남한의 겨울기온 상승 예측에 따른 포도 “캠벨얼리” 품종의 단기 내동성 변화 전망

정유란 · 윤진일*

경희대학교 생태시스템공학과

(2008년 6월 4일 접수; 2008년 9월 11일 수정; 2008년 9월 23일 수락)

A Prospect on the Changes in Short-term Cold Hardiness in “Campbell Early” Grapevine under the Future Warmer Winter in South Korea

Uran Chung and Jin I. Yun*

Department of Ecosystem Engineering, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea

(Received June 4, 2008; Revised September 11, 2008; Accepted September 23, 2008)

ABSTRACT

Warming trends during winter seasons in East Asian regions are expected to accelerate in the future according to the climate projection by the Inter-governmental Panel on Climate Change (IPCC). Warmer winters may affect short-term cold hardiness of deciduous fruit trees, and yet phenological observations are scant compared to long-term climate records in the regions. Dormancy depth, which can be estimated by daily temperature, is expected to serve as a reasonable proxy for physiological tolerance of flowering buds to low temperature in winter. In order to delineate the geographical pattern of short-term cold hardiness in grapevines, a selected dormancy depth model was parameterized for “Campbell Early”, the major cultivar in South Korea. Gridded data sets of daily maximum and minimum temperature with a 270m cell spacing (“High Definition Digital Temperature Map”, HD-DTM) were prepared for the current climatological normal year (1971-2000) based on observations at the 56 Korea Meteorological Administration (KMA) stations and a geospatial interpolation scheme for correcting land surface effects (e.g., land use, topography, and site elevation). To generate relevant datasets for climatological normal years in the future, we combined a 25km-resolution, 2011-2100 temperature projection dataset covering South Korea (under the auspices of the IPCC-SRES A2 scenario) with the 1971-2000 HD-DTM. The dormancy depth model was run with the gridded datasets to estimate geographical pattern of change in the cold-hardiness period (the number of days between endo- and forced dormancy release) across South Korea for the normal years (1971-2000, 2011-2040, 2041-2070, and 2071-2100). Results showed that the cold-hardiness zone with 60 days or longer cold-tolerant period would diminish from 58% of the total land area of South Korea in 1971-2000 to 40% in 2011-2040, 14% in 2041-2070, and less than 3% in 2071-2100. This method can be applied to other deciduous fruit trees for delineating geographical shift of cold-hardiness zone under the projected climate change in the future, thereby providing valuable information for adaptation strategy in fruit industry.

Key words: Climate change, Phenology, Vineyards, Cold hardiness

I. 서 론

지난 100년 간 1,700종이 넘는 생물종에 대하여 여러 지역에서 수행된 계절관측결과를 분석한 결과, 지구온난화에 의해 동식물의 서식공간이 양극 방향으로 10년에 6.1km, 혹은 고지대 쪽으로 6.1m 씩 이동하였으며, 봄꽃 개화나 철새도래와 같은 계절현상 발생일도 10년마다 평균 2.3일씩 빨라졌음이 확인되었다(Parmesan and Yohe, 2003). 미래 기후시나리오에 따른 생물의 예상반응 역시 이러한 과거자료의 분석결과를 토대로 어느 정도 추정이 가능하다(Yun, 2006). 농작물 재배적지의 이동, 생산성과 품질의 변화 등 농업에 관련된 기후변화의 영향은 더욱 복잡적이지만 예측의 신뢰성이 어느 정도 확보된다면 품종선택 및 재배기술 측면의 적응대책 마련에 크게 기여할 것이다.

기후변화에 따른 농작물의 반응을 정확히 파악하기 위해서는 기후자료뿐 아니라 농작물의 생장 및 발육자료도 충분히 확보해야 하는데, 관측밀도와 관측표준이 유지되는 기후관측과는 달리 생물관측은 시공간적으로 매우 미흡하여 기후분석 수준의 정량적인 영향평가는 사실상 불가능하다. 따라서 기상조건에 따른 농작물의 반응을 적절한 모형으로 표현한 다음, 얻기 쉬운 기상 관측자료에 의해 이 반응을 정량적으로 모의함으로써 간접분석이 가능한 대용(proxy) 자료를 생성하는 것이 하나의 대안이 될 수 있다.

우리나라의 최근 기후변화 특징 가운데 가장 두드러진 것은 겨울철의 기온상승인데, 겨울기온의 상승 혹은 짧아진 겨울에 의해 나타날 수 있는 가시적인 현상으로서 수목의 발아와 개화시기가 빨라지고 있다(이승범 등, 2003). 비가시적이긴 하나 월동기간 중 휴면상태의 변화도 예상할 수 있다. 휴면은 온대낙엽수목이 불량환경에서 생존하기 위한 고도의 진화형태로서 식물의 단기 내동성과 연관성이 높은 것으로 알려졌다(Faust, 1989; Kwon *et al.*, 2006).

낙엽과수의 휴면상태를 파악하는 데는 기온에 의해 구동되는 “휴면시계” 모형을 이용한다. 자연상태에서 휴면이 완료되기 위해서는 일정기간의 저온을 경과해야 하며 그 정도를 매 시간 경과기온에 따른 가중 적산값으로 표현한 저온요구도(chilling requirement)는 휴면해제시기 예측을 위해 여러 과정에서 이용되어왔다(Seeley, 1996). 저온요구도는 휴면 해제에 걸리는 기간을 달리날짜 대신 시간과 기온의 조합인 온도시간

(thermal time)으로 표현한 것이다. 포도 “Campbell Early” 품종의 특성을 갖도록 조절한 “휴면시계” 모형에 의해 1921년부터 2004년까지 남한지역 8곳의 기온경과에 따른 월동기간 중 휴면양상을 복원해보면, 대구-전주 선을 기준으로 남북으로 멀어질수록 내동성 유지기간이 짧아지는 공간분포특성을 보인다(Kwon *et al.*, 2008).

세계기상기구에 의하면 기후란 적어도 30년 이상 장기간 기상자료의 통계량, 즉 평균과 분산(표준편차)으로 정의할 수 있다. 기후산출에 이용된 자료기간을 기후학적 평년(normal year)이라고 하므로 엄밀한 의미에서 기후변화란 두 기후학적 평년의 비교를 통해서만 확인할 수 있다. 월동 중 내동성 유지기간의 변화 여부 역시 두 평년의 평균값 혹은 분산을 직접 비교하면 명백하게 드러날 것이다. 한편 기온의 공간변이를 정확하게 파악할 수 있다면 기온에 의해 결정되는 생물계절의 분포도 역시 제작할 수 있다. 만약 미래 기후시나리오에서 주어진 겨울기온의 변화양상을 “휴면시계” 모형에 의해 내동성 유지기간의 분포양상으로 바꾸어 관심지역의 지도 위에 점, 선, 면 등으로 표현한다면 여러 수준의 기후변화 대응책 마련에 유용할 것이다. 문제는 종관기상자료에 근거한 기온분포도는 여러 가지 인자들에 의해 실제와 달라질 수 있다는 점이다. 특히 도시열섬효과는 농촌과 산림지역의 기온 분포를 왜곡시켜 다음 단계의 생물반응 분포양상 추정에서 심각한 오류를 가져올 수 있다. Yun(2006)은 도시 열섬효과를 제거한 남한의 기온분포도를 현재 평년에 대해 공간해상도 270m의 공간해상도로 제작한 다음, 2011-2040, 2041-2070 및 2071-2100 평년에 대해 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 SRES(Special Report on Emission Scenarios) A2 시나리오에 근거하여 추정된 기온편차분포를 결합하고, 이 자료와 생물계절모형을 이용하여 미래 벚꽃 개화 예상일 분포도를 제작한 바 있다. A2 시나리오는 IPCC SRES 중에서 대기의 이산화탄소 농도가 급격하게 증가하여 2100년에는 이산화탄소 농도가 820ppm에 이를 것으로 예상되는 시나리오이다.

본 연구에서는 (1) 도시열섬효과를 제거한 현재 평년의 기온자료와 생물계절모형에 근거하여 국내에 널리 재배되고 있는 “Campbell Early”의 월동기간 중 휴면특성의 지리적 분포에 대한 정보를 만들고, (2) 기후시나리오에 근거한 2100년까지 미래 3개 평년의 기온분포도에 동일한 방법을 적용함으로써 “Campbell

Early”의 휴면특성, 특히 내동성에 관련된 특성의 시공간적 변화를 추적하고자 하였다. 연구결과는 지구온난화에 대비한 우리나라 과수농업의 적응전략 수립에 기초자료로 활용될 수 있다.

II. 재료 및 방법

2.1. 기온자료

현재의 기후학적 평년(1971-2000)에 대해서는 도시 지역의 인구와 토지이용도는 물론 찬 공기 유입, 사면 일사량 등 미세지형이 국지기온에 미치는 영향을 동시에 고려함으로써 종관자료의 도시열섬효과와 지표면이 효과를 효과적으로 제거한 “식생맞춤형” 기온자료가 이미 270m 해상도로 제작되어있다(http://nacl.epinet.co.kr, Choi *et al.*, 2003; Chung *et al.*, 2006). 같은 방법으로 미래 기후시나리오 조건에서의 기온자료를 만들기 위해 먼저 기상연구소로부터 IPCC SRES A2 시나리오에 근거한 2100년까지 한반도 25km 해상도 예상기온자료를 수집하였다(권원태, 2004). 이 자료를 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100년 등 3 기간으로 나누어 각각의 월별 평균값을 취함으로써 미래 3개 평년의 월별 기온자료를 생성하였다. 이후 과정은 1971-2000 평년과 동일하며, 규모축소과정에서 각 시기의 평균적인 도시열섬효과 역시 1971-2000 평년과 같을 것으로 가정하였다.

“휴면시계” 모형은 입력자료로서 월 평균이 아닌 일 최고, 최저기온자료를 요구하므로 조화분석법에 의해 평년의 월별 기온자료를 일별 최고, 최저기온값으로 변환하였다(Seino, 1993). 월일을 각각 k , j 로 두면, 임의의 날짜 j 의 기온 T_j 는 3월에서 7월까지

$$T_j = B_0 + \sum_{k=1}^6 \left[B_k \cos \frac{(j+16)}{365} 2\pi \cdot k \right] + \sum_{k=1}^6 \left[C_k \sin \frac{(j+16)}{365} 2(\pi \cdot k) \right] \quad (1)$$

8월에서 2월까지

$$T_j = B_0 + \sum_{k=1}^6 \left[B_k \cos \frac{(j+15)}{365} 2\pi \cdot k \right] + \sum_{k=1}^6 \left[C_k \sin \frac{(j+15)}{365} 2\pi \cdot k \right] \quad (2)$$

로 표현할 수 있다. 식(1)과 (2)에서

$$B_0 = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (T_i), \quad B_k = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^{12} \left(T_i \cos \frac{ik\pi}{6} \right), \\ C_k = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^{12} \left(T_i \sin \frac{ik\pi}{6} \right)$$

이다.

2.2. “휴면시계” 모형

수원의 원예연구소에서 수행된 실험포장 및 챔버실험을 통해 확립된 “Campbell Early”의 “휴면시계” 모형을 수정 없이 사용하였다(Fig. 1; Kwon *et al.*, 2006). 이 방법은 낙과 혹은 수확 직후부터 매일 최고 최저기온을 이용하여 냉각량(Chill-days, C_d) 값을 계산하고 누적시켜서 이를 휴면심도 혹은 내동성의 대응으로 삼는데, 그 최대값(계산된 값이 음수이므로 사실은 최저값)이 바로 저온요구도가 된다. 품종별로 주어진 기준온도에서 일정량의 저온요구도가 채워지면 최대 내동성에 도달했다고 간주하는데, 기온이 상승하여 기준온도를 상회하게 되면 다시 “반냉각량”(Anti Chill-days, C_a)이 계산되어 저온요구도 값에 더하기 시작한다. 저온요구도에 도달했다는 것은 내생휴면이 해제되었다는 뜻이며, C_a 에 의해 누적 C_d 값이 “0”에 도달했다면 발아가 시작된다고 간주한다. 즉 낙과 이후 점차 내동성이 증가하여 휴면해제일 무렵에 최대에 도달하며, 이러한 내동성 유지기간은 강제휴면이

Fig. 1. Concept of the two step phenological model (“Dormancy Clock”) for predicting bud burst date in temperate zone trees. Floral buds must be exposed sequentially to long enough periods of chilling temperature (R_c) and heating temperature (R_h) for budburst, and the model suggests equal amount but opposite direction in R_c and R_h .

Fig. 2. Comparison of the time course change in the Chill-day accumulation estimated by the dormancy clock model in a climatological normal year (triangle) with that of a typical freeze tolerance in temperate zone fruit trees (circle, adapted from Kwon *et al.*, 2006).

해제될 때까지 지속된다. 이 기간 중에는 꽃눈의 생리적 내동성이 최고수준을 유지하므로 그 지역의 겨울기후조건에서 안전한 월동이 가능하다.

“휴면시계” 특정 지역의 기후조건에서 잘 자라는 품종이라면 그 지역에서 가장 낮은 온도가 나타나는 시기에 맞춰 최대 휴면심도를 유지하도록 휴면시계가 맞춰져 있다는 것이다. 날씨가 따뜻해지면 강제휴면이 해제되고 내동성이 차츰 약해져서 발아 무렵에는 저온에 가장 취약함을 모사할 수 있다. 즉, 계산된 냉각량, 축적량이 바로 휴면심도이며, 이미 결정되어 있는 식물의 유전적 불변 내동성과 달리 월동 중 단계적으로 얻거나 잃을 수 있는 생리적 가변 내동성을 나타낸다. 식물을 상하지 않으면서 상시 내동성을 측정하는 것은 사실상 불가능하므로 본 실험에서는 대체변수로서 온도시간 기반의 휴면심도를 사용하였다. “휴면시계” 모형에 의해 계산된 휴면심도는 알려진 생리적 내동성 수준과 거의 일치하는 것으로 보고된 바 있다(Fig. 2; Kwon *et al.*, 2006).

2.3. 모형의 구동

“Campbell Early” 품종의 경우 기준온도와 저온요구도가 각각 8°C, -155임이 알려져 있으므로(Kwon *et al.*, 2005), 이들 모수와 앞에서 제작된 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100 등 4개 평년의 일 최고 및 최저기온자료를 이용하여 전국 128만 개 격자점의 냉각량을 10월 1일부터 매일 계산하였다. 낙엽수목이 휴면을 시작하는 시점은 기온이 임계값 이하로 떨어지는 날짜, 수확에 의해 과실이 나무

에서 이탈되는 날짜, 단풍이 들기 시작하는 날짜 등으로 아직 표준화되어 있지 못한 상황이다(Seeley, 1996). 포도와 같은 낙엽과수에 있어서는 가을에 낙엽이 시작되면 꽃눈이 휴면에 들어가는 것으로 가정하는데(오성도, 2004), 본 실험에서는 전국의 낙엽시기 변이를 고려하여 모형구동 시작날짜를 평년 10월 1일로 고정하고 이 날부터 온도조건이 맞으면 휴면에 들어간다고 가정하였다.

매일 계산된 냉각량의 누적값이 저온요구도(-155)에 도달하면 다음 날부터 매일 반냉각량을 계산하여 저온요구도에 가산함으로써 발아에 도달할 때까지 상쇄시켰다. 이 때 대부분의 격자점에서 냉각량의 누적값이 일정 기간 -155를 유지하는데, 이 기간이 내동성 유지기간이며, 반냉각량이 누적되기 시작하는 첫째 날을 강제휴면 해제일로 간주하였다. 모형의 구동과 계산결과와의 분석은 ArcGIS 9.1(ESRI, Redlands, California, USA) 공간분석 소프트웨어 상에서 ArcObject 언어를 이용하여 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. “휴면시계” 모형에 의해 추정된 현재의 내동성 유지기간 분포

남한 국토를 사방 270m의 격자(단위 면적 7.29 ha)로 나누어 총 128만 개 격자점 각각에 “Campbell Early”를 식재하고 1971-2000 평년기후조건에서 재배한다고 가정하였다. 128만 개 격자점 가운데 내생휴면 해제일이 가장 빠른 곳은 11월 20일, 가장 늦은 곳은 4월 19일로 그 변이폭이 매우 크지만, 대체로 12월 10일을 중심으로 많이 분포하고 있다(Fig. 3A). 지역적으로는 남부 중산간지대를 중심으로 주로 내륙지방에서 12월 이전에 가장 깊은 휴면상태에 들어가며, 점차 평야지대에서 해안지대로 확산되는 형태를 보인다. 거의 모든 지역에서 12월말까지 저온요구도가 충족되어 내생휴면이 해제되는 양상이지만, 남해안, 동해안 북부, 그리고 수도권에서는 1월~2월까지, 강원북부 산악 및 지리산 일대는 3월~4월까지 지연된다.

이에 비해 강제휴면해제일은 3월 7일을 중심으로 퍼져있는데, 지역적 분포를 보면 중북부 이북은 모두 3월 중에 해제되지만, 해안지대는 이보다 빨라 1월~2월, 남부 중산간은 12월 중에 강제휴면이 해제되는 것으로 나타났다(Fig. 3B).

Fig. 3. Endodormancy release date (A), forced dormancy release date (B), duration of maximum cold tolerance of “Campbell Early” grapevine projected by a dormancy clock model (C), and the reported acreage of grapevine by county in 1995 (D).

현재 평년의 경우 내생휴면해제일과 강제휴면해제일의 평균값을 이용한 산술적인 계산만으로 우리나라에서는 대체로 12월 중순부터 3월 상순까지 휴면심도가

최대값을 유지할 것으로 기대할 수 있다. 그러나 지역적인 분포를 보면 충북내륙 및 강원영서지방에서 내동성 유지기간이 길고 경남, 전남, 수도권의 평야지대,

그리고 백두대간 고산지대에서 짧은 것으로 나타났다. 충남, 전북, 강원 해안지대는 내륙에 비해 내동성 유지기간이 더 길었다(Fig. 3C).

계산결과에 대한 별도의 검증작업은 현재로서는 불가능하지만, 현재 평년의 기후조건에서 조사된 시군구별 포도 재배면적의 분포현황과 흡사한 점은 이 방법의 타당성을 대변해 준다고 볼 수 있다(Fig. 3D; 농림부, 1996). 포도는 영년생 과수로서 한번 개원하면 최소 10년 동안 작목을 바꿀 수 없기 때문에 포도원 입지선정은 매우 중요한 일이다. 우리나라처럼 겨울이 추운 곳에서는 월동가능성 여부가 입지조건 가운데 첫 번째로 꼽힌다. Fig. 3D는 1995년에 이루어진 농업총조사에 근거하므로 이 시점에 포도원이 존재했다면 최소 1985년 혹은 그 이전부터 존재했을 가능성이 크며, 따라서 현재 평년의 기후조건에서 포도나무의 월동에 부적합한 지역이라면 재배면적도 적을 것이다. 실제로 경남 및 전남 남해안, 강원 산악지대 등 내동성 유지기간이 50일 미만인 곳에서는 포도 재배면적이 매우 적은 것을 확인할 수 있다.

3.2. 기후시나리오에 근거한 내동성 유지기간의 변화

현재 평년의 전국 128만 개 격자점에서 모두 “Campbell Early”를 재배할 경우 내동성 유지기간은 대체로 84일 부근에서 가장 많이 볼 수 있다. 이들 격자점은 12월, 1월, 2월로 대표되는 우리나라의 겨울기간 90일 중 84일 정도는 정상적인 겨울추위 하에서 꽃눈이 동해를 입지 않고 견딜 수 있다는 것인데, “Campbell Early”의 동해유발온도는 $-20 \sim -25^{\circ}\text{C}$, 이 정도 혹은만 아니라면 충분히 월동이 가능하다. IPCC SRES A2 이산화탄소 배출시나리오에 근거한 우리나라 기후조건에서 모형의 예측결과를 보면, 30년 후인

2011-2040 평년에는 68일로 줄어들고, 60년 후인 2041-2070 평년에는 51일, 90년 후인 2071-2100 평년에는 29일로 감소할 것으로 예상된다. 하지만 겨울기온이 지속적으로 상승하며 겨울기간 역시 짧아질 것이므로 평균적으로 봤을 때 내동성 지속기간의 단축이 포도의 월동에 심각한 영향을 주지는 않을 것이다. 그러나 겨울철이 따뜻해진 반면 극저기온의 발생빈도는 오히려 증가했다는 보고도 있어(허창희 등, 2005) 월동기간의 동상해는 여전히 과수재배농가의 주요 경영위험으로 남을 것이다.

내동성 유지기간의 지역적 특성을 살펴보기 위해 겨울기간 90일 가운데 60일 동안 내동성이 유지되는 것을 월동안전 임계값으로 삼아 그 이상과 이하 지역을 구분하였다(Fig. 4). 이 결과에 의하면 미래로 갈수록 내동성 유지기간 60일 이상인 지역이 줄어들어 90년 후에는 강원도 산악 일부에서만 “Campbell Early”의 정상적인 월동이 가능할 것으로 예측되었다. 면적으로 보면 현재 평년에 전 국토의 58%를 차지하던 것이 30년 후에는 40%, 60년 후에는 14%, 90년 후에는 전국에서 약 2% 정도만이 안전지대로 남아 있을 것이다. 만약 이 무렵까지 현재의 포도재배면적(약 15,000ha)을 유지하고 싶다면 강원도 중산간지대를 중심으로 남아있는 20만ha 정도에서 재배적지를 찾아야 할 것이다.

생태계의 건강성은 구성요소 상호간의 유기적인 관계를 토대로 유지되고 있다. 예컨대 현화식물과 수분 매개곤충의 생활사는 시공간적으로 밀접하게 연결되어 있어 각 생물종의 번식과 생육이 원활하게 이루어진다. 만약 앞으로 지구온난화에 따른 봄꽃의 개화시기 단축 속도보다 곤충의 부화시기 단축속도가 느릴 경우 식물의 수분 및 수정불량, 곤충의 생활에너지 공급차질이

Fig. 4. Projected changes in cold-hardiness zone for “Campbell Early” grapevine with 60 or more days of maximum dormancy depth for 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070, and 2071-2100, respectively (from left to right).

겹쳐 식물과 곤충 모두에게 치명적인 결과를 가져올 수 있다. 지구온난화에 의한 동식물 서식공간의 이동 과정에서 생물종에 따라 서로 다른 이동속도가 유발하는 소위 차등천이(differential shift)는 그 동안 유지되어왔던 종간 연결성을 쉽게 단절시킬 수 있으며, 심하면 멸종에 이르게 할 위험도 있다(Root *et al.*, 2003). 온난화에 따른 지구물리환경의 변화가능성을 고려한다면 차등천이는 생물종 사이에만 존재하는 것이 아니라, 생물반응의 공간분포와 환경조건의 분포 사이에도 생길 수 있다. 예컨대 안정된 기후 하에서는 포도품종의 내동성 유지기간의 지리적 분포와 동해유발온도 발생 시점의 분포가 서로 일치함으로써 안전한 월동이 가능하지만, 온난화에 의해 이들이 서로 다른 지리적 분포를 보인다면 동해위험도에 대한 기존의 상식(품종별 월동가능지역 구분)은 크게 흔들릴 수밖에 없다. 장기 관측기록을 토대로 동해유발온도와 관련이 깊은 극최저기온 발생시점에 어떤 변화가 있었는지 분석하고 본 연구에서 제시된 미래의 내동성 유지기간 분포양상과 비교하는 연구가 필요하다. 이러한 작업은 배, 사과, 복숭아 등 다른 과수에 대해서도 시도되어야 하며, 그 결과는 지구온난화에 대비한 미래 과수산업 적응기술 개발에 근거자료로 기여할 것이다.

IV. 요약 및 결론

지난 세기 동아시아 지역의 겨울철 기온상승은 이 지역에서 재배되는 낙엽과수의 발아, 개화 등 봄철 생물계절에 큰 영향을 준 것으로 보고되었다. IPCC 기후시나리오에 의하면 이런 추세는 이 지역에서 더욱 가속화 될 것으로 예상된다. 일 기온자료에 의해 정량적인 추정이 가능한 휴면심도는 월동 중인 과수 꽃눈의 생리적 내동성을 나타내기 적합한 대체변수로 간주된다. 국내 재배면적이 가장 많은 포도 “Campbell Early” 품종에 맞게 조정된 휴면심도모형에 도시열섬효과를 제거한 미래 100년간 기온자료를 적용하여 내생 휴면 및 강제휴면 해제일 분포를 남한 전역에 대해 270m 해상도로 작성하였다. 이 결과에 의하면 현재 평년에 남한면적의 58%를 차지하는 내동성 유지기간 60일 이상인 지역이 30년 후에는 40%, 60년 후에는 14%, 90년 후에는 약 2%로 줄어들어 강원도 산악 일부에서만 “Campbell Early”의 정상적인 월동이 가능할 것으로 예측되었다. 지구온난화에도 불구하고 월

동과수의 내동성 유지기간 단축에 의해 실제 월동가능 지역은 감소할 것이며, 따라서 재배면적에 영향을 줄 것으로 판단된다. 본 연구에서 사용했던 방법은 기후변화에 따른 과수의 재배적지이동 또는 월동가능한 외래 과수의 도입 등 기후변화에 적응하기 위한 과수분야 대응책 마련에 유용할 것이다.

감사의 글

이 연구는 2006년 기상지진기술개발사업(CATER 2006-4502) 지원에 의해 수행되었다. 기후시나리오를 제공한 국립기상연구소 기후연구팀 여러분에게 감사드립니다.

REFERENCES

- Choi, J., U. Chung, and J. I. Yun, 2003: Urban effect correction to improve accuracy of spatially interpolated temperature estimates in Korea. *Journal of Applied Meteorology* **42**, 1711-1719.
- Chung, U., H. H. Seo, K. H. Hwang, B. S. Hwang, J. Choi, J. T. Lee, and J. I. Yun, 2006: Minimum temperature mapping over complex terrain by estimating cold air accumulation potential. *Agricultural and Forest Meteorology* **137**, 15-24.
- Faust, M., 1989: *Physiology of Temperate Zone Fruit Trees*. John Wiley and Sons, 338pp.
- 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)
- Kwon, E. Y., J. E. Jung, U. Chung, S. J. Lee, G. C. Song, D. G. Choi, and J. I. Yun, 2006: A thermal time - driven dormancy index as a complementary criterion for grapevine freeze risk evaluation. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **8**, 1-9. (in Korean with English abstract)
- Kwon, E. Y., J. E. Jung, U. Chung, J. I. Yun, and H. S. Park, 2008: Using thermal time to simulate dormancy depth and bud-burst of vineyards in Korea for the 20th century. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* **47**, 1792-1801.
- Parmesan, C. and G. Yohe, 2003: A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* **421**, 37-42.
- Root, T. L., J. T. Price, K. R. Hall, S. H. Schneider, C. Rosenzweig, and J. A. Pounds, 2003: Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* **421**, 57-60.
- Seeley, S. D., 1996: Modelling climatic regulation of bud

- dormancy. *Plant Dormancy - Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*, G. A. Lang (Ed.), CAB International, Wallingford, U. K., 361-376.
- Seino, H., 1993: An estimation of distribution of meteorological elements using GIS and AMeDAS data. *Journal Agricultural Meteorology (Japan)* **48**, 379-383. (in Japanese with English abstract)
- Yun, J. I., 2006: Climate change impact on the flowering season of Japanese 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)
- 권원태, 2004: 기후변화의 과학적 현황과 전망. 환경부-기상청-한국기상학회 공동주관 제2차 기후변화학술대회 초록집 1-4. (2004년 11월 18-19일, 대구).
- 농림부, 1996: 농업총조사.
- 오성도(대표저자), 2004: 과수온도생리. 도서출판 길모금, 364pp.
- 이승범, 신경섭, 조영순, 손승희, 2003: 식물계절에 나타난 한반도 기후변화 영향. *대기* **13**, 468-471.
- 허창희, 정수종, 정지훈, 2005: 봄꽃으로 보는 한반도 도시화와 온난화. 한국기후변화협의체(KPCC) 주관 기후변화전문가워크숍 초록집 22-25. (2005년 9월 7-8일, 서울).