

과 제 구 분	지역특화	과 제 번 호	RS-2025-00437799	
과학기술분류	LB0106	품목표준코드	FC-04-0401	
주 관 과 제 명	강원 맞춤형 옥수수 신품종 재배기술개발 및 소비촉진 상품화 연구			
과 제 책 임 자	성 명	직 급	소속기관 및 부서	
	노 희 선	농업연구사	옥수수연구소	
연 구 기 간	2024 ~ 2025	참여연구기관	-	
세부과제명		부 서	세부책임자	연구기간
1) 가공상품 맞춤형 옥수수 고품질 생산기술 개발		옥수수연구소	노희선	'24~'25
2) 옥수수 상품성 향상을 위한 주요 병해충 방제기술 개발		농업환경연구과	김문중	'24~'25
3) 옥수수 소비확대를 위한 가공상품 사업화 및 수출		농식품연구소	권혜정	'24~'25
키 워 드	칼라찰옥수수, 팝콘옥수수, 사업화, 핵심집단			

ABSTRACT

This study aimed to develop high-quality corn cultivation technologies, advanced disease control techniques, and commercialization models for processed corn products, tailored to the conditions of Gangwon Special Self-Governing Province, South Korea. The research was conducted over 21 months (April 2024 – December 2025) with a total budget of 1,030,000 thousand KRW across three sub-projects. Sub-project 1 focused on developing production technologies for new corn varieties suited to processed products. Key outcomes include the establishment of specialized production bases in Jeongseon (Arari-chal), Donghae (Meokchal, Oryun No.2), and four additional regions for expanded production; the derivation of growing degree day (GDD)-based harvest prediction models (average GDD from silking to harvest: 347°C, CV 2.4%); and the identification of highland areas (Taebaek, 750m above sea level) as superior seed production sites yielding 40% more seed than conventional lowland (Hongcheon) sites. A core collection of 100 waxy corn lines was constructed using 63 SNP markers combined with phenotypic and genotypic data. The new variety 'Meokchal' (color waxy corn No. 113) was submitted for variety registration. Sub-project 2 addressed disease and pest management technologies. A smart sprayer was validated to reduce labor by 66.7%, water use by 30%, and spraying time by 50% compared to conventional methods, while maintaining a pest control rate above 94.6%. Standard inoculation protocols were established for *Fusarium subglutinans* and *Dickeya zeae*, and four promising stalk rot-resistant DH lines (RSR8, RSR19, RSR30, RSR34) were selected. A multiplex qPCR diagnostic system was developed capable of simultaneously detecting both pathogens with sensitivities as low as 10 pg (*Fusarium*) and 1 pg (*Dickeya*). Analysis of 245 fungal isolates from 7 counties revealed that *F. proliferatum* was the dominant species (57.4%), with fumonisin contamination exceeding safety thresholds detected in several sites. Sub-project 3 developed commercialization and export strategies for processed corn products. Optimized processing conditions were established for corn flour, beverages utilizing the anthocyanin-rich 'Arari-chal' variety, retort (convenience-style) corn products, and corn beer ("Oksigi Beer"). Product designs, packaging, and commercialization pathways were

developed in collaboration with regional cooperatives, food companies, and agricultural corporations. Technology transfers were completed for corn base, popcorn, and corn paste products. Total sales from specialty production bases reached approximately 159 million KRW in 2025, demonstrating the commercial viability of the developed systems.

1 연구목표

옥수수(*Zea mays* L.)는 세계 3대 작물 중 하나로 식량, 가축사료, 산업용 원자재 등 광범위한 분야에 활용되는 작물이다. 노지작물의 특성상 전 생육기간에 걸쳐 다양한 생물학적·비생물학적 스트레스에 노출되며, 그 중 가뭄은 전 세계적으로 옥수수 수량을 약 15% 감소시키는 가장 중요한 환경적 저해 요소로 꼽힌다. 국내에서도 2022년 기준 연평균 가뭄 발생 일수가 156.8일에 달하였고, 특히 5월 초기 생육기의 강수량 부족으로 발작물 재배에 심각한 영향을 미쳤다. 이에 따라 스프링클러 등 관수장비 활용이 증가하고 있으나, 이는 역설적으로 줄기썩음병 병원균 유입을 촉진하는 원인으로 작용하고 있다. 현재 옥수수 줄기썩음병은 발병 생태, 전염 경로 등 기초 정보가 부족하고 전용 약제 등록 및 방제 체계도 미비하여, 예방적 약제 처리만으로는 한계가 있어 저항성 품종 육성이 절실히 요구된다.

또한, 옥수수 생육 중후기에는 작물 특성상 인력에 의한 약제 살포가 어렵고 방제에 과도한 노동력이 소요되어, 안전하고 효율적인 방제기술 개발이 필요하다. 한편, 강원특별자치도는 국내 찰옥수수 종자 수요량 (연간 200톤 내외)의 상당 부분을 공급하며 국내 옥수수 종자산업을 선도하고 있으나, 최근 이상기후로 채종량이 목표 대비 64% 수준으로 감소하는 등 안정적 채종 기반이 위협받고 있다. 7월 출용기·출사기에 집중되는 고온 및 집중호우로 인한 수분·수정 불량을 근본적으로 해결하기 위해서는 기존 채종단지를 대체할 새로운 지역 발굴이 필요하다.

소비 측면에서도 찰옥수수의 가구당 구매 횟수는 2010년 1.2회에서 2021년 0.8회로 감소하였고, 30대 이하 소비자의 구매액도 같은 기간 절반 이하로 급감하여 젊은 세대의 소비 이탈이 뚜렷이 나타나고 있다. 이에 기존 찰옥수수 고유의 맛을 유지하면서 건강기능성 소비 트렌드에 부응하는 기능성 품종 육성과 가공·상품화 기술 개발이 시급하다. 따라서 본 연구는 가뭄·줄기썩음병 내재해성 계통 선발과 신육종기술 기반 품종 개발, GDD 기반 수확기 예측 및 고랭지 채종 안정화 기술 구축, 스마트방제기 활용 병해충 방제 효율화, 그리고 지역특화 품종을 활용한 고부가가치 가공상품 개발 및 사업화 모델 구축을 통해 강원 맞춤형 옥수수 산업의 경쟁력을 종합적으로 강화하는 것을 목표로 한다.

2 재료 및 방법

<제1세부과제: 가공상품 맞춤형 옥수수 고품질 생산기술 개발>

(시험 1) 상품화 원료 확보를 위한 기능성옥수수 신품종 생산단지 조성

국내육성 신품종 찰옥수수의 상품화 원료 확보를 위하여 '아라리찰'과 '떡찰(색찰교113호)'을 동해, 정선에 팝콘옥수수 '오료2호'를 동해에 지역특화 생산단지를 조성하였고 농가 안정재배와 소득창출 위하여 현장컨설팅을 실시하였다.

(시험 2) 신품종 생산단지 확대 및 산업화 연계 시스템 구축

신품종 생산단지 확대를 위하여 칼라찰옥수수 '미현찰', '미홍찰', '떡찰(색찰교113)', '아라리찰'을 강릉, 동해, 정선 3개소에, 팝콘옥수수 '오륜2호'를 동해, 평창에 농가 소득창출을 위한 특화단지 조성, 정선 '아라리찰' 특화단지에 신품종 재배농가 현장 컨설팅 및 산업화 연계 시스템 구축을 위한 업체 컨설팅을 실시하였다. 관련업체는 농업회사법인 한울, 가농영농조합법인, (주)설악산그린푸드이고, 유통업체는 여량농협, 춘천급식식자재, 유관기관은 강릉시농업기술센터, 동해시농업기술센터와 함께 연계시스템을 구축하였다.

(시험 3) 옥수수 주산지역 고품질 풋옥수수 생산을 위한 수확기 예측

찰옥수수는 수확시기가 지나면 과피가 두꺼워지며 당분의 전분화로 맛이 떨어지므로 적기 수확이 중요하다. 봄철 파종 시 찰옥수수 수확시기는 수염 발생 후 25일경이나 최근 이상기후로 인한 여름철 고온현상으로 옥수수 알곡 등숙이 가속화 되어 수확 시기가 앞당겨지고 있다. 고품질 이삭 수확을 위해 적기 수확이 중요하나 대부분 경험에 의존하므로 고온현상에 의해 수확시기를 놓치는 경우가 발생하고 있다. 본 연구는 수확기와 연관성이 높은 유효적산온도를 활용하여 적정 수확시기를 설정하고자 하였다. 유효적산온도설정은 옥수수연구소에서 미백2호, 미홍찰, 아라리찰을 활용하여 측정하였고 측정된 유효적산온도값이 농가에도 적용이 가능한지 검증하기 위해 찰옥수수 주산지인 동해, 홍천, 정선 농가의 수확시기를 조사하여 설정값을 검증하였다. 주요 조사항목은 파종기, 출용/출사기, 수확기, 알곡 성분함량, 기온 등이며 2년간(24~25) 수행하였고 유효적산온도는 아래의 식으로 계산하였다. 유효적산온도(GDD)는 최저기온 10℃ 이상, 최고기온 30℃ 이하 온도의 평균을 더한 값 $\sum((T_{max} + T_{min})/2 - 10^{\circ}\text{C})$ 최고기온 30℃ 이상이면 30℃, 최저기온 10℃ 이하이면 10℃로 산출하였다.

(시험 4) 기후변화 대응 안정 채종지 확보를 위한 고랭지 적응성 탐색

최근 기후변화에 따라 고온기에 적응성 탐색을 위하여 주요 품종의 모부분 9계통(HW3 등)을 기존 채종단지인 홍천(해발300m)을 대조구로 하고, 고랭지 지역인 태백(해발750m)에서 모본과 부분계통을 동시, 5일, 8일 간격 시차파종하여, 계통별 출용/출사기, 수량성, 강수량, 온도 등을 조사하였다.

(시험 5) 채종옥수수 습해 및 고온에 따른 조기 수확 시 적정 수확기 설정

채종옥수수 재배시 개화되고 수정이 되고 이삭으로 자라는 시기인 7~8월에 비가 많이 온 뒤 고온으로 꽃가루가 암술머리로 이동하지 못하거나 꽃가루 수명이 짧아져 수정이 되지 않는 등 채종재배에 많은 어려움을 주고 있다. 이때, 장마 후 고온으로 이삭의 생육이 더 진행되지 않고 적정 수확기인 출사 후 7주 보다 조기에 건조가 진행되는데 이때 조기 수확 가능성을 보기 위하여 습해 및 고온에 따른 조기 건조피해를 입은 미백2호(HW9, HW3)와 미홍찰(HW7, HW8)을 채종단지인 홍천 두촌, 원주 황둔, 영월 용일, 용이 총 4단지 5농가에서 출사 후 7주(관행), 6주, 5주에 수확하여 계통별 이삭특성인 이삭장, 착립장, 이삭폭, 수당열수, 열당립수, 이삭건조중, 백립중, 종실중, 발아율을 계통당 100립, 3반복, 25℃ 항온기에 두고 조사하였다. 단지별 파종일, 정식일 및 수확일은 표1.과 같았으며 경종방법은 재식거리 80×30cm, 흑색멀칭 재배(폭 120cm 멀칭 비닐을 사용하여 폭 100cm의 두둑을 만듦), 옥수수 표준시비법으로 복합비료(N:P:K=21:17:17)를 50kg/10a(시판비료 20kg 2.1포)를 사용하였으며, 토양살충제(모캡 등) 4kg/10a를 살포하였다.

표 1. 단지별 파종일, 정식일 및 수확일 산출

(단위: 월.일.)

단지 (지역)	품종	구분	파종일	정식일	출용기	출사기	출사 후 주수(수확일)		
							5주	6주	7주(관행)
두촌 (홍천)	미백2호	모본	4.17	5.7		7.6	8.5	8.12	8.19
		부분	4.23	5.12	7.3				
황둔 (원주)	미백2호	모본	4.23	5.15		7.7	8.8	8.15	8.22
		부분	4.27	5.10	7.4				
용일L (영월)	미백2호	모본	4.17	5.6		6.29	8.3	8.10	8.17
		부분	4.23	5.9	6.26				
용일P (영월)	미백2호	모본	4.18	5.4		7.2	8.6	8.13	8.20
		부분	4.22	5.6	6.26				
용이 (영월)	미흑찰	모본	4.26	5.11		7.6	8.10	8.17	8.24
		부분	4.22	5.6	7.7				

(시험 6) 신품종 육종소재 다양화를 위한 핵심집단 구축

국내 육성 찰옥수수 계통 표현형 분석을 하기 위하여 홍천 옥수수연구소 포장에서 2024년 4월 29일에 파종하여, 재식거리 60×30cm으로 1.2m, 완전임의배치법 1열 2반복(1,060계통 2반복)으로 식재하였다 (2023년은 기관고유 과제에서 동일한 방법으로 수행하였으며 5월 25일 파종하였고 재배 방법은 2024년과 같음). 2025년에는 5월 13일 B반복, 5월 14일 A반복을 파종하였고 난괴법 2열 2반복으로 시험구를 설정했다. 시비량(N-P₂O₅-K₂O)은 두해 모두 14.6-3-6kg/10a로 주었다. 주요 농업형질은 계통별 출용기, 출사기, ASI, 간장, 착수고율, 도복지수이고 자연발생 병 발생(깨씨무늬병, 줄기썩음병, 감부기병)을 지수로 평가했다. 25년에는 추가적으로 웅수장, 웅수 분지수, 분지수, 간경, 지수평가(부정근, 웅수형태, 분지수, 열해저항성)를 조사했다.

유전자형은 2024년 유색찰옥수수 590점, 2025년 흰찰옥수수 470점을 분석했다. DNA 추출을 위해 포트에 자란 어린 잎을 동결건조기(ShinBioBase, Korea)를 이용하여 건조시킨 후 Tissue Lyser II (Qiagen, Germany)를 이용하여 곱게 마쇄한 후 QIA symphony SP instrument와 QIA symphony DSP DNA Mini Kit (Qiagen, Germany)를 사용하여 제조사의 매뉴얼대로 Genomic DNA를 추출했다.

유전형 분석을 위해 Illumina MaizeSNP50K BeadChip(Illumina, USA)을 사용하였으며 제공 업체의 1차 필터링과 찰옥수수 염색체에 맵핑되지 않은 SNP를 제거하여 49,037개의 SNP를 획득하였다. 이 중 결측율 10% 이상, monomorphic 마커, 이형 접합도 20% 이상인 마커를 제외하고 21,981개의 SNP를 분석에 사용하였다.찰옥수수에 적용 가능한 핵심 마커 선별을 위해 기존 보고된 세 가지 방법을 통해 분석하여 각각의 결과를 비교하였다. 첫번째 방법은 지수 기반(shannon index, SI) 선발이며 다음의 식으로 계산되었다.

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \times \ln(p_i)$$

n은 마커 대립 유전자(allele) 또는 유전형(genotype)의 총 개수이며 p_i는 i번째 대립 유전자 또는 유전형이 집단에서 차지하는 비율, 즉 상대 빈도이다. 선택된 마커를 기준으로 하플로타입을 구성하고, 이때 계통 하플로타입의 구별 비율을 평가하였다. 매 반복 단계마다 남아 있는 후보 마커를 하나씩 추가하여 새로운 하플로타입 집합을 생성하고, 지수 증가량을 계산하였다. 그 중 지수의 증가폭이 가장 큰 마커를 다음 핵심 마커로 선정하였다. 만약 새로운 마커의 추가가 하플로타입 수 증가에 기여하지 못할 경우, 해당 SNP는 제외하여 알고리즘의 효율성을 높였고 모든 계통 쌍이 구별되거나 추가적인 지수 증가가 없는 시점에서

알고리즘이 종료되었다. 두 번째로 무작위적으로 SNP를 선별하여 모든 계통의 유클리디안 유전적 거리를 계산하고 그 최소값이 0 이상이 되는 조합을 찾았다(random sampling with genetic distance, RS). K는 10~100 범위로 설정하였고 각 k마다 6.0×10^5 회 세트 샘플링(k=20 부터 1.0×10^7 회) 실시하여 개선이 없으면 다음 k로 이행했다. 최대 구별력이 일정 횟수 개선되지 않으면 계산이 종료되며 그 시점의 K값 마커를 선별했다. 세번째 방법은 염색체별 균등 분포를 위해 유전적(genetic distance, gd)와 물리적 거리(physical distance, pd)를 이용한 fitness 함수를 활용했다(Rousselle et al., 2015). MaizeGDB database에서 IBM 및 LHRF 유전적 지도 (genetic map) 값을 활용하였고, 최종적으로 물리적 좌표와 유전적 좌표가 모두 존재하는 마커만을 분석에 사용하였다. 특정 교배조합에 이용되는 마커 선별의 편향성을 제거하기 위해 HW3과 HW9에만 존재하는 다형성은 제외했다. 위 과정을 반복하여 피트니스 값이 지속적으로 감소하는 최적의 마커 패널을 탐색했다. 각 SNP의 대립 유전자 빈도는 관측 유전자형에서 결측을 제외하여 추정하였고 $q=1-p$ 로 정의했다. Minor allele frequency(MAF) = $\min(p,q)$, polymorphism information content (PIC) = $2pq(1-pq)$, 기대 이형 접합도 (expected heterozygosity, H_e) = $2pq$ 로 산출했다. 그룹당 평균 대립유전자 수를 계산하고 또한 특정 그룹에서만 나타나고 다른 그룹에서는 관찰되지 않는 그룹 특이적 대립유전자(specific alleles)의 수를 산출하였다. 집단 간 분화지수(Fixation index, F_{st})는 Weir and Cockerham (1984) 추정을 사용해서 R 패키지 hierfstat로 계산하였다. 계통수 분석을 위해 각 마커셋 별로 독립적인 유전자형 행렬을 구성하고, 계통 간 유전적 동일도(identity)를 산출한 후, 이를 $-\ln(I)$ 로 변환하여 거리 행렬을 구하였다. 산출된 거리행렬은 ape 패키지를 이용해 Neighbor-Joining(NJ) 알고리즘으로 변환하였다. NJ 계통수 결과를 보조적으로 검증하기 위해 팁 수준에서 최근접 이웃이 동일 그룹 라벨과 일치하는 비율(nearest-neighbor purity, NN-purity)을 제시했다. 라벨을 무작위적으로 섞는 1,000회의 permutation을 수행하여 평균과 표준편차를 추정하고 관측 NN-purity가 베이스라인을 얼마나 상회하는지 Monte-Carlo p-value로 보고했다. Principal coordinate analysis (PCoA) 분석을 위해 개체간 Nei의 유전적 거리 행렬을 구하고 ape 패키지를 이용하여 고유값 분해를 수행했다. 양의 고유값에 대한 분산 기여도를 계산하여 PCoA1, PCoA2의 기여율을 축 라벨로 적용했다. 필요시 음의 고유값이 유의할 경우 Cailliez/Lingoes 보정을 적용했다.

핵심집단 추출은 Powercore 프로그램을 활용하여 유전자형과 표현형을 활용하여 추출하였다.

(시험 7) 찰옥수수 지역특화 품종 출원

강원특별자치도를 대표하는 지역특화품종을 개발하기 위해 지난 '21~23년도까지 3년간 지역특화연구과제를 수행하면서 정선, 동해 2지역에 8교잡종을 공시하여 지역적응성 평가를 진행하였다('23~'24). 최종 선별된 '떡찰'은 동해에서 재배안정성 및 수량성이 뛰어나 동해지역 적합품종으로 선별하여 품종 출원하였다.

<제2세부과제: 옥수수 상품성 향상을 위한 주요 병해충 방제기술 개발>

(시험 1) 스마트방제기 이용 병해충 방제효과 검정(2024~2025)

옥수수 재배 현장에서 활용 가능한 스마트방제기의 방제 효율과 경제성을 검증하기 위해 2024년부터 2025년까지 수행되었다. 파밤나방(*Spodoptera frugiperda*)은 옥수수의 주요 해충으로 심각한 수량 감소를 유발한다 (Goergen et al., 2016). 이러한 파밤나방을 대상으로 클로란트라닐리프를 입상수화제를 처리하여 방제시험을 실시하였으며, 재식밀도, 노즐 크기, 약대 형태 등 스마트방제기의 운용 조건을 달리 설정하여 처리하였다. 각 처리조건에 따른 방제효과를 조사·분석하고, 방제 소요 시간, 노동력, 약제 사용량 등을 종합적으로 비교함으로써 스마트방제기의 현장 적용 가능성과 경제적 타당성을 평가하였다.

(시험 2) 옥수수 줄기썩음병 표준 저항성 평가 방법 구명(2024)

옥수수 줄기썩음병에 대한 표준화된 저항성 평가 방법을 확립하기 위해 수행되었다. 미백2호를 시험재료로 하여 *Dickeya zeae*는 옥수수 줄기썩음병의 주요 세균성 병원균으로 알려져 있으며(A Kumar et al., 2017), *Fusarium* sp.는 옥수수 줄기 및 뿌리 부패를 유발하는 대표적인 토양전염성 병원균이다(Chuankin Yu et al., 2016). *Dickeya zeae* 및 *Fusarium* sp. 균주를 접종균으로 사용하였으며, 포자 농도(1×10^4 , 1×10^6 , 1×10^8 cfu), 접종 방법(주사, 침지, 스프레이) 및 접종 시기(파종 후 10일, 20일, 30일)를 달리하여 시험을 수행하였다. 각 처리구는 5주씩 4반복으로 구성하였으며, 처리조건별 발병 양상을 조사·분석함으로써 최적 발병 조건과 저항성 평가 기준을 설정하였다.

(시험 3) 옥수수 줄기썩음병 저항성 계통 선발(2024~2025)

옥수수 줄기썩음병 저항성 계통 선발을 목적으로 2024년부터 2025년까지 수행되었다. 1차년도에는 배가 반수체를 활용하여 육성된 저항성 후보 99계통을 대상으로 선발 시험을 실시하였으며, 2차년도에는 1차년도에서 선발된 33계통을 대상으로 정밀 검정을 수행하였다. *Dickeya zeae* 및 *Fusarium* sp. 균주를 이용하여 인공접종 후 5~9일 경과 시 발병 정도를 조사하였고, 계통별 생육 특성과 발병 양상을 종합적으로 평가하여 저항성이 우수한 계통을 선발하였다.

(시험 4) PCR 이용 옥수수 줄기썩음병 조기진단 기술 개발(2024~2025)

옥수수 줄기썩음병의 조기진단 기술 개발을 위해 2024년부터 2025년까지 수행되었다. *Dickeya zeae* 및 *Fusarium* sp.를 대상으로 병원균 DNA를 추출하고 RT-PCR 기법을 활용하여 진단 조건을 확립하였다. 선발된 프라이머의 효율성과 특이성을 검증하였으며, 병원균 노출 시간에 따른 진단 민감도를 평가함으로써 현장에서 활용 가능한 조기진단 기술 기반을 구축하였다.

(시험 5) 도내 옥수수 이삭썩음병 병원성 평가 및 독소 분석

도내 옥수수 이삭썩음병의 병원성 특성과 독소 생성 특성을 규명하기 위해 수행되었다. 홍천 등 5개 지역에서 수집한 이삭썩음병 이병 시료로부터 병원균을 분리·배양한 후 유전자 분석을 실시하였으며, 옥수수 이삭 곰팡이 독소의 화학형을 분석하였다. 또한 *Fusarium* sp. 등 5종 병원균을 대상으로 병원성 검정을 실시하고 독소 생성 능력을 비교함으로써 도내 이삭썩음병 관리에 필요한 기초 자료를 확보하였다.

<제3세부과제: 옥수수 소비확대를 위한 가공식품 사업화 및 수출>

(시험 1) 국내 육성 옥수수 반가공 제품 개발

국내 육성 찰옥수수, 아라리찰옥수수 및 일반옥수수를 시험재료로 활용하여 반가공 식품소재 개발 가능성을 검토하고자 수행하였다. 찰옥수수전분, 콘그릿츠, 혼반소재 및 음료용 액상 소재 등 다양한 식품소재로 활용하고자, 풋옥수수 및 알곡을 대상으로 증숙 여부, 급속냉각, 건조 방법 등 전처리 공정 조건을 달리하여 처리하였다. 각 처리조건에 따른 반가공 제품의 품질 특성, 물성, 색도 및 관능 특성을 조사·분석함으로써, 옥수수 반가공 제품 개발을 위한 기초 자료를 확보하고 가공공정 설정의 적정성을 평가하였다.

(시험 2) 칼라찰옥수수 활용 음료 개발

아라리찰옥수수를 활용하여 아라리찰옥수수의 색감과 기능적 특성을 살린 음료 제품 개발을 목적으로 수행되었다. 음료 3종 세트 구성을 목표로, 색소 성분의 안정적 추출을 위한 추출 및 농축 조건을 설정하고, 과일류 등 부재료의 조합과 배합비율을 달리하여 제조하였다. 또한 제품의 저장성과 유통 가능성을 고려하여 소비기한을 설정하였으며, 각 처리조건에 따른 음료의 품질 특성, 물성, 색도 및 관능 특성을 조사·분석함으로써 아라리찰옥수수 음료의 상품화 가능성을 평가하였다.

(시험 3) 찰옥수수 활용 간편 편이 제품 개발

찰옥수수와 아라리찰옥수수를 시험재료로 활용하여 수확 후 간편하게 소비할 수 있는 편이제품 개발을 목적으로 수행되었다. 수확된 옥수수를 대상으로 포엽제거를 포함한 전처리 공정을 적용한 후 필름포장을 실시하고, 레토르트 처리를 하며 저장·유통 조건을 설정하였다. 또한 실제 판매를 고려한 포장디자인, 용기 및 포장용 박스를 제작하여 제품의 사업화 가능성을 검토하였다. 각 처리조건에 따른 제품의 품질 특성, 물성, 색도, 관능 특성 및 소비기한을 조사·분석함으로써 찰옥수수 간편 편이제품의 저장 안정성과 상품성을 종합적으로 평가하였다.

(시험 4) 옥수수 이용한 맥주 개발

찰옥수수 및 일반옥수수를 시험재료로 활용하여 옥수수 특성을 반영한 맥주 제품 개발을 목적으로 수행되었다. 옥수수 원료의 발효 적합성을 높이기 위해 효모를 선발하고, 옥수수 껍질 제거 여부 등 전처리 공정을 달리하여 처리하였으며, 옥수수 원료의 배합비율을 조절하여 옥수수 맥주를 제조하였다. 제조된 맥주에 대해 품질 특성, 물성, 색도 및 관능 특성을 조사·분석함으로써, 옥수수 원료의 종류 및 전처리 조건에 따른 맥주 품질 특성을 비교하고 제품화 가능성을 평가하였다.

(시험 5) 지역축제 연계 옥수수 가공 선물 세트 개발

옥수수 가공품을 활용하여 지역축제와 연계한 선물세트 상품을 개발하고자 수행되었다. 옥수수 맥주와 팝콘 등 기개발된 옥수수 가공품을 시험재료로 활용하여 축제 특성과 소비자 수요를 반영한 가공품 구성 및 세트화를 추진하였다. 아울러 실제 유통 및 판매를 고려한 포장디자인, 용기 및 포장용 박스를 제작함으로써 지역축제 연계 상품의 완성도와 사업화 가능성을 검토하였다.

(시험 6) 기개발 옥수수 가공품 사업화 및 수출 활성화 지원

찰옥수수, 아라리찰옥수수, 일반옥수수를 원료로 개발된 옥수수 가공제품의 사업화 및 수출 확대를 목적으로 수행되었다. 옥수수범벅과 죽 등 레토르트제품을 비롯하여 옥수수 떡, 빵, 스낵 및 팝콘 등 다양한 가공품을 대상으로 제조공정을 보완하고, 포장디자인, 용기 및 포장용 박스를 제작하여 상품 완성도를 제고하였다. 아울러 재배단지에서 가공업체를 거쳐 농협식품으로 유통되는 협업 구조를 구축함으로써 안정적인 사업화 모델을 마련하였으며, 수출업체 발굴과 수출 대상 상품 선발을 통해 신규 수출시장 개척 가능성을 검토하였다.

3 결과 및 고찰

<제1세부과제: 가공상품 맞춤형 옥수수 고품질 생산기술 개발>

(시험 1) 상품화 원료 확보를 위한 기능성옥수수 신품종 생산단지 조성

○ 옥수수 지역특화품종 생산단지 조성 및 생산, 판매 현황

기능성 찰옥수수 신품종과 팝콘옥수수를 지역특화품종으로 육성하고자 지역별로 특화하여 생산단지 조성을 조성하였다. 정선에는 '아라리찰' 특화단지를 여량농협과 7농가가 계약재배하여 2.4ha 조성하였다. 총 89,070개, 40백만 원을 판매하였다. 동해에는 '떡찰'(색찰교113호) 생산단지 0.2ha 조성하여 6,500개 생산, 총 5,800개, 6백만 원을 인터넷 사이트 옥시기닷컴으로 판매하였으며, '오륜2호' 는 (주)제이엔이와 5농가가 계약재배하여 4.0ha 조성하여 12톤 생산, 10.9톤, 70백만원 판매하였다. 총 2지역에 3품종의 신품종 생산단지를 조성하여 총 117백만원의 판매실적을 올렸다 (표1).

표 2. 옥수수 지역특화품종 생산단지 조성 및 생산, 판매 현황(2024)

지역	품종	면적 (ha)	생산량 (개,톤)	판매량 (개,톤)	판매단가 (원)	총판매액 (천원)	비고
2지역	3품종	6.6				117,635	
정선	아라리찰	2.4	-	89,070개	320-470원/개	40,405	여량농협 계약재배 도*길 등 7농가
동해	떡찰 (색찰교113호)	0.2	6,500개	5,800개	1,100원/개	6,380	옥시기닷컴 판매 강*준 농가
	오륜2호	4.0	12톤	10.9톤	6,500원/kg	70,850	(주)제이엔이 계약재배 유*봉 등 5농가

○ 정선 '아라리찰' 재배농가 현장 컨설팅

2024년 6월 25일 강원특별자치도 정선군 북평면 남평리의 '아라리찰' 재배단지의 현장컨설팅을 실시하였다. 재배농가 현황은 표2와 같이 7농가 총 24,000m² 재배하고 있다.

표 3. 정선 '아라리찰' 재배농가 현황

구분	정선(북평면)							
	계	도*길	이*제	송*갑	김*만	최*순	박*덕	김*자
재배면적(m ²)	24,000	4,300	3,000	1,700	1,700	5,300	7,000	1,000
파종시기(월, 일)	-	4.4	5.7	5.2	4.8	4.9	5.3	4.8
정식시기(월, 일)	-	4.24	5.24	5.21	4.29	4.29	5.25	4.29
출용기(월, 일)	-	6.21	-	-	6.20	6.26	-	6.26
출사기(월, 일)	-	6.24	-	-	6.21	6.27	-	-

생육상황을 파종시기별로 나누어 보면 4월 파종농가의 경우 전체적으로 생육이 양호하고, 생식생장단계에 있었으며, 5월 파종농가도 전체적으로 생육이 양호하였으며, 영양생장단계에 있었다. 특히, 김*자 농가는 일조량이 부족해 생육이 상대적으로 불균일한 것으로 나타났다. 주요 컨설팅 내용으로 수확시기가 가장 중요함으로 출사 20일 이후에 알곡 성숙 정도를 확인하여 수확시기 설정이 필요하여 수확적기의 이삭사진을 제공하였다. 조명나방 방제는 출사 이후 약제 처리 시 효과가 가장 크므로 화분활력이 가장 높은 오전시간을 피해 약제처리할 것을 권장하였다. 또한, 진딧물 방제약과 나방유충 방제약 혼용 시 약해가 발생할 수 있으므로 시기를 두고 한가지씩 처리할 것과 풋옥수수 상품성을 유지하기 위해 낱품 전날에 수확하는 것을 지양하고 신선도 유지를 위해 당일 새벽 수확을 권장하였다.



그림 1. 정선 '아라리찰' 재배농가 전경

○ 동해 '먹찰'(색찰교113호) 재배농가 현장 컨설팅

2024년 7월 9일 동해시 전천로 97-2 강*준 농가 현장컨설팅을 실시하였다. 재배현황은 표 4와 같이 재배면적은 2,000m², 수확량은 6,400개 이었다.

표 4. '먹찰' 재배현황(2024)

구 분	내 용
재배면적(m ²)	2,000
파종시기(월, 일)	4월 3일
정식시기(월, 일)	4월 27일
출웅기(월, 일)	6월 11일
출사기(월, 일)	6월 14일
간장(cm)	179
착수고율(%)	44
수확일(월, 일)	7월 7일~ 7월 10일
수확량(점)	64

표 5. '먹찰' 재배단지 이삭특성

이삭길이 (cm)	착립길이 (cm)	이삭폭 (cm)	이삭열수 (열)	이삭무게 (g/주)	10a당 이삭무게 (kg/10a)
20.6	19.5	3.7	12	167	551

재배단지 생육상황을 보면 생육이 균일하며 이삭 끝이 노출되는 현상이 보이지 않아 ‘떡찰’의 재배 안정성을 확인하였다. 수확시기 설정이 가장 중요하므로 출사 20일 이후에 알곡 성숙정도를 확인하여 수확시기 설정을 할 수 있게 수확적기의 이삭사진 공유하였다. ‘떡찰’(색찰교113호)은 과피에 안토시아닌이 형성되며 삶을 시 색소가 용출될 수 있으므로 판매 시에 소비자에게 공지 후 증숙 처리하는 것을 권장하도록 하였으며, 신선도 유지를 위해 당일 새벽 수확하는 것과 마른 알곡을 이용하고자 할 때는 수분함량(13%내외)을 낮추는 것이 품질에 중요하다는 것을 알려드렸다. 앞으로 ‘떡찰’(색찰교113호)은 동해지역에서 재배 안정성을 보여 재배면적을 1ha로 늘려 단지화 할 계획입니다.



그림 2. 동해 ‘떡찰’ 재배농가 전경

○ 동해 팝콘옥수수 생산·판매업체 현장 컨설팅

2024년 8월 13일 강원특별자치도 동해시 전천로 97-2 수평선 F&B에 현장컨설팅을 실시하였다. 대상업체는 팝콘옥수수를 10농가와 함께 재배하여 (주)제이엔이로 전량 납품할 예정이다. 23년 5ton에서 24년 15ton으로 늘려 납품할 예정이다.

주된 애로사항으로는 (주)제이엔이에서 수매하는 가격이 현재 kg 당 4,000원이나 물가 상승으로 생산원가 5,000원/kg 소요되므로 농가희망 수매 가격 7,000원/kg이었다. 또한, 콘옥수수를 장기 보관하는 과정에서 온습도 관리가 중요, 가공 단계에서는 자동화 및 위생 관리 수준을 높여야 하며, 특히, 팝콘옥수수는 수분 함량이 12% 정도 유지해야 잘 튀겨진다. 앞으로 판매 및 마케팅은 (주)제이엔이 납품외에 소셜미디어와 같은 디지털 마케팅을 통한 소비자 인식 제고와 시장 확대가 필요하며, 다른 판로로는 직거래로 kg당 10,000원의 비교적 높은 가격을 형성하고 있으며, 다양한 밀키트로 판매하는 것이 필요하다. 또한, 기계화로 수확 및 탈곡이 동시에 되는 옥수수 수확기 도입 검토가 필요하다.



【현장 컨설팅】

【재배포장】

【가공공장 전경】

그림 3. 동해 팝콘옥수수 생산, 판매업체 현장컨설팅

○ 정선 팝콘옥수수 생산능가 현장 컨설팅

2024년 8월 28일 강원특별자치도 정선군 부평면 오대천로 26-7 신*희 농가에서 현장컨설팅을 실시하였다. 팝콘옥수수로 품질이 뛰어난 『오륜 2호』품종 특성 설명하였다. 수량성은 오륜품종 대비 9% 증수한 497kg/10a로 높으며, 오륜품종(16.2g/100립)에 비해 소립(15.7g/100립), 도복에 강하고, 튀김율이 27배로 오륜품종 25배 보다 높아 가공용으로 적합한 품종이다. 팝콘사업 전략으로 목표는 국내팝콘 유통 판매처인 (주)제이엔이의 1년 판매물량의 1% 점유하는 것으로 현재 생산하는 4톤에서 4,500ton의 1%인 45톤으로 목표를 세웠다. 이를 위하여 팝콘 재배능가 확보를 위한 정선 팝콘 재배 단지조성 및 재배기술 교육 지원하겠습니다. 또한, 현장애로사항 및 해결책 제시하였습니다. 문제점은 이삭끝이 벌어져서 비가 온 후 곰팡이 발생으로 상품성이 떨어지는 것을 막기 위하여 이삭끝 절단 후 수매하는 방법 검토하고 및 재배·육종 연구강화하고자 합니다.



그림 4. 정선 팝콘옥수수 생산, 판매업체 현장컨설팅

○ 여량농협 찰옥수수 가공공장 현장 컨설팅

2024년 8월 28일, 강원특별자치도 정선군 여량면 고양로 46에서 현장컨설팅 하였습니다. 찰옥수수 가공공장 현황은 1992년 공장 신축, 찰옥수수 냉동상품, 레토르트 상품 생산, 판매하고 있으며, 2024년 찰옥수수 수매 총 13,080점 달성하였으며, 이중 98%가 미백2호로 12,800점 이었다. 애로사항 및 해결책 제시하였다. 아라리찰은 자색 알곡으로 안토시아닌이 함유되어 눈건강 등 기능성이 있으나 기존 미백 품종에 비해 이삭중이 적어 수매하여 판매할 때 수량면에서 불리하며, 색소가 수용성으로 조리시 색소가 빠지는 현상이 있음 알리고, 기능성 홍보 및 색소옥수수 단가를 높게 책정할 수 있는 노력이 필요합니다. 냉동상품을 생산하기 위해서는 수확 후 24시간 내에 급속 냉동이 중요하여, -22℃로 속대까지 냉동시켜 관리하기 위해서 초기예냉시스템을 작동시키고 있었다. 판매 및 마케팅은 제품 직거래 판매가 가능한 가공업체 연결하고, 소비자기호도(다양성, 기능성)에 맞는 옥수수의 모든 것을 non-stop으로 해결하는 체계 구축하고자 한다.



그림 5. 정선여량농협 찰옥수수 가공공장 현장컨설팅

가공품 판매사례

바로먹는 찰옥수수 아라리찰, 미백찰 레토르트 상품

- 유통판매: 정선 여량농협
- 제 조 사: 한울 농업회사법인 주식회사
- 레토르트 상품 연간 10만개 판매 * 연중판매 가능 매월 1만개 판매
 - 옥수수 수매가: 950 ~ 1,000원/개, 상품 판매가: 3,500~3,900원/개
 - ☞ 최근 건강 간식으로 인기, 베트남 수입산 유통으로 가격저항 있음



(시험 2) 신품종 생산단지 확대 및 산업화 연계 시스템 구축

○ 옥수수 지역특화품종 생산단지 조성계획

찰라찰옥수수, 팝콘옥수수 원료곡 생산단지 조성을 위하여 2025년도에는 강릉, 동해, 정선, 평창 4시군에 아라리찰, 먹찰(색찰교113호), 오륜2호, 미현찰, 미홍찰을 총 114kg 종자를 보급하여 11.4ha의 보급면적을 예상하였다(표 6).

표 6. 옥수수 지역특화품종 종자보급량 및 생산단지 조성계획

지 역	품 종	종자보급량 (kg)	면적 (ha)	참여농가수 (농가)	비 고
4지역	5품종	114	11.4	19	
강릉	미현찰	16	1.6	4	직접판매
	미홍찰	6	0.6	1	센터신품종 보급사업 연계
동해	먹찰(색찰교113)	6	0.7	1	-
	오륜2호	10	1.0	1	-
정선	아라리찰	26	2.6	6	계약재배
평창	오륜2호	50	5.0	6	가능

○ 옥수수 지역특화품종 생산량 및 판매실적

옥수수 지역특화품종 생산량 및 판매실적은 표 7과 같았다. 전체 재배면적은 7.92ha, 생산량은 찰옥수수 53,548개, 팝콘옥수수 13,000kg으로 총 판매액은 159,157,090원이었다. 강릉시에 보급한 '미현찰'과 '미홍찰'은 농업기술센터의 보급사업과 협업하였다. '미홍찰'에 비해 '미현찰'의 재배선호가 높았으나, 생육초기 가뭄과 병충해 피해로 상품판매량이 저조하였으며, 주로 지역원예농협로컬푸드코너와 직거래로 판매하였고, 진공급냉 후 인터넷 판매하는 농가도 있었다. 동해시에는 '먹찰'을 보급하였으나 가뭄피해로 고사하여 생산하지 못하였다. 정선군에 보급한 '아라리찰'은 6농가에서 2.6ha 재배하여 44,048개 생산하였고, 정선여량농협에서 수매하였으며, 2024년에 수매한 냉동상품을 홈쇼핑에서 알곡과 이삭상품으로 총 27,607,090원의 판매수익을 올렸다. 평창군에 보급한 팝콘옥수수인 '오륜2호'는 다른 해에 비하여 가뭄피해가 심하여 50%가 고사하여 생산량이 줄었다. 6개 농가가 2.62ha 재배하여 13,000kg 생산하여 11,700kg 판매하여 총 88,150,000원의 판매수익을 올렸다. 주요 거래처는 제이앤이와 한국친환경에 판매하였다. 전체적으로 가뭄피해가 컸으며, 이를 해결하기 위한 노지 관수 대책에 필요하다고 생각되었다.

표 7. 옥수수 지역특화품종 재배면적, 생산량 및 판매실적(2025)

품종	농가명	재배면적 (ha)	생산량 (개, kg)*	판매량 (개, kg)	판매단가 (원)	총판매액 (원)	비고
5품종		7.92	53,548개 13,000kg			159,157,090	
미현찰	소계	1.35	5,500	27,000		27,400,000	
	김*선	0.3	300	1,000	600	600,000	가뭄, 병충해 피해 상품판매량 저조
	박*중	0.2	1,200	6,000	1,800	10,800,000	진공급냉 인터넷 판매
	최*애	0.2	-	-	-	-	가뭄피해로 수확 못함
	함*기	0.65	4,000	20,000	800	16,000,000	6월말 파종구 고온 가뭄피해 원예농협 및 직거래
미홍찰	함*기	0.65	4,000	20,000	800	16,000,000	"
먹찰	강*준	0.7	0	0	0	0	가뭄피해로 고사
아라리찰	소계	2.6	44,048		1,700~7,845	27,607,090	
	김*자	0.1	2,385				※ 정선 여량농협 구매
	김*만	0.4	11,520				※ 판매액은 '24년산
	도*길	0.4	9,800				홍소핑 냉동상품
	박*덕	0.8	-				(알곡200g, 이삭5개)
	장*이	0.5	9,933				
	최*순	0.4	10,410				
오류2호	소계	2.62	13,000	11,700		88,150,000	
	강*준	1.0	1,400	1,000	9,000	9,000,000	가뭄으로 50% 고사
	강*철	0.1	1,400	1,300	7,500	9,750,000	제이앤이 판매
	김*성	0.27	3,000	2,800	7,500	21,000,000	제이앤이 판매
	박*중	0.1	1,200	1,100	6,500	7,150,000	한국친환경 판매
	신*선	1.0	4,500	4,300	7,500	32,250,000	제이앤이 판매
	유*규	0.15	1,500	1,200	7,500	9,000,000	제이앤이 판매

* 생산량 단위: 찰옥수수(미현찰, 미홍찰, 먹찰, 아라리찰) 개, 팝콘옥수수(오류2호) kg

○ 지역특화품종 안정생산과 산업화 연계를 위한 업무협의 및 컨설팅

앞서 보급한 지역특화 신품종의 안정생산과 산업화 연계를 위하여 관련 업체, 유관기관, 농가, 법인 등과 업무협의 및 컨설팅한 내역은 표 8과 같이 9회 실시하였다.

표 8. 옥수수 지역특화품종 관련 업무협의 및 컨설팅 개요

번호	일시	장소	참석자	주요내용
1	1.10	농업회사법인 한울	소장등 4	아라리찰 가공업체(한울) 업무협의 및 컨설팅
2	2.13	정선 여량농협	조합장 등 6	아라리찰 재배단지 작목반 조성 관련 협의 찰옥수수 재배 농민 강의: 재배기술

번호	일시	장소	참석자	주요내용
3	2.17	가농영농 조합법인	대표이사 등 5	평창 가농영농조합 팥콘옥수수 업무협약 및 컨설팅 · 논 대체작물 재배, 국내산 팥콘 수요 있음 · 수확시 인건비 많이 소요되어 자동화 필요
4	2.19	강릉시농업 기술센터	기술보급과장 등 4	강릉시 색찰옥수수(미현찰, 미홍찰) 신품종 보급사업 업무 협약 및 컨설팅
5	2.19	동해시농업 기술센터	센터소장 등 7	색찰옥수수 '먹찰' 업무협약 및 현장컨설팅 ※ 판로개척 개당 70원 보상 검토
6	4.16	옥수수연구소	채종단지장 등 14	옥수수 보급종 채종단지 관계기관 업무협약의 · 3시군 7단지 원종배부, 생육관리 요령 등
7	5.28	정선 북평면	도수길 농가 등 6	아라리찰 재배단지 농가 현장컨설팅
8	8.28	인터불고호텔	여량농협 공장장 등 6	『아라리찰』판로개척 강원농식품페어 참석 · 품종 홍보, 급식요리 전시, 업체컨설팅
9	9.4	농업회사법인(주) 설악산그린푸드	대표 등 6	설악산 그린푸드 업무협약 및 컨설팅 · 중국산 찰옥수수 경쟁력 향상:저가 고품질 · 상품개발 아이템 제공

‘아라리찰’ 가공업체(한울) 업무협약 및 컨설팅은 2025년 1월 10일 금요일에 경상북도 영천시 농업회사법인 한울에서 실시하였다. ‘아라리찰’ 활용 가공상품은 레토르트 형태로 무수분 공법 활용 멸균 개별포장으로 3개월 동안 실온보관이 가능하며, 시장가격이 3,500~3,900원/개(편의점, 온라인채널)로 형성되어 있었다. 문제점으로는 신품종인 ‘아라리찰’의 기능성을 알리기 위한 홍보가 필요하며, 높은 가격으로 인해 시장이 진입이 어렵다는 것이었다. 개선방향은 원물이 아닌 기능성 추출물을 첨가제로 활용(쿠키, 젤리 등)한 상품개발, 속대 등 부산물을 활용한 Upcycling 상품 제작을 희망하였다. 앞으로는 서울식품박람회 등 부스 운영을 통한 홍보 확대와 ‘아라리찰’의 안토시아닌 등 기능성 입증에 위한 근거자료를 마련할 계획이다.

2025년 2월 13일 목요일 정선군 여량농협에서 조합장, 이사, 가공 공장장 등과 2025년도 ‘아라리찰’ 풋이삭 계약재배 및 수매에 대하여 업무협약을 진행하였다. 재배면적 3ha, 수매량은 1,000점을 계획하였으며, 수매단가는 탈피한 것은 특 550원, 상 400원, 탈피하지 않은 것은 특 470원, 상 320원으로 하였다. 계약재배 농가의 품질향상을 위하여 찰옥수수 재배기술 강의를 함께 추진하였다. 재배 기술 및 농약 사용 시 주의 사항에 대하여 강의하였다. 앞으로 ‘아라리찰’ 재배단지 작목반이 구성됨에 따라 지속적으로 컨설팅을 실시하여 재배단지 효율적 관리를 위한 방안 모색하기로 하였다.



【농업회사법인 한울 업무협약】



【여량농협 업무협약】



【재배농가 교육】

그림 6. ‘아라리찰’ 안정생산과 산업화를 위한 업무협약 및 농가교육 전경

평창 가농영농조합 팝콘옥수수 업무협의 및 컨설팅을 2025년 2월 17일 월요일 평창군 용평면 계천평길 52-14에 소재하고 있는 가농영농조합법인에서 백승진 대표이사, 김강국 사무국장을 만나서 추진하였다. 가농영농조합법인은 팝콘옥수수 재배를 고랭지채소 윤작시스템에 활용하고 있으며, 친환경재배 전체 면적(49ha)의 1/3(약16ha)을 팝콘 재배하고 있다. 더불어 경축순환농법 체계를 갖추고 생산하고 있었다. 2024년에는 국내최대팝콘유통회사인 (주)제이엔이에 35톤 납품(24)하였다. 납품가격은 제이엔이에 kg당 (14) 5,000원으로 시작하여 6,900원으로 상향 후 2024년에는 7,500원으로 납품하였다. 소포장 제품(300g)은 유기재배의 경우 3,500원, 무농약재배는 3,100원으로 판매하고 있으며, 매년 단지에서 30~40톤 생산량 유지하고 있었다. 팝콘재배는 논 대체작물로 소득이 좋고, 국내산 팝콘 수요 있으며, 주된 사용처인 극장수익의 대부분은 팝콘 판매금으로 충당하고 있으며, 원료곡은 판매금액의 2% 정도 밖에는 차지하지 않고 있는 실정이다. 현재 문제가 되는 부분은 국산알곡이 수입산 가격의 5배로 국내산 팝콘의 가격경쟁력 낮다는데 있으나, 저탄소 상품이라는 명분으로 수입산과 경쟁이 가능하며, CGV의 경우 유기농, 저탄소를 겨냥하여 유기농 팝콘 사용하고 있으며, 소비자에게도 『저탄소』, 기업『ESG』 트렌드를 반영하여 가치소비 유도를 할 수 있다는 기회가 있다. 하지만, 현실적으로 판매처는 많으나 수확에 드는 비용도 많아 결과적으로 농가수익이 낮아지는 한계가 있어, 가농영농조합법인에서는 친환경재배를 위해 윤작으로 팝콘옥수수 재배하는 것을 의무화하고 있다. 앞으로 이러한 현장애로 사항을 해결하기 위해서는 인건비가 가장 많이 소요되는 수확기(전체 비용의 60%)의 인건비를 대체할 수 있는 옥수수 전용 수확기 개발이(수확, 거피 자동화) 필요하다. 상대적으로 옥수수 탈곡, 건조, 알곡선별 작업은 기계화 되어있다. 더불어 팝콘 품질 향상을 위해서는 버섯모양으로 튀겨지는 품종육성이 필요하다는 요청이 있었으며, 우리 연구소에서는 조속한 시일내에 버섯모양의 팝콘옥수수 품종을 육성할 예정이다.



그림 7. 평창가농영농조합법인 업무협의

강릉시 찰옥수수 업무협의 및 컨설팅은 2025년 2월 19일 수요일에 강릉시농업기술센터(강원특별자치도 강릉시 사천면 동해대로 3738-17)에서 기술보급과장과 담당지도사와 함께 실시하였다. 강릉시는 색찰옥수수 신품종 보급 사업을 2024년 실시하여 미현찰, 미홍찰, 골드찰, 8농가 총 1.8ha 재배하였으며, 강릉달밤옥수수 브랜드 박스(1,000개)와 홍보스티커를 제작하여 보급하였으며, 수확한 칼라찰옥수수 신품종은 농협수매, 택배, 로컬푸드 납품, 가공(급냉, 옥수수살, 빵튀기, 차)으로 판매하였다. 현재 고온 및 가뭄으로 상품성 저하 및 수량이 20% 정도 감소한다는 문제가 발생하고 있었다. 색소찰옥수수 '미현찰'은 2023년 보다 물빠짐이 덜하여 소비자 만족도 향상되었다. 신품종의 판매가격은 삶아서 냉동 진공포장하여 개당 1,800원으로 판매하고 있으나, 기존 품종인 '미백2호'에 비교해서는 물빠짐 문제과 식감이 떨어지고, 이삭크기가 작은 단점이 있어, 이를 해결하기 위해서는 색소(안토시안)의 기능성 설명 및 물빠짐에 대한 장점 홍보하는 것이 필요하다. 2025년 사업 전에 재배농가에 품종설명회 및 생산자 협의회 추진하고, 수확기 예측을 위한 유효적산온도 활용법 및 수확시간 등에 대하여 농가현장컨설팅 실시하였다.



그림 8. 강릉시농업기술센터 업무협의

색찰옥수수 '먹찰' 업무협의 및 현장컨설팅은 2025년 2월 19일 수요일 동해시농업기술센터(강원특별자치도 동해시 승지로 58-2)에서 소장, 강세준 F&B대표, 기술보급팀장, 담당 지도사와 함께 실시하였다. 동해시 색찰옥수수 '먹찰'은 2024년 0.2ha 재배하여, 6,500개 생산하고, 5,800개 판매하였다. 판매단가 개당 1,100원으로 총 6,380천원 판매하였다. 사업추진시 애로사항으로 색빠짐으로 판매에 어려움이 있어, 수용성 안토시아닌 효능 홍보하여 소비자가 활용할 수 있게 유도하도록 조치하였으며, 신품종으로 기존 구입층이 없어 판로를 새롭게 개척해야 하므로 이에 대한 위험부담 및 보상이 필요하므로 개당 70원씩 보상하는 방법 동해시농업기술센터에서 추진할 예정이다. 또한, 판매지원으로 센터 선물용 세트 구성하여 판매하고 일부는 센터에서 홍보용으로 소비하는 방안과 수확기인 7월 중순 전후에 홍보하여 판매 촉진하고, 동해시 지역특화작목으로 육성하기 위해서 '먹찰(색찰교-113)' 재배단지 조성용 종자 6kg 분양하기로 협의하였다.



【업무협의】



【먹찰(색찰교113)】

그림 9. 동해시농업기술센터 지역특화품종 '먹찰' 생산·판매 연계 업무협의

옥수수 보급종 채종단지 관계기관 업무협회는 2025년 4월 16일 수요일 옥수수연구소 회의실에서 채종단지 단지장과 관련 농업기술센터 담당자와 함께 실시하였다. 2025년 재배할 '미백2호', '미흑찰', '강일옥' 3품종의 원원종 6계통 1,705kg을 배부하였다. 단지별 계통생육관리 요령 및 수매 방법 설명 등을 설명하였다. 특히, 안정생산을 위하여 파종시기 준비 및 육묘시 온도관리 철저히 하여 냉해 및 고온을 회피할 수 있게 하였다. 2025년 옥수수 채종단지 종자생산 및 수매약정을 흥천, 영월, 원주 3시군 7단지과 협약하여, 총 생산면적 102.15ha에서 목표생산량 204.3톤을 생산할 예정이다. 향후 채종단지별 시·군 합동 기술지도 및 초기생육 순회점검 실시(5중)하고 지정필지 파종 유·무, 입모율 등 생육을 점검 할 예정이다.



그림 10. 옥수수 보급종 재배단지 관계기관 업무협의 및 수매약정식

아라리찰 재배농가 현장컨설팅은 2025년 5월 28일 목요일 정선 ‘아라리찰’ 재배단지(정선군 북평면 남평리)에서 실시하였다. 정선 ‘아라리찰’ 재배단지는 재배내역은 표 9와 같았다.

표 9. 정선 ‘아라리찰’ 재배단지 내역

구 분	계	도*길	김*만	최*순	박*덕	장*이	김*자
재배면적(m ²)	24,000	4,000	4,000	4,000	8,000	3,000	1,000
파종시기(월, 일)	-	3/23	4/2	3/24	4/23	5/2	5/11
정식시기(월, 일)	-	4/20	4/24	4/28	5/22	5/21	5/27

재배단지 생육상황은 도*길 농가는 전체적인 생육 양호(8엽기)하였고, 작년 응애 피해 발생 사용약제의 방제효과 미미하여 다른 기작의 응애약 추천하였다. 김*만 농가는 거세미 및 노린재 피해 발생(줄기 절단, 생장점 불량)하여 거세미 및 노린재 방제 권장하였다. 김*자 농가는 2.5엽기 무렵 정식에 정식하였으며, 눈을 개간한 밭이므로 침수피해를 방지하기 위하여 배수로를 만드는 것을 강조하였다. 최*순 농가는 제조제에 의한 하위엽 고사 피해가 발생하였으며, 이삭이 형성되는 시기이므로 바람이 불지 않을 때 잡초에만 약제 처리하도록 하였다. 박*덕, 장*이 농가는 생육초기이나 전체적으로 생육이 양호하였으며, 무릎높이 크기에서 추비를 주는 것을 권장하였으며, 약제 혼용 시 약해가 발생하므로 단용 처리 권장하였다. 전체적으로 4월 정식 농가에는 조명나방 피해 발생이 있을 수 있으니 포장에서 발견시 적정약제 살포하고, 특히, 출사기 이후 조명나방 발생 시 이삭을 가해하므로 상품 등급이 낮아질 수 있어 수염 발생 이후 안전사용기준에 준하여 방제하도록 하였으며, 온도가 높아질수록 수확시기가 당겨지므로 경험에 의한 수확시기 설정이 아닌 출사기로부터 19일째 되는 무렵부터 알곡 등숙정도를 확인하여 적정 수확시기를 결정하도록 하였다. 특히, 선택성 제조제 간 혼용할 시 생리장해가 발생할 수 있으므로 단용처리 하도록 권장하였다.



【도수길 농가】



【최상순 농가】



【김정만 농가】

그림 11. 옥수수 생육상황

신품종 ‘아라리찰’ 판로 개척을 위하여 강원농식품페어 참석 및 컨설팅을 2025년 8월 28일 목요일에 강원특별자치도 원주시 인터불고호텔 전시장에서 정선여량농협 공장장, 농식품연구소 팀장 등과 실시하였다.

주요내용은 칼라찰옥수수 '아라리찰' 홍보를 위하여 리후렛 300장을 배포하였으며, 정선여량농협에서 생산하는 냉동상품과 이삭 실물을 전시하였다. 안토시아닌 고함유(313mg/kg)로 눈건강 및 항산화, 면역증가 등 기능성에 대해서도 홍보하였다. '아라리찰'은 2023년 육성한 품종으로 도복에 강한 중만생종(출사일수 73일)으로 끝달림이 우수하다. 강원농식품페어 참석한 도내 단체급식 관계자에게 홍보하기 위하여 농식품연구소에서 만든 '아라리찰' 급식용 요리 전시 및 업체 컨설팅하였다. 전시요리는 떡갈비, 유부초밥, 전, 파이, 카레, 옥수수밥, 샐러드 등 11종 이었으며, 도내 단체급식을 하는 학교, 군, 유통업체 MD 등 관계자 200여명에게 설명하고 홍보하였다. 특히, 급식물량이 많은 춘천, 강릉, 원주 급식 관련 업체와 상담 진행하여 현장애로 사항 접수하였으며, 작은 단위의 급식소에서 활용할 수 있는 소포장 상품도 요청하였다. 이에, 정선여량농협은 소포장, 3단 절단 상품, 소단위 택배 등 맞춤형 상품제공 가능하다고 답변하였다. 금후 도내 단체급식 관계자가 손쉽게 '아라리찰'을 활용할 수 있도록 지속적으로 지원하였으며, 정선여량농협의 '아라리찰' 판매처 확보로 안정적인 농가수매를 유도하였다.



【아라리찰 홍보】

【아라리찰 활용 급식요리】

【급식관계자 업무협의 및 컨설팅】

그림 12. '아라리찰' 판로 개척을 위하여 강원농식품페어 참석 및 컨설팅

도내 농산물 가공 유통업체인 설악산 그린푸드 업무협의 및 컨설팅을 2025년 9월 4일에 농업회사법인(주) 설악산그린푸드(강원특별자치도 양양군 양양읍 포월새마을길 41-50)에서 설악산그린푸드 함승우 대표, 농식품연구소, 옥수수연구소 연구담당자와 함께 추진하였다. 업체의 옥수수 관련 상품은 찰옥수수 레토르트, 옥수수차, 초당 옥수수 솔밥용 키트, 오크차 등의 상품을 판매하고 있었으며, 주요판매처는 무인양품(OEM)이었다. 20종 이상의 다양한 제품을 판매하고 있으며 새로운 제품을 계속 출시하고 있으며, 옥수수 상품 판매시 애로사항으로 초당옥수수 솔밥용 키트 상품에 들어가는 강원산 옥수수 색깔이 갈변되어 상품성 개선 필요하여 농식품연구소에서 원인 분석 요청하여 이를 하기로 했다. 기존 레토르트 상품을 대체할 새로운 상품개발에 대한 수요가 있어, 신품종 칼라찰옥수수 '아라리찰'의 팜플렛을 제공하였으며, 업체에 안정적인 원료 공급을 위하여 '아라리찰'을 수매하여 판매하는 정선 여량 농협과 연계 가능하였다. 최근 중국산 찰옥수수가 저가 고품질로 경쟁력 높아지고 있어 고품질 대응을 위하여 품종 개발과 업체 애로사항을 해결하기 위하여 옥수수 상품개발 아이템 제공하는 것이 필요하다고 생각되었다.



【옥수수 시판 상품】

【가공원료 옥수수(左:강원산)】

【업무협의 및 컨설팅】

그림 13. 농산물 가공 유통업체인 설악산 그린푸드 업무협의 및 컨설팅

(시험 3) 옥수수 주산지역 고품질 풋옥수수 생산을 위한 수확기 예측

○ 찰옥수수 최적 수확을 위한 유효적산온도 범위 설정

'23~'24년 옥수수연구소에서 수확기 예측을 위한 유효적산온도 범위를 설정하기 위해 미백2호, 미흑찰, 아라리찰, 멥찰을 파종하여 파종일, 출사기, 수확기를 조사하였다. '23년 봄 파종과 여름파종으로 나누어서 결과를 측정했을 때 미백2호의 경우 파종~수염발생까지 요구되는 GDD℃는 716, 798로 측정되었고 수염 발생일 이후 적기 수확기까지 요구되는 GDD℃는 338, 344로 나타났다. 미흑찰에서는 파종~수염발생까지 요구되는 GDD가 802, 827이며 수염 발생일 이후 수확 적기까지의 요구되는 GDD℃는 335, 342로 측정되었다. 멥찰의 경우 파종~수염발생까지 759, 827의 GDD값이 요구됐으며 수염 발생일로부터 수확기까지는 346, 342의 값이 요구되었다. '23년 결과에 따라 파종시기와 품종에 따라서 수염 발생일까지의 유효적산온도는 다소 차이가 있으므로 온도 이외의 다른 요인도 작용했을 것으로 사료되나 수염 발생 이후부터 수확기까지의 유효적산온도는 품종과 파종시기에 상관없이 비슷한 값을 보였다. '24년 미백2호, 미흑찰, 아라리찰을 이용하여 반복 시험을 진행한 결과에서도 품종과 파종시기에 따라 수염이 발생하는데 까지 요구되는 유효적산온도의 값은 상이하나 수염발생 이후 수확기까지 요구되는 적산온도의 평균값은 348℃ CV값은 2.2로 변동성이 작으므로 수확기 설정에 있어 중요 요인임을 확인하였다.

표 10. '23~'24 옥수수연구소 재배작형별 유효적산온도(GDD)

품종	파종일	사기	수확기	소요일수	파종~수염 (GDD℃)	수염~수확 (GDD℃)	
미백2호	'23	5월 9일	7월 8일	7월 30일	22	716	338
		7월 4일	8월 23일	9월 17일	25	798	344
	'24	4월 29일	7월 5일	7월 27일	22	706	346
		5월 9일	7월 9일	7월 30일	21	694	342
		5월 20일	7월 16일	8월 6일	21	722	353
		5월 30일	7월 22일	8월 12일	21	724	360
미흑찰	'23	5월 9일	7월 14일	8월 5일	22	802	335
		7월 4일	8월 25일	9월 19일	25	827	342
		4월 29일	7월 13일	8월 3일	21	825	349
	'24	5월 9일	7월 15일	8월 5일	21	788	353
		5월 20일	7월 21일	8월 11일	21	801	360
		5월 30일	7월 26일	8월 15일	20	790	345
아라리찰	'24	4월 29일	7월 8일	7월 30일	22	748	356
		5월 9일	7월 11일	8월 1일	21	725	345
		5월 20일	7월 17일	8월 7일	21	738	354
		5월 30일	7월 23일	8월 13일	21	739	361
멥찰	'23	5월 9일	7월 11일	8월 2일	22	759	346
		7월 4일	8월 25일	9월 19일	25	827	342
평균					763	348	
CV(%)					5.8	2.2	

'25년 반복실험 결과에서도 품종 특성과 파종시기에 따라 수염 발생일까지의 유효적산온도 값은 다르나 품종과 관계없이 출사기~수확기까지의 유효적산온도는 일정한값이 요구되는 것을 확인하였다. 파종~수염발생까지의 유효적산온도는 평균 814℃, CV 6.8%으로 변동성이 컸으며 수염 발생일~수확기까지의 유효적산온도범위는 330~359℃로 측정되었으며 평균 346℃, CV 2.5%로 변동성이 작아 품종과 상관없이 일정한 값이 요구되는 것을 재확인하였다.

표 11. '25 옥수수연구소 재배작형별 유효적산온도(GDD)

품종	파종일	출사기	수확기	소요일수	파종~수염 (GDD℃)	수염~수확 (GDD℃)		
미백2호	'25	4월 29일	7월 7일	7월 29일	22	734	339	
				7월 30일	23		356	
	5월 9일	7월 10일	8월 1일	22	736	340		
			8월 3일	23		357		
	5월 30일	7월 27일	8월 17일	21	817	338		
			8월 18일	22		354		
	6월 10일	8월 5일	8월 26일	21	848	338		
			8월 27일	22		354		
	미흑찰	'25	4월 29일	7월 13일	8월 3일	21	827	330
					8월 4일	22		346
5월 9일		7월 15일	8월 5일	21	804	338		
			8월 6일	22		354		
5월 30일		7월 31일	8월 21일	21	885	336		
			8월 22일	22		354		
6월 10일		8월 7일	8월 28일	21	880	339		
			8월 29일	22		355		
아라리찰		'25	4월 29일	7월 8일	7월 30일	22	751	339
					8월 1일	23		356
	5월 9일		7월 11일	8월 2일	22	750	343	
				8월 3일	23		359	
	5월 30일		7월 29일	8월 19일	21	851	337	
				8월 20일	22		354	
6월 10일	8월 7일	8월 28일	21	880	339			
		8월 29일	22		355			
평균					814	346		
CV(%)					6.8	2.5		

3년간 옥수수연구소에서 4품종을 42회 조사한 결과 수염 발생 이후 수확기까지 요구되는 유효적산온도 범위는 330~361℃로 측정되었고 평균 347℃가 요구되었다. 이때 CV(%)값이 2.4로 나타나 유효적산온도는 변동성이 작아 수확기 예측을 위한 주요 요인으로 사료되었다.

표 12. '23~'25 옥수수연구소 유효적산온도(GDD) 총괄표

품종(개)	조사(개)	출사기~수확기 평균 유효적산온도(°C)	유효적산온도 범위(°C)	CV(%)
4	42	347	330~361	2.4

○ 지역별 농가 수확기 데이터를 활용한 설정값 검증

'24년 홍천(30), 정선(2), 동해(2) 총 34곳 농가의 파종기, 출사기, 수확기 유효적산온도를 측정하여 실제 농가 데이터를 활용 옥수수연구소에서 설정한 유효적산온도 범위를 검증하고자 하였다(그림 14). 34곳 농가의 수염 발생일부터 수확기까지 요구되는 유효적산온도의 범위는 313~378°C로 나타났으며 평균값은 346°C로 측정되었고 '23~'24년 연구소 결과와 비교했을 때 연구소 측정범위 335~361°C에서 64.7%의 수확이 이루어져 유효적산온도를 활용하여 수확기 예측이 가능할 것으로 판단하였다.

'25년 홍천(22), 동해(2) 농가의 출사기~수확기까지 요구되는 유효적산온도 범위를 측정한 결과 296~375°C가 요구되었으며 평균값은 344°C로 측정되었다(그림 15). 2년간 4품종에 대해 58곳을 조사한 결과 출사기~수확기까지 요구되는 유효적산온도의 범위는 296~378°C로 나타났으며 평균값은 345°C CV값은 4.7%로 연구소 데이터보다 변동성이 높았다(표4). 2년치 농가 측정값과 연구소 측정 결과와 비교했을 때 연구소 측정범위 330~361°C에서 농가 전체 중 66%의 수확이 이루어져 연구소 측정값을 활용한 수확기 예측이 가능할 것으로 사료되었다.

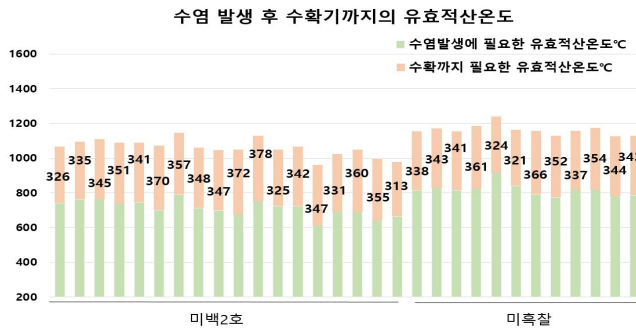


그림 14. '24년 농가 유효적산온도(GDD)

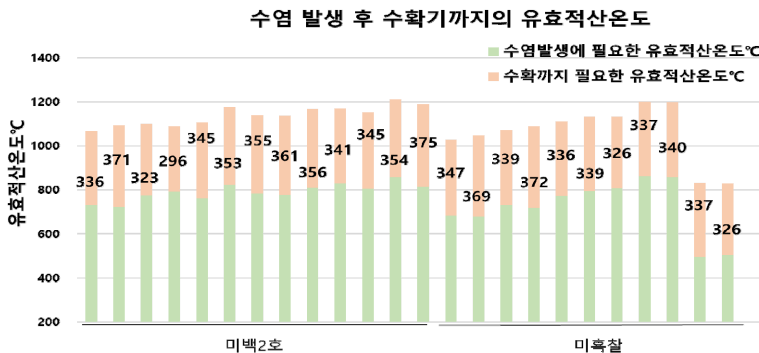


그림 15. '25년 농가 유효적산온도(GDD)

표 13. '23~'25 옥수수농가 유효적산온도(GDD) 총괄표

품종(개)	조사(개)	출사기~수확기 평균 유효적산온도(°C)	유효적산온도 범위(°C)	CV(%)
4	58	345	296~378	4.7

○ 수염발생 이후 누적유효적산온도에 따른 찰옥수수 알곡특성 변화

적기 수확 이전, 이후 찰옥수수 알곡 특성변화량을 조사하여 적정 수확시기 중요성을 강조하고자 2년간 미백2호, 미흑찰을 조사하였다(표 14, 15, 16, 17). '24, '25년 미백2호와 미흑찰에서 알곡이 등숙함에 따라 당함량, 수분함량은 감소하는 경향을 보였으며 경도는 증가하는 추이를 보였다. 수확적기(330~361°C)를 놓치면 당함량이 감소하며 과피가 두꺼워져 경도가 증가하므로 적기 수확의 중요성을 확인했으며 연구소에서 측정한 유효적산온도를 이용하면 수확기 예측이 가능하여 기후변화에 대응하여 고품질 찰옥수수 수확이 가능할 것으로 판단되었다.

표 14. 옥수수 '미백2호' 농가 파종일자별 유효적산온도(GDD) 및 알곡 품질특성(2024)

파종일자	수확일수	유효적산온도°C	경도(g)	당함량 (g/100g)	수분함량(%)
4월 29일	21일	329	2229	6.6	62.7
	23일	370	3433	4.2	61.1
	25일	399	3909	4.2	58.1
5월 9일	21일	342	2536	4.4	62.4
	23일	379	1954	4.7	60.4
	25일	412	2897	4.0	55.7
5월 20일	21일	353	2191	6.1	62.6
	23일	387	3169	4.7	59.8
	25일	423	3613	4.6	57.5
5월 30일	21일	360	2611	5.3	59.4
	23일	395	2845	4.7	57.1
	25일	429	5491	5.3	54.0

표 15. 옥수수 '미흑찰' 농가 파종일자별 유효적산온도(GDD) 및 알곡 품질특성(2024)

파종일자	수확일수	유효적산온도°C	경도(g)	당함량 (g/100g)	수분함량(%)
4월 29일	21일	349	2189	5.9	62.3
	23일	379	2537	5.6	59.1
	25일	415	3189	4.4	54.3

파종일자	수확일수	유효적산온도℃	경도(g)	당함량 (g/100g)	수분함량(%)
5월 9일	21일	353	1884	5.7	61.2
	23일	385	2802	5.8	58.6
	25일	419	3537	4.5	55.8
5월 20일	21일	360	3208	5.5	58.6
	23일	394	4467	5.4	56.6
	25일	426	6624	5.0	55.8
5월 30일	21일	345	2369	7.0	58.8
	23일	395	3152	6.1	54.0
	25일	430	5379	5.3	53.2

표 16. 옥수수 '미백2호' 농가 파종일자별 유효적산온도(GDD) 및 알곡 품질특성(2025)

파종일자	수확일수	유효적산온도℃	경도(g)	당함량 (g/100g)	수분함량(%)
4월 29일	21일	321	1240	14.6	62.9
	23일	356	1172	12.1	59.0
	25일	389	2444	9.7	53.9
5월 9일	21일	323	904	11.4	60.8
	23일	359	1816	5.3	57.0
	25일	392	2932	4.1	57.1
5월 30일	21일	338	1041	5.4	61.2
	23일	371	1716	6.7	60.0
	25일	405	1956	6.7	54.4
6월 10일	21일	338	1301	14.8	60.7
	23일	371	1860	8.1	58.3
	25일	389	3961	8.3	53.1

표 17. 옥수수 '미흑찰' 농가 파종일자별 유효적산온도(GDD) 및 알곡 품질특성(2025)

파종일자	수확일수	유효적산온도℃	경도(g)	당함량 (g/100g)	수분함량(%)
4월 29일	21일	330	1365	4.8	63.9
	23일	363	3448	4.5	59.0
	25일	398	2107	3.9	59.2
5월 9일	21일	338	1739	5.2	63.4
	23일	-	-	-	-
	25일	-	-	-	-

파종일자	수확일수	유효적산온도℃	경도(g)	당함량 (g/100g)	수분함량(%)
5월 30일	21일	336	1337	4.6	59.9
	23일	371	2086	3.7	59.2
	25일	404	3107	3.7	55.1
6월 10일	21일	338	1319	3.7	61.5
	23일	371	3146	3.0	55.9
	25일	405	3278	2.8	56.8

(시험 4) 기후변화 대응 안정 채종지 확보를 위한 고랭지 적응성 탐색

○ 홍천지역(해발300m) 채종용 옥수수 모/부분 9계통 파종일별 생육

기존 채종단지가 있는 홍천지역의 주요 채종품종인 '미백2호' 등 5품종의 모본 출수기와 부분 출수기가 잘 맞는 파종시기와 모본의 이삭건조중을 조사한 결과 '미백2호'는 모본 5.2. 식재시 부분은 8일 후인 5.10. 파종이 좋았으며, 이삭건조중은 5.7.에서 가장 높았다(표 18, 표 19).

표 18. 홍천지역 '미백2호' 모부분 생육특성

구분	계통명	입모율 (%)	파종일 (월.일)	출수기 (월.일)	출사기 (월.일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	착수고율 (%)
부분	HW3	38	5.2	7.7	7.14	141	67	48
		85	5.7	7.8	7.14	149	74	49
		22	5.10	7.10	7.16	137	65	48
모본	HW9	69	5.2	7.8	7.15	127	66	52
		89	5.7	7.10	7.16	135	64	47
		63	5.10	7.14	7.20	121	60	50

표 19. 홍천지역 '미백2호' 모본(HW9) 이삭특성

파종일 (월.일)	자수장 (cm)	착립장 (cm)	이삭폭 (cm)	열수 (열)	열당립수 (립)	이삭건조중 (g/이삭)
5.2	13.8	13.8	3.3	11	31	57.3
5.7	13.8	13.2	3.5	12	32	61.8
5.10	12.8	12.4	3.2	12	19	40.6

'미흑찰'의 모본 출수기와 부분 출수기가 잘 맞는 파종시기는 모본 5.2. 식재시 부분은 동시 파종이 좋았으며, 이삭건조중은 5.2.와 5.10.에서 가장 높았다(표 20, 표 21).

표 20. 홍천지역 '미흑찰' 모부분 생육특성

구분	계통명	입모율 (%)	파종일 (월.일)	출용기 (월.일)	출사기 (월.일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	착수고율 (%)
부분	HW8	64	5.2	7.12	7.18	205	107	52
		71	5.7	7.15	7.20	214	116	54
		43	5.10	7.16	7.20	201	114	57
모본	HW7	68	5.2	7.9	7.13	129	69	54
		49	5.7	7.14	7.17	123	66	54
		32	5.10	7.15	7.19	136	77	57

표 21. 홍천지역 '미흑찰' 모본(HW7) 이삭특성

파종일 (월.일)	자수장 (cm)	착립장 (cm)	이삭폭 (cm)	열수 (열)	열당립수 (립)	이삭건조중 (g/이삭)
5.2	11.0	11.0	4.1	14	21	68.3
5.7	11.2	11.2	3.9	14	23	59.9
5.10	11.6	11.6	3.8	15	20	68.6

'흑점2호'의 모본 출수기와 부분 출수기가 잘 맞는 파종시기는 모본 5.2. 식재시 부분은 5일 후인 5.7. 파종이 좋았으며, 이삭건조중은 5.2.에서 가장 높았다(표 22, 표 23).

표 22. 홍천지역 '흑점2호' 모부분 생육특성

구분	계통명	입모율 (%)	파종일 (월.일)	출용기 (월.일)	출사기 (월.일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	착수고율 (%)
부분	HW7	68	5.2	7.9	7.13	129	69	54
		49	5.7	7.14	7.17	123	66	54
		32	5.10	7.15	7.19	136	77	57
모본	HW10	85	5.2	7.7	7.13	152	78	51
		92	5.7	7.10	7.15	151	85	56
		78	5.10	7.11	7.17	152	86	57

표 23. 홍천지역 '흑점2호' 모본(HW10) 이삭특성

파종일 (월.일)	자수장 (cm)	착립장 (cm)	이삭폭 (cm)	열수 (열)	열당립수 (립)	이삭건조중 (g/이삭)
5.2	15.0	15.0	3.4	11	34	79.8
5.7	13.8	13.4	3.4	13	28	72.3
5.10	15.0	14.6	3.4	12	29	68.8

‘강일옥’의 모본 출수기와 부분 출용기가 잘 맞는 파종시기는 모본 5.2일 식재시 부분은 8일 후인 5.10일 파종이 좋았으며, 이삭건조중은 5.7.에서 가장 높았다(표 24, 표 25).

표 24. 홍천지역 ‘강일옥’ 모부분 생육특성

구분	계통명	입모율 (%)	파종일 (월.일)	출용기 (월.일)	출사기 (월.일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	착수고율 (%)
부분	HF2	17	5.2	7.9	7.11	184	72	39
		17	5.7	7.13	7.15	151	54	36
		11	5.10	7.15	7.18	175	64	37
모본	HF1	24	5.2	7.14	7.17	197	72	37
		53	5.7	7.15	7.19	216	87	40
		36	5.10	7.16	7.20	210	80	38

표 25. 홍천지역 ‘강일옥’ 모본(HF1) 이삭특성

파종일 (월.일)	자수장 (cm)	착립장 (cm)	이삭폭 (cm)	열수 (열)	열당립수 (립)	이삭건조중 (g/이삭)
5.2	17.2	16.6	3.9	12	32	103.8
5.7	17.0	17.0	3.9	14	31	121.8
5.10	16.8	16.4	3.9	12	32	103.7

‘드림옥’의 모본 출수기와 부분 출용기가 잘 맞는 파종시기는 모본 5.2일 식재시 부분은 동시 파종이나 5일 후인 5.7 좋았으며, 이삭건조중은 5.2.에서 가장 높았다(표 26, 표 27).

표 26. 홍천지역 ‘드림옥’ 모부분 생육특성

구분	계통명	입모율 (%)	파종일 (월.일)	출용기 (월.일)	출사기 (월.일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	착수고율 (%)
부분	HF12	57	5.2	7.9	7.11	200	80	40
		36	5.7	7.14	7.16	211	89	42
		28	5.10	7.15	7.18	189	79	42
모본	HF22	82	5.2	7.9	7.12	123	43	35
		76	5.7	7.14	7.16	130	55	42
		81	5.10	7.14	7.16	135	53	39

표 27. 흥천지역 '드림옥' 모본(HF22) 이삭특성

파종일 (월.일)	자수장 (cm)	착립장 (cm)	이삭폭 (cm)	열수 (열)	열당립수 (립)	이삭건조중 (g/이삭)
5.2	16.6	15.0	4.4	16	27	122.5
5.7	16.6	15.6	4.1	14	25	80.2
5.10	16.2	16.0	4.2	16	26	102.8

○ 태백지역(해발750m) 채종용 옥수수 모/부분 9계통 파종일별 생육

해발 750m의 고랭지인 태백지역의 주요 채종품종인 '미백2호' 등 5품종의 모본 출수기와 부분 출수기가 잘 맞는 파종시기와 모본의 이삭건조중을 조사한 결과 '미백2호'는 모본 5.10. 식재시 부분은 4일 후인 5.14. 파종이 좋았으며, 이삭건조중은 5.10.에서 가장 높았다(표 28, 표 29).

표 28. 태백지역 '미백2호' 모부분 생육특성

구분	계통명	입모율 (%)	파종일 (월.일)	출수기 (월.일)	출사기 (월.일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	착수고율 (%)
부분	HW3	94	5.10	7.14	7.19	158	72	46
		53	5.14	7.19	7.25	141	69	49
		91	5.20	7.21	7.26	142	73	52
모본	HW9	100	5.10	7.12	7.18	133	69	52
		76	5.14	7.21	7.26	127	61	48
		94	5.20	7.23	7.28	130	62	47

표 29. 태백지역 '미백2호' 모본(HW9) 이삭특성

파종일 (월.일)	자수장 (cm)	착립장 (cm)	이삭폭 (cm)	열수 (열)	열당립수 (립)	이삭건조중 (g/이삭)
5.10	15.0	15.0	3.7	12	26	86.2
5.14	15.8	15.0	3.6	12	25	76.9
5.20	15.0	15.0	3.6	14	27	72.6

'미흑찰'의 모본 출수기와 부분 출수기가 잘 맞는 파종시기는 모본 5.10. 식재시 부분은 4일 후인 5.14. 파종이 좋았으며, 이삭건조중은 5.10.에서 가장 높았다(표 30, 표 31).

표 30. 태백지역 '미흑찰' 모부분 생육특성

구분	계통명	입모율 (%)	파종일 (월.일)	출수기 (월.일)	출사기 (월.일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	착수고율 (%)
부분	HW8	91	5.10	7.23	7.29	205	131	64
		50	5.14	7.22	7.28	185	114	62
		79	5.20	7.26	7.31	170	99	58

구분	계통명	입모율 (%)	파종일 (월.일)	출용기 (월.일)	출사기 (월.일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	착수고율 (%)
모본	HW7	100	5.10	7.15	7.21	151	84	55
		76	5.14	7.22	7.26	129	71	55
		97	5.20	7.26	7.30	138	77	56

표 31. 태백지역 '미흑찰' 모본(HW7) 이삭특성

파종일 (월.일)	자수장 (cm)	착립장 (cm)	이삭폭 (cm)	열수 (열)	열당립수 (립)	이삭건조중 (g/이삭)
5.10	11.6	11.6	4.2	16	21	80.0
5.14	11.8	11.8	4.1	14	21	64.6
5.20	12.4	12.4	4.3	14	24	79.3

'흑점2호'의 모본 5.10. 식재시 부분은 4일 후인 5.14. 파종이 좋았으며, 이삭건조중은 5.10.에서 가장 높았다(표 32, 표 33).

표 32. 태백지역 '흑점2호' 모부분 생육특성

구분	계통명	입모율 (%)	파종일 (월.일)	출용기 (월.일)	출사기 (월.일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	착수고율 (%)
부분	HW7	100	5.10	7.15	7.21	151	84	55
		76	5.14	7.22	7.26	129	71	55
		97	5.20	7.26	7.30	138	77	56
모본	HW10	94	5.10	7.13	7.20	154	89	57
		68	5.14	7.20	7.25	135	78	58
		88	5.20	7.23	7.27	142	81	57

표 33. 태백지역 '흑점2호' 모본(HW10) 이삭특성

파종일 (월.일)	자수장 (cm)	착립장 (cm)	이삭폭 (cm)	열수 (열)	열당립수 (립)	이삭건조중 (g/이삭)
5.10	14.6	14.6	3.5	13	32	84.4
5.14	14.8	14.8	3.5	10	31	77.3
5.20	15.2	15.2	3.5	10	28	82.2

'강일옥'의 모본 출수기와 부분 출용기가 잘 맞는 파종시기는 모본 5.10. 식재시 부분은 10일 후인 5.20. 파종이 좋았으며, 이삭건조중은 5.10.에서 가장 높았다(표 34, 표 35).

표 34. 태백지역 '강일옥' 모부분 생육특성

구분	계통명	입모율 (%)	파종일 (월.일)	출용기 (월.일)	출사기 (월.일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	착수고율 (%)
부분	HF2	85	5.10	7.19	7.24	178	86	48
		79	5.14	7.23	7.27	161	61	38
		94	5.20	7.30	8.3	149	57	38
모본	HF1	65	5.10	7.23	7.28	193	85	44
		41	5.14	7.27	7.31	176	77	44
		79	5.20	7.30	8.4	176	74	42

표 35. 태백지역 '강일옥' 모본(HF1) 이삭특성

파종일 (월.일)	자수장 (cm)	착립장 (cm)	이삭폭 (cm)	열수 (열)	열당립수 (립)	이삭건조중 (g/이삭)
5.10	16.2	16.2	4.2	12	32	119.0
5.14	16.2	15.6	4.3	12	30	112.5
5.20	15.0	15.0	4.1	13	25	116.3

'드림옥'의 모본 출수기와 부분 출용기가 잘 맞는 파종시기는 모본 5.10. 식재시 부분은 4일 후인 5.14. 파종이 좋았으며, 이삭건조중은 5.20.에서 가장 높았다(표 36, 표 37).

표 36. 태백지역 '드림옥' 모부분 생육특성

구분	계통명	입모율 (%)	파종일 (월.일)	출용기 (월.일)	출사기 (월.일)	간장 (cm)	착수고 (cm)	착수고율 (%)
부분	HF12	59	5.10	7.18	7.23	173	76	44
		47	5.14	7.24	7.28	156	63	41
		68	5.20	7.29	8.3	156	62	40
모본	HF22	74	5.10	7.19	7.24	121	53	44
		32	5.14	7.23	7.27	105	43	41
		79	5.20	7.30	8.3	105	41	39

표 37. 태백지역 '드림옥' 모본(HF22) 이삭특성

파종일 (월.일)	자수장 (cm)	착립장 (cm)	이삭폭 (cm)	열수 (열)	열당립수 (립)	이삭건조중 (g/이삭)
5.10	16.2	15.4	4.3	14	25	107.1
5.14	17.0	15.4	4.1	14	27	96.5
5.20	16.8	16.4	4.4	13	25	112.0



【HW3 1차 파종】 【태백 HW10 2차 파종】 【태백 HW9 3차 파종】
그림 16. 태백지역 채종 품종 모부분 계통 파종시기별 생육전경(2024)

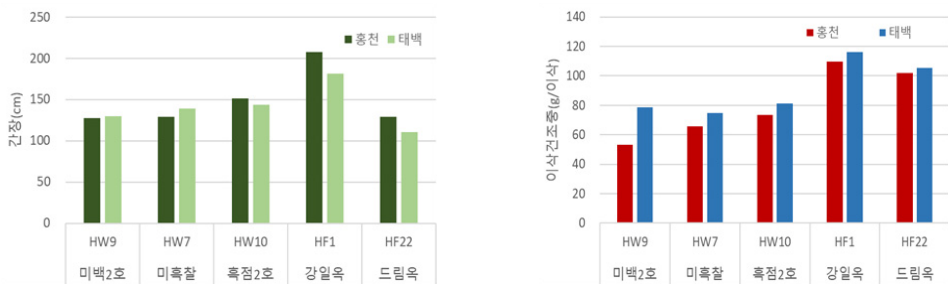


그림 17. 홍천과 태백에서 주요 보급종 옥수수 9계통의 간장과 이삭건조중 비교

지역별 생육을 비교해보면 그림 17과 같이 홍천에서 다소 크게 나타났으나, 채종량과 관계가 깊은 이삭건조중은 태백에서 높게 나타나 태백과 같은 해발 750m의 고랭지에서 채종재배시 기존 재배단지 보다 안정적으로 채종량을 높일 수 있는 가능성이 있다고 생각되었다.

○ 지역별 기상 데이터

표 38. 홍천 평균기온, 일조시간 및 강수량(2024)

구 분	평균기온(℃)				일조시간(hrs)				강수량(mm)			
	본년	전년	평년	평년 대비	본년	전년	평년	평년 대비	본년	전년	평년	평년 대비
육묘활착기 (4.20~5.31)	16.8	16.5	16.3	0.4	313.9	290.8	300.3	13.6	115.1	151.2	105.9	9.2
영양생장기 (6.1~7.15)	23.4	23.2	22.9	0.5	324.5	272.8	274.7	49.8	271.4	434.4	256.1	15.3
생식생장기 (7.16~8.15)	27.4	26.2	26.0	1.4	157.1	186.3	146.8	10.3	338.9	253.2	416.0	-77.1
등숙기 (8.16~10.15)	22.0	20.5	20.0	2.1	314.4	288.1	290.7	23.7	230.6	235.0	281.7	-51.1

표 39. 태백 평균기온, 일조시간 및 강수량(2024)

구 분	평균기온(°C)				일조시간(hrs)				강수량(mm)			
	본년	전년	평년	평년 대비	본년	전년	평년	평년 대비	본년	전년	평년	평년 대비
육묘활착기 (4.20~5.31)	14.1	13.2	13.7	0.4	287.9	270.6	303.2	-15.3	120.9	138.4	101.2	19.7
영양생장기 (6.1~7.15)	20.9	20.3	19.5	1.3	284.2	299.2	261.7	22.5	335.9	489.8	277.5	58.4
생식생장기 (7.16~8.15)	25.4	23.2	22.8	2.6	177.0	172.7	135.0	42.0	103.7	233.6	277.0	-173.3
등숙기 (8.16~10.15)	19.3	17.5	16.9	2.5	220.6	286.6	255.4	-34.8	432.3	386.0	427.6	4.7

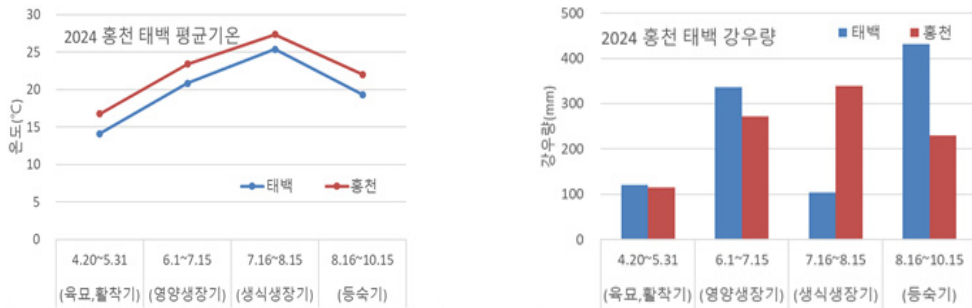


그림 18. 2024년 홍천, 태백 시기별 평균 기온 및 강수량 비교

2024년 평균기온은 평년대비 홍천은 0.4~2.1도, 태백은 0.4~2.6도 높았으며, 태백이 홍천대비 2~2.7도 낮았으며, 강수량은 7월 중순부터 8월 중순에 태백이 235mm 적었으며(그림 18), 강수량은 출용, 출사기인 6월 하순부터 7월에 강수량이 많았다(그림 19).

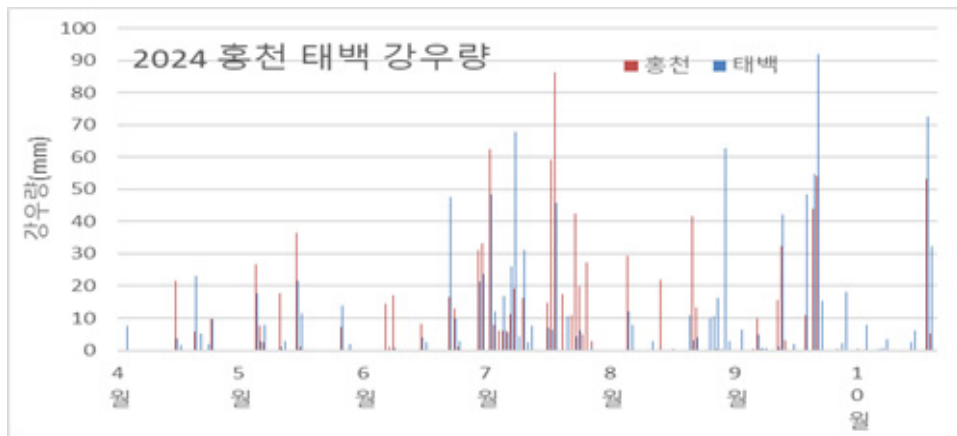


그림 19. 2024년 홍천, 태백 강수량 비교

○ 흥천과 태백(고랭지) '미백2호' 채종재배 생육 및 수량(2025)

앞선 시험에서 태백 고랭지에서 채종재배시 기존 단지에 비해 많은 수량이 예상되어 2025년 채종량을 비교해 보기 위하여 태백에 격리재배포에서 '미백2호'의 채종재배를 실시하였다. 태백 고랭지에서 재배한 결과 부분의 간장은 156cm, 모본의 착수고는 59cm로 흥천에서 재배한 것도 보다 각각 15cm, 2cm 더 크게 나타났다(표 40).

표 40. 흥천과 태백(고랭지)에서 '미백2호' 채종재배 생육

지역	모부분	계통명	파종일 (월.일)	정식일 (월.일)	출웅기 (월.일)	출사기 (월.일)	간장 (cm)	착수고 (cm)
흥천	모본	HW9	4.18	5.7		7.1		57
	부분	HW3	4.23	5.12	7.4		141	60
태백	모본	HW9	5.2	5.28		7.24		59
	부분	HW3	5.7	6.2	7.22		156	68



【고랭지 미백2호 채종포장】



【흥천 미백2호 채종포장】

그림 20. 태백과 흥천지역 '미백2호' 채종포장 생육전경

표 41. 흥천단지와 태백(고랭지) '미백2호' 채종재배시 이삭특성

지역	이삭 구분	자수장 (cm)	착립장 (cm)	이삭폭 (cm)	열수 (열)	열당립수 (립)	이삭건조중 (g/이삭)	종자건조중* (g/이삭)	종실중 (kg/10a)
흥천	1차	13.9	12.0	3.4	11.3	21.3	60.0	50.2	209
태백	소계								289
	1차	13.6	12.1	3.6	12.3	20.5	61.1	48.2	201
	2차	11.0	9.9	3.2	12	19	32.8	20.7	86

* 종자수분율을 15.5%로 보정하여 산출

태백 채종재배시 흥천과 비교해보면 특이사항으로 태백재배시에는 2차 이삭도 78% 수확이 가능하였고, 총 종실중은 287kg/10a로 흥천 대비 78kg 40% 증수하였다(표 42).

2차
이삭



1차
이삭



【홍천】

【태백(고랭지)】

그림 21. 홍천단지와 태백(고랭지) '미백2호' 채종재배시 이삭특성

표 42. 홍천단지와 고랭지(태백) '미백2호' 채종재배시 총채종량 및 발아율

지역	2차이삭수확율 (%)	이삭구분	정상립* (%)	총채종량 (kg/10a)	백립중 (g)	발아율 (%)
홍천	0	1차	97.8	204.4	23.2	98.3
태백	78	평균/소계	99.5	286.5	28.6	98.9
		1차	99.8	200.8	30.1	98.8
		2차	99.2	85.7	27.0	99.0

* 소립제거

태백 고랭지에서 '미백2호' 채종재배시 총채종량 및 발아율태백 채종재배시 홍천과 비교해보면 소립을 제거한 정상립은 99.2% 이상으로 상품성 있는 총 채종량은 286.5kg/10a로 홍천 204.4kg/10a 에 비해 82.1kg (40%) 증수하였다. 이 중 백립중은 1차 이삭 기준으로 30.1g으로 홍천 23.2g에 비해 6.9g 높았으며, 2차 이삭의 백립중도 27.0g으로 홍천 1차 이삭 보다 좋았다(표 42).

○ 지역별 기상 데이터(2025)

표 43. 홍천 평균기온, 일조시간 및 강수량(2025)

구 분	평균기온(℃)				일조시간(hrs)				강수량(mm)			
	본년	전년	평년	평년 대비	본년	전년	평년	평년 대비	본년	전년	평년	평년 대비
육묘활착기 (4.20~5.31)	15.7	16.8	17.7	-2.0	301.6	313.9	32.9	268.7	150.5	115.1	11.6	138.9

구 분	평균기온(°C)				일조시간(hrs)				강수량(mm)			
	본년	전년	평년	평년 대비	본년	전년	평년	평년 대비	본년	전년	평년	평년 대비
영양생장기 (6.1~7.15)	24.1	23.4	23.1	1.0	277.1	324.5	178.2	98.9	85.0	271.4	260.3	-175.3
생식생장기 (7.16~8.15)	26.5	27.4	24.6	1.9	178.7	157.1	159.3	19.4	328.5	338.9	354.1	-25.6
등숙기 (8.16~10.15)	22.1	22.0	14.9	7.2	218.7	314.4	25.0	193.7	547.9	183.6	28.4	519.5

표 44. 태백 평균기온, 일조시간 및 강수량(2025)

구 분	평균기온(°C)				일조시간(hrs)				강수량(mm)			
	본년	전년	평년	평년 대비	본년	전년	평년	평년 대비	본년	전년	평년	평년 대비
육묘활착기 (4.20~5.31)	13.7	14.1	15.1	-1.4	284.8	287.9	32.7	252.1	119.5	120.9	12.7	106.8
영양생장기 (6.1~7.15)	21.9	20.9	19.8	2.1	305.5	284.2	168.3	137.2	115.3	335.9	207.3	-92.0
생식생장기 (7.16~8.15)	24.0	25.4	21.4	2.6	175.2	177.0	142.8	32.4	117.3	103.7	276.5	-159.2
등숙기 (8.16~10.15)	19.7	19.3	12.9	6.8	286.9	220.6	22.1	264.8	303.0	373.2	30.4	272.6

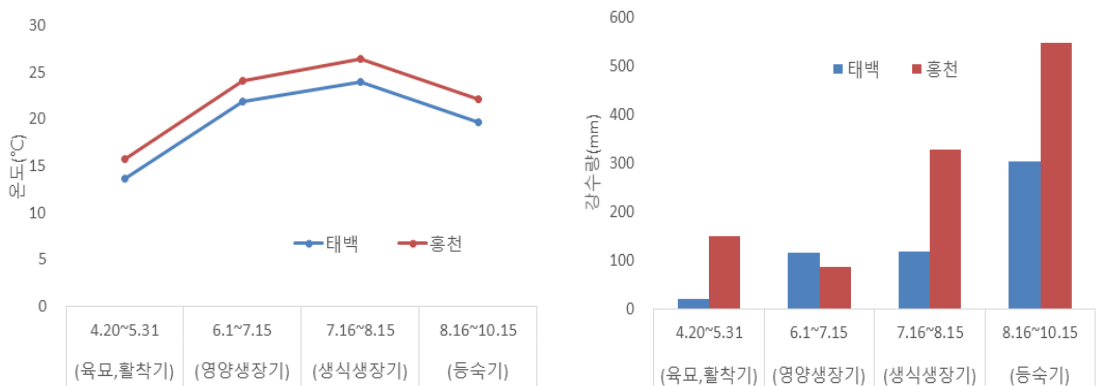


그림 22. 태백과 홍천 평균온도 및 강수량 비교

태백과 홍천의 기상을 비교해보면 평균기온은 태백이 전생육기간에 걸쳐 2.0~2.5°C 낮았으며, 강수량은 태백이 영양생장기를 제외하고는 강수량이 적었으며, 특히, 생식생장기와 등숙기에 홍천의 강수량이 211.2~244.9mm로 많았다(그림 22).

(시험 5) 채종옥수수 습해 및 고온에 따른 조기 수확 시 적정 수확기 설정

○ 채종단지별 습해 및 고온 피해 농가 수확시기별 종자특성

채종단지별 습해 및 고온 피해 농가의 수확시기별 채종량이 좋았던 수확기는 두촌단지는 출사 후 6주에서 102.3kg/10a, 황둔단지는 출사 후 7주에서 155.6kg/10a, 용일단지 L농가는 출사 후 6주에서 112.2kg/10a, P농가는 출사 후 7주에서 142.4kg/10a, 용이단지는 출사 후 5주에서 102.1kg/10a로 가장 좋았다(표 45).

표 45. 채종단지별 습해 및 고온 피해 농가 수확시기별 종자특성

지역	단지	품종	수확시기 (출사후)	종자건조중* (g/이삭)	종실중 (kg/10a)	정상립** (%)	총채종량 (kg/10a)	백립중 (g)	발아율 (%)
홍천	두촌	미백2호	5주	30	125	72.7	90.8	16.2	98.8
			6주	31	129	79.5	102.3	16.8	99.3
			7주	29	122	75.4	92.4	15.6	98.8
원주	황둔	"	5주	35	147	91.5	134.7	17.7	99.4
			6주	36	148	95.1	140.8	19.3	99.4
			7주	39	164	94.7	155.6	19.0	99.3
영월	용일L	"	5주	32	131	84.7	111.4	16.3	98.6
			6주	32	131	85.4	112.2	17.0	99.1
			7주	24	100	81.8	81.8	15.8	98.7
용일P	"	"	5주	34	142	93.2	132.1	18.6	97.9
			6주	33	138	91.6	126.5	20.7	97.5
			7주	36	150	95.1	142.4	21.0	97.3
			5주	30	127	80.4	102.1	15.7	96.0
용이	미흑찰	"	6주	30	124	77.6	95.9	15.9	97.4
			7주	31	128	78.1	100.2	17.3	99.6

*종자수분율을 15.5%로 보정하여 산출

** 체를 쳐서 소립제거



그림 23. 채종단지 습해 및 고온 피해 농가 포장 전경 및 피해주 이삭

홍천
두촌



원주
향둔



영월
용일 L



영월
용일 P



【5주】

【6주】

【7주】

그림 24. 『미백2호』 채종단지별 습해 및 고온 피해 농가 수확시기별 이삭특성

영월
용이

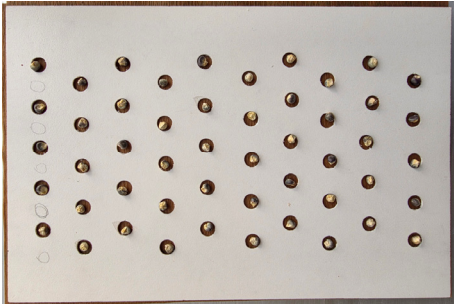


【5주】

【6주】

【7주】

그림 25. 『미흑찰』채종단지 습해 및 고온 피해 농가 수확시기별 이삭특성



【홍천】

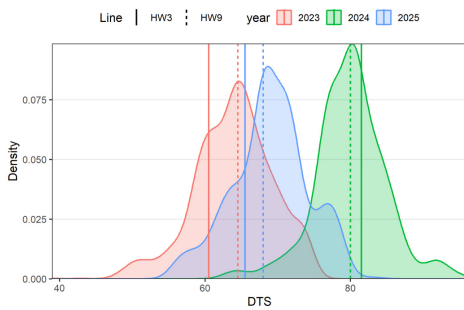
【태백(고랭지)】

그림 26. 『미흑찰』 종자 발아시험

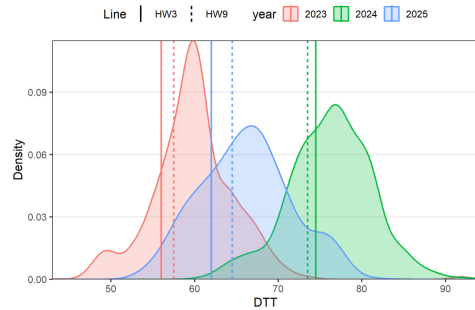
전체적으로 출사 후 경과일수에 따른 채종량은 일정한 경향을 보이지는 않았으며, 발아율은 96.0~99.6% 출사일수에 상관없이 전체적으로 높았다(그림 26). 총 채종량을 기준으로 '미백2호'를 채종하는 홍천, 원주, 영월 용일단지에서는 출사 후 6주나 7주 이후에 수확하는 것이 좋았으며, '미흑찰'을 채종하는 영월 용일단지에서는 출사 후 5주 이후 수확하는 것이 좋다고 생각되었다(표 45, 그림 24, 그림 25).

(시험 6) 신품종 육종소재 다양화를 위한 핵심집단 구축

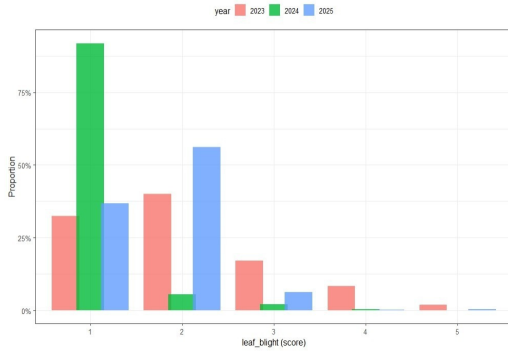
연차별 차이가 발생하는 농업형질은 출사일수, 출용일수, 깨씨무늬병 지수 및 도복지수이며 각 형질의 히스토그램의 분포를 나타냈다(그림 27). 출용, 출사일수는 파종 시기의 차이로 인해 연차별 분포가 다르게 조사되었으며, 23년과 25년에는 깨씨무늬병의 발병율이 높았고 25년에는 도복된 계통이 많았다.



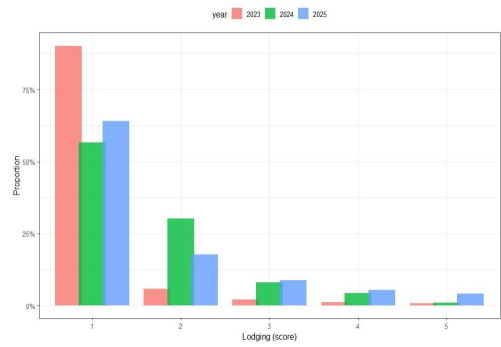
【출사일수】



【출용일수】



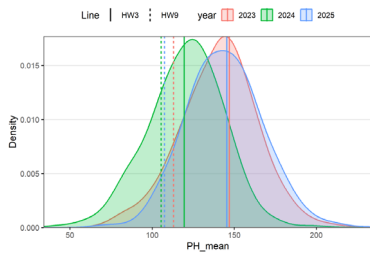
【깨씨무늬병 지수(1: 없음, 5: 심함)】



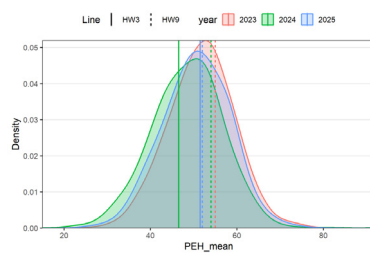
【도복 지수(1: 없음, 5: 전체)】

그림 27. 핵심집단의 노지 표현형 조사. 출사일수, 출용일수, 깨씨무늬병 지수 및 도복지수

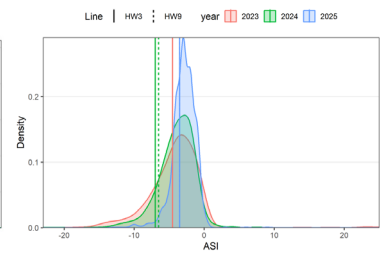
연차별 차이가 적은 형질은 간장, 착수고율, ASI, 감부기병지수 및 줄기썩음병 지수이다(그림 28). 전체적인 간장의 분포는 비슷했지만 대조계통인 HW3, HW9은 23, 25년 각각 차이가 발생했으며 착수고율, ASI, 감부기병 발생 및 줄기썩음병 발생 지수는 연차별 분포가 안정적으로 나타났다.



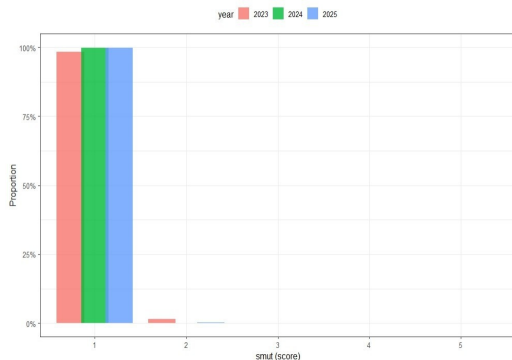
【간장】



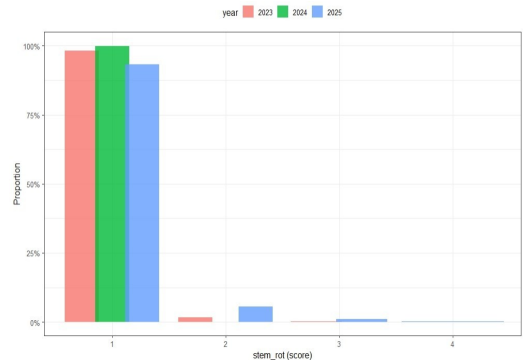
【착수고율】



【ASI(anther-silk interval)】



【감부기병 지수(1: 없음, 5: 심함)】



【줄기썩음병 지수(1: 없음, 5: 심함)】

그림 28. 핵심집단의 노지 표현형 조사. 간장, 착수고율, ASI, 감부기 및 줄기썩음병 지수

25년 추가 조사 형질은 용수장, 용수분지수, 분지수, 간경, 부정근 지수, 용수형태지수, 분지수 지수 및 열해 저항성 지수이며 히스토그램 및 분포를 나타냈다(그림 29). 용수장, 분지수는 HW3, HW9이 비슷하며 분포가 좁게 나타났으며 용수 분지수와 간경은 전체 계통의 분포가 크고 HW3, HW9의 차이도 크게 나타났다.

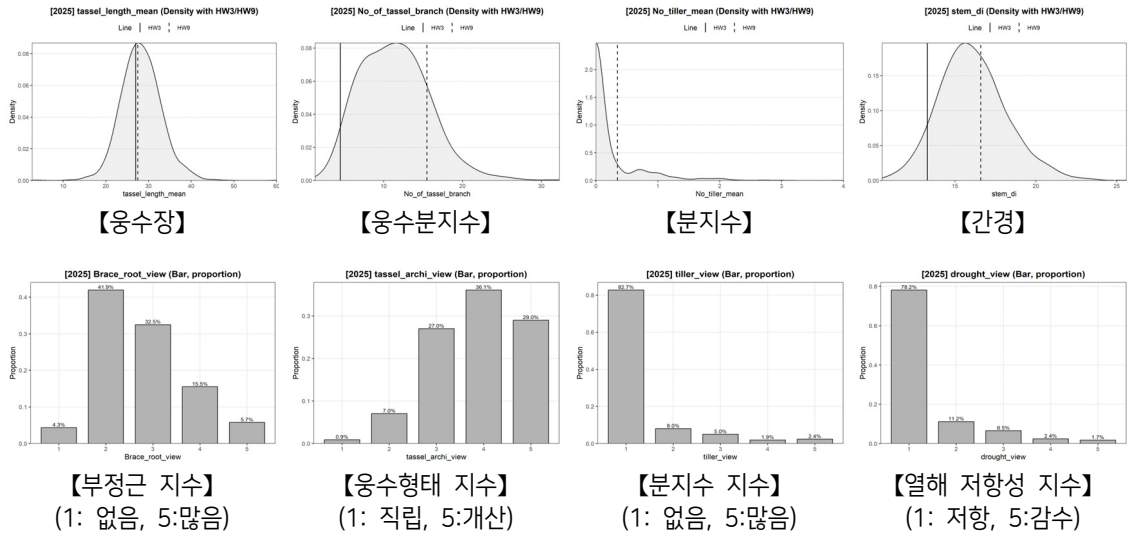


그림 29. 2025년 추가 조사 형질 히스토그램 및 분포

이삭 및 종자 이미지 분석을 위해 자가수정된 이삭을 촬영하고 촬영이 끝난 각 이삭을 탈립하여 종자의 디지털 이미지를 촬영하였다. 촬영된 이미지는 imageJ 프로그램을 활용하여 형태 및 색상 분석을 진행했다. '23년에는 이삭(1,884장, 5,584개) 및 종자(1,581장, 57,870립)가 촬영되었고 '24년은 이삭(1,579장, 3,601개), 종자(1,566장, 103,868립)가 촬영되었다. '25년 농과원에서 현장실용화 과제를 통해 제작된 시제기를 활용하여 이삭을 10도 간격으로 회전하여 촬영 진행 중이며 종자 이미지까지 획득하여 분석에 사용할 계획이다.

유전자형 분석을 위해 기 보유한 Maize50KSNP chip을 활용하여 저밀도 마커를 선별했다. 사용된 계통은 155개 계통이다(표 46).

표 46. SNP 선발을 위해 사용된 155개 계통

Group	No. of lines	Source
Elite line	10	Quality lines
	16	HW lines, KL103
	2	Purple and black inbreds
Inbred	8	WaxyPop 09 (FS) A
	8	WaxyPop 09 (FS) B
16DHW	6	Gangwonchal#39
	23	Mibaek#2
17DHW	30	WaxyPop (HS) A
	28	WaxyPop (HS) B
18DHW	24	Stalk rot population (HW9/11)
Total	155	

본 연구에서 사용된 SNP 마커는 필터링 후 염색체당 1,485~3,485개가 분포했다. 염색체 1번에서는 3,485개로 가장 많은 마커가 분포하고 염색체 10번에서 1,485개로 가장 적은 마커가 분포하고 있다. 마커간 평균 물리적 거리는 86~100 kb이며 평균 94 kb이다. 전체 염색체의 평균 이형 접합도는 1.4%인데 4번 염색체에서 2.0%로 높았고 6번 염색체는 1.0%로 가장 낮게 나타났다(표 47).

표 47. 각 찰옥수수 계통의 유전체적 SNP 요약

Chromosome	No. of raw SNPs	No. of filtered SNPs	Mean distance of filtered SNP (bp)	Heterozygosity rate (%)
1	7,783	3,485	86,397	1.3
2	5,667	2,497	95,216	1.6
3	5,525	2,509	92,387	1.2
4	5,411	2,428	99,612	2.0
5	5,349	2,500	87,096	1.1
6	3,935	1,757	96,272	1.0
7	4,062	1,890	93,183	1.4
8	4,231	1,864	94,053	1.6
9	3,598	1,566	99,923	1.4
10	3,476	1,485	100,391	1.2
Overall ¹⁾	49,037	21,981	94,453	1.4

유전적 다양성 지표에서 엘리트 계통들은 그룹 특이적 대립 유전자수가 1,432개로 가장 많고 기대 이형 접합도(Expected heterozygosity, He)도 0.315로 가장 높았다(표 48). He는 잡종강세 그룹에서 육성된 계통(0.268)들과 17DHW 집단의 계통(0.273)들이 높게 조사되었다. 줄기썩음병 저항성과 감수성 계통의 교배 집단인 18DHW는 특이적 대립 유전자 수를 제외한 모든 지표에서 가장 낮게 관찰되었다.

표 48. 계통 그룹 간 유전적 다양성 지수

Group	MAF	PIC	He	Specific alleles
Elite line	0.234	0.254	0.315	1,432
Inbred	0.202	0.214	0.268	51
16DHW	0.160	0.174	0.216	97
17DHW	0.204	0.219	0.273	91
18DHW	0.152	0.141	0.182	112

Nei 유전적 거리를 이용한 계통수 분석 결과 배가 반수체로 육성된 계통은 대부분 연속적인 그룹으로 분류되는 것을 확인했다(그림 30). 또한 elite line은 크게 두 개의 그룹으로 분류되는 반면에 inbred 그룹의 계통들은 상대적으로 넓은 분산을 보이며 DH 그룹 사이에 위치하고 있다. 일부 elite, inbred 계통은 매우 근접된 배치를 보이며 계통 육성 과정에서 공통적으로 유래된 것으로 추정된다. 본 결과에서 최근접 이웃

일치도(NN-purity)는 86.5%였으며, 우연 기준(NN-purity baseline)은 $23.5\% \pm 3.9\%$ ($p < 0.001$)의 유의한 격차를 나타냈다. 이것은 동일한 집단의 구조가 매우 강하게 생성되었음을 의미한다.

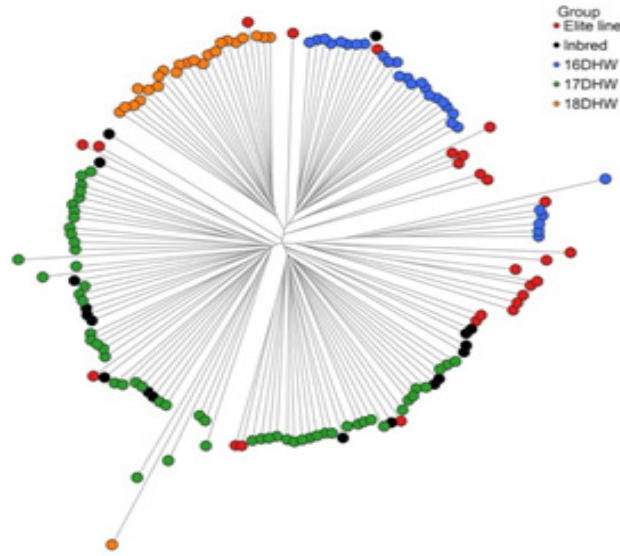


그림 30. 찰옥수수 155계통의 Nei의 유전적 거리를 통한 계통수 분석

각 집단 간 특징을 확인하기 위해 유전적 분화를 나타내는 집단분화지수와 유전적 거리(Nei's distance)를 측정했다(표 49). 유전적 거리가 가장 큰 쌍은 18DHW-16DHW이고(Nei 거리 0.285) 17DHW-inbred 그룹은 집단 육성을 위해 사용된 계통이 공유되었기 때문에 F_{st} 와 유전적 거리가 각각 0.009로 가장 낮았다.

표 49. 엘리트 계통, 고정계통 및 배가반수체 그룹간 유전적 분화도 비교

Group	Elite line	Inbred	16DHW	17DHW	18DHW
Elite line	-	0.036	0.138	0.050	0.185
Inbred	0.037	-	0.171	0.009	0.283
16DHW	0.136	0.166	-	0.180	0.283
17DHW	0.047	0.009	0.186	-	0.264
18DHW	0.187	0.277	0.285	0.280	-

18DHW 그룹이 집단 내 유전적 다양성은 낮지만(표 49) 다른 그룹간 유전적 거리와 F_{st} 값이 높은 것은 특정 형질(내병성)에 대한 선발로 인해 유전적 분화도가 증가한 것으로 생각되었다. 또한, 엘리트 계통 그룹은 집단내 유전적 거리는 가장 높게 측정되었지만(표 49) 그룹 간의 거리와 분화도는 중간 정도를 나타냈다. 이것은 미국의 상업용 품종 개발 과정과 유사한데 우수 품종 개발을 위해 소수 핵심 계통(founder)들이 폭넓게 사용되었으며 이로 인해 founder의 하플로타입은 타 계통으로의 유전체의 기여도가 높다고 보고되었다(Coffman et al., 2020; Van Heerwaarden et al., 2012). 이것을 극복하기 위해 육종 프로그램에서 다양성을 높이기 위한 노력이 필요하다는 것을 공통적으로 의미한다. 따라서 선발 압력이 큰 DH 집단의 다양성 확보를

위해 외부 founder의 유입 혹은 서로 다른 LD block을 이용하는 교배 설계가 요구된다.

이러한 집단 간 분화 양상은 핵심 마커가 단순한 다양성 지표만으로는 충분하지 않으며, 집단 구분력을 최적화하면서 전장 대표성을 확보하도록 선발되어야 함을 나타낸다. 이러한 분자 생물학적 분석을 바탕으로 세 가지 다른 알고리즘인 지수 기반(SI), 분리력 최적화(RS), 지도 기반 균형(bin) 접근을 적용해 높은 정보성을 보이는 SNP 패널 선발을 도출하였다.

지수 기반 선발을 통해 155개 계통의 하플로타입의 구별이 이루어지는 10개 마커가 선발되었고(그림 31a) RS 방법의 최대 구분력은 99.98%로 평가되었는데(그림 31b) 그 이유는 계통 분류 평가에서 3쌍 (18DHW025-18DHW026, 16DHW01-16DHW04, 16DHW25-16DHW29)이 결측 값을 제외한 모든 유전자좌에서 동일했으며 16DHW25와 16DHW29 쌍은 1개 SNP만 상이했기 때문이다.

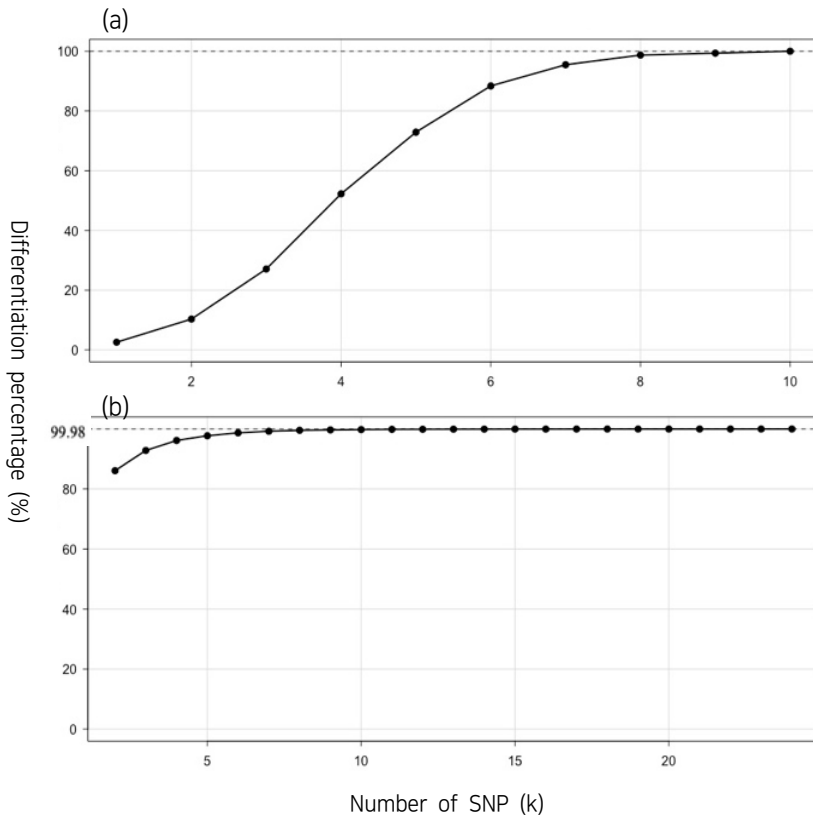


그림 31. SNP 증가에 따른 계통 구분력 그래프.

SI, RS, bin 기반 등 다양한 SNP 마커 선발 방법에 따라 전체 10개 염색체에서 선정된 마커의 실제 물리적 위치 분포를 시각화했다(그림 32). SI와 RS 기반 마커는 선발 마커 숫자가 작기 때문에 일부 염색체에 분포하였지만 bin 기반 선발은 마커 수 증가와 함께 전 염색체에 걸쳐 분포함을 확인할 수 있다. 이 결과는 전장 유전체 대표성 측면에서 bin 방법의 우수성을 뒷받침하나, 분류력과의 상호 관계에서 방법별 장·단점이 존재함을 나타낸다. 하지만 특정 염색체(1번)에서 여러 방법으로 선발된 마커의 분포가 중복되며 염색체별 재조합율, 유전자 밀도 그리고 반복서열 등의 구조적 특성이 반영되었을 가능성이 있었다.

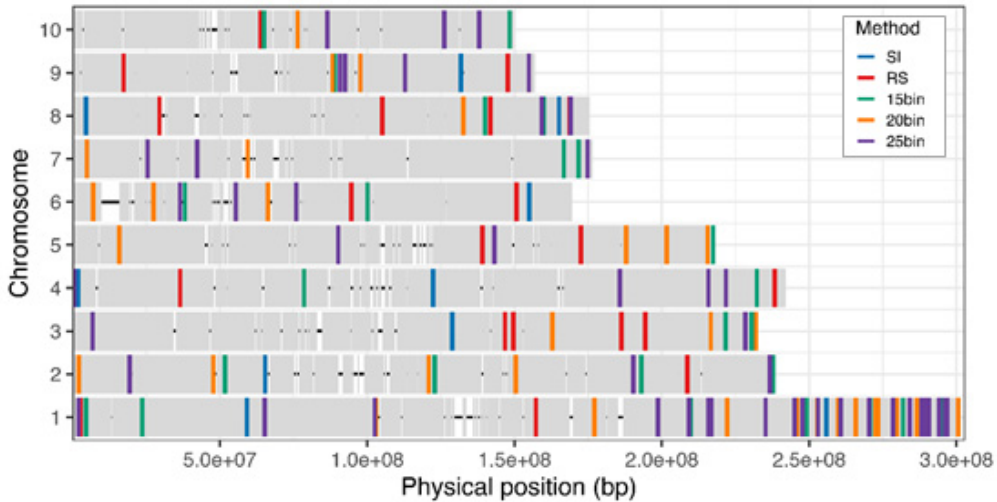


그림 32. SNP 증가에 따른 계통 구별력 그래프.

이러한 편중 현상과 분산의 원인을 유전체 구조적 특성·재조합 패턴 관점에서 추가적으로 분석할 필요가 있었다. 전체적으로, 핵심 SNP 마커 선정 시 군집별 분류력 뿐만 아니라 유전체 분포 균형성도 고려해야 함을 본 결과가 강하게 시사하였다.

선발된 마커의 선발 효율을 비교하기 위해 유전적 다양성을 나타내는 지표들을 계산했다(표 50). 지수 기반 선발 마커는 마커 수가 10개로 가장 적지만 엔트로피 기반으로 MAF가 높은 마커를 우선적으로 선발한 결과 MAF, PIC 그리고 기대 이형 접합도 등 모든 지표값에서 가장 우수했다. 거리 기반의 임의 선발 방법으로 선발된 21개 마커들도 3개의 항목에서 중간값을 보였다. 유전적, 물리적 거리를 통해 단순 계산된 마커는(bin) 필터링 된 전체 마커보다 낮은 값을 보였다. 특히 39개 마커가 선발된 20 bin은 세 개 지표에서 모두 가장 낮은 값을 보였는데 그 원인은 거리를 기준으로 선발된 패널이기 때문에 LD 중복 혹은 희귀대립 유전자좌가 포함된 마커가 포함되었기 때문이라고 생각된다.

표 50. 마커 선발 전략에 따른 SNP 마커의 다양성 지수 분석 결과

Method ¹⁾	No. of markers	MAF	PIC	He
Filtered	21,981	0.221	0.240	0.299
SI	10	0.374	0.329	0.434
RS	21	0.254	0.275	0.343
15bin	30	0.176	0.209	0.253
20bin	39	0.148	0.187	0.223
25bin	47	0.208	0.245	0.299

Nei의 유전적 거리를 이용한 phylogram 결과를 통해 계통의 분리를 검토했다(그림 33). SI 마커 패널은 elite 계통과 DH 계통이 혼재되어 나타났고 개별 계통의 분리는 높지만 각 그룹의 분별력이 다소 낮은

결과를 나타냈다. RS 마커 패널은 각각의 DH 집단이 명확하게 분리가 되며 elite와 inbred도 분류되는 것을 확인할 수 있다. Bin 기반의 마커 세트도 각 그룹별로 구분이 되는 것을 확인할 수 있다. DH 계통들은 RS 혹은 bin 마커 패널로 인한 분류에서 각각의 클러스터가 명확하게 확인되며 이것은 서로 다른 유전적 배경을 가진 것 때문이라고 생각된다. 또한 elite 계통은 inbred 혹은 DH 그룹 내 다양한 위치에 존재하고 있는데 이것은 육종 프로그램에서 이 계통들이 다양하게 사용되고 있음을 나타낸다. 이것은 공통 부모로 육성된 결과 혹은 반복 사용으로 인해 유전체의 기여도가 높음을 알 수 있다. 따라서 적정 규모의 마커 세트를 구성하여 육종 프로그램에서 집단의 유전적 구조 분석과 계통의 분류에 적용이 가능함을 확인하였다.

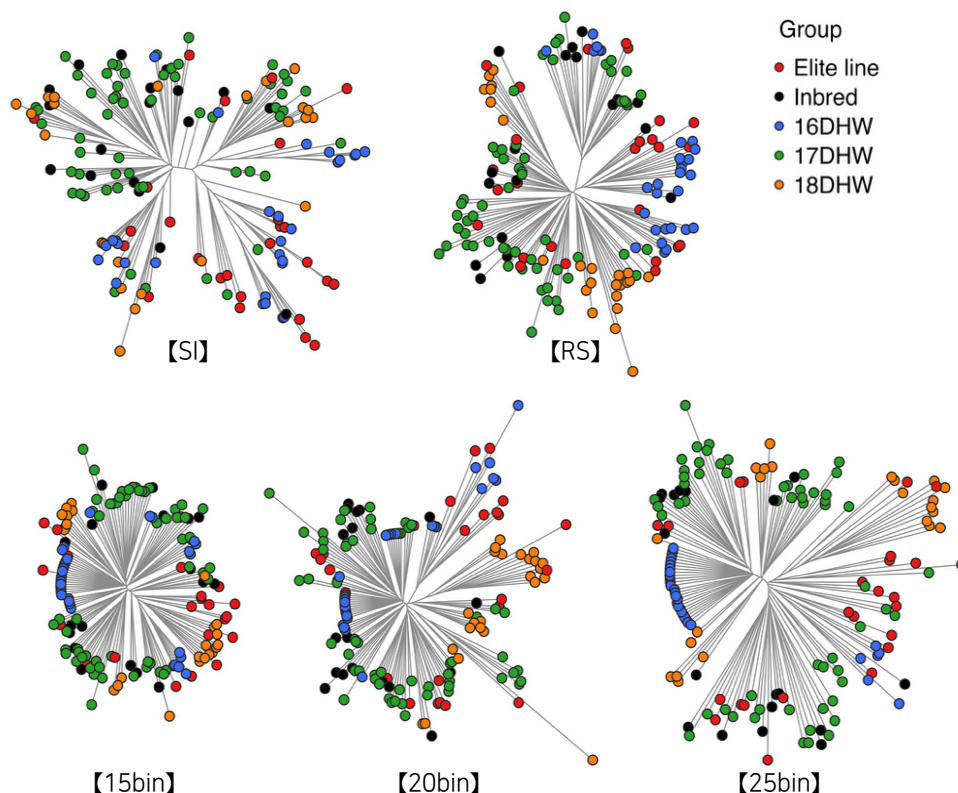


그림 33. SNP 패널 선발 전략에 따른 NJ 계통수 분석

추가적으로 선발 SNP 패널을 사용하여 155개 계통에 대한 집단 구조를 PCoA를 통해 평가했다(그림 34). 필터링 된 전장 마커를 통한 분석은 집단 간 분산을 잘 보존하여 각 그룹별 그리고 그룹내 계통별 분류가 명확하게 이루어진 것을 보였다. 지수 기반 패널은 육성 그룹의 분리가 명확하게 이루지지 않았는데 마커의 다형성은 높지만 집단의 대비가 최대화되지 않아 군집의 구분이 약해진 결과로 생각된다. RS 패널은 임의 선발된 마커이지만 집단의 차이를 반영하는 마커를 통해 SI보다 군집의 구분이 향상되었다. Bin 패널 간 비교에서 25 bin은 20 bin 대비 산점 분산과 군집 분리가 뚜렷했고 15 bin에서도 제한적이나 그룹 간 분리 신호가 관찰되었다. 반면 20 bin은 대부분의 점이 원점 부근에 집중되어 분리력이 낮았다.

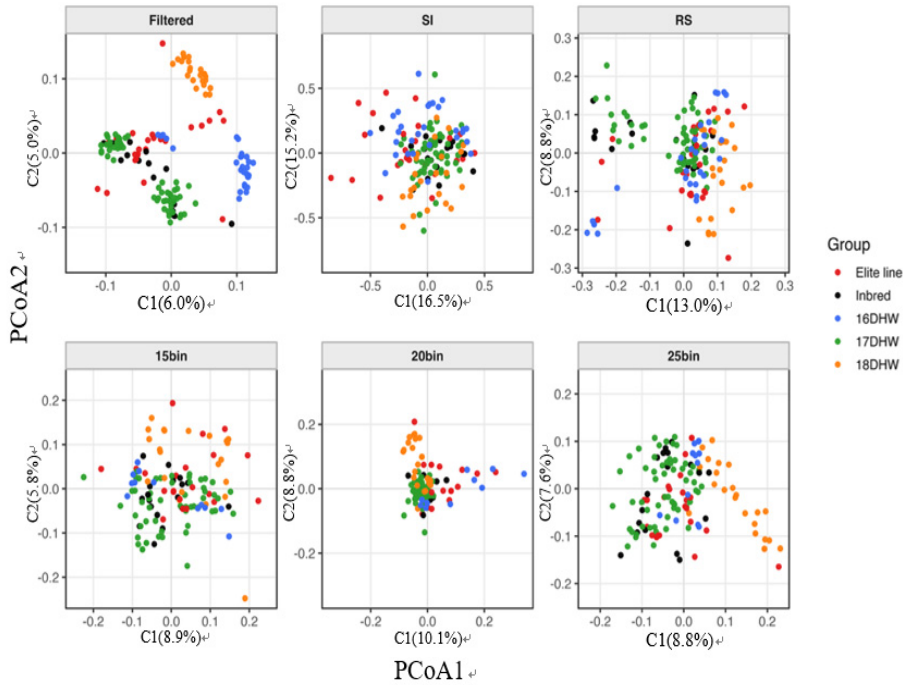


그림 34. SNP 패널 선발 전략에 따른 PCoA 분석

즉, bin 기반에서 마커 수 증가가 항상 분리 개선을 보장하지는 않지만, 25 bin에서는 분리력의 개선이 확인되었다. DH 계통의 경우 기대 이형 접합도가 낮고 연관 불평형 길이가 길어져 다수의 SNP가 중복 정보를 제공하기 때문에 염색체 전반에 비상관 마커를 선발하여 계통 간 상대적 거리를 소수의 마커로 정확하게 재현하는 것이 필요하다. 또한 단순 다양성을 지표로 선발한 SNP가 항상 분류성이 높은 것은 아니며(Nei 1972; Rosenberg et al. 2003; Sodedji et al. 2021) PCA loading 또는 Fst 기반의 정보성 높은 소수의 SNP가 대량 SNP의 구조를 상당 부분 재현할 수 있기 때문에(Flint-Garcia et al. 2003) 향후 연구에 반영되어야 할 부분이다.

3년 표현형 데이터와 72개 선발 마커 유전자형 데이터를 활용하여 Powercore 프로그램으로 핵심집단을 추출하였다. 유전자형 분석 결과 중 이상치가 전체 20% 넘는 9개 마커 결과는 제외하고 63개의 마커를 사용하였다. 표현형으로만 추출한 결과 31개 계통이 선발되었고 유전형으로 선발하면 19개 계통이 추출되었다. 그리고 유전형과 표현형으로 선발하면 37개 계통이 선발되었다. 핵심집단을 선발하여 향후 내재해성 평가를 위해 사용할 예정이지만 적은 계통이 선발되면 다양성에 대한 손실 가능성이 있으므로 10% 수준인 100개의 계통을 선발하기 위해 프로그램에서 집단 선발 수를 100으로 설정하여 추가적으로 계통을 선발하였다.

이러한 핵심집단은 향후 형질 연관 마커 개발에 사용 예정이며 효율적인 자원관리와 마커 개발에 사용되어 신품종 개발에 적극적으로 활용될 계획이다.

표 51. 선발 방법에 따른 핵심집단 계통 비교

Method	No. of lines	Selected lines
Phenotype only	31	08S8027 08S8040 09BS8005 12CS8021 15S8029 16CS8027 16CS8039 16S8006 16S8045 16S8071 16S8088 17DHW070 17DHW071 17RS8016 17RS8027 18BS8012 19BS8015 19DHW092 19YS8015 19YS8040 20BS8002 20YS8004 21BS8005 21BS8006 21DHW157 21RS8008 HW15 HW16 Kwi 414 WLD15 WLD25
		05S801307BS8034 11S8007 11S8012 12CS8020 13S8031 14CS8027 14S8051 15RS8017 16DHW001 16S8030 17DHW089 19CS8016 20BS8006 20CS8043 20YS8001 20YS8030 IT208593 WLD25
Phenotype +Genotype	37	08S8040 09BS8004 11S8007 12CS8021 13CS8153 14S8009 15BS8003 15CS8017 15RS8014 15S8029 16S8006 16S8045 16S8061 17DHW069 17DHW070 17DHW071 17DHW089 19BS8015 19DHW049 19DHW092 19S8002 19YS8015 19YS8053 20BS8002 20CS8039 20DHW010 20YS8001 20YS8011 21DHW157 21RS8007 HCW5 HW15 IT208593 Kwi 10 Kwi 414 WLD25 WLD27
		03S8005 03S8081 04S8073 07BS8034 08S8040 09BS8004 11S8005 11S8007 12CS8020 12CS8021 13CS8143 13CS8149 13CS8153 14S8009 14S8051 15BS8003 15CS8017 15RS8014 15RS8020 15RS8027 15RS8034 15RS8056 15S8008 15S8010 15S8029 15YS8009 16CS8007 16DHW004 16DHW013 16S8006 16S8045 16S8061 16S8094 17CS8063 17CS8084 17CS8091 17CS8158 17DHW069 17DHW070 17DHW071 17DHW076 17DHW089 17S8036 17S8037 18DHW053 19BS8015 19DHW008 19DHW011 19DHW049 19DHW057 19DHW092 19RS8002 19S8002 19S8016 19YS8009 19YS8015 19YS8024 19YS8035 19YS8037 19YS8053 19YS8054 19YS8055 20BS8002 20CS8039 20CS8041 20CS8042 20DHW003 20DHW010 20DHW053 20DHW090 20YS8001 20YS8011 20YS8012 20YS8030 20YS8035 21BS8007 21DHW157 21RS8007 HCW5 HW1 HW15 HW18 HW3 HW4 HW5 HW6 HW7 HW8 HW9 IT208593 Kwi 10 Kwi 414 WLD11 WLD15 WLD17 WLD20 WLD22 WLD25 WLD27 YJ1150
100 cores	100	

(시험 7) 찰옥수수 지역특화 품종 출원

안토시아닌 함량이 높은 자주색 찰옥수수 ‘떡찰’ 육성경위는 모본 17CS8067은 ‘08~’09년 동계기간 (PurPop/Peru//HW9)와 HW9를 교잡한 자원을 2009년 0세대 5번으로 공시 후 8년간의 자식교배와 선발을 거쳐 육성된 색소찰 자식계통이며 부분인 16CLP39는 2010년 동계기간 10CS5008(PurPop/Peru//HW3)과 HW3를 교잡한 자원을 자식교배 1회 여교배 2회 후 2014년부터 자식과 선발의 과정을 거쳐 육성된 색소찰 자식계통이다. 최초의 교배조합 구성은 2020년도에 고정도와 초형이 우수한 17CS8067과 16CLP39를 각각 모·부본으로 교배하여 F1을 육성하였다. 강원특별자치도를 대표하는 지역특화품종을 개발하기 위해 ‘21~’23년도까지 3년간 지역특화연구과제를 수행하면서 정선, 동해 2지역에 8교잡종을 공시하여 지역적응성 평가를 진행하였다. 떡찰은 동해에서 재배안정성 및 수량성이 뛰어나 동해지역 적합품종으로 선발되어 품종 육성되었고 강원특별자치도 직무육성 신품종선정심의회에서 그 우수성을 인정받아 ‘24년 신품종 ‘떡찰(ArariChal)’로 선정되었다(그림 35).

년도	♀	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'20	'21	'22	'23~'24
세대		S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	자식계통	수량평가		
모본 (♀)	Peru/Purpop//HW9(BL-1)//HW9	5	B	8	2	2	1	1	1	1	17CS8067	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> 먹찰 (색찰교113호) </div>		
부분 (♂)	10CS5008//HW3	19	1	12CS1071//HW3	12CS1071//HW3//HW3	1	3	C1	1	1	16CLP39			
세대		S ₀	S ₁	BC ₂	BC ₃	BC ₃ S ₀	BC ₃ S ₁	BC ₃ S ₂	BC ₃ S ₃		자식계통	수량평가		
년도	♂	'11	'12	'12 동계	'13	'14	'15	'15 동계	'16		'20	'21	'22	'23~'24
과정	교배	계통분리 및 여교잡									조합구성	조합	생검	강원지적

그림 35. '먹찰' 품종육성과정



【'먹찰(색찰교113호)' 이삭】

【<대조> '미홍찰' 이삭】

그림 36. '먹찰'과 대조품종 '미홍찰' 이삭 비교

가변특성으로 '먹찰(색찰교113호)'은 대비품종인 '미홍찰'과 비교했을 때 출사일수는 2일 늦었으며 간장은 크고 착수고율은 동일하였다. 또한, '미홍찰' 대비 이삭길이가 길고 과피가 얇으며 안토시아닌 함량이 우수하였다 (표 52).

표 52. '먹찰(색찰교113호)' 가변특성

('23~'24, 강원지역적응)

구 분	출사일수 (일)	간 장 (cm)	착수고율 (%)	이삭특성			
				길이 (cm)	착립장률 (%)	과피두께 (μ m)	안토시아닌 (mg/kg)
먹찰(색찰교113호)	71	219	47	17.4	94	23.1	384.8
미홍찰	69	201	47	16.2	96	26.9	131.0

수량성은 '떡찰(색찰교113호)'은 2년간 강원지역적응시험 수행 결과 10a 당 수확이삭수는 '23년 5,500개, '24년 6,362개 평균 5,931개로 측정됐으며, 대조품종인 '미홍찰' 평균 5,995개의 99% 수준이었다. '떡찰'의 이삭중은 '23년 678kg/10a, '24년 610kg으로 평균 644kg/10a로 평가됐으며 미홍찰(697kg/10a)의 92% 수준이었다(표 53, 표 54).

표 53. '떡찰(색찰교113호)'과 '미홍찰' 수확 이삭수 ('23~'24, 강원지역적응, 단위: 개/10a)

지역	떡찰(색찰교113호)(A)			지수(%) A/B	미홍찰(B)		
	'23	'24	평균		'23	'24	평균
홍천	4,400	6,380	5,390	96	5,720	5,500	5,610
영월	6,600	6,343	6,472	101	6,490	6,270	6,380
평균	5,500	6,362	5,931	99	6,105	5,885	5,995

표 54. '떡찰(색찰교113호)'과 '미홍찰' 이삭중 ('23~'24, 강원지역적응, 단위: kg/10a)

지역	떡찰(색찰교113호)(A)			지수(%) A/B	미홍찰(B)		
	'23	'24	평균		'23	'24	평균
홍천	591	489	540	87	747	499	623
영월	764	732	748	97	785	756	770
평균	678	610	644	92	766	627	697

'떡찰'은 2년간의 강원지역적응시험 결과 도복은 2의 지수를 보여 중도저항성, 깨씨무늬병과 그을음무늬병에는 저항성을 보였으며 이삭에 대한 조명나방의 피해지수 또한 2로 나타나 중도저항성을 보였다(표 55).

표 55. '떡찰(색찰교113호)'과 '미홍찰' 도복 및 병해충 발생정도 ('23~'24, 강원지역적응, 9점 척도)

구분	도복 (1-9)	병해(0-9)		총해(0-9)
		깨씨무늬병(포장)	그을음무늬병(포장)	조명나방(이삭)
떡찰(색찰교113호)	2	0	0	2
미홍찰	1	0	0	1

'24년 '떡찰'의 모본 16CLP39의 화분비산기간이 7월 13일~ 7월 20일이며 모본 17CS8067의 출사기가 7월 14일로 비슷하여 동시파종이 가능했으며 채종량의 경우 응주간파(199kg/10a) 보다 2:1 (210kg/10a)에서 높았으나 통계적인 유의성이 없으므로 응주간파를 이용한 채종이 효율적일 것으로 판단되었다(표 56).

표 56. '떡찰(색찰교113호)' 모부분 재식방법별 채종량 ('24, 홍천)

재식비율 (재식거리)	계통명	화분비산 기간	출사기 (월.일)	이삭(cm)		차립률 (%)	백립중 (g)	채종량 (kg/10a)
				길이	직경			
2 : 1 (80×20cm)	17CS8067(♀) 16CLP39(♂)	7. 13. ~ 7. 20.	7. 14.	11.1	9.8	87.9	24.2	210

재식비율 (재식거리)	계 통 명	화분비산 기간	출사기 (월.일)	이삭(cm)		착립률 (%)	백립중 (g)	채중량 (kg/10a)
				길이	직경			
웅주간파 (80×30cm)	17CS8067(♀) 16CLP39(♂)	7. 13. ~ 7. 20.	7. 14.	10.8	9.1	84.2	22.5	199

'22~'23년 동해지역 적응성 평가 결과 멧찰의 평균 출사일수는 77일이며 착수고율은 47%으로 수확이 용이하였으며 이삭길이는 21.5cm로 측정되었다. 상품 이삭수와 이삭중은 10a당 4,760개, 885kg으로 수량성이 우수하였다(표 57).

표 57. '멧찰(색찰교113호)' 동해지역 적응성 평가

('22~'23년)

교잡계명	생육특성			이삭특성			
	출사일수 (일)	간장 (cm)	착수고율 (%)	이삭(cm)		상품 이삭수 (개/10a)	상품 이삭중 (kg/10a)
				길이	직경		
멧찰	77	162	47	21.5	3.8	4,760	885

<제2세부과제: 옥수수 상품성 향상을 위한 주요 병해충 방제기술 개발>

(시험 1) 스마트방제기 이용 병해충 방제효과 검정(2024~2025)

○ 스마트방제기 방제 조건 설정

스마트방제기 약대 형태는 T형과 I형으로 구분하였으며(그림 37), 옥수수 재식거리는 70×30 cm(1립) 및 100×45 cm(2립) 조건으로 설정하였다(그림 38, 39). 300평 기준 파종립수는 각각 약 4,300립(70×30 cm)과 약 4,400립(100×45 cm)으로, 조건별 실증이 가능하도록 재식량을 표준화하였다. 감수지(수침지) 기반 살포 도달성 등급(1~5등급)을 적용하여 조건별 살포 효과를 비교한 결과(그림 40), 재식거리 70×30 cm, T형 약대, 노즐 0.3Ø 조건에서 좌우 4월까지 약제가 우수하게 도달하는 것을 확인하였다. 스마트방제기와 관행(차량용 동력분무기)을 비교한 결과(표 58), 스마트방제기는 필요 인원 1명(관행 3명)으로 66.7% 절감, 물 사용량 175 L(관행 250 L)로 30% 절감, 방제 시간 30분(관행 60분)으로 50% 단축되었다. 또한 전복사고 등 안전사고 위험 및 농약중독 가능성이 상대적으로 낮아, 작업 안전성 측면에서도 유리한 것으로 판단되었다.

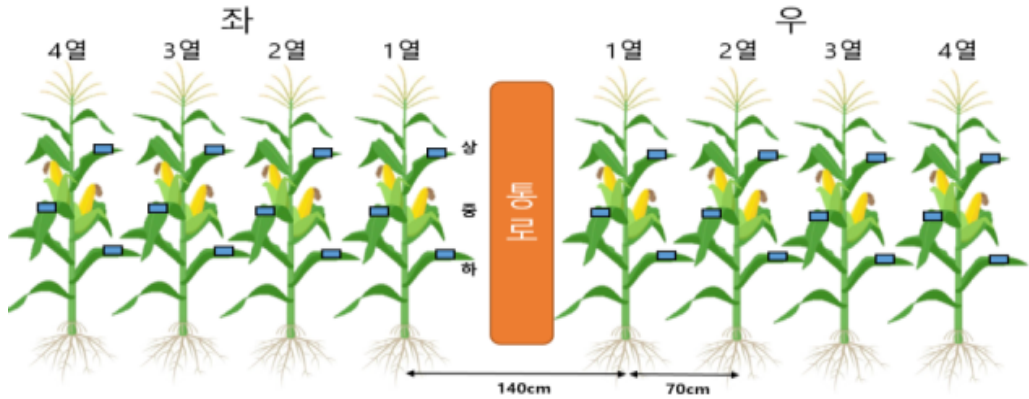


【T형】



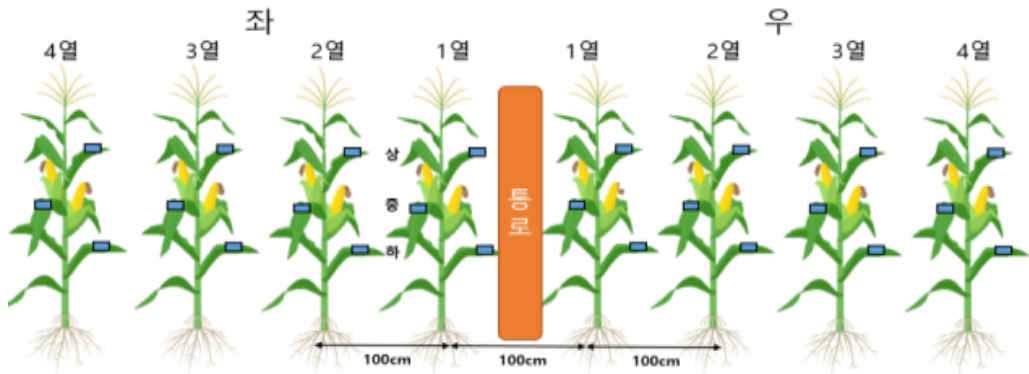
【I형】

그림 37. 스마트방제기 약대 형태(T형, I형)



※ 300평 기준 약 4,300립

그림 38. 재식거리: 70 x 30cm (1립)



※ 300평 기준 약 4,400립

그림 39. 재식거리: 100 x 45cm (2립)

노출크기		0.30										0.50									
		좌					우					좌					우				
재식거리	높이	5열	4열	3열	2열	1열	1열	2열	3열	4열	5열	5열	4열	3열	2열	1열	1열	2열	3열	4열	5열
70*30cm (1립)	상	■					■					■					■				
	중	■					■					■					■				
	하	■					■					■					■				

노출크기		0.30										0.50									
		좌					우					좌					우				
재식거리	높이	5열	4열	3열	2열	1열	1열	2열	3열	4열	5열	5열	4열	3열	2열	1열	1열	2열	3열	4열	5열
100*45cm (2립)	상	■					■					■					■				
	중	■					■					■					■				
	하	■					■					■					■				

등급	1	2	3	4	5
감수지효과(%)	> 20	21~40	41~60	61~80	81~100

그림 40. 스마트방제기 조건별 효과검정(감수지이용)

표 58. 스마트방제기 특성 및 분석 결과(단위: 10a)

구분	스마트 방제기	기존 기술 (차량용 동력분무기)	절감률 (%)
필요인원(명)	1	3	△66.7
필요 장비	필요 없음	트렉터 또는 트럭	-
물 사용량(L)	175	250	△30.0
방제 시간(분)	30	60	△50
안전사고 여부	거의 없음	전복사고 등	-
농약중독 여부	거의 없음	있을 수 있음	-

○ 스마트방제기 이용 옥수수 해충 방제효과 검정

포장시험에 앞서 파밤나방(Spodoptera exigua)과 시험약제(클로란트라닐리프롤 입상수화제)의 기내 방제가를 확인하고, 실험 처리의 적정성을 검토하였다. 그 결과, 시험약제+망 무처리(망x, 1겹) 조건에서 생충률 0.0%로 100% 방제가가 확인되었고, 망 2겹 조건에서도 방제가 92.8%로 효과가 유지되었다(표 59). 이를 통해 포장시험에서 유효한 약제 반응이 확보되도록 처리 조건을 구명하였다. 스마트방제기 포장 방제효과는 무처리구 대비 94.6%, 관행방제는 95.9%로 나타났으며(표 60), 스마트방제기 또한 90% 이상의 높은 방제가를 나타내 옥수수 해충 방제에 현장 적용이 가능한 것으로 판단되었다(그림 41).

표 59. 시험약제에 대한 해충의 약제저항성 실험 및 접종 설정(기내)

구 분	생충률			평균	방제가
	1반복	2반복	3반복		
시험약제+망x	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
시험약제+망 1겹	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
시험약제+망 2겹	0.0	6.7	13.3	6.7	92.8
무처리	100.0	93.3	93.3	95.6	-

※ 시험약제: 클로란트라닐리프롤 입상수화제

※ 시험해충: 파밤나방(Spodoptera exigua)

표 60. 스마트방제기 이용 해충 방제효과

구 분	사전밀도	생충률			평균	방제가
		1반복	2반복	3반복		
스마트방제기	80	6.3	2.5	6.3	5.0	94.6
관행방제	80	2.5	7.5	1.3	3.8	95.9
무처리	80	93.8	92.5	91.3	92.5	-



그림 41. 스마트방제기 이용 해충방제

(시험 2) 옥수수 줄기썩음병 표준 저항성 평가 방법 구명(2024)

○ 접종방법 및 생육단계 설정

옥수수 줄기썩음병 표준 평가법 확립을 위해 접종 방법을 주사, 스프레이, 분주(침지/분주 처리)로 구분하여 적용하였고(그림 42), 파종 후 생육단계를 10일(2~3엽기), 20일(5~6엽기), 30일(7~8엽기)로 설정하여 접종 시기별 반응을 비교하였다(그림 43).



【주사 접종】

【스프레이 접종】

【분주 접종】

그림 42. 옥수수 줄기썩음병 접종방법



【파종 후 10일(2~3엽기)】

【파종 후 20일(5~6엽기)】

【파종 후 30일(7~8엽기)】

그림 43. 옥수수 파종 후 단계별 옥수수 생육상태

○ 옥수수 줄기썩음병 발병도 등급 설정

곰팡이 줄기썩음병(*Fusarium* sp.)과 세균 줄기썩음병(*Dickeya zeae*)에 대해 1~5등급 발병도(병징 기준)를 설정하였다(표 61, 표 62). 각 등급별 대표 병징을 도식화하여 평가자의 판정 편차를 줄이고, 품종·계통 간 저항성 변별이 가능하도록 기준을 마련하였다(그림 44, 45).

표 61. 옥수수 곰팡이 줄기썩음병(*Fusarium* sp.) 발병도 등급

등급(scales)	병 징
1	접종 부위 부분 괴사
2	접종부위에 병징이 나타남
3	다른 부위까지 병징이 퍼지거나 줄기가 꼬이는 것
4	서있기는 하지만 화생불가하거나 기울어지는 것
5	시들거나 심하게 꼬임



【1】

【2】

【3】

【4】

【5】

그림 44. 등급별 병징 비교(*Fusarium* sp.)

표 62. 옥수수 세균 줄기썩음병(*Dickeya zeae*) 발병도 등급

등급(scales)	병 징
1	접종 부위 부분 괴사
2	접종부위에 병징이 나타남
3	접종부위 마디 전체로 확산(시들음현상 시작)
4	다른 마디로 전이, 겉표면으로 전염(갈변)
5	썩음, 부패, 쓰러짐 등 고사



【1】

【2】

【3】

【4】

【5】

그림 45. 등급별 병징 비교(*D. zeae*)

○ 옥수수 줄기썩음병 병원성 평가

Fusarium sp. 병원성 검정 결과(표 63), 접종농도·방법·시기 조합에 따라 발병주율과 발병도가 달라졌으며, 발병주율 50~60% 수준의 조건으로 ① 1×10^6 /주사/20일묘, ② 1×10^8 /분무/10일묘가 도출되었다. 특히 발병도와 병징 변별력은 1×10^6 /주사/20일묘에서 우수하여 표준 평가 조건으로 활용 가능성이 높았다.

D. zae 병원성 검정 결과(표 64), O.D 값 및 접종조건에 따라 발병 양상이 달라졌고, 발병주율 50~60% 조건으로 ① O.D 0.4/주사/10일묘, ② O.D 0.6/주사 또는 분무/20일묘가 도출되었다. 발병도 및 병징 변별력은 O.D 0.6/주사/20일묘에서 우수하였다.

표 63. 옥수수 줄기썩음병(*Fusarium* sp.) 병원성 검정 결과

접종농도 (cfu/ml)	접종방법	접종시기 (일)	발병주율(%)	발병도 (1-5)
1×10 ⁴	침지	10일묘	0.0	1.0
		20일묘	0.0	1.0
		30일묘	0.0	1.0
	분무	10일묘	10.0	1.1
		20일묘	10.0	1.1
		30일묘	6.7	1.0
	주사	10일묘	40.0	1.4
		20일묘	35.0	1.3
		30일묘	6.7	1.0
1×10 ⁶	침지	10일묘	0.0	1.0
		20일묘	0.0	1.0
		30일묘	0.0	1.0
	분무	10일묘	20.0	1.2
		20일묘	5.0	1.1
		30일묘	13.3	1.1
	주사	10일묘	70.0	2.7
		20일묘	60.0	2.1
		30일묘	6.7	1.0
1×10 ⁸	침지	10일묘	15.0	1.2
		20일묘	20.0	1.1
		30일묘	6.7	1.0
	분무	10일묘	50.0	1.7
		20일묘	20.0	1.2
		30일묘	13.3	1.1
	주사	10일묘	80.0	3.1
		20일묘	80.0	2.7
		30일묘	40.0	1.3

표 64. 옥수수 세균 줄기썩음병(*Dickeya zeae*) 병원성 검정 결과

접종농도 (cfu/ml)	접종방법	접종시기 (일)	발병주율(%)	발병도 (1-5)
O.D값 0.4	침지	10일묘	5.0	1.1
		20일묘	0.0	1
		30일묘	0.0	1
	분무	10일묘	35.0	1.4
		20일묘	10.5	1.2
		30일묘	0.0	1
	주사	10일묘	60.0	1.9
		20일묘	45.0	1.5
		30일묘	33.3	1.8
O.D값 0.6	침지	10일묘	5.0	1.1
		20일묘	0.0	1
		30일묘	0.0	1
	분무	10일묘	50.0	1.7
		20일묘	5.3	1.1
		30일묘	13.3	1.1
	주사	10일묘	70.0	2.2
		20일묘	50.0	2.1
		30일묘	33.3	2
O.D값 0.8	침지	10일묘	10.0	1.1
		20일묘	0.0	1
		30일묘	6.7	1.1
	분무	10일묘	65.0	1.9
		20일묘	10.5	1
		30일묘	20.0	1.3
	주사	10일묘	100.0	3.2
		20일묘	95.0	2.7
		30일묘	73.3	2.1

○ 옥수수 줄기썩음병 품종별 표준 병원성 검정법 적용

도출된 표준 검정법을 찰옥수수 11품종에 적용한 결과(표 65), *Fusarium* sp.에 대해서는 1~2.5(R), 2.6~3.5(MR), 3.6~5.0(S) 기준으로 분류 시 대부분 품종에서 MR 또는 S가 나타나 내병성 품종이 제한적임을 확인하였다. *D. zeae*에 대해서는 다수 품종이 R~MR 범위에 분포하였으며, 품종별 반응 차이가 확인되어 품종 선발 및 저항성 육종 평가에 적용 가능한 기준을 확보하였다.

표 65. 찰옥수수 주요 품종 줄기썩음병 저항성 평가 결과

구분	옥수수 줄기썩음병 (<i>Fusarium</i> sp.)		옥수수 세균 줄기썩음병 (<i>Dickeya zeae</i>)		
	품종	발병도	저항성 정도	발병도	저항성 정도
옥수수	미백2호	2.9	MR	2.7	MR
	아리찰	2.7	MR	1.9	R
	미홍찰	2.5	R	2.0	R
	미현찰	2.7	MR	2.9	MR
	황금흑찰	4.3	S	2.4	R
	찰옥5호	2.2	R	1.7	R
	골드찰	3.7	S	2.4	R
	미흑찰	4.1	S	2.7	MR
	흑점2호	4.2	S	1.7	R
	일미찰	3.5	MR	1.9	R
	아라리찰	3.2	MR	1.9	R
무처리	미백2호	0	-	0	-

※ 저항성 정도: 1~2.5(R: 저항성), 2.6~3.5(MR: 중도저항성), 3.6~5.0(S: 감수성)

(시험 3) 기후변화 대응 옥수수 병 저항성 집단 평가 및 선발(2024~2025)

○ 저항성 집단 평가 및 선발

DH 기술로 고정된 99계통을 대상으로, (시험 2)에서 설정한 발병도 기준을 적용하여 *Fusarium* sp. 및 *D. zeae* 저항성을 평가하였다(표 66). 그 결과 1차년도('24) 선발 계통은 *Fusarium* sp. 36계통, *D. zeae* 23계통이었으며, 2차년도('25)에는 두 병원균 모두에 내병성인 유망 4계통을 도출하였다. 저항성 계통과 감수성 계통 간 병징 차이는 그림 46과 같았다.

표 66. 옥수수 줄기썩음병 저항성 집단 평가(2024)

곰팡이 줄기썩음병(<i>Fusarium subglutinans</i>)			세균 줄기썩음병(<i>Dickeya zeae</i>)		
번호	계통명	발병도 (1-5) 평가	번호	계통명	발병도 (1-5) 평가
-	HW3	3.2	-	HW3	3.9
-	HW9	2.4	-	HW9	3.6
RSR1	23배가01 16DHW4/16DHW8 주사 - 1	1.2 R	RSR1	23배가01 16DHW4/16DHW8 주사 - 1	1.2 R
RSR5	23배가01 16DHW4/16DHW8 침지 - 6	1.3 R	RSR5	23배가01 16DHW4/16DHW8 침지 - 6	1.2 R
RSR8	23배가01 16DHW4/16DHW8 침지 - 9	1.1 R	RSR8	23배가01 16DHW4/16DHW8 침지 - 9	1.1 R
RSR19	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 11	1.1 R	RSR19	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 11	1.1 R

곰팡이 줄기썩음병(<i>Fusarium subglutinans</i>)						세균 줄기썩음병(<i>Dickeya zaeae</i>)					
번호	계통명	발병도 (1-5)	평가			번호	계통명	발병도 (1-5)	평가		
RSR20	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 12	1.4	R			RSR20	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 12	1.5			
RSR24	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 16	1.3	R			RSR24	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 16	1.6			
RSR26	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 1	1.4	R			RSR26	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 1	1.3			
RSR29	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 4	2.6				RSR29	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 4	1.6	R		
RSR30	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 5	1.1	R			RSR30	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 5	1.1	R		
RSR32	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 7	1.1	R			RSR32	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 7	1.3	R		
RSR33	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 8	1.4	R			RSR33	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 8	1.2	R		
RSR34	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 9	1.0	R			RSR34	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 9	1.1	R		
RSR37	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 18	1.0	R			RSR37	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 18	1.5			
RSR38	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 27	1.4	R			RSR38	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 27	1.3	R		
RSR42	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 67	1.8				RSR42	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 67	1.6			
RSR45	23배가04 16DHW52/16DHW54 침지 - 15	1.3	R			RSR45	23배가04 16DHW52/16DHW54 침지 - 15	1.3	R		
RSR59	23배가04 16DHW52/16DHW54 침지 - 49	1.1	R			RSR59	23배가04 16DHW52/16DHW54 침지 - 49	1.4	R		
RSR83	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 66	1.0	R			RSR83	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 66	1.2	R		
RSR86	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 79	1.3	R			RSR86	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지 - 79	1.1	R		
RSR91	23배가04 16DHW52/16DHW54 침지 - 21	1.8				RSR91	23배가04 16DHW52/16DHW54 침지 - 21	1.8			
RSR94	23배가04 16DHW52/16DHW54 침지 - 35	1.3	R			RSR94	23배가04 16DHW52/16DHW54 침지 - 35	1.2	R		
RSR99	23배가04 16DHW52/16DHW54 침지 - 90	1.1	R			RSR99	23배가04 16DHW52/16DHW54 침지 - 90	1.4	R		
RSR4	23배가01 16DHW4/16DHW8 침지 - 3	1.7				RSR4	23배가01 16DHW4/16DHW8 침지 - 3	1.7			
RSR6	23배가01 16DHW4/16DHW8 침지 - 7	1.7				RSR6	23배가01 16DHW4/16DHW8 침지 - 7	1.2	R		
RSR11	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 3	1.7				RSR11	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 3	5.0			
RSR16	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 8	1.7				RSR16	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 8	2.3			
RSR21	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 13	2.6				RSR21	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 13	2.2			
RSR66	23배가01 16DHW4/16DHW8 주사 - 2	2.1				RSR66	23배가01 16DHW4/16DHW8 주사 - 2	1.7			
RSR72	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 22	1.4				RSR72	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 22	1.3	R		
RSR74	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 31	1.5				RSR74	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 31	1.8			
RSR76	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 35	1.2	R			RSR76	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지 - 35	1.4	R		

※ 옥수수 줄기썩음병 발병도 등급은 (시험 2)에서 설정한 값으로 조사



【저항성계통】



【감수성계통】

그림 46. 옥수수 줄기썩음병 저항성 및 감수성 계통

○ 줄기썩음병 저항성 선발 계통 육성

선발 계통의 생육 및 이삭 특성을 조사한 결과(표 67), RSR8, RSR19, RSR30, RSR34 등은 대조계통(HW3) 대비 두 병원균 모두에 저항성(R)을 나타내면서, 출사일수·간장·착수고율 및 이삭 특성 등 기본 농업형질도 확보 가능한 계통으로 판단되었다(그림 47). 이를 바탕으로 저항성 계통의 후속 육성 및 지역 적응성 검정의 필요성이 확인되었다.

표 67. 줄기썩음병 저항성 선발 계통 주요 특성

번호	계통명	생육특성					이삭특성		비고
		출사일수 (일)	간장 (cm)	착수고율 (%)	저항성		이삭장 (cm)	이삭경 (cm)	
					F	D			
-	HW3	73	176.6	34	S	S	11.4	3.4	대조
RSR8	23배가01 16DHW4/16DHW8 침지-9	74	177.6	35	R	R	19.5	4.1	
RSR19	23배가02 16DHW4/16DHW54 침지-11	73	197.9	40	R	R	15.0	3.8	
RSR30	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지-5	74	191	38	R	R	17.6	4.2	
RSR34	23배가03 16DHW52/16DHW8 침지-9	73	185	38	R	R	14.8	3.4	

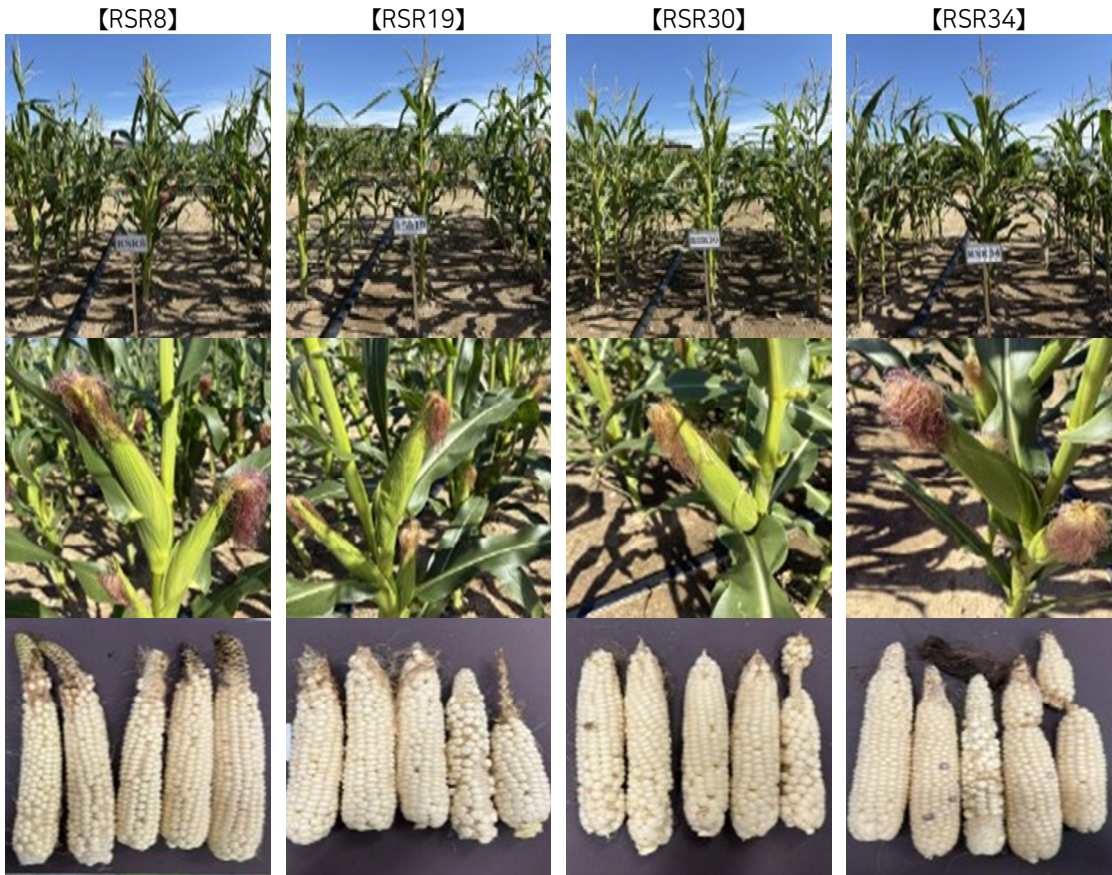


그림 47. 줄기썩음병 저항성 계통

(시험 4) 옥수수 줄기썩음병 진단기술 개발 조건 연구(2024~2025)

○ 동시진단을 위한 cPCR 조건 설정 및 병원균 분자 마커 제작

옥수수 줄기썩음병 주요 병원균 2종에 대한 cPCR 조건을 확립하고(그림 48, 49), 병원균별 진단 프라이머를 선별하였다(표 68). *F. subglutinans*는 프라이머 1종(SUB), *D. zeae*는 프라이머 7종(ADE, ECH, DIC_B~E)을 확보하여 진단 기반을 구축하였다.

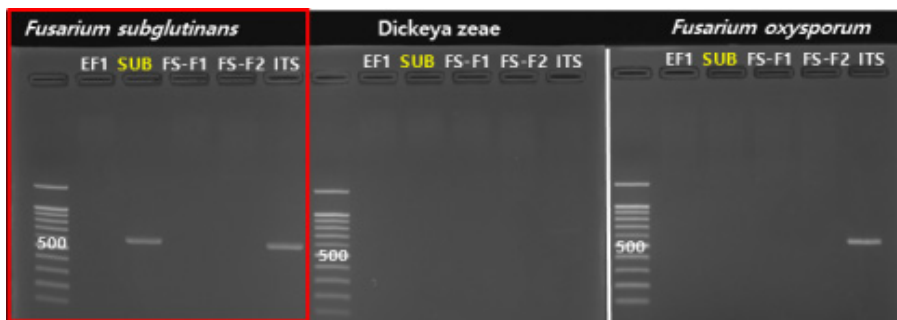


그림 48. 옥수수 줄기썩음병(*F. subglutinans*) cPCR 결과



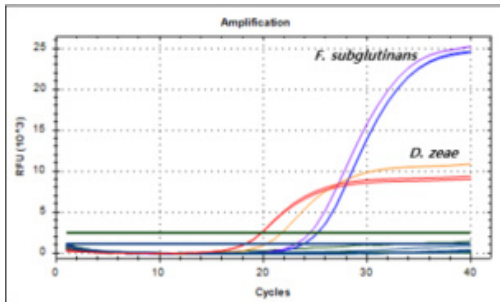
그림 49. 옥수수 세균 줄기썩음병(*Dickeya zeae*) cPCR 결과

표 68. 병원균별 진단 프라이머 정보

구분	프라이머	서열(5'-3')	크기(bp)
<i>F. subglutinans</i>	SUB	F CTGTCGCTAACCTCTTTATCCA R CAGTATGGACGTTGGTATTATATCTAA	600
	ADE	F GATCAGAAAAGCCCGCAGCCAGAT R CTGTGGCCGATCAGGATGGTTTTGTCGTGC	420
<i>D. zeae</i>	ECH	F GAGTCAAAAAGCGTCTTGCGAA R CCCTGTTACCGCGTGAA	86
	DIC_B	F TTCGTAGCATGACCGCTTAC R GGTTTCCAGATAACGCTGGT	98
	DIC_C	F CTGTGCCAGATTACGCACTT R CAATATCCTGGCACTGAACG	100
	DIC_D	F GAATAGGTGCCTTTGCCATT R CGGTCAGCGTACCAAGACTA	99
	DIC_E	F TTGCCAACCGTTGTACACT R TATCACCACCGCGTACATT	102

○ 옥수수 줄기썩음병 동시진단을 위한 Multiplex qPCR 분석

FAM(*D. zeae*), HEX(*F. subglutinans*) probe를 적용한 Multiplex qPCR 분석에서, 각 병원균이 존재할 때 표적 채널에서 Ct 값이 확인되고 NTC는 미검출로 나타나(그림 50), 2종 병원균 동시진단 적용 가능성을 확인하였다.



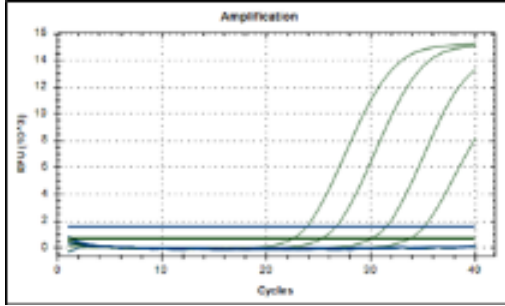
구분	ct 값	
	FAM	HEX
1 <i>D. zeae</i> 1	18.34	N/A
2 <i>D. zeae</i> 2	18.39	N/A
3 <i>F. subglutinans</i> 1	N/A	25.25
4 <i>F. subglutinans</i> 2	N/A	25.26
5 <i>D. zeae</i> P.C	20.37	N/A
6 <i>F. subglutinans</i> P.C	N/A	24.5
7 NTC	N/A	N/A
8 NTC	N/A	N/A

FAM: *D. zeae* 검출 probe, HEX: *F. subglutinans* 검출 probe

그림 50. '24년 선발 프라이머를 이용한 줄기썩음병 진단

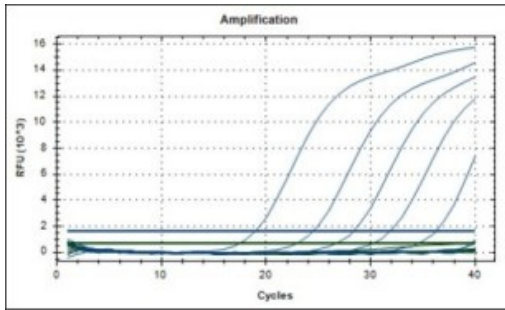
○ 병원균(*F. subglutinans*, *D. zea*) DNA 농도에 따른 민감도 평가

민감도 평가 결과, *F. subglutinans*는 10 pg DNA 농도까지 검출 가능, *D. zea*는 1 pg DNA 농도까지 검출 가능한 것으로 나타나(그림 51, 52), 병원균별 검출 한계의 차이가 확인되었다. 이는 현장 시료 적용 시 균 밀도 및 시료 부위에 따른 검출률 차이를 고려할 필요가 있음을 시사하였다.



구 분	DNA 농도	ct 값	
		FAM	HEX
1	10ng	N/A	22.48
2	1ng	N/A	25.25
3	100pg	N/A	30.09
4	10pg	N/A	33.72
5	1pg	N/A	N/A
6	100fg	N/A	N/A
7	10fg	N/A	N/A
8	NTC	N/A	N/A

그림 51. *F. subglutinans* DNA 농도에 따른 반응



구 분	DNA 농도	ct 값	
		FAM	HEX
1	10ng	18.92	N/A
2	1ng	24.42	N/A
3	100pg	28.31	N/A
4	10pg	31.8	N/A
5	1pg	36.2	N/A
6	100fg	N/A	N/A
7	10fg	N/A	N/A
8	NTC	N/A	N/A

그림 52. *D. zea* DNA 농도에 따른 반응

○ 병원균 접종 후 경과시간에 따른 민감도 평가

*D. zea*는 병원균 노출 후 최소 2시간 경과 시점부터 잎-줄기 시료에서 프라이머 기반 진단이 가능한 것으로 판단되었으며, 24시간까지 병징이 뚜렷하지 않아도 분자진단으로 병원균 존재를 판별할 수 있었다(그림 53~55).

*F. subglutinans*는 병원균 노출 후 최소 24시간 이후부터 진단이 가능할 것으로 판단되었고, 접종 1일 후 병징이 나타나지 않은 줄기에서도 병원균 검출이 확인되었다. 다만 잎 시료에서 상대적으로 감도가 낮아, 시료 부위별 최적화가 필요한 것으로 확인되었다(그림 56~58).

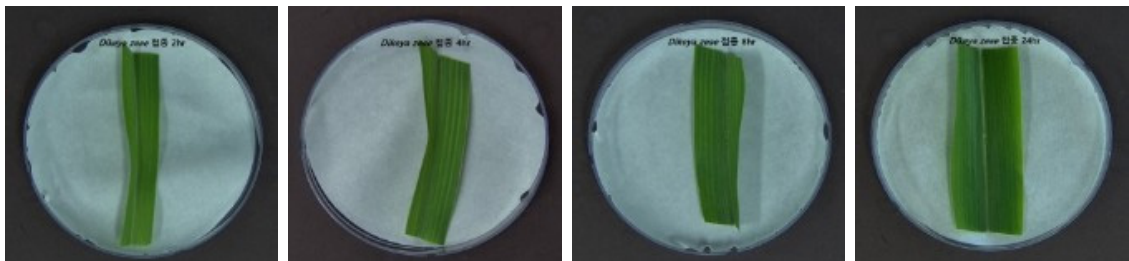


그림 53. *D. zea* 접종 시간별(2-24hr) 병징(잎)

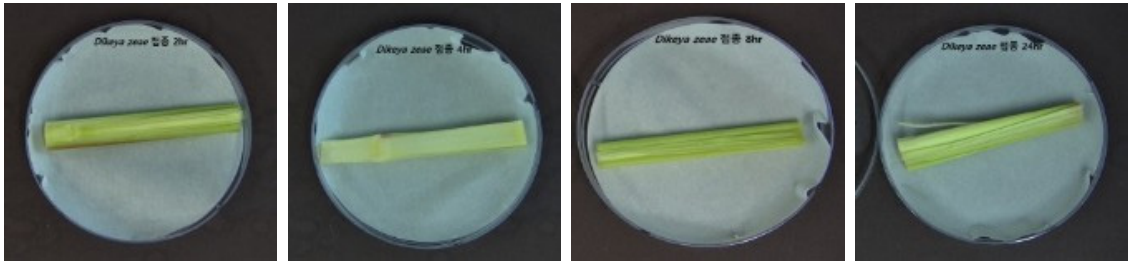


그림 54. *D. zeae* 접종 시간별(2-24hr) 병징(줄기)

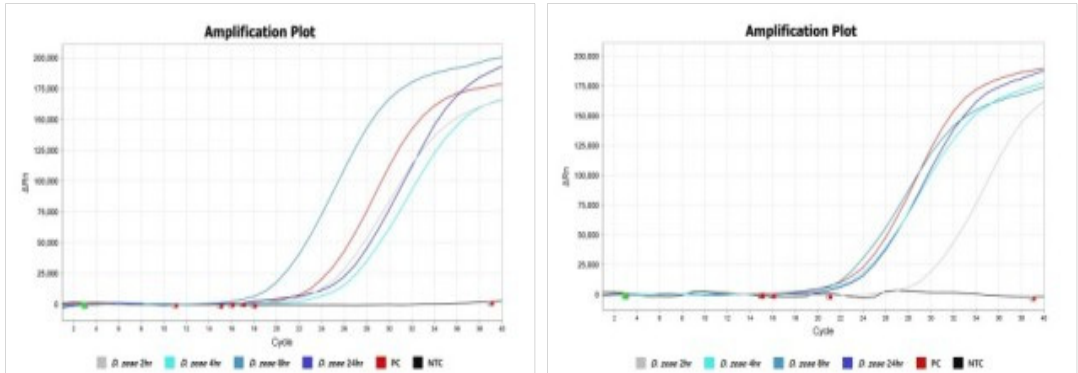


그림 55. *D. zeae* 접종 시간별 RT-PCR(왼: 앞, 오: 줄기)

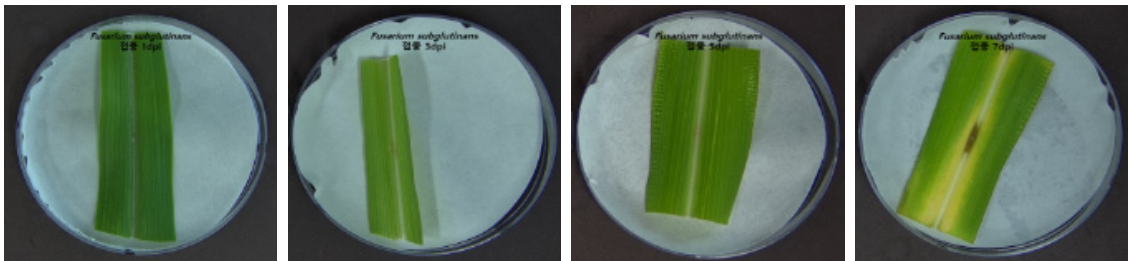


그림 56. *F. subglutinans* 접종 시간별(1~7dpi) 병징(잎)

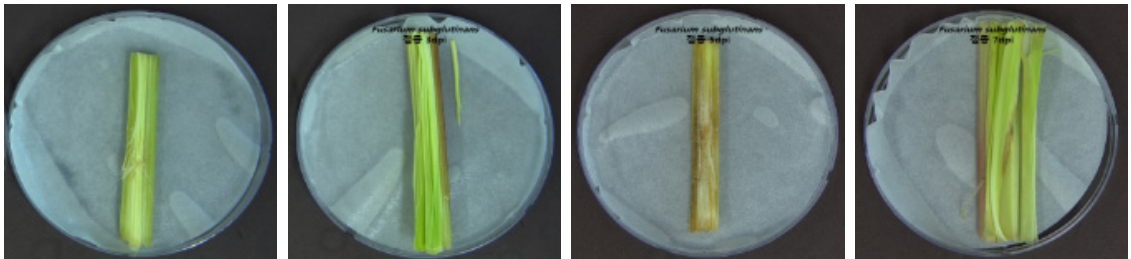


그림 57. *F. subglutinans* 접종 시간별(1~7dpi) 병징(줄기)

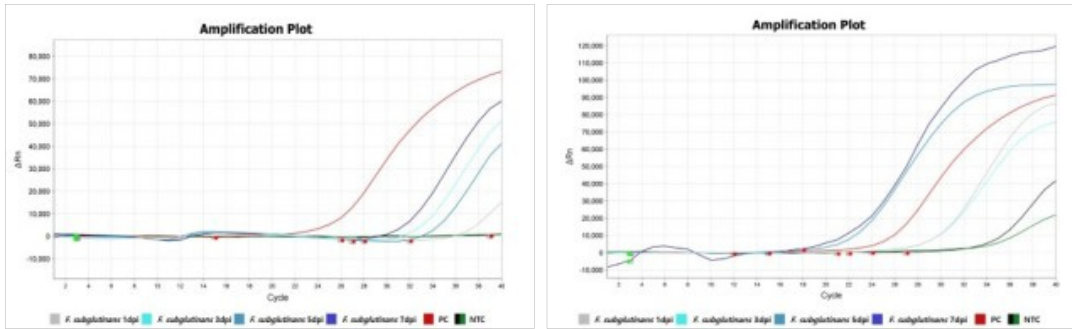


그림 58. *F. subglutinans* 접종 시간별 RT-PCR(원: 앞, 오: 줄기)

(시험 5) 도내 옥수수 이삭썩음병 병원성 평가 및 독소 분석(2024~2025)

○ 옥수수 주산 재배 지역별 이삭썩음병 병원균 수집

홍천 등 7개 시군에서 이삭썩음병 관련 균주를 총 245개 수집하였으며(표 69), 이 중 *Fusarium* spp. 167개(68.1%)로 우점하였다. *Fusarium* 종 동정 결과 *F. proliferatum* 96개(57.4%)가 가장 많았고, *F. graminearum* 등이 확인되었다(그림 59, 60).

표 69. 균주 수집 내역

지역	수집 균주수(개)	비고
합계	245	
춘천(신북면)	40	찰옥수수, 팝콘옥수수
원주(신림면)	17	찰옥수수
강릉(연곡면)	20	찰옥수수
동해(이도동)	38	찰옥수수, 팝콘옥수수
홍천(두촌면)	77	찰옥수수, 팝콘옥수수, 종실용 옥수수
영월(무릉도원면)	39	찰옥수수
인제(기린면)	20	종실용 옥수수

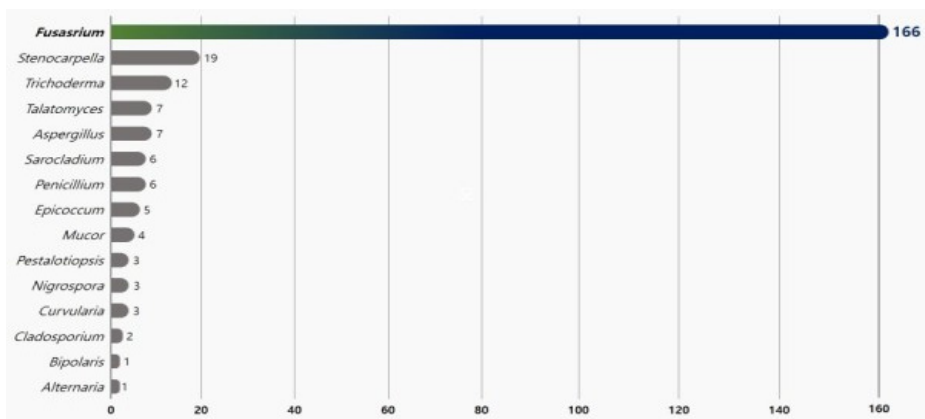


그림 59. 옥수수 알곡에 발생하는 균 종별 발생 빈도

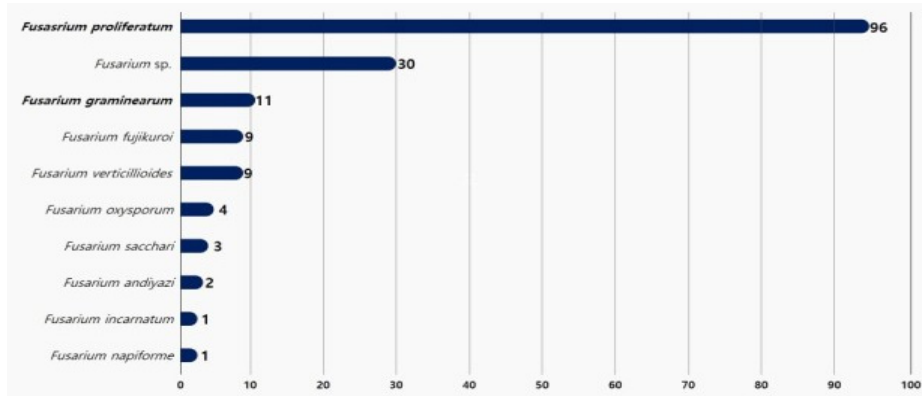


그림 60. 옥수수에 알곡에 발생하는 푸사리움 종별 발생 빈도

○ 옥수수에서 분리된 푸사리움균의 푸모니신 독소 생성 가능성 분석

푸모니신 생성 관련 FUM1 유전자(Richard Baird et al., 2008; Young-Ah Jeon et al., 2013; Ali Reza Khosravi et al., 2014) 분석 결과(표 70), *F. proliferatum* 등에서 푸모니신 생성 가능성이 높은 균주가 다수 확인되었다.

트라이코쎬신 독소 생성 관련 TRI12(Todd J. Ward et al., 2002; T.A.J Van der Lee et al., 2017; R.T.Villafana et al., 2019) 유전자 분석 결과(표 71), *F. graminearum* 및 일부 *Fusarium sp.*에서 15ADON 및 3ADON(Yun Seon Choi et al., 2024) 화학형의 DON 생성 가능성이 확인되었다.

표 70. 옥수수 분리 푸사리움균의 푸모니신(FUM1) 독소 생성 가능성 분석

푸사리움 종	푸모니신 생성 가능 균주 수 (%)	푸모니신 생성 불가능 균주 수 (%)	계
<i>F. proliferatum</i>	70 (73.9)	26 (26.1)	96
<i>Fusarium sp.</i>	12 (41.4)	18 (58.6)	30
<i>F. verticillioides</i>	7 (87.5)	4 (12.5)	11
<i>F. fujikuroi</i>	7 (77.8)	2 (22.2)	9
<i>F. oxysporum</i>	3 (75.0)	1 (25.0)	4
<i>F. sacchari</i>	1 (33.3)	2 (66.7)	3
<i>F. napiforme</i>	1 (100)	0 (0.0)	1
<i>F. incarnatum</i>	0 (0)	1 (100)	1
계	101	54	155

표 71. 옥수수 분리 푸사리움균의 트라이코쎬신독소(TRI12) 생성 가능성 분석

푸사리움 종	15-Acetyl 데옥시니발레놀(15ADON)	3-Acetyl 데옥시니발레놀(3ADON)	니발레놀(NIV)	구별안됨	계
<i>F. graminearum</i>	4 (40%)	7 (60%)	0	-	11
<i>Fusarium sp.</i>	5 (45.5%)	6 (54.5%)	0	-	11
계	8 (40.0%)	12 (60.0%)	0 (0.0%)	-	22

○ 도내 알곡 독소 정량 분석

7개 시군 수집 알곡의 독소 정량 결과, 강릉 색소옥수수를 제외한 대부분 시료에서 독소가 검출되었고, 특히 홍천 수집 시료에서 기준치 초과 독소가 다수 확인되었다. 홍천 색소옥수수는 푸모니신(B1, B2)뿐 아니라 제랄레논 및 데옥시발레논도 동시 검출되어 복합 오염 가능성이 확인되었다.

표 72. 강원특별자치도 7개 시군 옥수수 알곡 독소 분석결과

구분	독소	푸모니신 B1 (ug/kg)	푸모니신 B2 (ug/kg)	제랄레논 (ug/kg)	데옥시발레논 (ug/kg)
춘천 팝콘		956.2±23.8	159.2±9.0	-	-
춘천 찰		7.0±0.5	-	-	-
원주 찰		1,564.1±9.6	330.7±9.3	-	-
강릉색소		-	-	-	-
강릉 찰		13.3±0.7	-	-	-
동해 팝콘 1		238.2±4.6	26.2±2.1	-	-
동해 팝콘 2		801.1±16.0	228.9±5.7	-	-
동해 창고		220.7±2.6	35.6±2.4	-	-
동해 찰		445.2±4.5	192.2±9.5	-	-
홍천찰		6,311.1±87.0	1,215.6±42.6	-	-
홍천색소		37,037.3±141.0	9,571.5±366.7	11,325.3±138.5	6267.9±960.1
홍천팝콘		28,019.7±519.9	7,291.5±57.0	-	-
인제 종실		1,176.7±0.7	310.4±11.6	294.9±3.5	229.4±89.3
영월 찰		371.8±12.6	87.8±9.4	-	-
기준치		4,000이하	4,000이하	200이하	2000이하

○ 분리 균주 병원성 검정

2024년도 분리 균주를 이용한 병원성 검정 결과(표 73, 그림 61), 독소 생성 가능 균주와 비가능 균주 모두에서 병원성이 확인되었다. *Fusarium* spp.는 토양 및 잔재를 통해 지속 잔존할 가능성이 있어(Haware & Nene, 1996; Bennett et al., 2012; Henry et al., 2019;), 도내 이삭썩음병 관리를 위한 후속 관리기술 개발 및 지속 모니터링 과제의 필요성이 제기되었다.

표 73. 곰팡이 독소 유무에 따른 병원성 평가

분리지역	구분	곰팡이독소 유무 ('24 결과)	병원성 유무
원주	찰옥수수	X	0
강fmd	찰옥수수	0(푸모니신)	0
동해	찰옥수수	X	0
	팝콘용 옥수수	0(푸모니신)	0
홍천	찰옥수수	0(푸모니신)	0
	팝콘용 옥수수	0(푸모니신)	0

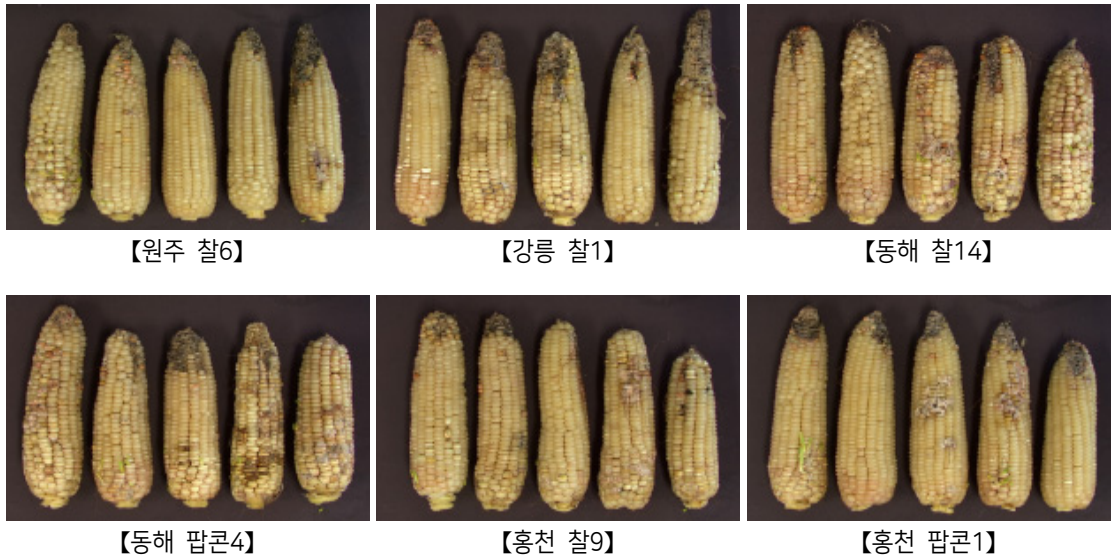


그림 61. 이삭썩음병 분리군주 병원성 검정결과

<제3세부과제: 옥수수 소비확대를 위한 가공상품 사업화 및 수출>

(시험 1) 국내 육성 옥수수 반가공 제품 개발

○ 옥수수 분말제품 개발

옥수수 품종별 증숙 및 건조에 따른 분말의 품질특성은 표 74와 같다. 미백 2호의 수분흡수지수(WAI)는 무처리구 4.30~4.41 g/g 보다 증숙처리구 5.16~5.73 g/g으로 높았다. 증숙처리 후 건조온도별 수분흡수지수는 건조온도가 높을수록 낮았다. 수분용해지수(WSI)는 무처리구 11.23~12.14%, 증숙처리구 8.27~8.74%로 무처리가 높았으나, 건조 온도별 차이가 없었다. 결과적으로 증숙처리로 인해 전분 호화로 팽윤력이 높아진 결과 수분흡수지수가 높았다. 또한 증숙처리시 구조 응집현상으로 수용성 성분의 용출이 낮고, 용해성이 낮았다. 점성, 포만감, 농도유지가 필요한 식사형 파우더는 증숙 분말 선택, 깔끔한 음용감, 분산이 필요한 경우는 무처리 분말을 선택하는 것이 좋을 것으로 나타났다(표 74).

표 74. 옥수수 품종별 증숙 및 건조온도별 분말의 품질특성 비교

품종	처리	건조 온도(°C)	수율 ^z (%)	수분 함량(%)	수분흡수 지수(g/g)	수분용해 지수(%)
미백2호	무처리	40	41.9	7.83±0.03c	4.38±0.15d	12.14±0.12a
		50	40.9	7.48±0.11d	4.30±0.08d	11.49±0.19a
		60	40.9	7.53±0.15d	4.41±0.04d	11.23±0.44a
	증숙	40	45.0	9.87±0.08a	5.73±0.09a	8.74±0.09b
		50	44.7	8.31±0.09b	5.49±0.22b	8.68±0.15b
		60	44.2	6.79±0.06e	5.16±0.02c	8.27±1.72b

품종	처리	건조 온도(°C)	수율 ^z (%)	수분 함량(%)	수분흡수 지수(g/g)	수분용해 지수(%)
아라리찰	무처리	40	39.9	7.28±0.01d	4.29±0.05c	16.56±0.21a
		50	39.1	7.39±0.07d	4.30±0.20c	14.06±0.02b
		60	38.6	8.82±0.04b	4.45±0.02c	14.04±0.03b
	증숙	40	39.0	9.73±0.10a	6.18±0.02b	7.27±0.34d
		50	38.9	8.72±0.10b	6.22±0.17b	8.72±0.22c
		60	38.4	8.27±0.10c	6.53±0.14a	6.50±0.23e
초당	무처리	40	21.4	8.95±0.04a	3.82±0.18c	41.93±0.51a
		50	20.4	7.91±0.15b	4.57±0.42b	36.87±0.07b
		60	18.6	7.48±0.18c	4.34±0.04b	36.80±0.30b
	증숙	40	27.0	9.11±0.11a	4.65±0.05b	36.61±0.49b
		50	26.7	7.46±0.30c	5.29±0.05a	35.40±0.25c
		60	26.9	7.90±0.17b	5.23±0.25a	35.34±0.59c

^z 수율: 수분함량 10%이하

옥수수 품종별 증숙 및 건조온도별 분말의 색도를 볼 때, 색도 b값은 증숙처리 분말이 높아 황색도 유지가 높았다. 증숙처리시 비효소적 갈변이 낮고, 카로티노이드 안정화로 황색도가 높은 것으로 나타났다.

표 75. 옥수수 품종별 증숙 및 건조온도별 분말의 색도 비교

품종	처리	건조온도 (°C)	L	a	b
미백2호	무처리	40	63.16±0.11c	0.23±0.01c	8.91±0.02b
		50	62.32±0.12d	1.44±0.02b	12.05±0.07c
		60	63.34±0.23c	1.35±0.04a	11.35±0.19d
	증숙	40	61.93±0.17e	-0.13±0.01d	13.74±0.02a
		50	64.43±0.16b	-0.16±0.02e	13.84±0.04a
		60	66.87±0.10a	-0.21±0.01f	13.81±0.01a
아라리찰	무처리	40	60.42±0.18a	1.51±0.01e	4.14±0.08c
		50	57.06±0.05b	2.02±0.02b	5.23±0.10a
		60	54.92±0.06c	1.21±0.01f	4.82±0.08b
	증숙	40	43.96±0.01e	1.91±0.01c	3.00±0.02f
		50	43.83±0.03e	1.55±0.02d	3.12±0.04e
		60	48.00±0.10d	2.05±0.01a	3.33±0.01d

품종	처리	건조온도 (°C)	L	a	b
초당	무처리	40	56.18±0.22a	4.27±0.02e	19.40±0.47d
		50	55.30±0.21b	5.16±0.26c	19.83±0.14cd
		60	54.33±0.21c	4.63±0.28d	18.87±0.38e
	증숙	40	48.71±0.10e	5.41±0.01bc	20.25±0.09c
		50	53.16±0.09d	5.56±0.03b	22.36±0.07b
		60	55.20±0.29b	5.95±0.06a	25.52±0.21a

옥수수 품종별 증숙여부 및 건조온도별 폴리페놀함량은 증숙처리구가 무처리구에 비해 낮았고, 플라보노이드 함량은 증숙처리구가 무처리구에 비해 높았다. DPPH radical scavenging 함량은 무처리구가 증숙처리구보다 높았다.

표 76. 옥수수 품종별 증숙 및 건조온도별 분말의 폴리페놀, 플라보노이드, DPPH radical 소거능 비교

품종	처리	건조온도 (°C)	폴리페놀함량 (mg/TAE/g)	플라보노이드함량 (mg/RE/g)	DPPH radical 소거능(%)
미백2호	무처리	40	9.73±0.53c	1.84±0.00bc	45.46±1.71b
		50	15.15±0.73b	1.35±0.00d	52.72±1.17a
		60	13.44±0.29a	1.35±0.00d	45.59±1.79b
	증숙	40	2.13±0.20d	2.34±0.00a	32.01±0.99c
		50	2.79±0.60d	1.84±0.00c	34.33±1.22c
		60	2.84±0.11d	1.84±0.00b	34.16±1.11c
아라리찰	무처리	40	16.40±0.34b	3.52±0.29d	70.92±0.92b
		50	19.28±0.19a	4.67±0.86bc	77.65±0.66a
		60	16.72±0.13b	3.67±0.50cd	65.62±1.14c
	증숙	40	8.86±0.41c	5.68±0.02b	51.16±0.76f
		50	8.54±0.44c	7.48±1.03a	58.81±0.50d
		60	7.28±0.23d	0.70±0.00e	55.80±0.77e
초당	무처리	40	16.41±0.09b	0.53±0.29b	49.24±1.10d
		50	22.45±0.66a	0.20±0.00b	64.79±1.31a
		60	17.08±1.10b	0.20±0.00b	52.67±0.56c
	증숙	40	9.99±0.41d	1.36±0.28a	39.10±1.10f
		50	9.94±0.44d	1.36±0.29a	41.62±0.72e
		60	12.08±0.22c	0.36±0.29b	60.67±0.45b

옥수수 품종별 증속 및 건조온도별 분말의 flow function slope는 증속 처리시 수치가 낮았으며, 증속 분말이 압밀, 결착에 강하고 흐름성이 양호한 것으로 나타났다.

표 77. 옥수수 품종별 증속 및 건조온도별 분말의 유동성(PEF)비교

구분	처리	건조 온도(°C)	Flow function slope	Flow index at 10Kpa	Friction Angles (°)	Bulk density (kg/m ²)	Tapped Density (kg/m ²)	Ratio (TD/BD)
미백 2호	무처리	40	0.72	0.69	56.4	772.6	662.5	0.857
		50	0.54	0.59	46.7	770.8	436.5	0.566
		60	0.66	0.66	39.1	736.2	540.7	0.734
	증속	40	0.30	0.33	55.2	736.2	540.7	0.734
		50	0.35	0.37	54.1	794.6	600.6	0.756
		60	0.39	0.41	55.6	825.7	621.5	0.753
아라리찰	무처리	40	0.78	0.70	59.3	761.5	529.5	0.695
		50	0.68	0.69	51.2	792.9	546.5	0.689
		60	0.57	0.61	45.6	764.1	537.8	0.704
	증속	40	0.30	0.29	55.2	745.1	547.2	0.734
		50	0.32	0.31	56.8	767.1	562.8	0.734
		60	0.35	0.34	55.1	779.6	569.5	0.731
초당	무처리	40	0.36	0.38	56.2	534.4	706.0	1.321
		50	0.33	0.35	55.5	531.3	716.6	1.349
		60	0.37	0.39	56.4	557.9	879.9	1.577
	증속	40	0.28	0.29	48.9	491.2	624.0	1.270
		50	0.33	0.35	54.3	530.8	709.8	1.337
		60	0.34	0.36	55.0	519.1	704.6	1.357

○ 추출 온도 및 시간별 옥수수 추출액의 품질 특성

아라리찰옥수수 온도 및 시간별 품질특성은 표 78와 같다. 추출온도 100℃, 추출시간 150분 추출시 색도 a값 32.57, 당도 3.7brix, 산도 0.121% 였다. 100℃ 추출시 추출시간에 따라 안토시아닌 함량과 당함량이 높아졌다(그림 62).

표 78. 아라리찰옥수수 추출온도 및 시간에 따른 품질특성

추출온도 (°C)	추출시간 (분)	색도			당도 (brix)	산도 (%)
		L	a	b		
60	150	92.15±0.02	1.05±0.01	6.08±0.02	0.17±0.06	0.005±0.00
80	150	91.34±0.01	2.15±0.02	5.01±0.01	0.30±0.00	0.006±0.00
90	150	92.21±0.00	1.68±0.01	6.30±0.01	0.20±0.00	0.006±0.00
100	150	30.53±0.05	32.57±0.03	34.58±0.06	3.70±0.00	0.121±0.01

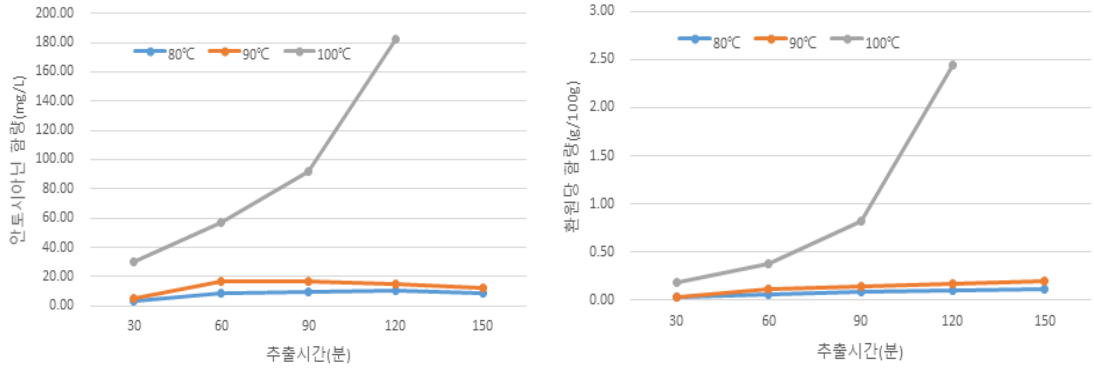
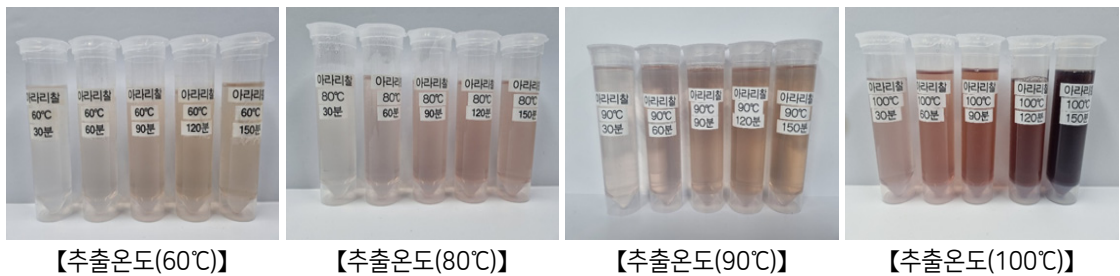


그림 62. 아라리찰옥수수 추출온도 및 시간에 따른 안토시아닌 및 환원당함량



【추출온도(60°C)】

【추출온도(80°C)】

【추출온도(90°C)】

【추출온도(100°C)】

그림 63. 칼라찰옥수수 추출온도 및 시간에 따른 비교

아라리찰 옥수수 변온추출 한 경우 100°C-60분, 80°C-60분 추출시 색도 a값 14.83, 당도 1.07brix, 산도 0.027%로 추출 수율이 다른 처리에 비해 높았다.

표 79. 아라리찰 옥수수 변온 추출에 따른 품질특성

온도 및 시간	시간	색도			당도 (brix)	산도 (%)
		L	a	b		
100(30)	30	82.31±0.02	6.72±0.01	8.67±0.02	0.70±0.00	0.012±0.00
100(60)	60	74.88±0.01	11.03±0.01	12.74±0.03	0.87±0.06	0.021±0.000
100(60)-80(30)	90	72.11±0.02	12.94±0.01	15.91±0.02	1.03±0.06	0.025±0.001
100(60)-80(60)	120	69.23±0.02	14.83±0.01	19.49±0.01	1.07±0.06	0.027±0.001
100(30)-80(30)	60	79.99±0.02	8.35±0.01	11.53±0.01	0.70±0.00	0.013±0.00

(시험 2) 아라리찰옥수수 활용 음료 개발

아라리찰옥수수를 이용한 음료개발 과정은 그림 64와 같았다. 아라리찰옥수수를 계피, 정백당 혼합하여 1차 추출하였다. 추출액에 부재료(사과착즙액 등)를 넣고 혼합하였다. 혼합한 액을 가열 살균하여 냉각한 후 유리병에 충전하였다. 충전한 음료를 후살균(80°C, 30분)한 후 4°C 이하에서 저장하였다.



그림 64. 아라리찰옥수수 음료 제조 공정

아라리찰옥수수 추출액을 1차 추출한 배합비율은 표 80과 같다. 1차 추출한 아라리찰옥수수 추출액에 부재료를 넣어 음료를 제조하였다. 부재료인 사과추출액의 비율에 따른 품질특성을 비교한 결과를 바탕으로 최종 아라리찰옥수수 음료 배합비율은 표 81과 같았다.

표 80. 아라리찰옥수수 추출액 배합비율

구분	아라리찰옥수수	계피	정백당	정제수	계
함량(%)	15.0	0.2	1.0	83.8	100

표 81. 아라리찰옥수수 음료 배합비율(I)

구분	I	II	III	IV	V
아라리찰추출액	69.95	75.95	64.8	68.9	62.9
사과추출액	10	10	20	15	15
파인애플추출액	10	10	10	10	15
파인애플과육	4	4	4	4	5
구연산	0.05	0.05	0.2	0.1	0.1
정백당	6		1	2	2
계	100	100	100	100	100

표 82. 아라리찰옥수수 음료 배합비율(II)

구분	아라리찰 추출액	사과 착즙액	파인애플 베이스	구연산	정백당	DF-100	계
함량(%)	77.87	15.0	5.0	0.1	2.0	0.03	100

아라리찰옥수수의 추출액의 수율을 높이기 위해 변온 추출하였다. 변온 추출한 추출액에 부재료를 혼합한 배합비율은 표 83과 같다. 음료 II는 계피 0.2% 첨가 처리한 아라리찰 혼합추출액 85.67%에 부재료를 넣어 제조하였다. 제품의 당도 16brix, 색도 a값 27.83, 산도 0.387이었다.

표 83. 아라리찰 옥수수 음료 배합비

구 분	I ^z	II
아라리찰혼합추출액	85.87	85.67
사과농축액	7.0	7.0
파인애플베이스	5.0	5.0
구연산	0.1	0.1
정백당	2	2
DF-100	0.03	0.03
계피추출물		0.2
계	100	100

^z I (100℃ 60분→80℃, 60분), II(100℃ 60분→80℃, 60분)+계피 0.2%첨가

표 84. 옥수수 음료의 품질특성

구분	당도 (brix)	색도			산도	pH
		L	a	b		
I	15.6	52.98±0.02	27.92±0.02	42.83±0.05	0.382±0.03	3.73±0.01
II	16.0	50.81±0.21	27.83±0.01	44.17±0.12	0.387±0.01	3.71±0.01



그림 65. 아라리찰옥수수 음료

○ 강일옥 저장

강일옥 저장온도 및 포장재별 감모율은 0℃ 저장 6개월 PE, PP필름 각각 0.1, 3.3%, 30℃ 저장 PE, PP필름 각각 2.7, 6.7%였다. 감모율은 0℃, 10℃ 저장 6개월 각각 0.1, 0.3%였고, PE 필름이 PP마대 보다 낮았다. 강일옥 옥수수의 저온(0℃)저장시 감모율이 낮고, 수분유지가 높으며, 색도가 안정적이였다. 고온(30℃)저장시 수분손실이 높고, 색도 저하, 전분비율이 높았다. 포장재에 따른 차이는 PE 필름이 PP마대보다 수분유지, 감모율 억제 효과가 있었다.

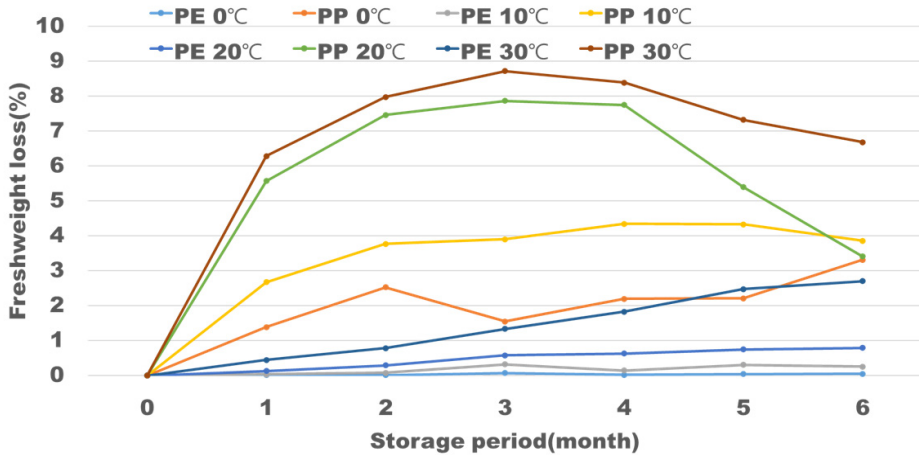


그림 66. 강일옥 저장온도 및 포장재별 감모율 변화

강일옥 저장온도 및 포장재별 수분 변화는 0℃ 저장 6개월 PE, PP필름 각각 15.2, 12.9%, 30℃ 저장 PE, PP필름 각각 11.7, 6.2%였다.

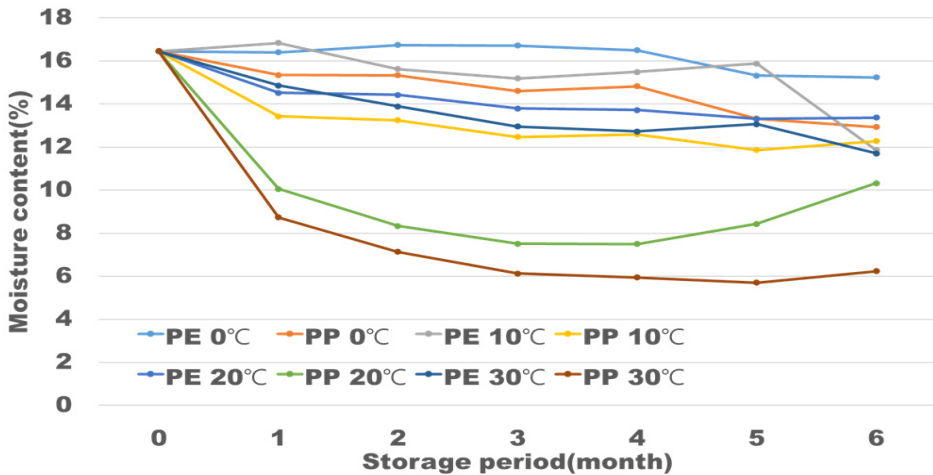


그림 67. 강일옥 옥수수 저장온도 및 포장재별 수분 변화

강일옥 저장온도 및 포장재별 색도(L)변화는 0℃ 저장 6개월 PE, PP필름 각각 64.30, 64.41, 30℃ 저장 PE, PP필름 각각 55.55, 59.53였다.

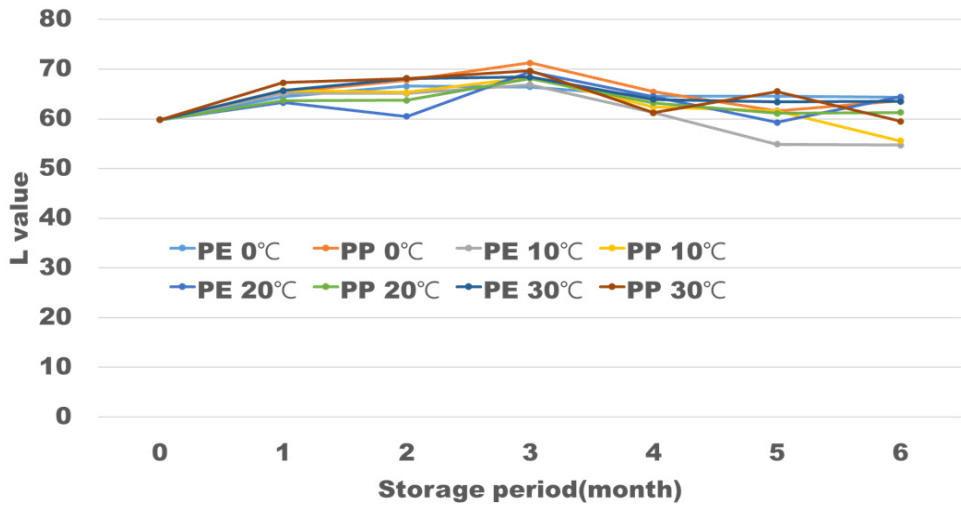


그림 68. 강일옥 저장온도 및 포장재별 색도(L) 변화

강일옥 저장온도 및 포장재별 환원당 변화는 0℃ 저장 6개월 PE, PP필름 각각 0.20, 0.17%, 30℃ 저장 PE, PP필름 각각 0.19, 0.15%였다. 온도 차이에 따른 장기 보관시 환원당 유지 차이는 크지 않았다.

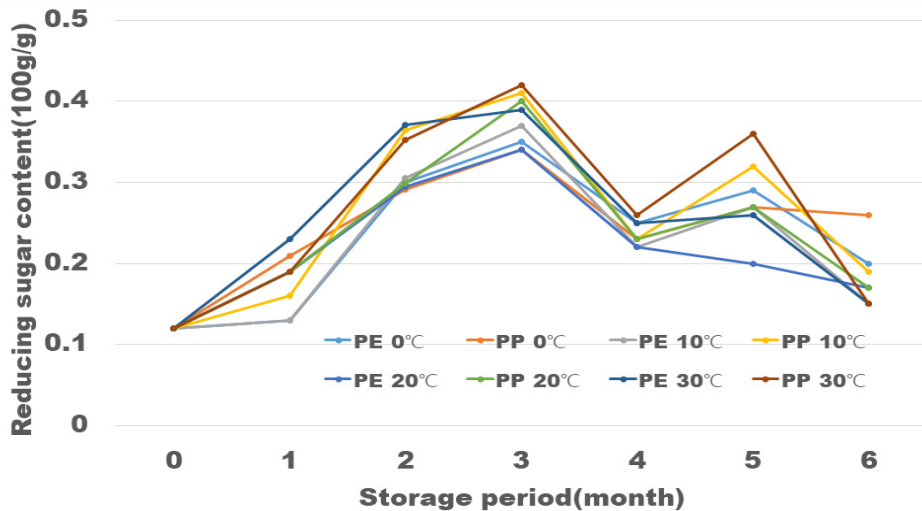


그림 69. 강일옥 저장온도 및 포장재별 환원당 변화

강일옥 저장온도 및 포장재별 전분 함량은 저장중 3~5개월 구간에서 증가한 후 6개월에 감소하였다.

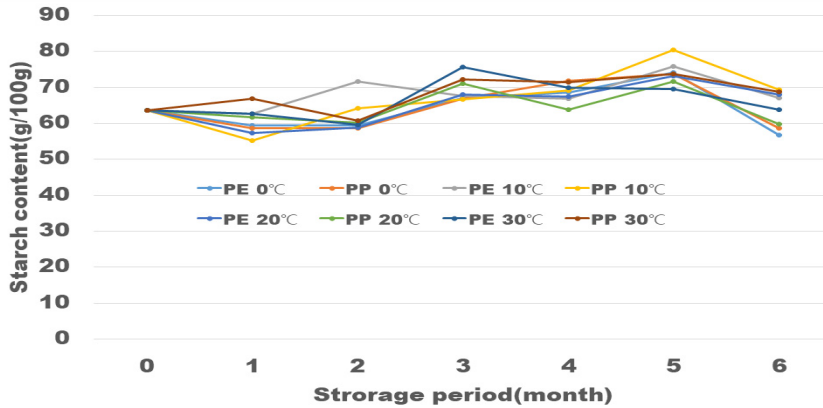


그림 70. 강일옥 저장온도 및 포장재별 전분함량 변화

(시험 3) 찰옥수수 활용 간편 편이 제품 개발

○ 아라리찰 전처리 및 침지시간별 품질특성

아라리찰옥수수의 레토르트 제품을 제조하기 위하여, 전처리용액 및 침지시간에 따른 칼라찰옥수수의 품질을 비교하였다. 전처리용액은 NaCl(0.5, 1, 2, 3%), sugar(0.5, 1, 2, 3%)에 침지(0.5, 1, 2, 3, 4, 5시간)한 후 품질 특성을 조사하였다.



그림 71. 옥수수 레토르트 제조공정

○ NaCl 농도 및 침지시간별 아라리찰 품질특성

처리용액 NaCl을 농도별로 침지하였을 때 침지농도가 높아질수록 당도, 염도의 함량이 높았다. 색도에 있어도 황색도 b값은 침지시간이 길어질수록 높아지는 경향으로 자색의 색소가 물에 용출되었다. 경도는 침지농도 1.0%는 침지시간에 길어질수록 낮아졌다.

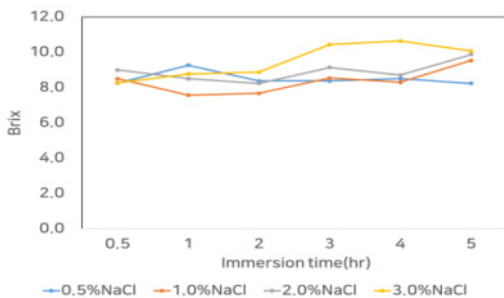


그림 72. NaCl농도 및 침지시간별 Brix변화

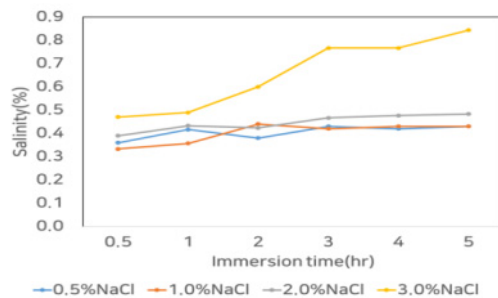


그림 73. NaCl농도 및 침지시간별 염도 변화

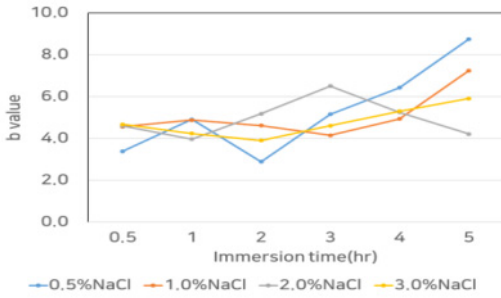


그림 74. NaCl농도 및 침지시간별 색도 변화

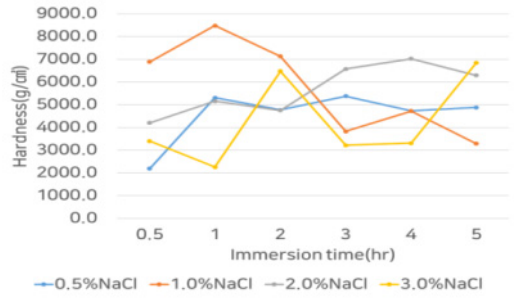


그림 75. NaCl농도 및 침지시간별 경도 변화

○ Sugar 농도 및 침지시간별 아라리찰 품질특성

전처리용액 sugar를 농도별로 침지하였을 때 침지농도와 시간별 당도와 염도의 변화는 거의 없었다. 색도에 있어도 색도 a, b값이 높아졌다. 경도는 침지농도 0.5%, 1.0%는 침지시간에 길어질수록 경도가 높아졌으나, 침지농도 2%, 3%는 경도가 낮아졌다.

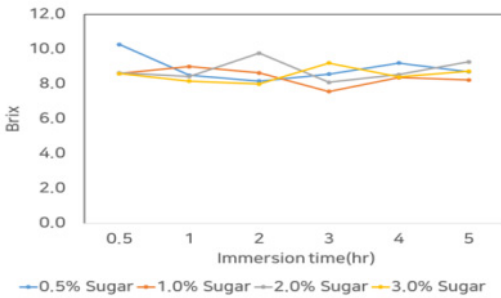


그림 76. Sugar농도 및 침지시간별 Brix변화

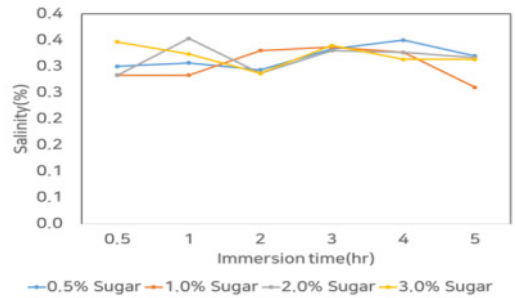


그림 77. Sugar농도 및 침지시간별 염도 변화

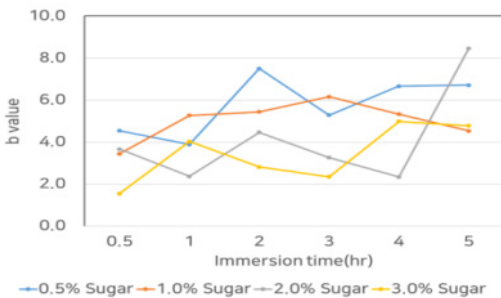


그림 78. Sugar농도 및 침지시간별 색도 변화

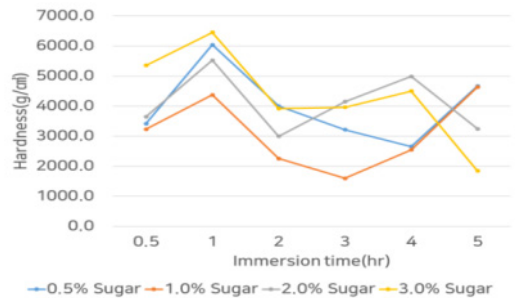


그림 79. Sugar농도 및 침지시간별 경도 변화

○ NaCl농도 및 레토르트 조건별 아라리찰 품질특성

NaCl 침지 시간을 4시간 처리한 후, 레토르트 조건(121℃, 15분, 55분)별 품질조사를 하였다. 레토르트 조건에 상관없이 NaCl 농도가 높을수록 당도, 염도가 높아졌다. 레토르트(121℃, 55분)처리에서 색도 b값이 높아졌다. 관능평가는 NaCl 1% 침지시 높았다.

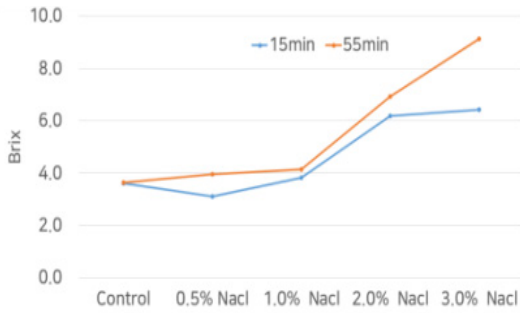


그림 80. NaCl농도 및 레토르트 처리별 Brix변화

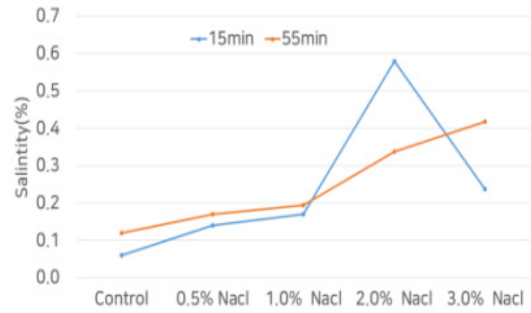


그림 81. NaCl농도 및 레토르트 처리별 염도 변화

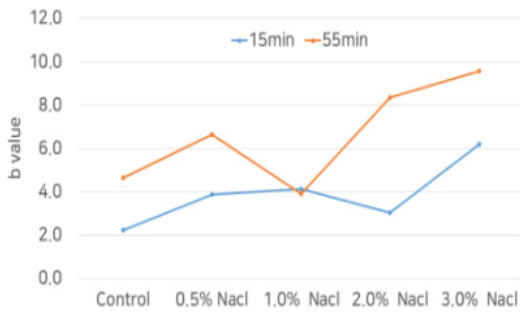


그림 82. NaCl농도 및 레토르트 처리별 색도 변화

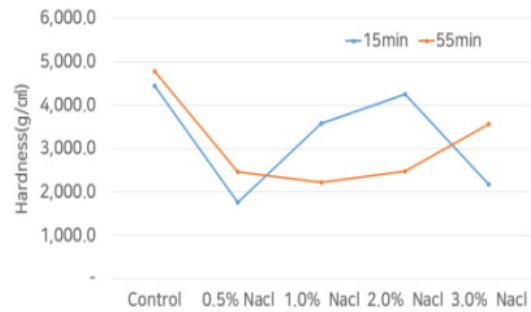


그림 83. NaCl농도 및 레토르트 처리별 경도 변화

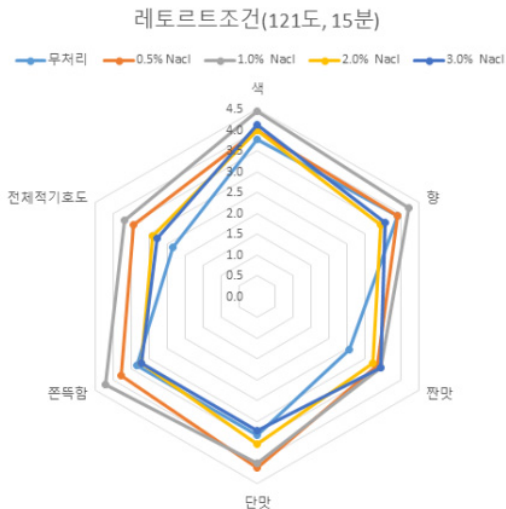


그림 84. 레토르트(121도, 15분)시 관능평가

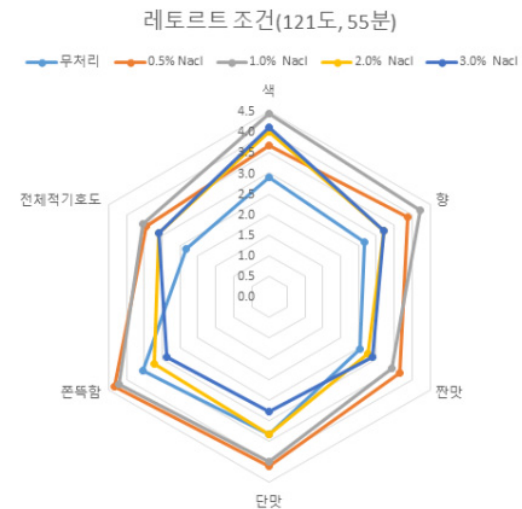


그림 85. 레토르트(121도, 55분)시 관능평가

○ 전처리액+레토르트처리 시 옥수수 품질특성

전처리 용액(NaCl, glucose, stevia)을 포함한 액 20ml을 레토르트 봉지내에 옥수수(찰, 아라리찰)와 함께 레토르트 처리하였다.



그림 86. 옥수수 레토르트 제조과정

전처리별 찰옥수수(미백2호)의 당도는 무처리와, NaCl 1%+glucose 1%+stevia 0.05%가 각각 2.57, 2.60으로 높았다. 환원당 함량에서는 무처리가 높았다. 경도는 무처리가 가장 높았고, 용액처리시 낮아졌다. stevia 농도가 높아질수록 경도는 낮아졌다.

표 85. 전처리별 찰옥수수(미백2호) 레토르트 품질특성 비교

처리 ^z	당도 (brix)	염도	pH	환원당 (%)
I	2.57	0.07	6.22	0.91
II	1.93	0.09	6.47	0.42
III	2.30	0.08	6.37	0.35
IV	1.90	0.08	6.33	0.34
V	1.97	0.07	6.36	0.29
VI	2.60	0.07	6.43	0.33

^z (I):무처리, (II):NaCl 1%, (III):NaCl 1%+glucose 1%, (IV):NaCl 1%+glucose 1%+Stevia 0.01%, (V):NaCl 1%+glucose 1%+Stevia 0.03%, (VI): NaCl 1%+glucose 1%+Stevia 0.05%

표 86. 전처리별 찰옥수수(미백2호) 레토르트 물성비교

처리 ^z	Hardness cycle1 (g/cm ³)	Hardness cycle 2 (g/cm ³)	Cohesiveness	Springiness (mm)	Gumminess (g)	Chewiness (mj)
I	9,793.0	6,446.0	0.12	2.44	1,220.7	18.9
II	7,959.3	5,712.0	0.14	2.27	1,088.7	18.8
III	8,558.0	6,299.3	0.14	2.31	1,244.0	26.4
IV	7,128.3	5,280.3	0.18	2.19	1,237.0	18.2
V	5,597.7	3,880.3	0.11	1.87	610.0	25.7
VI	5,728.3	4,401.7	0.21	2.62	1,177.3	30.9

^z (I):무처리, (II):NaCl 1%, (III):NaCl 1%+glucose 1%, (IV):NaCl 1%+glucose 1%+Stevia 0.01%, (V):NaCl 1%+glucose 1%+Stevia 0.03%, (VI): NaCl 1%+glucose 1%+Stevia 0.05%

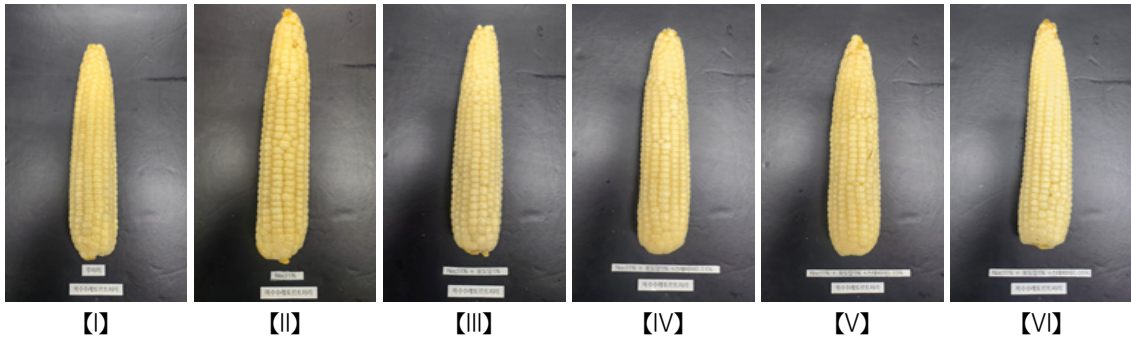


그림 87. 옥수수 레토르트 처리별 비교

아라리찰옥수수의 당도는 무처리가 가장 높았고, stevia의 농도가 높을수록 당도가 높았다. 또한 환원당도 농도에 비례해서 높았다. 아라리찰옥수수의 총안토시아닌 함량은 NaCl 1%+glucose > NaCl 1% 4시간침지 > NaCl 1% 순으로 높았다. 관능평가에서는 NaCl 1%, NaCl 1%+glucose가 높았다.

표 87. 전처리별 아라리찰옥수수 레토르트 품질특성 비교

처리 ^z	수분 (%)	당도 (brix)	염도	색 도			환원당 (%)	총안토시아닌함량 (mg/100g)
				L	a	b		
I	55.8±0.6	17.6	0.1	39.8±0.5	0.1±0.0	1.7±0.1	17.4±1.9	7.1±0.3
II	60.7±0.5	15.0	0.1	39.6±1.4	0.3±0.1	1.7±0.1	18.8±1.8	7.2±0.8
III	59.4±0.1	11.7	0.1	40.9±0.6	0.2±0.0	1.7±0.3	16.6±3.2	11.3±0.9
IV	58.5±0.1	7.8	0.1	40.9±0.3	0.9±0.1	2.4±0.1	17.9±4.0	12.4±0.3
V	55.0±0.7	15.6	0.1	39.7±1.4	0.8±0.2	2.2±0.3	19.4±1.8	6.3±0.1
VI	59.8±1.3	14.1	0.1	39.3±0.7	0.5±0.3	1.9±0.4	20.3±0.5	6.1±0.5
VII	60.2±0.3	9.1	0.1	40.0±0.9	0.6±0.0	1.9±0.2	20.5±0.2	11.6±1.1

^z (I): 무처리, (II): D.W, (III):NaCl 1%, (IV):NaCl 1%+glucose 1%, (V):NaCl 1%+Stevia 0.03%, (VI):NaCl 1%+glucose 1%+Stevia 0.03%, (VII): NaCl 1% 4시간 침지

표 88. 전처리별 아라리찰옥수수 레토르트 관능평가

처리 ^z	색 ^y	향	짠맛	단맛	쪽득함	전체적인기호도
I	3.4±0.5	3.1±0.4	2.9±0.4	3.0±0.6	3.4±0.5	2.9±0.4
II	3.3±0.8	3.0±0.8	3.0±0.6	3.0±0.6	3.1±0.7	3.1±0.9
III	3.4±0.5	3.4±0.5	3.4±0.8	3.4±0.8	3.4±0.5	3.4±0.5
IV	3.1±0.7	3.1±0.9	3.1±0.7	3.3±0.5	3.6±0.5	3.4±0.5
V	3.1±0.7	3.1±0.7	3.0±0.6	3.1±0.7	3.3±1.0	3.1±0.7
VI	3.3±0.5	3.1±0.4	2.7±0.8	3.1±0.9	3.1±0.9	3.0±0.8
VII	3.1±0.7	3.1±0.7	2.9±0.9	2.6±0.5	2.6±0.8	2.7±0.8

^z (I): 무처리, (II): D.W, (III):NaCl 1%, (IV):NaCl 1%+glucose 1%, (V):NaCl 1%+Stevia 0.03%, (VI):NaCl 1%+glucose 1%+Stevia 0.03%, (VII): NaCl 1% 4시간 침지

^y 관능평가: 1. 아주나쁘다. 2. 나쁘다. 3. 보통이다. 4. 좋다. 5. 아주좋다

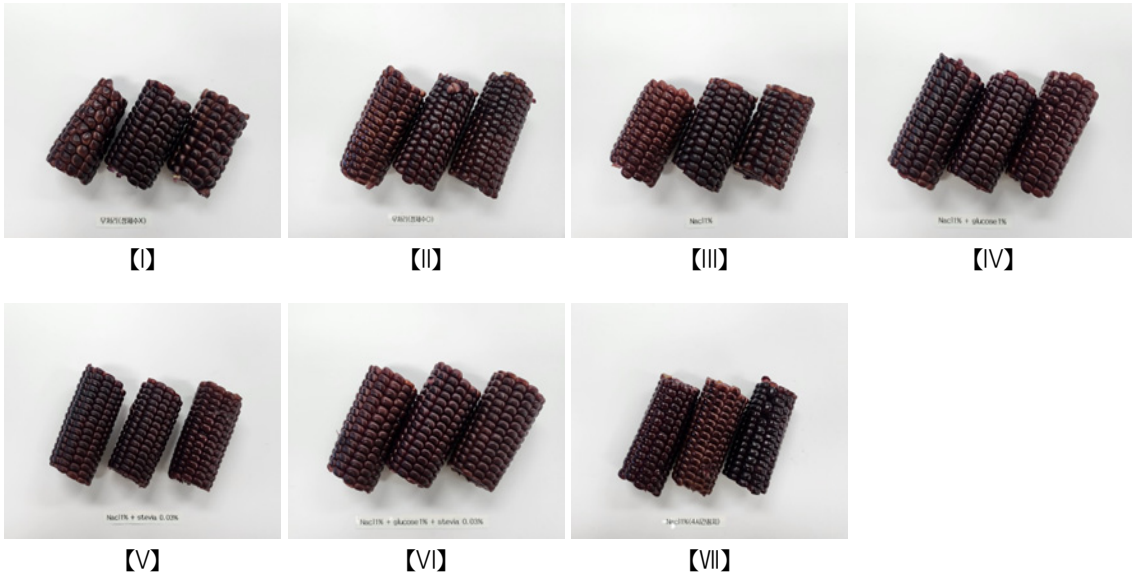


그림 88. 옥수수 레토르트 처리별 비교

(시험 4) 옥수수 이용한 맥주 개발

○ 맥주 스타일별 옥수수 맥주 제조(I)

맥주제조공정은 그림 89과 같았다. 황옥수수의 껍질 제거유무 및 맥주스타일별로 맥주를 제조하였다. 맥주제조비율은 표 89와 같다. 옥수수알곡의 껍질 제거유무와 맥주스타일별 제조한 맥주의 양조특성은 엇기를 활용 당화액을 사용하여 제조시 옥수수 박피처리구가 알코올함량, 발효도가 5.00%*m v/v*, 84.17로 비박피 처리구보다 높았다.

No.	공정 흐름도	제조 방법
1	물 준비	 <p>물의 양은 곡물의 3~4배를 준비하며, 곡물의 양에 맞추어 조절해 준다. 곡물의 양이 10kg 이상이면 43L, 10kg 이하이면 45L를 준비한다.</p>
2	곡물 준비 및 계량	 <p>곡물은 껍질있는 보리를 사용하며, 준비된 곡물을 원하는 양 만큼 계량한다. 보리의 껍질은 여과막 작용을 해주므로 껍질있는 보리를 사용한다.</p>
3	곡물 분쇄	 <p>계량된 곡물을 분쇄한다.</p>
4	pH 조정제 첨가	 <p>분쇄된 곡물을 물에 넣기 전에 양조통 안의 물이 pH 5.5가 되도록 pH 조정제를 첨가해 준다. pH 조정제는 물의 pH를 조절해 주며, 맥아즙의 수율을 높여준다.</p>
5	곡물 첨가	 <p>물과 곡물 및 양조 장비의 준비가 끝나면 분쇄된 곡물을 저어주며 넣어준다.</p>

No.	공정 흐름도	제조 방법
6	침지(당화)	 <p>효소 활성을 위한 단계이며, β-amylase와 α-amylase가 작용한다. 1) β-amylase : 발효당으로 알코올을 만들어며, 적정온도는 62~68°C이다. 2) α-amylase : 비발효당으로 효소를 사멸시켜주며, 적정온도는 72~75°C이다.</p>
7	매쉬 아웃	 <p>양조 장비의 통을 올려 고정시킨 후, 맥아즙이 다 빠져 나올때까지 진행한다.</p>
8	스파징 및 최종물량 맞추기	 <p>75°C 정도의 뜨거운 물을 매쉬 아웃 단계가 끝난 양조장비 통에 부어준다. 이 과정은 곡물층에 남아 있는 당분을 최대한 추출하고, 계획한 최종 물 양을 맞추어 알코올 도수를 결정해주는 단계이다.</p>
9	자비 (끓이기; Boiling)	 <p>양조 장비의 온도를 최대로 설정해준다. 자비는 끓이면서 순차적으로 홉을 추가하여 맥주의 쓴맛과 향을 결정하는 과정이다.</p>
10	홉 첨가	 <p>맥주 스타일에 맞게 홉을 준비한 뒤, 첨가할 시간과 온도를 결정해준다. 홉이 준비되면 끓고 있는 맥아즙에 순차적으로 첨가한다.</p>
11	단백질 응고제, 효모 영양제 첨가	 <p>소량의 맥아즙에 미리 용해시킨 첨가물들을 끓고 있는 맥아즙에 넣어준다. 첨가 시간 : 자비가 끝나기 약 15분 전</p>
12	냉각	 <p>칠러를 연결하여 23°C까지 냉각시켜준다. 칠러는 단백질 응고제와 효모 영양제를 첨가해줄 때 같이 양조 장비에 미리 넣어 소독해준다.</p>
13	발효조 준비 및 맥아즙 받기	 <p>발효조는 스타산으로 꼼꼼히 소독시켜 준 후, 별도의 세척 없이 사용한다. 발효조가 준비 되면 냉각이 끝난 맥아즙을 받는다. 이 때, 양조 장비와 발효조 사이에 낙차를 주어 맥아즙에 산소가 충분히 공급되도록 한다.</p>
14	초기 비중 측정	 <p>비중계를 이용하여 맥아즙의 비중을 측정한다.</p>
15	효모 접종	 <p>맥아즙이 들어있는 발효조에 계량된 효모를 접종한다.</p>
16	발효	 <p>1~2주 발효한다.</p>
17	병입 및 탄산화	 <p>알코올 발효가 끝난 발효조와 병입 할 병을 준비한다. 탄산화 과정에 필요한 설탕은 맥주 1L기준으로 5~7g 첨가하며, 병입 시 병 내부의 공기를 최대한 제거해준다.</p>
18	냉장 숙성	 <p>4°C에서 약 2주간 숙성시켜 준다.</p>

그림 89. 맥주 제조 공정

표 89. 옥수수 맥주 제조비율(I) (단위: g)

구분	엿기름	페일몰트	펄스너몰트	스페셜몰트	옥수수	홉	효모	비고
I-1	25,000	-	-	5,000	10,000	2,400	15	
I-2	25,000	-	-	5,000	10,000	2,400	15	
II-1	-	20,000	-	5,000	10,000	2,400	15	미국
II-2	-	20,000	-	5,000	10,000	2,400	15	"
III-1	-	15,000	10,000	5,000	10,000	2,400	15	영국
III-2	-	15,000	10,000	5,000	10,000	2,400	15	"
IV-1	-	15,000	10,000	5,000	10,000	2,400	15	벨지안
IV-2	-	15,000	10,000	5,000	10,000	2,400	15	"

^z 1:옥수수알 껍질제거, 2: 옥수수껍질미제거

^y 홉 스케줄: I, II, III(모자익, 씬코, 씨트라), IV(씨트라아마릴로, 케스케이드, 센트니얼)

^x 효모: I, IV(M36), II, III(Us-05)

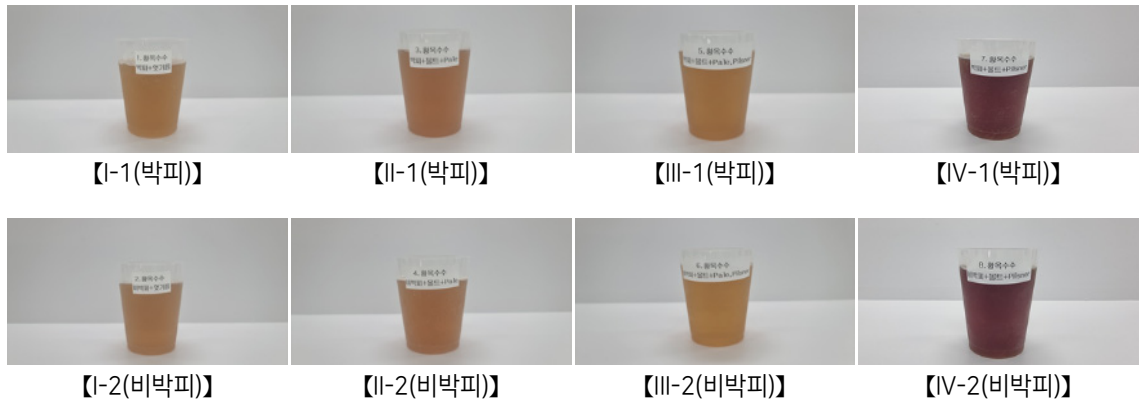


그림 90. 옥수수 맥주 비교

표 90. 맥주타입별 옥수수 맥주 양조특성

맥주타입	알코올함량 (% v/v)	발효도	L	a	b
I-1	5.00±0.02	84.17±0.20	88.55±0.58	-1.72±0.01	30.91±0.00
I-2	4.82±0.00	80.10±0.20	87.95±0.01	-1.34±0.01	33.94±0.00
II-1	6.12±0.00	80.77±0.30	85.45±0.01	0.41±0.00	44.64±0.01
II-2	6.09±0.05	81.76±0.21	85.60±0.00	0.31±0.01	42.79±0.00
III-1	5.46±0.00	87.93±0.20	88.15±0.01	-0.93±0.00	33.45±0.01
III-2	5.56±0.02	88.87±0.24	87.50±0.01	-0.70±0.01	35.05±0.00
IV-1	6.57±0.02	75.42±0.14	62.26±0.01	23.94±0.01	81.70±0.01
IV-2	6.77±0.01	73.30±0.06	59.73±0.00	26.40±0.01	83.10±0.03

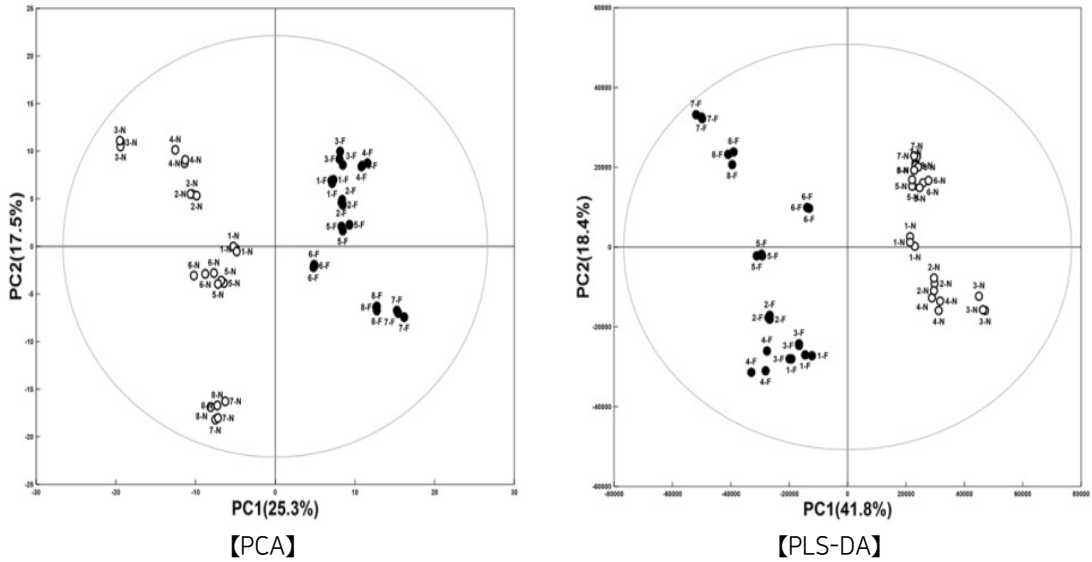


그림 91. 옥수수 맥주(8종) 향기성분 다변량 통계분석

○ 옛기름 및 몰트 이용 맥주제조(II)

옛기름 및 몰트 이용 맥주 제조비율은 표 91과 같다. 영국식 타입 맥주제조와 옥수수당화액 맥주제조와 비교한 결과 알코올함량은 각각 5.33, 4.91% v/v, 발효도는 79.28, 83.85였다.

표 91. 옛기름 및 몰트 이용 맥주 제조 비율(단위: g)

구분	옛기름	페일몰트	펄스너몰트	스페셜몰트	곡류 ^z	원당	홥 ^y	효모 ^x
II-1		25,000	10,000	5,000	10,000	-	4,000	60
II-2	35,000	-	-	5,000	10,000	-	4,000	60

^z 곡류: I(쌀), II(박피 황옥수수), III(감자)

^y 홥: I(모자익, 씬코, 씨트라, 아마밀로), II(케스케이드, 센트니얼, 아마릴로, 갤럭시), III(할리타우미델프리, 싸즈, 아마밀로)

^x 효모: I(Us-05), II(M36), III(M46)

표 92. 옥수수 맥주 양조특성

일차	구분	알코올함량 (% v/v)	발효도	비중	당도 (°P)	색도		
						L	a	b
0	II-1	0.21±0.01	-	1.0564	14.2	87.8±0.0	-1.1±0.0	36.2±0.0
	II-2	0.13±0.03	-	1.0464	11.9	91.7±0.0	-3.1±0.0	22.6±0.0
14	II-1	5.33±0.01	79.28±0.08	1.0116	6.8	89.7±0.0	-0.7±0.0	24.1±0.0
	II-2	4.91±0.03	83.85±0.35	1.0075	5.5	91.7±0.0	-0.8±0.0	16.2±0.0

○ 선발 효모 적용 옥수수 맥주제조(III)

선발 효모 AFY-5, AFY-6, AFY-17를 이용한 맥주제조비율은 표 93과 같다. 선발 효모별 알코올함량은 대조구(US-05) 4.57%, AFY-17 4.67%, AFY-7 4.17%, AFY-6 4.07%였다. 발효도는 대조구(US-05) 88.5, AFY-17 91.2로 높았다. 환원당 함량에 있어서도 대조구(US-05) 3.54%, AFY-17 4.62%로 함량이 높았다.

효모처리별 맥주의 향기성분을 분석한 결과, Octanoic acid, n-Decanoic acid 함량이 선발 효모에서 높게 나타났다.

표 93. 선발 효모 적용 옥수수 맥주 제조 비율

(단위: g)

구분	엿기름	스페셜몰트	옥수수 ^z	홥 ^y	효모	비고
I-1	35,000	5,000	10,000	4,000	60	US-05
I-2	35,000	5,000	10,000	4,000	60	AFY-6
I-3	35,000	5,000	10,000	4,000	60	AFY-7
I-4	35,000	5,000	10,000	4,000	60	AFY-17

^z 옥수수 박피

^y 홥: 케스케이드, 센트니얼, 아마릴로, 갤럭시

표 94. 선발 효모 적용 옥수수 맥주 양조특성

Strain	ABV(%)	Attenuation (%)	Foam stability	Diacetyl content (mg/ml)	color value			Reducing sugar(%)
					L	a	b	
US-05	4.57±0.02	88.48±0.26	648.85±25.47	1.28±0.03	89.31±0.01	-1.57±0.01	17.31±0.01	3.54±0.04
AFY-6	4.07±0.03	81.40±0.24	75.14±8.89	1.23±0.05	91.63±0.08	-1.26±0.00	14.99±0.00	4.53±0.04
AFY-7	4.17±0.02	81.59±0.11	688.00±465.14	1.24±0.02	88.07±0.03	-1.28±0.01	14.68±0.01	3.88±0.07
AFY-17	4.67±0.08	91.24±0.43	1642.49±455.29	1.25±0.06	88.43±0.01	-1.23±0.01	15.98±0.01	4.62±0.04

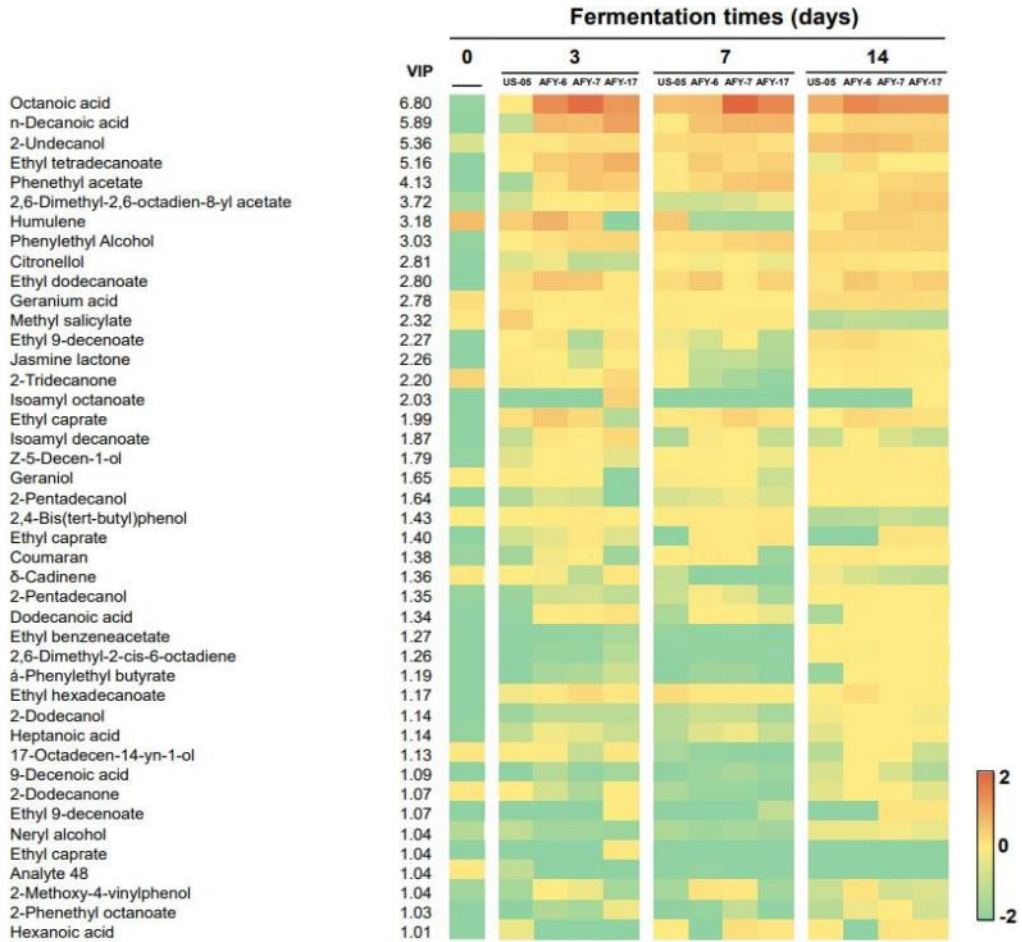


그림 92. 효모별 옥수수 맥주 향기성분 분석

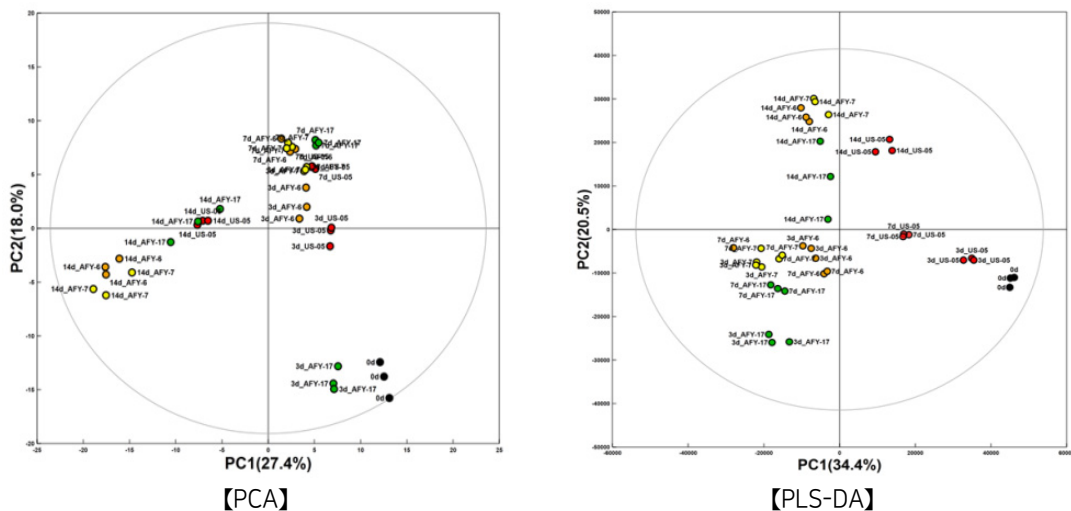


그림 93. 효모별 옥수수 맥주 향기성분 다변량 통계분석

○ 옥수수맥주 디자인 및 병제품 개발

옥수수와 맥주잔을 형상화하여 '옥시기비어' 디자인과 선물용 박스를 제작하였다.



【옥시기비어(디자인)】



【맥주 3종 및 박스제작】

그림 94. 옥시기비어 로고 및 박스 제작

(시험 5) 지역축제 연계 옥수수 가공 선물 세트 개발

○ 수제맥주(옥시기비어) 소비자 평가

맥주 구매특성으로 맥주 소비자는 월 2~3회 또는 월 1회 이하로 비교적 낮은 빈도로 맥주를 구매하며, 1회 음용량 역시 500ml 미만이 가장 높은 비중을 차지해 소량을 가볍게 즐기는 소비 행태가 주를 이루는 것으로 나타났다. 이는 맥주가 일상적으로 반복 소비되는 음료라기보다 특정 상황에서 기분 전환용으로 선택되는 기호 음료의 성격이 강함을 시사하였다. 맥주 구매 시에는 가격이나 브랜드보다 맛을 가장 중요하게 고려하는 경향이 뚜렷했으며, 구매는 주로 대형마트와 편의점을 중심으로 이루어졌다. 이러한 결과는 신규 원료나 지역 농산물을 활용한 맥주 역시 관능적 품질이 확보될 경우 충분한 시장 경쟁력을 가질 수 있음을 보여주며, 소용량 제품과 적합한 유통 전략을 병행하는 것이 효과적일 것으로 판단되었다.

수제맥주 구매특성으로 소비자는 월 1회 이하의 낮은 구매 빈도가 60%로 가장 높게 나타났으며, 구매 경험이 없는 소비자도 24%에 달해 전반적으로 맥주 소비가 제한적이거나 비정기적으로 이루어지는 경향을 보였다. 1회 음용량 역시 500ml 미만이 가장 높은 비중을 차지해, 소비자들은 대량 음용보다는 소량을 가볍게 즐기는 소비 행태를 보이는 것으로 분석되었다. 이는 맥주가 일상적 음료라기보다 특정 상황에서 선택적으로 소비되는 기호 음료로 인식되고 있음을 시사하였다.

맥주 구매 시 고려 요소로는 맛이 72%로 가장 중요하게 나타났으며, 가격과 품질은 각각 10% 수준으로 뒤를 이었다. 이는 소비자가 가격 경쟁력보다는 음용 시 만족감과 완성도를 중시하는 경향을 보인다는 점을 의미한다. 구매처는 전문점 이용 비중이 가장 높았고, 대형마트와 편의점이 그 뒤를 이어, 맥주 소비가 일반 소매채널보다도 취향과 경험을 중시하는 채널을 중심으로 이루어지고 있음을 보여준다. 이러한 결과는 차별화된 콘셉트의 맥주 제품이 전문 유통채널을 중심으로 시장 진입 가능성이 있음을 시사한다.

옥시기 비어의 종합적 품질 평가는 '약간 우수'와 '우수' 응답이 과반을 차지해 전반적으로 긍정적인 품질 수준을 보였다. 특히 향과 식감(목 넘김)에 대한 평가는 우수 이상 응답 비율이 높아, 제품의 향미 특성과 음용 시 부드러움이 소비자에게 강점으로 인식되고 있는 것으로 나타났다. 조화로운 맛 역시 '약간 우수'와 '우수' 응답이 다수를 차지해, 옥수수 원료의 특성이 맥주 맛과 비교적 안정적으로 어우러졌음을 시사하였다. 세부 항목별로는 탄산감과 청량감에서 전반적으로 긍정적인 평가가 나타났으나, 일부 응답에서는 약간 미흡하다는

국내 맥주 효모 (AFY-17)가 만들어낸 강원로컬맥주의 품미

강원특별자치도농업기술원은 수임에 의존하고 있는 맥주용 효모의 국산화를 위해 전국에 토착 효모 약 4,152주를 확보하고 이 중 맥주의 어울리는 효모를 포도에서 찾았다. 밀교를 생성시 우수한 AFY-17효모와 함께 지역산산맥인 옥수수(강밀옥) 25%를 이용하여 **옥수수맥주**가 탄생했다.

지역 농산물 쌀, 감자, 사과, 복숭아 등을 이용한 수제 맥주 양조 기술을 연구하고 도내 영농장들과 협업하여 강원특별자치도 대표 지역산맥을 개발하여 **강원로컬맥주 옥수수가래, 감자야무이, 밀교야무이 수제맥주 3종**을 개발했다.

지역 농산물 쌀, 감자, 사과, 복숭아 등을 이용한 수제 맥주 양조 기술을 연구하고 도내 영농장들과 협업하여 강원특별자치도 대표 지역산맥을 개발하여 **강원로컬맥주 옥수수가래, 감자야무이, 밀교야무이 수제맥주 3종**을 개발했다.

발효미생물 균주은행

각주 제조에 사용되는 효모는 빵도, 된대, 밀교를 내장, 지방 분해능력, 발효기간 등 다양한 요소가 모여서 맥주 스타일의 향취와 풍미를 결정한다. 효모는 맥주맛을 책임지고 이 효모는 맥주 특성을 스타일의 품격과 개성을 결정해준다.

홍천 815

81.5%의 부드러운 향긋한 맑은 술의 환위는 민족의 열정 풍미를 노래하는 전상의 아슬합니다. 특별한 농가 남궁역 선명 기리는 무궁화, 흥정의 아여기를 담았습니다.

옥수수 25%겉기들 75%, 효모 50ml, 100ml

동식히어 CORN BEER

강원도 옥수수 25% 발효된 영국식 골든어일, 알타이와일의 상큼하고 향긋한 풀이 옥수수의 단맛과 가벼운 버디감, 깔끔한 목넘김을 느껴보세요.

옥수수 25%겉기 75%, 효모 375ml, 750ml (2종)

강제분우히어 POTATO BEER

강원도 감자를 식힌 법거에서 세일베어, 건조도, 자두, 블랙베리, 체리 등 감들은 과일일 양재하고 향긋한 맛과 향을 담고 있습니다.

감자 25%겉기 75%, 효모 375ml, 750ml

잉호히어 RICE BEER

강원도쌀, 보리에 볶음 취워 발효한 맥아 법거에 제일효모를 사용한 비취의 과일어일, 온순하게 피지는 시트러스향에 상쾌한 느낌을 주며 상쾌유한 맛을 안고 독특한 바다공을 자랑합니다.

쌀 25%겉기 75%, 효모 375ml, 750ml

【제품 리플릿(양)】



【농업기술박람회 옥수시기맥주 시음(25.6.5)】



【농업기술박람회 팝콘 시식행사】
그림 95. 맥주 홍보물 제작 및 홍보



【농촌지도자대회(25.9.25)】

(시험 6) 기개발 옥수수 가공품 사업화 및 수출 활성화 지원

○ 팝콘 해외 박람회 참가

베트남 국제프리미엄 소비재 참가(호찌민 SECC컨벤션, 24.5.30~6.2)

* 뷁빙뷔빙팝콘(산채, 뿌리셔, 매콤치즈시즈닝)



【뷔빙뷔빙 팝콘(3종)】



【베트남 국제프리미엄 소비재 참가】



【베트남 마트내 홍보】

그림 96. 베트남 국제프리미엄 소비재 참가

○ 아라리 초당옥수수베이스

옥수수 베이스 제조 공정은 그림 97, 제조비율은 표 95와 같았다. 여량농협찰옥수수 가공공장에 기술이전 되어 (주)하람을 통해 생산 판매중이다.

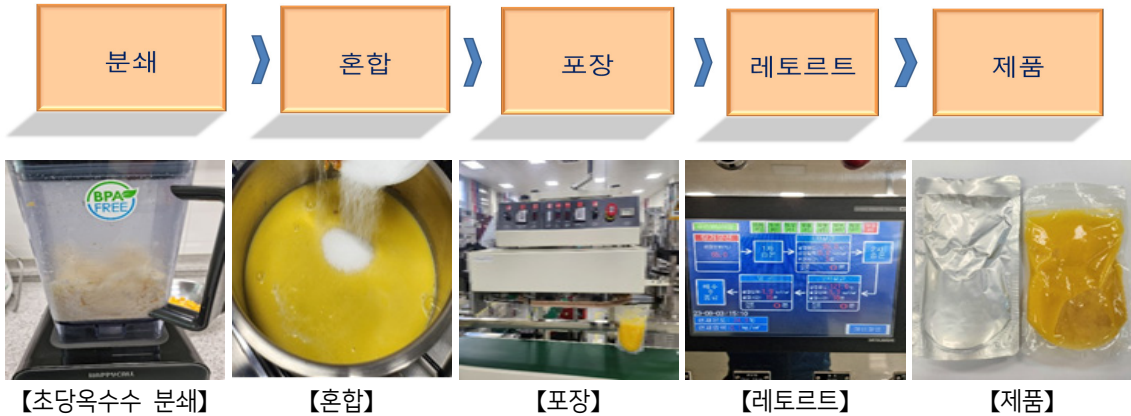


그림 97. 옥수수 베이스 제조과정

제조공정은 초당옥수수에 정제수를 첨가하여 곱게 분쇄한하고, 부재료인 정백당, 정제염을 첨가하여 잘 저어 혼합, 잔탄검을 조금씩 넣어가며 잘 혼합, 포장후 살균(또는 레토르트) 처리한다. 레토르트 조건은 1차 살균 95℃, 압력 0.5kgf/cm², 5분> 2차 살균 121℃, 압력 1.5kgf/cm², 20분> 냉각압력 압력 0.5kgf/cm², 20분이다. 이후 냉장 보관 한다.

표 95. 옥수수베이스(55brix) 제조비율

재료명	초당옥수수	정제수	정백당	정제염	잔탄검	계
중량(g)	750	495	1,250	2.5	2.5	2,500
비율(%)	30	19.8	50	0.1	0.1	100



【아라리 초당옥수수베이스(라벨)】

【옥수수베이스 및 옥수수라떼】

그림 98. 아라리 초당옥수수베이스 사업화

○ 팝콘: 베이스내촌(기술이전)

시즈닝(매콤, 뿌리셔) 활용 팝콘 제조공정은 그림 99와 같다. 베이스내촌이 기술이전 하여 '홍천팝콘'으로 출시하였으며, 현재 제품 리뉴얼 중이다.

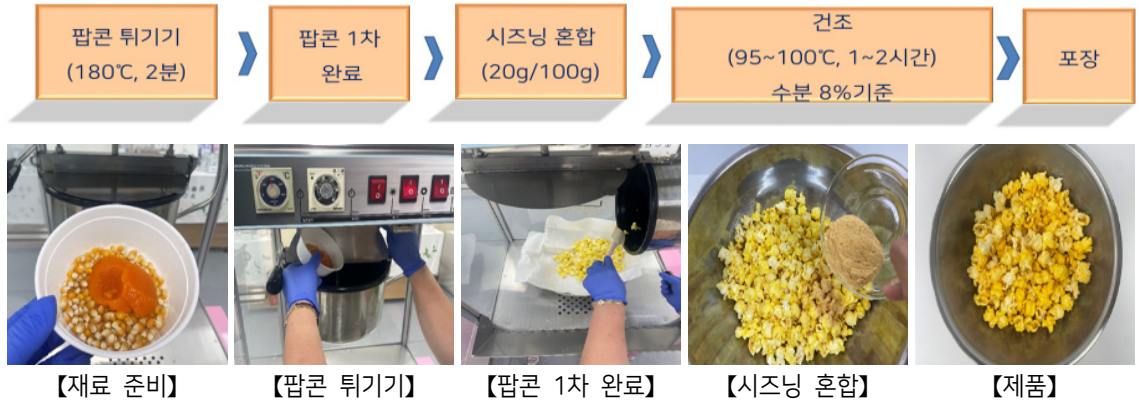


그림 99. 팝콘 제조공정

제조공정은 팝콘 제조기에 180°C로 예열시킨다. 팝콘 + 오일을 준비한다. (알곡 100g, 야자유 50g) 시료 투입하여 2분간 튀긴다. (100g 기준) 시즈닝(매콤치즈, 뿌리셔)을 튀겨진 팝콘 100g 기준 20g을 혼합한다. 팝콘을 95~100°C, 1~2시간 건조한다. 수분 8%이하로 맞춘다. 팝콘 30g씩 소포장한다.



【홍천팝콘 제품】



【도로공사휴게소음식페스타(25.07.15)】

그림 100. 팝콘 사업화

○ 옥수수빵

옥수수 앙금 제조공정을 오로지주식회사에 기술이전, 과자의 성에서 제품 출시할 예정이다.



그림 101. 옥수수 앙금 제조과정

제조공정은 세척한 백두를 20시간 이상 충분히 불린다. 불린 백두에 정제수를 넣은 후 증숙한다. (불린팔1: 정제수1) 증숙된 백두를 채를 이용 여과하여 준비한다. 증숙 냉동 초당 옥수수를 해동한 후 곱게 분쇄 준비한다. 여과한 백두와 분쇄한 초당옥수수에 부재료를 혼합한다. 골고루 잘 저어 주며 브릭스(brix)를 맞춰 앙금을 완성한다. 완성된 앙금을 포장하여 냉동 보관한다.

표 96. 옥수수앙금 제조비율

구분	초당옥수수	백두	정백당	정제염	물엿	계
함량(g)	215	95	172.5	0.5	17	310
비율(%)	43	19	34.5	0.1	3.4	100

* 물성 조정용 잔탄검 사용시 0.1%



그림 102. 강원옥수수빵 제품 디자인

○ 강원 옥수수 레시피 개발(59종)

영양가득 옥수수 건강식(22), 매일 옥수수 요리(11), 별미 옥수수 요리(15), 옥수수 간식(11)으로 구성되어 있다.



그림 103. 옥수수 책자 레시피(I)



【삼색옥수수샐러드빵】



【찰옥수수브리치치즈구이】



【자색옥수수파이】



【초당옥수수수술빵】

그림 104. 옥수수 책자 레시피(II)



그림 105. 강원 농식품 페어 참가(25.8.28)



그림 106. 강원옥수수 레시피 책자

4 적 요

<제1세부과제: 가공상품 맞춤형 옥수수 고품질 생산기술 개발>

(시험 1) 상품화 원료 확보를 위한 기능성옥수수 신품종 생산단지 조성

- 가. 정선 ‘아라리찰’(2.4ha), 동해 ‘떡찰’(0.2ha), ‘오룬2호’(4.0ha) 등 2지역 3품종 특화단지를 조성하여 2024년 총 117백만원의 판매실적을 달성하였다.
- 나. 2025년에는 4시군으로 보급지역을 확대하여 7.92ha 재배단지에서 총 159백만원의 판매실적을 올렸으나, 가뭄 피해로 일부 품종의 생산량이 감소하였다.

(시험 2) 신품종 생산단지 확대 및 산업화 연계 시스템 구축

- 가. 가공업체·유통업체·유관기관과 연계시스템을 구축하고 2년간 9회 현장컨설팅 및 업무협의를 실시하였다.
- 나. 강원농식품페어 참가 및 홈쇼핑 판매 등을 통해 ‘아라리찰’ 판로를 지속 확대하였다.

(시험 3) 옥수수 주산지역 고품질 풋옥수수 생산을 위한 수확기 예측

- 가. 4품종 3년간 42회 조사 결과 출사기~수확기까지 요구되는 유효적산온도는 평균 347℃, CV 2.4%로 변동성이 작아 품종에 상관없이 수확기 예측 지표로 활용 가능함을 확인하였다.

나. 농가 58곳 현장 데이터 검증에서도 66%가 연구소 설정 범위(330~361℃) 내에서 수확이 이루어져 현장 적용 가능성을 검증하였다.

(시험 4) 기후변화 대응 안정 채종지 확보를 위한 고령지 적응성 탐색

- 가. 홍천·태백 두 지역에서 주요 채종품종 모·부분 9계통의 파종시기별 생육 및 이삭 특성을 비교한 결과, 태백 고령지에서 이삭건조중이 높게 나타났다.
- 나. 2025년 '미백2호' 실제 채종재배에서 태백은 2차 이삭 추가 수확이 가능하여 총채종량 286.5kg/10a로 홍천 단지(204.4kg/10a) 대비 40% 증수하였다.

(시험 5) 채종옥수수 습해 및 고온에 따른 조기 수확 시 적정 수확기 설정

- 가. 4단지 5농가에서 출사 후 5·6·7주별 수확시기를 비교한 결과 채종량은 단지별로 차이가 있었으며, 발아율은 96.0~99.6%로 출사 경과일수에 상관없이 전반적으로 높았다.
- 나. '미백2호'는 출사 후 6~7주, '미흑찰'은 출사 후 5주 이후 수확이 채종량 확보에 유리한 것으로 판단되었다.

(시험 6) 신품종 육종소재 다양화를 위한 핵심집단 구축

- 가. 찰옥수수 1,060계통의 표현형과 21,981개 SNP 유전자형 분석을 통해 집단 구조를 확인하고 세 가지 마커 선발 전략(SI, RS, bin)의 효율을 비교하였다.
- 나. 표현형+유전형 결합 분석으로 핵심계통 100개를 선발하여 향후 내재해성 평가 및 분자마커 개발에 활용할 계획이다.

(시험 7) 찰옥수수 지역특화 품종 출원

- 가. 안토시아닌 고함유 자주색 찰옥수수 '떡찰(색찰교113호)'은 '21~'24년 강원지역적응시험에서 안토시아닌 함량이 대조품종 '미홍찰' 대비 2.9배 높고 재배 안정성이 우수하였고 강원특별자치도 직무육성 신품종선정심의회 심의를 통해 신품종으로 선정 후 품종 출원하였다.

<제2세부과제: 옥수수 상품성 향상을 위한 주요 병해충 방제기술 개발>

(시험 1) 스마트방제기 이용 병해충 방제효과 검증

- 가. 재식거리 70×30cm, T형 약대, 노즐 0.3∅ 조건에서 파밤나방 방제효과 94.6%로 관행(95.9%)과 대등한 수준을 보였다.
- 나. 필요 인원·물 사용량·방제시간을 각각 67%, 30%, 50% 절감하여 현장 적용 가능성과 경제성을 확인하였다.

(시험 2) 옥수수 줄기썩음병 표준 저항성 평가 방법 구명

- 가. *Fusarium* sp.는 1×10^6 cfu/주사/20일묘, *Dickeya zeaе*는 O.D 0.6/주사/20일묘 조건에서 발병 변별력이 가장 우수하여 표준 평가조건으로 설정하였다.

나. 찰옥수수 11품종에 적용한 결과 *Fusarium* sp.에는 대부분 MR~S, *D. zeaе*에는 R~MR 범위로 분포하여 품종별 저항성 선발 기준을 확보하였다.

(시험 3) 기후변화 대응 옥수수 병 저항성 집단 평가 및 선발

가. DH 계통 99개를 대상으로 1차 평가 후 선발된 33계통에 대해 2차 정밀검정을 수행하였다. *Fusarium* sp.와 *D. zeaе* 두 병원균 모두에 저항성이면서 농업형질도 양호한 RSR8, RSR19, RSR30, RSR34 등 유망 4계통을 최종 선발하였다.

(시험 4) PCR 이용 옥수수 줄기썩음병 조기진단 기술 개발

가. *Fusarium subglutinans* 및 *D. zeaе*에 대한 진단 프라이머를 각각 1종, 7종 확보하고 Multiplex qPCR 동시진단 체계를 구축하였다. *D. zeaе*는 점종 2시간, *F. subglutinans*는 점종 24시간 후부터 병징 발현 전 조기 검출이 가능하여 현장 적용 가능성을 확인하였다.

(시험 5) 도내 옥수수 이삭썩음병 병원성 평가 및 독소 분석

가. 도내 7개 시군에서 균주 245개를 수집한 결과 *F. proliferatum*이 57.4%로 우점하였으며, *FUM1·TRI12* 유전자 분석으로 푸모니신 및 트라이코세신 독소 생성 가능 균주를 확인하였다.
나. 알곡 독소 정량 분석에서 홍천 색소옥수수는 푸모니신·제랄레논·데옥시니발레놀이 안전기준치를 초과하여 동시 검출되어 복합 오염 관리의 필요성이 확인되었다.

<제3세부과제: 옥수수 소비확대를 위한 가공상품 사업화 및 수출>

(시험 1) 국내 육성 옥수수 반가공 제품 개발

가. 증숙 처리 분말은 수분흡수지수가 높고 흐름성이 양호하여 식사형 파우더 소재로, 무처리 분말은 용해성과 향산화능이 높아 음용형 소재로 각각 적합하였다. 팝콘옥수수(강일옥)는 0℃ PE 필름 보관 시 감모율 0.1%로 품질 안정성이 가장 우수하였다.

(시험 2) 칼라찰옥수수 활용 음료 개발 / 찰옥수수 활용 간편 편이 제품 개발

가. 아라리찰옥수수 변온추출액(100℃ 60분→80℃ 60분)에 사과·파인애플 부재료를 배합하여 당도 16brix, 색도 a값 27.83의 음료를 개발하였다.
나. 레토르트 편이제품은 NaCl 1% 침지 처리 시 관능평가와 안토시아닌 보존이 가장 우수하였다.

(시험 3) 옥수수 이용한 맥주 개발

가. 엿기름 당화액+박피 처리구에서 알코올 5.00%, 발효도 84.17%로 가장 우수하였으며, 선발 효모 AFY-17 적용 시 발효도 91.24%, 기포안정성이 가장 높아 최적 효모로 선발하였다.
나. 소비자 평가에서 향·목넘김은 긍정적으로 평가되었으나 가격 접근성과 개봉 편의성 개선이 필요한 것으로 확인되었다.

(시험 5) 지역축제 연계 옥수수 가공 선물 세트 개발

- 가. '옥시기비어' 로고·포장박스를 제작하고 농업기술박람회, 농촌지도자대회 등에서 홍보를 실시하였다. 소비자 평가에서 패키지 디자인은 호평을 받았으나 가격(375ml 기준 17,500원) 인하 및 용기 개선이 향후 과제로 도출되었다.

(시험 6) 기개발 옥수수 가공품 사업화 및 수출 활성화 지원

- 가. 아라리찰 초당옥수수베이스·팝콘·옥수수양금 제조공정을 관련 업체에 기술이전하고 베트남 국제박람회 참가 및 강원옥수수 레시피 59종을 개발하였다.
- 나. 재배단지-가공업체-농협식품으로 이어지는 협업 유통구조를 구축하여 옥수수 소비 확대 및 수출 기반을 마련하였다.

5 인용문헌

- Adesh Kumar, Mandeep Singh Hunjan, Harleen Kaur, Roomi Rawal, Ajay Kumar and P.P. Singh(2017). A review on bacterial stalk rot disease of maize caused by *Dickeya zeae*
- Chuanjin Yu, Kandasamy Saravanakumar, Hai Xia, Jinxin Gao, Kehe Fu, Jianan Sun, Kai Dou, Jie Chen(2016). Occurrence and virulence of *Fusarium*spp. associated with stalk rot of maize in North-East China. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 98, 1-8
- Coffman, S. M., Hufford, M. B., Andorf, C. M., Lübberstedt, T. (2020). Haplotype structure in Degen, B., Blanc-Jolivet, C., Stierand, K., Gillet, E. (2017) A nearest neighbor approach based Dou, T., Wang, C., Ma, Y., Chen, Z., Zhang, J., Guo, G. (2023) CoreSNP: an efficient pipeline Flint-Garcia, S. A., Thornsberry, J. M., Edward IV, S. B. (2003) Structure of linkage Georg Goergen, P. Lava Kumar, Sagnia B. Sankung, Abou Togola, Manuele Tamò(2016). First Report of Outbreaks of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*(J ESmith) (Lepidoptera, Noctuidae), a New Alien Invasive Pest in West and Central Africa Khosravi AR, Shokri H, Mokhtari AR.(2015). Efficacy of *Cuminum cyminum* essential oil on FUM1 gene expression of fumonisin-producing *Fusarium verticillioides*strains. *Avicenna J Phytomed*, 5 (1): 34-42.
- Nei, M. (1972) Genetic distance between populations. *Am Nat* 106:283-292.
- Ria T. Villafana, Amanda C. Ramdass and Sefhra N. Rampersad.(2019). Selection of *Fusarium Trichothecene Toxin Genes* for Molecular Detection Depends on TRI Gene Cluster Organization and Gene Function. *Toxins*, 11, 36
- Rosenberg, N. A., Li, L. M., Ward, R., Pritchard, J. K. (2003) Informativeness of genetic Sodedji, F. A. K., Agbahoungba, S., Agoyi, E. E., Kafoutchoni, M. K., Choi, J., Nguetta, S. P. A., Assogbadjo, A. E., Kim, H. Y. (2021) Diversity, population structure, and linkage

Theo van der Lee, Els Verstappen, Marga van Gent, and Cees Waalwijk(2017). Targeting Trichothecene Biosynthetic Genes. Mycotoxigenic Fungi: Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology, vol. 1542

Todd J. Ward, Joseph P. Bielawski , H. Corby Kistler , Eileen Sullivan , and Kerry O'Donnell(2002). Ancestral polymorphism and adaptive evolution in the trichothecene mycotoxin gene cluster of phytopathogenic Fusarium. PNAS. 99(14). 9278-9283

Van Heerwaarden, J., Hufford, M. B., Ross-Ibarra, J. (2012) Historical genomics of North

Weir, B. S., Cockerham, C. C. (1984) Estimating F-Statistics for the analysis of population

Wu, X., Wang, B., Wu, S., Li, S., Zhang, Y., Wang, Y., Li, Y., Wang, J., Wu, X., Lu, Z., Li, G.

(2021) Development of a core set of single nucleotide polymorphism markers for genetic

Young-Ah Jeon , Seung-Hun Yu , Young Yi Lee , Hong-Jae Park , Sokyong Lee , Jung Sook Sung, Yeon-Gyu Kim and

6 연구결과 활용

성과지표명		연차	1년차 (2024)		2년차 (2025)		계	
			목표	실적	목표	실적	목표	실적
논문표준화된 영향력지수	SCIE							
	비SCIE			40	62	40	62	
신품종 출원건수	국내출원			1	1	1	1	
	국외출원							
학술발표	국내발표	4	3	4	5	8	8	
	국외발표	1	2	2	1	3	3	
기술실시(이전) 등록건수-무상		5	5	5	7	10	12	
영농정보		5	5	6	6	11	11	
우량계통·종축 육성·선발·증식건수				102	104	102	104	
사업화실적		1	1	1	1	2	2	
매출실적			1		1	0	1	
상표출원			1			0	1	
현장컨설팅		15	16	15	19	30	35	
홍보		5	8	5	12	10	20	
농가소득 증가율(%)		10	5.4	10	1.5	20	6.9	
농업기술서				1	1	1	1	
계		47	47.4	194	221.5	238	267.9	

7 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도	
					'24	'25
과제책임자	옥수수연구소	농업연구사	노희선	과제 총괄	○	○
	옥수수연구소	농업연구사	최재근	과제 총괄	○	
세부책임자	농업환경연구과	농업연구사	김문중	세부주관 수행	○	
	농업환경연구과	농업연구사	황세정	세부주관 수행		○
	농식품연구소	농업연구사	권혜정	세부주관 수행	○	○
공동연구자	옥수수연구소	농업연구관	안용진	자료조사 지원	○	○
		농업연구관	류시환	자료조사 지원	○	○
		농업연구사	김희연	품질조사 지원	○	
		농업연구사	남궁민	품질조사 지원	○	○
		농업연구사	한정현	품질조사 지원	○	○
		농업연구사	왕승현	평가분석 지원	○	○
		농업연구사	최혜림	현장조사 지원	○	○