

전략 체계	안정 - 6 - 2		수행시기	전반기 (완결)	
기술분야코드	V2	기술유형코드	S02	작목구분코드	FT-01-0601
과제종류	공동연구		과제번호	RS-2022-RD010007	
과제명	북방지역 사과 재배적지선정과 생산성향상을 위한 재배기술개발 및 품종선발				
과제책임자	성명		직급	소속기관 및 부서	
	이제창		농업연구사	강원특별자치도농업기술원 원예연구과	
연구기간	2022 ~ 2023		참여연구기관	농촌진흥청, 강릉원주대학교	
세부과제명			부서	세부책임자	연구기간
1) 북방지역 사과 재배적지선정과 생산성향상을 위한 재배기술개발 및 품종선발			원예연구과	이제창	'22~'23
키워드	북방지역, 사과, 재식거리, 착과량				

ABSTRACT

This study aimed to explore basic cultivation techniques for improving productivity in high-latitude environments due to the continuous northward shift of suitable apple cultivation areas on the Korean Peninsula under the influence of climate change. Over two years, from 2022 to 2023, experiments on optimal fruit set, planting distances, and pollinator selection were conducted in Gangwon-do, a high-latitude region in South Korea. The optimal fruit set experiment focused on 'Miyabi Fuji', commonly cultivated in high-latitude areas of South Korea, showing that treatment with 3 fruits/TCA cm² resulted in superior fruit quality and yield. However, treatment with 5 fruits/TCA cm², while yielding a high production, was deemed unsuitable due to a decrease in flower differentiation rate and fruit quality. The planting distance experiment targeted 'ShinanoGold', capable of ultra-high-density planting, observing growth characteristics changes using the cold-resistant M26 rootstock in high-latitude areas. As planting distances decreased, tree vigor also tended to decrease, but this trend did not continue for distances under 1.0m. Furthermore, wider planting distances increased per-tree yield but decreased per-area yield, making a planting distance of 1.0m most suitable due to stable vigor and excellent yield. The pollinator selection experiment was conducted with the 'Jonathan' variety, still predominantly cultivated in high-latitude areas of the Korean Peninsula. The 'Maypole', a flowering apple variety commonly used in South Korea, was deemed unsuitable as a pollinator for 'Jonathan' due to its too early flowering period. The flower differentiation rate was favorable across all evaluated pollinator varieties, ultimately determining 'RubyS' as suitable for 'Jonathan' due to matching blooming periods and excellent fruit set and seed formation.

1

연구목표

지구온난화의 영향으로 사과의 재배적지가 한반도 내 고위도 지역으로 점차 이동하고 있다. 이러한 추세는 가까운 미래에 사과가 한반도의 일부 지역에서만 재배가 가능할 것으로 예측되고 있다(Ahn et al., 2014). 실제로 남한의 고위도 지역에 속하는 강원특별자치도의 2023년 사과 재배면적은 과거 20여년전 대비 9배 이상 상승한 1,679ha로 조사되었다(Kosis, 2023)..

이렇게 변화하는 기후 속에서 지속 가능한 사과 재배를 유지하기 위해, 국내 고위도 지역 환경에서도 사과의 적응성 연구가 필요로 된다. 한반도 내 상대적인 고위도 지역은 남한의 강원, 경기 북부와 북한 지역으로 볼 수 있으며 그 중 북한 지역의 사과 재배에 있어 가장 큰 문제점 중의 하나는 재배기술의 부족에 따른 낮은 단위면적 당 생산량에 있는 것으로 보고되고 있다(Lee et al, 2020). 북한에서도 남한과 마찬가지로 밀식재배 방식으로 사과를 재배하고 있지만, 10a 당 생산량은 2019년을 기준으로 1,000kg 수준으로 남한지역의 70% 수준에 불과한 실정이다(Kim et al, 2011). 이러한 문제의 주요 원인은 고위도 지역의 환경에 적합한 재배기술의 부재 및 관련 연구의 부족에 기인한다.

따라서 한반도 고위도 지역에서의 단위면적당 생산성을 향상시키기 위해서는 이 지역에서 주로 재배되는 품종들을 대상으로 한 착과량 검정, 적정 수분수 선발 등의 안정생산 재배기술의 적립과 밀식재배의 재식간격에 대한 검정 등 전반적인 기초 재배연구가 필요로 된다. 본 연구에서는 이러한 요구를 충족시키기 위하여, 한반도 고위도 지역에서 주로 재배되고 있는 품종들을 대상으로 고품질의 사과가 안정적으로 재배할 수 있는 기초 재배기술을 구명하는 것을 목표로 하였다.

2

재료 및 방법

<제1세부과제 : 북방지역 사과 재배적지선정과 생산성향상을 위한 재배기술개발 및 품종선발>

(시험 1) 고위도지역 사과 안정생산을 위한 적정 착과량 설정(2022~2023)

본 연구는 국내 사과 주산지(경북 등)와 기후환경이 다른 한반도 내 고위도 지역의 안정생산 및 생산성향상을 위한 적정 착과량 설정을 목표로 수행하였다. 국내 고위도 지역에 속하는 강원특별자치도 춘천시 신북읍(위도 37.9546°)에 위치한 과수시험연구포장 내 정식된 4년차 착색계 미야비 후지를 대상으로 하였다. 착과량은 시험수의 주간단면적(Trunk Cross-sectional Area)을 기준으로 1과, 3과, 5과/TCA cm^2 수준으로 각각 5주씩 처리하고(그림1), 처리에 따른 수체생육, 과실특성, 생산량, 내한성 수준 등을 2년간 검정하였다. 수체생육은 1차 신초생장 정지기인 6월 상순에 신초장, 신초경, 측지당 신초수를 조사하였으며, 신초장과 신초경은 처리당 30개, 측지당 신초수는 시험수 당 1.5m 내외에 위치한 측지 3개를 기준으로 조사하였다. 또한 5월경 처리별로 신초에서 잎을 채취하고 강원특별자치도농업기술원 농업환경연구과에 신초 내 무기성분 함량 분석을 의뢰하였다. 과실특성은 수확기에 도달한 수체의 중단부(1.0~1.5m) 내 과일 총 30개를 수확하고 과중, 당도, 산도, 경도, 과피 착색도를 조사하였다. 과중은 전자저울을 사용하여 g 단위로 측정하였으며, 당도와 산도는 당산도측정기(SAM-706AC, Korea)를 사용하여 측정하

였다. 경도는 직경 11.3mm plunger가 장착된 경도계(CR-100, Japan)를 이용하여 과실 적도 부의 과피를 제거 후 Newton 단위로 측정하였다. 과피 착색도는 수확된 과실의 적도면을 기준으로 L값(명도)과 a값(Red와 Green의 정도), b값(Yellow와 Blue의 정도)을 조사하였다. 생산량은 각 처리별 시험수에서 과일을 전량 수확한 후 시험수 당 평균 생산량을 계산하고 최종적으로 처리별 평균 수확량을 산정하였다. 또한 수확된 과실의 과중을 기준으로 상품과일을 산정하였으며, 5kg 1박스를 기준으로 22과 이내에 속하는 과중 230g 이상의 과일을 상품과로 분류하고 총 수확과일에 대한 상품과일의 비율로 나타내었다. 내한성 검정은 착과량 처리 후 동절기 휴면에 들어간 시험수를 대상으로 2월과 3월경 처리별 1년생 가지를 채취한 후 저온처리를 실시하였다. 저온처리는 저온배양기(TH-G-300, Korea)를 활용하였으며, 상온에서 시간당 2℃씩 하강한 후 -25℃에서 6시간 노출 후 다시 시간당 2℃씩 상온까지 상승시킨 후 상온에서 24시간 보관 후(L. Szalay et al., 2019) 전해질누출량 측정 및 발아율 검정을 위한 수습을 실시하였다. 전해질누출량은 1차 전기전도도 값(저온처리)에 대한 2차 전기전도도 값(1차 측정이후 오토클레이브 처리)의 비율로 나타내었다.(Lee et al, 2013)



그림 1. '후지' 주간단면적에 따른 착과량 처리

(시험 2) 고위도지역 사과 생산성향상을 위한 적정 재식거리 설정(2022~2023)

본 연구는 현재 국내 고위도 지역에서 재배면적이 급속하게 증가하고 있으며 초밀식재배가 가능한 '시나노골드' 품종을 대상으로 상대적으로 내한성이 강하다고 알려져 있는 M26 대목을 사용하여 시 고위도 지역에서의 적정 재식거리를 설정하기 위하여 수행하였다. 시험장소는 강원특별자치도 춘천시 신북읍에 위치한 과수 시험연구포장에서 수행되었으며, 재식거리가 2.0m, 1.5m, 1.0m, 0.5m로 정식된 4년차 '시나노골드' 품종을 대상으로 처리별 수체생육, 과실특성, 생산량, 내한성 검정 등을 2년간 실시하였다. 수체생육은 앞선 시험1과 마찬가지로 1차 신초생장 정지기인 6월 상순에 수고, 수폭, 주간경, 신초장, 신초경, 신초수를 조사하였다. 주간경은 접목부위 10cm 위를 기준으로 디지털 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하였으며, 신초장과 신초경은 처리당 30개씩 실시하였다. 신초수는 시험수에서 발생한 신초의 개수를 전수조사한 후 평균하였다. 과실특성, 생산량, 내한성 검정은 (시험 1)과 동일하게 수행하였다.



재식거리 0.5m



재식거리 1.0m



재식거리 1.5m



재식거리 2.0m

그림 2. '시나노골드' 재식거리 처리

(시험 3) 고위도지역 사과 안정착과를 위한 수분수 선발(2022~2023)

본 연구는 한반도 고위도 지역에서 주로 재배되고 있다고 보고되고 있는 '홍옥' 품종을 대상으로 안정착과를 위한 적정 수분수를 선발하기 위해 수행되었다. 수분수 공시 품종으로는 고위도 지역에서 주로 사용되는 꽃사과 '메이폴' 품종과 국내육성 꽃사과 '골든벨', '로즈벨' 품종, 그리고 주로 재배되는 생식용 사과인 '후지', '루비에스' 품종을 사용하였다. 시험장소는 강원특별자치도 춘천시 신북읍에 위치한 과수 시험연구포장과 평창군 봉평면에 위치한 사과 농가포장에서 수행되었다. 2년간 품종별 개화기간을 조사하였으며, 공시된 수분수의 꽃가루를 채취한 후 개약하여 품종별 화분발아율을 조사하고 '홍옥' 품종에 인공교배하여 착과량 및 종자 형성 개수를 조사하였다. 수분수 처리별 '홍옥'의 과실특성은 (시험 1)과 같이 조사하였으며, 종자 형성 개수는 처리별 수확이 완료된 과일 내 종자 수를 전수조사하고 처리별로 평균하였다.

3 결과 및 고찰

<제1세부과제 : 북방지역 사과 재배적지선정과 생산성향상을 위한 재배기술개발 및 품종선발>

(시험 1) 고위도지역 사과 안정생산을 위한 적정 착과량 설정

고위도 지역의 환경에서 사과의 안정생산 및 생산성향상을 위한 적정 착과량을 구명하고자 주간단면적(TCA)을 기준으로 착과량을 3처리로 나누어 처리하였다. 1년차 착과량 처리에 따른 수체의 생육(표 1)은 처리별로 신초장 및 신초경은 TCA 기준 1과 처리에서 가장 크고 착과량이 많아질수록 작아지는 경향을 보였다. 또한 측지당 신초수는 5과 처리에서 15.6개로 가장 많았고 1과와 3과 처리는 유의한 차이를 보이지 않았다. 착과량 처리 1년차 조사결과 수세는 신초장 및 신초경이 가장 컸던 1과에서 가장 강한 것으로 판단되었으며, 평균 신초장이 40.8cm로 결과지의 형태가 중·장과지로의 발생이 많고 신초경 또한 굵어지기 때문에 정단부위 화아분화 유도에 부적합할 수 있을 것으로 판단되었다.

표 1. 착과량 처리에 따른 수체생육 조사(후지/M9, 2022)

(n=5)

처 리 (과/TCACm ²)	신초장 (cm)	신초경 (mm)	측지당 신초수 (개)
1	40.8a ^z	4.5a	11.9b
3	32.9b	4.3ab	11.0b
5	28.7c	3.9b	15.6a

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

착과량 처리가 수확기 과실품질에 미치는 영향을 조사하기 위하여 처리별 과실품질(표 2)을 조사하였다. 처리별 당도는 1과에서 14.3Brix로 가장 높았고 5과에서 12.9Brix로 가장 낮아 착과량이 많을수록 과실의 당도는 떨어지는 것으로 나타났으며, 산도도 이와 같은 경향을 보였다. 과실의 경도 및 과피색(Hunter Value)에서는 처리별 유의한 차이가 없는 것으로 조사되었으며 '후지' 품종의 관행적인 평균 당도가 14°brix 수준인 것을 감안할 때, 5과 처리는 1°brix 이상 당도가 낮아 부적합할 것으로 조사되었다.

표 2. 착과량 처리에 따른 과실특성 조사(후지/M9, 2022)

(n=18)

처 리 (과/TCAcm ²)	당 도 (°brix)	산 도 (%)	경 도 (kg/Φ11.3mm)	Hunter Value		
				L	a	b
1	14.3a ^z	0.21a	6.8a	51.3a	22.8a	26.2a
3	13.7ab	0.19a	6.2a	51.7a	24.2a	25.9a
5	13.0b	0.13b	6.6a	52.5a	18.8a	26.9a

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.



1과/TCA

3과/TCA

5과/TCA

그림 3. '미야비후지' 착과량 처리별 과실

착과량 수준에 따른 미야비후지의 평균 과중은 유의한 차이가 발생하였으며(표 3), 1과 처리에서 325.2g으로 가장 크고 5과 처리에서 263.0g으로 가장 작아 착과량이 많아질수록 과중은 작아지는 경향을 보였다. 평균 과중이 가장 작았던 5과 처리에서는 300g 미만의 과중 분포가 전체의 72%로 많아 중소과 발생이 많았던 것으로 조사되었으며, 착과량이 적어질수록 대과 발생이 많아지는 것으로 나타났다. 과일의 크기를 기준으로 상품과율을 산정한 결과 1과 처리에서 87.6%, 3과 처리에서 78.7%, 5과 처리에서 60.5%로 나타났다.

표 3. 과중분포(2022)

처 리 (과/TCAcm ²)	평균 과중 ^z (g)	과중 분포(%)				상품과율 ^y (%)
		> 200g	200~300g	300~400g	400g <	
1	325.2a ^z	11	18	33	37	87.6
3	306.8b	14	32	42	12	78.7
5	263.0c	20	52	24	4	60.5

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

^y 상품과율 기준: 5kg 기준 22과 이내(과중 230g 이상)

1년차 수확량(표 4)은 주당 생산량은 착과량이 가장 많았던 5과 처리에서 33.4kg으로 가장 많았으며, 1과 처리에서 12.7kg으로 가장 적었다. 주당 생산량을 기준으로 10a 기준 수확량을 산정한 결과 총 생산량과 상품과 생산량에서 5과 처리가 각각 4,176kg, 2,506kg으로 컸으나, 상품과 생산량에서는 3과 처리와 5과 처리의 수확량 차이가 크지 않았다.

표 4. 수확량 산정(10a, 2022)

처 리 (과/TCAc ^{m2})	주당 생산량 (kg)	재식주수 (주)	생산량(kg/10a)	
			총 생산량	상품과 생산량
1	12.7c ^z	125	1,589	1,382
3	22.2b	125	2,780	2,188
5	33.4a	125	4,176	2,506

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

착과량 처리가 동절기 사과 내한성에 미치는 영향을 조사하기 위해 2023년 2월과 3월 각각 가지시료를 채취하여 저온처리를 통해 전해질누출량과 수삼발아율을 조사하였다(표 5). 2월 채취 시료의 전해질 누출량은 처리별 유의한 차이가 없었으나, 3월 시료에서는 5과에서 16.9%로 가장 큰 것으로 조사되었다. 수삼 발아율은 2월과 3월 모두 착과량 처리 간 유의한 차이가 발생하지 않았으나 월별 기준으로는 2월의 수삼발아율이 3월 대비 높은 경향을 보였다. 4년생 미야비 후지를 대상으로 1년차 착과량 처리가 그 해 동절기(본 연구에서는 2023년 1~3월)의 내한성 변화에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단되었다. 다만, 연차 간 조사를 통하여 착과량 처리를 연차간 반복하였을 때 나타나는 반응(수세, 내한성 등)에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료되었다.

표 5. 저온처리에 따른 착과량 별 전해질 누출량 및 발아율('23)

(%, n=21)

처 리 (과/TCAc ^{m2})	전해질누출량		수삼발아율	
	2월	3월	2월	3월
1	13.4a ^z	15.0b	62.1a	36.4a
3	14.2a	15.3b	57.2a	38.0a
5	13.4a	16.9a	57.2a	39.6a

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

2023년, 동일한 시험수에 전년도와 동일한 기준의 착과처리를 진행하였다. 2년차 착과량 처리에 따른 수세변화를 검토하기 위하여 처리별 신초장, 신초경, 측지당 신초수, 화아분화율을 조사한 결과(표 6), 처리별 수체생육은 신초장 31.2 ~ 32.9cm, 신초경 4.8~5.1mm, 측지당 신초수 9.7~12.4개 수준으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 다만, 착과량 5과/TCACm² 처리에서는 일부 시험수에서 해거리가 발생되었으며, 화아분화율 조사 결과 1과 77.1%, 3과 66.8%, 5과 30.5%로 5과 처리에서 화아분화율이 매우 저조한 경향을 보였고 1과, 3과 처리에서는 양호하였다.

마. 착과량 수준에 따른 수체생육 검정

표 6. '후지' 착과량 처리에 따른 수체생육 조사(2023)

처 리 (과/TCACm ²)	신초장 (cm)	신초경 (mm)	측지당 신초수 (개)	화아분화율 (%)
1	31.2a ^z	4.8a	11.3a	77.1a
3	32.9a	5.1a	9.7a	66.8a
5	31.3a	5.1a	12.4a	30.5b

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

처리별 화아분화율의 차이가 발생함에 따라(표 6) 신초발생이 시작되는 5월, 착과량 처리별 신초의 잎 무기성분 함량을 분석하였다(표 7). 분석결과, T-N 등 주요 무기성분의 함량은 1과 처리에서 칼슘을 제외한 모든 무기성분에서 가장 높은 경향을 보였으며, 5과 처리에서는 분석을 진행한 T-N 등 5개의 무기성분에서 함량이 가장 낮은 경향을 보였다. 따라서 전년도 5과/TCA 수준의 첫 과다 착과 시 이듬해 내한성에서는 큰 영향을 받지 않지만 수체 내 양분함량 및 화아분화율에는 영향을 줄 수 있는 것으로 판단되었다.

표 7. 잎 무기성분 함량분석(2023.5)

처 리 (과/TCACm ²)	무기성분(%)				
	T-N	P ₂ O ₂	K ₂ O	CaO	MgO
1	2.16a ^z	0.63a	1.64a	1.12b	0.42a
3	1.86b	0.45b	1.36b	1.17a	0.42a
5	1.59c	0.44b	1.32b	1.02c	0.39b

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

착과량 2년차 처리가 처리별 과실특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 당도, 산도, 경도 및 과피색(hunter value)을 조사하였다(표 8). 처리별 당도는 15.6 ~ 16.3°Bx로 처리별 유의한 차이가 발생하지 않았으며, 산도와 경도에서도 마찬가지로 처리별 유의한 차이가 발생하지 않았다.

표 8. 착과량 처리에 따른 과실특성 조사(2023)

처 리 (과/TCAc ²)	당 도 (°bx)	산 도 (%)	경 도 (N)	Huner Value		
				L	a	b
1	15.6a ^z	0.27a	74.1a	48.5a	24.9b	22.1a
3	16.3a	0.30a	69.5a	46.6a	28.5a	22.2a
5	16.1a	0.30a	72.6a	46.3a	26.6ab	21.7a

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.



1과/TCA

3과/TCA

5과/TCA

그림 4. '후지' 착과량 처리별 과실품질

평균 과중(표 9)은 전년도와 마찬가지로 처리별 유의한 차이가 발생되었으며, 1과와 3과에서 286.4g과 276.5g으로 가장 컸고 5과에서 251.3g으로 가장 작았다. 과중 분포는 평균 과중이 가장 컸던 1과 처리에서 300g 이상의 분포율이 42.6%로 가장 많았고 3과 처리 또한 37.1%로 큰 차이가 나지 않았으나, 과다착과 처리한 5과에서는 14.1%로 급격히 떨어지는 경향을 보였다. 과일의 무게를 기준으로 산정한 상품과율 수치에서는 평균과중이 가장 적었던 5과에서 56.4%로 가장 적었으며, 타 처리 대비 14.9% 이상 저조한 경향을 보였다.

표 9. 과중분포(2023)

처 리 (과/TCAc ²)	평균 과중 (g)	과중 분포(%)				상품과율 ^y (%)
		> 200g	200~ 300g	300~ 400g	400g <	
1	286.4a ^z	11.1	46.3	35.2	7.4	71.3
3	276.5a	7.6	55.3	33.2	3.9	73.7
5	251.3b	19.2	66.7	12.8	1.3	56.4

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

^y 상품과울 기준: 5kg 기준 22과 이내(과중 230g 이상)

2년차의 착과량 처리별 수확량(표 10)을 산정한 결과, 주당 생산량은 착과량이 가장 많았던 5과에서 27.8kg으로 가장 높았으며 3과 19.4kg, 1과 12.8kg 순이었다. 처리별 상품과울을 고려한 최종 생산량은 1과 1,141kg, 3과 1,787kg, 5과 1,960kg 이었다.

표 10. 수확량 산정(2023)

처 리 (과/TCAcm2)	주당 생산량 (kg)	재식주수 (주)	단위면적당 생산량(kg/10a)	
			총 생산량 (kg)	상품과 생산량 (kg)
1	12.8c ^z	125	1,600	1,141
3	19.4b	125	2,425	1,787
5	27.8a	125	3,475	1,960

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

종합적인 분석 결과, 후지의 착과량에 따른 수세의 변화에는 연차별 특별한 경향을 찾을 수 없었으나, 착과량 처리 2년차인 2023년에는 착과량이 가장 많았던 5과 처리에서 해거리가 발생되고 화아분화율이 매우 저조하게 조사되었다. 이에 따른 잎의 무기성분 함량 또한 타 처리 대비 유의하게 낮아 착과량 5과 처리는 적합하지 않을 것으로 판단되었다. 과실특성 또한 착과량이 가장 많았던 5과 처리에서 평균과중이 2년 모두 타 처리 대비 유의하게 낮은 경향을 보였으며, 2022년에는 타 처리 대비 당도도 유의하게 낮아지는 경향을 보였다. 고위도 지역에서 문제가 될 수 있는 착과량 수준에 따른 내한성을 비교한 결과, 착과량 처리 1년차인 2023년 2, 3월의 내한성은 휴면기인 2월에는 유의한 차이가 발생하지 않았고 휴면타파기인 3월에서 일부 유의한 차이가 나타났지만 크지 않았으며, 연차간 착과량 반복 처리 및 내한성 변화를 볼 필요가 있을 것으로 판단되었다. 착과량을 TCA 기준 1과 처리 시, 화아분화율 및 과실특성(평균과중, 당도 등)이 우수하였으나 2년간의 수확량 조사 결과 10a 기준으로 1,141kg ~ 1,382kg 이었으며, 이는 한반도 고위도 지역 평균 수확량인 1,524kg(2022, 통계청) 대비 저조하여 적합하지 않을 것으로 판단되었다. 따라서 고위도 지역에서 후지는 수세(화아분화율 등) 및 과실특성과 수확량이 양호하고 고위도 지역에서 내한성 위험이 상대적으로 적은 3과/TCA 처리가 적합할 것으로 판단되었다.

(시험 2) 고위도지역 사과 생산성향상을 위한 적정 재식거리 설정(2022~2023)

본 시험은 고위도 지역에서도 주로 재배되고 있으며 품종 특성상 초밀식 재배가 가능한 ‘시나노골드’를 대상으로 내한성이 상대적으로 강한 대목으로 알려진 M26대목을 사용하였을 때의 적정 재식거리를 구명하고자 하였다. 재식거리가 각각 0.5, 1.0, 1.5, 2.0m로 정식된 4년생 시나노골드/m26를 대상으로 생육조사를 실시하였다.

재식거리 차이에 따른 수체 세력변화 여부를 판단하기 위해 수고, 수폭, 주간경 등 6가지 항목에 대한 생육조사를 실시하였다(표 11). 수고와 신초장, 신초경은 재식거리 처리에 따른 유의한 차이가 발생되지 않았으며, 수폭은 2m에서 185.6cm로 가장 크고 재식거리가 좁아질수록 함께 작아지는 경향을 보였다. 수폭에 따른 수관의 크기 차이로 전체 신초수도 재식거리 2m 처리에서 81.5개로 가장 많았고 50cm 처리에서 36.8개로 가장 적은 경향을 보였다. 수체 주간부의 굵기를 판단하는 주간경은 재식거리가 좁아질수록 작아지는 경향을 보였으며, 재식거리 1m 이하에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

표 11. ‘시나노골드’ 재식거리 처리에 따른 수체생육 조사(M26, 2022)

(n=5)

처 리 (m)	수 고 (cm)	수 폭 (cm)	주간경 (mm)	신초장 (cm)	신초경 (mm)	신초수 (개)
0.5	320.0a ^z	121.7d	35.7b	24.0a	3.9a	36.8c
1.0	317.8a	158.2c	35.4b	24.5a	4.0a	41.2c
1.5	317.5a	176.0b	39.8ab	25.6a	3.9a	65.5b
2.0	340.4a	185.6a	42.1a	26.0a	3.9a	81.5a

^z Mean separation within each columns by Duncan’s multiple range test, 5% level.

재식거리별 과실특성을 조사한 결과(표 12), 재식거리 1.5, 2.0m 처리에서 당도가 각각 13.9, 14.1°Brix로 재식거리 0.5m, 1.0m 처리구 대비 평균 1°Brix 차이가 나는 것으로 나타났으며, 재식거리가 좁아질수록 당도가 낮아지는 것으로 조사되었다. 산도, 경도에서는 유의한 차이가 나타나지 않았으며, 착색도에서는 Hunter Value b 값이 재식거리 50cm 처리에서 상대적으로 낮아지는 것으로 조사되었다.

표 12. 착과량 처리에 따른 과실특성 조사(시나노골드/M26, 2022)

(n=24)

처 리 (m)	당 도 (°brix)	산 도 (%)	경 도 (kg/Φ11.3mm)	Hunter Value		
				L	a	b
0.5	13.0b ^z	0.15a	6.9a	74.7a	-9.6a	43.2b
1.0	13.0b	0.15a	7.0a	74.0a	-8.3a	45.3a
1.5	13.9a	0.17a	6.9a	74.4a	-8.2a	45.5a
2.0	14.1a	0.16a	6.8a	74.3a	-8.6a	45.9a

^z Mean separation within each columns by Duncan’s multiple range test, 5% level.

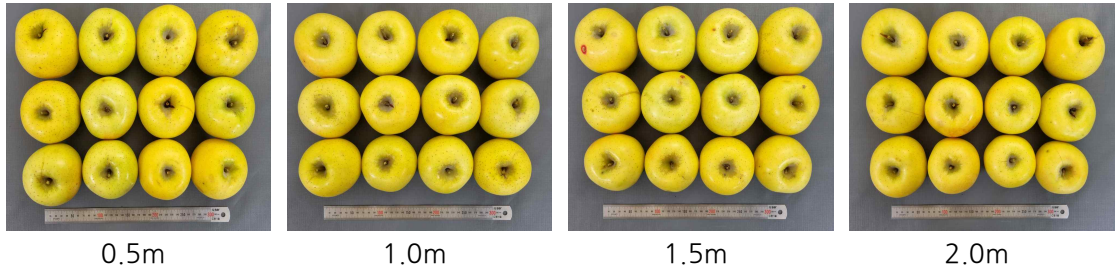


그림 5. '시나노골드' 재식거리별 과실(2022)

본 시험은 재식거리 별 수체 및 과실특성의 차이를 보고자 하였기에 시험수의 주간단면적을 기준으로 착과량을 cm^2 당 3~4과 수준으로 통일하였으며, 이에 따른 재식거리 별 평균 과중(표 13)은 유의한 차이가 나타나지 않는 것으로 조사되었다. 평균 과중에서 유의한 차이를 나타내지 않았기 때문에 과중분포 및 과중을 기준으로 한 상품과율에서도 처리별 큰 차이가 나타나지 않았다.

표 13. 처리별 과중분포(2022)

처 리 (m)	평균 과중 ^z (g)	과중 분포(%)				상품과율 ^y (%)
		> 200g	200~ 300g	300~ 400g	400g <	
0.5	294.1a ^z	6.2	32.3	44.6	16.9	80.3
1.0	287.0a	10.8	47.2	35.9	6.2	77.4
1.5	302.2a	9.5	39.0	37.1	14.3	81.0
2.0	299.3a	8.8	42.9	39.1	9.2	80.8

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

^y 상품과율 기준: 5kg 기준 22과 이내(과중 230g 이상)

재식거리 별 수확량(표 14)을 조사한 결과, 주당 생산량은 수관 및 주간경이 가장 커 착과량이 가장 많았던 재식거리 2.0m 처리에서 19.5kg으로 가장 많았으며, 이어서 1.5m(15.9kg), 1.0m(14.0kg), 0.5m(10.5kg) 순이었다. 10a당 상품과 생산량은 재식밀도가 가장 큰 0.5m처리에서 4,370kg으로 가장 많았으며, 2.0m에서 1,969kg으로 가장 적은 경향을 보였다.

표 14. 수확량 산정(10a, 2022)

처 리 (m)	주당 생산량 (kg)	재식주수 (주)	생산량(kg/10a)	
			총 생산량	상품과 생산량
0.5	10.5c ^z	500	5,265	4,370
1.0	14.0bc	250	3,498	2,707
1.5	15.9b	166	2,634	2,134
2.0	19.5a	125	2,437	1,969

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

재식거리에 따른 수체생육의 차이가 고위도 지역 동절기 내한성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 저온처리에 따른 전해질 누출량 및 수삼 발아율을 조사하였다(표 15). 재식거리에 따른 전해질누출량 및 수삼발아율은 일부 처리에서 차이가 발생되었지만 2월과 3월의 데이터를 비교하여 보았을 때 특정한 경향을 나타내지 않았다. 따라서 시나노골드 품종은 정식 4년까지 재식거리에 따른 내한성에 영향이 적은 것으로 조사되었고, 다만 이후 성목기에 대한 추가적인 검토는 필요할 것으로 판단되었다.

표 15. 저온처리에 따른 재식거리 별 전해질 누출량 및 발아율(2023)

(%, n=21)

처 리 (m)	전해질누출량		수삼발아율	
	2월	3월	2월	3월
0.5	16.6a ^z	16.8b	96.3ab	85.2a
1.0	16.8a	18.7a	100.0a	85.2a
1.5	15.6ab	20.0a	100.0a	81.5a
2.0	14.6b	19.5a	88.9b	81.5a

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

고위도 지역에서 재식거리 처리에 따른 연차별 생육데이터를 확보하기 위해 전년도와 동일항목에 대한 반복조사를 실시하였다. 2년차(5년생) 수체 생육조사 결과(표 16), 대부분의 조사항목에서 재식거리가 좁아짐에 따라 수체의 생육도 함께 줄어드는 경향을 보였으나, 재식거리 0.5m에서는 재식거리 1.0m 대비 수체생육의 감소 정도가 적거나 차이가 없는 것으로 조사되었으며, 이는 전년도 조사내용과 같은 경향을 보였다. 따라서 재식거리에 따른 수체의 생육만을 보고 판단했을 때, '시나노골드' M26대목에서 재식거리를 0.5m 수준까지 밀식할 시, 수세에 따른 재배관리의 어려움, 밀식장해 등의 우려가 있을 것으로 판단되었다.

표 16. '시나노골드' 재식거리 처리에 따른 수체생육 조사(M26, 2023)

처 리 (m)	수 고 (cm)	수 폭 (cm)	주간경 (mm)	신초장 (cm)	신초경 (mm)	신초수 (개)
0.5	336a ^z	134c	40.6b	25.7a	4.7a	45.3c
1.0	323a	180b	38.6b	20.1ab	5.0a	58.0bc
1.5	279b	183b	42.1b	14.2c	4.1b	80.8ab
2.0	316ab	225a	48.6a	17.3b	4.7a	87.5a

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

2년차 과실특성 조사 결과(표 17), 재식거리 처리 별 당도는 15.1~16.3°Bx 이었으며, 0.5m 처리에서 당도가 15.1°Bx로 타 처리대비 유의하게 적었고 이는 전년도 경향치와 일치하였다. 산도는 2.0m 처리에서 0.22%로 가장 높았으며, 경도는 처리별 유의한 차이가 나타나지 않았다.

표 17. 재식거리 처리에 따른 과실특성 조사(시나노골드/M26, 2023)

처 리 (m)	당 도 (°brix)	산 도 (%)	경 도 (N/Φ11.3mm)	Hunter Value		
				L	a	b
0.5	15.1b ^z	0.16b	79.6a	73.7b	-6.9ab	48.4a
1.0	16.0a	0.19b	79.0a	73.7b	-8.2b	47.1ab
1.5	15.8a	0.18b	79.2a	75.2a	-5.3a	49.0a
2.0	16.3a	0.22a	82.0a	74.7ab	-7.9b	45.6b

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

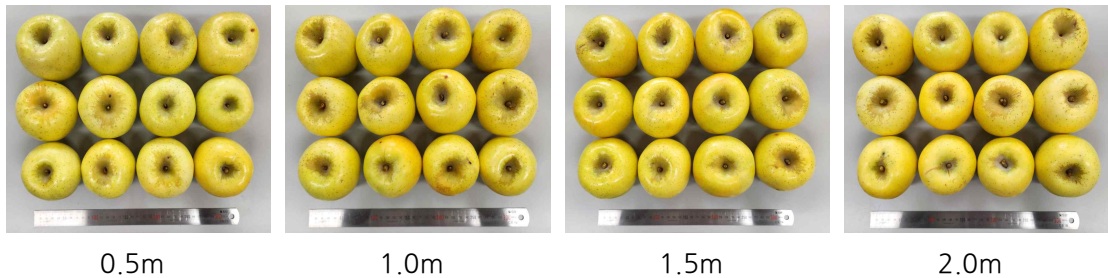


그림 6. '시나노골드' 재식거리별 과실(2023)

2년차 과중 분포를 조사한 결과(표 18), 평균 과중은 재식거리에 따른 유의한 차이가 나타나지 않았으며, 이는 전년도 경향과 일치하였다. 재식거리에 따른 상품과율은 74.1 ~ 79.2% 사이로 조사되어 전년도와 마찬가지로 큰 차이가 나타나지 않았다.

표 18. 처리별 과중분포(2023)

처 리 (m)	평균 과중 (g)	과중 분포(%)				상품과율 ^y (%)
		> 200g	200~ 300g	300~ 400g	400g <	
0.5	263.8a ^z	14.8	59.3	25.9	0.0	74.1
1.0	265.5a	7.9	68.4	23.7	0.0	75.0
1.5	281.3a	8.7	52.4	38.1	0.8	79.2
2.0	269.8a	10.4	66.9	22.1	0.6	77.2

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

^y 상품과율 기준: 5kg 기준 22과 이내(과중 230g 이상)

2년차 주당 생산량(표 19)은 재식거리 2.0m에서 13.8kg으로 가장 많았으며 1.5m(12.1kg), 1.0m(10.4kg), 0.5m(7.1kg) 순으로 나타났다. 10a당 상품과 생산량은 재식거리 0.5m에서 2,631kg으로 가장 많았으며, 2.0m에서 1,332kg으로 가장 적어 전년도와 마찬가지로 재식거리가 좁아질수록 밀식에 따른 생산량이 증가되는 것으로 나타났다.

표 19. 수확량 산정(2023)

처 리 (m)	주당 생산량 (kg)	10a당 재식주수 (주)	단위면적당 생산량(kg/10a)	
			총 생산량 (kg)	상품과 생산량 (kg)
0.5	7.1c ^z	500	3,550	2,631
1.0	10.4b	250	2,600	1,950
1.5	12.1ab	166	2,009	1,591
2.0	13.8a	125	1,725	1,332

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

종합적인 분석 결과, 시나노골드/m26의 수세는 재식거리가 감소함에 따라 주간경 및 수폭 등이 감소하는 경향을 보였으며 수관이 작아짐에 따라 신초발생 수도 적어지는 경향을 보였고, 다만, 재식거리가 0.5m 이하로 감소할 시 더 이상 생육이 감소되지 않거나 감소폭이 크지 않은 것으로 조사되었다. 평균 과중은 재식거리 간의 유의한 차이가 발생하지 않았으며, 과중은 재식거리가 좁아지면 일정수준 감소할 수 있을 것으로 판단되었다. 시나노골드의 재식거리별 내한성은 특정한 경향치를 확인하기 어려웠으며, 앞선 시험1의 후지 착과량과 마찬가지로 연차별 반복 조사를 통해 재식거리별 내한성 변화의 유무를 확인할 필요가 있을 것으로 판단되었다. 수확량은 재식거리가 좁아짐에 따라 많아지는 경향을 보였으며, 재식거리에 따른 당도의 변화 및 수확량 등을 고려할 때, 고위도 지역에서의 시나노골드 재식거리는 1m 이하가 적합할 것으로 판단되었다. 다만, 재식거리가 좁아짐에 따른 내한성의 변화에 대한 보다 심도 있는 연구수행이 필요할 것으로 사료된다.

공시 품종들의 화분 발아 능력에 따른 수분수로의 활용 가능성 여부를 조사하였다(표 21). 사과와 화분 발아 수준에 따라 발아율이 30~70%이면 양호한 수분수, 70% 이상은 우수한 수분수로 구분하고 있으며(Florin, 1927), 본 시험의 공시 품종에 대한 조사 결과 평균 화분발아율은 65.6%에서 84.3% 사이로 조사되어 다섯 품종 모두 양호한 경향을 보였다. 또한 품종 별 화분의 양을 추정하기 위하여 수술의 수를 조사하였다(Son et al., 2013). 수술의 수는 ‘로즈벨’이 40.5개로 가장 많았고 그 외 4품종은 17.8 ~ 20.0개로 큰 차이를 보이지 않았다.

표 21. 수분수 품종별 화분발아 및 수술 수 조사('22~'23)

(n=60)

품 종	화분발아율(%)			수술 수(개/꽃)
	'22	'23	평균	'23
후지	82.0±3.3	86.7±5.0	84.3	19.3±1.09
루비에스	78.0±9.9	87.3±3.4	82.7	17.8±2.03
메이플	60.7±5.7	82.0±4.9	71.3	18.8±2.30
로즈벨	76.0±3.3	55.1±10.2	65.6	40.5±4.63
골든벨	67.3±6.6	78.7±8.2	73.0	20.0±1.54

이어서 ‘홍옥’ 품종에 수분수 품종들을 인공수정 하였으며 이어 따른 처리별 착과율을 조사하였다(표 22). 다만, 2023년 평창군 봉평면의 ‘홍옥’ 개화시기인 4월 13일과 5월 8일에 각각 -2.9℃, -1.0℃의 이상저온이 발생하였으며, 이에 따른 냉해 발생으로 과원 내 착과율이 방임수분 기준 평균 39.1%로 저조하였다. 수분수 처리별 착과율은 방임수분과 큰 차이를 보이지 않았으며 ‘루비에스’가 50.8%로 가장 높았고 후지에서 35.9%로 가장 낮은 경향을 보였다. 또한 수확 이후 처리 과실별 종자형성 개수를 조사한 결과 ‘후지’, ‘루비에스’, ‘메이플’ 품종에서 방임수분과 차이가 없는 것으로 나타났다.

표 22. 수분수 처리별 착과율(2023)

품 종	착과율 (%)	과형지수 (L/D)	종자형성 개수 (개)
후지	35.9c ^z	0.89a	7.2a
루비에스	50.8a	0.89a	7.5a
메이플	45.1ab	0.85c	7.1a
로즈벨	42.0bc	0.85bc	5.8b
골든벨	42.6bc	0.87abc	6.6ab
방임수분(OP)	39.1bc	0.88ab	7.2a

^z Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

수분수 처리별 과실특성을 조사한 결과(표 23), 과중, 당도 등에서 처리별 큰 차이가 나타나지 않았다. 따라서 서로 다른 수분수 처리의 처리가 '홍옥'의 당대 과실특성에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

표 23. 과실특성조사(2023)

구 분 (홍옥×**)	과중 (g)	당도 (Bx°)	산도 (%)	경도 (N)	Hunter Value		
					L	a	b
후지	151.5±24.5	13.6±1.0	0.75±0.22	82.7±5.7	34.3±2.0	34.7±1.5	16.5±1.5
루비에스	151.3±19.9	14.3±0.6	0.77±0.07	89.7±7.1	36.2±2.8	33.6±2.3	17.2±2.5
메이플	145.7±13.2	13.8±1.1	0.67±0.24	79.4±8.3	34.2±2.5	31.6±1.6	14.9±2.7
로즈벨	147.7±16.2	13.6±0.4	0.69±0.06	81.5±7.7	34.2±2.7	30.9±2.1	15.1±2.8
골든벨	155.9±24.2	14.3±0.7	0.88±0.09	85.4±7.9	33.2±2.6	33.4±2.4	15.0±3.3
방임수분	143.1±20.6	14.1±0.8	0.75±0.09	83.3±8.7	34.0±2.2	31.5±1.7	13.4±2.2



그림 8. 수분수 처리별 '홍옥' 과실특성
A : 홍옥×후지, B : 홍옥×루비에스, C : 홍옥×메이플
D : 홍옥 ×로즈벨, E : 홍옥×골든벨, F : 홍옥 방임수분

종합적인 분석 결과 '홍옥' 품종과 개화시기가 일치하였으며, 화분밭아울과 착과율이 우수하였던 '루비에스' 품종이 고위도 지역 환경에서 '홍옥'의 수분수로 적합할 것으로 판단되었다.

〈제1세부과제 : 북방지역 사과 재배적지선정과 생산성향상을 위한 재배기술개발 및 품종선발〉

(시험 1) 고위도 지역 사과 안정생산을 위한 적정 착과량 설정(2022~2023)

- 가. 후지의 착과량에 따른 수세의 변화에는 연차별 특별한 경향을 찾을 수 없었으나, 착과량 처리 2년차인 2023년에는 착과량이 가장 많았던 5과 처리에서 해거리가 발생되고 화아 분화율이 매우 저조하게 조사되었음
- 나. 착과량 처리별 잎의 무기성분 함량 또한 타 처리 대비 유의하게 낮아 착과량 5과 처리는 적합하지 않을 것으로 판단되었음
- 다. 과실특성 또한 착과량이 가장 많았던 5과 처리에서 평균과중이 2년 모두 타 처리 대비 유의하게 낮은 경향을 보였음
- 라. 내한성을 비교 결과, 착과량 처리 1년차인 2023년 2, 3월의 내한성은 휴면기인 2월에는 유의한 차이가 발생하지 않았고 휴면타파기인 3월에서 일부 유의한 차이가 나타났지만 크지 않았고 연차간 반복적인 내한성 변화를 볼 필요가 있을 것으로 판단되었음
- 마. 고위도 지역에서 후지는 수세(화아분화율 등) 및 과실특성과 수확량이 양호하고 고위도 지역에서 내한성 위험이 상대적으로 적은 3과/TCA 처리가 적합할 것으로 판단되었음

(시험 2) 고위도 지역 사과 생산성향상을 위한 적정 재식거리 설정(2022~2023)

- 가. 재식거리가 감소함에 따라 주간경 및 수폭 등이 감소하는 경향을 보였으며 수관이 작아짐에 따라 신초발생 수도 적어지는 경향을 보였음
- 나. 다만, 재식거리가 0.5m 이하로 감소할 시 더 이상 생육이 감소되지 않거나 감소폭이 크지 않은 것으로 조사되었음
- 다. 재식거리별 내한성은 특정한 경향치를 확인하기 어려웠으며, 앞선 시험1의 후지 착과량과 마찬가지로 연차별 반복 조사를 통해 재식거리별 내한성 변화의 유무를 확인할 필요가 있을 것으로 판단되었음
- 라. 수확량은 재식거리가 좁아짐에 따라 많아지는 경향을 보였으며, 재식거리에 따른 당도의 변화 및 수확량 등을 고려할 때, 고위도 지역에서의 시나노골드 재식거리는 1m 이하가 적합할 것으로 판단되었음

(시험 3) 고위도 지역 사과 안정착과를 위한 수분수 선발(2022~2023)

- 가. 2022~2023년 ‘홍옥’의 춘천지역 평균 개화기간은 4월 17일 ~ 30일이었으며, ‘홍옥’과 개화기간 및 만개기가 다소 빠르거나 일치하는 품종은 ‘루비에스’, ‘로즈벨’로 조사되었음
- 나. 수분수 처리별 착과율은 방임수분과 큰 차이를 보이지 않았으며 ‘루비에스’가 50.8%로 가장 높았고 후지에서 35.9%로 가장 낮았음
- 다. 수분수 처리 별 ‘홍옥’ 품종의 과실특성은 과중, 당도 등에서 처리별 큰 차이가 나타나지 않았음

라. 따라서 서로 다른 수분수 처리의 처리가 '홍옥'의 당대 과실특성에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었으며, 개화시기 및 착과율이 우수하였던 '루비에스' 품종이 '홍옥'의 수분수로 적합할 것으로 판단되었음

5 인용문헌

- Ahn, M. I., Kim, S. K., Park, J. H., Han, H. H., & Son, I. C. (2014). A Study on the Prediction of Suitability Change of Apple, Pear and Peach using High Definition Agricultural Digital Climate Map based on RCP scenario. In Proceedings of The Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology Conference (pp. 173-181). Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology.
- 통계청. (2023). 2023년 노지 과수 재배면적. 통계청. <https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do>
- 이용환, 이용범, 권태진, 최윤재, 이석하, 안동환, 임정빈, 지성태, 김도순, 김현석, 양태진, 허성기, 강병철, 전창후, 이희재, 김유용, 김수기, 백명기, 이인복, & 윤여경. (2020). 지속가능한 남북 농업·농촌 R&D 전략 방안 수립 연구 용역 [최종보고서]. 서울대학교; 서울시립대학교; GS&J동북아연구원.
- 김석동, 류인수, 조인상, 강양순, 박남규, 권영삼, 임명순, 이상풍, 한정대, 이완주, 강석승, 정석훈, & 임상철. (2011). 북한의 농업환경과 농축산산업의 실태 및 생산동향 분석. 농업사회발전연구원.
- Szalay, L., Gyorgy, Z., & Toth, M. (2019). Frost hardiness of apple (*Malus X domestica*) flowers in different phenological phases. *Scientia horticulturae*, 253, 309-315.
- Lee, J. I., Yu, D. J., Lee, J. H., Kim, S. J., & Lee, H. J. (2013). Comparison of mid-Winter cold-hardiness and soluble sugars contents in the shoots of 21 highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) cultivars. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88(6), 727-734.
- 손광민, 최동근, 권순일, 김병오, 최철, & 강인규. (2013). 꽃사과 품종의 생리 및 유전적 분석을 통한 '후지' 사과의 수분수 선발. *시설원예·식물공장*, 22(2), 116-122.
- Florin, R. (1927). Pollen production and incompatibilities in apples and pears. *Mem. Hort. NY*, 3, 87-118.

6 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2022(1년)	학술발표	강원지역 사과 '후지' 품종의 꽃눈 발육단계 별 냉해 한계온도 기내검정
	현장컨설팅	'사과 만생종 품종 생육상황' 등 2건
2023(2년)	영농활용	'홍옥' 사과의 고위도 지역 적정 수분수 선발
	학술발표	고위도 지역에서 후지 착과량 수준이 이듬해 내한성 및 수체생육에 미치는 영향
	홍보	'강원농업기술원, 과수 동해피해 예방농가에 당부' 등 6건
	현장컨설팅	'봄철 냉해발생에 따른 착과수준' 등 3건

성과지표		연도	1년차 (2022)		2년차 (2023)		계	
			목표	실적	목표	실적	목표	실적
학술 발표	국제							
	국내	1	1	1	1	2	2	
영농 활용	기술							
	정보			1	1	1	1	
홍보					6		6	
현장컨설팅		2	2		3	2	5	
계		3	3	2	11	5	14	

7 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도	
					'22	'23
과제책임자	원예연구과	농업연구관	박영식	과제 총괄	○	-
	원예연구과	농업연구사	이제창	과제 총괄	○	○
세부책임자	농촌진흥청	농업연구관	조정건	세부주관 수행	○	○
	강릉원주대	교수	허재윤	세부주관 수행	○	○
공동연구자	원예연구과	농업연구관	권혜정	시험수행 및 평가	○	-
	원예연구과	공업서기	이기옥	현장조사 지원	○	○
	원예연구과	공무직	신지영	품질조사 지원	○	○
	원예연구과	"	김수진	품질조사 지원	○	○
	원예연구과	"	김인숙	품질조사 지원	-	○
	원예연구과	"	최승국	현장조사 지원	-	○