

어젠다코드	4 - 1 - 2		구분	완결	
기술분야코드	V2	기술유형코드	C05	작목구분코드	FT-01-0604
과제종류	농업공동연구		세부사업(약어)	기후변화 대응	
과제명	복숭아의 내한성 평가기준 설정 및 재배한계지 현장실증 연구				
과제책임자	성명		직급	소속기관 및 부서	
	이희재		교수	서울대학교	
연구기간	2017 ~ 2019		참여연구기관	강원도농업기술원 등	
세부과제명			부서	세부책임자	연구기간
2) 복숭아 내한성 평가에 따른 재배 한계지 평가 및 현장 실증 연구			원예연구과	정했님	'17~'19
색인용어	복숭아, 내한성, 재배한계지, 저온순화, 전사체 분석				

ABSTRACT

The study was carried out to develop of cold hardiness evaluation system and field demonstration in marginal land by techniques of cold hardiness evaluation system of domestic breeding peach varieties. We've tested cold resistance of 12 varieties of domestic in 2 places('Chun-cheon', 'Yang-gu' in marginal land('17~'19).

The percentage of freezing of some overseas varieties, Gabonambaek, Great Jumbo, Kazuki, and Odoroki, which reported poor cold resistance, were all 100% in 'Yang-gu', and was 12.5, 25.0 and 62.5%, respectively in 'Chun-cheon',

Based on the finding was selected superior cold resistance domestic varieties of 'Mihong', 'Yumi', 'Yumyung', 'Sumi'.

We've analyzed shoot ingredient content(soluble sugar, starch, proline, anthocyanin et al.) for influence of cold resistance by variety and dormancy depth. And developed nondestructive evaluation method of cold hardiness test with measurement of chlorophyll fluorescence imaging(CFI) of peach shoots. In our study, the CFI analysis and its parameters(QY_max, Rdf_Lss etc.) was applicable as a rapid assessing method for the cold resistance.

We also performed the study to evaluation thermal insulation covering materials using in peach farms and selected of superior material 6 kinds for overwinter. Selected material in this study, showed the highest day and night thermal insulation effects.

Our results suggest that Expanding the distribution of new domestic varieties by providing cold-tolerant varietal information, inducing cultivation disaster ditigation and foundation construction of stable production

1. 연구목표

우리나라의 주요 6대과일 중 하나인 복숭아는 사과 등 다른 온대 과종에 비해 내한성이 상대적으로 약한 것으로 알려져 있으나, 재배한계지에 속하는 강원 지역에서도 사과 다음으로 재배면적이 넓은 과수 작목이다.

전세계적으로 지구 온난화 문제가 심각해지고, 기후변화에 따라 주요 복숭아 생산지에서도 휴면 타파에 필요한 충분한 저온 공급이 어려울 것이 예측되면서, 저위도 지역의 경우 낮은 저온요구도를 가진 품종 수요가 증가하는 반면(Desmond R. Layne and Daniele Bassi, 2008), 기존에 추운 겨울 온도로 생산여건이 불리했던 재배 한계지는 재배적지로 예측되고 있어, 국내에서도 복숭아 재배 지역이 점차 북상하는 추세이다. 그러나, 최근 겨울철 이상고온 및 한파 발생 등 기후변화에 따른 이상 기상 발생 빈도가 높아지고 있어, 내한성이 충분히 검토되지 않은 도입 품종의 무분별한 식재 등에 따른 동해 및 저온 피해 위험 발생이 매년 일어나고 있는 실정이다.

복숭아 등 온대낙엽과수는 낙엽 이후 다음해 발아할 때까지 겨울의 혹한에 생장활동을 최소한으로 억제하는 ‘휴면(dormancy)’ 단계에 들어가며, 이는 식물의 생장 주기 중 불량 환경조건에서 생존하기 위해 고도로 진화된 기작으로 알려져 있다(Faust, 1989). 휴면기간에는 내한성이 높아져서 겨울의 낮은 온도에도 견디는 힘이 강하지만, 휴면이 해제되면서 내한성이 급격히 낮아져 동해에 취약한 상태가 된다. 따라서 ‘휴면심도(dormancy depth)’는 과수 월동 과정의 내한성을 결정하는 매우 중요한 요소이나, 현재 식물 휴면 및 내한성을 평가하는 직접적이며 비파괴적인 방법은 아직까지 개발되어 있지 않다(Kim et al., 2009c).

우리나라 연평균 기온은 중부지방에서 소백산맥을 잇는 북쪽지역은 11℃ 이나, 영남 남해안은 14℃ 이상으로 지역 간 3℃ 수준의 상당한 차이가 발생하므로 과수를 선택할 때는 연평균온도 및 해당 지역의 지형 온도 조건 등을 고려하여 과종과 품종을 선택해야 한다(Oh S.D. et al., 2004). 겨울철에는 -15 ~ -20℃ 까지 복숭아 재배가 가능하나, 꽃눈의 내한성은 약하여 -18℃ 전후에서 저온 장해를 받을 수 있으므로 추운 지방에서는 품종 선택에 특별히 유의하여야 한다(Lee et al., 2015).

실제로 2010년 1월 중 극최저기온 출현에 의해 과수 동해 피해가 컸는데, 특히 사과 배에 비하여 동해 피해 온도가 높은 복숭아 재배농가의 피해가 가장 심하였다(Seo et al., 2010). 2013년에 발생한 겨울철 한파로 강원도 복숭아 전체 재배면적의 약 23%에 해당하는 168.7 ha의 면적이 동해피해를 입은 바 있다(강원도농업기술원 시험연구보고서, 2014).

또한 최근 기후변화의 영향으로 겨울철 이상기후가 빈번하게 발생하면서 복숭아의 동해위험은 계속해서 증가하고 있다. 북부지역의 경우 길고 추운 겨울 기후 특성상 기온이 0℃ 이하 생리적으로 무효한 상태가 장시간 지속되어 0 - 7.2℃ 도 수준으로 알려진 온도 범위의 저온공급이 지연되고, 엄한기가 지나 유효한 저온이 지속되면 그때야 저온요구도가 빠른 속도로 충족되는 특성을 가지고 있는데, 동절기 이상고온은 이러한 한겨울 무효 기간이 짧아져서 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.

복숭아의 품종별 저온요구도는 Utah model 기준 100 ~ 1,000 CU 수준(Weinberger, 1950, Richardson, 1974, Lee, 2015)까지 유전적으로 매우 다양하며, 내재휴면 개시, 심도 및 완료 등이

저온요구도에 따라 다른 특성을 보이게 되므로, 품종 및 재배지역의 겨울철 기온환경에 따라 휴면 심도와 내한성이 크게 달라진다. 이를 간접적으로 평가하기 위한 방법으로 온도시간(thermal time)에 근거한 휴면시계 모형이 다수 제시된 바 있다(Weinberger, 1950, Richardson, 1974, Carla Cesaraccio et al. 2004). 그 중 일 최고기온과 최저기온자료만으로 온도범위에 따라 가중치를 달리하여 온도 시간을 계산하는 Chill days 모형은(Carla Cesaraccio et al. 2004)의 경우 과종 및 품종별 기준 온도를 설정 할 경우 해당 지역의 발아기 등 실측값과 연계 동해 발생 위험 및 예측이 가능한 실용적인 모델로 평가받고 있으며, 국내에서도 배, 복숭아, 포도 등의 주요 품종 등에 대하여 휴면심도 분석 및 생물계절 예측을 통한 동해정보시스템 기반 구축을 위한 기초자료연구 등이 수행되고 있다(Kwon et al., 2005, Kim et al., 2009a, Kim et al., 2009b, Chung et al., 2009a, Chung et al., 2009b).

내한성에는 수채 탈수과정(Akyildiz et al., 2004)를 비롯하여, 증산작용, ABA 농도 등의 요인들이 깊이 관여하며(Thomashow, 1998), 낙엽성 과수는 체내 수분 농도, 탄수화물, 질소, 지방산(Mastuo et al., 1992), 아미노산, 단백질, 가용성 당 및 전분(Yoon, 1996) 등 많은 요인에 의해 영향을 받는 것으로 보고되고 있다. 이러한 내한성 평가를 위하여 저온 순화 과정의 형태적, 생리적 변화와 내동성 관련 수채 물질 특성등을 분석하여 간접적으로 추정하는 방법들의 경우 분석 전처리기가 매우 까다롭고, 장시간이 소요되며, 품종의 유전적 특성, 재배환경 및 실험방법 등에 따라 판단이 어려운 경우가 많다. 따라서 내한성 연구의 효율성을 높이기 위해서는 무엇보다 쉽고 빠르며, 재현성이 높고, 비파괴적인 분석방법 개발이 시급한 실정이다.

최근 엽록소 형광 이미지(Chlorophyll fluorescence imaging) 분석법을 이용하여 비생물학적 스트레스에 대한 광화학적 생리지표 연구가 진행되고 있으며, 특히 저온 및 고온스트레스에 의한 엽록소형광반응 연구등이 주로 식물의 잎 등이나, 사과, 단감 등 과일에서 한정되어 추진 된 바 있다(Ogwenio et al., 2009, Yoo et al., 2014; Yoo et al., 2015). 엽록소형광 이미지 분석 기술을 활용하여 단감 열매의 동상해 피해를 비교분석한 결과 광화학적 매개변수중 기준에 많이 활용되는 광계 II의 광화학반응에서 최대양자수율을 나타내는 Fv/Fm ratio 값 뿐만 아니라, Fo, Fm, Fv, NPQ, Rfd 등 총 6개 매개변수를 생리지표로 선발한 바 있으며(Yoo et al., 2015), 이러한 지표들은 엽록소가 존재하는 수피, 결과지 등에서도 적용이 가능한 방법으로 나타남에 따라, 복숭아 내한성을 평가하는 비파괴적 간편 평가 방법으로서의 개발 가능성에 대한 검토가 필요하다.

일반적으로 복숭아는 동해에 대한 보호 기작을 살펴보면, 겨울철 복사 냉각을 통하여, 꽃눈이나 신초가 주간부보다 더 낮은 온도까지 초과냉각(deep supercooling)된 상태가 되나, 빙핵(Ice crystal) 형성은 반대로 주간부 수피에서 시작되어 꽃눈이나 신초로 퍼져나간다(Wisniewski et al., 2003). 따라서 복숭아 동해를 예방하기 위해서는 보온을 통한 주간부의 빙핵 형성을 최대한 억제하는 것이 중요하다. 비교적 겨울이 따뜻한 기후에서 재배하는 복숭아도 내재 휴면 후의 급격한 기온 변동으로 저온 피해를 입을 수 있는데(Savage, 1970), 이는 분지점과 원줄기 형성층의 동해는 따뜻한 기간 후라면 $-9 \sim -6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 범위에서 일어나며, 같은 조건에서 뿌리쪽에는 아무런 피해를 입지 않는 것은 햇빛을 직접 쬐는 수피의 온도는 급격히 상승(35°C 까지 올라갈 수 있다)하는 반면, 뿌리는 직접적으로 노출되지 않아 주간 온도차가 크지 않기 때문이다. 이러한 경우 나무 원줄기에 백색 유액 페인트 도포를 통하여 주간 수피 온도 상승을 $8\sim 17 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 까지 낮출 수 있다는 연구결과가 있다(Melvin, 1999).

국내에서는 복숭아 주간부 동해 예방을 위한 피복재 보온성을 평가하기 위하여 자재별 주간 단열 및 야간 보온효과가 우수한 방수패드 재질의 보온피복재를 선발한 바 있다(Shin et al., 2016). 현재 복숭아 재배농가에서는 이러한 최신 개발 월동 피복소재 외에도 경제성 및 작업편의성 등을 고려하여 벚짖, 신문지 등 다양한 피복재를 이용하여 주간부를 피복하고 있으나, 보온효과만을 고려할 경우, 피복재 재질에 따라서는 주야간의 온도차가 오히려 커지거나 주간부가 과습해지는 등 오히려 동해 방지에 취약한 환경이 조성될 위험이 있다. 하지만 현재까지 복숭아 재배농가에서는 피복재를 선정하는데 있어, 대부분 관행적인 경험에만 주로 의존하고 있는 실정으로 이에 대한 객관적인 선택 정보 제공이 시급한 실정이다.

복숭아의 생산성과 품질을 지속적으로 유지하기 위해서는 복숭아의 저온에 대한 생리, 생화학적, 분자생물학적 반응에 대한 많은 생체정보의 축적, 체계적인 내한성 평가방법 개발, 육종 시스템 구축 및 농가 현장 실증이 바탕이 되어야 할 것이다. 또한 기후변화 대응 동해에 취약한 복숭아의 내한성을 강화하고, 예측 및 조기 대응 조치를 통한 농가 피해를 최소화 할 수 있는 실용화 연구가 필요하다.

본 연구는 복숭아 국내 육성 신품종을 중심으로 재배한계지 현장 실증 평가 및 주요 품종에 대한 실용적인 내한성 검정 방법 개발, 실증을 통하여 내한성 우수 품종 조기 선발·육성 및 보급 기반 및 재해 경감 안정생산 시스템을 구축하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

〈제1세부과제: 복숭아 내한성 평가에 따른 재배 한계지 평가 및 현장 실증 연구〉

(시험 1) 복숭아 재배 한계지 현장 실증 연구

가. 시험포장 조성

재배한계지역은 2017년 4월에 양구 해안면 만대리와, 춘천 신북읍 유포리 과수시험포장 2개소를 선정하여 포장을 조성하였다. 품종은 국내 육성 품종 ‘미황,’ ‘미홍,’ ‘유미,’ ‘미스홍,’ ‘선미,’ ‘유명,’ ‘설홍,’ ‘수미’ 등 8개 품종과 도입품종 ‘지요마루,’ ‘오도로키,’ ‘가남암백도,’ ‘그레이트점보아카즈키’ 등 4품종을 선정하였으며, 총 12개 품종을 Y자 수형으로 구성하여 각각의 시험포에 5 × 2m로 정식하였고, 연차간 생육특성 및 겨울철 저온에 의한 동해 피해 정도를 조사하였다.

나. 지역별 기상, 휴면심도 분석 및 토양환경 조사

춘천 신북, 양구 해안 시험포장 인근의 기상청 제공 AWS 데이터를 수집하여 Utah model (Richardson, 1974), Chill days 모형(Carla Cesaraccio et al., 2004)을 활용하여 각각 시료 채취 시기의 저온요구도(CU) 및 휴면심도(CD)를 분석하였으며, 시험 전 후의 대상 포장의 토양 이화학적 성을 조사하였다. 분석방법은 농촌진흥청 농사시험연구조사기준(RDA, 1995)에 준하여 수행하였다.

다. 생육 및 동해피해 조사

매년 7월과 10월에 재배지역별 및 품종별 생육 특성 조사를 각각 수행하였다. 연차별로 주간부

직경을 디지털 캘리퍼스(Mitutoyo, CD-20CP, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 수고, 신초 발생수(2년생), 신초 길이 및 직경 등 발달 단계별 생육을 조사하였다.

동해 피해조사는 매년 3월 하순경에 현지 포장에서 주간부 갈변도를 등급별로 분류하고(0, 연한 녹색 ~ 9, 짙은갈색), 결과지를 채취하여 오아시스에 품종별로 10개의 가지를 수삽한 뒤 강원도농업기술원 원예연구과 식물공장 시설 내 항온상에서 온도 25±1℃, 상대습도 50%, 광주기 16/8(day/night)로 일정하게 유지시킨 환경에서 치상하여 잎과 꽃눈을 발아 시킨 후에 절단면을 관찰하여 동해 피해율을 조사하였다. 2년차(2018년)부터 착과가 이루어지는 품종의 숙기를 조사하고 해당 시기에 과실 특성을 전수 조사하였다.

라. 수채 분석

재배한계지 식재 주요 품종에 대한 휴면단계별 내동성 평가를 위하여 수채의 C/N율, 전분, 유리당(sorbitol, fructose, glucose, sucrose), 프롤린, 안토시아닌 함량 등을 분석하였다.

10월 하순부터 1개월 간격으로 춘천, 양구 2개 시험포장에서 품종별로 각각 직경 4mm 내외의 결과지를 채취하여 50 °C 조건에서 열풍건조하여 분석시료로 활용하였다.

표 1. HPLC 기기 분석 조건(soluble sugar)

구분	분석조건
Instrument	HPLC (Waters 2690, USA)
Mobile phase	ACN: d-water = 75: 25
column	Prevail carbohydrate ES, 250×4.6mm, 5μ m
Column Temp (°C)	30
Flow rate (mL/min)	1
Injection volume (μ L)	20
Detector	ELSD (Waters 2424, USA)
Gain	100
Drift Temp (°C)	70
Gas pressure (psi)	50
Nebulizer	cooling

유리당 분석은 건조시료 2g에 10 mL의 증류수를 첨가하여 1시간 동안 초음파 추출 후 10,000 rpm에서 30분간 원심분리. 상등액을 0.45 μm membrane filter에 통과 시킨 다음 분석시료로 희석하여 사용하였다. sorbitol, fructose, glucose, sucrose(Sigma Chemical Co., St, Louis, MO, USA)를 표준물질로 하여 표 1의 조건으로 HPLC(표 1) 기기분석 후 정량곡선을 작성하고 시료에 함유된 유리당 함량을 정량하였다.

기타 C/N율, 프롤린, 안토시아닌 함량 등의 분석방법은 농촌진흥청 농사시험연구조사기준(RDA, 1995)에 준하여 수행하였다.

마. 시험구 배치 및 통계처리

시험구는 품종별로 7주씩 총 3반복으로 시험구를 배치하였고, 시험구 내에서 반복별로 초기 생육이 비슷한 시험수 3주를 선정하여 생육조사를 수행하였다. 통계분석은 통계패키지 (Windows용 SAS ver.8.01)을 이용하였다.

(시험 2) 국내 신품종 내한성 검정

가. 시험재료

국내 육성 주요 신품종 ‘미홍’, ‘유미’, ‘미스홍’, ‘수미’의 1년생 결과지를 채취하여 휴면심도에 따른 온도처리 및 동해 조사용 시료로 활용하였다. 대조품종은 전주 지역은 ‘키라라노미야기’, 양구 지역은 ‘백천황도’를 사용하였다.

시료 채취장소는 복숭아 재배한계지 양구 해안면 농가 포장과 전주 국립원예특작과학원 과수과 시험포장에서 각각 품종별로 5년생 이상의 수령의 나무에서 충실한 결과지를 채취하였으며, 실험 때마다 처리당 일정 굵기의(4~7 mm) 장과지(30 cm 이상) 30개씩을 선별하여 시험재료로 활용하였다. 채취시기는 매년 1월 중순(1차), 2월 상순(2차), 2월 하순(3차)에 수행하였으며, 채취지역별 휴면시계 모형을 이용하여 휴면심도를 산출하였다(Cesaraccio et al., 2004).

나. 저온처리 방법

품종, 재배지역 및 채취시기별 처리온도는 -15, -20, -25 °C 3 수준으로 하였으며 저온챔버 (TC-KE-100, JEIO TECH, Korea)에서 온도 상승 및 하강 속도는 각각 5°C/h, 처리온도에 도달 후에는 지속시간을 2시간을 유지하는 방법으로 저온처리를 수행하였다.

저온처리 후 수압 최종 동해율 조사, 전해질 유출량(electrolyte leakage), 결과지 엽록소형광반응 등을 측정하였으며, 엽록소형광이미지 측정은 시료를 알루미늄포일을 이용하여 30분 이상 암처리 후 외부의 광이 차단된 암실에서 엽록소형광이미지측정기(FluorCam, PSI, Czech Republic)를 이용하여 광화학 지표 종류별 데이터를 비교 분석하였다(Yoo et al., 2015)

(시험 3) 동해 경감을 위한 월동 피복재 특성 검정

농촌진흥청에서 개발한 다중부직포를 포함하여 농가에서 주로 사용하고 있는 벗짚, 신문지, 다중부직포, 타이벡(방수), 타이벡(투수), 반사필름, 3중탄력밴드, 보온덮개, 은박쿠션, 흑색부직포, 흑색멀칭용 비닐, 황색종이(사료포대), 이엉 등 11종의 피복자재를 대상으로 월동기 복숭아 나무 ‘천중도백도’ 주간부 피복 후의 미기상환경 조사를 통한 피복자재별 환경변화를 분석하고 이에 따른 피복자재로써의 적합성 여부를 검토하고자 하였다.

설치기간은 12월 하 ~ 3월 초까지 피복처리를 수행하고, 처리별 주간부 미기상특성은 간이데이터 로거 HOBO(U-12-012, Onset, USA)를 설치하여 처리자재 및 시간대별 광, 온도, 상대습도 등을 조사하여 비교분석 하였다.

3. 결과 및 고찰

〈제1세부과제: 복숭아 내한성 평가에 따른 재배 한계지 평가 및 현장 실증 연구〉

(시험 1) 복숭아 재배 한계지 현장 실증 연구

가. 복숭아 재배한계지 현지 실증 포장 조성

2017년 1년차에 북부한계지 2개소 포장을 선정하고, 춘천 신북읍 유포리 과수시험포장과 양구 해안면 만대리에 각각 3월 23일, 4월 10일에 품종별로 묘목을 식재하여 포장을 조성하였다. 국내 육성 품종 ‘미황,’ ‘미홍,’ ‘유미,’ ‘미스홍,’ ‘선미,’ ‘유명,’ ‘설홍,’ ‘수미’ 등 8개 품종과 도입품종 ‘지요마루,’ ‘오도로키,’ ‘가남암백도,’ ‘그레이트점보아카즈키’ 4품종 포함 총 12품종에 대하여 동일한 재배 관리 조건에서 지역 재배적응성을 평가하였다.

나. 기상 특성 및 동해 발생 조사('17~'19)

2017년부터 3년간 춘천시 신북읍과 양구군 해안면 시험포장 인근의 기상청 제공 AWS 데이터를 수집하여 Utah model(Richardson, 1974)과 Chill days 모형(Cesaraccio et al. 2004)을 활용하여 기상환경, 저온요구도 충족시기 및 휴면심도를 비교 분석하였다.

표 2. 춘천지역 평년 대비 연차별 동계 온도 특성 비교('17~'19)

구분	1월			2월		
	평균	최고	최저	평균	최고	최저
2017	-3.0	3.1	-8.5	-1.2	5.1	-7.5
2018	-5.5	0.3	-10.6	-3.0	3.4	-9.3
2019	-3.5	4.1	-9.8	0.0	6.4	-5.8
평년	-4.6	1.3	-9.9	-1.3	5.1	-6.9

2017년과 2019년에는 각각 -20℃ 이하 극저온 기후는 거의 발생하지 않았으며, 춘천 기준, 2019년 1월 평균 최저기온은 -3.5℃, 2월은 0℃로 평년 대비 각각 1.1, 1.3℃ 높은 것으로 나타났다(표 2).

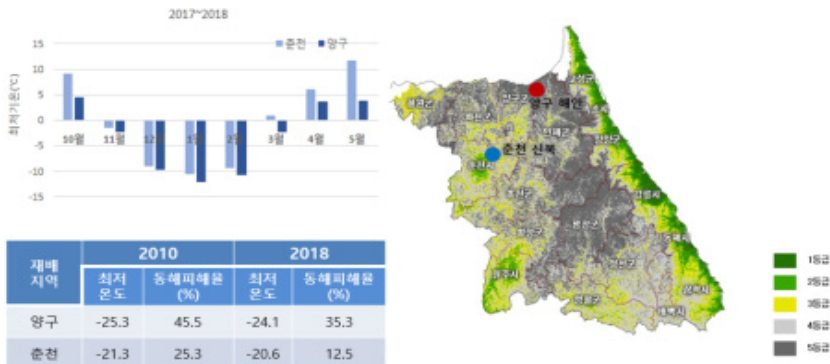


그림 1. 2018년 시험지역별 최저온도 및 동해 피해율 비교

2018년에는 최저기온이 춘천과 양구 각각 - 20.6, - 24.1 °C 를 기록하여 복숭아 동해 피해율이 상대적으로 높게 나타났다. 최근 10년간 동해피해가 가장 컸던 2010년에 비하여 최저온도가 각각 0.7, 1.2 °C 정도 높은 수준이었으나, 해당지역 복숭아 재배농가 동해조사 평균 피해율은 춘천 12.5, 양구 35.3 % 수준으로 상당히 높은 수준으로 나타났다(그림 1).

2019년 장호원황도 기준 지역별 저온요구도 충족시기는(기준온도 5.7°C, CD - 108, Cesaraccio, 2004)) 전북 전주 기준 2월 14일, 춘천 3월 8일, 양구 해안은 4월6일로 내재휴면 타파시기가 지역별로 현저히 다른 것으로 나타났다.



※ 휴면시계모형(Carla Cesaraccio et al. 2004), 장호원황도, 기준온도 5.4°C

그림 2. 재배한계지 주요 연도별 휴면심도 비교(양구 해안)

복숭아 재배한계지 양구 해안을 기준으로 주요 연도별 휴면심도를 비교해 본 결과, 최하월(12~1월)의 휴면심도는 연차간에 차이가 있었으나, 내재휴면 타파시기는 3월 중순이후 대부분 이루어지는 것으로 나타나, 해당 지역의 저온요구도 충족 특성을 고려하여 품종 선택이 이루어져야 할 것으로 사료되었다.

표 3. 재배한계지 실증 과원 조성: 춘천, 양구 2개소

시험장소	해발고도	식재품종	정식거리	식재일자	수형
양구군 해안면 만대리	462m	수미 등 12품종	5×2m	'17.4.10	Y자 수형
춘천시 신북읍 유포리	139m	"	"	'17.3.23	"



춘천 신북면



양구 해안면

그림 3. 복숭아 재배한계지 현장실증 시험포 조성전경

다. 지역 및 품종별 동해 피해 수준 비교

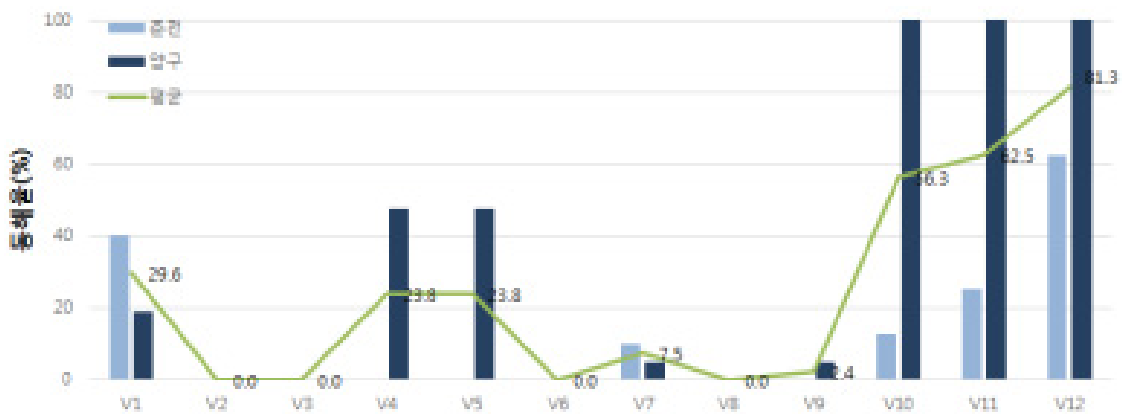
(1) 양구 지역 복숭아 품종별 주간부 갈변 수준 비교



그림 4. 주요 품종별 동해피해에 따른 주간부 갈변 비교('18. 3., 양구 해안)

2018년 3월, 주요 품종별 동해피해에 따른 주간부 갈변 등급 조사 결과 양구의 경우 오도로키(8.8), 가남암백도(8.3) 미황(4.1) 선미(4.0) 유명(3.8) 수미·미홍·유미·미스홍(3.3 이하) 순으로 나타났다(그림 4).

(2) 복숭아 품종별 재배한계지 유목 동해율 비교('18, 양구 해안)



※ V1: 미황, V2: 미홍, V3: 유미, V4: 미스홍, V5: 선미, V6: 유명, V7: 설홍, V8: 수미, V9: 지요마루, V10: 가남암백도, V11: 그레이트점보아카즈키, V12: 오도로키

그림 5. 복숭아 재배한계 주요 품종별 동해율 비교('18)

2018년도에 최저기온이 춘천, 양구 각각 - 20.6, - 24.1 °C를 기록함에 따라 유목기 품종별로 동해 피해율이 다르게 나타났다(그림 4). 동해에 의한 결주율 조사 결과 주간부 갈변 조사를 통한 내한성 평가와 유사한 경향을 나타내었으며, 내한성이 가장 낮은 것으로 평가된 오도로키의 경우 양구에서 고사율이 100%, 춘천 62.5% 수준으로 최종 결주율이 가장 높은 것으로 나타났다('19. 7월 조사).

총 12종의 공시품종 중 내한성 강한 품종으로 미홍, 유미, 유명, 수미 4품종이 선발되었다. 4품종은 양구, 춘천 실증시험포 2개소 모두에서 겨울철 동해피해가 발생하지 않았다. 반면, 내한성이 약한 품종은 가납암백도, 그레이트점보아카츠키, 오도로키 3품종으로 나타났다. 양구에서는 3품종 모두 100% 동해로 고사하였고, 춘천 지역에서는 각각 결주율이 12.5, 25.0, 62.5% 수준으로 동해가 큰 것으로 판단되었다. 또한 고사하지 않은 개체의 경우에도 개화 이후부터 점진적으로 피해가 나타나기 시작하여 생육 후반기까지 지속되고 있어 연차별 최종 고사율은 지속적으로 더 증가할 것으로 판단되었다. 그 외 내한성이 중간정도인 미황, 미스홍, 선미, 설홍, 지요마루 품종의 경우에도 대부분 정상적으로 생육이 진행되고 있어, 향후 조기 낙엽 비율, 병해·생리장해 발생, 연차별 개화, 결실특성에 대한 종합적인 검토 후 북부지역에 적응 내한성 우수 유망 품종에 대한 선발이 가능할 것으로 판단되었다.

다. 지역 및 품종별 생육 및 결실 특성 비교

(1) 재배지역 및 품종별 재배한계지 유목 생육특성

표 4. 지역 및 품종별 생육특성('18)

재배지역	품종	수고(cm)	주간부직경(mm)	신초장	신초경	
양구 해안	미황	235.8±18.17	32.7±3.97	54.2	6.1	
	미홍	198.3±70.61	27.0±5.44	60.4	7.2	
	유미	221.2±32.69	26.1±6.69	65.7	7.1	
	미스홍	190.0±31.09	31.9±5.04	57.0	6.6	
	선미	234.9±50.83	35.0±6.19	89.4	9.2	
	유명	178.8±38.45	26.0±7.81	61.4	6.1	
	설홍	235.2±54.12	38.7±6.95	72.2	9.3	
	수미	239.8±37.73	32.0±6.90	70.3	8.2	
	지요마루	224.2±21.47	30.0±4.07	65.1	5.6	
	가납암백도	고사				
	그레이트점보아카츠키	고사				
	오도로키	고사				
춘천 신북	미황	213.7±25.53	29.5±2.31	59.9	5.5	
	미홍	216.0±20.46	27.2±4.05	80.7	8.3	
	유미	208.0±33.02	29.0±5.64	76.5	8.3	
	미스홍	212.8±12.54	28.4±2.20	83.0	8.2	
	선미	202.5±42.52	28.0±9.90	59.7	5.8	
	유명	211.2±24.97	29.2±3.78	75.0	8.0	
	설홍	275.6±23.05	38.1±4.62	93.7	9.7	
	수미	229.7±49.16	35.5±10.08	84.2	9.7	
	지요마루	247.8±26.57	32.2±2.33	68.5	5.9	
	가납암백도	193.0±32.54	29.8±5.42	50.1	6.1	
	그레이트점보아카츠키	206.3±13.59	27.9±4.22	68.0	6.6	
	오도로키	179.3±42.22	22.4±8.14	56.1	6.5	

※ 조사시기: '18. 7. 3~4.



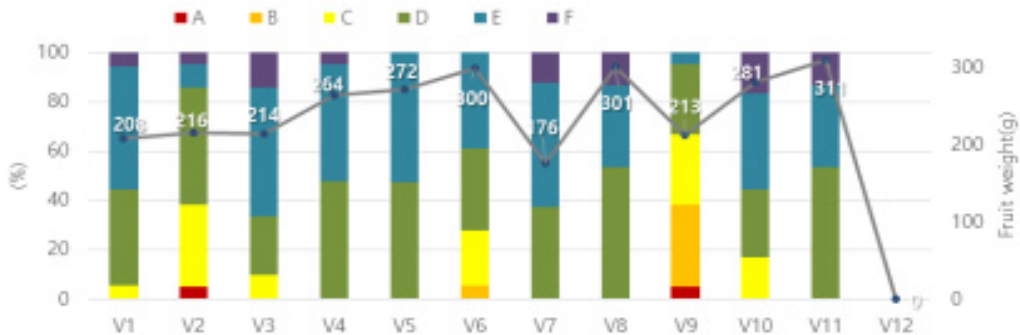
그림 6. 복숭아 재배한계지 식재 품종별 생육특성 비교(양구 해안)

표 5. 지역 및 품종별 생육 및 결실특성('19)

품종	수고 (cm)	주간부직경 (mm)	저온피해꽃 눈비율(%)	숙기 (월/일)	착과수 (개/주)	평균과중 (g)	당도 (g)
미황	395.0±34.58	42.5±5.28	0.6	7/5	59.9	207.5	11.4
미홍	281.6±34.92	42.9±4.47	0.8	7/3	80.7	216.2	11.3
유미	265.2±33.25	37.0±10.63	7.9	7/10	76.5	214.3	11.4
미스홍	281.4±24.13	42.0±3.01	0.0	8/5	83.0	263.6	12.5
선미	280.9±59.68	42.9±9.00	0.7	8/12	59.7	271.7	13.0
유명	285.9±31.44	42.7±6.42	1.3	8/20	75.0	328.3	11.4
설홍	365.6±36.36	58.2±6.43	0.0	9/9	93.7	176.6	15.4
수미	339.3±31.56	53.7±4.68	1.5	9/9	84.2	306.6	12.2
지요마루	334.8±30.51	47.1±3.91	0.0	7/3	68.5	213.1	11.8
가남암백도	260.7±33.10	44.9±9.01	0.6	7/15	50.1	280.9	13.9
그레이트점보 아카즈키	268.6±26.64	43.7±4.96	2.0	7/29	68.0	310.8	12.3
오도로키	204.4±8.85	33.9±6.89	0.0	-	-	-	-

2019년 주요 품종별 4년생의 생육 및 결실특성을 비교한 결과 내한성이 약한 도입품종 오도로키의 경우 정상 착과가 이루어지지 않았으며, 가남암백도 등에서도 착과수가 적고, 생육이 다소 저조한 경향을 보였다.

(2) 재배지역 및 품종별 재배한계지 유목기 결실특성



※ 품종 1: 미황, 2: 미홍, 3: 유미, 4: 미스홍, 5: 선미, 6: 유명, 7: 설홍, 8: 수미, 9: 지요마루, 10: 가납암백도, 11: 그레이트점보아카즈키, 12. 오도로키(결실불량)
 ※ A grade: \geq 평균과중(AFW) \times 1.5, B grade: \geq AFW \times 1.25, C grade: \geq AFW \times 1, D grade: \geq AFW \times 0.75 E grade: \geq AFW \times 0.5, F grade: $<$ AFW \times 0.5

그림 7. 복숭아 재배한계지 4년생 주요 품종별 과중 분포특성(19)

다른 품종의 경우에도 동계 이상고온이 지속되어 발아가 5~6일 가량 빨라진 반면(춘천 기준), 개화기에는 이상저온이 지속됨에 따라 개화지연, 저온피해에 의한 수정 및 결실 불량 위험이 높을 것으로 판단되었으나, 개화기 품종간 저온 피해 수준을 비교하기 위하여 개화 전 낙화율 및 만개기 이후(4.29) 개화단계별 암술 및 주두 손상 비율을 조사한 결과, 암술피해율은 모든 품종에서 10% 미만으로 나타났다. 개화기에 관찰된 피해율은 다소 낮았으나, 최종 착과율 및 결실에는 영향이 크게 나타나서, 내한성이 우수한 것으로 알려진 ‘유미’, ‘수미’, ‘유명’ 등에서도 피해율이 1.3~7.9% 까지 다소 높게 나타나, 향후 내한성 외의 품종별 개화기 이상저온 발생 시기 등이 지역적응성 평가에 중요한 요인으로 판단되었다.

최종 착과율 및 과중 분포비율 등에서도 ‘유미’, ‘가납암백도’ 등이 각 품종 고유의 평균 과중 기준 50% 이하 수준인 규격 외 등급 과일 분포가 높아 개화기 이상저온 피해 영향이 높은 것으로 나타났다(그림 7).



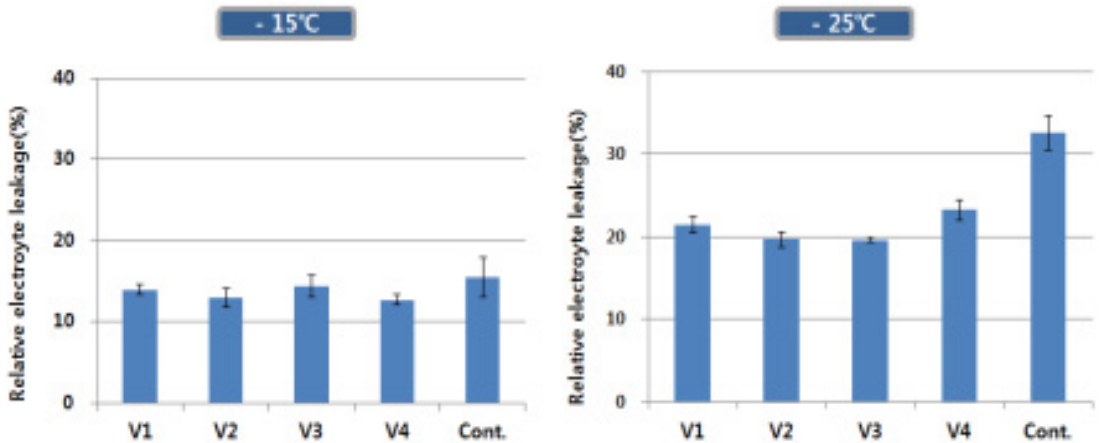
그림 8. 복숭아 재배한계지 식재 품종별 결실 특성 비교(춘천 신북)

(시험 2) 국내 신제품 내한성 검증

가. 시험재료

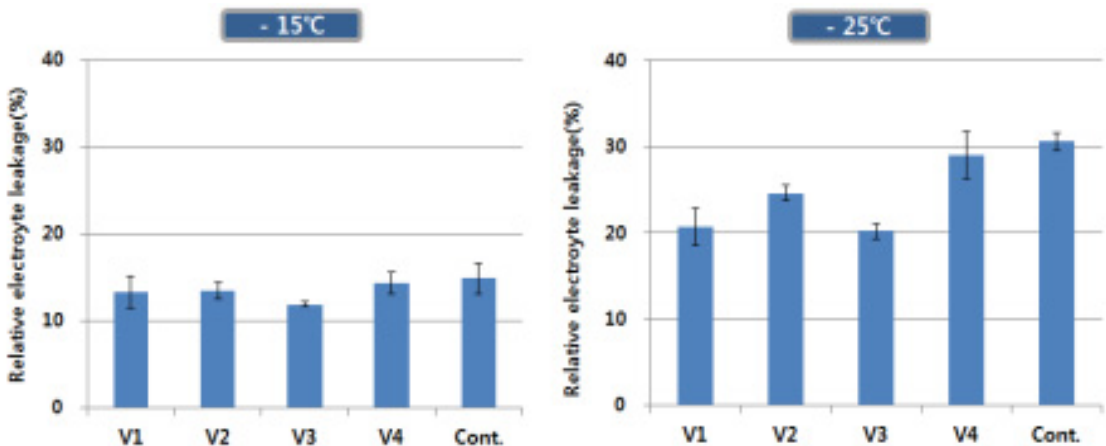
(1) 저온처리에 따른 전해질 유출량 비교

국내 육성 신제품 4종 및 대조품종에 대한 휴면심도, 저온처리 수준별 전해질 유출량과 동해율(잎, 꽃눈)을 비교분석한 결과, '수미', '유미', '미홍', '미스홍', '유미' 4 품종 모두 대조품종(양구 백천황도, 전주 키라라노키와미) 대비 내한성이 우수한 것으로 판단되었다(그림 9, 10, 표 6).



※ V1: 수미, V2: 유미, V3: 미홍, V4: 미스홍, 대조품종: 백천황도

그림 9. 저온처리 온도 수준별 주요 품종의 전해질 유출량 비교(양구)



※ V1: 수미, V2: 유미, V3: 미홍, V4: 미스홍, 대조품종: 키라라노키와미

그림 10. 저온처리 온도 수준별 주요 품종의 전해질 유출량 비교(전주)

- 25 °C 저온처리 후 전해질 유출량의 경우 미스홍, 유미, 수미, 미홍 순으로 미스홍의 내한성이 다소 약할 것으로 추정되었으며, 꽃눈 동해율 조사에서도 미스홍의 발아율이 다소 낮은 경향을 보였다.

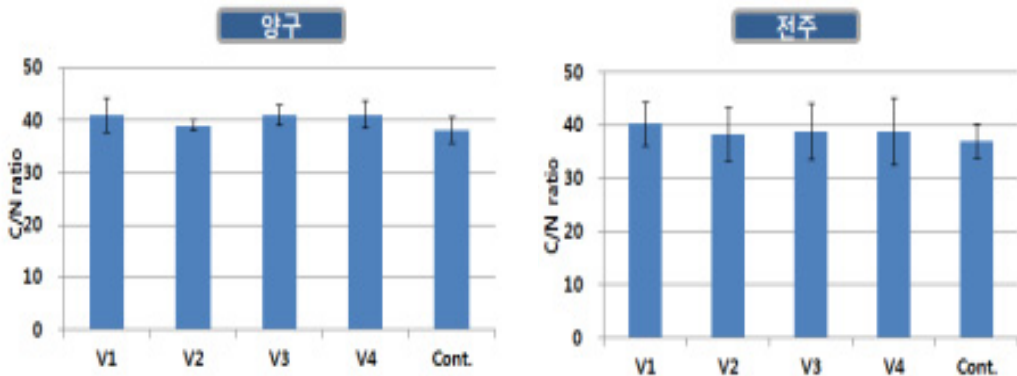
(2) 저온처리에 따른 지역 및 품종별 동해율 조사

표 6. 지역 및 품종별 동해율(꽃눈, 잎눈, 가지) 조사

품종	양구		전주	
	꽃눈발아율(%)	잎눈발아율(%)	꽃눈발아율(%)	잎눈발아율(%)
수미	15.4±14.00	91.9±16.07	0.91±0.87	61.9±25.46
유미	27.9±13.22	83.5±25.51	1.33±1.22	40.8±20.20
미홍	17.4±11.75	75.8±23.73	-	45.7±28.97
미스홍	10.5±10.23	79.7±23.97	0.63±0.98	62.1±24.31
대조품종	31.5±13.65	76.5±32.68	-	41.0±17.31

※ 대조품종: 양구(백천황도), 전주(키라라노키와미), 채취시기: '18. 1. 15.

(3) 지역 및 품종별 동계 복숭아 가지의 C/N을 비교

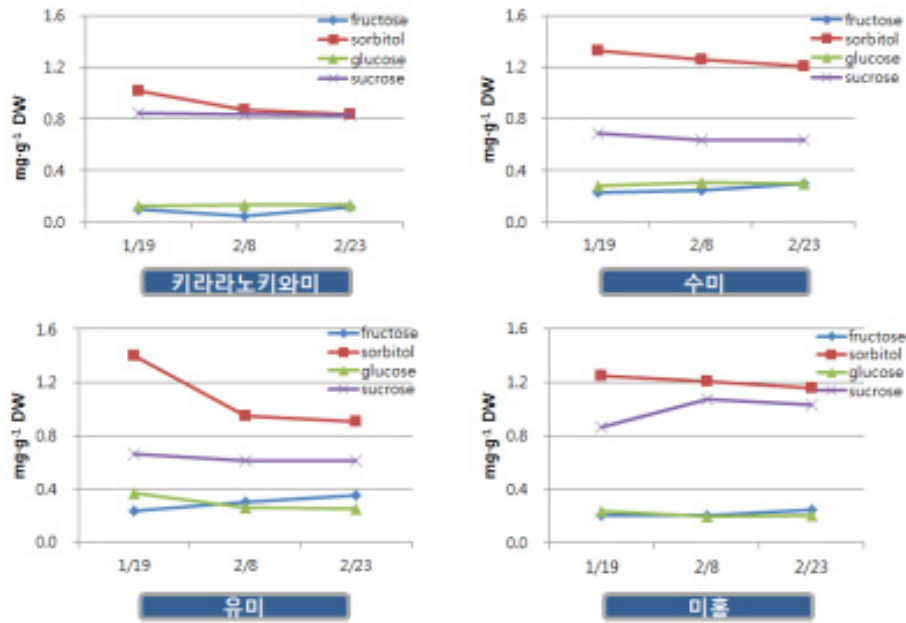


※ 대조품종: 양구(백천황도), 전주(키라라노키와미), 채취시기: '18. 1. 15.

그림 11. 지역 및 품종별 C/N을 비교

(4) 채취시기에 따른 품종별 동계 복숭아 가지의 가용성 당 함량

가용성 당 함량의 경우 수체 내 가장 높은 함량을 보이는 sorbitol 의 경우 1월에서 2월까지 휴면 심도가 깊어질수록 감소하는 경향을 보였으며, 그 외의 sucrose, glucose, fructose는 유의성 있는 경향이 나타나지 않았다.



※ 재배지역: 전주

그림 12. 채취시기 및 품종별 복숭아 가지의 유리당 함량 변화('18~'19)(계속)

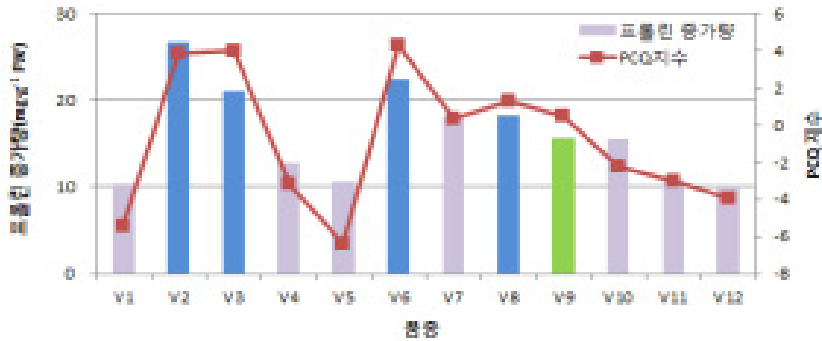
(5) 채취시기에 따른 품종별 동계 복숭아 가지의 프롤린 함량

표 7. 지역, 품종 및 채취시기별 프롤린 함량

재배지역	품종	프롤린 함량(mg · g ⁻¹ FW)		
		1월19일	2월8일	2월23일
양구	수미	10.12 ± 1.10	10.31 ± 2.91	8.02 ± 2.61
	유미	11.87 ± 1.87	13.30 ± 1.88	14.65 ± 1.88
	미홍	11.10 ± 2.09	12.67 ± 2.24	14.24 ± 2.24
	미스홍	12.16 ± 0.85	14.74 ± 1.84	11.91 ± 1.54
	대조품종	9.08 ± 2.19	9.92 ± 2.44	9.28 ± 1.84
전주	수미	7.50 ± 0.67	13.59 ± 1.77	7.70 ± 2.07
	유미	8.71 ± 0.78	10.60 ± 1.05	8.57 ± 1.05
	미홍	8.92 ± 0.77	15.25 ± 2.18	9.59 ± 1.58
	미스홍	8.90 ± 0.78	13.59 ± 1.77	9.87 ± 1.77
	대조품종	5.24 ± 0.37	9.11 ± 1.01	7.78 ± 1.01

※ 대조품종: 양구(백천황도), 전주(키라라노키와미)

온도 스트레스와 관련된 물질로 알려진 수채 내 프롤린 함량은 대부분의 국내 육성 신품종에서 대조품종 보다 더 높은 경향을 보였으며, 평균기온이 낮은 양구 지역에서 더 높은 함량을 보여, 저온에 대한 발현 경향이 큰 것으로 판단되었다. 휴면심도에 따른 품종별 프롤린 변화를 비교한 결과 양구와 전주 지역의 패턴이 다소 차이가 발생하였는데, 이는 동계 기온변화가 빠른 전주 지역에서 프롤린 함량 변화가 먼저 나타나기 때문인 것으로 추정되었다.



※ V1: 미황, V2: 미홍, V3: 유미, V4: 미스홍, V5: 선미, V6: 유명, V7: 설홍, V8: 수미, V9: 지요마루, V10: 가남암백도, V11: 아카즈키, V12: 오도로키
 ※ PCQ 지수: 12월 프롤린 함량×(10월/12월 프롤린함량 증가율)-12품종 평균

그림 13. 주요 품종별 휴면초기 프롤린 함량 변화량 비교

내한성이 높은 품종인 미홍, 유미, 유명, 수미 등의 경우 10월에서 12월로 온도가 낮아짐에 따라 프롤린 변화량이 급격히 증가하는 경향을 보였으며, 12월의 프롤린 함량과 10월부터의 증가율을 같이 고려한 PCQ 지수로 환산하여 비교한 결과 대부분 0 이상으로 양수의 값을 갖는 것으로 분석되어, 내한성 평가 지표로 유용할 것으로 판단되었다. 따라서 유전적으로 품종간의 편차가 큰 프롤린 함량 값 자체를 비교하는 것 보다, 휴면심도에 따라 변화량을 지수화 하여 비교하는 것이 더 평가지표로 우수할 것으로 사료되었다.

그러나, 수채 내 프롤린 함량의 변화량을 알기 위해서는 일정 시기별로 반복적으로 시료를 분석해야 하며, 비색법을 활용한 정량 분석의 경우 충분한 반복 시험을 수행해야 하므로, 분석 시간이나 비용이 높아, 실용적인 분석법으로 활용하기에는 어려울 것으로 판단되었다.

전분 함량의 경우에도 휴면이 진행되면서 함량이 낮아지는 경향을 보였으나, 프롤린 분석과 마찬가지로 수채를 채취하여 복잡한 분석과정을 거쳐야 하므로 내한성 평가방법으로 상용화는 어려울 것으로 사료되었다.

표 8. 재배지역 및 품종별 전분함량 변화량('18) (g · 100g⁻¹DW)

품종	양구			춘천		
	10월	11월	12월	10월	11월	12월
미황	1.97	1.24	1.48	2.59	1.47	1.47
미홍	2.04	1.57	1.43	3.55	1.69	1.46
유미	2.25	1.44	1.51	2.53	1.40	1.64
미스홍	2.11	1.44	1.40	2.75	1.43	1.43
선미	1.94	1.43	1.45	2.54	1.69	1.71
유명	1.73	1.52	1.38	2.46	1.42	1.51
설홍	2.69	1.50	1.63	2.19	1.46	1.46
수미	2.18	1.36	1.52	2.44	1.51	1.52
지요마루	2.46	1.55	1.63	2.19	1.46	1.46
가남암백도	2.44	1.39	1.32	2.77	1.63	1.60
그레이트점보아카즈키	2.39	1.49	1.46	2.39	1.39	1.46
오도로키	1.73	1.50	1.39	2.75	1.43	1.46

(6) 안토시아닌 함량 변화량 비교분석

총 안토시아닌 함량의 경우 품종별로 차이가 큰 경향을 보였으며, 시기별 변화를 분석한 결과 추위가 일찍 시작되는 양구 해안지역의 경우 10월에 안토시아닌이 가장 높아지는 경향을 보였으나, 춘천의 경우 11월에 더 높아지는 특성을 보였는데, 이는 양구 지역이 10월부터 온도가 빠르게 낮아지는 지역 특성이 반영된 것으로 판단되었다.

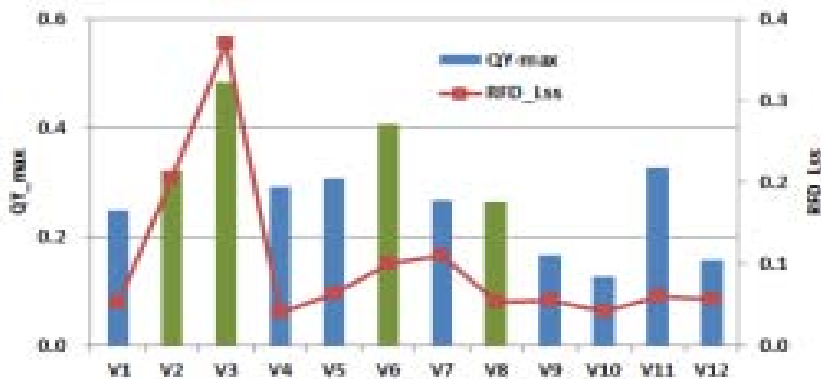
안토시아닌의 경우에도 온도스트레스와 관련된 물질 중 하나로 보고되어 있으나, 품종특성이나 기타 재배 환경적 요인에 따른 편차가 상당히 커서 내한성 평가 지표로 활용하기는 어려울 것으로 사료되었다.

표 9. 재배지역 및 품종별 안토시아닌 함량 변화량('19) (%)

품종	양구			춘천		
	10월	11월	12월	10월	11월	12월
미황	6.8	4.7	5.8	3.1	4.7	4.0
미홍	5.3	4.3	6.7	4.4	4.9	4.2
유미	4.9	5.4	3.0	3.8	4.7	3.7
미스홍	5.4	6.0	3.3	3.4	6.3	5.5
선미	5.5	5.7	6.6	3.5	6.1	5.5
유명	3.9	3.0	3.4	2.6	4.5	3.6
설홍	5.8	6.1	5.4	3.6	4.2	5.5
수미	5.6	4.1	4.6	3.3	6.6	4.9
지요마루	3.4	3.8	5.6	1.9	4.8	4.2
가남암백도				3.7	7.2	5.8
그레이트점보아카즈키				3.7	4.7	4.4
오도로키				2.9	3.5	3.3

(7) 저온처리에 따른 품종별 엽록소형광이미지 분석

① 낙엽기 품종별 저온처리에 따른 엽록소형광분석



※ V1: 미황, V2: 미홍, V3: 유미, V4: 미스홍, V5: 선미, V6: 유명, V7: 설홍, V8: 수미, V9: 지요마루, V10: 가남암백도, V11: 아카즈키, V12: 오도로키

그림 14. 낙엽기 품종별 저온처리에 따른 엽록소형광지수 비교

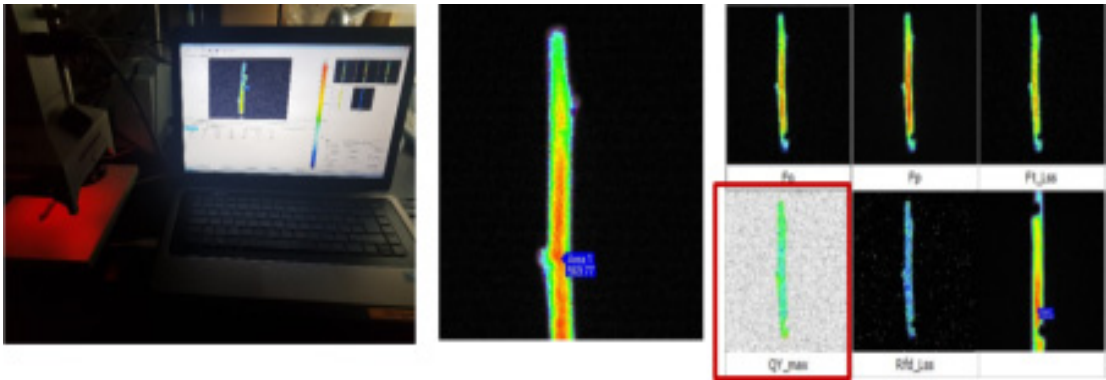


그림 15. 비파괴적 복숭아 내한성 평가를 위한 엽록소형광이미지 측정 전경

② 채취시기 및 품종별 저온처리에 따른 엽록소형광분석

표 10. 저온처리 후 주요 품종별 엽록소형광이미지분석 데이터 비교('18~'19)

품종	QY max*			Rfd Lss**		
	11월	1월	3월	11월	1월	3월
미홍	0.57	0.55	0.54	0.53	1.18	0.75
유미	0.56	0.54	0.55	0.53	1.13	0.71
미스홍	0.49	0.49	0.57	0.56	1.09	0.96
유명	0.49	0.50	0.59	0.57	0.99	0.81
수미	0.60	0.57	0.61	0.59	1.40	0.75
가남암백도	0.44	0.45	0.51	0.50	1.10	0.61
오도로키	0.47	0.42	-	0.50	0.94	-

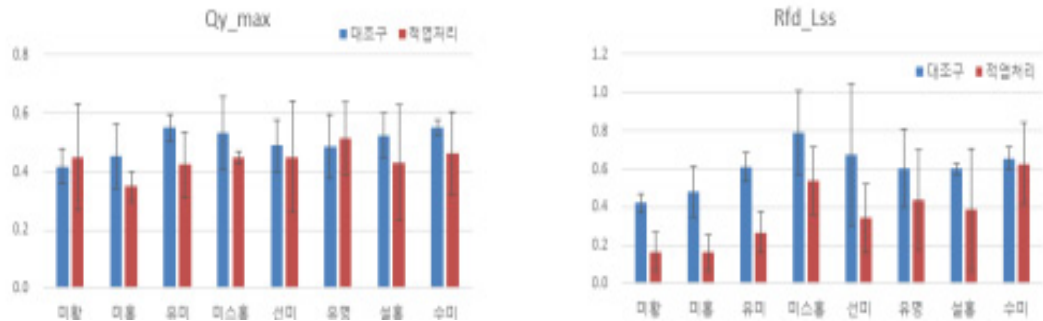
* QY max: F_v/F_m , $F_v=F_m(\text{암적응 상태에서의 최대 형광값})-F_o(\text{암적응 상태에서의 최소 형광값})$

** Rfd Lss: 안정상태에서의 형광소멸비율

북부 한계지 현장 실증시험포에서 내한성이 높은 것으로 평가된 미홍, 유미, 유명, 수미 등에서 엽록소형광지수 중 광화학 지표 값으로 QY_max 값과 RFD_Lss 값이 유의적으로 높게 나타남에 따라 내한성 평가 지표로 활용 가능성이 높은 것으로 판단되었다(그림 14).

복숭아 주요 품종별 결과지의 저온처리(-20℃) 후 온도스트레스 반응을 엽록소형광이미지 데이터를 측정하여 비교분석한 결과, 내한성이 강한 품종 미홍, 유미, 수미 등의 QY_max, Rfd 지표 값이 높았고, 내한성이 약한 가남암백도, 오도로키 등에서는 낮은 경향을 보였으며, 엽록소형광 분석 방법의 경우 전처리가 간단하고, 비파괴 형태로 짧은 시간에 쉽게 분석결과를 얻을 수 있으므로, 향후 내한성 평가를 간이 검정하는 용도로 매우 유용할 것으로 판단되었다.

③ 적엽 후 품종별 저온처리에 따른 엽록소형광분석



† QY max: F_v/F_m , $F_v=F_m$ (암적응 상태에서의 최대 형광값)- F_o (암적응 상태에서의 최소 형광값)

‡ Rfd Lss: 안정상태에서의 형광소멸비율

그림 16. 품종별 적엽처리에(8월) 따른 동계 수채 엽록소형광지수 비교('19)

품종별로 8월 중순에 80~90 % 를 적엽처리한 그룹과 정상적으로 수확 후 관리를 한 그룹간의 동결기 저온 처리 후 수채 엽록소형광이미지분석을 수행한 결과 대조군 대비 적엽처리구에서 전반적으로 QY max, Rfd_Lss 값 모두 높은 것으로 나타났으며, 적엽처리 시 수채 내 탄수화물 함량이 적고, 이에 따라 동일 품종일 경우에도 내한성이 현저히 약해질 것으로 예측되는 부분을 고려할 경우 내한성 관련 재배시험의 평가지표로 활용할 때도 매우 유용할 것으로 판단되었다.

향후 엽록소형광이미지분석법 활용, 복숭아 동상해에 대한 비파괴적 광화학 생리지표로 QY max, Rfd 등 외에 다양한 지표 발굴이 필요할 것으로 판단되며, 향후 데이터 안정성을 확보하기 위한 최적 저온처리 및 분석 조건 설정 및 활용 등 후속연구 추가 수행이 필요하다. 국내 육성 주요 신품종 '미홍', '유미', '미스홍', '수미'의 1년생 결과지를 채취하여 휴면심도에 따른 온도처리 및 동해 조사용 시료로 활용하였다. 대조품종은 전주 지역은 '키라라노미야기', 양구 지역은 '백천황도'를 사용하였다.

(시험 3) 동해 경감을 위한 월동 피복재 특성 검정

가. 월동 피복재 종류별 미기상 특성 비교

온대 과수가 저온에 견디는 기작에는 동결회피(freezing avoidance), 동결내성(freezing tolerance)이 있다(Thomashow, 1999). 동결회피 기작은 세포 내 어는 점을 낮춤으로써 준안정상태에서의 수분 유지가 가능한 초과냉각 상태로, 세포 외측 결빙은 일어나지만, 식물체에 치명적인 세포 내 결빙은 막는 방식의 보호기작을 말하며, 복숭아 목부조직의 경우에는 - 25 ~ - 45 °C, 꽃눈의 경우에는 - 25 °C 까지 초과 냉각이 가능한 것으로 보고된 바 있다(Burke et al., 1976 ; Wksniewski et al., 2004). 동결 내성은 온도가 0 °C 이하로 내려갈 때, 식물세포에서 상대적으로 어는 점이 높은 세포간극에서 먼저 빙핵이 형성되고, 화학포텐셜 구배에 의해 세포내 수분이 세포외부로 탈수되면서, 평형상태를 유지하며 저온을 견디는 기작을 말하는데(Thomashow, 1999), 복숭아의 수피 조직은 이러한 동결 내성 기작을 가진 것으로 알려져 있다. 일반적으로 복숭아는 겨울철 꽃눈과 싹 등 중간부보다 더 낮은 온도까지 초과냉각(deep supercooling) 상태가 되지만, 빙핵(ice crystal) 형성은 오히려 중간

부의 수피에서 시작되어 활발한 활동을 하는 꽃눈이나 신초로 퍼져나간다(Wisniewski et al., 2003). 따라서 복숭아는 보온을 통해 주간부의 빙핵 형성을 최대한 억제하는 것이 매우 중요하다(Shin et al., 2016). 또한 온도가 -10℃ 이하에서는 일반적으로 세포 내 90% 이상이 세포 외부로 탈수되며, 이 경우 세포의 원형질 분리(plasmolysis)가 발생하는데(Thomashow, 1999), 낮 기간동안 햇빛이 지속적으로 비춰서 수피 조직의 온도가 15 ~ 20℃ 이상 상승할 수 있으며, 이런 경우 세포 외부의 수분이 다시 세포 내부로 들어가면서 원형질 복귀(deplasmolysis)가 발생할 수 있고, 복숭아의 수피와 목부 조직은 모두 고온에 의한 탈수화로 발생하는 내한성 소실이 저온 순화로 인한 내한성 획득보다 훨씬 빠른 속도로 진행되기 때문에 겨울철 주야간 온도 편차가 심할 경우 빠른 내한성 소실 위험이 높아진다(Shin et al., 2015)

강원 등 중북부 지역 복숭아 재배농가의 경우 겨울철 한파 대비 동절기에 주간부를 피복해주는데, 농가별로 주로 활용하는 월동 피복재 종류는 매우 다양하나 그 실효성에 대하여 미검증된 소재가 많다. 특히 일부 농가의 경우 보온 목적을 중요하게 생각해서, 빛 투과량이 높거나, 낮에 열 흡수가 많은 흑색계열 피복자재를 잘못 사용하는 경우가 있다. 이러한 경우 관행적인 경험에 의존하여, 현실적인 문제점을 확인하기 어려운 실정이다.

최신 국립원예특작과학원에서 개발한 월동 피복자재 다중부직포를 비롯하여 농가에서 주로 활용하는 11종의 소재에 대하여 기후 환경여건에 따른 실질적인 보온효과, 일교차, 상대습도 등의 미기상 특성을 비교 한 결과, 보온덮개, 흑색부직포, 흑색비닐멀칭 순으로 보온효과는 우수한 것으로 나타났지만, 평균온도가 상승하는 2~3월 낮 기간에 온도상승이 28.5 ~ 26℃ 수준으로 높게 상승하므로, 고온에 의한 탈수화에 따른 내한성의 빠른 소실과 주야간 일교차에 따른 동결내성 저하로, 야간 동해 피해가 더 커질 우려가 있는 소재로 판단되었다(표 10).

표 11. 월동 피복재 종류별 미기상 환경 비교(1월)

구분	벚짚	신문지	다중 부직포	타이백 (방수)	타이백 (투수)	반사 필름	3중탄력 밴드	보온 덮개	은박 쿠션	흑색 부직포	흑색비닐 멀칭	황색종이 (사료포대)	이영
광 (Lux)	8	12	298	234	523	6.5	1554	42	52	11	8	11	10
최저온도 (℃)	-10.4	-10.5	-5.9	-12.3	-12.8	-8.7	-11.5	-8.0	-6.6	-10.6	-13.4	-11.1	-10.4
상대습도 (%)	44.1	48.6	47.8	53.6	53.3	85.1	48.0	38.2	47.8	40.8	72.7	48.2	42.2

따라서 복숭아 동해 피해 예방·경감을 위한 월동 피복재 선택시 최한월(1월) 최저기온 기준 보온효과를 확인하고, 휴면심도가 낮아지는 시기(3월)에 주야간 일교차가 적고, 최고기온이 급격히 높아지지 않은 소재를 선택해야 할 것으로 판단된다(표 10, 11). 또한 통풍이 안 되는 소재의 경우 주간부 과습 등에 따른 동결회피 기작 저해현상이나, 2차 병해 피해 등의 문제 유발 가능성이 있어 반사필름과 비닐 소재도 부적합한 소재로 판단되었다.

종합적으로 고려할 경우 다중부직포, 은박쿠션, 벚짚, 신문지, 타이백, 3중탄력밴드, 황색종이(사료포대) 소재 등이 보온효과, 일교차, 습도 등의 미기상 관리에서 안정적이며 효과적인 것으로 나타났다.

표 12. 월동 피복재 종류별 미기상 환경 비교(3월)

구분	벗짚	신문지	다중 부직포	타이백 (방수)	타이백 (투수)	반사 필름	3중탄력 밴드	보온 덮개	은박 쿠션	흑색 부직포	흑색비닐 멀칭	황색종이 (사료포대)	이영
광 (Lux)	0	0	566	261	617	0	2094	38	62	0	0	0	0
최저온도 (°C)	18.4	17.6	14.9	13.4	12.8	14.1	19.3	28.5	15.2	26.0	28.3	16.5	20.1
상대습도 (%)	43.5	50.0	55.6	58.3	56.8	99.1	51.9	43.3	60.8	46.7	86.2	52.5	43.6

나. 월동 피복재 종류별 경영비 비교

월동 피복재로 효과가 있는 다중부직포 등 7개의 소재에 대하여 자재가격, 설치시간 등 처리비용을 산출한 결과 자재가격은 다중부직포가 가장 높았으나 설치 시간은 1.2시간/10a로 가장 낮게 나타났으며, 신문지와 사료포대의 경우 자재가격이 가장 낮은 것으로 나타났다. 따라서 야간 보온효과(1월 일평균 최저온도) 및 주간 단열 효과(3월 일평균 최고온도)를 고려하고, 농가 재배환경 및 경영특성 등을 고려하여(표 12), 적합한 월동 피복자재를 선택해야 한다.

표 13. 월동 피복재 종류별 처리비용

구분	다중 부직포	은박 쿠션	벗짚	신문지	타이백	3중 탄력밴드	황색종이 (사료포대)
자재가격 (원/10a)	231,000	36,000	25,000	3,000	48,300	97,020	3,000
노력 (시간/10a)	1.2	1.8	3.5	2.1	1.8	1.8	2.1
인건비 (원/10a)	10,950	16,430	31,940	19,160	16,430	16,430	19,160
총 계 (원/10a)	241,950	52,430	56,940	22,160	64,730	113,450	22,160



그림 17. 주요 월동 피복재 처리 및 조사 전경

4. 적 요

〈제1세부과제: 복숭아 내한성 평가에 따른 재배 한계지 평가 및 현장 실증 연구〉

(시험 1) 복숭아 재배 한계지 현장 실증 연구

- 가. 복숭아 재배한계지의 재배적응성 및 내한성을 비교하기 위하여 2017년 4월에 양구 해안면과, 춘천 신북읍 유포리 과수시험포장에 국내 육성 신품종을 중심으로 ‘수미’ 등 총 12개 품종을 5×2로 정식 하였고, Y자 수형으로 구성하여 생육특성 및 겨울철 저온에 의한 동해 피해 정도를 조사하였음.
- 나. 2018년 5월 조사결과 내한성이 약한 것으로 보고되고 있는 국외 도입품종 가남암백도, 그레이트점보야카즈키, 오도로키 3품종의 경우, 양구에서 100% 고사하였고, 춘천에서는 각각 동해 발생율이 12.5, 25.0, 62.5% 수준으로 동해가 상당 수준 발생하였음.

(시험 2) 국내 신품종 내한성 검정

- 가. 국내 주요 신품종의 내한성 평가 기준 설정을 위하여 저온처리방법별 전해질유출량, 꽃눈·잎눈의 수삽 동해율 등을 조사한 결과 수미, 유미, 미홍, 미스홍 모두 대조품종 대비 내한성이 우수한 것으로 나타남.
- 나. 재배지역, 휴면심도 및 품종별 C/N율, 전분, 유리당(sorbitol, fructose, glucose, sucrose), 프롤린, 안토시아닌 함량 등을 분석하여 비교한 결과 내한성 지표물질로 활용 가능성을 확인하였음.
- 다. 수채 분석 외에 비파괴적 평가 방법으로 저온스트레스를 받은 가지의 엽록소형광이미지분석 데이터 비교분석한 결과, 내한성이 강한 품종으로 평가된 미홍, 유미, 수미 등의 경우 저온스트레스 처리에 의한 엽록소형광 이미지 분석 데이터 값이 높은 반면, 가남암백도, 오도로키 등 내한성이 한 품종의 경우 형광량을 나타내는 지표들이 감소하는 경향을 보였으며, 전처리가 간단하고, 분석 소요시간이 짧아, 향후 복숭아 수채 내한성 평가 방법으로 유용할 것으로 판단되었음.

(시험 3) 동해 경감을 위한 월동 피복재 특성 검정

- 가. 복숭아 동해 피해 경감용으로 농가에서 주로 사용하는 11종의 피복 소재에 대한 미기상 환경 특성을 비교한 결과, 주야간 온도 편차가 높은 흑색 계열이나, 통풍이 되지 않는 비닐 소재 등 5종은 부적합한 것으로 판단됨.
- 나. 월동 피복재 주요 항목별 우수 소재 선발
- 보온효과: 다중부직포>은박쿠션>벚짚>신문지>3중탄력밴드>타이백
 - 일교차: 타이백>다중부직포>벚짚>신문지>3중탄력밴드>은박쿠션
 - 경영비: 신문지>은박쿠션>벚짚>타이백>3중탄력밴드>다중부직포

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.

- Akyildiz, A., S. Akway, H., Benli, F. Kiroglu, and H. Fenecioglu, 2004, Determination of changes in some characteristics of persimmon during dehydration at different temperature. *Journal of Food Engineering* 65: 95–99.
- Burke, M.J., L.V. Gusta, H.A. Quamme, C.J. Weiser and P.H. Li, 1976, Freezing and injury in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 27:507–528.
- 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
- Chung, U., Kim S.O., Choi M.H, Hwang K.H., Yun J.I. 2009a, Geospatial assessment of frost and freeze risk in ‘Changhowon Hwando’ peach (*Prunus persica*) trees as affected by the projected winter warming in South Korea: I. Determination of freezing temperatures. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 11: 206–212.
- Chung, U., Kim J.H., Kim S.O., Seo H.C., Yun J.I. 2009b, Geospatial assessment of frost and freeze risk in ‘Changhowon Hwando’ peach (*Prunus persica*) trees as affected by the projected winter warming in South Korea: III. Identifying Freeze Risk Zones in the Future Using High-Definition Climate Scenarios. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 11: 221–232.
- Desmond R. Layne and Daniele Bassi. 2008, *The peach: botany, production and uses*, CABI, p. 106–138.
- Faust, M., 1989, Resistance of fruit trees to cold. In *Physiology of Temperate Zone Fruit Trees*. John Wiley and Son, 307–331.
- 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., Yun J.I., Song G.C., 2005, Prediction of Dormancy Release and Bud Burst in Korean Grapevine Cultivars Using Daily Temperature Data, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 7(3): 185~191.
- Lee JC et al., 2015. New technique of peach cultivation. *Seonjinmunhwasa*, p 37–38.
- Matsuo, T. S. Ide, and M. Shitida, 1992, Correlation between chilling sensitivity of plant tissue and fatty acid composition of phosphatidylglycerols. *Phytochemistry* 31: 2289–2293

- Melvin N. Westwood, 1999, Temperate zone pomology; Physiology and Culture, Timber Press, P. 414 - 415.
- Ogweno J.O., Song, X.S. Hu W.H, Shi K., Zhou Y.H. and You J.Q., 2009, Detached leaves of tomato differ in their photosynthetic physiological response to moderate high and low temperature stress. *Scientia Horticulturae*, 123(1): 17-22.
- 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.
- Seo, Y.H., Park Y.S., Cho, B.Y., kang A.S., Jeong B.C., Jung Y.S. 2010. Regional Distribution of Peach Freezing Damage and Chilling Days in 2010 in Gangwon Province. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 12(4): 225-231.
- Shin H.S., Yun S.K., Choi I.M., Kim S.J., Yum I.K., 2016, Evaluation of Thermal Insulation Properties of Covering Materials to Protect Peach Trunks against Freezing Injury. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 2(4): 288-293.
- Thomashow, M.F. 1999. Plant cold acclimation: Freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50:574-599.
- Weinberger JH, 1950, Chilling requirements of peach varieties. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.* 56:122-128.
- Wisniewski, M., E. Ashworth, and K. Schaffer. 1987, The use of lanthanum to characterize cell wall permeability in relation to deep supercooling and extracellular freezing in soddy plants. I. Intergeneric comparisons between *Prunus*, *Cornus*, and *Salix*. *Protoplasma* 139:105-116.
- Wisniewski, M., C. Bassett, and L.V. Gusta. 2003, An overview of cold hardness in woody plants; Seeing the forest through the trees. *HortScience* 38:952-959.
- Wisniewski, M., M. Fuller, J. Palta, J. Carter, and R. Arora, 2004, Ice nucleation, propagation and deep supercooling in 재요 plants *J. Crop. Improv.* 10:5-16.
- Yoo S.Y., Ferrah, S., & Kim T.W, 2014, Chlorophyll fluorescence imaging analysis for fresh quality assessment of apple and kiwi fruits preserved under different storage conditions. *International Journal of Advanced Information Science and Technology(IJAIST)* 29: 60-68.
- Yoo S.Y., Park S.H. Lee M.J., Park J.Y., Kang H.G., Kang S.K and Kim T.W, 2015, Application of Chlorophyll a Fluorecence Imaging Analysis for Seclection of Rapid Frozen Sweet Persimmon Furits. *Korean Journal of Environmental Agriculture.* 34(3): 210-216.
- Yoon, M.S. 1996, Seasonal changes of nitrogenous compounds and carbohydrates in one-year-old seedlings of persimmon(*Diospyros kaki*). *Journal of Horticultural Science and Technology* 37(2): 257-262.

6. 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2017(1년)	학술발표	재배지역 및 휴면심도에 따른 복숭아 품종별 동해 피해 정도 강원지역 2년생 복숭아 품종별 생육 및 동해 피해 비교
	현장컨설팅	복숭아 생리장해 관련 현장기술 지원(2건)
2018(2년)	영농정보	중북부지역 복숭아 품종별 내한성 현장평가 정보(중앙)
	홍보	강원도, 봄철 과수 동해피해 주의 당부 등 3건
2019(3년)	영농정보	복숭아 동해경감을 위한 월동 피복재 선택정보(자체)
	학술발표	복숭아 수체 내한성 평가를 위한 엽록소형광이미지 분석 개화기 이상저온에 따른 복숭아 품종별 수정 및 결실특성
	홍보	과수 동해예측 프로그램 개발 등 3건
	현장컨설팅	복숭아 생리장해 관련 현장기술 지원(2건)

성과지표명	연도	1년차(2017)		2년차(2018)		3년차(2019)		계	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적
학술 발표	국제								
	국내		2	1		1	2	2	4
영농 활용	기술								
	정보				1	1	1	1	2
홍보		1		1	3	1	3	3	6
현장컨설팅			2				2		4
계		1	4	2	4	3	8	6	16

7. 연구원 편성

구 분	소 속	직 급	성 명	수행업무	참여년도		
					'17	'18	'19
과제책임자	서울대학교	교수	이희재	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		○	○