

어젠다코드	1 - 1 - 1		구분	세부완결	
기술분야코드	V2	기술유형코드	C01	작목구분코드	FT-01-0601 FT-01-0602 FT-02-0604 FT-04-0603
과제종류	농업공동연구		세부사업(약어)	기후변화 대응	
과제명	기후변화에 따른 주요 과수의 저온요구도 실태조사 및 추정모델 개발				
과제책임자	성명		직급	소속기관 및 부서	
	정재훈		농업연구사	국립원예특작과학원	
연구기간	2018 ~ 2019		참여연구기관	강원도농업기술원 등 4기관	
세부과제명			부서	세부책임자	연구기간
2) 기후변화에 따른 과수의 저온요구도(북부지역) 충족 시기 변동 실태 조사			원예연구과	정햇님	'18~'19
색인용어	기후변화, 과수, 북부지역, 저온요구도, 휴면심도,				

ABSTRACT

The study was carried out to survey on changes in the chilling requirement of the fruit trees to climate change in the northern region of Korea. We've investigated initial point of dormancy, breaking time of internal dormancy and the accumulated hours of low temperature of bud-breaking for prediction of dormancy release of endo-dormancy under natural conditions using temperature data and observing bud break characteristics of fruit tree(4 species) in northern region. The test was performed for Investigation of the chilling requirement for breaking of internal dormancy in the commercial apple cultivars('Fuji' and 'Hongro'), pear('Niikata', 'Wonhwang'), peach('Kawanakajima Hakuto', 'Janghowon Hwangdo'), grape('Cambell early', 'Heukboseok') at the Chuncheon region for 2 years(from 2018 to 2019). And we collected and analyzed of weather data of northern region(45 places) to develop a model for chilling requirement('18~'19).

In this test, Chilling model, Utah model, Chill days models were used to develop low temperature demand prediction of dormancy release of endo-dormancy. As a result of the modeling, there was difference value of prediction and standard error of chilling requirement by tree fruit species and variety. And also we investigated major seasonal and fruit characteristics of fruit trees in the north('18~'19).

Based on research, we will continue to build responding system for climate change to minimizing damage and natural disasters mitigation of fruit farms, using a chilling requirement prediction model in the northern region.

1. 연구목표

미래 시나리오 기후조건에서 우리나라의 지형, 토지, 기후 및 품질 조건을 종합적으로 보았을 때, 주요 과종 및 재배품종의 지속적인 재배적지 한계선 북상이 예측(Kim et al., 2009a 등)되고 있다. 강원지역의 경우 미래 시나리오 기후조건에서 상당 면적이 사과 재배 적지에 해당된다는 전망이 나오고, 현실적으로도 재배면적이 2005년 150 ha에서 2018년에는 1,050 ha 수준으로 급격히 증가하는 추세이다(강원도, 2018). 또한 복숭아 등 비교적 동해 피해가 많은 과종에서도 동해 위험 온도 발생 빈도가 줄어들면서 전국적으로 확대되어, 북부지역까지 재배한계지가 상승함에 따라 해당 지역에 대한 휴면 생리 및 이상 기후 대응 기상환경 요인에 따른 생육단계 예측 시스템 구축을 위한 기초자료 확보가 매우 중요한 실정이다.

현재와 같은 추세로 기후변화가 진행될 경우, 한반도의 평균 기온이 6.0 °C 상승할 것으로 예상되며(RCP 8.5 시나리오 기준), 이는 전 세계 평균 대비 상승속도가 매우 빠른 수준으로 분석되고 있다(IPCC 5차 평가 대응 보고서, 2011).

기온이 현재 대비 6.0 °C 상승시, 울산, 포항 등의 저위도 지역의 경우 저온요구도 축적 기준을 0 °C 에서 7.2 °C 범위의 누적시간으로 산출할 때, 기존 1,600시간 이상에서 1,000시간 이하로 감소할 것으로 예측되며, 저온 공급의 종료 시기도 기존 3월 중순에서 1월 말로 약 50일 정도 앞당겨 질 것으로 예상되고 있다(Park et al., 2017(Online published)). 따라서 남부 지역의 경우 기후변화에 따라 저온 공급이 감소하는 문제가 발생할 우려가 있다. 미래 기후변화 시나리오에 의하면 남부지역의 경우 겨울철 불충분한 저온으로 휴면타파 장애가 문제가 되는 저위도 과수 재배지역과 마찬가지로 문제가 발생할 위험성이 높아진다.

반대로 북부지역의 경우 겨울철 동안 0 °C 이하의 생리적으로 무효한 저온기간 지속으로 chill-unit 축적이 늦어지고, 엄한기가 지나 유효한 저온이 지속되면 그때야 급격히 저온요구도가 충족되는 특성을 가지고 있다. 이러한 경우, 기후변화 시나리오에 의하면 무효 저온기간 지속기간이 짧아져서 오히려 저온요구도 축적이 빨라지고, 내재휴면 타파기가 단축됨에 따라 내한성이 낮아진 상태에서 이상 한파 및 조기 발아·개화에 따른 저온피해 등의 재해 피해 발생 위험이 높아질 수 있다. 특히 ‘후지’처럼 사과 만기개화 품종의 경우 저온요구량이 많은 편으로, 한랭지에서 재배하면 개화가 상당히 늦어지는 것으로 알려져 있는데, 기후변화에 따라 저온요구도 축적시기가 빨라질 경우, 이른 시기에 발아 및 개화가 진행되어, 재배 적온 부족으로 인한 북방 한계 지역 범위가 올라가게 되는 봄철 이상 한파에 따른 수정불량 피해 발생 위험이 높아질 우려가 있다. 따라서 국내 온대 과수에 대한 기후변화 영향 평가 시, 해당 지역의 과종 및 품종별 재배 가능성 여부부터 검토되어야 하며, 이는 내재 휴면의 개시 및 타파 시기와 저온요구도의 정확한 측정이 전제되어야 하며, 지역에 따라, 불충분한 저온 축적에 대응하여 저온요구도가 낮은 품종 식재 및 휴면의 인위적인 타파 물질 활용 등 농업적 대응 기술 개발 등이 필요한 실정이다(Luedeling et al., 2009).

따라서 신뢰도 높은 저온요구도 산출 모델 개발 및 이를 활용한 기후변화의 영향성 평가에는 내재 휴면 관련 지표에 대한 지역별 조사가 필수적으로 요구되며, 국내 지역 및 재배종 특성을 고려한 저온요구도 산출 모델의 경우 재배가능지 변동 예측 뿐만 아니라, 내재휴면이 타파된 이후에 진행되는 다양한 생물계절의 예측 및 평가에 효과적인 기준 지표로도 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

저온요구도를 측정하기 위한 다양한 모델들이 개발되고 있으나, 기후환경 조건이 많이 다른 외국에서 연구된 자료를 활용하는 경우가 대부분인 실정이다. 특히 북부지역의 경우 최근 기후변화에 따라 재배지가 북상한 신작지가 많아, 기 개발 모델 적용에 대한 검토 자료도 매우 부족한 실정이다. 따라서 기후변화에 따른 내재 휴면기 변화 및 재배지 변동의 예측자료로 활용하기 위하여 지역별 알맞은 저온요구도 모델 개발이 요구되고 있다.

저온요구도 산출 모델로는 Chilling hours model(Weinberger, 1950)과 Utah model (Richardson, 1974)이 일반적으로 사용되고 있으며, Positive utah chill units model (Linsely-Noakes et al., 1994), Dynamic model(Luedeling et al., 2013) 등과 같이 각 국가 및 재배종에 따라 기존 모델을 수정 적용하거나, 새로운 저온 요구도 산출 모델을 개발하고 있다. 국내에서도 사과, 배, 포도 등 주요 과종의 저온 요구도가 일부 품종을 대상으로 조사되었으나, 측정 모델이 상이하여 휴면 및 기후변화 관련 모니터링 연구를 위한 과종 및 품종간 비교가 매우 어려운 실정이다.

국내 저온요구도 축적 특성에 대하여 0 - 7.2 °C 기준, 1999년부터 2015년 까지 전국 30개 지역의 휴면기간 저온 공급 특성을 조사하여 지역별 평균 시간(1,750 시간) 및 저온 축적 특성에 따라 5개 그룹으로 구분한 바 있으나(Park et al., 2017(Online published)) 이에 연계된 작물 휴면생리 및 생물계절 관련 실측 데이터가 부족하여 활용 폭이 넓지 않은 실정이다.

특히 국내의 경우, 주요 재배지역 및 품종에 대한 저온요구도 산출 모델 평가 및 개발에 대한 기초 자료가 매우 부족한 실정이며, 재배지 북상에 따라 신규 재배면적이 급증하고 있는 북부지역의 경우, 기온이 상대적으로 낮은 기상특성을 가지고 있어, 기존 남부지역 주산지와는 상당히 다른 저온 축적 형태와 내재 휴면특성이 나타날 것으로 예상되며, 이에 대한 동계 휴면 및 내한성 등을 연구하기 위한 저온요구도 모델 개발이 시급한 실정이다.

온대 과수의 연간 성장 주기는 발아와 개화로부터 시작되며, 내재 휴면 단계는 발아와 개화의 질을 좌우하는 과실 생산의 중요 단계로 기후변화에 가장 취약한 부분으로 평가 되고 있다. 국내 과수 재배 주산지는 지역별 온도 차이를 보이므로 국내 저·중·고위도 지역별 내재 휴면 개시 및 완료 시기에 따른 생물계절, 과실 생산량 및 품질 등이 종합적으로 평가가 요구되고 있다.

본 과제에서는 북부지역 주요 온대과수(사과, 배, 복숭아, 포도) 4종에 대한 내재휴면기 온도 데이터 수집 및 주요 품종별 내재 휴면기간을 구명하고, 기후변화 대응 재배지 변화 예측 모델 개발의 기초 자료를 확보하고자 수행하였다.

아울러, 북부지역 재배 사과 등 4 과종 주요 품종의 저온요구도 충족조건에 따른 발아·개화 지연 및 불량 등을 미리 예측할 수 있는 시스템을 제공하여 농가 피해를 최소화 하고, 내재해 안전생산 기반 구축을 위한 방안을 모색하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

〈제1세부과제: 기후변화에 따른 과수의 저온요구도(북부지역) 충족시기 변동 실태 조사〉

북부지역 휴면단계 변화와 내재휴면 타파기 조사를 위하여 2017년 10월부터 2018년 4월까지 15일 간격으로 강원도 춘천시 신북읍 유포리 소재 강원도농업기술원 과수시험포장에 식재된 사과 ‘홍로’,

‘후지’, 배 ‘원황’, ‘신고’, 복숭아 ‘천중도백도’, ‘장호원황도’, 포도 ‘캠벨얼리’, ‘흑보석’ 품종을 대상으로 과종별로 유사한 규격의 결과지를 채취하여 수삽 후 발아특성을 조사하였다.

일반적으로 과수의 휴면심도는 일정 간격으로 가지를 채취하여 수삽을 통한 발아율 및 발아 소요일수를 조사하는 방법으로 추정하는데(Kim et al., 2006; Takemura et al., 2013, Byulhana Lee et al., 2015), 사과 등 주요 과수의 경우 결과지를 발아에 적합한 일장과 온도조건의 온실이나, 생육챔버에서 수삽하여 15일 이내에 발아할 경우 내재휴면이 완료된 것으로 평가하고 있다(Hauagge and Cummins, 1991; Kim et al., 2006; Lee et al., 2015). 본 시험에서도 유사한 조건과 방법으로 과종별로 결과지 채취 규격 및 기준을 변형하여 내재 휴면심도를 평가하였다.

가지는 재식된 나무 중 수세가 비슷한 10여 그루의 나무를 선발하여 시험수로 활용하였고, 저온요구도 축적이 이루어지는 10월 부터 15일 간격으로 도장지를 제외한 신초(1년생 가지) 15개 내외를 채취하고, 채취한 가지의 눈이 충실하게 발달된 것으로 판단되는 중간부분을 절단하여 수삽 재료로 활용하였다. 채취된 가지에서 기부부의 눈 2~3개, 정부의 눈 2~3개를 제외하고 충실한 눈 5개를 포함하도록 가지를 절단하여 70 % 에탄올 용액에 1차 소독하고, 증류수에 수삽하였으며, 정단부에는 thionate-methyl 성분을 함유하는 도포제(상표명: 톱실페스트, 경농)를 도포하여 증산을 억제하여 수삽 시험재료로 활용하였다. 오아시스에 과종 및 품종별로 10개 이상의 가지를 수삽한 뒤 강원도농업기술원예연구과 식물공장 시설 내 항온상에서 온도 25±1℃, 상대습도 50%, 광주기 16/8(day/night)로 일정하게 유지시킨 환경조건에서 치상하였다. 수삽 일부터 지속적으로 육안관찰을 통하여 수삽한 가지의 잎과 꽃눈의 최초발아소요일수, 50% 발아소요일수와 발아율, 최종 발아속도 및 발아율 등을 조사하였다.



시기별 수삽처리 전경

발아관찰(배)

수삽 발아소요일수 조사

그림 1. 저온요구도 조사를 위한 과종별 수삽발아 시험 전경

눈의 발아 기준은 눈의 비늘 사이로 녹색의 인편이 3mm 이상 밀려나온 눈부터 발아된 것으로 간주하고, 최초 발아까지 소요일수, 수삽 후 15, 30, 45일에 각각 발아 사진을 기록하였으며, 가지 및 눈의 위치별 발아소요일수, 발아율 등을 조사하였다. 내재휴면기는 가지 채취 간격의 중앙시점을 기준으로 내재 휴면 개시 및 타파기 등을 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

〈제1세부과제: 기후변화에 따른 과수의 저온요구도(북부지역) 충족시기 변동 실태 조사〉

1. 휴면시기별 저온요구도 검정

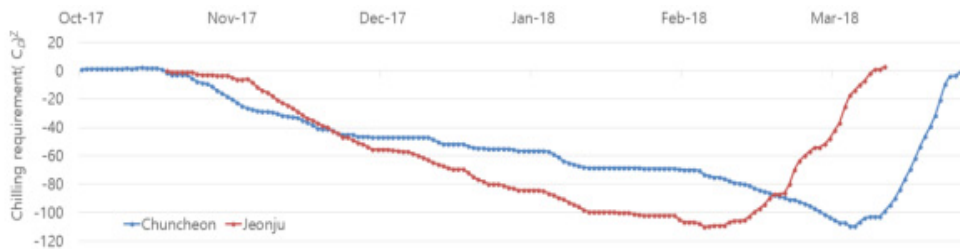
가. 강원지역 기상 및 휴면심도 변화 특성 분석

(1) 지역 기상자료 수집 및 기존 모델을 활용한 저온요구도 충족시기 산출

우리나라는 국토 면적은 작은 편이나, 복잡한 지형으로 지역별 기온 차이 영향이 큰 편이며, 온난화에 따른 이상기온 발생 빈도를 기준으로 지역을 분류할 경우, 춘천 등을 비롯한 중부 내륙 북부 지역 등의 경우 남부지역에 비하여 겨울철 한파가 빈번하며, 상대적으로 동절기 이상고온 발생 빈도는 낮은 특성을 보이는 그룹에 속한다(Heo, 2006). 기후변화에 따라 과수 등 농작물 재배적지가 이동하게 되는데(Seo and Kim, 2005), 사과 등 주요 온대 과수가 현재 강원 등 중북부지역으로 북상하여, 재배면적이 급속히 증가하고 있으나, 묘목 재식 후 생산까지 상당 기간이 소요되므로, 농가나 지자체 등에서는 과수 산업에 관련 계획 수립 시 해당 과수의 생육특성 및 재배적지에 대한 현재 기후 및 미래 기후에서의 변화 양상 예측 정보가 필요한 실정이다(Kim et al., 2009)

휴면시계모형(Cesaraccio et al. 2004)의 경우 배, 복숭아, 포도 등의 생물계절 예측연구에서 그 실용성이 인정된 바 있으며(Kim et al., 2009b, Kim et al., 2009c, Kwon et al, 2006), 최고 기온과 최저기온 자료만으로 온도 범위에 따라 가중치를 다르게 두고 내생휴면 타파에 필요한 저온요구도와 환경휴면 해제에 필요한 고온요구도가 온대 낙엽수목에서 부호만 다를 뿐, 그 절대값이 같다는 점에서 착안해 만들어져 있어 벚나무 개화기 예측(Jung J.E. et al., 2005), 휴면심도 분석, 상해경보 및 동해 위험도 산정 등 온대수목 생물계절 예측 등에 매우 유용한 모형으로 활용하고 있다.

춘천 지역의 경우 복숭아 장호원황도 품종 기준(기준온도 5.7°C, CD -108) 11월 초순경부터 상대적으로 남부 지역 대비 저온 축적이 빨리 시작되나, 12월 중순 이후부터 유효온도 범위 아래의 낮은 영하권 온도가 길게 유지되어, 저온요구도 축적 속도가 느려지는 반면, 전주 지역의 경우 한겨울에도 지속적으로 저온 축적이 이루어지면서 최종적으로는 2월 중 하순경에 휴면타파가 먼저 이루어지는 것으로 나타났다(그림 3). 반대로 고온요구도 충족의 경우에는 북부지역 대비 상대적으로 한 달 가량 빠른 2월부터 축적 되어 낮은 온도에서 서서히 이루어지는 특성을 보였다. 북부 지역은 춘천 기준 3월 중하순까지, 저온요구도 충족에 따른 휴면타파가 한 달 가량 늦게 진행되는 반면, 3월 하순 이후의 높은 온도에서 고온요구도 유효온도가 급격히 축적되는 특성을 보였다.



* 분석모델: Cesaraccio 휴면시계 모형 사용

그림 2. '18, 복숭아 장호원황도(기준온도 5.7, CD -108) 휴면심도 비교(강원 춘천, 전북 전주)

표 1. 강원 주요 지역 평균기온 및 주요 모델별 저온요구도 충족수준 비교('18. 10.~'19. 4.)

지역명	평균기온							저온요구도 충족일(CD)		CH	CU	고온요구도 충족일(CD)	
	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	3월	1월			4월	7월
춘천 북산	9.3	5.0	-4.0	-3.7	-0.9	4.6	9.9	3월 1일	1206.0	1078.0	4월 7일		
원주 문막	10.4	5.3	-3.4	-3.7	-0.1	5.8	11.0	2월 25일	1144.0	993.0	3월 28일		
강릉 주문진	12.4	7.0	0.4	1.0	1.9	7.4	10.6	1월 15일	911.0	872.5	3월 16일		
태백 황지	8.9	4.7	-3.5	-3.4	-1.0	3.6	8.0	2월 2일	993.0	965.0	4월 13일		
속초 청호	13.5	9.2	1.5	2.0	2.8	8.4	12.1	1월 28일	1033.0	1193.5	3월 21일		
홍천 화촌	9.3	4.3	-4.6	-4.9	-1.3	4.3	9.7	3월 10일	1340.0	1012.0	4월 13일		
횡성 안흥	7.6	2.7	-6.1	-6.1	-2.6	2.7	7.6	2월 22일	848.0	778.0	4월 17일		
영월 주천	9.4	4.4	-3.6	-3.7	-0.6	4.7	9.9	2월 27일	1273.0	986.5	4월 4일		
평창 진부	8.0	3.4	-4.7	-4.9	-2.2	2.9	7.6	3월 4일	1178.0	958.0	4월 17일		
정선 신동	9.5	4.8	-3.9	-4.1	-0.6	4.3	9.5	3월 1일	1156.0	1004.0	4월 9일		
정선 정선	10.1	5.0	-3.2	-3.0	-0.1	4.9	9.9	3월 5일	1263.0	1146.0	4월 12일		
철원 동송	9.0	4.0	-4.6	-4.9	-1.9	4.0	9.4	3월 7일	1310.0	1029.5	4월 16일		
철원 김화	7.4	2.7	-5.9	-6.5	-3.6	2.7	8.1	3월 6일	1034.0	782.5	4월 15일		
화천 사내	7.9	3.0	-5.2	-5.6	-2.8	3.0	8.4	2월 22일	1031.0	732.5	4월 5일		
양구 해안	7.7	3.5	-5.2	-4.8	-2.4	3.0	8.1	2월 26일	1057.0	927.0	4월 16일		
인제 인제	9.4	5.0	-4.2	-3.8	-0.9	4.6	9.8	3월 7일	1254.0	1138.0	4월 15일		
고성 간성	12.6	8.2	0.7	1.6	2.0	7.7	11.5	1월 19일	935.0	1066.0	3월 20일		
양양 영덕	12.2	8.4	0.1	0.7	1.1	7.0	11.1	2월 17일	1353.0	1304.0	4월 2일		
춘천 신북	10.3	5.2	-3.6	-3.3	-0.3	5.4	10.6	3월 3일	1322.0	1050.5	4월 7일		
전북 전주	13.9	9.2	1.1	0.5	2.6	7.7	12.5	2월 21일	1213.0	1193.5	3월 25일		
전남 나주	13.0	7.9	1.1	0.2	2.5	7.0	11.8	1월 31일	1068.0	948.5	3월 15일		
경북 소보	10.9	4.8	-2.7	-2.6	0.5	6.5	11.5	2월 26일	1411.0	923.5	3월 26일		

※ CU, CH 값: 지역별 CD(휴면시계모형) 저온요구도 충족일(복숭아 장호원황도) 기준
 - CU(Utah model), CH(Chiling hour model), CD(Chill days model)

북부지역 저온요구도 충족시기 산출 모델 개발을 위한 기초자료 확보를 위하여 춘천 신북 등 강원 주요 과수 재배지역 등 총 45개소의 기상청 제공 AWS(지역별상세관측자료)를 수집하여 휴면시계모형(Cesaraccio et al., 2004) 등을 통하여 분석한 결과('19, 장호원황도, 기준온도 5.7 °C) 저온요구도 충족일이 위도 및 지형에 따라 빠르게는 1월 15일(강릉시 주문진)부터 느리게는 3월 10일(홍천군 화촌)까지 지역별로 55일 이상의 큰 편차를 보였다(표 1). 그러나 고온요구도 충족일은 3월 16일(강릉 주문진)부터 4월 17일(횡성군 안흥)까지 저온요구도 충족시기에 비하여 발아 예상 시기 편차는 상대적으로 낮았다.

강원 지역에서 평균온도가 높은 영동 해안지역에 속하는 강릉 주문진의 경우 남부지역과 유사한 저온 충족특성을 보여, 저온요구도 충족일은 1월 15일로 매우 빠른 반면, 고온요구도 충족일은 3월 16일로 내재휴면 타파 이후 발아까지 60일 이상 소요되는 것으로 추정된 반면, 홍천군 화촌면의 경우 저온요구도 충족이 3월 10일로 가장 늦은 지역이었으나, 고온요구도 충족시기는 4월 13일로 강릉 대비 2배 정도(30일) 빠른 속도로 진행되는 것으로 나타났다. 그림 3의 분석결과와 마찬가지로 도내 지역별 겨울철 평균 온도가 낮은 지역일수록 휴면이 늦게 타파되는 경향을 보였으며, 초기 휴면 개시기

에는 일찍 저온 충족 온도로 기온이 하강하면서 빠른 속도로 휴면이 진행되다가 영하권 온도가 지속되면서 저온요구도 축적이 둔화된 상태로 유지되고, 3월이 되어서 내재휴면이 완료되었다가, 4월경 급격히 고온요구도가 충족되면서, 발아가 진행되는 것으로 추정되었다.

지역별 저온요구도 충족시기 산출 모델별 분석결과는 휴면시계모형 이외에 Chilling hour model과 Utah model에서도 같은 경향을 확인할 수 있었다. 사과와 경우 유전적 저온요구도는 218 - 1,516 CU 수준으로 매우 다양하나, 대부분의 재배품종은 800 - 1,200 CU 범위에 있다는 연구보고(Hauagge and Cummins, 1991) 자료를 기준으로 분석할 경우에도 유사한 지역적 특성을 나타내었다.

(2) 주요 저온요구도 예측모델 및 연차별 저온요구도 충족시기 비교

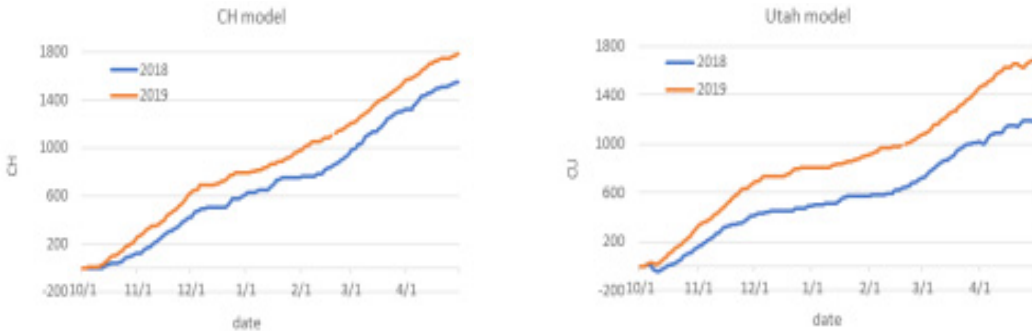


그림 3. 연차 및 예측 모델별 저온요구도 비교(강원 춘천)

연차 및 주요 저온요구도 예측 모델별 저온요구도 축적 수준을 비교한 결과(춘천 기준) 평균온도가 낮은 2017~2018년도에는 저온축적이 서서히 진행된 반면, 상대적으로 겨울철 평균 기온이 높았던 2018~2019년도에는 저온축적 속도가 더 높은 것으로 나타났으며, 저온 감응 온도범위에 따라 가중치를 적용한 Utah model에서 연차간 편차 값이 더 큰 것으로 나타났다.

최근 한반도 기후변화 전망이 전 지역에서 기온이 상승할 것으로 전망되고 있으며, 특히 고위도로 갈수록 겨울에 더 가파르게 증가할 것으로 예측됨에 따라(Ahn JB et al., 2014), 향후 북부지역의 경우에는 내재휴면 타파기가 앞당겨지는 변화에 대응하여 이상고온 및 한파 등의 발생빈도를 지속적으로 모니터링 하고, 기후 변화 영향을 고려한 지역 환경에 적합한 저온요구도 축적 모델 개발 및 내재해 휴면특성을 가진 품종 개발 연구가 필요할 것으로 판단된다.

나. 휴면시기별 수삽 발아특성 조사

(1) 북부지역 주요 과종 및 수삽시기별 최종 발아율

표 2. 수삽 시기별 최종 발아율(2017. 11.~2018. 3.)

수삽시기(월/일)	11/16	11/29	12/14	12/27	1/15	1/31	2/14	3/6	3/29
CH 모델	257	404	498	560	628	701	768	969	1235
Utah 모델	498	586	630	662	715	769	807	976	1270
사과	후지	22.0	34.0	34.0	50.0	62.0	42.0	66.0	66.7
	홍로	36.0	36.0	52.0	72.0	48.0	70.0	86.7	

수확시기(월/일)		11/16	11/29	12/14	12/27	1/15	1/31	2/14	3/6	3/29
배	신고	40.0	65.0	56.0	58.0	60.0	64.0	66.0		
	원황	53.3	22.5	56.7	73.3	77.5				
복숭아	천중도	10.0	24.0	50.0	48.0	84.0	86.0	86.7	86.7	
	장호원	18.0	32.0	64.0	62.0	78.0	74.0	90.0	100	
포도	캠벨얼리	73.3	75.0	80.0	100	90.0				
	흑보석	65.0	100	95.0	85.0	80.0				

2017~2018년 예비시험에서 수확 최종 발아율 50% 이상을 기준으로 내재휴면 타파시기를 산출한 결과(표 2) 사과 후지의 경우 12월 27일경 저온요구도 560 h(Chilling Hour model), 662 CU(Utah Model), 홍로는 각각 12월 14일 498 h 630 CU 축적 조건에서 내재휴면이 완료된 것으로 분석되었다. 배(신고, 원황)와 복숭아(천중도백도, 장호원황도) 잎눈의 경우에도 모두 사과 홍로와 유사한 시기로 판단되었다. 그러나 포도의 경우 발아속도는 다른 과종에 비하여 현저히 느리지만, 11월 이후의 대부분의 수확 채취시기별로 45일 이내에 60% 이상의 정상 발아가 이루어졌으므로 최종 발아율 50% 이상 기준으로는 내재휴면 타파시기를 판단하기 어렵기, 수확채취 시기를 10월부터 추가 시험을 수행해야 할 것으로 나타났다.

2018~2019년 시험결과에서는(표 3) 최종 발아율 기준 사과 후지의 경우 1월 30일경 저온요구도 863 ~ 971 h(Chilling Hour model), 836 ~ 906 CU(Utah Model) 수준으로 높게 나타났으며, 홍로는 각각 1월 15일 863 h 836 CU 축적 조건에서 내재휴면이 완료된 것으로 분석되었다. 배 신고 품종의 경우 내재휴면 단계에서도 최저 발아율이 12월 28일 기준 58% 수준으로 타파시기를 판정하는 50% 이상을 나타내어 발아소요일수를 반드시 함께 고려해야 할 것으로 나타났으며, 원황의 경우에도 유사한 시기에 가장 낮은 발아율(40%)을 나타냄에 따라 비슷한 시기에 내재휴면이 완료되는 것으로 추정되었다.

표 3. 수확 시기별 최종 발아율(2018. 10.~2019. 4.)

수확시기(월/일)		10/1	10/15	10/31	11/14	11/30	12/14	12/28	1/15	1/30	2/15	3/5	3/19	4/1
CH 모델		5	98	277	421	647	695	792	863	971	1085	1245	1371	1568
Utah 모델		11	121	349	520	700	732	802	836	906	980	1114	1278	1467
사과	후지	86	62	50	30	28	8	34	44	62	66	74	80	
	홍로	88	48	46	34	30	24	46	52	74	74	90	90	
배	신고	93	83	93	79	73	67	58	100	90	100			
	원황	89	83	76	67	67	56	40	100	89	85			
복숭아	천중도	20	35	40	26	38	70	84	86	82	98			
	장호원	40	38	40	31	70	68	90	98	90	98			
포도	캠벨얼리	10	0	5	55	72	87	82	87	85	91			
	흑보석	5	5	45	65	85	80	90	95	90	100			

사과, 배 등은 꽃이 잎과 같이 발생하는 혼합화아인 반면, 복숭아는 꽃눈이 잎눈과 분리되어 각각 형성 되는 순정화아로 발생하며, 각각 저온 축적에 따른 발아 특성이 현저히 다른 것으로 나타났다. 복숭아 잎눈의 경우 천중도는 12월 7일, 장호원황도는 11월 21일경 상대적으로 이른 시기에 내재휴면

타파가 이루어지는 것으로 나타난 반면, 꽃눈은 천중도백도가 3월 6일(CU 976) 10.0 % 수준으로 처음 발아가 이루어졌고, 3월 29일(CU 1270) 64.0 %로 상당히 늦은 시기에 휴면타파가 이루어지는 것으로 판단되었으며, 장호원황도의 경우 3월 29일에 발아가 관찰되어(56.0 %) 두 품종 모두 잎눈에 비하여 꽃눈의 저온요구도가 상당히 높은 것으로 나타났다.

(2) 북부지역 수삼시기별 발아소요일수

표 4. 수삼 시기별 평균 발아소요일수(2017. 11.~2018. 3.)

수삼시기(월/일)	11/16	11/29	12/14	12/27	1/15	1/31	2/14	3/6	3/29	
CH 모델	257	404	498	560	628	701	768	969	1235	
Utah 모델	498	586	630	662	715	769	807	976	1270	
사과	후지	21.6	23.2	22.6	17.4	14.0	13.7	11.1	9.5	
	홍로	20.1	23.6	19.2	14.2	11.7	12.1	9.4	7.7	
배	신고	22.4	22.2	17.0	16.7	15.5	14.1	12.9	10.5	
	원황	27.3	26.7	23.5	19.7	16.7	13.0	13.7	9.8	
복숭아	천중도	34.6	32.2	22.8	15.9	13.5	13.3	13.0	9.2	5.7
	장호원	33.6	26.8	17.5	16.3	15.5	13.0	13.1	9.5	5.9
포도	캠벨얼리	34.1	29.5	32.7	30.0	25.0	22.5			
	흑보석	30.5	31.4	32.2	28.4	24.7	23.1			

2018~9년도 수삼시험의 조사결과를 종합해 볼 때, 내재휴면 타파시기는 최종 발아율 50% 이상, 발아소요일수 15일 이하 기준으로 사과 잎눈의 경우 ‘후지’는 1월 상순, ‘홍로’는 12월 하순이며, 배의 경우 ‘신고’, ‘원황’ 모두 1월 중순이고, 복숭아의 경우 ‘천중도백도’는 1월 상순, ‘장호원 황도’는 1월 하순으로 나타났다.

표 5. 수삼 시기별 평균 발아소요일수(2018. 10.~2019. 4.)

수삼시기(월/일)	10/1	10/15	10/31	11/14	11/30	12/14	12/28	1/15	1/30	2/15	3/5	3/19	4/1	
CH 모델	5	98	277	421	647	695	792	863	971	1085	1245	1371	1568	
Utah 모델	11	121	349	520	700	732	802	836	906	980	1114	1278	1467	
사과	후지	8.6	10.3	14.7	17.5	16.9	15.0	13.4	13.5	13.6	11.5	9.6	7.3	
	홍로	8.8	16.4	14.4	15.2	16.7	15.2	12.7	12.2	8.8	9.7	6.3	6.7	
배	신고	11.8	14.6	16.9	18.3	15.9	14.1	14.9	11.3	10.4	10.6			
	원황	11.6	14.6	21.0	25.6	17.9	14.8	15.0	13.2	9.5	9.5			
복숭아	천중도	33.5	35.5	28.2	27.8	25.1	15.0	11.7	10.6	10.8	9.9	8.1	7.1	
	장호원	30.8	34.9	23.4	29.3	16.3	13.3	13.5	11.0	9.9	9.2	8.2	6.2	
포도	캠벨얼리	28.0	-	42.0	32.7	30.1	25.3	24.9	22.3	22.3	20.2	13.1	6.7	5.1
	흑보석	11.0	21.0	39.4	31.5	30.1	29.0	24.7	26.7	22.1	18.4	15.7	14.1	7.4

포도의 경우 내재휴면 관련 연구 보고에서 ‘Campbell Early’ 품종 기준, 가지를 채취하여 수삼 후 발아에 적당한 환경에 두었을 경우 발아소요일수가 20 ~ 30일을 초과하고, 발아율이 50% 미만일 경우 포도나무의 내재 휴면기간으로 정의한 바 있으며(Lavee and May, 1997; Shulman et al., 1983),

국내 연구의 경우 캠벨얼리를 대상으로 CH 모델과 Utah 모델 기준으로 저온 적산 값 계산시 각각 321 h, 442 CU로 상당히 낮은 수준으로 보고된 바 있다(Lee et al., 2015). 포도의 경우 단순히 발아율만 적용할 때는(표 3) 내재 휴면 타파시기가 CH 277 ~ 421 h, Utah 349 ~ 520 CU 범위에 속하여 유사한 경향을 보였으나, 이는 45일 이내에 발아한 최종 발아율을 기준으로 한 것으로, 발아율 50 % 이상, 발아소요일수 30일 미만으로 기준을 잡았을 경우 CH, Utah 모델에서 각각 내재휴면 타파기 저온 적산 계산값이 각각 560 ~ 628 h, 662 ~ 715 CU 범위로 판단되었으며, 이는 기존에 보고된 값보다 다소 높은 결과로 나타났다. 문헌 및 연차간에 발생하는 상이한 결과들은 수삽 시험 방법 및 발아조건, 수체 영양생리에 영향을 주는 재배환경 등의 요인에서 차이가 있고, 저온 축적 외에 일장조건이나, 휴면기 이상고온 등 여러 환경요인이 다양하게 작용하기 때문일 것으로 추정된다. 따라서 향후, 이에 대한 수삽 환경 조건 및 발아 판단기준, 과종 및 지역별 저온요구도 예측모델 정밀성 향상 및 표준화를 위한 연차별 지속 모니터링 관련 후속 연구가 진행되어야 할 것으로 사료되었다.

표 6. 수삽 시기별 50% 발아 소요일수(2017. 11.~2018. 3.)

수삽시기(월/일)	11/16	11/29	12/14	12/27	1/15	1/31	2/14	3/6	3/29	
CH 모델	257	404	498	560	628	701	768	969	1235	
Utah 모델	498	586	630	662	715	769	807	976	1270	
사과	후지	23.1	22.0	23.3	17.0	13.4	13.7	11.3	9.0	
	홍로	21.8	22.5	19.4	13.5	11.7	12.0	8.8	7.7	
배	신고	22.4	22.1	16.8	17.0	15.3	14.2	13.0	10.7	
	원황	27.7	27.7	23.3	19.9	16.8	12.9	13.5	10.5	
복숭아	천중도	33.6	30.9	24.0	16.4	13.2	13.2	13.0	9.0	5.4
	장호원	33.2	29.2	17.7	16.4	15.4	13.0	13.0	9.3	5.5
포도	캠벨얼리	34.1	29.8	32.6	30.0	25.1	21.4			
	흑보석	30.5	31.4	32.0	28.5	24.2	22.8			

내재휴면 타파시기를 판정하기 위한 발아소요일수 산출 방법의 경우 50% 발아 소요일수와 평균 발아소요일수 모두 유사한 경향을 보였다(표 6, 7). 발아율과 발아소요일수를 각각 단일 기준으로 적용하여 내재휴면타파시기를 판정할 경우 발아소요일수는 50 % 발아소요일수를 기준으로 적용하는 것보다 평균발아소요일수를 기준으로 적용하였을 경우 최종 발아율 기준 대비 내재휴면타파시기 편차가 적은 것으로 나타나, 향후 수삽을 통한 내재휴면 조사 시험을 수행 할 경우 과종별로 충분한 수삽 발아조사 기간을 설정하고, 종합적인 판정을 해야 할 것으로 사료되었다.

표 7. 수삽 시기별 50% 발아 소요일수(2018. 10.~2019. 4.)

수삽시기(월/일)	10/1	10/15	10/31	11/14	11/30	12/14	12/28	1/15	1/30	2/15	3/5	3/19	4/1
CH 모델	5	98	277	421	647	695	792	863	971	1085	1245	1371	1568
Utah 모델	11	121	349	520	700	732	802	836	906	980	1114	1278	1467
사과	후지	7.8	10.2	14.1	17.6	16.2	13.7	13.7	13.8	13.3	10.9	9.8	7.8
	홍로	8.2	16.1	14.4	14.9	16.9	15.0	12.8	12.0	9.1	9.6	6.5	6.8

수삽시기(월/일)	10/1	10/15	10/31	11/14	11/30	12/14	12/28	1/15	1/30	2/15	3/5	3/19	4/1	
배	신고	11.6	14.8	16.7	18.1	15.1	14.4	15.5	10.9	11.0	10.6			
	원황	11.6	18.9	20.7	24.9	17.8	14.7	15.2	13.0	9.2	10.1			
복숭아	친중도	33.5	32.5	38.7	28.6	25.9	13.9	11.8	11.0	10.4	10.0	8.0	7.3	
	장호원	31.6	35.1	23.1	28.7	15.8	13.1	13.3	11.0	9.8	9.3	8.0	6.2	
포도	캠벨얼리	28.0	-	42.0	32.5	29.6	25.2	24.6	22.7	22.0	20.2	13.0	6.7	5.0
	흑보석	11.0	21.0	30.4	30.9	30.1	29.1	24.6	26.6	21.9	18.4	15.7	14.1	7.4

(3) 내재휴면 개시 및 타파시기 설정을 위한 수삽시기별 발아특성 검정(2018)

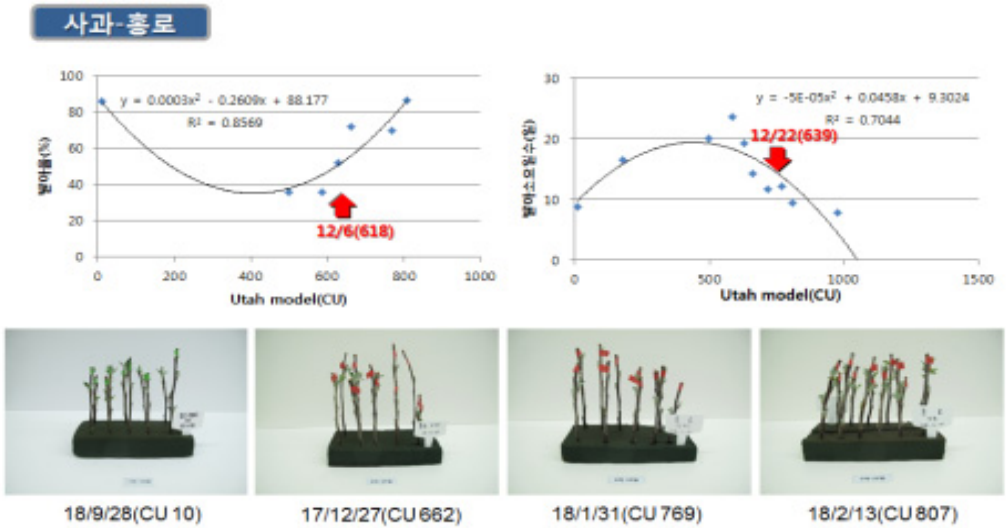


그림 4. 사과 ‘홍로’ 품종의 주요 시기별 저온요구도 및 수삽발아 특성('18)

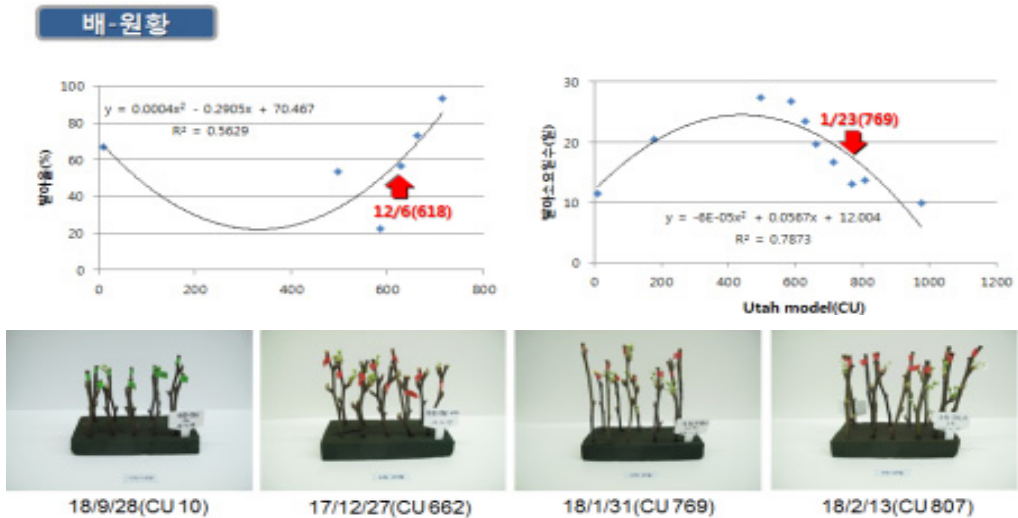


그림 5. 배 ‘원황’ 품종의 주요 시기별 저온요구도 및 수삽발아 특성('18)

복숭아-천중도백도

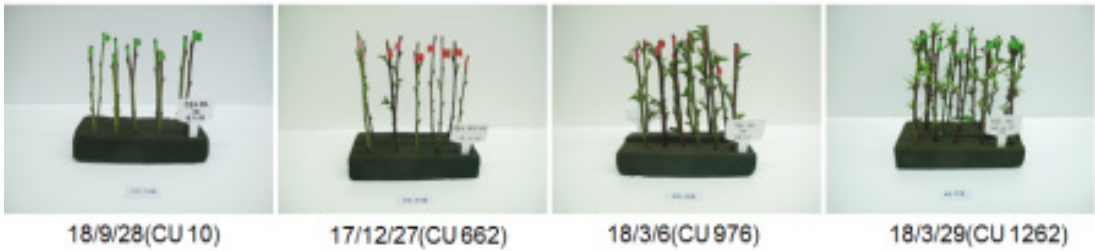
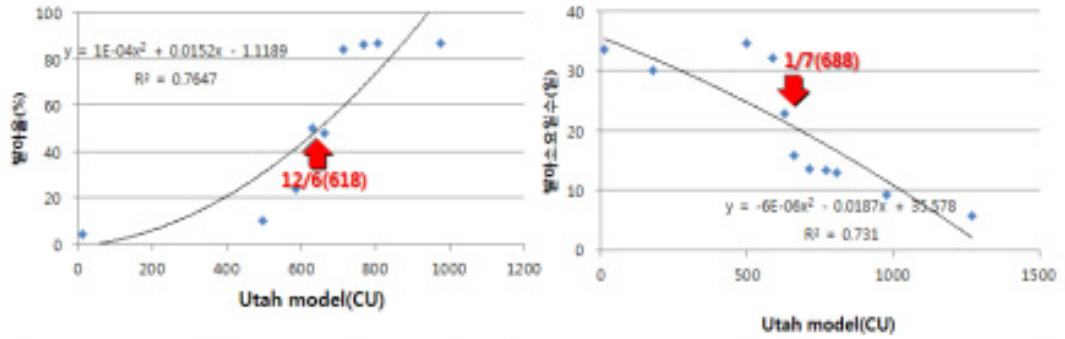


그림 6. 복숭아 ‘천중도백도’ 품종의 주요 시기별 저온요구도 및 수삽발아 특성('18)

포도-캠벨얼리

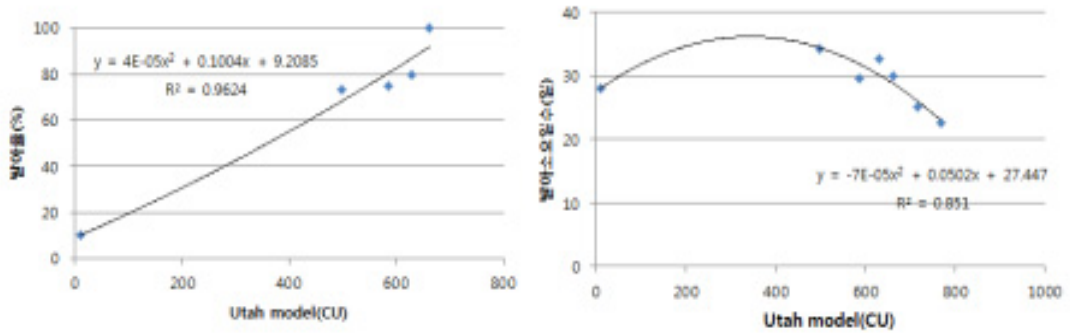


그림 7. 포도 ‘캠벨얼리’ 품종의 주요 시기별 저온요구도 및 수삽발아 특성('18)

2017~2018년도 예비시험 결과 내재휴면 타파시기 산정시 과중에 따라 발아율 기준으로 산정하는 방식과, 발아소요일수를 기준으로 산정하는 방식을 비교할 경우, 발아율 기준이 상대적으로 내재휴면 타파시기가 빠른 것으로 분석되는 경향을 보였으며, 복합기준 설정이 더 예측 정밀성을 높일 수 있을 것으로 사료되었다.

(4) 내재휴면 개시 및 타파시기 설정을 위한 수삽시기별 발아특성 검토(2019)

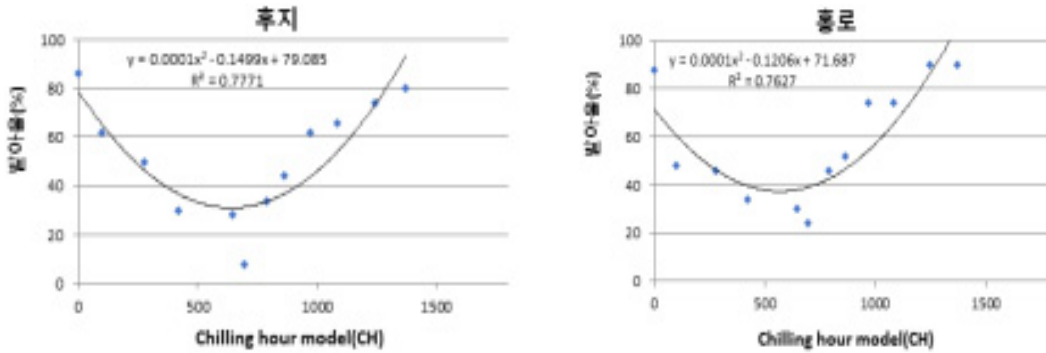


그림 8. 사과 주요 품종별 저온요구도 모델(CH)과 수삽발아율과의 상관분석('18~'19)

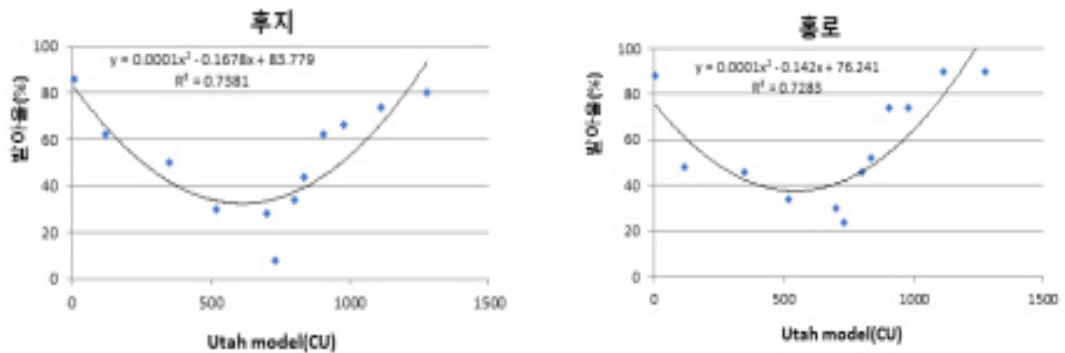


그림 9. 주요 품종별 저온요구도 모델(Utah model)과 수삽발아율과의 상관분석('18~'19)

내재휴면 타파시기를 최종발아율 50% 이상, 평균 발아소요일수 15일 이하(포도 발아소요일수는 25일 이하) 기준으로 설정하여 저온요구도 축적 모델별로 수삽발아율 및 수삽발아속도와의 관계를 분석한 결과 과종 및 품종에 따라 예측모형 정밀성이 우수한 저온요구도 산출 모델식이 다른 것으로 나타났다.

사과 후지의 경우 Utah model식의 예측 모형의 정밀성이 더 높은 것으로 나타났으며, 홍로의 경우에는 Chiling hour model이 더 우수한 경향을 보였다. 발아소요일수를 기준으로 저온요구도를 산출할 경우 후지의 경우 발아율 기준 산정방식보다 예측 정밀성이 조금 더 높아지는 경향을 보였으나, 홍로의 경우 발아율 기준이 더 높은 것으로 나타났다.

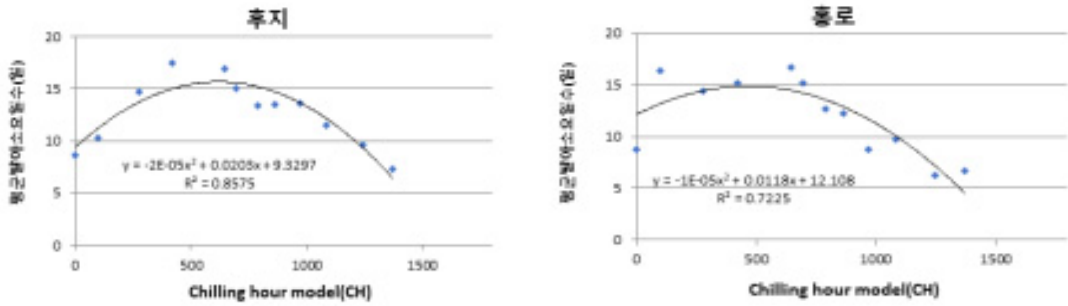


그림 10. 사과 주요 품종별 저온요구도 모델(CH)과 수확 발아소요일수와의 상관분석('18~'19)

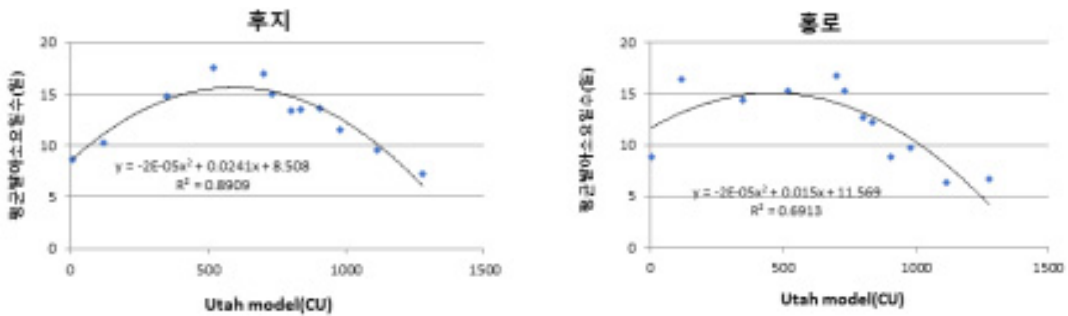


그림 11. 사과 주요 품종별 저온요구도 모델(Utah model)과 수확 발아소요일수와의 상관분석('18~'19)

사과의 경우 저온 축적과, 수확 발아와의 상관관계 분석에 있어서 Chiling hour model과 Utah model 모두 적정 수준 이상의 분석이 가능할 것으로 나타났으나, 정밀성에 대해서는 큰 편차가 없었다. 배의 경우에도 발아율보다 발아소요일수가 저온요구도와의 상관계수가 높았으며, 저온요구도 모델 중에서는 Utah model의 예측 정밀성이 더 높은 경향을 보였으나, 실측치와의 편차는 상대적으로 큰 편으로 나타났다.

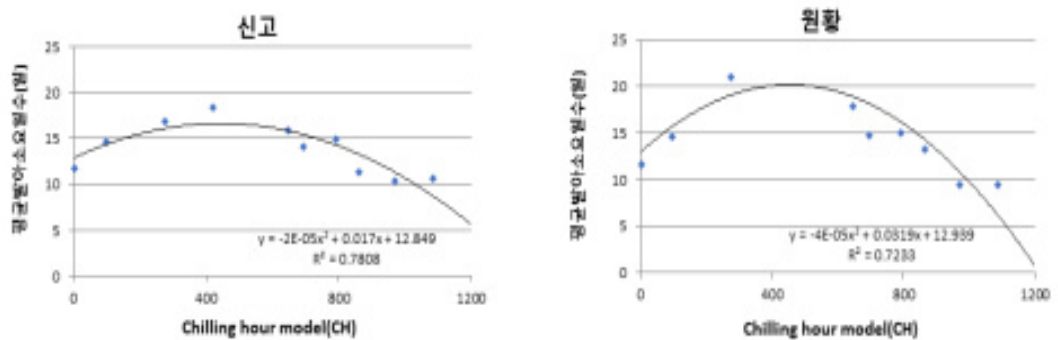


그림 12. 배 주요 품종별 저온요구도 모델(CH)과 수확 발아소요일수와의 상관분석('18~'19)

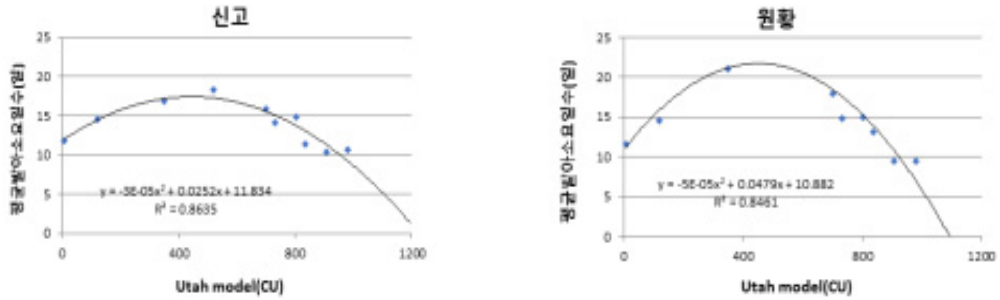


그림 13. 배 주요 품종별 저온요구도 모델(Utah model)과 수확 발아소요일수와의 상관분석('18~'19)

향후 정밀성을 높이고, 실용적으로 예측하기 위해서는 지역환경, 과종 및 주요 품종을 모두 고려할 수 있는 유효온도 및 한계온도 범위 설정 및 새로운 모델 개발 후속 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

2. 주요 과수의 생물계절 및 과실특성 조사

가. 기후변화에 따른 생물계절 특성

2019년도 배, 복숭아 주요 품종별 발아기는 전년대비 평균 6일 가량 빠른 3월 20 ~ 22일경(춘천 기준)으로 나타났으며, 이는 발아 전 평균기온이 전년 대비 높았던 것이 원인으로 판단된다. 그러나 발아기 이후에는 이상저온 현상이 지속되면서 개화기는 오히려 2 ~ 5 일경 지연되는 등 이상기온에 따른 생물계절 편차가 큰 것으로 나타났다.

표 8. 주요 과수의 생물계절 시기조사('18~'19)

과종	품종	발아기		개화기		만개기	
		'18	'19	'18	'19	'18	'19
사과	후지	3.28	3.31	4.20	4.26	4.23-24	5.1
	홍로	3.27	3.28	4.18	4.22	4.20-21	4.28
배	신고	3.26	3.20	4.13	4.17	4.17	4.21
	원황	3.28	3.22	4.17	4.19	4.19	4.23
복숭아	천중도백도	3.27	3.21	4.17	4.23	4.20	4.25
	장호원황도	3.28	3.22	4.18	4.22	4.21	4.24
포도	캠벨얼리	4.18	4.20	5.21	5.23	5.24	5.26
	거봉	4.20	4.22	5.24	5.28	5.28	6.1

나. 강원지역 연차별 주요 과종 · 품종의 과실품질 특성

표 9. 과종별 과실특성('18~'19, 춘천)

과종	품종	과중(g)		당도(°Bx)		산도(%)		경도(kg/φ8mm)	
		'18	'19	'18	'19	'18	'19	'18	'19
사과	후지	294	288	13.8	16.8	0.39	0.52	1.873	4.186
	홍로	235	261	15.7	14.2	0.34	0.32	1.610	3.702

과종	품종	과중(g)		당도(°Bx)		산도(%)		경도(kg/φ8mm)	
		'18	'19	'18	'19	'18	'19	'18	'19
배	신고	546	601	13.2	12.6	0.23	0.19	4,521	2,903
	원황	547	509	12.9	12.7	0.18	0.19	3,779	2,923
복숭아	천중도백도	343	367	12.6	10.9	0.50	0.35	4,551	4,747
	장호원황도	378	359	13.6	12.1	0.42	0.20	4,138	3,630
포도	캠벨얼리	312	385	13.5	16.4	0.64	0.76	-	-
	흑보석	749	693	17.2	18.9	0.48	0.75	-	-

연차별 과종, 품종별 과신품질 특성의 경우에도 기상환경 여건에 따라 편차가 크게 나타났으며 (표 6), 특히 지역 및 농가별로 재배기술 및 환경 요인 등에 의하여 착색, 과일크기, 병 발생 등 매우 다양한 요인에 의한 품질 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

향후 기후변화 대응 기초자료를 확보하기 위하여 지속적으로 지역 및 연차간 생물계절 모니터링을 통하여 여러 요소들을 분석할 수 있는 환경요인 영향평가를 수행하고, 분석 할 수 있는 현장 실측 빅데이터 데이터 축적을 위한 안정적인 공동연구 시스템 구축이 선행되어야 할 것이다.



그림 14. 주요 수집지역별 사과 '홍로' 품종의 과신품질 특성

4. 적 요

〈제1세부과제: 기후변화에 따른 과수의 저온요구도(북부지역) 충족시기 변동 실태 조사〉

가. 강원지역 기상환경 여건에 따른 휴면심도 및 저온요구도 충족시기를 조사하기 위하여 강원도 농업기술원 과수시험포장(춘천 유포리)에서 재배한 사과('홍로', '후지)의 결과지를 2018년 10월부터 2019년 3월까지 15일 간격으로 채취하여 항온상에서 25℃, 16시간 일장조건으로 잎눈에 대한 50% 발아시점과, 최종발아율, 발아소요일수 등을 조사하였음.

나. 발아율(50% 이상) 기준 2018년도 저온요구도 충족시기를 조사한 결과, 사과는 각각 홍로 품종이 1월 하순, 후지 품종이 2월 상순경으로 나타났으며, 배는 신고, 원황 품종 모두 1월 하순, 복숭아는 천중도백도 품종이 1월 하순, 장호원황도 품종이 2월 상순, 포도는 캠벨얼리, 흑보석 품종 모두 1월 하순경으로 나타남.

다. 2017~8년도 저온요구도 충족시기를 조사한 결과 사과는 각각 홍로 품종이 12월 하순, 후지 품종이 1월 상순경으로 나타났으며, 2018~2019년도에는 각각 1월 중순과 1월 하순으로 15일

- 가량 더 늦어지는 경향을 보여, 같은 지역에서도 동절기 기상 환경조건에 따라 큰 차이가 발생 하는 것으로 나타남.
- 라. 발아소요일수가 최소가 되는 시점을 기준으로 저온요구도를 산출할 경우 50% 발아율 기준 조사방식보다 상당기간 더 늦춰지는 경향을 보였음.
- 마. Chilling model, Utah model을 비교하여 분석한 결과 과종 및 품종에 따라 예측 오차가 적은 모델이 상이한 것으로 나타남.
- 바. 향후, 북부지역 주요 품종 및 지역환경 특성에 맞는 내재휴면 개시, 저온요구도 충족시기 산출 기준 정립 및 예측모델 선발이 필요할 것으로 판단되었음.

5. 인용문헌

- Ahn J.B., Choi Y.W. Jo Sera, Hong J.Y., 2014, Projection of 21st Century Climate over Korean Peninsula: Temperature and Precipitation Simulated by WRFV3.4 Based on RCP4.5 and 8.5 Scenarios. Atmosphere Korean Meteorological Society, 24(4): 541-554.
- Cesaraccio, C., D. Spano, R.L. Snyder, and P. Duce, 2004, Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. Agr. For. Meteorol. 126: 1-13
- Hauagge, R. and J.N. Cummins, 1991, Phenotypic variation of length of bud dormancy in apple cultivars and related malus species. J. Amer. Soc. Hort. Sci, 116: 100-106.
- Heo, Inhye, 2006, The Distribution of Regional Unusual temperature in Korea. Journal of The Korean Association of Regional Geographers 12(4): 461-474.
- Lavee, S. and May P., 1997, Dormancy of grapevine buds facts and speculation, Austral. J. Grape Wine Res. 3:31-46.
- Lee B.H., Park Y.S. and Park H.S., 2015, Changes in Dormant Phase and Bud Development of 'Fuji' Apple Trees in the Chungju Area of Korea. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 33(4): 501-510
- Luedeling, Minghua Zhang, Evan H. Girvetz, Climatic Changes Lead to Declining Winter Chill for Fruit and Nut Trees in California during 1950-2099, PLoS ONE | www.plosone.org , 2009 4(7) e6166: 1-9.
- Luedeling, Liang Guo, Junhu Dai, Charles Leslie, Michael M. Blanke, 2013, Differential responses of trees to temperature variation during the chilling and forcing phases, Agricultural and Forest Meteorology 181: 33-42
- Jung J.E, Kwon E.Y., Chung U. Yun J.I., 2005, Prediction Cherry Flowering Date Using a Plant Phenology Model, Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 7(2): 148-155.
- Kim E.J., J.C. Kim, K.C. Ko, K.R. Kim, and J.C. Lee, 2006, General pomology. Hyangmoonsha Press. Seoul. P. 38-39

- Kim S.O., Chung Uran, Kim S.H., Choi I.M., and Yun Jin I., 2009a, The Suitable Region and Site for 'Fuji' Apple Under the Projected Climate in South Korea, Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 11(4): 162-173.
- Kim S.O., Kim J.H., Chung Uran, Kim S.H. Park G.H. and Yun J.I. 2009b, Quantification of Temperature Effects on Flowering Date Determination in Niitaka Pear, Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 11(2): 61-71.
- Kim J.H., Kim S.O., Chung Uran, Yun J.I. Hwang K.H., Kim J.B. and Yoon I.K., 2009c, Geospatial Assessment of Frost and Freeze Risk in 'Changhowon Hwangdo' Peach (*Prunus persica*) Trees as Affected by the Projected Winter Warming in South Korea: Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 11(7): 213~220.
- Kwon E.Y., Jung J.E. Chung Uran, Lee S.J. Song G.C, Choi D.G and Yun J.I., 2006, A Thermal Time-Driven Dormancy Index as a Complementary Criterion for Grape Vine Freeze Risk Evaluation, Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 8(1): 1~9.
- Oh S.D. et al., 2004, Fruit Tree Physiology in Relation to Temperature, Gilmogeum, p. 12~24., 122~139.
- Richardson, E.A., S.D. Seeley, and D.R. Walker. 1974, A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees, Hortic. Sci. 9:331-332.
- Shulman, Y. and G. Nir, Fanberstein, and S. Lavee. 1983, The effect of cyanamide on the release from dormancy of grapevine buds, Sci. Hortic. 19: 97-104
- Seo H.H. and Jim J.K., 2005, Cultivation of fruit trees in Korea under the changing climate. Proceedings of the Seventh Conference on Agricultural and Forest Meteorology, Sangju, 103-106
- Svetlana Fishman, A. Erez, G.A. Couvillon, 1987, The temperature dependence of dormancy breaking in plants: Mathematical analysis of a two-step model involving a cooperative transition, Journal of Theoretical Biology: 124(4): 473-473
- Weinberger JH, 1950, Chilling requirements of peach varieties, Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 56:122-128.

6. 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2018(1년)	홍보	강원 봄철 과수 동해피해 관련 대책 등 3건
	학술발표	강원지역 사과, 배, 복숭아, 포도 주요 품종의 Chilling days 모델을 이용한 저온요구도
2019(2년)	영농정보	강원과수 휴면심도 분석 반응형 모바일 웹 프로그램 활용(자체)
	홍보	과수 개화기 빨라져, 복숭아, 배 등 과수원 저온피해 예방 대책 당부 등 3건
	학술발표	강원지역 사과 주요 품종의 수습 받아특서에 따른 내재휴면 타파시기

성과지표명		연도	1년차(2018)		2년차(2019)		계	
			목표	실적	목표	실적	목표	실적
학술 발표	국제							
	국내		1	1	1	1	2	
영농 활용	기술							
	정보				1		1	
홍보			3	3	3	3	6	6
계			3	4	4	5	7	9

7. 연구원 편성

구 분	소 속	직 급	성 명	수행업무	참여년도	
					'18	'19
과제책임자	국립원예특작과학원	농업연구사	정재훈	과제 총괄	○	○
2세부책임자	원예연구과	농업연구사	정햇님	세부주관 수행	○	○
공동연구자	원예연구과	농업연구관	박영식	시험수행 및 평가	○	○
	원예연구과	농업연구사	박천규	시험분석지원	○	○
	원예연구과	"	이제창	시험분석지원	○	○
	원예연구과	공업서기	이기옥	현장조사 지원	○	○
	원예연구과	공무직	강명주	조사분석지원	○	○
	원예연구과	공무직	김수진	조사분석지원	○	○