

전 략 체 계	지속 - 4 - 1		구 분	세부완결	
기술분야코드	V2	기술유형코드	C05	작목구분코드	FT-04-0601
과 제 종 류	기관고유		과제번호	LP004279	
과 제 명	기후변화에 따른 과수 기상재해 경감기술 개발				
과 제 책임자	성 명		직 급	소속기관 및 부서	
	이 제 창		농업연구사	강원도원 원예연구과	
연 구 기 간	2020 ~ 2022		참여연구기관	-	
세부과제명			부 서	세부책임자	연구기간
1) 이상기상 대응 과수 내재해 시스템 효과 검정			원예연구과	이제창	'20~'22
색 인 용 어	기후변화, 냉해, 고온, 우박 등				

ABSTRACT

This study examined the treatment effects of micro-spray system, anti-frost fan, and hail net facilities installed to reduce meteorological disaster damage to fruit trees in Gangwon-do from 2020 to 2022. In relation to the occurrence of cold damage, which is currently the biggest problem in fruit trees among meteorological damage, the temperature of occurrence of spring cold damage by flowering bud development stage was investigated for major apple varieties. The temperature at which the occurrence of cold damage begins was -1.5°C in the 'Fuji' variety, -1.4°C in 'Hongro' cultivar. Among meteorological damage mitigation facilities, fine watering facilities are installed for the purpose of preventing cold damage in spring and clearing away high temperatures in summer. It was investigated that the temperature in the orchard rose by up to 1.3°C when treated to prevent cold damage in spring, and the incidence of cold damage in flowers was 16.6 % was found to decrease. However, since the water consumption per hour was 3.7ton based on 300 pyeong (sprinkler nozzle), it was judged that the use may be limited in orchards with a relatively large area of 2,000 pyeong or more. However, since the water consumption per hour was 3.7ton based on 10a (sprinkler nozzle), it was judged that the use may be limited in orchards with a relatively large area of 60a or more. During the summer treatment, the temperature in the orchard decreased by up to 3.5°C , and the surface temperature of the fruit also decreased by 3.0°C , suggesting that the temperature reduction effect would be significant. The effect of raising the temperature and the effect of reducing the cold damage of flower buds of anti-frost fan, which is less affected by the orchard area, did not show a big difference from fine watering. In addition, the effect of hail nets, which are aimed at preventing hail and bird damage, on the orchard environment and fruit trees during growth was investigated. During the treatment of hail nets from June to August, the amount of light in the orchard decreased by 160.0 to $325.0\mu\text{ mol/m}^2/\text{s}$, and the

temperature rose by up to 1.2℃. As a result, the photosynthetic amount of fruit trees decreased compared to untreated when hail net treatment was conducted, but it was investigated that the surface temperature of fruit trees was reduced by more than 1.4℃ at maximum. and There was no significant difference in fruit characteristics compared to non-treatment in the case of temporary treatment in the high temperature period.

1

연구목표

최근 기후변화의 영향으로 한반도의 과수 재배적지는 북상하고 있는 추세이며, 강원도의 사과 재배면적은 2005년 150ha에서 2021년 1,381ha까지 증가하였다(Korean Statistics information Service, 2022). 그러나 이상기상의 발생 빈도 또한 지속적으로 증가하고 있는 추세이며, 실제로 2016~2021년 강원도 내 과수 동해 및 냉해 등의 누적 저온 피해면적이 약 1,130ha 수준으로 보고되는 등 이상기상 발생에 따른 과수 재배농가의 피해 발생이 증가하고 있는 상황이다. 강원도 내 과수 재배농가들은 이러한 기상재해 경감을 위하여 내재해 시설을 설치하고 있는 추세이며, 그 종류에는 봄철 꽃눈 냉해 경감을 위한 미세살수 시설, 방상팬 시설과 여름철 고온, 생육 중의 우박 발생 등을 복합적으로 방지할 수 있는 방조망 등을 설치하고 있다. 미세살수 시설은 배 ‘신고’ 품종에서 냉해 경감 효과가 있는 것으로 보고되었으며(Jo et al., 2012), 우박 방지가 가능한 방조망은 과원 내 햇빛의 투과율이 줄어들지만 사과의 일소과 피해를 감소시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있어(Gindaba, J., & Wand, S. J., 2005; Corollaro, M. L, 2015) 강원도 내 기후조건(온도, 일조량 등)에서의 처리 효과 및 적합성 여부를 판단하는 것이 필요하다고 사료된다. 따라서, 본 시험에서는 최근 설치되어지고 있는 과수 내재해 경감 시설들의 현황 및 문제점을 파악하고, 효과를 검증 하는 것을 목표로 하였다. 또한 지속적으로 발생하는 강원도 내 이상기상을 분석하고 이에 따른 피해양상을 모니터링 하여 데이터를 축적하고자 하였다.

2

재료 및 방법

〈제3세부과제: 국내 신품종 사과 대목별 생육특성 검정〉

(시험 1) 사과 꽃눈 냉해 피해온도 식물생장상 검정(2020-2021)

본 연구는 봄철 이상저온에 따라 발생하는 사과의 꽃눈 냉해 발생의 피해 한계온도를 검정하기 위해 수행하였다. 대상 품종은 국내에서 주로 재배되고 있는 ‘후지’, ‘홍로’ 품종을 대상으로 하였으며, 사과의 꽃눈 발육단계 별 한계온도가 다를 수 있기 때문에 녹뢰기, 홍뢰기, 개화기로

나누어 기내 저온처리를 실시하였다. 저온처리에 사용된 시료는 강원도 춘천시 신북읍 유포리에 위치한 강원도농업기술원 과수 시험연구포장 내 정식 된 ‘후지’, ‘홍로’ 품종을 대상으로 각각 꽃눈 발육단계(녹뢰기 등 3시기)에 도달했을 시 길이 20cm 내외의 결과지 30개씩을 채취하여 사용하였다. 저온 처리는 강원도농업기술원 농식품연구소의 저온BOD배양기(Panasonic)를 사용하였으며, 녹뢰기의 최저 처리온도는 $-5 \sim 0^{\circ}\text{C}$, 홍뢰기·개화기의 최저 처리온도는 $-4 \sim 0^{\circ}\text{C}$ 로 설정하여 처리하였다. 시험 1년차(2020)에는 최저온도의 처리 시간을 1, 2, 3시간으로 나누어 시험처리 하였고, 시험 2년차(2021)에는 1년차의 시험 결과 및 Laszlo Szalay의 시험처리법을 인용하였으며(Laszlo Szalay etc, 2019), 사과 꽃의 형태적 구조상 중심화와 중심화를 포함한 전체 꽃(중심화+측화)의 피해를 나누어 검정하였다.



(그림 1) 사과 꽃눈 발육단계별 저온처리 현황

(시험 2) 도내 과수 냉해 경감시설 현황조사(2021)

본 연구는 강원도 내 사과 재배농가의 봄철 냉해 경감시설의 현황을 파악하기 위해 수행하였다. 냉해 경감시설은 미세살수 시설과 방상팬 시설을 대상으로 조사하였고, 도내 전체 사과 재배농가 중 각 18개 시군 과수담당자를 통해 해당 시설을 보유한 농가를 대상으로 유선조사를 실시하였다. 미세살수 시설을 보유한 농가를 대상으로는 과원의 면적, 물탱크 보유현황(크기), 미세살수 노즐의 종류, 시설 사용 시 문제점 등을 조사하였고, 방상팬 시설을 보유한 농가를 대상으로는 과원의 면적, 사용 시 문제점 등을 조사하였다.

(시험 3) 과수 냉해 경감시설별 적정 설치조건 설정(2020-2021)

본 연구는 봄철 냉해 경감시설들을 대상으로 효과검정 및 시설별 설치 가능한 입지에 대한 조건을 설정하기 위하여 수행하였다. 미세살수 시설(스프링클러, 고압분무 노즐)의 효과검정은 강원도 춘천시 신북읍 유포리에 위치한 강원도농업기술원 과수 시험연구포장과 강원도 양구군 방산면 내 위치한 사과 재배농가에서 실시하였고, 방상팬 시설의 효과검정은 앞서 언급한 양구군 방산면 사과 농가에서 실시하였다. 시설 사용에 따른 효과 검정을 위해 과원 내 온·습도 및 꽃 냉해 발생률을 조사하였으며, 과원 내 온·습도는 데이터로거(H21-USB) 및 온습도센서(S-THB-M002, HOBO)를 사용하여 측정하였다. 꽃 냉해 발생률은 4월 상순경 0°C 이하의

저온이 발생하였을 때 꽃을 채취하여 갈변된 꽃 수를 조사하였으며, 미세살수 시설의 적정 설치조건(입지조건 등)을 설정하기 위하여 면적별 물 소비량, 급수량 등을 조사하였다.

(시험 4) 고온기 온도 저감을 위한 미세살수 적정 노즐설정(2020)

본 연구는 미세살수 시설의 봄철 냉해 경감효과 외에 여름철 고온기 온도 저감효과를 검정하기 위하여 수행하였다. 효과 검정은 강원도 춘천시 신북읍 유포리에 위치한 강원도농업기술원 과수 시험연구포장 내 설치된 미세살수 시설을 대상으로 32℃ 이상의 고온이 발생한 8월 19일, 8월 20일에 스프링클러 노즐과 고압분무 노즐 대상으로 실시하였다. 시설 사용에 따른 효과 검정을 위해 과원 내 온·습도, 수체표면 온도, 병 발생량 및 일소과 발생량을 조사하였다. 과원 내 온·습도는 데이터로거(H21-USB) 및 온습도센서(S-THB-M002, HOBO)를 사용하여 측정하였고, 수체 표면온도는 열화상카메라(Testo 868)를 사용하여 조사하였다. 병 발생량은 사과에 발병 빈도가 높은 갈색무늬병과 탄저병을 대상으로 조사하였으며, 갈색무늬병은 총 조사 잎수 대비 병발생 잎수, 탄저병은 총 조사 과수 대비 병발생 과수의 비율로 조사하였다. 일소과 발생량은 총 조사 과수 대비 일소과 발생 과수의 비율로 조사하였다.

(시험 5) 과수 천·측창 개폐형 방조망 처리효과 검정(2022)

본 연구는 우박 및 조류피해 방지 목적으로 최근 설치되고 있는 방조망(우박망)이 과원 내 미기상환경 및 수체 생육에 미치는 영향을 조사하기 위해 수행하였다. 조사 시설은 강원도농업기술원 과수 시험연구포장 내 설치된 천·측창 개폐형 방조망(우박망)을 대상으로 6, 7, 8월 처리 후 조사를 진행하였고, 방조망 매쉬 규격은 4×5mm 였다. 미기상 환경은 (시험 3)과 같이 과원 내 온·습도를 조사하였으며, 방조망 처리에 따른 광 변화율을 측정하기 위해 광센서(S-LIA-M003, HOBO)를 설치하여 추가 조사하였다. 수체 생육은 처리별 광합성량 측정, 수체 표면온도, 일소과 발생량, 과실 특성검정을 실시하였으며, 수체 표면온도 및 일소과 발생량은 (시험 4)와 동일하게 진행하였다. 광합성량은 광합성측정기(LI-6400, LI-COR)를 이용하여 고온기인 8월 13시~16시까지 처리별로 측정하였다. 과실 특성검정은 과중은 전자저울을 이용하여 g단위로 조사하였고, 가용성 당함량과 산도는 과실 적도 부위 세 부분에서 채취한 과육으로부터 착즙한 액을 이용하여 디지털 당산도계(PAL-1, Atago, Japan)로, 경도는 과실경도계(CR-100, Japan)를 이용해서 적도 부위의 세 방향에서 측정하였다. 과실의 착색도는 색차색도계(CR-400, Minolta, Japan)를 이용하여 L^* , a^* , b^* 값을 활용하여 검정하였다.

(시험 6) 과수 이상기상 분석 및 피해양상 모니터링(2020-2022)

본 연구는 최근 기후변화의 영향으로 이상기상의 발생 빈도가 증가하면서 과수 재배에 영향을 미칠 수 있는 이상기상에 대한 분석과 이에 따른 피해양상을 모니터링하기 위해 수행하였다. 이상기상 분석은 기상청 기상자료 개방포털에서 제공하는 월별 평균기온, 강수량, 일조시간과 기후 평년값(1990~2020)을 활용하여 분석하였다. 피해양상 모니터링은 겨울철 동해발생, 봄철 냉해발생에 대한 강원도 내 주요 과수 재배지역(춘천, 원주, 홍천, 양구)의 피해발생 정도를

조사하였다. 겨울철 동해발생 조사는 사과, 배, 복숭아, 포도를 대상으로 실시하였으며, 꽃눈 피해율은 각 시군별 거점 재배농가에서 과종별 결과지 10개를 채취하고 10일간 수삽 후 꽃눈의 단면을 보고 갈변 정도를 조사하였다. 봄철 냉해발생 조사는 사과를 대상으로 실시하였으며, 꽃 냉해율은 봄철 저온 발생 시 각 시군별 거점농가의 사과 꽃을 채취하여 총 꽃수 대비 피해수로 나누어 계산하였다.

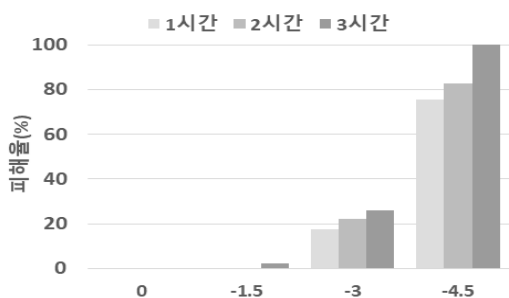
3 결과 및 고찰

〈제1세부과제: 이상기상 대응 과수 내재해시스템 효과 검증〉

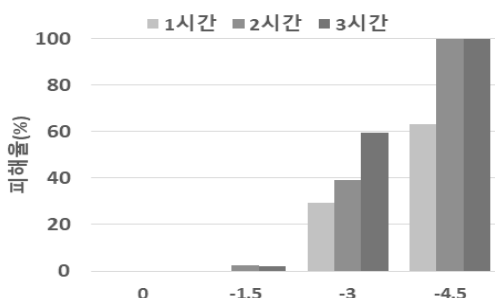
(시험 1) 사과 꽃눈 냉해 피해온도 식물생장상 검정(2020-2021)

기후변화의 영향으로 이상기상 발생이 증가함에 따라 사과의 봄철 꽃눈 냉해 발생이 증가하면서 국내 주요 재배품종인 ‘후지’, ‘홍로’ 품종을 대상으로 식물생장상 내 냉해 피해 한계온도를 검정하였는데, 꽃눈 발육단계 별 저온 피해온도가 다르다고 보고되어(Michigan State University Extension, 2004.), 꽃눈 발육단계를 녹뢰기, 홍뢰기, 개화기로 나누어 조사하였다.

시험 1년차(2020) 녹뢰기 시기의 저온처리에 따른 저온경과 시간별 꽃눈 피해수준(그림 2, 그림 3)은 ‘후지’, ‘홍로’ 두 품종 모두 -1.5°C 이상에서는 꽃눈 피해율이 2.3% 이하로 냉해 발생이 적었으나, -3°C 처리부터 20% 이상으로 본격적인 피해 발생이 관찰되었다. 또한 -4.5°C 노출 시 두 품종 모두에서 63.3% 이상의 꽃눈 피해율이 발생하였고, 저온 처리시간이 길수록 피해율은 증가하는 경향을 보였다. 녹뢰기 시기의 품종 별 꽃눈 냉해 저항성은 ‘홍로’ 품종이 ‘후지’ 품종 대비 상대적으로 강한 것으로 조사되었다.

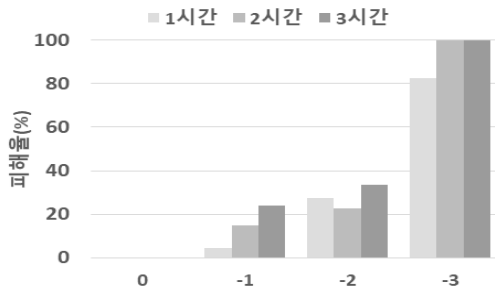


[그림 2] '홍로' 녹뢰기 꽃눈 피해율

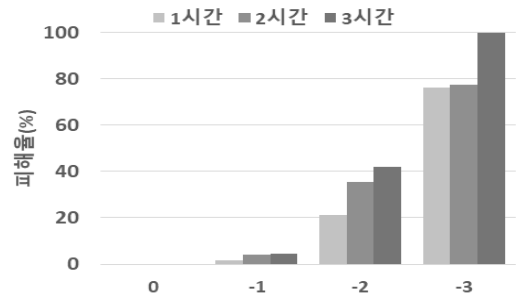


[그림 3] '후지' 녹뢰기 꽃눈 피해율

개화기의 저온처리에 따른 저온경과 시간별 꽃눈 피해수준(그림4, 그림5)은 ‘후지’, ‘홍로’ 두 품종 모두 0°C 처리에서는 꽃눈 피해율이 발생하지 않았고, -1°C 처리부터 피해 발생이 관찰되었다. 두 품종 모두 -3.0°C 로 1시간 이상 저온 노출 시 꽃눈 피해율은 76.1% 이상 발생하는 것으로 나타났다.

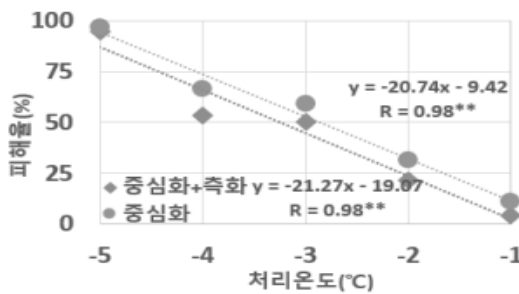


[그림 4] '홍로' 개화기 꽃눈 피해율

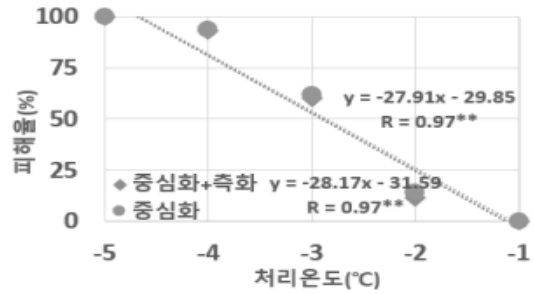


[그림 5] '후지' 개화기 꽃눈 피해율

시험 2년차(2021) 녹뢰기 시기의 꽃눈 피해율은 두 품종 모두 상대적으로 발육이 빨랐던 중심화가 전체 꽃눈(중심화+측화) 대비 같거나 높은 경향을 보였으며, 50%의 꽃눈 피해가 발생하는 저온처리 온도는 두 품종 모두 -3°C 로 동일하였다. 다만 -4°C 처리에서 '홍로' 품종의 피해율은 -3°C 처리와 큰 차이가 나타나지 않은 반면(전체 꽃눈 기준 3.3%), '후지' 품종에서는 꽃눈 피해율이 93.1%로 높게 나타나, 극저온에서의 냉해 저항성은 '홍로' 품종이 '후지' 대비 강한 것으로 판단되었으며, 이는 1년차 시험결과와 같은 경향을 보였다(그림 6, 그림 7).

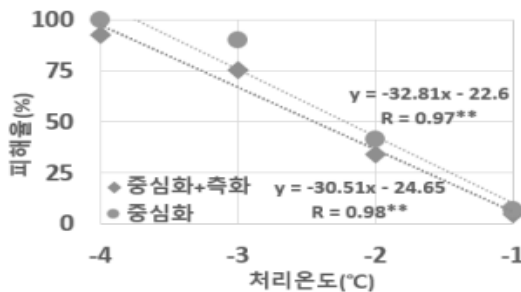


[그림 6] '홍로' 녹뢰기 꽃눈 피해율

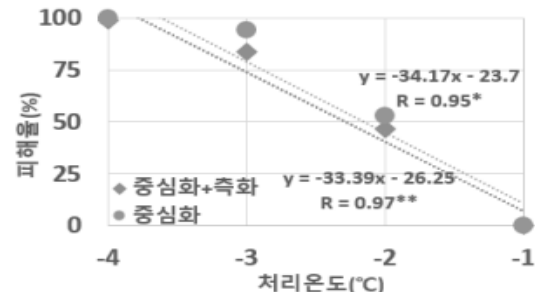


[그림 7] '후지' 녹뢰기 꽃눈 피해율

'홍로' 품종의 홍뢰기의 저온처리별 꽃눈 피해율은 강한 부의 상관관계를 나타내었으며 ($r=0.97^{**}$), 녹뢰기와 마찬가지로 -3°C 부터 전체 꽃눈 기준 피해율이 75.1% 이상으로 나타나 홍뢰기 시기 -3°C 이하의 저온은 '홍로' 품종의 꽃눈 냉해에 취약할 것으로 판단되었다(그림 8). '후지' 품종 또한 '홍로' 품종과 같은 경향을 보였으나, 저온처리 구간 별 꽃눈 피해율은 -1°C 를 제외하고는 '홍로' 품종 대비 8~12% 이상 높게 나타났다(그림 9).

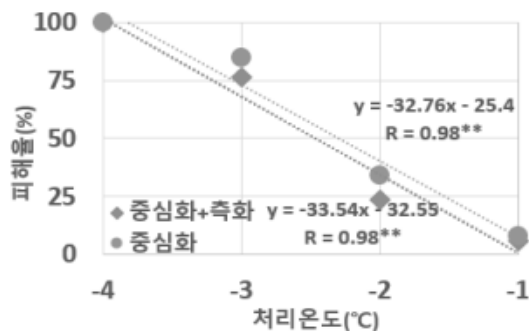


[그림 8] '홍로' 홍뢰기 꽃눈 피해율

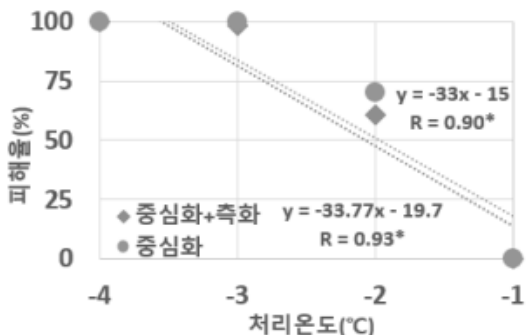


[그림 9] '후지' 홍뢰기 꽃눈 피해율

꽃눈 발육이 상대적으로 가장 많이 진행된 개화기 시기는 타 시기 대비 같은 저온에서의 피해율이 높게 나타났으며, 특히 ‘후지’ 품종은 개화시기 -3℃이하의 저온에서 일정시간 이상(본 시험에서는 4시간) 노출 시 전체 꽃이 피해를 입는 것으로 조사되었다(그림 10, 그림 11).



(그림 10) ‘홍로’ 개화기 꽃눈 피해율



(그림 11) ‘후지’ 개화기 꽃눈 피해율

결과적으로 두 품종의 꽃눈 발육단계 별 냉해 한계온도를 꽃눈 피해 발생이 시작된다고 가정하는 피해수준 10%와 대부분의 꽃이 냉해를 받는 피해수준 90%로 나누어 설정하였다. 중심화에서의 꽃눈 발육단계별 피해온도는 (표 1)과 같으며, 앞선 시험 결과와 마찬가지로 ‘홍로’ 품종이 ‘후지’ 품종 대비 평균적인 피해 발생온도가 낮아 냉해에 상대적으로 강할 것으로 판단되었다.

<표 1> 꽃눈 발육단계별 ‘중심화’ 피해 한계온도

피해 수준	홍 로			후 지		
	녹뢰기	홍뢰기	개화기	녹뢰기	홍뢰기	개화기
10%	-0.9	-1.0	-1.1	-1.4	-1.0	-0.8
90%	-4.8	-3.4	-3.5	-4.3	-3.3	-3.2

(표 2)는 화충 내 전체 꽃(중심화 + 측화)을 대상으로 한 피해 한계온도로써 중심화 한계온도보다 같거나 더 낮은 경향을 보여, 사과 꽃의 냉해는 발육이 상대적으로 빠른 중심화에서 더욱 취약한 것으로 조사되었다.

<표 2> 꽃눈 발육단계별 ‘전체(중심화 + 측화)’ 피해 한계온도

피해 수준	홍 로			후 지		
	녹뢰기	홍뢰기	개화기	녹뢰기	홍뢰기	개화기
10%	-1.4	-1.1	-1.3	-1.5	-1.1	-0.9
90%	-5.1	-3.8	-3.7	-4.3	-3.5	-3.2

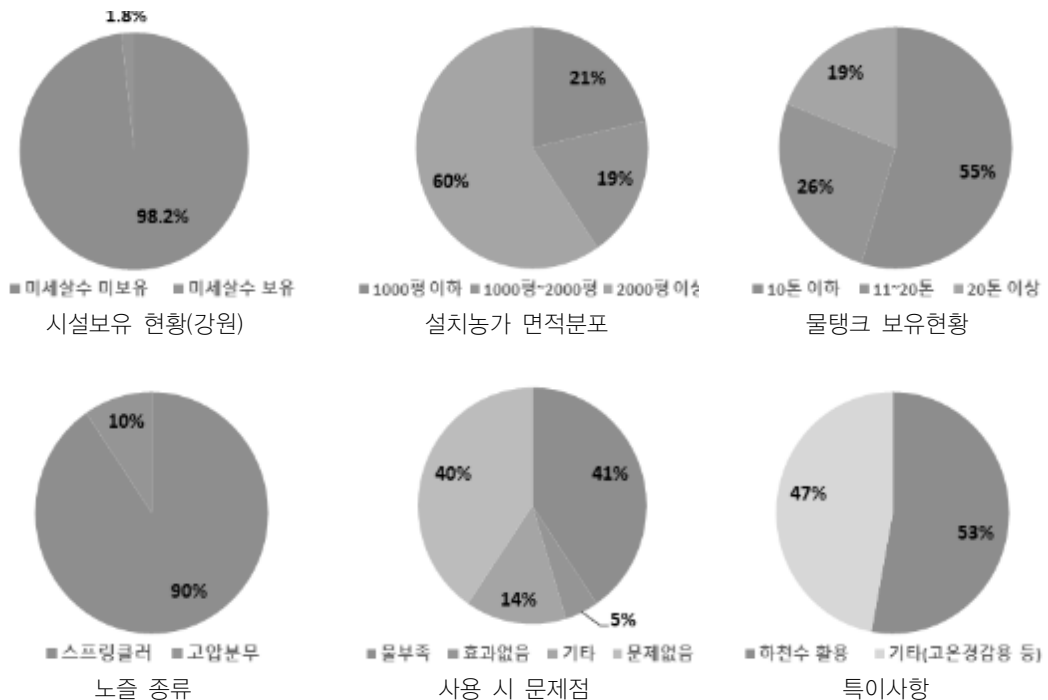
(시험 2) 도내 과수 냉해 경감시설 현황조사(2021)

강원도 내 전체 사과 농가 중 미세살수 시설을 보유한 농가는 총 69가구로 조사되었다. 이는 도내 전체 사과 농가의 1.8% 수준이었으며, 69가구 중 조사에 응답한 42가구를 대상으로 설문 조사를 실시하였다.

미세살수 시설을 설치한 농가의 과원 면적은 2,000평 이상이 60%로 가장 많았으며, 1,000평 이하가 21%, 1,000평 ~ 2,000평이 19% 순이었다. 조사 농가의 물탱크 보유 현황은 55% 이상이 10톤 이하의 물탱크를 소유하고 있었으며, 20톤 이상은 19%로 가장 적었다. 미세살수 시설에 사용된 노즐의 종류는 스프링클러가 90%로 가장 많았고, 에어컴프레서를 동반하여 사용하는 고압분무 노즐을 사용하는 농가는 10% 수준으로 조사되었다. 시설 사용 시 문제점은 ‘물 부족에 따른 사용제한’ 의견이 전체의 41%로 가장 많았으며, 문제가 없다고 답변한 농가는 40%로 조사되었다. 문제 발생이 없던 농가를 대상으로 사용 시 물 부족 여부에 대하여 재조사한 결과 재조사 대상 농가의 53%가 보유한 물탱크 외 과원 근처 하천수를 활용하여 사용한다고 답하였고, 그 외 47%는 물 소모량이 큰 봄철 냉해방지 처리에는 본 시설을 활용하지 않고 상대적으로 활용 시간이 짧아 물 소모량이 적은 여름철 고온 경감용으로 활용하는 것으로 나타났다(그림 12).

이처럼 도내 사과 재배농가의 봄철 냉해 방지를 위한 미세살수 시설을 활용 시 “물 부족”에 대한 문제가 큰 것으로 조사되었으며, 과원의 면적, 입지조건(하천수 활용여부 등), 저수용량 등을 고려한 시설 활용이 시급할 것으로 판단되었다.

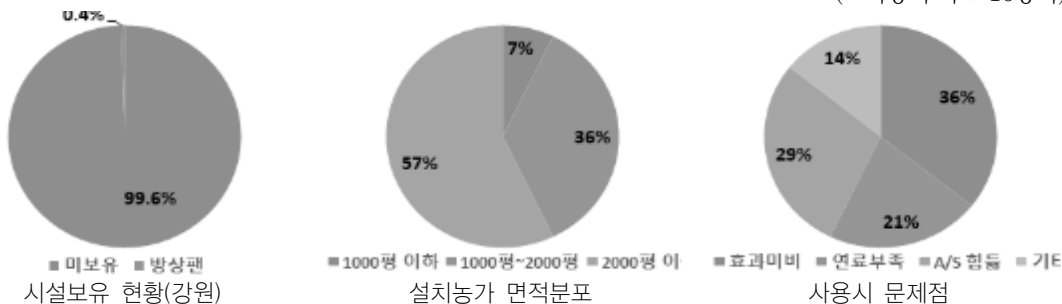
(조사농가 수: 42농가)



(그림 12) 미세살수 사용현황 조사

이어서 강원도 내 방상팬 시설을 보유한 농가는 총 17가구로 조사되었다. 이는 도내 전체 사과 농가의 0.4% 수준이었다. 방상팬 시설을 보유한 농가의 57%는 과원 면적이 2,000평 이상이었으며, 1,000평 이하의 소규모 농가는 7%로 적었다. 방상팬 사용 시 문제점으로는 냉해 방지 효과가 미비하다고 답한 의견이 36%로 가장 많았다(그림 13).

(조사농가 수: 16농가)

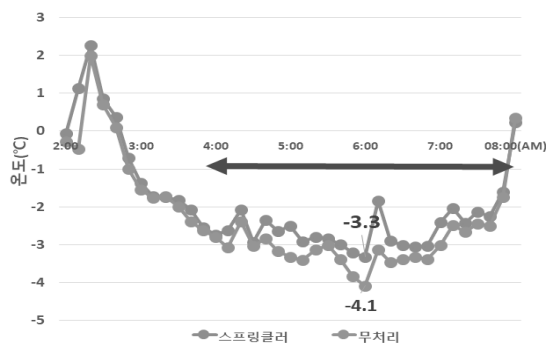


(그림 13) 방상팬 사용현황 조사

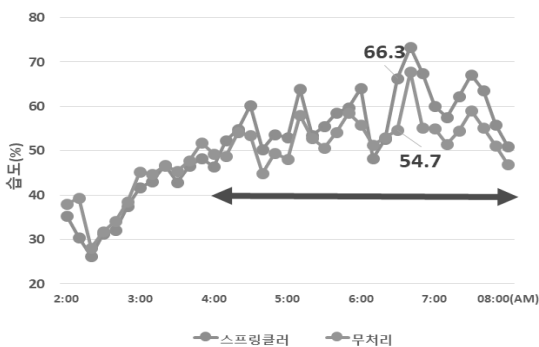
(시험 3) 과수 냉해 경감시설별 적정 설치조건 설정(2020-2021)

시험 1년차에는 냉해 경감시설 중 미세살수 시설을 대상으로 스프링클러 및 고압분무 노즐 간의 효과를 비교 검토하였다. 2020년 4월 5, 6일 -2°C 이하의 이상저온이 발생함에 따라 4월 5일에는 스프링클러 노즐을 처리하였고, 4월 6일에는 고압분무 노즐을 활용하였다.

스프링클러 노즐의 미세살수 시설을 처리한 결과 과원 내 온·습도 상승효과는 각각 평균 0.4°C , 5.1% 이었고 최고 1.3°C , 12.3% 이었다(그림14, 그림15). 온도 상승효과는 상대적으로 적은 것으로 판단되었지만 최저온도가 -4.1°C 로 내려간 무처리 대비 시설 처리 시 최저온도 발생온도는 -3.3°C 로 냉해 방지에 효과가 있을 것으로 판단되었다.

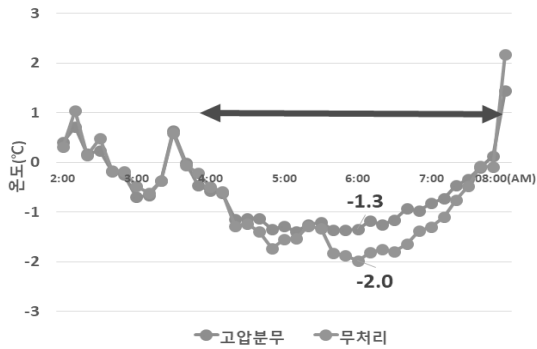


(그림 14) 스프링클러 처리 온도 변화

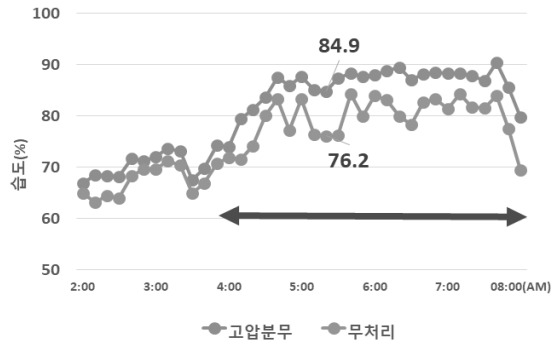


(그림 15) 스프링클러 처리 습도 변화

고압분무 노즐의 미세살수 시설을 처리한 결과 과원 온·습도 상승효과는 각각 평균 0.3°C , 6.5% 이었고, 최고 0.7°C , 11.1% 이었다(그림 14, 그림 15). 처리에 따른 온도 상승 폭은 작았지만 최저온도가 -2.0°C 로 내려간 무처리 대비 처리구는 -1.3°C 로 냉해 방지에 효과가 있을 것으로 판단되었다.



(그림 16) 고압분무 처리 온도 변화



(그림 17) 고압분무 처리 습도 변화

4월 5일 미세살수 처리에 따른 사과 품종별 꽃 냉해율을 조사한 결과 ‘홍로’의 꽃 피해율은 2.1%로 무처리 대비 16.6% 감소하였으며, ‘후지’의 꽃 피해율은 43.5%로 무처리 대비 11.4% 감소하였다. 품종 별 피해율은 ‘홍로’ 품종이 ‘후지’ 대비 41.4% 낮은 꽃 피해율을 보였다(표 3).

<표 3> 미세살수 처리에 따른 사과 품종별 꽃 냉해율

처리	홍로				후지			
	꽃 수 (개)	피해수 (개)	피해율 (%)	중심화 피해율 (%)	꽃 수 (개)	피해수 (개)	피해율 (%)	중심화 피해율 (%)
미세살수	96	2	2.1	5	92	40	43.5	70.0
무처리	91	17	18.7	60.0	102	56	54.9	80.0

※ 노즐: 스프링클러(20L/H), 고압분무(15L/H)

※ 꽃눈 발육단계: 녹뢰기(홍로), 전엽기(후지)



시험포 전경



미세살수 처리(꽃눈)



미세살수 처리(측지)

(그림 18) 미세살수 처리 전경

미세살수 시설 사용 시 주된 문제로 조사된 ‘물 부족’ 문제와 관련하여 시설 작동 시 물 소비량을 노즐별로 조사하였다. 노즐별 압력은 스프링클러 노즐 3bar, 고압분무 노즐은 10, 20, 30bar로 나누어 조사하였으며, 시간 당 물 소비량은 스프링클러 노즐에서 67.4L/h, 고압분무 노즐에서 6.6~8.8L/h로 나타나 고압분무 노즐이 스프링클러 노즐 대비 물 소비량이 적은 것으로 조사되었다(표 4).

<표 4> 미세살수 시설 노즐 종류별 물 소모량

노즐 \ 구분	압력 (bar)	물 소모량 (L/H)	재원상 물 소모량 ^z (L/H)
스프링클러	3	67.4±1.6	70.0
	10	6.6±1.2	—
고압분무	20	8.3±0.4	13.6
	30	8.8±1.4	15.1

^z 재원상 물 소모량: 한국기계연구원 시험성적서 기준(SN-12)

표 4에서 조사된 노즐당 물 소비량을 기준으로 과원 내 노즐의 설치 간격(스프링클러(3m×6m), 고압분무노즐(1m×6m))을 고려한 면적별 물 소비량을 조사하였다. 시간당 물 소모량은 스프링클러 노즐에서 10a(약 300평) 기준 3.7톤이었으며, 과원 규모가 커질수록 물 소모량이 많아지는 경향을 보였다. 같은 면적 과원 내 노즐 개수, 면적에 따른 노즐별 압력 등을 고려하였을 때 고압분무 노즐의 물 소모량은 스프링클러 대비 약 60% 이상 적은 것으로 조사되었다(표 5). 냉해경감을 위한 미세살수 시설 활용에서 최소 5시간 이상 살수를 지속해야 하므로 면적이 커질수록 저수용량의 부족에 따른 안정사용이 어려울 것으로 판단되었으며, 농가의 입지조건에 따라 미세살수 시설의 활용 가능 면적은 달라질 것으로 판단되나 상대적으로 대면적 과원에는 적합하지 않을 것으로 판단되었다.

<표 5> 과수원 규모에 따른 노즐별 시간당 미세살수 물 소모량(톤)

노즐	압력 (bar)	과원 규모(a)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
스프링클러	3	3.7	7.4	11.1	14.8	18.5	22.2	25.9	29.6	33.3	37.0
고압분무	20	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0	13.4	14.9
	30	1.6	3.2	4.7	6.3	7.9	9.5	11.1	12.6	14.2	15.8

※ 설치간격(m): 스프링클러(3×6), 고압분무노즐(1×6)

※ 노즐 재원상 물 소모량: 스프링클러(70L/h), 고압분무노즐(15L/h)



고압분무 노즐



고압분무기 · 컴프레서



스프링클러



농업용 펌프

[그림 19] 미세살수 시설 구성요소

시험 2년차인 2021년에는 전년도에 효과검정을 실시했던 미세살수 시설 외에 비교적 대면적에서도 활용 가능할 것으로 판단되었던 방상팬 시설을 추가하여 효과검정을 실시하였다. 시설별 효과는 두 시설 모두를 갖추고 있는 강원도 양구군 방산면의 사과 농가에서 봄철 개화시기 0℃ 이하로 떨어졌던 4월 14일에 실시하였다.

시설별 온도 상승효과는 미세살수 시설이 무처리 대비 최대 0.6℃, 방상팬이 최대 1.0℃로 나타났다(표 6).

<표 6> 과수 내재해 시설 처리에 따른 과원 내 온도 변화 (처리일자: 4.14., 03:00~08:00)

구분	온도(℃)										
	03:00	03:30	04:00	04:30	05:00	05:30	06:00	06:30	07:00	07:30	08:00
미세살수 ^z	0.7	0.5	0.0	-0.2	-0.9	-0.7	-1.1	-1.1	-0.7	-0.2	2.3
방상팬(5m)	1.0	0.9	0.6	0.2	-0.5	-0.6	-0.9	-1.1	-0.6	-0.2	1.4
방상팬(15m)	1.0	0.9	0.6	0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-0.8	-0.2	1.4
방상팬(30m)	1.1	1.0	0.7	0.3	-0.4	-0.8	-0.8	-1.1	-0.8	-0.2	1.3
무처리	0.6	0.4	-0.2	-0.5	-1.1	-1.2	-1.8	-1.5	-0.9	-0.3	3.6

^z: 스프링클러 노즐(70L/h)

시설별 습도 변화는 미세살수 처리(최대 93.7%)에서 가장 높았지만 무처리 및 방상팬 처리 대비 크게 높지 않았다(표 7).

<표 7> 과수 내재해 시설 처리에 따른 과원 내 습도 변화 (처리일자: 4.14., 03:00~08:00)

구분	습도(%)										
	03:00	03:30	04:00	04:30	05:00	05:30	06:00	06:30	07:00	07:30	08:00
미세살수 ^z	88.6	91.0	91.5	90.9	91.9	92.4	93.7	93.6	93.0	92.7	82.8
방상팬(5m)	85.5	85.3	85.3	86.1	88.6	88.6	90.4	90.6	90.4	90.1	77.4
방상팬(15m)	85.7	85.3	85.3	86.3	89.0	89.4	91.0	91.3	91.0	90.2	72.6
방상팬(30m)	85.6	85.7	85.7	86.8	89.6	89.8	91.7	91.8	91.8	91.8	77.7
무처리	84.9	86.9	88.0	87.1	88.9	89.4	90.5	90.5	90.1	89.0	72.7

^z: 스프링클러 노즐(70L/h)

시설 처리에 따른 꽃 피해율은 미세살수 처리에서 19.5%로 무처리(28.3%) 대비 8.8% 꽃 피해가 경감되었으며, 방상팬 처리에서 17.9%로 무처리 대비 10.4% 꽃 피해가 경감되었다. 방상팬 설치 범위 내 꽃 피해율을 비교한 결과 15m에서 16.8%로 피해율이 가장 낮았지만 거리별 피해율의 차이는 16.8% ~ 19.1%로 크지 않았다(표 8).

<표 8> 내재해 시설 처리에 따른 꽃 피해율(후지)

처리내용	꽃 수 (개)	피해수 (개)	전체 피해율 (%)	중심화 피해율 (%)
미세살수	502	98	19.5	47.5
방 상 팬	649	116	17.9	42.8
05m	246	47	19.1	48.3
15m	197	33	16.8	35.4
30m	206	36	17.5	43.1
무 처 리	173	49	28.3	54.0

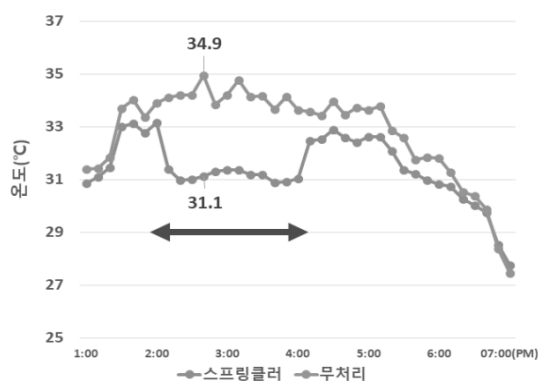
결과적으로 미세살수와 방상팬 시설의 온도 상승효과 및 꽃 냉해 경감효과는 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다. 다만, 미세살수 시설의 활용은 농가의 저수용량, 재배면적 등에 제약이 따르는 만큼 재배농가의 입지조건을 확인 후 설치가 필요할 것으로 판단된다.

(시험 4) 고온기 온도 저감을 위한 미세살수 적정 노즐설정(2020)

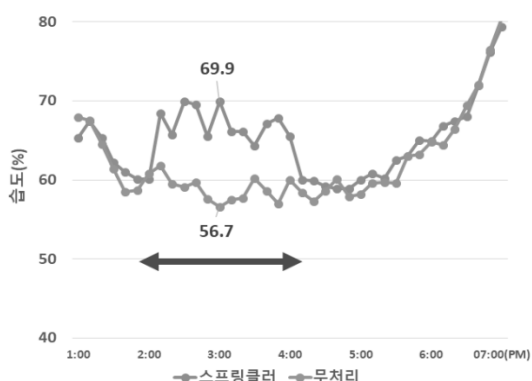
미세살수 시설의 고온기 온도 저감효과를 조사하기 위하여 극고온이 발생한 8월 19일(최고온도 34.9℃)과 8월 20일(최고온도 34.8℃)에 각각 스프링클러 노즐과 고압분무 노즐의 효과검정을 실시하였다.

스프링클러 처리에 따른 과원 내 경감효과는 평균 2.8℃, 최고 3.8℃이었고, 살수에 의한 과원 내 공중 습도는 무처리 대비 평균 평균 7.7%, 최고 13.3% 상승하였다(그림 20, 그림 21).

(처리기간: 8월 19일 14:00~16:00)

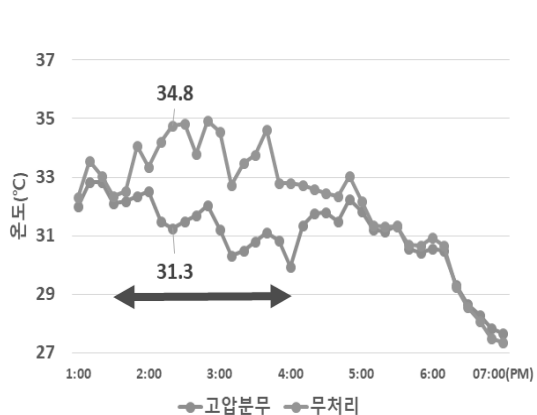


(그림 20) 스프링클러 처리 온도 변화

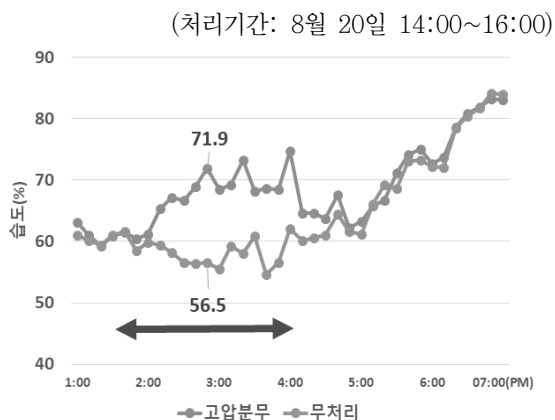


(그림 21) 스프링클러 처리 습도 변화

고압분무 노즐 처리에 따른 과원 내 온도 경감효과는 평균 2.7℃, 최고 3.5℃이었으며, 공중 습도는 평균 10.6%, 최고 15.4% 상승하였다(그림 22, 그림 23).

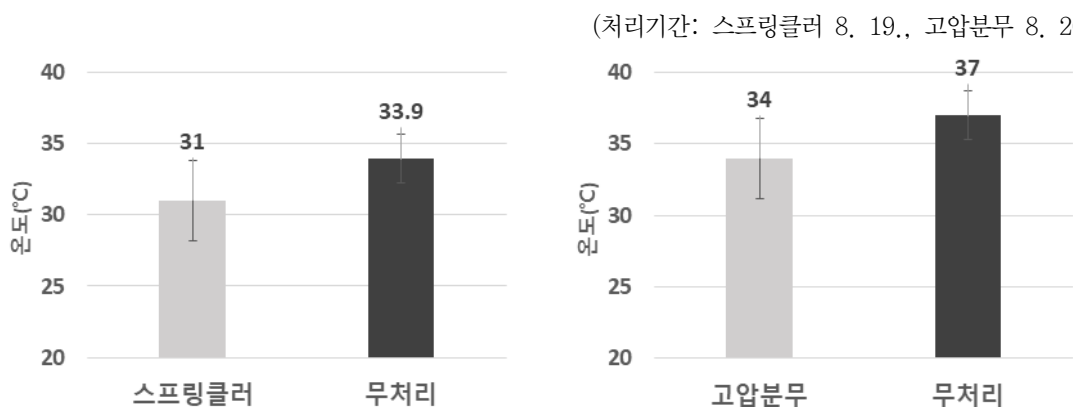


(그림 22) 고압분무 처리 온도 변화



(그림 23) 고압분무 처리 습도 변화

미세살수 살포에 따른 과일 표면온도의 변화를 조사한 결과 스프링클러 처리 시 과일 표면의 평균온도는 31.0℃로 무처리(33.9℃) 대비 2.9℃ 감소한 것으로 조사되었으며, 고압분무 노즐 처리에 따른 과일 표면의 평균온도는 34.0℃로 무처리(37.0℃) 대비 3.0℃ 감소한 것으로 조사되었다(그림 24).



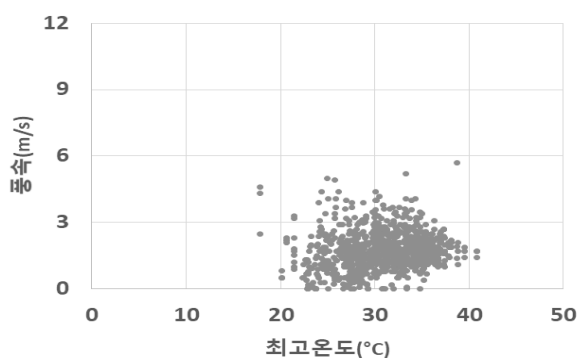
(그림 24) 미세살수 살포에 따른 과일 표면온도 변화

앞선 실험을 통해 미세살수 살포 시 과원 내 공중습도는 최대 15% 이상 증가하는 것으로 조사되었으며, 습도 상승에 따른 병 발생 비율과 온도 경감에 따른 일소과 발생량을 조사하였다. 갈색무늬병은 미세살수 처리구에서 무처리 대비 4.2% 높았고, 탄저병은 3.4% 낮은 것으로 조사되었다(표 9). 다만 2020년 7~8월 장마 장기화의 영향으로 고온기 미세살수 살포 횟수가 4회 이내로 적었으며, 따라서 병 발생의 객관적인 판단이 불가능하였다. 일소과 발생량은 미세 살수 처리구와 무처리구 모두에서 발생되지 않았다.

<표 9> 병해충 및 일소과 발생량('홍로')

처리	갈색무늬병			탄저병			일소과		
	조사 엽수 (개)	발병 엽수 (개)	발병율 (%)	조사 과수 (개)	발병 과수 (개)	발병율 (%)	조사 과수 (개)	발생 과수 (개)	발생율 (%)
미세살수	240	23	10.8	90	4	4.4	90	0	0
무처리	240	16	6.6	90	7	7.8	90	0	0

고온기 온도 경감을 위한 미세살수 살포 시 바람의 영향을 많이 받는 것으로 판단되며, 이에 따라 최근 5년간('16~'20)의 7~8월 고온 발생 시간대(14~16시)의 풍속을 조사한 결과, 미세살수에 영향을 주는 3.4m/s(산들바람) 이상의 풍속 발생 빈도는 4.6% 수준으로 나타나 큰 영향이 없을 것으로 판단되었다(그림 25).



[그림 25] 미세살수 살포에 따른 과일 표면온도 변화

※ 풍속: 고요(0.0~0.2m/s), 실바람(0.3~1.5), 남실바람(1.6~3.3), 산들바람(3.4~5.4), 건들바람(5.5~7.9), 흔들바람(8.0~10.7), 뒤편바람(10.8~13.8) 이하생략

(시험 5) 과수 천·측창 개폐형 방조망 처리효과 검정(2022)

방조망 천창 처리는 작물 생육에 영향을 줄 수 있을 것으로 판단되는 6, 7, 8월에 실시하였으며, 하루 중 생육 고온기인 13시~16시까지 실시하였다(그림 26).



천창 처리



무처리

[그림 26] 과수 내재해 시스템 처리별 사진

처리에 따른 광량 감소 정도는 $160.0 \sim 325.0 \mu \text{ mol/m}^2/\text{s}$ 로 조사되었으며, 이에 따른 광 투과율은 약 79.6~84.6% 수준이었다(표 10).

<표 10> 과원 내 광량 변화

날 짜 (월.일.)	처 리 ^z	광 량($\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$)			
		13:00	14:00	15:00	16:00
6.17.	방조망(A)	1,255.0	1,223.7	920.0	902.5
	무처리(B)	1,576.2	1,531.2	1,156.2	1,098.7
	편차(A-B)	-321.3	-307.5	-236.3	-196.3
	투광률(%)	79.6	79.9	79.6	82.1
7. 4.	방조망(A)	1,306.2	1,283.7	1,056.2	956.2
	무처리(B)	1,631.2	1,576.2	1,296.2	1,163.7
	편차(A-B)	-325.0	-292.5	-240.0	-207.5
	투광률(%)	80.1	81.4	81.5	82.2
8.12.	방조망(A)	1,282.5	1,227.5	1,053.7	816.2
	무처리(B)	1,563.7	1,463.7	1,246.2	976.2
	편차(A-B)	-281.2	-236.2	-192.5	-160.0
	투광률(%)	82.0	83.9	84.6	83.6

^z 방조망 처리시간: 13:00 ~ 16:00

천창 처리에 따른 과원 내 대기온도는 조사를 실시한 모든 날짜에서 최소 0.2℃에서 최대 1.2℃까지 상승하였으며(표 11), 과원 내 온도 상승은 천창 처리에 따른 과원 내 공기 순환의 정체 및 방조망의 낮은 차광률에 따른 결과로 판단되었다.

<표 11> 과원 내 대기온도 변화

날 짜 (월.일.)	처 리 ^z	온 도(℃)			
		13:00	14:00	15:00	16:00
6.17.	방조망(A)	26.6	27.9	28.5	29.5
	무처리(B)	25.9	27.6	28.0	28.7
	편차(A-B)	0.7	0.3	0.5	0.8
7.4.	방조망(A)	34.1	35.2	34.0	35.9
	무처리(B)	33.3	34.0	33.7	35.4
	편차(A-B)	0.8	1.2	0.4	0.6
8.12.	방조망(A)	31.9	33.3	33.7	33.8
	무처리(B)	31.7	32.6	33.2	33.1
	편차(A-B)	0.2	0.7	0.5	0.7

^z 방조망 처리시간: 13:00 ~ 16:00

고온기 방조망 천창처리에 따른 광합성량은 방조망 처리 시 무처리 대비 $0.3 \sim 3.6 \mu\text{mol}/\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 감소하였으며, 15시경 광합성량 감소가 가장 큰 것으로 나타났다(표 12). 방조망 천창 처리에 따른 광합성량의 감소는 차광에 따라 광량이 감소하고 대기온도가 상승한 영향으로 판단된다.

<표 12> 고온기 방조망 천창처리에 따른 광합성량

(조사일시: 2022.08.12.)

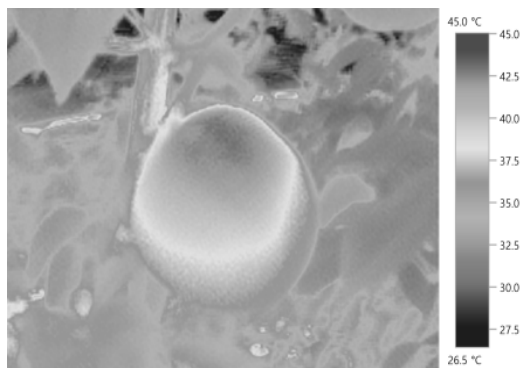
처 리	광합성량($\mu\text{mol}/\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)			
	13:00	14:00	15:00	16:00
방조망	13.8 ± 1.23	15.3 ± 0.15	13.5 ± 0.52	14.3 ± 1.05
무처리	16.5 ± 0.23	15.6 ± 0.64	17.1 ± 0.22	16.8 ± 0.44

잎 표면의 평균온도는 ‘홍로’ 37.5°C , ‘후지’ 38.5°C 로 무처리 대비 각각 0.4 , 0.7°C 감소하였고, 과일 표면의 평균온도는 ‘홍로’ 36.9°C , ‘후지’ 38.9°C 로 무처리 대비 각각 1.4 , 0.3°C 감소하였다(표 13). 결과적으로 차광처리에 따른 광량 감소로 직사광선 노출 정도가 줄어들어 수체의 표면 온도는 감소하는 것으로 조사되었다.

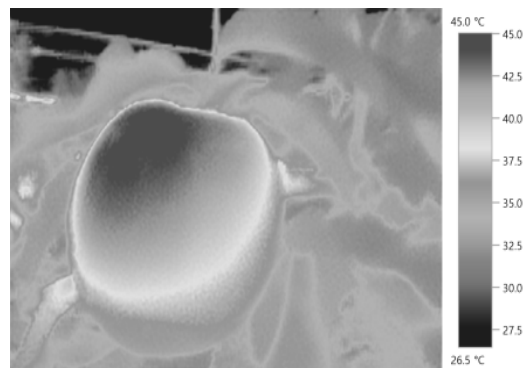
<표 13> 고온기 방조망 천창처리에 따른 과원 내 수체 표면온도

(조사일시: 2022.08.12., 14:00)

처 리	온 도($^\circ\text{C}$)			
	잎		과일	
	홍로	후지	홍로	후지
방조망	37.5 ± 0.87	38.5 ± 0.45	36.9 ± 1.40	38.9 ± 2.77
무처리	37.9 ± 2.03	39.2 ± 2.91	38.3 ± 2.64	39.2 ± 4.94



방조망 처리



무처리

(그림 27) ‘홍로’ 과실 열화상 이미지

당해년도는 일소과의 발생이 적었으며 이에 따라 처리 및 무처리구의 발생률은 3.3 , 5.6% 로 큰 차이를 보이지 않았다(표 14).

<표 14> 고온기 방조망 천창처리에 따른 일소과 발생량('홍로')

처 리	조사 과일수 (개)	일소과 발생수 (개)	일소과 발생률 (%)
방조망	90	3	3.3
무처리	90	5	5.6

* 조사기준: 직사광선에 노출된 과일 대상

방조망은 고온 발생기 간헐적으로 처리하였는데, 대부분의 생육기간에는 처리하지 않고 광량을 확보하였으며, 처리에 따른 '홍로' 사과의 과실 특성은 과중, 당도 및 착색도(Hunter Value a) 등 모든 조사항목에서 큰 차이를 보이지 않았다(표 15).

<표 15> 고온기 방조망 천창처리에 따른 과실 특성('홍로') (n=21)

처 리	과 중 (g)	당 도 (brix)	산 도 (%)	경 도 (kg/Φ11.3mm)	Hunter Value a
방조망	260.8±31.34	14.0±1.28	0.10±0.04	8.2±0.7	41.4±7.54
무처리	245.7±40.88	13.8±0.75	0.13±0.03	8.5±6.1	40.9±3.55

(시험 6) 과수 이상기상 분석 및 피해양상 모니터링(2020~2022)

강원도의 이상기상 발생 현황을 조사하기 위하여 춘천 지역의 2020년~2022년 간의 월별 평균온도, 강수량, 일조시간을 조사하고 평년값(1990~2020)과 비교하였다. 2020년의 기상을 분석한 결과 1~2월 평균기온은 평년 대비 각각 4.5℃, 2.7℃ 높았던 것으로 조사되었으며, 4월의 기온은 평년 대비 1.1℃ 낮았고, 특히 -4.1℃ 이하의 이상저온이 발생하였다. 8월 강수량은 773.7mm로 평년 대비 456.2mm 많아 열과, 낙과 등의 피해가 발생할 것으로 판단되었다. 2021년 3~4월의 평균기온은 평년대비 2℃이상 높아 과수의 발아 및 개화 시기가 앞당겨졌고, 7~8월 최고기온이 37℃ 이상으로 일소과 등의 고온해가 발생하였다. 2022년 2월의 평균온도는 평년 대비 1.4℃ 낮았으며, 과수 개화기(4월) 온도는 1.8℃ 높은 경향을 보였다. 6월과 9월의 강수량은 평년 대비 각각 274.4mm, 74.0mm 많았고, 이 영향으로 6월 일조시간은 평년 대비 34시간 적은 경향을 보였다(표 16).

<표 16> 기상분석(2020~2022, 춘천)

구분	평균온도 (℃)				강수량 (mm)				일조시간 (hr)			
	'20	'21	'22	평년	'20	'21	'22	평년	'20	'21	'22	평년
1월	-0.1	-4.7	-4.0	-4.6	80.0	17.7	2.2	20.3	167.7	171.3	193.5	170.0
2월	1.4	1.2	-2.7	-1.3	54.2	6.6	6.9	23.8	174.7	195.6	215.8	174.3
3월	7.0	7.8	6.2	4.5	13.8	104.1	89.1	41.7	235.7	207.1	192.4	199.9

구분	평균온도 (°C)				강수량 (mm)				일조시간 (hr)			
	'20	'21	'22	평년	'20	'21	'22	평년	'20	'21	'22	평년
4월	10.5	13.1	13.4	11.6	14.4	121.7	26.5	62.3	267.1	224.3	262.3	210.1
5월	18.1	16.4	17.3	17.1	118.3	172.3	11.6	104.0	208.9	202.2	302.9	227.5
6월	24.2	21.2	21.6	21.7	75.8	56.1	397.5	123.1	241.9	207.7	171	205.0
7월	23.8	26.4	25.7	24.5	174.3	213.1	238.3	383.8	150.5	262.5	187.3	144.2
8월	26.1	24.1	24.3	24.6	773.7	133.8	435.0	317.5	101.1	158.6	141.1	166.3
9월	19.7	20.5	19.6	19.4	157.2	109.5	234.9	160.9	166.9	198.2	199.4	173.3
10월	11.9	13.2	11.9	12.5	0.1	68.6	121.6	44.3	210.9	153.7	180.9	178.9
11월	6.0	5.9	7.1	5.3	82.4	55.1	65.7	48.3	176.5	164.8	165.9	141.8
12월	-2.6	-1.6	-5.2	-2.0	5.2	5.4	9.9	24.2	182.6	157.4	173.5	148.4

춘천 등 4시군 12개소를 기준으로 3년간('20~'22) 1~2월 꽃눈 피해율을 조사한 결과, 4과종 7품종에서 꽃눈 피해 발생이 관찰되지 않았다(표 17). 이는 표 16에서 나타난 것처럼 3년간 1월과 2월의 기온이 평년 대비 큰 차이가 나지 않아 극저온 발생에 따라 나타나는 과수의 꽃눈 피해가 관찰되지 않은 것으로 판단된다.

<표 17> 과종별 꽃눈 피해율(2020~2022)

지역	사과						배						복숭아						포도		
	후지			홍로			신고			원황			장호원 황도			천중도 백도			캠벨얼리		
	'20	'21	'22	'20	'21	'22	'20	'21	'22	'20	'21	'22	'20	'21	'22	'20	'21	'22	'20	'21	'22
춘천	0 ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
원주	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
홍천	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
양구	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

봄철 개화기 이상저온 발생은 모니터링 기간(3년) 동안 지속적으로 발생하였고, 이에 따라 사과의 후지, 홍로 품종을 대상으로 연차별 꽃 냉해 조사를 실시하였다. 2020년 춘천 등 4시군 12개소에서 꽃 피해율을 조사한 결과, 춘천과 홍천에서 '후지'의 꽃 냉해율이 45.9% 이상으로 높게 나타났고, 꽃눈 발육이 늦었던 양구는 냉해가 발생하지 않았다. 품종별로는 모든 조사 지역에서 '후지'의 꽃 냉해율이 '홍로' 대비 높게 조사되었다(표 18).

<표 18> 2020년 봄철 사과 꽃 피해율

지 역	후지			홍로			농가수
	총 꽃수 (개)	피해꽃수 (개)	피해율 (%)	총 꽃수 (개)	피해꽃수 (개)	피해율 (%)	
춘 천	185	85	45.9	52	1	1.1	4
원 주	43	1	2.3	44	1	1.7	1
홍 천	50	32	64.0	49	1	2.0	1
양구(해안)	135	0	0.0	134	1	0.7	3
총 계	545	119	21.8	421	5	1.2	12

2021년에는 춘천 등 5시군 14개소에서 사과의 꽃 피해율을 조사하였는데, 지역적으로는 양구가 ‘후지’ 피해율 26.3%로 타 지역 대비 가장 심했고, 품종별로는 2020년과 마찬가지로 ‘후지’ 품종이 ‘홍로’ 품종 대비 피해가 큰 경향을 보였다(표 19). 2020년 대비 양구지역이 피해가 컸던 이유는 봄철 개화시기 저온이 상대적으로 늦게 발생해서 춘천 등 타 지역에서는 0℃ 이하의 저온발생이 관찰되지 않았지만, 양구는 0℃ 이하의 저온이 발생하면서 피해가 컸던 것으로 판단되었다.

<표 19> 2021년 봄철 사과 꽃 피해율

지 역	후지			홍로			농가수 (가구)
	조사 꽃수 (개)	피해 꽃수 (개)	피해율 (%)	조사 꽃수 (개)	피해 꽃수 (개)	피해율 (%)	
춘천	64	3	4.6	71	4	5.6	2
원주	333	65	19.5	320	0	0.0	4
홍천	165	22	13.3	181	15	8.2	2
영월	60	12	20.0	59	5	8.5	2
양구	258	68	26.3	66	3	4.5	4

2022년의 조사 결과 춘천, 원주, 홍천 지역에서는 품종별 피해 발생이 관찰되지 않았고, 양구는 꽃 저온피해가 발생하였지만 최대 3.1% 수준으로 경미하였다(표 20).

<표 20> 2022년 봄철 사과 꽃 피해율

지 역	후지			홍로			농가수 (가구)
	조사 꽃수 (개)	피해 꽃수 (개)	피해율 (%)	조사 꽃수 (개)	피해 꽃수 (개)	피해율 (%)	
춘천	98	0	0.0	120	0	0.0	2
원주	30	0	0.0	66	0	0.0	1
홍천	35	0	0.0	72	0	0.0	2
양구	271	5	1.8	161	5	3.1	5

〈제3세부과제: 국내 신품종 사과 대목별 생육특성 검정〉

(시험 1) 사과 꽃눈 냉해 피해온도 식물생장상 검정

- 가. ‘홍로’의 꽃눈 발육단계별 피해 발생 시작(LT10) 온도는 녹되기 -1.4°C , 홍되기 -1.1°C , 개화기 -1.3°C 였으며, 대부분의 꽃이 피해를 본 LT90 구간은 녹되기 -5.1°C , 홍되기 -3.8°C , 개화기 -3.7°C 이었음
- 나. ‘후지’의 꽃눈 발육단계별 피해 발생 시작(LT10) 온도는 녹되기 -1.5°C , 홍되기 -1.1°C , 개화기 -0.9°C 였으며, 대부분의 꽃이 피해를 본 LT90 구간은 녹되기 -4.3°C , 홍되기 -3.5°C , 개화기 -3.2°C 이었음
- 다. ‘후지’ 품종의 냉해 발생 온도는 ‘홍로’ 품종 대비 평균적으로 높아서 ‘후지’ 품종이 ‘홍로’ 품종 대비 냉해에 취약한 것으로 판단되었음

(시험 2) 도내 과수 냉해 경감시설 현황조사

- 가. 강원도 내 전체 사과농가 중 미세살수 시설을 보유한 농가는 총 69가구로 조사되었음
- 나. 미세살수 시설을 설치한 농가의 과원 면적은 2,000평 이상이 60%로 가장 많았으며, 1,000평 이하가 21%, 1,000평 ~ 2,000평이 19% 순이었음
- 다. 조사 농가의 물탱크 보유 현황은 55% 이상이 10톤 이하의 물탱크를 소유하고 있었으며, 20톤 이상은 19%로 가장 적었음
- 라. 사용 시 문제점은 ‘물 부족에 따른 사용제한’ 의견이 전체의 41%로 가장 많아 면적 및 저수용량을 고려한 시설 설치, 사용이 고려되었음
- 마. 강원도 내 방상팬 시설을 보유한 농가는 총 17가구로 조사되었으며, 사용 시 문제점으로는 냉해 방지 효과가 미비하다고 답한 의견이 36%로 가장 많았음

(시험 3) 과수 냉해 경감시설별 적정 설치조건 설정

- 가. 미세살수 스프링클러 노즐 사용 시 과원 내 온도 상승 효과는 평균 0.4°C , 최대 1.3°C 이었으며, 고압분무 노즐 사용 시 평균 0.3°C , 최대 0.7°C 온도가 상승하였음
- 나. 2020년 4월 5일 미세살수 처리에 따른 사과 꽃 냉해율 조사결과 ‘홍로’의 꽃 피해율은 2.1%로 무처리 대비 16.6% 적었고, ‘후지’의 꽃 피해율은 43.5%로 무처리 대비 11.4% 적었음
- 다. 미세살수 사용 시 노즐별 소요 물량을 조사한 결과 시간 당 물 소비량은 스프링클러 노즐에서 67.4L/h, 고압분무 노즐에서 6.6~8.8L/h로 나타났음
- 라. 노즐 별 설치간격, 사용압력 등을 고려한 과원 면적 별 시간당 최종 물 소요량은 스프링클러 노즐에서 10a(약 300평) 기준 3.7톤이었으며, 고압분무 노즐(30bar) 기준 1.5톤이었고, 면적이 커짐에 따라 물 사용량이 비례하여 증가하였음

마. 대면적 사용이 가능할 것으로 판단된 방상팬의 처리에 따른 과원 내 온도 상승효과는 최대 1.0℃였으며, 냉해 발생률도 미세살수 시설과 큰 차이를 보이지 않았음

(시험 4) 고온기 온도 저감을 위한 미세살수 적정 노즐설정

- 가. 극고온이 발생한 8월 19일(최고온도 34.9℃)과 8월 20일(최고온도 34.8℃)에 각각 스프링클러 노즐과 고압분무 노즐의 효과검정을 실시하였음
- 나. 스프링클러 처리에 따른 과원 내 온도 경감효과는 평균 2.8℃, 최고 3.8℃이었고, 살수에 의한 과원 내 공중습도는 무처리 대비 평균 7.7%, 최고 13.3% 상승하였음
- 다. 고압분무 노즐 처리에 따른 과원 내 온도 경감효과는 평균 2.7℃, 최고 3.5℃이었으며, 공중습도는 평균 10.6%, 최고 15.4% 상승하였음
- 라. 처리에 따른 과피 온도는 스프링클러 처리에서 무처리 대비 2.9℃, 고압분무 노즐 3.0℃ 감소하는 것으로 조사되었음
- 마. 처리에 따른 병 발생량을 조사하였으나 '20년 7~8월 장마 장기화로 고온기 미세살수 살포 횟수가 4회 이내로 적었으며, 따라서 병 발생의 객관적인 판단이 불가능하였음

(시험 5) 과수 천·측창 개폐형 방조망 처리효과 검정(2022)

- 가. 방조망 천창 처리는 작물 생육에 영향을 줄 수 있을 것으로 판단되는 6, 7, 8월에 실시하였으며, 하루 중 생육 고온기인 13시 ~ 16시까지 실시하였음
- 나. 처리에 따른 광량 감소 정도는 160.0~325.0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 조사되었으며, 이에 따른 광 투과율은 약 79.6~84.6% 수준이었음
- 다. 천창 처리에 따른 과원 내 대기온도는 조사를 실시한 모든 날짜에서 최소 0.2℃에서 최대 1.2℃까지 상승하였음
- 라. 방조망의 천창 처리 시 광량 감소, 온도 상승의 영향으로 광합성량은 무처리 대비 0.3 ~ 3.6 $\mu\text{mol}/\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 감소하였음
- 마. 잎, 과일의 표면온도는 무처리 대비 0.3 ~ 1.4℃ 감소하는 경향을 보여 일소과 발생을 경감시킬 수 있을 것으로 판단되었음
- 바. 방조망 처리에 따른 '홍로' 사과의 과실 특성을 조사한 결과 과중, 당도 및 착색도 (Hunter Value a) 등 모든 조사항목에서 큰 차이를 보이지 않았음

(시험 6) 과수 이상기상 분석 및 피해양상 모니터링(2020-2022)

- 가. 2020년 1~2월 평균기온은 평년 대비 각각 4.5℃, 2.7℃ 높았고, 4월의 기온은 평년 대비 1.1℃ 낮았으며, 특히 -4.1℃ 이하의 이상저온이 발생하였음
- 나. 2021년 3~4월의 평균기온은 평년 대비 2℃이상 높아 과수의 발아 및 개화시기가 앞당겨졌고, 7~8월 최고기온이 37℃ 이상으로 일소과 등의 고온해가 발생하였음

- 다. 2022년 2월의 평균온도는 평년 대비 1.4℃ 낮았으며, 과수 개화기(4월) 온도는 1.8℃ 높은 경향을 보였음
- 라. 모니터링 기간 동안 과종별 동해 발생은 관찰되지 않았으며, 봄철 냉해 발생은 지속적으로 관찰되었고, 사과를 기준으로 꽃 냉해율은 0.0 ~ 45.9%로 다양하였음

5

인용문헌

- Corollaro, M. L., Manfrini, L., Endrizzi, I., Aprea, E., Dematt, M. L., Charles, M., ... & Gasperi, F. (2015). The effect of two orchard light management practices on the sensory quality of apple: Fruit thinning by shading or photo-selective nets. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 90(1), 99–108.
- Gindaba, J., & Wand, S. J. (2005). Comparative effects of evaporative cooling, kaolin particle film, and shade net on sunburn and fruit quality in apples. *HortScience*, 40(3), 592–596.
- Laszlo Szalay, Zsuzsanna Gyorgy, Magdolna Toth. (2019). Frost hardiness of apple (*Malus X domestica*) flowers in different phenological phases.
- Michigan State University Extension, 2004. Critical Spring Temperatures for Fruit Bud Development Stages. http://msue.anr.msu.edu/news/critical_spring_temperatures_for_tree_fruit_bud_stages.
- Rieger, M. 1989. Freeze protection for horticultural crops. *Hort. Rev.* 11: 45–109.
- Vitasse, Y., Schneider, L., Rixen, C., Christen, D., Rebetez, M., 2018. Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agric. For. Meteorol.* 248, 60–69.
- Zatyko, I., 1986. Effect of frost damages in different times on the yield of apple (Kulonbozó időszakokban bekövetkezett fagyok termescsökkentő hatása az almanal) *GymicsInform* 86 (3), 108–112 (In Hungarian).
- Rodrigo, J., 2000. Spring frosts in deciduous fruit trees . morphological damage and flower hardiness. *Sci. Hort.* 85, 155.173.
- 권영아, 이효신, 권원태, & 부경은. (2008). 서리 피해 방지를 위한 서리 발생일의 기상 특성에 대한 연구. *대한지리학회지*, 43(6), 824–842.
- 기상청. 2022.관측자료. <http://www.kma.go.kr/weather/observation/currentweather.jsp>
- 조영상, 최현석, 김월수, 조정안, 안유정, 지형진, & 국용인. (2012). ‘신고’배나무 개화기간 중 온풍기 가동과 미세살수가 냉해피해 방지에 미치는 영향. *한국국제농업개발학회지*, 24(1), 60–64.

연도(연차)	활용방안	제 목
2020(1년)	학술발표	봄철 저온기 미세살수 처리가 사과 꽃눈 냉해방지에 미치는 효과
	홍 보	봄철 농작물 저온피해 대책추진 등
2021(2년)	학술발표	후지 품종의 냉해 한계온도 기내 검정
	홍 보	봄철 농작물 저온피해 대책추진 등
2022(3년)	영농정보	사과원 우박망 사용이 여름철 과원 환경과 사과품질에 미치는 영향

성과지표명		연도		1년차(2020)		2년차(2021)		3년차(2022)		계	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적
학술 발표	국제										
	국내	1	1		1	1		2	2		
영농 활용	기술										
	정보					1	1	1	1		
현장컨설팅		2	2	2	2	2	2	6	6		
홍 보 성 과			3		20						23
계		3	7	2	23	4	3	9	32		

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도		
					'20	'21	'22
과제책임자	원예연구과	농업연구사	이제창	과제 총괄	○	○	○
	원예연구과	농업연구사	김주현	과제 총괄 보조			○
공동연구자	원예연구과	농업연구관	박영식	시험수행 및 평가	○		
	원예연구과	농업연구사	정햇님	시험수행 및 평가	○	○	○
	원예연구과	공 무 직	신지영	품질조사 지원		○	○
	원예연구과	공 무 직	김수진	품질조사 지원	○	○	