, 온도 별로 분포 경향을 분석하여, 개화 후 저온 발생 추세를 분석하였다. 최저기온 범위는 0℃ 이하부터 1℃ 단위로 통계하였다.

Table 1. Parameter values used in the growth stage prediction model for fruit trees (Adapted from Kim *et al*., 2009a; 2009b; Kim *et al*., 2016)

	Pear (Niitaka)	Peach (Changhowon)	Apple (Fuji)
Base Temperature	5.4℃	5.7	6.1
Chill Requirement	-86.4	-108.0	-100.5
Heat Requirement	231.3	234.5	275.1

Table 2. Cultivation areas of main fruit trees in South Korea

		Cultivated Area(ha), 2015
Pear (Niitaka)	Naju	1,771
	Anseong	1,398
	Cheonan	1,162
Peach (Changhowon)	Yeongcheon	1,614
	Chungju	1,543
	Gyeongsan	1,462
	Eumseong	1,171
	Cheongdo	1,008
Apple (Fuji)	Cheongsong	3,098
	Andong	2,966
	Yeongju	2,727
	Jangsu	740

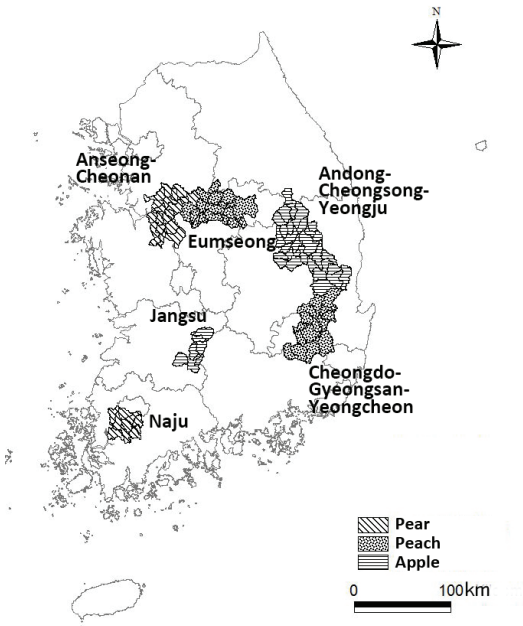

Fig. 1. Study areas (main production area for each fruit tree). Adjacent cities and municipals were merged into one region for the study.

III. 결 과

3.1. 과수 개화일 변동 추이

3개의 과종, 그리고 각 지역 별로 개화일의 미래 분포는 미래로 갈수록 공통적으로 앞당겨질 것으로 예상되었다(Fig. 2). Kim *et al.*(2016)은 겨울철 휴면이 시작되고, 이 휴면이 해제(Breaking rest) 될 때 까지는 저온 누적이 어느 정도 필요한데, 겨울철 온난화가 지속되면서 이 기간이 길어질 것이라 예상하였다. 반면에 휴면 해제 후 발아(bud-burst)와 개화(flowering)의 경우는 일정량의 고온 누적이 요구되며, 이 부분을 충족시키는 기간이 저온 누적 기간에 비해 더 크게 단축되어 결과적으로 개화일 자체가 앞당겨질 것으로 예상한 바 있다.

본 연구에서 조사한 주산지 지역의 개화일 조사결과도 선행 연구와 동일한 것으로 나타났다. 배(신고)가 많이 재배되고 있는 2곳의 주산지인 안성-천안, 나주 지역의 경우 현재 평년(1981-2010)기준으로 안성-천안 지역은 97-123일(DOY 기준), 나주 지역은 92-120일의 분포를 보였다. 해마다 단축, 지연이 반복되나, 장기적으로 점차 단축되는 추세가 예상되며, 2071-2100년 평년 기준으로는 안성-천안 지역은 73-94일, 나주 지역은 74-92일의 분포를 보였다. 지역 평균 기준으로 현재 평년에 비해, 미래 평년에는 안성-천안 지역은 23.7일, 나주 지역은 24.5일이 단축될 것으로 예상되었다.

복숭아(장호원)가 많이 재배되고 있는 주산지의 경우 현재 평년 기준으로 청도-경산-영천은 102-126일, 음성은 101-127일의 분포를 보였다. 배(신고)와 마찬가지로 장기적으로 단축되는 추세가 예상되며, 2071-2100 년 평년 기준으로 청도-경산-영천 지역은 77-99일, 음성 지역은 77-96일의 분포를 보였으며, 지역 평균 기준, 청도-경산-영천은 22.1일, 음성 지역은 25.3일이 단축될 것으로 예상되었다.

사과(부사)가 많이 재배되고 있는 주산지의 경우 현재 평년기준으로 안동-청송-영주 지역은 112-134일, 장수 지역은 111-134일의 분포를 보였다. 위의 두 과수작물 조사 지역과 마찬가지로 미래로 갈수록 개화일은 단축되는 추세가 예상되며, 2071-2100 년 평년 기준으로 안동-청송-영주 지역은 83-105일, 장수 지역은 84-107일의 분포를 보였으며, 지역 평균 값 기준으로 안동-청송-영주는 25.4일, 나주는 24.3일이 단축될 것으로 예상되었다.

결론적으로 세 작물 모두 현재 평년에 비해 미래 평년(2071-2100)기간에는 22-25일 내외의 개화일 단축이 예상되었다.

3.2. 과수 개화일 이후 저온 발생 추세

추정된 각 주산지 별로 과수작물의 개화일부터 20일 간의 일 최저기온의 값을 각 평년 단위로 상자도표(box plot)로 표현한 것이 Fig. 3이다. 배(신고)의 안성-천안 지역의 경우 현재 평년과 미래 평년의 개화 후 최저기온의 중간 값은 큰 변화가 없었다. 하지만 현재 평년 기준으로 개화일 이후의 온도 분포가 1-17℃인 것에 비해, 2071-2100 평년에는 1-23℃의 분포양상으로 변화됨을 확인하였다. 나주 지역의 경우 2041-2070 평년에 중간 값이 일정부분 상승하기도 하지만 안성-천안 지역과 같이 대체로 비슷한 중간 값을 나타내었다. 하지만, 2071-2100 평년에는 최저 값 분포가 현재 평년에 비해 더 낮아질 것으로 예상되었다. 안성-천안 지역의 경우 3℃ 미만인 날이 현재 평년 기준으로 집수역 평균 10.1 일이었으나, 2071-2100 평년은 12.5일로 약 2일 증가 할 것으로 예측되었다. 나주 지역의 경우에도 현재 평년 기준으로 7.5일에서, 2071-2100

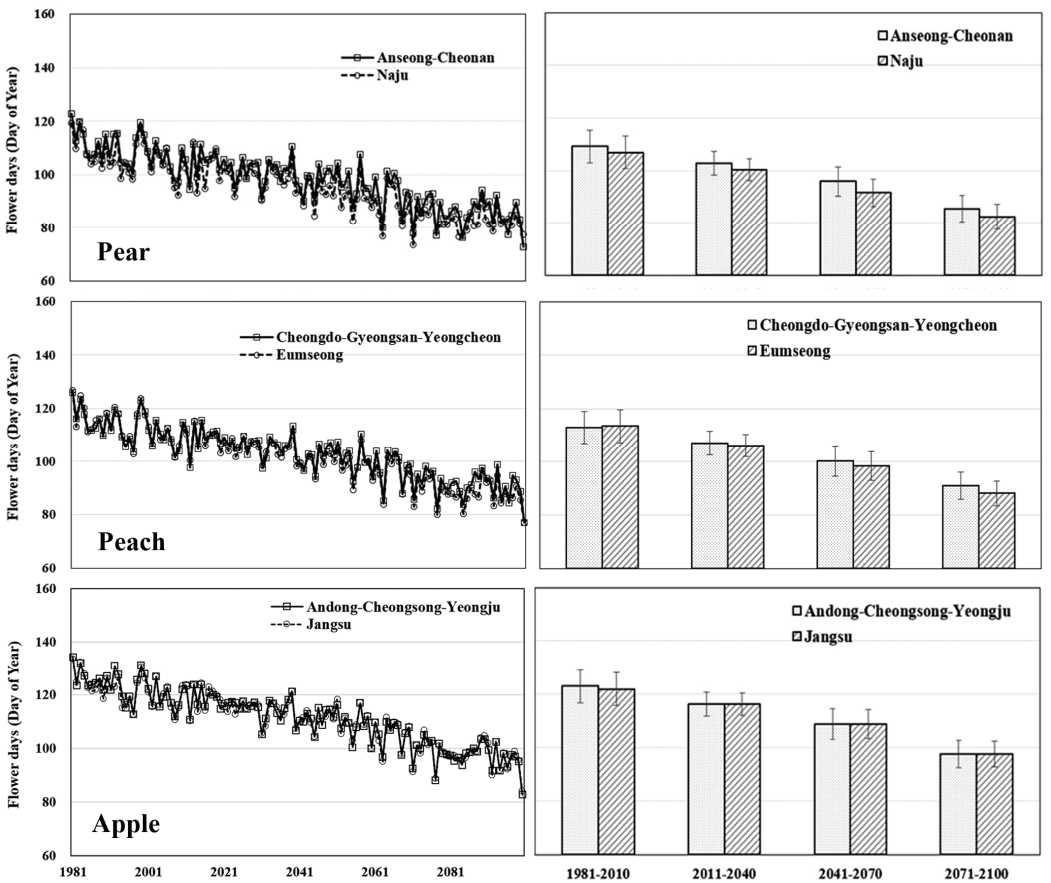

Fig. 2. Changes in the flowering date of pear (Niikata) and changes in the annual mean flowering date when a future climate change scenario was applied.

평년 10.2일로 2.7일 정도 증가 할 것으로 예측되었다. 다시 말해 개화 후의 온도 분포의 편차가 미래로 갈수록 커질 수 있으며, 이에 따라, 저온의 분포 또한 늘어날 수 있을 것으로 예상된다.

복숭아(장호원) 주산지인 청도-경산-영천 지역의 경우 배와 같이 중간 값은 비슷하지만, 최고분포와 최저분포에서 일정부분 차이가 있었다. 특히 2011-2040 평년에서 0℃ 미만인 날의 수가 많았으며, 나머지 3개 평년은 최저값에 있어 비슷한 분포를 나타내었다. 3℃ 미만인 날은 현재 평년 기준으로 13.9일이었으나, 2071-2100 평년은 9.4일로 4.5일 줄어들 것으로 예상되었다. 특이한 점은 2041-2070 평년까지 감소 하던(2011-2040 평년 7.4일, 2041-2070 평년 7.0일) 3℃ 미만 저온일수가 2071-2100 평년에는 소폭 상승했다는 점이다. 음성 지역의 경우 현재 평년 기준으로 13.2일이었으나, 2071-2100 평년은 11.3일로 1.9일 감소할 것으로 예상되었다. 청도-경산-영천 지역의 경우와 마찬가지로 3℃ 미만 저온 일수는 2041-2070 평년까지 감소하다가(10.4일, 9.4일) 2071-2100 평년에서 증가하였다.

사과(후지)의 경우 복숭아와 같이 저온 일수가 감소하다가 다시 증가하는 패턴을 보였다. 안동-청송-영주 지역은 현재 평년 기준 8.1일부터, 2011-2040 평년 2.2일, 2041-2070 평년 1.5일, 2071-2100 평년 2.8일의 분포를 나타내었다. 한편, 장수 지역의 경우 다른 평년에 비해 2011-2040 평년에 7.4일로 다른 평년(1981-2010 평년 1.4일, 2041-2070 1.9일, 2071-2100 평년 5.1일)에 비해 많은 저온 일수를 나타내었다. 상자도표 상에서도 다른 시기에 비해 2011-2040 시기에 가장 낮은 저온 분포를 나타내었다.

Table 3. Average and standard deviation of the lowest temperature for 20 days after flowering (unit:℃)

		1981-2010	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Pear (Niitaka)	Avg.	9.3 / 9.7	9.5 / 9.8	9.9 / 10.9	9.6 / 10.1
	Std.	3.1 / 3.1	3.0 / 3.0	3.2 / 3.1	3.3 / 3.4
Peach (Changhowon)	Avg.	9.4 / 9.3	9.7 / 9.5	10.0 / 9.5	10.1 / 9.7
	Std.	3.1 / 3.1	3.0 / 3.0	3.2 / 3.1	3.3 / 3.3
Apple (Fuji)	Avg.	10.7 / 10.4	10.9 / 10.6	10.9 / 11.1	10.8 / 10.8
	Std.	2.9 / 2.9	2.9 / 3.2	3.1 / 3.3	3.1 / 3.4

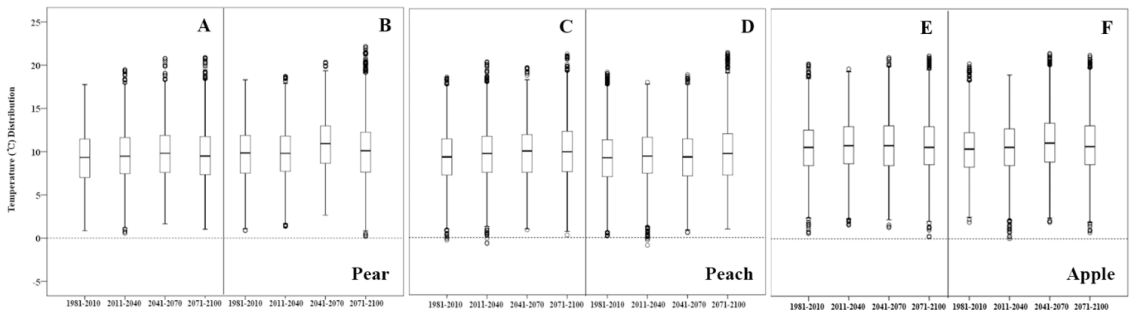

Fig. 3. Distribution of the lowest temperature for 20 days after fruits flowering (unit:℃). (A: Anseong-Cheonan area B: Naju area, C: Cheongdo-Gyeongsan-Yeongcheon area D: Eumseong area, E: Andong- Cheongsong-Yeongju area and F: Jangsu area, respectively.)

주목할 점은 개화일의 경우 배, 복숭아, 사과 순으로 진행이 되는데, 상대적으로 개화가 빠른 배에 비해 사과나 복숭아에서 저온의 발생 빈도가 더 컸음을 확인할 수 있었는데, 이는 각 작목 별로 주로 재배되는 주산 단지의 미래 온도 변화 양상에서 오는 차이라 판단된다. 실제로 개화 후 20일간의 온도 평균 값은 현재 평년 기준으로는 배, 복숭아, 사과 순으로 낮은 값을 나타내지만, 2071-2100 평년의 경우 복숭아 음성 지역의 경우 배 주산지 두 지역에 비해 낮은 평균 값을 나타내었다(Table 3).

IV. 결 론

본 연구에서는 주요 과수 작목에 대하여 발육 모델을 이용하여 현재 평년 및 미래의 개화기를 추정하고, 개화기 이후 발생할 수 있는 저온 피해를 예상하기 위해 개화기간 동안의 저온 분포를 분석하였다. 그 결과 온난화로 인해 개화기는 현재 재배중인 지역을 대상으로 모든 과종에 대하여 현재 평년 기준과 비교하여, 2071-2100 평년에는 약 20일 정도 앞당겨 질 것으로 예상되었다. 그리고 개화 후 저온의 분포는 과종, 지역 별로 일정 부분 차이가 있음을 확인 할 수 있었다.

일반적으로 겨울철 휴면기에는 과수가 견딜 수 있는 저온이 매우 낮은 반면, 발아, 개화를 거치면서, 내동성은 매우 약화된다. 통상적으로 과수의 개화는 배, 복숭아, 사과 순으로 진행이 되며, 복숭아나 사과는 배에 비해 상대적으로 저온 피해가 적은 편이라 할 수 있다. 하지만 미래에는 개화가 빠른 배에 비해 사과나 복숭아에서 저온의 발생 빈도가 더 큰 지역이 있을 수 있음을 확인 할 수 있었다. 이는 각 작목 별로 주로 재배되는 주산 지역의 미래 온도 변화 양상에서 오는 차이라 판단된다.

또한, 개화기간 동안 평균 온도는 점차 상승함에 반해, 기온의 편차가 커지는, 즉, 이상저온 현상이 많이 발생할 수 있음을 예상할 수 있다. 2018년 봄의 과수 저온 피해 현상처럼 온난한 기온에 의해 개화일은 점점 빨라지는데 반해, 이상저온 현상이 증가하면서, 개화 후 내동성이 약해진 꽃들이 피해를 입을 위험이 커질 수도 있다는 것이다.

이처럼 본 연구에서 분석한 미래의 개화일 변화 양상 및 저온 분포 예상은 앞으로 과수 재배 정책 수립 등에 반영될 수 있다. 이를테면, 빨라지는 개화일에

발생할 수 있는 저온 피해 대책 수립이나, 재배적지 탐색을 통해 신규 주산단지 조성 등이 예가 될 수 있을 것이다. 본 연구는 일부 과수작물 및 품종에 대해 제한적으로 진행된 연구결과를 보고한 것으로, 차후 다양한 품종 및 작물로 연구를 확대한다면, 미래 농업부문 대책 마련에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

적 요

2018년 봄, 갑작스러운 이상저온으로 인해, 전북, 경기 남부지역 등을 중심으로 개화된 과수 작목의 꽃이 얼어 죽는 일이 발생하였다. 2000년대 들어서면서 전 세계적으로 빈번하게 발생하고 있는 이상기후 현상으로 인해, 사회 여러 분야에 경제적인 피해와 악영향이 증가 하고 있다. 최근의 기후변화는 지구온난화와 더불어, 지역 기후의 정상 범위로부터 벗어나는 기상이변의 발생빈도 또한 증가할 것으로 예상된다. 기후변화가 농작물 생산에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 이러한 이상기상 현상을 정확하게 파악하고 이에 따른 농작물의 영향을 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 배, 복숭아, 사과 작물이 실제 재배되고 있는 국내 주산 지역에 대하여 기후변화 시나리오를 이용하여, 미래 개화일의 변화를 각각 예측하고, 개화 후 온도 분포를 정량화함으로써, 미래의 저온 발생 추세를 전망하였다. 그 결과 온난화로 인해 개화기는 현재 재배중인 지역을 대상으로 모든 과종에 대하여 현재 평년을 기준으로, 미래 평년(2071-2100)에는 약 20일 정도 앞당겨 질 것으로 예상되었으며, 개화 후 저온의 분포는 과종, 지역 별로 일정 부분 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구는 일부 과수 작목 및 품종에 한해 진행된 연구결과를 제시한 것으로, 차후 다양한 품종 및 작목으로 연구를 확대한다면, 미래 농업부문 대책 마련에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ013290042018)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

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.

Jeollabuk-do Province, 2018: http://www.jeonbuk.go.kr (2018.10.30.)

Kim, D.-J., J.-H. Kim, and J. I. Yun, 2016: An Agrometeorological Reference Index for Projecting Weather-Related Crop Risk under Climate Change Scenario. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **18**(3), 162-169. (in Korean with English abstract) DOI: 10.5532/KJAFM.2016.18.3.162

Kim, J. H., S. O. Kim, U. Chung, J. I. Yun, K. H. Hwang,J. B. Kim, and I. K. Yoon, 2009a: 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. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(4), 213-220. (in Korean with English abstract)

Kim, M. K., M. S. Han, D. H. Jang, S. G. Baek, W. S. Lee, Y. H. Kim, and S. Kim, 2012: Production technique of observation grid data of 1km resolution. *Journal of Climate Research* 7(1), 55-68. (in Korean with English abstract)

Kim, M. K., D. H. Lee, and J. Kim, 2013: Production and validation of daily grid data with 1km resolution in South Korea. *Journal of Climate Research* **8**(1), 13-25. (in Korean with English abstract)

Kim, S. O., J. H. Kim, U. Chung, S. H. Kim, G. H. Park, and J. I. Yun, 2009b: Quantification of temperature effects on flowering date determination in Niitaka pear. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(2), 61-71. (in Korean with English abstract)

KMA (Korea Meteorological Administration): http://www.kma.go.kr/ (2018.10.30.)

Lee, G.-B., Y.-U. Choe, E.-J. Park, Z. Wang, M. Li, K. Li, Y.-H. Park, Y.-W. Choi, N.-J. Kang, and J.-S. Kang, 2017: Influence of abnormally low temperatures on growth, yield, and biologically active compounds of strawberry. *Journal of Environmental Science International* **26**(3), 381-

392. (in Korean with English abstract) DOI: 10.5322/JESI.2017.26.3.381

Lee, K., H. J. Baek, S. Park, H. S. Kang, and C. H. Cho, 2012: Future projection of changes in extreme temperatures using high resolution regional climate change scenario in the Republic of Korea. *Journal of the Korean Geographical Society* **47**(2), 208-225. (in Korean with English abstract)

Lee, S. H., and Y. S. Lee, 2008: The Impacts of Climate Change on Rice Yield. *The Geographical Journal of Korea* **42**(3), 405-416. (in Korean with English abstract)

Lee, S., I. Heo, K. Lee, S. Kim, Y. Lee, and W.-T. Kwon, 2008: Impacts of climate change on phenology and growth of crops: in the case of Naju. *Journal of the Korean Geographical Society* **43**(1), 20-35. (in Korean with English abstract)

Min, S. K., S. Legutke, A. Hense, U. Cubasch, W. T. Kwon, J. H. Oh, and U. Schlese, 2006: East Asian climate change in the 21st century as simulated by the coupled climate model ECHO-G under IPCC SRES scenarios. *Journal of the Meteorological Society of Japan* **84**, 1-26

NIMS (National Institute of Meteorological Science), 2012: *Global Climate Change Report 2012 for Response to "IPCC Fifth Assessment Report"*, 59-89. (in Korean)

Park, E.-J., Y. Heo, B.-G. Son, Y.-W. Choi, Y.-J. Lee, Y.-H. Park, J.-M. Suh, J.-H. Cho, C.-O. Hong, S.-G. Lee, and J.-S. Kang, 2014: The Influence of abnormally low temperatures on growth and yield of hot pepper (*Capsicum Annum* L.). *Journal of Environmental Science International* **23**(5), 781-786. (in Korean with English abstract) DOI: 10.5322/JESI.2014.5.781

Stern, N., 2006: *The Stern Review: The Economics of Climate Change*. Cambridge University Press. 575pp.

WAMIS (Water Management Information System): http://www.wamis.go.kr/ (2018.10.30.)