

온도상승에 따른 원예작물의 재배적지 영향평가와 적응대책 연구

주관연구기관	국립원예특작과학원
연구책임자	김승희
발행년월	2010-03
주관부처	농촌진흥청
사업관리기관	농촌진흥청
NDSL URL	http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201100016376
IP/ID	14.49.138.138
이용시간	2017/11/03 16:57:24

저작권 안내

- ① NDSL에서 제공하는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, KISTI는 복제/배포/전송권을 확보하고 있습니다.
- ② NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 상업적 및 기타 영리목적으로 복제/배포/전송할 경우 사전에 KISTI의 허락을 받아야 합니다.
- ③ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 보도, 비평, 교육, 연구 등을 위하여 정당한 범위 안에서 공정한 관행에 합치되게 인용할 수 있습니다.
- ④ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 무단 복제, 전송, 배포 기타 저작권법에 위반되는 방법으로 이용할 경우 저작권법 제136조에 따라 5년 이하의 징역 또는 5천만 원 이하의 벌금에 처해질 수 있습니다.

10. 온도상승에 따른 원예작물의 재배적지 영향평가와 적응대책 연구

과제 구성

- 주관연구기관명 : 국립원예특작과학원
- 주관연구책임자 : 김승희
- 공동연구원 : 서형호, 조정건, 전승종, 권영순, 정유란
- 연구기간 : 2008~2009년
- 세부/협동 과제 구성
 - 가. 제1세부 : 장과류의 생산성, 품질 및 재배적지 영향평가 및 적응대책 연구
(원예원 김승희)
 - 나. 제2세부 : 감귤의 생산성, 품질 및 재배적지 영향평가 및 적응대책 연구
(원예원 서형호)
 - 다. 제1협동 : 기온상승이 주요 과수의 생물계절 변화에 미치는 영향평가
(한국농림기상학회 정유란)

요 약 문

I. 제 목

- 온도상승에 따른 원예작물의 재배적지 영향평가와 적응대책 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

원예작물 중 과수는 재식 후 경제수령이 다 할 때까지 제자리에서 재배되는 영년생 작물로서 기후변화에 매우 취약하여, 생산된 과실의 품질, 생산성, 기후적 재배적지, 생물계절의 변화가 예상됨에 따라 기후변화에 대비하여 원예작물(과수)의 안정적 수급과 경쟁력 강화를 위해서는 기후 변화에 대한 영향 평가를 통한 장기적인 농업 정책수립이 필요하다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

포도 및 감귤의 기상조건과 생산성 및 품질간의 상관관계를 분석하고 기후변화에 따른 재배적지 변동을 평가한다. 또한 주요 과종의 생물계절 예측 모형을 작성하고 기후변화 시나리오별 과수 주산단지 생물계절 변동 예측 및 전국 분포도를 작성한다.

IV. 연구개발결과

전국 주요 포도 주산지의 발아기, 만개기, 수확기를 조사한 결과, 지역별 성숙일수는 85일에서 110일로 25일가량 차이가 있었다. 성숙일수가 85일 이하인 지역은 과실의 품질이 다소 떨어져 포도 캠벨얼리의 재배적지는 성숙일수 90일 이상인 지역이다.

기온상승 정도별 재배적지 변동 분석을 위해 A1B시나리오를 근간으로 연평균기온 예측도에 기준온도를 내삽하여 재배적지 변동 예측도 제작 : 연평균온도가 평년대비 2.0℃ 정도 상승하는 2040년경에는 감귤 재배적합지 면적이 현재보다 36배 확대될 것으로 예측됨

국내 주요 월동과수의 휴면시계모형에 입력될 생물계절모수(기준온도와 저온요구도)를 도출함으로써 생물계절 예측모형을 확립하였다. 도출된 사과 품종 후지의 경우 기준온도는 6.1℃, 저

온요구도는 -100.5, 고온요구도는 275.1 이었으며, 배 품종 신고는 5.4℃와 -86.4, 231.3, 복숭아 품종 장호원황도는 5.7℃, -108.0, 234.5, 천중도백도는 5.1℃와 -111.0, 230.0으로 각각 도출되었다.

V. 연구개발결과의 활용계획

과수 생물계절 및 재배적지 변동 예측 시스템을 과수 정책의 기초 자료로 활용하며, 정책제안 및 영농활용을 통해 확대 과수 안정생산의 기반 조성을 마련하고자 한다.

S U M M A R Y

'Campbell Early', major grape cultivar, occupies more than 70% of cultivated areas in Korea. In this study, we investigated the relationship between fruit quality and climatic environment in major 'Campbell Early' grape producing areas. The correlation between fruit quality and climate conditions were analyzed in 11 major grape producing areas such as Sacheon, Naju, Yeongdong, Sangju, Cheonan, Suwon, Yeongju, Yeongwol, Chuncheon, Hongcheon, and Yanggu. Full blooming stage, May 25 in Sacheon area was 10 days earlier than any other areas and it was latest in Yanggu area. In result of temperature analysis of grape growing stage for past 30 years by 10 year units, although maximum temperature was not changed, minimum temperature was rising around the southern areas. The average temperature of May increased over the past, but one of August was lower in 90's than the 80's. Grape of the southern areas was a lot of splitting in 90 days after full bloom because of rain fall over harvest season, ones from the central region in same period showed high sugar content, however, there was still low sugar content in ones produced in Gangwondo region. The maturation of grapes was affected significantly by the weather conditions, therefore, grape was produced in region with a long maturity period showed high quality.

In order to evaluate the air temperature rising effects on citrus production, fruit characters, and cultivation zone shift with meteorological parameters were observed from 2008 to 2009 years at 17 orchards with satsuma mandarin located on the different parts of Jeju island. The range of annual mean air temperature was 12.8~16.8°C, with the maximum difference of 3.2°C among years in the same orchard. orchards with annual mean air temperature above 15°C were located only on the region lower than 100m above sea level in the southern part. The average acid content juice at harvest was 1.2% with range of 1.0~1.5%, and with similar variation among years and among orchards. Juice acid content was negatively correlated with precipitation in May and July. The repression equation of average acid content juice (Y) on precipitation in May and July (X) was $Y = -793.63x + 1255 (R^2 = 0.6513)$. According to the estimated changes of average temperatures in Korean Peninsular over the coming 100 years, the average temperature is going to rise about 4°C by A1B scenario, KMA and it is estimated to rise about 2°C within next 30 years time from present normal year. If the weather of Korea rise by 2°C in the next 30 years, the most suitable satsuma mandarin cultivation zone would be magnified to southern coastal area form Jeju island. For this study was made GIS-driven temperature map based on relevant topoclimatological models, and then analyzed geographic shift according to the projected warming and agroclimatic zoning model in satsuma mandarin. If mean temperature rises by 2°C, suitable agroclimatic area in satsuma mandarin would be increase in 36 times than current area.

Most deciduous trees in temperate zone are dormant during the winter to overcome cold and dry

environment. Dormancy of deciduous fruit trees is usually separated into a period of rest by physiological conditions and a period of quiescence by unfavorable environmental conditions. Inconsistent and fewer budburst in pear orchards have been reported recently and insufficient chilling due to warmer winters is suspected to play a role in South Korea and Japan. Prediction of flowering time under the climate change scenario may be critical to adaptation strategy planning for pear industry in the future. However, existing methods for prediction of budburst depend on spring temperature, neglecting potential effects of warmer winters on rest release and subsequent budburst. We adapted a dormancy clock model which uses daily temperature data to calculate thermal time for simulating winter phenology of deciduous trees and tested a feasibility of using this model in predicting budburst and flowering of Niitaka pear, Fuji apple, Changhowon Hwangdo peach, them of the favorite cultivars in Korea. In order to derive the model parameter values suitable for them, the mean time to rest release was estimated by observing budburst of field collected twigs in a controlled environment experiment. Thermal time (in chill-days) was calculated and accumulated by a predefined temperature range from fall harvest until chilling requirement is met. Chilling requirement (maximum accumulated chill-days in a negative number) is then offset by anti-chill days (in positive numbers) until the accumulated chill-days become null, on which date budburst is assumed. Calculations were repeated with arbitrary threshold temperatures from 4°C to 10°C (at intervals of 0.1), and a set of threshold temperature and chilling requirement was selected when the estimated budburst date coincides with the field observation. A heating requirement (in accumulation of anti-chill days since budburst) for flowering was also determined from an experiment based on historical observations. The dormancy clock model optimized with the selected parameter values was used to predict flowering of them grown in Suwon for recent 9 years. Predicted dates for full bloom were within the range of observed dates with 1.9 days of root mean square error.

제 1 장 서 론

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 제4차평가보고서(2007)에서 기후시스템의 온난화는 현재 관찰되는 지구 평균기온과 해수온도의 상승, 광범위한 눈과 빙하의 용해 및 지구 평균 해수면 상승의 관측 자료에서 명백히 나타난다고 발표하였다. 구체적으로 기온상승은 지난 12년(1995~2006) 중 11번이 1850년 이래 전 지구 표면기온의 측정 기록으로 보았을 때 가장 더웠던 해에 속한다. 1906~2005년의 지구 평균기온은 100년간 0.74°C 상승하였다고 보고하였다. 이것은 IPCC 제3차평가보고서(2001)에서 0.6°C 상승했다고 보고한 것보다 높은 수치로 온도의 상승폭이 급격히 증가함을 알 수 있다. 기온상승 추세는 지구 전체에서 광범위하게 나타나고 있으나 북반구 고위도로 갈수록 상승정도가 더 크게 나타났으며, 이러한 현상은 육지가 해상보다 더 빠르게 온난화 된 것으로 알려져 있다. 농업과 관련된 추운 낮과 밤, 서리의 발생 빈도는 지난 50년 동안 대부분의 육지에서 감소하는 추세였으며, 더운 낮과 밤의 발생 빈도는 증가한 것으로 추정된다.

한반도의 기후변화를 살펴보면, 1900년 이후 우리나라 6개 도시의 평균기온은 1.5°C 상승하여 지구 평균 기온상승률(전지구 평균기온 : 0.74°C)보다 기온증가율이 컸으며, 최근 10년(1996~2005)간 6개 도시를 포함한 15개 지점(강릉, 서울, 인천, 대구, 부산, 목포, 울릉, 추풍령, 포항, 전주, 울산, 광주, 여수, 제주, 서귀포)의 평균기온은 14.1°C 로 평년(1971~2000)보다 0.6°C 상승한 것으로 분석되었다. 라 다르다. 기상청의 보고에 따르면 우리나라의 연평균기온은 지난 100년간 약 1.5°C 상승하였다. 특히 1990년대는 상당한 고온기였다. 이렇게 된 요인에 대하여 기상학적으로 명쾌히 해명된 것은 아니지만, 이산화탄소 등 온실가스의 증가에 따른 지구온난화가 가장 큰 요인으로 분석되고 있다.

미래 기후변화 전망에 대해서 IPCC의 제4차평가보고서에서 향후 20년 동안 약 $0.2^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 상승률로 온난화가 진행될 것으로 보고 있다. 배출되는 온실가스의 농도가 2000년 수준으로 일정하게 유지된다 하더라도 기온은 약 $0.1^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 비율로 온난화 될 것으로 예상되는데 이후 기온변화의 전망은 전적으로 온실가스 배출 시나리오에 의해 결정될 것이다. 지구 미래 기후변화 전망자료로부터 1980-1999년 대비 2029-2099년에 A1B1 시나리오의 경우, 전지구 평균기온은 2.8°C 상승하고, 해수면은 $0.21\sim 0.48\text{m}$ 상승할 것으로 전망된다. 국립기상연구소의 보고에 의하면, 한반도의 장기 미래 기후변화전망은 평년(1971-2000) 대비 21세기 말(2071-2100)의 우리나라의 기온은 약 4°C 상승할 것으로 전망하고 있다.

지구온난화와 관련된 기후변화가 원예작물에 미치는 영향을 살펴보면, 첫째, 원예작물의 생장과 발육에 영향을 주어 발아기, 개화기, 수확기 등 생육단계를 전반적으로 빠르게 하여, 최종 수확물의 품질과 저장력을 변화시키며(임 등. 1990; Jang et al., 2002), 겨울철의 이상난동은 빈번한 동해피해와 초기 발육불량을 가져오고, 봄철 잦은 강우나 건조는 작물의 개화기에 수분·수정에

영향을 주어 착과율을 떨어뜨리기도 한다. 과수의 경우, 성숙기 고온이 과실의 성숙과 착색을 불량하게 한다. 또한 기후변화는 과실의 발육환경을 변화시켜 배의 유채과 발생이나 포도의 화진현상 같은 생리장애의 한 원인이 되기도 한다. 둘째로, 기후변화는 원예작물의 성장환경을 변화시켜 각 작물의 주산지 이동과 재배지에 영향을 준다(Seo, 2003). 호냉성 채소의 경우, 기온이 높아지면, 생리장애와 병해가 빈번하게 발생하게 되어 결국 수량의 감소를 가져오게 되므로 재배지와 재배시기의 이동이 이루어질 수밖에 없다(윤 등, 2001). 이것은 재배농민들로 하여금 새로운 경작지로 이동하거나 또는 새로운 작물과 작형의 전환을 요구하게 되고 이로 인해 많은 시행착오와 경영비의 손실을 가져오게 된다. 셋째로, 기후의 변화는 작물의 안정생산 및 농가 소득에 중대한 영향을 미치고 있다. 빈번한 기상재해는 일부 작물의 원활한 수급에 심각한 영향을 주고 있으며, 기온의 상승은 높은 온도를 요구하는 과채류의 수량 증가를 가져올 수는 있으나 대부분의 원예작물이 직간접으로 다양한 재배 상 문제점을 발생시킬 수 있다.

온대낙엽과수는 늦여름에서 가을에 걸쳐 생장을 멈추고 휴면단계에 진입하여 겨울철 불리한 환경조건 하에서 생존할 수 있는 휴면상태로 변화하는데 대체로 여름철 가지의 생장이 멈추고 끝 눈이 형성되는 시기에 시작된다. 휴면은 기온과 수분, 일장 등의 환경요인과 식물 호르몬과 관계되고 일장보다는 온도(7°C 이하)와 밀접한 관련이 있으며 우리나라의 경우 일반적으로 배의 내생휴면은 12월 하순에서 1월 중순에 완료되는 것으로 알려져 있다. 온대낙엽과수의 휴면상태를 낙엽 후 가을부터 이듬해 봄까지 매일의 경과기온으로부터 파악하는 방법은 휴면시계모형으로 불리는데 Kwon et al. (2005)은 포도 품종 Campbell Early와 Kyoho의 내생휴면타파를 위한 저온 요구도를 정량화한 바 있으며 Jung et al. (2005)은 1955년부터 2004년까지 남한 전역 기상관서의 생물계절 관측자료로부터 휴면시계모형에 근거한 벚꽃 개화모형의 신뢰성을 검증한 바 있다.

최적의 재배적지를 판정하기 위해서는 여러 요인들을 함께 고려해야 하는데 이러한 중첩분석을 용이하게 하는 것이 GIS (Geographic Information Systems) 기술이다. GIS 기술은 점 단위의 데이터를 연속적인 공간분포로 표현할 수 있으며 고해상도의 GIS 레이어는 정밀한 지역 정보를 산출한다. 이를 이용하여 작물 및 과수의 재배적지 요소를 설정하고 각 조건들에 모두 부합되는 지역을 출력하여 사용자가 쉽게 이해할 수 있는 지도로의 표현이 가능하다. 또한 재배적지 요인과 작물의 성장생육반응을 디지털 값으로 표현하고 GIS layer로 변환하기 위해서는 모델링 기술이 필요하다.

기상조건이 과실의 품질에 끼치는 영향 또한 상당히 복잡하다. 과실 비대, 성숙, 착색, 과형, 당도, 산도 등 각각의 품질요소가 개별적으로 기상의 영향을 받는다 (Jang 등 2002; 서, 2002; Westwood, 1993). 기상요소의 밸런스가 좋지 않아 어느 한가지의 품질요소가 나빠지면, 바로 생산된 과실의 품질 저하로 이어지므로 기후변화는 고품질 과실을 생산할 수 있는 기후조건의 폭을 좁혀 버린다. 이것은 기후변화가 기후적 재배적지의 변화를 가져올 수 있다는 것을 의미한다.

따라서 본 연구는 기온상승에 따른 포도와 감귤의 생산성 및 품질에 미치는 영향을 평가하고 과수의 생물계절 변동을 예측할 수 있는 방법을 개발하고 현재 기후와 미래 변화된 기후조건하에서의 월동과수의 재배적지 판정 및 이동 양상에 대한 중첩분석을 통하여 농가 안정생산을 지원할 수 있는 기초 자료를 확보하고자 수행하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

본 연구와 관련된 국내 기술개발 현황은 2004~2006년까지 원예연구소에서 수행한 “지구온난화에 따른 한반도 사과 재배지 변동 연구”의 결과물로 제시한 “한반도 사과 ‘후지’의 기후적 재배적지 분포와 기온상승에 따른 변화 예측도”를 들 수 있다. 이 예측도는 기온상승에 따른 기후학적 재배적지의 변동을 공간분포로 나타낸 것으로 사과 재배가 불가능한 추운지역, 적지, 준적지, 부적지의 4등급으로 분류하여 기온상승 정도별로 사과의 기후학적 재배적지 분포도를 작성하였으며, 적지 등급은 사과 ‘후지’ 과피의 착색으로 기준으로 하였다. 이 예측도에서는 기온이 상승하게 되면 사과 ‘후지’의 기후적 재배적지는 점차 북상하거나 고도가 낮은 지역에서 고도가 높은 산간지역으로 이동하는 경향이 뚜렷하게 나타났으며, 연평균기온이 3℃ 정도 상승하면 사과의 기후적 재배적지의 현재의 약 55%가 감소할 것으로 예측되었다. 또한 이 예측도는 미래 농업정책수립 기초자료, 육종 및 재배법 개선의 지표로 활용되고 있다.

온대수목의 개화시기가 앞당겨지는 것이 관측되고 있고(Eccel et al., 2009; Nordli et al., 2008), 국내 기상관서의 생물계절 관측자료에서도 지난 100년간 봄꽃의 개화가 빨라진 경향이 명백해져 늦서리에 의한 꽃눈의 피해가 증가하고 있다고 보고된 바 있다(Eccel et al., 2009; Lee et al., 2008). 또한 기온 상승은 눈의 휴면단계에서부터 영향을 미쳐 발아를 불량하게 할 수 있으며(Naor, et al., 2003; Jacobs et al., 2002), 이산화탄소 농도의 증가와 평균기온의 상승은 오렌지 유목의 광합성량을 증가시켰고(2002, Joseph C.V. Vu) 기온 변화가 심한 환경아래에서 과수는 광합성 특히, 수분 이용성이 크게 증가되었다고 보고하였다(2004, Liu-Kang Xu). 기상변동이 과수농업에 미치는 영향에 관하여 재배농민을 대상으로 조사한 결과, 포도 착색불량 등 다양한 증상이 나타난 것으로 보고되었다(2004, 일본 과수연구소). 또한 이산화탄소 증가로 포플라 나무의 수체가 방사형으로 변화하고 있으며, 이는 기후변화가 수체 생육에 크게 영향을 미치고 있는 것으로 보고되었다(2008, Girardin). 포도 ‘콩코드’ 품종은 토양 온도와 수분의 상호 작용에 따라 뿌리의 호흡에 크게 영향을 주며, 토양의 온도가 증가하고 수분 함량이 감소하면 뿌리의 호흡량은 증가되었다고 보고된 바 있다(2005, Xuming Huang).

국내에서는 사과 ‘후지’의 품질 판별기준 중 과피 착색정도를 기준으로 기온 상승정도별로 기후적 재배적지 분포도를 작성한 바 있으며(2005, 원예연구소), 증가된 CO₂ 농도 환경 하에서 사과 나무 수체는 장기간에 걸쳐 적응해 가는 것으로 나타났으나, 사과 과실의 품질은 나빠지는 결과를 보였다(2006, 원예연구소). 기후변화에 따른 벚꽃 개화일의 시공간 변이를 분석한 결과 대도시 및 해안 인접지역의 벚꽃 개화일이 단축되는 경향을 보였으며(2006, 윤진일), 사과, 배의 경우 만개기가 점점 빨라지고 있으며, 만개까지의 소요일은 계속 짧아지고 있다고 보고되었다(2007, 원예연구소). 이와 같이 국내 연구현황은 아직까지는 개념정립단계로서 단편적이고 이론적인 데 반하여 국외연구는 통합적이며 실용적이다. 따라서 이미 남한 780개 표준유역에 대하여 해상도

30m 급의 고해상도 격자형 수치기후도가 제작되어 있는 만큼 원예연구소(2005)에서 제작한 사과 ‘후지’의 기후적 재배적지 분포도를 작성한 것과 같이 고해상도 디지털기후도에 근거하여 농가단위의 주요 과수의 재배적지 분포도를 작성함과 동시에 월동기 동해위험 한계온도에 따른 동해 및 서리피해 사전경보시스템을 함께 도입하는 것이 필요하다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

□ 제1세부과제 : 장과류의 생산성, 품질 및 재배적지의 영향평가 및 적응대책 연구

제1절 재료 및 방법

1. 실험재료 및 장소선정

1) 실험재료

장과류 중에서 재배면적이 가장 많은 포도 ‘캠벨얼리’을 사용하였고(그림 1), 수령은 5~6년생을 이용하였으며, 수형은 웨이크만식 재배농가를 선발하였다.

2) 실험장소

실험과원은 전국의 포도 주산단지를 중심으로 우리나라 전역에서 위도를 고려하여 선발하였다. 실험 지역은 사천, 나주, 영천, 당진, 예산, 김천, 옥천, 상주, 영주, 수원, 강릉, 춘천, 양구 등 13개지역에서 실시하였다. 조사과원 전국적으로 재배 기술이 비슷한 농가를 선택하였고, 산지 과원을 피하였다. 해발고도별 조사를 위하여 강원도 양구지역의 해안면에 해발고도 400m, 450m, 500m, 600m에 있는 포도 과원을 선정하였다(그림 2).

2. 기상장비 설치 및 조사

1) 기상장비

선정된 과원에 일사량, 강우량, 온도, 습도 등을 측정할 수 있는 기상장비를 설치하였다. 기상장비는 과원의 가장자리에 농기계의 사용에 지장이 없는 장소에 설치하였고, 높이는 1.5m로 하였다. 일사의 방해가 되지 않도록 주변에 그늘이 되는 나무가 없는 곳을 선정하였다.

2) 기상자료 수집 및 조사

기상자료는 2008년 3월 1일부터 2009년 12월 31일까지 수집하였으며, 지역별 최저, 최고, 평균 기온을 분석하였고, 기상청 자료를 이용하여 최근 30년 자료를 분석한 값을 사용하여 과실 품질과 상관을 조사하였다. 2~3달에 한번씩 기상자료를 수집하여 데이터를 저장하였다.

3. 조사내용

1) 생물계절 조사

지역별 발아기, 만개기, 수확기를 조사하여 성숙일수를 산출 하였으며, 만개기는 포도 과원의 꽃이 80% 개화되었을 때를 기준으로 하였다. 수확기는 농가에서 수확하는 시기를 이용하였다.

2) 과실 특성분석

과실은 만개기를 기준으로 90일에 전국 조사과원의 과실을 수집하여 분석하였다. 과방의 하부에 10립을 채취하여 당도, 산, 안토시아닌 분석을 실시하였다. 가용성 고형물 함량은 굴절당도계(PR-1, Atago, Japan)로 측정하였고, 산함량은 과즙을 희석 후 0.1N NaOH로 적정하여 주석산 함량으로 계산하였다. 안토시아닌은 과피를 취하여 7mm cork borer로 3개의 disk를 채취하여 5mL의 1% HCl 함유한 methanol 용액에서 24시간 추출한 수 10배 희석하여 흡광광도계(Optize 2120 UV, Mecasys Co. Ltd., Korea)로 530nm에서 측정하였다.

3) 조직검정

조직 절편을 2×3mm 크기로 채취하여 2.5% glutaraldehyde에 넣은 즉시 조직에 포함되어 있는 기포를 제거하였다. 모든 과정은 4℃에서 진행되었으며 1차 고정 90분간 처리 후 0.1M phosphate buffer(pH 7.2)로 15분 간격으로 4~5회 세척하였다. 2차고정으로는 1% osmium tetroxide로 4℃에서 90분간 처리한 후, 0.1M phosphate buffer(pH 7.2)로 20분 간격으로 4~5회 세척한 후 마지막 phosphate buffer에서 하룻밤을 경과하였다. 탈수는 40% ethanol, 60% ethanol, 80% ethanol, 90% ethanol, 95% ethanol로 각각 5분씩 그리고 100% ethanol로 5분, 15분, 30분간 탈수하였다. 탈수 후에는 epon의 조직내 침투를 더 용이하게 하기 위해 ethanol과 propylene oxide를 1:1로 섞은 용액에 sample을 15분간 경과시킨 후 순수 propylene oxide에 15, 15, 30분간 침지하였다. 최종적으로 epon에 매몰(embedding)하기 위하여 propylene oxide와 epon을 2:1, 1:1로 섞은 용액에 각각 3시간동안 처리한 후 순수 epon에서 하룻밤을 경과하였다. 다음날 새로운 epon으로 바꾸어 15분간 처리한 후 epon+D.M.P 30(epon의 1.5% 첨가)을 시료 절편과 함께 silicon mold에 넣어서 60℃에 4일간 열중합시켜 epon block을 만들었다. 각 재배 작형별 10~15개의 epon block을 만들고, 이 중 임의로 3개의 epon block을 선택하여 초미세절편기(Ultracut R, Leica Co)를 이용하여 1,500nm의 두께로 시료를 절단하여 slide glass 위에 증류수를 떨어뜨려 치상하고, 60℃에서 5시간 이상 건조시킨 후 염색하였다.

염색 과정은 제작된 조직절편은 0.5% periodic acid(H5IO6) 용액에 30분간 담근 후 증류수로 10분간 2~3번 세척, Schiff's reagent에 15분간 처리, 1% sodium bisulfite 용액에 5분간 처리, 흐르는 물로 30분간 세척하는 순서로 실시하였다. 염색이 끝난 시료를 영구보존 하기 위하여 60℃ 열판에서 5시간 이상 건조 후 hystomount를 떨어뜨리고 cover glass로 덮고 다시 건조 후 cover glass 주위에 붙어있는 hystomount를 깨끗이 제거하고 광학현미경(Axioskop 2, Carl Zeiss Co.) 100배로

검정, 촬영하였다.

4) 전자지도 작성

전국의 기후도 작성은 1981~2007년까지 기상대에서 측정한 기상자료를 분석하여 Arc View GIS 프로그램을 이용하여 1/5000 수치지형도로부터 10m 간격의 등고선 및 표고점 레이어를 추출하여 TIN을 작성하였다. 고도에 따른 지점별 온도분포를 분석하기 위하여 GIS프로그램의 공간분석도구를 이용 전국을 10×10m², 50×50m²의 격자의 DEM(전자고도모델)을 작성한 후 기후 내삽 모델을 이용하여 온도를 보정하였다. 또한 13개 조사지역의 실측값을 이용하여 만개기, 수확기 및 성숙일을 전자지도로 작성하였다.

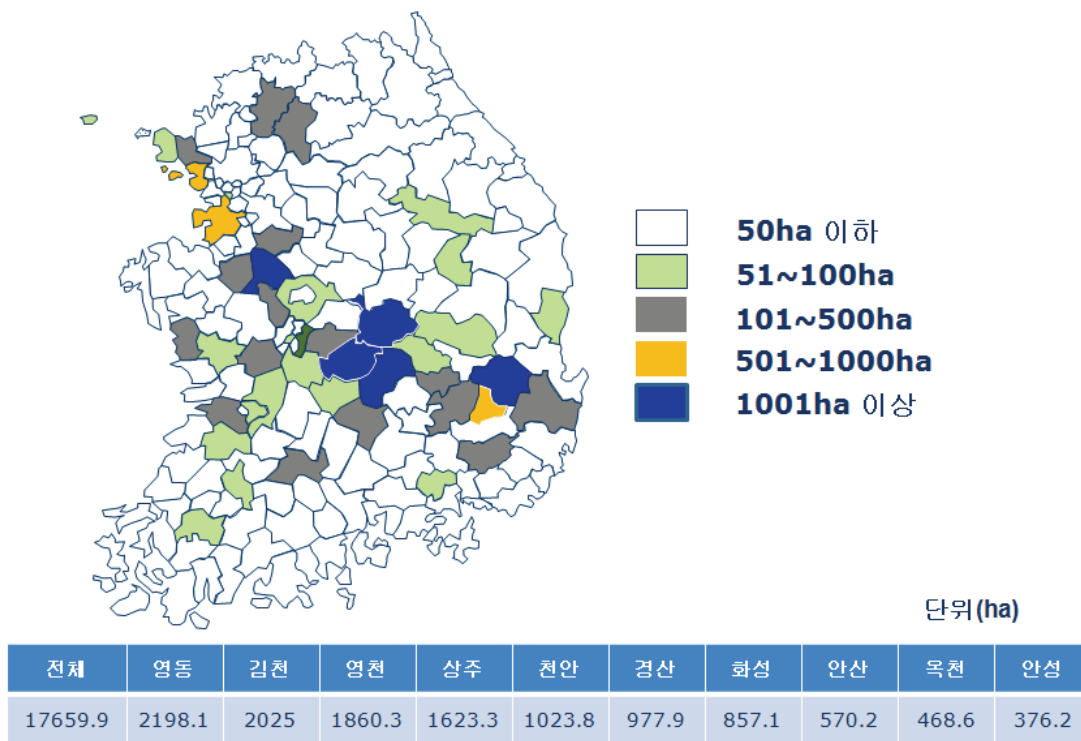


그림 1. 우리나라 시군별 및 주요 주산단지별 포도 재배면적.

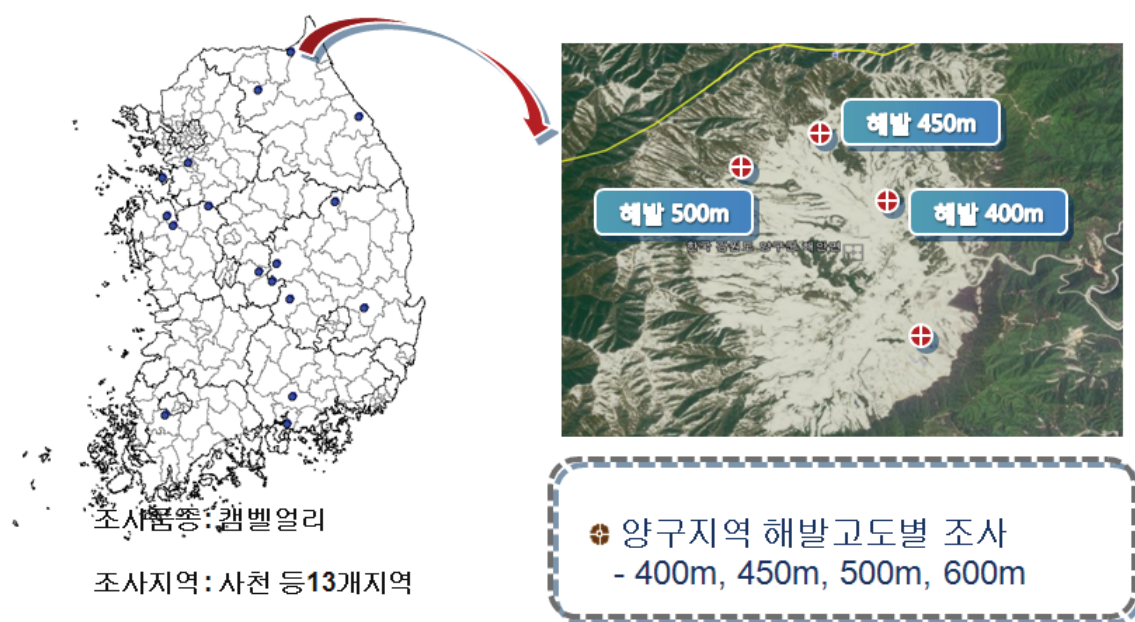


그림 2. 전국 포도 조사지역 및 양구지방의 해발고도별 조사 지점.

제2절 결과

1. 우리나라 온도변화

최근 30년간 우리나라의 온도 변화를 살펴본 결과, 최고기온은 1980년도보다 2000년도에 들어서면서 남해안 지방의 온도가 상승하고 있으며 강원도 산간지방의 온도도 상승하였다. 최고기온이 상승한 지역이 증가하고 있으며, 특히 전남, 경남지방에서 최고온도가 상승한 지역이 증가한 것이 뚜렷하다. 최고기온이 상승한 지역은 우리나라 전역에서 80년대, 90년, 2000년대로 오면서 증가한 유형이 뚜렷하다(그림 3). 최저기온의 변화를 살펴본 결과(그림 4), 80년대와 90년은 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 80년대와 2000년대를 비교하였을 때 강원도 지역의 최저기온이 상승하였다. 우리나라 전체적으로도 연 최저기온이 조금 상승한 것으로 판단되며, 특히 강원 영서지방의 기온이 일부 상승하였다. 우리나라의 연평균기온을 최근 30년간 살펴본 결과(그림 5), 뚜렷한 차이는 보이지 않았지만 대도시를 중심으로 온도가 상승한 것이 나타나며, 강원도 지방의 온도가 조금 상승한 것으로 보인다. 전체적으로 판단해볼 때 최근 30년간 우리나라의 온도는 일부 상승하는 경향을 나타냈다. 이러한 기온의 변화는 원예작물의 생장과 발육에 영향을 주어 개화기, 수확기 등 생육단계를 전반적으로 빠르게 하여 최종 수확물의 품질과 저장력을 변화시키며(임 등, 1990; Jang et al., 2002), 겨울철의 이상난동은 빈번한 동해피해와 초기 발육불량을 가져오고, 봄철 잦은 강우나 건조는 작물의 개화기에 수분 수정에 영향을 주어 착과율을 떨어뜨리기도 한다. 따라서 과수재배지의 변동에 영향을 주어 포도 캠벨얼리의 재배지역 변화가 예상된다.

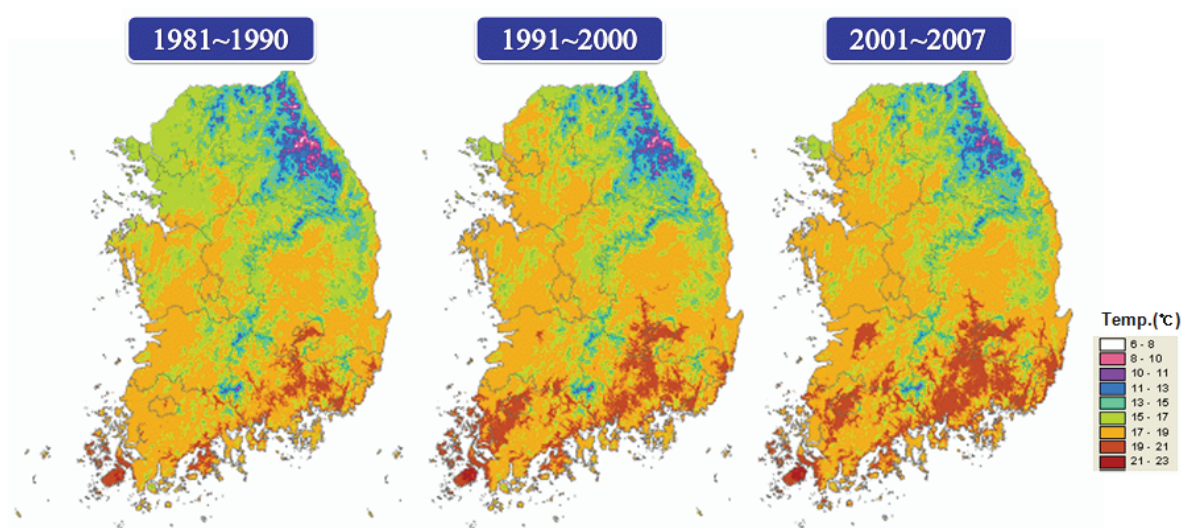


그림 3. 우리나라 10년 단위 최고기온 변화.

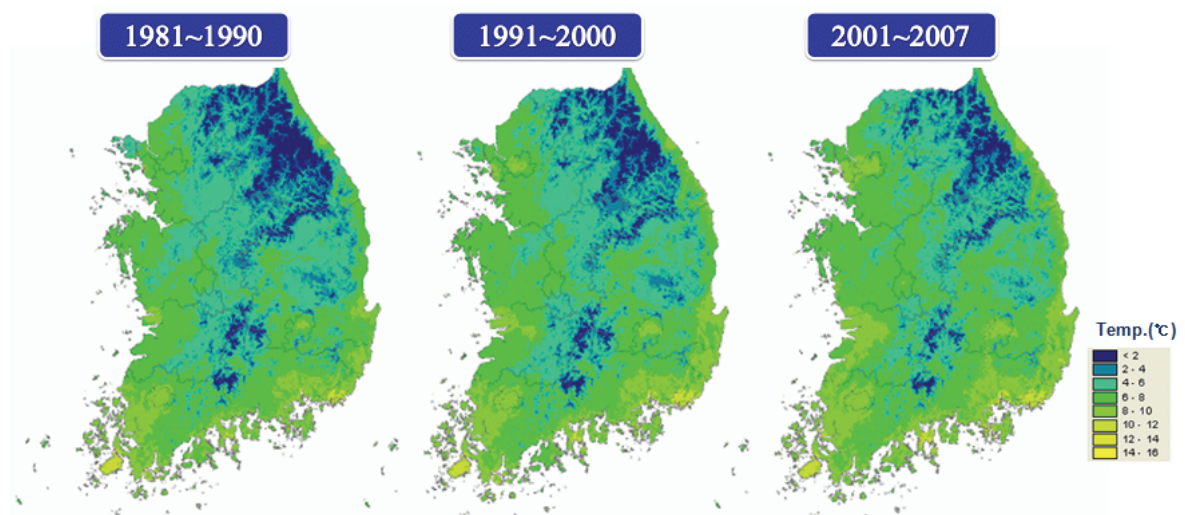


그림 4. 우리나라 10년 단위 최저기온 변화.

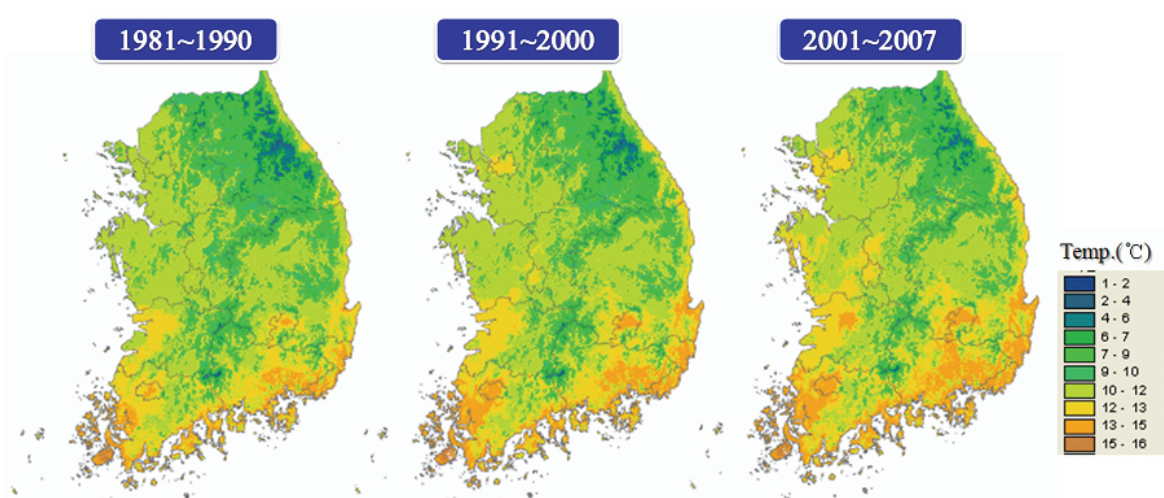


그림 5. 우리나라 10년 단위 년평균기온 변화.

2. 조사지역의 기상요소와 과실풍성

조사지역 13곳의 포도 생육기(5~8월)의 기상요소를 살펴본 결과(표 1), 평균기온은 나주 지역이 23.5°C로 가장 높았으며, 양구지역이 20.6°C로 가장 낮았다. 최고기온은 나주지역이 28.7°C였고 양구지역이 26.5°C로 가장 낮아 약 2°C의 차이가 발생하였다. 최저기온은 양구지역이 15.7°C였고, 나주지역이 19.3°C로 약 4°C의 차이를 나타냈다. 나주와 사천지역은 기온이 높았으며, 강원도 지역이 낮은 것으로 나타났다. 만개 후 90일에 과실의 품질 분석한 결과(표 2), 남부 지방은 당도가 13도로 낮았으며 중부지방인 영주, 상주, 옥천 지역은 15~17도를 나타냈고 강원도 지방은 14~15도였다. 남부지방은 수확기가 지났음에도 불구하고 당도가 낮았으며, 중부지방은 적숙기로 과실의 당도가 높게 나타났다. 그러나 강원도 지방은 만개 후 90일에는 적숙기가 되지 않아 과실의 당도가 상대적으로 낮게 나타났다.

과수는 다른 작물에 비해 특히 온난화 영향을 받기 쉬운데 그 주된 이유는 제자리에서 경제수령까지 재배되는 영년생 작물이라는 점과 생산물의 품질이 증시된다는 점이다. 대부분의 작물이 기후변화의 영향을 완화하는 수단으로 작기를 조절하는 방법을 이용한다. 그러나 과수는 인위적인 작기 조절이 불가능하며, 생육기뿐만 아니라 휴면기까지도 명확한 온도 반응이 있어서 온난화의 영향을 연중 받게 된다. 더 나아가 저장 양분 등 전년도의 기상에 대한 영향이 다음해에 나타나는 경우도 많아서, 기상변동의 영향이 지속적으로 과수의 수체 내에 축적해 간다고 해도 과언이 아니다. 기상조건이 과실의 품질에 끼치는 영향 또한 상당히 복잡하다. 과실 비대, 성숙, 착색, 과형, 당도, 산도 등 각각의 품질요소가 개별적으로 기상의 영향을 받는다 (Jang 등 2002; 서, 2002; Westwood, 1993). 기상요소의 밸런스가 좋지 않아 어느 한가지의 품질요소가 나빠지면, 바로 생산된 과실의 품질 저하로 이어지므로 기후변화는 고품질 과실을 생산 할 수 있는 기후조건을 좁혀 버린다. 과수의 경우, 성숙기 고온이 과실의 성숙과 착색을 불량하게 한다. 또한 기후변화는 과실의 발육환경을 변화시켜 배의 유채과 발생이나 포도의 화진현상 같은 생리장해의

한 원인이 되기도 한다. 둘째로, 기후변화는 원예작물의 생장환경을 변화시켜 각 작물의 주산지 이동과 재배치에 영향을 준다(Seo, 2003). 호냉성 채소의 경우, 기온이 높아지면, 생리장애와 병해가 빈번하게 발생하게 되어 결국 수량의 감소를 가져오게 되므로 재배지와 재배시기의 이동이 이루어질 수밖에 없다(윤 등, 2001). 따라서 포도 ‘캠벨얼리’ 품종의 경우 남부지방에서는 고품질의 과실을 수확하기가 곤란할 것으로 판단된다.

표 1. 조사지역의 포도 생육기(5~8월) 기상요소

지역	평균기온 (°C)	최고기온 (°C)	최저기온 (°C)	일조시간 (hr)	강우일수 (days)	일교차 (°C)
사천	22.4	27.8	17.7	151.7	12.5	10.0
나주	23.5	28.7	19.3	170.4	15.0	9.4
영천	21.7	27.4	16.5	164.6	13.0	10.9
당진	21.5	26.1	17.3	200.9	10.7	8.9
예산	22.3	27.8	17.4	196.3	10.0	10.5
김천	21.2	26.6	16.3	174.9	13.0	10.2
옥천	21.4	27.3	16.1	186.4	12.7	11.1
상주	22.1	27.8	17.3	172.1	12.2	10.0
영주	21.2	27.1	16.0	175.1	14.0	11.1
수원	22.6	27.7	18.2	195.3	9.8	9.5
강릉	21.7	25.7	17.9	152.4	13.3	7.8
춘천	21.9	27.6	17.0	189.9	12.3	10.6
양구	20.6	26.5	15.7	160.7	13.8	10.8

표 2. 포도 조사지역의 과실 특성 분석(만개후 90일 기준)

지역	과중 (g)	종경 (mm)	횡경 (mm)	과립중 (g)	당도 (0Bx)	산도 (%)	경도 (N)	안토시아닌 (ug/g)
사천	358.6	21.2	18.8	5.2	13.9	0.5	14.2	4.3
나주	293.9	21.0	18.2	5.2	15.0	0.4	12.2	4.9
영천	342.7	21.4	18.8	5.1	13.5	0.7	16.8	5.1
당진	435.7	22.1	20.0	5.7	13.5	0.7	16.9	6.0
예산	389.9	21.3	20.6	6.4	13.8	0.6	17.7	7.2
김천	410.7	21.5	18.9	5.5	13.1	0.7	22.3	2.6
옥천	272.9	22.3	20.5	6.1	16.5	0.6	17.4	4.1
상주	305.0	21.9	20.4	6.4	14.8	0.6	15.5	5.1
영주	379.7	22.4	21.1	6.3	17.8	0.6	17.9	7.5
수원	446.7	22.2	19.9	5.7	16.3	0.7	14.8	5.8
강릉	352.8	21.7	20.8	6.1	15.5	0.6	17.9	4.7
춘천	440.8	23.6	21.1	6.7	14.8	0.6	19.7	4.5
양구	299.6	19.0	17.2	4.8	13.9	0.8	16.8	8.6

3. 생물계절 조사

조사지역 13개 지역과 양구지역의 해발고도별 발아기, 만개기 및 수확일을 조사한 결과(그림 6, 7, 8), 발아기는 경남 사천지역이 4월 10일, 강원도 양구지역이 4월21일 으로 약 11일 차이가 발생하였다. 양구지역의 해발고도별 조사에서는 해발 400m 지역이 4월21일이었고, 해발 600m 지역은 4월 28일로 7일의 차이를 나타냈다. 만개기는 사천지역이 가장 빨라 5월 19일이었고 가장 늦은 양구지역은 6월 7일 이었다. 양구지역 해발고도별 조사에서는 400m가 6월 7일이었고 해발 600m는 6월 13일로 약 일주일 차이가 발생하였다. 수확일은 경남 사천지역이 8월 20일 그밖의 남부지방이 약 8월 25일, 중부지방이 9월 1일 이었고, 강원도 양구지역은 9월 10일 이었다. 강원도 강릉지역은 중부지방과 비슷한 8월 25일 이었다. 이를 바탕으로 지역별 성숙일수를 조사해본 결과(그림 9), 남부지방은 85일, 중부지방은 90일에서 95일이었고, 강원도 지방은 100일이 넘었다. 양구지방의 해발 고도별 차이에서는 약 5일의 차이를 나타냈다. 과실의 품질은 성숙일수가 길 수록 과실의 당도가 높아지는 경향이 있으므로 성숙일수가 짧은 남부지방은 고품질의 과실을 생산이 곤란 할 것으로 판단되며, 앞서 조사한 과실 품질 결과를 바탕으로 하여 포도 ‘캠벨얼리’품종은 성숙일수가 90일 이상이 되어야 고품질을 생산할 수가 있다.

지구온난화에 의한 겨울기온의 상승은 온대낙엽과수의 개화기를 앞당기거나 개화기간의 연장으로 이어져 결실 불량을 유발할 수 있다(Jang et al., 2002). 또한 겨울 기간의 단축으로 인하여 사과와 배의 전엽기가 지연되고 눈의 발아가 비동시적으로 일어나 수확량이 감소한다(Jacobs et al., 2002). 이는 휴면해제를 위한 저온요구도의 부족에서 기인한 것으로 일본 남큐슈 지방에서는 휴면병에 의한 배 품종 행수의 발아 불량이 보고된 바 있다(National Institute of Fruit Tree Science, 2003). 따라서 지구온난화로 인한 과수 꽃눈의 발아와 개화기의 변동을 전망하는 것은 기후변화에 대응한 지역 과수산업의 적응전략 차원에서 매우 중요하다.

기후가 변하면 농작물의 재배적지가 이동하게 되는데(Seo and Kim, 2005), 우리나라의 경우 국토가 좁고 산지가 많아 농경을 하기에 적합한 면적이 넓지 않으므로 수요를 충족시키기 위한 가장 효율적인 정책은 각 작물-품종에 적합한 지역을 찾아 적절하게 배치하는 일이라고 판단된다. 사과, 배, 복숭아, 포도 등 과수는 산림과 마찬가지로 한 장소에서 수십 년 이상 뿌리를 뻗고 생장하며, 묘목을 재식 한 뒤 판매 가능한 과실을 생산하는데 상당한 시일이 소요되므로 과수산업에 관련한 계획을 수립할 때 해당 과수의 생육특성 및 재배적지에 대해 현재기후는 물론 미래기후에서의 변화 양상을 예측한 정보가 필요할 것이다. 작물의 생육 및 과실품질은 토양특성, 비료, 강수량 및 관수, 일조시간, 병해충 등 여러 요인들의 복합적인 영향을 받는다(농촌진흥청, 2002; Westwood, 1993). 따라서 과수재배적지의 정확한 판단은 고품질을 생산할 수 있는 근본 자료로 큰 가치가 있으며, 농가 경영비 또한 크게 줄일 것으로 판단된다.

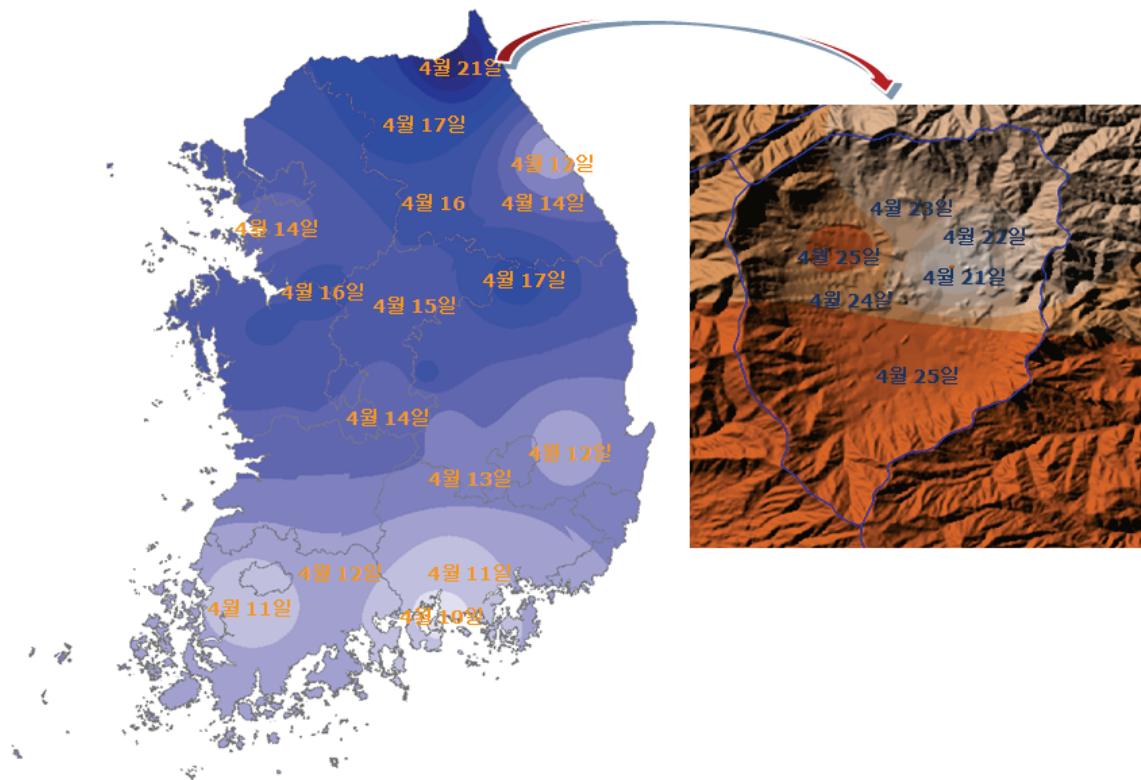


그림 6. 전국 및 양구 해발고도 지역의 포도 ‘캠벨얼리’ 품종의 발아기 분포.

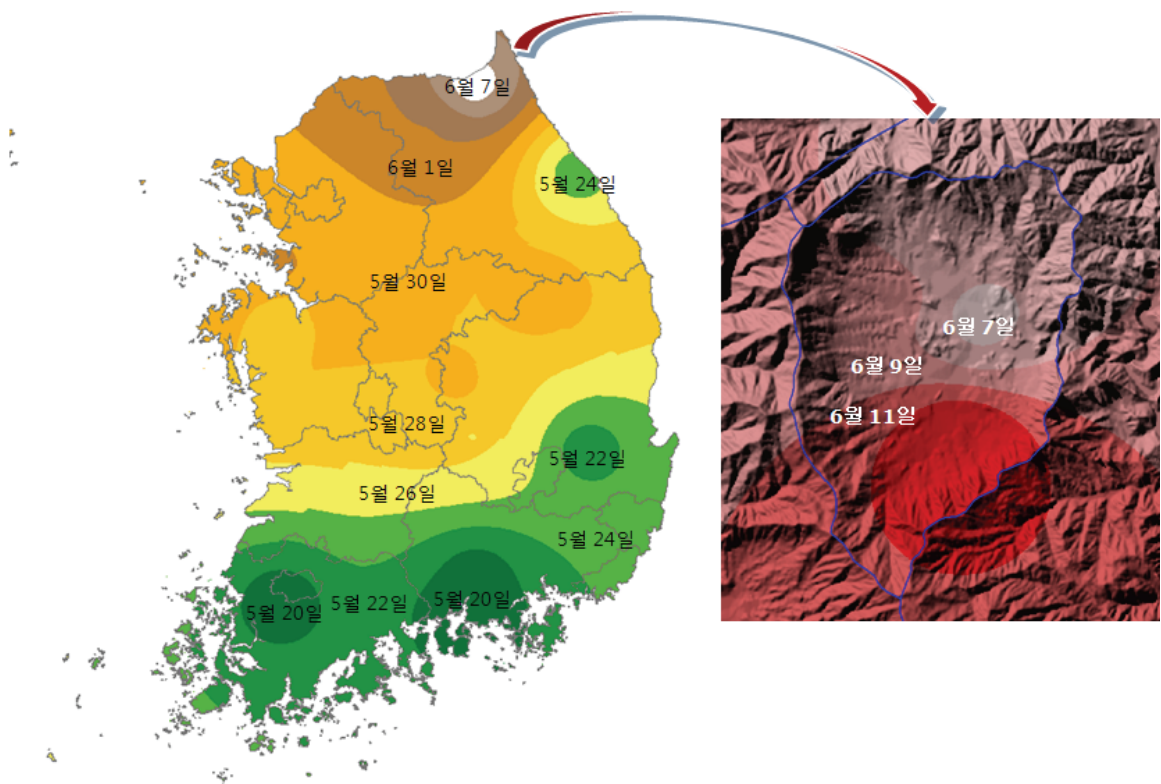


그림 7. 전국 및 양구 해발고도 지역의 포도 ‘캠벨얼리’ 품종의 만개기 분포.

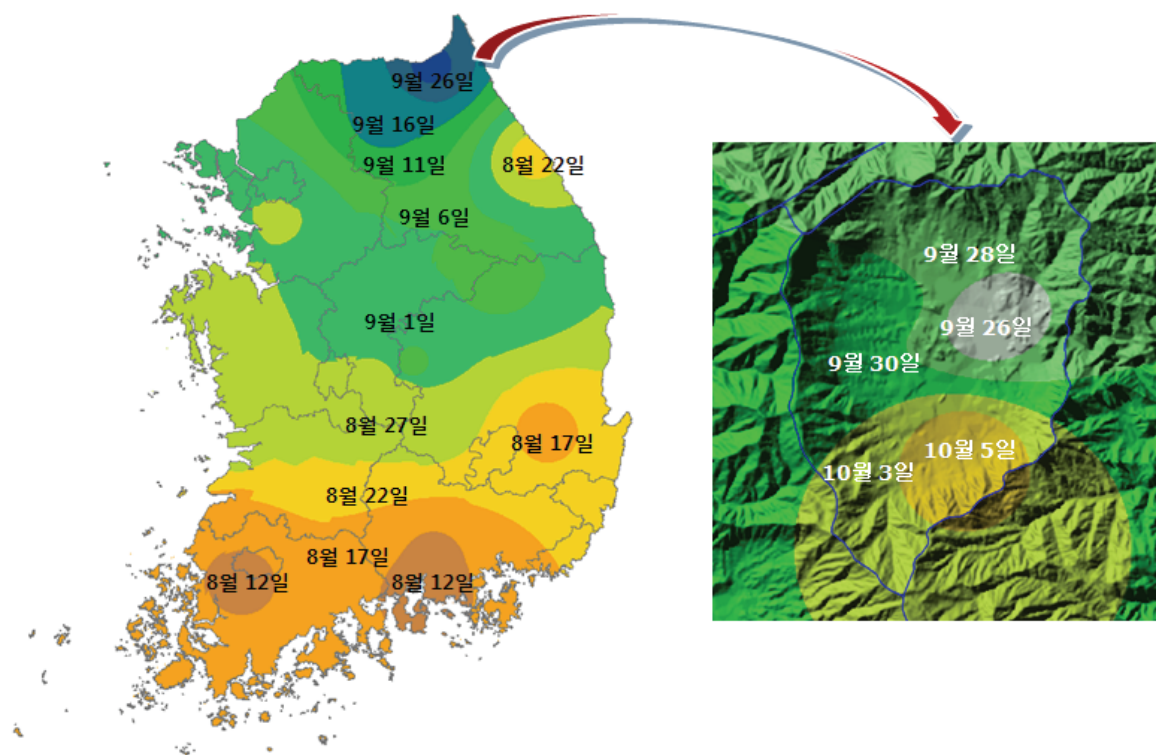


그림 8. 전국 및 양구 해발고도 지역의 포도 '캠벨얼리' 품종의 수확기 분포.

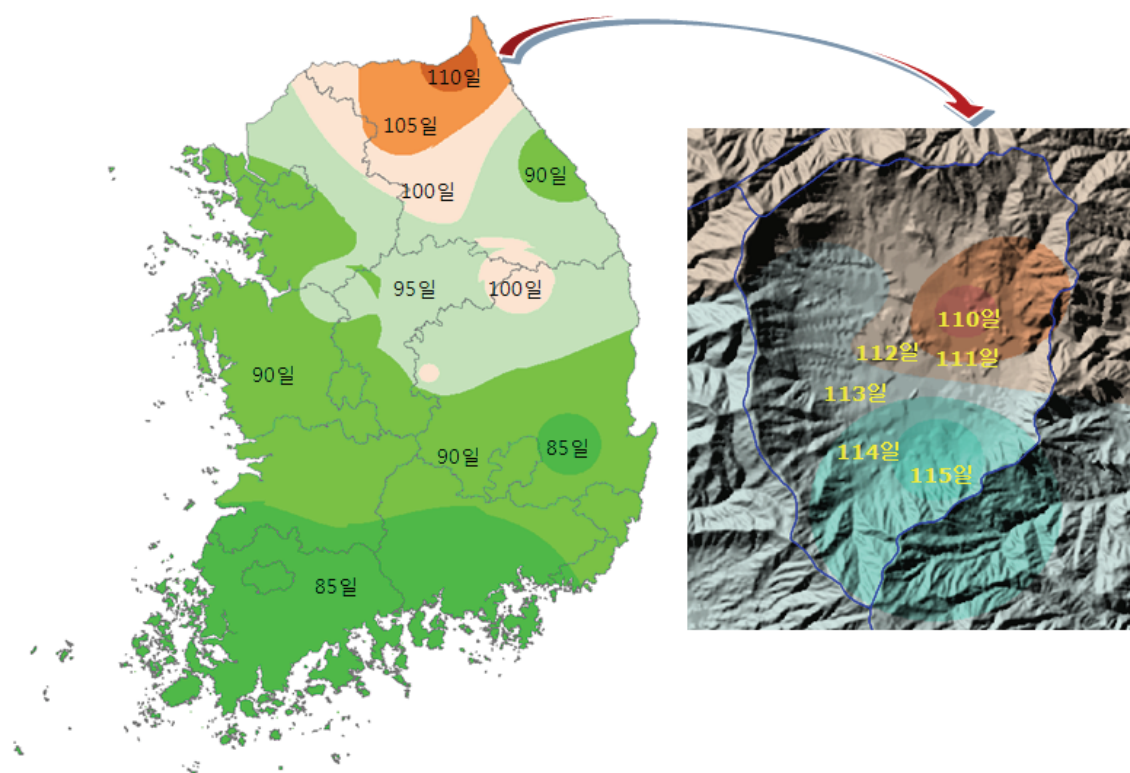


그림 9. 전국 및 양구 해발고도 지역의 포도 '캠벨얼리' 품종의 성숙일수.

4. 과실품질과 기상요인 및 조직 검정

포도 생육기(5~8월) 기상요소와 과실 특성간의 상관관계를 분석한 결과(표 3), 과실의 경도와 평균기온 그리고 최저기온이 상관관계가 있는 것으로 나타났는데, 평균기온이 상승하면 과실의 경도가 낮아진다. 또한 과실의 산도는 최고기온과 관련이 크게 나타났다. 최고기온이 높으면 산도가 높아지는데, 성숙기 온도가 낮아야 과실에서 산이 빠진다. 또한 과중과는 강우일수와 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 과수는 일조와 밀접한 관련이 있기 때문에 일조시수가 낮으면 과실이 정상적으로 성장 할 수가 없어 과중이 낮다.

포도 생육기동안 평균기온을 월별로 분석한 결과(표 4), 과실의 산도는 5월, 6월, 5~6월, 5~7월, 5~8월 등에서 과실의 산도와 밀접한 상관이 있는 것으로 나타났다. 평균기온이 상승하면 과실의 산도가 높아 신맛이 강해진다. 또한 과실의 경도와는 6~8월의 평균기온과 상관이 높았는데, 과실이 착과되고 생장을 시작하면서 기온과 경도와 상관이 높다. 이것은 기온이 높으면 과실이 빨리 성장하기 때문에 과피가 얇아져서 생긴 결과로 판단된다. 생육기 동안 최고기온과 과실의 품질의 상관관계를 살펴본 결과(표 5), 역시 과실의 산도와 밀접한 상관이 있었다. 기온이 높으면 과실에서 산이 분해되지 않고 남아있기 때문이며, 산도가 낮고 당도가 높은 지역은 생육기에 기온이 높지 않아야 한다. 포도 생육기 동안 최저기온과 과실의 품질간의 상관관계를 살펴본 결과(표 6), 생육기 최저기온과 과실의 산도 그리고 경도와 밀접한 관련이 있었다. 특히 6~8월 사이의 최저기온과 산도 및 경도와 상관이 크게 나타났다. 이는 앞선 결과와 마찬가지로 최저기온이 낮아야 과실의 산도가 낮고 경도가 높아진다.

만개후 90일에 수확한 과실의 지역별 과피의 두께를 조직 검정한 결과(그림 10, 11, 12), 남부지방 과실의 과피가 얇고 북쪽으로 갈 수록 과피가 두꺼지는 경향을 나타냈으며, 과실의 착색정도도 남부지방은 수확적기가 지났음에도 착색이 불량하며 북부지방은 아직 적숙기가 되지 않았음을 보여준다.

과수에서 온도는 저장 양분 등 다양한 요소에 영향을 주며, 기상조건이 과실의 품질에 끼치는 영향 또한 상당히 복잡하다. 과실 비대, 성숙, 착색, 과형, 당도, 산도 등 각각의 품질요소가 개별적으로 기상의 영향을 받는다(Jang 등 2002; 서, 2002; Westwood, 1993). 과수의 경우, 성숙기 고온이 과실의 성숙과 착색을 불량하게 한다. 또한 기후변화는 과실의 발육환경을 변화시켜 배의 유채과 발생이나 포도의 화진현상 같은 생리장해의 한 원인이 되기도 한다. 둘째로, 기후변화는 원예작물의 성장환경을 변화시켜 각 작물의 주산지 이동과 재배치에 영향을 준다(Seo, 2003).

표 3. 포도 생육기(5~8월) 기상요소와 과실통성간의 상관관계 분석

과실 특성 요소	기온 (°C)			일조시간 (hr)	강우일수 (day)	일교차 (°C)
	평균	최고	최저			
과중(g)	0.11345	-0.09736	0.17383	0.58479	-0.6848	-0.20093
종경(mm)	0.19241	0.15267	0.10207	0.30503	-0.24301	0.01431
횡경(mm)	-0.01257	-0.09762	-0.03101	0.45399	-0.3535	-0.05113
과립중(g)	0.03019	0.04341	-0.03226	0.49062	-0.35514	0.05924
당도(°Bx)	0.12158	0.19535	0.03442	0.13327	-0.03533	0.14097
산도(%)	-0.70659	-0.60178	-0.60723	0.30052	-0.21371	0.16024
경도(N)	-0.64407	-0.53068	-0.61509	0.28943	-0.01165	0.23048
안토시아닌(ug/g)	-0.12856	0.00168	-0.13727	0.26054	-0.27118	0.21643

표 4. 포도 생육기 기상요소(평균기온)와 과실통성간의 상관관계 분석

과실통성	평균기온(°C)									
	5월	6월	7월	8월	5~6월	5~7월	5~8월	6~7월	6~8월	7~8월
과중(g)	-0.09753	-0.09216	0.23666	0.34024	-0.09912	0.02889	0.11345	0.08369	0.14948	0.32841
종경(mm)	0.16671	0.23684	0.23794	0.12376	0.20281	0.24162	0.19241	0.25345	0.11767	0.18066
횡경(mm)	-0.05773	0.06393	0.0572	-0.04271	-0.00404	0.02703	-0.01257	0.08374	-0.04127	0.00993
과립중(g)	-0.03192	0.11372	0.13206	-0.0231	0.02913	0.07393	0.03019	0.1536	-0.00765	0.04683
당도(°Bx)	0.03088	0.18173	0.18145	0.08969	0.10779	0.13931	0.12158	0.20852	0.14984	0.131
산도(%)	-0.79812	-0.76345	-0.59441	-0.46017	-0.80999	-0.7732	-0.70659	-0.70928	-0.61945	-0.50818
경도(N)	-0.54442	-0.54378	-0.55071	-0.59466	-0.58227	-0.60596	-0.64407	-0.57827	-0.64415	-0.57893
안토시아닌(ug/g)	-0.3677	-0.25033	0.01895	0.09414	-0.31415	-0.22382	-0.12856	-0.09403	0.00178	0.07497

표 5. 포도 생육기 기상요소(최고기온)와 과실통성간의 상관관계 분석

과실통성	최고기온(°C)									
	5월	6월	7월	8월	5~6월	5~7월	5~8월	6~7월	6~8월	7~8월
과중(g)	-0.3684	-0.24575	0.12044	0.29291	-0.23489	-0.18985	-0.09736	-0.08437	0.00627	0.23182
종경(mm)	0.15077	0.13811	0.11827	0.11249	0.23096	0.1909	0.15267	0.18976	0.0476	0.11221
횡경(mm)	-0.21002	-0.03533	0.04861	-0.02145	-0.0303	-0.07841	-0.09762	0.0453	-0.08278	0.01051
과립중(g)	-0.12863	0.09508	0.24877	0.07342	0.07462	0.05033	0.04341	0.20473	0.04819	0.15322
당도(°Bx)	0.08947	0.17919	0.2134	0.19263	0.17608	0.17335	0.19535	0.22135	0.22224	0.20968
산도(%)	-0.70173	-0.51868	-0.3389	-0.33386	-0.67311	-0.63474	-0.60178	-0.49296	-0.46849	-0.33326
경도(N)	-0.47703	-0.31891	-0.33812	-0.49535	-0.40052	-0.45084	-0.53068	-0.34123	-0.52377	-0.44302
안토시아닌(ug/g)	-0.29088	-0.15411	0.22545	0.33597	-0.22815	-0.14789	0.00168	-0.03427	0.1716	0.32229

표 6. 포도 생육기 기상요소(최저기온)와 과실풍특성간의 상관관계 분석

과실풍특성	최저기온(℃)									
	5월	6월	7월	8월	5~6월	5~7월	5~8월	6~7월	6~8월	7~8월
과중(g)	0.14289	0.11823	0.0506	0.26749	0.1376	0.10769	0.17383	0.08074	0.11881	0.19253
중경(mm)	0.03184	0.16337	0.18353	0.06647	0.09888	0.12764	0.10207	0.17765	0.06006	0.11171
횡경(mm)	0.04328	0.02089	-0.08412	-0.08408	0.03055	-0.00842	-0.03101	-0.02556	-0.10729	-0.09008
과립중(g)	0.02719	0.00955	-0.0472	-0.0877	0.01556	-0.00907	-0.03226	-0.01847	-0.11417	-0.08136
당도(°Bx)	-0.02174	0.07547	0.12401	0.0256	0.01954	0.03824	0.03442	0.08922	0.06606	0.06541
산도(%)	-0.46119	-0.69055	-0.74745	-0.47437	-0.585	-0.66768	-0.60723	-0.7313	-0.6331	-0.58811
경도(N)	-0.41615	-0.62909	-0.6651	-0.62184	-0.53471	-0.59454	-0.61509	-0.66541	-0.69271	-0.66317
안토시아닌 (ug/g)	-0.16984	-0.19598	-0.19222	-0.0389	-0.18162	-0.21856	-0.13727	-0.20495	-0.11099	-0.09348

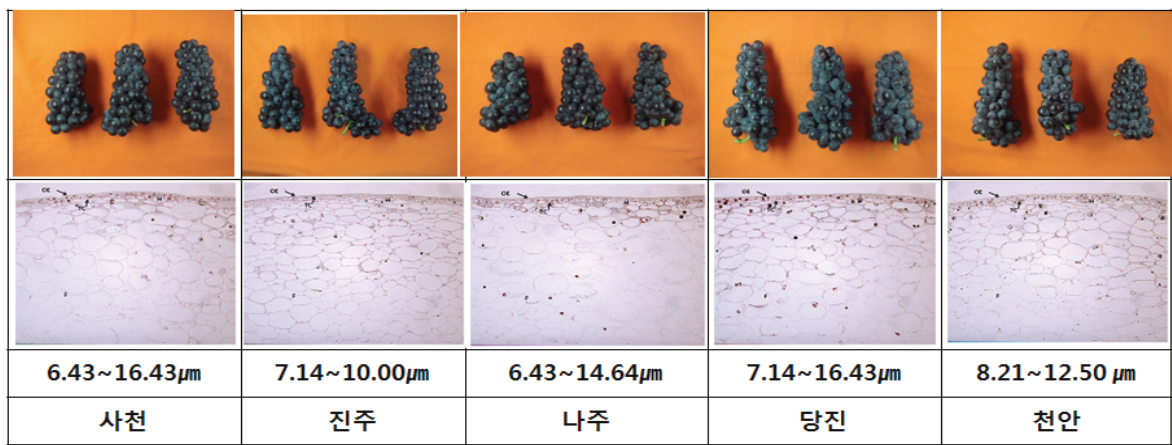


그림 10. 지역별 과피의 조직 사진(×100)과 과실 사진-1.

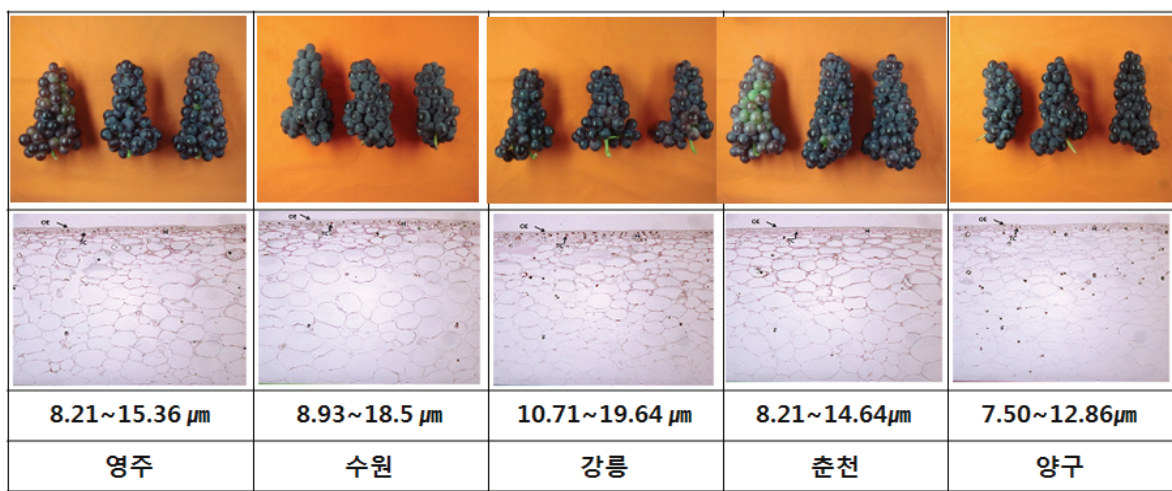


그림 11. 지역별 과피의 조직 사진(×100)과 과실 사진-2.

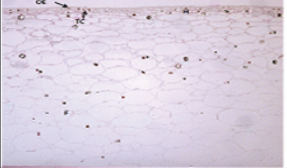
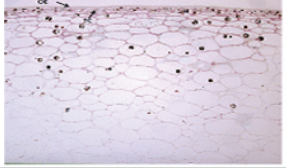
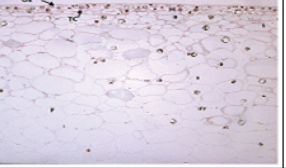
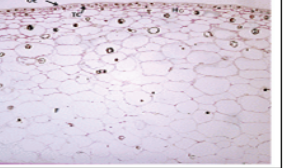
			
			
7.50~12.86	9.29~16.07	9.64~15.71	14.64~26.43
양구 400m	양구 450m	양구 500m	양구 800m

그림 12. 지역별 과피의 조직 사진($\times 100$)과 과실 사진-3.

□ 제2세부과제 : 감귤의 생산성, 품질 및 재배적지의 영향평가 및 적응대책 연구

제1절 연구개발수행 내용

본 연구는 2008년부터 2009년까지 난지농업연구소(2008)와 온난화대응농업연구센터(2009)에서 수행되었으며, 연구의 수행지역은 제주도 일원에 분포한 감귤과수원에서 이루어졌다. 본 연구의 기초가 되는 기상자료는 제주도 일원의 17개 지점에서 수집한 2004년부터 2008년까지 5년간 난지농업연구소, 온난화대응농업연구센터, 감귤시험장, 제주도농업기술원에서 수집한 자료를 사용하였으며(그림 1), 수집한 기상자료는 기온, 강우량이며, 분석의 필요에 따라 최고, 최저, 평균, 일교차 등의 값으로 산술하여 활용하였다.

생육기 자료로는 발아일, 개화일 자료를 활용하였으며, 과실 비대량과 생산량 자료를 참고로 활용하였다. 기상요소와 과실특성 간의 상관분석을 위해 과실특성 중 과중, 당도, 산도 등을 조사하였다. 자료의 분석은 기온과 감귤특성 간 상관분석을 주로 활용하였다.

자료의 표출을 위해 해상도 270m² 급의 제주의 연평균기온분포도와 강우량 분포도를 제작하였다(그림 2, 3), 제주도 평년 기후도 작성은 1970~2004년 제주도 4개 지역 기상대에서 측정한 기상자료를 분석하여 Arc View GIS 프로그램을 이용하여 1/5000 수치지형도로부터 10m 간격의 등고선 및 표고점 레이어를 추출하여 TIN을 작성하였다. 고도에 따른 지점별 온도분포를 분석하기 위하여 GIS프로그램의 공간분석도구를 이용 제주지역을 10×10m², 50×50m²의 격자의 DEM(전자고도모델)을 작성한 후 기후 내삽 모델을 이용하여 온도를 보정하였다. 감귤의 재배지 분포도

제작은 난지농업연구소에서 작성한 감귤의 기후적 생육적지 판정 모형을 이용하여 연평균 기온이 15.5℃ 이상 지역을 재배적합지(청색), 13.8~15.4℃ 지역을 재배가능지(녹색), 13.7℃이하 지역을 재배부적지(백색) 3등급으로 구분하여 온도상승정도에 따른 재배지 변동 상황을 표현하였다.

기온상승 정도를 나타내기 위해 기상청에서 제공받은 A1B시나리오를 근간으로 “온난화에 따른 주요 원예작물의 재배지대 변동평가(책임자: 온난화대응농업연구센터 서형호)” 과제에서 제작된 해상도 30m² 급의 연평균기온 예측도를 이용하였다(그림 4).

감귤의 재배적지를 표출하기 위해 고품질 감귤의 생산에 적합한 기준온도를 도출하고, 이를 적지, 준적지, 부적지의 3단계로 나누어 분류한 후 제작된 평년(1971~2000) 연평균기온분포도에 대입하여 공간분포 특성을 표출하였으며, 기온상승 정도별 재배적지 변동 분석을 위해 A1B 시나리오를 근간으로 연평균기온 예측도에 기준온도를 내삽하여 재배적지 변동 예측도를 제작하였다.

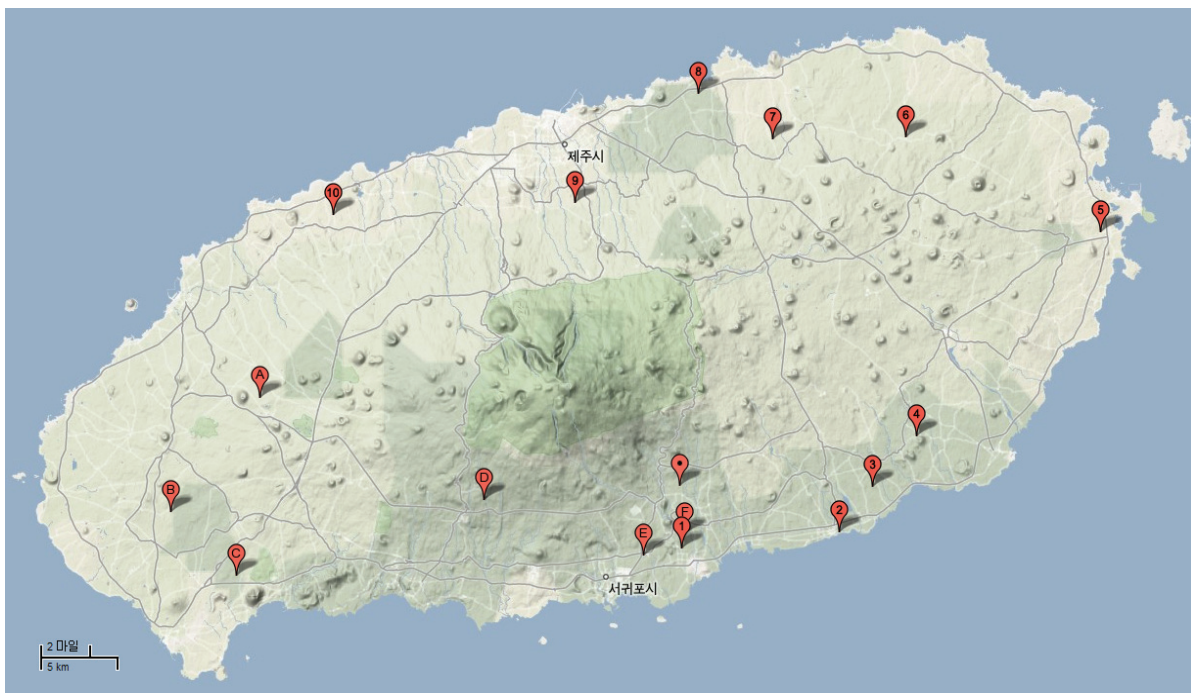


그림 1. 제주도 감귤 조사 과원 분포도.

북 부: 아라, 신촌	남 부: 하원, 신호, 하례, 신흥,
동 부: 성산, 덕천	서 부: 고산, 금악,
동남부: 토산	서남부: 창천, 덕수

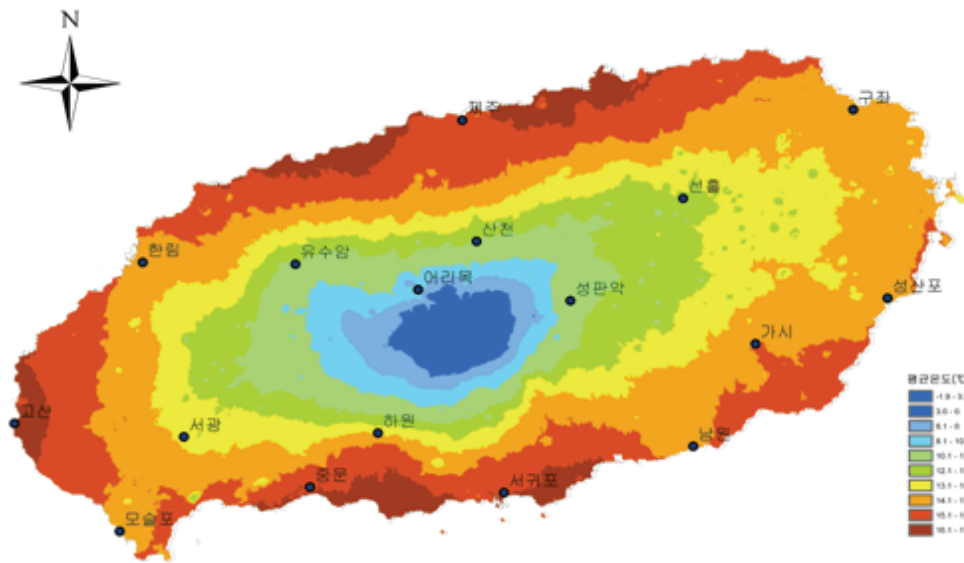


그림 2. 감귤 재배적지 구분을 위한 제주도 평년기온도(1971-2000) 제작.

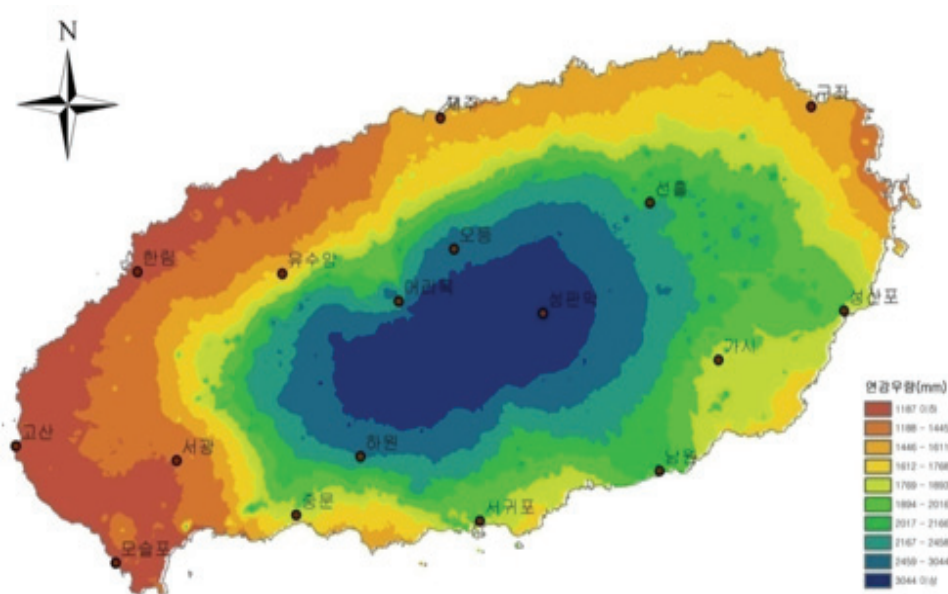


그림 3. 감귤 재배적지 구분을 위한 제주도 평년강우도(1971-2000) 작성.

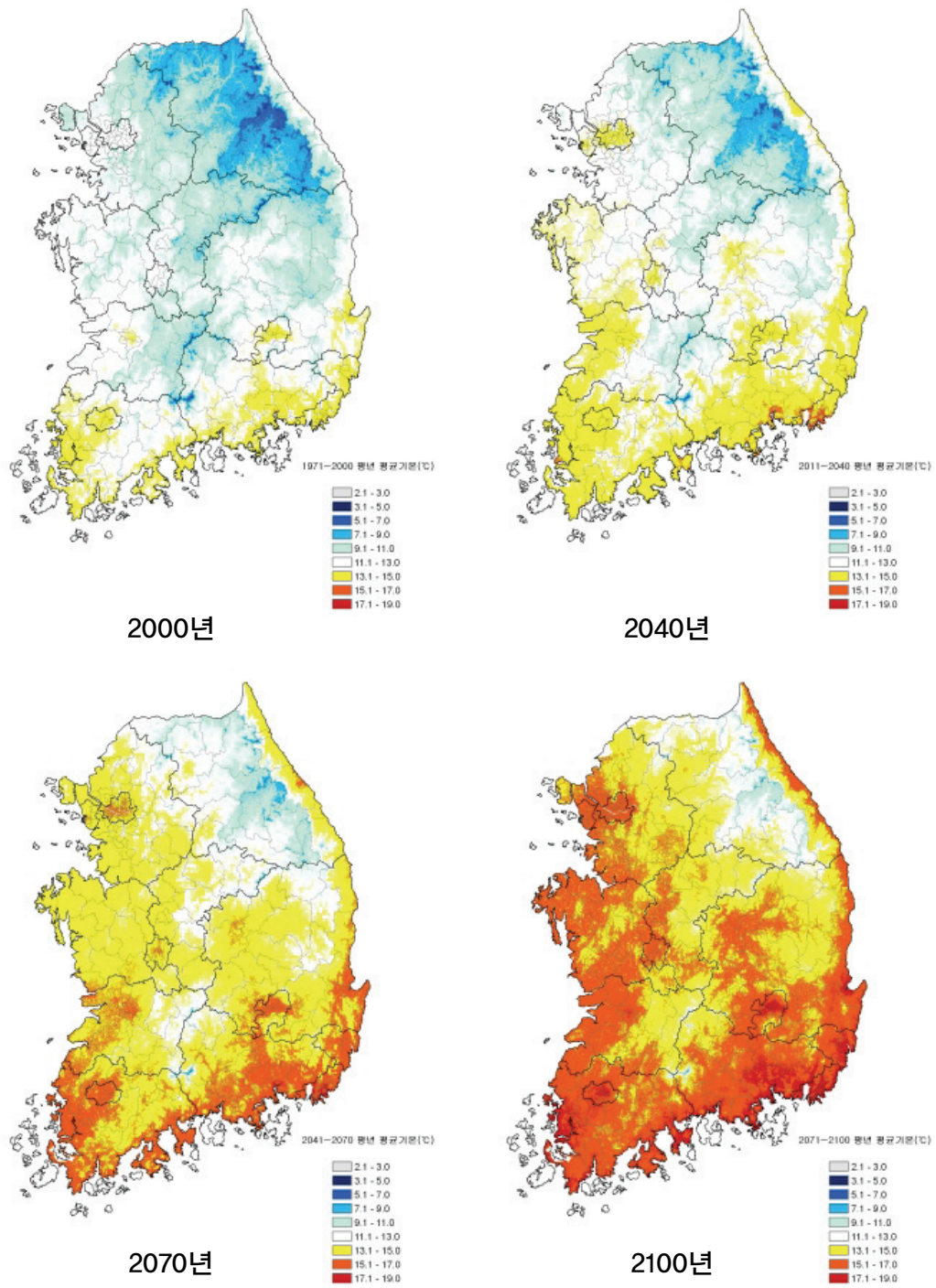
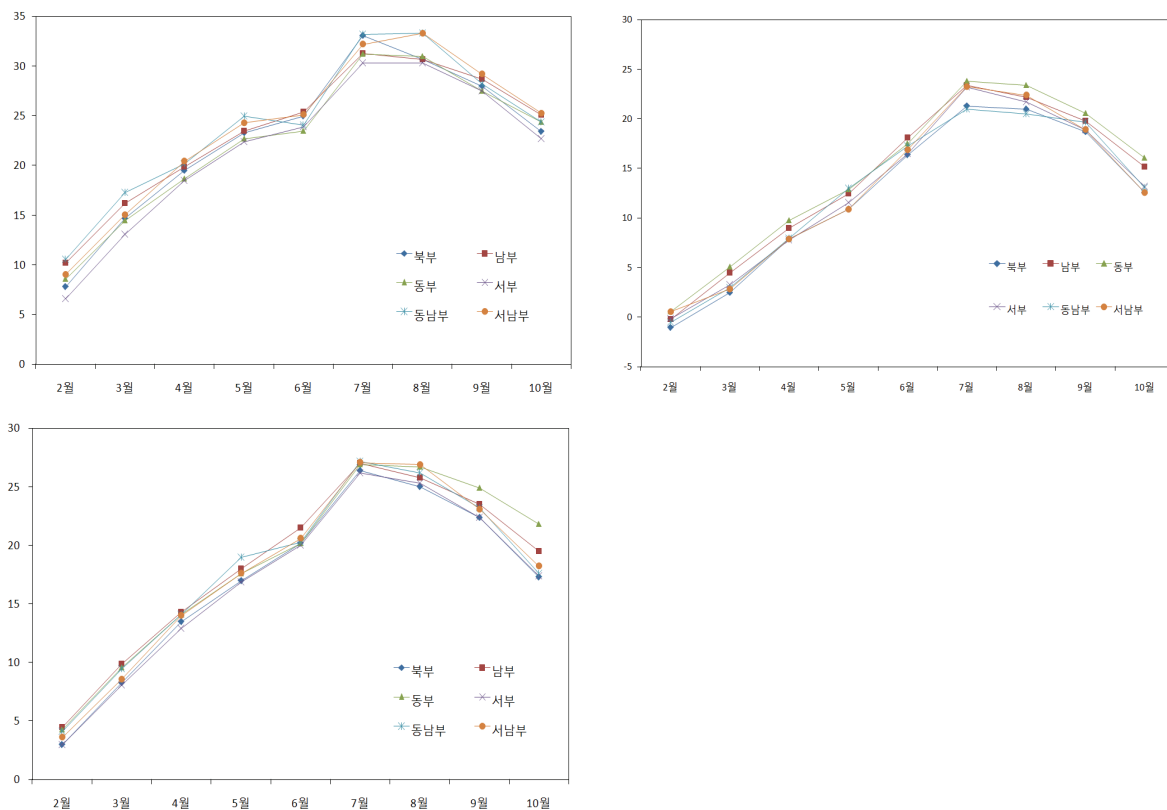


그림 4. A1B 기온상승시나리오에 연평균기온분포도 (2000, 2040, 2070, 2100).

제2절 제주도 감귤 재배지 기온, 생육기, 과실품질 비교

제주 감귤 재배지의 기온분석은 지역별로 다소 차이를 나타내고 있었다. 주로 제주의 남부와

동부에 위치한 지역의 기온이 전반적으로 높게 유지되었으며, 북부와 서부지역이 상대적으로 낮은 경향을 보였다(그림 5). 그러나 감귤 과수원의 위치가 서부와 북부에 위치되어 있을지라도 대부분 국지적으로 감귤 생육에 문제가 없는 기온대에 위치하고 있으므로 수집한 기온 값으로 감귤의 생육과 품질의 차이를 명확하게 판단하는 것은 무리가 있을 것으로 생각되었다. 향후 관련 연구가 진행된다면, 인위적으로 기온의 편차를 줄 수 있는 지역에서 연구를 수행하거나 인공적으로 기온을 조절할 수 있는 파이토포톤(Phytotron)이나 대형 챔버에서 수행하는 것이 적합할 것으로 판단되었다.



좌상: 최고기온 우상: 최저기온 좌하: 평균기온

그림 5. 제주 감귤재배지 지역별 기온 비교(2008년 기준).

지역별 온주밀감의 발아기, 개화기 및 만개기를 분석한 결과 남부지역이 발아기(4월 9일), 개화기(5월 9일) 및 만개기(5월 15일)가 타 지역보다 빨랐으며, 3~5월 평균온도가 낮은 북부지역이 2일정도 늦었다(표 1).

표 1. 지역별 감귤의 발아기, 개화기 및 만개기

지 역	발아기(월일)	개화기(월일)	만개기(월일)
북 부	4. 13	5. 12	5. 19
남 부	4. 9	5. 9	5. 15
동 부	4. 11	5. 10	5. 16
서 부	4. 11	5. 14	5. 20
동 남 부	4. 11	5. 12	5. 18
서 남 부	4. 10	5. 11	5. 16
평 균	4. 11	5. 11	5. 17

지역별 감귤품질을 조사한 결과 과중은 99.8~112.6g, 과피두께는 2.2~2.4mm, 산함량은 1.11~1.41%, 당도는 7.5~9.0°Bx범위로 지역별 차이가 없으나, 착색도는 9월 이후 일교차가 가장 큰 서남부 토산리 지역이 제일 높았다(표 2).

표 2. 지역별 감귤품질 특성비교

지 역	과중(g)	과피두께(mm)	착색도(L값)	당도(°Bx)	산함량(%)
북 부	110.0 ^{NS}	2.4 ^{NS}	58.6 ^{NS}	8.0ab	1.22b
남 부	112.6	2.3	55.0	8.1ab	1.11c
동 부	105.3	2.3	50.7	7.9ab	1.34b
서 부	99.8	2.3	61.9	8.8a	1.41a
동남부	111.8	2.3	54.5	7.5b	1.13c
서남부	110.0	2.2	63.6	9.0a	1.41a
평 균	108.3	2.3	57.4	8.2	1.27

* DMRT

감귤 과실의 품질과 기온, 강수량 간의 관계를 다양하게 상관 분석하였으나 뚜렷한 관계가 나타나지 않았으나, 강수량과 산함량 간에는 유의한 상관이 있었다. 감귤의 산함량과 강수량과의 상관을 분석하기 위하여 과실성숙기인 8월 1일부터 10월 15일까지 지역별 강수량과 10월 16일 감귤의 산함량을 2차 회귀분석을 한 결과(그림 5), 강수량이 많을수록 감귤의 산함량은 낮아지는 부의 상관을 나타내었다. 이를 바탕으로 연평균기온분포도를 이용하여 산함량이 1.0으로 예상되는 지역을 표출한 결과는 그림 7과 같다.

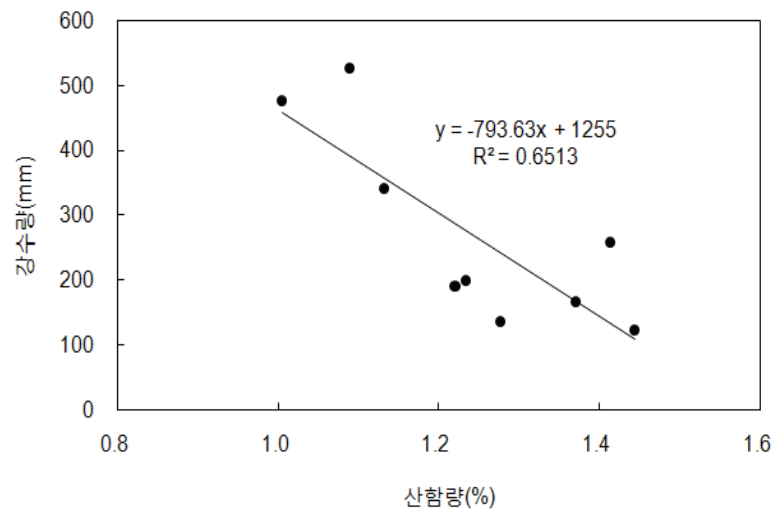


그림 6. 과실성숙기(8.1~10.15) 강수량과 산함량 간의 관계분석.



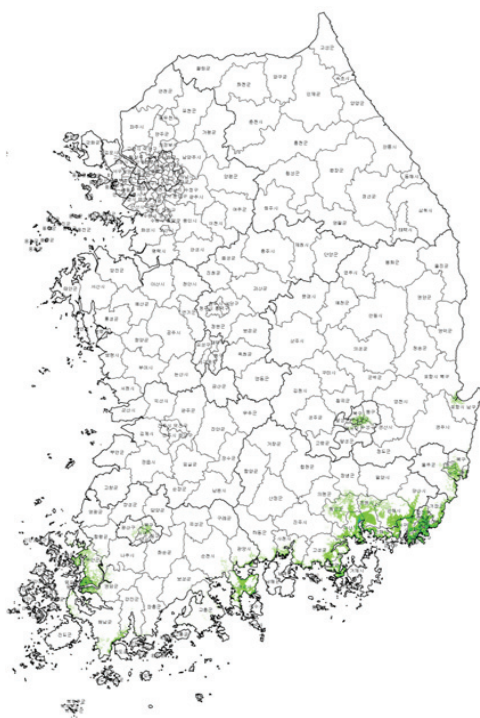
그림 7. 산함량이 1.0%로 추정되는 지역(청색으로 표시).

제3절 감귤의 기후학적 재배적지와 기온상승에 따른 변동 예측

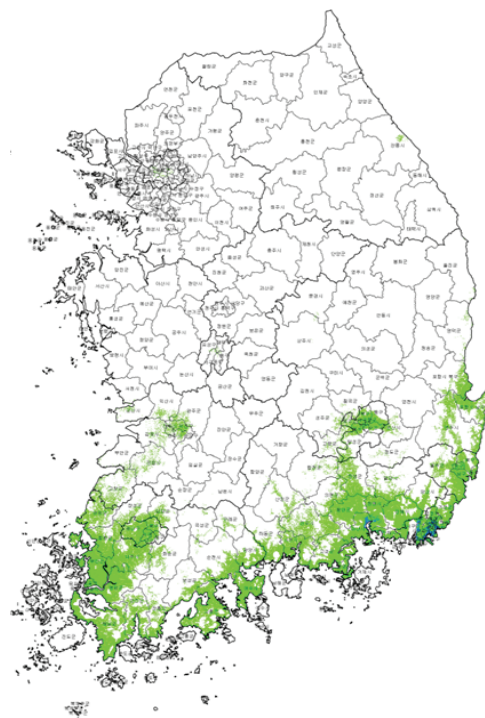
그림 7과 8은 감귤 재배에 적합한 기온대를 근거로 예측한 결과로 청색부분은 감귤 재배에 적합한 지역을 나타내며, 녹색부분은 경제적으로 감귤재배가 가능한 지역을 나타내고 백색부분은 감귤 재배부적지를 나타낸다. 연도별 감귤 재배적지의 변화는 기상청 발표 A1B 기온상승시나리오(2070~2010년까지 연평균기온이 약 4℃ 상승할 것으로 예측한 시나리오)에 근거하여 기온상승에 의해 공간적인 변동을 분석하였다.

제주도의 경우(그림 9), 기온이 상승함에 따라 감귤 재배지는 해발 200m이하 해안, 평지에서 250~350m 산간지 및 산지로 이동되는 것을 알 수 있으며, 연평균온도가 2.0℃ 정도 상승하는 2040년경에는 연평균기온 15.5℃이상 감귤 재배적합지(청색) 면적은 현재보다 36배 확대되는 것을 예측할 수 있었다. 그리고 기온이 상승함에 따라 감귤 재배지는 남쪽(제주도)에서 북쪽으로 재배지대가 확대하고 있는 것을 알 수 있으며(그림 8), 평균기온이 2℃ 상승 정도 상승하는 2040년경에는 남해안 도서지방, 전남 및 경남 평야지 까지 재배지가 북상할 것으로 예측되었다. 우리나라는 매우 복잡한 지형적인 특징을 가지고 있어서 동일지역이라도 상당히 국지적기후 특성이 다르기 때문에 전체 지역이 평균기온으로 재배적지를 선정하는 것은 다소 무리가 있으나 현재 수준에서는 타당한 예측이라고 생각할 수 있다. 과수의 적지판정에는 1차적으로 연평균기온을 중심으로 판정하지만 이외에도 생육기(4~10월)의 평균기온, 온량지수, 적산온도 등은 과실이 정상적으로 생육, 성숙하기 위해서 어느 정도의 기간 및 기온의 최저 필요 하는지를 나타내는 지표이며 주로 북한계지점 추정에 유효한 것이다(小野祐幸, 2003). 그리고 감귤은 연년생작물이므로 생육기 온도뿐만 아니라 겨울철 저온과 극최저 온도가 감귤재배적지를 판정하는 주요인이기 때문에 재배적지 판정은 신중하게 결정되어야 한다고 사료된다.

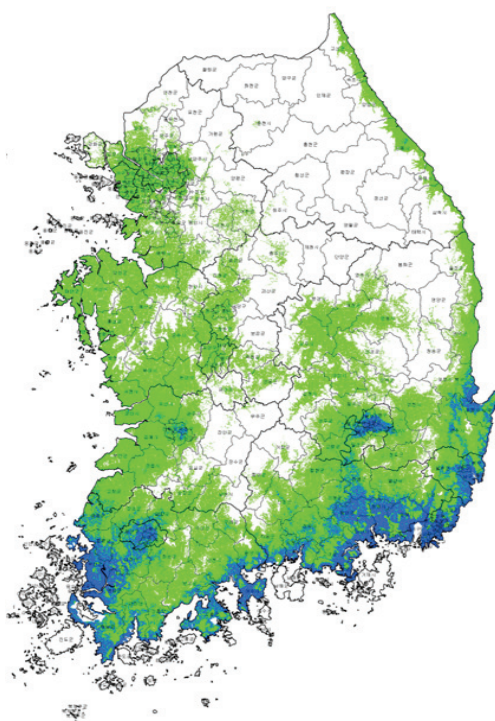
또한 본 자료의 감귤재배지 변동 예측도는 기온상승시나리오에 근거하고 있으므로, 시나리오가 가지고 있는 불확실성으로 인하여 일부지역 및 연도별 오류가 발생할 수 있으므로 거시적인 관점에서 미래 농업정책 수립을 위한 기초 자료나 대농민지도 참고자료로 활용해야 할 것으로 판단된다.



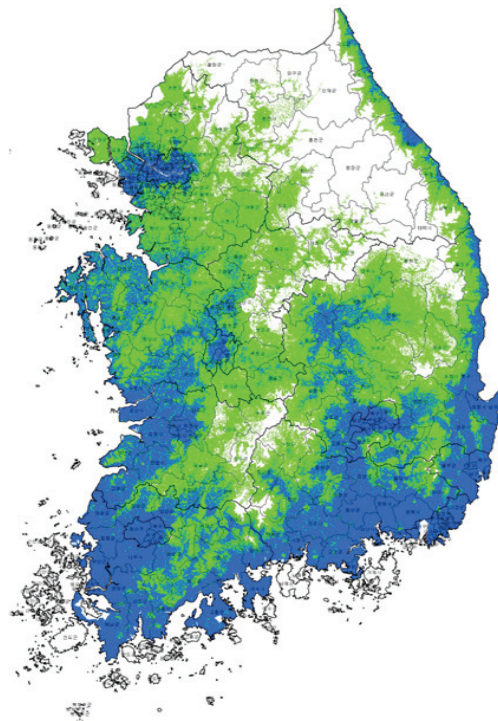
2000년



2040년



2070년



2100년

■ 재배적합지 ■ 재배가능지 □ 재배불가능지

(기상청 AIB 기온상승시나리오 적용, 해상도 30m)

그림 8. 감귤의 기후학적 재배적지 구분 변동 예측도.

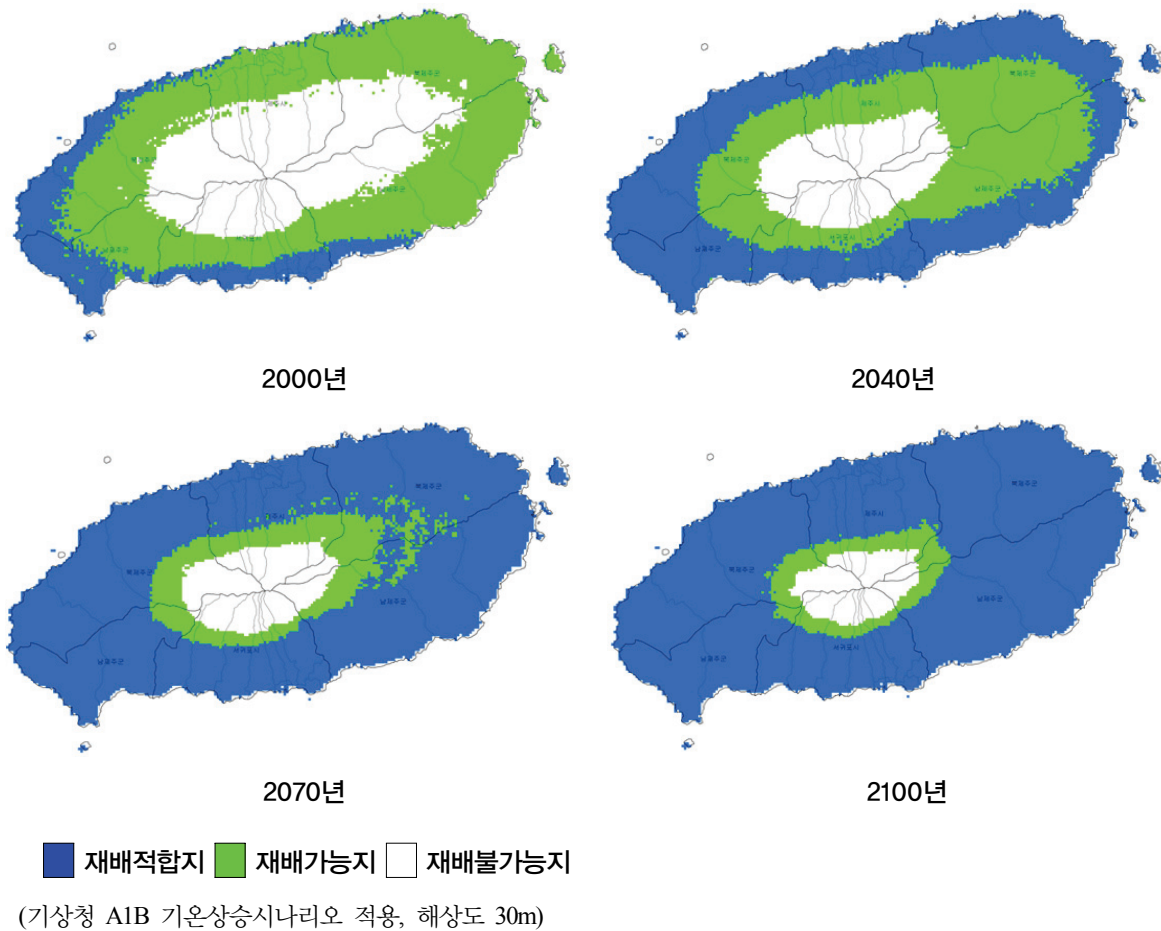


그림 9. 제주지역 감귤의 기후학적 재배적지 구분 변동 예측도.

□ 제3세부과제 : 기온상승이 주요 과수의 생물계절 변화에 미치는 영향평가

제1절 자료 및 방법

1. 휴면시계모형

휴면시계모형의 기본골격으로 본 연구에서는 이탈리아 생물기상연구소(IBIMET)에서 개발한 chill-day 모형을 사용하였다 (Cesaraccio et al., 2004). Cesaraccio et al. (2004)의 휴면시계모형에서는 온대낙엽과수의 휴면기를 내생휴면기간(period of rest)과 환경휴면기간(period of quiescence)으로 나누어 표현한다. 낙엽이 지는 시기 또는 수확 후부터 내생휴면이 타파(breaking rest)되는 날까지 매일 Table 1에 따라 음수 값을 갖는 chill days를 계산하여 적산하고 그것을 저온요구도

(chilling requirement)라고 한다. 또한 내생휴면이 타파된 이후부터 Table 1에 따라 매일 anti-chill days를 적산하여 저온요구도를 모두 상쇄시키는 날을 예측 발아기(budburst)로 출력한다. 여기서 기준온도(temperature threshold, TC)는 저온요구도와 함께 품종마다 고유한 값을 갖는 모수로서 기준온도에 따라 계산되는 chill days 및 anti-chill days가 달라진다. 기본적으로 내생휴면타파를 위한 저온효과는 0°C에서 TC 내에서 효력을 발휘하는 것으로 먼저 0°C를 기준온도로 한 degree days를 계산하고 여기서 TC를 기준온도로 한 degree days인 anti-chill days를 빼어 chill days를 계산한다. 그리고 TC와 저온요구도 조합들을 계산하여 온대낙엽과수의 발아기 예측 값과 실측 값 간의 RMSE(root mean square error)를 최소화하는 모수를 최종적으로 찾아낸다. 또한 RMSE가 동일할 경우 TC가 가장 작은 모수조합을 선택한다.

2. 내생휴면해제일 추정

1) 실험개요

Cesaraccio et al. (2004)의 휴면시계모형을 배 품종 신고의 발아 및 개화기 예측에 사용할 수 있도록 수정하기 위해 실험 대상 수종의 내생휴면해제일 추정실험을 2년 연속 실시하여 그 결과를 모수추정에 이용하였다. 내생휴면해제일 추정실험은 매년 겨울 보조 실험과 본 실험으로 나누어 진행하였다. 이때 휴면해제에 영향을 미치는 요소를 기온으로 한정하고 내생휴면이 완료되지 않은 상태로 생육에 적합한 환경에 놓이면 저온요구도가 충족된 눈에 비해 발아에 이르는 시간이 지연된다고 가정하였다. 시료를 채취한 포장의 기온자료를 수집하여 휴면해제일까지 온도시간(chill-days)을 적산함으로써 기준온도 및 저온요구도를 결정하였다. 발아 이후 개화에 걸리는 기간도 온도시간으로 표현하였다. 이들 최적모수로 수정된 휴면시계모형을 이용하여 최근 10년간 수원지방의 신고 개화기를 추정하고 실측자료와 비교하였다.

2) 최소발아일수 추정(실험 1)

2007년 겨울(1차년도)과 2008년 겨울(2차년도)에 경기도 수원시 이목동 소재 국립원예특작과학원(National Institute of Horticultural & Herbal Science, NIHHS)에서 휴면해제일 추정실험을 반복 실시하였다. 2007년 12월 12일 낙엽 완료 이후 신고, 후지, 장호원황도와 천중도백도의 도장지를 90cm로 70개를 절단하였고 2008년 12월 10일에는 도장지 110개를 채취하였다. 수거된 시료는 45cm로 이등분하였으며 아래쪽 가지의 윗부분에 향진균제(상품명 Topsin Paste, 성분명 thiophanate-methyl)를 도포하여 수분의 증발을 억제하였다. 또한 세균 감염을 피하기 위해 70% 에탄올을 분사하고 가지가 완전히 마르기 전에 증류수를 분무하여 에탄올에 의한 탈수를 방지하였다. 처리된 시료는 모두 3°C 저온저장고에 보관하여 예냉처리하였고 일주일 간격으로 향진균제가 처리된 가지 5개와 향진균제 비치리 가지 5개를 25°C 생장상에 수삽하였다.

Table 1. Equations to calculate chill days (Cd) and anti-chill days (Ca) for the five cases that relate the daily maximum (Tx) and minimum (Tn) temperature to the threshold temperature (Tc) and 0°C, where TM is the mean daily temperature (Cesaraccio et al., 2004)

Case	Temperature	Chill Days (Cd)	Anti-Chill Days (Ca)
1	$0 \leq T_c \leq T_n \leq T_x$	$C_d = 0$	$C_a = T_M - T_c$
2	$0 \leq T_n \leq T_c \leq T_x$	$C_d = -\left[(T_M - T_n) - \left(\frac{T_x - T_c}{2}\right)\right]$	$C_a = \frac{T_x - T_c}{2}$
3	$0 \leq T_n \leq T_x \leq T_c$	$C_d = -(T_M - T_n)$	$C_a = 0$
4	$T_n \leq 0 \leq T_x \leq T_c$	$C_d = -\left(\frac{T_x}{T_x - T_n}\right)\left(\frac{T_x}{2}\right)$	$C_a = 0$
5	$T_n \leq 0 \leq T_c \leq T_x$	$C_d = -\left[\left(\frac{T_x}{T_x - T_n}\right)\left(\frac{T_x}{2}\right) - \left(\frac{T_x - T_c}{2}\right)\right]$	$C_a = \frac{T_x - T_c}{2}$

3) 내생휴면해제시기 추정(실험 2)

2007년 12월 15일부터 2008년 3월 15일까지 매주 NIHHS 포장에서 신고, 후지, 장호원황도 및 천중도백도의 도장지를 새로 채취 후 5개의 가지를 선별하였으며 45cm의 길이로 절단한 뒤 70% 에탄올과 증류수로 소독하였다. 준비한 시료는 실험 1시료와 함께 기부를 비스듬히 절단하여 증류수 150mm를 담은 삼각플라스크에 하단이 잠기도록 넣고 25°C 생장상에서 발아를 유도하였다. 2008년 12월 13일(1주차)에는 NIHHS 포장에서 신고 도장지를 5개 채취한 후 1차년도 실험과 같은 방법으로 시료를 처리하였다. 실험 1 시료와 함께 격자형 거치대에 가지를 하나씩 묶은 다음 살균제 용액(상품명 다코닐, 성분명 chlorothalonil) 0.05% 1L를 담은 트레이에 가지 기부가 잠기도록 한 뒤 25°C 생장상에 넣었다. 용액은 곰팡이 발생을 방지하기 위하여 주 1회의 간격으로 교체하였다. 2차년도에는 NIHHS 포장에서 겨울 전정 실시로 인하여 2008년 12월 20일부터 2009년 2월 28일까지 NIHHS로부터 남동쪽으로 약 11.5km에 위치한 경기도농업기술원(Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services, GARES)의 포장에서 신고와 후지 시료만 채취하여 동일하게 진행하였다. 1차년도에는 매일 오후 2시 30분에서 4시 사이, 2차년도에는 오전 10시에서 오전 11시 30분 사이에 25°C 생장상에 수습된 시료의 발아 여부를 관찰하였다. 포도를 제외한 일반적인 과수 눈의 발아판정 조건은 꽃눈의 인편이 1-2mm이상 밀려나왔을 때를 발아한 것으로 보는데 본 실험에서는 화충 발현기 (Westwood, 1993)를 발아기로 기록하여 발아소요기간 계산에 이용하였다. 매일 기록한 발아기를 수습처리 이후 발아에 도달하기까지 걸린 기간으로 변환하고 실험 1과 실험 2에서 매주 처리된 시료에 대한 발아소요기간의 평균 및 표준편차를 계산하였다. 실험 1에서 최소발아일수를 도출하고 실험 2의 매주 발아소요기간 변화곡선에서 최소발아일수가 나타나는 시기를 찾아내어 해당 시료 채취 일을 포장에서 내생휴면이 타파된 것으로 간주하였다.

3. 품종모수 추정

1) 발아기 예측을 위한 모수

NIHHS 포장에서 관찰된 신고와 후지의 1994-2008년 발아기 및 만개기 자료, GARES 포장에서 2001-2009년까지 관찰된 신고와 후지의 발아기와 2000-2008년까지의 만개기 자료를 제공받았다. 복숭아의 경우 장호원황도와 천중도백도의 장기간 자료가 없어 창방조생 자료로 대체하였다. 기온자료로는 NIHHS의 사과 시험포장 내 자동기상관측망(Automatic Weather Station, AWS)에서 측정된 2007년 10월 1일부터 2009년 3월 26일까지 일별 최고 및 최저기온자료를 수집하였고 2005년 이전 자료는 수원기상대의 기온자료로 대체하였다. 또한 GARES 포장으로부터 200m 가량 떨어진 과원의 AWS에서 1993년 8월 3일부터 2009년 3월 31일까지 측정된 일 최고 및 최저기온 자료를 수집하였다. 1차년도 내생휴면해제일 모수를 추정하기 위해서는 NIHHS-AWS의 기온자료를 이용하였으며 2차년도 모수추정에서는 GARES-AWS 기온자료를 사용하였다. 이는 NIHHS 포장의 겨울 전정 실시로 실험 2의 시료를 GARES 포장에서 공급받았기 때문이다. 온대낙엽과수가 정확하게 휴면에 들어가는 시기를 알 수 없지만 휴면시계모형에서 일 최저기온이 기준온도 이하로 내려가지 않으면 실제 냉각량이 축적되지 않기 때문에 chill days 적산 시작일을 편의상 10월 1일로 설정하였다 (Jung et al., 2006). 기준온도를 임의의 숫자(1℃ 단위)로 가정하여 실험을 통해 추정한 내생휴면해제일까지 매일의 chill days를 적산하였다. 내생휴면해제 다음날부터는 같은 기준온도에서 anti-chill days를 누적하여 chill days 적산량을 모두 상쇄시키는 날을 예상 발아기로 출력하였다. 이때 예상 발아기가 실측 발아기와 가장 가깝게 나타난 온도 범위에서 다시 0.1℃ 단위까지 기준온도를 세분화하여 예상 발아기를 출력하고 실측 발아기와 ±1일 오차범위에서 일치하는 해당 기준온도와 chill days 적산량, 즉 저온요구도를 신고의 모수로 결정하였다. 평균 발아일에 근거한 휴면해제일 추정실험과는 별도로 실험 2의 매주 시료 채취일이 바로 포장상태에서 내생휴면이 타파된 날이라는 가정 하에 각각의 가상 휴면해제일마다 발아에 필요한 모수를 추정하였다. 추정방식은 평균 발아일을 기반으로 한 모수도출 방법과 동일하였다. 1차년도 실험의 모수들은 1994년부터 2007년까지 NIHHS 신고, 후지, 창방조생 실측 발아기 자료와 비교하여 RMSE가 가장 작은 모수를 선택하였다. 2차년도의 모수는 GARES 포장의 신고 실측 발아기 자료(2001-2008년)와 비교하여 RMSE가 가장 작은 모수를 선택하였다. 선택된 1차와 2차년도의 모수에서 최종적으로 예측 신뢰도가 가장 큰 모수를 선발하였다.

2) 만개기 예측모수

만개기는 정상 수세인 나무에서 꽃눈이 70~80% 정도 개화되었을 때의 날짜를 조사한 것이다. 포장에서의 신고, 후지, 창방조생의 개화기 조사자료가 없는 관계로 개화기 대신 만개기를 예측하였다. 신고, 후지, 창방조생의 발아기 예측오차를 최소한으로 줄인 모수가 휴면 및 발아와 온도 시간의 관계를 가장 잘 반영한 것으로 가정하고 최종 선택된 기준온도와 저온요구도를 생물계절 모형에 넣어 만개기 예측모수(heating requirement, Hr)를 산출하였다. GARES-AWS 기온자료를 이

용하여 2001년에서 2008년까지 매년 모형으로부터 출력된 내생휴면해제일 다음날부터 실측 만개기까지의 anti-chill days를 적산하였다. 매년 anti-chill days 적산량을 평균한 값을 Hr로 도출하여 발아기 추정모수와 함께 생물계절모형에 넣고 anti-chill days를 적산하여 Hr에 도달하는 날짜를 예상 만개기로 출력하였다.

4. 모형 검증

이 모형에 의한 개화기 예측의 적합성을 검증하기 위하여 국립농업과학원 (1990)의 발육속도 모형을 이용한 만개기 예측값과 비교하였다. 국립농업과학원 (1990)에서 제시한 만개기 추정 발육속도모형은 다음과 같다.

$$DVS = \sum_{i=1}^n DVR_i \quad (1)$$

$$DVR_i = \left\{ \frac{1}{(A - B^t)} \right\} \cdot 100 \quad (2)$$

여기서 t는 일 평균기온으로서 5℃보다 낮을 경우에는 DVR을 0으로 하며 A와 B는 상수로 품종에 따라 다르다. A의 경우 신고는 107.94, 후지는 95.6, 창방조생은 73.6 이며, B의 경우 신고는 0.9 후지는 4.5 창방조생은 3.8이다. 매일의 DVR을 적산한 DVS가 100이 될 때를 만개기로 간주한다. 2000년부터 2008년까지 GARES-AWS 기온자료를 이용하여 생물계절모형과 발육속도모형로 만개기를 출력하였으며 만개기 실측자료와 대조하고 RMSE를 계산하여 두 모형간의 예측 신뢰도를 비교하였다.

제2절 결과

1. 최소발아일수

2007/2008 겨울 및 2008/2009 겨울 등 2차에 걸친 최소발아일수 추정실험을 수행한 결과, 대부분의 꽃눈의 발아소요기간은 실험 시작 이후 점차 감소하다가 1월 중순부터는 매주 채취된 꽃눈의 발아소요기간 평균값의 감소가 완만해지는 양상이 나타났다. 1차년도인 경우 5주차(1월 12일 처리)부터 9주차(2월 9일 처리)까지 발아소요기간이 안정화되는 양상을 나타내었다 (Fig. 1). 이 기간 동안 평균적인 발아소요기간은 신고의 경우 7~8일이며 이것을 1차년도의 최소발아일수로 결정하였다. 2차년도인 경우 9주차(2월 7일 처리) 이후의 시료에서부터 임계값이 나타났으며 이

시기의 발아소요기간인 7~8일을 최소발아일수로 결정하였다. 또한 2차년도에 항진균제를 첨가하지 않고 증류수로 처리한 결과도 7~8일로 동일하였다. 따라서 2차년도에 발아유도 환경을 개선하기 위해 수삼처리 과정에서 첨가한 항진균제 용액은 꽃눈의 최소발아일수 도출에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

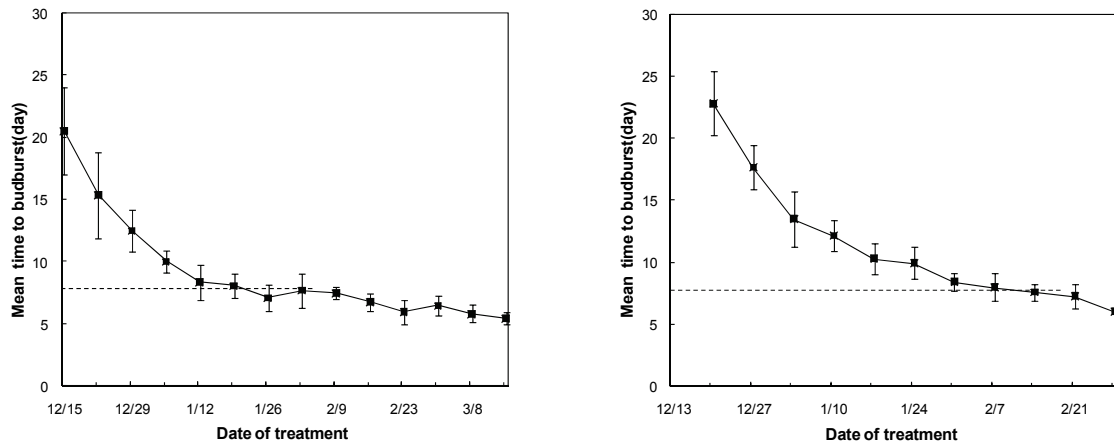


Fig. 1. Average number of days to floral budburst of Niitaka pear since translocation from 4°C chambers to 25°C chambers in 2007 (left) and 2008 (right). Vertical bars indicate one positive and one negative standard deviation from the center symbols which are the arithmetic means.

2. 내생휴면해제일

1차 및 2차년도 모두 매 처리시기마다 발아소요기간이 지속적으로 감소하였다. 1차년도 실험 2 결과에서 싹고 꽃눈의 최소발아일수가 나타나는 시기는 2008년 2월 9일과 2월 16일 사이로 추정되었다 (Fig. 2). 일반적인 낙엽과수에서는 0°C 이상이 휴면타파에 유효한 것으로 알려져 있는데 (Lamb, 1948; 오 등, 2004) 2월 12일과 13일에는 일 최고기온이 영하로 떨어졌으므로 그 직전까지 휴면이 완료되었다고 가정하여 내생휴면해제일을 2월 11일로 추정하였다. 2차년도 실험 2에서 꽃눈의 최소발아일수가 나타나는 시기는 2009년 2월 7일과 2월 14일 사이로 2월 11일을 내생휴면해제일로 판단하였다 (Fig. 2). 2009년 2월 초·중순에는 평년에 비해 높은 기온을 나타내었는데 2월 11일의 경우 최고기온이 8.2°C였으나 12일에 13.9°C, 13일에 17.5°C로 비정상적으로 높은 기온이 나타나 꽃눈의 휴면타파에 영향을 미쳤을 가능성을 고려해 볼 수 있다.

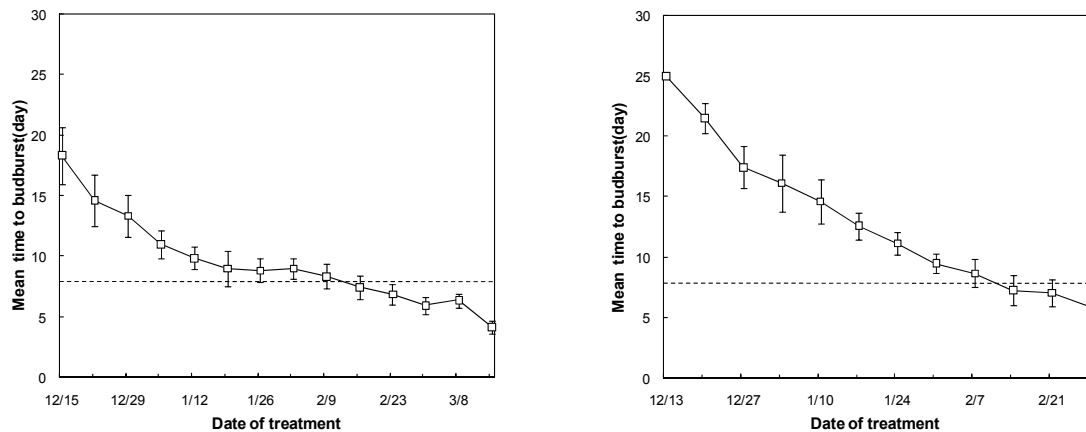


Fig. 2. Average number of days to floral budburst of Niitaka pear since translocation from orchards to 25°C chambers in 2007 (left) and 2008 (right). Vertical bars indicate one positive and one negative standard deviation from the center symbols which are the arithmetic means.

3. 발아기와 휴면심도

1) 휴면실험 기반의 예측

1차 및 2차년도 휴면실험을 통해 추정된 신고 꽃눈의 내생휴면해제일인 2월 11일까지 chill days를 적산하여 모수를 추정한 결과, 1차년도의 NIHHS의 신고 실측 발아기(3월 26일)와 같은 날짜를 발아기로 출력하는 모수는 기준온도 5.2°C, 저온요구도 -113.2로 도출되었다. 또한 NIHHS-AWS의 기상자료와 일치하는 기간인 2007년 10월부터 2008년 3월까지 수원기상대 자료를 이용하여 모수를 추정한 결과, 5.2°C와 -113.1로 1차년도 NIHHS의 모수와 동일한 값을 출력하였다. 따라서 추정된 모수를 1994년부터 2007년까지 수원기상대 일 기온자료와 함께 휴면시계모형에 적용하여 예상 발아기를 출력하고 같은 기간 NIHHS의 실측 발아기와 비교한 결과, RMSE가 7.8일로 추정오차가 매우 컸으며 특히 2000년 이후부터는 예측 발아기가 실측 발아기보다 항상 지연되어 오차가 증가하였다. 이와 같이 큰 오차의 원인 가운데 하나는 NIHHS에서 약 4km 떨어진 수원기상대의 기온자료를 이용한 데서 비롯된 것으로 판단된다. 2000년 이전에는 수원기상대의 주변 환경이나 NIHHS 포장의 환경이 비슷하였던 반면 두 지점의 환경은 가까운 거리에 있다 하여도 공단조성, 택지개발 등의 여파로 관측환경이 크게 달라진 데서 기인되었을 것이다. Han et al. (2008)의 보고처럼 겨울철 기온이 높으면 저온기간의 부족으로 휴면타파시기가 늦어져 결국 발아기가 지연될 수 있는데 도심에 위치한 수원기상대의 2000년 이후 기온은 예상대로 실제 포장의 기온보다 높아졌고 이에 따라 예측 발아기가 실제에 비해 늦어졌을 가능성이 있다. 또한 2000년 이후 겨울 동안 일 평균기온의 연차변이는 1.9°C로 1993-2000년의 연차변이보다 약 0.8°C 증가하였는데 이와 같은 연차변이의 상승도 발아기의 예측을 어렵게 하는 요인으로 작용했을 것이다. 2차년도의 경우 GARES의 2009년 실측 발아기(3월 17일)와 같은 날짜를 발아기로 출력하는

모수는 기준온도 4.4℃, 저온요구도는 -81.8로 추정되었으며 추정된 모수를 토대로 2001년부터 2008년까지 GARES-AWS 일 기온자료로부터 예상 발아기를 계산한 결과 RMSE는 4.3으로 1차년도에 비하여 감소하였다.

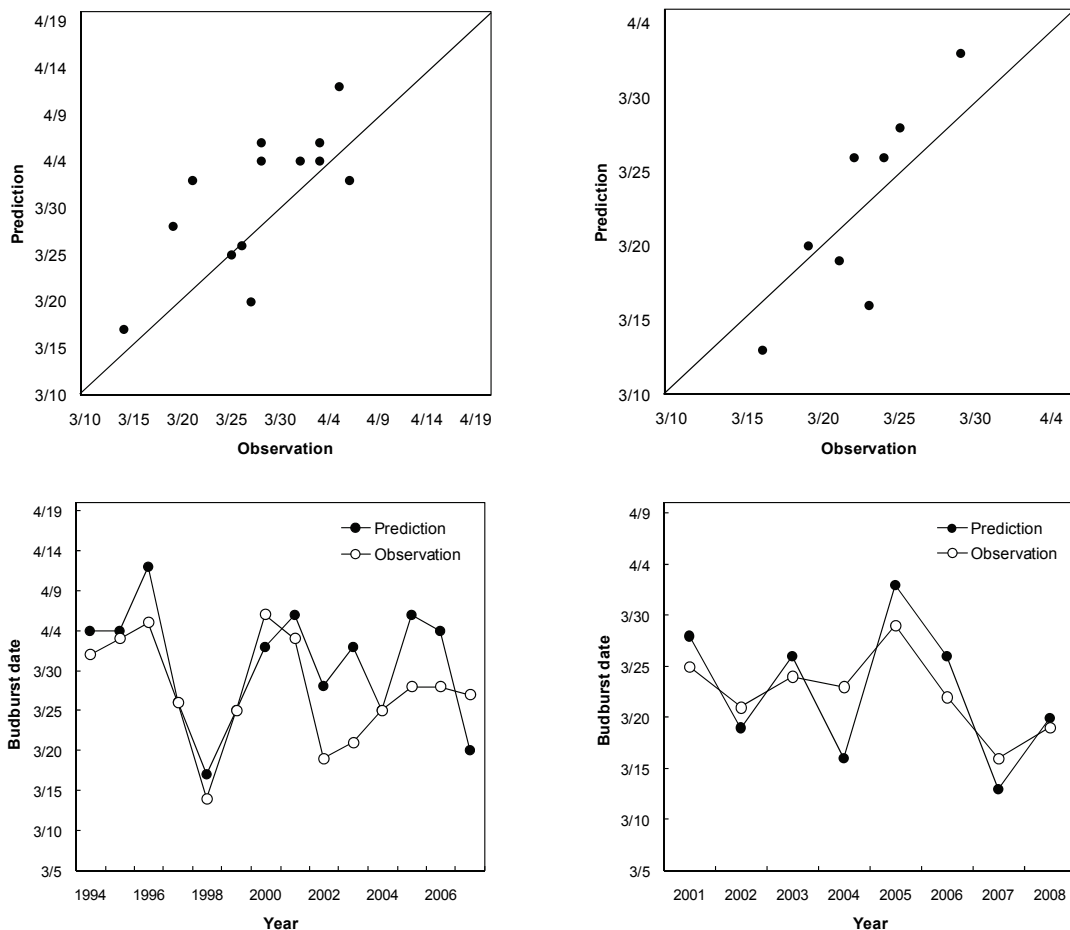


Fig. 3. Comparison of the observed floral budburst dates with those predicted by the dormancy clock model adjusted with parameters $TC=5.8^{\circ}C$, $Cr=-104.4$ derived from the phenology data of NIHHS orchards and synoptic temperature data at Suwon weather station in 1994–2007 (left), and with parameters $TC=5.4^{\circ}C$, $Cr=-86.4$ derived from both phenology and temperature data at GARES orchards in 2001–2008 (right).

2) 포장 관찰자료 기반의 예측

1차년도 실험 2의 2주차(12월 22일 처리)부터 10주차(2월 16일 처리)까지의 매주 시료채취일을 내생휴면해제일로 가정한 각각의 추정모수들을 수원기상대 기온자료와 1994년부터 2007년까지의 NIHHS 포장의 실측 발아기 자료로 검증하였다 (Fig. 3). 이들 중 발아기 예측오차가 가장 작았던 모수는 휴면해제일을 1월 5일(4주차)로 가정하여 추정하였던 기준온도 5.8℃, 저온요구도

-104.4 모수조합이었다. 이는 실험을 통해 추정된 휴면해제일 2월 11일 보다 한달 이상 앞선 것으로 RMSE는 7.8에서 6.2로 감소하였다. 저온요구도 충족 시기를 1월 5일보다 이르거나 늦추어 가정하였을 경우에는 점차 RMSE가 증가하였다. 2차년도에서는 실험 2의 5주차(1월 10일 처리)부터 10주차(2월 14일 처리)까지 매주 시료채취일을 휴면해제일로 가정한 총 6회의 모수추정을 실시하여 2001년부터 2008년까지의 GARES 포장의 실측 발아기 자료로 검증하였다. 그 결과, 실험 7주차(1월 24일 처리)를 내생휴면해제일로 간주한 기준온도 5.4℃, 저온요구도 -86.4의 모수조합에서 RMSE가 3.9로 발아기 예측 신뢰도가 가장 높았다 (Table 2). NIHHS와 GARES의 발아기 기록이 상당히 다른데 이는 동일한 발아판정 기준을 적용함에도 불구하고 두 포장 간 나무의 수령, 토양 특성, 시비 및 관개조건, 기온차이 등 주변 재배환경으로 인해 발아일이 다르게 관찰되며 실제로 NIHHS와 GARES의 실측 발아기 자료는 최대 11일, 최소 1일로 평균 5일 이상의 차이가 발생하였다. 따라서 GARES 자료를 통해 추정된 모수를 NIHHS 발아기 자료에 적용하였을 때 혹은 그 반대로 적용하였을 때 예측오차가 커질 수 있다.

Table 2. Selection procedure for an optimal parameter set (TC and Cr) for predicting budburst of Niitaka pear based on comparison of chill-days model calculation under predetermined rest release dates with observed budburst dates at the GARES orchard in 2001–2008. The combination of TC = 5.4 and Cr = -86.4 shows the best fit with the observation

	Observed budburst	Proposed Date for Rest Release													
		Jan 10		Jan 17		Jan 24		Jan 31		Feb 7		Feb 11		Feb 14	
		Pred.	Dev.	Pred.	Dev.	Pred.	Dev.	Pred.	Dev.	Pred.	Dev.	Pred.	Dev.	Pred.	Dev.
2001	3/25	3/30	-5	3/31	-6	3/28	-3	3/25	0	3/25	0	3/24	1	3/23	2
2002	3/21	3/15	6	3/15	6	3/19	2	3/18	3	3/20	1	3/18	3	3/17	4
2003	3/24	3/26	-2	3/26	-2	3/26	-2	3/26	-2	3/26	-2	3/23	1	3/21	3
2005	3/29	4/2	-4	4/2	-4	4/2	-4	4/2	-4	4/1	-3	3/31	-2	3/30	-1
2006	3/22	3/27	-5	3/27	-5	3/26	-4	3/26	-4	3/27	-5	3/26	-4	3/25	-3
2007	3/16	3/13	3	3/14	2	3/13	3	3/10	6	3/9	7	3/9	7	3/4	12
2008	3/19	3/20	-1	3/20	-1	3/20	-1	3/20	-1	3/20	-1	3/19	0	3/18	1
Parameter	T_C^*	5.7		5.7		5.4		5.2		4.8		4.4		4.2	
	C_r	-86.2		-87.1		-86.4		-86.2		-86.5		-81.8		-77.3	
RMSE		4.9		4.9		3.9		4.3		4.4		4.3		5.8	

3) 휴면심도

Fig. 4는 1차 및 2차년도 10월 1일부터 발아실험을 통해 추정된 내생휴면해제일(2월 11일)까지 싹고 꽃눈의 발아기 예측모수인 기준온도 5.4℃로 chill days를 적산한 것(검정색 실선과 파란색 실선)과 같은 기준온도에서 1994년과 1997년, 2000년, 2004년, 2006년에 대한 chill days를 적산한 결과도 함께 비교한 것이다. 휴면실험을 통해 추정된 내생휴면해제일에 해당하는 1차년의 chill days

적산값은 -119.5(A)이고 2차년도에는 -113.7(B)로 큰 차이는 없지만 일치하지는 않았다. 또한 2차년도에 최적의 모수조합에 의해 선발된 저온요구도 -86.4(C)가 1차년도에서 모두 충족된 날은 2007년 12월 27일(D)로 1차년도에 포장 관찰자료 기반으로 도출된 가상의 내생휴면해제일인 1월 5일보다 앞서 있다. 2000년 기준으로 이전인 1993-1994년과 1996-1997년은 A에서 D 구간 사이의 chill days 적산값에 큰 차이를 보이지 않으면서 비슷한 경향으로 적산되고 있음을 알 수 있다. 그러나 2000년 이후인 2003-2004년과 2005-2006년, 1차 및 2차년 실험 기간은 불과 1년 간격임에도 불구하고 A에서 D 구간 사이의 chill days 적산경향에 상당히 큰 차이를 보이고 있다. 이와 같이 같은 기준온도에서도 온도시간의 적산경향이 다르게 나타나는 것은 모두 그 해 겨울기온의 차이에서 기인한 것으로 발아 및 개화 예측이 그 만큼 더 어려워 질 수 있다는 것을 의미한다. 또한 기준온도와 저온요구도를 찾아내기 위한 발아관찰실험 이외에 휴면상태에 따른 저온요구도의 유지기간과 이와 관련된 과수의 생리현상 및 호르몬 등에 대한 연구도 수행되어야 할 것으로 판단된다.

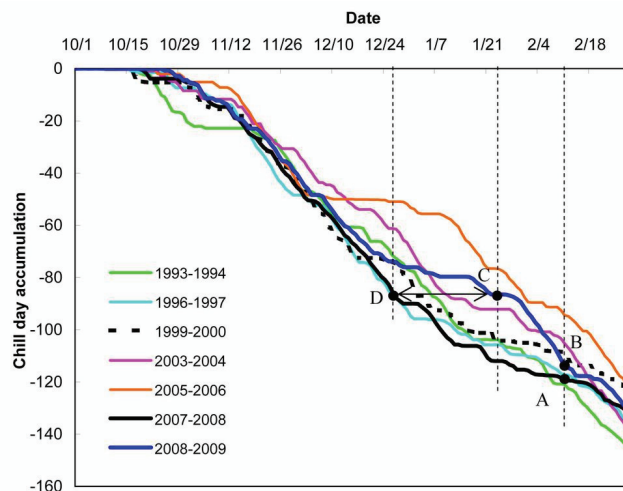


Fig. 4. Inter-annual variations in chill-days accumulation pattern from 1 October to 28 February each year.

4) 개화기

발아기조사와 기온측정이 모두 동일한 장소에서 수행되었고 그에 따라 발아기 예측신뢰도가 가장 높았던 추정모수 조합(기준온도 5.4°C, 저온요구도 -86.4)을 신고 꽃눈의 경우 발아기 예측모수로 최종 채택하였다. 이 모수조합을 쓸 경우 발아실험을 통해 추정된 내생휴면해제일(2월 11일)보다 18일을 앞당긴 1월 24일 내생휴면이 해제된 것으로 간주하며 발아기 RMSE가 0.4 정도 줄어든 효과를 보였다. 이 모수조합을 휴면시계모형에 넣어 내생휴면해제일 다음날부터 싹만 개기까지 anti-chill days를 적산한 결과, 2004년을 제외한 2001년부터 2008년까지의 년도별 적산값이 최저 218.5, 최고 254.7로 계산되었다 (Table 3). 2004년의 경우 anti-chill days가 321.5까지 적산되어 다른 해에 비해 유독 값이 크게 나타났는데 anti-chill days가 크다는 것은 만개기가 빨라진 다거나 내생휴면해제일 이후의 기온이 따뜻했다는 것을 암시한다. 그러나 2004년 3월 4일에 수원

지역에서 11.3cm의 적설량이 기록되었던 점으로 미루어 볼 때 쌓인 눈이 바로 녹지 않고 토양표면을 덮고 있어 지온 및 토양수분 등에 영향을 주었을 것이며 이것이 실측 발아 및 만개기의 지연에 작용했을 것으로 추정된다. 따라서 2001년부터 2008년도의 anti-chill days 적산값을 모두 평균한 Hr(Hr_8)과 2004년도를 포함시키지 않고 7개년의 적산값을 평균한 Hr(Hr_7), 두 가지를 계산하였다. GARES 기온자료 및 만개기 자료를 토대로 Hr을 재 검증한 결과, 2004년도를 제외하였을 때 Hr_8은 242.6으로 RMSE가 2.6인 반면 Hr_7은 231.3으로 RMSE가 2.0으로 예측오차가 감소하여 최종 신고의 Hr을 231.3으로 결정하였다.

Table 3. Determination of the heating requirement (in cumulative anti-chill days) for full bloom of Niitaka pear based on the budburst date predicted by the dormancy clock model adjusted with the selected parameters (TC = 5.4°C, Cr = -86.4). Both data for phenology and temperature are from GARES orchards

	Observed fullbloom	Cumulative anti-chill days	Hr_8 : 242.6		Hr_7 : 231.3	
			Predicted date	Deviation (days)	Predicted date	Deviation (days)
2001	4/20	226.6	4/23	-3	4/21	-1
2002	4/12	218.5	4/15	-3	4/14	-2
2003	4/18	239.9	4/19	-1	4/18	0
2005	4/23	219	4/26	-3	4/25	-2
2006	4/24	240.7	4/25	-1	4/23	1
2007	4/20	254.7	4/19	1	4/17	3
2008	4/14	220.1	4/17	-3	4/16	-2
RMSE				2.6		2.0

신고의 품종모수가 만개기 예측목적으로 적합한지를 판단하기 위하여 휴면시계모형 기반의 생물계절모형과 발육속도모형(이하 DVS)로 추정된 2000-2008년의 경기도 농업기술원 포장의 신고 만개기 예측값을 실측 만개기와 비교하여 두 모형의 예측 신뢰도를 대조하였다 (Fig. 5). 두 모형에 의한 예측값의 전반적인 패턴은 비슷하게 나타났으나 9년 가운데 생물계절모형이 DVS에 비해 정확도가 높은 경우는 4년이었고 낮은 경우는 1년이었으며 나머지는 두 모형의 예측값이 동일하였다. 특이년인 2004년의 경우는 3월에 내린 폭설로 인해 나무가 훼손되거나 이상발아 및 개화로 이어져 두 모형 모두 예측에 실패하였다. 김정호 등(2003)은 사과나무 목질부에서 사이토키닌(cytokinin)의 농도가 2월에 급격히 증가하는 현상을 보고하고 내생휴면 완료에는 사이토키닌과 같은 식물 호르몬이 관련되어 있다는 가설을 제시하였다. 따라서 봄철 갑작스런 기온변화가 내생휴면 혹은 환경휴면과 관련된 호르몬의 동태에 미치는 연구를 병행한다면 휴면시계모형의 단점을 보완할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 2004년을 제외하면 만개기 RMSE는 DVS에서 3.2일인데 반해 휴면시계모형은 1.9일로서 신고의 만개기 예측에 대안이 될 수 있을 것이다.

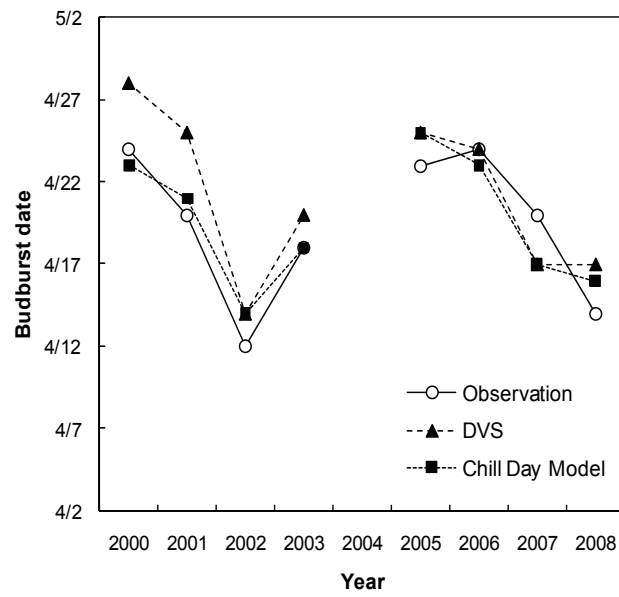


Fig. 5. Comparison of the predicted full bloom dates from 2000 to 2008 simulated by the chill-days model (solid rectangle) and the DVS model (solid triangle) using daily temperature data from GARES orchards. Observed full bloom dates are shown as empty circles.

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

제1절 목표대비 대외달성도

구분	추진목표	달성내용	달성도
2008년도	○ 포도 주요 재배 주산단지 별 생장 기초 조사	○ 주요 13지역 포도 주산지 과실 특성 분석 및 기후 자료 확보	100
	○ 감귤 주요 재배 주산단지 별 생장 기초 조사	○ 주요 13지역 감귤 주산지 과실 특성 분석 및 기후 자료 확보	100
	○ 사과, 배, 복숭아, 포도의 생물계절 예측모형 작성	○ 주요 과종의 생물계절 예측 모형 작성	100
2009년도	○ 기상 조건과 포도생산성 및 품질 간 관계 분석	○ 포도 품질과 기상요소의 상관관계 분석	100
	○ 기상 조건과 감귤 생산성 및 품질 간 관계 분석	○ 기후변화에 따른 감귤 재배지 변동 예측 지도 작성	100
	○ 생물계절모형의 주요 품종별 모수 도출	○ 주요 과종의 휴면모형 도출을 통한 생물계절 예측	100

제2절 정량적 성과

- 논문게재
 - 남한의 겨울기온 상승 예측에 따른 포도 “캠벨얼리” 품종의 단기 내동성 변화 전망, 한국농림기상학회, 10권 3호, p94-101.
 - 신고 배의 개화기 결정에 미치는 온도영향의 정량화, 한국농림기상학회, 11권 2호, p61-71.
 - 미래 시나리오 기후조건하에서의 사과 ‘후지’ 품종 재배적지 탐색, 한국농림기상학회, 11권 4호, p162-173.
 - 사과 과수원에서의 토양 CO₂ 발생량 평가
- 시책건의
 - 농작물 재해보험 대상재해별 과수 보험적용 기간 변경
 - 농작물 재해보험 피해산정시 현지 기상측정자료 공인자료 인정
 - 기온상승시나리오에 따른 감귤 재배가능지 변동 예측(제주도)
- 영농활용
 - 포도 ‘캠벨얼리’ 품종의 지역별 성숙일 기준 설정 활용
 - 기온상승시나리오에 따른 감귤 재배가능지 변동 지도 활용

제 5 장 연구개발과의 활용계획

온도상승에 따른 원예작물의 생산성 및 재배적지 변동예측 모델을 활용을 통한 과수 농업의 안정 생산에 기여 할 수 있도록 정책적인 지원이 필요하며, 우리나라 포도와 감귤의 재배지 변동 예측 자료를 농업정책에 활용하여 효율적인 정책이 실현 되도록 하기 위한 기초 자료로 적극 활용할 수 있다. 앞으로 보다 정밀한 생물계절 예측 연구를 위해서는 현재의 실측 자료의 보완이 필요하며, 기후변화와 과실의 수채변화에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 본 과제를 통해서 도출된 결과는 정책추진의 기초자료로 적극 활용하여 농가의 과수 안정생산이 이루어 질 수 있도록 하여야 한다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

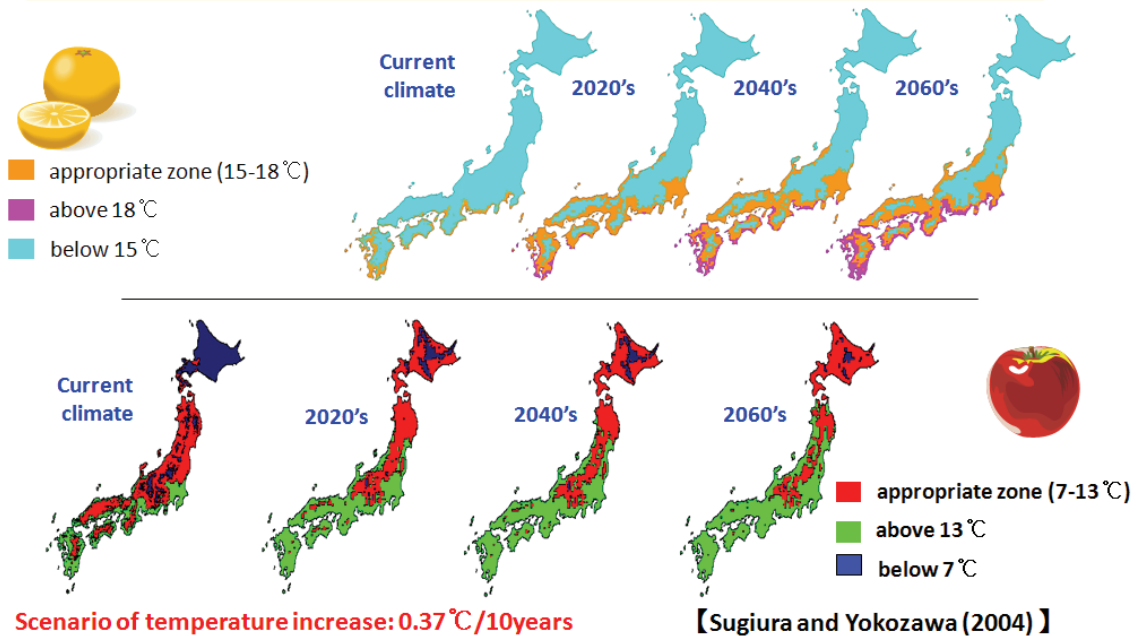
Effect of Global Warming on fruit tree



農研機構

Potential impact of Global Warming on fruit production

The favorable regions to cultivate satsuma mandarins and apples will gradually move northward in Japan.



제 7 장 참고문헌

- 국립기상연구소. 2007. 기후변화협약대응 지역기후시나리오 활용기술 개발(III)
- 국립농업과학원. 1990. 주요과수재배지역의 기후특성.
- 김정호, 김호열, 조명동, 정순경, 김점국, 손동수, 박동만, 최인명, 이인찬, 2003: 최신 과수 정지 전정. 오성출판사, 485pp.
- 농촌진흥청. 2004 205pp.
- 서형호. 2002. 고품질 사과생산을 위한 재배적지 세분화. 원예연구소 2002년도 원예시험결과보고서 (CD). 상록사.
- 서형호, 박무용, 김점국, 윤진일, 김승희. 2004. 지구 온난화에 따른 한반도 사과 재배지 변동연구. 원예 연구소 2004 시험연구보고서
- 서형호, 박무용, 김점국, 윤진일, 김승희. 2005. 지구 온난화에 따른 한반도 사과 재배지 변동연구. 원예 연구소 2004 시험연구보고서
- 서형호, 박무용, 김점국, 윤진일, 김승희. 2006. 지구 온난화에 따른 한반도 사과 재배지 변동연구. 원예 연구소 2004 시험연구보고서
- 서형호, 박무용, 김점국, 윤진일, 김승희. 2007. 지구 온난화에 따른 한반도 사과 재배지 변동연구. 원예 연구소 2004 시험연구보고서
- 오성도, 강성모, 김대일, 김명수, 김월수, 김태춘, 문두길, 박진면, 신용역, 유영산, 임열재, 장한익, 최동근, 2004: 과수온도생리. 도서출판 길모금, 364pp.
- 윤성호 등. 2001. 기후변화와 농업생산의 전망과 대책. 한국농림기상학회지. 제3권 제4호. pp.220-237.
- 임정남 등. 1990. 주요 과수 재배지대의 기후특성. 농촌진흥청 농업기술연구소. p.205.
- 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.
- Eccel, E., R. Rea. A. Caffarra, and A. Crisci, 2009: Risk of spring frost to apple production under future climate scenarios: the role of phonological acclimation. *International journal of Biometeorology* 53, 273-286.
- 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)
- Jacobs, J. N., G. Jacobs, and N. C. Cook, 2002: Chilling period influences the progression of bud dormancy more than dose chilling temperature in apple and pear shoots. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 77, 333-339.
- Jang, H. I., H. H. Seo, and S. J. Park, 2002: Strategy for fruit cultivation under the changing climate. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 20(3),270-275.
- Joseph C.V. Vu, Yoana C. Newman, L. Hartwell Allen, Jr., Maria Gallo-Meagher and Mu-Qing Zhang, 2002: Photosynthetic acclimation of young sweet orange trees to elevated growth CO₂ and temperature. *Journal*

of Plant Physiology 159(2) 147-157

- 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)
- 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)
- 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.
- Lamb, R. C., 1948: Effect of temperatures above and below freezing on the breaking of rest in the latham raspberry. Journal of the American Society for Horticultural Science 51, 313-315.
- Lee, S. G, I. Heo, K. G. Lee, S. Y. Kim, Y. S. 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, 20-35. (In Korean with English abstract)
- Liu-Kang Xu and Theodore C. Hsiao 2004: Predicted versus measured photosynthetic water-use efficiency of crop stands under dynamically changing field environments. Journal of Experimental Botany 55(407): 2395-2411
- Naor, A., M. Flaishman, R. Stern, A. Moshe, and A. Erez, 2003: Temperature effects on dormancy completion of vegetative buds in apple. Journal of the American Society for Horticultural Science 128, 636-641.
- National Institute of Fruit Tree Science, 2003: Research report of fruit production constitution, 59-65.
- Nordli, O., F. E. Wielgolaski, A. K. Bakken, S. H. Hjeltne, F. Mage, A. Sivle, and O. Skre, 2008: Regional trends for bud burst and flowering of woody plants in Norway as related to climate change. International journal of Biometeorology 52, 625-639.
- Seo, H. H., 2003: Growth and quality of horticultural crops affected by climate change. Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology Conference, 131-137.
- Seo, H.H. 2003. Site selection criteria for the high quality apples based on agrometeorology in Korea. Ph. D. thesis. Kyung Hee Univ.
- Westwood, M. N. 1993. Temperate-zone Pomology, Physiology and Culture. 3rd edition. p.254-274
- Westwood, Melvin N., 1993: Temperate-zone pomology; Physiology and culture (3rd ed.). Timber Press Inc., 428-429.
- Xuming Huang, Alan N. Lakso and David M. Eissenstat 2005: Interactive effects of soil temperature and moisture on Concord grape root respiration. Journal of Experimental Botany 56(420): 2651-2660
- 小野祐幸, 2003. カンキツの生育・成熟に及ぼす気候温暖化の影響. 果樹農業に對する氣象變動に關する調査(果樹研究所)

2009년도 국가농업 R&D
시험연구사업보고서

Agenda 5. 기후변화대응 미래농업기술 개발

발행일 : 2010년 3월 발행

발행인 : 농촌진흥청장 김재수

편집인 : 연구정책국장 임상종

연구조정과장 박기훈

연구 조 정 과 김진호, 이경보, 이승돈, 이점호, 송 진,
서효원, 김명수, 이시영, 이충근, 김시동,
한만희, 강보석, 박동구, 허윤찬, 문보흙,
황남희, 조원미
