

어젠다코드	6 - 1 - 18		구분	완결	
기술분야코드	V1	기술유형코드	S02	작목구분코드	FC-04-0401
과제종류	골든씨드프로젝트		과제번호	PJ012650	
과제명	고위도 지역적응 수출용 옥수수 품종개발 및 수출기반 조성				
과제책임자	성명		직급	소속기관 및 부서	
	정민		책임연구원	(주)농우바이오	
연구기간	2013 ~ 2021		참여연구기관		
세부과제명			부서	세부책임자	연구기간
1) 고위도 지역적응 수출용 옥수수 품종개발			옥수수연구소	류시환	'13 ~ '21
색인용어	옥수수, 사료용, 식가공용, 자식계통, 고위도				

## ABSTRACT

This corn breeding project was conducted for developing silage, field, and processing corn varieties adaptable to Southern and North Eastern Asia. Maize seed market is small in Korea, but we need to increase our market share by development of varieties for large market area. Our project was based on overseas maize breeding in India, Cambodia, China, and Russia. During the first period of this project, we collected 301 germplasm from other countries and registered 219 germplasm at the National Agrobiodiversity center. We conducted eight cycles for tropical area and five cycles for temperate area in line development. We have tested 11,488 lines and selected 4,911 lines for silage corn. We have also tested 1,707 lines and selected 813 lines for waxy-sweet corn. Doubled haploid technology in maize is a rapid line development system and many foreign maize research institutes have been actively using this technology. So, we introduced the doubled haploid technology in Korea and accelerated line development using the technology. We have conducted combining ability test at several area. Total 2,090 hybrids were evaluated by 11 trials and selected 258 hybrids for silage corn. Total 418 hybrids were evaluated by 10 performance trials and selected 76 good hybrids. Total 116 hybrids were evaluated by regional yield trials at India, China, and Korea. The regional yield trials were conducted 10 times and selected 49 hybrids showing good performance and having high yield capacity. Among the selected hybrids, some best hybrids were evaluated at farmers corn field for demonstration and the chosen hybrids have a good performance at the farmers field. We have lastly picked out one superior hybrid, Daeryuk#2. Daeryuk#2 have shown excellent performance. Finally, variety registration committee at Jilin Province in China approved Daeryuk#2 as a new variety and registered in the name of Bokgang191.

## 1

## 연구목표

세계 옥수수 종자시장 규모는 약 79억불 정도이며 옥수수 약 800만톤의 종자가 세계 각지에서 거래되고 있다. 세계 옥수수 생산량은 1,200백만톤(Eduardo Tinti, 2022)이며 주요 생산국은 미국(384백만톤), 중국(273백만톤) 순이다. 옥수수 재배면적은 202백만ha(USDA, 2021)이며 주요 재배국가는 중국(43백만ha), 미국(35백만ha), 브라질(21백만ha)순이다. 미국을 필두로 선진 연구기관 및 종자회사에서는 옥수수의 경제적 산업적 가치를 인식하여 다양한 연구 및 품종개발을 진행하고 있다. 유전자원의 확보 및 이 유전자원의 효율성확대연구, 기상이변에 대비한 가뭄저항성 품종개발, 수분 활용 효율 증대연구, 내충성 품종개발, 배가반수체 기술을 이용한 계통의 대량생산 등에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 특히 유전자변형 옥수수에 대한 연구 및 품종개발이 급속도로 진행되었으며 이에 따라 다수의 국가에서는 유전자변형 옥수수의 재배비율이 증가하고 있다. 옥수수 종자는 다수의 글로벌 종자회사에 의존하고 있으며, 주요 종자회사로는 Corteva Agriscience, UPL limited, Syngenta AG, Bayer CropScience, Groupe Limagrain 등이다. 옥수수 종자의 요구도는 향후 지속적으로 증가할 것으로 전망되고 있으므로 세계시장에 진출 가능한 품종개발의 필요성은 계속 높아지고 있다고 할 수 있다. 아시아 지역에서 옥수수재배 중국과 인도(9.7백만ha)가 주도하고 있다. 세계시장과 마찬가지로 아시아 시장에서도 교잡종 종자의 수요량이 지속적으로 증가할 것으로 관측되고 있으며 특히 중국 및 인도 등 인구 대국의 경제 성장에 따라 식량 소비량이 지속적으로 증가하고 있어 종자시장도 빠르게 성장할 것으로 판단된다. 본 연구는 아시아 지역에 수출 가능한 품종을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 아시아 시장에서 유전자변형 옥수수 재배는 대부분의 국가에서 허가를 받지 못한 상황이므로 본 연구의 육종목표는 비유전자변형 옥수수 품종으로 하고 있다. 이를 위해 국내의 자원과, 국외 수집자원을 확보하여 우량한 계통을 육성하고 단기간에 고순도의 계통을 육종하기 위해 배가반수체 기술을 도입하여 활용하고자 한다. 육성된 계통을 이용하여 교배조합을 구성하고 이 들 교잡종의 조합능력과 생산력검정을 통하여 해외 현지에 적응성이 우수한 교잡종을 선발할 계획이다. 선발된 교잡종은 농가 실증 및 국내외 품종등록을 추진하여 수출 가능한 품종을 육성하고 종자생산까지 포함하는 시스템을 구축하고자 한다. 본 연구과제는 2단계로 나누어 수행되었다. 1단계인 2013~2016(4년)에는 인도를 중심으로 하는 남부아시아에 적응성이 우수한 품종개발을 목표로 연구를 수행하였으며, 2단계인 2017~2021(5년)에는 중국과 러시아를 중심으로 하는 고위고 지역에 적응성이 우수한 품종개발을 목표로 연구를 수행하였다.

## 2

## 재료 및 방법

### (시험 1) 옥수수 유전자원 수집 및 자원평가

옥수수 품종육성에서 유전자원의 확보는 매우 중요한 사항이다(Prasanna, 2012). 본 과제는 해외 현에서의 적응성이 높은 품종육성을 목표로 하고 있으므로 활용하는 계통 또한 현지에서 적응성이 높은 계통을 선발하여야 한다. 따라서 국내육성 계통을 해외 현지에 파종하여 적응성을 평가하고 우량

계통을 선발하였다. 국내육성 16계통의 적응성평가는 인도 (주)농우바이오 현지 육종연구소에서 2014년 2월 11일에 파종하여 특성을 검정하였다. 국내 육성계통만으로는 우수한 해외 적응성 품종을 육성하는데 한계가 있을 수 있다. 따라서 해외에서의 적응성이 높은 자원을 새롭게 확보하여 우량계통으로 육성하는 것이 필요하다. 이를 위해 1차 년도에는 미국 남부지역, 멕시코 및 인도 등에서 자원을 수집하였다. 남부아시아 적응성 품종개발을 위해 열대 및 아열대 자원을 주로 수집하여 자원으로 활용하였다. 2차 년도에는 추가적으로 유럽과 인도 그리고 멕시코 등 온대 및 아열대를 원산으로 하는 자원을 수집하였다. 그리고 수집자원 107점에 대한 특성평가를 실시하여 활용성이 높은 자원을 선발하였다. 수집자원의 특성평가는 2015년 6월 19일 인도 (주)농우바이오 육종연구소에서 재식거리 60x20cm로 파종하였다. 3차 년도에는 2년차 수집자원 14Fr02 등 35점에 대한 평가를 홍천에서 수행하였다.

### (시험 2) 옥수수 자식계통 육성 및 교배조합 구성

옥수수 자식계통은 품종 육성의 시작이며 근간이 되는 중요한 자원이다. 우량한 품종은 우수한 계통의 육성으로부터 시작되므로 자식계통의 중요성은 매우 크다고 할 수 있다. 자식계통 육성은 계통분리가 진행되는 과정에서 순도를 고정하는 단계를 계속 진행하였다. 계통분리 과정을 거쳐 순도가 99% 이상에 도달할 때인 S<sub>7</sub>~S<sub>8</sub> 세대까지 seffling을 진행하였다. 1차 년도의 자식계통 시험은 캄보디아에서 2013년 11월 파종 및 인도에서 2014년 2월 파종 등 2회에 걸쳐 시험하였다. 캄보디아는 캄푹주의 JNJ 연구포장에서 수행하였으며, 인도에서는 (주)농우바이오 육종연구소에서 수행하였다. 2년차 시험은 인도 (주)농우바이오 육종연구소에서 2회 수행하였다. 제1작기는 2014년 6월 ~ 10월, 제2작기는 2014년 11월 ~ 2015년 4월 까지 수행하였으며 재식거리는 60x20cm로 하였다. 3년차 시험은 인도의 (주)농우바이오 육종연구소에서 수행하기 어려운 상황이라 다시 캄보디아로 육종기지를 이전하여 수행하였다. 제1작기는 2015년 4월 ~ 10월, 제2작기는 2015년 12월 ~ 2016년 4월 까지 수행하였으며 재식거리는 70x25cm로 하였다. 4년차 자식계통 육성시험은 캄보디아의 Mekong Seeds 연구포장에서 제1작기는 2016년 4월 ~ 8월, 제2작기는 2016년 8월 ~ 2016년 12월 까지 수행하였다. 계통분리 방법은 pedigree selection 방법을 이용하였으며, 재배법은 해외 현지 기준에 준하여 수행하였다. 5년차 이후 고위도 지역적응 품종개발로 연구목표가 변경됨에 따라 자식계통 육성시험은 강원도 홍천에서 수행하였다. 계통분리 방법은 pedigree selection 방법을 유지하였고, 고위도 지역에 적합한 조속성 계통의 조기 육성을 위하여 배가반수체 기술을 이용하였다. 또한 식가공용 옥수수 품종개발을 위하여 기본과제로 수행하던 찰초당옥수수 계통육성과제를 본 과제로 이관하여 수행하였다.

옥수수 품종육성은 단교잡종(F<sub>1</sub>)을 평가하여 우량한 교잡종을 선발하는 과정이다. 교잡종은 다양한 육성계통에 대한 교배조합을 구성하여야 한다. 교배조합 구성은 육성된 계통과 조합능력이 우수한 elite line과의 인공교배를 통하여 F<sub>1</sub> 단교잡종을 구성하였다.

### (시험 3) 배가반수체 기술을 이용한 계통육성

배가반수체 기술은 반수체를 유기하고 colchicine 용액을 이용하여 염색체를 배가시킨 후 인공교배를 통하여 종자를 생산하면 단기간에 순도 100%의 계통을 육성할 수 있는 신기술이다. 전통적인 육종방법으로는 7세대 이상의 기간이 소요되는 반면 배가반수체 기술을 이용하면 3세대 이내에

계통을 육종할 수 있으므로 옥수수 품종육성의 효율성을 증대시킬 수 있는 방법이다(Chaikam, 2019). 이 기술의 활용을 위해서는 반수체를 유기할 수 있는 자원인 유기체(inducer)의 확보가 필요하며, 강원도농업기술원 옥수수연구소에서는 독일의 Hohenheim대학교, 멕시코의 국제옥수수·밀연구소(CIMMYT)와 계약을 통해 상업적으로 활용할 수 있는 유기체를 확보하였다(이장용, 2014). 우선 확보한 유기체의 국내 적응성을 평가하여 2014년 4월 홍천에 파종하여 향후 활용을 위한 특성을 검토하였다. 3년차에는 반수체 유기를 수행하였다. 활용 집단은 열대자원인 NK6240 F<sub>2</sub>이며 NK6240을 모본으로 하고 유기체인 Tails를 부본으로 하여 교배를 실시하였다. 수확한 이삭에서 각각의 종실은 배에서의 색의 유무로 반수체 종자와 이배체 종자로 구별하였다. 4년차에는 NK6240으로부터 유기된 반수체 종자를 받아서켜 발아단계에서 Colchicine 용액에 12시간 침지하는 방법으로 염색체 배가를 수행하였다. 배가 처리한 발아 묘는 날개 육묘포트에 옮겨 활착을 시킨 후 반수체배가 시설 내에 정식하여 인공교배를 통하여 종자를 생산하였다.

#### (시험 4) 옥수수 교잡종의 조합능력평가

교배조합이 구성된 교잡종의 평가는 단계별 수량검정을 통해 이루어졌다. 옥수수의 수량평가는 일반적으로 조합능력검정, 생산력검정 및 지역적응성검정의 단계를 거친다. 조합능력검정은 평가대상 교잡종의 수가 많고 종자량은 충분하지 않은 경우가 대부분이므로 열수와 반복수는 축소하여 진행하였다. 2차년도에 조합능력검정은 1년차에 구성된 교배조합 03S6111/13(B)H260 등 150조합을 대상으로 진행하였다. 시험포장은 인도의 현지 농가포장을 임차하여 2014년 6월에 재식거리 70x25cm 2열 2반복으로 시험하였다. 3년차의 조합능력검정은 2년차에 구성된 교배조합을 이용하여 인도와 캄보디아에서 3회에 걸쳐 수행하였다. 인도에서의 (주)농우바이오 육종연구소 연구포장에서 제1작기에는 178교잡종, 제2작기에는 28교잡종, 그리고 캄보디아에서는 Mekong Seeds 연구포장에서 125교잡종에 대한 조합능력 평가를 실시하였다. 4년차의 조합능력검정은 캄보디아 Mekong Seeds 연구포장에서 2회에 걸쳐 수행하였다. 제1작기에는 195교잡종, 제2작기에는 134교잡종의 수량성을 평가하였다. 5년차 이후 고위도 지역적응 품종개발로 연구목표가 변경됨에 따라 조합능력평가는 강원도 홍천에서 수행하였다. 년차별 시험교잡종수는 5년차에 356, 6년차에 254, 7년차에 249, 8년차에 218, 9년차에 203교잡종을 시험하였다. 시험구 배치는 1열 2반복 순위배열법을 이용하였으며 재식거리는 60x30cm로 하였다. 주요 조사항목은 수량성, 간장, 출사기 등을 평가하여 우량교잡종을 선발하였다. 선발된 교잡종은 중국 및 러시아에서의 생산력검정에 활용하였다.

생산력검정은 조합능력검정에서 선발된 교잡종을 대상으로 시험열수와 반복수를 확대하여 평가를 진행하였다. 4년차에 캄보디아에서 18교잡종, 인도에서 64교잡종에 대한 생산력검정을 실시하여 우량교잡종을 선발하였고, 선발된 교잡종은 지역적응성검정에 활용하였다. 4년차에 조합능력에서 선발된 19교잡종은 5년차에 베트남에서 생산력검정을 수행하였다. 5년차 이후의 생산력검정은 중국 길림성 및 러시아 연해주에서 수행하였다. 중국에서는 길림성 용정에서 2열 3반복의 시험구 배치를 이용하여 수행하였으며, 러시아에서는 연해주농업연구소에서 2열 2반복으로 수행하였다. 중국에서의 년차별 생산력검정은 5년차에 42, 6년차에 40, 7년차에 43, 8년차에 40, 9년차에 38교잡종을 시험하였다.

### (시험 5) 우량 교잡종의 현지 적응성 검정

선발된 교잡종에 대한 현지의 지역적응성검정은 지역수, 열수 및 반복수를 확대하여 수행하였다. 재식밀도 및 재배방법은 현지 표준재배법에 기준하여 수행하였다. 인도에서 4년차에 수행한 지역적응성검정은 3지역에서 실시하였다. 시험지역은 (주)농우바이오 육종연구소, Telangana주 Warangal 농가 임차포장 및 Karnataka주 Davangere 농가 임차포장에서 수행하였다. 시험구 배치는 4열 또는 2열 3반복 난괴법으로 하였으며 재식밀도는 60×20cm 시비량(N:P:K)은 15:6:4kg/10a을 투입하였다. 4년차에 선발된 20교잡종은 5년차에 인도에서 추가적으로 적응성검정을 실시하였다. 4년차와 마찬가지로 Karnataka주 등 3지역에서 시험을 수행하였다. 그리고 5년차 이후 고위도 지역적응 품종개발로 연구목표가 변경됨에 따라 해외 현지 지역적응성검정은 중국 길림성에서 수행하였다. 또한 러시아 연해주에서 선발된 교잡종에 대한 적응성평가를 강원도 내에서 실시하여 우량교잡종은 국내 품종 출원용으로 활용하였다.

### (시험 6) 선발교잡종 종자생산을 위한 채종시험

옥수수의 보급종 종자는 모본과 부분의 교배를 통한 단교잡종이다. 옥수수 품종육성은 단교잡종의 수량성도 중요하지만, 교잡종 종자생산이 용이한지 또는 수량성이 높은지도 매우 중요하다. 따라서 향후 대량 종자생산을 대비하여 선발한 교잡종에 대한 채종시험을 수행하였다. 시험 교잡종은 러시아 적응성 선발교잡종인 종교192이며 홍천의 격리포장에서 모본과 부분의 비율을 2:1로 하여 시험하였다.

### (시험 7) 중국 현지 농가실증 및 전시포 운영

중국에서 생산력검정과 현지 지역적응성검정을 통해 선발된 교잡종은 현지 재배농가의 반응을 검토하고자 농가실증시험을 실시하였다. 농가실증은 7~9년차에 실시하였고 옥수수 주요 재배지역의 선정농가에 개발품종의 종자를 공급하고 재배 및 관리는 농가에서 전담하였다. 전시포 운영은 마지막 년차인 9년차에 중국 길림성 도문 및 돈화 등 2지역에서 수행하였다.

## 3 결과 및 고찰

### (시험 1) 옥수수 유전자원 수집 및 자원평가

해외 적응 품종개발을 목적으로 옥수수 자원을 수집한 결과는 표 1과 같다. 인도의 옥수수 생산지대는 북부의 온대 및 아열대 기후에서 남부의 열대기후 지대까지 광범위하게 분포되어 있다. 수집자원의 활용성 및 적응성을 감안하여 인도 및 남부아시아 지역과 기후 조건이 유사한 지역에서의 옥수수 유전자원 수집을 우선 수행하였다. 인도의 옥수수 유전자원 수집은 JKMH502등 21점을 수집하였다. 인도에서 수집된 자원은 인도 및 남부아시아 지역에서 적응성이 가장 우수할 것으로 기대되며, 현지 옥수수의 특성 및 생육 상황 및 생산성을 파악하는데 유용한 정보를 제공해 줄 수 있을 것으로 예상된다. 미국에서의 유전자원 수집은 GEMS008 등 39점을 수집하였다. 미국 수집 유전자원은 미국의

온대 및 아열대 지역에서 선발된 유전자원이지만, 이들 유전자원의 기원은 Cuba, Brazil, Thailand 등으로 열대 및 아열대 지역의 옥수수 유전자원에서 유래되었으므로 인도 및 남부아시아 지역에서의 적응성도 좋을 것으로 기대된다. 멕시코에서의 유전자원 수집은 CML421등 40점을 수집하였다. 멕시코 유전자원은 멕시코에 위치한 국제옥수수·밀연구소(CIMMYT)에서 육성된 자원으로 이들 또한 열대 및 아열대 지역에서의 적응성이 우수할 것으로 예상되는 자원이다.

표 1. 옥수수 유전자원 수집내역

년차	수집지역	유전자원수	자원내역
1년차	인도	21	인도 현지 품종 및 계통
	미국	39	종실용 온대 및 아열대 자원
	멕시코	40	종실용 열대 및 아열대 자원
2년차	인도	10	인도 현지 계통
	유럽	35	종실용 온대 자원
	멕시코	25	종실용 열대 및 아열대 자원
	미국	131	사료용 및 초당옥수수 자원
계		301	-

특히, 타지역에서 수집된 유전자원은 대부분 종피색이 황색인데 반하여, 멕시코에서 수집된 옥수수 유전자원에는 종피색이 백색인 계통이 다수 포함되어 있어서 식·가공용 옥수수 계통 및 품종개발에 유용하게 활용될 것으로 예상된다. 2차년도 인도의 옥수수 유전자원 수집은 ICI-H2등 10점을 수집하였다. 유럽에서의 유전자원 수집은 14FR01 등 35점을 수집하였다. 프랑스의 유전자원센터에서 30점의 자원을 수집하였으며, 독일 및 프랑스 농가포장에서 5점을 수집하였다. 프랑스의 유전자원센터에서 확보한 자원은 프랑스 재래종(traditional landrace)과 합성집단(synthetic population)의 자원이며 농가에서 수집한 자원은 현지 방문 시 이동 중에 옥수수 포장에서 수집한 품종이다. 국내에는 유럽으로부터의 자원이 극히 드물게 도입이 되었으므로 이들 유럽자원은 유전적 다양성을 확대하는 면에서 중요한 의미가 있다. 멕시코에서의 유전자원 수집은 국제옥수수·밀연구소(CIMMYT)의 CML461등 25점을 수집하였다. 그리고 미국 자원으로는 하와이주립대학 등에서 사료용 및 초당옥수수 131점을 수집하였다.

국내 육성계통의 해외 현지 적응성을 검토하기 위하여 hf26 등 온대형 8계통, Tx29A 등 열대형 8계통을 인도 현지에서 평가하였다. 그 결과 온대형에서는 hf26, 열대형에서는 TF1이 적응성이 우수한 것으로 평가되었으며 선발 계통은 교배조합 구성을 위한 교배 모본으로 활용하였다. 1년차 수입 유전자원 CML429등 107점에 대한 적응성 평가를 수행하여 14(B)1005 등 15계통을 선발하였으며 주요 선발자원 특성은 표 2와 같다, 14(B)1098등 25계통은 혼종, 등숙불량, 생리장애, 발아불량 등으로 활용성이 낮은 것으로 평가되었다. 2년차 수입 유전자원에 대한 평가 결과는 표 3과 같다. 14F201 등 35점에 대한 적응성 평가를 수행하였으며 14Fr02 등 10계통을 선발하였다. 교배가 불량하고 도복 발생이 많으며 병충해에 약한 14De02 등 12계통은 도태하였다.

표 2. 옥수수 1년차 수집자원 주요 선발자원

번호	출사일수 (일)	간장 (cm)	균일도 (1-5)	매문병 (0-9)	기타
14(B)1004	62	170	1	1	직립
14(B)1005	62	190	1	2	녹체성
14(B)1008	67	170	2	2	녹체성, 직립
14(B)1021	62	170	1	2	직립
14(B)1023	63	190	2	2	단간, 직립
14(B)1069	62	190	2	2	녹체성
14(B)1076	61	180	2	1	녹체성, 반직립
14(B)1081	61	190	2	2	반직립

표 3. 옥수수 2년차 수집자원 주요 선발자원

번호	출사일수 (일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	균일도 (1-5)	도복 (1-9)	기타
14Fra0410031	48	139	37	3	3	조숙성
14Fra0410072	56	137	71	4	3	이삭 조기건조
14Fra0410642	49	230	102	3	4	조숙 및 조기건조
14Fra0410847	51	208	77	3	1	내도복
14Fra0410899	50	187	69	3	1	내도복, 조숙
14Fra0410904	56	142	58	3	3	내병
14Fra0411193	65	190	76	3	1	내도복
14Fra0413059	62	193	86	3	3	내병
14Fr02	63	208	88	2	1	내병 및 내도복

### (시험 2) 옥수수 자식계통육성 및 교배조합 구성

옥수수 자식계통 육성은 pedigree selection 방법을 이용하여 수행하였다. 1년차의 제1작기는 캄보디아에서 2013년 11월에 S<sub>0</sub>~S<sub>3</sub>세대 360 계통을 파종하였으며 적응성이 우수하고 초형이 양호한 170계통을 선발하여 다음세대로 진전시켰다(표 4). 열대자원 P4199에서 유래된 H028, LVN10에서 유래된 H059등이 우수계통으로 선발되었다. 1년차의 제2작기는 인도에서 2014년 2월에 S<sub>1</sub>~S<sub>6</sub>세대 658 계통을 파종하였으며 적응성이 우수하고 초형이 양호한 339계통을 선발하여 다음세대로 진전시켰다. 2년차의 제1작기는 인도에서 2014년 6월에 S<sub>0</sub>~S<sub>7</sub>세대 985 계통을 파종하였으며 적응성이 우수하고 초형이 양호한 367계통을 선발하여 다음세대로 진전시켰다(표 5). 태국 유래자원 14B0447, 30Y87에서 유래된 14B0571등이 우수계통으로 선발되었다. 2년차의 제2작기는 인도에서 2014년 11월에 S<sub>1</sub>~S<sub>8</sub>세대 986 계통을 파종하였으며 적응성이 우수하고 초형이 양호한 402계통을 선발하여 다음세대로 진전시켰다.

표 4. 옥수수 자식계통육성시험 시험 및 선발계통수(1년차)

작기	세대별	시험 계통	선발 계통	선발계통 활용계획
1	S <sub>0</sub>	47	30	계통육성을 위한 세대진전(단옥수수)
	S <sub>1</sub>	235	95	계통육성을 위한 세대진전
	S <sub>2</sub>	13	10	"
	S <sub>3</sub>	65	35	"
	계	360	170	-
2	S <sub>1</sub>	151	91	계통육성을 위한 세대진전
	S <sub>2</sub>	25	18	"
	S <sub>4</sub>	17	9	"
	S <sub>5</sub>	211	94	"
	S <sub>6</sub>	254	126	"
계	658	339	-	

표 5. 옥수수 자식계통육성시험 시험 및 선발계통수(2년차)

작기	세대별	시험 계통	선발 계통	선발계통 활용계획
1	S <sub>1</sub> ~S <sub>2</sub>	156	52	계통육성을 위한 세대진전
	S <sub>3</sub> ~S <sub>5</sub>	290	105	"
	S <sub>6</sub> ~S <sub>7</sub>	375	125	우량계통과 교배조합 구성
	선발자원	162	85	"
	Tester	2	-	교배조합 구성
계	985	367		
2	S <sub>1</sub> ~S <sub>2</sub>	225	92	계통육성을 위한 세대진전
	S <sub>3</sub> ~S <sub>5</sub>	272	108	"
	S <sub>6</sub> ~S <sub>8</sub>	240	97	우량계통과 교배조합 구성
	선발자원	216	105	"
	Tester	2	-	교배조합 구성
원종증식 및 F <sub>1</sub> 생산	31	-	종자생산 및 수량평가	
계	986	402		

3년차의 제1작기는 캄보디아에서 2015년 4월에 S<sub>0</sub>~S<sub>9</sub>세대 802 계통을 파종하였으며 적응성이 우수하고 초형이 양호한 288계통을 선발하여 다음세대로 진전시켰다(표 6). 열대자원 NS3에서 유래된 15A0526, KSX5316에서 유래된 15A0646등이 우수계통으로 선발되었다. 3년차의 제2작기는 캄보디아에서 2015년 12월에 S<sub>0</sub>~S<sub>9</sub>세대 1009 계통을 파종하였으며 적응성이 우수하고 초형이 양호한 525 계통을 선발하여 다음세대로 진전시켰다. 4년차의 제1작기는 캄보디아에서 2016년 4월에 S<sub>1</sub>~S<sub>9</sub>세대 1,461 계통을 파종하였으며 적응성이 우수하고 초형이 양호한 429계통을 선발하여 다음세대로 진전시켰다(표 7). 수집자원 GMN217에서 유래된 16H6097등이 우수하여 교배친으로 활용 가능할 것으로 판단되었다. 4년차의 제2작기는 캄보디아에서 2016년 8월에 S<sub>1</sub>~S<sub>9</sub>세대 1,212 계통을 파종하였으며 적응성이 우수하고 초형이 양호한 474계통을 선발하여 다음세대로 진전시켰다.

표 6. 옥수수 자식계통육성시험 시험 및 선발계통수(3년차)

작기	세대별	시험 계통	선발 계통	선발계통 활용계획
1	S <sub>0</sub> ~S <sub>5</sub>	459	135	계통육성을 위한 세대진전
	S <sub>6</sub> ~S <sub>9</sub>	262	115	우량계통과 교배조합 구성
	열대자원	26	11	"
	Tester 및 여교잡	17	8	교배조합 구성
	원종증식	38	19	tester와 교배, 활용가능 원종선발
	계	802	288	
2	S <sub>0</sub> ~S <sub>5</sub>	564	238	계통육성을 위한 세대진전
	S <sub>6</sub> ~S <sub>9</sub>	291	156	우량계통과 교배조합 구성
	여교잡	80	65	"
	F <sub>1</sub> 종자생산 등	74	66	교배조합 구성
	계	1,009	525	

표 7. 옥수수 자식계통육성시험 시험 및 선발계통수(4년차)

작기	세대별	시험 계통	선발 계통	선발계통 활용계획
1	S <sub>1</sub> ~S <sub>4</sub>	363	97	계통육성을 위한 세대진전
	S <sub>5</sub> ~S <sub>6</sub>	271	72	"
	S <sub>7</sub> ~S <sub>9</sub>	298	77	우량계통과 교배조합 구성
	여교잡	125	65	계통선발을 위한 세대진전
	자원평가	198	63	수집자원 적응성 평가
	계통증식	70	55	교배조합 구성을 위한 원종증식
	F <sub>1</sub> 생산	136		적응성 평가용 종자생산
계	1,461	429		
2	S <sub>1</sub> ~S <sub>3</sub>	510	205	계통육성을 위한 세대진전
	S <sub>4</sub> ~S <sub>6</sub>	185	60	"
	S <sub>7</sub> ~S <sub>9</sub>	151	80	우량계통과 교배조합 구성
	여교잡	179	55	계통육성용 세대진전 "
	자원평가	187	73	자원의 적응성 평가 및 세대진전
	계	1,212	474	

5년차 이후에는 고위도 지역적응 품종개발을 목표로 하여 자식계통육성은 강원도 홍천에서 수행하였다. 5년차 홍천에서는 고위도 지역에 적합한 조숙성 계통 선발을 위주로 시험을 실시하였다. S<sub>0</sub>~S<sub>8</sub> 세대 843계통을 시험하여 조숙성 및 초형이 우수한 390계통을 선발하여 다음 세대로 진전하였다(표 8).

표 8. 옥수수 자식계통육성시험 시험 및 선발계통수(5년차)

세대별	시험계통	선발계통	선발계통 활용계획
S <sub>0</sub>	9	8	조숙집단 선발 및 계통 분리
S <sub>1</sub> ~3	121	78	계통육성을 위한 세대진전
S <sub>4</sub> ~5	314	143	"
S <sub>6</sub> ~7	231	96	우량계통 활용 교배조합 구성

세대별	시험계통	선발계통	선발계통 활용계획
S <sub>8</sub>	168	65	계통증식 및 교잡종 생산에 활용
계	843	390	

6년차에는 사료용뿐 아니라 식가공용 품종개발을 목표로하여 찰초당옥수수의 계통육성을 포함하여 연구를 수행하였다. 찰초당옥수수는 찰옥수수에 찰초당옥수수가 일정비율로 섞여있는 형태의 옥수수이며 이중열성유전자를 포함하고 있다. 6년차에는 F<sub>1</sub>~BC<sub>3</sub>F<sub>7</sub>세대 346계통을 시험하여 내도복성 등을 포함하는 137계통을 선발하여 세대 진전하였다(표 9) 사료용옥수수는 S<sub>0</sub>~S<sub>8</sub>세대 606계통을 시험하여 내병성 및 초형이 우수한 326계통을 선발하여 다음 세대로 진전하였다(표 10).

표 9. 찰초당옥수수 자식계통육성시험 시험 및 선발계통수(6년차)

세대별	시험계통	선발계통	선발계통 활용계획
F <sub>1</sub> ~F <sub>2</sub>	24	19	세대진전
BC <sub>1</sub> F <sub>2~3</sub>	44	18	"
BC <sub>2</sub> F <sub>3~4</sub>	159	51	"
BC <sub>3</sub> F <sub>5</sub>	59	25	세대진전, 계통 선발
BC <sub>3</sub> F <sub>7</sub>	60	24	세대진전, 교잡종 생산
계	346	137	

표 10. 사료용옥수수 자식계통육성시험 시험 및 선발계통수(6년차)

세대별	시험계통	선발계통	선발계통 활용계획
S <sub>0</sub>	8	6	조숙집단 선발 및 계통 분리
S <sub>1~3</sub>	228	136	계통육성을 위한 세대진전
S <sub>4~5</sub>	171	93	"
S <sub>6</sub>	91	53	우량계통 활용 교배조합 구성
S <sub>8</sub>	108	38	계통증식 및 교잡종 생산에 활용
계	606	326	

7년차 찰초당옥수수 계통육성은 F<sub>1</sub>~BC<sub>3</sub>F<sub>8</sub>세대 254계통을 시험하여 찰초당옥수수의 특성을 보이는 125계통을 선발하여 세대 진전하였다(표 11). 사료용옥수수는 S<sub>0</sub>~S<sub>7</sub>세대 761계통을 시험하여 내병성 및 조숙형이 우수한 407계통을 선발하여 다음 세대로 진전하였다(표 12).

표 11. 찰초당옥수수 자식계통육성시험 시험 및 선발계통수(7년차)

세대별	시험계통	선발계통	선발계통 활용계획
F <sub>1~2</sub>	19	14	세대진전
BC <sub>1</sub> F <sub>2~3</sub>	41	21	"
BC <sub>2</sub> F <sub>3~4</sub>	91	45	"
BC <sub>3</sub> F <sub>4</sub>	33	16	
BC <sub>3</sub> F <sub>6</sub>	31	14	세대진전, 계통 선발

세대별	시험계통	선발계통	선발계통 활용계획
BC <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	39	15	세대진전, 교잡종 생산
계	254	125	

표 12. 사료용옥수수 자식계통육성시험 시험 및 선발계통수(7년차)

세대별	시험계통	선발계통	선발계통 활용계획
S <sub>0</sub>	4	3	조숙집단 선발 및 계통 분리
S <sub>1~2</sub>	214	155	계통육성을 위한 세대진전
S <sub>3~5</sub>	243	112	"
S <sub>6</sub>	193	86	우량계통 활용 교배조합 구성
S <sub>7</sub>	107	51	계통증식 및 교잡종 생산에 활용
계	761	407	-

8년차 찰초당옥수수 계통육성은 F<sub>1</sub>~BC<sub>3</sub>F<sub>9</sub>세대 560계통을 시험하여 초형이 우수한 255계통을 선발하여 세대 진전하였다(표 13) 사료용옥수수는 S<sub>0</sub>~S<sub>8</sub>세대 833계통을 시험하여 조숙 및 초형이 우수한 402계통을 선발하여 다음 세대로 진전하였다(표 14).

표 13. 찰초당옥수수 자식계통육성시험 시험 및 선발계통수(8년차)

세대별	시험계통	선발계통	선발계통 활용계획
F <sub>1~2</sub>	24	19	세대진전
BC <sub>1</sub> F <sub>2~3</sub>	187	78	여교잡
BC <sub>2</sub> F <sub>3~4</sub>	147	67	여교잡
BC <sub>3</sub> F <sub>4~5</sub>	134	58	여교잡
BC <sub>3</sub> F <sub>7</sub>	38	15	세대진전, 계통 선발
BC <sub>3</sub> F <sub>9</sub>	30	18	세대진전, 계통 선발
계	560	255	-

표 14. 사료용옥수수 자식계통육성시험 시험 및 선발계통수(8년차)

세대별	시험계통	선발계통	선발계통 활용계획
S <sub>0</sub>	11	9	조숙집단 선발 및 계통 분리
S <sub>1~2</sub>	122	60	계통육성을 위한 세대진전
S <sub>3~4</sub>	176	70	"
S <sub>5~6</sub>	182	91	우량계통 활용 교배조합 구성
S <sub>7</sub>	211	87	세대진전
S <sub>8</sub>	131	85	계통증식 및 교잡종 생산에 활용
계	833	402	-

9년차 찰초당옥수수는 S<sub>1</sub>~BC<sub>3</sub>F<sub>8</sub>세대 547계통을 시험하여 내병성 등을 포함하는 296계통을 선발하였다(표 15). 사료용옥수수는 S<sub>0</sub>~S<sub>8</sub>세대 972계통을 시험하여 초형 및 내재해성이 우수한 392계통을 선발하였다(표 16).

표 15. 찰초당옥수수 자식계통육성시험 시험 및 선발계통수(9년차)

세대별	시험계통	선발계통	선발계통 활용계획
S <sub>1</sub>	22	18	세대진전
BC <sub>1</sub> F <sub>2~3</sub>	127	75	여교잡
BC <sub>2</sub> F <sub>3~4</sub>	66	36	여교잡
BC <sub>3</sub> F <sub>4~5</sub>	163	78	여교잡
BC <sub>3</sub> F <sub>6</sub>	77	41	세대진전, 계통 선발
BC <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	89	48	세대진전, 계통 선발
계	544	296	-

표 16. 사료용옥수수 자식계통육성시험 시험 및 선발계통수(9년차)

세대별	시험계통	선발계통	선발계통 활용계획
S <sub>0</sub>	8	7	조속집단 선발 및 계통 분리
S <sub>2~3</sub>	272	115	계통육성을 위한 세대진전
S <sub>4~6</sub>	364	143	우량계통 활용 교배조합 구성
S <sub>7</sub>	45	19	세대진전
S <sub>8</sub>	283	108	계통증식 및 교잡종 생산에 활용
계	972	392	-

교잡종평가를 위한 교배조합구성은 03S6111 등 현재까지 순도가 고정된 계통들을 이용하여 상호간에 교배조합을 구성하였다. 1차년도 교배조합 구성 캄보디아에서 03S6111/13(B)H260 등 100교잡종 10kg의 종자를 생산하였으며, 인도에서 Tx29A/14(A)H432 등 50교잡종의 인공교배를 통한 종자생산을 하였다. 구성된 교배조합은 2차년도에 생육 및 수량성을 평가하였다. 2차년도 교배조합 구성 인도에서 제1작기에 hf26/14B0859 등 150교잡종의 종자를 생산하였으며, 제2작기에 TF1, hf26 등을 이용하여 150교잡종의 교배조합을 구성하였다. 3차년도 교배조합 구성 캄보디아에서 elite line을 tester로 활용하여 교배조합을 구성하였다. 제1작기에는 tester로 TF1, hf26 등을 활용하여 05A0663/TF1 등 105교잡종의 종자를 생산하였으며, 제2작기에는 tester로 RF1, hf26, 15A525, 15A648, 15A890, 15A901 등을 이용하여 15H5573/15H5798 등 195교잡종의 종자생산을 하였다. 구성된 교배조합은 3차년도에 생육 및 수량성을 평가하였다. 4차년도 교배조합 구성 캄보디아에서 elite line을 tester로 활용하여 교배조합을 구성하였다. 제1작기에는 tester로 15H6165 등 6계통을 활용하여 131교잡종의 종자를 생산하였으며, 제2작기에는 tester로 16A1125 등 6계통을 활용하여 인공교배를 실시하였으나 시험포장의 침수 로 인한 등숙불량으로 교잡종 생산에는 어려움이 있었다.

5년차 이후 교배조합구성은 강원도 홍천에서 수행하였다. 5년차에는 tester로 12S8057, 16S7197 등 조속 계통을 이용하여 12S8057/17S8191 등 150조합 구성하였고, 6년차에는 14S5171/18S8232 등 150조합을 구성하였다. 7년차에는 19S6148/15S8124 등 150조합, 8년차에는 tester로 10S6094, 15S8124, 16S7167 등 조속 계통을 이용하여 20S8006/09S5221 등 150조합, 그리고 9년차에는 21S8074/16S7197 등 100조합을 구성하였다.

### (시험 3) 배가반수체 기술을 이용한 계통육성

반수체 유기체(inducer)의 확보로 국내에서 최초로 배가반수체 기술을 이용한 옥수수 계통육성 연구가 시작되게 되었다. 확보한 유기체인 Tails는 온대와 열대의 중간형이므로 국내에서의 적응성에 대한 평가를 우선 실시하였다. 홍천에서 4월 하순에 파종하여 출사는 7월 초에 진행되었으며 간장은 158cm로 국내에서의 적응성이 양호하였다(표 17). 출사기는 미백2호보다 3-4일 빠른 정도이므로 국내에서 활용되는 자원과의 교배에는 문제가 없는 것으로 판단되었다. 3년차에는 열대자원인 NK6240에 대한 반수체 유기를 수행하였으며 126이삭을 교배하여 종실 배의 안토시아닌 색소 유무로 반수체 종자를 선별한 결과 5.2%의 유기율을 보였다(표 18). 4년차에는 반수체 종자를 염색체 배가하여 배가반수체 시설에서 종자생산을 수행하였으며 300개체의 반수체 식물체에서 인공교배를 통하여 육성된 계통수는 25계통이었다(표 19). 배가반수체 기술에 의해 육성된 계통은 종자증식 및 특성평가를 수행하여 우량계통의 선발을 진행하였다.

표 17. 옥수수 반수체 유기계통(inducer)의 국내 적응성 평가

유도체	파종기(월/일)	출사기(월/일)	출사일수(일)	간장(cm)	착수고(cm)
Tails(P1)	4/23	7/4	72	158	79

표 18. 열대자원의 반수체 유기율 평가

집단명	파종기(월/일)	간장(cm)	착수고(cm)	출사일수(일)	유기이삭수	반수체 유기율(%)
NK6240 F <sub>2</sub>	6/25	233	115	56	126	5.2

표 19. 염색체 배가처리에 의한 육성계통수

집단명	파종기(월/일)	파종종자수(립)	배가처리후 정식주수(주)	반수체 식물체수(주)	생산 계통수
NK6240xTails	5/6	474	438	300	25

### (시험 4) 옥수수 교잡종의 조합능력평가

교배조합 구성으로 생산된 교잡종의 조합능력평가는 2년차부터 수행하였다. 1년차 구성 교배조합 03S6111/13(B)H260 등 150조합에 대한 수량성 평가를 인도에서 수행하여 14Y1008 등 5교잡종을 선발하였다(표 20). 옥수수 파종 후 발아 전후에 다람쥐의 가해를 심하게 받아 전반적으로 옥수수 생육 주수는 적었다. 이로 인해 수량비교에 필요한 정상적인 옥수수 식물체 확보는 어려운 상황이었다. 따라서 생육주수의 차이로 인해 시험교잡종간의 종실수량 차이가 크게 나타났다.

표 20. 옥수수 조합능력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(2년차, 인도)

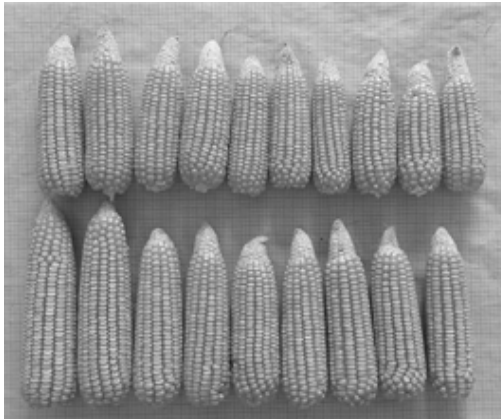
번호	종실중(kg/10a)	지수(%)	간장(cm)	착수고(cm)	출사일수(일)	비고
900MS	662	100	200	80	66	현지품종1
P3502	557	84	230	80	64	현지품종2

번호	종실중(kg/10a)	지수(%)	간장(cm)	착수고(cm)	출사일수(일)	비고
NK6240	1,131	171	228	86	62	현지품종3
JKMH502	938	142	232	94	69	현지품종4
14(Y)1004	812	123	260	90	61	선발
14(Y)1008	1,009	152	230	80	62	선발
14(Y)1039	871	131	230	80	62	선발
14(Y)1062	1,006	152	220	80	66	선발
14(Y)1085	700	106	240	90	62	선발

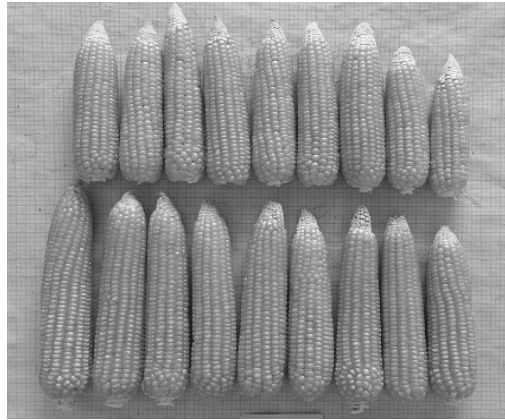
3년차의 조합능력평가는 2년차에 구성된 교배조합을 활용하여 인도에서 2회 캄보디아에서 1회 실시하였다. 인도에서 제1작기에는 TF1/14(B)815 등 178조합에 대한 수량성을 평가하였고, 표 21에서와 같이 15T1043 등 15교잡종을 선발하였다. 선발된 15T1043는 수량성 뿐만 아니라 이삭 균일도, 이삭 끝달림 및 이삭 형태가 우수하였다(그림 1). 인도 현지에서 적기 파종 후 점적관수 실시로 옥수수 생육은 양호하였다. 등숙 후기 줄기썩음병 및 돌풍 피해 발생으로 일부 교잡종이 도복되었으며 등숙 후기 새의 가해로 시험포장 가장자리는 피해가 있었다. 인도에서 제2작기에는 TF1/14(B)924 등 28조합에 대한 평가를 실시하였고 표 22와 같이 15TCN2-014 등 6교잡종을 선발하였다. 캄보디아에서는 15A565/ hf26 등 125교잡종을 시험하여 표 23과 같이 15Y8003 등 11교잡종을 선발하였다.

표 21. 옥수수 조합능력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(3년차, 인도 제1작기)

번호	종실중 (ton/ha)	지수 (%)	출사일수 (일)	간장 (cm)	착수고율 (%)	녹체성 (1-9)	비고
NK6240	10.2	100	55	253	40	4	현지품종1
JKMH502	9.8	97	60	251	41	2	현지품종2
900MS	9.1	90	59	233	43	4	현지품종3
P3502	10.9	107	58	261	40	2	현지품종4
15T1008	11.3	112	61	267	44	3	균일성 우수
15T1012	10.0	99	61	277	44	3	초형 양호
15T1017	10.7	105	57	260	40	3	균일성 우수
15T1018	10.4	103	59	260	40	4	균일성 우수
15T1027	11.2	111	60	273	45	3	초형 양호
15T1043	11.5	113	61	253	45	2	이삭양호, 녹체
15T1045	11.0	108	58	263	42	2	이삭양호, 녹체
15T1057	10.7	105	59	223	43	2	초형 및 녹체우수
15T1074	10.8	106	59	253	50	2	내병성
15T1077	10.2	100	60	250	42	3	균일성 우수
15T1117	11.1	110	54	243	35	5	조숙, 이삭양호
15T1145	10.8	107	55	220	36	4	조숙, 이삭양호
15T1156	11.2	110	55	230	42	4	조숙, 내도복
15T1165	9.6	94	54	240	38	4	내병, 균일성 우수
15T1169	10.4	103	54	230	39	4	조숙



대비품종: NK6240



선발교잡종: 15T1043

그림 1. 선발교잡종 15T1043과 대비품종의 이삭비교

표 22. 옥수수 조합능력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(3년차, 인도 제2작기)

시험번호	출사일수(일)	간장(cm)	착수고율(%)	비고
NK6240	70	210	51	현지품종1
NK30	77	213	52	현지품종2
JK502	77	220	55	현지품종3
S900M	75	200	55	현지품종4
15TCN2-014	70	213	45	이삭특성 양호
15TCN2-015	73	213	42	건조 우수
15TCN2-016	70	210	45	
15TCN2-018	73	217	49	건조 우수
15TCN2-022	70	220	45	
15TCN2-023	70	240	48	다수성

표 23. 옥수수 조합능력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(3년차, 캄보디아 제1작기)

시험번호	수량(kg/ha)	지수	이삭길이(cm)	100립중(g)	비고
Y8001	4,484	100	15.4	23.5	대비: CP888
Y8081	4,010	89	15.5	22.8	대비: P3502
Y8003	5,216	116	16.0	25.0	다수성
Y8006	3,919	87	13.9	24.0	초형우수
Y8010	4,821	108	15.0	27.0	
Y8011	5,166	115	14.7	28.2	다수성
Y8032	4,898	109	16.4	27.2	이삭우수
Y8053	4,467	100	14.5	23.0	
Y8072	4,268	95	15.9	23.4	초형우수
Y8077	3,940	88	16.4	22.1	이삭우량
Y8083	4,189	93	13.9	21.4	

시험번호	수량 (kg/ha)	지수	이삭길이 (cm)	100립중 (g)	비고
Y8091	4,069	91	16.1	24.0	적용성 우수
Y8100	5,001	112	16.8	29.8	대립종

4년차의 조합능력평가는 3년차에 구성된 교배조합을 활용하여 캄보디아에서 2회 실시하였다. 캄보디아에서 제1작기에는 15A0589/15A0525 등 195교잡종에 대한 수량성을 평가하였다. 수량성과 초형 등이 우수한 16H4232 등 20교잡종을 선발하였으며 일부 선발교잡종의 수량특성은 표 24와 같다. 캄보디아에서 제2작기에는 16H557/16H655 등 134교잡종에 대한 수량성을 평가하였다. 수량성과 초형 등이 우수한 16H9142 등 5교잡종을 선발하였으며 일부 선발교잡종의 수량특성은 표 25와 같다.

표 24. 옥수수 조합능력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(4년차, 캄보디아 제1작기)

시험번호	수량 (kg/ha)	지수	이삭길이 (cm)	100립중 (g)	비고
16H4101	4,496	100	18.0	23.5	대비: CP888
16H4177	5,714	127	16.8	29.5	대립종
16H4232	5,642	125	19.0	28.7	초형우수
16H4254	6,316	140	20.0	28.8	다수성
16H4264	6,152	137	19.0	28.3	다수성

표 25. 옥수수 조합능력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(4년차, 캄보디아 제2작기)

시험번호	수량 (kg/ha)	지수	이삭길이 (cm)	100립중 (g)	비고
16H9151	2,428	100	16.8	22.0	대비: 현지품종
16H9142	3,768	155	15.6	19.7	다수성
16H9143	3,373	139	15.6	22.5	내병성
16H9146	3,903	161	15.7	22.8	다수성
16H9148	3,178	131	17.7	23.2	이삭길이 우수
16H9165	3,766	155	15.0	20.8	조숙성

5년차 이후에는 고위도지역 적응 품종개발을 목표로 하여 조합능력평가는 강원도 홍천에서 수행하였다. 5년차의 조합능력검정 시험은 15S5125/15S5046 등 356교잡종을 시험하여 이삭특성이 양호하고 수량성이 좋은 15S5125/15S5046 등 45교잡종을 선발하였다. 주요 선발교잡종의 수량특성은 표 26과 같다.

표 26. 옥수수 조합능력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(5년차, 홍천)

시험명	출사일수 (일)	간장 (cm)	이삭장 (cm)	비고
17조합001	67	282	19.8	대조품종
17조합020	61	210	19.2	조숙성, 내도복성

시험명	출사일수 (일)	간장 (cm)	이삭장 (cm)	비 고
17조합037	60	201	20.1	조숙성, 내병성
17조합049	60	219	19.7	직립형, 내병성
17조합068	59	213	19.3	조숙성
17조합095	64	260	18.6	내도복, 저착수
17조합113	64	255	20.4	저착수, 직립형
17조합183	65	263	20.5	내병성
17조합256	66	250	19.2	다수성, 내도복성

6년차 이후에는 식가공용옥수수 품종개발의 일환으로 찰초당옥수수의 조합능력검정을 실시하였다. 6년차에는 찰초당옥수수 다미찰 등 20교잡종을 시험하여 숙기가 적당하고 맛이 우수한 찰초교3 등 6교잡종을 선발하였다(표 27). 사료용옥수수 조합능력검정 시험은 12S8057/17S8191 등 234교잡종을 시험하여 이삭특성 및 조숙성이 우수한 18조합203 등 41교잡종 선발하였으며 주요 선발교잡종의 수량특성은 표 28과 같다.

표 27. 찰초당옥수수 조합능력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(6년차, 흥천)

교잡종명	이삭중 (kg/10a)	지수 (%)	출사일수 (일)	도복 (1-9)	이삭폭 (cm)	간장 (cm)	착수고율 (%)
미백2호	486	100	79	1	3.7	189	54
다미찰	469	96	81	2	3.8	197	55
찰초교3	534	110	74	1	3.8	174	51
찰초교11	537	110	81	1	3.5	230	53
찰초교16	571	117	80	1	3.6	214	53
찰초교20	526	108	75	1	3.9	215	50
찰초교33	510	105	76	1	3.6	204	52
찰초교45	654	134	76	1	4.2	210	49

표 28. 옥수수 조합능력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(6년차, 흥천)

시험명	출사일수 (일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	이삭장 (cm)	종실중 (kg/10a)	비 고
18조합101	67	220	83	17.0	472	대조품종(강연1)
18조합098	59	169	64	14.6	370	조숙성, 초기생육 양호
18조합115	63	196	91	15.2	498	초기생육 양호, 직립형
18조합177	64	207	99	16.9	616	초기생육 양호
18조합196	60	213	91	17.2	654	조숙성, 직립형
18조합203	60	187	85	15.6	570	내병성
18조합369	62	160	52	16.4	526	내도복, 단간
18조합375	58	150	52	14.5	399	조숙성, 내병성
18조합443	63	216	97	16.4	425	밀식적응성
18조합445	57	188	62	15.7	578	조숙성

시험명	출사일수 (일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	이삭장 (cm)	종실중 (kg/10a)	비고
18조합457	58	187	59	17.4	462	조숙성
18조합470	60	193	59	14.7	530	조숙, 초형양호
18조합472	60	173	58	14.9	620	내도복성

7년차에는 찰초당옥수수 다미찰 등 16교잡종을 시험하여 맛이 우수하고 초형이 좋은 찰초교20 등 2교잡종을 선발하였다(표 29). 사료용옥수수 조합능력검정 시험은 16S7197/18S8149 등 234교잡종을 시험하여 내도복성 및 조숙성이 우수한 19조합081 등 43교잡종 선발하였으며 주요 선발교잡종의 수량특성은 표 30과 같다.

표 29. 찰초당옥수수 조합능력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(7년차, 흥천)

교잡종명	이삭중 (kg/10a)	지수 (%)	출사일수 (일)	도복 (1-9)	간장 (cm)	착수고 (cm)	비고
미백2호	730	100	72	1	218	119	찰옥수수
다미찰	586	80	78	2	213	115	찰초당
찰초교20	700	96	68	1	237	114	찰초당
찰초교33	729	100	71	1	253	132	찰초당

표 30. 옥수수 조합능력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(7년차, 흥천)

시험명	출사일수 (일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	이삭장 (cm)	종실중 (kg/10a)	비고
19조합001	77	251	114	16.4	890	대조품종(강연1)
19조합008	68	218	102	15.8	875	조숙성
19조합014	73	211	99	17.0	914	초기생육 양호
19조합020	68	202	99	16.9	860	조숙성, 단간
19조합026	68	248	109	20.2	836	조숙성
19조합029	70	229	105	16.5	910	조숙성, 내도복
19조합044	70	236	111	18.2	880	조숙성, 밀식적응성
19조합059	74	282	117	19.2	1,010	다수성, 내병성
19조합081	71	269	120	17.4	965	조숙성, 직립형
19조합095	72	232	101	18.6	940	초형양호
19조합351	77	256	131	19.2	1,025	다수성
19조합367	73	239	108	19.0	970	초형양호
19조합392	72	225	87	20.6	950	저착수, 직립형
19조합406	74	254	137	19.4	985	내도복성

8년차에는 찰초당옥수수 다미찰 등 16교잡종을 시험하여 초형이 우수하고 맛이 좋은 찰초교33 등 3교잡종을 선발하였다(표 31). 사료용옥수수 조합능력검정 시험은 09S5114/19S8002 등 202교잡종을 시험하여 초형 및 조숙성이 우수한 20조합062 등 32교잡종 선발하였으며 주요 선발교잡종의 수량특성은 표 32와 같다.

표 31. 찰초당옥수수 조합능력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(8년차, 흥천)

교잡종명	이삭중 (kg/10a)	출사일수 (일)	도복 (1-9)	간장 (cm)	착수고 (cm)	비고
미백2호	587	73	1	196	92	찰옥수수
다미찰	485	75	1	201	100	찰초당(대비)
찰초교21	593	71	1	229	107	찰초당
찰초교33	655	72	1	234	109	찰초당
찰초교45	605	72	1	225	94	찰초당

표 32. 옥수수 조합능력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(8년차, 흥천)

시험명	출사일수 (일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	이삭장 (cm)	종실중 (kg/10a)	비고
20조합100	67	243	96	17.8	508	대조품종(강연1)
20조합004	66	214	93	17.7	636	저착수
20조합009	69	230	100	17.7	610	생육 양호
20조합014	65	207	93	16.4	547	조숙성, 내도복
20조합038	70	231	106	18.3	713	직립형, 다수성
20조합062	64	218	95	16.5	699	조숙성
20조합069	67	251	93	17.8	744	다수성, 내병성
20조합079	68	252	116	19.3	592	다수성
20조합190	66	231	100	17.2	573	초형양호
20조합196	65	228	100	17.6	539	조숙성, 직립형
20조합218	66	256	121	16.0	700	조숙성, 초형양호

9년차에는 찰초당옥수수 다미찰 등 16교잡종을 시험하여 맛이 우수한 찰초교54 등 3교잡종을 선발하였다(표 33). 사료용옥수수 조합능력검정 시험은 21조합075 등 187교잡종을 시험하여 내재해성 및 조숙성이 우수한 21조합196 등 21교잡종 선발하였으며 주요 선발교잡종의 수량특성은 표 34와 같다.

표 33. 찰초당옥수수 조합능력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(9년차, 흥천)

교잡종명	출사일수 (일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	이삭장 (cm)	이삭중 (kg/10a)	지수	비고
미백2호	80	200	101	17.1	814	107	찰옥수수
다미찰	81	205	108	15.9	761	100	찰초당(대비)
찰초교54	79	215	101	18.3	819	108	찰초당
찰초교55	76	218	92	17.0	777	102	찰초당
찰초교57	77	209	84	17.6	790	104	찰초당

표 34. 옥수수 조합능력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(9년차, 흥천)

시험명	출사일수 (일)	간장 (cm)	이삭장 (cm)	이삭폭 (cm)	종실중 (kg/10a)	비고
21조합201	76	308	19.4	4.8	751	대조품종(강일옥)

시험명	출사일수 (일)	간장 (cm)	이삭장 (cm)	이삭폭 (cm)	종실중 (kg/10a)	비 고
21조합141	71	248	17.7	5.1	717	조숙
21조합180	75	269	19.3	5.3	992	직립, 다수성
21조합191	71	251	20.1	4.7	758	조숙, 내도복
21조합194	73	220	21.5	4.8	1,095	다수성, 초형양호
21조합196	70	239	18.6	4.8	833	조숙, 다수성
21조합200	70	266	19.8	5.3	824	조숙, 광폭
21조합209	73	265	21.8	4.9	1,094	다수성
21조합220	75	265	20.3	4.9	906	내병, 다수성
21조합251	75	284	19.4	4.6	824	직립형
21조합258	73	253	19.4	5.2	889	다수성, 초형양호

생산력검정시험은 조합능력검정에서 선발된 교잡종을 이용하여 4년차에 캄보디아와 인도에서 수행하였다. 캄보디아에서는 Mekong Seeds 연구포장에서 15(A)629/15(A)660 등 18교잡종을 시험하였으며, 이삭형태 및 수량성을 비교하여 16H3103 등 5교잡종을 선발하였다(표 35). 인도에서는 (주)농우바이오 육종연구소 포장에서 15A H521/15A H655 등 64 교잡종을 시험하였다. 현지품종인 NK6240, NK30 등을 대비품종으로 비교하여 수량성과 초형 등을 고려한 결과 16T109 등 9교잡종을 선발하였다(표 36).

표 35. 옥수수 생산력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(4년차, 캄보디아)

시험번호	수량 (kg/ha)	지수	이삭길이 (cm)	100립중 (g)	비고
16H3101	4,075	100	18.6	32.0	대비: CP888
16H3103	4,827	118	17.5	32.9	대립종
16H3104	4,286	105	18.6	30.4	초형우수
16H3105	6,511	160	16.9	34.6	다수성
16H3108	4,072	100	14.7	25.6	초형우수
16H3112	5,106	125	16.7	27.7	다수성

표 36. 옥수수 생산력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(4년차, 인도)

교잡종명	출사일수 (일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	수량 (톤/ha)	지수	비고
대비1(NK6240)	57	253	116	9.8	100	이삭 및 녹색양호
대비2(NK30)	59	252	116	8.0	82	이삭양호
대비3(P3502)	59	269	130	9.1	92	매문병
대비4(Rasi4595)	57	242	99	8.1	82	이삭보통
16T109	57	230	96	9.5	97	내도복, 이삭양호
16T115	59	227	96	9.0	92	초형양호, 균일
16T116	57	234	110	9.1	92	조숙
16T125	59	229	94	9.5	97	이삭 및 초형양호
16T126	59	243	112	9.0	91	이삭양호

교잡종명	출사일수 (일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	수량 (톤/ha)	지수	비고
16T128	57	247	111	8.8	89	이삭양호
16T138	58	207	81	9.3	94	단간
16T140	60	240	111	10.2	104	초형양호, 녹색성
16T143	59	231	99	10.2	104	다수성

5년차 이후에는 고위도지역 적응 품종개발을 위해 생산력검정시험은 중국 길림성 및 러시아 연해주에서 수행하였다. 국내에서 조합능력검정을 통해 선발된 교잡종을 이용하였다. 5년차 중국시험은 길림성 연변농업과학원에서 수행하였으며 종교155등 42교잡종의 생산력을 평가하였다. 중국 현지의 적응성 및 수량성을 고려하여 종교168 등 6교잡종을 선발하였다. 러시아 연해주농업과학연구소에서 수행한 생산력검정 시험은 17PR01 등 30교잡종을 시험하여 17PR22 등 7교잡종을 선발하였다. 특히 5년차에 러시아에서 선발된 교잡종은 개화기가 러시아 품종과 비슷하여 극조숙성 품종개발이 기대되고 있다. 5년차에는 4년차에 선발된 아열대 적응성 교잡종의 생산력검정을 베트남에서 추가로 수행하였다. 시험지역은 베트남 북부의 Bac Giang에서 수행하였고 17GVA01 등 19교잡종을 시험하여 17GVA18 등 9교잡종을 선발하였다(표 37).

표 37. 옥수수 생산력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(5년차, 베트남)

시험교잡종	출사일수 (일)	착수고 (cm)	이삭장 (cm)	이삭폭 (cm)	종실중 (g/6이삭)
17GVA01	52	107	19.4	4.4	665
17GVA06	52	90	15.6	4.4	525
17GVA07	49	87	15.6	4.2	525
17GVA09	48	95	16.0	4.4	665
17GVA14	52	101	19.2	4.5	600
17GVA15	52	95	20.4	4.5	600
17GVA16	52	97	21.0	4.3	525
17GVA17	52	94	17.4	4.3	550
17GVA18	48	94	18.4	4.5	750
999(현지품종)	52	93	22.5	4.4	575

6년차 중국시험은 길림성 연변농업과학원에서 수행하였으며 종교173등 40교잡종의 생산력을 평가하였다. 중국 현지의 숙기 및 수량성을 고려하여 18YB07 등 6교잡종을 선발하였다(표 38). 러시아 연해주농업과학연구소에서 수행한 생산력검정 시험은 18PR01 등 52교잡종을 시험하여 18PR09 등 9교잡종을 선발하였다(표 39).

표 38. 옥수수 생산력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(6년차, 중국 연변농과원)

시험번호	출사일수 (일)	도복 (1-9)	종실중 (kg/10a)	지수 (%)	기타특성
길단27(대비1)	74	1.0	1,303	100	중국품종
18YB07	74	1.7	1,497	115	다수성, 조숙성

시험번호	출사일수 (일)	도복 (1-9)	중실중 (kg/10a)	지수 (%)	기타특성
18YB15	74	1.0	1,362	105	내도복
18YB17	76	1.0	1,370	105	초형우수
18YB21	75	1.7	1,375	106	이삭길다
18YB25	74	1.0	1,351	104	대립
18YB26	74	1.7	1,407	108	다수성, 조숙성

표 39. 옥수수 생산력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(6년차, 러시아 연해주)

시험번호	도복 (1-9)	출사기 (월/일)	매문병 (0-9)	수량 (ton/10ha)	수분 (%)	기타특성
슬라비얀카	2	7/30	2	700	20.7	(현지품종) 조숙, 호마엽고 발생
18PR03	1	8/6	2	790	38.6	생육양호, 사료용
18PR09	1	8/7	3	970	33.0	사료용, 균일성 우수
18PR11	1	7/30	2	730	26.4	조숙, 단간
18PR14	1	7/28	2	660	22.8	조숙성, 초형양호
18PR15	1	8/2	2	720	32.4	조숙성
18PR16	1	8/1	2	850	27.5	조숙성, 건조양호
18PR25	1	8/3	2	910	30.8	초형양호
18PR29	1	8/3	2	820	27.7	균일성 양호
18PR36	1	8/10	2	960	21.3	사료용, 균일성 양호

7년차 중국시험은 길림성 연변농업과학원에서 수행하였으며 종교196등 43교잡종의 생산력을 평가하였다. 중국 현지의 내병성 및 수량성을 고려하여 사료용옥수수는 19YB11 등 6교잡종, 찰초당옥수수는 19YB78 등 3교잡종을 선발하였다(표 40). 러시아 연해주농업과학연구소에서 수행한 생산력검정 시험은 19PR01 등 51교잡종을 시험하여 19PR03 등 8교잡종을 선발하였다(표 41).

표 40. 옥수수 생산력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(7년차, 중국 연변농과원)

시험번호	출사일수 (일)	도복 (1-9)	매문병 (1-9)	이삭길이 (cm/개)	기타특성
선옥335(대비1)	81	1.5	1.0	20.5	중국품종
19YB09	84	1.0	1.0	21.3	이삭양호
19YB11	86	1.3	1.0	22.1	녹체성, 이삭양호
19YB16	85	1.7	1.0	20.8	직립형, 균일성
19YB18	82	1.7	1.0	21.2	저착수, 밀식기능
19YB20	86	1.0	1.0	22.3	균일성 우수
19YB30	82	1.0	1.0	21.5	초형 및 이삭양호
19YB77	82	1.0	1.0	20.7	찰초당, 내도복
19YB78	84	1.7	1.0	21.6	찰초당, 이삭양호
19YB82	82	2.7	1.0	21.2	찰초당, 생육양호

표 41. 옥수수 생산력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(7년차, 러시아 연해주)

시험번호	도복 (1-9)	출사일수 (월/일)	이삭길이 (cm/개)	기타특성
19PR01(대비)	2.0	89	17.2	(현지품종=슬라비얀카) 조숙
19PR02	1.0	96	19.0	내병, 초형양호, 녹체
19PR03	1.0	91	17.1	저착수, 이삭양호
19PR07	3.0	87	17.2	이삭양호
19PR09	3.5	90	18.2	이삭양호, 내병성
19PR15	2.0	85	17.3	조숙, 이삭양호
19PR16	2.5	85	17.5	조숙, 녹체성 우수
19PR27	2.5	89	18.5	이삭양호, 내병성
19PR40	3.0	89	18.9	이삭양호

8년차 중국시험은 길림성 연변대학교에서 수행하였으며 20YB15 등 40교잡종의 생산력을 평가하였다. 중국에서의 수량성 및 초형을 고려하여 사료용옥수수는 20YB11 등 5교잡종, 찰초당옥수수는 20YB76 등 3교잡종을 선발하였다(표 42). 러시아에서의 생산력검정시험은 코로나19로 인한 국외출장이 불가하여 시험이 취소되었다.

표 42. 옥수수 생산력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(8년차, 중국 연변대학교)

시험번호	출사일수 (일)	도복 (1-9)	이삭길이 (cm/개)	수량 (kg/10a)	기타특성
20YB01(대비)	80	2	21.0	1,598	중국품종(북래2)
20YB06	84	2	20.4	1,729	이삭양호, 다수성
20YB08	86	1	26.0	1,630	다수성, 내병성
20YB11	86	1	19.4	1,411	녹체성, 균일성
20YB19	84	1	21.7	1,610	초형 및 이삭양호
20YB20	85	1	22.4	1,582	저착수
20YB70(대비)	83	2	20.6	619	찰초당(중국품종)
20YB74	84	2	21.6	519	찰초당, 식미양호
20YB76	86	2	20.1	469	찰초당, 식미우수
20YB79	81	2	17.0	674	다수성

9년차 중국시험은 길림성 연변대학교에서 수행하였으며 21YB05 등 38교잡종의 생산력을 평가하였다. 중국 현지의 수량성 및 초형을 고려하여 사료용옥수수에서는 21YB27 등 6교잡종, 찰초당옥수수는 21YB74 등 3교잡종을 선발하였다(표 43). 러시아에서의 생산력검정시험은 코로나19로 인한 국외출장이 불가 및 시험용종자 운송 실패로 인하여 시험이 취소되었다.

표 43. 옥수수 생산력검정 주요 선발교잡종의 수량특성(9년차, 중국 연변대학교)

시험번호	출사일수 (일)	착수고 (cm)	이삭길이 (cm/개)	수량 (kg/10a)	기타특성
21YB01(대비)	78	153	20.6	1,177	중국품종(선옥335)

시험번호	출사일수 (일)	착수고 (cm)	이삭길이 (cm/개)	수량 (kg/10a)	기타특성
21YB06	77	121	22.5	1,130	단간, 내도복
21YB13	75	143	20.9	1,226	이삭우수
21YB16	75	155	19.5	1,238	이삭양호
21YB27	71	105	19.3	1,297	조숙성, 다수성
21YB28	74	113	20.6	1,249	단간, 내도복
21YB29	71	123	20.6	1,206	조숙성
21YB71(대비)	71	107	19.3	812	찰옥(중국품종)
21YB73	68	87	16.7	646	찰초당, 조숙성
21YB74	74	112	20.8	698	찰초당, 식미우수
21YB76	75	113	21.6	772	찰초당, 다수성

### (시험 5) 우량 교잡종의 현지 적응성 검정

4년차 인도에서 수행한 지역적응성검정은 농우바이오 육종연구소 등 3지역에서 H329/TF1 등 16교잡종을 대상으로 수행하였다. 대비품종은 NK6240, NK30, P3502, Rasi4595 등 인도 현지에서 많이 재배되고 있는 품종을 활용하였다. 적응성 및 수량성을 비교한 결과 16R103 등 6교잡종을 선발하였다(표 44). 특히 16R106 등은 인도에서 가장 인기 있는 품종인 NK6240보다 수량성이 10% 증수한 결과를 얻었으며 전망이 있을 것으로 판단되었다. 4년차 인도 현지의 상황은 고온 및 강우량 증가가 주요한 환경 요인이었다. 고온으로 인한 식물체의 스트레스, 잦은 강우로 인한 습해 등으로 평년에 비해 옥수수 생육은 저조하였다. 수정후의 강우로 인해 종실 등숙이 불량한 교잡종 다수 있었으며 교잡종에 따라 옥수수 이삭의 끝달림이 불량한 것이 있었으며 이는 고온 및 습해로 인한 영향으로 판단되었다. Warangal의 농가 입차포장은 습해 피해가 상대적으로 심하여 이로 인해 옥수수 생육이 다소 불량하여 이삭발달이 미흡하였고, Davangere의 농가 입차포장의 생육은 전반적으로 양호하였으며 매문병 발생으로 교잡종에 따른 저항성 선발이 가능하였다.

표 44. 옥수수 지역적응성검정 주요 선발교잡종의 수량특성(4년차, 인도)

교잡종명	간장 (cm)	착수고 (cm)	수량 (톤/ha)	지수	비고
대비1(NK6240)	229	102	7.7	100	이삭 및 녹체양호
대비2(NK30)	236	103	6.9	90	매문병 약
대비3(P3502)	253	114	7.5	97	이삭양호, 일부 매문병
대비4(Rasi4595)	247	103	8.4	109	이삭 균일성 미흡
16R101	216	105	7.6	98	초형 및 균일성 양호
16R102	242	114	8.3	108	이삭 및 초형양호
16R103	223	108	7.3	95	균일성양호, 이삭크다
16R104	227	95	7.1	92	매문병 약, 균일성 미흡
16R105	235	95	5.1	66	이삭작고, 일부 줄기썩음병
16R106	233	104	8.5	110	이삭양호, 건조용이

교잡종명	간장 (cm)	착수고 (cm)	수량 (톤/ha)	지수	비고
16R107	224	96	6.1	79	조숙, 이삭작다
16R108	214	86	5.9	76	단간, 조숙
16R109	221	95	5.8	75	단간, 매문병
16R110	217	84	5.1	66	이삭작다,
16R111	236	109	7.5	97	녹체성, 이삭양호
16R112	218	103	6.7	87	이삭양호, 균일성 양호

5년차 이후 고위도 지역적응 품종개발을 목표로 하여 해외에서의 지역적응성 평가는 중국 길림성에서 수행하였다. 5년차 중국 길림성내 사료용옥수수 지역적응성검정은 용정시 등 4지역에서 강연1호 등 7교잡종을 시험하였다. 4지역의 수량을 비교한 결과 강원32호(1095kg/10a)와 대륙옥(1062kg/10a) 등 2교잡종의 수량성이 현지품종과 유사하거나 우수하였다(표 45). 2지역에서 수행한 찰초당옥수수 지역적응시험은 찰초교11 등 5교잡종을 시험하여 찰초교 16등 2교잡종을 선발하였다(표 46). 5년차에는 4년차에 선발된 아열대 적응성 교잡종의 지역적응성검정을 인도에서 추가로 수행하였다. 시험지역은 Warangal 등 3지역에서 수행하였고 16H1634/H1635 등 20교잡종을 시험하여 17R105 등 9교잡종을 선발하였다.

표 45. 사료용옥수수 지역적응성검정 수량특성(5년차, 중국 길림성 4지역)

시험교잡종	안도현	용정시	길림시	단동시	평균(kg/10a)	주요 특성
강연1호	832	815	1,384	774	951	저착수고
종교110	655	905	1,312	921	948	초형우수, 이삭 양호
대륙옥	861	858	1,622	906	1,062	직립초형, 초형우수
강원32호	981	937	1,547	914	1,095	착수고 양호, 이삭우수
강원49호	759	858	1,501	843	990	착수고 높음
16YB23	667	686	1,331	904	897	이삭양호, 녹체성 우수
16YB33	737	922	1,129	903	923	착수고 낮음, 이삭 가늘다
현지품종1	813	932	1,339	986	1,018	건조도 양호
현지품종2	912	639	1,585	1061	1,049	착수고 높음

표 46. 찰초당옥수수 지역적응성검정 수량특성(5년차, 중국 길림성 2지역)

시험교잡종	용정시		길림시		기타특성
	이삭길이 (cm)	수량 (g/m)	이삭길이 (cm)	이삭중 (g/개)	
찰초교11	16.8	757	23.8	244	균일성 양호, 식미우수
찰초교16	18.2	597	23.9	227	식미우수, 이삭 길다
찰초교18	17.4	759	23.8	244	이삭우수
찰초교20	15.6	775	23.0	305	이삭우수, 균일
찰초교21	13.5	630	20.6	263	초형 양호
합1(중국1)	15.4	844	20.9	339	노란찰옥수수

6년차 중국 길림성내 사료용옥수수 지역적응성검정은 길림시 등 3지역에서 7교잡종을 시험하였다. 수량성 및 적응성을 비교한 결과 18GC14(1053kg/10a) 등 3교잡종을 선발하였다(표 47). 용정시 등 3지역에서 수행한 찰초당옥수수 지역적응시험 결과 수량성 및 맛이 우수한 18GW05(842kg/10a) 등 3교잡종을 선발하였다(표 48).

표 47. 사료용옥수수 지역적응성검정 수량특성(6년차, 중국 길림성 3지역)

시험교잡종	출사일수 (일)	이삭장 (cm)	이삭열수 (열)	수량 (kg/10a)	기타특성
복래2	86	22.1	16	1,035	중국품종, 초형양호
선옥335	88	19.9	19	1,031	중국품종, 이삭양호
18GC13	87	20.6	15	888	저착수, 건조양호
18GC14	86	20.0	16	1,053	저착수, 균일성 우수
18GC15	84	21.0	16	1,131	직립형
18GC16	86	20.6	14	956	이삭양호, 건조양호
18GC17	89	23.4	15	888	고착수, 끝달림 불량
18GC18	85	19.5	14	1,059	이삭 두께 얇음
18GC19	86	22.4	14	1,050	이삭양호, 녹색, 고착수

표 48. 찰초당옥수수 지역적응성검정 수량특성(6년차, 중국 길림성 3지역)

시험교잡종	착수고 (cm)	주당 이삭수(개)	이삭장 (cm)	수량 (kg/10a)	기타특성
간접2호	164	1.0	18.8	894	대비품종1
은성나	142	1.1	21.1	1,026	대비품종2
18GW3	139	1.4	21.1	677	식미양호, 내도복
18GW4	139	1.3	19.6	743	이삭양호
18GW5	147	1.0	18.4	842	식미우수
18GW6	145	1.2	20.9	683	도복약
18GW7	159	1.0	19.5	793	착수고 높음

7년차 중국 길림성내 사료용옥수수 지역적응성검정은 길림시 등 3지역에서 7교잡종을 시험하였다. 수량성 및 적응성을 비교한 결과 19GC13(1049kg/10a) 등 3교잡종을 선발하였다(표 49). 용정시 등 3지역에서 수행한 찰초당옥수수 지역적응시험 결과 수량성 및 맛이 우수한 19GW06 등 3교잡종을 선발하였다(표 50).

표 49. 사료용옥수수 지역적응성검정 수량특성(7년차, 중국 길림성 3지역)

시험교잡종	용정시	돈화시	길림시	평균(kg/10a)	주요 특성
19GC11(현지1)	785	909	1,419	1,038	현지품종
19GC12(현지2)	761	876	-	819	현지품종
19GC13	877	904	1,365	1,049	다수성, 이삭광폭

시험교잡종	용정시	돈화시	길림시	평균(kg/10a)	주요 특성
19GC14	775	844	1,445	1,021	
19GC15	824	912	1,393	1,043	다수성
19GC16	881	955	1,349	1,062	다수성
19GC17	816	808	1,415	1,013	
19GC18	778	850	1,424	1,017	
19GC19	716	840	1,386	981	

표 50. 찰초당옥수수 지역적응성검정 이삭립중(7년차, 중국 길림성 3지역)

시험교잡종	용정시	돈화시	길림시	평균(g/개)	주요 특성
19GW01(현지1)	158	261	268	229	
19GW02(현지2)	228	194	-	211	
19GW03	132	203	199	178	식미우수
19GW04	133	192	232	186	
19GW05	113	192	289	198	이삭립중 양호
19GW06	150	206	198	185	이삭 및 식미양호
19GW07	123	197	244	188	이삭 및 식미양호

8년차 중국 길림성내 사료용옥수수 지역적응성검정은 길림시 등 3지역에서 7교잡종을 시험하였다. 수량성 및 적응성을 비교한 결과 20GC18(1259kg/10a) 등 2교잡종을 선발하였다(표 51). 용정시 등 3지역에서 수행한 찰초당옥수수 지역적응시험 결과 수량성 및 맛이 우수한 20GW07 등 3교잡종을 선발하였다(표 52).

표 51. 사료용옥수수 지역적응성검정 수량특성(8년차, 중국 길림성 3지역)

시험교잡종	용정시	돈화시	길림시	평균(kg/10a)	지수	주요 특성
20GC11(대비1)	1,368	1,044	1,345	1,252	100	현지품종
20GC12(대비2)	1,289	1,060	-	1,175	94	현지품종
20GC13	1,014	978	1,392	1,128	90	저착수
20GC14	1,036	1,012	1,325	1,124	90	녹체성 우수
20GC15	1,120	1,079	1,427	1,209	97	초형양호
20GC16	1,200	1,147	1,387	1,245	99	내도복, 이삭양호
20GC17	1,167	-	1,115	1,141	91	내도복
20GC18	1,269	1,156	1,353	1,259	101	다수성
20GC19	1,195	852	1,423	1,157	92	이삭폭 양호

표 52. 찰초당옥수수 지역적응성검정 수량특성(8년차, 중국 길림성 3지역)

시험교잡종	용정시	돈화시	길림시	평균(kg/10a)	지수	주요 특성
20GW01(대비1)	820	546	-	683	100	중국 찰옥수수
20GW02(대비2)	879	-	-	-	-	중국 찰옥수수

시험교잡종	용정시	둔화시	길림시	평균(kg/10a)	지수	주요 특성
20GW03	825	614	902	780	114	식미우수, 내도복
20GW04	703	732	990	808	118	식미양호
20GW05	766	691	1,161	873	128	내도복
20GW06	879	766	957	867	127	이삭폭 양호
20GW07	935	785	1,095	938	137	다수성, 식미양호

9년차 중국 길림성내 사료용옥수수 지역적응성검정은 용정시 등 2지역에서 7교잡종을 시험하였다. 수량을 비교한 결과 21GC15(1234kg/10a) 등 2교잡종의 수량성이 우수하였다(표 53). 찰초당옥수수 지역적응시험은 5교잡종을 시험하여 21GW03 등 2교잡종을 선발하였다(표 54).

표 53. 사료용옥수수 지역적응성검정 수량특성(9년차, 중국 길림성 2지역)

시험교잡종	용정시	길림시	평균(kg/10a)	지수	주요 특성
21GC11(대비1)	1,022	1,369	1,195	100	현지품종
21GC12(대비2)	1,086	-	1,086	91	현지품종
21GC13	878	1,269	1,074	90	고착수
21GC14	904	1,284	1,094	92	균일성
21GC15	1,026	1,441	1,234	103	다수성
21GC16	1,045	1,275	1,160	97	이삭양호
21GC17	886	1,351	1,119	94	균일성
21GC18	928	1,330	1,129	94	내병성
21GC19	821	1,343	1,082	91	중조숙성

표 54. 찰초당옥수수 지역적응성검정 수량특성(9년차, 중국 길림성 2지역)

시험교잡종	용정시	길림시	평균(kg/10a)	주요 특성
21GW01(대비1)	621	-	621	중국 찰옥수수
21GW02(대비2)	668	-	668	중국 찰옥수수
21GW03	478	749	614	식미우수, 내도복
21GW04	608	935	772	조숙성
21GW05	629	947	788	다수성, 내도복
21GW06	588	830	709	식미양호
21GW07	526	784	655	단간형

러시아 연해주농업과학연구소에서 수행한 생산력검정 결과 선발된 교잡종에 대하여 품종출원을 목적으로 국내에서 지역적응성검정을 강원도내 홍천 등 3지역에서 수행하였다. 6년차부터 매년 5교잡종을 시험하여 조숙성, 지역적응성 및 수량성을 비교하였다. 지역적응성 시험결과 6년차에는 종교187 등 3교잡종(표 55), 7년차에는 종교187 등 3교잡종(표 56), 8년차에는 종교192 등 2교잡종(표 57), 그리고 9년차에는 종교217 등 2교잡종을 선발하였다(표 58).

표 55. 러시아 선밭교잡종 국내 지역적응성검정 수량특성(6년차, 강원도 3지역)

시험번호	출사일수 (일)	도복 (1-9)	간장 (cm)	자수장 (cm)	폭 (cm)	열수 (열)	종실중 (kg/10a)	기타특성
강일옥(대비)	79	1.0	245	14.1	4.0	15	693	대비품종
종교187	71	1.0	166	15.1	4.3	16	791	직립형
종교188	68	1.3	188	16.1	4.3	17	768	건조용이
종교189	65	1.0	147	16.5	3.9	14	609	단간, 반직립형
종교190	64	1.0	159	14.9	4.0	14	587	내도복
종교191	66	2.0	140	15.7	4.0	14	513	후기도복

표 56. 러시아 선밭교잡종 국내 지역적응성검정 수량특성(7년차, 강원도 3지역)

시험번호	출사일수 (일)	도복 (1-9)	간장 (cm)	자수장 (cm)	폭 (cm)	열수 (열)	종실중 (kg/10a)	기타특성
강일옥(대비)	79	1.0	288	17.3	4.9	14.4	1,008	대비품종
종교187	70	1.0	189	16.9	4.6	16.7	972	직립형
종교188	69	1.0	224	18.1	4.9	17.3	905	생육우수
종교189	67	1.0	176	16.5	4.1	14.4	702	조숙, 후기도복
종교190	65	1.0	167	15.0	4.1	14.4	625	조숙, 단간
종교192	68	1.0	182	16.9	4.6	16.2	849	내도복,

표 57. 러시아 선밭교잡종 국내 지역적응성검정 수량특성(8년차, 강원도 3지역)

시험번호	출사일수 (일)	도복 (1-9)	간장 (cm)	자수장 (cm)	폭 (cm)	열수 (열)	종실중 (kg/10a)	기타특성
강일옥(대비)	80	1	269	17.4	5.0	13.6	799	대비품종
종교188	74	1	207	15.6	4.8	16.4	705	조숙
종교192	75	1	189	15.4	4.5	16.0	676	조숙, 다수성
종교217	75	1	208	16.1	4.7	13.3	723	내도복
종교218	75	1	191	17.9	4.3	13.1	700	초형양호
종교219	75	1	170	15.7	4.2	13.6	522	단간

표 58. 러시아 선밭교잡종 국내 지역적응성검정 수량특성(9년차, 강원도 3지역)

시험번호	출사일수 (일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	자수장 (cm)	폭 (cm)	열수 (열)	종실중 (kg/10a)	기타특성
강일옥(대비)	75	260	119	16.8	4.4	15.0	838	대비품종
종교188	64	196	65	16.9	4.2	16.4	751	초형양호
종교192	63	181	60	16.3	4.3	16.1	674	조숙, 다수성
종교217	66	186	85	17.4	4.5	14.6	906	다수성, 내도복
종교218	63	122	50	12.7	3.3	13.0	263	단간, 조숙성
종교233	62	154	52	16.6	3.9	13.2	511	조숙성

### (시험 6) 선발교잡종 종자생산을 위한 채종시험

옥수수의 보급종의 대량 생산을 대비하여 선발 교잡종에 대한 채종시험을 수행하였다. 러시아 적응용 조숙성 교잡종인 종교192의 모본과 부분을 이용하였으며, 파종은 부분을 먼저 파종하고 5일 후에 모본을 파종하였다. 모본의 출사기는 7월 22일 이고 부분의 화분비산기는 7월 20일부터 7월 28일까지 유지되어 수정에 적합하였다. 간장은 부분이 큰 편이며, 10a당 채종수량은 186kg으로 적절한 수준이었다.

표 59. 러시아 선발교잡종 종교192의 채종수량성 검토(9년차, 강원도 흥천)

재식비율	계통명	파종기 (월.일)	출사기 (월.일)	화분비산기간 (월.일)	간장 (cm)	채종수량 (kg/10a)
2:1	14S5171	5.25	7.22	-	125	186
	14S5126	5.20	7.23	7.20-7.28	149	-

### (시험 7) 중국 현지 농가실증 및 전시포 운영

7년차부터 중국 현지에서 선발된 교잡종의 농가실증을 실시하였다(그림 2). 사료용옥수수 대륙2호는 입모울, 생육 및 이삭특성이 양호하다는 평가를 받았다. 찰초당옥수수 다미찰은 숙기가 빠르고 단맛이 우수하나 이삭이 작다는 평가를 받았다. 특히 대륙2호는 적응성검정 및 농가실증에서 우수한 평가를 받아 Fulight종자유한공사와 계약을 통해 길림성내 품종등록을 위한 품종심사를 신청하였다. 품종명 복강191로 2년간의 심사를 거쳐 2021년 최종적으로 품종심사를 통과하여 국내육성 품종이 중국에서 최초로 등록되는 성과를 거두었다.

8년차에는 농가실증을 돈화 등 4지역으로 확대하여 수행하였다. 찰초당옥수수 꿀미찰은 단맛이 우수하여 젊은층의 선호가 있을 것으로 기대되나 적기에 수확해야 맛이 좋다는 농가평가는 얻었다. 대륙2호는 숙기를 고려할 때 5월 상순까지는 파종해야 안정성이 높을 것으로 판단되며 수량성은 900~1200kg/10a로 양호한 것으로 평가되었다(표 60).



농가포장: 현장평가



실증품종: 대륙2호=복강191

그림 2. 중국 길림성 현지 대륙2호 농가실증 현장평가(7년차, 길림성 돈화)

표 60. 중국 길림성 현지 대륙2호 농가실증평가 수량성비교(8년차, 길림성 )

시험 지역	면적 (ha)	파종기 (월/일)	출사기 (월/일)	도복 (1-9)	이삭장 (cm)	수량 예측 (kg/10a)
돈화 홍석	4	5/12	8/5	1	23.4	1,000
돈화 흑석1	1	5/8	8/2	1	21.7	1,200
돈화 흑석2	1	5/8	8/1	1	22.0	900
도문	1	5/15	7/28	1	21.0	900

9년차 농가실증은 길림성내 도문 등 4지역 및 흑룡강성 내 가목사 등 3지역에 실시하였다. 흑룡강성의 경우 전 지역에 수재 및 도복이 발생하여 수량평가 결과를 얻지는 못하였다. 길림성내에서는 생육 및 수량성이 우수하고 현지 적응성이 양호하여 종자공급 시 재배의향이 있다는 농가반응을 얻었다(표 61). 선발교잡종 안정성 재평가 및 농가 선호도 비교를 위해 길림성내 2지역에서 전시포를 운영하였으며, 그 결과는 표 62와 같다. 대륙2호와 대륙옥이 수량성 및 적응성이 우수하여 좋은 평가를 얻었다.

표 61. 중국 길림성 현지 대륙2호 농가실증평가 수량성비교(9년차, 길림성)

시험 지역	품종	파종기 (월/일)	출사기 (월/일)	수량성 (kg/10a)	대륙2호 재배농가 의견
도문	대비(성원80)	5/4	7/27	1,150	조숙성이며 수량성 우수 차년도 재배 가능
	대륙2호	5/1	7/25	1,211	
안도	대비(송옥409)	5/7	7/29	850	대비품종보다 우수 차년도 재배 가능
	대륙2호	5/7	7/28	900	
연길	대비(송옥109)	5/7	7/29	1,054	숙기적합 차년도 재배 가능
	대륙2호	5/7	7/28	1,193	
서란	대비(길단27)	-	-	1,361	병충해 강하고 수량우수
	대륙2호	-	-	1,558	

표 62. 중국 길림성 현지 대륙2호 농가실증평가 수량성비교(9년차, 길림성)

시험교잡종	도문시	돈화현	평균(kg/10a)	교잡종명
21DF21	1,220	820	1,020	복래2
21DF23	1,320	880	1,100	대륙2호
21DF24	1,230	780	1,000	대륙옥
21DF25	1,290	720	1,010	대륙3호
21DF26	1,190	740	960	20GC16

## 4 적 요

### (시험 1) 옥수수 유전자원 수집 및 자원평가

가. 옥수수 유전자원 수집은 사업 초기 2년 동안 이루어졌다. 수집지역은 미국, 멕시코, 인도, 유럽

등이며 총 301점을 수집하였다. 수집자원은 적응성 및 특성평가를 거쳐 유망한 계통 219점은 국립유전자원센터에 등록하였다.

#### (시험 2) 옥수수 자식계통 육성 및 교배조합 구성

가. 자식계통육성시험 1단계 4년 동안은 열대형, 2단계 5년 동안은 온대형 계통육성에 집중하였다. 사료용옥수수는 총 13회에 걸쳐 11,488계통을 시험하였으며 우량한 계통 4,911계통을 선발하여 세대진전 또는 교배친으로 활용하였다. 찰초당옥수수는 4회 육종시험에 1,707계통을 시험하여 813계통을 선발하였다.

#### (시험 3) 배가반수체 기술을 이용한 계통육성

가. 국내의 자식계통 육성체계를 변화시키고 계통육성의 기간을 단축하기위한 배가반수체 기술도입이 국내 최초로 시작되어 성공적으로 정착되었다. 열대집단을 이용한 DH계통 육성에서 최초로 25계통을 육성하는 성과를 거두었다.

#### (시험 4) 옥수수 교잡종의 조합능력평가

가. 교잡종의 조합능력평가가 국내외에서 진행되었다. 사료용옥수수는 총 11회 2090교잡종이 시험되었으며, 수량성이 우수한 258교잡종이 선발되었다. 선발교잡종은 생산력검정에 이용되었다. 생산력검정은 캄보디아 1회, 인도 1회, 중국 5회, 러시아에서 3회가 진행되었으며 총 418교잡종이 시험되어 76교잡종이 선발되었다.

#### (시험 5) 우량 교잡종의 현지 적응성 검정

가. 생산력검정 시험에서 선발된 교잡종은 해외 현지 지역적응성 검정이 진행되었다. 인도에서 2회, 중국에서 5회 그리고 국내에서 3회가 진행되었으며 총 116교잡종이 시험되어 적응성 및 수량성이 우수한 49교잡종이 선발되었다.

#### (시험 6) 선발교잡종 종자생산을 위한 채종시험

가. 선발교잡종의 보급종 종자 대량생산을 대비한 채종시험을 추진하였으며, 종교192를 이용한 시험에서 시차과종으로 10a당 186kg의 종자를 안정적으로 생산 가능하였다.

#### (시험 7) 중국 현지 농가실증 및 전시포 운영

가. 중국 현지 적응성평가를 거쳐 선발된 교잡종은 길림성내 농가실증시험을 3년간, 전시포 운영은 1년간 운영하였으며, 생육 및 수량성이 양호하다는 평가를 얻었다. 특히 대륙2호는 길림성내 품종심사를 통과하여 현지에 복강191로 품종등록하는 성과를 거두었다.

## 5 인용문헌

- 이장용, 류시환, 박기진, 박종열, 서영호, 최재근, 김경희. 2014. 옥수수 육종에 배가반수체 기술의 이용: 이론과 실제. 강원도농업기술원. 춘천: 13~33.
- Chaikam V, Molenaar W, Melchinger AE, Prasanna BM. 2019. Doubled haploid technology for line development in maize: technical advances and prospects. TAG. 132:3227-3243.
- Eduardo T. 2022. Corn 2021 review, highlights and what to expect for 2022. www.fastmarkets.com.
- Prasanna BM. Diversity in global maize germplasm: characterization and utilization. J of Biosciences. 37:843-855.
- USDA. 2021. Corn production and area harvested by country. www.indexmundi.com.

## 6 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2013(1년)	유전자원	(수집) 국외 유전자원 수집 100점
2014(2년)	유전자원	(수집) 국외 유전자원 수집 201점 (등록) 국립유전자원센터 자원 등록 100점
2015(3년)	유전자원	(등록) 국립유전자원센터 자원 등록 60점
2016(4년)	품종	(출원) 대륙옥 출원(2016-209) (등록-캄보디아) GW111(번호 FR05 0212/0716) GW168(번호 FR05 0211/0716), GW222(번호 FR05 0213/0716)
2017(5년)	논문	(SCI) Genetic analysis of maize germplasm in the Korean Genebank and association with agronomic traits and simple sequence repeat markers 1건 (비SCI) 캐나다 옥수수 자식계통들에 대한 유전적 다양성 분석 1건
	품종	(출원-인도) GIN03, GIN04 등 사료용 2품종 (등록-국내) 대륙옥(6721호)
2018(6년)	논문	(비SCI) 이삭이 긴 다수성 흰찰옥수수 '장수찰' 등 3건
	품종	(출원-국내) 꿀미찰(2018-692)
2019(7년)	논문	(SCI) Construction of genetic linkage map and identification of QTLs related to agronomic traits in DH population of maize (Zea mays L.) using SSR markers 1건 (비SCI) Genetic Diversity and Association Analyses of Chinese Maize Inbred Lines Using SSR Markers 1건
	품종	(출원-국내) 대륙2호(2019-142) (출원-중국) 복강191(사료용), 연농나581(찰초당)
2020(8년)	논문	(비SCI) The comparative gene expression concern to the seed pigmentation in maize (Zea mays L.) 등 2건
	품종	(출원-국내) 장수옥(2020-208), 강연2호(2020-226) (출원-중국) 연농나588(찰초당)
2021(9년)	논문	(SCI) Mapping of QTL for agronomic traits using high-density SNPs with an RIL population in maize 1건
	품종	(출원-국내) 대륙3호(2021-186), (등록-국외) 복강191(2021-1-0105)

성과지표명	연도	1~4년차 (2013~2016)		5년차 (2017)		6년차 (2018)		7년차 (2019)		8년차 (2020)		9년차 (2021)		계	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적
유전 자원	수집	200	301											200	301
	등록	200	160		59									200	219
논문	SCI	1		1	1			1				1	2	3	
	비SCI	1		1		3	1	1		2			2	7	
품종	출원		1		2	1	1	3	1	3	2	1	5	11	
	등록		3		1			1		1	3	1	5	5	
계		402	463	1	64	1	4	3	5	2	5	5	4	414	546

## 7 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도									
					'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	
과제책임자	옥수수연구소	농업연구관	류시환	과제 총괄	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	옥수수연구소	농업연구관	박기진	염색체 배가	○	○	○	○	○	○				
공동연구자		농업연구사	서영호	종자 선별	○	○	○	○	○					
		농업연구관	장은하	계통선발	○									
		농업연구관	김경희	교잡종선발	○	○	○	○						
		공업6급	용우식	생육관리	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		운전7급	이상민	조사지원	○	○								○
		농업연구관	박종열	적응성평가		○	○	○	○	○	○			
		농업연구사	최재근	육묘 관리		○	○	○	○	○	○	○	○	○
		운전8급	노상득	조사 지원			○							
		운전8급	이정훈	시설 관리				○	○					
		농업연구관	최준근	교잡종선발					○	○				
		농업연구사	남궁민	교배작업						○	○	○	○	○
		운전7급	윤석원	조사 지원						○				
		공무직	남경남	교배 작업						○	○	○		
		농업연구관	함진관	교잡종선발							○			
		농업연구사	최승출	계통선발								○	○	○
		운전6급	서인석	시설 관리								○	○	○
	농업연구사	김문중	교배 작업								○	○	○	
	농업연구관	홍대기	교잡종선발									○	○	
	농업연구사	한정현	종자 선별									○	○	
	공업9급	이승훈	교배 작업										○	