어젠다코드	1 - 13 - 4		구 분	완결	
기술분야코드	V1	기술유형코드	S02	작목구분코드	FC-04-0401
과 제 종 류	차세대바이오그린21		과제번호	PJ013308	
과 제 명	배가반수체 기술을 이용한 육종체계구축 및 반수체 유도기능 동정				
과제책임자	성 명		직 급	소속기관 및 부서	
	류시환		농업연구관	강원도원 옥수수연구소	
연 구 기 간	2018 ~ 2020		참여연구기관	서울대학교	
세부과제명			부 서	세부책임자	연구기간
1) 배가반수체 기술과 분자마커를 이용한 옥수수 육종체계 구축			옥수수연구소	류시환	'18~'20(3년)
색 인 용 어	옥수수, 배가반수체, 반수체 유기체, 계통육성				

ABSTRACT

Line development and hybrid selection are the main procedures for maize breeding. Line development in South Korea is largely dependent on conventional breeding methods. This conventional line development system is tedious, labor-intensive, and time-consuming procedure. Currently, doubled haploid technology was introduced and settled in Korea by Maize Research Institute. Doubled haploid technology in maize is a rapid line development system and many foreign maize research institutes have been actively using this technology. In this study, we wanted to set up doubled haploid technology in South Korea. It is a temperate area, so we can do only one breeding cycle in a year and the flowing time of maize is usually overlapped with rainy season in South Korea. In order to overcome this weather condition, we settled a special green house for doubled haploid breeding. Line development system by doubled haploid technology considering domestic environmental conditions has three steps: haploid induction, chromosome doubling and line production in the green house, and line assessment and seed multiplication. The number of inbred lines developed by doubled haploid technology from 2018 to 2020 were 1,396 and 295 lines were selected by the initial evaluation. Finally, 33 inbred lines were selected by the regional evaluation test. Using the developed DH lines, we made various crosses then conducted combining ability test and regional performance test. We have lastly picked out one superior hybrid and named Hwangkum-ok. This new variety was applied for plant variety protection at the Korea Seed and Variety Service. When we compare with foreign institutes, it was not the mass line production, but it can be a reasonable settlement of doubled haploid technology in South Korea. We expect the number of annual developing lines will be increased and our breeding efficiency will be greatly progressed by this technology.

1 연구목표

옥수수의 계통육종은 전통적인 방법에 의존하고 있다. 옥수수는 타가수정 작물이므로 전통적인 방법

으로 순계를 육성하기 위해서는 인공교배의 번거로운 과정을 7회 이상 수행해야만 한다. 육종단계에서의 이러한 어려움을 극복하고자 쉽고 빠르게 계통을 육종할 수 있는 새로운 기술인 배가 반수체(Doubled Haploid)를 이용하는 기술이 개발되어 이용되고 있다. 배가 반수체 기술은 정상 식물체(2n)에서 반수체(n)를 유도하고, 이를 배가시켜 순도 100%의 옥수수 계통을 육성하는 기술이다(Chang and Coe, 2009). 전통 육종 방법으로는 최소 7년이 소요되는 계통 육성연한을 배가 반수체 기술을 이용하면 3년 이내로 단축할 수 있다. 또한 배가 반수체 기술을 이용하면 적은 면적에서도 대량의 옥수수 계통을 육성할 수 있다(Prasanna et al. 2012). 뿐만 아니라 전통육종으로는 계통육성에서 품종육성까지 13년 이상이 소요되는 기간을 배가반수체 기술의 활용으로 획기적으로 단축이 가능하다. 이러한 배가 반수체 기술의 다양한 장점 때문에 글로벌 종자회사 대부분은 계통육종의 대부분을 배가반수체 기술에 의존하고 있다. 그러나 국내 옥수수연구에서 배가 반수체 기술을 이용하는 곳은 강원도농업기술원 옥수수연구소가 유일하며, 이제 배가 반수체 기술을 적용하는 초기단계라고 할 수 있다(이장용 등, 2014). 배가반수체 기술의 이용을 위해 필수적으로 필요한 것은 반수체를 유기할 수 있는 반수체 유기체(inducer)이다. 옥수수연구소에서 확보한 반수체 유기체는 흰색 또는 황색의 종실을 가진 옥수수에는 적용이 가능하나, 색이 있는 옥수수에는 적용이 불가능하다. 최근 색소옥수수에 대한 관심도가 높아지면서 다양한 색의 옥수수 개발이 필요한 상황이다. 따라서 색소옥수수에 적용 가능한 반수체 유기체 개발은 색소옥수수 계통육종에 크게 기여할 것으로 기대되고 있다. 본 연구에서는 선행 차세대바이오그린21 과제를 통하여 국내에 도입된 배가 반수체(DH) 기술을 활용하여 전통육종에 의존하고 있는 국내 옥수수 계통 육성 체계를 배가 반수체 기술로 변화시키고자한다. 또한 배가반수체 기술을 활용하여 계통육종의 시작부터 품종육성까지 7년 이내에 완성하는 방법을 모색하고자한다. 본 연구를 통하여 옥수수 계통 및 품종육성의 연한을 단축시키고, 점점 짧아지는 품종의 교체 주기에 대한 대응력을 높이고, 세계적인 옥수수 연구기관 및 글로벌 종자회사와의 경쟁력을 갖추기 위한 육종체계를 구축하고자 한다.

2 재료 및 방법

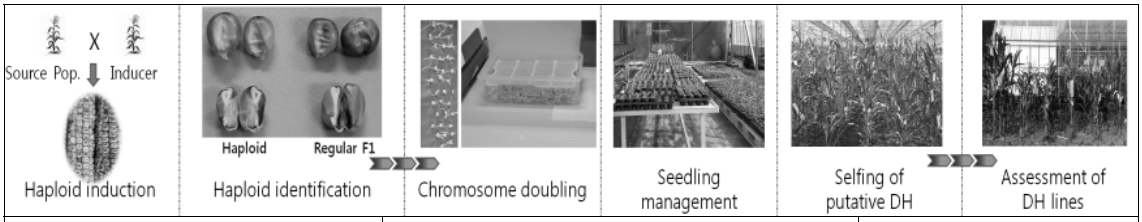
(시험 1) 배가반수체 기술을 이용한 교잡종 조기육성

품종육성에 활용하는 집단은 최종 성과물인 계통의 우수성과 밀접한 관련이 있으므로 활용 집단의 구성이 중요한 부분이다. 시험에 활용한 집단은 국내외에서 수집한 우량품종 및 자체 육성 집단들을 이용하여 교잡종(F1)을 만들었으며 17모A/P7709 등 종실 및 찰옥수수 9집단을 종자친으로 이용하였다. 반수체 유기에 중요한 역할을 하는 화분친은 옥수수연구소가 국제옥수수·밀연구소(CIMMYT) 및 독일의 Hohenheim 대학과 계약을 통해 확보한 반수체 유기체인 Tails를 이용하였다. 반수체 배가를 통하여 육성된 1,396계통은 단계별로 특성평가 및 지역적응성 평가를 통하여 우량계통을 선발하였다. 배가반수체 육성계통과 우량계통간의 교배조합을 구성하였고, 이들 307교잡종에 대하여 조합능력평가 및 적응성평가를 거쳐 품종을 육성하였다.

신기술의 국내정착으로 옥수수 육성연한을 단축하고 우량계통의 대량육성을 위하여 배가반수체 기술을 이용하였다. 반수체 유기체(Tails)와 교배를 통하여 반수체를 유기하고, 반수체 종자의 선별, 선

별한 반수체 식물체를 colchicine을 이용하여 염색체 배가 그리고 시설하우스 내에서 배가 식물체의 관리 및 인공교배를 통한 계통 생산 등의 과정을 수행하였다. 반수체(n) 종자 선별은 활용 집단과 반수체 유기체(Tails)를 교배하여 얻은 F1종자에서 배유에는 안토시아닌 색소(*R1-nj*)가 발현되지만 배에는 발현되지 않는 반수체 종자만 선별하여 이용하였다(Prigge et al. 2012). 선별한 반수체 종자를 육묘포트에서 발아시키고 약 2엽기에 뿌리에서의 상토를 제거하고 0.07% 콜히친 용액에 5시간 침지하여 염색체 배가처리 하였다. 배가 처리한 식물체는 다시 지피포트에 옮겨 1주 이상 활착시킨 후 DH 시설하우스에 정식하였다. 생육 진전에 따라 반수체 종자로 잘못 선별된 식물체는 제거하였다. 배가 처리한 당해년도의 옥수수 식물체는 매우 연약하게 자라고 화분 생산량도 극히 소량이므로 각 식물체별로 인공교배를 2~3회 실시하여 계통생산의 효율성을 높였다. 본 시험은 강원도 홍천의 옥수수연구소 DH시설하우스에서 수행하였으며, 재식밀도는 70×25㎝, 시비량은 N-P_2O_5-K_20=17.4-3-6.9 ㎏/10a로 하였다. 배가 반수체 기술에 의해 육성된 계통은 육성당대의 종자량은 매우 적은 것이 일반적이다. 따라서 종자량이 부족한 계통은 종자증식이 필요하다. 따라서 배가반수체 육성계통은 육묘과정을 거쳐 연구포장에 정식을 하였다. 각 계통의 특성평가는 생육시기별로 내도복성, 초형, 내병성 및 이삭특성 등 주요 농업적 형질에 대하여 조사를 실시하였고, 불량계통은 도태시켰으며 특성이 우량한 계통을 위주로 선발하였다. 1차에서 선발된 계통들은 홍천, 평창, 철원 등 강원도내 3개 지역에서 2차 선발을 수행하였다. 재식밀도는 70×25㎝, 시비량은 N-P_2O_5-K_20 = 17.4-3-6.9㎏/10a로 하였다. 배가 반수체 기술의 국내 도입에서 중요한 부분은 국내 환경에 적합한 계통육성 체계를 확립하는 것이다. 해외 옥수수 연구기관에서는 노지에서도 배가 식물체의 관리 및 계통생산이 가능하지만, 여름에 비가 자주내리고 바람이 많은 국내의 환경에서는 노지에서 배가 식물체를 관리하는 것은 어려운 상황이다. 따라서 옥수수연구소에서는 DH 시설하우스를 확보하여 배가 반수체 기술이 국내에 용이하게 적용될 수 있는 환경을 조성하였다. 국내에서의 배가 반수체 기술을 이용한 계통육성은 그림 1과 같은 3단계로 이루어지며, 이러한 3년 1주기의 배가 반수체 육종체계는 차세대바이오그린21 2단계('16~'17) 과제를 통하여 옥수수연구소에서 구축하였다. 첫째 단계는 집단과 유기체의 교배를 통해 반수체를 유기하고 반수체 종자를 선별하는 단계이다. 활용 집단의 출사기가 상이할 수 있으므로 유기체(inducer)의 파종기를 분산하여 화분생산 기간을 연장하는 것이 필요하다. 교배에 의해 생산된 교잡종 종자에서 반수체(n)와 이배체(2n) 종자를 배에서의 *R1-nj* 색소마커 유무에 따라 선별한다. 두 번째 단계는 염색체를 배가, 식물체 관리, 인공교배 및 계통 생산 단계이다. 염색체 배가처리를 발아종자를 이용할 경우는 발아상에서 종자를 발아시켜 이용하고, 배가처리를 유묘상태에서 할 경우에는 트레이 육묘을 시행한다. 염색체 배가는 Colchicine 용액을 이용하며, 처리된 식물체는 육묘 포트에 옮겨 뿌리 활착이 안정적으로 진행되도록 한다. 약 2주 후에 활착이 되었을 때 DH 시설하우스에 정식한다. 염색체 배가를 시행한 당해연도의 식물체(D0)는 생육이 매우 약하므로 관리에 주의를 요한다. 식물체에서 생산되는 화분량이 극히 소량이므로 인공교배는 각 식물체당 2회 이상 실시하여 수정의 효율성을 높이는 것이 필요하다. 완전히 건조된 이후에 이삭을 수확하며, 이 계통은 순도 100%의 순계(inbred line)이다. 세 번째 단계는 육성계통(D1)의 종자를 증식하고 특성을 평가하는 단계이다. 육성된 계통의 종자량은 극히 소량인 것이 일반적이다. 따라서 육묘관리를 통해 주수를 확보하고 종자를 증식하며, 또한 각 계통의 농업적 특성을 조사하여 활용성이 높은 계통을 선발할 필요가 있다. 교잡종평가를 위해서는 교배조합구성이 필요하다. 배가반수체 육성계통에서 우량계통을 선발하여 기존에 활용하던 elite 계통과 교배를 통하여 교배조합을 구성하였다. 이들 교잡종은 1차로 조합능력평가를

실시하였다. 조합능력평가에서 선발된 교잡종은 2차로 강원도내 3개 지역에서 2년간 지역적응성을 평가하였다.



1년차	2년차	3년차
- 반수체 유기(노지 가능) - 반수체 종자 선별	- 종자발아 또는 포트 발아 - 염색체 배가(Colchicine) - 육묘관리 및 정식(DH 시설 하우스) - 인공교배(2회 이상) 및 계통 생산	- 종자증식 - 육성계통 평가

그림. 1. 국내 환경에 적합한 3년 1주기의 배가반수체 육성체계

(시험 2) 색소옥수수 적용 반수체 유기체 개발

색소옥수수에 적용가능한 유기체 개발을 위하여 옥수수연구소에서 육성한 색소옥수수 계통을 활용하였다. 색소옥수수는 줄기, 이삭의 포엽, 이삭 속 및 종실에서 색을 함유하는 옥수수를 일컫는다. 색소옥수수 중에서 일부 계통은 뿌리에도 색을 보유하고 있으나, 대부분의 계통은 뿌리에 색이 없다. 뿌리에 색이 없는 색소옥수수 계통 중에서 우량한 계통을 선발하여 유기체와 교배를 하여 '색소옥수수 × 유기체' 집단을 구성하였다. 기존에 확보한 반수체 유기체는 옥수수 종실에 *R1-nj* 색소를 함유하고 있다. 유기체의 색소는 색이 없는 옥수수 집단과 유기체의 교배를 통해 얻은 F1 종실에서 반수체 종자를 구별하는 표지인자로 활용된다(Chaikam et al, 2016). 그러나 기존의 유기체는 색이 없는 집단에만 활용할 수 있다는 단점이 있다. 최근 색소옥수수에 대한 관심이 높아지면서 색소옥수수의 육종이 활발히 이루어지고 있으나, 이러한 이유로 색소옥수수 육종에 배가 반수체 기술을 이용하지 못하고 있다. '색소옥수수 × 유기체' 집단에서 유래한 계통을 이용하여 전통적인 방법으로 색소유기체를 육성하고자 한다. 집단구성에 이용된 색소옥수수는 뿌리에도 색이 있는 옥수수 자원을 활용하였다. 따라서 옥수수 종실 및 뿌리에 색이 있는 유기체를 육성하는 것이 육종목표이다. 구성된 집단으로부터 세대진전을 통하여 각 세대별 우량 계통을 선발하여 다음 세대로 진전시켰다. 뿌리에 색이 있는 유기체 육성을 위하여 종자를 육묘포트에 파종한 후 시험포장 정식시에 뿌리의 색 유무를 확인하여 색이 있는 식물체만 정식하였다. 선발 계통의 반수체 유기율 평가는 색소유기체 육성에 중요한 부분이다. 이를 위하여 육성중인 계통의 유기율 평가는 다음과 같은 방법으로 추진하였다. 첫째, 미백2호 등 색이 없는 집단과 육성중인 계통을 교배하여 종실에서의 색 유무로 유기율을 평가하였다. 둘째, 엽혀가 없는(liguleless) 자원을 육성중인 계통과 교배하여 F1 종자를 확보하고 육묘 포트에 발아시켜 엽혀가 없는 식물체의 비율을 평가하여 육성 계통을 선발하였다. 또한 반수체 유기와 연관된 SSR 마커를 선발하고 이를 육성계통에 적용하여 육종효율 증진에 이용하였다. 본 시험은 강원도 홍천의 옥수수연구소 연구포장에서 수행하였으며, 재식밀도는 70×25㎝, 시비량은 N-P_2O_5-K_20 = 17.4-3-6.9㎏/10a로 하였다. 반수체 유기율은 전체 종자 중에서 반수체 종자의 비율로 산출하였다.

3 결과 및 고찰

(시험 1) 배가반수체 기술을 이용한 교잡종 조기육성

배가 반수체 기술에 의한 옥수수 계통육성은 활용 집단의 선택을 신중히 고려해야 한다. 반수체를 유기할 때 활용 집단의 유전적 다양성은 매우 중요한 요인이며, 이러한 유전적 다양성을 고려할 때 F2 집단을 이용하는 것이 가장 효율성이 높다(Bernardo, 2009). 본 연구에 활용한 집단은 F2 집단뿐 아니라 F1 집단도 활용하였는데, 이는 본 과제의 목표 달성을 위해 육성과정을 단축하여 운영하려는 목적을 가지고 추진하였기 때문이다. 조숙, 초형, 내재해성 등의 목표형질을 포함하는 집단을 구성하고자 집단 간 교잡, 품종 간 교잡 및 F1 교잡종 이용등 다양한 집단을 활용하였다. 종실용 및 찰옥수수를 연차별로 3집단씩 반수체 유기한 결과는 표 1과 같다. 이 집단들을 종자친으로 하고 반수체 유기체(inducer)를 화분친으로 하여 인공교배를 실시하여 수확한 종자의 색 발현도는 3~5로 양호하였다. *R1-nj* 마커 유무로 반수체 종자를 선별한 결과 최저 유기율은 찰옥수수 조생대학/찰옥4호 집단에서 3.0%, 최고 유기율은 종실용 P1543/P1894 집단에서 6.1%였고, 9집단의 평균 유기율은 4.9%를 나타내었다. 최근 이용되는 반수체 유기체의 유기율은 평균 8% 내외이다. 본 연구에서의 반수체 유기율은 일반적인 반수체 유기율에 비해 낮은 편이다. 이는 *R1-nj* 마커가 집단의 색 발현 저해유전자 작용 정도에 따라 영향을 크게 받기 때문에 집단 특이적으로 작용하였다고 판단된다.

표 1. 활용 집단의 반수체 종자량 및 반수체 유기율.

연차	집단명	수확이삭수 (개)	선별 marker 색 발현도(1~5)♪	반수체(n) (g)	반수체 유기율(%)
1	17모A/P7709	199	5	386	5.6
	DK697/32P75//KP/P3156	185	5	548	6.0
	17유전자원/HW3	182	3	280	4.1
2	P9578	85	3	210	5.0
	조생대학/흰찰	245	3	540	4.0
	조생대학/찰옥4	245	3	294	3.0
3	P8523	210	4	380	5.5
	17B 집단	235	3	415	4.7
	P1543/P1894	225	3	550	6.1

♪ 1 색발현 없음, 5 색발현 강함

염색체 배가 처리한 식물체는 colchicine 처리에 따른 약해가 발생 할 수 있으므로 재육묘 후 정식까지의 관리가 매우 중요하다. 반수체 종자 선별 당시의 선별 오류로 인한 2n 식물체는 육묘 단계에서 구별이 가능하다. 정상(2n) 식물체는 반수체 식물체에 비하여 발아세가 강하고, 잎이 넓게 퍼지는 특성을 보이므로 이러한 정상 식물체는 육묘포트에서 제거하였으며 그 비율은 표 2와 같다. 집단별로 정상(2n) 식물체의 비율은 12~36%까지 분포하였다. 2018년(1년차)에 시험한 3개 집단의 건전주 정식

비율은 71~86%, 2019년(2년차)의 3개 집단의 건전주 정식비율은 71~80%, 2020년(3년차)의 3개 집단의 건전주 정식비율은 64~88%로 연차간 활용 집단에 따라 건전주의 비율이 상이하였다. 인공교배를 통하여 수확된 계통수는 각 집단별로 2018년 31~151계통, 2019년 54~144계통, 2020년 72~170계통 이었으며 3년간 총 875계통을 육성하였다. 활용 집단별 평균 육성계통수는 97계통으로 목표로 한 집단별 100계통에 근접하는 결과를 얻었다. 정식 주수 대비 옥수수 수확 계통비율은 2018년 7.1~13.5%, 2019년 10.6~13.3%, 2020년 8.4~15.8% 로 집단 별 평균 수확 계통비율은 11.3%로 나타났다. 정식 대비 수확계통비율을 고려할 때 수확 계통수의 증가를 위해서는 반수체 유기를 더 많이 하여 정식 주수를 더 확보하는 방향으로 계획을 수립할 수 있겠다.

표 2. 염색체 배가 처리 후 정식기 건전주 비율 및 육성 계통수

연차	집단	육묘 (주)	2n (주)	2n 비율(%)	정식 (주)	건전주 비율(%)	육성 계통수	계통/ 정식(%)
1	P8521	841	130	15	711	85	96	13.5
	32W86/P8521	1873	537	29	1336	71	151	11.3
	HW9/16자원	507	72	14	435	86	31	7.1
2	17모A/P7709	921	186	20	735	80	78	10.6
	17모B 집단	1,536	452	29	1,084	71	144	13.3
	17자원/HW3	576	141	24	435	76	54	12.4
3	P3156혼합집단	1286	211	16	1075	84	170	15.8
	17모A/P7709	975	114	12	861	88	72	8.4
	중국찰(W)	1322	476	36	846	64	79	9.3

반수체 유기체와 교배를 통하여 생산한 반수체 종자의 염색체 배가는 계통 생산에 직접적인 영향을 주는 중요한 요인이다. 차세대바이오그린21 2단계 과제 수행에서 염색체 배가 방법 비교를 통하여 발아묘 처리보다는 유묘 침지 방법이 효율성이 높다는 결과를 얻었으며 3단계 연구수행에서도 유묘 침지방법을 이용하였다. 최근 미국 Iowa 주립대학교에서 실시하는 주사처리 방법을 도입하여 계통육성의 효율성 향상을 위한 염색체 배가처리 방법을 추가적으로 평가하였다. 현행의 유묘 침지와 새로운 방법인 주사 처리 방법 비교하여 효율성이 높은 염색체 배가 처리방법을 찾아보고자 하였으며 그 결과는 표 3과 같다. 2019년(2년차)과 2020년(3년차) 2년 동안 수행한 결과 유묘 침지 방법의 육성계통 비율은 9.5~20.4%, 유묘 주사 방법은 7.5~11.4%의 결과를 얻었다. 따라서 유묘 주사 방법보다는 유묘 침지 방법이 효율성이 높은 것으로 평가되었다. 그러나 파종에서 배가반수체 시설하우스에 정식할 때까지의 처리과정을 비교하면 유묘 침지 방법은 그림 2와 같이 파종, 세척, 배가, 재육묘, 관리 및 정식의 6단계를 거쳐야 한다. 그러나 유묘 주사 방법은 파종, 재육묘, 배가 및 정식의 4단계로 처리과정을 축소할 수 있는 장점이 있다. 주사 방법으로 염색체 배가를 할 경우, 주사 처리는 약 2엽기 내외에서 처리하고 처리 후 바로 정식이 가능하다. 육성계통수에 따른 효율성은 유묘 침지 방법이 우수하고, 배가 처리과정에서의 주사 방법이 노동력 및 시간을 절약할 수 있으므로 두 가지 방법 모두 각각의 장단점을 가지고 있는 것으로 판단된다.

표 3. 염색체 배가 효율성 향상을 위한 처리방법 비교

연차	집 단	배가 처리방법	정식(주)	육성계통수	비율(%)
2	17모A/P7709	유묘 침지	373	51	13.7
		유묘 주사	362	27	7.5
	17자원/HW3	유묘 침지	259	34	13.1
		유묘 주사	176	20	11.4
3	P3156혼합집단	유묘 침지	597	122	20.4
		유묘 주사	478	48	10.0
	중국찰(W)	유묘 침지	423	40	9.5
		유묘 주사	423	39	9.2

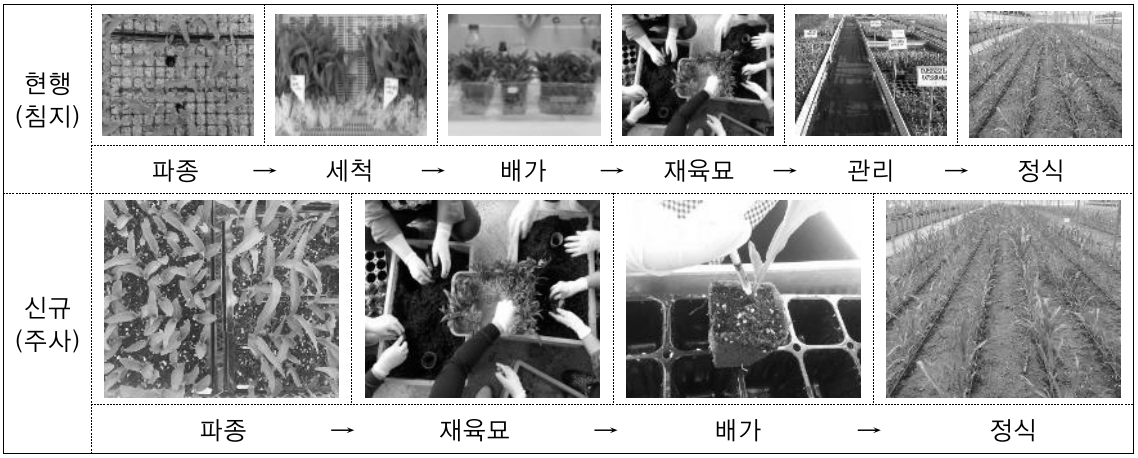


그림 2. 염색체 배가 방법에 따른 처리과정 비교.
유묘 침지처리에 의한 염색체 배가(상), 유묘 주사처리에 의한 염색체 배가(하)

배가반수체 기술에 의해 육성된 계통은 종자량이 소량이므로 종자증식과 함께 시험포장에서 주요 농업형질에 대한 1차 특성평가를 실시하였다. 특성평가를 통하여 농업적 형질이 우수한 계통은 선발하였고, 발아불량 및 생육불량 계통은 도태시켰다. 2018년(1년차)에는 종실용 229계통을 평가하여 생육이 불량하고, 내병성이 약한 86계통을 도태시켰으며, 조숙성이고 초형이 우수하며 착수고가 낮은 47계통을 선발하였다. 2019년(2년차)에는 종실용 312계통을 평가하여 생육이 불량하고 내병성이 약한 88계통을 도태시켰으며, 초형이 우수하고 내도복성이고 이삭 형태가 양호한 54계통을 선발하였다. 2020년(3년차)에는 종실용 855계통을 평가하여 발아가 비정상적이고 생육이 불량한 118계통을 도태시켰으며, 이삭 형태 및 등숙이 양호하고 초형이 우수하며 쓰러짐에 견딤성이 강한 194계통을 선발하였다. 표 4에서와 같이 3년간 1,396계통의 1차 특성평가를 실시하였으며 978계통은 활용할 종자를 증식하였고, 295계통은 1차 특성평가에서 우수한 계통으로 선발되었다. 선발된 계통은 계통의 지역적응성 평가를 위한 자원으로 활용되었으며, 일부 계통은 교배조합 구성의 모본 또는 부본으로 활용되었다.

표 4. 배가 반수체 기술에 의해 육성된 계통의 특성평가를 통한 계통선발 및 자원 증식

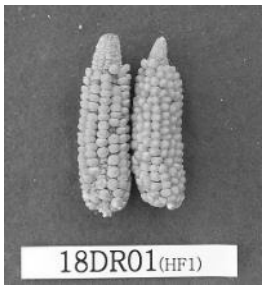
연 차	D1 계통수	선발계통수	미발아 및 불량계통수	증식계통수
1	229	47	86	117
2	312	54	88	224
3	855	194	118	637

배가 반수체 육성계통은 1차 특성평가를 통하여 선발된 계통에 대하여 강원도 내 3개 지역(홍천, 평창, 철원)에서 계통의 적응성을 검토하였다. 배가 반수체 기술에 의해 육성되고 선발된 계통을 매년 52계통을 평가하였고, 2018년에 18DR13 등 12계통, 2019년에 19DR32 등 10계통, 2020년에 20DR29 등 11계통 등 3년간 총 33계통을 선발하였다. 2018년에는 반경립종 및 반마치종의 계통들이 선발되었으며, 2019년과 2020년에는 조숙성 계통들이 선발되었는데 일부 선발계통은 대비 계통보다 출사기가 10일 이상 빨랐다. 19DR29, 20DR13 등의 조숙성 계통들은 북방적응 또는 무상일수가 짧은 고위도 지역 적응성 품종개발에 그 이용가치가 높을 것으로 판단된다. 적응성 평가에서 선발된 주요 계통은 표 5 및 그림 3과 같으며, 배가 반수체 기술에 의해 육성된 계통의 지역 적응성이 양호하여 단교잡종 교배조합을 구성하기 위한 교배친으로 활용함에는 문제없을 것으로 판단되었다.

표 5. 배가반수체 육성계통의 지역적응성 평가를 통한 주요 선발계통

연차	시험계통	출사기 (월/일)	간장 (cm)	도복 (1-9)	자수장 (cm)	자수폭 (cm)	이삭열수 (열)	립형
1	18DR01	7/21	187	1.4	11.7	3.2	12.0	대비(HF1)
	18DR04	7/20	135	1.3	12.0	3.6	12.2	반경립종
	18DR07	7/20	115	1.0	12.0	3.2	12.5	반경립종
	18DR13	7/18	130	1.0	12.3	3.4	13.3	반마치종
	18DR22	7/20	156	1.3	10.9	3.5	13.0	반마치종
	18DR24	7/16	169	1.0	16.2	3.4	11.2	반경립종
	18DR28	7/21	145	1.0	12.0	3.5	11.1	반마치종
	18DR33	7/22	132	1.0	13.2	3.4	12.2	경립종
2	19DR01	7/20	185	1.0	14.3	4.0	12.0	대비(HF1)
	19DR03	7/20	201	1.0	18.6	4.8	16.0	반마치종
	19DR16	7/22	191	1.0	15.0	4.2	13.0	마치종
	19DR18	7/17	166	1.0	17.6	3.9	13.0	반경립종
	19DR29	7/9	138	1.0	13.0	3.5	13.0	조숙,마치종
	19DR32	7/9	137	1.0	12.6	3.4	14.0	조숙,마치종
	19DR35	7/7	144	1.0	11.4	3.3	15.0	조숙,마치종
	19DR46	7/20	162	1.0	17.0	3.8	10.0	반마치종

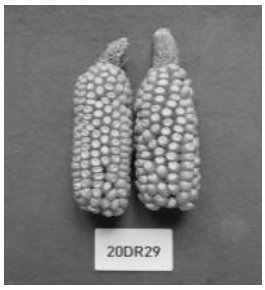
연차	시험계통	출사기 (월/일)	간장 (cm)	도복 (1-9)	자수장 (cm)	자수폭 (cm)	이삭열수 (열)	립형
3	20DR01	7/21	174	1.0	13.5	4.2	11.7	대비(HF1)
	20DR10	7/8	149	1.0	12.9	3.1	12.3	조숙,마치종
	20DR13	7/8	168	1.0	13.2	3.5	11.3	조숙,마치종
	20DR22	7/15	162	1.0	13.0	3.9	16.3	마치종
	20DR27	7/15	156	1.0	11.4	3.6	15.0	경립종
	20DR29	7/14	175	1.0	11.5	3.4	15.3	마치종
	20DR39	7/11	167	1.0	12.2	3.8	13.3	조숙,반경립
	20DR48	7/18	169	1.0	13.5	3.9	13.0	반마치종



(18DR01)

(18DR13)

(19DR46)



(20DR29)

그림 3. 지역 적응성평가 주요 선발 DH계통의 이삭모양

배가 반수체 기술을 이용한 옥수수 계통 육성의 결과로서 육성된 옥수수 계통 중 일부를 국립농업과학원의 농업유전자원센터에 기탁하였으며 자원명 및 임시번호는 표 6과 같다. 이를 필요로 하는 연구자는 육성기관과 협의하여 분양을 요청할 수 있다. 농업유전자원센터에 자원을 등록한 시기는 2019년 5월 21일이며, 17DHF001 등 201점을 등록 기탁하였고 임시번호는 K270688~K270888로 부여받았다. 기탁한 옥수수를 종류별로 분류하면 종실용이 157계통, 찰옥수수가 44계통이다.

표 6. 배가 반수체 육성계통의 국립농업유전자원센터 생물자원 기탁 내역

연번	자원접수번호	임시번호	학명	작물명	자원명	비고
1	GB19022	K270688	Zea mays	옥수수	17DHF001	종실계통
2	GB19022	K270689	Zea mays	옥수수	17DHF002	종실계통
3	GB19022	K270690	Zea mays	옥수수	17DHF003	종실계통
4	GB19022	K270691	Zea mays	옥수수	17DHF005	종실계통
5	GB19022	K270692	Zea mays	옥수수	17DHF006	종실계통
6	GB19022	K270693	Zea mays	옥수수	17DHF007	종실계통
7	GB19022	K270694	Zea mays	옥수수	17DHF009	종실계통
8	GB19022	K270695	Zea mays	옥수수	17DHF012	종실계통
9	GB19022	K270696	Zea mays	옥수수	17DHF013	종실계통

연번	자원접수번호	임시번호	학명	작물명	자원명	비고
10	GB19022	K270697	Zea mays	옥수수	17DHF014	종실계통
11	GB19022	K270698	Zea mays	옥수수	17DHF015	종실계통
12	GB19022	K270699	Zea mays	옥수수	17DHF016	종실계통
13	GB19022	K270700	Zea mays	옥수수	17DHF017	종실계통
14	GB19022	K270701	Zea mays	옥수수	17DHF018	종실계통
15	GB19022	K270702	Zea mays	옥수수	17DHF020	종실계통
16	GB19022	K270703	Zea mays	옥수수	17DHF022	종실계통
17	GB19022	K270704	Zea mays	옥수수	17DHF023	종실계통
18	GB19022	K270705	Zea mays	옥수수	17DHF025	종실계통
19	GB19022	K270706	Zea mays	옥수수	17DHF026	종실계통
20	GB19022	K270707	Zea mays	옥수수	17DHF027	종실계통
21	GB19022	K270708	Zea mays	옥수수	17DHF028	종실계통
22	GB19022	K270709	Zea mays	옥수수	17DHF030	종실계통
23	GB19022	K270710	Zea mays	옥수수	17DHF031	종실계통
24	GB19022	K270711	Zea mays	옥수수	17DHF032	종실계통
25	GB19022	K270712	Zea mays	옥수수	17DHF034	종실계통
26	GB19022	K270713	Zea mays	옥수수	17DHF035	종실계통
27	GB19022	K270714	Zea mays	옥수수	17DHF036	종실계통
28	GB19022	K270715	Zea mays	옥수수	17DHF037	종실계통
29	GB19022	K270716	Zea mays	옥수수	17DHF038	종실계통
30	GB19022	K270717	Zea mays	옥수수	17DHF039	종실계통
31	GB19022	K270718	Zea mays	옥수수	17DHF041	종실계통
32	GB19022	K270719	Zea mays	옥수수	17DHF044	종실계통
33	GB19022	K270720	Zea mays	옥수수	17DHF045	종실계통
34	GB19022	K270721	Zea mays	옥수수	17DHF047	종실계통
35	GB19022	K270722	Zea mays	옥수수	17DHF048	종실계통
36	GB19022	K270723	Zea mays	옥수수	17DHF049	종실계통
37	GB19022	K270724	Zea mays	옥수수	17DHF051	종실계통
38	GB19022	K270725	Zea mays	옥수수	17DHF052	종실계통
39	GB19022	K270726	Zea mays	옥수수	17DHF055	종실계통
40	GB19022	K270727	Zea mays	옥수수	17DHF058	종실계통
41	GB19022	K270728	Zea mays	옥수수	17DHF059	종실계통
42	GB19022	K270729	Zea mays	옥수수	17DHF061	종실계통
43	GB19022	K270730	Zea mays	옥수수	17DHF062	종실계통
44	GB19022	K270731	Zea mays	옥수수	17DHF064	종실계통
45	GB19022	K270732	Zea mays	옥수수	17DHF065	종실계통
46	GB19022	K270733	Zea mays	옥수수	17DHF066	종실계통
47	GB19022	K270734	Zea mays	옥수수	17DHF067	종실계통
48	GB19022	K270735	Zea mays	옥수수	17DHF068	종실계통
49	GB19022	K270736	Zea mays	옥수수	17DHF069	종실계통

연번	자원접수번호	임시번호	학명	작물명	자원명	비고
50	GB19022	K270737	Zea mays	옥수수	17DHF070	종실계통
51	GB19022	K270738	Zea mays	옥수수	17DHF072	종실계통
52	GB19022	K270739	Zea mays	옥수수	17DHF073	종실계통
53	GB19022	K270740	Zea mays	옥수수	17DHF075	종실계통
54	GB19022	K270741	Zea mays	옥수수	17DHF079	종실계통
55	GB19022	K270742	Zea mays	옥수수	17DHF081	종실계통
56	GB19022	K270743	Zea mays	옥수수	17DHF082	종실계통
57	GB19022	K270744	Zea mays	옥수수	17DHF086	종실계통
58	GB19022	K270745	Zea mays	옥수수	17DHF095	종실계통
59	GB19022	K270746	Zea mays	옥수수	17DHF098	종실계통
60	GB19022	K270747	Zea mays	옥수수	17DHF100	종실계통
61	GB19022	K270748	Zea mays	옥수수	17DHF101	종실계통
62	GB19022	K270749	Zea mays	옥수수	17DHF102	종실계통
63	GB19022	K270750	Zea mays	옥수수	17DHF103	종실계통
64	GB19022	K270751	Zea mays	옥수수	17DHF104	종실계통
65	GB19022	K270752	Zea mays	옥수수	17DHF105	종실계통
66	GB19022	K270753	Zea mays	옥수수	17DHF107	종실계통
67	GB19022	K270754	Zea mays	옥수수	17DHF108	종실계통
68	GB19022	K270755	Zea mays	옥수수	17DHF109	종실계통
69	GB19022	K270756	Zea mays	옥수수	17DHF110	종실계통
70	GB19022	K270757	Zea mays	옥수수	17DHF111	종실계통
71	GB19022	K270758	Zea mays	옥수수	17DHF112	종실계통
72	GB19022	K270759	Zea mays	옥수수	17DHF115	종실계통
73	GB19022	K270760	Zea mays	옥수수	17DHF117	종실계통
74	GB19022	K270761	Zea mays	옥수수	17DHF119	종실계통
75	GB19022	K270762	Zea mays	옥수수	17DHF121	종실계통
76	GB19022	K270763	Zea mays	옥수수	17DHF123	종실계통
77	GB19022	K270764	Zea mays	옥수수	17DHF124	종실계통
78	GB19022	K270765	Zea mays	옥수수	17DHF126	종실계통
79	GB19022	K270766	Zea mays	옥수수	17DHF127	종실계통
80	GB19022	K270767	Zea mays	옥수수	17DHF128	종실계통
81	GB19022	K270768	Zea mays	옥수수	17DHF129	종실계통
82	GB19022	K270769	Zea mays	옥수수	17DHF130	종실계통
83	GB19022	K270770	Zea mays	옥수수	17DHF132	종실계통
84	GB19022	K270771	Zea mays	옥수수	17DHF133	종실계통
85	GB19022	K270772	Zea mays	옥수수	17DHF134	종실계통
86	GB19022	K270773	Zea mays	옥수수	17DHF138	종실계통
87	GB19022	K270774	Zea mays	옥수수	17DHF139	종실계통
88	GB19022	K270775	Zea mays	옥수수	17DHF140	종실계통
89	GB19022	K270776	Zea mays	옥수수	17DHF142	종실계통

연번	자원접수번호	임시번호	학명	작물명	자원명	비고
90	GB19022	K270777	Zea mays	옥수수	17DHF143	종실계통
91	GB19022	K270778	Zea mays	옥수수	17DHF147	종실계통
92	GB19022	K270779	Zea mays	옥수수	17DHF148	종실계통
93	GB19022	K270780	Zea mays	옥수수	17DHF153	종실계통
94	GB19022	K270781	Zea mays	옥수수	17DHF156	종실계통
95	GB19022	K270782	Zea mays	옥수수	17DHF159	종실계통
96	GB19022	K270783	Zea mays	옥수수	17DHF160	종실계통
97	GB19022	K270784	Zea mays	옥수수	17DHF163	종실계통
98	GB19022	K270785	Zea mays	옥수수	17DHF164	종실계통
99	GB19022	K270786	Zea mays	옥수수	17DHF165	종실계통
100	GB19022	K270787	Zea mays	옥수수	17DHF166	종실계통
101	GB19022	K270788	Zea mays	옥수수	17DHF167	종실계통
102	GB19022	K270789	Zea mays	옥수수	17DHF168	종실계통
103	GB19022	K270790	Zea mays	옥수수	17DHF169	종실계통
104	GB19022	K270791	Zea mays	옥수수	17DHF170	종실계통
105	GB19022	K270792	Zea mays	옥수수	17DHF172	종실계통
106	GB19022	K270793	Zea mays	옥수수	17DHF174	종실계통
107	GB19022	K270794	Zea mays	옥수수	17DHF175	종실계통
108	GB19022	K270795	Zea mays	옥수수	17DHF176	종실계통
109	GB19022	K270796	Zea mays	옥수수	17DHF177	종실계통
110	GB19022	K270797	Zea mays	옥수수	17DHF179	종실계통
111	GB19022	K270798	Zea mays	옥수수	17DHF185	종실계통
112	GB19022	K270799	Zea mays	옥수수	17DHF187	종실계통
113	GB19022	K270800	Zea mays	옥수수	17DHF191	종실계통
114	GB19022	K270801	Zea mays	옥수수	17DHF192	종실계통
115	GB19022	K270802	Zea mays	옥수수	17DHF194	종실계통
116	GB19022	K270803	Zea mays	옥수수	17DHF195	종실계통
117	GB19022	K270804	Zea mays	옥수수	17DHF200	종실계통
118	GB19022	K270805	Zea mays	옥수수	17DHF203	종실계통
119	GB19022	K270806	Zea mays	옥수수	17DHF204	종실계통
120	GB19022	K270807	Zea mays	옥수수	17DHF205	종실계통
121	GB19022	K270808	Zea mays	옥수수	17DHF206	종실계통
122	GB19022	K270809	Zea mays	옥수수	17DHF207	종실계통
123	GB19022	K270810	Zea mays	옥수수	17DHF208	종실계통
124	GB19022	K270811	Zea mays	옥수수	17DHF211	종실계통
125	GB19022	K270812	Zea mays	옥수수	17DHF215	종실계통
126	GB19022	K270813	Zea mays	옥수수	17DHF216	종실계통
127	GB19022	K270814	Zea mays	옥수수	17DHF219	종실계통
128	GB19022	K270815	Zea mays	옥수수	17DHF222	종실계통
129	GB19022	K270816	Zea mays	옥수수	17DHF225	종실계통

연번	자원접수번호	임시번호	학명	작물명	자원명	비고
130	GB19022	K270817	Zea mays	옥수수	17DHF226	종실계통
131	GB19022	K270818	Zea mays	옥수수	17DHF230	종실계통
132	GB19022	K270819	Zea mays	옥수수	17DHF244	종실계통
133	GB19022	K270820	Zea mays	옥수수	17DHF246	종실계통
134	GB19022	K270821	Zea mays	옥수수	17DHF248	종실계통
135	GB19022	K270822	Zea mays	옥수수	17DHF249	종실계통
136	GB19022	K270823	Zea mays	옥수수	17DHF251	종실계통
137	GB19022	K270824	Zea mays	옥수수	17DHF255	종실계통
138	GB19022	K270825	Zea mays	옥수수	17DHF258	종실계통
139	GB19022	K270826	Zea mays	옥수수	17DHF259	종실계통
140	GB19022	K270827	Zea mays	옥수수	17DHF261	종실계통
141	GB19022	K270828	Zea mays	옥수수	17DHF262	종실계통
142	GB19022	K270829	Zea mays	옥수수	17DHF267	종실계통
143	GB19022	K270830	Zea mays	옥수수	17DHF268	종실계통
144	GB19022	K270831	Zea mays	옥수수	17DHF269	종실계통
145	GB19022	K270832	Zea mays	옥수수	17DHF270	종실계통
146	GB19022	K270833	Zea mays	옥수수	17DHF272	종실계통
147	GB19022	K270834	Zea mays	옥수수	17DHF275	종실계통
148	GB19022	K270835	Zea mays	옥수수	17DHF276	종실계통
149	GB19022	K270836	Zea mays	옥수수	17DHF278	종실계통
150	GB19022	K270837	Zea mays	옥수수	17DHF280	종실계통
151	GB19022	K270838	Zea mays	옥수수	17DHF285	종실계통
152	GB19022	K270839	Zea mays	옥수수	17DHF290	종실계통
153	GB19022	K270840	Zea mays	옥수수	17DHF291	종실계통
154	GB19022	K270841	Zea mays	옥수수	17DHF293	종실계통
155	GB19022	K270842	Zea mays	옥수수	17DHF295	종실계통
156	GB19022	K270843	Zea mays	옥수수	17DHF296	종실계통
157	GB19022	K270844	Zea mays	옥수수	17DHF297	종실계통
158	GB19022	K270845	Zea mays	옥수수	17DHW001	찰옥계통
159	GB19022	K270846	Zea mays	옥수수	17DHW003	찰옥계통
160	GB19022	K270847	Zea mays	옥수수	17DHW006	찰옥계통
161	GB19022	K270848	Zea mays	옥수수	17DHW007	찰옥계통
162	GB19022	K270849	Zea mays	옥수수	17DHW008	찰옥계통
163	GB19022	K270850	Zea mays	옥수수	17DHW011	찰옥계통
164	GB19022	K270851	Zea mays	옥수수	17DHW018	찰옥계통
165	GB19022	K270852	Zea mays	옥수수	17DHW023	찰옥계통
166	GB19022	K270853	Zea mays	옥수수	17DHW029	찰옥계통
167	GB19022	K270854	Zea mays	옥수수	17DHW031	찰옥계통
168	GB19022	K270855	Zea mays	옥수수	17DHW033	찰옥계통
169	GB19022	K270856	Zea mays	옥수수	17DHW034	찰옥계통

연번	자원접수번호	임시번호	학명	작물명	자원명	비고
170	GB19022	K270857	Zea mays	옥수수	17DHW043	찰옥계통
171	GB19022	K270858	Zea mays	옥수수	17DHW047	찰옥계통
172	GB19022	K270859	Zea mays	옥수수	17DHW049	찰옥계통
173	GB19022	K270860	Zea mays	옥수수	17DHW050	찰옥계통
174	GB19022	K270861	Zea mays	옥수수	17DHW055	찰옥계통
175	GB19022	K270862	Zea mays	옥수수	17DHW056	찰옥계통
176	GB19022	K270863	Zea mays	옥수수	17DHW057	찰옥계통
177	GB19022	K270864	Zea mays	옥수수	17DHW058	찰옥계통
178	GB19022	K270865	Zea mays	옥수수	17DHW059	찰옥계통
179	GB19022	K270866	Zea mays	옥수수	17DHW061	찰옥계통
180	GB19022	K270867	Zea mays	옥수수	17DHW063	찰옥계통
181	GB19022	K270868	Zea mays	옥수수	17DHW064	찰옥계통
182	GB19022	K270869	Zea mays	옥수수	17DHW065	찰옥계통
183	GB19022	K270870	Zea mays	옥수수	17DHW068	찰옥계통
184	GB19022	K270871	Zea mays	옥수수	17DHW069	찰옥계통
185	GB19022	K270872	Zea mays	옥수수	17DHW070	찰옥계통
186	GB19022	K270873	Zea mays	옥수수	17DHW071	찰옥계통
187	GB19022	K270874	Zea mays	옥수수	17DHW072	찰옥계통
188	GB19022	K270875	Zea mays	옥수수	17DHW074	찰옥계통
189	GB19022	K270876	Zea mays	옥수수	17DHW075	찰옥계통
190	GB19022	K270877	Zea mays	옥수수	17DHW077	찰옥계통
191	GB19022	K270878	Zea mays	옥수수	17DHW078	찰옥계통
192	GB19022	K270879	Zea mays	옥수수	17DHW079	찰옥계통
193	GB19022	K270880	Zea mays	옥수수	17DHW084	찰옥계통
194	GB19022	K270881	Zea mays	옥수수	17DHW085	찰옥계통
195	GB19022	K270882	Zea mays	옥수수	17DHW086	찰옥계통
196	GB19022	K270883	Zea mays	옥수수	17DHW089	찰옥계통
197	GB19022	K270884	Zea mays	옥수수	17DHW096	찰옥계통
198	GB19022	K270885	Zea mays	옥수수	17DHW103	찰옥계통
199	GB19022	K270886	Zea mays	옥수수	17DHW107	찰옥계통
200	GB19022	K270887	Zea mays	옥수수	17DHW109	찰옥계통
201	GB19022	K270888	Zea mays	옥수수	17DHW110	찰옥계통

배가 반수체 기술을 이용하여 육성한 DH계통을 활용하여 교배조합을 구성하였고, 이 들 교잡종에 대한 조합능력평가를 실시하였다. 2019년에는 19CA456 등 185교잡종을 시험하여 19CA460 등 17교잡종을 선발하였으며 그 결과는 표 7과 같다. 19CA596은 수량성이 대비 품종에 비해 우수하였고, 19CA493은 출사일수가 대비 품종보다 5일 빠른 교잡종으로 선발되었다. 2020년에는 20CA307 등 92교잡종을 시험하여 20CA310 등 19교잡종을 선발하였으며 그 결과는 표 8과 같다. 20CA372는 수량성이 대비 품종보다 우수하고, 출사일수도 빠른 교잡종이며, 20CA353은 이삭길이가 대비 품종보다

길어 수량성이 높은 교잡종으로 선발되었다. 선발 교잡종은 생산력검정에 활용되어 수량성평가가 계속 진행될 예정이다.

표 7. 2019년 배가 반수체 육성 계통을 활용한 교잡종의 조합능력평가 주요 선발 교잡종

시험번호	종실중 (kg/10a)	출사일수 (일)	간장 (cm)	착수고율 (%)	이삭(cm)		
					길이	착립길이	폭
강일옥(대비)	850	78	292	51	18.2	17.5	5.0
19CA460	921	74	249	55	18.6	17.4	4.6
19CA461	844	78	248	56	16.4	15.4	5.2
19CA469	836	74	235	52	18.4	16.4	4.7
19CA488	975	76	251	53	17.9	16.4	5.2
19CA493	866	73	241	45	17.4	16.3	4.5
19CA510	928	76	287	49	19.1	18.6	4.9
19CA584	820	78	270	50	18.3	17.7	5.1
19CA592	869	76	291	45	20.6	20.0	4.7
19CA593	821	75	272	47	18.3	15.3	4.8
19CA596	1001	77	286	52	20.0	19.3	5.1
19CA602	860	76	282	49	19.8	18.6	4.7
19CA604	825	75	258	49	18.7	17.1	5.0
19CA605	874	77	283	49	18.2	16.7	5.2
19CA606	831	75	282	59	19.3	18.0	4.7
19CA609	934	74	264	48	18.1	17.0	4.5
19CA610	878	77	272	50	17.0	16.2	5.0
19CA639	1060	74	220	41	19.1	18.3	4.9

표 8. 2020년 배가 반수체 육성 계통을 활용한 교잡종의 조합능력평가 주요 선발 교잡종

시험번호	종실중 (kg/10a)	출사일수 (일)	간장 (cm)	착수고율 (%)	이삭(cm)		
					길이	착립길이	폭
강일옥(대비)	782	71	247	43	16.4	14.4	4.8
20CA307	832	70	256	39	18.8	16.4	4.8
20CA310	863	68	263	40	18.8	17.4	5.0
20CA313	790	72	261	42	14.6	12.1	4.2
20CA320	795	68	280	43	16.7	12.6	4.5
20CA329	858	70	239	46	19.2	17.2	4.6
20CA330	845	71	247	46	17.2	15.0	5.1
20CA351	840	72	253	47	17.4	14.4	5.1

시험번호	종실중 (kg/10a)	출사일수 (일)	간장 (cm)	착수고율 (%)	이삭(cm)		
					길이	착립길이	폭
20CA353	870	70	271	49	20.6	16.0	5.0
20CA372	856	63	209	46	15.2	14.8	4.3
20CA388	843	64	205	36	16.6	15.6	4.0

자체 육성한 배가 반수체 계통을 활용한 교잡종의 1차 평가를 조합능력평가를 거쳐서 수행하였고, 선발된 교잡종 중 우수한 농업적 특성을 보이는 교잡종은 강원도 내 홍천, 평창 및 철원 등 3개 지역에서 지역적응성 평가를 수행하였다. 2018년에는 종교180 등 7교잡종을 평가하였으며 수량성 및 내도복성이 우수한 종교182 등 3교잡종을 선발하였다(표 9). 2018년의 경우 7~8월의 고온 건조 기후로 인해 평창시험지의 생육 및 등숙이 불량하여 평창의 성적은 제외하고 홍천과 철원 결과를 활용하여 선발하였다. 2019년에는 종교181 등 5교잡종을 평가하였으며 수량성 및 이삭특성을 고려하여 종교182 등 3교잡종을 선발하였다(표 10). 특히 종교182의 수량성 및 적응성이 타 교잡종에 비해 우수하여 국립종자원에 황금옥으로 품종출원하였다. 2020년에는 종교193 등 4교잡종을 평가하였으며 초형 및 수량성을 고려하여 종교194 등 2교잡종을 선발하였다(표 11).

표 9. 2018년 배가 반수체 육성 계통을 활용한 교잡종의 지역적응성 평가

교잡종명	종실중 (kg/10a)	지수 (%)	출사일수(일)	도복 (1-9)	간장 (cm)	착수고율(%)	이삭(cm)			100립중 (g)
							길이	착립길이	폭	
강일옥(대비)	693	100	79	1.2	256	45	16.4	15.0	4.3	32.8
종교180	863	125	77	1.5	250	44	18.4	17.8	4.7	32.3
종교181	806	116	80	1.8	266	47	17.8	16.2	4.8	31.1
종교182	788	114	77	1.3	245	45	17.6	17.3	4.2	32.5
종교183	804	116	81	1.0	243	48	16.5	15.6	4.3	36.2
종교184	907	131	80	1.5	270	48	19.3	18.4	4.5	38.1
종교185	821	118	81	1.2	259	47	17.3	16.2	4.5	37.3
종교186	690	99	78	1.0	236	49	16.7	15.9	4.3	39.7

표 10. 2019년 배가 반수체 육성 계통을 활용한 교잡종의 지역적응성 평가

교잡종명	종실중 (kg/10a)	지수 (%)	출사일수(일)	도복 (1-9)	간장 (cm)	착수고율(%)	이삭(cm)			100립중 (g)
							길이	착립길이	폭	
강일옥(대비)	1012	100	79	1.0	276	47	17.8	17.4	5.0	39.6
종교181	1065	105	83	1.0	278	45	18.4	17.1	5.3	36.4
종교182	1057	105	78	1.0	274	47	18.3	17.9	4.8	42.3
종교186	1071	106	80	1.0	253	51	18.0	17.6	4.9	46.7
종교193	986	97	77	1.0	272	40	17.8	16.7	5.0	37.3
종교194	1032	102	77	1.0	263	44	16.6	16.1	5.0	37.5

표 11. 2020년 배가 반수체 육성 계통을 활용한 교잡종의 지역적응성 평가

교잡종명	종실중 (kg/10a)	지수 (%)	출사일수(일)	도복 (1-9)	간장 (cm)	착수고율(%)	이삭(cm)			100립중 (g)
							길이	착립길이	폭	
강일옥(대비)	799	100	80	1	269	47	17.4	16.2	5.0	36.2
종교193	692	87	77	1	271	38	15.7	13.5	5.0	36.4
종교194	800	100	79	1	256	43	16.2	15.4	4.9	34.1
종교205	780	98	76	1	237	51	17.1	15.6	5.0	37.6
종교206	810	101	79	1	255	51	16.9	14.7	5.2	28.5

강원도내 3개 지역에서 수행한 지역적응성 평가 결과 종교182를 선발하여 국립종자원에 '황금옥'으로 품종 출원하였다(표 12, 그림 4). 황금옥은 수량성(950kg/10a)이 우수하고 착수고가 낮으며 도복 저항성이 강한 특성을 가진다. 출원일자는 2020년 3월 19일 이며, 품종보호 출원번호는 출원2020-227이다. 황금옥은 국내에서 배가 반수체 기술에 의해 육성된 계통을 이용한 최초의 품종임에 그 의미가 크다. 또한 2014년에 배가 반수체 기술을 국내에 도입하기 시작하여 계통을 육성하고 교잡종을 선발하여 품종의 출원까지 7년 이내에 달성함으로서 연구의 목표를 완성할 수 있었다. 배가 반수체 기술은 새로운 육종법의 국내 도입과 정착 그리고 옥수수 품종육성체계를 변화시키는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

표 12. 육성품종 황금옥의 수량성(kg/10a, 3지역, 2년 수행) 비교.

시험 지역	황금옥(육성품종)			강일옥(대비품종)		
	'18	'19	평균(지수)	'18	'19	평균
홍천	648	969	809(111)	470	991	731
평창	-	1,050	1,050(103)	-	1,024	1,024
철원	927	1,153	1,040(107)	917	1,020	969
평균(지수)	788(114)	1,057(105)	950(107)	693	1,012	884

(황금옥 식물체)

(황금옥 이삭)

그림 4. 육성품종 황금옥의 식물체 및 이삭모양

육성한 배가 반수체 계통은 시험포장에서 표현형적인 평가를 통해 우량 계통을 선발하고 있다. 그러나 표현형적인 평가는 환경에 따른 변이가 크게 나타나고, 질적 형질에 대한 평가는 쉽게 조사가 가능하지만 양적 형질에 대한 평가는 반복적인 평가를 수행해야 하는 단점이 있다. 이러한 표현형적

평가의 단점을 보완하고자 분자마커를 활용하여 선발의 안정성을 높이는 방법이 필요하다. 이를 위해 배가 반수체 방법으로 18DHW021 등 육성한 계통에 대하여 Illumina사의 옥수수 게놈 SNP 정보 5만개(50K SNP)를 Illumina infinium chip으로 분석하였다. 분석 data는 matrix 형태로 결과를 확보하였다. 시험 계통에 대한 시험포장에서의 표현형적 형질 검정을 계속 수행하고 SNP 분석자료와 비교하여 유용 유전자 탐색 및 계통 선발에 활용할 계획이다.

배가 반수체 기술의 활용을 위해 필수적으로 수행해야 하는 단계는 반수체 종자를 선별하는 과정이다. 옥수수 종실의 *R1-nj* 색소 마커에 의한 반수체 종자를 육안 선별하는 방법을 이용하는데 색소 마커의 발현정도 및 집단 특이적 색소 발현 등에 의해 선별 오류가 심하게 나타난다. 종자 선별의 오류가 많으면 육묘과정 또는 정식 후에 이형주 제거가 많아진다. 반수체 종자 선별의 효율성 향상을 위해 형광 기술을 이용하여 반수체 종자를 구별하고자 하였다. 실험결과 그림 5와 같이 육안으로 보는 것과 같은 일반카메라에서는 종실의 배에 색이 없는 것으로 확인되었으나 형광카메라로 촬영하였을 때 적색 원의 종자는 종실 배에 색이 있는 배수체(2n) 종자임을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 형광을 이용한 옥수수 반수체 판별기술의 명칭으로 농촌진흥청 국립농업과학원과 강원도가 공동으로 특허출원하였다.

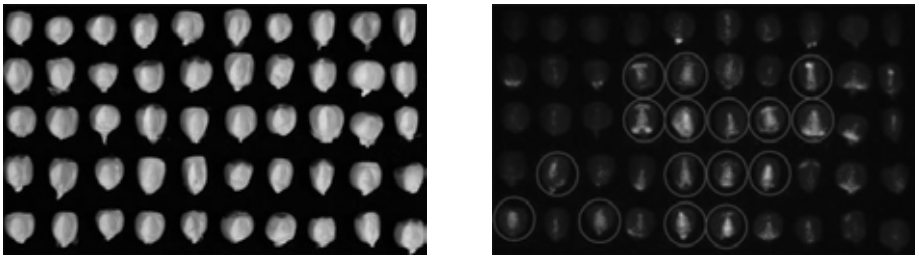


그림 5. 일반카메라(좌)와 형광카메라(우)에 의한 반수체 종자 촬영. 육안으로는 종실 배에 색소발현이 없는 것으로 선별(n)되었으나, 형광카메라 이용 시 적색 원의 종자는 2n으로 판별됨

(시험 2) 색소옥수수 적용 반수체 유기체 개발

색소옥수수 유기체 개발을 위하여 색소옥수수와 유기체를 교배하여 집단을 구성하였다. 활용한 색소옥수수는 뿌리에 색이 나타나는 자원을 이용하였으며, 세대 진전을 위해 종자를 발아시켜 뿌리에 색이 있는 개체만 선별하여 정식하였으며 뿌리의 색 발현정도는 그림 6과 같다. 표 13과 같이 연차별 시험계통수는 2018년(1년차)에는 S3~S4세대 148계통을 시험하여 색 발현과 초형이 우수한 81이삭을 선발하였다. 2019년(2년차)에는 S4~S6세대 35계통을 시험하여 농업적 특성이 우수한 146이삭을 선발하였다. 2020년(3년차)에는 S5~S7세대 61계통을 시험하여 색 발현 및 도복저항성이 우수한 444이삭을 선발하였으며 유기율 평가를 통하여 최종적으로 우량한 계통을 선발할 계획이다.

표 13. 색소옥수수 유기체 개발을 위한 분리계통 세대진전

연차	세대	시험 계통수	수확 이삭수	비고(활용)
1	S3	38	13	'17/'18 동계
	S4	110	68	'19 뿌리 색소 확인후 최종선발
2	S4	6	66	'20 세대진전
	S6	29	80	'20 뿌리 색소 확인후 최종선발

연차	세대	시험 계통수	수확 이삭수	비고(활용)
3	S5	35	286	'21 세대진전
	S7	26	158	'21 색소 반수체 유기에 활용

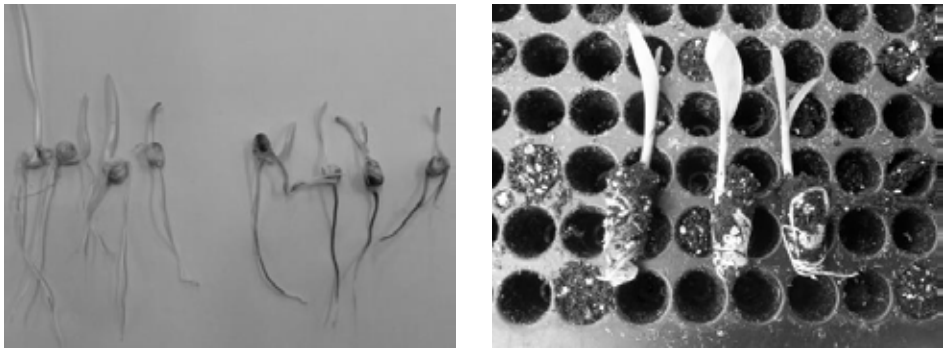


그림 6. 분리계통 유색 뿌리 확인하여 유색뿌리 개체만 세대진전(좌). 육성중인 유색뿌리 계통과 무색 뿌리 일반옥수수를 교배하여 무색뿌리의 발현비율을 비교하여 반수체 유기율을 평가함(우).

색소옥수수 유기체 개발을 위한 계통 선발에서 가장 중요한 형질은 유기체의 반수체 유기율 확인이다. 이을 위해 세대 진전중인 분리계통 중에서 농업적 특성이 우수한 계통을 선발하여 색이 없거나 잎혀가 없는(liguleless 자원) 집단과 교배를 하였으며 년차별 교배계통수는 표 14와 같다. 종실에 색이 없는 미백2호, 강일옥 등과 교배한 계통의 유기율 평가는 수확 종자의 종실 배에서의 색의 유무 또는 발아 후 뿌리에서의 색의 유무로 평가하였다. Liguleless 자원과 교배한 계통의 유기율 평가는 수확 종자를 육묘 포트에 파종하여 약 3엽기에 전체 파종주수 대비 잎혀가 없는 개체의 비율로 평가하였으며 그 결과는 표 15과 같다. 2019년(2년차)의 경우 선발된 육성계통의 유기율은 4.0~9.9%였고, 19IN005의 유기율이 9.9%로 가장 높았다. 2020년(3년차)의 경우 선발된 육성계통의 유기율은 5.3~12.5%였다. 특히 20INS7005는 S7세대 계통으로 고정도가 높고 유기율은 12.3%로 우수하였으며 농업적 형질도 양호하여 색소옥수수 유기체로 활용가치가 높을 것으로 평가되었다.

표 14. 반수체 유기율 우수 계통 선발을 위한 교배 내역

연차	집단	교배 계통수	유기율 확인
1	미백2호	57	무색 종실 배, 또는 무색 뿌리
	Liguleless자원	38	잎혀 없는 개체
2	미백2호	35	무색 종실 배, 또는 무색 뿌리
	강일옥	18	〃
	Liguleless자원	183	잎혀 없는 개체
3	색교28	68	무색 종실 배, 또는 무색 뿌리
	색교30	28	〃
3	색교60	113	〃
	색교75	41	〃
	Liguleless자원	321	잎혀 없는 개체

표 15. Liguleless × 색소유기체 육성계통 F1 종자의 유기율 검정

연 차	번 호	파종주수(주)	Liguleless(주)	유기율(%)
2	19IN005	111	11	9.9
	19IN006	88	6	6.8
	19IN008	140	7	5.0
	19IN012	30	2	6.7
	19IN013	149	6	4.0
3	20INS5003	133	7	5.3
	20INS5014	24	3	12.5
	20INS7005	114	14	12.3

본 과제에서는 반수체 유기 능력을 가지면서 뿌리에 색이 있는 색소옥수수용 유기체를 개발하고자 하였다. 따라서 반수체 유기율 평가를 수행하여야 하며 liguleless 자원 및 색이 없는 집단과 교배를 통하여 수확한 종자를 이용하여 유기율을 평가하였다. 교배를 통한 유기율 평가와 더불어 분자마커를 이용한 유기율 평가를 병행하였다. 유기율이 높은 육성계통의 선발을 위해 SSR 마커를 활용하였다. 반수체 유기에 관여하는 유전자인 QTL1의 MTL유전자의 염기서열을 바탕으로 SSR primer를 제작하였으며, 이를 이용한 분석 결과 그림 7에서와 같이 유기체(C12)와 같은 밴드를 보이는 계통을 확인할 수 있었으므로 이 SSR 마커의 활용가능성이 높을 것으로 판단된다.

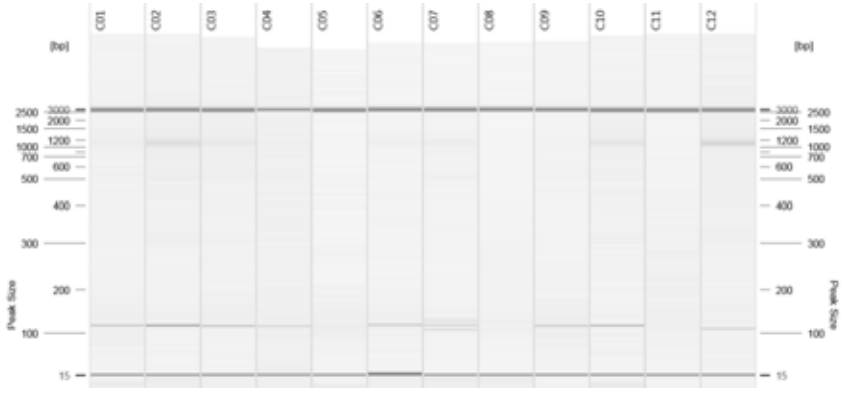


그림 7. QTL1 유전자 관련 분자마커 분석. C1~C11 = 육성중인 계통, C12 = 유기체

4 적 요

(시험 1) 배가반수체 기술을 이용한 교잡종 조기육성

가. 배가반수체 기술을 이용하여 옥수수 계통을 조기에 육성하였다. 3년간 1,396계통을 평가하여 특성이 우수한 295계통을 선발하였다. 선발한 육성계통 156계통을 지역적응성 평가를 통하여 33계통을 선발하였으며 최종 선발 계통은 교배친으로 활용할 예정이다.

나. 배가반수체 기술에 의해 육성된 계통을 이용하여 교배조합을 구성하고, 이 교잡종을 평가하였다. 총 307교잡종을 평가하여 적응성이 우수한 42교잡종을 선발하였다.

다. 특히, 종교182는 조합능력평가 및 강원도내 지역적응성평가에서 그 우수성이 인정되어 최종 선발되었으며, 국립종자원에 황금옥(출원번호 2020-227호)으로 품종출원하였다.

(시험 2) 색소옥수수 적용 반수체 유기체 개발

가. 뿌리에 색이 있는 색소옥수수와 반수체 유기체의 교배를 통하여 집단을 양성하였다. 이 집단으로부터 전통적인 방법으로 세대진전을 통하여 계통을 선발하였다.

나. 색소옥수수 적용 유기체 개발을 위해 육성중인 계통에 대한 반수체 유기율 평가를 수행하였으며 주요 선발계통은 4.0~12.5%의 유기율을 나타내었다.

5 인용문헌

이장용, 류시환, 박기진, 박종열, 서영호, 최재근, 김경희. 2014. 옥수수 육종에 배가반수체 기술의 이용: 이론과 실제. 강원도농업기술원. 춘천: 13~33.

Boerman NA, Frei UK, Lubberstedt T. 2020. Impact of spontaneous haploid genome doubling in maize breeding. Plants. 9: 369.

Bernardo R. 2009. Should maize doubled haploids be induced among F1 or F2 plants?. Appl. Genet. 119: 255-262.

Chaikam V, Martinez L, Melchinger AE, Schipprack W, Prasanna MB. 2016. Development and validation of red rood marker-based haploid inducers in maize. Crop Sci. 56: 1678~1688.

Chang, M.T. & Coe, E. 2009. in Molecular Genetics Approaches to Maize Improvement (eds Kriz, A. L. & Larkins, B. A.): 127~142.

Coe, E. 1959. A line of maize with high haploid frequency. The American Naturalist. 873: 381.

Prasanna BM, V Chaikam, G Mahuku. 2012. Doubled Haploid technology in maize breeding: theory and practice. CIMMYT, Mexico: 1~38

Prigge V, XW Xu, L Li, R Babu, SJ Chen, GN Atlin, AE Melchinger. 2012. New insight into the genetics of in vivo induction of maternal haploids, the backbone of doubled haploid technology in maize. Genetics 111: 781~793.

Gilles LM, Khaled A, Laffaire JB, Chaignos S, Gendrot G, Laplaige J, Berges H, Geydon G, Bayle V, Barret P, Comadran J, Martinant JP, Rogowsky PM, Widiez T. 2017. Loss of pollen-specific phospholipase NOT LIKE DAD triggers gynogenesis in maize. EMBO Journal 16(6): 707~717.

Kelliher T, Starr D, Richbourg L, Chintamanani S, Delzer B, Nuccio ML, Green J, Chen Z, McCuiston J, Wang W, Liebler T, Bullock P, Martin B. 2017. MATRILINEAL, a sperm-specific phospholipase, triggers maize haploid induction. Nature 542(7639): 105~109.

6 연구결과 활용

연도(연차)	활용구분	제목
2018(1년)	학술발표	(국내) 배가 반수체 기술에 의한 국내 옥수수 육종체계 변화
		(국제) Increasing Breeding Efficiency of Maize Inbred Lines by Doubled Haploid Technology in South Korea

연도(연차)	활용구분	제목
2018(1년)	계통육성증식	DH 우량계통 선발: 18DR04 등 8계통
2019(2년)	학술발표	(국제) Development breeding system of maize inbred lines by doubled haploid technology
	육성계통 자원등록	17DHF001 등 201계통
	홍보	옥수수 신육종기술 활용관련 세미나 개최 등 3건
2020(3년)	학술발표	(국제) 배가 반수체 옥수수 육종효율 향상을 위한 염색체 배가방법 비교
	품종출원	종실용 옥수수 '황금옥'(출원번호 2020-227)

성과지표명 \ 연 도		1년차(2018)		2년차(2019)		3년차(2020)		계	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적
학술 발표	국제	1	1	1	1	1	1	3	3
	국내	1	1					1	1
품종	출원					1	1	1	1
	등록								
우량계통 육성 선발 증식		5	8					5	8
생물자원 등록 기탁				10	201			10	201
홍 보					3				3
계		-		-		-		-	-

7 연구원 편성

구 분	소 속	직 급	성 명	수행업무	참여년도		
					'18	'19	'20
과제책임자	옥수수연구소	농업연구관	류시환	과제 총괄	○	○	○
1세부책임자	옥수수연구소	농업연구관	류시환	세부주관 수행	○	○	○
공동연구자	옥수수연구소	농업연구사	최재근	염색체 배가	○	○	○
	옥수수연구소	농업연구관	박종열	종자 선별	○	○	-
	옥수수연구소	농업연구사	남궁민	반수체 유기	○	○	○
	옥수수연구소	농업연구사	김문종	염색체 배가	○	○	○
	옥수수연구소	농업연구사	한정헌	육묘 관리	-	○	○
	옥수수연구소	농업연구사	최승출	자료 조사	○	○	○
	옥수수연구소	농업연구관	박기진	계통 평가	○	-	-
	옥수수연구소	농업연구관	최준근	육묘 관리	○	-	-
	옥수수연구소	농업연구관	함진관	계통 선발	-	○	-
	옥수수연구소	농업연구관	홍대기	생육 평가	-	-	○
	옥수수연구소	공업6급	용우식	생육 관리	○	○	○
	옥수수연구소	공업9급	남경남	시설 관리	○	○	-
	옥수수연구소	운전7급	서인석	조사 지원	○	○	○
	옥수수연구소	공무직	최명자	교배 작업	○	○	○