

213006
-05-5-
CGK00

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
Golden Seed 프로젝트 사업 2단계 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003909-01

만추대 타원형 무 품종 개발

2022. 03. 25

프로젝트연구개발기관 / (주)팜한농
세부프로젝트연구개발기관 / (주)팜한농
세부프로젝트연구개발기관 / (주)농우바이오
세부프로젝트연구개발기관 / 서울대학교

농 립 축 산 식 품 부
(전문기관) 농림식품기술기획평가원

만
추
대

타
원
형

무

품
종

개
발

2022

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

<제출문>

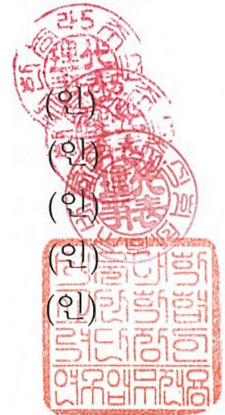
제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “Golden Seed 프로젝트 사업”(기간 : 2017. 01. 01. ~ 2021. 12. 31.) 만추대
타원형 무 품종 개발 프로젝트의 최종보고서로 제출합니다.

2022. 03. 25.

프로젝트연구기관명 : (주)팜한농 (대표자)
세부프로젝트연구기관명 : (주)팜한농 (대표자)
세부프로젝트연구기관명 : (주)농우바이오 (대표자)
세부프로젝트연구기관명 : 서울대학교 (대표자)
참여기관명 : 산학협력단 (대표자)



프로젝트연구책임자 : 임 채 완
세부프로젝트연구책임자 : 임 채 완(1세부)
세부프로젝트연구책임자 : 허 건(2세부)
세부프로젝트연구책임자 : 이 지 영(3세부)
참여기관책임자 :

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의
합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	213006-05-5-C GK00	해당단계 연구기간	2017.01.01. ~ 2021.12.31	단계구분	2/2
연구사업명	단위사업	Golden Seed 프로젝트사업			
	사업명	GSP채소종자사업단			
프로젝트명	프로젝트명	만추대 타원형 무 품종 개발			
	세부프로젝트명	1. 복합내병성 및 재배안정성이 우수한 타원형 무 품종 개발 2. 만추대 타원형 백/청수계 무 품종개발 3. 무 품종 육성을 위한 SNP 탐색 및 MAS용 분자마커 개발			
프로젝트책임자	임채완	해당단계 참여연구원 수	총: 147명 내부: 147명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 1,770,000천원 민간: 960,000천원 계: 2,730,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 147명 내부: 147명 외부: 명	총 연구개발 비	정부: 1,770,000천원 민간: 960,000천원 계: 2,730,000천원
연구기관명 및 소속부서명	(주)팜한농 육종연구소			참여기업명 (주)팜한농 (주)농우바이오	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시 설·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	SCI_5 비SCI_1	출원_2 등록_1									출원_8 등록_5

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장 비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)	보고서 면수
---	--------

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>본 과제는 해외 무 종자 시장을 겨냥한 상업화 과제로 무 육종관련 기반 기술을 활용하여 해외에서 소비되는 백수, 청수, 남방계 등의 우수 품종을 조기에 개발하고 해외 무 시장 전반에 걸쳐 수출 경쟁력을 강화하는데 목적이 있다. 본 과제는 3개의 세부프로젝트로 구성되어 1세부와 2세부는 품종개발 및 종자 수출을 목표로 과제를 운영하고, 3세부는 무 분자마커를 이용한 육종 시스템 구축과 분자마커 데이터베이스 확립을 목표로 과제를 수행하였다.</p> <p>본 프로젝트의 정량적 연구 목표는 아래와 같다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 품종개발 : 품종보호 출원 8건, 등록 9건 2. 종자수출 : 2017년~2021년 누적_835만불 (1세부 누적_570만불, 2세부 누적_265만불) 3. 논문 : SCI_9건 4. 특허 : 출원_7건, 등록_5건
<p>연구개발성과</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 복합내병성 및 재배안정성이 우수한 타원형 무 품종 개발(1세부) GSP 1단계와 연계하여 계통 육성을 진행하였고 육성된 계통으로 신규 조합을 확보하였다. 계통 육성은 포장 검정과 병리 검정을 통해 원예적 형질이 우수하고 병 저항성이 집적된 계통을 육성하였고 신규로 육성을 이용하여 연차별로 신규 조합 종자를 확보하였다. 연차별로 국내외 성능검정을 실시하고 해외 시교 사업을 진행하여 목적에 부합하는 조합을 선발하였고 그 결과 품종보호 출원 3건, 품종보호등록 4건을 하였다. 종자 수출은 중국과 동남아, 유럽 등을 목표로 개발 품종 및 기존 품종을 이용하여 판매를 진행하였으며, 누적 목표 대비 63%로 357.3만불 판매하였다. 2. 만추대 타원형 백/청수계 무 품종개발(2세부) 수집된 유전자원 및 육성된 자원은 재배안정성, 수량성 등 원예적 형질 우수한 계통을 육성하고, 내병성 평가를 통해 병 저항성 계통을 육성하였다. 13건의 해외 시범포 사업을 수행하였으며 이를 통해 현지 적응성 시험 방법을 체계화 하였다. 매년 육성된 주요 계통에 대해서는 원종 증식 및 생산을 통해 종자 품질을 향상시키고 체계화 하였다. 국내외 현지 적응성 시험을 통해 마케팅 및 영업력 강화하는데 체계를 마련하였으며, 품종개발과 관련하여 품종보호출원 5건, 등록 1건, 생산판매신고 5건을 달성하였다. 또한 수출은 300.8만불로 목표 대비 초과 달성하였고 신품종을 이용하여 수출을 확대하고자 한다. 3. 무 품종 육성을 위한 SNP 탐색 및 MAS용 분자마커 개발(3세부) GSP 1단계에 이어 2단계에서는 무 비대 형질과 바람들이에 관련된 유전자들을 본격적으로 발굴하고 분자마커를 찾는 연구를 진행하였다. 무 비대를 유도하는 조직과 그 주변 조직들을 분리하여 차세대 염기서열 분석법을 이용한 전사체 프로파일링을 실시하였고, 그 결과 찾아낸 비대를 유도하는 데에 관련된 전사조절인자 간의 상호 네트워크 분석을 통하여 비대 성장을 조절하는 조절자 간의 연결 고리를 파악할 수 있었다. 바람들이 연구의 경우 전사체 데이터 개발 분석과 병행하여 분리 집단의 양적 유전 분석을 genotyping by sequencing (GBS)로 진행하였다. 이를 애기장대의 스트레스 네트워크와 비교, 바람들이의 발생이 유전적, 환경적 인자가 복합적으로 작용한 결과임을 밝혀낼 수 있었다. 이 가운데 바람들이의 주 조절자로 RsNAC013 전사인자를 찾아내고 이의 다형성과

	<p>바람들이와의 연관성도 밝혀내었다. 본 세부과제의 연구 결과는 총 임팩트 32.736에 해당하는 SCI 논문 5편에 발표되었다.</p>				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<p>1. 복합내병성 및 재배안정성이 우수한 타원형 무 품종 개발(1세부) 본 과제를 통해서 육성 계통 및 분리재료는 향후 해외 시장의 재료로 활용될 수 있을 것으로 기대하고 있으며 향후 변화하는 시장에서 요구하는 특성을 가진 품종을 개발하는데 있어 활용도가 높을 것으로 전망하고 있다. 또한, 본 과제를 통해 개발한 동남아용 2품종은 당사 태국 법인을 활용하여 태국뿐만 아니라 베트남 등 동남아 시장에 판매를 위한 시교 사업을 추진 중에 있으며, 중국용 백수무 품종은 22년 중국 현지 전시포를 운영하여 판매를 확대하고자 한다.</p> <p>2. 만추대 타원형 백/청수계 무 품종개발(2세부) 본 과제를 통해 해외 현지 법인을 활용한 해외 종자 시장 진출 가능성을 제고하였다. 과제를 통해 수집한 중국 시장 정보로는 중국 백, 청수계 무 종자 시장이 약 500억 규모로, 이 중 청수계 F₁ 시장으로 급속도로 확장하고 있는 추세로 형성되고 있어 본 과제를 통해 신규로 육성된 계통을 활용하면 시장 진입 및 판매가 확대될 것으로 기대하고 있다. 또한 중국 뿐만 아니라 동남아 시장 진출을 위한 종자 수출의 기반을 구축하였고, 새롭게 개발된 생명공학 기술을 활용하면 품종 육성 연한을 단축할 수 있을 것으로 기대하고 있다.</p> <p>3. 무 품종 육성을 위한 SNP 탐색 및 MAS용 분자마커 개발(3세부) 본 과제는 시스템 네트워크 비교 분석을 무 유전체에 기반한 다양한 정보와 융합하여 분자 육종에 활용하는 방법을 개척했다는 데에 큰 의의가 있다. 유사한 방법을 이용한 새로운 형질 관련 분자 정보를 발굴하는 연구들이 이어질 것으로 기대한다. 본 과제에서 발견한 비대 조절 유전자들의 복잡한 조절 네트워크는 좀 더 심도 있는 시스템 생물학적 연구를 통하여 기후 환경 변화에 대응하여 안정적인 생산성을 유지할 수 있는 분자육종 전략을 세우는 데에 활용될 수 있다. 또한, RsNAC013에 대한 폭넓은 유전형 분석을 통해 범용성을 지닌 바람들이 분자 마커과 바람들이 예방 재배 시스템을 개발할 수 있을 것으로 기대한다.</p>				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	무 육종	만추대성	백/청수계 무	생리장애	분자 육종
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	Radish Breeding	Late Bolting	White/Green Shoulder Radish	Physiological disorder	Maker assisted breeding

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

제 1 장. 연구개발과제의 개요	5
제 1 절 연구개발 목적	5
제 2 절 연구개발의 필요성	8
제 3 절 연구개발 범위	13
제 2 장. 연구수행 내용 및 결과	16
제 1 절 복합내병성 및 재배안정성이 우수한 타원형 무 품종 개발 ...	16
제 2 절 만추대 타원형 백/청수계 무 품종 개발	57
제 3 절 무 품종육성을 위한 SNP탐색 및 MAS용 분자마커 개발	78
제 3 장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	103
제 1 절 목표	103
제 2 절 목표 달성여부	103
제 3 절 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책	105
제 4 장. 연구결과의 활용 계획 등	107
붙임. 참고 문헌	109

<별첨 1> 연구개발보고서 초록

<별첨 2> 자체평가보고서

<별첨 3> 연구성과 활용계획서

제 1 장. 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 목적

본 과제는 해외 무 종자 시장을 겨냥한 상업화 과제로 무 육종 관련 기반 기술을 활용하여 해외에서 소비되는 백수, 청수, 남방계등의 우수 품종을 조기에 개발하고 해외 무 시장 전반에 걸쳐 수출 경쟁력을 강화 하는데 목적이 있다. 본 과제는 3개의 세부프로젝트로 구성되어 1세부와 2세부는 품종개발 및 종자 수출을 목표로 과제를 운영하고, 3세부는 무 분자마커를 이용한 육종 시스템 구축과 분자마커 데이터베이스 확립을 목표로 과제를 수행하였다. 본 프로젝트의 연구개발 목표로는 품종개발로 품종보호출원 8건, 품종보호등록 9건이며, 종자 수출은 2017년부터 2021년까지 누적 835만불이 목표이다. 또한 논문 SCI 9건, 특허 출원 7건, 등록 5건을 목표로 하고 있다. 각 세부프로젝트별 연구개발 목표 및 내용은 아래와 같다

1. 복합내병성 및 재배안정성이 우수한 타원형 무 품종 개발_1세부

○연구 최종 목표

- 수출용 신품종 개발을 통해 2021년 종자 수출 200만불 이상 달성
(품종보호출원_4건, 품종보호등록_5건, 종자수출 누적_570만불)

○연구개발 내용

- 순백색 근피의 생리장해가 안정적인 백수계 품종개발
- 맛/식미가 우수하고 재배 폭이 넓은 만추대 무 품종개발
- 근장 및 근비대력이 우수하고 내한성이 강한 무 품종개발
- 내서성이 강하고 품질이 우수한 복합내병성(위황병, 뿌리혹병) 무 품종개발

2. 만추대 타원형 백/청수계 무 품종 개발_2세부

○연구 최종 목표

- 수출용 신품종 개발을 통해 2021년 종자 수출 150만불 이상 달성
(품조보호출원_4건, 품종보호등록_4건, 종자수출 누적_265만불)

○연구개발 내용

- 추대가 낮고 저온기 비대성이 좋으며 수량성이 많은 품종개발
- 청수가 진하거나 백수의 원통형 품종개발
- 바람들이가 낮고 근피가 곱고 수송성이 좋은 품종개발
- 위황병 등 내병성이 강하고 순도가 우수한 품종개발

3. 무 품종 육성을 위한 SNP 탐색 및 MAS용 분자마커 개발_3세부

○ 연구개발의 최종 목표

- 무 품종육성을 위한 SNP마커 탐색 및 MAS용 분자마커 개발을 통한 분자유종시스템 확립

○ 연구개발의 내용

내용 1. 무 육종자원의 MAS용 분자 마커 개발

- 2단계 GSP사업에 참여하는 육종회사들이 개발하는 품종의 대표적 원종에 대한 유전체 염기서열 정보 생산을 육종회사와의 협의 하에 진행
- <http://radish-genome.org/> 과 1단계에서 진행한 유전체 데이터에 대해 비교, 분석하여 원종 고유의 SNP 발굴
- 계통육종이나 여교배 육종에 이용할 분자 마커 정보 개발

내용 2. 무 육종의 유용형질과 관련된 유전자원 발굴

- 1단계에서 생산한 뿌리 비대, 근피색에 관련된 유전자 발굴을 위한 RNA seq 데이터의 분석 완료
- 뿌리 비대, 근피색 관련 유전자의 SNP 발굴
- 바람들이 관련 유전자 발굴을 위한 RNA seq 데이터 생산
- 바람들이 관련 유전자의 SNP 발굴

내용 3. 무 육종의 유용형질 관련 분자마커 개발

- 1단계에서 개발한 뿌리비대, 근형, 바람들이 형질 관련 F2 분리집단에 대하여 GBS (Genotyping by Sequencing)를 실시
- 분리집단에서 나타나는 SNP의 분포를 분석, 목표형질과 연관된 SNP를 비대 및 바람들이 관련 전사체 데이터와 비교 분석하여 규명
- 연구내용 1에서 육종회사들이 여교배 육종을 통해 선발한 개체들의 SNP 분석을 통해 유전체상의 바람들이, 조기비대, 근형, 근피색 형질 연관 유전자의 위치 추적

내용 4. 무 분자유종시스템 개발, 보급

- GSP 사업을 통해 밝힌 MAS용 분자 마커에 대한 정보를 프로젝트 참여 육종회사들과 공유
- 육종 선발 과정에서 개발된 분자마커(특히 형질 관련)의 유용성 분석, 실용화 가능성 검증
- 효율적이고 경제적인 MAS를 위한 DNA 분석 기술 개발

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 세계 무 시장 동향

- 채소 중자 시장규모 중 세계 11위. 약 1,122톤 수준이며 금액은 130-155백만불로 추정되며, 주도권을 갖고 있는 국가는 아시아의 중국, 인도, 유럽의 스페인임
 - 2020년 전세계 시장규모는 약 383백만 불로 성장 예상 (자료:context 2020 outlook)
- 아시아의 무 재배면적은 약 100만~150ha 정도이며, 2011년 총 1500억 원의 신흥시장으로,

향후 가장 큰 시장으로 성장할 것으로 예상됨

- 무 생산의 대부분은 중국을 비롯한 아시아 지역에서 이루어지며, 시장 규모 면에서도 아시아 지역이 대부분을 차지함
- 아시아 지역에서 무 재배면적은 약 150만ha 정도로, 중국이 그 중 120만ha를 차지
- 재배면적으로 중국과 인도가 약 85~90%정도의 면적을 차지하고 있으나 종자 가격 면에서는 약 30~40%정도의 시장을 점유



- 중국 무 시장은 경제성장과 더불어 급격히 증가하여 약 367억원 규모의 시장을 형성하고 있으며 향후에 고품질 F1 품종 보급으로 중국 시장이 급격히 증가될 것으로 전망
- 인도 등 동남아 시장도 기존 재래종에서 교배종으로 급격하게 전환되는 추세로, 동남아 시장 규모도 급증할 것으로 예상됨
(인도 등 동남아 국가들은 대부분 고정종인 남방계와 미농조생계 무를 재배하고 있으나 F1 품종과 만추대 품종의 요구가 확대되고 있음)
- 무 품종 개발은 주로 한국과 일본을 중심으로 진행되고 있으며, 다른 국가들은 아직 1대 잡종 품종 육성을 본격적으로 시도하지 못하고 있고 F1 품종은 수입에 의존하고 있는 상황임
 - 일본 및 다국적 회사들은 중국 시장을 목표로 현지 연구소에서 직접 육종 수행
 - 기술력에서 한국과 일본이 가장 앞서 있고 중국, 대만 등이 추격하고 있는 시장임
 - 무 품종 육성 기술은 일본과 한국을 제외한 다른 나라에서는 연구가 미미한 상황이며, 분자마커를 개발하여 육종에 응용하고 있고 소포자 배양 및 내병성 실험을 통해 육종가들에게 정보를 제공하고 있음
- 무의 주요 병해는 위황병, 무사마귀병, 연부병, 바이러스, 흑반병, 근부병 등의 피해가 있고, 중국은 위황병, 무사마귀병 등, 동남아시아는 바이러스 등 내병성 품종의 요구도가 점점 증가되고 있으며, 고품질의 내병성이 강화된 품종 육성이 요구됨
- 이와 더불어 만추대성, 생리장해(바람들이, 열근, 공동 등) 안정된 품종을 요구하고 있으며 내병성, 만추대성, 생리장해 안정성을 가진 고품질 F1 종자 개발을 통해 고부가가치의 수출용 종자를 개발 할 수 있음

2. 중국 무 시장 동향

- 2015년 현재 중국의 무 재배면적은 약 120만ha로 백수계 품종(백수계, 남방계 F1/OP 포함)이 약 80만ha, 청수계 품종(F1/OP포함)이 약 40만ha 정도 재배됨
 - 종자 소요량은 약 5,300ton 정도로 추정

- 중국의 무 종자 시장은 봄, 여름, 가을, 겨울 등 재배시기와 청수, 백수 등 무 형태에 따라 다양한 로컬 타입의 시장으로 세분화되어 있음
 - 백수계/청수계/남방관엽계 무 품종이 주를 이루고 있으며, OP 시장이 주를 이루고 있으나 F1 품종이 확대되고 있음
 - 백수계 무는 중국에서 가장 많이 재배되고 선호되는 무 형태로 근피가 매끈하고 내부 색이 순백색 품종이며, 봄 백수계 무는 중국 중부와 남부 지역에서 재배
 - 청수계 무는 주로 중국 북방지역에서 많이 재배되며, 한국형 봄무와 일본형 봄무가 도입되어 산둥성 및 동북3성 지역에서 주로 재배됨
- 작형이 점차 세분화되고 있어 이에 적합한 품종이 요구되고 있으며, 중국 회사들의 무 육성기술 수준은 낮은 편임
- 추대를 안정시켜 주년 생산을 가능하게 하는 품종의 개발이 필요하며, 전체 시장에서 5~10% 정도는 만추대성 품종으로 전환되고 있음
 - 전반적으로 고정종에서 F1품종으로 전환되는 추세이며, 봄무의 경우 이미 F1 품종이 주를 이루고 있음
 - 남부 지역의 주 타입인 남방 관엽계 시장의 경우, 가공용 OP 시장으로 주로 가을에 재배되며, 면적 및 종자 소요량이 가장 많으나 가격이 저렴한 시장임. 그러나 중국 경제가 성장함에 따라 주년 공급을 요구하고, 양적인 부분보다는 품질을 요구하는 시장으로 전환되고 있는 추세임.

短叶13号, 南畔洲 등의 OP 종이 교배종(R-301, 북경세농)으로 급격히 변화 중이며, 이에 따라 가격과 시장 규모가 급증하고 있음

 - 가을무의 경우, 저가 고정종이 대부분이지만, 이 중 10% 정도가 청수청육형의 봄무 재배 작형으로 변경될 것으로 예상

<중국 무 형태별 시장분석>

구분		F1/OP	리딩 품종	회사	면적(ha)	종자량 (ton)	시장 총액 (万元)	평균 가격 (元/kg)
백수계	백옥 유형	F1	특신백옥춘	대일	32,397	86	6,900	800
		F1	R-301	세농				
	남방형	F1	R-301	세농	2,645	4	520	1,300
		F1	快美7007	세미니스				
특수형	수과형	OP	濰縣青 心里美 大紅包 揚州白	로컬기업	20,231	92	2,754	300
	(청피청육, 청피홍심등)							
가공용	백수형	OP	短叶13号, 南畔洲	로컬기업 자가채종	763,207	3,463	34,631	100
	청수형	F1/OP	지역 청수품종	로컬기업 자가채종	363,306	1,649	16,485	100
합계					1,181,785	5,293	61,290	

3. 일본 무 시장 동향

- 일본의 무 종자시장은 고단가 시장으로 소비량과 생산면적이 안정적으로 유지될 것으로

예상되어 시장규모는 현재 수준에서 큰 변화가 없을 것으로 전망됨

- 양배추 다음으로 큰 재배면적을 가지고 있으며 종자 소요량은 약 100톤 정도로 추산됨
- 일본 봄/여름무의 경우 종자 생산단가가 가을무 품종에 비해 약 2배가량 높고, 가을무는 재배 면적 및 종자 소요량은 많으나 단가가 봄무에 비해 낮음
- 일본에서는 큰 회사들을 중심으로 무 육종을 추진하고 있으며, 중국 시장을 주요 목표로 하여 현지에서 직접 육종을 수행
 - 최근 육성가를 양성 중이며, 옹성불임을 이용한 품종 육성이 일반화되고 있음
- 근피, 근형 등 원예적 특성 요구도가 높은 상황이며, 만추대성과 위황병 내병성 이 요구

4. 동남아 무 시장 동향

- 인도와 동남아 지역의 종자 시장규모는 130억 원으로 추정되며 고정종에서 F1품종으로 전환되고 있는 상태로, 봄 타입의 무와 남방계 품종이 주를 이루고 있음
 - 교배종 전환에 따라 가격과 시장규모도 급속히 증가할 것으로 전망됨
 - 인도 등 동남아 국가들은 대부분 고정종인 남방계와 미농조생계 무를 재배하고 있으나 F1 품종과 만추대 품종의 요구가 확대
- 일본 다키이, 대만 농우회사에서 동남아용 무 수출을 하고 있으나 고정종 보다 나은 수준이며, 점차 고품질의 내서성이 강한 품종이 요구됨

5. 연구개발 동향

① 품종 개발 분야

- 무 품종개발에서 가장 앞서 있는 국가는 일본과 한국으로, Sakata, Takii, Mikado Kyowa 등의 종묘 기업은 무 유전자원 보유 수준이나 분자 육종 기술이 세계 최고 수준이며, 국내 기업도 유사한 수준임
- 국내 무 품종 육성기술은 세계 최고 수준으로, 민간 회사 및 민간 육성가들이 주축을 이루고 있고, GSP 1단계 사업을 통해 일본, 중국, 동남아 지역 등 해외 시장을 개척하고 있음.
- 팜한농 및 농협 종묘는 GSP 1단계 사업을 통해 ‘중국 수출용 무 품종 개발’ 과제를 수행하였으며, 중국용 백수계 및 청수계 품종개발을 위해 현지 시장 조사, 유전자원 수집, 계통 육성, 신품종 개발을 진행하였고 일부 판매를 하고 있음. 따라서 본 과제를 통해 개발된 품종은 현지 네트워크를 통해 판매를 확대할 예정이며, 이와 더불어 지속적으로 차별화 할 수 있는 신품종을 개발할 계획임

② 기반 기술 분야

- 최근 국내에서 무 유전체 해독연구(차세대바이오그린 21사업), 무 주요 병관련 분자마커 연구, 소포자 배양법 개발등의 기반 기술 연구와 전통육종과의 결합으로 품종 육성의 경쟁력 확대 하고자 하는 노력이 활발해 지고 있음
- 해외 대형 종자 회사에서도 분자마커, 소포자 배양 등 반수체 육종을 이용하여 우수한 형질을 가진 품종의 종자를 생산하고 있으나, 무의 경우, 글로벌 작물이 아니고 활용

범위가 넓지 않아 품종 육성 및 재배 기술 연구 수준이 낮은 실정임

- 무 분자마커 연구 및 소포자 배양 연구 분야에서는 최근 국내 기술 수준이 급속히 향상되고 있는 추세이며, 주로 자가불화합/웅성불임성/위황병에 관련된 분자마커 개발과 약배양/소포자 배양에 관련된 기술 개발이 주를 이루고 있음.
- GSP 1단계 연구를 통하여 MAS에 활용 가능성을 지닌 분자마커와 유용 형질 관련 유전자들을 다량 발굴하였으며, 2단계에서는 이와 관련된 마커 개발을 통해 효율적이고 경제적인 분자유종 시스템을 확립하고, 보급하여 국내 무 육종 기술의 우수성 및 무 종자사업 분야의 주도권을 유지
- 무의 주요 병에 관한 기반 기술 연구는 내병성 품종 개발에 매우 효과적으로 활용될 수 있으며, 조속히 개발하여 품종 육성에 적용되어야 함

6. 수출용 품종 육성의 필요성

- 현재 중국의 경제 성장에 따라 고가의 외국 품종이라도 중국내 재배 작형 개발 또는 수요에 적합 할 경우 수입이 가능하게 되었으며, 특히 한국의 만추대성 품종이 수입되면서 기존에는 없던 봄 재배 작형이 중국 내에 정착하게 되면서 한국산 무 품종의 인지도가 상승되고 있는 추세임
- 중국은 무를 다양한 방법으로 요리(샐러드, 탕, 무침 등)하고 있으며 활용 목적에 적합한 다양한 자원을 활용하고 있지만, 아직까지 만추대성 품종 육성 기술이 낙후되어 봄에 재배되고 있는 품종은 대부분 한국에서 수입하여 사용하고 있음
- 이 처럼 중국의 무 육종기술이 우리나라와 격차를 보이고는 있지만 중국이 국가적 차원에서 지원할 경우 다양한 유전자원을 보유한 중국에 추월당할 수 있어 시장 선점이 중요함
- 최근 일본회사들의 관심이 높아지고 있으며 일부지역이지만 판매를 확대하고 있고 품종 개발도 하고 있음
- 따라서 앞으로 중국 지역별 재배 작형 및 기호에 적합한 고품질 품종을 육성할 필요가 있음.
 - 중국 백수계는 재배면적 및 종자 소요량 등 청수계 무에 비해 상대적으로 높은 편이며, 백수계 무의 시장성은 이미 확보된 상황으로 만추대성, 복합내병성 등이 강화된 고품질의 품종 개발이 필요
 - 중국 청수계 무 시장은 생과 및 가공용 청피청육계 품종이 주를 이루고 있으며, 한국, 일본형 청수계 품종은 만추대성과 고품질을 기반으로 영역을 점차 확장시켜 나가고 있는 상태로 향후 품종 요구도 변화와 더불어 시장규모가 커질 것으로 전망
 - 중국 남방계 무 시장은 점차 OP에서 F1품종으로 전환되어 시장규모가 상승할 것으로 예상되며, 내서성이 우수하고 바이러스 등이 강한 내병성 고품질 품종이 개발된다면 동남아 지역 판매도 확대될 것으로 기대됨.
- 결론적으로 국내 강점 기술인 육종 기술을 활용하여 우수 종자를 개발하고, 지역별 현지 적용 시험을 통해 중국 시장을 리딩 할 수 있는 품종 개발이 절실히 필요함
- 본 과제를 통해 중국무의 주요 타입인 백수계/청수계/남방계 무의 고품질 F1 종자를 개발하고, 중국 현지 네트워크 구축을 통해 향후에도 안정적으로 중국 수출이 가능한

체계를 구축하여, 국내 종자 업계의 중국 수출 증대를 이루고자 함

제 3 절 연구개발 범위

1. 복합내병성 및 재배안정성이 우수한 타원형 무 품종 개발_1세부

연구 범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
재료 개발 및 계통 육성	유전자원, 고정계통 이용한 분리세대 육성 병리검정 활용한 우수 계통육성	- 분리 육종법을 이용한 우수 개체 선발 - 세대 진전 및 MS 여교배를 통한 우수 계통 육성 - 병리검정을 통한 내병성 계통 육성
교배 조합 작성	인공교배 및 소형망실을 이용하여 조합 작성	- MS 계통 이용. 인공 교배로 조합 작성 - 소형망실을 이용한 채종 시험
국내 재배 시험	국내 예비 성능검정을 통한 해외 현지 후보 조합 선발	- 연구소 예비 성능검정을 통한 후보 조합 선발 - 국내 지역 적응성 시험을 통한 후보 조합 선발
현지 시험포 및 시교 시험	해외 현지 적응성 시험 및 확대 시교 사업	- 해외 현지 시험포를 통해 우수 조합 선발 - 현지 지역별 적응성 시험을 통한 우수 조합 선발 - 확대 시교 사업을 통한 제품화 가능성 확인

2. 만추대 타원형 백/청수계 무 품종 개발_2세부

연구 범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
○ 우수계통 육성	○ 유전자원 수집, 분리 및 기반기술을 활용한 우수계통 육성	- 유전자원 수집, 분리 및 선발을 통한 신규계통 육성 - 기존 유전자원 분리, 선발 및 순화를 통한 고정계통 육성 - 병리검정 및 선발을 통한 병 저항성 계통 육성 - 조직배양기술을 이용한 DH계통 육성 - 분자마커기술을 이용한 옹성불임, 자가불화합계통 육성
○ F ₁ 조합 작성 및 종자생산	○ 우수계통 간 F ₁ 조합 작성, 교배, 종자생산 특성검정 및 원원종, 원종 증식	- 우수계통 간 F ₁ 조합 작성 및 교배 - 옹성불임성, 자가불화합성을 이용한 조합작성 및 임성검정 - 후보조합에 대한 채종시험 및 순도검정 - 후보조합 양친에 대한 원원종, 원종 증식 및 순도검정
○ F ₁ 조합 성능검정 및 선발	○ F ₁ 조합 국내 비교시험, 성능평가 및 중국 현지 시험용 후보조합 선발	- 장내 조합성능검정 및 후보조합 선발 - 병 저항성 검정(F ₁ 조합) 및 선발 - 농가연락시험 및 우수조합 선발 - 후보조합 순도검정 및 시교종자 생산

○ 현지 적용성 검정 및 종자수출	○ 중국 현지 연락시험, 시교시험 및 마케팅, 품종생산판매신고 및 종자수출	- 중국 현지연락시험 및 우수조합 선발 - 우수조합에 대한 시교시험 및 마케팅, 종자수출 협의 - 확대시교시험 및 시판종자 생산 - 품종생산판매신고 및 종자수출
--------------------------	--	---

3. 무 품종 육성을 위한 SNP 탐색 및 MAS용 분자마커 개발_3세부

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
○ 무 육종자원의 MAS용 분자마커 개발	(실험적 접근방법) -PCR을 이용한 SNP 결정 (이론적 접근방법) -무 유전체 데이터 버전 2.20을 이용한 생물정보학적 분석	-의뢰받은 12개의 계통으로부터 DNA를 분리하여 Illumina HiSeq을 이용 sequencing 진행. 이 가운데 9개는 국립원예특작과학원에서 개발한 계통이며, 3개 는 팜한농에서 제공받은 중국, 일본 유래 계통임 - 특작원에서 제공받은 9개 계통의 SNP와 팜한농 에서 제공받은 외래 유래의 3개 계통 SNP를 비교 한 결과, 한국 유래 계통에만 존재하는 163개의 SNP가 발견되었고, 이들 가운데 29개의 SNP를 PCR을 이용한 분석에 활용 - 29개 가운데 결과가 검증된 9개의 프라이머 세트 를 최종 선발하여 37개 국내외 품종의 DNA를 대 상으로 PCR 분석을 진행 -sequencing 결과를 무 유전체 데이터 ver2.20와 비 교하여 각 계통이 고유하게 가지고 있는 SNP와 한 국 무 9개 계통끼리만 공유하고 있는 SNP를 추출
○ 무 육종의 유용형질과 관련된 유전자 발굴	(실험적 접근방법) -뿌리 비대에 관여하는 여러 전 사인자들의 애기장대 돌연변이 체에 대한 비대 형질 분석 및 상호 조절 네트워크 유추 -microCT scanner를 이용한 정 량적/비파괴적 바람들이 측정 바람들이 형질에 대한 전사체 프로파일링	- 비대관련 조직특이적 전사체 데이터를 애기장대 뿌리 전사체 데이터와 비교, 형성층에 특이적으로 발현되는 여러 전사인자들을 찾아냄 - 이들 진화적으로 보존된 전사인자들의 비대 관여 여부를 애기장대의 돌연변이체를 확보하여 형질 분석을 통해 밝힘 - 또한 돌연변이체를 이용하여, 특정 전사인자 기능 이 상실되었을 때 다른 전사인자들의 발현이 어떻 게 변화하는지를 quantitative RT-PCR로 측정하 여 분석하고, 그 결과를 종합하여 생체 내 조절 네 트워크를 유추 - ERF-1과 STZ가 네트워크의 중요한 인자임을 발 견 - 바람들이에 약한 원교10040의 바람들을 좀 더 정량적으로 분석하여 전사체 데이터와 비교하고자 microCT를 이용하여 형질 분석을 진행. 서울대와 국립원예특작과학원에서 키운 총 20개 개체에 대 한 분석을 통해 바람들이/동공 현상이 심한 8개 개체를 찾아냄 - 바람들이/동공을 보이는 개체와 보이지 않는 개체 총 20개의 뿌리 전사체 프로파일링을 각각 진행하 여 형질과 전사체 발현의 상관성이 있는 유전자들

	<p>(이론적 접근방법) - 전사체 데이터의 생물정보학적 분석</p>	<p>을 찾아냄</p> <ul style="list-style-type: none"> - 무 뿌리 조직 특이적인 17 가지 전사체 데이터와 애기장대 23 가지 세포 타입 특이적인 유전자 발현 데이터를 이용하여 두 종에 보존되어 있는 coexpression network를 탐색 - 그 결과, 6개의 coexpression network module을 발견하였고, 이 가운데 뿌리 비대와 역상관 관계에 있는 스트레스 저항성 전사인자 네트워크를 찾아냄 - 이들의 비대 조절 기능을 애기장대의 돌연변이체를 활용하여 분석 - 바람들이/동공 관련 전사체 데이터 분석은 이미 분석이 완료된 비대관련 전사체 분석법을 따라 진행
<p>○ 무 육종의 유용형질 관련 분자마커 개발</p>	<p>(실험적 접근방법) - 분리집단에 대한 GBS (Genotyping by Sequencing) library 제작, sequencing</p> <p>(이론적 접근방법) - 형질과 SNP 분포를 비교 분석하여 형질 연관 SNP를 추출</p>	<ul style="list-style-type: none"> - library 제작을 위해 분리집단의 각 DNA를 추출, 제한효소 EcoRI과 MseI으로 잘라냄 - 조각난 DNA에 Illumina sequencing에 필요한 index가 달린 adaptor를 EcoRI 쪽에 붙인 후 Y forked MseI adaptor를 이용, PCR 증폭시킴 - Illumina sequencing 진행하여 결과 분석 중 * 제한효소로 조각낸 후 특정 조각을 enrichment시키는 방법을 찾아내어 진행 <p>- 이미 셋업되어 있는 분석 파이프라인을 활용할 계획</p>

제 2 장. 연구수행 내용 및 결과

제 1 절 복합내병성 및 재배안정성이 우수한 타원형 무 품종 개발

1. 재료 개발 및 계통 육성

중국, 일본, 동남아 등 해외에 적합한 무 품종을 개발하기 위해 기존 보유한 청수계, 백수계 계통과 재료들을 이용하여 신규 계통을 육성하였다. 육성에 사용된 소재는 GSP 1단계부터 사용한 재료들로, 추대성이 안정되고 근수색이 백색인 ‘봄 단무지’ 계통, 추대성이 안정된 ‘일본형’ 청수계 계통, 비대성과 근미맺힘이 빠른 ‘삼계’ 계통, 근피가 깨끗하고 비대가 빠른 ‘남방계’ 계통 등 기존 보유 계통들을 이용하여 분리 재료를 육성하고 연차별로 봄, 가을 포장 재배 시험을 통해 목적에 부합하는 개체를 선발하였다. 선발된 개체는 인공교배를 통해 세대진전하여 계통으로 육성하고 고정된 계통을 이용하여 조합을 작성하였다. 또한, 포장 검정뿐만 아니라 병리 검정을 실시하여 병 저항성이 집적된 개체를 선발하고 세대진전 하였다. 병리 검정에서 선발된 분리 세대 개체는 세대진전 후 차년도 포장 검정을 통하여 원예적 형질과 생리장해가 안정적인 개체를 선발하여 세대진전 하였다. 병리 검정과 포장 검정을 반복하여 원예적 형질이 우수하고 병 저항성이 집적된 계통으로 육성하였다.

가. 포장 검정을 통한 계통 육성

연구소 포장을 이용하여 연차별로 봄, 가을 재배 시험을 실시 하였다(표 1). 봄 재배 시험은 추대성이 안정된 재료들을 이용하여 추대성이 안정적이고 근형과 비대, 근미맺힘 등 원예적 형질이 우수하며 생리장해(열근, 바람들이, 공동 등)가 안정적인 개체를 선발하였다. 봄 시험에서 선발된 개체는 저온 보관 시설을 이용하여 저온 처리 후 가을에 교배하여 종자를 확보하였다. 가을 재배 시험은 봄에 사용된 재료 및 세대진전 중인 재료들을 이용하여 생리장해가 안정적이며 원예적 형질이 우수한 개체를 선발하고 12월부터 차년도 3월까지 저온으로 관리한 후 교배하여 세대진전하였다.

[표 1] 연차별 재배 시험 경종 개요 및 결과 요약

연차	작형	파종	조사	재료	선발
1차년	봄	2017.04.19	2017.07.04	364번호	52개체
	가을	2017.08.30	2017.11.02	880번호	158개체
2차년	봄	2018.04.17	2018.07.05	778번호	72개체
	가을	2018.09.05	2018.11.20	877번호	16개체
3차년	봄	2019.04.17	2019.06.27	616번호	56개체
	가을	2019.08.27	2019.11.08./11.14	453번호	123개체
4차년	봄	2020.04.09	2020.07.01	378번호	27개체
	가을	2020.08.26	2020.11.03~04.	546번호	236개체
5차년	봄	2021.04.15	2021.07.02	894번호	68개체
	가을	2021.08.26	2021.11.16	849번호	181개체



<1차년도 봄, 가을 선발 개체>



<2차년도 봄, 가을 선발 개체>



<3차년도 봄, 가을 선발 개체>



<4차년도 봄, 가을 선발 개체>



<5차년도 봄, 가을 선발 개체>

[그림 1] 연차별 봄, 가을 재배 시험 결과

분리 세대에서 선발된 개체들은 연차별로 봄, 가을로 재배 시험을 진행하여 계통으로 고정 시킨 후 조합 작성에 사용하였다.



[그림 2] 선발 개체를 통한 계통 육성

나. 병리 검정을 통한 계통 육성

병 저항성 품종을 개발하기 위해 무 시들음병과 무 뿌리혹병에 대해 병리 검정을 실시하였다. 병리 검정에 사용한 균은 국내 지역 균주(평창 진부, 홍천 내명 등)를 수집하여 각 병에 대해 병리 검정을 수행하였으며, 분리 재료를 이용하여 저항성 개체를 선발하였다. 무 시들음병은 파종 후 유묘 단계에서 침지법으로 접종하여 20~30일 후에 지상부(잎)를 조사(1차 조사)하고 15일 전후로 뿌리 도관부(2차 조사)를 조사하여 무병주 개체를 최종 선발하였다. 무 뿌리혹병은 파종 유묘 단계에서 관주법으로 접종한 후 5~7주 뒤에 이병성 control이 병징을 나타내면 조사하여 무병주 개체를 선발하였다(표 2, 그림 3).

[표 2] 병리 검정 방법

무 시들음병		무 뿌리혹병	
병원균	<i>Fusarium oxysporum</i> sp. <i>raphani</i>	병원균	<i>Plasmodiophora brassicae</i>
접종 농도	1.0 x 10 ⁶	접종 농도	1.0 x 10 ⁶
접종 방법	침지법	접종 방법	관주법
조사 방법	· 1차 조사 : 지상부 잎 조사 · 2차 조사 : 뿌리 발병 여부 조사	조사 방법	· 뿌리혹 발병 여부 조사



[그림 3] 병리 검정 조사 및 선발

연차별로 상반기, 하반기 병리 검정을 수행하였으며 상반기에는 시들음병과 뿌리혹병을 검정하고 하반기에는 시들음병만 검정하여 저항성 개체를 선발하였다(표 3). 각 병리 검정에서 선발된 분리 세대 개체는 세대진전 후 차년도 포장 검정을 진행하여 원예적 형질이 우수하고 생리장해가 안정적인 개체를 선발하였다.

연차별로 병리 검정과 포장 검정을 반복 수행하여 원예적 형질이 우수하고 병 저항성이 집적된 계통을 육성하였고 육성된 계통은 신규 조합 작성에 사용하였다.

[표 3] 연차별 병리 검정 수행 결과

연차	상반기			하반기		
	병 검정	공시 재료	선발 개체	병 검정	공시 재료	선발 개체
1차년	시들음병	76번호	68개체	시들음병	140번호	205개체
	뿌리혹병	63번호	70개체	-	-	-
2차년	시들음병	78번호	81개체	시들음병	104번호	83개체
	뿌리혹병	78번호	40개체	-	-	-
3차년	시들음병	97번호	39개체	시들음병	90번호	49개체
	뿌리혹병	104번호	169개체	-	-	-
4차년	시들음병	87번호	112개체	시들음병	204번호	71개체
	뿌리혹병	76번호	113개체	-	-	-
5차년	시들음병	94번호	57개체	시들음병	203번호	215개체
	뿌리혹병	131번호	108개체	-	-	-

다. 응성불임(male sterility_MS) 계통 육성

각 연차별로 병리 검정과 포장 검정을 통해 계통 육성을 진행하고 고정된 우수 계통에 대해 응성불임(male sterility_MS) 계통으로 육성하였다. 당사에서 보유하고 있는 DCGMS 자원을 이용하여 MS 계통으로 전환하였으며, 이때 MABC 마커를 이용하여 육성 기간을 단축하였다. BC₁F₁ 세대부터 BC₃F₁까지 MABC 마커를 이용하여 도입율이 높은 개체를 선발하여 MS back cross를 진행하였으며, 그 후대는 포장 검정을 통하여 MS 고정 여부를 확인하였다. MS 계통으로 전환된 계통은 신규 조합 작성 시 모계친으로 사용하였다.

2. 조합 작성

기존 보유 계통과 연차별로 신규 육성된 계통을 이용하여 신규 F₁ 조합을 생산하였다. 신규로 육성된 계통에 대해서는 자가불화합성(self-incompatibility_SI) 마커를 이용하여 SI 인자를 확인하고 그 확인된 SI 정보를 이용하여 신규 조합 작성과 채종 시험에 활용하였다. 신규 F₁ 종자 생산을 위한 교배는 주로 봄에 진행되었으며, 추대성에 따라 순차적으로 파종하여 개화 시기를 맞추었다. 즉 만추대 계통은 11월에 파종, 조추대 계통은 1월 또는 2월에 파종을 진행하고, 각각 발아 후 저온으로 관리하여 추대를 유도하였다. 저온 처리된 모본은 3월에 정식하고 개화된 모본을 이용하여 인공교배 또는 매개충(벌)을 이용하여 F₁ 종자를 생산하였다. 특히 매개충을 이용한 종자 생산은 계통 간의 종자 생산성을 확인하고자 할 때, 또는 확대 시험에 필요한 종자를 대량으로 생산하고자 할 때 주로 이용되었다.

1차년부터 5차년까지 위와 같은 방법으로 신규 F₁ 종자를 생산하였으며 각 연차별로 아래와 같이 신규 F₁ 조합의 종자를 확보 하였다(표 4).

[표 4] 연차별 신규 조합 종자 확보 수

구분	신규 조합수	비고
1차년도(2017년)	154조합	중국백수, 청수, 일본용, 동남아 남방계
2차년도(2018년)	164조합	중국 백수, 청수, 일본용
3차년도(2019년)	183조합	중국 백수, 청수, 동남아 남방계
4차년도(2020년)	218조합	중국 백수, 청수
5차년도(2021년)	222조합	중국 백수, 청수

연차별로 확보한 신규 조합은 국내 재배 시험을 통해 원예적 특성과 생리장해 특성을 평가하고 해외에 적합한 후보조합을 선발하여 차년도에 해외 현지 시험을 진행하였다.

3. 조합 선발

가. 국내 재배 시험을 통한 조합 선발

해외 현지에 적합한 품종을 개발하기 위해 국내에서 예비 성능검정을 수행하였다. 연차별로 기존 및 신규 조합을 이용하여 연구소 봄, 가을로 시험을 진행하였으며 봄에는 추대성과 생리장해(열근, 바람들이, 공동 등)가 안정적이면서 원예적 특성이 우수한 조합을, 가을에는 원예적 특성이 우수하고 생리장해가 안정적인 조합을 예비 선발하였다. 1차년부터 5차년까지 연차별로 연구소 성능검정을 바탕으로 해외에 적합한 후보조합을 선발하였으며 해외 타겟으로 하는 작형에 따라 국내 강원도 여름 작형과 제주도 월동 작형에서도 성능검정을 수행하여 후보조합을 선발하였다.

(1) 1차년도 국내 재배 시험 결과

1차년은 아래 [표 5]와 같이 봄부터 월동 작형까지 연구소와 국내 농가 시험을 진행하여 중국 백수무와 청수무, 일본용 무, 동남아 남방계 무 후보조합을 선발하였다.

(가) 봄 시험 결과

봄 시험은 백수무와 청수무를 대상으로 성능검정을 진행하였다. 백수무는 공시 조합 중 대비 품종인 R-301과 대비하여 기본적으로 추대성이 안정되고 생리장해 발생이 없는 조합으로 후보 조합을 선발하였다. R-301은 중국 현지 백수무 품종으로 근 비대성과 근피 등 외관 품질이 우수하여 상품성이 좋은 특성이 있으나 추대성이 약하여 추대성을 요구하는 작형(봄, 겨울 등) 외에 중국 가을 작형 등에서 우점하고 있는 품종으로 현재는 중국 현지 각회사에서 유사 품종들을 많이 출시하여 시장 단가가 하락하고 있는 추세이다. 그리고 美玉 품종은 북경세농 신품종으로 추대성은 R-301보다 조금 안정적인 특성을 보이나 근 비대성과 근피 등 외관 품질은 R-301과 유사한 품종으로 대비품종으로 시험을 진행하였다.

[표 5] 1차년도 작형별 성능검정 경종 개요

작형	장소	파종	조사	대비품종	공시조합
봄	연구소	2017.04.19	2017.06.27	<ul style="list-style-type: none"> 백수: R-301, R-501, 美玉, 美夏(북경 세농), 多喜3号(백막진) 등 16품종 청수: 招福(대일), 백봉(팜한농), 啓運, 翠玉(북경세농) 등 8품종 	백수: 96조합 청수: 55조합
여름	정선 임계	2017.05.25	2017.08.03	<ul style="list-style-type: none"> 백수: R301, 美玉 (북경 세농) 청수: 백봉 (팜한농) 	백수: 15조합 청수: 10조합
	홍천 내면	2017.06.28	2017.09.07		
가을	연구소	2017.08.30	2017.11.02	<ul style="list-style-type: none"> 백수: 美玉, 美夏, 白雪(북경세농), 多喜3号(백막진) 등 12품종 청수: 백봉(팜한농), 啓運, 翠玉(북경세농) 등 7품종 	백수: 85조합 청수: 52조합
			2017.11.03	<ul style="list-style-type: none"> 남방계: Everest(Takii), CT7008(팜한농) 등 5품종 	남방계: 84조합
			2017.11.10	<ul style="list-style-type: none"> 일본 봄: トップラジャー-(Takii), 蒼の砦(Nanto), 蒼春(Tohoku) 등 15품종 일본 여름: 夏つかさ(Tohoku), 夏の守(Sakata) 등 10품종 	일본 봄: 103조합 일본 여름: 84조합
겨울	구좌읍	2017.09.13	2018.03.06~08	<ul style="list-style-type: none"> 백수: R301, 美玉 (북경 세농) 청수: 백봉 (팜한농) 	백수: 15조합 청수: 10조합
	성산읍	2017.09.14			

봄 시험 결과 대비 품종 대비 특성이 양호한 6조합_#4147, 5025, 5071, 5129, 5130, 6031을 선발하였다. 선발조합의 주요 특성은 아래와 같다.

- #4147 : GSP 1단계 4차년 연구소 가을 시험에서 예비 선발된 단근계 판엽계 조합으로 근장이 다소 짧은 편이나 비대력과 근미맺힘 양호
- #5025 : 기존 조합 중 새롭게 선발된 조합으로 근장 대비 비대성과 근미맺힘 양호
근피가 깨끗하고 추대성이 매우 안정적인 만추대성 조합으로 생리장해 안정
- #5071 : 만추대성 조합으로 근 비대성이 우수하고 근피가 깨끗하며 근수부 청수 발현이 없는 백수계 조합임
- #5129, 5130 : 두 조합은 유사 조합으로 만추대성이며 근장이 길고 근 비대성이 양호하나 근미맺힘이 조금 느린 경향을 보임. 근피가 깨끗하고 생리장해 안정
- #6031 : H 근형으로 근장, 비대성, 근미맺힘 우수. 근수부 청수 발현이 없고 근피 깨끗 대비품종 대비 추대성 및 생리장해 안정





[그림 4] 봄 시험 백수무 선발 조합

청수무 성능검정은 대비품종인 招福 대비 추대성과 생리장해가 안정적이고, 근수부 청수색이 진하며 내부 육색이 청육인 조합으로 후보조합을 선발하였다. 招福은 중국 현지 청수무 우점 품종으로 추대성이 안정되고 내부 육색이 청색이 약하게 발현되는 품종으로 근 비대성은 좋으나 근미맷힘이 느린 단점이 있다. 봄 시험에서 招福 대비 추대성과 원예적 특성을 고려하여 2 조합_#2090, 6267을 선발하였다. 선발된 조합의 주요 특성은 아래와 같다.

#2090 : 청피청육계 조합으로 청수가 진하고 내부 육색도 청색 발현. 추대성은 대비품종과 유사하거나 조금 빠른 경향을 보이거나 기타 생리장해 안정

#6267 : 대비품종과 근형이 다른 타입으로 비대성은 약하나 근장이 길고 근수부 청수 부위가 긴 특성을 보이며 내부 육색도 청색 발현



[그림 5] 봄 시험 청수무 선발 조합

(나) 여름 시험 결과

여름 시험은 중국 현지 여름 작형을 고려하여 국내 여름무 주산지인 강원도에서 농가 시험을 진행하였다. 연구소 봄 시험과 마찬가지로 백/청수무를 대상으로 시험을 진행하였으며, 지역은 강원도 정선군 임계면과 홍천군 내면, 2지역에서 지역별, 시기별로 조합 특성을 파악하기 위해 파종 시기를 달리하여 진행하였고, 사용된 대비품종 및 조합은 동일하게 공시하였다(표 5).

정선 지역 시험은 전반적으로 생육 후기 장마 기간의 영향(고온다습)으로 흑부병 및 무름병 발생이 다발하였고 근수부 부위(일부착부위)에 열근이 대비품종 및 조합 구분 없이 많이 발생하였다. 백수무와 청수무 중 청수무는 선발 조합이 없었으며 백수무 2조합만 선발하였다. 선발된 조합은 연구소 봄 시험에서 선발된 조합으로 정선 지역에서도 근 특성이 유사하게 나타났다. 선발된 조합의 주요 특성은 아래와 같다

#4147 : 근장이 짧은 타입의 백수계 조합으로 근피가 깨끗하고 근수색이 백색임. 대비품종 대비 추대성이 안정되고 바람들이 양호하고 H 근형의 비대성 우수

#5130 : 추대성 및 생리장해(열근, 바람들이 등) 안정. 근피 깨끗하고 근수부 청수 발현이 없고 H 근형으로 근장 대비 비대성 양호

[표 6] 정선 임계, 선발조합 특성표

품종명	근장 (cm)	근경 (cm)			근중 (g)	근수색*	근피*	엽장 (cm)	바람들이*	추대 (cm)
		상	중	하						
美玉(세농)	28.2	8.0	8.9	8.3	1,300.0	3	3	35.3	5	6.2
#4147	20.8	7.9	9.2	8.9	1,000.0	3	3	42.7	3	0.0
#5130	36.2	7.6	8.1	7.2	1,406.7	4	3	41.3	1	0.0

*근수색 : 1_순백~9_녹색 / 근피 : 1_깨끗~9_불량 / 바람들이 : 1_강~9_약



[그림 6] 정선 지역 선발 조합

홍천 내면 지역 시험은 7~8월 잦은 비와 고온으로 인해 무름병, 흑부병, 검은뿌리썩음병 등이 다발하였고 그 중 검은뿌리썩음병이 대비품종 및 조합에서 많이 발생하였다. 또한 열근이 많이 발생하여 전체적으로 작황이 불량하였고 그로 인해 선발조합은 없었다.



[그림 7] 홍천 지역 시험 결과

(다) 가을 시험 결과

가을 시험은 중국용 백/청수무, 동남아용 남방계, 일본용 봄/여름용을 대상으로 시험을 진행하였고 기존 조합 외에 상반기에 신규로 작성 및 생산하여 종자를 확보한 신규 조합을 포함하여 [표 5]와 같이 수행하였다. 가을 시험 결과 중국 백수무는 신규 5조합을 선발하였고 청수무는 3조합을 선발하였다(그림 8, 9).

- 백수무 선발 조합명 : #6068, 7066, 7071, 5048, 6120
- 청수무 선발 조합명 : #4369, 6268, 5275

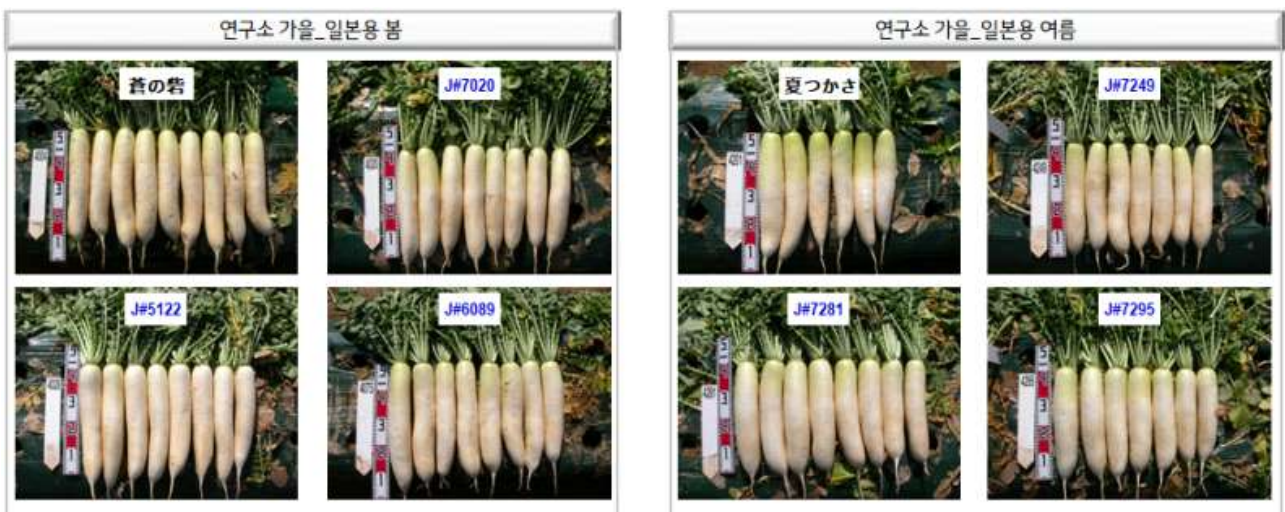


[그림 8] 가을_중국 백수무 선발 조합



[그림 9] 가을_중국 청수무 선발 조합

가을 시험 중 동남아 남방계 시험은 태국, 베트남 등에서 우점 품종하고 있는 Everest (Takii)와 대비하여 근 특성이 우수한 조합이 없어 선발하지 않았다. 그리고 일본용 봄 조합은 #4017의 16조합을 선발하였고, 여름 조합은 #6221 의 13조합을 선발하였다.



[그림 10] 가을_일본 봄/여름용 선발 조합

(라) 겨울 시험 결과

겨울 시험은 중국 현지 겨울 작형(중국 호북성 등)을 대비하여 국내 겨울무 주산지인 제주도에 농가 시험을 진행하였다. 시험 지역은 제주도 성산과 구좌에서 진행되었으며 여름 시험에 사용된 대비품종 및 조합으로 동일하게 진행 되었다. 겨울 월동 작형 시험 결과 백수무는 대비 품종 대비 근수부 청색이 약간 발견되나 내한성이 안정적이고 비대력과 근미맛힘이 양호하며 저온 신장성이 좋은 #5027을 예비 선발하였고, 청수무는 청수색이 진하고 근피가 깨끗하며 내부 육색이 청육인 #2062을 예비 선발하였다. 그러나 2조합 근 내부 조사 시 한파와 폭설로 인해 냉해 피해를 심하게 받아 내부 적심증과 바람들이 증상이 많이 발생하여 최종 선발을 보류하고 차년도 재 시험하기로 결정하였다.



[그림 11] 제주 지역 겨울 시험 결과

(2) 2차년도 국내 재배 시험 결과

2차년은 아래 [표 7]과 같이 봄부터 월동 작형까지 연구소와 국내 농가 시험을 진행하여 중국 백수무와 청수무, 일본용 무 후보조합을 선발하였다. 1차년도와 마찬가지로 봄과 가을은 연구소에서 성능검정을 수행하였고, 고온기인 여름은 강원 지역, 저온기인 겨울은 제주 지역에서 시험을 진행하였다.

[표 7] 2차년도 작형별 성능검정 경종 개요

작형	장소	파종	조사	대비품종	공시조합
봄	연구소	2018.04.17	2018.06.25	*백수 R-301type; 九天玉峰, 美玉, 美夏(세농), 多喜3号(백막진) 등 9품종 한백옥type; 玉山白雪, 美雪(세농)등10품종	71조합
				*청수; 백봉(팜한농), 翠玉(세농) 등 5품종	45조합
여름	정성 임계	2018.05.31	2018.08.13	*백수: 多喜3号(백막진), 玉山白雪(세농)	11조합

	강릉 왕산 평창 대관령	2018.06.21	201809.06		
가을	연구소	2018.09.05	2018.11.05	*백수 R-301type; 美玉,美夏(세농), 喜3号(백막전) 등 10품종 한백옥type ; 玉山白雪, 美雪(세농) 등 8품종	106조합
				*청수; 백봉(팜한농), 翠玉(세농) 등 5품종	131조합
겨울	제주	2018. 09.11~12	2019.02.13	*백수: 多喜3号(백막전), 玉山白雪(세농)	10조합

(가) 봄 시험 결과

2차년도 봄 시험은 성능검정 외 전시포를 운영하여 중국 핵심 거래처 1개사를 초청하였고 공동 조사를 실시하여 우수 조합에 대해 예비 선발하였다.



[그림 12] 2차년도 전시포 운영 및 중국 거래처 공동 조사 수행

백수무 선발 조합은 대비품종 대비 기본적으로 추대성과 생리장해가 안정된 조합으로 선발하였다. 대비품종 중 ‘多喜3号’는 중국 현지 로컬 회사인 백막전 품종으로, R-301 type의 신품종으로 판매 중이며 근피와 근수색(백색)이 우수하고 비대력과 근미맷힘이 좋은 특성을 보였다. ‘玉山白雪’은 세농 품종으로 근수부 청색 발현을 개량한 한백옥 type의 신품종이라고 하나 봄 시험 결과 청수 발현이 나타나 크게 개선된 품종으로 보이지 않았다. 기존 대비품종과 신규 대비품종을 대비하여 백수무는 근수부에 청색 발현이 적고 근피가 깨끗하며 비대력과 근미맷힘이 양호한 7조합을 선발하였다(선발조합명: #5026, 5154, 6028, 6058, 6069, 7030, 7071).





[그림 13] 봄 시험 백수무 선발 조합

[표 8] 봄 선발 조합 특성표

품종명	근장 (cm)	근경 (cm)			엽장 (cm)	근중 (g)	근피*	근수색*	열근*	추대 (cm)
		상	중	하						
多喜3号	29.3	6.1	8.1	5.4	42.7	1,183.3	3	3	5	8.0
玉山白雪	35.0	5.4	7.9	5.2	36.0	1,350.0	4	5	4	0.3
#5026	37.3	6.7	8.7	6.0	45.3	1,716.7	4	4	3	0.0
#5154	28.0	6.4	7.9	5.4	32.7	1,143.3	3	4	3	0.0
#6028	32.7	6.3	7.7	5.6	42.3	1,216.7	3	3	3	0.0
#6058	34.7	6.8	8.5	6.3	35.0	1,616.7	3	3	3	0.0
#6069	33.7	6.4	7.8	5.5	37.3	1,250.0	3	4	3	0.0
#7030	35.0	7.0	8.5	5.4	37.7	1,550.0	4	3	4	0.0
#7071	33.0	6.0	7.2	5.2	40.0	1,133.3	3	3	3	0.0

*근수색 : 1_순백~9_녹색 / 근피 : 1_깨끗~9_불량 / 열근 : 1_강~9_약

(나) 여름 시험 결과

여름 시험은 정선과 강릉, 평창에서 동일한 백수무 조합으로 시험을 진행하였다. 시험 결과 정선에서 1조합(#6028), 강릉에서 1조합(#6058)을 각각 선발하였다. 선발된 조합은 대비품종에 비해 외관 특성이 조금 부족한 부분들이 있으나 추대에 안정적이고, 근 신장력과 비대력이 양호하여 선발하였다.



[그림 14] 여름 시험 백수무 선발 조합

(다) 가을 시험 결과

2차년도 상반기 확보한 신규 조합을 이용하여 성능검정을 실시하여 백수무는 대비품종 대비하여 근수색이 백색인 조합으로 신규 4조합을 선발하였고 청수무는 백봉 품종을 대비하여 청

수색이 진하고 근피가 깨끗하며 H 근형인 신규 조합을 3조합 선발하였다.

- 백수무 선발 조합명 : #8032, 8118, 8127, 8129
- 청수무 선발 조합명 : #8275, 8294, 8314



[그림 15] 가을_백수무/청수무 선발 조합

(3) 3차년도 국내 재배 시험 결과

3차년도부터 중국용을 주요 타겟으로 국내 재배 시험을 진행하였으며, [표 9]와 같이 연구소와 농가 시험을 진행하여 후보조합을 선발하였다.

[표 9] 3차년도 작형별 성능검정 경종 개요

작형	장소	파종	조사	대비품종	공시 조합
봄	연구소	2019.04.17	2019.06.18	*백수; 美夏, 美玉, 玉山白雪 (世農), 多喜3号(百幕田) 등 18품종	백수; 101 청수; 56
				*청수; 백봉, 관동여름(팜한농), 翠玉(世農) 등 5품종	
여름	강원 임계	2019.05.24	2019.08.06	*백수; 玉山白雪(世農), 多喜3号(百幕田)	백수; 10
	강원 홍천	2019.06.20	2019.09.03		
가을	연구소	2019.08.27	2019.11.31	*백수; 美夏, 美玉, 玉山白雪 (世農), 多喜3号(百幕田) 등 15품종 *청수; 백봉(팜한농), 翠玉(世農) 등 4품종	백수; 138 청수; 92
겨울	제주 성산	2019.10.06~07	2020.01월~02월	*백수; 玉山白雪(世農), 捷如美 (Jewelry)	백수; 8

(가) 봄 시험 결과

3차년도 봄 백수무 시험 결과 공시 조합 중 대비품종인 ‘美夏’와 ‘玉山白雪’을 대비하여 추대성이 안정적이고 생리장해 발생이 없으며 비대력과 근미맺힘 등 근형이 양호한 2조합을 선발하였다. 선발된 조합의 주요 특성은 아래와 같다.

- #7071 : 추대성이 안정적이고 근 신장력, 비대력, 근미맺힘 등 근형 양호. 근수부 청색 발현은 없는 백수 조합이나 ‘美夏’ 대비 다소 약함
- #9102 : ‘R-301’ 타입으로 근수부 청색 발현이 없는 백수 신조합으로 근피 깨끗하고 비대력과 근미맺힘이 좋으며 생리장해(공동, 열근 등) 안정. 추대성은 대비품종인 ‘美夏’ 보다 안정적이고 ‘玉山白雪’과는 유사하게 나타남



[그림 16] 봄 시험 백수무 선발 조합

[표 10] 연구소 봄 백수무 선발 조합 특성표

품종명	근장 (cm)	근경 (cm)			근중 (kg)	근수색*	엽장 (cm)	엽수	엽중 (kg)	추대 (cm)
		상	중	하						
美夏	25.7	6.6	7.5	5.8	0.95	3	48.3	23.7	0.43	26.5
玉山白雪	40.0	6.4	8.2	6.8	1.57	3	45.0	18.0	0.30	1.0
#7071	34.3	6.3	7.5	6.1	1.23	4	36.7	31.7	0.33	0.0
#9102	29.0	6.6	7.8	6.3	1.07	3	49.7	29.7	0.40	0.7

*근수색; 1_순백~9_녹색

중국용 청수무는 한국형 타입의 청수무보다 중국 재래종인 청피청육(외관 청수색이 진하고 내부 육색도 청색이 짙게 발현) 타입의 무를 선호하고 있으며 추대성이 안정적인 만추대성 청피청육 품종을 요구하고 있어 시장 요구에 맞는 조합 선발하고자 조사하였으나 현 당사 조합들은 추대성이 불안정하고 청육색이 연하여 3차년도에는 선발된 조합이 없었다.

(나) 여름 시험 결과

3차년도 여름 시험은 중국 백수무 조합에 대해서만 시험을 진행하여 2조합을 선발하였다. 선발된 조합의 주요 특성은 아래와 같다.

- #6028 : 근수부 청색 발현이 없는 백수 조합으로 만추대성이며 비대력과 근미맷힘이 우수 생리장해(바람들이, 열근, 적/흑심 등) 안정
- #8052 : 근수부 청색이 약간 발현되는 특성을 보이나 만추대성으로 비대력과 근미맷힘 등 근형이 우수하고 생리장해 안정



[그림 17] 여름 시험 백수무 선발 조합

[표 11] 여름 시험 백수무 선발 조합 특성표

품종명	근장 (cm)	근경(cm)			근중 (kg)	근수색*	엽장 (cm)	엽중 (kg)	추대 (cm)
		상	중	하					
多喜3号	33.7	8.7	9.4	8.8	1.83	3	42.0	0.30	12.7
#6028	36.8	8.4	8.9	8.4	1.93	3	44.0	0.28	0.0
#8052	35.8	8.7	9.4	8.6	2.06	5	44.5	0.23	0.0

*근수색; 1_순백~9_녹색

(다) 가을 시험 결과

19년 상반기에 확보한 신규 조합들을 이용하여 각 타입별(백수, 청수)로 시장 요구 특성에 맞는 후보조합을 선발하였다. 백수무는 ‘美夏’와 ‘玉山白雪’을 대비하여 근형, 비대력 등 근 외관 특성이 우수하고 생리장해가 안정적인 조합으로 10조합 선발하였다.

- 백수무 선발 조합명 : #9012, 9020, 9025, 9033, 9042, 9061, 9070, 9082, 9089, 9118

선발된 조합 중 3조합_#9025, 9033, 9070은 ‘玉山白雪’과 대비하여 근수부 청수 발현이 없는 백수무로 근장이 길고 비대력과 근미맷힘이 양호한 조합으로 선발하였으며 나머지 7조합은 R-30 1 타입인 ‘美夏’을 대비하여 백수이면서 비대력과 근미맷힘이 좋은 조합으로 선발하였다.





[그림 18] 가을_백수무 선발 조합

[표 12] 가을 백수무 선발 조합 특성표

품종명	근장 (cm)	근경(cm)			엽장 (cm)	엽수 (매)	근중 (g)	엽중 (g)	비고
		상	중	하					
美夏	29.4	7.0	8.1	7.6	40.3	27.0	1,158.3	316.7	
多喜3号	27.9	7.1	8.1	7.6	38.2	26.3	1,041.7	266.7	
#9012	29.5	6.9	7.3	6.8	47.7	25.5	1,016.7	316.7	‘美夏’ 타입
#9020	28.8	6.4	7.0	6.8	43.3	29.8	900.0	350.0	‘美夏’ 타입
#9025	35.9	6.7	7.4	7.2	44.5	30.0	1,250.0	333.3	‘玉山白雪’ 타입
#9033	32.1	6.7	7.1	6.9	43.9	26.8	1,058.3	266.7	‘玉山白雪’ 타입
#9042	28.7	7.4	7.8	7.2	48.2	26.0	1,033.3	300.0	‘美夏’ 타입
#9061	28.9	7.1	7.8	7.8	54.3	34.7	1,100.0	500.0	‘美夏’ 타입
#9070	34.4	7.0	7.8	7.2	48.5	27.5	1,216.7	366.7	‘玉山白雪’ 타입
#9082	29.7	7.1	7.5	7.0	53.0	28.2	1,016.7	483.3	‘美夏’ 타입
#9089	30.8	7.1	7.7	7.1	51.8	28.2	1,083.3	466.7	‘美夏’ 타입
#9118	27.4	7.4	7.8	7.5	48.1	27.2	1,091.7	333.3	‘美夏’ 타입
玉山白雪	36.4	6.5	7.7	6.6	50.1	20.5	1,183.3	300.0	
美妙99	34.8	7.0	7.7	7.1	46.3	19.2	1,283.3	300.0	

청수무 신규 조합을 이용하여 가을 시험을 진행하였으나 근 비대력과 근미맷힘 등이 부족하고 생리장해 중 바람들이 발현이 신규 조합에서 많이 발현되어 선발된 조합은 없었다.

(라) 겨울 시험 결과

제주도 겨울 월동 시험은 2월, 1차 조사 시 대비품종인 ‘R-301’과 비교하여 비대력과 근장이 길고 근피가 양호한 2조합을 예비 선발하였으나 3월 최종 조사 시 추대가 발생하고 근수부 청수 발현이 많아 최종적으로 선발되지 않았다. 월동 작형에 적합한 계통, 특히 저온 생육 중 청색 발현이 없는 백수무 계통 육성이 필요함을 확인하였다.



[그림 19] 겨울 시험 결과

(4) 4차년도 국내 재배 시험 결과

4차년도에도 중국용을 주요 타겟으로 국내 재배 시험을 진행하였으며, [표 13]과 같이 연구소와 국내 농가 시험을 진행하여 후보조합을 선발하였다.

[표 13] 4차년도 작형별 성능검정 경종 개요

작형	장소	파종	조사	대비종	공시 조합
봄	연구소	2020.04.09	2020.06.18	*백수: 美夏, 玉山白雪(세농), 多喜3号 (백막진), 捷如美(Jewelry seed) 등 20품종 *청수: 백봉, 관동여름, 신청일품(팜한농), 翠玉(세농) 등 6품종	백수 : 123조합 청수 : 68조합
	전북 고창	2020.04.13	2020.06.30	*백수: 捷如美(Jewelry seed), 玉山白雪(세농) *청수: 관동여름, 신청일품(팜한농)	백수 : 12조합 청수 : 8조합
여름	강원 임계	2020.05.26	2020.08.05	*백수: 捷如美(Jewelry seed), 玉山白雪(세농) *청수: 관동여름, YR위하여(팜한농)	백수 : 12조합
	강원 내면	2020.06.17	2020.09.10		청수 : 8조합
가을	연구소	2020.08.26	2020.11.02	*백수: 捷如美(Jewelry seed), 多喜3号, 백합, 백보, 막진영추(백막진), 美夏, 玉山白雪(세농) 등 20품종 *청수: 관동여름, 신청일품(팜한농), 만사형통(농우) 등 10품종	백수 : 118조합 청수 : 134조합
겨울	제주 성산	2020.09.08 2020.09.22	2021. 01. ~ 03.	*백수: 捷如美(Jewelry seed), 玉山白雪(세농) *청수: 만사형통, 오사리, 청정고원(농우) 등 8품종	백수 : 7조합 청수 : 41조합

(가) 봄 시험 결과

4차년도 봄 시험은 연구소와 농가 시험을 병행하여 진행하였다. 봄 농가 시험은 20년 초반 코로나 19로 인해 중국 현지 봄 시험 불가로 국내 봄 농가 시험을 추가하여 추대성 및 근 특성을 확인하였다. 연구소 봄 백수무 시험은 공시 조합 중 대비품종(美夏, 玉山白雪 등)과 비교하여 추대성과 비대력, 근 신장력, 근피 등 근 외관 특성이 양호하고 생리장해(바람들이, 열근 등)가 안정적인 조합으로 9조합을 선발하였다. 특히 이번 20년 봄 시험은 추대성이 안정된 조합 선발을 목표로 조기 파종을 실시하였고 그 결과 美夏 등 ‘R-301’ 타입의 품종들은 추대가 많이 진전되어 근 특성 확인이 불가하여 玉山白雪(세농) 품종을 대비하여 조합을 선발하였다.

- 백수무 선발 조합명 : #9020, 9030, 9037, 9058, 9067, 9126, 9143, 9145, 9152

선발된 조합 중 #9020과 #9143은 3차년도 가을 시험에서 후보조합으로 선발된 조합으로 추대 안정, 근 신장력, 비대 등 근 특성이 양호하였으며 생리장해가 안정적인 특성을 보였다. 그리고 나머지 7조합은 이번 시험에서 신규로 선발한 조합으로 #9126을 제외하고 추대가 안정적이었으며 근 외관 특성 및 생리장해가 안정적이었다. #9126의 추대성은 대비품종과 유사하나 근 비대력이 우수하고 순백색 근피로 외관 품질이 양호하여 선발하였다.



[그림 20] 연구소 봄 시험 백수무 선발 조합

[표 14] 연구소 봄 시험 백수무 선발 조합 특성표

BN	근장 (cm)	근경 (cm)			엽장 (cm)	근중 (g)	엽중 (g)	추대고 (cm)
		상	중	하				
玉山白雪	34.9	6.6	7.6	6.3	37.4	1220.0	300.0	71.7
#9020	30.5	7.6	8.0	6.2	40.8	1208.3	416.7	14.5
#9030	31.9	8.3	8.9	6.6	41.5	1500.0	366.7	2.4
#9037	33.8	8.6	9.5	7.6	40.0	1866.7	300.0	0.3
#9058	30.6	7.5	8.4	6.8	34.9	1316.7	300.0	1.8
#9067	33.0	7.7	8.2	6.8	34.8	1466.7	250.0	0.0
#9126	29.1	7.7	8.6	6.9	38.5	1341.7	300.0	36.8
#9143	35.5	7.7	7.9	6.8	30.7	1466.7	216.7	0.3
#9145	34.1	7.8	8.3	6.8	32.3	1508.3	258.3	0.0
#9152	34.3	7.8	8.3	6.4	32.7	1383.3	250.0	0.0

청수무 봄 시험은 중국 재래종의 청피청육 타입이면서 추대성이 안정된 조합 선발을 목표로 시험을 진행하였으나 봄 조기 파종으로 인해 대비품종들 모두 추대가 되었으며, 한국형 타입의 봄무 품종들도 일부 추대가 되었고 당사 조합들은 모두 추대 되고 근 특성이 불량하여 선발 하지 않았다.

봄 농가 시험은 앞서 언급한 것과 같이 중국 현지 시험 취소로 국내 봄 농가 시험으로 대체 하여 시험을 진행하였다. 시험 결과, 6월 중하순 고온 다습으로 병 발생이 많았고 생리장해인 열근이 다발하는 등 생육이 불량하였다. 특히 청피청육 조합들은 모두 추대되었고, 한국형 청수무는 일부 추대가 안정적이거나 열근이 많이 발생하였고, 백수무 조합들은 근수 부위 청수 발현 등으로 전반적으로 작황이 불량하여 선발된 조합이 없었다.



[그림 21] 봄 농가 시험 결과

(나) 여름 시험 결과

여름 작형으로 수행한 백수무 성능검정은 강원도 2지역 시험의 결과를 종합하여 최종 1조합을 선발하였다. 선발된 조합은 #9117로 'R-301' 타입의 판엽계로 추대성은 玉山白雪(세농)과 유사하나 R-301보다는 안정적이며 근수색이 순백색으로 비대력과 근미맷힘이 우수한 특성을 최종 선발하였다.



[그림 22] 여름 시험 백수무 선발 조합

(다) 가을 시험 결과

20년 상반기에 확보한 신규 조합을 이용하여 성능검정을 수행하였다. 백수무는 대비품종 대비 근 신장력과 비대, 근미맷힘 등 근 특성이 양호하고 생리장해(열근, 바람들이 등)가 안정적이며, 근수부 청수 발현이 없는 조합으로 13조합을 선발하였다.

- 백수무 선발 조합명 : #0007, 0008, 0011, 0016, 0026, 0028, 0043, 0044, 0075, 0094, 0104, #0127, 0128





[그림 23] 가을 시험 백수무 선발 조합

[표 15] 가을 시험 백수무 선발 조합 특성표

BN	근장 (cm)	근경 (cm)			엽장 (cm)	엽수 (매)	근중 (g)	엽중 (g)
		상	중	하				
多喜3号	30.7	7.1	8.2	6.8	35.6	26.5	1291.7	250.0
玉山白雪	36.8	6.2	7.2	6.2	35.9	18.7	1133.3	191.7
#0007	31.3	6.5	7.2	6.3	36.3	22.2	1100.0	266.7
#0008	33.4	6.9	7.5	6.6	38.3	21.8	1250.0	258.3
#0011	33.6	7.0	7.9	7.0	37.5	19.8	1250.0	258.3
#0016	31.2	6.7	7.3	6.5	37.9	22.7	1100.0	241.7
#0026	30.1	7.2	7.5	6.9	37.3	24.5	1166.7	250.0
#0028	29.8	8.0	8.1	7.4	36.7	23.3	1366.7	566.7
#0043	35.0	7.4	7.6	6.7	36.8	22.8	1316.7	250.0
#0044	30.5	7.3	7.5	6.8	36.4	21.3	1125.0	208.3
#0075	30.8	6.8	7.4	6.8	39.7	25.8	1083.3	225.0
#0094	29.1	7.4	7.7	6.9	42.3	26.8	1158.3	291.7
#0104	33.1	6.5	6.9	6.0	36.0	20.0	1050.0	225.0
#0127	33.8	6.4	7.0	6.3	34.8	25.3	1083.3	183.3
#0128	31.6	6.5	7.4	7.3	39.7	29.2	1141.7	300.0

청수무는 1차로 근 외관 특성을 보고 후보조합들을 선발하려고 하였으나 내부 육색이 대부분 연하거나 백색으로 발견되어 최종 선발된 조합이 없었다. 그러나 #0261 조합은 청육 발현이 다소 개선되어 예비 선발하고 차년도 봄 시험에서 추대성과 근 외관 특성, 내부 청육 발현 정도를 재확인 후 최종 선발하기로 하였다.



[그림 24] 가을 시험 청피청육 예비 선발 조합

(라) 겨울 시험 결과

19년 예비 선발 및 20년 봄 선발 조합을 이용하여 국내 겨울 시험을 진행하였다. 21년 1월부터 3월까지 생육 및 수확 조사를 실시하여 최종 2조합을 중국 월동 후보조합으로 선발하였다. 선발된 조합은 #9117과 #9118로 대비품종 대비 근장과 비대력, 근미맷힘 등이 양호하고 내한성도 양호한 특성을 보여 선발하였다. 이 중 #9117은 20년 여름 작형에서 선발된 조합으로 월동 작형으로도 가능성을 확인 되어 차년도 여름과 월동 작형으로 시험 계획을 수립하였다.



[그림 25] 월동 시험 백수무 선발 조합

(5) 5차년도 국내 재배 시험 결과

5차년에도 4차년과 마찬가지로 중국용을 주요 타겟으로 국내 재배 시험을 진행하였으며, [표 16]과 같이 연구소와 국내 농가 시험을 진행하여 후보조합을 선발하였다.

[표 16] 5차년도 작형별 성능검정 경종 개요

작형	장소	파종	조사	대비종	공시 조합
봄	연구소	2021.04.15	2021.06.23.(백수)	*백수: 美夏, 玉山白雪(세농), 多喜3号(백막전), 捷如美(Jewelry seed) 등 18품종 *청수: 백봉, 관동여름, 신청일품(팜한농), 감탄, 만사형통(농우) 등 16품종	백수 : 119조합
			2021.07.02(청수)		청수 : 114조합
여름	강원 진부	2021.06.02	2021.08.12	*백수: 捷如美(Jewelry seed), 玉山白雪(세농)	백수 : 15조합

	강원 내면	2021.06.29	2021.09.09	*청수: 관동여름, YR위하여(팜한농)	청수 : 12조합
가을	연구소	2021.08.26	2021.11.18	*백수: 捷如美(Jewelry seed), 多喜3号, (백막진), 玉山白雪(세농) 등 11품종 *청수: 관동여름, 신청일품(팜한농), 감탄, 만사형통(농우) 등 17품종	백수 : 154조합 청수 : 132조합

(가) 봄 시험 결과

5차년도 봄 시험은 백수무와 청수무를 대상으로 성능검정을 진행하였다. 백수무는 기존과 동일한 목표로 추대성이 안정되고 근 품질이 우수한 조합을 대상으로 후보조합을 선발하였으며 청수무는 중국용 청피청육과 국내 청수무를 고려하여 조합을 선발하였다.

백수무는 봄 시험을 통해 추대가 안정되고 근수부 청수 발현이 없으며, 근 외관 특성이 양호한 조합으로 7조합을 선발하였다. 선발된 조합 중 #0127은 20년 가을에도 선발된 조합으로 추대가 안정된 특성이 있어 봄부터 가을까지 재배 폭을 넓혀 현지 시험을 진행할 예정이며, 그 외 6조합은 차년도에 봄과 여름 작형으로 현지 시험을 진행할 예정이다.

- 선발 조합명 : #0018, 0019, 0112, 0123, 0125, 0126, 0127



[그림 26] 봄 시험 백수무 선발 조합

[표 17] 봄 시험 백수무 선발 조합 특성표

BN	근장 (cm)	근경 (cm)			엽장 (cm)	엽수 (매)	근중 (g)	추대 (cm)
		상	중	하				
R 81	24.5	6.6	8.1	6.1	41.3	0.0	1016.7	65.7
玉山白雪	36.3	5.7	6.6	5.6	49.7	20.0	1166.7	2.8
7018	28.5	7.4	8.2	6.1	45.0	31.2	1350.0	0.0
7019	30	7.0	7.9	5.9	49.0	36.3	1266.7	0.0
7112	33.4	6.5	7.2	5.4	42.6	26.6	1280.0	0.0
7123	29.5	6.6	7.6	6.1	40.7	26.2	1183.3	0.2
7125	30	7.5	8.3	6.3	42.7	24.3	1466.7	0.0
7126	32.3	6.8	7.9	6.5	51.0	25.7	1400.0	1.3
7127	31	7.6	8.3	7.3	43.3	28.3	1400.0	0.0

청수무는 청피청육과 국내 청수무 타입으로 구분하여 조사를 실시하였다. 청피청육 조합 조사 결과 대부분 추대가 발생하였고 근 발달이 저조하였으며, 내부 육색이 백색이었으며, 20년 하반기 예비 선발된 조합인 #0261 조합도 추대성이 약하고 근 비대 및 근미맷힘이 느리고 내부 청육 발현도 약하여 최종 선발되지 않았다. 국내 청수무 조합은 국내 리딩품종과 비교하여 청수색이 진하고 추대가 안정되며 비대와 근미맷힘 등이 양호한 조합으로 2조합 선발하였다. 선발된 조합은 k#28와 k#35이며 2조합에 대해서는 차년도 봄 농가 시험을 진행하여 국내 품종 개발 가능성을 확인 예정이다.



[그림 27] 봄 시험 국내 청수무 선발 조합

[표 18] 봄 시험 국내 청수무 선발 조합 특성표

BN	근장 (cm)	근경(cm)			엽장 (cm)	근중 (g)	추대 (cm)
		상	중	하			
신청일품(팜한농)	26.8	10.0	10.1	7.7	55.0	1583.3	1.4
청일춘(아시아)	26.3	10.4	10.7	7.6	58.8	1658.3	1.1
k#28	30.5	8.5	10.5	9.4	52.8	1991.7	0.3
k#35	28.7	9.1	11.2	10.3	53.3	2116.7	0.0

(나) 여름 시험 결과

5차년도 여름 시험은 진부에서는 2조합을, 내면 지역에서는 1조합을 선발하였다. 2 지역에서 모두 선발된 조합은 #0043으로 대비품종 대비 근장이 길고 근수부 청수 발현이 없으며 비대와 근미맛함이 양호하였으며 생리장해가 안정적인 특성을 보였다. 그리고 진부에서만 선발된 #0093은 대비품종과 같은 판엽으로 비대력이과 근미맛함이 우수한 특성을 보였으나 열근이 대비품종보다 약한 부분이 있었으나 근형이나 근 품질이 양호하여 예비 선발하였다.



[그림 28] 여름 시험 선발 조합 (좌_진부 / 우_내면)

(다) 가을 시험 결과

상반기에 확보한 신규 조합을 이용하여 하반기 성능검정을 수행하여 백수무 14조합, 국내 청수무 4조합을 예비 선발하였다. 백수무는 R-301 대비하여 근형과 비대력이 좋고 생리장해가 안정적인 조합으로 선발하였으며 이 중 #9118은 3차년 가을 시험에서 선발되었던 조합이었으며, #9143은 4차년 봄 시험에서 선발되었던 조합으로 차년도에 현지 시험을 진행할 예정이다. 나머지 12조합은 차년도 봄 시험을 통해 추대성과 근 특성 확인 후 현지 시험에 적합한 조합을 선발할 예정이다.

- 선발 조합명 : #9118, 9143

#1008, 1011, 1025, 1026, 1029, 1032, 1048, 1055, 1063, 1102, 1115, 1134





[그림 29] 가을 시험 백수무 선발 조합

[표 19] 가을 시험 백수무 선발 조합 특성표

BN	근 장 (cm)	근경(cm)			엽 장 (cm)	엽 수 (매)	근 중 (g)	엽 중 (g)
		상	중	하				
捷如美	32.0	7.6	8.9	8.0	54.5	30.0	1600.0	525.0
#1008	31.0	7.8	8.1	7.8	50.5	24.5	1450.0	325.0
#1011	29.5	8.0	7.8	7.3	55.5	25.0	1300.0	300.0
#1025	31.0	7.9	8.4	7.9	56.0	32.0	1550.0	500.0
#1026	31.0	7.6	8.0	7.5	58.5	26.5	1400.0	400.0
#1029	33.0	7.8	7.9	7.3	54.0	29.0	1400.0	350.0
#1032	31.5	7.7	8.4	8.3	54.5	30.0	1500.0	450.0
#1048	34.5	8.4	8.9	8.5	6.7	28.0	1850.0	575.0
#1055	28.0	7.5	8.7	7.9	53.5	30.5	1450.0	500.0
#1063	29.5	8.3	8.6	8.2	57.5	32.0	1400.0	525.0
#9118	30.0	7.8	8.4	8.3	51.5	37.0	1400.0	450.0
#1102	29.5	7.9	8.5	7.2	51.0	23.5	1550.0	450.0
#9143	35.0	7.6	8.4	7.3	42.0	28.0	1650.0	325.0
#1115	31.0	7.7	8.4	8.1	52.5	28.5	1450.0	375.0
#1134	32.0	7.8	9.1	7.8	55.0	23.5	1650.0	450.0

국내 청수무는 국내 리딩품종인 신청일품과 관동여름을 대비하여 근형과 생리장해 등을 비교하여 4조합을 예비 선발하였다. 선발된 조합은 k#56, 85, 86, 92으로, 대비품종 대비 비대와 근 미맷함이 양호하고 생리장해가 안정적인 특성을 보였다. 이번 선발된 조합은 봄에 선발된 조합과 함께 차년도 봄에 농가 시험을 진행하여 국내 개발 가능성을 검토할 예정이다.



[그림 30] 가을 시험 국내 청수무 선발 조합

[표 20] 가을 시험 국내 청수무 선발 조합 특성표

BN	근 장 (cm)	근경(cm)			엽 장 (cm)	엽 수 (매)	근 중 (g)	엽 중 (g)
		상	중	하				
신청일품	29.5	8.1	10.2	8.5	54.5	22.0	1750.0	400.0
관동여름	29.0	8.3	10.4	9.4	61.5	27.0	1850.0	500.0
56	27.0	8.8	10.8	9.3	53.0	29.5	1875.0	500.0
85	28.5	7.7	10.9	9.7	53.5	32.0	2025.0	500.0
86	26.5	7.9	10.4	8.9	53.0	29.0	1750.0	450.0
92	27.5	7.4	10.3	9.4	51.0	27.5	1800.0	400.0

나. 해외 시험을 통한 조합 선발

국내 재배 시험을 통해 후보로 선발된 조합들을 이용하여 해외 현지 시험을 진행하였다. 각 연차별로 후보조합을 선발하고 그 이듬해에 타겟으로 하는 국가의 거래처를 통해 거래처 농장 및 현지 농가 시험을 진행하여 현지에 적합한 조합을 선발하였다. 해외 현지 시험은 전적으로 해외 거래처에 위탁하여 진행되었으며 현지 상황에 맞게 재배되어 평가가 진행되었으며, 연차별 상황에 따라 공동 조사 또는 거래처 단독 조사 후 조합을 선발하였다.

(1) 1차년도 해외 시험 결과

1차년에는 중국과 태국에서 현지 시험이 진행되었다. 중국은 2개社에서 백수무와 청수무를 대상으로 현지 시험을 진행하였고 태국은 남방계 무를 대상으로 시교 사업을 진행하였다. 중국 A社는 [표 21]과 같이 호북성 한천시와 은시에서 봄과 여름 작형으로 시험을 진행하였고 S社는 [표 22]와 같이 백수무는 호북성에서 청수무는 감숙성에서 시험을 진행하였다.

[표 21] A社_중국 현지 시험포 경종 개요

작형	지역	파종	조사	대비품종 및 공시조합
중국 봄	호북(湖北)성 한천(漢川)시	2017. 02.14	2017. 05.16	백수: R-301, 春雪玉(북경세농), RACS3010(팜한농) 외 20조합 청수: 招福(대일), 백봉(팜한농) 외 15조합
중국 여름	호북(湖北)성 은시(恩施)시	2017. 05.13	2017. 07.12	백수: R-301, 春雪玉(북경세농) 등 4품종 및 22조합 청수: 招福(대일), 백봉(팜한농) 외 16조합

[표 22] S社_백수무, 청수무 중국 현지 시험 경종 개요

구분	파종 지역	파종	조사	작형	시험 조합
백수	호북(湖北)성	2017.02.28	2017.05.13	봄 노지	#5129, 5130
청수	감숙(甘肅)성	2017.03.28	2017.06.08	봄 노지	#2062, 4369, 5285

(가) A社호_북성 한천시 봄 시험 결과

호북성 한천시 시험은 A社 농장에서 봄 작형으로 시험을 진행하였고, 생육 초반인 3월에 비가 잦고 저온이 지속 되어 전반적으로 생육이 느렸으며, 저온의 영향으로 추대가 많이 진행된 상황이었다. 백수무, 청수무 대비품종인 R-301과 招福이 추대가 많이 진행되어 근형 판단을 하기 힘든 상황이었으나 백수무는 백옥 유형의 春雪玉 품종을 대비하여 조합을 선발하였고 청수무는 백봉 품종을 대비하여 조합을 선발하였다. 백수무 조사 결과 추대 및 생리장해가 안정적이고 근형이 비교적 양호한 5조합을 선발하였다. 선발 조합의 특성은 아래와 같다

- #5024 : 근수부 청수색이 조금 발현되지만, H 근형에 추대성이 매우 안정적이며 기타 생리장해 안정
- #5027 : 근수부 청수 발현이 없고 근피 양호하며, 근비대성과 근미맷힘이 우수.
추대성은 대비품종인 春雪玉과 유사
- #5129, 5130 : 2조합은 유사 조합으로 국내 재배 시험에서 예비 선발된 조합으로 추대성이 안정되고 근미맷힘이 조금 부족하나 근형, 근피 등이 양호하고 생리장해 안정
- #6044 : 근수색 및 근피 우수하고 근형과 비대성이 양호. 추대는 안정적이거나 바람들이가 약하게 발현



[그림 31] 한천시 백수무 선발 조합

[표 23] 한천시 백수무 선발 조합 특성표

품종명	근장 (cm)	근경 (cm)			근수색*	근피*	열근*	엽장 (cm)	위 황병*	추대 (cm)
		상	중	하						
春雪玉(세농)	26.3	7.8	8.5	6.7	5	5	4	34.9	3	12.9
#5024	27.8	7.8	7.5	6.4	5	4	3	31.6	3	0.4
#5027	27.7	7.9	7.8	6.6	4	3	3	29.3	3	12.0
#5129	30.6	8.4	7.6	6.0	4	3	3	31.7	4	1.0
#5130	29.5	8.2	7.7	6.2	4	3	3	34.9	4	4.8
#6044	27.8	8.0	8.2	6.5	4	3	4	31.4	4	1.0

* 근수색: 1-순백 ~ 9-녹색 / 근피: 1-깨끗 ~ 9-불량 / 열근, 시들음병: 1-강 ~ 9-약

청수무 또한 대비품종인 招福이 추대가 많이 진전되고 품종 고유의 특성이 나타나지 않아 당사 판매 품종인 백봉 품종을 대비하여 조합을 선발하였다. 청수무는 청피청육으로 내부 육색과 근피색이 청색으로 진하게 발현되는 조합을 기준으로 선발하였으며, 만추대성 특성을 가진 청피청육 품종이 개발된다면 향후 중국 청수무 품종이 청피청육 품종 시장으로 확대될 것으로 전망하고 있어 거래처 요청으로 청피청육 조합을 공동으로 선발하였다. 선발된 조합은 2조합으로 특성은 아래와 같다.

#6531 : 청수색이 진하고 육색이 청육인 청피청육 조합으로 생리장해인 열근과 바람들이가 안정적이며, 추대성은 백봉과 유사함

#6533 : #6531과 유사한 특성을 보이나 추대성이 백봉보다 조금 빠른 경향을 보임



[그림 32] 한천시 청수무 선발 조합

[표 24] 한천시 청수무 선발 조합 특성표

품종명	근장 (cm)	근경 (cm)			청수색*	육색	열근*	바람들이*	엽장 (cm)	추대 (cm)
		상	중	하						
백봉	25.4	7.3	7.8	6.9	4	백육	5	3	34.5	11.0
#6531	21.0	7.5	7.8	6.7	3	청육	3	3	32.9	10.0
#6533	21.0	6.6	7.3	6.1	3	청육	3	3	32.7	24.8

* 청수색: 1-진녹 ~ 9-연녹 / 열근, 바람들이: 1-강 ~ 9-약

(나) A社_호북성 은시시 여름 시험 결과

호북성 은시 지역은 본래 강수량이 많은 지역이나 17년에는 예년에 비해 더 비가 많이 온 상황이었으며 그로 인해 무의 생육이 전반적으로 느렸다. 또한 5월 중순 파종은 거래처에서 도입한 품종과 당사 조합의 추대성을 확인하기 위해 조기 파종을 실시하였고 조사 시점은 파종 후 60일로 전체적으로 생육이 저조하고 근장이 짧게 나타나는 경향을 보였다. 은시 지역의 백수무 시험은 대비품종인 R-301과 거래처 판매품종인 白官宝羅 품종을 대비하여 조합을 선발하였다. 선발된 조합은 #5129와 #5130으로 이 조합들은 호북성 한천시에서 1차 선발된 조합이었다. 은시 지역에서 선발된 2조합의 특성은 아래와 같다.

#5129 : R-301 대비 근장은 양호하고 추대성 및 생리장해(열근, 바람들이 등)가 안정

#5130 : #5129와 유사한 조합으로 근수색이 백색이며 근피 깨끗하고 추대성과 생리장해 안정



시험포장전경



白官宝罗 #5129 R-301



白官宝罗 #5130 R-301

[그림 33] 은시시 백수무 선발 조합

[표 25] 은시시 백수무 선발 조합 특성표

품종명	근장 (cm)	근경 (cm)			근수색*	근피*	엽장 (cm)	열근*	바람들이*	추대 (cm)
		상	중	하						
R-301	19.3	5.4	5.6	4.2	3	4	48.0	4	1	15.3
白官宝羅	24.0	5.0	5.7	4.9	5	5	47.0	4	1	0.0
#5129	23.7	5.9	5.5	4.3	4	4	43.9	3	1	0.0
#5130	23.1	5.7	5.4	4.3	4	4	43.9	3	1	0.0

* 근수색: 1-순백 ~ 9-녹색 / 근피: 1-깨끗 ~ 9-불량 / 열근, 바람들이: 1-강 ~ 9-약

청수무는 백수무와 비교하여 근 생육이 불량하고 추대도 많이 진전되어 공시한 조합들 중 선발한 조합은 없었다.

(다) S社 백수무, 청수무 시험 결과

S社에서는 당사 백수 2조합을 호북성 분 노지 작형으로 시험을 진행하여 아래 [표 26]과 같은 결과를 공유하였다. S社에서는 #5129는 차년도 재시험용으로 시험 종자를 요청하였으며, #5130은 차년도 확대 시험용으로 대량으로 종자를 요청하였다.

[표 26] S社 백수무 시험 평가 및 결과

조합명	백수 조합 평가 내용	결과
#5129	절葉, 순백, 근피 좋음 근장 짧음. 샘플 요청, 재 시교 검토	재 시험
#5130	절葉, 소葉, 葉 많음, 순백, 근피 좋음 근미 맷임 좋음 균일도 좋음	중점 개발 조합으로 대량 Sample 요청



[그림 34] S社 백수무 시험 결과

청수무는 3조합(#2062, 4369, 5285)이 전달되어 감숙성 봄 노지 작형으로 시험을 진행하였고, 그 결과 청피청육 조합인 #2062와 청피백육인 #4369 조합, 2조합에 대해서만 차년도 재시험하기로 결정하였다.



[그림 35] S社 청수무 시험 결과

(라) 태국 남방계 시험 결과

동남아용으로 개발 중인 RACT4258 조합에 대해서 태국 현지 확대 시험을 진행하였다. RACT4258은 GSP 1단계 2차년과 3차년에 연구소에서 선발되어 4차년부터 GSP 2단계 1차년도까지 태국 현지 시험을 진행하여 판매 가능성을 검토하였다. 그 결과 대비품종인 Everest(Takii) 대비 특성이 양호하여 선발하였고 그 주요 특성은 아래와 같다

- 대비품종 대비 근장, 비대성, 근피 양호
- 절엽으로 엽장이 길고 엽수가 많으며 수확 시 엽부러짐과 탈엽이 적어 수확이 용이
- 열근, 바람들이 등 생리장해 안정적이며 추대성이 대비품종보다 안정되어 고지대 저온기(태국 11월~1월 파종)에 재배가 가능. 시들음병 저항성 조합임

[표 27] 태국 현지 시험 조사 특성표

품종명	근장 (cm)	근중 (g)	수확 용이성 ¹⁾	열근*	바람들이*	육질 정도*	근피*	엽장 (cm)	엽수 (매)	위 황병*	추대성*
Everest	30	898	5	4	5	5	4	46	16	5	7
RACT4258	31	890	4	3	3	4	4	57	17	3	5

1) 수확용이성 : 엽장 길고 엽부러짐과 탈엽 적으며 잎의 털이 없는 것을 선호 * 1-강/우수 ~ 9-약/불량



[그림 36] 태국 현지 시험 결과

(2) 2차년도 해외 시험 결과

2차년도 해외 시험은 중국과 일본에서 진행하였다. 중국 백수무 조합은 호북성 한천과 은시, 2지역에서 진행하였고, 일본은 봄과 여름 작형으로 가고시마, 기후, 홋카이도, 3지역에서 진행하였다.

(가) 중국 백수무 현지 시험 결과

1차년도와 동일한 지역인 호북성 한천과 은시 지역에서 [표 28]과 같은 일정으로 시험을 진행하였다.

[표 28] 중국 현지 시험포 경종 개요 및 결과 요약

지역	파종	조사	대비품종	공시조합	선발 조합 요약
호북(湖北)성 한천(漢川)시	2018.03.11	2018.05.10	玉山白雪, 美夏(세농)	20조합	5조합 선발
호북(湖北)성 은시(恩施)시	2018.05.14	2018.07.16	多喜3号(백막전)		2조합 선발

시험 결과 한천 지역에서 5조합 1차 선발하고 은시 지역에서 2조합을 2차 선발하였다. 1차와 2차 시험 결과를 종합하여 공통 선발된 2조합에 대해서 최종 선발하였고, 1차 때 선발된 3조합은 2차 은시 지역 시험에서 근미맷힘 저조(#5129, 5130)하고 근장이 짧아(#7065) 경쟁력이 부족하다고 판단하여 최종 drop 하였다. 1, 2차에서 선발된 조합은 #6028과 #6058으로 각 조합의 주요 특성은 아래와 같다.

#6028 : 대비품종인 玉山白雪(세농)과 비교하여 근장과 비대력, 근미맷힘이 양호.

근수부 백색으로 근피가 깨끗. 열근은 대비품종과 유사 수준

#6058 : H 근형으로 대비품종 대비 비대와 근미맷힘 우수. 추대성과 생리장해(열근 등) 안정.

근수색은 호북성 한천 지역에서 청수가 조금 발현되었으나 은시 지역에서는 나타나지 않음. 연구소 병리 검정 결과 시들음병/뿌리혹병 복합내병성 조합으로 나타남



[그림 37] 호북성 한천 시험 백수무 선발 조합

[표 29] 호북성 한천 시험 백수무 선발 조합 특성표

품종명	근수색*	근피*	근장 (cm)	근경 (cm)			추대 (cm)	생리장해*	
				상	중	하		열근	바람들이
多喜3号	3	3	25.2	6.8	7.3	5.4	2.1	4	3
玉山白雪	4	4	28.4	6.5	7.0	5.3	0	4	3
#5129	3	3	29.8	7.1	6.9	5.1	0	3	3
#5130	3	3	28.9	6.8	6.8	5.2	0	3	3
#6028	3	3	27.9	6.7	6.7	5.3	0	4	3
#6058	4	3	27.8	6.9	7.0	5.5	0	3	3
#7065	3	3	26.5	7.0	6.9	5.5	0	3	3

* 근수색: 1-순백 ~ 9-녹색 / 근피: 1-깨끗 ~ 9-불량 / 생리장해: 1-강 ~ 9-약



[그림 38] 호북성 은시 시험 백수무 선발 조합

[표 30] 호북성 은시 시험 백수무 선발 조합 특성표

품종명	근수색*	근피*	근장 (cm)	근경 (cm)			추대 (cm)	열근*
				상	중	하		
玉山白雪	3	4	25.8	5.4	5.8	4.8	0	4
美夏	3	3	22.6	5.9	6.2	4.9	0	4
#6028	3	3	24.9	6.1	6.1	5.3	0	4
#6058	3	3	23.8	6.5	6.6	6.1	0	3

* 근수색: 1-순백 ~ 9-녹색 / 근피: 1-깨끗 ~ 9-불량 / 생리장해: 1-강 ~ 9-약

(나) 일본 봄, 여름 현지 시험 결과

일본 2개 회사를 통해 일본 3지역에서 현지 시험을 진행하였다. 일본 A社は 가고시마 지역에서 당사 3조합을, B社は 기후와 홋카이도에서 6조합에 대해 현지 시험을 진행하였다.

[표 31] 일본 현지 시험 경종 개요 및 결과 요약

지역	파종	조사	대비품종	공시조합	선발 조합 요약
가고시마	2018.03.13	2018.05.21	Haruhibiki(Marutane)	3조합	선발 조합 無
기후	2018.02.20	2018.05.21	Tsuyakaze(Takii) Aonotoride(Nanto)	6조합	3조합 선발
홋카이도	2018.05.15	2018.07.18	Aonotoride(Nanto)		2조합 선발

가고시마 시험 결과 3조합 모두 현지 우점 품종에 비해 추대성, 근형(비대, 근미맺힘)과 생리장해가 불안하여 모두 drop 하였다. 기후와 홋카이도 시험은 6조합 중 기후에서 3조합, 홋카이도에서 2조합 선발되었으나 2지역 모두 공통 선발된 J#5063 1조합만 최종 선발하였다.

[표 32] 선발 조합 특성

조합명	지역 및 선발 조합		주요 특성
	기후	홋카이도	
J#5125	O	X	근장대비 비대력 양호. 청수가 열고 추대 안정되나 열근이 발생하여 선발에서 제외
J#5063	O	O	대비품종 대비 추대성과 생리장해 안정. H 근형으로 비대력과 근미맺힘이 양호하고 근피가 깨끗하며 근수부 청색이 연하여 선발
J#6050	O	X	근 신장력이 좋고 비대 양호하며 청수가 열은 장점이 있으나 추대성이 대비품종들과 비교하여 약한 단점으로 선발에서 제외
J#6087	X	O	대비품종 대비 비대력과 근형이 우수하고 청수가 열으며 근피가 깨끗. 추대성은 대비품종과 유사 수준이나 근장이 다소 짧고 열근 발생으로 제외



[그림 39] 일본 기후 및 홋카이도 시험 결과 및 선발 조합

(3) 3차년도 해외 시험 결과

(가) 중국 백수무 현지 시험 결과

3차년 중국 현지 시험은 호북성 한천 시험에 당사 20조합을 공시하여 봄 시험을 진행하였다. 3월 13일 파종하여 5월 15일 수확 조사를 실시한 결과 추대성과 생리장해가 안정적이며 근 외관 품질(근수색, 근형, 근피 등)이 양호한 3조합을 선발하였다. 선발된 조합의 특성은 아래와 같다

- #6028 : 근수부 청색 발현이 없는 백수무로 추대성과 생리장해 안정. 비대력과 근미맷힘 양호
- #7071 : H 근형에 근미맷힘 양호하고 추대성과 생리장해 안정. 청색 발현이 없는 백수무이나 백색 강도가 대비품종보다 다소 약함
- #8052 : 청색 발현이 없는 백수무로 대비품종 대비 근 신장력이 좋으며, 비대력과 근미맷힘 양호. 추대성과 생리장해 안정



[그림 40] 호북성 한천 시험 선발 조합

[표 33] 한천 시험 선발 조합 특성표

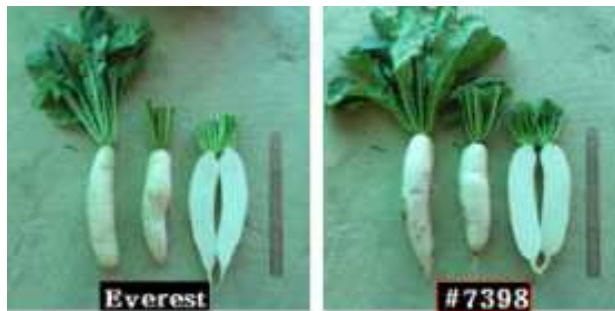
품종	근수색*	근장 (cm)	근경 (cm)			근중 (kg)	엽장 (cm)	추대 (cm)	적심증*	비고
			상	중	하					
多喜3号	3	32.3	7.0	7.8	6.4	1.2	41.3	3.2	5	'R-301'류 품종
玉山白雪	5	38.3	6.6	7.6	6.1	1.3	44.3	0	1	'漢白玉'류 품종
C#6028	3	32.2	7.2	7.4	6.1	1.1	45.7	0	1	
C#7071	3	31.2	6.6	7.0	6.2	1.0	44.3	0	1	
C#8052	3	34.0	7.7	8.0	7.1	1.5	43.7	0	1	

* 근수색: 1-순백 ~ 9-녹색 / 적심증: 1-강 ~ 9-약

선발된 3조합은 중국 현지 고랭지와 평지 가을 작형으로 추가 시험을 위해 조합당 20g씩 거래처에 전달하여 추가 시험을 진행하였으나 3조합 모두 현지 우점 품종에 비해 근 비대력이 다소 부족하고 근수부에 청색이 약하게 발현되는 등 근 품질 등에서 불량하여 최종적으로 선발되지 않음을 통보 받았다.

(나) 동남아 남방계 무 현지 시험 결과

동남아용 남방계로 개발 중이던 조합 중 #7398 조합을 베트남 현지 시험으로 선발하였다. 현지 조사는 베트남 거래처에서만 실시하였으며 그 결과를 당사에 공유하였다. 선발된 조합의 특성은 현지 리딩품종인 Everest(Takii) 대비 잎이 짧은 판엽계로 근 신장력이 좋고 비대력과 근 미맛함이 양호한 특성을 보였으며, 수확 시 근 균일도가 리딩품종보다 좋다는 평을 하였다.



[그림 41] 베트남 현지 시험 결과_#7398

(4) 4차년도 해외 시험 결과

4차년 해외 현지 시험은 코로나 19로 종자 발송에 문제가 발생하여 시험이 취소되었다. 특히 중국 현지 시험은 현지 업체 또한 중국내 이동이 자유롭지 못하고 우편 발송 제한으로 종자를 전달하지 못하는 상황이었다. 그러나 국립종자원에서 해외 시범포 사업을 진행하여 당사에서는 중국 현지 시험으로 현지 시범포 사업에 참여하였다. 당사는 백수무 조합만 중국 하북성과 운남성 시범포 사업에 참여하기 위해 10조합에 대해 각 지역별로 종자를 발송하였다.

하북성 장가구시 장북현 시범포 결과 백수무 10조합 중 2조합에 대해 현지 업체 및 농가로부

터 좋은 평가를 받았다. 20FH-01은 #9020 조합으로 3차년 국내 가을 시험에서 예비 선발되고 4차년 봄 시험으로 추대성을 확인한 조합으로 중국 현지 시험에서는 H 근형으로 크기 및 근미맷힘 등 근 형이 우수하고 근피색이 양호한 결과를 확인하였다. 20FH-05는 #9037과 유사 조합으로 현지 시험 결과 H 근형으로 크기 및 근미맷힘 등이 근형이 우수하나 근수부 청색이 약간 발현되는 특성을 보였다. 선발된 2조합은 장가구시 시험 결과로 중국 고랭지 여름 작형에 개발 가능성을 확인하였다.



[그림 42] 20년 하북성 장가구시 시범포 사업 결과

(5) 5차년도 해외 시험 결과

5차년 해외 시험은 중국 현지 거래처를 통해 북경과 하북성, 호북성 3지역에서 시험을 진행하였다. 또한 국립종자원에서 시행하는 중국 현지 시범포사업에도 참여하여 당사 조합에 대해 평가를 받았다. 거래처를 통한 시험은 북경 봄 시험과 호북성과 하북성 여름 시험을 통해 최종 1 조합(#9020)을 선발하였으며, 국립종자원 시범포 사업에서 #9020의 특성을 확인하였다. 선발된 조합의 특성은 아래와 같다

#9020 : R-301 타입의 대비품종과 비교하여 근 신장력은 좋으나 비대와 근미맷힘이 조금 느린 만생 품종. 추대성은 대비품종 대비 안정, 바람들이와 열근 등 생리장해 안정.



[그림 43] 중국 하북성 시험 결과

4. 품종 개발

1차년부터 5차년까지, 각 연차별로 국내 재배 시험에서 선발된 후보조합을 이용하여 해외 현지 시험을 진행하였다. 해외 현지 시험에서 대부분의 조합들이 drop 되거나 재시험을 거쳐 조

합의 특성을 확인하였으며 그 중 대비품종과 비교하여 근 품질이 우수하고 생리장해가 안정적인 조합은 선발하였으며 그 조합에 대해 품종보호출원을 진행하였다. 1차년부터 5차년까지 품종보호출원한 품종은 3품종으로 다음과 같다

가. RACT4258

태국 등 동남아용 남방계 백수무로 개발된 품종으로 GSP 1단계 3차년 국내 재배 시험으로 선발되어 4차년부터 GSP 2단계 1차년까지 현지 적응성 시험을 진행하여 최종 선발되었다. RACT4258의 주요 특성은 다음과 같다.

- 태국 현지 리딩 품종인 Takii의 Everest 대비 근장, 비대성, 근피 양호
- 절엽으로 엽장이 길고 엽수가 많으며 수확 시 엽부러짐과 탈엽이 적어 수확이 용이
- 시들음병 저항성 품종으로 열근 및 바람들이 등 생리장해 안정. 추대성 안정되어 태국 저온기(11월~1월 과종)에 재배 가능



[그림 44] RACT4258_연차별 시험 결과

RACT4258은 GSP 2단계 1차년에 품종보호출원을 진행하였고 4차년에 품종보호등록 되었다 (출원번호_2017-537, 등록번호_No.8037)



[그림 45] RACT4258_품종보호출원통지서 및 등록증

나. RACT7398

RACT7398 또한 동남아 남방계용으로 17년부터 19년까지 태국과 베트남에서 현지 적응성 및 확대 시험을 진행하였다. 그 결과 베트남 현지 거래처에서 당사 판매 품종인 CT7008 대비 근 균일도가 좋고 근 특성이 우수하여 선발하게 되었다. RACT7398의 주요 특성은 다음과 같다.

- 리딩 품종인 Takii의 Everest 대비 엽장이 짧은 판엽계로 근 신장력이 좋고 비대 양호
- 당사 CT7008 대비 지역 적응성이 우수하고 재배 폭이 넓음



[그림 46] RACT7398_베트남 결과 및 품종보호출원용 대비품종 비교 사진

19년 베트남 결과 확인 후 품종보호출원을 진행하였고 5차년에 등록이 될 것으로 예상하였지만 현재 등록 심사 중이다(출원번호_2019-576).



[그림 47] RACT7398_품종보호출원 통지서

다. RACS9020

중국용 백수무로 3차년 국내 재배 시험으로 선발되어 4차년부터 5차년까지 중국 봄, 여름 작형으로 현지 시험하여 선발된 조합이다. RACS9020의 주요 특성은 다음과 같다

- H 근형으로 근장, 비대, 근미맷힘 양호하고 근수부 백색으로 청수 발현이 없다
- 추대성은 玉山白雪 대비 다소 불안정 하지만 R-301 대비 안정적이다



[그림 48] RACS9020_연차별 시험 결과

21년 해외 현지 시험 결과 확인 후 품종보호출원을 진행하였다(출원번호_2021-648).



[그림 49] RACS9020_품종보호출원 통지서

라. RACS2125, RACS3010 품종보호등록

GSP 1단계 3차년에 품종보호출원한 RACS2125와 1단계 4차년에 품종보호출원한 RACS3010은 GSP 2단계 2차년에 아래와 같이 품종보호등록이 완료되었다.

- RACS2125 : 출원_2015-733, 등록_No.7030 - RACS3010 : 출원_2016-510, 등록_No.7405



[RACS2125_품종보호 등록]

[RACS3010_품종보호 등록]

[그림 50] 품종보호등록증(RACS2125, RACS3010)

제 2 절 만추대 타원형 백/청수계 무 품종 개발

1. 계통 육성

가. 1차년 계통육성 결과

- (1) 수출용 만추대 타원형 백/청수계 품종개발을 위하여 1단계에서 국내외 유전자원을 39점을 수집하고 3점을 등록하였고, 1차년도 10점을 등록하였다(표1.) 수집된 유전자원은 시험포장에서 특성조사 및 평가 완료하여 성숙모본으로 선발, 자가교배 실시하여 분리계통으로 육성하였다.
- (2) 전년도 가을 차대검정을 통해 선발한 800계통의 성숙모본은 1차년도 봄 자가교배를 통해 세대진전하였고, 가을 재배시험(523계통 공시)을 통해 차대검정 실시, 계통에서 개체를 선발하기 위해 관리 중이다.
- (3) 1차년도 봄 재배시험에서는 총 255계통을 공시하여 차대검정 완료하였고, 이 중 중국 수출용 무 품종개발을 위한 조합작성 재료로써의 가능성이 있는 계통에 대해 가을 재배포장에 공시, 차대검정 후 성숙모본으로 선발할 예정이다.
- (4) 전년도 12월에 1차년도 교배를 위한 미숙모본 669계통을 파종하였고, 월동 저온처리하여 1차년 2월에 1,309주를 정식, 4월부터 6월까지 자가교배하여 자가불화합성 검정 및 채종 완료하였다.
- (5) 1차년도 7월에 세대단축을 위한 미숙모본 22계통을 파종하여, 8월에 동 계통 총 44주 정식, 교배하여 11월에 채종 완료할 예정이며, 12월에 차년도 교배를 위한 미숙모본을 파종하여 저온처리 할 것이다.

표 1. 유전자원 등록(2017년)

기탁번호	생물자원명	분리번호	연구과제명	연구책임자	비 고
BP1345746	Raphanus sativus	5A81514	만추대 타원형 백청수계 무 품종개발	전병기	종자
BP1345747	Raphanus sativus	5B93334	만추대 타원형 백청수계 무 품종개발	전병기	종자
BP1345748	Raphanus sativus	5C63635	만추대 타원형 백청수계 무 품종개발	전병기	종자
BP1345749	Raphanus sativus	5T172223	만추대 타원형 백청수계 무 품종개발	전병기	종자
BP1345750	Raphanus sativus	5T193031	만추대 타원형 백청수계 무 품종개발	전병기	종자
BP1345751	Raphanus sativus	5T212130	만추대 타원형 백청수계 무 품종개발	전병기	종자
BP1345752	Raphanus sativus	5T22328	만추대 타원형 백청수계 무 품종개발	전병기	종자
BP1345753	Raphanus sativus	5T23127	만추대 타원형 백청수계 무 품종개발	전병기	종자
BP1345754	Raphanus sativus	5T243311	만추대 타원형 백청수계 무 품종개발	전병기	종자
BP1345755	Raphanus sativus	5T25338	만추대 타원형 백청수계 무 품종개발	전병기	종자



그림1. 교배, 계통선발, 미숙모본 및 성숙모본등 우수계통 육성과정

나. 2차년도 계통육성 결과

- (1) 매년 전년도 가을 차대검정을 통해 선발한 성숙모본은 봄 자가교배를 통해 세대진전하였고, 가을 재배시험(617계통 공시)을 통해 차대검정 실시, 계통에서 개체를 선발한다.
- (2) 봄 재배시험에서는(264계통)을 공시하여 차대검정 완료하였고, 이 중 중국수출용 무 품종 개발을 위한 조합작성 재료로써의 가능성이 있는 계통에 대해 가을 재배포장에 공시, 차대검정 후 성숙모본으로 선발한다. 봄 재배시험 중 일부 계통을 선발 하여 저온처리기에서 저온처리하여 가을교배를 통해 세대단축을 하였다.
- (3) 교배조합 작성을 위한 미숙모본(328계통)을 파종하였고, 월동 저온처리하여 2월경에 정식하여 4월부터 6월까지 자가교배시켜 자가불화합성 검정 및 채종 완료하였다.
- (4) 7월경에 세대단축을 위한 미숙모본(24계통)을 파종하여, 8월경에 정식, 교배하여 11월경에 채종 하며, 12월경 차년도 교배를 위한 미숙모본을 파종하여 저온처리 한다.

다. 3차 년도 계통육성 결과

- (1) 전년도 가을 차대검정을 통해 선발한 800계통의 성숙모본은 1차년도 봄 자가교배를 통해 세대진전하였고, 가을 재배시험(523계통 공시)을 통해 차대검정 실시, 계통에서 개체를 선발하기 위해 관리 중이다.
- (2) 1차년도 봄 재배시험에서는 총 255계통을 공시하여 차대검정 완료하였고, 이 중 중국 수출용 무 품종개발을 위한 조합작성 재료로써의 가능성이 있는 계통에 대해 가을 재배포장에 공시, 차대검정 후 성숙모본으로 선발할 예정이다.
- (3) 전년도 12월에 1차년도 교배를 위한 미숙모본 669계통을 파종하였고, 월동 저온처리하여

1차년 2월에 1,309주를 정식, 4월부터 6월까지 자가교배하여 자가불화합성 검정 및 채종 완료하였다.

- (4) 1차년도 7월에 세대단축을 위한 미숙모본 22계통을 과종하여, 8월에 동 계통 총 44주 정식, 교배하여 11월에 채종 완료할 예정이며, 12월에 차년도 교배를 위한 미숙모본을 과종하여 저온처리 할 것이다.

라. 4차 년도 계통육성 결과

- (1) 수출용 만추대 타원형 백/청수계 품종개발을 위하여 국내의 유전자원을 수집하고 시험 포장에서 특성조사 및 평가하여 성숙모본으로 선발, 자가교배 실시하여 분리계통으로 육성하였다.
- (2) 매년 전년도 가을 차대검정을 통해 선발한 성숙모본은 봄 자가교배를 통해 세대진전하였고, 가을 재배시험(532계통 공시)을 통해 차대검정 실시, 계통에서 개체를 선발한다.
- (3) 봄 재배시험에서는 (513계통)을 공시하여 차대검정 완료하였고, 이 중 중국 수출용 무 품종개발을 위한 조합작성 재료로써의 가능성이 있는 계통에 대해 가을 재배포장에 공시, 차대검정 후 선발한다.
- (4) 교배조합 작성을 위한 미숙모본 (255계통)을 과종하였고, 월동 저온처리하여 2월경에 정식하여 4월부터 7월까지 자가교배시켜 자가불화합성 검정 및 채종 완료하였다.
- (5) 6월경에 세대단축을 위한 미숙모본을 과종하여, 8월경에 정식, 교배하여 12월경에 채종하며, 11월경 차년도 교배를 위한 미숙모본을 과종하여 저온처리 한다.

마. 5차 년도 계통육성 결과

- (1) 수출용 만추대 타원형 백/청수계 품종개발을 위하여 국내의 유전자원을 수집하고 시험 포장에서 특성조사 및 평가하여 성숙모본으로 선발, 자가교배 실시하여 분리계통으로 육성하였다.
- (2) 매년 전년도 가을 차대검정을 통해 선발한 성숙모본은 봄 자가교배를 통해 세대진전하였고, 가을 재배시험(420계통 공시)을 통해 차대검정 실시, 계통에서 개체를 선발한다.
- (3) 봄 재배시험에서는 (410계통)을 공시하여 차대검정 완료하였고, 이 중 중국 수출용 무 품종개발을 위한 조합작성 재료로써의 가능성이 있는 계통에 대해 가을 재배포장에 공시, 차대검정 후 선발한다.
- (4) 교배조합 작성을 위한 미숙모본 (100계통)을 과종하였고, 월동 저온처리하여 2월경에 정식하여 4월부터 7월까지 자가교배시켜 자가불화합성 검정 및 채종 완료하였다.
- (5) 6월경에 세대단축을 위한 미숙모본을 과종하여, 8월경에 정식, 교배하여 12월경에 채종하며, 11월경 차년도 교배를 위한 미숙모본을 과종하여 저온처리 한다.

2. F1조합작성 및 종자생산

가. 1차년 F1조합작성 및 종자생산 결과

- (1) 전년도 가을 재배시험에서 성숙모본으로 선발한 800계통 중 만추대 청수계 F₁조합 가능성이 있다고 판단되는 계통 간 253조합을 작성하였고, 1차년도 봄 교배 및 조합임성검정, 채종 실시하여 같은 해 가을 재배시험에 공시, F₁조합 성능검정을 실시중이다.
- (2) 전년도 12월에 1차년도 교배를 위한 미숙모본 669계통을 파종하였고(1-④), 월동 저온처리 후 만추대 청수계 F₁조합 가능성이 있다고 판단되는 계통 간 253조합을 작성하여 1차년도 봄 교배 및 조합임성검정, 채종 실시하여 같은 해 가을 재배시험에 공시, F₁조합 성능검정 실시하였다.
- (3) 1차년도 12월에 미숙모본 파종, 현재 월동 저온처리 및 관리 중이며(1-⑤), 1~2월 중 교배조합을 작성, 2차년도 4~6월에 교배 및 채종 실시할 예정이다.
- (4) 1단계에서 중국 수출용으로써의 가능성이 있다고 판단되는 F₁조합에 대해 채종시험(생산성 검정)을 진행하였고, 생산된 시험교배종자(시교)에 대해 순도검정을 실시하였다.
- (5) 1단계에서 중국 수출용으로써의 가능성이 있다고 판단되는 F₁조합의 양친에 대해 소망실에서 원원종 및 원종 증식을 진행, 생산된 종자에 대해 순도검정을 실시하였다.

나. 2차년 F1조합작성 및 종자생산 결과

- (1) 가을 재배시험에서 성숙모본으로 선발한 계통 중 만추대 백,청수계 F₁조합 가능성이 있다고 판단되는 계통 간 조합을 작성하였고, 1차년도 봄 교배 및 조합임성검정, 채종 실시하여 같은 해 가을 재배시험에 공시, F₁조합 성능검정을 하였고, 2차년도 봄 교배 및 조합임성검정, 채종시험을 실시하였다.
- (2) 12월경에 차년도 교배를 위한 미숙모본 (328계통)을 파종하였고, 월동 저온처리 후 만추대 청수계 F₁조합 가능성이 있다고 판단되는 계통 간 조합 (300조합)을 작성하여 봄 교배 및 조합임성검정, 채종 실시하여 같은 해 가을 재배시험에 공시, F₁조합 성능검정 실시하였다.
- (3) 매년 12월에 미숙모본 파종하여 월동 저온처리 및 관리하며, 1~2월 중 교배조합을 작성, 차년도 4~6월에 교배 및 채종 실시한다.
- (4) 수출용으로써의 가능성이 있다고 판단되는 F₁조합에 대해 채종시험(생산성 검정)을 진행 하였고, 생산된 시험교배종자(시교)에 대해 순도검정을 실시하였다.
- (5) 수출용으로써의 가능성이 있다고 판단되는 F₁조합의 양친에 대해 소망실에서 원원종 및 원종 증식을 진행, 생산된 종자에 대해 순도검정을 실시하였다.

다. 3차년 F1조합작성 및 종자생산 결과

- (1) 가을 재배시험에서 성숙모본으로 선발한 계통 중 만추대 백,청수계 F₁조합 가능성이 있다고 판단되는 계통 간 조합(200조합)을 작성하였고, 1차년도 봄 교배 및 조합임성검정, 채종 실시하여 같은 해 가을 재배시험에 공시, F₁조합 성능검정을 하였고, 2차년도 봄 교배 및 조합임성검정, 채종시험을 실시하였다.

- (2) 12월경에 차년도 교배를 위한 미숙모본을 파종하였고, 월동 저온처리 후 만추대 청수계 F₁조합 가능성이 있다고 판단되는 계통 간 조합 (200조합)을 작성하여 봄 교배 및 조합 임성검정, 채종 실시하여 같은 해 가을 재배시험에 공시, F₁조합 성능검정 실시하였다.
- (3) 매년 12월에 미숙모본 파종하여 월동 저온처리 및 관리하며, 1~2월 중 교배조합을 작성, 차년도 4~6월에 교배 및 채종 실시한다.
- (4) 수출용으로써의 가능성이 있다고 판단되는 F₁조합에 대해 채종시험(생산성 검정)을 진행하였고, 생산된 시험교배종자(시교)에 대해 순도검정을 실시하였다.
- (5) 수출용으로써의 가능성이 있다고 판단되는 F₁조합의 양친에 대해 소망실에서 원원종 및 원종 증식을 진행, 생산된 종자에 대해 순도검정을 실시하였다.

라. 4차년 F1조합작성 및 종자생산 결과

- (1) 가을 재배시험에서 성숙모본으로 선발한 계통 중 만추대 백,청수계 F₁조합 가능성이 있다고 판단되는 계통 간 조합(68조합)을 작성하였고, 4차년도 봄 교배 및 조합임성검정, 채종 실시하여 같은 해 가을 재배시험에 공시, F₁조합 성능검정을 실시, 금년도 중국현지 검정을 실시할 계획이며 차년도 조합임성검정 및 채종시험을 실시할 예정이다.
- (2) 전년도 11월경에 금년도 교배를 위한 미숙모본 (약255계통)을 파종하였으며, 월동 저온처리 후 만추대 백/청수계 계통육성 및 F₁조합 가능성이 있다고 판단되는 계통 간 약배양 및 MAB진행을 하였으며 현재 검정 및 시험 진행중에 있다.
- (3) 매년 11월에 미숙모본 파종하여 월동 저온처리 및 관리하며, 1~2월 중 교배조합을 작성, 차년도 4~6월에 교배 및 채종 실시한다.
- (4) 수출용으로써의 가능성이 있다고 판단되는 F₁조합에 대해 채종시험(생산성 검정)을 진행하였고, 생산된 시험교배종자(시교)에 대해 순도검정을 실시하였다.
- (5) 수출용으로써의 가능성이 있다고 판단되는 F₁조합의 양친에 대해 원원종 및 원종 증식을 진행, 생산된 종자에 대해 순도검정을 실시하였다.

마. 5차년 F1조합작성 및 종자생산 결과

- (1) 가을 재배시험에서 성숙모본으로 선발한 계통 중 만추대 백,청수계 F₁조합 가능성이 있다고 판단되는 계통 간 조합(62조합)을 작성하였고, 5차년도 봄 교배 및 조합임성검정, 채종 실시하여 같은 해 가을 재배시험에 공시, F₁조합 성능검정을 실시, 금년도 중국현지 검정을 실시할 계획이며 차년도 조합임성검정 및 채종시험을 실시할 예정이다.
- (2) 전년도 11월경에 금년도 교배를 위한 미숙모본 (약100계통)을 파종하였으며, 월동 저온처리 후 만추대 백/청수계 계통육성 및 F₁조합 가능성이 있다고 판단되는 계통 간 약배양 및 MAB진행을 하였으며 현재 검정 및 시험 진행중에 있다.
- (3) 매년 11월에 미숙모본 파종하여 월동 저온처리 및 관리하며, 1~2월 중 교배조합을 작성, 차년도 4~6월에 교배 및 채종 실시한다.
- (4) 수출용으로써의 가능성이 있다고 판단되는 F₁조합에 대해 채종시험(생산성 검정)을 진행하였고, 생산된 시험교배종자(시교)에 대해 순도검정을 실시하였다.
- (5) 수출용으로써의 가능성이 있다고 판단되는 F₁조합의 양친에 대해 원원종 및 원종 증식을

진행, 생산된 종자에 대해 순도검정을 실시하였다.



그림2. F₁조합 교배(좌,중) 및 시험교배종자 순도검정(우)

3. F₁성능검정 및 선발(국내)

가. 1차년 F₁성능검정 및 선발 결과

- (1) 1단계에 작성된 F₁조합 중 당해 성능검정을 통해 중국 수출용으로써의 가능성이 높아 연차별 재시험이 필요하다고 판단되는 98조합에 대해 대비종 19품종과 함께 1차년도 봄 성능검정을 실시하였고, 2조합을 예비 선발하였다. 재배는 2반복으로 조간 35cm, 주간 25cm 두 줄 멀칭재배 실시하였으며, 시비 및 관리는 일반 재배관리법에 준하였다(하우스: 파종 2월 6일, 조사 5월 8일, 노지: 파종 4월 4일, 조사 6월 13일, 농협종묘센터 시험포장).
- (2) 1단계에 작성된 F₁조합 중 장내 성능검정 결과가 좋아 고랭지 지역 적응성 검정이 필요하다고 생각되는 14조합에 대해 대비종 20품종과 함께 1차년도 농가연락시험을 실시하였고, 이 중 2조합을 예비 선발하였다. 재배는 2반복으로 조간 60cm, 주간 23cm 외줄 무멀칭 재배 실시하였으며, 시비 및 관리는 현지 재배기준에 준하였다(파종: 6월 27일, 조사: 9월 14일, 강원 홍천).
- (3) 1차년도에 작성, 교배 및 채종된 F₁조합 중 중국 수출용으로써의 가능성이 높다고 판단되는 310번호(F₁ 283조합 및 대비종 27품종)를 농협종묘센터 시험포장에 2반복 파종하여 (8/24) 성능검정, 평가 및 선발을 실시 및 조합을 예비 선발을 11월 초에 할 예정이다. 재배는 조간 35cm, 주간 25cm로 두 줄 멀칭재배 실시하였고, 시비 및 관리는 일반 재배 관리법에 준하였다.



그림3. F₁성능검정 및 선발시험



그림4. 1차년도 최종선발조합

표 2. 1차년도 선발조합 특성표

BN	엽중(g)	엽장(cm)	근중(g)	근장(cm)	상경(cm)	중경(cm)	하경(cm)	엽수(개)
관동여름	225	40.0	2,350	35.0	7.5	10.8	9.0	24.5
만사형통	300	42.0	2,225	32.0	8.0	10.5	8.8	32.5
강동	225	44.5	2,100	34.5	8.0	10.0	8.8	25.5
No.93	350	46.0	2,250	35.0	8.0	10.5	9.0	29
No.94	288	45.3	2,175	34.8	8.0	10.3	8.9	27.25

나. 2차년 F1성능검정 및 선발 결과

- (1) 1단계에 작성된 F₁조합 중 당해 성능검정을 통해 중국 수출용으로써의 가능성이 있어 연차별 재시험이 필요하다고 판단되는 98조합에 대해 대비종 19품종과 함께 1차년도 봄 성능검정을 실시하였고, 2조합을 예비 선발하였다. 재배는 2반복으로 조간 35cm, 주간 25cm 두 줄 멀칭재배 실시하였으며, 시비 및 관리는 일반 재배관리법에 준하였다(하우스: 파종 2월 6일, 조사 5월 8일, 노지: 파종 4월 4일, 조사 6월 13일, 농협종묘센터 시험포장). 동일한 조건으로 2차년도 봄 성능검정을 실시하였고 1조합을 예비 선발하였다(파종 4월 3일, 조사 6월 12일).
- (2) 1단계에 작성된 F₁조합 중 장내 성능검정 결과가 좋아 고랭지 지역 적응성 검정이 필요하다고 생각되는 14조합에 대해 대비종 20품종과 함께 1차년도 농가연락시험을 실시하였고, 이 중 2조합을 예비 선발하였다. 재배는 2반복으로 조간 60cm, 주간 23cm 외줄 무멀칭 재배 실시하였으며, 시비 및 관리는 현지 재배기준에 준하였다(파종: 6월 27일, 조사: 9월 14일, 강원 홍천). 동일한 지역 동일한 조건에서 2차년도 농가연락시험을 실시하였으며 2조합을 선발하였고, 그 중 1조합을 생산판매신고 및 품종보호출원 하였다.
- (3) 1차년도에 작성, 교배 및 채종된 F₁조합 중 중국 수출용으로써의 가능성이 높다고 판단되는 310번호(F₁ 283조합 및 대비종 27품종)를 2018년 농협종묘센터 시험포장에 2반복 파종하여(8/24) 성능검정, 평가 및 선발을 10월 31일 실시하였다. 재배는 조간 35cm, 주간 25cm로 두 줄 멀칭재배 실시하였고, 시비 및 관리는 일반 재배관리법에 준하였다. 백수계 3조합과 청수계 2조합을 선발 하였으며 차년도 시고 생산 할 예정이다. 2차년도 동일한 조건에서 2018년 8월 23일 노지 파종하였으며, 재배관리 및 지상부 조사 하였다.

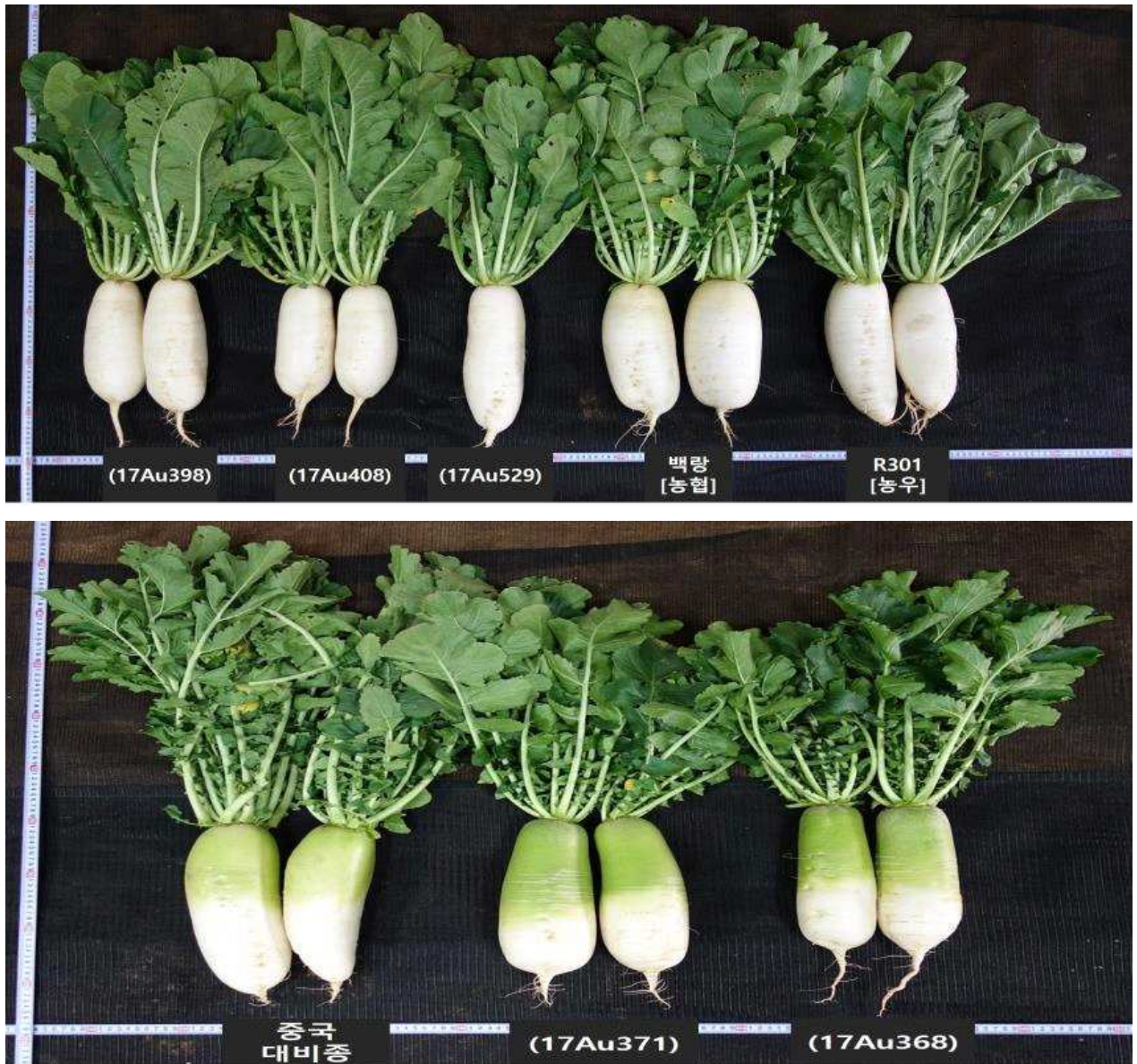


그림5. 2차년도 최종선발조합

표 3. 2차년도 선발조합 특성표

BN	엽장 (cm)	근장 (cm)	상경 (cm)	중경 (cm)	하경 (cm)	근중 (g)	엽중 (g)	엽수 (개)	비 고
368	46.5	25.0	7.3	8.7	6.8	1250	300	16	청수
371	40.0	26.5	7.1	8.9	7.1	1450	250	18	청수
398	48.2	24.0	5.8	8.3	6.4	1150	400	20	백수
408	53.7	22.5	7.1	8.8	9.3	1150	450	21	백수
백막전	56.0	28.0	7.5	8.4	4.5	1300	550	22	청수대비
529	47.5	27.0	7.8	9.3	6.0	1600	600	35	백수
백랑	54.7	25.5	8.3	10.3	7.1	1850	800	45	백수대비
R301	50.0	27.0	8.2	9.1	5.0	1600	650	25	백수대비

다. 3차년 F1성능검정 및 선발 결과

- (1) 1단계에 작성된 F₁조합 중 당해 성능검정을 통해 중국 수출용으로써의 가능성이 있어 연차별 재시험이 필요하다고 판단되는 98조합에 대해 대비종 19품종과 함께 1차년도 봄 성능검정을 실시하였고, 2조합을 예비 선발하였다. 재배는 2반복으로 조건 35cm, 주간 25cm 두 줄 멀칭재배 실시하였으며, 시비 및 관리는 일반 재배관리법에 준하였다(하우스: 파종 2월 6일, 조사 5월 8일, 노지: 파종 4월 4일, 조사 6월 13일, 농협종묘센터 시험포장). 동일한 조건으로 2차년도 봄 성능검정을 실시하였고 1조합을 예비 선발하였다(파종 4월 3일, 조사 6월 12일).
- (2) 1단계에 작성된 F₁조합 중 장내 성능검정 결과가 좋아 고랭지 지역 적응성 검정이 필요하다고 생각되는 14조합에 대해 대비종 20품종과 함께 1차년도 농가연락시험을 실시하였고, 이 중 2조합을 예비 선발하였다. 재배는 2반복으로 조건 60cm, 주간 23cm 외줄 무멀칭 재배 실시하였으며, 시비 및 관리는 현지 재배기준에 준하였다(파종: 6월 27일, 조사: 9월 14일, 강원 홍천). 동일한 지역 동일한 조건에서 2차년도 농가연락시험을 실시하였으며 2조합을 선발하였고, 그 중 1조합을 생산판매신고 및 품종보호출원 하였다.
- (3) 1차년도에 작성, 교배 및 채종된 F₁조합 중 중국 수출용으로써의 가능성이 높다고 판단되는 310번호(F₁ 283조합 및 대비종 27품종)를 2019년 농협종묘센터 시험포장에 2반복 파종하여(8/24) 성능검정, 평가 및 선발을 10월 31일 실시하였다. 재배는 조건 35cm, 주간 25cm로 두 줄 멀칭재배 실시하였고, 시비 및 관리는 일반 재배관리법에 준하였다. 백수계 3조합과 청수계 2조합을 선발 하였으며 차년도 시교 생산 할 예정이다. 2차년도 동일한 조건에서 2019년 8월 20일 노지 파종하였으며, 재배관리 및 지상부 조사 중이다.



그림6. 3차년도 최종선발조합

표 4. 3차년도 선발조합 특성표

BN	엽장 (cm)	근장 (cm)	상경 (cm)	중경 (cm)	하경 (cm)	근중 (g)	엽중 (g)	엽수 (개)	비 고
1	43	34	8.0	10.1	93.7	2150	400	21	18y여름
2	49	33	8.4	9.7	10.2	2000	500	24	18y여름
관동여름	50	31	8.1	9.6	10.2	2000	550	25	18y여름
강동	50	32	9.3	9.2	87.0	1950	650	25	18y여름
59	44	28	7.2	8.3	6.5	1250	300	24	18y봄
신청일품	42	28	8.0	8.7	6.1	1300	300	22	18y봄

라. 4차년 F1성능검정 및 선발 결과

- (1) 이전 단계에 작성된 F₁조합 중 당해 성능검정을 통해 중국 수출용으로써의 가능성이 있어 연차별 재시험이 필요하다고 판단되는 조합에 대해 대비종과 함께 봄 성능검정을 실시하였고, 4조합을 예비 선발하였다. 재배는 3반복으로 조간 25cm, 주간 25cm 교호, 두 줄 멀칭재배 실시하였으며, 시비 및 관리는 일반 재배관리법에 준하였다.
- (2) 작성된 F₁조합 중 장내 성능검정 결과가 좋아 지역 적응성 검정이 필요하다고 생각되는 12조합에 대해 대비종과 함께 중국 현지 연락시험을 실시하였고, 이 중 7조합을 예비 선발하였다. 재배는 2반복으로 조간 50cm, 주간 22cm 외줄 무멀칭 재배 실시하였으며, 시비 및 관리는 현지 재배기준에 준하였다.
- (3) 전년도에 작성, 교배 및 채종된 F₁조합 중 중국 수출용으로써의 가능성이 높다고 판단되는 조합(F₁ 조합 및 대비종 품종)을 2020년 시험포장에 3반복 과중하여(9/24) 성능검정, 평가 및 선발을 11월말 실시 예정이다. 재배는 조간 25cm, 주간 25cm 교호로 두 줄 멀칭 재배 실시하였고, 시비 및 관리는 일반 재배관리법에 준하였다. 재배관리 및 지상부 조사 중이며, 유망한 백수계 조합과 청수계 조합을 선발하여, 차년도 시교생산할 것이다.



그림7. 4차년도 최종선발조합

표 5. 4차년도 선발조합 특성표

BN	엽장 (cm)	근장 (cm)	상경 (cm)	중경 (cm)	하경 (cm)	근중 (g)	엽중 (g)	엽수 (개)	비 고
1188	46.5	28.0	7.3	8.2	6.8	1450	600	32	
1722	40.0	25.5	7.1	8.1	7.1	1150	550	28	
1725	48.2	26.0	7.8	8.0	6.4	1250	500	27	
1730	43.7	26.5	7.1	8.1	7.3	1250	550	28	
1742	46.0	28.0	7.5	8.5	6.5	1300	550	28	
1616	47.5	26.0	7.8	8.2	6.0	1300	600	31	
1751	44.7	27.5	7.3	8.3	7.1	1450	650	35	
1782	42.0	27.0	7.2	8.1	6.0	1400	650	35	

마. 5차년 F1성능검정 및 선발 결과

- (1) 이전 단계에 작성된 F₁조합 중 당해 성능검정을 통해 중국 수출용으로써의 가능성이 있어 연차별 재시험이 필요하다고 판단되는 조합에 대해 대비종과 함께 봄 성능검정을 실시하였고, 4조합을 예비 선발하였다. 재배는 3반복으로 조건 25cm, 주간 25cm 교호, 두 줄 멀칭재배 실시하였으며, 시비 및 관리는 일반 재배관리법에 준하였다.
- (2) 작성된 F₁조합 중 장내 성능검정 결과가 좋아 지역 적응성 검정이 필요하다고 생각되는 10조합에 대해 대비종과 함께 중국 현지 연락시험을 실시하였고, 이 중 4조합을 예비 선발하였다. 재배는 2반복으로 조건 50cm, 주간 22cm 외줄 무멀칭 재배 실시하였으며, 시비 및 관리는 현지 재배기준에 준하였다.
- (3) 전년도에 작성, 교배 및 채종된 F₁조합 중 중국 수출용으로써의 가능성이 높다고 판단되는 조합(F₁ 조합 및 대비종 품종)을 2021년 시험포장에 3반복 과중하여(8/20) 성능검정, 평가 및 선발을 10월말 실시 하였다. 재배는 조건 25cm, 주간 25cm 교호로 두 줄 멀칭 재배 실시하였고, 시비 및 관리는 일반 재배관리법에 준하였다. 재배관리 및 지상부 조사 중이며, 유망한 백수계 조합과 청수계 조합을 선발하여, 차년도 시교생산할 것이다.



그림8. 5차년도 최종선발조합

표 6. 5차년도 선발조합 특성표

BN	엽장 (cm)	근장 (cm)	상경 (cm)	중경 (cm)	하경 (cm)	근중 (g)	엽중 (g)	엽수 (개)	비 고
1188	46.5	32.0	8.3	9.2	6.8	1850	700	32	
1855	40.0	28.5	8.1	8.1	7.5	1550	650	30	
1901	40.2	27.0	8.8	9.0	7.4	1750	600	30	
1903	43.7	29.5	8.1	8.3	7.3	1750	650	32	
1910	46.0	28.0	8.5	9.0	7.5	1800	650	32	
1915	43.5	31.0	8.8	9.2	7.0	1800	700	30	
1972	46.7	29.5	8.3	8.9	7.1	1850	750	31	
1971	43.0	31.0	8.2	8.8	7.0	1800	750	32	

4. F1성능검정 및 선발(국외)

가. 1차년 F1성능검정 및 선발 결과

- (1) 1단계 작성된 조합 중 성능검정 및 농가연락시험에서 대비종 비교시험 결과 중국 현지에서 가능성이 있을 것으로 판단되는, 기존 국내 시판종 중 중국용으로써의 경쟁력이 있다고 판단되는 2품종(상생, 강동)을 포함한 27조합(T1701 ~ T1727) 선발하여 중국 현지 적응성 검정을 실시하였다.
- (2) 중국 현지 적응성 검정은 농가연락시험 1건(북경)과 국립종자원 해외전시포 사업 1건(하북)을 통해 실시하였고, 12월 광동 종자박람회 전시포에 출품하였다. 시험결과 성능이 우수하다고 판단되는 3번호(하북성 삼하시: T1708, T1719, 하북성 장북: T1708, T1722)를 선발하였으며, 선발된 번호 중 조합은 시교종자를 생산하고, 시판종은 시판품종을 현지에 공시하여 2차년도 확대 시험 및 종자 수출을 진행할 계획이다.

표 7. 1차년도 중국 현지 적응성 시험 경종개요

장 소	재배기간	수확, 조사	선발조합(품종)	비고
하북성 삼하시	17. 4. 5. ~17. 6. 7.	17. 6. 7.	T1708, T1719	북경 업체 시험포
하북성 장북	5~8월	17. 8. 9.	T1708, T1722	종자원 전시포



그림9. 1차년도 중국 현지 적응성 시험 선발조합

나. 2차년 F1성능검정 및 선발 결과

- (1) 1단계 작성된 조합 중 성능검정 및 농가연락시험에서 대비종 비교시험 결과 중국 현지에서 가능성이 있을 것으로 판단되는, 기존 국내 시판종 중 중국용으로써의 경쟁력이 있다고 판단되는 2품종(상생, 강동)을 포함한 27조합(T1701 ~ T1727) 선발하여 중국 현지 적응성 검정을 실시하였다. 2차년도 중국 현지 적응성 검정을 위해 10조합을 선발 하여 북경 종묘업체의 시험포와 종자원 시범포에서 검정하였다.
- (2) 2차년도 중국 현지 적응성 검정은 농가연락시험 1건(북경)과 국립종자원 해외전시포 사업 1건(하북)을 통해 실시하였고, 12월 광동 종자박람회 전시포에 출품하였다. 시험결과 성능이 우수하다고 판단되는 총 3번호(하북성 삼하시: T1708, T1719, 하북성 장북: T1708, T1722)를 선발하였으며, 2차년도 중국 현지 적응성 검정은 농가연락시험 1건(북경 업체 시험포)과 국립종자원 해외전시포 사업 1건(하북)을 통해 실시하였고 선발된 번호 중 조합 4가 선발되었다. 조합4는 시교종자를 생산하고, 시판종은 시판품종을 현지에 공시하여 차년도 확대 시험 및 종자 수출을 진행할 계획이다.

표 8. 2차년도 중국 현지 적응성 시험 경종개요

장 소	파종일	수확, 조사	선발조합(품종)	비고
하북성 장북	18. 5. 31.	18. 7. 31.	조합4	북경 업체 시험포
하북성 장북	18. 6. 5.	18. 8. 2.	-	종자원 전시포



그림10. 2차년도 중국 현지 적응성 시험 선발조합

다. 3차년 F1성능검정 및 선발 결과

- (1) 성능검정 및 농가연락시험에서 대비종 비교시험 결과 중국 현지에서 가능성이 있을 것으로 판단되는, 기존 국내 시판종 중 중국용으로써의 경쟁력이 있다고 판단되는 2품종(상생, 강동)을 포함한 27조합(T1701 ~ T1727) 선발하여 중국 현지 적응성 검정을 실시하였다. 2차년도 중국 현지 적응성 검정을 위해 10조합을 선발 하여 북경 종묘업체의 시험포와 종자원 시범포에서 검정하였다.
- (2) 3차년도 중국 현지 적응성 검정은 농가연락시험 1건(북경)과 국립종자원 해외전시포 사업 1건(하북)을 통해 실시하였고, 12월 광동 종자박람회 전시포에 출품하였다. 시험결과 성능이 우수하다고 판단되는 총 3번호(하북성 삼하시: T1708, T1719, 하북성 장북: T1708, T1722)를 선발하였으며, 2차년도 중국 현지 적응성 검정은 농가연락시험 1건(북경 업체 시험포)과 국립종자원 해외전시포 사업 1건(하북)을 통해 실시하였고 선발된 번호 중 조합 4가 선발되었다. 조합4는 시교종자를 생산하고, 시판종은 시판품종을 현지에 공시하여 차년도 확대 시험 및 종자 수출을 진행할 계획이다.

표 9. 3차년도 중국 현지 적응성 시험 경중개요

장 소	파종일	수확, 조사	선발조합(품종)	비고
하북성 장북	19. 5. 31.	19. 7. 31.	조합4	북경 업체 시험포
하북성 장북	19. 6. 5.	19. 8. 2.	-	종자원 전시포



그림11. 3차년도 중국 현지 적응성 시험 선발조합

라. 4차년 F1성능검정 및 선발 결과

(1) 전년도 중국 현지 적응성 검정은 농가연락시험 3건을 통해 실시하였고 선발된 번호 중 RCH1722, RCH1730, RCH1616이 선발되어 금년도 확대시험을 실시 하였으며, 차년도 판매를 목표하고 있다.

표 10. 4차년도 중국 현지 적응성 시험 경종개요

구분	장 소	파종	수확 , 조사	비고	선발
현지 시험포	호북성 사양현	19. 3. 10.	19. 5. 18.	현지 시험포	RCH1722, RCH1730
	강소성 태홍시	19. 3. 15.	19. 5. 14.		RCH1720, RCH1721, RCH1722, RCH1723, RCH1616, RCH1855
	중경시 동남현	19. 12. 04.	20. 3. 17		RCH1924, RCH1925



그림12. 4차년도 중국 현지 적응성 시험 선발조합

마. 5차년 F1성능검정 및 선발 결과

(1) 전년도 중국 현지 적응성 검정은 농가연락시험 3건을 통해 실시하였고 선발된 번호 중 RCH1855, RCH1901, RCH1903, RCH1955가 선발되어 차년도 확대시험을 계획하였다.

표 11. 5차년도 중국 현지 적응성 시험 경종개요

구분	장 소	파종	수확 , 조사	비고	선발
현지 시험포	호북성 사양현	21. 07. 16.	21. 09. 15.	현지 시험포	RCH1901, RCH1855
	강소성 태홍시	21. 01. 21.	21. 04. 26.		RCH1853, RCH1871, RCH1903, RCH1955
	중경시 동남현	21. 01. 30.	21. 04. 22		RCH1853, RCH1855 RCH1951, RCH1955





그림13. 5차년도 중국 현지 적응성 시험 선발조합

5. 조직배양을 통한 계통육성

가. 조직배양을 통한 계통육성 결과

(1) 반수체 배가(doubled-haploid)를 통한 계통 고정화를 통해 세대단축이 필요하다고 생각 되는 계통에 대해 소포자배양하여 식물체가 생성이 된 후 개체를 인계하여 저온처리 후 봄에 자가교배하여 세대 진전하여, 채종종자를 가을에 원형질 계통검정을 통해 선발 하였다. 각 년차별 조직배양 진행 과정 및 결과는 다음과 같다.

표 12. 조직배양을 통한 계통육성 결과

구분	식물체 형성된 계통수	식물체 수	저온처리 후 개체수	정식 후 채종
1년차(2017년)	13	424	333	124
2년차(2018년)	4	310	240	104
3년차(2019년)	3	80	20	8
4년차(2020년)	16	317	149	88
5년차(2021년)	8	178	122	40

6. 품종생산판매신고, 품종보호출원 및 등록

가. 품종판매신고, 품종보호출원 및 등록 결과

(1) 환백 : 1차년도에 품종생산판매신고 및 품종보호출원한 백수계 관엽 품종으로 근형과 근피가 좋고 근수의 흰 부위가 넓어 F₁조합 선발, 생산판매 신고하였으며, 추후 국내 재배 시험 및 중국 현지 적응성 검정시험과 연락시험, 현지 업체에 시교종자를 추가로 공급하여 가능성 있는 시장 개척 및 종자 수출을 진행할 계획이다. 환백 품종은 소형무 시장에서 희귀한 관엽계로 틈새시장 공략 혹은 차별화 전략이 가능하리라 본다.

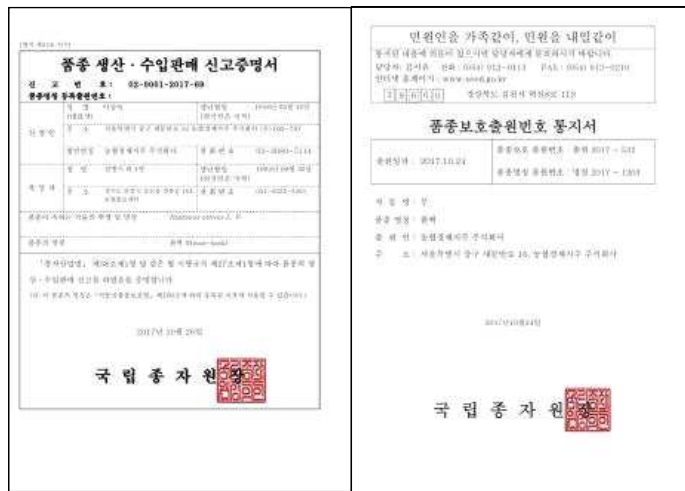


그림14. 1차년도 품종생산판매신고 증명서(좌), 품종보호출원번호 통지서(우)

(2) 청마루 : 2차년도에 품종생산판매신고 및 품종보호출원한 청수계 절엽 품종으로 근형이 H형인 F₁조합 선발, 생산판매 신고하였으며, 추후 국내 재배시험 및 중국 현지 적응성 검정시험과 연락시험, 현지 업체에 시교종자를 추가로 공급하여 가능성 있는 시장 개척 및 종자 수출을 진행할 계획이다. 청마루 품종은 근형이 H형으로 공장공급 등에 유리하며, 국외와 국내 시장 모두에서 마케팅이 가능하다.



그림15. 2차년도 품종생산판매신고 증명서(좌), 품종보호출원번호 통지서(우)

(3) RCH1722 : 4차년도에 진행하려 하였지만 자사내 내부사정으로 인하여 5차년도에 RCH1722 품종을 생산판매 신고 및 품종보호 출원을 실시하였다. 이 품종은 백수계 품종으로 순백색의 절엽형으로 근형 및 맺힘이 우수한 품종으로서 소량 판매를 시작으로 수출에 기여를 할 것으로 예상되어진다.



그림16. 5차년도 품종생산판매신고 증명서(좌), 품종보호출원번호 통지서(우)

(4) RCH1742 : 4차년도에 진행하려 하였지만 자사내 내부사정으로 인하여 5차년도에 RCH1742 품종을 생산판매 신고 및 품종보호 출원을 실시하였다. 이 품종은 백수계 품종으로 순백색의 판엽형으로 근형 및 맺힘이 우수한 품종이며, 추대성이 매우 안정되어 있어 고단가 시장인 봄, 여름 작형에 소량 판매를 시작으로 수출에 기여를 할 것으로 예상되어진다.



그림17. 5차년도 품종생산판매신고 증명서(좌), 품종보호출원번호 통지서(우)

7. 종자수출

1. 종자수출 결과

가. 총 256만불 목표대비 초과달성을 하였음.

종자수출액(USD)				
번호	수출품목	수출액		
		수출일	수출국	수출금액
1	KTX726	2020. 03. 28.	인도	260,000
2	KTX726	2020. 03. 29.	홍콩	16,000
3	KTX726	2020. 01. 26	방글라데시	115,000
4	KTX726	2020. 05. 22.	베트남	61,200
5	KTX726	2020. 05. 30.	방글라데시	184,000
6	KTX801	2020. 06. 13.	중국	42,450
7	KTX726	2020. 08. 25.	베트남	51,000
8	KTX1264	2020. 08. 25.	베트남	22,050
9	RCH1616	2020. 08. 30.	중국	94,154.40
10	RCH1722	2020. 08. 30.	중국	29,292.48
11	KTX726	2020. 09. 15.	방글라데시	115,000
12	KTX1264	2020. 11. 15	베트남	78,400
13	RCH1188	2020. 11. 21		161,145
14	KTX726	2021. 02. 24		195,000
15	일학미농무	2021. 02. 19		135,000
16	일학미농무	2021. 03. 12		120,000
17	KTX801	2021. 05. 17		93,060
18	KTX726	2021. 06. 08		250,000
19	KTX726	2021. 06. 19		36,000
20	KTX801	2021. 06. 22		118,500
21	KTX726	2021. 06. 30		75,000
22	KTX726	2021. 07. 02		125,400
23	KTX1264	2021. 07. 31		238,000
24	KTX1264	2021. 07. 25		58,800
25	YR백춘	2021. 09. 30		101,970
26	KTX726	2021. 10. 15		18,000
27	KTX1264	2021. 10. 15		49,000
28	KTX801	2021. 11. 08		52,750
29	KTX801	2021. 11. 20		26,745
30	KTX726	2021. 11. 23		25,200
31	KTX1264	2021. 11. 23		49,000
계				2,997,116.88

제 3 절 무 품종육성을 위한 SNP탐색 및 MAS용 분자마커 개발

1. 무 육종자료의 MAS용 분자마커 개발

가. 분자마커 분석을 위한 무 유전체 데이터 점검

- (1) 최근까지 무 유전체 데이터 비교 시 Rs1.0 (ver1.0) 을 사용하였으나, 최근 중국에서 Radish_v2.20 (ver.2.2) 가 공개되어 이 유전체 정보를 Rs1.0과 비교함
- (2) Radish_v2.20은 불확실한 데이터의 비율이 적고(그림 1A), Illumina genome resequencing 데이터로 mapping시 95%가 mapping되어 전반적으로 Rs1.0보다 더 정확하고 폭넓은 정보를 제공하는 것으로 판단됨(그림 1B)

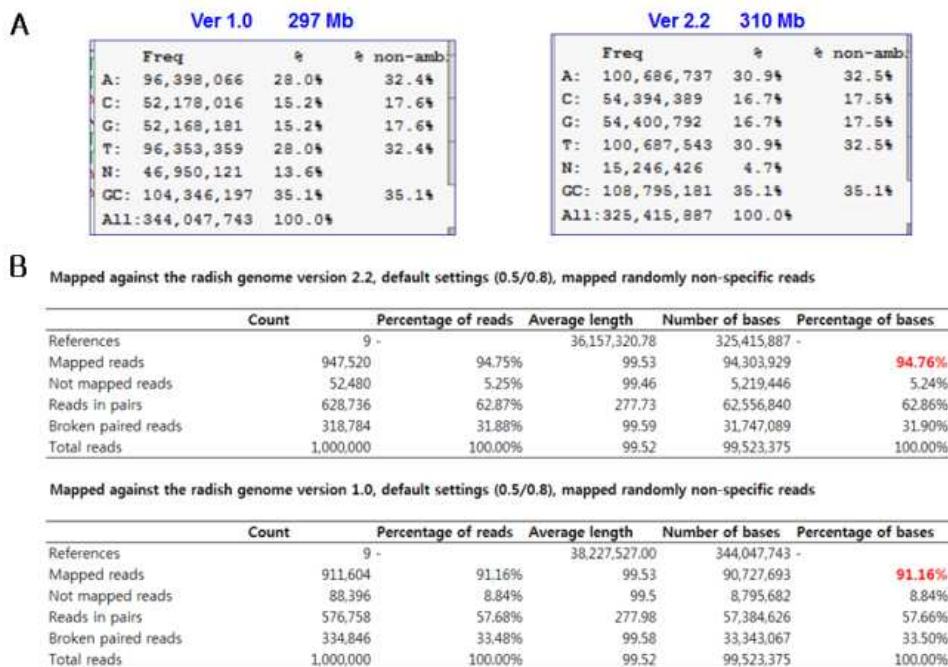


그림 1. 분자마커 개발에 활용할 무 유전체 데이터의 재평가

A. 무 유전체 데이터 버전 1.0과 2.2의 염기서열 분포 비교

B. resequencing한 데이터를 두 유전체 데이터에 mapping한 결과. 버전 2.2에 대해 mapping이 더 높은 빈도(95%)로 나타남

나. 무 계통의 유전체 염기서열정보 생산 및 SNP 분석(그림 2)

- (1) 육종에 사용되는 대표적인 무 계통에 대한 유전체 염기서열 정보를 확보하고 계통에 따른 SNP를 데이터베이스화하여, 계통 식별과 육종을 위한 분자마커 개발에 활용하고자 함
- (2) 효율적인 유전체 서열분석을 위해 상용 툴인 CLC genomics workbench 를 도입해 유전체 분석 시스템 구축함(그림 2A)
- (3) 1단계 연구에서 확보한 6개의 무 계통과 2단계에 추가한 6개 계통에 대한 유전체 데이터를 취합하고 각 계통이 지닌 SNP 간에 비교하여 고유한 SNP에 대한 정보를 확보(그림 2B)
- (4) 총 2,997,790의 SNP가 발견되었으며, 각 계통이 지닌 고유한 SNP는 3만 여개에서 20만개에 이름. 이들 고유 SNP는 유전체 상에 고르게 분포함(그림 2C)
- (5) 시퀀싱된 12개 계통가운데 9개는 국립원예특작과학원에서 평지여름, 관동여름과 팔광, 하림 간에 교배해서 세대를 내린 것들로 과거 국내에서 광범위하게 육종에 사용된 계통들을 대

표한다고 할 수 있음

- (6) 이들 간의 공통된 SNP 가운데 중국, 일본에서 도입하여 팜한농에서 개발한 계통인 2265, 2266, 3060이 공유하는 SNP를 제거, 한국 무 계통만이 공유하는 SNP를 163개 선별(그림 3)

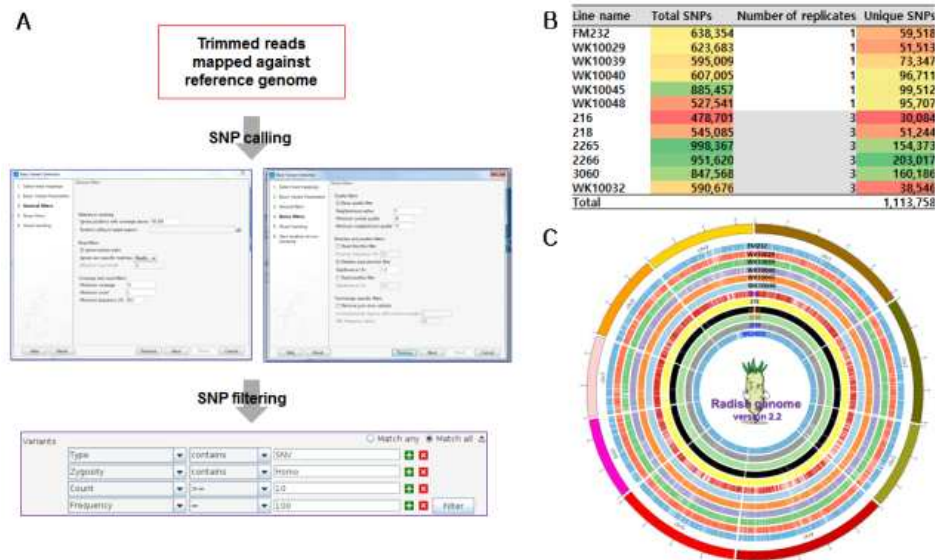


그림 2. 무 품종의 유전체 염기서열정보 생산 및 SNP 분석결과
 A. CLC genomics를 이용한 SNP 분석
 B. 시퀀싱한 12개 계통에 대한 SNP 분석 결과
 C. 각 계통이 지닌 고유 SNP의 유전체 상의 분포

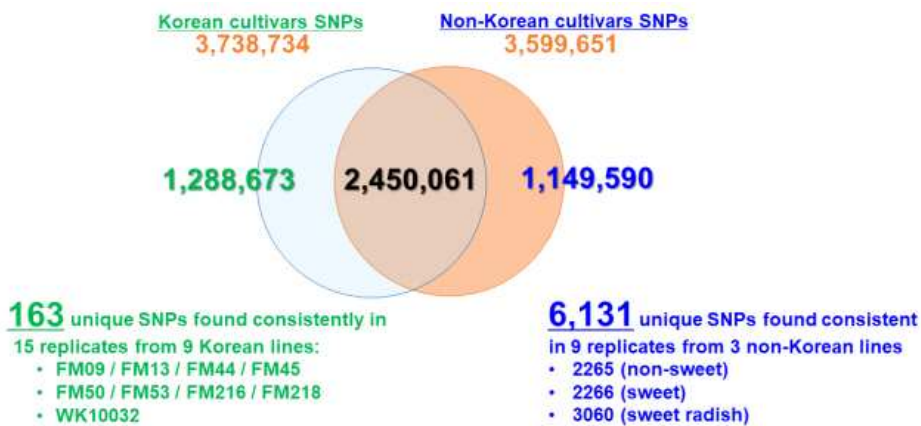


그림 3. 총 24개의 resequencing 데이터에서 가운데 9개의 한국 계통을 대변하는 15개의 데이터에 의해 모두 확인된 163개의 고유 SNP를 선별

- (7) 한국 무 계통만이 공유하는 SNP 가운데 29개를 최종 선택하여 PCR을 이용한 마커 테스트를 진행. 그 결과 9개의 프라이머 세트가 테스트에 활용한 한국 계통의 DNA만 증폭시킴을 확인(그림 4)
- (8) 농협종묘, 팜한농, 국립원예특작과학원으로부터 국내 및 국외에서 시판되는 품종 종자들을

제공받아 9개 SNP마커들의 존재 유무를 PCR로 분석하여 마커의 활용 가능성을 검토함(그림 5, 그림 6)

- (9) PCR 분석 결과, 국외 아시아권에서 구매한 품종의 경우에도 PCR 산물이 국내산과 동일한 위치에 관찰됨. 따라서 아시아권에서 개발된 국내의 품종들 간의 잡종 형성이 육종과정에서 광범위하게 이루어진 것으로 보임 (그림 6)

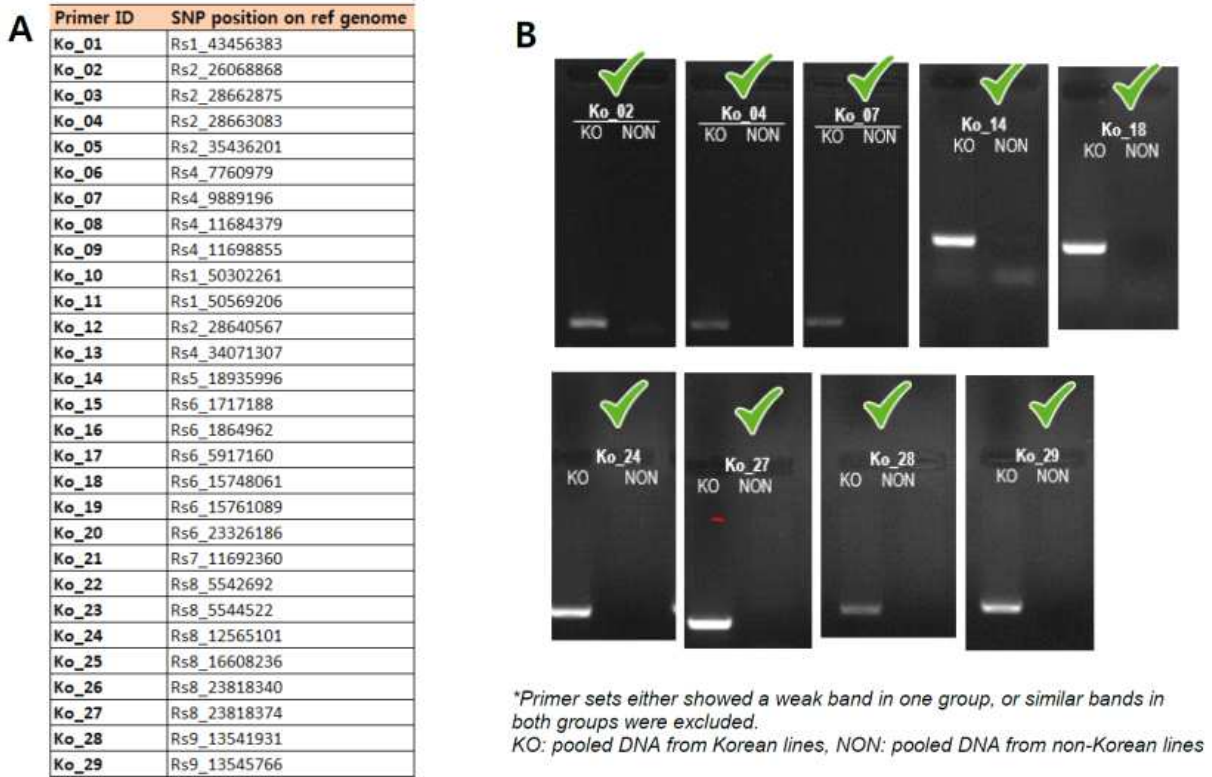


그림 4. 한국 무 계통에서 공유하는 29개의 SNP (A)를 선발, 이를 PCR을 이용, 외래 계통과 비교한 결과 (B). 9개의 프라이머 세트가 한국 무 계통에서는 타겟 부위를 증폭시키고 외래 계통은 증폭시키지 않음.

- (10) 그림에도 불구하고 단일 SNP 마커 대신 여러 마커를 복합적으로 사용한다면, 지역적 구분이 가능. 예를 들어 Ko27을 사용하여 PCR 산물이 관찰되지 않는 품종에 대하여 Ko28을 사용 시, PCR 산물이 관찰되면 비아시아권의 품종임 (그림 6)

		Cultivar	
79	강동(농협, 여름무), Gangdong(Summer radish)	Korean	
80	상생(농협, 봄무), Sangseang(Spring radish)		
81	청군(농협, 가을무), Chunggun(Autumn radish)		
82	강호(농협, 가을무), Gangho(Autumn radish)		
83*	강호골드(농협, 가을무), Ganghogold(Autumn radish)		
84	청일(농협, 가을무), Chungil(Autumn radish)		
85	청경(농협, 가을무), Chunggyung(Autumn radish)		
86	신흥(농협, 봄무), Shinheung(Spring radish)		
87	백량(농협, 백수무), Baekrang(White head radish)		
88	환백(농협, 소형백수 판엽무), Hwanbaek(Small white head flat-leaf radish)		
89	서호골드(농우, 가을무), Sehogold(Autumn radish)		
90	만사형통(농우, 봄-여름무), Mansahyungdong(Spring-Summer radish)		
91	청정고원무(농우, 겨울무), Cheongjeonggowonmu(Wintering radish)		
92	신청일품, Shincheongilpum		
93	새푸른봄, Saepurenbon		
94	삼박자, Sambakja		
95	관동여름, Gwandong		
96	관청플러스, Gwanchungplus		
97	청운, Chungwoon		
98	겨울대찬, Gyeowoldaechan		
99	RACS3010		
100	옥산백설(玉山白雪), Oksanbaekseol		Chinese
101	마지메, Majimae		Japanese
102	여름즈카사순, 夏つかさ司, Yeoreum cheukasa sun		
103	만만(하룻밤) G, 晩晩 G, Manman G		
104	아오이의 요새(연청색의 요새), 蒼の砦, Aono seongchae		
105	SEMILLERIA PARQUE RABANITO (Argentina, Cecilia)		Non-Asian
106	White Icicle (USA, Professor)		
107	Pink Beauty		
108	Prinz Rot In		
109	Scarlet Globe		
110	Celesta F1		
111	Sparkler 3		
112	Halloween Mix		
113	Cherrybelle		
114	French Breakfast		
115	Fireball F1 hybrid		

* : Second batch

그림 5. 계통/품종의 유래지역을 구분지을 수 있는 분자마커 탐색에 사용된 품종 리스트

- B). 차등발현은 두 배 이상, FDR 0.05 미만을 기준으로 함 (그림 7C)
- (2) 216, 218 각 라인에서 약 3000여개의 형성층 차등발현 유전자를 확인함(그림 7C). 각 라인에서 차등발현 유전자의 수는 발달 시기에 따라 달라지며, 216, 218에서 성장 시기에 상관없이 공통으로 형성층에서는 차등 발현되는 유전자의 수는 18개 발견됨. 많은 수의 형성층 차등발현 유전자는 필요에 따라 발달 시기별로 발현변화가 조절되는 것으로 판단됨
- (3) 단백질을 코딩하는 전사체와 더불어, 14,000여개의 large intergenic non-coding RNA (lincRNA)들을 발견(그림 7D, E). 이들은 무 염색체에 고루 분포되어 있고, 단백질 코딩 유전자의 발현 조절을 조율할 다양한 가능성이 확인됨

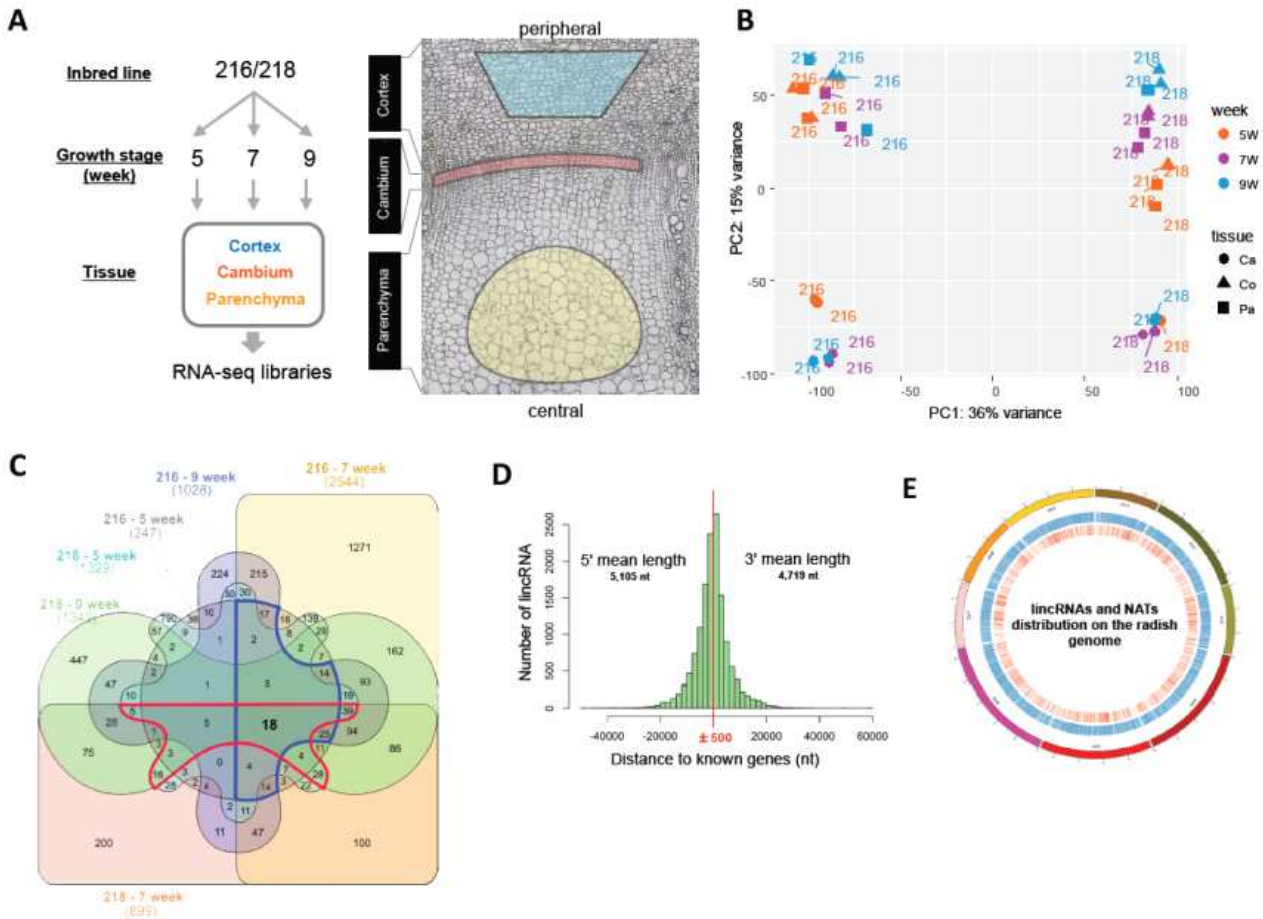


그림 7. 무 형성층과 주변 조직에 대한 전사체 데이터 생산 및 분석

A. laser capture microdissection을 이용한 RNA seq 데이터 생산 모식도. B. 31개의 RNA seq 데이터를 주성분 분석한 결과. 주성분 1은 inbred line에 의해 나누어 지며, 주성분 2는 형성층과 나머지 조직의 발현을 구분짓고 있음. C. 형성층과 주변 조직 비교 시, 차등발현되는 유전자들의 Venn Diagram. D. lincRNA가 발견되는 intergenic region의 위치 분포도. E. lincRNA의 무 유전체 내 분포. 본 그림은 Hoang et al. (2020)에 게재됨.

나. 무 형성층에 특이적으로 발현되는 유전자의 검증

- (1) LCM-RNA seq 데이터를 통해 형성층에 차등발현 양상을 보여주는 유전자들 가운데, 형성층 특이적인 발현이 정도의 차이는 있으나 시기에 관계없이 일어나는 유전자(*PXY*, *WOX4*, *ACL5*, *HB8*), 특정 시기에 많이 일어나는 유전자(*LHY*), 그리고 라인 간에

대조적인 발현양상을 보이는 유전자를 선발(*LHW*, *ERF 105*)(그림 8D)

- (2) 라인 216 7주에서 *PXY*, *WOX4*, *ACL5*, *HB8* 유전자들이 형성층 주변에서 발현됨이 확인됨(그림 8A)
- (3) *LHW*는 라인 216에서 더 발현이 많이 되는 반면, *ERF 105*는 라인 218에서만 강하게 발현이 일어나는 것으로 예측됨. LCM-RNA seq을 예측된 7주차 두 라인에서의 발현 양상을 RNA *in situ* hybridization으로 확인(그림 8B)
- (4) RNA-seq 데이터에서 생장 단계에 따라 형성층에서 다른 발현 양상을 보이는 *PXY*와 *LHY*를 선정하여 발달 시기별로 RNA *in situ* hybridization를 실시하여 발현을 관찰한 결과, *PXY*는 7주 9주에서 *LHY*는 9주에서 강한 발현을 보임(그림 8C)
- (5) 위의 결과를 종합해 볼 때, RNA *in situ* hybridization 결과는 RNA-seq 데이터에 근거한 발현 양상과 높은 유사성을 보여주고 있음. 따라서, 본 연구진이 제작한 조직 특이적인 RNA-seq 데이터가 실제 생체 발현 양상을 반영한 신뢰도 높은 데이터임을 알 수 있음

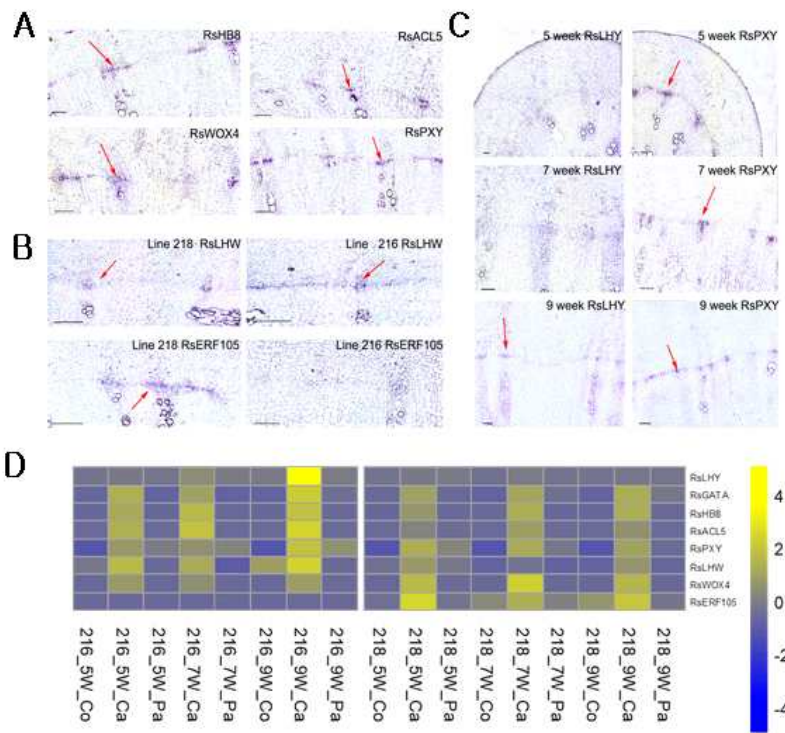


그림 8. RNA *in situ* hybridization을 이용, 형성층 특이적으로 발현될 것으로 예측된 유전자 재검증
 A. 7주차 216에서의 발현 분석 결과. B. 216과 218에서 차등발현되는 유전자의 발현 비교. C. 라인 216에서의 생장 시간대에 따른 발현 변화 분석. D. RNA *in situ* hybridization 분석을 위해 선발된 유전자의 RNA seq 데이터에 근거한 조직별, 생장 시기별, 라인별 발현 양상. 본 그림은 Hoang et al. (2020)에 게재됨.

다. 형성층 차등발현 유전자의 coexpression pattern 및 ontology 분석

- (1) 라인 216과 218에서 분리된 전체 형성층 차등 발현유전자 4,602개의 coexpression pattern을 군집분석으로 관찰 (그림 9)
- (2) Kmeans (Slonim et al., 2005) 군집분석에서 발현양상에 따라 24개의 군집이 추출됨
- (3) 군집별로 무 라인, 조직, 발달 시기에 따라 다른 발현 양상을 보이는 유전자군이 추출되어 이들 군집에 속한 유전자군에 의해 무 뿌리 발달이 특이적으로 조절될 것으로 판단됨
- (4) 조직별로 라인 간 발현 차이가 나타나는 군집은 형성층에서 14, 19, 20번이 라인 216에서 상대적 발현이 강하고 5, 22번은 216에 비해 218에서 발현이 높음. cortex는 군집 11, 17 과 군집 6, 15, 18에서 두 라인간의 대조를 보이며, parenchyma는 3, 4번이 216에서 1, 10번은 218에서 상대적 발현이 높음. 각 조직에서 라인간의 발현차이와 비대특성의 관련여부는 추

가적인 분석이 필요해 보임

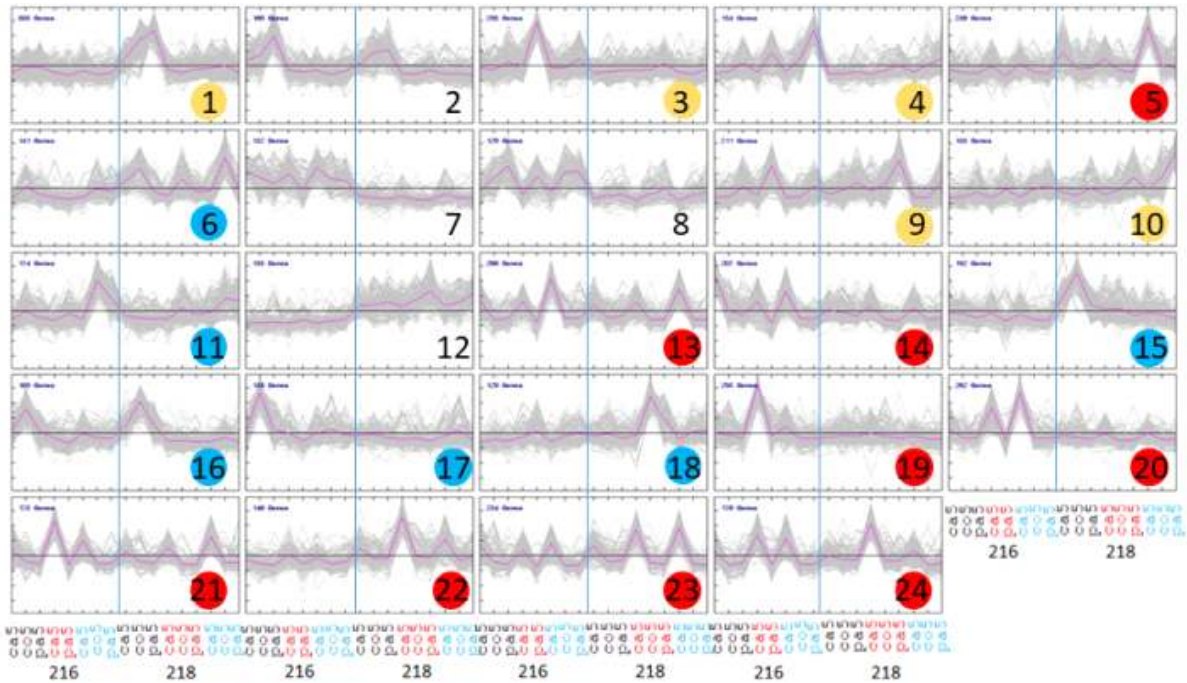


그림 9. 형성층 차등발현 유전자 군집분석

k-means 군집분석 (K=24), 각 군집에 속하는 모든 전사체의 발현양상을 회색선으로 표시하고 발현량의 대푯값은 적색으로 표시함. 파란색 수직선으로 216과 218 두 개의 라인을 구분. 조직에 따라 특이적인 발현을 보이는 군집에 대해 색깔을 표시함. 적색은 형성층 특이적 발현 유전자군, 파란색은 cortex 특이적 발현 유전자군, 노란색은 parenchyma에 상대적으로 발현이 강한 유전자군을 표시함. 본 그림은 Hoang et al. (2020)에 게재됨.

- (5) 군집분석에서 얻어진 특정 군집 내의 유전자가 가진 기능, 대사, 세포내 위치 등의 유사성이나 특징을 추정하기 위해 gene ontology (Ashburner et al., 2000)분석을 수행함 (그림 10)
- (6) 각 조직별 발현양상에 따라 다소 구별되는 군집들 간에 차이가 확인됨. 형성층 발현을 보이는 군집은 biological process에서 cell cycle, 유전자 발현조절, 성장과정에 관련된 온톨로지가 얻어졌으며 분자적으로 효소활성이나 가수분해와 관련된 온톨로지가 특징적임. 발달 시기에서도 5주에서 세포 분열과 세포 주기와 관련된 온톨로지가 나타나고 7주와 9주는 이차 대사나 탄수화물 대사관련 온톨로지가 나타나는 특징을 보임. 218의 형성층에서는 스트레스나 자극에 반응에 관련된 유전자들이 주로 발현되는 것으로 파악됨. parenchyma는 성장 및 형태형성과 관련된 유전자발현이 공통적으로 나타나며 216에 비해 218에서 자극 및 스트레스에 반응하는 프로세스가 두드러지게 나타나는 특징을 보임. cortex는 주로 parenchyma와 유사한 온톨로지가 확인되었으며 cortex에서만 고유한 온톨로지 중 광합성과 관련된 온톨로지는 cortex조직이 상대적으로 뿌리 바깥쪽에 있어 광합성 활성이 나타날 수 있다는 점에서 조직 특성을 반영한 분석결과를 얻었음이 확인됨

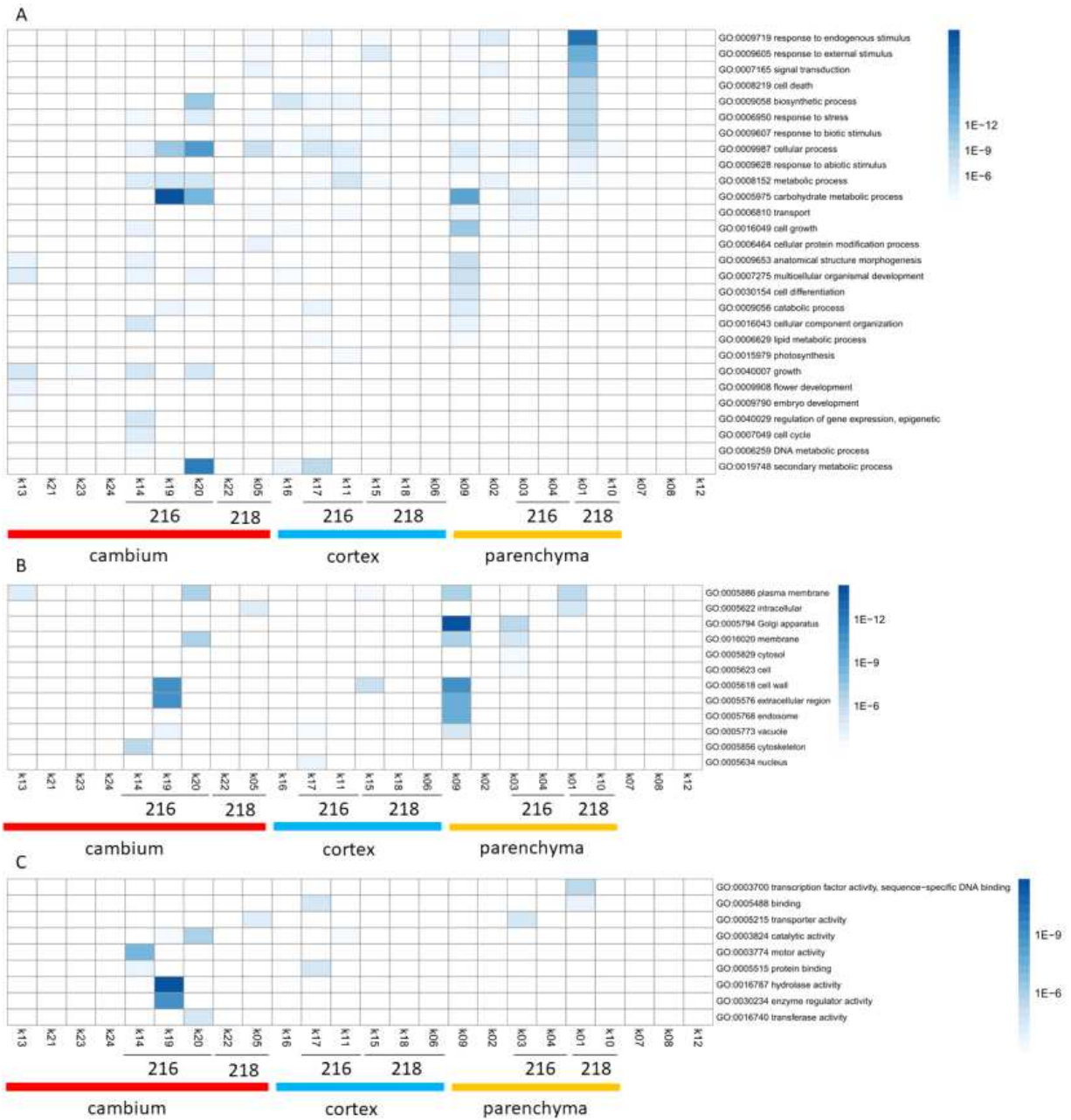


그림 10. 24개의 Kmeans 군집에 대한 온톨로지 분석, p-value값을 기준으로 (corrected p-value 0.001 이하) 각 군집에 나타나는 온톨로지 항목을 heatmap으로 표시함. A. biological processes, B. cellular component, C. molecular function, 그림 6에서 사용한 색깔이 조직별 분류에 쓰임. 적색은 형성층 특이적 발현 유전자군, 파란색은 cortex 특이적 발현 유전자군, 노란색은 parenchyma에 상대적으로 발현이 강한 유전자군을 표시함. 본 그림은 Hoang et al. (2020)에 게재됨.

- (7) cellular component와 molecular function에 기반한 온톨로지 분석에서는 상대적으로 적은 정보를 얻어 biological process 보다는 조직 간의 차이가 두드러지게 보이지 않음
- (8) 216과 218 사이에서도 유의미한 온톨로지 영역의 차이가 나타났으며 특히 biological process에서 216 형성층에 강하게 발현되는 유전자 클러스터에서 cell cycle과 세포 성장 및 발달 관련된 온톨로지가 유의미하게 나타난 점은 216 라인의 강한 비대 특성과 연관이 있다고 추정됨

라. 무와 애기장대 뿌리 발현 데이터를 이용, 두 종간에 보존된 유전자 조절 네트워크 탐색

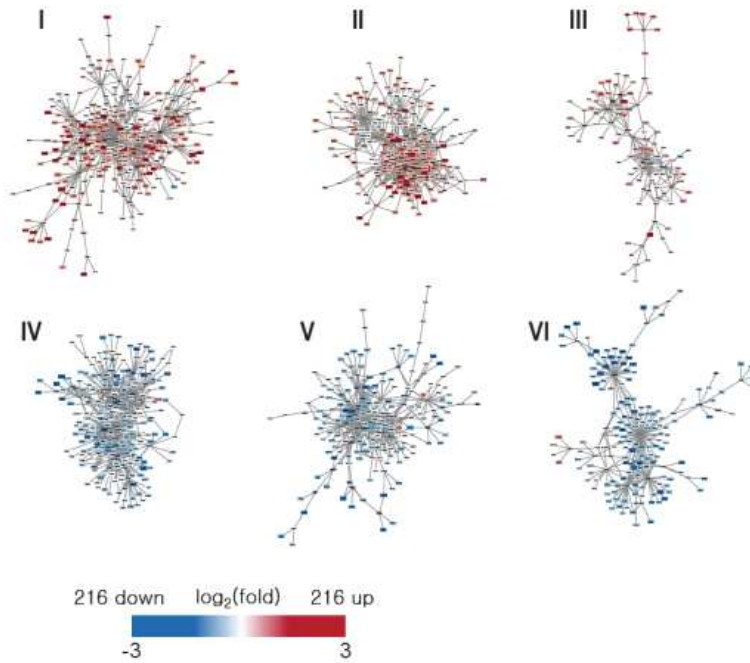


그림 11. 애기장대와 무 뿌리에 보존된 전사체 조절 네트워크 모듈.
본 그림은 Hoang et al. (2020)에 게재됨.

(1) 본 연구진과 공동연구진이 함께 Nature Plant에 발표한 23개 애기장대 뿌리 전사체 발현 데이터(Zhang et al., 2019)와 본 연구의 무 발현 데이터에서 각각 coexpression network를 찾은 후 동일한 유전자 쌍이 연결된 network edge만을 골라 공통된 network module을 제작한 결과. 모듈 4, 5, 6은 비대가 잘되는 216 형성층에서의 발현이 비대가 미약한 218 보다 약한 유전자들로 구성되어 있음. 특히 모듈 5는 스트레스에 반응하는 전사인자들이 상당수 발견됨(그림 11).

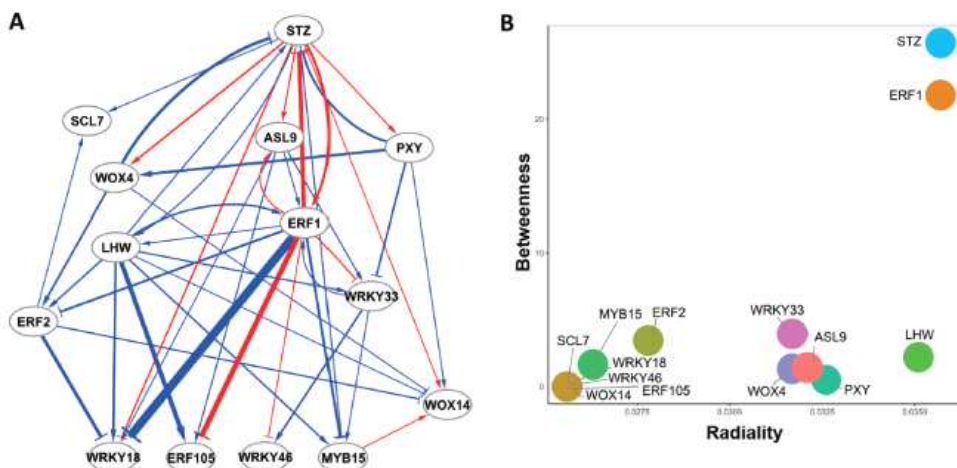


그림 12. 형성층 특이적인 스트레스 저항성 전사인자와 이미 알려진 형성층 활성 조절 유전자 간의 생체내 조절 네트워크 (A) 및 네트워크 분석 결과 (B). 본 그림은 Hoang et al. (2020)에 게재됨.

- (2) 위 결과를 토대로 스트레스 저항성과 관련된 전사인자와 이미 밝혀진 형성층 조절 인자들을 선별하여 이들 간의 전사조절 관계를 9개의 돌연변이체 뿌리의 RNA를 이용한 quantitative RT-PCR을 통해 유추(그림 12A)
- (3) 그림 12A에서 보이듯이, 생체내의 전사조절은 상당히 복잡한 네트워크를 이루고 있음을 알 수 있고, 그 가운데 네트워크 구조에 중요한 인자로 ERF-1과 STZ가 발견됨(그림 12B)
- (4) ERF-1과 STZ는 형성층에 의한 성장을 환경 변화와 조율하는 데에 중요한 역할을 하는 것으로 판단되어 이에 대한 특허 출원을 진행함

3. 무 바람들이와 관련된 유전자 발굴

가. microCT를 활용한 바람들이 또는 동공 현상의 비파괴적/정량적 분석

- (1) 바람들이 관련 분리집단 제작의 친으로 사용된 원교10040의 바람들을 정량적으로 분석하기 위해 최근 학부에 공동기기로 도입된 microCT를 이용한 3D 이미징을 시도(그림 13)
- (2) 뿌리 조직의 변화를 비파괴적으로 관찰하는 것이 가능하여 바람들의 정도를 내부 손상이 없이 자세히 분석할 수 있었음

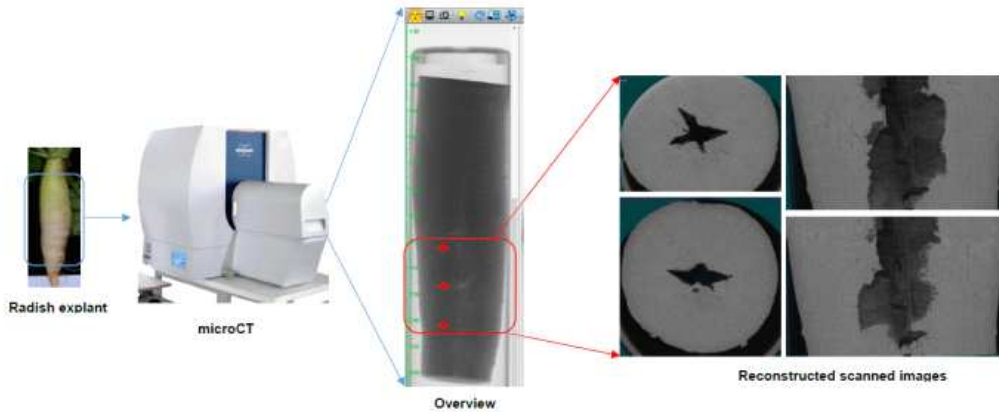


그림 13. microCT를 활용하여 무 뿌리 내부의 바람들을 이미징한 결과

나. 바람들이 관련 전사체 데이터 생산 및 분석

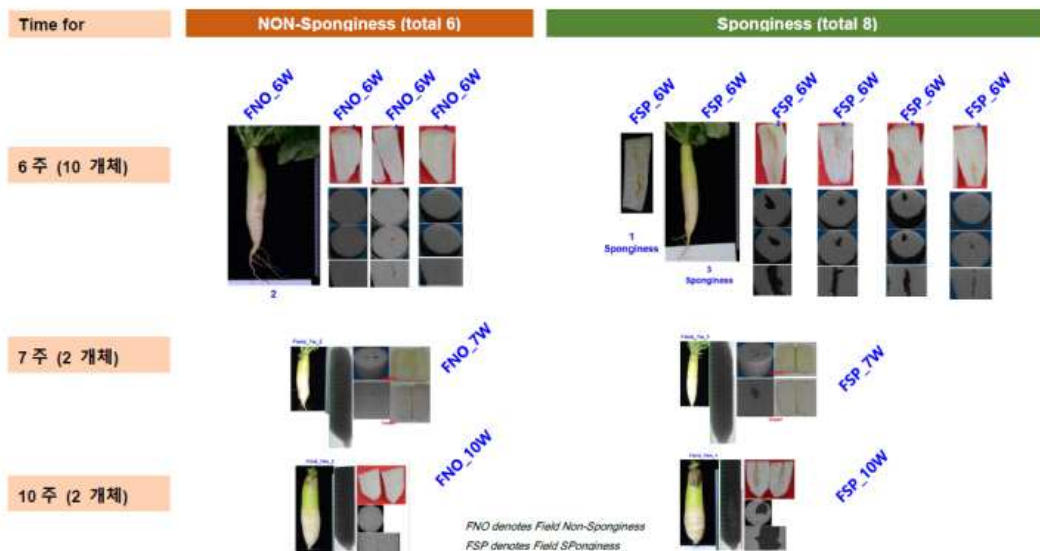


그림 14. 국립원예특작과학원에서 파종한 원교 10040호 바람들이 분석 결과

- (1) 원교10040호를 서울대학교 온실과 국립원예특작과학원 비닐하우스에서 키운 후, 6주에서 10주 사이에 수확하여 뿌리 바람들이 정도를 microCT로 분석
- (2) 그 결과 서울대학교에서 키운 개체는 바람들이가 전혀 관찰되지 않은 반면, 특작과학원에서 키운 개체는 14개 가운데 8개체가 파종 6주된 개체에서 이미 심한 바람들이 증상을 보임(그림 14)
- (3) 이미징을 한 각 개체로부터 RNA를 분리하여 총 20개체에 대한 RNA sequencing을 진행

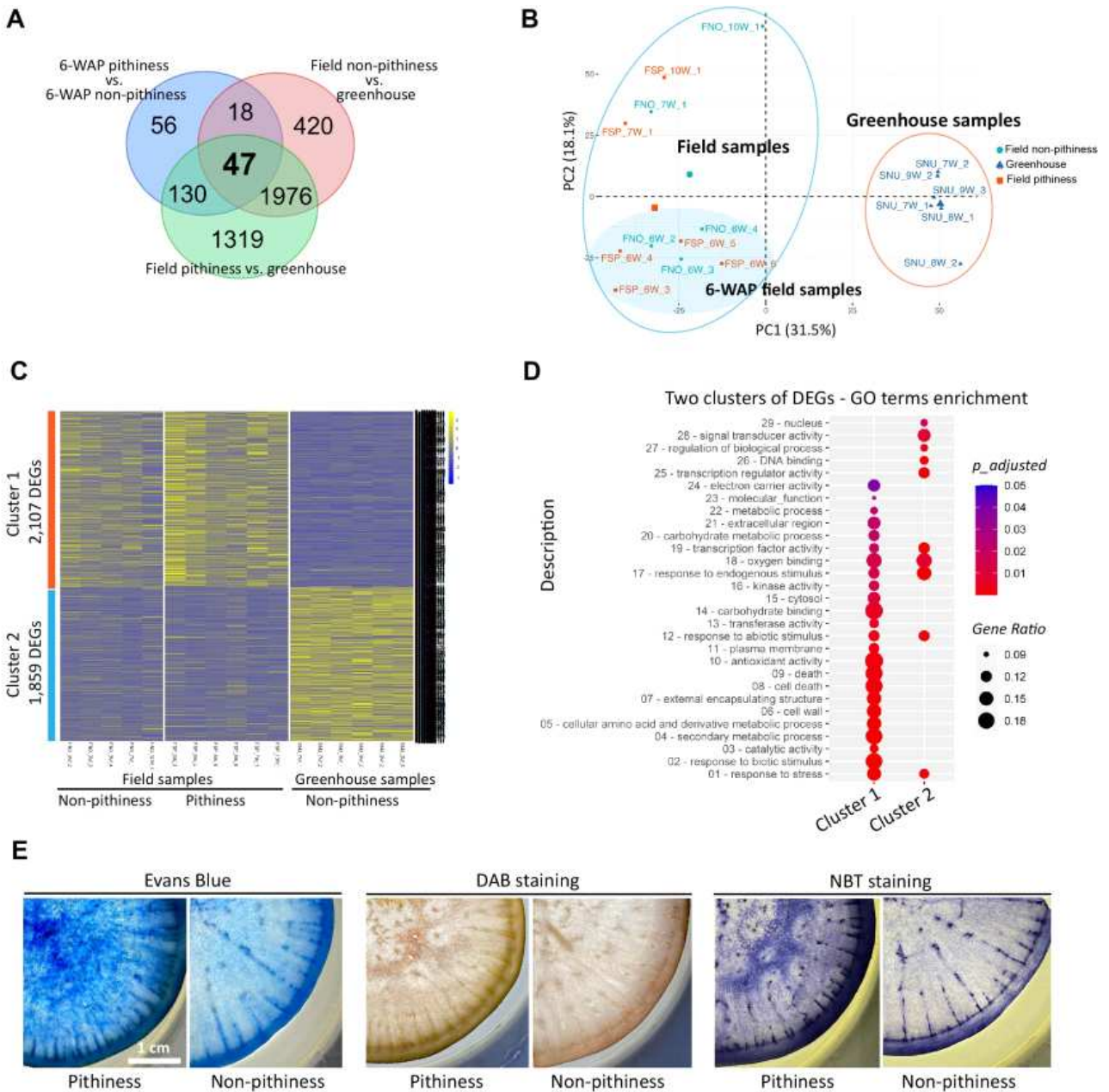


그림 15. 무 바람들이 관련 전사체 데이터 생산 및 분석
 (A) 온실과 노지에서 키운 원교10040호 20개체의 무 전사체 데이터 상호 비교를 통한 차등 발현 유전자 선별 결과 (B) 원교10040호 20개체의 무 전사체 데이터에 대한 주성분 분석 결과 (C) (A)에서 선별한 3966개 차등발현 유전자 발현 양상을 K means clustering 으로 분석한 결과 (D) (C)의 두 개 cluster 유전자에 대한 GO term enrichment 분석 결과 (E) 바람들이와 활성 산소 및 세포 사멸의 연관성을 분석하기 위한 염색 지시약 분석 결과

- (4) 서울대 온실에서 키운 시료(SNU), 특작원에서 키워 바람들이를 보이는 시료(FSP), 특작원에서 키워 바람들이를 보이지 않는 시료(FNO)의 RNA sequencing 결과를 상호 비교하여 3966개의 바람들이와 관련된 것으로 예측되는 차등 발현 유전자를 발견함(그림 15A; 발현량의 차 2배, FDR<0.05)
- (5) 선발된 유전자의 차등 발현은 크게 두 가지 양상을 보여주고 있었으며(그림 15C), 이 중 바람들이를 보이는 무에서 발현이 증가하는 유전자에 대한 gene ontology 분석을 진행한 결과 활성 산소에 의한 스트레스 반응 및 세포 사멸과 연관된 조절 과정에 참여하는 유전자들이 over-representation되는 것을 확인할 수 있음(그림 15D)
- (6) 바람들이가 활성 산소에 대한 반응 및 세포 사멸과정과 연관되는 지를 확인하기 위하여 죽은 세포를 염색시키는 Evans Blue와 활성 산소에 반응하여 발색 반응을 유도하는 DAB (3,3-diaminobenzidine), NBT (nitro blue tetrazolium)를 바람들이가 있는 무와 없는 무의

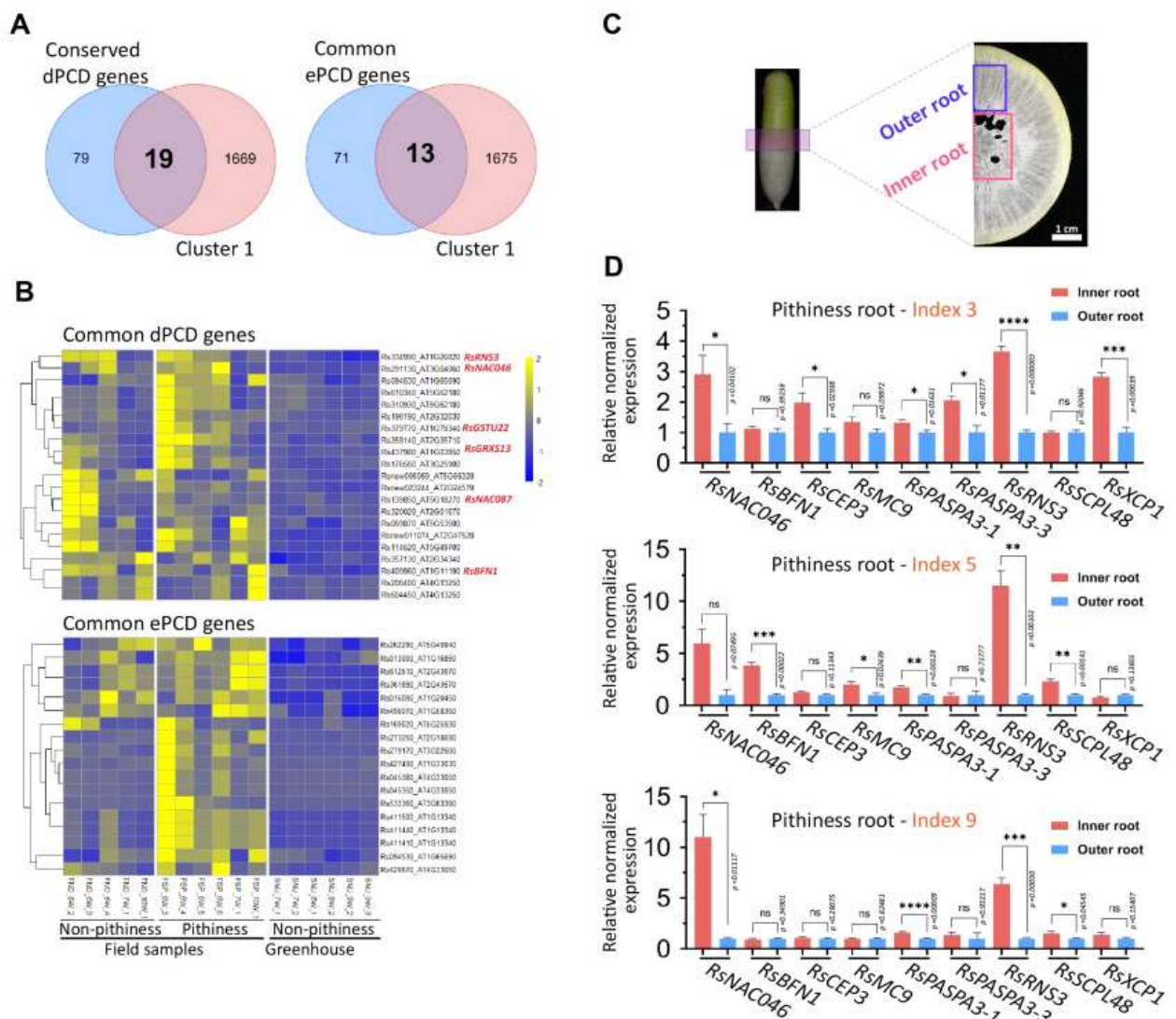


그림 16. 세포 사멸 과정(Programmed Cell Death: PCD)에 관여하는 유전자들의 바람들이 무 발현 패턴. (A, B) 애기장대에서 세포 사멸 과정을 조절하는 유전자(Olvera-Carrillo et al., 2015)의 ortholog가 바람들이 관련 차등 발현 유전자에서 발견되는 지를 확인한 Venn Diagram과 무 뿌리에서의 발현 패턴. (C, D) (B)에서 확인한 유전자가 바람들이가 진행 중인 조직에서 발현량을 증가시키는 지 확인하고자 무 뿌리를 outer-, inner root로 나누어 RNA를 분리한 후 quantitative RT-PCR 분석을 진행한 결과. 바람들이가 일어난 inner root에서 여러 유전자의 발현량이 증가하는 것을 확인.

뿌리 절편에 처리한 결과, 바람들이가 있는 무에서의 염색이 강하게 관찰됨(그림 15E).

(7) 이러한 결과는 바람들이가 활성 산소에 대한 스트레스 반응의 결과로 일어나는 세포 사멸 현상일 가능성을 뒷받침하고 있음

다. 스트레스에 반응한 세포 사멸 유도 유전자들과 바람들이의 연관성 분석

(1) 바람들이 개체에서 차등 발현되는 유전자들 가운데 환경에 반응하거나 세포 분화 과정에서 발현되는 여러 세포 사멸 유전자들(Olvera-Carrillo et al., 2015)이 발견되었고 이들은 바람들이가 일어나는 무에서 발현량이 증가하는 양상을 보여줌(그림 16A, B)

(2) 이 세포 사멸 관련 차등 발현 유전자들이 실제로 바람들이가 일어나는 무 조직 부위에서 발현되는 지를 확인하고자 무 뿌리의 바깥쪽과 내부(바람들이가 발생하는 물관 유세포 조직)로부터 RNA를 각각 분리, 정제함(그림 16C)

(3) 차등 발현되는 세포 사멸 유전자들의 발현량은 outer root에 비해 바람들이가 발생하는 물관 유세포 조직(inner root)에서 상대적으로 높은 양상을 보임(그림 16D)

라. 바람들이 관련 분리집단을 이용한 Genotype By Sequencing (GBS)

(1) GSP 과제 1단계에서 준비한 무 바람들이 F2 분리집단을 이용하여 GBS 라이브러리 제작을 진행 (그림 17-19)

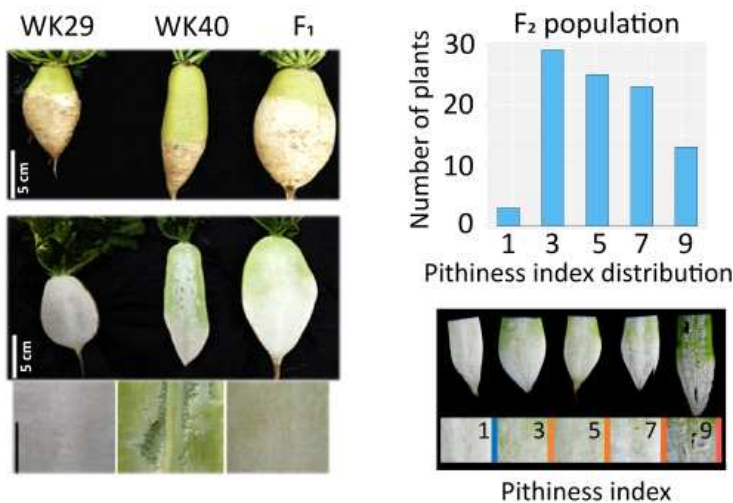


그림 17. 바람들이 F2 분리집단 작성.

바람들이에 강한 원교10029호(WK29)와 약한 원교10040호(WK40)를 양친으로 하여 F2 분리 집단을 준비, 무 수확 후 바람들이 정도(pithiness index)를 결정

(2) 지난번과 달리 EcoRI 제한효소를 사용하였고, MseI adaptor에 Y 모양의 비상보적 염기를 달아 MseI-MseI 조각을 라이브러리에서 배제시켜 제작하고자 함 (그림 18)

(3) 이와 더불어 column을 이용한 size selection을 진행하고 Phusion DNA polymerase를 사용하여 Illumina sequencing의 효율과 read의 정확도를 높이려 함

(4) 현재 바람들이 분리집단에 대한 GBS 라이브러리 시퀀싱 결과를 확보하여 분석 중임

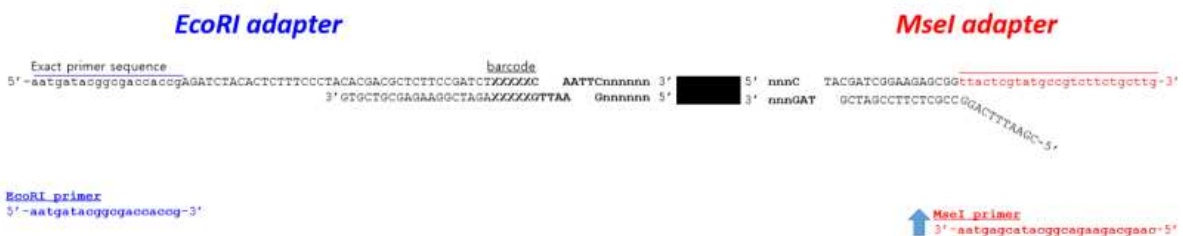


그림 18. 본 연구에서 디자인하여 사용한 MseI, EcoRI adaptor

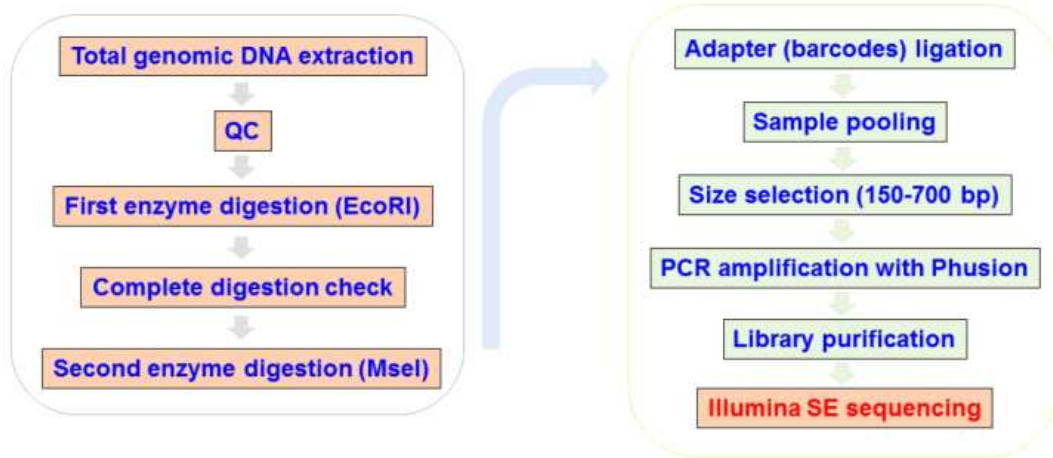


그림 19. GBS 라이브러리 제작 과정 모식도

마. GBS데이터 분석을 통한 QTL mapping

- (1) GBS 결과를 무 reference genome ver2과 비교 분석하여 35,455개의 SNP를 찾아내었고, 이들 가운데 1:2:1의 비율로 F2에서 분리되는 240개의 마커를 활용하여 QTL 분석을 가톨릭 대학교의 김상태 교수님의 조언을 받아 진행함(그림 20A)
- (2) 그림 20B에서 볼 수 있듯이 chromosome #1 (버전2 기준)에서 바람들이와 연관된 구간 (pPITH-1)이 발견됨
- (3) 이 구간에 위치한 유전자 가운데 RNA sequencing 에서 차등발현 되면서 스트레스에 반응하여 세포 사멸을 유도하는 것으로 알려진 유전자를 탐색한 결과, RsNAC013이 발견됨

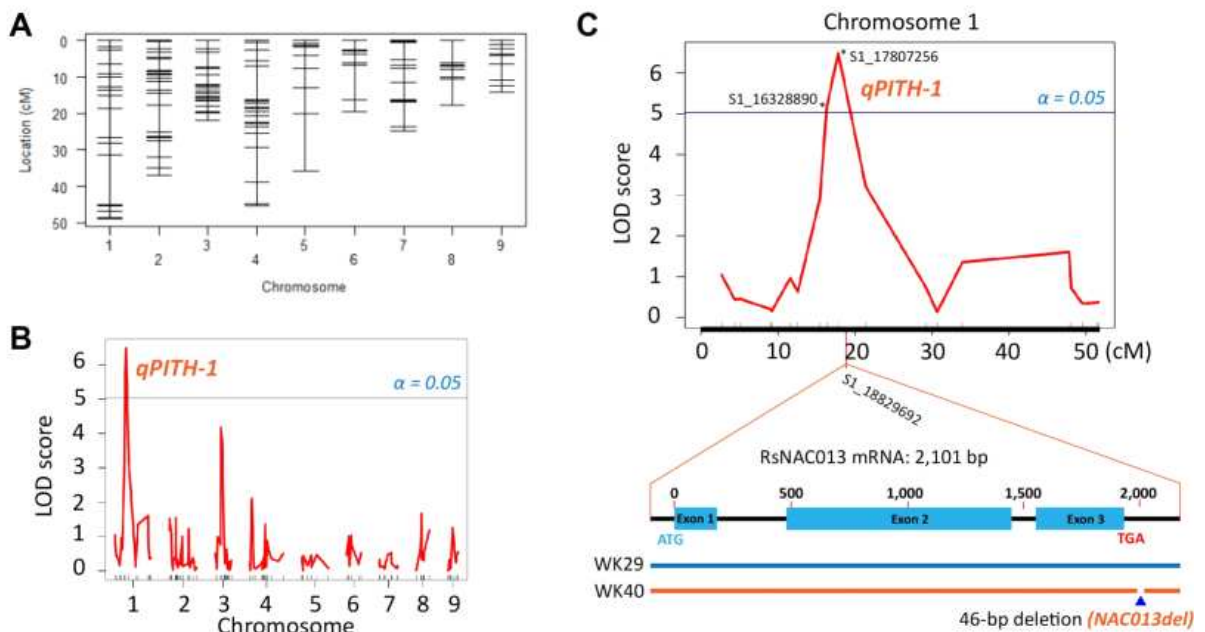


그림 20. GBS데이터 분석을 통한 QTL mapping

(A) GBS 결과에서 발견된 SNP 가운데 biparental segregation을 하는 240개의 SNP의 유전체 상의 위치 (B) rQTL 분석 결과 바람들이와 유의미한 연관성을 보인 pPITH-1을 1번 chromosome에서 발견 (C) pPITH-1 구간에 위치한 RsNAC013의 두 양친 간 이형성

- (4) 원고 10029호와 10040호 유전체 시퀀스를 비교한 결과, NAC013 유전자의 단백질 코딩 염

기서열과 3' UTR에 차이를 보여주는 것이 확인됨(그림 20C)

바. 애기장대 세포 사멸 유전자 네트워크 분석을 통한 RsNAC013의 바람들이 유도 가능성 조사

- (1) STRING database (<https://string-db.org>)의 애기장대 gene regulatory network 예측 도구에 근거하여 NAC013과 co-expression되는 유전자들을 살펴보면 세포 사멸 과정 및 활성산소의 생산과 무력화에 관여하는 유전자들이 주를 이룸(그림 21A)
- (2) 이들 유전자들을 선발하여 원교10040호와 10029호의 뿌리에서 발현량을 quantitative RT-PCR로 비교하였을 때, 바람들이가 잘 일어나는 10040호에서 일관되게 발현이 증가하는 양상을 관찰함(그림 21B)

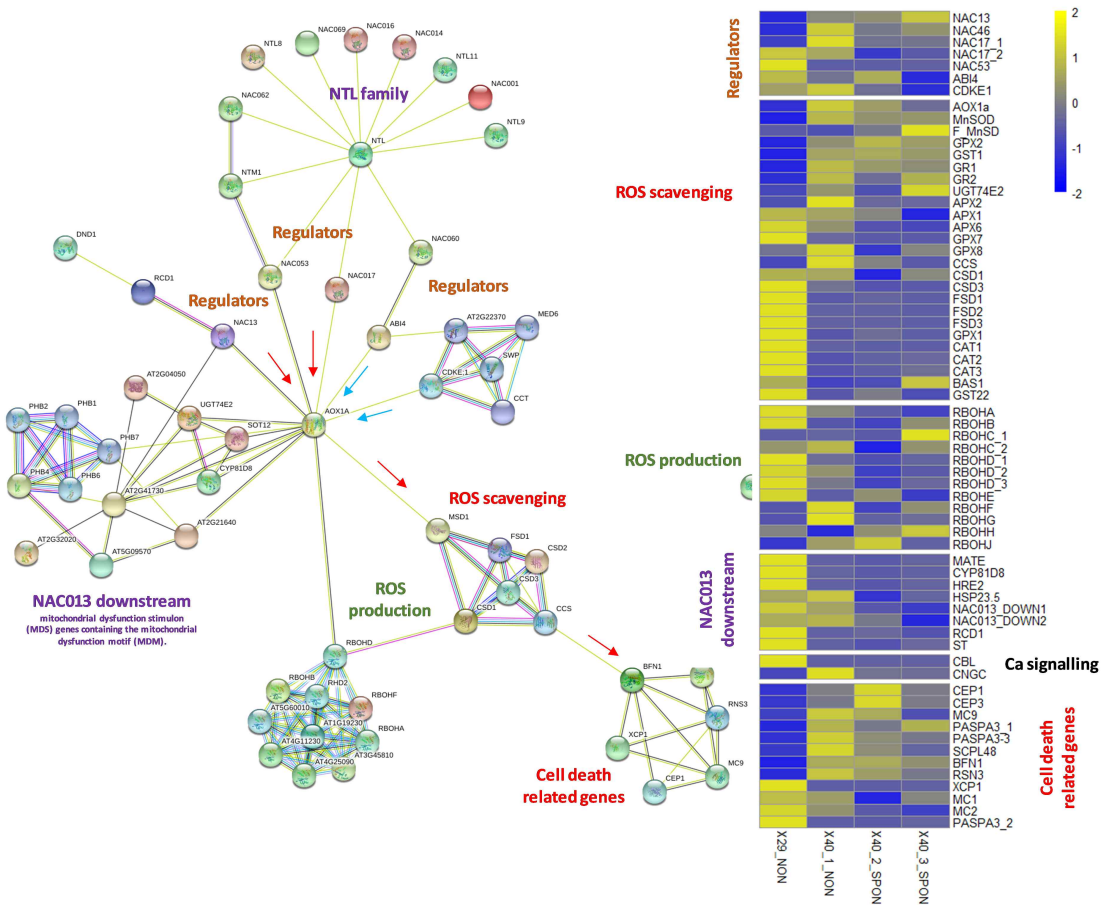


그림 21. NAC013과 coexpression network를 이루는 유전자들에 대한 realtime RT PCR 결과를 heatmap으로 요약한 결과. heatmap 맨 왼쪽열이 원교10029, 나머지 세 열은 원교10040 뿌리에서의 발현량 측정 결과임. 뿌리 RNA로부터 각 행에 나열된 유전자의 발현량을 측정한 후 상대적 발현값을 표현.

사. RsNAC013과 주변 SNP를 이용한 분자마커 개발 및 분석

- (1) rQTL 분석과 전사체 분석을 토대로 NAC013이 바람들이에 관여한다고 판단하고 NAC013의 유전형을 F2 분리집단에서 분석하기 위한 PCR 마커를 개발 (그림 22D), 분석함
- (2) 더불어, NAC013에 가까이 위치한 SNP S1_17807256에 대한 PCR 분석을 병행함 (그림 22A-C). 그 결과 NAC013 분석에 근거한 유전형과 동일한 결과를 얻음. 이는 유전체 데이터에 기반한 NAC013과 S1_17807256의 위치가 정확함을 제시

(3) NAC013의 F2 유전형과 바람들이 분석 결과를 비교한 결과, 바람들이를 보이는 개체일수

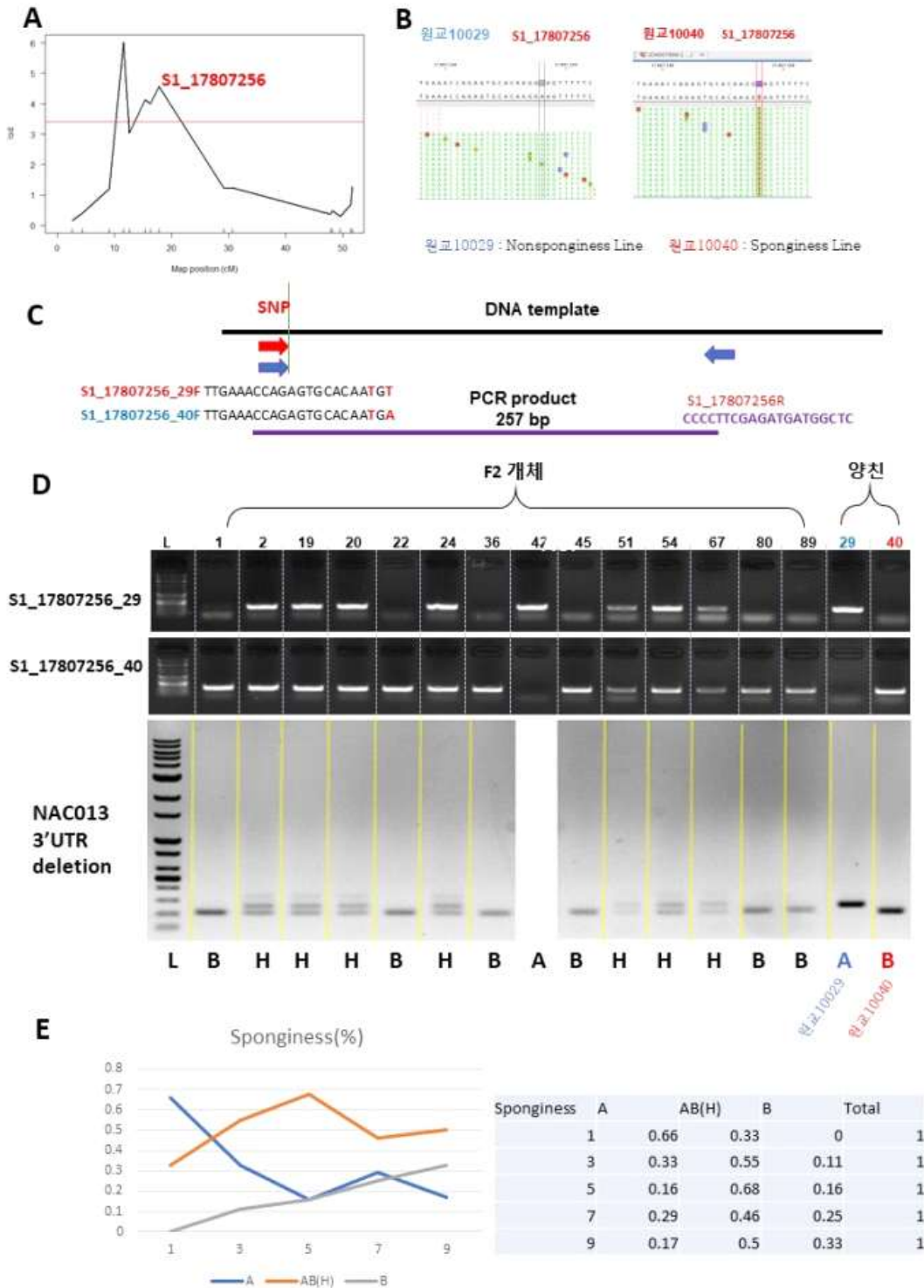


그림 22. QTL 데이터에 근거한 바람들이 관련 분자 마커 개발 및 분석 결과. (A) 무 유전체 chromosome 1 (ver2)에 매칭시켜 rQTL 분석 결과 찾아낸 후보 SNP (S1_17807256). (B) QTL 분석에 사용한 F2의 양친인 원교10029와 원교10040호 유전체의 S1_17807256. (C) (B)에 근거하여 디자인한 SNP 특이적인 PCR primer. (D) (B)의 primer를 이용한 PCR 분석 결과의 예 (상단). S1_17807256에 가까운 NAC013 마커(하단)와 동일한 결과를 보임. (E) (D)의 결과를 통한 SNP 분포와 F2 개체의 바람들이 정도를 비교한 결과. 바람들이가 심할수록 원교10040 유래 SNP의 빈도가 높은 경향을 보이고 있음.

록 원교10040호 유전형을 보유하는 경향성을 관찰

아. RsNAC013의 유전형에 따른 분자적 기능의 차이 유무 분석

- (1) 원교10040호와 10029호의 RsNAC013 시퀀스 비교 시 3'UTR 뿐 아니라 membrane에 부착되는 C-말단 부위 아미노산(Ile -> Met, Glu -> Lys)에 차이를 보이고 있음(그림 23A-C)
- (2) 이러한 유전형의 차이가 NAC 도메인 전사인자인 RsNAC013의 활성화에 차이를 일으키는지를 분석하는 실험을 진행

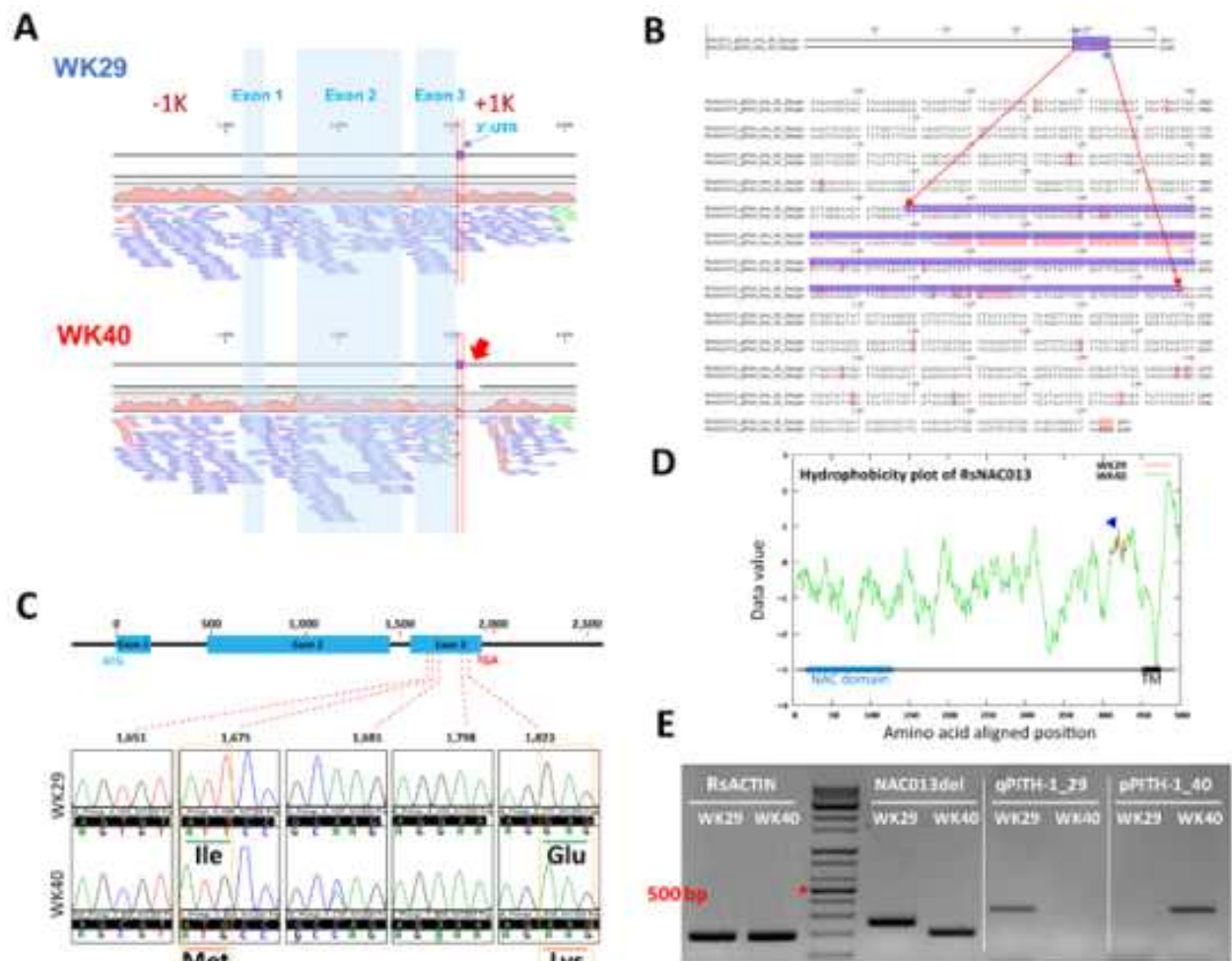


그림 23. 원교10040호와 원교10029호 RsNAC013의 유전형 분석

(A) 원교10040호와 원교10029호 유전체를 Illumina sequencing하여 RsNAC013 reference sequence에 align한 결과 (B) 원교10040호와 원교10029호 RsNAC013 sequence의 3'UTR 부위를 align한 결과. 총 46 base의 결손이 원교10040호에서 관찰됨 (C) RsNAC013 C-말단 부위의 SNP와 이에 따른 아미노산 서열 차이를 보여주는 모식도 (D) RsNAC013 단백질 아미노산 서열의 hydropathy plot (E) 3' UTR deletion을 이용한 PCR 분자 마커의 전기영동 사진

(3) RsNAC013 유전형의 분자적 기능을 분석하기 위해 RsNac013의 단백질 코딩 부위를 원교 10040호와 10029호에서 분리, 각각 GFP에 부착시키고 애기장대에 과발현시켜 (p35S::GFP-RsNAC013) 세포 내 발현을 관찰함(그림 24)

(4) 아무 자극이 없는 조건에서 관찰 시 핵 밖에 있는 막구조에 단백질이 위치하는 것을 확인
 (5) 과산화수소를 처리하여 활성산소 스트레스 자극을 줄 경우 GFP-RsNAC013이 빠르게 핵 안으로 자리하는 것을 확인. 따라서 두 유전형의 코딩부위에 있는 아미노산 서열 차이는 단백

질의 세포 내 위치에 영향을 주지 않는 것으로 결론지음

(6) 마찬가지로 원교10040의 3'UTR에 있는 46 base deletion이 전사 후 조절의 차이를 유발하지 않는 것으로 결론지음

(7) 마지막으로 두 유전형이 전사인자 활성 정도에 차이를 지니는 지를 알아보기 위해 NAC013의 하위유전자인 ALTERNATIVE OXIDASE1a (AOX1a; De Clercq et al. 2013)의 발현을 분석. 그 결과, 원교10040호 유전형의 활성도가 원교10029호 유전형보다 높은 것을 확인

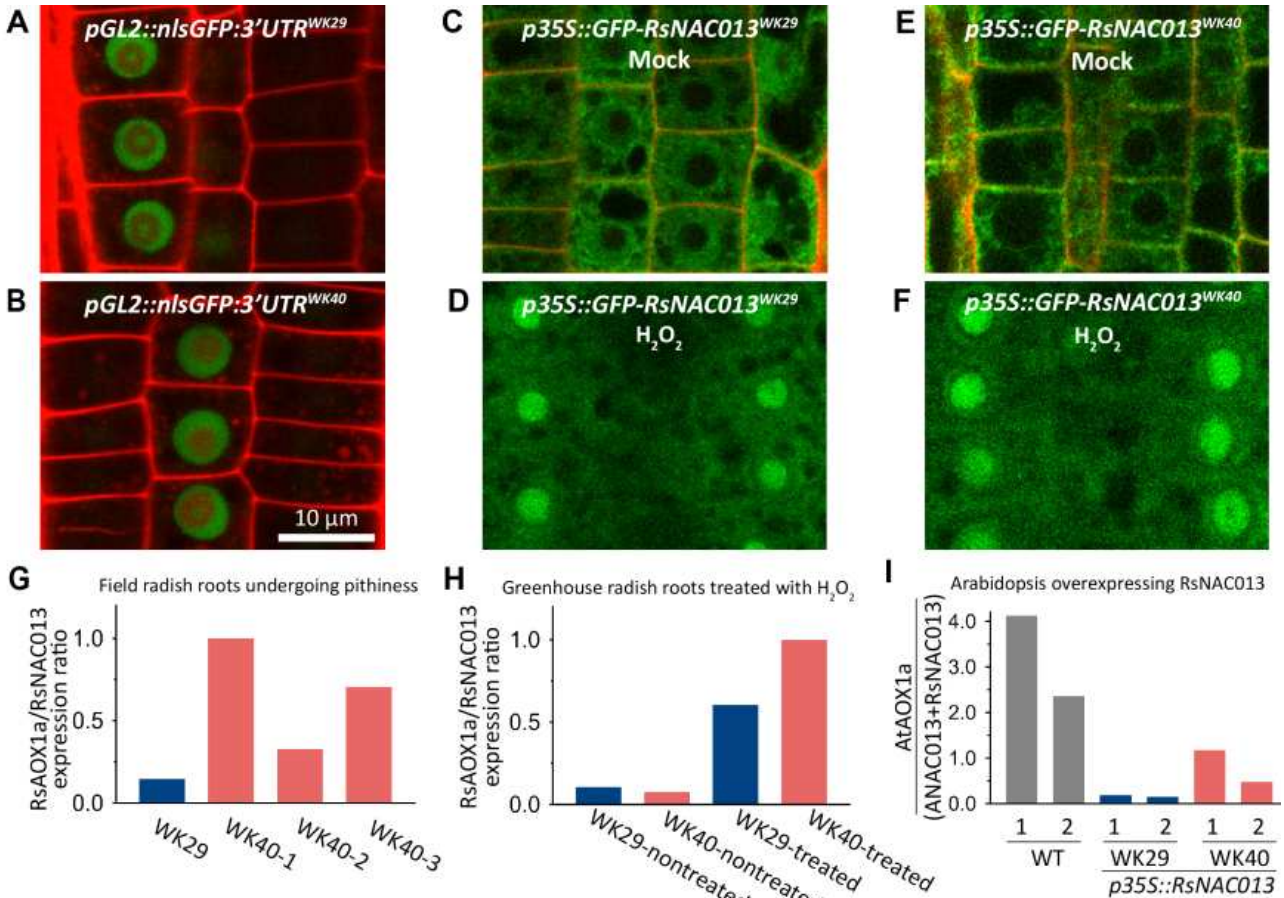


그림 24. 원교10040호와 원교10029호 RsNAC013 유전형의 기능 분석

(A, B) 3'UTR의 결손이 유전자 발현의 차이를 유도하는 지 분석한 결과. 애기장대에서 GLABRA2 유전자의 프로모터에 nlsGFP를 각각 두 원교의 RsNAC013 3'UTR과 연결시켜 nlsGFP 단백질 발현 정도를 공초점 현미경 하에 형광량을 측정하여 비교 (C-F) RsNAC013 유전형의 C-말단에 있는 아미노산 치환이 RsNAC013 단백질의 세포 내 위치에 영향을 미치는 지를 비교 분석한 결과. 35S 프로모터 하에 원교10040호와 원교10029호의 RsNAC013 단백질 코딩 부위를 GFP와 부착시켜 애기장대에 도입 후 뿌리에서 분석함. (C, E)와 (D, F)는 배지에 과산화수소를 처리하기 전과 후에 공초점 현미경으로 관찰한 이미지. (G) 무의 바람들이와 RsNAC013의 발현량을 비교한 그래프 (H) 원교10029호와 원교10040호의 식물체에 과산화수소를 처리하여 RsNAC013의 발현량에 대한 RsAOX0a의 상대적 발현량을 측정한 결과 (I) 애기장대에서 과발현시킨 두 원교의 RsNAC013이 애기장대 AOX1a의 발현을 유도하는 정도를 비교한 그래프

자. 무 바람들이의 환경적, 유전적 영향 분석

(1) NAC013은 활성산소 스트레스 조건 하에서 전사인자 기능이 활성화되어 미토콘드리아로 스트레스 신호를 전달하는 유전자의 발현을 유도하는 것으로 알려져 있음. 그림24D와 F에서 확인할 수 있듯이 GFP-RsNAC013 단백질이 과산화수소 처리 시 핵으로 이동하는 것으로 보

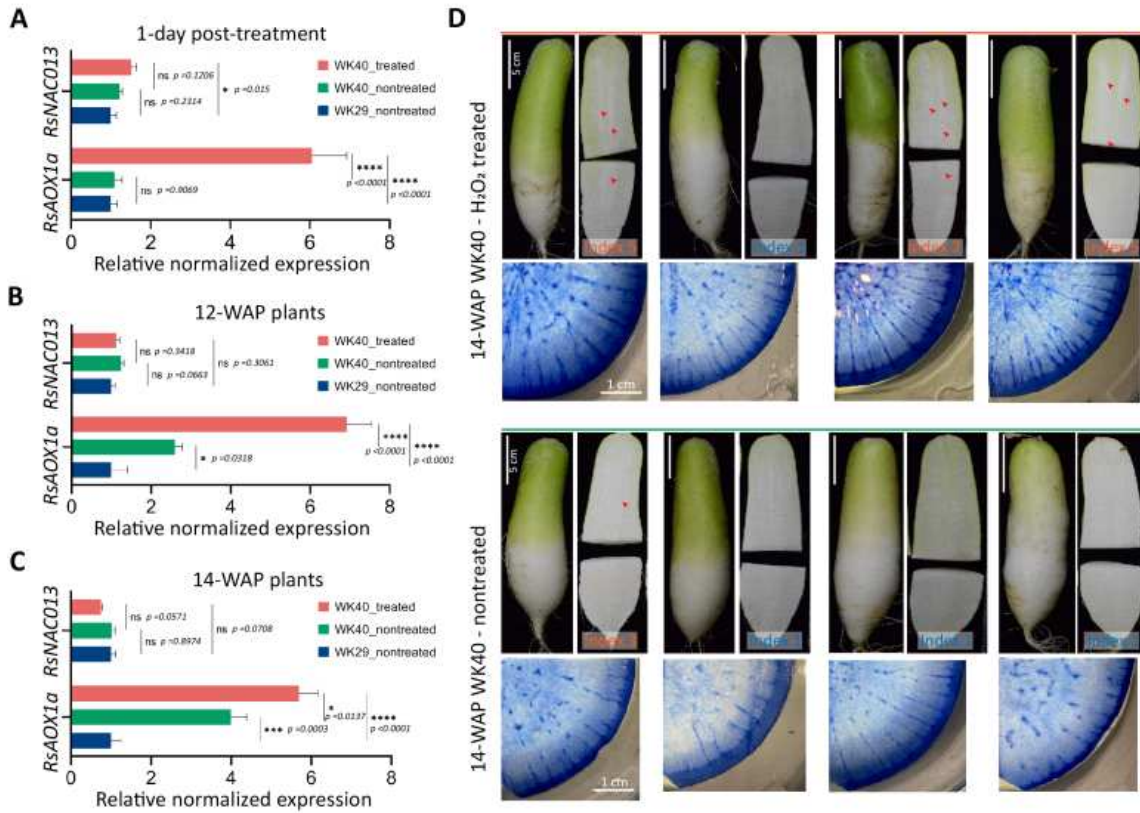


그림 25. 활성산소 스트레스 조건은 바람들이를 촉진한다.

(A) 300mM의 과산화수소를 원교10040호에 24시간 처리 후 RsNAC013과 RsAOX1a의 발현 변화를 분석한 결과 (B) 발아 후 7주차 무에 과산화수소를 5주간 처리 후 유전자 발현 변화를 분석한 결과 (C) 발아 후 10주차 무에 과산화수소를 4주간 처리 후 유전자 발현 변화를 분석한 결과 (D) (C)의 14주차 무의 단면을 절단하여 바람들이 유무를 Evans Blue 염색으로 확인한 결과. red arrowhead는 바람들이가 관찰되는 부위

아 애기장대와 동일한 신호에 의해 활성화되는 것으로 판단됨

(2) 이에, 무 바람들을 일으키는 유전적 조건이 RsNAC013의 전사인자 기능 정도의 차이에 기인한 것이라면 이를 자극하는 환경 조건이 바람들의 발생 빈도와 정도를 증가시킬 것으로 예측, 원교10029호와 10040호 식물체에 과산화수소를 처리하여 RsNAC013 및 RsAOX1a의 발현 변화와 바람들이 정도를 비교 분석함(그림 25)

(3) 예상한 바대로, 과산화수소 처리한 원교10040호의 뿌리에서 RsNAC013 및 RsAOX1a 발현의 증가가 확인되었고 바람들이 빈도도 증가하는 것이 관찰됨

차. 무 바람들의 분자적 조절 기전에 대한 모델 제시

(1) 본 연구를 통하여 무 바람들은 환경적, 유전적 요인이 함께 시너지를 일으켜 발생하는 것으로 해석됨(그림 26)

(2) 환경적 인자는 활성 산소 생성을 증가시키는 다양한 스트레스 환경들로 판단됨

(3) 유전적 인자는 활성 산소에 반응하여 세포 사멸을 유도하는 RsNAC013으로서 이의 유전형 가운데 활성도가 높은 유전형일수록 세포 사멸 진행을 잘 일어나게 만들고, 이는 결국 바람들이 현상으로 이어지게 되는 것으로 보임

(4) 본 연구의 모델에 의하면, 무 재배 시 활성산소 생성을 유발하는 스트레스를 피하는 환경

조건을 제공하고 RsNAC013의 활성도를 낮추는 유전형을 활용하여 육종을 진행하는 것이 바람직할 수 있는 전략임

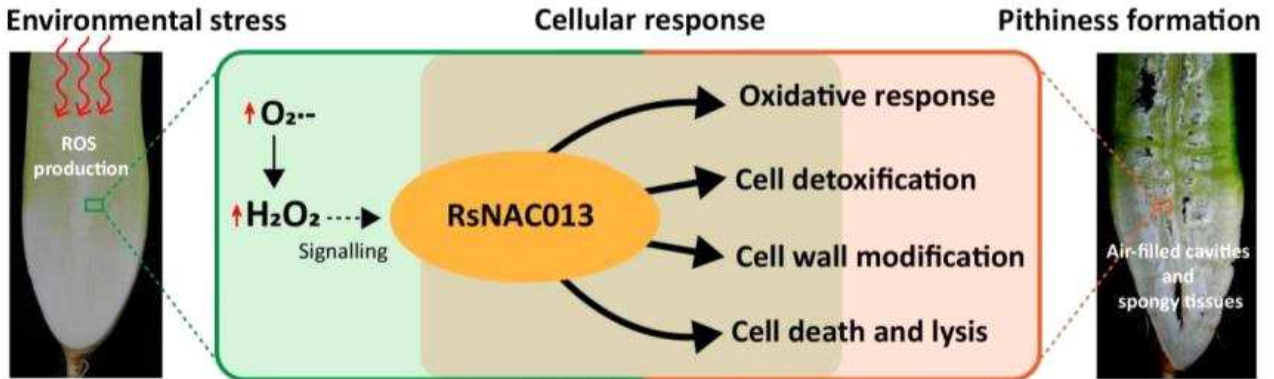


그림 26. 무 바람들이의 환경적, 유전적 조절 과정에 대한 모식도

4. 대표적 연구성과

가. 논문발표

(1) 무 뿌리 비대 조절 관련 전사체 데이터와 주요 조절 유전자를 밝힌 연구결과를 Current Biology에 발표(그림 27, 28)

Current Biology

CellPress

Article

Identification of Conserved Gene-Regulatory Networks that Integrate Environmental Sensing and Growth in the Root Cambium

Nam V. Hoang,^{1,8} Goh Choe,^{1,8} Yi Zheng,^{2,8} Ana Cecilia Aliaga Fandino,^{1,9} Inyoung Sung,^{3,9} Jaeryung Hur,^{1,9} Muhammad Kamran,^{1,9} Chulmin Park,¹ Hyoujin Kim,¹ Hongryul Ahn,^{4,5} Sun Kim,^{3,4,6} Zhangjun Fei,² and Ji-Young Lee^{1,7,10,*}

¹School of Biological Sciences, Seoul National University, Gwanak-ro, Seoul 08826, Korea

²Boyce Thompson Institute for Plant Research, Ithaca, NY 14853, USA

³Interdisciplinary Program in Bioinformatics, Seoul National University, Gwanak-ro, Seoul 08826, Korea

⁴Bioinformatics Institute, Seoul National University, Gwanak-ro, Seoul 08826, Korea

⁵Division of Data Science, University of Suwon, Hwaseong, Gyeonggi-do 18323, Korea

⁶Department of Computer Science and Engineering, Seoul National University, Gwanak-ro, Seoul 08826, Korea

⁷Plant Genomics and Breeding Institute, Seoul National University, Gwanak-ro, Seoul 08826, Korea

⁸These authors contributed equally

⁹These authors contributed equally

¹⁰Lead Contact

*Correspondence: jj924@snu.ac.kr

<https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.05.046>

SUMMARY

Cambium drives the lateral growth of stems and roots, contributing to diverse plant growth forms. The root crop is one of the outstanding examples of the cambium-driven growth. To understand its molecular basis, we used radish to generate a compendium of root-tissue- and stage-specific transcriptomes from two contrasting inbred lines during root growth. Expression patterns of key cambium regulators and hormone signaling components were validated. Clustering and gene ontology (GO) enrichment analyses of radish datasets followed by a comparative analysis against the newly established *Arabidopsis* early cambium data revealed evolutionary conserved stress-response transcription factors that may intimately control the cambium. Indeed, an *in vivo* network consisting of selected stress-response and cambium regulators indicated *ERF-1* as a potential key checkpoint of cambial activities, explaining how cambium-driven growth is altered in response to environmental changes. The findings here provide valuable information about dynamic gene expression changes during cambium-driven root growth and have implications with regard to future engineering schemes, leading to better crop yields.

그림 27. Current Biology에 발표한 연구논문

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Drs. Hiroo Fukuda, Kyoko Ohashi-Ito, and Yuki Kondo at University of Tokyo and Dr. Dirk Inze at Ghent University for providing mutant seeds. We are grateful to Dr. Suhyoung Park at National Institute of Horticultural and Herbal Science for providing two radish inbred lines 216 and 218 and Dr. Hyun Seok Kim in Department of Forest Sciences at Seoul National University for lending LI-COR 6400. We also thank Lee lab members for assisting experiments at various stages. This work is supported by National Research Foundation of Korea (NRF) (2018R1A5A1023599) and Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Golden Seed Project (213006-05-4-SBK30), funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), Rural Development Administration (RDA), and Korea Forest Services (KFS) to J.-Y.L. N.V.H., G.C., A.C.A.F., J.H., and H.K. were supported by Brain Korea 21 Plus Program. J.H. was supported by the Stadelmann-Lee Scholarship Fund, Seoul National University, and H.K. was supported by the WooDuk Foundation.

그림 28. Current Biology 논문에 대한 사사 표기

(2) Current Biology에서 발표한 전사체 데이터 생산을 위해 셋업한 laser capture microdissection을 이용한 RNA 정제 분리 방법을 STAR Protocols에 발표(그림29, 30)

STAR Protocols

CellPress
OPEN ACCESS

Protocol

An Optimized Protocol of Laser Capture Microdissection for Tissue-Specific RNA Profiling in a Radish Tap Root

Goh Choe,^{1,2,3,*} Nam V. Hoang,¹ and Ji-Young Lee^{1,4,*}

¹School of Biological Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

²Department of Biological Sciences, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 34141, Korea

³Technical Contact

⁴Lead Contact

*Correspondence: gohchoe@kaist.ac.kr (G.C.), jy24@snu.ac.kr (J.-Y.L.)
<https://doi.org/10.1016/j.xpro.2020.100110>

SUMMARY

Laser capture microdissection (LCM) coupled with transcriptome profiling is a powerful technique that allows for tissue-specific gene expression analysis in a complex system. One major challenge in using this technique is to obtain RNA without compromising its integrity. Here, we present a protocol optimized for radish root tissue sections using Steedman's wax embedding to obtain high-quality RNA suitable for next-generation sequencing analysis.

For complete details on the use and execution of this protocol, please refer to Hoang et al. (2020).

그림 29. STAR Protocols에 발표한 논문

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank all Lee lab members, past and present, for assisting with this work at various stages. This work is supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, and Forestry (IPET) through Golden Seed Project (213006-05-4-SBK30), funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), Rural Development Administration (RDA) and Korea Forest Services (KFS) to J.-Y.L. G.C. and N.V.H. were supported by Brain Korea 21 Plus Program.

그림 30. STAR Protocols에 발표한 논문에 대한 사사 표기

(3) 무 바람들이를 유도하는 유전적, 환경적 요인을 밝힌 연구결과를 Plant Journal에 게재(그림 31, 32)

Oxidative stress response and programmed cell death guided by NAC013 modulate pithiness in radish taproots

Nam V. Hoang¹ , Suhyoung Park², Chulmin Park¹, Hannah Suh¹, Sang-Tae Kim³, Eunyoung Chae⁴ ,
Byoung-Cheorl Kang⁵  and Ji-Young Lee^{1,6*} 

¹School of Biological Sciences, Seoul National University, Gwanak-ro, Seoul 08826, Korea,

²National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea,

³Department of Medical & Biological Sciences, The Catholic University of Korea, Jibong-ro, Bucheon-si, Gyeonggi-do 14662, Korea,

⁴Department of Biological Sciences, National University of Singapore, 14 Science Drive 4, Singapore 117543, Singapore,

⁵Department of Agriculture, Forestry and Bioresources, Seoul National University, Gwanak-ro, Seoul 08826, Korea, and

⁶Plant Genomics and Breeding Institute, Seoul National University, Gwanak-ro, Seoul 08826, Korea

Received 1 June 2021; revised 19 October 2021; accepted 26 October 2021.

*For correspondence (e-mail j1924@snu.ac.kr).

그림 31. Plant Journal에 발표한 논문 표지

The authors would like to thank all of the Lee lab members, past and present, for assisting with this work at various stages. This work is supported by the National Research Foundation of Korea (NRF-2018R1A5A1023599 and 2021R1A2C3006061), and by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, and Forestry (IPET) through the Golden Seed Project (213006-05-5-SBK30), funded by the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), the Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), the Rural Development Administration (RDA) and Korea Forest Services (KFS) to J.-Y.L. N.V.H. was supported by the Brain Korea 21 Plus Program.

그림 32. Plant Journal에 발표한 논문에 대한 사사 표기

나. 학술대회 초청 강연

- (1) VISCEA 2019 Plant Development: Systems approach에서 ‘Systems Approach to Identify Gene Modules that Regulate Storage Root Growth and Yields’라는 연제로 발표
- (2) 2019 한국식물학회 정기학술대회에서 ‘Investigation of transcriptional rewiring in the vascular stem cells that controls the organ growth and yield’라는 연제로 발표
- (3) 2021년 한국유전체학회 동계 심포지움에서 ‘Transcriptional framework in the root vascular stem cells: from a model system to a crop’라는 연제로 발표

다. 언론 홍보

- (1) Current Biology에 게재된 논문 성과에 대한 언론 홍보 3건(그림 33)

서울대, 식물 저장부리의 비대 생장 조절 전략 발견

신호송 기자

이희열 교수팀, 기후변화에 적응 가능한 작물 생산 전략 제시

〈대학저널 신호송 기자〉 지구의 평균 온도가 섭씨 1도 증가할 때마다 식량 작물의 생산량은 3~7% 줄어든다는 연구결과가 있다. 전문가들은 앞으로 50년 이내에 한반도의 평균 온도가 섭씨 3도 오를 것으로 예측하고 있다. 이러한 변화에 대응할 수 있는 작물을 유전자 편집을 통해 개발하거나, 재배환경의 생산성을 최적으로 극대화할 수 있는 생육 조건을 디자인하기 위해서는 식물 생장 조절의 기반이 되는 유전자 조절망에 대한 정보가 필수적이다.

서울대학교/홍익대학교/가천대학교 생명과학부 이희열 교수팀은 미국 보이스 톰슨 인스티튜트의 Zhangjun Pei 교수와 서울대 컴퓨터공학부 김선 교수팀과의 공동연구를 통해 한국 대표적 채소 뿌리 작물인 무를 이용한 저장부리의 비대 생장과 관련된 유전자 발현 데이터를 생산하고 유전자 간의 조절망을 규명했다.

유전자 조절망을 분석한 결과, 연구진은 뿌리 비대 생장을 촉진하는 유전자들이 환경 스트레스에 대응하는 유전자들에 의해 제어를 받으면서 뿌리 생장 속도와 생산성을 조절할 수 있게 되었다. 또한 연구진은 밝혀낸 유전자 조절망이 다른 식물종에도 보존돼 있어 타 뿌리 작물에도 폭넓게 활용 가능성을 제시했다.

본 연구는 변화하는 환경 속에 작물 생산성을 극대화할 수 있는 신육종 기술을 도입하고자 할 때 필요한 기술과 정보를 제공할 것으로 기대된다.

합병 연구성과는 생물학 분야의 리더 학술지인 *Carex Ecology*의 온라인 판으로 게재됐다. 본 연구는 농림식품기술기획평가원에서 지원하는 울진시드프론티어 채소종자사업단과 한국연구재단의 지원을 받아 수행됐다.

저자명: © 대학저널 무단전재 및 재배포 금지

신호송 기자

대학고 정보

전국 대학 위치도

1. 강남대 2020 기원스카운 캠퍼스...
 2. "23 불기자가 오게 한다(사)..."...
 3. 2022 대입 준비생의 1인 1책...
 4. 본세대 공로봉 상의 5% 대학...
 5. 고려대 직영로 교수님 신년...
 6. 2023년 대학입시...
 7. 강원대 유 23-24 대학...
 8. 포산대 교육부 K-MOOC...
 9. 전남대 4기전...
 10. 특성화전문대학...

그림 33. 언론 홍보의 예

제 3 장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제 1 절. 목표

본 프로젝트는 품종 개발을 통해 해외 무 종자 시장을 겨냥한 상업화 과제로 본 과제를 통해 중국 및 일본, 동남아 등의 무 신품종을 개발하고 해외 무 종자 시장 전반에 걸쳐 수출 경쟁력을 강화하는 것을 목표로 과제를 수행하였다. 국내 강점 기술인 계통 육성 기술과 분자 육종 기술을 활용하여 우수 종자를 개발하고 해외 현지 적응성 시험을 통해 현지에 적합한 품종을 개발하였으며 무 품종 육성을 위한 SNP 마커 탐색 및 무 바람들이 관련 유전자 발굴 등의 연구를 수행하였다. 본 프로젝트의 연구 성과 목표는 다음 표와 같다.

1. 프로젝트 연구 성과 목표

(단위 : 건수)

구분	품종개발		특허		논문		인력양성	해외시험포	유전자원		국내매출액(억)	생산판매신고	종자수출액(만톤)	기술실시/이전	전시포	판매국가	판매업체
	출원	등록	출원	등록	SCI	비SCI			수집	등록							
최종목표	8	9	7	5	9			5		10		5	835	5	5	10	5
1차년도	목표	2	1	2	1	2		1		10		1	60	1	1	2	1
2차년도	목표	2	2	1	1	1		1				1	85	1	1	2	1
3차년도	목표	2	2	1	1	2		1				1	130	1	1	2	1
4차년도	목표	1	2	2	1	2		1				1	210	1	1	2	1
5차년도	목표	1	2	1	1	2		1				1	350	1	1	2	1
소계	목표	8	9	7	5	9		5		10		5	835	5	5	10	5

제 2 절. 목표 달성여부

1. 1세부 프로젝트 연구 목표 달성도

구분	평가의 착안점 및 척도		
	착안사항	척도(점수)	달성도(%)
1차년도 (2017년)	○ 목표 형질에 맞는 계통육성이 얼마나 이루어졌는지 여부	5%	100%
	○ 교배조합 수의 목표 달성 여부	5%	100%
	○ 작성된 F1조합은 성능비교시험에 공시되었는지의 여부	10%	100%
	○ 유망한 우수조합의 선발	15%	100%
	○ 현지 시교 진행 사항 및 결과 공지	15%	100%
	○ 생산판매 신고 여부	10%	0%
	○ 품종보호출원 및 등록 여부	20%	50%
	○ 종자 판매액의 목표 대비 달성 여부	20%	100%

2차년도 (2018년)	○ 교배조합 수의 목표 달성 여부 ○ 작성된 F1조합은 성능비교시험에 공시되었는지의 여부 ○ 유망한 우수조합의 선발 ○ 현지 시교 진행 사항 및 결과 공지 ○ 품종보호출원 및 등록 여부 ○ 종자 판매액의 목표 대비 달성 여부	5% 10% 15% 20% 25% 25%	100% 100% 100% 100% 100% 88%
3차년도 (2019년)	○ 작성된 F1조합은 성능비교시험에 공시되었는지의 여부 ○ 유망한 우수조합의 선발 ○ 현지 시교 진행 사항 및 결과 공지 ○ 품종보호출원 및 등록 여부 ○ 종자 판매액의 목표 대비 달성 여부	10% 20% 20% 25% 25%	100% 100% 100% 50% 92%
4차년도 (2020년)	○ 작성된 F1조합은 성능비교시험에 공시되었는지의 여부 ○ 유망한 우수조합의 선발 ○ 현지 시교 진행 사항 및 결과 공지 ○ 품종보호등록 여부 ○ 종자 판매액의 목표 대비 달성 여부	10% 20% 20% 25% 25%	100% 100% 100% 100% 90%
5차년도 (2021년)	○ 작성된 F1조합은 성능비교시험에 공시되었는지의 여부 ○ 유망한 우수조합의 선발 ○ 현지 시교 진행 사항 및 결과 공지 ○ 생산판매 신고 여부 ○ 품종보호출원 및 등록 여부 ○ 종자 판매액의 목표 대비 달성 여부	5% 15% 15% 15% 25% 25%	100% 100% 100% 0% 50% 19%

2. 2세부 프로젝트 연구 목표 달성도

구분	평가의 착안점 및 척도		
	착안사항	척도(점수)	달성도(%)
1차년도 (2017년)	○ 작성된 F1조합은 성능비교시험에 공시되었는지의 여부 ○ 유망한 우수조합의 선발 ○ 현지 시교 진행 사항 및 결과 공지 ○ 유전자원 등록 및 품종보호 출원 여부 ○ 종자 판매액의 목표 대비 달성 여부	10% 20% 20% 20% 30%	100% 100% 100% 100% 0%
2차년도 (2018년)	○ 작성된 F1조합은 성능비교시험에 공시되었는지의 여부 ○ 유망한 우수조합의 선발 ○ 현지 시교 진행 사항 및 결과 공지 ○ 품종 보호 출원 및 등록 여부 ○ 종자 판매액의 목표 대비 달성 여부	10% 10% 20% 30% 30%	100% 100% 100% 100% 0%
3차년도 (2019년)	○ 작성된 F1조합은 성능비교시험에 공시되었는지의 여부 ○ 유망한 우수조합의 선발 ○ 현지 시교 진행 사항 및 결과 공지 ○ 생산 판매 신고 여부 ○ 종자 판매액의 목표 대비 달성 여부	10% 20% 20% 20% 30%	100% 100% 100% 0% 0%
4차년도 (2020년)	○ 작성된 F1조합은 성능비교시험에 공시되었는지의 여부 ○ 유망한 우수조합의 선발 ○ 현지 시교 진행 사항 및 결과 공지 ○ 품종 보호 출원 및 등록 여부 ○ 종자 판매액의 목표 대비 달성 여부	10% 10% 20% 30% 30%	100% 100% 100% 0% 100%
5차년도 (2021년)	○ 작성된 F1조합은 성능비교시험에 공시되었는지의 여부 ○ 유망한 우수조합의 선발 ○ 현지 시교 진행 사항 및 결과 공지 ○ 품종 보호 등록 여부 ○ 종자 판매액의 목표 대비 달성 여부	10% 10% 20% 30% 30%	100% 100% 100% 100% 100%

3. 3세부 프로젝트 연구 목표 달성도

구분	평가의 착안점 및 척도		
	착안사항	척도(점수)	달성도(%)
1차년도 (2017년)	○ 무 육종자원의 MAS용 분자마커 개발 진척도 ○ 무 육종의 유용형질 관련 분자마커 개발 진척도 ○ 논문 게재 및 특허 출원 및 등록 여부	25% 50% 25%	25% 50% 25%
2차년도 (2018년)	○ 무 육종자원의 MAS용 분자마커 개발 진척도 ○ 무 육종의 유용형질 관련 분자마커 개발 진척도 ○ 논문 게재 및 특허 출원 및 등록 여부	40% 50% 10%	40% 50% 0%
3차년도 (2019년)	○ 무 육종자원의 MAS용 분자마커 개발 진척도 ○ 무 육종의 유용형질 관련 분자마커 개발 진척도 ○ 논문 게재 및 특허 출원 및 등록 여부	25% 50% 25%	10% 50% 20%
4차년도 (2020년)	○ 무 분자유종 시스템 개발 진척도 ○ 논문 게재 및 특허 출원 및 등록 여부	20% 80%	20% 80%
5차년도 (2021년)	○ 무 분자유종 시스템 개발 진척도 ○ 논문 게재 및 특허 출원 및 등록 여부	40% 60%	40% 60%

4. 연구목표 대비 성과

구분	품종개발		특허		논문		인력양성	해외시범포	유전자원		국내매출액(억)	생산판매신고	종자수출액(만톤)	기술실시/이전	전시포	판매국가	판매업체
	출원	등록	출원	등록	SCI	비SCI			수집	등록							
최종목표	8	9	7	5	9			5		10		5	835	5	5	10	5
1차년도	목표	2	1	2	1	2		1		10		1	60	1	1	2	1
	실적	2	0	0	1	1		3		10	3.0	1	76.9	1	2	12	1
2차년도	목표	2	2	1	1	1		1				1	85	1	1	2	1
	실적	1	3	0	0	0		1	3		9.6	1	61.6	1	2	9	14
3차년도	목표	2	2	1	1	2		1				1	130	1	1	2	1
	실적	2	0	1	0	1		1	6		10.9	1	92.0	1	1	13	24
4차년도	목표	1	2	2	1	2		1				1	210	1	1	2	1
	실적	0	1	0	0	2	1	6				0	213.2	0	2	17	27
5차년도	목표	1	2	1	1	2		1				1	350	1	1	2	1
	실적	3	1	1	0	1		1	8			2	214.4	4	0	8	2
소계	목표	8	9	7	5	9		5		10		5	835	5	5	10	5
	실적	8	5	2	1	5	1	3	22	10	23.5	5	658.1	7	7	59	68

제 3 절. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책 (후속연구의 필요성 등)

가. 1세부 목표 미달성 시 원인 및 차후대책

품종보호출원 4건, 등록 5건, 생산판매신고 2건을 목표로 품종개발을 진행하였으나 출원 3건,

등록 4건, 생산판매신고 0건으로 목표대비 미달하였다. 본 과제를 수행하면서 품종개발에 있어 중요한 요건은 해외 네트워크 구축이 절실히 필요하다는 것을 확인하였다. 단지 국내의 마케팅 인력으로 해외 개발하는데 있어 한계점이 있다는 것을 확인하였고, 특히 4차년부터는 코로나-19로 인해 해외 개발에 있어 제한적인 요인이 많이 발생하여 종자 수출(목표 대비 63%)도 많이 저조하였다. 그래서 당사에서는 이를 극복하고자 주요 수출국인 중국과 유럽 등에 해외 컨설턴트를 채용하여 해외 개발을 전담하는 인력을 구축할 예정이며, 그와 더불어 현지 전시포를 위한 임대농장도 물색 중이다. 현재 중국을 시작으로 현지 컨설턴트 업체 및 전시포 임대 농장을 탐색 중이며, 이를 기반으로 유럽 및 동남아 등도 적용하여 확대할 예정이다. 또한 당사의 태국 연구법인을 활용하여 태국과 베트남 등 동남아 지역 판매망을 확대하고 있으며, 22년 3월에 'CT7008' 품종이 베트남에 19.8만불 수출 계약이 완료된 상황이다. 수출용 품종을 지속적으로 개발하기 위해 과제 수행 중 확보한 조합을 이용하여 국립종자원에서 시행하는 22년 해외시험포 사업에 출품하였고 금년도 시험 결과를 바탕으로 우수 조합에 대해 추가적으로 품종보호출원 및 품종개발을 진행 예정이다.

나. 2세부 목표 미달성 시 원인 및 차후대책

품종 등록 4건 중 1건 달성하여 목표 대비 미달하였다. 그 원인으로 농협종묘에서 1차년~3차년까지 연구과제를 진행하였고 4차년부터 농우바이오로 이관하여 과제를 수행하였다. 이전 과제를 수행하던 농협종묘에서 이전 과제 책임자와 회사간의 소통 부족으로 인해 출원한 품종에 대한 등록을 포기한 원인이 가장 크다고 볼 수 있다. 차후 대책으로 5차년에 품종보호출원 한 2품종을 재배 심사를 거친 후 등록을 할 예정이다.

다. 3세부 목표 미달성 시 원인 및 차후대책

본 세부 과제 협약 시 SCI 논문이 9건, 특허 출원 7건, 등록 5건으로 책정된 것은 사업단에서 본 과제에 대해 작성한 RFP에 설정되어 있던 연구성과 목표로서 일반적인 R&D 연구비 예산 대비 달성되는 연구 성과(평균 10억 당 6편의 SCI 논문)와 동떨어진 목표 설정이었다. 5년간 총 5.5억의 지원 하에 SCI 논문 5편, 총 임팩트 팩터 32.736을 달성한 것은 논문 수에 의거한 성과 목표에 버금가는 결과라고 지체 평가하는 바이다. 무 바람들이와 비대에 관련된 유용 유전자들을 활용한 분자(혹은 디지털) 육종의 구체적 전략을 세울 수 있는 연구가 후속으로 이루어질 때 본 세부과제로부터 최소 2건의 특허 출원과 등록이 가능할 것으로 전망하고 있다. 현재 무 바람들을 유도하는 NAC013 유전자에 대하여 국내 특허 출원이 완료되어 등록을 진행할 계획이며, 뿌리 조기 비대에 대한 유전자 조절 전략에 대한 특허 출원을 위한 연구가 진행 중이다.

제 4 장. 연구결과의 활용 계획 등

1. 복합내병성 및 재배안정성이 우수한 타원형 무 품종 개발_1세부

본 과제를 통해서 중국 및 동남아 시장 등 타 국가에 적합한 품종을 개발할 수 있는 기반을 마련하였다. 동남아 시장의 판매가 부진하였던 당사에서는 본 과제 수행 중 개발한 CT7008 품종으로 인해 태국과 베트남 등 동남아 시장의 판매망을 구축하였고 그 후속으로 RACT7398 품종을 개발 진행 중이다. 후속 품종 개발은 당사 태국 연구법인을 활용하여 태국뿐만 아니라 베트남 등 동남아 시장에 판매를 위한 시교 사업을 추진 중이다. 중국 백수무의 경우 2품종을 개발 및 판매를 진행하였으나 리딩 품종 대비 품질 등 부족한 특성을 보여 시장 진입을 하지 못하였다. 하지만 이를 계기로 중국 백수무 시장 요구 특성을 파악하였으며, 과제 수행 중 수집한 재료를 이용하여 중국 백수무에 적합한 계통으로 육성하였고, 그 계통들을 품종 개발에 활용 중이다. 중국용 백수무 개발을 위해 22년에는 당사 자체적으로 현지 임대농장을 운영하여 전시포 사업과 현지 시험을 동시에 진행할 예정이며, 전시포에는 5차년에 개발한 품종을 전시 및 홍보하여 판매를 추진하고, 현지 시험에서는 후보 조합을 선발할 예정이다. 또한 국립종자원에서 실시하는 중국 시험포사업에도 적극적으로 참여하여 다양한 현지 시험을 진행하고 중국 시장정보를 수집하여 중국 백수무에 적합한 품종으로 개발할 예정이다. 중국 수출 네트워크 구축 및 강화를 위해 중국 거래처 또는 개인 사업자 등과 계약을 체결하여 현지 개발 및 판매 컨설턴트로 활용할 계획이며, 무뿐만 아니라 배추 등 타 작물 포함하여 판매를 확대하고 수출 경쟁력을 확보할 예정이다. 수집 자원 중 중국 청수무 재료는 국내 청수무 품종 개발에 활용하기 위해 계통 육성 중으로, 현재 근피 청수색이 진하고 맛이 좋으며 육질이 단단한 계통을 선발하여 현재 국내용 조합으로 시험이 진행되고 있다. 또한 점점 기후 환경이 불안정하여 환경 변화에 둔감하고 생리장해(바람들이, 열근 등)가 안정적인 계통과 병 저항성이 강한 계통을 육성하고 있으며, 이 계통을 활용한 품종을 개발하면 재배안정성과 수량성이 우수한 품종을 빠른 시일내로 농가에 보급할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

2. 만추대 타원형 백/청수무 품종 개발_2세부

본 과제를 통해 해외 현지 법인을 활용한 해외 종자 시장 진출 가능성을 제고 하였다. 과제를 통해 육성된 2품종에 대한 출원이 완료 되었고 재배심사 후 등록을 진행할 계획이며, 수집한 중국 시장 정보로는 중국 백, 청수계 무 종자 시장이 약 500억 규모로 이중 청수계(청피청육) 시장이 과거 OP시장에서 F1시장으로 전환이 급속도로 확장하고 있는 추세로 진행되고 있어 본 과제를 통해 신규로 육성된 계통을 활용하면 시장 진입 및 판매가 확대 될 것으로 기대하고 있다. 또한 중국 뿐만 아니라 동남아 시장 진출을 위한 종자 수출의 기반을 구축하였고, 생명공학 기술인 소포자배양을 통한 빠른 유전자원 확보 및 세대단축을 통해 품종 육성 연한을 단축하여 보다 탄력적인 시장 진출을 꾀할수 있을 것으로 사료된다.

3. 무 품종 육성을 위한 SNP 탐색 및 MAS용 분자마커 개발_3세부

본 세부과제에서는 전사체 데이터 및 GBS를 이용한 바람들이 형질 관련 QTL 분석을 통해 바람들이 관련 유전자를 예측하였고 이를 모델 시스템의 유전자 조절망 정보와 연계하여 기능 분석을 함으로써 증명하였다. 무의 비대 관련 유전자들을 밝히는 과정에서도 정밀한 조직 특이적 전사체 데이터를 개발함으로써 이를 모델 시스템의 다양한 정보와 비교 유전체 분석을 수행하는 데에 유용하게 활용할 수 있었다. 본 세부과제에서 이런 기술적 진보는 유전체에 기반한 분자육종이 매우 취약했던 무의 육종 기반 기술을 한 단계 끌어올리는 데에 기여 하였다고 할 수 있으며, 유용 형질 관련 유전자들과 이들의 육종에의 활용 전략을 체계적으로 수립 할 수 있는 방법을 제시할 수 있었다는 데에 큰 의의가 있다. 비교 유전체 분석에 기반한 융합적 육종 연구체계는 무, 배추를 비롯한 주요 십자화과 채소 작물의 정밀 육종에 활용할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 특히 뿌리 작물의 비대는 생산성과 직접적으로 연관된 특성으로 이를 genome editing으로 조작하거나 최적의 스마트 생육 조건을 탐색하는 후속 연구가 필요할 것으로 판단하고 있다. 본 세부과제의 연구 결과를 바탕으로, 향후 뿌리 작물 생산성 조절에 대하여 후속 연구를 진행할 계획이다.

붙임. 참고문헌

Ashburner, M., Ball, C.A., Blake, J.A., Botstein, D., Butler, H., Cherry, J.M., Davis, A.P., Dolinski, K., Dwight, S.S., Eppig, J.T., et al. (2000). Gene ontology: tool for the unification of biology. The Gene Ontology Consortium. *Nat Genet* *25*, 25–29. 10.1038/75556.

Choe, G., Hoang, N.V., and Lee, J.Y. (2020). An Optimized Protocol of Laser Capture Microdissection for Tissue-Specific RNA Profiling in a Radish Tap Root. *STAR Protoc* *1*, 100110. 10.1016/j.xpro.2020.100110.

De Clercq, I., Vermeirssen, V., Van Aken, O., Vandepoele, K., Murcha, M.W., Law, S.R., Inze, A., Ng, S., Ivanova, A., Rombaut, D., et al. (2013). The membrane-bound NAC transcription factor ANAC013 functions in mitochondrial retrograde regulation of the oxidative stress response in Arabidopsis. *Plant Cell* *25*, 3472–3490. 10.1105/tpc.113.117168.

Hoang, N.V., Choe, G., Zheng, Y., Fandino, A.C.A., Sung, I., Hur, J., Kamran, M., Park, C., Kim, H., Ahn, H., et al. (2020). Identification of Conserved Gene-Regulatory Networks that Integrate Environmental Sensing and Growth in the Root Cambium. *Curr Biol* *30*, 2887–+. 10.1016/j.cub.2020.05.046.

Hoang, N.V., Park, S., Park, C., Suh, H., Kim, S.T., Chae, E., Kang, B.C., and Lee, J.Y. (2021). Oxidative stress response and programmed cell death guided by NAC013 modulate pithiness in radish taproots. *Plant J.* 10.1111/tpj.15561.

Love, M.I., Huber, W., and Anders, S. (2014). Moderated estimation of fold change and dispersion for RNA-seq data with DESeq2. *Genome Biol* *15*, 550. 10.1186/s13059-014-0550-8.

Olvera-Carrillo, Y., Van Bel, M., Van Hautegeem, T., Fendrych, M., Huysmans, M., Simaskova, M., van Durme, M., Buscaill, P., Rivas, S., Coll, N.S., et al. (2015). A Conserved Core of Programmed Cell Death Indicator Genes Discriminates Developmentally and Environmentally Induced Programmed Cell Death in Plants. *Plant Physiol.* *169*, 2684–2699. 10.1104/pp.15.00769.

Slonim, N., Atwal, G.S., Tkacik, G., and Bialek, W. (2005). Information-based clustering. *Proc Natl Acad Sci U S A* *102*, 18297–18302. 10.1073/pnas.0507432102.

Zhang, J., Eswaran, G., Alonso-Serra, J., Kucukoglu, M., Xiang, J., Yang, W., Elo, A., Nieminen, K., Damen, T., Joung, J.G., et al. (2019). Transcriptional regulatory framework

for vascular cambium development in *Arabidopsis* roots. *Nat Plants* 5, 1033–1042.
10.1038/s41477-019-0522-9.

[별첨 1]

연구개발보고서 초록

프로젝트명	만추대 타원형 무 품종 개발				
	Development of late bolting radish varieties for seed export				
프로젝트 연구기관	(주) 팜한농		프로젝트연구 책임자	(주) 팜한농	
참여기업	(주) 팜한농, (주)농우바이오			임채완	
총연구개발비 (천원)	계	2,730,000	총연구기간	2017.01.01. ~ 2021.12.31.(5년)	
	정부출연 연구개발비	1,770,000		총인원	147명
	기업부담금	960,000	총참여 연구원수	내부인원	147명
	연구기관부담금			외부인원	
<p>○ 연구개발 목표 및 성과</p> <p>본 과제는 해외 종자 시장을 겨냥한 상업화 과제로 무 육종 관련 기반 기술을 활용하여 해외에서 소비되는 백수, 청수, 남방계 등의 우수 품종을 조기에 개발하고 해외 무 시장 전반에 걸쳐 수출 경쟁력을 강화하는데 목적이 있다. 본 프로젝트는 3개의 세부프로젝트로 구성하여 1세부와 2세부는 품종 개발과 종자수출을 담당하고 3세부는 무 분자 육종 시스템 구축을 목표로 과제를 수행하였다. 품종 개발은 품종보호 출원_8건, 등록_9건을 목표로 하여 출원_8건, 등록_5건을 수행하였으며 종자 수출은 835만불(2017년~2021년 누적)을 목표로 하여 658.1만불 수출하였다(목표 대비 79%). 무 육종 시스템 구축은 무 유용 형질 관련 유전자와 마커를 차세대 유전체 분석기술과 분리 집단의 유전분석을 이용하여 밝히고, 이를 통해 분자 육종의 기반을 마련하였다.</p> <p>○ 연구내용 및 결과</p> <p>1세부와 2세부는 기존 자원 및 수집 자원을 이용하여 재배안정성과 수량성 등 원예적 형질이 우수한 신규 계통을 육성하였고, 병리 검정을 통해 병 저항성 계통을 육성하였다. 각 세부별로 국내 성능검정 및 해외 시범포 사업을 진행하여 현지에 적합한 조합을 선발하였으며 선발된 조합은 현지 확대 시험을 진행하여 품종화 하였다. 그 결과 1세부는 품종보호 출원 3건을 진행하였고 2세부는 5건을 진행하여 총 8 품종을 개발하였으며 GSP 1단계부터 품종 개발을 수행한 결과로 품종보호등록이 5건 진행되었다. 종자 수출은 각 세부별 타겟으로 하는 국가를 중심으로 판매를 진행하여 1세부는 목표 대비 63%(실적_357.3만불/목표_570만불)로 다소 부진하였으며, 2세부는 목표 대비 113%(실적_300.8/목표_265만불)로 초과 달성하였다. 3세부는 무의 비대와 바람들이 형질 관련 유전자들을 전사체 데이터 생산 및 분석을 통하여 발굴하였고 바람들이 유전적 원인을 최초로 밝혔다. 그 결과로 SCI 논문 5건, 비 SCI 논문 1건, 특허 출원 2건, 특허 등록 1건을 진행하였으며 인력양성으로 3건의 성과를 거두었다.</p> <p>○ 연구성과 활용실적 및 계획</p> <p>본 과제를 수행하면서 육성된 계통 및 분리 재료는 향후 변화하는 시장에서 소비자가 요구하는 특성을 가진 품종을 육성하는데 활용도가 높을 것으로 기대하고 있다. 특히 중국 시장은 백, 청수계 무 중</p>					

자 시장이 약 500억 규모로, 이 중 청수계 시장이 F₁ 시장으로 급속도로 확장하고 있어 본 과제를 통해 육성된 신규 계통을 활용하면 시장 진입 및 판매가 확대될 것으로 기대하고 있다. 또한 각 세부별로 개발한 품종은 중국 뿐만 아니라 동남아 시장 등 타겟 지역을 다변화하여 판매를 확대하고자 추진하고 있다. 무 기반 연구와 관련하여 무 비대와 바람들이 관련 유전자에 대한 특허 출원 및 등록을 완료하였으며, 이 연구로 발견한 비대 조절 유전자들의 복잡한 조절 네트워크는 좀더 심도있는 시스템 생물학적 연구를 통하여 기후 환경 변화에 대응하여 안정적인 생산성을 유지할 수 있는 분자유종 전략을 세우는데 활용될 수 있을 것으로 기대하고 있다. 또한, RsNAC013에 대한 폭넓은 유전형 분석을 통해 범용성을 지닌 바람들이 분자 마커와 바람들이 예방 재배 시스템을 개발할 수 있을 것으로 기대한다.

[별첨 2]

자체평가보고서

사업단명	GSP 채소종자사업단	과제번호	213006-05-5-CGK00		
프로젝트명	만추대 타원형 무 품종 개발				
프로젝트연구기관	(주)팜한농				
연구담당자	프로젝트 연구책임자	임 채 완			
	세부프로젝트 연구책임자	기관(부서)	(주)팜한농	성 명	임채완
		기관(부서)	(주)농우바이오	성 명	허 건
		기관(부서)	서울대학교	성 명	이지영
연구기간	총 기 간	2017.01.01. ~ 2021.12.31	당해 연도 기간	2021.01.01. ~ 2021.12.31	
연구비(천원)	총 규 모	2,730,000	당해 연도 규모	570,000	

1. 연구는 당초계획대로 진행되었는가?

당초계획 이상으로 진행
 계획대로 진행
 계획대로 진행되지 못함

○ 계획대로 수행되지 않은 원인은?

종자 수출부분에서 1세부의 수출 실적이 부진하였음. 과제 수행 중에 수출 네트워크 강화 및 구축을 통해 개발 품종에 대한 수출 확대를 꾀하였으나 코로나 19 및 당사 수출 전담인력 변경으로 4차년과 5차년에 수출 실적이 저조하였음. 2세부는 농협종묘에서 농우바이오로 연구기관 변경으로 인해 1~3년차는 농협종묘에서 진행을 하였으며, 4차년부터 농우바이오에서 과제를 수행하였는데 인수인계 과정에서 의사소통이 원활하지 않아 다소 부족한 부분이 발생함

2. 당초 예상했던 성과는 얻었는가?

예상외 성과 얻음
 어느 정도 얻음
 얻지 못함

구분	품종개발		특허		논문		분자 마커	유전자원		국내 매출액	종자 수출액 (만불)	기술 이전	마케팅 전략 수립 보고서	인력 양성
	출원	등록	출원	등록	SCI	비SCI		수집	등록					
최종목표	8	9	7	5	9				10		835	5		
연구기간 내 달성실적	8	5	2	1	5	1			10	23.5	658.1	7		3
달성율(%)	100	56	29	20	56				100		79	100		

3. 연구개발 성과 세부 내용

3-1 기술적 성과

- 가. 해외 시장에 적합하고 다양한 유전자원 확보
- 나. 병 저항성 품종 개발로 인한 친환경 농업에 기여
- 다. 분자마커를 이용한 무 육종연한 단축 및 효율성 증대
- 라. 분자 육종 기술을 활용한 품종 육성의 과학화 및 효율화
- 마. 고부가가치 품종 개발로 농가 소득 향상 및 종자 수출 증대

3-2 과학적 성과

- 가. 무 기초 연구를 통한 분자 육종 기반 마련
- 나. 소포자 배양등 조직배양 기술을 활용한 유전자원 발굴 및 세대단축으로 인한 육종연한 단축
- 나. 유전자원 수집 및 계통 육성으로 현지에 적합한 품종 개발

3-3 경제적 성과

- 가. GSP 사업 지원으로 품종육성을 진행하여 신품종 출시 및 수출에 기여
- 나. 세계 종자 시장 진출을 위한 국가 경쟁력 확보
- 다. 국내 종자 생산 농가의 소득 증대 기여

4. 연구과정 및 성과가 농림어업기술의 발전·진보에 공헌했다고 보는가?

- 공헌했음 현재로서 불투명함 그렇지 않음

5. 경제적인 측면에서 종자산업의 수출증대와 수입대체에 공헌했다고 보는가?

- 공헌했음 현재로서 불투명함 그렇지 않음

6. 얻어진 성과와 발표상황

6-1 경제적 효과

- 기술료 등 수익 수 익 : 종자 수출 658.1만불
- 기업 등에의 기술이전 기업명 :
- 기술지도 등 기업명 :

6-2 산업·지식재산권 등

- 국내출원/등록 품종보호출원_8건, 품종보호등록_5건, 특허출원_2건, 특허등록_1건
- 해외출원/등록 출원 건, 등록 건

없다

약간 조정필요

전반적인 조정필요

9. 연구과정에서의 애로 및 건의사항은?

(※ 아래사항은 기업참여시 기업대표가 기록하십시오)

1. 연구개발 목표의 달성도는?

만족

보통

미흡

(근거 : 목표대비 미달된 항목이 있으나 현재 개발된 품종 및 계통, 분자마커 기술이 향후 무 실무에 많이 활용될 것으로 기대)

2. 참여기업 입장에서 본 본과제의 기술성, 시장성, 경제성에 대한 의견

가. 연구 성과가 참여기업의 기술력 향상에 도움이 되었는가?

충분

보통

불충분

나. 연구 성과가 기업의 시장성 및 경제성에 도움이 되었는가?

충분

보통

불충분

3. 연구개발 계속참여여부 및 향후 추진계획은?

가. 연구수행과정은 기업의 요청을 충분히 반영하였는가?

충분

보통

불충분

나. 향후 계속 참여 의사는? (※중간·단계평가에 한함)

충분

고려 중

중단

다. 계속 참여 혹은 고려중인 경우 연구개발비의 투자규모(전년도 대비)는? (※중간·단계평가에 한함)

확대

동일

축소

4. 연구개발결과의 상품화(기업화) 여부는?

즉시 기업화 가능

수년 내 기업화 가능

기업화 불가능

5. 기업화가 불가능한 경우 그 이유는?

--

구 분	소 속 기 관	직 위	성 명
프로젝트 책임자	(주)팜한농	책임연구원	임 채 완 (인)

[별첨 3]

연구성과 활용계획서 (2017~2021)

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야		
프로젝트명	만추대 타원형 무 품종 개발			
프로젝트 연구기관	(주) 팜한농	프로젝트연구책임자	임채완	
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	1,770,000원	960,000		2,730,000,000원
연구개발기간	2017.01.01. ~ 2021.12.31. (5년)			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 유전자원 등록 10건	· 1차년_2세부에서 유전자원 등록 10건 완료
② 품종보호출원 8건	· 품종보호출원 8건 (1세부_3건 / 2세부_5건)
③ 품종보호등록 9건	· 품종보호등록 5건 (1세부_4건 / 2세부_1건)
④ 생산판매신고 5건	· 생산판매신고 5건 (1세부_0건 / 2세부_5건)
⑤ 특허 출원_7건 및 등록 5건	· 특허 출원_2건 및 등록_1건 (3세부)
⑥ 논문 SCI 9건	· 논문 SCI 5건 (3세부)
⑦ 해외시험포 5건	· 해외시험포 22건 (1세부_9건 / 2세부_13건)
⑧ 전시포 5건	· 전시포 7건 (1세부_2건 / 2세부_5건)
⑨ 기술실시/이건 5건	· 기술료 납부 7건
⑩ 종자수출액 835만불	· 종자수출액_658.1만불 (1세부_357.3만불 / 2세부_300.8만불)

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 연구비 집행실적 (2017~2021 누적)

구분	금액		계획금액	사용액	잔액	비고
	세부프로젝트명					
무	복합내병성 및 재배안정성이 우수한 타원형 무 품종 개발		1,200,000,000원	1,200,000,000원	0원	
	만추대 타원형 백/청수계 품종 개발		980,000,000원	980,000,000원	0원	
	무 품종 육성을 위한 SNP 탐색 및 MAS용 분자마커 개발		550,000,000원	550,000,000원	0원	
총계			2,730,000,000원	2,730,000,000원	0원	

4. 연구목표 대비 성과

구분	품종개발		특허		논문		인력양성	해외시험포	유전자원		국내매출액(억)	생산 판매 신고	종자 수출액(만톤)	기술실시/이전	전시포	판매국가	판매업체
	출원	등록	출원	등록	SCI	비SCI			수집	등록							
최종목표	8	9	7	5	9			5		10		5	835	5	5	10	5
1차년도	목표	2	1	2	1	2		1		10		1	60	1	1	2	1
	실적	2	0	0	1	1		3		10	3.0	1	76.9	1	2	12	1
2차년도	목표	2	2	1	1	1		1				1	85	1	1	2	1
	실적	1	3	0	0	0		1	3		9.6	1	61.6	1	2	9	14
3차년도	목표	2	2	1	1	2		1				1	130	1	1	2	1
	실적	2	0	1	0	1		1	2	6	10.9	1	92.0	1	1	13	24
4차년도	목표	1	2	2	1	2		1				1	210	1	1	2	1
	실적	0	1	0	0	2	1		6			0	213.2	0	2	17	27
5차년도	목표	1	2	1	1	2		1				1	350	1	1	2	1
	실적	3	1	1	0	1		1	8			2	214.4	4	0	8	2
소계	목표	8	9	7	5	9		5		10		5	835	5	5	10	5
	실적	8	5	2	1	5	1	3	22		10	23.5	5	658.1	7	7	59

5. 핵심기술

구분	핵심기술 명
①	· 분리 재료 및 우수 계통 육성
②	· F ₁ 조합 작성 및 종자 생산
③	· F ₁ 조합 성능검정 및 선발
④	· 현지 적응성 검정 및 종자 수출
⑤	· 유용 형질 관련 유전자 발굴
⑥	· 육종 관련 분자 마커 개발
⑦	· 효율적 분자 육종 기술 개발

6. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
우수 계통육성					v			v		
F ₁ 조합 작성 및 종자 생산					v			v		
F ₁ 조합 성능검정 및 선발					v			v		
현지 적응성 검정 및 종자 수출					v		v	v		
바람들이 관련 유전자 발견 및 마커 개발	v					v				
무 비대 관련 유전자 및 이들 간 조절망 규명	v					v				

* 각 해당란에 v 표시

7. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술 명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
우수 계통육성	<ul style="list-style-type: none"> - 분리 재료 이용하여 신규 우수 계통 육성 - 병리 검정을 통해 병저항성 계통 육성 및 조직배양 기술을 활용한 DH 계통 육성 - 분자마커 기술을 활용한 음성불임 및 자가불화합계통 육성 - 신규 우수 계통을 활용한 국내 및 해외 우수 품종 개발
F ₁ 조합 작성 및 종자 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 우수 계통간 F₁ 조합 작성 및 교배 - 음성불임 계통을 이용한 채종 시험 및 순도 우수 조합 생산
F ₁ 조합 성능검정 및 선발	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 및 해외 현지 성능검정을 통한 우수 조합 선발
현지 적응성 검정 및 종자 수출	<ul style="list-style-type: none"> - 해외 현지 적응성 시험을 통한 우수 조합 및 품종 선발 - 우수 조합에 대한 마케팅 및 종자 수출 협의 - 해외 우수 품종 개발을 통한 종자 수출 경쟁력 강화
유용 형질 관련 유전자 발굴	<ul style="list-style-type: none"> - 비대 관련 유전자들의 환경 변화에 따른 조절망 분석 - 바람들이 진단 키트 개발
육종 관련 분자 마커 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 바람들이 관련 범용성 분자 마커 개발을 위한 연구
효율적 분자 육종 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 네트워크와 유전체 기반 유용 형질 관련 유전자형 발굴을 통한 육종 디자인

8. 연구종류 후 성과창출 계획

구분	품종개발		특허		논문		분 자 마 커	유전자원		국내 매출액	종자 수출액	기술 이전	마케팅 전략 보고서	인력 양성
	출 원	등 록	출 원	등 록	SCI	비SCI		수 집	등 록					
최종목표	8	9	7	5	9				10		835	5		
연구기간 내 달성실적	8	5	2	1	5	1			10	23.5	658.1	7		3
연구종료 후 성과창출 계획		3	1	1	1									1

9. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술 명			
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간		실용화예상시기	
기술이전 시 선행조건			

* 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성

** 기술이전 시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)

*** 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 Golden Seed 프로젝트 사업 연구개발과제 최종 보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서시행한 Golden Seed 프로젝트 사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.