

과 제 구 분	기관고유	과 제 번 호	LP004079	
과학기술분류	LB01702	품목표준코드	MC-01-MC12	
주 관 과 제 명	토착 유용미생물 소재화 및 현장 상용화			
과 제 책 임 자	성 명	직 급	소속기관 및 부서	
	임 재 길	농업연구사	농식품연구소	
연 구 기 간	2021 ~ 2025	참여연구기관		
세부과제명		부 서	세부책임자	연구기간
1) 용도별 종균 소재 개발 및 상용화		농식품연구소	임재길	'21~'25
키 워 드	종균 소재, 유산균, 효모, 고초균, 항염증, 상용화			

## ABSTRACT

This study aimed to systematically identify, characterize, and commercialize indigenous microorganisms derived from Korean fermented foods and agricultural products. A library of 672 lactic acid bacteria (LAB) and 576 yeasts was subjected to multi-parametric stress tolerance assays. Among the LAB, 54 osmotolerant (30% dextrose), 33 halotolerant (10% NaCl), 235 psychrotrophic (growth at 15°C), and 74 acid-tolerant (pH 4.0) strains were identified. For the yeast collection, 63 osmotolerant (30% dextrose), 8 halotolerant (15% NaCl), 474 psychrotrophic (growth at 15°C), and 9 sulfite-resistant (200 ppm SO<sub>2</sub>) strains were selected. All candidates were taxonomically confirmed via 16S rRNA/ITS sequencing and API biochemical kits before deposition in national culture collections. Application trials demonstrated that the patented LAB strain AFY-3 (0.5% v/w inoculation) significantly accelerated acidification in kimchi, suppressed spoilage microbiota, and improved organoleptic scores for crunchiness (+1.5 points) and refreshing taste (+0.9 points). Stability studies for the industrial starters AFY-8 (yeast) and AFY-9 (LAB) established an optimal cryoprotectant formulation (2% sucrose, 0.5% ascorbic acid, 0.5% glucose, and 10% skim milk), enabling AFY-9 to maintain a high viable cell density (5×10<sup>9</sup> CFU/g) over six months at 4°C. In bakery applications, sourdough fermented with AFY-8 exhibited significantly higher hardness, gumminess (5-fold), and chewiness (2.5-fold) compared to commercial controls, indicating its suitability for European-style crusty breads (e.g., ciabatta, baguette). Brewing evaluations identified three strains (Yeast-36, -51, and -183) with ethanol yields (12.69-13.79%) comparable to commercial Fermivin (13.24%). Furthermore, AFY-7 outperformed commercial benchmarks in body and carbonation for Weizen-style craft beers. Safety and functional screenings of 288 *Bacillus* strains yielded 26 *B. velezensis*, 5 *B. subtilis*, and 1 *Staphylococcus xylosus* as safe food-grade starters. In RAW264.7 macrophage models, 26 LAB strains inhibited nitric oxide (NO) production by >50%. The lead candidates PB59, PB29A, and PB30B exhibited potent anti-inflammatory activity by downregulating the mRNA expression of IL- $\beta$ , iNOS, COX-2, and IL-6 via the inhibition of Src/I $\kappa$ B $\alpha$  phosphorylation within the NF $\kappa$ B signaling pathway. By the project's conclusion, the microbial database was expanded to 7,509 strains. These results, supported by 17 technology transfers and 2 patent applications, provide

a robust foundation for replacing imported starter cultures and enhancing the self-sufficiency of the domestic fermented food industry.

## 1 연구목표

국내 발효식품 산업은 된장·간장·고추장·청국장 등 전통 장류를 비롯하여 김치, 식초, 주류 등 다양한 분야에서 높은 산업적 가치를 지니고 있음에도 불구하고, 발효 공정에 핵심적으로 활용되는 종균(Starter culture)의 상당 부분을 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이는 제품의 품질 안정성 저하, 원료 수급 불안정, 그리고 기술 종속이라는 구조적 문제를 야기하며, 국내 발효식품 산업의 경쟁력을 장기적으로 약화시키는 요인으로 작용하고 있다. 이러한 배경에서 국산 발효식품 유래 토착 유용미생물을 체계적으로 발굴·선발하고, 이를 산업 현장에서 즉시 활용 가능한 종균 소재로 상용화하는 연구의 필요성이 절실히 요구된다. 본 연구의 궁극적인 목적은 국산 발효식품 및 강원도 지역 농산물에서 유래한 토착 유용미생물을 체계적으로 발굴·선발·상용화함으로써, 수입산 미생물 종균의 대체 가능성을 높이고 국내 발효식품 산업의 원료 자립도를 제고하는 데 직접적으로 기여하는 것이다. 이를 위해 효소활성·내당성·내염성·내산성·안전성 등 다중 평가 기준을 적용한 체계적인 균주 선발 체계를 구축하고, 선발된 우수 균주를 장류·양조·제빵 등 용도별로 특화하여 실질적인 산업화 기반을 마련하고자 하였다. 강원도는 청정한 자연환경과 다양한 특산 농산물을 보유한 지역으로, 이를 활용한 고부가가치 발효식품 개발의 잠재력이 크다. 본 연구에서는 강원지역 특산물인 기반으로 한 발효주 및 차별화된 발효식품 개발을 추진함으로써 지역 농산물의 부가가치를 향상시키고자 하였다. 또한 선발 종균을 도내 농가 및 식품 가공업체에 보급하고, 현장 맞춤형 컨설팅과 교육을 병행함으로써 강원 지역 식품 산업의 경쟁력을 실질적으로 강화하는 것을 세부 목표로 설정하였다. 이를 통해 단순한 종균 공급을 넘어 지역 내 발효식품 생태계 전반의 역량 강화에 기여하고자 하였다. 장기적인 관점에서 본 연구는 정밀발효기술(precision fermentation)과의 접목을 통해 미래 그린바이오 산업의 핵심 소재 공급처로서의 역할을 담당하는 것을 지향한다. 구체적으로는 *Bacillus velezensis*, *Bacillus subtilis* 등 식품 원료 등재가 가능한 균주의 다수 확보를 통해 장류·양조 분야를 포함한 발효식품 제조업체에 즉시 활용 가능한 종균 소재 공급 기반을 마련하고자 하였다. 아울러 선발 균주의 항염증·항산화 등 기능성 규명은 향후 프로바이오틱스 및 포스트바이오틱스(사균체) 소재 개발로의 확장 가능성을 제시하며, 식품·건강기능식품·화장품 분야에 이르는 폭넓은 산업적 활용을 가능하게 하고자 하였다.

## 2 재료 및 방법

### <제1세부과제: 용도별 종균 소재 개발 및 상용화>

#### (시험 1) 식품산업 용도별 균주 분리

전국을 대상으로 효소액, 발효청 등 발효식품 및 농산물로부터 효모, 유산균, 고초균 등 발효미생물 100주를 분리·수집하였다. 수집된 균주는 향후 기능성 평가 및 종균 개발의 기반 소재로 활용하였다.

#### (시험 2) 절임식품의 발효적합성 평가

특히 유산균 AFY-3의 김치 발효 적합성 및 저장성을 규명하기 위해 유산균 접종량을 대조구(무처리),

0.1%, 0.3%, 0.5%로 설정하여 김치를 제조한 후, 6주간 냉장 저장하며 숙성 과정 중 미생물학적 변화, 염도, pH, 산도, 관능평가 등의 품질 특성을 분석하였다.

### (시험 3) 기탁균주 분말화 조건 설정

기탁균주 AFY-8(효모) 및 AFY-9(유산균)를 대상으로 상업적 활용이 가능한 분말 제형 개발을 목적으로 부형제 조성에 따른 생균수와 저장성을 4℃ 및 25℃ 조건에서 0일, 3개월, 6개월에 걸쳐 측정하였다. 부형제 조성은 총 3가지로, ①skim milk 단독(SM10%), ②Sorbitol+Glycogen+skim milk 복합(Sor10%+Gly10%+SM10%), ③Sucrose+Ascorbic acid+Glucose+skim milk 복합(Suc2%+Asc0.5%+Glu0.5%+SM10%) 처리구로 구성하였다. 또한 온도, pH, 탄소원, 유기질소원, 무기질소원의 5가지 인자를 변화시킨 flask 배양 성장 곡선을 위해, OD<sub>600</sub> 측정 방법을 사용하여 유산균의 생리적 특성(통성혐기성, 유기산 생성)을 반영한 추가 인자(pH, 무기질소원)를 실험하였다.

### (시험 4) 제빵용 균주 가이드라인 설정

AFY-8(효모) 및 AFY-9(유산균)를 발효종으로 활용한 천연 제빵 적용 가능성을 검토하고, 실제 제빵 현장에서 활용할 수 있는 표준 가이드라인을 수립하기 위해 수행하였다. 균주 접종량과 저장 기간을 주요 처리 변수로 설정하였다. 발효원종 제조 시 효모 분말 투입 비율(물 기준 2~5%)을 달리하여 발효 속도와 균체 성장 양상을 비교하였으며, 발효원종의 저장 기간(단기~중기)에 따른 품질 변화도 함께 모니터링하였다. 조사 항목으로는 발효원종 및 제조된 빵에서의 생균수 변화, 관능 평가(외관, 향, 맛, 식감, 전반적 기호도), 산도(pH 및 적정 산도)가 포함되었다. 산도는 유산균 발효에 의한 젖산-아세트산 생성 정도를 반영하는 지표로, 발효 시간과 균주 조성에 따라 빵의 풍미 특성이 어떻게 달라지는지를 파악하였다.

### (시험 5) 발효식품 활용 분리자원 DB 구축

발효식품 유래 유용미생물을 선별하기 위하여 2023년도에는 분리자원으로 근채류 및 과일류 등 43종을 수집하여 선택배지를 이용한 균주 분리 작업을 3단계에 걸쳐 수행하였다. 1차로 분리자원을 수집하여 선택배지에 도말한 후 균주를 분리하였으며 분리에 사용된 선택배지는 균주 종류에 따라 달리 적용하였는데, 고초균(*Bacillus subtilis*)에는 NA(Nutrient Agar) 배지를, 효모(yeast)에는 YPD 배지를, 유산균(lactic acid bacteria)에는 MRS 배지를 각각 사용하여 분리하였다.

2024년도에는 국내 전통 발효식품(고추장, 된장, 간장, 청국장, 춘장) 30종을 대상으로 미생물 자원을 수집하여, 고초균, 효모, 유산균을 분리·선별하였다. 분리 방법은 선택배지를 활용한 표준적 방법론을 따랐으며, 분리자원의 출처별 분포를 살펴보면, 고초균은 고추장, 된장, 간장, 청국장, 춘장 전 자원군에 걸쳐 고르게 분포하였으며, 효모와 유산균 역시 유사한 분포를 보였다.

### (시험 6) 조미용 우수균주 선별

균주 선별을 위한 특성평가는 2023년 분리 고초균 173주와 2024년 분리 고초균 113주, 그리고 대조구로서 AFY-2 및 AFY-16을 포함한 총 288주를 대상으로 수행하였다. 평가 항목은 내당성(Dextrose 내성), 내염성(NaCl 내성), 내산성(pH 내성), 효소활성( $\beta$ -glycosidase, Protease, Amylase), 그리고 식품 안전성과 관련된 바이오제닉아민류 생성 여부를 분석하였다.

## (시험 7) 신규 발효미생물 분리

신규 유용 미생물의 분리를 위하여 발효식품(효소액, 발효청 등) 및 다양한 농산물을 수집 대상으로 설정하였다. 수집 지역은 전국으로 광범위하게 설정하였으며, 분리 대상 미생물은 효모, 유산균, 고초균의 세 분류군으로 한정하였다. 최종적으로 100주의 균주를 분리하는 것을 목표로 실험을 설계하였다.

수제청, 수제잼, 발효액, 효소액 등 가공품 20종을 포함한 총 50종의 자원을 수집하였으며, 수집 자원에 대해서는 당도(Brix) 및 pH를 측정하여 품질특성을 분석하였다. 이를 통해 고당도 환경에서도 활성이 가능한 내성 균주 탐색에 활용하고자 하였다. 균주 배양에는 고초균의 경우 NA(Nutrient Agar) 배지, 효모의 경우 YPD(Yeast Peptone Dextrose) 배지, 유산균의 경우 MRS(de Man, Rogosa and Sharpe) 배지를 각각 선택적으로 사용하였다.

## (시험 8) 기능성 유산균 스크리닝

기능성 유산균 스크리닝을 위한 균주 특성 평가에서는 내산성(pH 2, pH 3), 내담즙성(0.3% oxgall), 효소활성( $\beta$ -glucosidase, cellulase,  $\beta$ -galactosidase), 세포 외 다당류(EPS) 생성 여부를 확인하였다. 기능성 평가에서는 항균 활성 및 항염증 활성을 측정하였으며, 안전성 평가에서는 용혈작용, 바이오제닉 아민 생성 여부, 항생제 내성을 검토하였다. 균주 동정은 16S rRNA 유전자 염기서열 분석 및 MALDI-TOF 질량분석법을 병용하였다.

항염증 기능성은 LPS(lipopolysaccharide)로 염증을 유도한 RAW264.7 대식세포 모델을 활용하여 유산균 사균체의 NO(nitric oxide) 생성 저해 효능, 사이토카인(IL-1 $\beta$ , iNOS, COX-2, IL-6) mRNA 발현 억제, I $\kappa$ B $\alpha$  및 Src 단백질 발현 조절을 순차적으로 평가하였다. 또한 세포독성(cytotoxicity) 확인을 통해 식품 소재로서의 기초 안전성 자료를 확보하였다.

## (시험 9) 종균 보급 및 상용화

1~2년차에는 스크리닝을 통해 선발된 특허 균주 및 기탁 균주를 지역 농식품 기업에 보급하고, 업체별 사용 목적과 제품 특성에 맞는 종균 활용 방법을 개발·지원함으로써 토착 유용미생물의 현장 상용화 기반을 실질적으로 구축하기 위해 수행되었다. 기술이전 및 컨설팅, 교육 등을 통한 종균 보급 및 상용화 하고자 하였다.

3년차에는 맥주 유형별로 상용 균주 및 자체 분리 균주(AFY 시리즈)를 적용하여 제조한 맥주의 품질특성을 알코올 함량, 비중, 당도, pH의 4개 항목으로 평가하였다. 각 맥주 유형의 발효 기준 비중은 Pale Ale 1.054, Dubbel 1.062, Stout 1.060, Golden Ale 1.040, Weizen 1.040으로 설정하였으며, 이를 기준으로 발효 완료 후 최종 비중의 변화를 통해 발효 진행 정도를 평가하였다.

4년차에는 특허 및 기탁 균주를 대상으로 농가 보급 및 상용화를 하고자 하였다. 고초균 AFY-2는 강원특별자치도 내 농가 및 식품 가공업체 등 약 50명을 대상으로 종균 1g 및 사용설명서를 제공하는 방식으로 추진하며, 이와 병행하여 홍보 및 교육 활동을 실시하였다. 효모 AFY-5, AFY-6, AFY-17의 경우 양조용 효모 3종을 이용한 맥주 제조방법을 도내 업체에 기술이전 하였다.

5년차에도 최종 선발된 균주를 도내 농가 및 식품업체를 대상으로 보급하였다. 보급 대상 균주는 특허 균주 및 기탁 균주를 포함하며, 업체별 용도에 적합한 종균 활용법을 컨설팅 형식으로 제공하였다. 보급 과정에서는 균주의 이론적 특성뿐 아니라 실제 제품 생산 현장에서의 적용 가능성을 검토하여 현장 맞춤형 지원을 실시하였다.

### 3 결과 및 고찰

#### <제1세부과제: 용도별 종균 소재 개발 및 상용화>

##### (시험 1) 식품산업 용도별 균주 분리

발효미생물 은행에 구축된 유산균 672주를 대상으로 내당성, 내염성, 저온 생육 및 내산성 등 환경 내성 특성을 종합적으로 평가하였다. 내당성 평가는 10~30% Dextrose 농도 범위에서 실시하였으며, 30% 고농도 조건에서도 활성을 나타내는 균주 54주를 확보하였다. 내염성 평가는 5~15% NaCl 농도 범위에서 진행한 결과, 10% NaCl 조건에서 생육 가능한 균주 33주와 5% NaCl 조건에서 생육이 가능한 균주 257주를 각각 선발하였다. 저온 생육 평가에서는 5~15℃ 범위에서 배양을 실시하였으며, 15℃의 저온 조건에서도 생육이 가능한 균주 235주를 확보하였다. 내산성 평가는 pH 3~5 범위에서 수행하였으며, pH 4의 산성 조건에서 생육 가능한 균주 74주를 선발하였다.

표 1. 분리 유산균의 스트레스내성, 효소활성 특성 비교

평가항목	분리균주(주)						합계	
	- <sup>1)</sup>	+	++	+++	++++	+++++		
환경내성	Cold tolerance (15℃)	437	0	0	17	207	11	672
	NaCl tolerance (10%)	230	11	20	154	256	1	672
	Dextrose tolerance (30%)	480	-	3	135	54	-	672
	Acid tolerance	521	-	4	73	68	6	672

<sup>1)</sup> colony size: no result (-), 0.5~1.5 mm (+), 3~4.5 mm (++) , 5~6.5 mm (+++) , 7~8.5 mm(++++) , 9 mm 이상 (+++++)

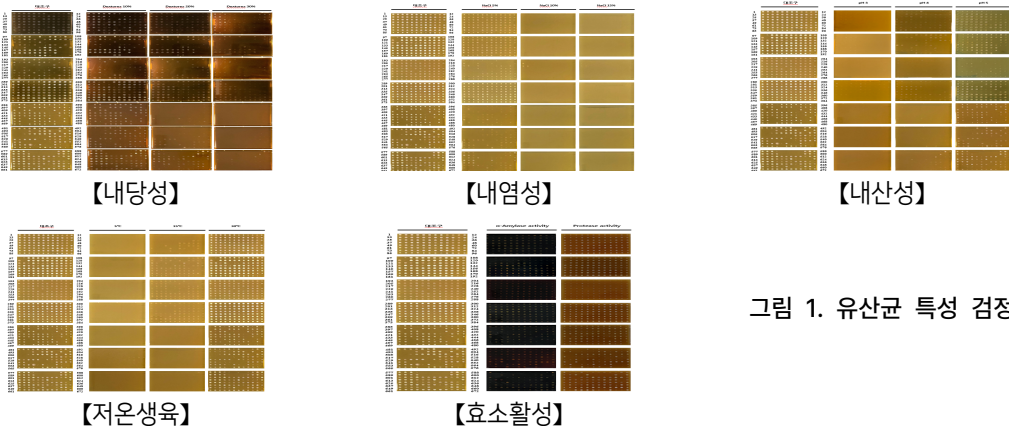


그림 1. 유산균 특성 검정

효모의 경우 발효미생물 은행에 구축된 576주를 대상으로 내당성, 내염성, 저온 생육, 알코올 내성 및 아황산 내성 평가를 실시하였다. 내당성 평가 결과 30% Dextrose 조건에서 활성을 보이는 균주 63주를 확보하였으며, 내염성 평가에서는 15% NaCl의 고염 조건에서도 생육이 가능한 균주 8주를 선발하였다. 저온 생육 평가에서는 15℃ 조건에서 생육 가능한 균주 474주를 확보하였고, 아황산(200ppm) 내성 평가에서는 생육 가능한 균주

9주를 선발하였다. 이와 같이 다양한 환경 내성 기준을 적용하여 식품산업 활용 가능성이 높은 우수 균주를 단계적으로 선발하였으며, 선발된 균주는 염기서열 분석 및 API 키트를 활용하여 동정하고 기탁을 완료하였다.

표 2. 효모 스트레스내성, 효소활성 특성 비교

평가항목	분리균주(주)						합계	
	- <sup>1)</sup>	+	++	+++	++++	+++++		
환경 내성	Cold tolerance (15℃)	33	2	6	61	449	25	576
	Ethanol tolerance (15%)	380	5	20	99	61	11	576
	Dextrose tolerance (30%)	163	51	89	210	23	40	576
	NaCl tolerance (15%)	408	31	47	82	3	5	576
	SO2 (200 ppm)	512	23	0	32	0	9	576

<sup>1)</sup> colony size: no result (-), 1~1.5 mm (+), 2~2.5 mm (++) , 3~3.5 mm (+++) , 4~4.5 mm (++++), 5 mm 이상 (+++++)

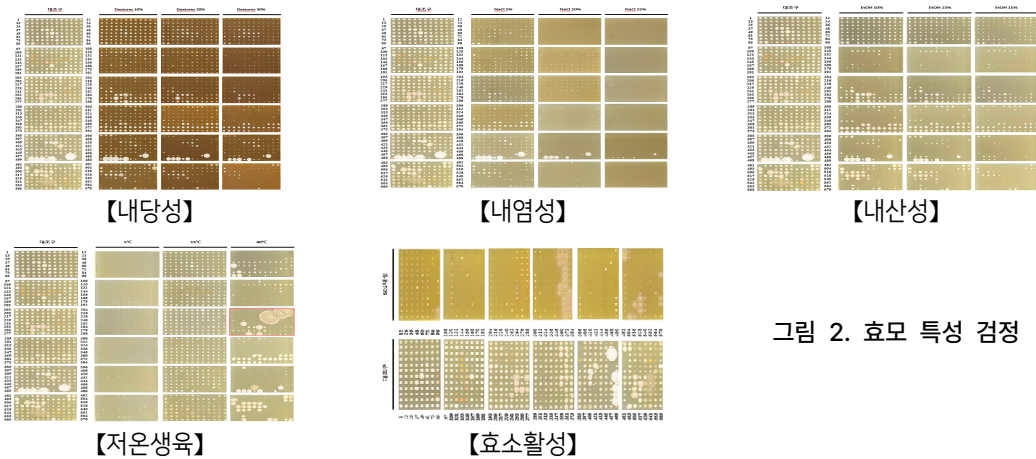


그림 2. 효모 특성 검정

기 분리된 양조용 효모 3종(Yeast-36, Yeast-51, Yeast-183)과 시판용 Fermivin을 대상으로 10일간 발효하며 알코올 생성능을 비교 분석하였다. 발효 시작 시점(0일)에는 모든 균주에서 1.43~1.44%의 동일한 수준을 나타내어 초기 조건이 균일하게 설정되었음을 확인하였다. 발효 3일차에 급격한 알코올 생성이 이루어졌는데, Yeast-51이 13.39%로 가장 높은 값을 보였으며, Fermivin(13.10%), Yeast-36(12.81%), Yeast-183(12.69%) 순으로 나타났다. 이는 발효 초기 3일 이내에 전체 알코올 생성의 대부분이 이루어짐을 의미하며, 특히 Yeast-51의 초기 발효 속도가 가장 우수함을 보여준다. 발효 7일차에는 전반적으로 3일차와 유사한 수준을 유지하였으며, Yeast-51(13.41%)이 가장 높은 값을 나타냈고, Fermivin(13.21%), Yeast-36(12.82%), Yeast-183(12.70%) 순으로 3일차와 동일한 경향이 지속되었다. 이 시점에서 Yeast-36과 Yeast-183은 3일차 대비 거의 변화가 없어 발효가 사실상 3일차에 완료된 것으로 판단된다. 발효 최종일인 10일차에는 Fermivin이 13.24%로 가장 높은 알코올 함량을 나타냈으며, Yeast-51(13.17%), Yeast-36(12.84%), Yeast-183(12.69%) 순으로 나타났다. 주목할 점은 Yeast-51의 경우 7일차(13.41%)에 비해 10일차(13.17%)에 소폭 감소하는 경향을 보인 반면, Fermivin은 발효 기간 내내 꾸준히 증가하는 안정적인 패턴을 나타냈다는 점이다. Yeast-36과 Yeast-183은 3일차 이후 거의 변화 없이 각각 12.82~12.84%, 12.69~12.70% 수준을 유지하여 발효가 조기에 완결되는 특성을 보였다. 종합적으로 10일 발효 기준 최종

알코올 함량은 Fermivin(13.24%) > Yeast-51(13.17%) > Yeast-36(12.84%) > Yeast-183(12.69%) 순으로, 선발 효모 3종 모두 시판 효모인 Fermivin과 비교하여 최대 0.55%p 이내의 근소한 차이를 보여 알코올 생성능이 충분히 우수한 것으로 평가된다. 특히 Yeast-51은 발효 초기 알코올을 생성 속도가 가장 빠르고 최종 함량도 시판 효모에 근접하여 양조용 종균으로서의 활용 가치가 가장 높은 것으로 판단된다.

표 3. 효모별 알코올 생성능

(단위: %)

발효일(일)	분리균주(주)			
	Fermivin	Yeast-36	Yeast-51	Yeast-183
0	1.43±0.02	1.43±0.02	1.44±0.02	1.43±0.02
3	13.10±0.00	12.81±0.00	13.39±0.02	12.69±0.04
7	13.21±0.03	12.82±0.02	13.41±0.05	12.70±0.02
10	13.24±0.00	12.82±0.02	13.17±0.02	12.69±0.01

알코올 생성능이 우수한 선발 효모 3종(Yeast-36, Yeast-51, Yeast-183)과 시판용 Fermivin을 대상으로 향기 성분을 GC-MS로 분석하였다. 분석 결과 공통적으로 검출된 주요 향기 성분은 Benzoic acid, Propanedioic acid, 3-methylbutyl ester, 1,2,4-Benzenetricarboxylic acid 등으로 확인되었다. Benzoic acid는 발효 과정에서 생성되는 방향족 유기산으로, 은은한 꽃향과 달콤한 향미에 기여하는 성분이다. Propanedioic acid는 말론산 계열의 유기산으로 발효 대사 과정에서 생성되며 전반적인 산미와 향의 균형에 관여한다. 3-methylbutyl ester는 이소아밀 에스터 계열 성분으로 과일향, 특히 바나나향과 유사한 특유의 풍미를 부여하는 대표적인 발효 향기 성분이다. 1,2,4-Benzenetricarboxylic acid는 트리멜리트산 계열 성분으로 복합적인 향미 형성에 기여하는 것으로 알려져 있다.

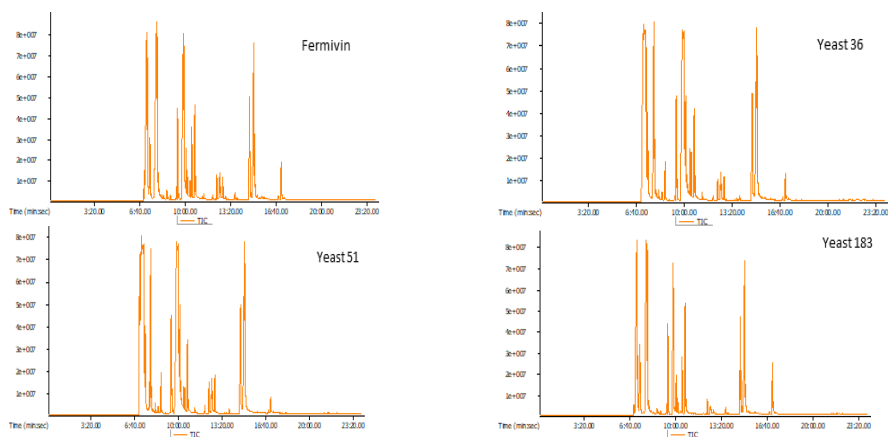


그림 3. 효모별 향기성분 분석

균주별 향기 성분의 구성 비율과 패턴에는 차이가 있었으며, 이를 보다 명확히 비교하기 위해 주성분 분석(PCA) 및 편최소자승 판별분석(PLSDA)을 실시하였다. PCA 분석에서 제1주성분(PC1)이 전체 분산의 44.5%를 설명하며, 이는 효모 간 향기 성분의 차이를 가장 크게 대변하는 축이다. 분석 결과 Fermivin과 Yeast-183이 PC1 음의 방향으로 밀집되어 하나의 군집을 형성하였고, Yeast-36과 Yeast-51은 PC1 양의 방향으로 다른 군집을 형성하였다. 이는 두 그룹 간 향기 성분의 구성 패턴이 명확히 구별됨을 의미한다.

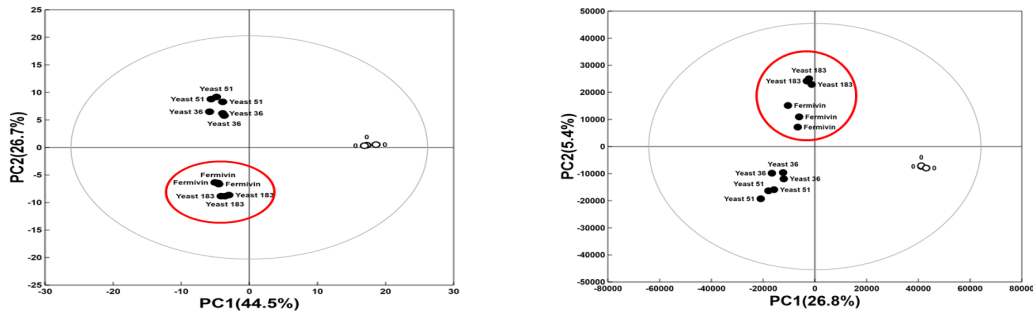


그림 4. 효모별 향기성분 주성분 분석

PLSDA 분석은 그룹 간 판별력을 극대화하는 방향으로 축을 설정하는 지도학습 방법으로, 제1주성분(PC1) 26.8%, 제2주성분(PC2) 5.4%로 나타났다. PCA와 동일하게 Fermivin + Yeast-183, Yeast-36 + Yeast-51의 두 군집이 더욱 명확히 분리되었으며, 군집 내 반복 측정값들이 좁게 밀집되어 분석의 재현성이 높음을 확인하였다. 두 분석을 종합하면 다음과 같이 해석할 수 있다. Yeast-36과 Yeast-51은 향기 성분 측면에서 서로 유사한 프로파일을 가지며, 시판 효모인 Fermivin과는 뚜렷이 구별되는 독자적인 향미 특성을 보유하고 있다. 반면 Yeast-183은 시판 Fermivin과 향기 패턴이 유사하여 기존 제품과 유사한 풍미를 구현하는 데 적합할 것으로 판단된다. 결론적으로 선발 효모들은 각기 다른 향미 특성을 가지므로 목표 제품의 향미 방향에 따라 용도별로 차별화하여 활용하는 전략이 효과적일 것으로 사료된다.

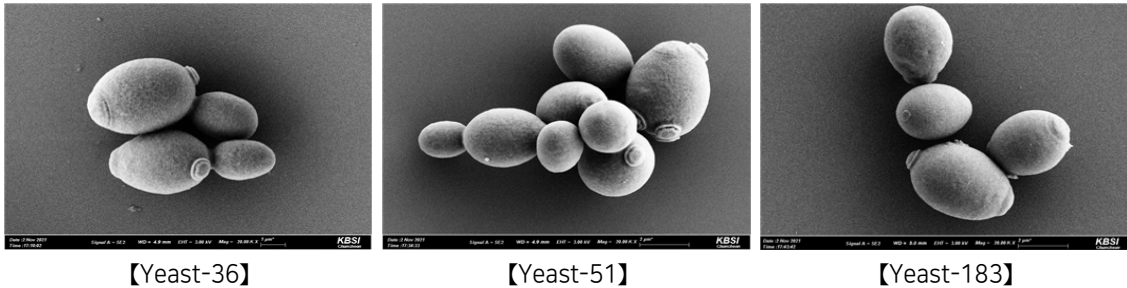


그림 5. 효모 SEM분석

### (시험 2) 절임식품의 발효적합성 평가

특히 유산균(AFY-3)을 활용하여 김치를 대상으로 발효 적합성 및 저장성을 평가하였다. 유산균 접종량을 무처리(대조구), 0.1%, 0.3%, 0.5%로 설정하여 김치를 제조하고 냉장 조건에서 3일~6주에 걸쳐 품질 변화를 관찰하였다. 숙성기간별 생균수는 그림 6과 같이 처리 농도에 따라 최대값 도달 시점과 최대값 크기에서 뚜렷한 차이를 나타냈다. 무처리구는 2~3주차에 최대  $2 \times 10^7$  CFU/g에 도달한 반면, 0.5% 처리구는 4주차에 최대  $1 \times 10^8$  CFU/g으로 무처리구 대비 약 5배 높은 생균수를 기록하였다. 이는 초기 접종량이 많을수록 유산균의 우점화가 빠르게 이루어지고, 숙성 기간이 길어질수록 그 효과가 더욱 증폭됨을 의미한다. 특히 0.3% 및 0.5% 처리구에서 3~4주차 이후 생균수가 서서히 감소하는 경향은, 유기산 축적에 의한 산도 상승이 유산균 자체의 생육을 억제하는 자기제한적(self-limiting) 발효 메커니즘이 작동한 결과로 해석된다.

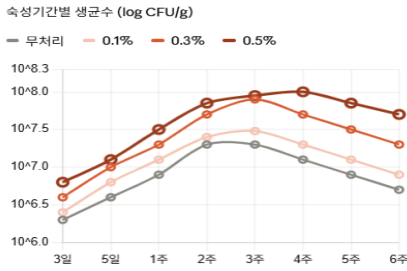


그림 6. 숙성기간별 유산균 수 변화

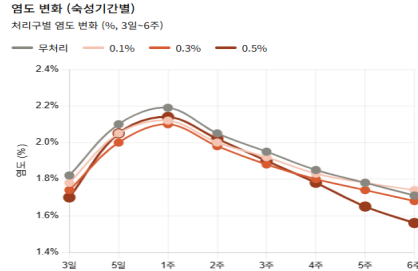


그림 7. 숙성기간별 염도 변화

숙성기간별 염도는 그림 7과 같이 처리 농도에 관계없이 모든 처리구의 염도는 일정한 변화 패턴을 보이지 않았다. 무처리구 1.71~2.19%, 0.5% 처리구 1.56~2.14% 범위로, 두 처리구 간 염도 범위가 서로 겹치며 처리별 유의적 차이가 없었다. 이는 유산균 접종이 김치 내 염도 변화에 직접적인 영향을 미치지 않음을 확인시켜 주며, 염도 변동은 주로 재료 내 수분 이동 및 삼투압 평형 과정에 의한 물리적 요인에 기인한 것으로 판단된다.

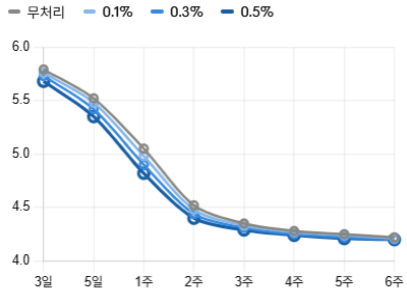


그림 8. 숙성기간별 pH 변화

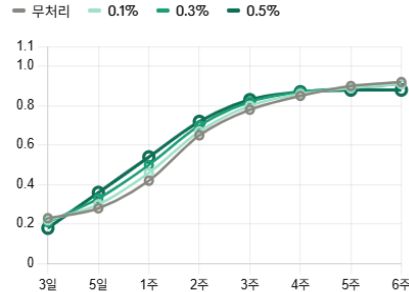


그림 9. 숙성기간별 산도 변화

- \* 미숙기(pH > 5.0, 산도 < 0.3%): 아삭함은 좋으나 풍미가 충분히 발현되지 않은 단계
- \* 적숙기(pH 4.2~4.5, 산도 0.6~0.8%): 시원한 맛과 풍미가 최고조에 달하며 이미가 가장 낮은 최적 소비 구간
- \* 과숙기(pH < 4.2, 산도 > 0.9%): 유기산 과잉 축적으로 아삭함이 급감하고 이취가 증가하여 관능 품질이 저하

pH 변화 분석은 그림 8과 같이 모든 처리구에서 숙성이 진행될수록 pH가 뚜렷하게 감소하였으며, 특히 저장 5일~2주 사이에 가장 급격한 하락이 나타났다. 이는 유산균이 활발히 증식하며 유기산을 생성하는 주발효 구간에 해당한다. 무처리구의 경우 3일차 pH 5.79에서 6주차 4.22로 1.57 단위 감소하였고, 0.5% 처리구는 5.68에서 4.20으로 1.48 단위 감소하였다. 주목할 점은 0.5% 유산균 처리구가 초기 pH가 더 낮은 상태였음에도 불구하고 최종 pH는 무처리구와 거의 동일한 수준(4.20 vs 4.22)에 수렴하였다는 점이다. 이는 유산균 접종이 초기 산성화를 앞당기되, 최종 숙성 도달점에는 큰 차이를 주지 않음을 시사한다. 산도는 그림 9와 같이 pH와 역상관 관계를 보이며 숙성과 함께 지속적으로 증가하였다. 무처리구의 산도는 3일차 0.23%에서 6주차 0.92%로 약 4배 증가하였으며, 0.5% 처리구는 0.18%에서 0.88%로 증가하였다. 특이한 점은 유산균 처리 농도가 높을수록 초기(3일) 산도가 오히려 낮게 시작하는 경향을 보인다는 것이다. 이는 초기 접종 유산균이 증식에 에너지를 소비하는 지연기(lag phase)를 거치기 때문으로 해석된다. 그러나 2주차 이후에는 처리구별 산도 차이가 미미해지며 유사한 수준으로 수렴하였는데, 이는 김치의 최종 품질이 유산균 접종 여부보다 숙성 환경(온도, 염도 등)에 더 크게 의존함을 보여주는 결과로 사료된다.

관능평가는 그림 10과 같이 무처리 대비 유산균 0.5% 처리구에서 아삭한 식감(+1.5점)과 시원한 맛(+0.9점)이 유의적으로 높게 평가되었으며, 이미(불쾌미)는 1.5점 수준으로 무처리구(2.3점)보다 크게 낮았다. 이는 유산균이 생성하는 만니톨, 젖산 등의 대사산물이 김치 특유의 시원하고 깔끔한 풍미를 강화하는 한편, 잡균 억제를 통해 이취 발생을 억제한 결과로 해석된다. 아삭한 식감의 향상은 유산균이 펙틴 분해 효소 활성을 조절하여 세포벽 구조를 보존한 것과 관련이 있을 것으로 추정되며, 이는 유산균 중균이 김치의 조직감 개선에 실질적으로 기여함을 시사하는 중요한 결과이다.



그림 10. 숙성기간별 관능평가

유산균(AFY-3) 0.5% 접종은 pH와 산도 변화의 절대적 크기에는 큰 영향을 미치지 않았으나, 초기 발효 속도를 촉진하고 유산균 우점화를 유도함으로써 잡균 억제 및 관능 품질 향상에 뚜렷하게 기여하였다. 따라서 본 균주는 단순히 발효를 빠르게 하는 목적보다는 품질 안정성 확보 및 식감·풍미 개선을 위한 종균으로서의 활용 가치가 높은 것으로 판단된다.

### (시험 3) 기탁균주 분말화 조건 설정

기탁균주 AFY-8(효모) 및 AFY-9(유산균)에 대해 부형제 구성에 따른 생균수와 저장성을 검토한 결과 AFY-8(효모)는 SM10% 단독 처리시 초기 8.E+08 cfu/g → 6개월(4℃) 4.E+04 cfu/g로 약 99.99% 감소(생균율 ~0.005%)하였고, Suc2%+Asc0.5%+Glu0.5%+SM10% 처리시 초기 2.E+08 cfu/g → 6개월(4℃) 8.E+06 cfu/g로 약 96% 감소하나, SM10% 단독 대비 200배 높은 생균수를 유지하였다. 25℃ 조건에서는 전 처리구에서 6개월 후 검출 불가(ND)로 상온 저장은 불가하였다. 결론적으로 4℃ 저온 냉장 조건 + Suc2%+Asc0.5%+Glu0.5% +SM10% 복합 처리가 최적 부형제 및 저장조건으로 사료되었다.

AFY-9 유산균은 SM10% 단독 처리시 초기 4.E+10 cfu/g → 6개월(4℃) 4.E+08 cfu/g로 약 99% 감소하였고, Suc2%+Asc0.5%+Glu0.5%+SM10% 처리시 초기 4.E+10 cfu/g → 6개월(4℃) 5.E+09 cfu/g 유지(약 87.5% 감소), 최고 생균수를 보존하였다. AFY-9는 AFY-8에 비해 전반적으로 2~3 log 단위 높은 초기

생균수를 가지며 저장 안정성도 우수하였고, 동일하게 복합 부형제(Suc2%+Asc0.5%+Glu0.5%+SM10%), 4℃ 보관이 최적 조건으로 사료 되었다.

표 4. 균주분말 조건에 따른 생균수

unit: log cfu/g

균주명	구분	0일	3개월		6개월	
			4℃	25℃	4℃	25℃
AFY-8	SM10%	8.E+08	3.E+05	1.E+03	4.E+04	ND
	Sor10% + Gly10% + SM10%	5.E+07	8.E+06	1.E+03	5.E+04	ND
	Suc2% + Asc0.5% + Glu0.5% + SM10%*	2.E+08	1.E+07	2.E+03	<b>8.E+06*</b>	ND
AFY-9	SM10%	4.E+10	5.E+09	2.E+04	4.E+08	ND
	Sor10% + Gly10% + SM10%	4.E+10	1.E+10	2.E+04	5.E+09	ND
	Suc2% + Asc0.5% + Glu0.5% + SM10%*	4.E+10	1.E+10	4.E+04	<b>5.E+09*</b>	ND

그림 11은 기탁균주 AFY-8(효모)의 flask 배양에서 배지 조건별 성장 곡선을 나타낸다. 온도, 탄소원, 유기질소원 총 3개 인자에 대해 개별 실험이 수행하였고, OD<sub>600</sub> 값의 시간적 변화를 분석함으로써 각 인자의 최적 조건을 도출하였다. 실험은 25℃, 30℃, 35℃ 세 온도 조건에서 0~20시간 수행하였다. 성장곡선 지연기(Lag phase, 0~3h)는 세 온도 조건 모두 초기 OD<sub>600</sub> 값이 0.7 이하로 동일하며, 약 3시간의 적응 기간을 나타냈다. 이는 새로운 배지 환경에 대한 세포의 효소 합성 및 대사 재조정 기간으로 해석된다. 지수증식기(Log phase, 3~10h)는 30℃ 처리구가 가장 가파른 성장 기울기를 보이며, 6~8시간에 걸쳐 OD<sub>600</sub>이 0.7에서 5.5 이상으로 급격히 증가하였다. 반면 25℃에서는 성장 속도가 완만하고 최종 도달 OD도 상대적으로 낮았다. 정체기(Stationary phase, 10h 이후)는 30℃ 처리구는 약 10시간 경 OD<sub>600</sub> 3.6에서 정체기에 진입하였으며, 20시간까지 해당 수준을 안정적으로 유지하였다.

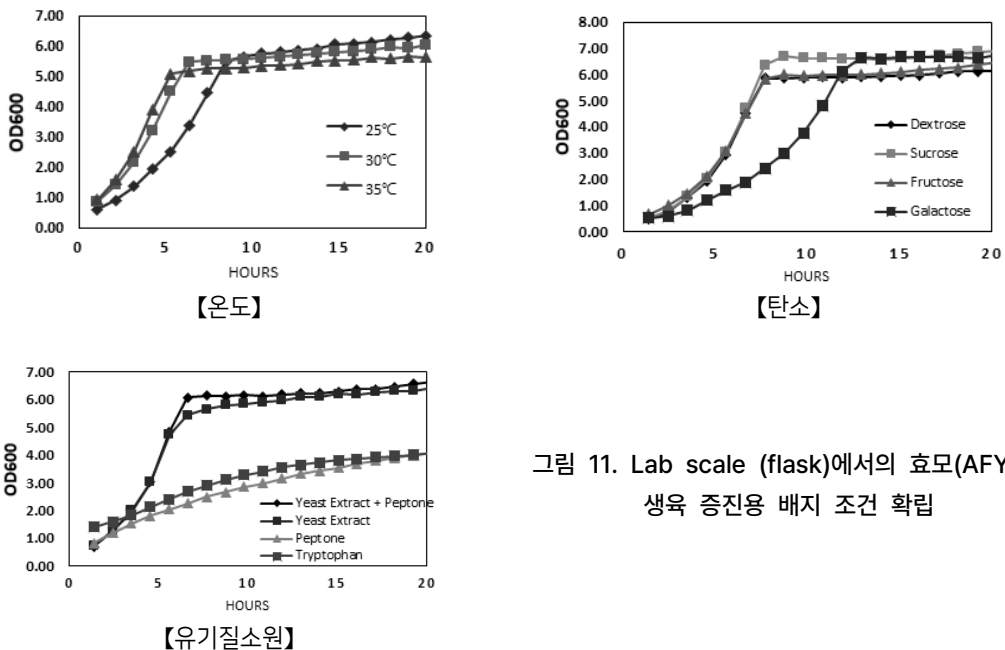


그림 11. Lab scale (flask)에서의 효모(AFY-8) 생육 증진용 배지 조건 확립

탄소원 실험에서는 Dextrose(포도당), Sucrose(자당), Fructose(과당), Galactose(갈락토스) 4종을 비교하였다. Sucrose(자당)는 지수증식기 진입이 빠르고(4h), 최대 OD<sub>600</sub> 7.0이하에서 10시간 내 도달하여 가장 우수한 최종 균체 수율을 나타냈다. 효모는 세포 외 인버타아제(invertase)를 분비하여 슈크로스를 포도당과 과당으로 즉시 분해·이용하므로, 이분된 탄소원의 순차적 이용이 성장을 효율화하는 것으로 판단된다. Dextrose(포도당)는 Sucrose와 거의 동등한 성장 패턴을 보였으나, 최종 OD<sub>600</sub>이 6.5 이내로 Sucrose 대비 소폭 낮았다. 포도당은 효모의 가장 직접적인 탄소원으로, 카타볼라이트 억제(catabolite repression)가 강하게 작용하는 특성을 가진다. Fructose(과당)는 Dextrose와 유사한 성장 경향을 보였으나, 지수증식기 시작이 약 1시간 지연되었다. 이는 과당 대사 효소의 발현 속도가 포도당 대비 다소 늦기 때문으로 해석된다. Galactose(갈락토스)는 지수증식기 시작이 ~5-6시간으로 현저히 지연되었다. 이는 효모에서 갈락토스 대사가 GAL 유전자 발현 유도(induction)를 필요로 하며, 레렐라이-파스티르 효과(Leloir pathway) 활성화에 추가 시간이 요구되기 때문이다. 최종 OD<sub>600</sub>은 유사한 수준에 도달하였으나 20시간까지도 완전한 정체기에 진입하지 못하는 경향이 관찰되어 배양 효율 측면에서 불리하다. 유기질소원 실험은 Yeast Extract + Peptone 복합, Yeast Extract 단독, Peptone 단독, Tryptophan 단독의 4가지 조건을 비교하였다. Yeast Extract + Peptone 복합(최적)는 두 성분의 시너지 효과로 가장 높은 최종 OD<sub>600</sub>(6.8 이내)와 가장 빠른 정체기 진입(8h)을 달성하였다. Yeast Extract는 아미노산, 비타민(B군 포함), 핵산 전구체 등 미량 성장 인자를 풍부하게 함유하며, Peptone은 펩타이드 및 아미노산 형태의 질소원을 추가 공급한다. 두 성분이 서로 보완적으로 작용하여 세포 단백질 합성 및 대사 효율이 극대화된 것으로 판단되었다. Yeast Extract 단독 처리시 복합 처리구 대비 소폭 낮은 OD<sub>600</sub>(6.3 이내)을 나타냈으나, 전체적으로 우수한 성장 지원 능력을 보였다. Yeast Extract의 복합적 영양 조성이 단일 질소원으로도 효과적임을 시사한다. Peptone 단독 처리는 최대 OD<sub>600</sub>이 4.0 이내로 복합 처리구 대비 약 41% 낮았다. Peptone은 주로 펩타이드·아미노산 형태의 질소를 공급하나, 비타민 및 미량 성장 인자가 결핍되어 있어 성장이 제한된 것으로 사료되었다. Tryptophan 단독은 최하위 성장 결과(OD<sub>600</sub> 3.8 이내)를 나타냈다. Tryptophan은 단일 아미노산 질소원으로서 다양한 단백질 합성에 필요한 아미노산을 충분히 공급하지 못하며, 질소원의 다양성 부족이 성장 제한 요인으로 작용한다.

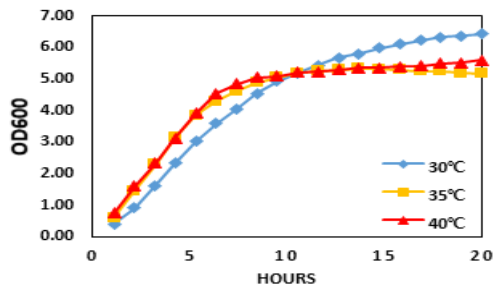
표 5. 효모(*Saccharomyces cerevisiae* AFY-8) 최적 배지 조건

배지인자	최적조건	기준
배양온도	30°C	최대 OD <sub>600</sub> 달성 및 지수기 가장 빠름
탄소원	Sucrose (자당)	최고 최종 균체 수율 (~7.0) 및 빠른 성장 개시
유기질소원	Peptone No.3 + Beef extract + Yeast extract	복합 질소원의 시너지 효과 및 최고 OD <sub>600</sub> , 최단 배양 시간
pH	pH 8	

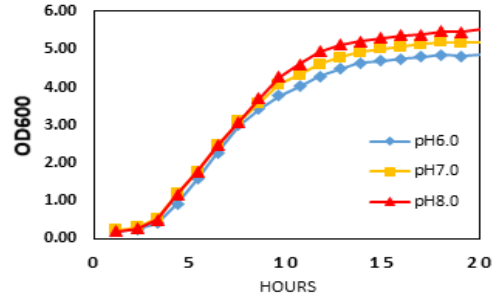
\* 최적 성장 온도(Optimal growth temperature): 비성장속도(specific growth rate,  $\mu_{max}$ , h<sup>-1</sup>)가 가장 높은 온도

그림 12는 기탁균주 AFY-9(유산균)의 flask 배양에서 배지 조건별 성장 곡선을 분석하였다. AFY-9(유산균)는 5°C 높은 30~40°C 범위로 하였다. 지연기(Lag phase, 0~3h)의 35°C와 40°C 처리구는 약 2~3시간 시점부터 30°C보다 약간 빠른 OD 상승이 감지되었고, 고온에서 효소 반응 속도가 빠르기 때문에 적응기 이탈이 더 신속하게 이루어지는 것으로 해석된다. 지수증식기 (Log phase, 3~10h) 측면에서 35°C는 3~10시간 구간에서 가장 가파른 OD<sub>600</sub> 상승 기울기가 30°C 및 40°C보다 뚜렷이 빠른 것이 관찰되었다. 40°C 에서는 35°C와 유사한 패턴으로, 지수 기울기는 두 번째로 가파르나 35°C와의 차이는 미미하며, 이후 정체기에서

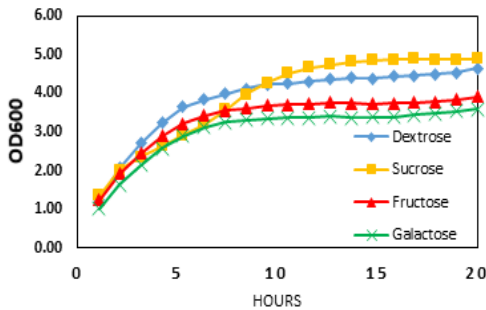
최종 OD가 35°C보다 다소 낮게 수렴하는 경향을 보였다. 30°C에서 성장이 멈추지 않고 15~20시간까지도 완만하게 지속 증가하는 특징적인 패턴을 보였다. 이는 저온에서 유기산 축적 및 pH 강하 속도가 느려 생육 억제 발생이 지연되기 때문으로 판단된다. 정체기 (Stationary phase) 측면에서 35°C에서는 약 10~12 시간에 정체기에 진입하며, 최대 OD<sub>600</sub> 5.0-5.2 이내 수준에서 안정화되었다. 세 처리구 중 가장 빠른 정체기 진입을 달성하였다.



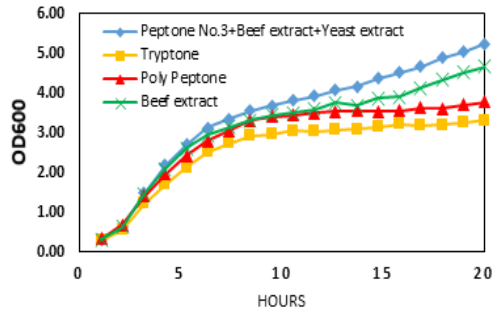
【온도】



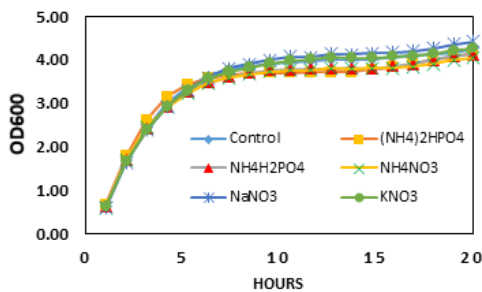
【pH】



【탄소원】



【유기질소원】



【무기질소원】

그림 12. Lab scale (flask)에서의 유산균(AFY-9) 생육 증진용 배지 조건 확립

\* 최적 성장 온도(Optimal growth temperature): 비성장속도(specific growth rate,  $\mu_{max}$ ,  $h^{-1}$ )가 가장 높은 온도

pH 실험은 pH 6.0, 7.0, 8.0 세 조건에서 수행하였다. 유산균은 젖산을 생성하여 배지를 자연스럽게 산성화하는 특성이 있으므로, pH 조건은 세포 성장뿐만 아니라 대사 산물 생성과도 밀접하게 연관이 된다. pH 8.0(적색 선)이 전 관찰 구간(0~20h)에 걸쳐 가장 높은 OD<sub>600</sub>을 유지하였으며, pH 7.0(황색)이 두 번째,

pH 6.0(청색)이 가장 낮은 성장을 나타냈다. 세 처리구는 초기(0~3h)에 동일한 수준에서 출발하나 4~5시간 이후부터 뚜렷하게 분리되었다. 세 처리구는 0~3시간 동안 OD<sub>600</sub> 0.1이내 수준에서 동일하게 출발하였지만 pH 8.0 환경에서 유산균은 이미 최적 이온 환경에 있으므로 적응 기간이 짧았다. pH 8.0 처리구는 약 3~4시간 시점부터 4~12시간 구간에서 가장 가파른 기울기를 보였고, 12시간 시점 pH 6.0 대비 약 0.8-1.0 높았다. 이는 세포가 낮은 pH 환경에서 세포질 pH 항상성(cytoplasmic pH homeostasis) 유지에 에너지를 소모하기 때문으로 사료된다. 탄소원별 성장 특성 세부 분석으로 Sucrose(자당)가 최적 탄소원으로 지수증식기 2~3시간 이내에서 성장을 시작하며, 3~12시간 구간에서 가장 높은 OD<sub>600</sub> 증가율을 나타냈다. 12시간 시점의 OD<sub>600</sub>가 4.5이내로 추정되어 Dextrose(~4.2~4.3)보다 약 0.2~0.3 높았다. 20시간 기준 OD<sub>600</sub> 4.9-5.0으로 탄소원 4종 중 최고값을 나타냈다. 유산균에서 Sucrose는 수크로스 포스포트랜스퍼라제 시스템(PTS, phosphotransferase system)을 통해 직접 인산화·내재화된 후, sucrose-6-phosphate가 인버타아제(또는 sucrose-6-phosphate hydrolase)에 의해 포도당-6-인산과 과당으로 분해되는 과정에서 두 단당류가 동시에 해당과정에 공급되어 탄소 흐름(carbon flux)이 최대화되고, ATP 생산 효율이 높아지기 때문인 것으로 사료된다. 최적 유기질소원은 Peptone No.3 + Beef extract + Yeast extract 3종 복합 처리구가 OD<sub>600</sub> 5.0-5.2이내로 단독 처리구(~3.0-3.5) 대비 약 50~70% 우월하였고, 20시간 이후에도 성장 지속되어 장기 배양 시 추가 균체 획득이 가능하였다. 핵심 기전은 Yeast Extract의 B군 비타민·핵산 전구체 공급이 결정적으로 단독 처리구와의 가장 큰 차별 요소이며, Beef extract 단독처리시 가장 낮은 성장을 보여 단독 질소원 보조 역할에 한정되었다. AFY-9의 고도 영양 요구성(fastidious)이 입증되었으며, 모든 필수 아미노산·비타민의 외부 공급이 필수적이었다. 무기질소원 6개 처리구(대조구 포함)의 성장 곡선이 전 관찰 구간에서 매우 근접하게 겹쳐 있었다. 처리구 간 OD<sub>600</sub> 차이는 최대 ~0.3-0.5 수준으로, 다른 인자 실험(최대 Δ~2.0)에 비해 극히 미미하였다. 전 처리구가 5~7시간에 급격히 성장을 시작하여 ~8~10시간에 정체기에 진입하며, 이후 OD<sub>600</sub> ~4.0-4.4 범위에서 안정화되었다. 무기질소원의 선택보다 유기질소원의 조성과 pH 제어가 AFY-9 성장에 훨씬 중요한 인자임을 확인할 수 있었다. 배지 비용 절감 목적으로 무기질소원을 탐색할 경우, 효과 자체가 제한적임을 확인할 수 있었다.

표 6. 유산균(*Pediococcus pentosaceus* AFY-9) 최적 배지 조건

배지인자	최적조건	기 준
배양온도	35°C	최대 OD600 달성 및 지수기 가장 빠름
탄소원	Sucrose (자당)	가장 빠른 성장 개시
유기 질소원	Peptone No.3 + Beef extract + Yeast extract	복합 영양 공급으로 영양 요구성 유산균의 아미노산 요구도 충족
pH	pH 8.0 (약알칼리)	산성 스트레스 완충 및 세포막 안정성 유지

효모와 유산균의 혼합배양(Co-culture)시 두 균주 모두 Sucrose 탄소원과 pH 8.0 조건을 공유하므로, 탄소원 및 pH 통일 운영이 가능하며, AFY-8(최적 30°C)과 AFY-9(최적 35°C) 간 5°C 차이가 존재하여 32-33°C의 절충 온도를 탐색하거나, 순차 배양(sequential co-culture) 방식 채택이 필요하다고 사료되었다. 질소원 차이 경우 AFY-9가 더 복잡한 복합 질소원을 요구하므로 혼합배양 시 AFY-9의 복합 질소원 조건(3종 복합)으로 통일하면 AFY-8의 성장도 충분히 지원 가능할 것으로 사료된다.

#### (시험 4) 제빵용 균주 가이드라인 설정

분말 효모(AFY-8)를 활용한 발효원종 제조는 재료를 혼합하여, 진탕배양기 27°C, 4시간, 150rpm 에서 발효하여, 발효원종의 부피가 두배 이상될 때 빵의 반죽으로 사용하였다.

표 7. 발효원종 및 빵 제조 배합비

발효 원종	재 료	배합비 (물기준)	NO	재 료	배합비(%)
		효모 분말	2%	1	발효 원종
	설탕	1%	2	밀가루	56.5
			3	설탕	2.8
			4	소금	1.1
			5	전지분유	1.7
			6	버터	1.1

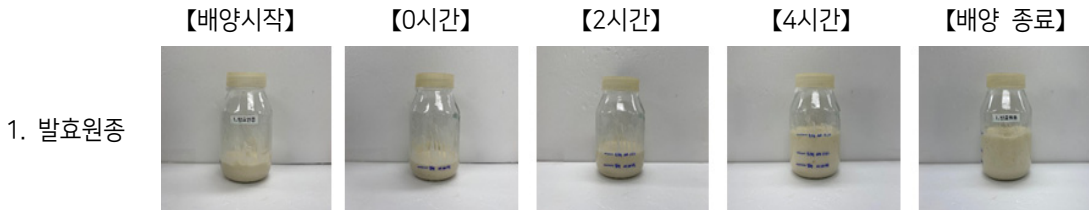


그림 13. 효모 발효원종 발효시간별 부피변화

그림 14와 같이 믹싱볼 내에 정량의 배합 원료와 천연 발효원종(AFY-8)을 투입하고 혼합(Mixing)을 개시 하였다. 원료가 균일하게 분산되어 도우가 결합(Binding)되는 클린업 단계(Clean-up stage)에서 버터를 첨가함으로써 유지의 가소성을 통한 반죽의 연전성(Extensibility)을 확보하였다. 글루텐 매트릭스의 발달 및 점탄성 형성을 위해 실시간으로 도우의 발달 상태를 관찰하며 총 40분간 혼련(Kneading)을 지속하였다. 최종 반죽 온도는 미생물의 대사 활성을 극대화하기 위해  $27 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 정밀 제어하였으며, 시료 표면의 수분 증발 억제 및 안정적인 발효 환경 구축을 위해 가스 투과성이 낮은 필름으로 밀봉하였다. 도우는 온도 27°C, 상대습도 80% 조건의 항온항습기 내에서 1시간 20분 동안 1차 발효를 실시하였다. 이 과정에서 발효원종 내 미생물의 대사 작용에 의해 생성된 CO<sub>2</sub> 가스와 유기산 등의 대사산물은 도우의 부피 팽창 및 풍미 화합물(Flavor profile) 형성에 기여하였다. 발효 완료 후, 과잉 축적된 가스를 제거하고 조직을 균일하게 재정렬하기 위해 둥글리기(Rounding)를 수행하였다. 이후 가공 공정 중 발생한 내부 응력을 완화하고 점탄성 회복을 통한 성형 효율을 증대시키기 위해 실온에서 20분간 중간 휴지(Bench time)를 거쳤다. 중간 휴지가 완료된 시료는 최종 제품 형태에 적합하게 성형한 후 팬닝(Panning)하였다. 최종적인 조직감 구축 및 Specific volume의 최적화를 위해 35°C 조건에서 60분간 2차 발효를 실시하여 미생물의 발효능을 최종적으로 유도하였다. 소성(Baking) 공정은 175°C로 예열된 오븐 내에서 35분간 수행하였다. 고온 가열 과정에서 유도된 메일라드 반응(Maillard reaction) 및 카라멜화 반응(Caramelization)을 통해 외부 크러스트의 색상과 향미 화합물을 발달시켰으며, 내부 구조의 고착화를 통해 천연 발효 특유의 물성과 풍미가 발현된 최종 제빵 산물을 도출하였다.



그림 14. 효모 발효원종 빵 제조

천연 발효원종(AFY-8)을 적용한 도우의 물성을 분석한 결과, 시판 효모를 사용한 대조구와 비교하여 경도, 응집성, 탄력성 등 전반적인 지표에서 뚜렷한 유의차를 보였다. 이는 발효원종 내 미생물 대사산물과 유기산이 글루텐 매트릭스 형성에 미치는 영향이 시판 효모와 차별화되는 것으로 사료되었다. 경도(Hardness) 및 발효 안정성은 대조구의 경도가 339.33N인 것과 비교하여, AFY-8 처리구는 1712~1763N으로 약 5.0~5.2배 높은 경도로 나타남. 이는 대조구 대비 조직의 밀도가 높고 견고한 구조를 형성했음을 의미하며, 발효 시간(4, 6, 8시간)에 따른 경도 변화를 통계적으로 분석한 결과 유의미한 차이는 없었다. 4시간 이상의 발효 과정에서 물성적 특성이 평형 상태에 도달하며, 장시간 발효 시에도 조직의 물리적 안정성이 유지될 수 있을 것으로 사료되었다. 응집성(Cohesiveness)과 조직의 밀도관계에서 응집성은 대조구(0.82) 대비 처리구에서 0.65~0.71로 감소하는 경향을 보였고 응집성의 감소는 내부 결합력의 변화를 의미하며, 이는 발효 과정에서 생성된 유기산에 의한 글루텐 구조의 변형 또는 분해 기전에 기인한 것으로 판단된다. 이러한 낮은 응집성은 기공이 크고 성긴 소프트 계열 빵보다는, 조직이 조밀하고 저작감이 강조되는 치아바타나 바게트와 같은 하드 계열 제빵에 적합한 물리적 기초를 제공할 것으로 판단되었다. 탄력성(Springiness) 및 복원력 관계에서 탄력성 지표에서 AFY-8 처리구는 9.17~9.40을 기록하여 대조구(22.07) 대비 절반 이하로 크게 감소하여, 높은 탄력성이 요구되는 식빵이나 모닝빵 등 소프트 계열 제빵과는 대조적인 특성으로, 외부 압력에 대해 즉각적으로 복원되기보다 형태를 유지하려는 힘이 강한 하드 룰 계열의 전형적인 물성을 보였다. 껌성(Gumminess) 및 씹힘성(Chewiness)은 저작 성능과 직결되는 지표로 대조구 대비 큰 폭으로 상승하였고, 특히 껌성은 대조구(274.33) 대비 약 4.9~5.0배 증가(1327~1368), 씹힘성은 대조구(47.73) 대비 약 2.5~2.6배 증가하였다. 이러한 수치의 증가는 천연 발효원종 특유의 유기산 생성과 대사 기전이 빵의 조직감을 더욱 견고하게 만든 결과이다. 이는 소비자에게 풍부한 식감과 깊은 풍미를 전달할 수 있는 요소로 작용하며, 특히 크러스트(Crust)의 바삭함과 크럼(Crumbs)의 쫄깃함이 조화로운 유럽형 식사빵 제조에 유리하겠다.

표 8. 천연 발효종 제빵 물성

처리구	경도(N)	응집성	탄력성	껌성	씹힘성
대조구	339.33±19.55	0.82±0.01	22.07±4.54	274.33±9.71	47.73±4.49
4hr 발효원종	1762.67±103.36	0.71±0.02	9.39±0.06	1327.67±89.37	125.17±5.51
6hr 발효원종	1712.33±96.25	0.65±0.01	9.40±0.04	1336.00±168.59	121.10±7.53
8hr 발효원종	1749.33±270.49	0.68±0.02	9.17±0.05	1367.67±45.57	124.33±4.40

갈변 기전 관련 명도(L\*, Lightness)를 나타내는 L값의 경우, 시판 효모를 사용한 대조구는 82.43±0.28로 측정되었으나, 발효원종 처리구는 발효 시간에 따라 72.59~73.53의 범위를 형성하며 약 9~10 정도 유의적으로 감소하였다. 이는 천연 발효 과정에서 미생물의 대사 활동을 통해 생성된 환원당(Reducing sugar)과

아미노산이 가열 공정 중 메일라드 반응(Maillard reaction) 및 카라멜화 반응(Caramelization)을 가속화했기 때문에 분석된다. 특히, 발효 시간(4, 6, 8시간)에 따른 L값의 차이는 통계적으로 미미하게 나타났는데, 이는 명도의 변화가 발효 시간의 연장보다는 천연 발효원종 내 특정 대사산물의 존재 여부에 의해 결정적인 영향을 받는다는 것을 확인 할 수 있었다. 적색도(a\*, Redness) 및 황색도(b\*, Yellowness) 분석 결과 적색도는 전 처리구에서 음수 값(녹색 방향)을 유지하였으나, 발효원종 처리 시 대조구(-0.54) 대비 소폭 감소하여 녹색 경향이 강화되는 양상을 보였다. 반면, 황색도를 나타내는 b값은 대조구(14.71)에 비해 6시간 발효원종 처리구에서 15.56±0.66으로 최대치를 기록하였다. 이러한 황색도의 증가는 소비자들에게 시각적으로 소비 구력이 높은 '황금빛 크러스트(Golden-brown crust)' 형성에 기여하는 핵심적인 요인이 되겠다. 발효 8시간 차에서 b값이 소폭 감소(14.62)한 것은 장시간 발효에 따른 당류의 과도한 소비가 발색 기전에 미세한 영향을 미친 결과로 판단된다. 시각적 품질 및 상업적 가치를 종합적으로 볼 때, 천연 발효원종(AFY-8)을 적용한 제빵은 대조구 대비 명도가 낮고 황색도가 보완된 심부 갈색(Deep brown)과 황금색의 외관 특성을 나타내었다. 이러한 색도 프로파일은 단순히 시각적 차이를 넘어, 고온의 베이킹 과정에서 형성된 향미 화합물의 발달을 간접적으로 시사한다. 따라서 AFY-8 발효원종은 인위적인 색소 첨가 없이도 미생물 대사 기전을 통해 하드 계열 빵(바게트, 치아바타 등)에서 요구되는 고급스러운 외관 품질을 구현하는 데 효과적인 것으로 평가된다.

표 9. 발효시간에 따른 천연 발효종 제빵 색도

처리구	명도(L*, Lightness)	적색도(a*, Redness)	황색도(b*, Yellowness)
대조구	82.43±0.28	-0.54±0.14	14.71±0.24
4hr 발효원종	73.06±0.98	-0.60±0.21	15.13±0.56
6hr 발효원종	72.59±0.80	-0.81±0.05	15.56±0.66
8hr 발효원종	73.53±0.88	-0.76±0.06	14.62±0.31

모든 발효원종 처리구(4-6-8hr)는 대조구 대비 경도가 약 5배, 껌성이 약 5배, 씹힘성이 약 2.5배 증가하였다. 이는 천연 발효원종 사용 자체가 하드계열 제빵 특성을 결정하는 핵심 요인임을 의미하며, 발효 시간은 그 내에서 세부 특성을 조율하는 변수가 되겠다. 소프트 식빵, 크로와상, 브리오슈 등 고탄력·저경도가 요구되는 제품에는 어떠한 발효원종 처리구도 적합하지 않다. 이들 제품을 목표로 할 경우 대조구(시판 효모)를 사용해야 한다. 발효 향과 산미를 전혀 원하지 않는 제품에도 발효원종 처리구는 부적합하겠다. 단, 4hr 처리구는 산미가 가장 약해 상대적으로 중화된 풍미를 제공하는 특징을 확인 할 수 있었다.

표 10. 처리구별 제빵 적합성 및 선택가이드

처리구	치아바타	바게트	소프트식빵	사워도우	씹힘성
대조구	-*	-	★★★★	-	고탄력·고응집성 소프트 빵 최적
4hr 발효원종	★★★★	★★★☆	-	★☆☆	최고 씹힘성 + 담백한 산미
6hr 발효원종	★★★★	★★★☆	-	★★★☆	최저 응집성(오픈크럼) + 최고 황색도
8hr 발효원종	★★★☆	★★★★	-	★★★★	최고 껌성 균일성 + 강한 발효 산미

\* -부적합, ★★★★ 최적

**치아바타 제조 시 — 외관(황금빛 크러스트) 최우선: 6hr 발효원종**

- 최저 응집성(0.65) → 치아바타 특유 open crumb 구조 최적 재현
- 최고 황색도(b=15.56) → 소비자 선호도 높은 황금빛 크러스트
- 색도 균일성 최고(a: ±0.05) → 외관 품질 재현성 우수
- 탄력성 균일성 최고(±0.04) → 식감 안정적

**치아바타 제조 시 — 쫄깃한 식감(씹힘성) 최우선: 4hr 발효원종**

- 최고 씹힘성(125.17) → 쫄깃하게 오래 씹히는 치아바타 식감 극대화
- 담백한 산미 → 치즈·올리브오일 등 풍부한 토핑 재료 맛을 해치지 않음
- 상대적으로 높은 응집성(0.71) → 반죽 성형성 우수, 제조 공정 용이

**바게트 제조 시 — 강한 씹힘·사워도우 풍미: 8hr 발효원종**

- 최고 껌성(1367.67) + 최소 껌성 편차(±45.57) → 강하고 균일한 씹힘 저항감
- 최저 탄력성(9.17) → 바게트 특유의 밀도 있고 단단한 크럼 조직
- 강한 발효 산미 → 사워도우형 바게트의 복합 풍미와 깊이감

**(시험 5) 발효식품 활용 분리자원 DB 구축**

발효식품 유래 유용미생물을 선별하기 위하여 2023년에는 분리자원으로 근채류 및 과일류 등 43종을 수집 후 선택배지를 이용한 균주 분리 작업을 3단계에 걸쳐 수행하였다. 1차로 분리자원을 수집하여 선택배지에 도말한 후 균주를 분리하였으며 분리에 사용된 선택배지는 균주 종류에 따라 달리 적용하였는데, 고초균 (*Bacillus subtilis*)에는 NA(Nutrient Agar) 배지를, 효모(yeast)에는 YPD 배지를, 유산균(lactic acid bacteria)에는 MRS 배지를 각각 사용하였다. 배지 성분의 구성은 표준 조성에 따라 조제하였으며, MRS 배지의 경우 Polysorbate 80, Ammonium Citrate, Sodium Acetate, Magnesium Sulfate, Manganese Sulfate, Dipotassium Phosphate 등의 성분이 추가적으로 포함되어 있어 유산균의 선택적 생육에 유리한 환경을 제공하였다.

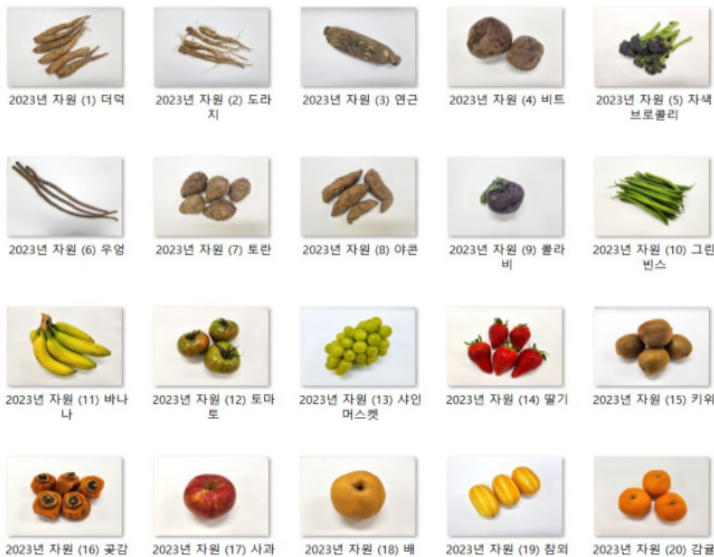


그림 15. 분리 자원

표 11. 균주분리 배지 성분

(g/L)

NO	성분	분리균주		
		고초균(NA)	효모(YPD)	유산균(MRS)
1	Beef Extract	3		20
2	Peptone	5	20	
3	Dextrose		20	30
4	Yeast Extract		10	5
5	Proteose Peptone No.3			10
6	Polysorbate 80			1
7	Ammonium Citrate			2
8	Sodium Acetate			5
9	Magnesium Sulfate			0.1
10	Manganese Sulfate			0.05
11	Dipotassium Phosphate			2

고초균은 주로 농산물 자원에서 분리되었으며, 그린빈스, 바나나, 토마토, 샤인머스켓, 딸기, 키위 등 일반 과채류뿐만 아니라 더덕, 도라지, 만삼, 인삼 등 한방 원료 작물에서도 다수 분리되었다. 효모 90주는 그린빈스, 토마토, 샤인머스켓, 딸기, 꽃감, 사과, 배, 더덕, 도라지, 연근, 우엉, 토란, 야콘, 참외, 하우스복숭아, 황도, 옐로드림, 대극천 등 다양한 농산물에서 고르게 분리되었다. 유산균 또한 효모와 유사한 분리자원 범주에서 동일하게 90주가 확보되었으며, 이 중 하우스복숭아, 황도, 옐로드림, 대극천 등 복숭아 계열 자원에서의 균주 분리가 특징적이었다.

표 12. 분리자원 DB구축 현황

DB구축(주)	분리균주		
	고초균	효모	유산균
353	173	90	90

표 13. 고초균 구축 정보

NO	분리자원	균주명	분리자원 대분류	소분류	배지	대분류	중분류
1	23년 자원 10-3	23N1	농산물	그린빈스	NA	세균	고초균
2	23년 자원 10-4	23N2	농산물	그린빈스	NA	세균	고초균
3	23년 자원 10-5	23N3	농산물	그린빈스	NA	세균	고초균
4	23년 자원 11-5	23N4	농산물	바나나	NA	세균	고초균
5	23년 자원 12-2	23N5	농산물	토마토	NA	세균	고초균
6	23년 자원 12-3	23N6	농산물	토마토	NA	세균	고초균
7	23년 자원 12-4	23N7	농산물	토마토	NA	세균	고초균
8	23년 자원 12-5	23N8	농산물	토마토	NA	세균	고초균
9	23년 자원 13-1	23N9	농산물	샤인머스켓	NA	세균	고초균

NO	분리자원	군주명	분리자원 대분류	소분류	배지	대분류	중분류
10	23년 자원 13-3	23N10	농산물	샤인머스켓	NA	세균	고초균
11	23년 자원 13-4	23N11	농산물	샤인머스켓	NA	세균	고초균
12	23년 자원 13-5	23N12	농산물	샤인머스켓	NA	세균	고초균
13	23년 자원 14-2	23N13	농산물	딸기	NA	세균	고초균
14	23년 자원 14-3	23N14	농산물	딸기	NA	세균	고초균
15	23년 자원 14-5	23N15	농산물	딸기	NA	세균	고초균
16	23년 자원 15-1	23N16	농산물	키위	NA	세균	고초균
17	23년 자원 15-2	23N17	농산물	키위	NA	세균	고초균
18	23년 자원 15-3	23N18	농산물	키위	NA	세균	고초균
19	23년 자원 15-4	23N19	농산물	키위	NA	세균	고초균
20	23년 자원 15-5	23N20	농산물	키위	NA	세균	고초균
21	23년 자원 16-1	23N21	농산물	곶감	NA	세균	고초균
22	23년 자원 16-2	23N22	농산물	곶감	NA	세균	고초균
23	23년 자원 16-3	23N23	농산물	곶감	NA	세균	고초균
24	23년 자원 16-4	23N24	농산물	곶감	NA	세균	고초균
25	23년 자원 16-5	23N25	농산물	곶감	NA	세균	고초균
26	23년 자원 17-1	23N26	농산물	사과	NA	세균	고초균
27	23년 자원 17-2	23N27	농산물	사과	NA	세균	고초균
28	23년 자원 17-3	23N28	농산물	사과	NA	세균	고초균
29	23년 자원 17-4	23N29	농산물	사과	NA	세균	고초균
30	23년 자원 17-5	23N30	농산물	사과	NA	세균	고초균
31	23년 자원 18-1	23N31	농산물	배	NA	세균	고초균
32	23년 자원 18-2	23N32	농산물	배	NA	세균	고초균
33	23년 자원 18-3	23N33	농산물	배	NA	세균	고초균
34	23년 자원 18-4	23N34	농산물	배	NA	세균	고초균
35	23년 자원 18-5	23N35	농산물	배	NA	세균	고초균
36	23년 자원 20-1	23N36	농산물	감귤	NA	세균	고초균
37	23년 자원 20-2	23N37	농산물	감귤	NA	세균	고초균
38	23년 자원 20-3	23N38	농산물	감귤	NA	세균	고초균
39	23년 자원 20-4	23N39	농산물	감귤	NA	세균	고초균
40	23년 자원 20-5	23N40	농산물	감귤	NA	세균	고초균
41	23년 자원 10-1	23N41	농산물	그린빈스	NA	세균	고초균
42	23년 자원 10-2	23N42	농산물	그린빈스	NA	세균	고초균
43	23년 자원 10-6	23N43	농산물	그린빈스	NA	세균	고초균
44	23년 자원 11-1	23N44	농산물	바나나	NA	세균	고초균
45	23년 자원 11-2	23N45	농산물	바나나	NA	세균	고초균
46	23년 자원 11-3	23N46	농산물	바나나	NA	세균	고초균
47	23년 자원 11-4	23N47	농산물	바나나	NA	세균	고초균
48	23년 자원 13-2	23N48	농산물	샤인머스켓	NA	세균	고초균
49	23년 자원 13-6	23N49	농산물	샤인머스켓	NA	세균	고초균
50	23년 자원 14-1	23N50	농산물	딸기	NA	세균	고초균

NO	분리자원	군주명	분리자원 대분류	소분류	배지	대분류	중분류
51	23년 자원 14-4	23N51	농산물	딸기	NA	세균	고초균
52	23년 자원 14-6	23N52	농산물	딸기	NA	세균	고초균
53	23년 자원 14-7	23N53	농산물	딸기	NA	세균	고초균
54	23년 자원 1-1	23N54	농산물	더덕	NA	세균	고초균
55	23년 자원 1-2	23N55	농산물	더덕	NA	세균	고초균
56	23년 자원 1-3	23N56	농산물	더덕	NA	세균	고초균
57	23년 자원 1-4	23N57	농산물	더덕	NA	세균	고초균
58	23년 자원 1-5	23N58	농산물	더덕	NA	세균	고초균
59	23년 자원 2-1	23N59	농산물	도라지	NA	세균	고초균
60	23년 자원 2-2	23N60	농산물	도라지	NA	세균	고초균
61	23년 자원 2-3	23N61	농산물	도라지	NA	세균	고초균
62	23년 자원 2-4	23N62	농산물	도라지	NA	세균	고초균
63	23년 자원 2-5	23N63	농산물	도라지	NA	세균	고초균
64	23년 자원 2-6	23N64	농산물	도라지	NA	세균	고초균
65	23년 자원 3-1	23N65	농산물	연근	NA	세균	고초균
66	23년 자원 3-2	23N66	농산물	연근	NA	세균	고초균
67	23년 자원 3-3	23N67	농산물	연근	NA	세균	고초균
68	23년 자원 3-4	23N68	농산물	연근	NA	세균	고초균
69	23년 자원 3-5	23N69	농산물	연근	NA	세균	고초균
70	23년 자원 4-1	23N70	농산물	비트	NA	세균	고초균
71	23년 자원 4-2	23N71	농산물	비트	NA	세균	고초균
72	23년 자원 4-3	23N72	농산물	비트	NA	세균	고초균
73	23년 자원 4-4	23N73	농산물	비트	NA	세균	고초균
74	23년 자원 4-5	23N74	농산물	비트	NA	세균	고초균
75	23년 자원 5-1	23N75	농산물	자색브로콜리	NA	세균	고초균
76	23년 자원 5-2	23N76	농산물	자색브로콜리	NA	세균	고초균
77	23년 자원 5-3	23N77	농산물	자색브로콜리	NA	세균	고초균
78	23년 자원 5-4	23N78	농산물	자색브로콜리	NA	세균	고초균
79	23년 자원 5-5	23N79	농산물	자색브로콜리	NA	세균	고초균
80	23년 자원 6-1	23N80	농산물	우엉	NA	세균	고초균
81	23년 자원 6-2	23N81	농산물	우엉	NA	세균	고초균
82	23년 자원 6-3	23N82	농산물	우엉	NA	세균	고초균
83	23년 자원 6-4	23N83	농산물	우엉	NA	세균	고초균
84	23년 자원 7-1	23N84	농산물	토란	NA	세균	고초균
85	23년 자원 7-2	23N85	농산물	토란	NA	세균	고초균
86	23년 자원 7-3	23N86	농산물	토란	NA	세균	고초균
87	23년 자원 7-4	23N87	농산물	토란	NA	세균	고초균
88	23년 자원 7-5	23N88	농산물	토란	NA	세균	고초균
89	23년 자원 8-1	23N89	농산물	야콘	NA	세균	고초균
90	23년 자원 8-2	23N90	농산물	야콘	NA	세균	고초균
91	23년 자원 8-3	23N91	농산물	야콘	NA	세균	고초균

NO	분리자원	군주명	분리자원 대분류	소분류	배지	대분류	중분류
92	23년 자원 8-4	23N92	농산물	아콘	NA	세균	고초균
93	23년 자원 8-5	23N93	농산물	아콘	NA	세균	고초균
94	23년 자원 9-1	23N94	농산물	콜라비	NA	세균	고초균
95	23년 자원 9-2	23N95	농산물	콜라비	NA	세균	고초균
96	23년 자원 9-3	23N96	농산물	콜라비	NA	세균	고초균
97	23년 자원 9-4	23N97	농산물	콜라비	NA	세균	고초균
98	23년 자원 19-1	23N98	농산물	참외	NA	세균	고초균
99	23년 자원 19-2	23N99	농산물	참외	NA	세균	고초균
100	23년 자원 19-3	23N100	농산물	참외	NA	세균	고초균
101	23년 자원 19-4	23N101	농산물	참외	NA	세균	고초균
102	23년 자원 19-5	23N102	농산물	참외	NA	세균	고초균
103	23년 자원 19-6	23N103	농산물	참외	NA	세균	고초균
104	23년 자원 21-1	23N104	절임류	산마늘김치 (발효 후)	NA	세균	고초균
105	23년 자원 21-2	23N105	절임류	산마늘김치 (발효 후)	NA	세균	고초균
106	23년 자원 21-3	23N106	절임류	산마늘김치 (발효 후)	NA	세균	고초균
107	23년 자원 21-4	23N107	절임류	산마늘김치 (발효 후)	NA	세균	고초균
108	23년 자원 21-5	23N108	절임류	산마늘김치 (발효 후)	NA	세균	고초균
109	23년 자원 22-1	23N109	절임류	산마늘김치 (발효 전)	NA	세균	고초균
110	23년 자원 22-2	23N110	절임류	산마늘김치 (발효 전)	NA	세균	고초균
111	23년 자원 22-3	23N111	절임류	산마늘김치 (발효 전)	NA	세균	고초균
112	23년 자원 22-4	23N112	절임류	산마늘김치 (발효 전)	NA	세균	고초균
113	23년 자원 22-5	23N113	절임류	산마늘김치 (발효 전)	NA	세균	고초균
114	23년 자원 23-1	23N114	농산물	강활	NA	세균	고초균
115	23년 자원 23-2	23N115	농산물	강활	NA	세균	고초균
116	23년 자원 23-3	23N116	농산물	강활	NA	세균	고초균
117	23년 자원 24-1	23N117	농산물	더덕	NA	세균	고초균
118	23년 자원 24-2	23N118	농산물	더덕	NA	세균	고초균
119	23년 자원 24-3	23N119	농산물	더덕	NA	세균	고초균
120	23년 자원 25-1	23N120	농산물	만삼	NA	세균	고초균
121	23년 자원 25-2	23N121	농산물	만삼	NA	세균	고초균
122	23년 자원 25-3	23N122	농산물	만삼	NA	세균	고초균
123	23년 자원 25-4	23N123	농산물	만삼	NA	세균	고초균
124	23년 자원 25-5	23N124	농산물	만삼	NA	세균	고초균
125	23년 자원 25-6	23N125	농산물	만삼	NA	세균	고초균
126	23년 자원 26-1	23N126	농산물	시호	NA	세균	고초균
127	23년 자원 26-2	23N127	농산물	시호	NA	세균	고초균
128	23년 자원 26-3	23N128	농산물	시호	NA	세균	고초균
129	23년 자원 26-4	23N129	농산물	시호	NA	세균	고초균
130	23년 자원 27-1	23N130	농산물	자소	NA	세균	고초균
131	23년 자원 27-2	23N131	농산물	자소	NA	세균	고초균
132	23년 자원 27-3	23N132	농산물	자소	NA	세균	고초균

NO	분리자원	군주명	분리자원 대분류	소분류	배지	대분류	중분류
133	23년 자원 27-4	23N133	농산물	자소	NA	세균	고초균
134	23년 자원 29-1	23N134	농산물	잔대	NA	세균	고초균
135	23년 자원 29-2	23N135	농산물	잔대	NA	세균	고초균
136	23년 자원 29-3	23N136	농산물	잔대	NA	세균	고초균
137	23년 자원 29-4	23N137	농산물	잔대	NA	세균	고초균
138	23년 자원 30-1	23N138	농산물	지치	NA	세균	고초균
139	23년 자원 30-2	23N139	농산물	지치	NA	세균	고초균
140	23년 자원 30-3	23N140	농산물	지치	NA	세균	고초균
141	23년 자원 30-4	23N141	농산물	지치	NA	세균	고초균
142	23년 자원 31-1	23N142	농산물	백수오	NA	세균	고초균
143	23년 자원 31-2	23N143	농산물	백수오	NA	세균	고초균
144	23년 자원 32-1	23N144	농산물	쇠무름	NA	세균	고초균
145	23년 자원 32-2	23N145	농산물	쇠무름	NA	세균	고초균
146	23년 자원 32-3	23N146	농산물	쇠무름	NA	세균	고초균
147	23년 자원 33-1	23N147	농산물	일당귀	NA	세균	고초균
148	23년 자원 33-2	23N148	농산물	일당귀	NA	세균	고초균
149	23년 자원 33-3	23N149	농산물	일당귀	NA	세균	고초균
150	23년 자원 34-1	23N150	농산물	큰꽃삼주	NA	세균	고초균
151	23년 자원 34-2	23N151	농산물	큰꽃삼주	NA	세균	고초균
152	23년 자원 34-3	23N152	농산물	큰꽃삼주	NA	세균	고초균
153	23년 자원 34-4	23N153	농산물	큰꽃삼주	NA	세균	고초균
154	23년 자원 35-1	23N154	농산물	정선향기	NA	세균	고초균
155	23년 자원 35-2	23N155	농산물	정선향기	NA	세균	고초균
156	23년 자원 35-3	23N156	농산물	정선향기	NA	세균	고초균
157	23년 자원 36-1	23N157	농산물	풍선향기	NA	세균	고초균
158	23년 자원 36-2	23N158	농산물	풍선향기	NA	세균	고초균
159	23년 자원 36-3	23N159	농산물	풍선향기	NA	세균	고초균
160	23년 자원 37-1	23N160	농산물	인삼4년근	NA	세균	고초균
161	23년 자원 37-2	23N161	농산물	인삼4년근	NA	세균	고초균
162	23년 자원 37-3	23N162	농산물	인삼4년근	NA	세균	고초균
163	23년 자원 37-4	23N163	농산물	인삼4년근	NA	세균	고초균
164	23년 자원 37-5	23N164	농산물	인삼4년근	NA	세균	고초균
165	23년 자원 38-1	23N165	농산물	인삼5년근	NA	세균	고초균
166	23년 자원 38-2	23N166	농산물	인삼5년근	NA	세균	고초균
167	23년 자원 38-3	23N167	농산물	인삼5년근	NA	세균	고초균
168	23년 자원 38-4	23N168	농산물	인삼5년근	NA	세균	고초균
169	23년 자원 39-1	23N169	농산물	각시동글레	NA	세균	고초균
170	23년 자원 39-2	23N170	농산물	각시동글레	NA	세균	고초균
171	23년 자원 39-3	23N171	농산물	각시동글레	NA	세균	고초균
172	23년 자원 39-4	23N172	농산물	각시동글레	NA	세균	고초균
173	23년 자원 39-5	23N173	농산물	각시동글레	NA	세균	고초균

표 14. 효모 구축 정보

NO	분리자원	균주명	분리자원	소분류	배지	대분류	중분류
1	23년 자원 10-1	23Y1	농산물	그린빈스	YPD	효모	효모
2	23년 자원 10-2	23Y2	농산물	그린빈스	YPD	효모	효모
3	23년 자원 10-3	23Y3	농산물	그린빈스	YPD	효모	효모
4	23년 자원 10-4	23Y4	농산물	그린빈스	YPD	효모	효모
5	23년 자원 10-5	23Y5	농산물	그린빈스	YPD	효모	효모
6	23년 자원 12-1	23Y6	농산물	토마토	YPD	효모	효모
7	23년 자원 12-2	23Y7	농산물	토마토	YPD	효모	효모
8	23년 자원 12-3	23Y8	농산물	토마토	YPD	효모	효모
9	23년 자원 12-4	23Y9	농산물	토마토	YPD	효모	효모
10	23년 자원 12-5	23Y10	농산물	토마토	YPD	효모	효모
11	23년 자원 13-1	23Y11	농산물	샤인머스켓	YPD	효모	효모
12	23년 자원 13-2	23Y12	농산물	샤인머스켓	YPD	효모	효모
13	23년 자원 13-3	23Y13	농산물	샤인머스켓	YPD	효모	효모
14	23년 자원 13-4	23Y14	농산물	샤인머스켓	YPD	효모	효모
15	23년 자원 13-5	23Y15	농산물	샤인머스켓	YPD	효모	효모
16	23년 자원 14-1	23Y16	농산물	딸기	YPD	효모	효모
17	23년 자원 14-2	23Y17	농산물	딸기	YPD	효모	효모
18	23년 자원 14-3	23Y18	농산물	딸기	YPD	효모	효모
19	23년 자원 14-4	23Y19	농산물	딸기	YPD	효모	효모
20	23년 자원 14-5	23Y20	농산물	딸기	YPD	효모	효모
21	23년 자원 16-1	23Y21	농산물	곶감	YPD	효모	효모
22	23년 자원 16-2	23Y22	농산물	곶감	YPD	효모	효모
23	23년 자원 16-3	23Y23	농산물	곶감	YPD	효모	효모
24	23년 자원 16-4	23Y24	농산물	곶감	YPD	효모	효모
25	23년 자원 16-5	23Y25	농산물	곶감	YPD	효모	효모
26	23년 자원 17-1	23Y26	농산물	사과	YPD	효모	효모
27	23년 자원 17-2	23Y27	농산물	사과	YPD	효모	효모
28	23년 자원 17-3	23Y28	농산물	사과	YPD	효모	효모
29	23년 자원 17-4	23Y29	농산물	사과	YPD	효모	효모
30	23년 자원 17-5	23Y30	농산물	사과	YPD	효모	효모
31	23년 자원 18-1	23Y31	농산물	배	YPD	효모	효모
32	23년 자원 18-2	23Y32	농산물	배	YPD	효모	효모
33	23년 자원 18-3	23Y33	농산물	배	YPD	효모	효모
34	23년 자원 18-4	23Y34	농산물	배	YPD	효모	효모
35	23년 자원 18-5	23Y35	농산물	배	YPD	효모	효모
36	23년 자원 1-1	23Y36	농산물	더덕	YPD	효모	효모
37	23년 자원 1-2	23Y37	농산물	더덕	YPD	효모	효모
38	23년 자원 1-3	23Y38	농산물	더덕	YPD	효모	효모
39	23년 자원 1-4	23Y39	농산물	더덕	YPD	효모	효모
40	23년 자원 2-1	23Y40	농산물	도라지	YPD	효모	효모

NO	분리자원	균주명	분리자원	소분류	배지	대분류	중분류
41	23년 자원 2-2	23Y41	농산물	도라지	YPD	효모	효모
42	23년 자원 2-3	23Y42	농산물	도라지	YPD	효모	효모
43	23년 자원 2-4	23Y43	농산물	도라지	YPD	효모	효모
44	23년 자원 2-5	23Y44	농산물	도라지	YPD	효모	효모
45	23년 자원 3-1	23Y45	농산물	연근	YPD	효모	효모
46	23년 자원 3-2	23Y46	농산물	연근	YPD	효모	효모
47	23년 자원 3-3	23Y47	농산물	연근	YPD	효모	효모
48	23년 자원 3-4	23Y48	농산물	연근	YPD	효모	효모
49	23년 자원 3-5	23Y49	농산물	연근	YPD	효모	효모
50	23년 자원 6-1	23Y50	농산물	우영	YPD	효모	효모
51	23년 자원 6-2	23Y51	농산물	우영	YPD	효모	효모
52	23년 자원 6-3	23Y52	농산물	우영	YPD	효모	효모
53	23년 자원 6-4	23Y53	농산물	우영	YPD	효모	효모
54	23년 자원 6-5	23Y54	농산물	우영	YPD	효모	효모
55	23년 자원 7-1	23Y55	농산물	토란	YPD	효모	효모
56	23년 자원 7-2	23Y56	농산물	토란	YPD	효모	효모
57	23년 자원 7-3	23Y57	농산물	토란	YPD	효모	효모
58	23년 자원 7-4	23Y58	농산물	토란	YPD	효모	효모
59	23년 자원 7-5	23Y59	농산물	토란	YPD	효모	효모
60	23년 자원 8-1	23Y60	농산물	야콘	YPD	효모	효모
61	23년 자원 8-2	23Y61	농산물	야콘	YPD	효모	효모
62	23년 자원 8-3	23Y62	농산물	야콘	YPD	효모	효모
63	23년 자원 8-4	23Y63	농산물	야콘	YPD	효모	효모
64	23년 자원 8-5	23Y64	농산물	야콘	YPD	효모	효모
65	23년 자원 19-1	23Y65	농산물	참외	YPD	효모	효모
66	23년 자원 19-2	23Y66	농산물	참외	YPD	효모	효모
67	23년 자원 19-3	23Y67	농산물	참외	YPD	효모	효모
68	23년 자원 19-4	23Y68	농산물	참외	YPD	효모	효모
69	23년 자원 19-5	23Y69	농산물	참외	YPD	효모	효모
70	23년 자원 40-1	23Y70	농산물	하우스복숭아	YPD	효모	효모
71	23년 자원 40-2	23Y71	농산물	하우스복숭아	YPD	효모	효모
72	23년 자원 40-3	23Y72	농산물	하우스복숭아	YPD	효모	효모
73	23년 자원 40-4	23Y73	농산물	하우스복숭아	YPD	효모	효모
74	23년 자원 40-5	23Y74	농산물	하우스복숭아	YPD	효모	효모
75	23년 자원 41-1	23Y75	농산물	황도	YPD	효모	효모
76	23년 자원 41-2	23Y76	농산물	황도	YPD	효모	효모
77	23년 자원 41-3	23Y77	농산물	황도	YPD	효모	효모
78	23년 자원 41-4	23Y78	농산물	황도	YPD	효모	효모
79	23년 자원 41-5	23Y79	농산물	황도	YPD	효모	효모
80	23년 자원 42-1	23Y80	농산물	옐로드림	YPD	효모	효모
81	23년 자원 42-2	23Y81	농산물	옐로드림	YPD	효모	효모

NO	분리자원	균주명	분리자원	소분류	배지	대분류	중분류
82	23년 자원 42-3	23Y82	농산물	옐로드림	YPD	효모	효모
83	23년 자원 42-4	23Y83	농산물	옐로드림	YPD	효모	효모
84	23년 자원 42-5	23Y84	농산물	옐로드림	YPD	효모	효모
85	23년 자원 43-1	23Y85	농산물	대극천	YPD	효모	효모
86	23년 자원 43-2	23Y86	농산물	대극천	YPD	효모	효모
87	23년 자원 43-3	23Y87	농산물	대극천	YPD	효모	효모
88	23년 자원 43-4	23Y88	농산물	대극천	YPD	효모	효모
89	23년 자원 43-5	23Y89	농산물	대극천	YPD	효모	효모
90	23년 자원 43-6	23Y90	농산물	대극천	YPD	효모	효모

표 15. 유산균 구축 정보

NO	분리자원	균주명	분리자원	소분류	배지	대분류	중분류
1	23년 자원 10-1	23M1	농산물	그린빈스	MRS	세균	유산균
2	23년 자원 10-2	23M2	농산물	그린빈스	MRS	세균	유산균
3	23년 자원 10-3	23M3	농산물	그린빈스	MRS	세균	유산균
4	23년 자원 10-4	23M4	농산물	그린빈스	MRS	세균	유산균
5	23년 자원 10-5	23M5	농산물	그린빈스	MRS	세균	유산균
6	23년 자원 12-1	23M6	농산물	토마토	MRS	세균	유산균
7	23년 자원 12-2	23M7	농산물	토마토	MRS	세균	유산균
8	23년 자원 12-3	23M8	농산물	토마토	MRS	세균	유산균
9	23년 자원 12-4	23M9	농산물	토마토	MRS	세균	유산균
10	23년 자원 12-5	23M10	농산물	토마토	MRS	세균	유산균
11	23년 자원 13-1	23M11	농산물	샤인머스켓	MRS	세균	유산균
12	23년 자원 13-2	23M12	농산물	샤인머스켓	MRS	세균	유산균
13	23년 자원 13-3	23M13	농산물	샤인머스켓	MRS	세균	유산균
14	23년 자원 13-4	23M14	농산물	샤인머스켓	MRS	세균	유산균
15	23년 자원 13-5	23M15	농산물	샤인머스켓	MRS	세균	유산균
16	23년 자원 14-1	23M16	농산물	딸기	MRS	세균	유산균
17	23년 자원 14-2	23M17	농산물	딸기	MRS	세균	유산균
18	23년 자원 14-3	23M18	농산물	딸기	MRS	세균	유산균
19	23년 자원 14-4	23M19	농산물	딸기	MRS	세균	유산균
20	23년 자원 14-5	23M20	농산물	딸기	MRS	세균	유산균
21	23년 자원 16-1	23M21	농산물	곶감	MRS	세균	유산균
22	23년 자원 16-2	23M22	농산물	곶감	MRS	세균	유산균
23	23년 자원 16-3	23M23	농산물	곶감	MRS	세균	유산균
24	23년 자원 16-4	23M24	농산물	곶감	MRS	세균	유산균
25	23년 자원 16-5	23M25	농산물	곶감	MRS	세균	유산균
26	23년 자원 17-1	23M26	농산물	사과	MRS	세균	유산균
27	23년 자원 17-2	23M27	농산물	사과	MRS	세균	유산균
28	23년 자원 17-3	23M28	농산물	사과	MRS	세균	유산균

NO	분리자원	군주명	분리자원	소분류	배지	대분류	중분류
29	23년 자원 17-4	23M29	농산물	사과	MRS	세균	유산균
30	23년 자원 17-5	23M30	농산물	사과	MRS	세균	유산균
31	23년 자원 18-1	23M31	농산물	배	MRS	세균	유산균
32	23년 자원 18-2	23M32	농산물	배	MRS	세균	유산균
33	23년 자원 18-3	23M33	농산물	배	MRS	세균	유산균
34	23년 자원 18-4	23M34	농산물	배	MRS	세균	유산균
35	23년 자원 18-5	23M35	농산물	배	MRS	세균	유산균
36	23년 자원 1-1	23M36	농산물	더덕	MRS	세균	유산균
37	23년 자원 1-2	23M37	농산물	더덕	MRS	세균	유산균
38	23년 자원 1-3	23M38	농산물	더덕	MRS	세균	유산균
39	23년 자원 1-4	23M39	농산물	더덕	MRS	세균	유산균
40	23년 자원 2-1	23M40	농산물	도라지	MRS	세균	유산균
41	23년 자원 2-2	23M41	농산물	도라지	MRS	세균	유산균
42	23년 자원 2-3	23M42	농산물	도라지	MRS	세균	유산균
43	23년 자원 2-4	23M43	농산물	도라지	MRS	세균	유산균
44	23년 자원 2-5	23M44	농산물	도라지	MRS	세균	유산균
45	23년 자원 3-1	23M45	농산물	연근	MRS	세균	유산균
46	23년 자원 3-2	23M46	농산물	연근	MRS	세균	유산균
47	23년 자원 3-3	23M47	농산물	연근	MRS	세균	유산균
48	23년 자원 3-4	23M48	농산물	연근	MRS	세균	유산균
49	23년 자원 3-5	23M49	농산물	연근	MRS	세균	유산균
50	23년 자원 6-1	23M50	농산물	우엉	MRS	세균	유산균
51	23년 자원 6-2	23M51	농산물	우엉	MRS	세균	유산균
52	23년 자원 6-3	23M52	농산물	우엉	MRS	세균	유산균
53	23년 자원 6-4	23M53	농산물	우엉	MRS	세균	유산균
54	23년 자원 6-5	23M54	농산물	우엉	MRS	세균	유산균
55	23년 자원 7-1	23M55	농산물	토란	MRS	세균	유산균
56	23년 자원 7-2	23M56	농산물	토란	MRS	세균	유산균
57	23년 자원 7-3	23M57	농산물	토란	MRS	세균	유산균
58	23년 자원 7-4	23M58	농산물	토란	MRS	세균	유산균
59	23년 자원 7-5	23M59	농산물	토란	MRS	세균	유산균
60	23년 자원 8-1	23M60	농산물	야콘	MRS	세균	유산균
61	23년 자원 8-2	23M61	농산물	야콘	MRS	세균	유산균
62	23년 자원 8-3	23M62	농산물	야콘	MRS	세균	유산균
63	23년 자원 8-4	23M63	농산물	야콘	MRS	세균	유산균
64	23년 자원 8-5	23M64	농산물	야콘	MRS	세균	유산균
65	23년 자원 19-1	23M65	농산물	참외	MRS	세균	유산균
66	23년 자원 19-2	23M66	농산물	참외	MRS	세균	유산균
67	23년 자원 19-3	23M67	농산물	참외	MRS	세균	유산균
68	23년 자원 19-4	23M68	농산물	참외	MRS	세균	유산균
69	23년 자원 19-5	23M69	농산물	참외	MRS	세균	유산균

NO	분리자원	균주명	분리자원	소분류	배지	대분류	중분류
70	23년 자원 40-1	23M70	농산물	하우스복숭아	MRS	세균	유산균
71	23년 자원 40-2	23M71	농산물	하우스복숭아	MRS	세균	유산균
72	23년 자원 40-3	23M72	농산물	하우스복숭아	MRS	세균	유산균
73	23년 자원 40-4	23M73	농산물	하우스복숭아	MRS	세균	유산균
74	23년 자원 40-5	23M74	농산물	하우스복숭아	MRS	세균	유산균
75	23년 자원 41-1	23M75	농산물	황도	MRS	세균	유산균
76	23년 자원 41-2	23M76	농산물	황도	MRS	세균	유산균
77	23년 자원 41-3	23M77	농산물	황도	MRS	세균	유산균
78	23년 자원 41-4	23M78	농산물	황도	MRS	세균	유산균
79	23년 자원 41-5	23M79	농산물	황도	MRS	세균	유산균
80	23년 자원 42-1	23M80	농산물	엘로드림	MRS	세균	유산균
81	23년 자원 42-2	23M81	농산물	엘로드림	MRS	세균	유산균
82	23년 자원 42-3	23M82	농산물	엘로드림	MRS	세균	유산균
83	23년 자원 42-4	23M83	농산물	엘로드림	MRS	세균	유산균
84	23년 자원 42-5	23M84	농산물	엘로드림	MRS	세균	유산균
85	23년 자원 43-1	23M85	농산물	대극천	MRS	세균	유산균
86	23년 자원 43-2	23M86	농산물	대극천	MRS	세균	유산균
87	23년 자원 43-3	23M87	농산물	대극천	MRS	세균	유산균
88	23년 자원 43-4	23M88	농산물	대극천	MRS	세균	유산균
89	23년 자원 43-5	23M89	농산물	대극천	MRS	세균	유산균
90	23년 자원 43-6	23M90	농산물	대극천	MRS	세균	유산균

국내 전통 발효식품(고추장, 된장, 간장, 청국장, 춘장) 30종을 대상으로 미생물 자원을 수집하여, 고초균 120주(24N1~24N120), 효모 68주(24Y1~24Y76), 유산균 84주(24M1~24M84) 등 총 272주의 미생물을 분리·선발하였다.

표 16. 분리자원 DB구축 현황

DB구축(주)	분리균주		
	고초균	효모	유산균
272	120	68	84

표 17. 고초균 구축 정보

NO	분리자원	균주명	분리자원 대분류	소분류	배지	대분류	중분류
1	24년 자원 1-1	24N1	장류	고추장	NA	세균	고초균
2	24년 자원 1-2	24N2	장류	고추장	NA	세균	고초균
3	24년 자원 1-3	24N3	장류	고추장	NA	세균	고초균
4	24년 자원 1-4	24N4	장류	고추장	NA	세균	고초균
5	24년 자원 2-1	24N5	장류	된장	NA	세균	고초균

NO	분리자원	군주명	분리자원 대분류	소분류	배지	대분류	중분류
6	24년 자원 2-2	24N6	장류	된장	NA	세균	고초균
7	24년 자원 2-3	24N7	장류	된장	NA	세균	고초균
8	24년 자원 2-4	24N8	장류	된장	NA	세균	고초균
9	24년 자원 3-1	24N9	장류	된장	NA	세균	고초균
10	24년 자원 3-2	24N10	장류	된장	NA	세균	고초균
11	24년 자원 3-3	24N11	장류	된장	NA	세균	고초균
12	24년 자원 3-4	24N12	장류	된장	NA	세균	고초균
13	24년 자원 4-1	24N13	장류	된장	NA	세균	고초균
14	24년 자원 4-2	24N14	장류	된장	NA	세균	고초균
15	24년 자원 4-3	24N15	장류	된장	NA	세균	고초균
16	24년 자원 4-4	24N16	장류	된장	NA	세균	고초균
17	24년 자원 5-1	24N17	장류	간장	NA	세균	고초균
18	24년 자원 5-2	24N18	장류	간장	NA	세균	고초균
19	24년 자원 5-3	24N19	장류	간장	NA	세균	고초균
20	24년 자원 5-4	24N20	장류	간장	NA	세균	고초균
21	24년 자원 6-1	24N21	장류	청국장	NA	세균	고초균
22	24년 자원 6-2	24N22	장류	청국장	NA	세균	고초균
23	24년 자원 6-3	24N23	장류	청국장	NA	세균	고초균
24	24년 자원 6-4	24N24	장류	청국장	NA	세균	고초균
25	24년 자원 7-1	24N25	장류	청국장	NA	세균	고초균
26	24년 자원 7-2	24N26	장류	청국장	NA	세균	고초균
27	24년 자원 7-3	24N27	장류	청국장	NA	세균	고초균
28	24년 자원 7-4	24N28	장류	청국장	NA	세균	고초균
29	24년 자원 8-1	24N29	장류	된장	NA	세균	고초균
30	24년 자원 8-2	24N30	장류	된장	NA	세균	고초균
31	24년 자원 8-3	24N31	장류	된장	NA	세균	고초균
32	24년 자원 8-4	24N32	장류	된장	NA	세균	고초균
33	24년 자원 9-1	24N33	장류	간장	NA	세균	고초균
34	24년 자원 9-2	24N34	장류	간장	NA	세균	고초균
35	24년 자원 9-3	24N35	장류	간장	NA	세균	고초균
36	24년 자원 9-4	24N36	장류	간장	NA	세균	고초균
37	24년 자원 10-1	24N37	장류	고추장	NA	세균	고초균
38	24년 자원 10-2	24N38	장류	고추장	NA	세균	고초균
39	24년 자원 10-3	24N39	장류	고추장	NA	세균	고초균
40	24년 자원 10-4	24N40	장류	고추장	NA	세균	고초균
41	24년 자원 11-1	24N41	장류	간장	NA	세균	고초균
42	24년 자원 11-2	24N42	장류	간장	NA	세균	고초균
43	24년 자원 11-3	24N43	장류	간장	NA	세균	고초균
44	24년 자원 11-4	24N44	장류	간장	NA	세균	고초균
45	24년 자원 12-1	24N45	장류	간장	NA	세균	고초균

NO	분리자원	군주명	분리자원 대분류	소분류	배지	대분류	중분류
46	24년 자원 12-2	24N46	장류	간장	NA	세균	고초균
47	24년 자원 12-3	24N47	장류	간장	NA	세균	고초균
48	24년 자원 12-4	24N48	장류	간장	NA	세균	고초균
49	24년 자원 13-1	24N49	장류	고추장	NA	세균	고초균
50	24년 자원 13-2	24N50	장류	고추장	NA	세균	고초균
51	24년 자원 13-3	24N51	장류	고추장	NA	세균	고초균
52	24년 자원 13-4	24N52	장류	고추장	NA	세균	고초균
53	24년 자원 14-1	24N53	장류	된장	NA	세균	고초균
54	24년 자원 14-2	24N54	장류	된장	NA	세균	고초균
55	24년 자원 14-3	24N55	장류	된장	NA	세균	고초균
56	24년 자원 14-4	24N56	장류	된장	NA	세균	고초균
57	24년 자원 15-1	24N57	장류	간장	NA	세균	고초균
58	24년 자원 15-2	24N58	장류	간장	NA	세균	고초균
59	24년 자원 15-3	24N59	장류	간장	NA	세균	고초균
60	24년 자원 15-4	24N60	장류	간장	NA	세균	고초균
61	24년 자원 16-1	24N61	장류	고추장	NA	세균	고초균
62	24년 자원 16-2	24N62	장류	고추장	NA	세균	고초균
63	24년 자원 16-3	24N63	장류	고추장	NA	세균	고초균
64	24년 자원 16-4	24N64	장류	고추장	NA	세균	고초균
65	24년 자원 17-1	24N65	장류	된장	NA	세균	고초균
66	24년 자원 17-2	24N66	장류	된장	NA	세균	고초균
67	24년 자원 17-3	24N67	장류	된장	NA	세균	고초균
68	24년 자원 17-4	24N68	장류	된장	NA	세균	고초균
69	24년 자원 18-1	24N69	장류	청국장	NA	세균	고초균
70	24년 자원 18-2	24N70	장류	청국장	NA	세균	고초균
71	24년 자원 18-3	24N71	장류	청국장	NA	세균	고초균
72	24년 자원 18-4	24N72	장류	청국장	NA	세균	고초균
73	24년 자원 19-1	24N73	장류	된장	NA	세균	고초균
74	24년 자원 19-2	24N74	장류	된장	NA	세균	고초균
75	24년 자원 19-3	24N75	장류	된장	NA	세균	고초균
76	24년 자원 19-4	24N76	장류	된장	NA	세균	고초균
77	24년 자원 20-1	24N77	장류	간장	NA	세균	고초균
78	24년 자원 20-2	24N78	장류	간장	NA	세균	고초균
79	24년 자원 20-3	24N79	장류	간장	NA	세균	고초균
80	24년 자원 20-4	24N80	장류	간장	NA	세균	고초균
81	24년 자원 21-1	24N81	장류	고추장	NA	세균	고초균
82	24년 자원 21-2	24N82	장류	고추장	NA	세균	고초균
83	24년 자원 21-3	24N83	장류	고추장	NA	세균	고초균

NO	분리자원	군주명	분리자원 대분류	소분류	배지	대분류	중분류
84	24년 자원 21-4	24N84	장류	고추장	NA	세균	고초균
85	24년 자원 22-1	24N85	장류	간장	NA	세균	고초균
86	24년 자원 22-2	24N86	장류	간장	NA	세균	고초균
87	24년 자원 22-3	24N87	장류	간장	NA	세균	고초균
88	24년 자원 22-4	24N88	장류	간장	NA	세균	고초균
89	24년 자원 23-1	24N89	장류	청국장	NA	세균	고초균
90	24년 자원 23-2	24N90	장류	청국장	NA	세균	고초균
91	24년 자원 23-3	24N91	장류	청국장	NA	세균	고초균
92	24년 자원 23-4	24N92	장류	청국장	NA	세균	고초균
93	24년 자원 24-1	24N93	장류	간장	NA	세균	고초균
94	24년 자원 24-2	24N94	장류	간장	NA	세균	고초균
95	24년 자원 24-3	24N95	장류	간장	NA	세균	고초균
96	24년 자원 24-4	24N96	장류	간장	NA	세균	고초균
97	24년 자원 25-1	24N97	장류	된장	NA	세균	고초균
98	24년 자원 25-2	24N98	장류	된장	NA	세균	고초균
99	24년 자원 25-3	24N99	장류	된장	NA	세균	고초균
100	24년 자원 25-4	24N100	장류	된장	NA	세균	고초균
101	24년 자원 26-1	24N101	장류	간장	NA	세균	고초균
102	24년 자원 26-2	24N102	장류	간장	NA	세균	고초균
103	24년 자원 26-3	24N103	장류	간장	NA	세균	고초균
104	24년 자원 26-4	24N104	장류	간장	NA	세균	고초균
105	24년 자원 27-1	24N105	장류	청국장	NA	세균	고초균
106	24년 자원 27-2	24N106	장류	청국장	NA	세균	고초균
107	24년 자원 27-3	24N107	장류	청국장	NA	세균	고초균
108	24년 자원 27-4	24N108	장류	청국장	NA	세균	고초균
109	24년 자원 28-1	24N109	장류	간장	NA	세균	고초균
110	24년 자원 28-2	24N110	장류	간장	NA	세균	고초균
111	24년 자원 28-3	24N111	장류	간장	NA	세균	고초균
112	24년 자원 28-4	24N112	장류	간장	NA	세균	고초균
113	24년 자원 29-1	24N113	장류	고추장	NA	세균	고초균
114	24년 자원 29-2	24N114	장류	고추장	NA	세균	고초균
115	24년 자원 29-3	24N115	장류	고추장	NA	세균	고초균
116	24년 자원 29-4	24N116	장류	고추장	NA	세균	고초균
117	24년 자원 30-1	24N117	장류	춘장	NA	세균	고초균
118	24년 자원 30-2	24N118	장류	춘장	NA	세균	고초균
119	24년 자원 30-3	24N119	장류	춘장	NA	세균	고초균
120	24년 자원 30-4	24N120	장류	춘장	NA	세균	고초균

표 18. 효모 구축 정보

NO	분리자원	균주명	분리자원 대분류	소분류	배지	대분류	중분류
1	24년 자원 2-1	24Y1	장류	된장	YPD	효모	효모
2	24년 자원 2-2	24Y2	장류	된장	YPD	효모	효모
3	24년 자원 2-3	24Y3	장류	된장	YPD	효모	효모
4	24년 자원 2-4	24Y4	장류	간장	YPD	효모	효모
5	24년 자원 5-1	24Y5	장류	간장	YPD	효모	효모
6	24년 자원 5-2	24Y6	장류	간장	YPD	효모	효모
7	24년 자원 5-3	24Y7	장류	된장	YPD	효모	효모
8	24년 자원 5-4	24Y8	장류	된장	YPD	효모	효모
9	24년 자원 8-1	24Y9	장류	된장	YPD	효모	효모
10	24년 자원 8-2	24Y10	장류	고추장	YPD	효모	효모
11	24년 자원 8-3	24Y11	장류	고추장	YPD	효모	효모
12	24년 자원 8-4	24Y12	장류	고추장	YPD	효모	효모
13	24년 자원 10-1	24Y13	장류	고추장	YPD	효모	효모
14	24년 자원 10-2	24Y14	장류	고추장	YPD	효모	효모
15	24년 자원 10-3	24Y15	장류	고추장	YPD	효모	효모
16	24년 자원 10-4	24Y16	장류	고추장	YPD	효모	효모
17	24년 자원 11-1	24Y17	장류	간장	YPD	효모	효모
18	24년 자원 11-2	24Y18	장류	간장	YPD	효모	효모
19	24년 자원 11-3	24Y19	장류	간장	YPD	효모	효모
20	24년 자원 11-4	24Y20	장류	간장	YPD	효모	효모
21	24년 자원 13-1	24Y21	장류	고추장	YPD	효모	효모
22	24년 자원 13-2	24Y22	장류	고추장	YPD	효모	효모
23	24년 자원 13-3	24Y23	장류	고추장	YPD	효모	효모
24	24년 자원 13-4	24Y24	장류	고추장	YPD	효모	효모
25	24년 자원 14-1	24Y25	장류	된장	YPD	효모	효모
26	24년 자원 14-2	24Y26	장류	된장	YPD	효모	효모
27	24년 자원 14-3	24Y27	장류	된장	YPD	효모	효모
28	24년 자원 14-4	24Y28	장류	된장	YPD	효모	효모
29	24년 자원 16-1	24Y29	장류	고추장	YPD	효모	효모
30	24년 자원 16-2	24Y30	장류	고추장	YPD	효모	효모
31	24년 자원 16-3	24Y31	장류	고추장	YPD	효모	효모
32	24년 자원 16-4	24Y32	장류	고추장	YPD	효모	효모
33	24년 자원 17-1	24Y33	장류	된장	YPD	효모	효모
34	24년 자원 17-2	24Y34	장류	된장	YPD	효모	효모
35	24년 자원 17-3	24Y35	장류	된장	YPD	효모	효모
36	24년 자원 17-4	24Y36	장류	된장	YPD	효모	효모
37	24년 자원 18-1	24Y37	장류	청국장	YPD	효모	효모
38	24년 자원 18-2	24Y38	장류	청국장	YPD	효모	효모

NO	분리자원	군주명	분리자원 대분류	소분류	배지	대분류	중분류
39	24년 자원 18-3	24Y39	장류	청국장	YPD	효모	효모
40	24년 자원 18-4	24Y40	장류	청국장	YPD	효모	효모
41	24년 자원 19-1	24Y41	장류	된장	YPD	효모	효모
42	24년 자원 19-2	24Y42	장류	된장	YPD	효모	효모
43	24년 자원 19-3	24Y43	장류	된장	YPD	효모	효모
44	24년 자원 19-4	24Y44	장류	된장	YPD	효모	효모
45	24년 자원 20-1	24Y45	장류	간장	YPD	효모	효모
46	24년 자원 20-2	24Y46	장류	간장	YPD	효모	효모
47	24년 자원 20-3	24Y47	장류	간장	YPD	효모	효모
48	24년 자원 20-4	24Y48	장류	간장	YPD	효모	효모
49	24년 자원 22-1	24Y49	장류	간장	YPD	효모	효모
50	24년 자원 22-2	24Y50	장류	간장	YPD	효모	효모
51	24년 자원 22-3	24Y51	장류	간장	YPD	효모	효모
52	24년 자원 22-4	24Y52	장류	간장	YPD	효모	효모
53	24년 자원 24-1	24Y53	장류	간장	YPD	효모	효모
54	24년 자원 24-2	24Y54	장류	간장	YPD	효모	효모
55	24년 자원 24-3	24Y55	장류	간장	YPD	효모	효모
56	24년 자원 24-4	24Y56	장류	간장	YPD	효모	효모
57	24년 자원 26-1	24Y57	장류	간장	YPD	효모	효모
58	24년 자원 26-2	24Y58	장류	간장	YPD	효모	효모
59	24년 자원 26-3	24Y59	장류	간장	YPD	효모	효모
60	24년 자원 26-4	24Y60	장류	간장	YPD	효모	효모
61	24년 자원 29-1	24Y61	장류	고추장	YPD	효모	효모
62	24년 자원 29-2	24Y62	장류	고추장	YPD	효모	효모
63	24년 자원 29-3	24Y63	장류	고추장	YPD	효모	효모
64	24년 자원 29-4	24Y64	장류	고추장	YPD	효모	효모
65	24년 자원 30-1	24Y65	장류	춘장	YPD	효모	효모
66	24년 자원 30-2	24Y66	장류	춘장	YPD	효모	효모
67	24년 자원 29-3	24Y67	장류	고추장	YPD	효모	효모
68	24년 자원 29-4	24Y68	장류	고추장	YPD	효모	효모
69	24년 자원 30-1	24Y69	장류	춘장	YPD	효모	효모
70	24년 자원 30-2	24Y70	장류	춘장	YPD	효모	효모
71	24년 자원 29-3	24Y71	장류	고추장	YPD	효모	효모
72	24년 자원 29-4	24Y72	장류	고추장	YPD	효모	효모
73	24년 자원 30-1	24Y73	장류	춘장	YPD	효모	효모
74	24년 자원 30-2	24Y74	장류	춘장	YPD	효모	효모
75	24년 자원 30-3	24Y75	장류	춘장	YPD	효모	효모
76	24년 자원 30-4	24Y76	장류	춘장	YPD	효모	효모

표 19. 유산균 구축 정보

NO	분리자원	균주명	분리자원 대분류	소분류	배지	대분류	중분류
1	24년 자원 1-1	24M1	장류	고추장	MRS	세균	유산균
2	24년 자원 1-2	24M2	장류	고추장	MRS	세균	유산균
3	24년 자원 1-3	24M3	장류	고추장	MRS	세균	유산균
4	24년 자원 2-1	24M4	장류	된장	MRS	세균	유산균
5	24년 자원 2-2	24M5	장류	된장	MRS	세균	유산균
6	24년 자원 2-3	24M6	장류	된장	MRS	세균	유산균
7	24년 자원 3-1	24M7	장류	된장	MRS	세균	유산균
8	24년 자원 3-2	24M8	장류	된장	MRS	세균	유산균
9	24년 자원 3-3	24M9	장류	된장	MRS	세균	유산균
10	24년 자원 6-1	24M10	장류	청국장	MRS	세균	유산균
11	24년 자원 6-2	24M11	장류	청국장	MRS	세균	유산균
12	24년 자원 6-3	24M12	장류	청국장	MRS	세균	유산균
13	24년 자원 7-1	24M13	장류	청국장	MRS	세균	유산균
14	24년 자원 7-2	24M14	장류	청국장	MRS	세균	유산균
15	24년 자원 7-3	24M15	장류	청국장	MRS	세균	유산균
16	24년 자원 8-1	24M16	장류	된장	MRS	세균	유산균
17	24년 자원 8-2	24M17	장류	된장	MRS	세균	유산균
18	24년 자원 8-3	24M18	장류	된장	MRS	세균	유산균
19	24년 자원 9-1	24M19	장류	간장	MRS	세균	유산균
20	24년 자원 9-2	24M20	장류	간장	MRS	세균	유산균
21	24년 자원 9-3	24M21	장류	간장	MRS	세균	유산균
22	24년 자원 10-1	24M22	장류	고추장	MRS	세균	유산균
23	24년 자원 10-2	24M23	장류	고추장	MRS	세균	유산균
24	24년 자원 10-3	24M24	장류	고추장	MRS	세균	유산균
25	24년 자원 11-1	24M25	장류	간장	MRS	세균	유산균
26	24년 자원 11-2	24M26	장류	간장	MRS	세균	유산균
27	24년 자원 11-3	24M27	장류	간장	MRS	세균	유산균
28	24년 자원 12-1	24M28	장류	간장	MRS	세균	유산균
29	24년 자원 12-2	24M29	장류	간장	MRS	세균	유산균
30	24년 자원 12-3	24M30	장류	간장	MRS	세균	유산균
31	24년 자원 13-1	24M31	장류	고추장	MRS	세균	유산균
32	24년 자원 13-2	24M32	장류	고추장	MRS	세균	유산균
33	24년 자원 13-3	24M33	장류	고추장	MRS	세균	유산균
34	24년 자원 14-1	24M34	장류	된장	MRS	세균	유산균
35	24년 자원 14-2	24M35	장류	된장	MRS	세균	유산균
36	24년 자원 14-3	24M36	장류	된장	MRS	세균	유산균
37	24년 자원 15-1	24M37	장류	간장	MRS	세균	유산균
38	24년 자원 15-2	24M38	장류	간장	MRS	세균	유산균
39	24년 자원 15-3	24M39	장류	간장	MRS	세균	유산균

NO	분리자원	군주명	분리자원 대분류	소분류	배지	대분류	중분류
40	24년 자원 16-1	24M40	장류	고추장	MRS	세균	유산균
41	24년 자원 16-2	24M41	장류	고추장	MRS	세균	유산균
42	24년 자원 16-3	24M42	장류	고추장	MRS	세균	유산균
43	24년 자원 17-1	24M43	장류	된장	MRS	세균	유산균
44	24년 자원 17-2	24M44	장류	된장	MRS	세균	유산균
45	24년 자원 17-3	24M45	장류	된장	MRS	세균	유산균
46	24년 자원 18-1	24M46	장류	청국장	MRS	세균	유산균
47	24년 자원 18-2	24M47	장류	청국장	MRS	세균	유산균
48	24년 자원 18-3	24M48	장류	청국장	MRS	세균	유산균
49	24년 자원 19-1	24M49	장류	된장	MRS	세균	유산균
50	24년 자원 19-2	24M50	장류	된장	MRS	세균	유산균
51	24년 자원 19-3	24M51	장류	된장	MRS	세균	유산균
52	24년 자원 20-1	24M52	장류	간장	MRS	세균	유산균
53	24년 자원 20-2	24M53	장류	간장	MRS	세균	유산균
54	24년 자원 20-3	24M54	장류	간장	MRS	세균	유산균
55	24년 자원 21-1	24M55	장류	고추장	MRS	세균	유산균
56	24년 자원 21-2	24M56	장류	고추장	MRS	세균	유산균
57	24년 자원 21-3	24M57	장류	고추장	MRS	세균	유산균
58	24년 자원 22-1	24M58	장류	간장	MRS	세균	유산균
59	24년 자원 22-2	24M59	장류	간장	MRS	세균	유산균
60	24년 자원 22-3	24M60	장류	간장	MRS	세균	유산균
61	24년 자원 23-1	24M61	장류	청국장	MRS	세균	유산균
62	24년 자원 23-2	24M62	장류	청국장	MRS	세균	유산균
63	24년 자원 23-3	24M63	장류	청국장	MRS	세균	유산균
64	24년 자원 24-1	24M64	장류	간장	MRS	세균	유산균
65	24년 자원 24-2	24M65	장류	간장	MRS	세균	유산균
66	24년 자원 24-3	24M66	장류	간장	MRS	세균	유산균
67	24년 자원 25-1	24M67	장류	된장	MRS	세균	유산균
68	24년 자원 25-2	24M68	장류	된장	MRS	세균	유산균
69	24년 자원 25-3	24M69	장류	된장	MRS	세균	유산균
70	24년 자원 26-1	24M70	장류	간장	MRS	세균	유산균
71	24년 자원 26-2	24M71	장류	간장	MRS	세균	유산균
72	24년 자원 26-3	24M72	장류	간장	MRS	세균	유산균
73	24년 자원 27-1	24M73	장류	청국장	MRS	세균	유산균
74	24년 자원 27-2	24M74	장류	청국장	MRS	세균	유산균
75	24년 자원 27-3	24M75	장류	청국장	MRS	세균	유산균
76	24년 자원 28-1	24M76	장류	된장	MRS	세균	유산균
77	24년 자원 28-2	24Y63	장류	된장	MRS	세균	유산균
78	24년 자원 28-3	24Y64	장류	된장	MRS	세균	유산균
79	24년 자원 29-1	24Y65	장류	고추장	MRS	세균	유산균

NO	분리자원	균주명	분리자원 대분류	소분류	배지	대분류	중분류
80	24년 자원 29-2	24Y63	장류	고추장	MRS	세균	유산균
81	24년 자원 29-3	24Y64	장류	고추장	MRS	세균	유산균
82	24년 자원 30-1	24Y65	장류	춘장	MRS	세균	유산균
83	24년 자원 30-2	24Y66	장류	춘장	MRS	세균	유산균
84	24년 자원 30-3	24Y63	장류	춘장	MRS	세균	유산균

### (시험 6) 조미용 우수균주 선발

조미용 균주 선발을 위해 기 분리된 고초균을 대상으로 효소활성 평가 결과,  $\beta$ -glycosidase 활성을 나타내는 균주 36주와 Protease 활성 균주 56주가 선발되었다.  $\beta$ -glycosidase는 쓴맛 성분의 감소 및 향미 전구체의 방출에 관여하는 효소로서 발효식품의 품질 개선에 기여하며, Protease는 단백질 분해를 통해 아미노산 및 펩타이드 생성을 촉진함으로써 발효식품의 감칠맛과 영양학적 가치를 높이는 데 중요한 역할을 한다.

식품 안전성 측면에서는 바이오제닉아민류(히스타민, 류신, 리신, 페닐알라닌 등 5종) 생성 여부를 평가하여, 이를 생성하지 않는 안전 균주 20주를 선발하였다. 바이오제닉아민류는 섭취 시 두통, 알레르기 반응 등 부작용을 유발할 수 있어, 식품용 중균 개발에 있어 비생성 균주의 선발은 안전성 확보 측면에서 필수적이다.

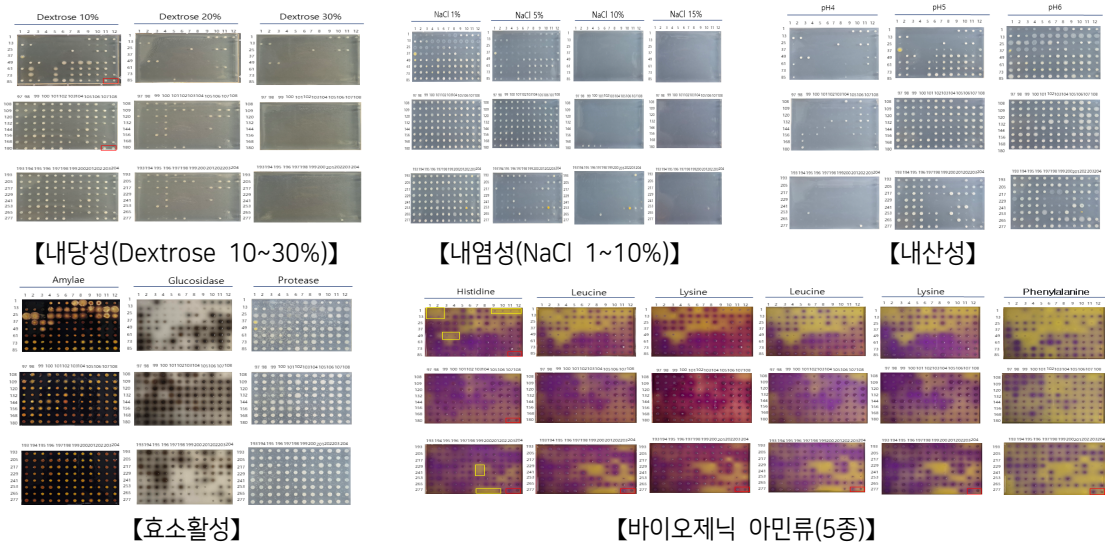


그림 16. 조미활용 고초균 특성 평가

특성평가를 통해 선발된 균주에 대한 16S rRNA 유전자 서열 분석을 기반으로 분류학적 동정을 실시하였다. 동정 결과, 식품 원료로의 사용이 허가된 종으로는 *Bacillus velezensis* 26주, *Bacillus subtilis* 5주, *Staphylococcus xylosus* 1주가 확인되었다. 등재 가능 균주 32주(34.4%)는 모두 *Bacillus* 속 및 *Staphylococcus xylosus*로, 그 중 *Bacillus velezensis* 단일 종이 26주(81%)를 차지해 식품 적용 가능성이 가장 높은 균주군이었다. *Bacillus velezensis*는 발효식품 산업에서 단백질 분해효소와 항균 물질 생산능이 우수한 것으로 알려진 종으로서, 본 연구에서 가장 다수 동정되어 향후 중균 개발의 핵심 균주군으로 활용될

전망이다. 반면, 일부 균주는 *Klebsiella oxytoca*, *Enterobacter hormaechei*, *Acinetobacter baumannii* 등 식품 원료 미등재 종 또는 잠재적 병원균으로 동정되어 식품 적용 대상에서 제외하였다. 이는 발효식품 유래 미생물 자원이 다양한 종 조성을 보임을 시사하며, 유용균주의 선별적 활용을 위한 철저한 안전성 검증이 요구된다.

표 20. 16S rRNA 유전자 서열 균주 동정 결과

균주명	식품원료 등재	균주수
<i>Bacillus velezensis</i>	○	26
<i>Bacillus subtilis</i>	○	5
<i>Staphylococcus xylosum</i>	○	1

### (시험 7) 신규 발효미생물 분리

신규 유용 미생물의 분리를 위하여 발효식품(효소액, 발효청 등) 및 다양한 농산물 등 50종의수집 발효 자원으로부터 고초균, 효모, 유산균을 포함한 총 144주의 균주를 최종 선별하여 DB를 구축하였다. 분리자원당 최대 2주의 균주를 선별한다는 원칙하에, 당도 30~77.4 Brix에 이르는 고당도 가공품 20종에서 환경내성 미생물을 우선적으로 탐색하였다. 그 결과 고당도 조건(30~77.4 Brix)에서 활성 가능한 고초균 28주, 효모 16주, 유산균 12주를 선별하였으며, 이는 전체 선별 균주의 약 39%에 해당한다.



그림 17. 분리자원 수집

표 21. 분리자원 품질특성

수집번호	종류	상품명	당도	pH	고초균	효모	유산균
1	수제청	휴담 도라지청	77.4	4.35	2	-	-
2	수제청	휴담 인진숙청	78.9	4.86	-	-	-
3	수제청	장미병소	46.7	3.59	-	-	-
4	수제청	팬지청	63.0	3.38	-	-	-
5	수제청	배도라지청	36.0	4.36	-	-	-

수집번호	종류	상품명	당도	pH	고초균	효모	유산균
6	수제청	유자청	58.7	3.38	2	2	-
7	수제청	딸기후르츠봉봉	31.0	3.75	2	2	-
8	수제잼	수제딸기잼	58.9	3.77	2	2	-
9	수제청	수제 모과청	64.1	3.18	2	2	-
10	수제청	수제 자두청	57.2	3.20	2	2	-
11	발효액	감로이슬 산야초발효액	55.1	3.32	-	-	-
12	발효액	야생 개복숭아 발효액	50.4	3.75	2	2	-
13	효소액	3년이상 발효된 수제효소	56.2	3.28	-	-	2
14	수제청	국내산 수제 딸기청	30.0	3.46	2	2	2
15	수제잼	수제 영동 곱감잼	51.7	4.94	2	-	2
16	수제잼	단호박잼	62.1	6.59	2	-	2
17	수제잼	밤잼	60.7	6.54	2	-	-
18	수제잼	새싹보리잼	67.0	6.57	2	-	2
19	수제잼	흑임자잼	66.9	6.51	2	-	2
20	발효액	장효 열매발효원액	33.7	3.51	2	2	-

표 22. 분리자원 DB구축 현황

DB구축(주)	분리균주		
	고초균	효모	유산균
144주	58	50	36

※ 발효미생물 균주은행 구축(7,509주):효모(4,360주), 유산균(1,749), 고초균(1,241)

표 23. 분리자원 DB구축 세부현황

NO	분리번호	대분류	소분류	배지	대분류	중분류
1	25N1	청류	도라지청	NA	세균	고초균
2	25N2	청류	도라지청	NA	세균	고초균
3	25N3	청류	유자청	NA	세균	고초균
4	25N4	청류	유자청	NA	세균	고초균
5	25N5	청류	딸기후르츠청	NA	세균	고초균
6	25N6	청류	딸기후르츠청	NA	세균	고초균
7	25N7	잼류	딸기잼	NA	세균	고초균
8	25N8	잼류	딸기잼	NA	세균	고초균
9	25N9	청류	모과청	NA	세균	고초균
10	25N10	청류	모과청	NA	세균	고초균
11	25N11	청류	자두청	NA	세균	고초균

NO	분리번호	대분류	소분류	배지	대분류	중분류
12	25N12	청류	자두청	NA	세균	고초균
13	25N13	발효액	개복송아	NA	세균	고초균
14	25N14	발효액	개복송아	NA	세균	고초균
15	25N15	청류	딸기청	NA	세균	고초균
16	25N16	청류	딸기청	NA	세균	고초균
17	25N17	잼류	곶감	NA	세균	고초균
18	25N18	잼류	곶감	NA	세균	고초균
19	25N19	잼류	단호박	NA	세균	고초균
20	25N20	잼류	단호박	NA	세균	고초균
21	25N21	잼류	밤	NA	세균	고초균
22	25N22	잼류	밤	NA	세균	고초균
23	25N23	잼류	새싹보리	NA	세균	고초균
24	25N24	잼류	새싹보리	NA	세균	고초균
25	25N25	잼류	흑임자	NA	세균	고초균
26	25N26	잼류	흑임자	NA	세균	고초균
27	25N27	발효액	열매발효	NA	세균	고초균
28	25N28	발효액	열매발효	NA	세균	고초균
29	25N29	농산물	방울토마토	NA	세균	고초균
30	25N30	농산물	방울토마토	NA	세균	고초균
31	25N31	농산물	딸기(클레오파트라)	NA	세균	고초균
32	25N32	농산물	딸기(클레오파트라)	NA	세균	고초균
33	25N33	농산물	딸기	NA	세균	고초균
34	25N34	농산물	딸기	NA	세균	고초균
35	25N35	농산물	사과	NA	세균	고초균
36	25N36	농산물	사과	NA	세균	고초균
37	25N37	농산물	참외	NA	세균	고초균
38	25N38	농산물	참외	NA	세균	고초균
39	25N39	농산물	산딸기	NA	세균	고초균
40	25N40	농산물	산딸기	NA	세균	고초균
41	25N41	농산물	보리수	NA	세균	고초균
42	25N42	농산물	보리수	NA	세균	고초균
43	25N43	농산물	산오디	NA	세균	고초균
44	25N44	농산물	산오디	NA	세균	고초균
45	25N45	농산물	찰토마토	NA	세균	고초균
46	25N46	농산물	찰토마토	NA	세균	고초균
47	25N47	농산물	대추방울토마토	NA	세균	고초균
48	25N48	농산물	대추방울토마토	NA	세균	고초균
49	25N49	농산물	대추방울토마토	NA	세균	고초균
50	25N50	농산물	대추방울토마토	NA	세균	고초균

NO	분리번호	대분류	소분류	배지	대분류	중분류
51	25N51	농산물	대추방울토마토	NA	세균	고초균
52	25N52	농산물	대추방울토마토	NA	세균	고초균
53	25N53	농산물	대추방울토마토	NA	세균	고초균
54	25N54	농산물	대추방울토마토	NA	세균	고초균
55	25N55	농산물	흑토마토	NA	세균	고초균
56	25N56	농산물	흑토마토	NA	세균	고초균
57	25N57	농산물	토마토	NA	세균	고초균
58	25N58	농산물	토마토	NA	세균	고초균
59	25Y1	청류	유자청	YPD	세균	효모
60	25Y2	청류	유자청	YPD	세균	효모
61	25Y3	청류	딸기후르츠청	YPD	세균	효모
62	25Y4	청류	딸기후르츠청	YPD	세균	효모
63	25Y5	잼류	딸기잼	YPD	세균	효모
64	25Y6	잼류	딸기잼	YPD	세균	효모
65	25Y7	청류	모과청	YPD	세균	효모
66	25Y8	청류	모과청	YPD	세균	효모
67	25Y9	청류	자두청	YPD	세균	효모
68	25Y10	청류	자두청	YPD	세균	효모
69	25Y11	발효액	개복숭아	YPD	세균	효모
70	25Y12	발효액	개복숭아	YPD	세균	효모
71	25Y13	청류	딸기청	YPD	세균	효모
72	25Y14	청류	딸기청	YPD	세균	효모
73	25Y15	발효액	열매발효	YPD	세균	효모
74	25Y16	발효액	열매발효	YPD	세균	효모
75	25Y17	농산물	딸기(클레오파트라)	YPD	세균	효모
76	25Y18	농산물	딸기(클레오파트라)	YPD	세균	효모
77	25Y19	농산물	딸기	YPD	세균	효모
78	25Y20	농산물	딸기	YPD	세균	효모
79	25Y21	농산물	사과	YPD	세균	효모
80	25Y22	농산물	사과	YPD	세균	효모
81	25Y23	농산물	참외	YPD	세균	효모
82	25Y24	농산물	참외	YPD	세균	효모
83	25Y25	농산물	산딸기	YPD	세균	효모
84	25Y26	농산물	산딸기	YPD	세균	효모
85	25Y27	농산물	보리수	YPD	세균	효모
86	25Y28	농산물	보리수	YPD	세균	효모
87	25Y29	농산물	산오디	YPD	세균	효모
88	25Y30	농산물	산오디	YPD	세균	효모

NO	분리번호	대분류	소분류	배지	대분류	중분류
89	25Y31	농산물	찰토마토	YPD	세균	효모
90	25Y32	농산물	찰토마토	YPD	세균	효모
91	25Y33	농산물	대추방울토마토	YPD	세균	효모
92	25Y34	농산물	대추방울토마토	YPD	세균	효모
93	25Y35	농산물	산딸기	YPD	세균	효모
94	25Y36	농산물	산딸기	YPD	세균	효모
95	25Y37	농산물	대추방울토마토	YPD	세균	효모
96	25Y38	농산물	대추방울토마토	YPD	세균	효모
97	25Y39	농산물	대추방울토마토	YPD	세균	효모
98	25Y40	농산물	대추방울토마토	YPD	세균	효모
99	25Y41	농산물	블루베리	YPD	세균	효모
100	25Y42	농산물	블루베리	YPD	세균	효모
101	25Y43	농산물	썸머허니자두	YPD	세균	효모
102	25Y44	농산물	썸머허니자두	YPD	세균	효모
103	25Y45	농산물	멜론	YPD	세균	효모
104	25Y46	농산물	멜론	YPD	세균	효모
105	25Y47	농산물	하우스살구	YPD	세균	효모
106	25Y48	농산물	하우스살구	YPD	세균	효모
107	25Y49	농산물	복숭아	YPD	세균	효모
108	25Y50	농산물	복숭아	YPD	세균	효모
109	25M1	효소액	3년이상 발효된 수제효소	MRS	세균	유산균
110	25M2	효소액	3년이상 발효된 수제효소	MRS	세균	유산균
111	25M3	청류	딸기청	MRS	세균	유산균
112	25M4	청류	딸기청	MRS	세균	유산균
113	25M5	잼류	꽃감	MRS	세균	유산균
114	25M6	잼류	꽃감	MRS	세균	유산균
115	25M7	잼류	단호박	MRS	세균	유산균
116	25M8	잼류	단호박	MRS	세균	유산균
117	25M9	잼류	새싹보리	MRS	세균	유산균
118	25M10	잼류	새싹보리	MRS	세균	유산균
119	25M11	잼류	흑임자	MRS	세균	유산균
120	25M12	잼류	흑임자	MRS	세균	유산균
121	25M13	농산물	방울토마토	MRS	세균	유산균
122	25M14	농산물	방울토마토	MRS	세균	유산균
123	25M15	농산물	참외	MRS	세균	유산균
124	25M16	농산물	참외	MRS	세균	유산균
125	25M17	농산물	산오디	MRS	세균	유산균
126	25M18	농산물	산오디	MRS	세균	유산균

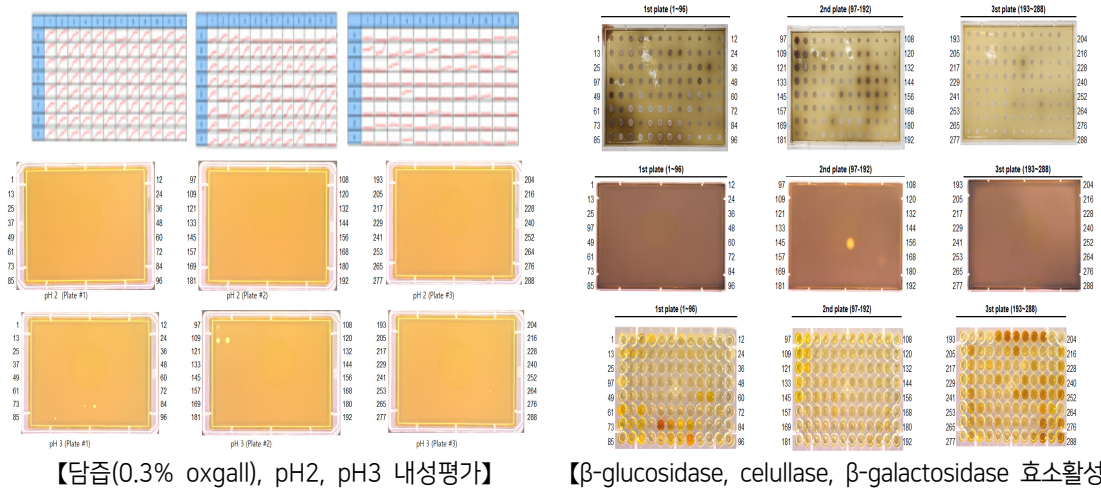
NO	분리번호	대분류	소분류	배지	대분류	중분류
127	25M19	농산물	체리	MRS	세균	유산균
128	25M20	농산물	체리	MRS	세균	유산균
129	25M21	농산물	체리	MRS	세균	유산균
130	25M22	농산물	멜론	MRS	세균	유산균
131	25M23	농산물	멜론	MRS	세균	유산균
132	25M24	농산물	멜론	MRS	세균	유산균
133	25M25	농산물	하우스감귤	MRS	세균	유산균
134	25M26	농산물	하우스감귤	MRS	세균	유산균
135	25M27	농산물	하우스감귤	MRS	세균	유산균
136	25M28	농산물	애플수박	MRS	세균	유산균
137	25M29	농산물	애플수박	MRS	세균	유산균
138	25M30	농산물	애플수박	MRS	세균	유산균
139	25M31	농산물	블랙보스수박	MRS	세균	유산균
140	25M32	농산물	블랙보스수박	MRS	세균	유산균
141	25M33	농산물	블랙보스수박	MRS	세균	유산균
142	25M34	농산물	수박	MRS	세균	유산균
143	25M35	농산물	수박	MRS	세균	유산균
144	25M36	농산물	수박	MRS	세균	유산균

### (시험 8) 기능성 유산균 스크리닝

유산균 사균체(postbiotics)는 열 및 위산에 대한 높은 안정성을 지니고 있어, 생균 형태의 프로바이오틱스가 갖는 생존율 문제를 근본적으로 극복할 수 있는 차세대 소재로 주목받고 있다. 생균과 달리 가혹한 소화 환경에서도 구조적 완전성을 유지하는 사균체는 장내에서 분해되어 장내 유익균의 먹이로 활용됨으로써 장내 미생물 균형 회복 및 유해균 배출을 촉진하는 프리바이오틱스적 기능을 동시에 수행한다. 이러한 특성은 성장작용 및 면역조절 기능과도 밀접하게 연결된다. 사균체의 세포벽 구성 성분과 유산균이 생산하는 2차 대사물질은 장 점막 면역계를 자극하여 대식세포 활성화, 사이토카인 발현 조절 등 다양한 면역 반응을 매개하는 것으로 알려져 있으며, 이는 단순한 소화 개선을 넘어 전신 면역 강화에 기여할 수 있음을 의미한다.

산업적 관점에서도 사균체의 활용 가치는 매우 높다. 사균체는 천연물 유래 원료로 분류될 수 있어 안전성 측면에서 규제 접근이 용이하며, 식품·건강기능식품은 물론 사료 및 화장품 분야에 이르기까지 응용 범위가 광범위하다. 특히 생균 제품에 비해 보존 안정성이 우수하고 대량 생산 및 표준화가 용이하다는 점은 제품화 과정에서 실질적인 이점으로 작용한다. 이러한 배경에서 유산균 사균체 및 그 2차 대사물질을 소재화하는 연구를 진행하고자 기 보유한 유산균 288주의 특성 검정을 실시 후 사균체를 제조 하였다.

유산균 288주를 대상으로 0.3% oxgall이 첨가된 MRS broth에서 내담즙성을 평가한 결과, 초기 흡광도(OD<sub>600nm</sub>) 대비 24시간 후 흡광도가 20% 이상 증가한 225주를 1차 선발하였다. 이 중 내산성(pH 3) 균주는 9주, β-glucosidase 활성 균주 259주, β-galactosidase 활성 균주 267주, EPS 생성 균주 1주가 각각 선발되었다. β-galactosidase와 β-glucosidase의 높은 활성 빈도는 유당불내증 개선 및 식이 성분의 생체이용률 증진에 활용 가능한 균주가 다수 포함되어 있음으로 사료된다.



【담즙(0.3% oxgall), pH2, pH3 내성평가】 【β-glucosidase, cellulase, β-galactosidase 효소활성】

【EPS 생성 여부】

그림 18. 유산균 288주 특성검정

사균체는 그림 19와 같은 순서로 제조하였다. 먼저 유산균을 37°C에서 18시간 동안 배양한 후, 배양액을 15,000 rpm의 조건으로 10분간 원심분리하여 균체를 회수하였다. 회수된 균체는 PBS(인산완충생리식염수)로 2회 세척하여 배지 성분 등의 불순물을 제거하였으며, 세척 완료 후 흡광도(OD<sub>600</sub>) 1.0에 해당하는 농도로 균체 현탁액을 조제하였다. 최종적으로 110°C에서 15분간 열처리를 실시하여 균을 불활성화함으로써 사균체를 완성하였다.

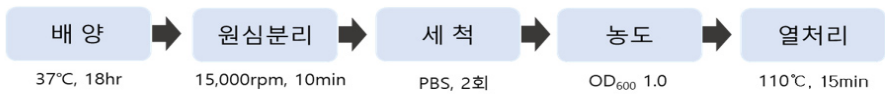


그림 19. 사균체 제조 방법

유산균 사균체 67주에 대하여 LPS로 염증을 유도한 RAW264.7 대식세포 모델에서의 NO(nitric oxide) 생성량을 정량한 결과는 그림 20과 같이, 각 균주의 항염증 잠재력을 상대적으로 비교하였다. 강한 억제 활성을 나타낸 균주군으로, PB29, PB30, PB38, PB59 등은 LPS(lipopolysaccharide) 처리군 대비 NO 생성량이 약 20~90% 감소하여 뚜렷한 항염증 효능을 보였다. 특히 일부 균주의 경우 LPS를 처리하지 않은 정상 대조군(control) 수준에 근접하는 NO 억제 효과가 관찰되어, 염증 반응을 거의 완전히 차단하는 수준의 활성을 보유하고 있는 것으로 판단되었다. 중간 수준의 억제 활성을 나타낸 균주군으로, LPS 처리군 대비 약 50% 수준의 NO가 생성되는 균주들이 다수 확인되었다. 최종 선발 기준으로 설정한 50% 억제 기준선을 충족하는 균주는 총 26주였으며, 해당 균주들이 이 범주에 해당하였다. 항염증 효과가 없거나 NO 생성이 오히려 증가한 균주군으로, PB57, PB87 등은 LPS 처리군보다 높은 NO 생성량을 나타냈다. 이는 해당 사균체가 대식세포의 염증 반응을 억제하기보다 오히려 촉진할 가능성을 시사하는 결과로, 기능성 소재로서의 활용 가능성은 낮은 것으로 판단되었다.

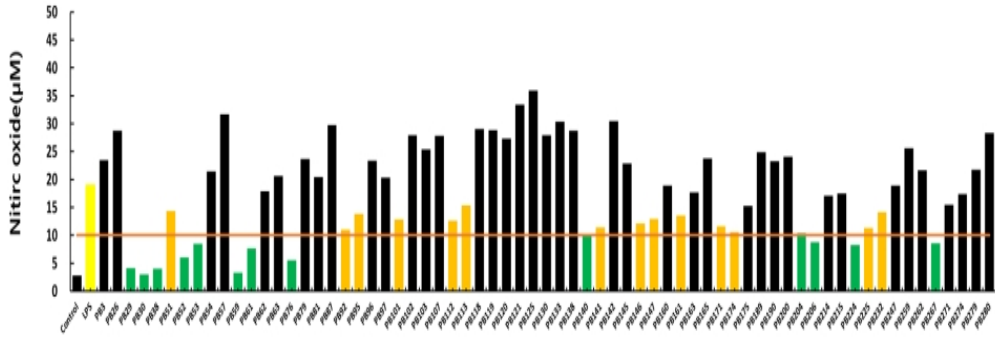


그림 20. 사균체 NO(nitric oxide) 생성량(% of control)

세포독성 평가에서는 대부분의 유산균 사균체가 세포생존율 80% 이상을 유지하였으며, 세포독성이 없거나 매우 낮음을 확인하여 18주를 최종 선정하였다. 이는 고농도 유산균의 면역세포 독성 유발 가능성을 사전에 검증함으로써 식품 또는 기능성 소재로서의 안전성 기초 자료를 확보 하였다.

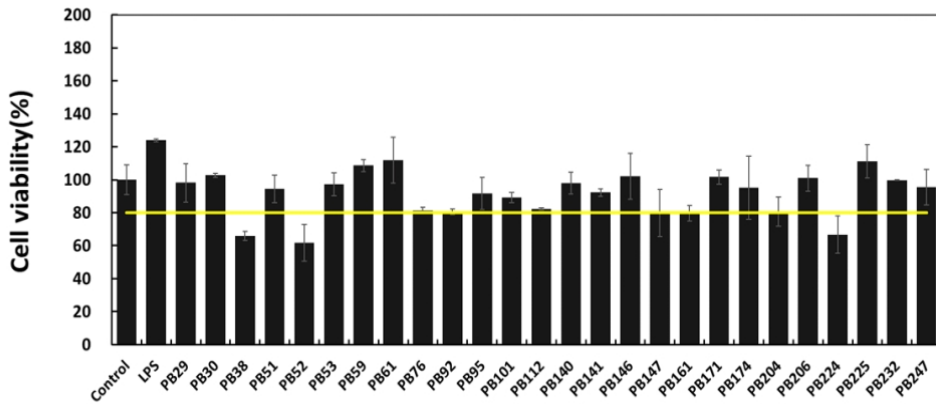


그림 21. 사균체 세포독성(Cytotoxicity)

유산균 사균체가 세포생존율 80% 이상이고 NO(nitric oxide) 생성량이 적은 주요 균주를 선발하여 동정하였다.

표 24. 주요 균주 16s rRNA 유전자 동정 결과

NO	분리번호	동정결과
PB29	생선2-3	<i>Lactobacillus brevis</i>
PB30	생선2-14	<i>Lactobacillus brevis</i>
PB38	생선9-31	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>
PB52	KCGW16-1	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>
PB53	KCGW16-20	<i>Lactiplantibacillus pentosus</i>
PB59	KCGW18-30	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>
PB61	KCGW19-10	<i>Lactiplantibacillus pentosus</i>

NO	분리번호	동정결과
PB29a	생선2-3	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>
PB30b	생선2-14	<i>Lactobacillus brevis</i>

RAW264.7 대식세포에 LPS를 처리하여 염증을 유도한 후, 유산균 사균체 18주를 각각 처리하여 IL-1 $\beta$ , iNOS, COX-2, IL-6의 mRNA 발현 변화를 RT-PCR로 분석하였다. GAPDH는 내부 대조군(internal control)으로 사용하였으며, 전 처리군에 걸쳐 균일한 밴드가 확인되어 시료 간 RNA 투입량이 동등하게 유지되었음을 확인하였다. 정상 대조군(control)에서는 IL-1 $\beta$ , iNOS, COX-2, IL-6 모두 밴드가 매우 희미하거나 거의 검출되지 않았다. 반면 LPS 단독 처리군에서는 네 가지 염증 유전자 모두에서 뚜렷하고 강한 밴드가 확인되어, LPS에 의한 염증 유도가 성공적으로 이루어졌음을 나타냈다.

각 사균체 처리군의 발현 양상을 분석한 결과는 다음과 같다. 우선 iNOS의 경우 대부분의 처리군에서 LPS 처리군과 유사한 수준의 밴드가 유지되었으나, PB29a 및 PB30b 처리군에서 밴드 강도가 현저히 감소하였다. COX-2는 전반적으로 LPS 처리군에 비해 억제 효과가 뚜렷한 균주가 제한적이었으나, PB59, PB29a, PB30b 처리군에서 밴드 감소가 관찰되었다. IL-1 $\beta$  및 IL-6의 경우 PB29a와 PB30b 처리군에서 두 유전자 모두 밴드 강도가 LPS 처리군 대비 명확하게 감소하였으며, 특히 PB30b는 IL-6 발현을 정상 대조군에 근접하는 수준까지 억제하는 양상을 나타냈다. PB59는 iNOS 및 COX-2 발현 억제에서 상대적으로 우수한 효능을 보인 반면, IL-1 $\beta$  및 IL-6 억제 효과는 PB29a, PB30b에 비해 다소 낮은 경향이 관찰되었다. 그 외 PB29, PB30, PB38, PB52 등 다수의 균주는 특정 유전자에서 부분적인 억제 경향을 보이기도 하였으나, 4가지 유전자 모두에 걸쳐 일관된 억제 활성을 나타낸 균주는 PB59, PB29a, PB30b 3종으로 최종 선발하였다. 균주 간 억제 패턴의 차이도 주목할 필요가 있다. PB59는 iNOS·COX-2 억제에 상대적으로 특화된 양상을 보인 반면, PB29a와 PB30b는 IL-1 $\beta$  및 IL-6를 포함한 광범위한 사이토카인 발현 억제에 강점을 나타냈다. 이는 균주별 사균체의 구성 성분 차이, 즉 세포벽 펩티도글리칸(peptidoglycan) 구조, 리포테이코산(lipoteichoic acid) 조성, 분비 대사물질의 종류 등이 활성화되는 항염 신호 경로에 차이를 유발하기 때문인 것으로 추정된다. 이러한 균주 특이적 활성 패턴은 향후 복합 사균체 소재 설계 시 균주 조합의 근거로 활용될 수 있다는 점에서 응용적 가치가 있을 것으로 사료 된다.

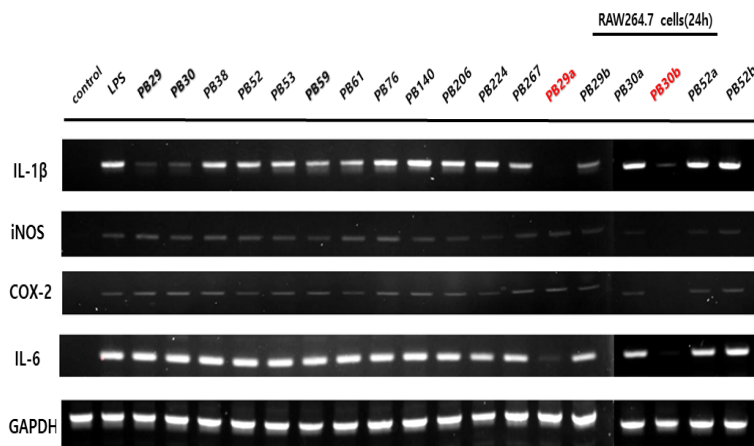


그림 22. 사이토카인(cytokine) mRNA 발현 분석

mRNA 수준에서 항염증 활성이 확인된 PB59, PB29a, PB30b를 대상으로 NF $\kappa$ B 신호전달 경로와 관련된 핵심 단백질인 I $\kappa$ B $\alpha$ , p-I $\kappa$ B $\alpha$ , Src, p-Src의 발현 변화를 Western blot으로 분석하였다. p-I $\kappa$ B $\alpha$ 의 경우, LPS 처리군에서 대조군 대비 인산화가 현저히 증가하였으나, PB29a 및 PB30b 처리군에서는 p-I $\kappa$ B $\alpha$ 의 밴드 강도가 LPS 처리군에 비해 뚜렷하게 감소하였다. 총 I $\kappa$ B $\alpha$  단백질 수준은 처리군 간 유사하게 유지되어, 사균체가 I $\kappa$ B $\alpha$ 의 분해가 아닌 인산화 억제를 통해 작용함을 확인하였다. PB59 처리군에서도 p-I $\kappa$ B $\alpha$ 의 감소가 관찰되었으나 PB29a 및 PB30b에 비해 그 정도는 상대적으로 낮았다.

Src 및 p-Src 분석에서는 LPS 처리군에서 p-Src의 발현이 증가하는 경향이 확인되었으며, PB29a와 PB30b 처리군에서 p-Src의 밴드 강도가 감소하였다. 이는 사균체가 Src 키나아제의 활성화를 억제함을 시사한다.  $\beta$ -actin은 모든 처리군에서 균일하게 발현되어 단백질 투입량의 동등성이 확보되었음을 확인하였다.

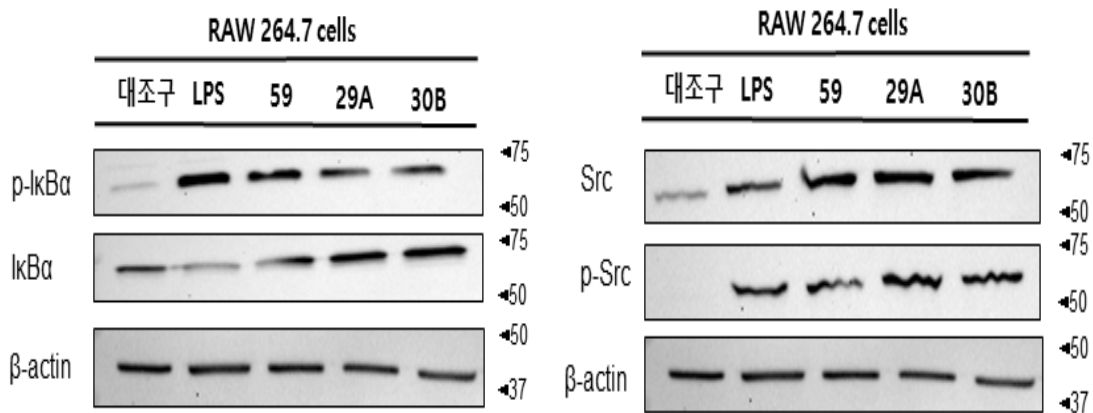


그림 23. I $\kappa$ B $\alpha$  및 Src 단백질 발현 분석

대식세포에서 전염증성 사이토카인 유전자의 mRNA 발현을 억제함과 동시에, NF $\kappa$ B 신호전달 경로의 핵심 조절 단백질인 I $\kappa$ B $\alpha$ 의 인산화를 억제함으로써 항염증 효과를 발휘한다는 것을 분자 수준에서 규명하였다. LPS는 Toll-like receptor 4(TLR4)에 결합하여 MyD88 및 TRIF 의존적 신호전달을 활성화하고, 이를 통해 Src 키나아제의 인산화가 촉진된다. 활성화된 p-Src는 하위 신호로서 I $\kappa$ B $\alpha$ 의 인산화 및 분해를 유도하며, 결과적으로 NF $\kappa$ B(p50/p65 heterodimer)가 핵 내로 이동하여 iNOS, COX-2, IL-1 $\beta$ , IL-6 등 염증 유전자의 전사를 활성화한다. 본 연구에서 PB29a 및 PB30b는 이 신호 연쇄에서 Src의 인산화 및 I $\kappa$ B $\alpha$ 의 인산화를 동시에 억제함으로써 NF $\kappa$ B의 핵 내 이동을 차단하고, 최종적으로 다수의 염증 매개 유전자 발현을 전사 수준에서 억제하는 것으로 판단되었다. 이는 단일 표적이 아닌 신호전달 경로 상류에서의 포괄적 차단 기전을 시사하며, 항염증 소재로서의 높은 활용 가치를 뒷받침하는 결과라고 사료된다.

주목할 점은 PB59와 PB29a-PB30b 간의 작용 기전 차이이다. PB59는 iNOS 및 COX-2 억제에 상대적으로 특화된 양상을 나타낸 반면, PB29a와 PB30b는 IL-1 $\beta$ , IL-6를 포함한 보다 광범위한 사이토카인 억제와 함께 Src/I $\kappa$ B $\alpha$  인산화 억제를 통한 상위 신호 차단 효과가 우세하였다. 이러한 군주별 작용 기전의 차이는 사균체의 세포벽 구성 성분, 특히 펩티도글리칸의 구조적 다양성 및 리포테이코산(LTA)의 조성 차이에 의해 대식세포 표면의 패턴 인식 수용체(PRR)가 차별적으로 자극됨으로써 유발되는 것으로 추정된다. 이러한

관점에서 PB59, PB29a, PB30b를 복합 적용하는 전략은 상호 보완적인 항염증 기전의 활용이 가능하다는 점에서 소재 개발 측면의 시너지 효과가 기대된다.

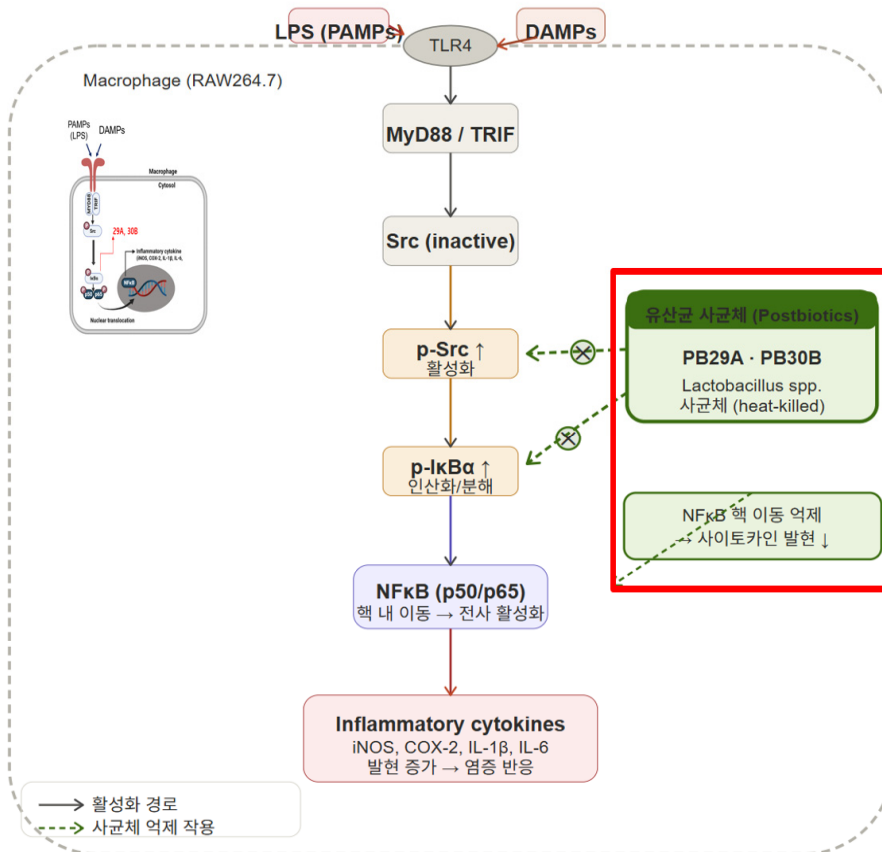


그림 24. 유산균 사균체(PB29A, PB30B)의 NFkB 신호전달 억제를 통한 항염증 기전

선발 유산균 사균체 3종(PB59, PB29a, PB30b)과 표준 항염 유산균(KCTC5033, KACC11451)의 총 폴리페놀 함량을 비교한 결과, PB29a가 54.16  $\mu\text{g}$  GAE/ml로 전체 시험 균주 중 유의적으로 가장 높은 함량을 나타냈으며( $p < 0.001$ ), KACC11451(약 54  $\mu\text{g}$  GAE/ml)과 통계적으로 동등한 수준(ab군)으로 분류되었다. PB59(약 52  $\mu\text{g}$  GAE/ml, a군)는 PB29a에 준하는 수준을 보였으며, KCTC5033(약 46  $\mu\text{g}$  GAE/ml, b군)이 그 뒤를 이었다. PB30b는 약 38  $\mu\text{g}$  GAE/ml(c군)로 전체 균주 중 가장 낮은 폴리페놀 함량을 나타냈다. 이상의 결과는 PB29a와 PB59가 표준주에 상응하거나 이를 상회하는 수준의 폴리페놀성 항산화 물질을 보유하고 있음을 시사한다.

ABTS 라디칼 소거능 평가 결과 PB59가 17.38%로 KCTC5033보다는 낮았으나 KACC11451보다는 유의적으로 높은 소거능을 나타냈다(c군). PB29a와 PB30b는 각각 ab군으로 분류되어 중간 수준의 소거능을 보였다. 전반적으로 PB59는 ABTS 라디칼 소거능에서 표준 항염 균주에 근접하는 활성을 보유하고 있는 것으로 판단되었다.

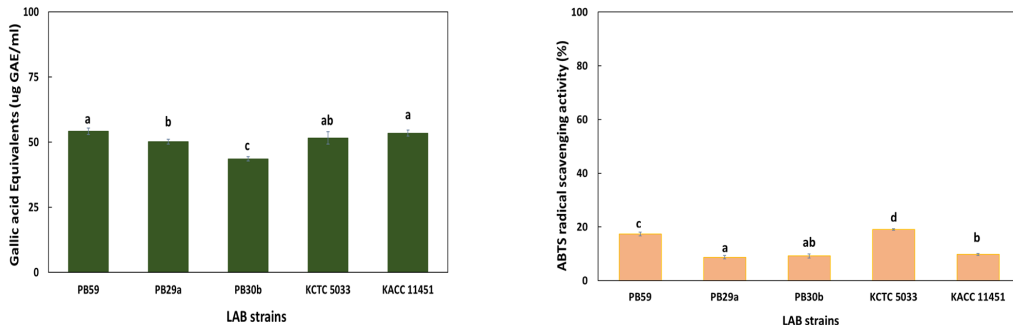


그림 25. 총 폴리페놀 함량 및 ABTS 라디칼 소거능

DPPH 라디칼 소거능 분석에서는 KCTC5033과 KACC11451이 각각 a군으로 가장 높은 소거능을 나타낸 반면, 선발 사균체 3종의 소거능은 상대적으로 낮게 측정되었다. PB30b는 b군으로 PB59 및 PB29a(c군)보다 유의적으로 높은 소거능을 보였으나, 전반적으로 선발 사균체의 DPPH 소거능은 표준주에 비해 낮은 수준에 머물렀다. 이는 DPPH와 ABTS 두 라디칼 소거계 간의 반응 기전 차이에 기인하는 것으로, DPPH는 주로 수소 공여 반응(hydrogen atom transfer)에 의존하는 반면 ABTS는 전자 이동(electron transfer) 기전도 포함하는 점에서 균주별 항산화 물질의 작용 기전이 상이할 것으로 사료된다.

낮은 pH 조건에서  $Fe^{3+}$ -TPTZ 복합체를 환원시키는 능력을 평가하는 FRAP 분석에서는 PB59가 0.04 mM(OD 593nm 기준)로 전체 균주 중 유의적으로 가장 높은 활성을 나타냈다(c군,  $p < 0.05$ ). KACC11451(a군)과 PB29a(a군)가 유사한 중간 수준을 보였으며, KCTC5033(b군)은 그 사이 수준으로 확인되었다. PB30b는 가장 낮은 FRAP 활성을 나타냈다. PB59의 높은 FRAP 활성은 산성 환경하에서도 강력한 환원력을 유지하는 항산화 물질을 다량 보유하고 있음을 의미하며, 위산 등 낮은 pH 환경에서의 기능성 발휘 측면에서 특히 주목할 만한 결과였다.

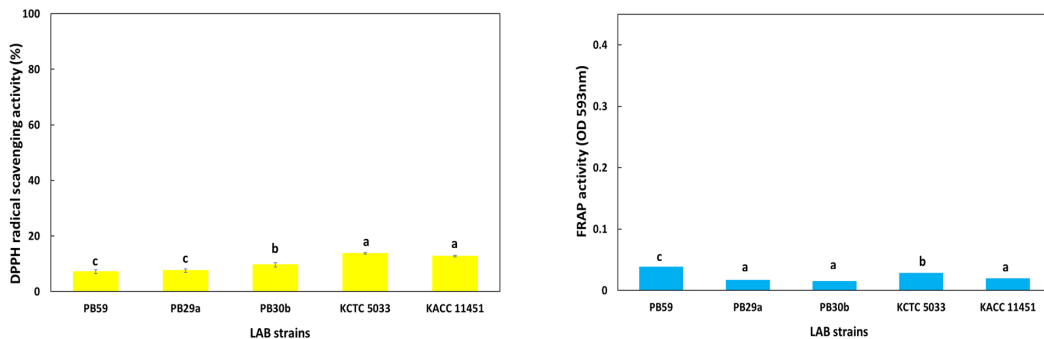


그림 26. 총 폴리페놀 함량 및 ABTS 라디칼 소거능

균주별로 항산화 활성의 우위 항목이 상이하였다. PB29a는 총 폴리페놀 함량에서 가장 우수한 성적을 나타낸 반면, PB59는 ABTS 라디칼 소거능과 FRAP 활성에서 탁월한 결과를 보였다. 이러한 균주 특이적 항산화 프로파일의 차이는 각 균주의 대사 산물 조성 및 세포벽 구성 성분의 차이에서 비롯된 것으로 추정된다. 유산균은 발효 과정에서 페놀산(phenolic acids), 플라보노이드(flavonoids) 등 다양한 폴리페놀성 물질을 생성하거나 기질로부터 방출시키는 것으로 알려져 있으며, 균주에 따라 생성되는 물질의 종류와 함량이 크게

다르다. 특히 PB59의 높은 FRAP 활성은 장내 산성 환경에서도 안정적인 항산화 기능을 발휘할 수 있음을 의미한다는 점에서 기능성 식품 소재로서의 활용 가능성을 높이 평가할 수 있다. 사균체 형태의 소재는 위산에 대한 높은 안정성이 이미 확인되어 있으므로, FRAP 활성과의 결합은 장내 환경에서의 산화 스트레스 억제 기능을 실질적으로 기대할 수 있는 근거가 되겠다.

### (시험 9) 종균 보급 및 상용화

시험 9는 선발된 특허 균주 및 기탁 균주를 지역 농식품 기업에 보급하고, 사용 목적과 제품 특성에 맞는 종균 활용 방법을 개발·지원함으로써 종균 현장 상용화 기반을 실질적으로 구축하기 위해 수행되었다. 1년차에서는 선발·동정된 특허 균주를 활용하여 도내 식품업체를 대상으로 총 5건의 기술이전을 체결하였다. 유산균 AFY-3는 ㈜진양씨푸드(젓갈 및 김치용)와 ㈜올마루(김치용)에 각각 이전되었으며, 효모 AFY-5는 ㈜소월로(샴푸바), AFY-6은 크래프트유니온협동조합(수제맥주), AFY-7은 감자아일랜드(수제맥주)에 이전되어 다양한 식품 분야에서 활용 기반을 마련하였다.



그림 27. 기술이전 업체 제품 출시 현황

기술이전 업체의 제품 출시 및 개발을 지원하기 위한 현장 컨설팅을 2건 실시하였다. 후레쉬푸드(2021.3.26.)를 대상으로 AFY-3를 활용한 김치 제조용 종균 보급 및 현장 테스트를 진행하였으며, 몽트비어(2021.05.11.)에는 AFY-7을 이용한 감자 맥주 제조를 위한 종균 보급 및 테스트를 실시하였다. 또한 마음바른농부 영농조합(2021.06.11.)을 방문하여 유산균을 활용한 숙성 흑도라지청 생산 방법을 모색하고 관련 방안을 제안하였다. 아울러 토착 종균을 이용한 발효식품 개발을 주제로 찾아가는 기술탐색단(2021.08.20.)을 개최하여 종균 소개 및 업체 상담을 진행하였으며, 토착종균의 현장 실용화 확대를 위한 기반을 구축하였다.

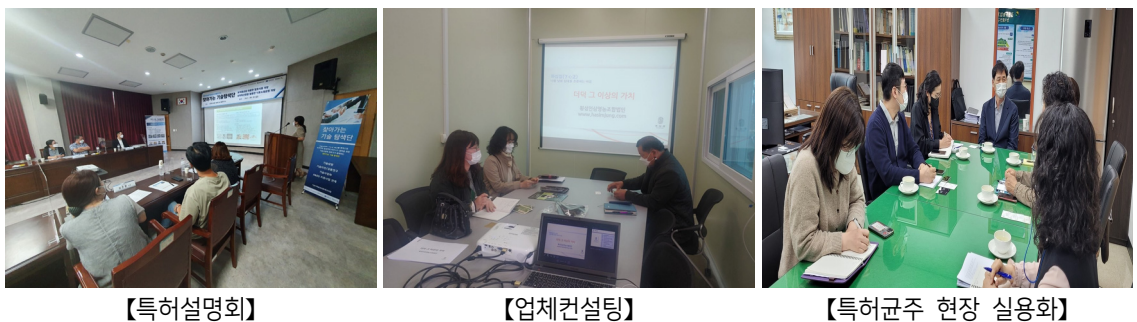


그림 28. 기술이전 업체 현장 컨설팅

2년차에서는 자체 발굴·특허 등록한 토착 유용미생물 AFY-2 고초균(*Bacillus subtilis*)의 현장 적용 가능성을 실증하고, 이를 지역 농식품 기업에 보급함으로써 실질적인 산업화 기반을 구축하기 위한 다각적 상용화 활동을 추진하였다. 먼저, ‘찾아가는 기술탐색단’ 프로그램을 유관 기관과 공동으로 개최하여 지역 농식품 관련 업체들을 대상으로 AFY-2 고초균의 특성, 활용 가능성, 관련 특허 내용 및 구체적인 사용 방법에 관한 설명회를 진행하였다. 이 설명회는 단순한 기술 소개에 그치지 않고, 업체 관계자들이 현장에서 직접 질의하고 전문가와 심층 논의할 수 있는 양방향 소통 창구로 운영되었다. 이를 통해 AFY-2 균주의 핵심 기능을 실무자에게 직접 전달함으로써, 기술에 대한 현장의 이해와 신뢰도를 높이는 데 기여하였다. 또한 기술 도입에 관심을 표명한 업체들을 대상으로 현장 방문 형태의 개별 컨설팅을 실시하였다. 연구 담당자가 직접 업체 생산 현장을 방문하여 기존 제조 공정의 특성을 파악하고, AFY-2 균주를 해당 업체의 원료·설비·제조 조건에 맞게 적용하는 방안을 구체적으로 검토하여 시제품 개발 단계에서 발생하는 기술적 문제에 대해 실시간으로 피드백을 제공하고, 제품의 품질 안정화 및 상품화 가능성을 높이기 위한 공정 개선 방향을 함께 수립하는 방식으로 지원이 이루어졌다. 이러한 맞춤형 현장 컨설팅은 단순한 기술 이전을 넘어, 수요 기업이 독자적으로 기술을 운영하고 발전시킬 수 있는 역량을 내재화하는 데 초점을 두고 진행되었다. 이러한 일련의 과정을 바탕으로 2022년도에는 AFY-2 고초균 관련 유상 기술이전 계약이 총 2건 체결되었다. 첫 번째 기술이전은 ㈜순정원을 대상으로 이루어졌으며, AFY-2 고초균을 활용한 장류 제조 방법을 핵심 내용으로 하는 기술 실시권이 부여되었다. ㈜순정원은 된장·간장 등 전통 발효식품의 제조·판매를 주력으로 하는 업체로, AFY-2 균주 도입을 통해 기존 제품과 차별화된 기능성 장류 라인업을 구축하는 것을 목표로 하였다. 두 번째 기술이전은 유기농파크와 체결되었으며, 동일하게 AFY-2 고초균 기반 장류 제조 방법에 대한 기술 실시 계약이 성사되었다. 유기농파크는 친환경·유기농 식품 분야에서 사업을 영위하는 업체로, 토착 미생물 자원을 활용한 고부가가치 유기 발효식품 개발에 AFY-2 균주를 접목함으로써 제품 경쟁력과 브랜드 신뢰도를 강화하는 방향으로 기술을 적용하였다.



그림 29. 종균 보급 및 상용화(2022년)




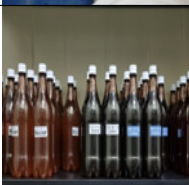
3년차에는 기 구축된 미생물은행의 양조효모를 현장에 보급하고 실용화하기 위하여 강원도 홍천 소재 맥주농담학교에서 현장 실증 실험을 수행하였다. 실험에는 자체 개발 효모 3종(AFY-6, AFY-7, AFY-17)과 시판효모 4종(US-05, BE-256, WB-06, W37/70)을 사용하였으며, Pale Ale, Dubbel, Stout, Golden Ale, Weizen 등 총 5개 타입의 맥주를 제조하여 양조 특성 및 품질특성을 비교·분석하였다.

맥주 제조는 재료 준비, 당화, 자비(Boiling), 냉각, 발효, 숙성의 6단계 공정을 거쳐 진행되었다. 재료 준비 단계에서는 물의 양을 곡물 대비 3~4배로 조정하고, pH 조정제를 첨가하여 양조통 내부를 pH 5.5로 유지하였다. 당화 단계에서는  $\beta$ -amylase(62~68°C)와  $\alpha$ -amylase(72~75°C)의 효소 활성을 이용하여 발효당과 비발효당을 생성하였고, 스파징 공정을 통해 곡물층에 잔류하는 당분을 최대한 추출하여 목표 알코올 도수를

확보하였다. 자비 단계에서는 홉을 순차적으로 투입하여 맥주의 쓴맛과 향을 결정하였으며, 냉각 단계에서는 칠러를 이용하여 23℃까지 온도를 낮춘 후 계량된 효모를 접종하여 1~2주간 발효를 진행하였다. 숙성 단계에서는 탄산화를 위한 설탕(맥주 1L 기준 5~7g)을 첨가한 후 4℃에서 약 2주간 저온 숙성하였다.

표 25. 맥주 제조공정 단계

단계	공정단계	제조방법	
1	재료 준비	물 준비	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 물의 양은 곡물의 3~4배를 준비하며, 곡물의 양에 맞추어 조절해 준다.</li> <li>- 곡물의 양이 10kg 이상이면 43L, 10kg 이하이면 45L를 준비한다.</li> </ul>
		곡물 준비 및 계량	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 곡물은 껍질있는 보리를 사용하며, 준비된 곡물을 원하는 양 만큼 계량한다.</li> <li>- 보리의 껍질은 여과막 작용을 해주므로 껍질있는 보리를 사용한다.</li> </ul>
		곡물 분쇄	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 계량된 곡물을 분쇄한다.</li> </ul>
		pH 조정제 첨가	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 분쇄된 곡물을 물에 넣기 전에 양조통 안의 물이 pH 5.5가 되도록 pH 조정제를 첨가해 준다.</li> <li>- pH 조정제는 물의 pH를 조절해 주며, 맥아즙의 수율을 높여준다.</li> </ul>
2	당화	곡물 첨가	물과 곡물 및 양조 장비의 준비가 끝나면 분쇄된 곡물을 저어주며 넣어준다.
		침지(당화)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 효소활성을 위한 단계이며, <math>\beta</math>-amylase와 <math>\alpha</math>-amylase가 작용한다.</li> <li>1) <math>\beta</math>-amylase: 발효당으로 알코올을 만들며, 적정온도는 62~68℃</li> <li>2) <math>\alpha</math>-amylase: 비발효당으로 효소를 사멸시켜주며 적정온도는 72~75℃</li> </ul>
		매쉬 아웃	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 양조 장비의 통을 올려 고정시킨 후, 맥아즙이 다 빠져 나올때까지 진행한다.</li> </ul>
		스파징 및 최종물량 맞추기	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 75℃ 정도의 뜨거운 물을 매쉬 아웃 단계가 끝난 양조장비 통에 부어준다.</li> <li>- 이 과정은 곡물층에 남아 있는 당분을 최대한 추출하고, 계획한 최종 물 양을 맞추어 알코올 도수를 결정해주는 단계</li> </ul>

단계	공정단계	제조방법
3	자비 (끓이기: Boiling)	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 양조 장비의 온도를 최대한으로 설정해준다. 자비는 끓이면서 순차적으로 홉을 추가하여 맥주의 쓴맛과 향을 결정하는 과정</li> <li>- <b>홉 첨가:</b> 맥주 스타일에 맞게 홉을 준비한 뒤, 첨가할 시간과 온도를 결정해준다.</li> <li>- 홉이 준비되면 끓고 있는 맥아즙에 순차적으로 첨가</li> </ul>
4	냉각	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>단백질 응고제, 효모 영양제 첨가</b></li> <li>- 소량의 맥아즙에 미리 용해시킨 첨가물들을 맥아즙에 넣어준다.</li> <li>- 첨가 시간: 자비가 끝나기 약 15분 전</li> </ul>
5	발효 효모접종· 발효	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 칠러를 연결하여 23°C까지 냉각시켜준다. 칠러는 단백질 응고제와 효모 영양제를 첨가해줄때 같이 양조 장비에 미리 넣어 소독해준다</li> <li>- 발효조는 스타산으로 꼼꼼히 소독시켜 준 후, 별도의 세척 없이 사용한다.</li> <li>- 발효조가 준비 되면 냉각이 끝난 맥아즙을 받는다. 이때, 양조 장비와 발효조 사이에 낙차를 주어 맥아즙에 산소가 충분히 공급되도록 한다.</li> <li>- 비중계를 이용하여 맥아즙의 비중을 측정한다</li> <li>- 맥아즙이 들어있는 발효조에 계량된 효모를 접종한다.</li> <li>- 1~2주 발효한다</li> </ul>
6	병입·탄산화 숙성	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 알코올 발효가 끝난 발효조와 병입 할 병을 준비한다.</li> <li>- 탄산화 과정에 필요한 설탕은 맥주 1L기준으로 5~7g 첨가하며, 병입 시 병 내부의 공기를 최대한 제거해준다.</li> <li>- 4°C에서 약 2주간 숙성시켜 준다.</li> </ul>

Pale Ale 유형에서 US-05 처리구는 알코올 함량 6.38% (v/v), 최종 비중 1.0071, 당도 6.4 Brix°, pH 4.69를 나타내었으며, AFY-6 처리구는 알코올 함량 5.69% (v/v), 비중 1.0141, 당도 7.6 Brix°, pH 4.69로 측정되었다. 발효 기준 비중(1.054) 대비 최종 비중의 감소 폭은 US-05 처리구( $\Delta 0.0469$ )가 AFY-6 처리구( $\Delta 0.0399$ )보다 크게 나타나, US-05의 발효 감쇠도(attenuation)가 상대적으로 높음을 확인하였다. 이는 US-05 처리구에서 발효성 당의 소비가 보다 활발하게 이루어진 결과로 해석되며, 높은 알코올 함량과도 일치하는 경향을 보인다. 반면 AFY-6 처리구는 잔존 비중 및 당도가 다소 높아 미발효 잔당이 상대적으로 많이 남아 있는 것으로 판단된다. pH는 두 처리구 모두 4.69로 동일하여, 균주 종류에 관계없이 Pale Ale 유형의 산 생성 패턴은 유사하게 나타났다. Weizen 유형에서 WB-06 처리구는 알코올 함량 5.61% (v/v), 비중 1.0053, 당도 5.4 Brix°, pH 4.07로 측정되었으며, AFY-7 처리구는 알코올 함량 4.87% (v/v), 비중 1.0126, 당도 6.7 Brix°, pH 4.82를 나타내었다. 발효 기준 비중(1.040) 대비 최종 비중 감소 폭은 WB-06 ( $\Delta 0.0347$ )이 AFY-7( $\Delta 0.0274$ )보다 크게 나타났으며, 알코올 함량에서도 WB-06이 0.74%p 높아 WB-06의 발효 효율이 전반적으로 우수한 것으로 확인되었다. 특히 WB-06의 최종 비중 1.0053과 낮은 잔당(5.4 Brix°)은 발효성 당의 완전한 소비에 근접하였음을 나타낸다. pH는 WB-06(4.07)이 AFY-7(4.82) 대비

현저히 낮아, 발효 과정에서의 유기산 생성 능력에서도 두 처리구 간 뚜렷한 차이가 확인되었다. AFY-7의 경우 발효 감쇠도와 알코올 생성 측면에서 상용 균주에 비해 다소 열위에 있으나, 앞서 관능평가 결과에서 바디감 및 탄산감이 우수하게 평가된 점을 고려할 때, 발효 조건의 최적화를 통해 품질 향상이 가능할 것으로 사료된다.

쌀로비어(W37/70)는 알코올 함량 5.50% (v/v), 비중 1.0127, 당도 7.3 Brix°, pH 4.84로 측정되었으며, 감자맥주(W37/70)는 알코올 함량 6.73% (v/v), 비중 1.0134, 당도 8.1 Brix°, pH 5.16을 나타내었다. 동일한 균주(W37/70)를 사용하였음에도 불구하고 알코올 함량에서 감자맥주(6.73% v/v)가 쌀로비어(5.50% v/v)보다 약 1.23%p 높게 나타난 것은, 감자 유래 발효성 당의 함량 또는 조성이 쌀 대비 알코올 생성에 더 유리한 기질 환경을 제공하였기 때문으로 사료된다. 비중과 당도는 두 처리구 간 유사한 수준을 보였으나, pH는 감자맥주(5.16)가 쌀로비어(4.84) 대비 다소 높게 나타나 유기산 생성이 상대적으로 적었음을 시사한다. 감자맥주의 pH 5.16은 본 연구 전 처리구 중 가장 높은 수치로, 감자 원료 특성상 완충 능력이 높거나 산 생성을 억제하는 성분이 존재할 가능성을 배제할 수 없으며, 추가적인 원료 분석이 요구되었다.

전체 처리구의 품질특성 결과를 종합하면, 알코올 함량은 Dubbel BE-256 처리구(7.28% v/v)에서 가장 높았으며, Stout AFY-17 처리구(4.97% v/v)에서 가장 낮게 나타났다. 유형별 발효 기준 비중 대비 최종 비중의 감소 폭을 기준으로 발효 효율을 평가한 결과, 대부분의 유형에서 상용 균주 처리구가 자체 분리 균주(AFY 시리즈) 대비 높은 발효 감쇠도를 나타내었다. 이는 장기간의 균주 개량 및 발효 최적화가 이루어진 상용 균주에 비해 자체 분리 균주의 발효 능력이 전반적으로 아직 개선의 여지가 있음을 의미한다. 그러나 Golden Ale 유형에서 AFY-17이 AFY-6 대비 우수한 발효 감쇠도를 나타내고, Weizen 유형에서 AFY-7이 관능 품질에서 우위를 보인 점 등을 고려할 때, 자체 분리 균주의 맥주 유형별 특화 적용 및 발효 조건 최적화를 통해 상용 균주에 준하는 품질 구현이 가능할 것으로 판단된다. 아울러 pH의 경우 전 처리구에서 맥주의 적정 pH 범위(4.0~5.0)에 대체로 부합하는 수치를 나타내어, 자체 분리 균주를 포함한 모든 처리구에서 산 생성 측면의 발효 안정성이 확보된 것으로 사료된다.

표 26. 맥주타입 및 효모별 품질특성

맥주타입	균주	<sup>z</sup> 알코올함량(%v/v)	비중	당도(Brix°)	pH
Pale Ale	US-05	6.38	1.0071	6.4	4.69
	AFY-6	5.69	1.0141	7.6	4.69
Dubbel	BE-256	7.28	1.0114	8.1	4.22
	AFY-6	6.19	1.0189	9.4	4.58
Stout	US-05	5.86	1.0192	9.2	4.29
	AFY-17	4.97	1.0267	10.4	4.90
Golden Ale	AFY-6	5.02	1.0089	5.8	4.77
	AFY-17	5.08	1.0056	5.2	4.64
Weizen	WB-06	5.61	1.0053	5.4	4.07
	AFY-7	4.87	1.0126	6.7	4.82
쌀로비어	W37/70	5.50	1.0127	7.3	4.84
감자맥주	W37/70	6.73	1.0134	8.1	5.16

<sup>z</sup> 맥주타입별 발효기준 비중: 페일에일(1.054), 듀벨(1.062), 스타우트(1.060), 골든에일(1.040), 바이젠(1.040)

맥주 12종을 약 20명을 대상으로 한 관능평가 결과를 전체적으로 종합하면, 전체 기호도에서 가장 높은 평가를 받은 처리구는 감자맥주(5점)이었으며, 가장 낮은 평가를 받은 처리구는 Golden Ale AFY-17 처리구 (2점)로 나타났다. 맥주 유형별로는 Stout 유형에서 두 처리구 모두 4점 이상의 안정적인 관능 품질을 나타낸 반면, Golden Ale 유형에서는 처리구 간 기호도 편차가 가장 크게 나타나 균주 선택이 해당 유형의 품질에 결정적인 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

자체 분리 균주(AFY 시리즈)와 상용 균주 간의 비교에서는, AFY-6이 Pale Ale 및 Dubbel 유형에서 상용 균주와 동등하거나 일부 항목에서 우수한 결과를 나타내었고, AFY-7이 Weizen 유형에서 바디감 및 탄산감 측면에서 상용 균주를 상회하는 결과를 보여 주목할 만하다. 반면 AFY-17은 Stout 유형에서는 상용 균주와 동등한 품질을 구현하였으나, Golden Ale 유형에서는 색감 발현의 한계로 전체기호도가 현저히 낮게 나타나 균주의 용도, 특화적 적용이 중요함을 재확인하였다. 이상의 결과는 자체 분리 균주의 맥주 유형별 선택적 적용과 함께, 색감·탄산감 등 특정 항목이 취약한 처리구에 대한 발효 공정 최적화 및 원료 배합 개선이 병행될 경우 전반적인 관능 품질의 향상이 가능할 것으로 판단된다.

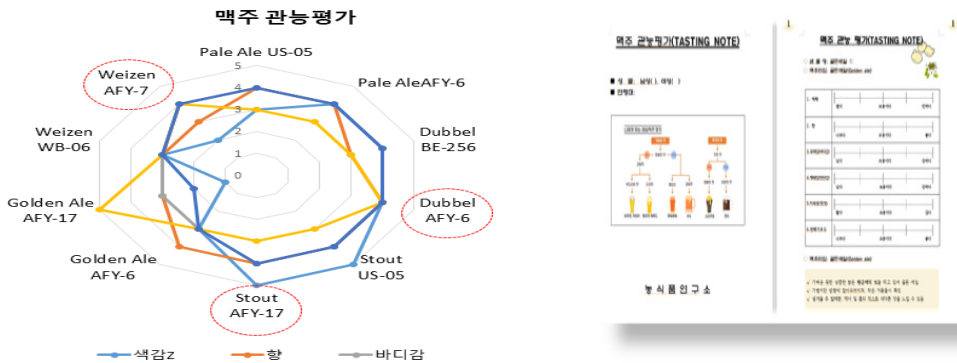


그림 30. 효모 및 양조타입별 맥주 관능 평가

효모(시판, AFY-17) 이용 맥아 대신 메일 50% 이용 당화액을 제조하여 맥주를 제조하여 품질특성을 분석하였다. 메일 당화 맥아즙의 초기 비중은 1.049로 측정되었으며, 발효 완료 후 AFY-17 처리구는 1.012, 시판효모 처리구는 1.022로 각각 감소하였다. 비중의 감소는 효모에 의한 당 소비 및 알코올 생성에 기인하며, AFY-17 처리구가 시판효모 대비 더 낮은 비중을 나타내어 발효 진행 정도가 상대적으로 더 높았음을 시사한다. 최종 비중이 낮을수록 잔존 발효성 당이 적음을 의미하므로, AFY-17 처리구의 발효 효율이 더 우수한 것으로 판단된다. 발효 후 알코올 함량(Alcohol Content)은 AFY-17 처리구 7.03% (v/v), 시판효모 처리구 8.50% (v/v)로 나타났다. 초기 맥아즙의 알코올 함량은 0.15% (v/v)로 거의 측정되지 않았으나, 발효를 통해 두 처리구 모두 유의미한 알코올 생성이 확인되었다. 시판효모가 AFY-17에 비해 약 1.47%p 높은 알코올 함량을

나타내었으며, 이는 시판효모의 발효성 당 이용률이 상대적으로 높거나 알코올 생성 대사 경로가 더 활발하게 진행되었음을 의미한다. 두 처리구 모두 일반적인 맥주의 알코올 함량 범위(4~8% v/v)에 해당하거나 근접하여, 메밀 50% 대체 원료로서의 양조 적합성이 확인되었다. 당도는 초기 맥아즙 12.27 Brix°에서 발효 후 AFY-17 처리구 7.03 Brix°, 시판효모 처리구 8.50 Brix°로 감소하였다. 당도의 감소는 효모에 의한 발효성 당의 소비를 직접적으로 반영하며, AFY-17 처리구가 더 낮은 잔당을 나타내어 발효 소비율이 더 높음을 확인할 수 있었다. 한편, 알코올 함량과 당도 수치가 AFY-17에서 동일하게 7.03으로 나타난 점은 해당 처리구의 발효 대사 균형을 보여주는 특이적 결과로 해석될 수 있다. 발효 전 맥아즙의 pH는 5.68이었으며, 발효 후 AFY-17 처리구 4.37, 시판효모 처리구 4.69로 감소하였다. AFY-17 처리구에서의 pH 저하 폭이 더 크게 나타났으며, 이는 발효 과정에서 유기산 생성이 상대적으로 활발하게 이루어졌음을 나타낸다. 산도(Acidity) 역시 초기 0.17%에서 발효 후 AFY-17 0.39%, 시판효모 0.37%로 모두 증가하였으며, 두 처리구 간 산도 차이는 통계적으로 미미한 수준이었다. 일반적으로 맥주의 적정 pH는 3.8~4.5 범위로 알려져 있으며, 두 처리구 모두 이 범위 내에 포함되어 산미 균형 측면에서 양호한 품질특성을 나타내었다.

표 27. 메밀당화 맥아즙 및 효모(2종) 처리 맥주의 품질특성 비교

처리구	비중	알코올함량(%v/v)	당도(Brix°)	pH	산도(%)
맥아즙	1.049±0.000	0.15±0.023	12.27±0.06	5.68±0.00	0.17±0.00
AFY-17	1.012±0.000	7.03±0.06	7.03±0.058	4.37±0.01	0.39±0.01
시판효모	1.022±0.000	8.50±0.00	8.50±0.000	4.69±0.01	0.37±0.01

총 플라보노이드 함량은 초기 맥아즙 0.27 mg Rutin/mg에서 발효 후 AFY-17 및 시판효모 처리구 모두 0.31 mg Rutin/mg으로 증가하였다. 이는 발효 과정에서 효모의 대사 작용 또는 메밀 유래 배당체(glycoside) 형태의 플라보노이드가 비배당체(aglycone) 형태로 전환되어 생물학적 이용 가능성이 높아졌기 때문으로 추정된다. 특히 메밀에 풍부하게 함유된 루틴(rutin)이 발효 과정에서 퀘르세틴(querctetin)으로 전환되는 가능성을 고려할 때, 발효 맥주의 기능성 측면에서 긍정적인 결과로 평가된다. 총 폴리페놀(Total Phenol) 함량은 초기 맥아즙 0.43 mg GAE/ml에서 발효 후 AFY-17 0.41 mg GAE/ml, 시판효모 0.40 mg GAE/ml로 소폭 감소하였다. 이는 발효 과정에서 폴리페놀 일부가 효모 세포벽 성분과 결합하거나 산화 반응 등에 의해 변성·소실된 결과로 해석된다. 그러나 감소 폭이 크지 않아 메밀 유래 폴리페놀의 발효 안정성은 비교적 양호하게 유지된 것으로 판단되며, 대조구(0.4 mg GAE/ml)와 비교하였을 때 두 처리구 모두 유사한 수준의 폴리페놀 함량을 나타내었다. DPPH 라디칼 소거 활성은 초기 맥아즙 14.62%에서 발효 후 AFY-17 6.30%, 시판효모 10.81%로 감소하였다. 두 처리구 모두 발효 후 활성이 저하되었으나, 시판효모 처리구가 AFY-17보다 더 높은 소거 활성을 유지하였다. 이는 AFY-17 발효 과정에서 항산화 물질의 소비 또는 구조적 변형이 더 크게 일어났음을 시사한다. 대조구(비타민 C, 0.5 mg/ml) 기준 17.74%와 비교 시, 두 처리구 모두 낮은 수준을 나타내었으나, DPPH 측정값의 표준편차가 크게 나타난 점(AFY-17: ±6.35)은 측정 재현성 또는 샘플 균질성 측면에서 추가적인 검토가 필요함을 시사한다. ABTS+ 라디칼 소거 활성은 초기 맥아즙 52.80%에서 발효 후 AFY-17 49.47%, 시판효모 49.89%로 소폭 감소하였으며, 두 처리구 간 유의미한 차이는 관찰되지 않았다. DPPH 소거 활성에 비해 감소 폭이 매우 작아, 수용성 항산화 활성(ABTS 기반)의 안정적 유지가 확인되었다. 그러나 대조구(93.70%) 대비 현저히 낮은 수준으로, 메밀 발효 맥주의 항산화 기능을 극대화하기 위한 추가적인 공정 최적화가 요구된다.

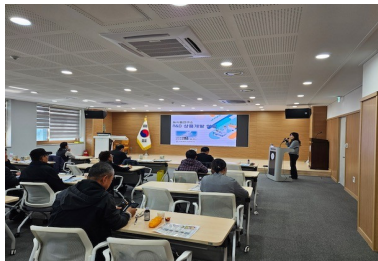
표 28. 메밀당화 맥아즙 및 효모(2종) 제조한 맥주의 항산화 활성 비교

처리구	Total flavonoid (mg Rutin/mg)	Total phenol (mg GAE/ml)	DPPH radical scavenging activities	ABTS+ radical scavenging activities
메밀당화맥아즙	0.27±0.01	0.43±0.00	14.62±7.19	52.80±1.30
AFY-17	0.31±0.01	0.41±0.00	6.30±6.35	49.47±1.09
시판효모	0.31±0.01	0.40±0.00	10.81±4.35	49.89±2.22
대조구	0.30 (Rutin 0.5mg/ml)	0.4 (GAE 0.019mg/ml)	17.74 (vit-c 0.5mg/ml)	93.70 (vit-c 0.5mg/ml)

4년차에서는 총 4종의 종균을 대상으로 보급 및 상용화를 추진하였다. 고초균 AFY-2는 도 내 농가 및 식품 가공업체 등 약 50명을 대상으로 종균 1g 및 사용설명서를 제공하는 방식으로 배포되었으며, 이와 병행하여 홍보 및 교육 활동이 실시되었다. 양조용 효모 3종(AFY-5, AFY-6, AFY-17)을 이용한 맥주 제조법을 도내 업체에 기술이전 하였다.



【종균 테스트 및 양조특성】



【우수 종균 활용 상품화 교육】



【종균(AFY-2) 1g, 사용설명서】

그림 31. 종균 보급 및 상용화

지역특산물 쌀을 기반으로 엿기름과 몰트를 각각 당화원으로 활용하여 제조한 쌀 맥주의 품질 특성을 비교·분석하였다. 실험 결과, 당화원의 종류에 따라 발효 전후의 이화학적 특성 및 색도, 발효도가 유의적인 차이를 나타내는 것으로 확인되었다. 발효 전 맥아즙의 특성을 살펴보면, 몰트를 사용한 처리구는 비중(1.051)과 당도(13.0 °P)가 엿기름 처리구(비중 1.042, 당도 11.0 °P)에 비해 유의적으로 높은 값을 나타냈다. 이는 몰트가 균일한 발아 및 건조 과정을 통해  $\alpha$ -amylase와  $\beta$ -amylase 활성이 안정적으로 유지되며, 특히 발효에 이용 가능한 맥아당(maltose)을 효과적으로 생성하기 때문으로 판단된다. 반면 엿기름은 전통적인 제조 방식에 의해 효소 활성의 균일성이 상대적으로 낮고, 당 생성 효율이 제한되어 초기 당 농도가 낮게 형성된 것으로 사료된다. 색도의 경우, 명도(L)는 엿기름 처리구가 더 높았으며, 적색도(a) 및 황색도(b)는 몰트 처리구에서 유의적으로 높게 나타났다. 이는 몰트 제조 과정 중 킬닝(kilning)에 의해 마이야르 반응 생성물인 멜라노이딘이 형성되어 색상이 진해진 결과로 사료된다.

발효 후 14일차 품질 특성을 분석한 결과, 몰트 처리구의 알코올 함량은 6.44%로 엿기름 처리구(5.58%)보다 유의적으로 높게 나타났다( $p < 0.001$ ). 이는 발효 전 높은 당 농도에 기인하여 효모가 이용할 수 있는 기질이 충분히 제공되었기 때문으로 해석된다. 반면 최종 비중은 엿기름 처리구가 1.008로 몰트 처리구(1.011)보다 낮았으며, 당도 역시 엿기름 처리구(6.2 °P)가 더 낮은 값을 보였다. 이러한 결과는 엿기름 처리구에서 당의 분해 및 소비가 보다 활발히 이루어졌음을 의미하는 것으로 특히 발효도는 엿기름 처리구에서 80.0%로 몰트

처리구(76.6%)보다 유의적으로 높게 나타났는데, 이는 엿기름에서 생성된 당 조성이 상대적으로 단당류 또는 저분자 당 비율이 높아 효모에 의해 보다 완전하게 이용되었기 때문으로 판단되었다. 그러나 총 생성 가능한 당량 자체는 몰트 처리구가 더 많았기 때문에, 결과적으로 알코올 생성량은 몰트 처리구에서 더 높게 나타나는 상반된 경향이 관찰된 것으로 사료된다.

표 29. 엿기름 및 몰트 이용 쌀 맥주 제조 비율

구분(g)	엿기름	페일몰트	스페셜몰트	쌀	홉 <sup>y</sup>	효모
쌀+몰트		30,000	5,000	10,000	4,000	60
쌀+엿기름	35,000	-	5,000	10,000	4,000	60

<sup>y</sup>홉: l(모자익, 씬코, 씨트라, 아마밀로)

표 30. 쌀맥주 발효 품질 특성 분석

	처리구	알코올함량(%V/V)	비중	당도(°P)	발효도
발효 전 (0일차)	쌀+몰트	0.12±0.03	1.051±0.0***	13.0±0.0	
	쌀+엿기름	0.06±0.02	1.042±0.0	11.0±0.0	
발효 후 (14일차)	쌀+몰트	6.44±0.07***	1.011±0.0***	7.7±0.0***	76.6±0.4
	쌀+엿기름	5.58±0.03	1.008±0.0	6.2±0.1	80.0±0.5*

색도 변화에서도 동일한 경향이 유지되었으며, 몰트 처리구는 발효 후에도 적색도와 황색도가 높게 유지되어 보다 진한 색상을 나타낸 반면, 엿기름 처리구는 상대적으로 밝고 연한 색을 유지하였다. 이는 당화 원료의 열처리 이력과 색소 전구체 생성 정도의 차이에 기인하는 것으로 사료되었다. 종합적으로 볼 때, 몰트는 높은 당 생성 능력과 이에 따른 알코올 생산에 유리하며, 동시에 맥주의 색과 바디감을 강화하는 특성을 나타낸다. 반면 엿기름은 발효도가 높아 잔당이 적고 보다 드라이한 특성을 부여하지만, 전체적인 알코올 생성량은 제한적인 것으로 나타났다. 따라서 쌀 맥주의 품질 설계에 있어서는 목표하는 제품 특성에 따라 당화원을 선택하거나, 두 원료를 적절히 혼합하여 사용하는 전략이 필요할 것으로 사료된다.

표 31. 쌀맥주 색도 분석

	처리구	색도		
		L	a	b
발효 전 (0일차)	쌀+몰트	89.5±0.2	-1.9±0.1*	28.7±0.1***
	쌀+엿기름	91.9±0.0***	-2.3±0.0	18.7±0.0
발효 후 (14일차)	쌀+몰트	86.1±0.0	0.45±0.0***	32.6±0.0***
	쌀+엿기름	88.8±0.0***	-0.26±0.0	23.0±0.0

5년차에는 기탁 및 특허균주 총 7종을 도내 10개 업체에 보급하였으며, 업체별 용도에 맞는 활용 방법에 대한 현장컨설팅을 병행하였다. 특히 AFY-24(*Bacillus velezensis*) 특허균주로 발효한 콩 분말을 활용한 제품의 산업화가 추진되었으며, 3건의 기술이전이 완료되었다. (주)제이제이웍스에는 신규한 사카로마이세스

세레비지에 AFY-17 균주 및 이를 이용한 발효식품 기술이 이전되었으며, 부일농산에는 비독성 신규 바실러스 서브틸리스 균주 및 장류 발효기술이 이전되었다. 또한 신규 바실러스속 균주를 이용한 발효식품 기술에 대한 기술이전도 추가로 완료되었다. 컨설팅은 흥천 장수풍뎅이학교, (주)웰빙엘에스, 황성군농업기술센터, 건작식품 등 4개 기관을 대상으로 실시하였다.

표 32. 종균보급 및 실용화

NO	종 균	업체명	비고
1	AFY-2( <i>Bacillus subtilis</i> )	흥천 장수풍뎅이 학교	종균 활용 청국장
2	AFY-2( <i>Bacillus subtilis</i> )	정선푸드팜	청국장
3	AFY-16( <i>Bacillus subtilis</i> )	정선푸드팜	청국장
4	AFY-24( <i>Bacillus velezensis</i> )	정선푸드팜	청국장제조
5	AFY-2( <i>Bacillus subtilis</i> )	건작식품	콩품종 다른 생균수
6	AFY-24( <i>Bacillus velezensis</i> )	우노팜	쉐이크제조용
7	AFY-7, 17, 22( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	(주)웰빙엘에스	알콜발효용
8	AFY-17( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	제이제이웍스	효모 발효물
9	AFY-2( <i>Bacillus subtilis</i> )	부일농산	청국장제조
10	AFY-16( <i>Bacillus subtilis</i> )	영월군농업기술센터	콩발효



그림 32. 종균 보급 및 현장컨설팅

## 4 적 요

### <제1세부과제: 용도별 종균 소재 개발 및 상용화>

#### (시험 1) 식품산업 용도별 균주 분리

- 가. 발효미생물 은행에 구축된 유산균 672주와 효모 576주를 대상으로 환경 내성 특성을 평가하여 식품산업 활용 가능성이 높은 우수 균주를 선발하였음.
- 나. 유산균의 경우 30% Dextrose 고농도 내당성 균주 54주, 10% NaCl 내염성 균주 33주, 10℃ 저온 생육 균주 287주, pH 4 내산성 균주 74주를 각각 확보. 효모는 30% Dextrose 내당성 균주 63주, 15% NaCl 고염 내성 균주 8주, 15℃ 저온 생육 균주 235주, 아황산(200ppm) 내성 균주 9주를 선발하였음. 선발된 균주는 염기서열 분석 및 API 키트를 통해 동정·기탁을 완료 하였음.

## (시험 2) 절임식품의 발효적합성 평가

가. 유산균(AFY-3) 접종은 김치의 산도·pH를 인위적으로 크게 왜곡하지 않으면서 발효 초기의 품질 안정성을 높이고 적숙기 도달을 앞당기는 데 긍정적으로 기여하는 것으로 판단됨.

## (시험 3) 기탁균주 분말화 조건 설정

- 가. AFY-8(효모) 균주 최적 분말 조건: Sucrose 2% + Ascorbic acid 0.5% + Glucose 0.5% + Skim milk 10% → 6개월(4℃) 생균수 8.E+06 log cfu/g
- 나. AFY-9(유산균) 균주 최적 분말 조건: Suc2%+Asc0.5%+Glu0.5%+SM10% 처리 시 6개월(4℃) 5.E+09 log cfu/g 유지
- 다. Lab scale 최적 배지: AFY-8 → 30℃, pH8, Sucrose, Peptone No.3+Beef+Yeast extract / AFY-9 → 35℃, pH8, Sucrose, Yeast Extract

## (시험 4) 제빵용 균주 가이드라인 설정

- 가. 분말효모(AFY-8) 이용 1차 발효원종 제조 가이드 확립 (효모분말 2%, 밀가루 5%, 설탕 1%, 물 300ml 기준)
- 나. 천연 발효원종(AFY-8)은 부피 팽창과 부드러움에 집중하는 소프트 계열 제빵보다는 치아바타, 바게트, 사워도우와 같은 하드 계열(Hard-type) 제빵에 최적화된 물성 프로파일을 보유하고 있음. 특히 발효 시간에 따른 물성 안정성이 우수하여, 일정한 품질의 기능성 발효빵 생산을 위한 원천 소재로서 높은 활용 가치를 지닌 것으로 평가됨

## (시험 5) 발효식품 활용 분리자원 DB 구축

- 가. 2023년도에 근채류 및 과일류 등 43종의 분리자원으로부터 총 353주의 미생물이 분리·구축되었으며, 이를 균주 유형별로 분류하면 고초균 173주(23N1~23N173), 효모 90주(23Y1~23Y90), 유산균 90주(23M1~23M90)를 구축하였음.
- 나. 2024년도에는 전통 발효식품 30종으로부터 고초균 120주, 효모 68주, 유산균 84주 등 총 272주의 미생물을 신규 분리·등록하였음.

## (시험 6) 조미용 우수균주 선발

가. 288주의 고초균을 대상으로 환경 내성, 효소활성, 안전성을 포함한 종합적 특성평가를 수행하여 식품 적용 가능 우수 균주를 선발하였음. 특히 식품 원료 등재 가능한 *Bacillus velezensis* 26주 및 *Bacillus subtilis* 5주 등의 동정을 통해 실용화 가능한 균주 자원을 확보하였음.

## (시험 7) 신규 발효미생물 분리

- 가. 고당도 조건에서 활성 가능한 신규 미생물 수집을 위해 잼 등 50종의 발효자원으로부터 총 144주의 균주를 분리하였고 그중 30~77.4 Brix 조건에서 활성이 가능한 고초균 28주, 효모 16주, 유산균 12주를 최종 선발하였음
- 나. 누적 발효미생물 균주은행은 총 7,509주(효모 4,360주, 유산균 1,749주, 고초균 1,241주)로 확대함

## (시험 8) 기능성 유산균 스크리닝

- 가. PB29A 및 PB30B는 이 신호 연쇄에서 Src의 인산화 및  $I\kappa B\alpha$ 의 인산화를 동시에 억제함으로써 NF $\kappa$ B의 핵 내 이동을 차단하고, 최종적으로 다수의 염증 매개 유전자 발현을 전사 수준에서 억제함
- 나. 선발된 PB59, PB29a, PB30b는 대식세포 내 주요 염증 유전자인 IL-1 $\beta$ , iNOS, COX-2, IL-6의 mRNA 발현을 동시에 억제함으로써 다표적(multi-target) 항염증 활성을 보유하고 있음을 확인하였고, 이는 단일 염증 경로를 차단하는 화학 합성 소재와 달리, 유산균 사균체가 염증 신호 전달 네트워크 전반에 걸쳐 포괄적인 조절 효과를 발휘할 수 있음
- 다. PB59 유산균 사균체의 높은 FRAP 활성은 장내 산성 환경에서도 안정적인 항산화 기능을 발휘할 수 있음을 의미한다는 점에서 기능성 식품 소재로서의 활용 가능성을 높이 평가할 수 있음

## (시험 9) 종균 실용화 및 보급

- 가. (1년차) 특허 균주(AFY-3, 5, 6, 7)이용한 수제맥주 제조방법 등 5건 체결하였고, 현장컨설팅을 실시하였음
- 나. (2년차) 특허균주(AFY-2 고초균) 유상기술이전 2건 체결 및 '찾아가는 기술탐색단' 공동 개최를 통해 미생물 관련 특허·사용법 설명으로 종균 상용화 추진
- 다. (3년차) 양조효모 실용화를 위해 5개타입의 맥주를 제조하여 시판효모와 품질을 비교한 결과 AFY-17는 Stout 타입의 낮은 발효 효율을 통한 높은 바디감과 잔당감 유지에 탁월하며, AFY-6는 Dubbel 및 Pale Ale 타입의 중등도 발효도로 벨기에 스타일 맥주의 복합적인 풍미 형성에 적합함. AFY-7는 Weizen 타입의 산미 조절 능력이 우수하며 부드러운 텍스처 구현 가능하였음.
- 라. (4년차) 4종의 종균을 대상으로 보급 및 상용화를 추진하였으며 고초균 AFY-2는 도내 농가 및 식품 가공업체 등 약 50명을 대상으로 종균 1g 및 사용설명서를 제공하는 방식으로 보급되었으며 효모 AFY-5, AFY-6, AFY-17를 이용한 맥주 제조방법이 도내 업체에 기술이전 됨
- 마. (5년차) 기탁 및 특허균주 총 7종을 도내 10개 업체에 보급하였으며, 업체별 용도에 맞는 활용 방법에 대한 현장 컨설팅을 병행하였음. 특히 AFY-24(*Bacillus velezensis*) 특허균주로 발효한 콩 분말을 활용한 제품의 산업화 등 3건의 기술이전이 추진됨.

## 5 인용문헌

- 장해춘, 오상현. 2007. 젓갈로부터 분리한 내염성 유산균의 특성 및 김치 스타터로서의 적용. 한국식품과학회지. 39(3):262-268.
- 이종훈, 박완수, 차성관. 2011. 발효미생물 은행 구축 및 우수 균주 선별을 위한 스크리닝 기술 개발. 한국미생물학회지. 47(2):115-123.
- 여수환, 최한석, 이창현, 정석태. 2009. 전통 발효식품 유래 효모의 분리 동정 및 발효 특성 평가. 한국식품저장유통학회지. 16(5):727-733.
- 김영수, 박신영, 이종훈. 2010. *Bacillus subtilis*를 이용한 청국장 발효 특성 및 항균 활성. 한국미생물·생명공학학회지. 38(4):421-428.
- 박희동, 최한석. 2005. 전통 발효식품으로부터 분리한 효모의 제빵 적성 평가. 한국식품저장유통학회지. 12(6):612-618.
- 배우근, 장해춘. 2011. 동결건조 유산균 분말 제조를 위한 부형제 선별 및 저장 안정성. 한국식품과학회지. 43(2):183-190.

오훈일, 김영만, 권오진. 2009. 국내 자생 효모를 이용한 천연 발효종의 제조 및 제빵 특성. 한국식품영양과학회지. 38(9):1245-1252.

이삼빈, 고경희, 양희천. 2003. 전통 메주로부터 분리한 *Bacillus subtilis*의 단백질 분해 효소 활성 및 된장 발효에의 적용. 한국식품과학회지. 35(3):441-447.

정도연, 최신양. 2015. 천연 발효종 유래 유산균의 항산화 활성 및 제빵 품질 특성. 한국식품조리과학회지. 31(5):578-586.

강현우. 2014. 메밀 추출물의 항산화 및 항염증 효능. *Culinary Science & Hospitality Research*. 20(6):190-199.

정의정, 김경섭, 박지영, 정철. 2019. 전통누룩으로부터 분리한 효모의 쌀맥주 발효 특성 연구. 한국산학기술학회논문지. 20(11):376-385.

이영복, 고동준, 정철. 2019. 누룩에서 분리한 양조용 효모를 이용한 쌀맥주의 품질특성 연구. 한국산학기술학회논문지. 20(12):340-347.

이상혁, 최규택, 최준수, 이종현, 이새벽. 2024. MBA 포도 첨가에 따른 ALE 맥주의 발효 및 품질 특성. *Food Science and Preservation*. 31(4):633-644.

윤해훈, 채규서, 손락호, 정지혜. 2015. 토종효모를 이용한 블루베리 발효주의 발효 특성 및 항산화 활성. 한국식품영양과학회지. 44(6):834-840.

박지영, 강미영. 2022. 시판 상면발효맥주의 관능 및 이화학 특성 분석. 한국산학기술학회논문지. 23(1): 556-563.

Salminen S, Collado MC, Endo A, Hill C, Lebeer S, Quigley EMM, Sanders ME, Shamir R, Swann JR, Szajewska H, Vinderola G. 2021. The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 18(9):649-667.

김창한, 이주희, 박용하. 2021. 포스트바이오틱스(Postbiotics): 신규 기능성 미생물 소재의 정의, 특성 및 활용. *Current Topics in Lactic Acid Bacteria and Probiotics*. 7(1):14-23.

Park JY, Yoon HJ, Lee NK, Paik HD. 2025. Antioxidant and immunostimulatory effects of *Lactobacillus* strains in RAW 264.7 macrophages via NF- $\kappa$ B and MAPK signaling pathways. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 17(2):812-824.

Siciliano RA, Reale A, Mazzeo MF, Morandi S, Silvetti T, Brasca M. 2021. Paraprobiotics: a new perspective for functional foods and nutraceuticals. *Nutrients*. 13(4):1225.

## 6 연구결과 활용

성과지표		연도		1년차 (2021)		2년차 (2022)		3년차 (2023)		4년차 (2024)		5년차 (2025)		계	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적		
특허	출원									1	1	1	1		2
	등록														
기술이전		1	5	1	2	1	4	1	3	2	3	6	17		
논문게재									1				1		

성과지표	1년차 (2021)		2년차 (2022)		3년차 (2023)		4년차 (2024)		5년차 (2025)		계	
	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적
생물자원기탁	1	1	1	1				4			2	6
DB 구축					1	1		1		1	1	3
홍보	1	7						2			1	9
현장컨설팅	1	2			1	1	1	2	3	4	6	9
계	4	15	2	3	3	6	3	14	6	9	16	47

연도(연차)	활용방안	제 목	
2021(1년)	기술이전	특허 균주(AFY-3, 5, 6, 7)이용한 수제맥주 제조방법 등 5건	
	생물자원기탁	알콜 생성능이 우수한 효모( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	
	홍보	도착 중균을 활용한 발효식품 기술연구 등 7건	
	업체컨설팅	특허 중균을 이용 방법 및 애로사항 개선 등 2건	
2022(2년)	생물자원기탁	효소활성 우수 유산균 1종	
	기술이전	고초균(AFY-2)를 이용한 장류 제조 방법 등 2건	
2023(3년)	DB구축	발효미생물 균주 구축 1건(353주)	
	업체컨설팅	맥주농담학교 1건	
	기술이전	응집성 및 알코올 발효능이 우수한 신규 사카로마이세스 세레비지아 AFY-5 및 이를 포함하는 주류 등 4건	
2024(4년)	현장컨설팅	양조용 효모 이용 맥주 제조방법	
	기술이전	고초균, 양조효모를 이용한 발효식품 제조방법	
	특허출원	신규한 바실러스속 균주 및 이를 이용한 발효식품	
	생명정보등록		<i>Bacillus velezensis</i> AFY-2: JBFNTZ0000000000
			<i>Acetobacter oryzipermentans</i> AFY-4: JBFNUA0000000000
			<i>Gluconobacter oxydans</i> AFY-23: JBFNTZ0000000000
			<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> strain AFY-10 (NZ_CP172057)
논문게재 비SCI	Draft Genome Sequence of <i>Acetobacter oryzipermentans</i> AFY-4 Isolated from Rice Vinegar		
DB구축	유용미생물 DB 구축		
2025(5년)	DB구축	유용미생물 DB 구축(144주)	
	기술이전	- 신규한 사카로마이세스 세레비지아 AFY-17 균주 및 이를 이용한 발효식품 ((주)제이제이웍스)	
		- 신규한 바실러스속 균주 및 이를 이용한 발효식품	
		- 비독성 신규바실러스 서브틸리스균주 및 이를 이용하여 발효시킨 장류(부일농산)	
	컨설팅	홍천 장수풍덩이 학교, (주)웰빙엘에스, 흥성군농업기술센터, 건작식품	
특허출원	내산성 효모 AFY-8 및 향진균 활성 유산균 AFY-9를 이용한 사워도우 및 이를 포함하는 빵의 제조방법		

## 7 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도				
					'21	'22	'23	'24	'25
과제책임자	농식품연구소	농업연구사	임재길	과제총괄	○	○	○	○	○
세부책임자	농식품연구소	농업연구사	임재길	세부주관	○	○	○	○	○
공동연구자	농식품연구소	농업연구관	엄남용	시험수행 및 평가			○	○	○
	농식품연구소	농업연구관	권혜정	시험수행 및 평가			○	○	○
	-	농업연구관	함진관	시험수행 및 평가	○	○			
	연구협력과	농업연구관	장은하	시험수행 및 평가	○	○			
	산채연구소	농업연구사	이하연	시험수행 및 평가				○	
	산채연구소	농업연구사	박지선	시험수행 및 평가	○	○	○	○	
	감자연구소	농업연구사	맹진희	시험수행 및 평가				○	
	농식품연구소	농업연구관	이효영	시험수행 및 평가					○
	농식품연구소	운전주사	유창구	현장지원	○	○	○	○	○
	농식품연구소	공업주사보	유현혜	현장지원					○
	농식품연구소	공무직	염은경	평가분석		○	○	○	
	농식품연구소	공무직	윤서현	평가분석		○	○	○	○
	농식품연구소	공무직	고윤미	평가분석	○	○	○	○	○
농식품연구소	공무직	고윤지	평가분석	○	○	○	○	○	