

발간등록번호

11-1543000-000934-01

농림축산식품

미생물 유전체 R&D 중장기계획

전략사업별 추진전략

[1. 조기성과창출 분야]

2015. 7



농림축산식품

미생물유전체전략연구사업단

Strategic Initiative for Microbiomes in Agriculture and Food

목 차

제1장 사업의 개념	3
제1절 전략사업 정의	3
제2절 전략사업 범위	3
제3절 중점분야 도출	3
제4절 전략목표	4
제5절 전략분야 기술개발 로드맵	4
제2장 국내외 연구개발 및 산업 현황 및 전망	7
제1절 발효식품	7
1. 김치류 미생물	7
2. 주류미생물	9
3. 장류 및 염장류 미생물	11
제2절 농림유용미생물	14
1. 미생물농약	14
2. 미생물비료	17
3. 농업환경개선제	20
제3절 축산미생물	23
1. 사료첨가제	23
2. 면역증강제	26
제4절 건강기능성 미생물	29
1. 프로바이오틱스	29
2. 버섯류	31

제3장 세부추진계획	37
제1절 발효식품	37
1. 김치류 미생물	37
2. 주류 미생물	41
3. 장류 미생물	44
4. 염장류 미생물	48
제2절 농림유용미생물	51
1. 미생물농약	51
2. 미생물비료	55
3. 농업환경개선제	59
제3절 축산미생물	62
1. 사료첨가제	62
2. 면역증강제	66
제4절 건강기능성미생물	70
1. 프로바이오틱스	70
2. 식용 및 약용버섯류	74

<표 목 차>

[표 1] 젓갈류의 연도별 생산 및 수출 실적현황.....	12
[표 2] 국내 미생물비료 시장 현황 및 성장률.....	18
[표 3] 주요 사료용 프로바이오틱스 제조 회사.....	26

<그 림 목 차>

[그림 1] 조기성과창출분야 기술개발 로드맵.....	4
[그림 2] 세계 사료 첨가 소재시장 현황.....	27

제 1 장



사업의 개념

제1장 사업의 개념

제1절 전략사업 정의

- 조기성과창출사업이라 함은 사업화 진입을 위한 전략분야 미생물의 핵심 유전체 정보를 생산·분석 및 기능 규명하여 농림축산식품 미생물 유전체 연구의 실용산업화를 지원하는 전략연구 사업임
- 조기성과창출사업은 유전체 사업의 조기에 산업화하는 품목 도출을 위하여 4(2)+4년의 2단계로 추진되며 각 단계별로 사업화 전략분야별로 목적 지향적 미생물 유전체 분석 3종 이상의 해독 및 유용유전자 발굴을 통해 해당 미생물의 산업화 활용 기술을 개발하고자 함

제2절 전략사업 범위

- 투자 대상 분야 후보군을 제시하되 지원자의 연구 역량과 기술개발 성공 가능성에 우선하여 선발
- 사업화 성과 창출이 가능한 전략 미생물의 표준 유전체 해독, 타깃 형질의 비교 유전체 정보 분석을 통한 유용 유전자 발굴 및 기능연구를 지원하되, 산업화 개발 단계까지는 본 사업에서 지원하지 않음

제3절 중점분야 도출

- 연구자 중심의 수요가 아닌 임무 및 성과중심의 미래사회 수요를 도출하기 위해서는 외부의 환경변화 분석과 그에 따른 연구개발 분야 도출이 필요함
- 국내 유전체 연구를 둘러싼 환경변화 이슈와 연구사업에 대한 미래사회에서의 요구와 자문위원들의 자문을 통해 다음과 같은 사업 및 연구개발 분야를 도출함
 - (발효식품) 김치, 주류, 장류, 염장류
 - (농림유용미생물) 작물 병/선충 방제, 미생물비료, 농업환경개선제
 - (축산미생물) 사료첨가제, 면역증강제 (동물 질병예방 목적)
 - (건강기능성) 프로바이오틱스, 식용 및 약용버섯류
- 농림축산 및 농업환경 관련 유용성이 높은 미생물 유전체 분석, 비교유전체 분석 하고 실용화, 산업화 관련 미생물 유래 유용 유전자 탐색 및 고부가가치 미생물 소재 발굴을 위한 유전체 분석에 중점을 두고 지원하고자 함

제4절 전략목표

- 유용 미생물자원 발굴
- 산업화 전략 미생물 유전체 해독
- 전략 미생물/유전체 자원 사업화

제5절 전략분야 기술개발 로드맵

최종목표		미생물 유전체를 활용한 산업화 지원								
단계/기간		1단계				2단계				
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
중분류		유용 미생물 유전체 발굴				미생물 활용 사업화				
단계별 목표										
중 점 분야	김치	우수 유산균 선별, 분석	선발 유산균 개량		선발 유산균 효능 평가		프로바이오틱스 상품화			
	주류	유용 양조미생물 자원 확보 및 유전체 해독	유용 중균의 표준화 기술 개발		양조미생물 유래 유용물질 생산 최적화		양조미생물 자원의 산업화			
	장류		발효 우수 균주 선별		균주 개량 및 검증		개량균주 활용 장류 산업화			
	염장류		우수 젓갈 미생물 확보		오믹스 기술을 이용한 젓갈 중균 개량		고품질 염장 제품의 산업화			
	미생물농약		유용 미생물 발굴 및 유전체 해독		물질규명 및 미생물 농약 후보물 도출		미생물농약 산업화			
	미생물비료	미생물 유전자원 확보	유묘 검정을 통한 우수 균주 선발		미생물 비료 활용기술 개발		미생물비료 산업화			
	농업환경개선제		축산환경 미생물 확보		유전체 및 메타게놈 분석		환경미생물 제제 개발 및 산업화			
	사료첨가제		생균제 균주 유전체, 대사체 분석 및 대량생산				박테리오파지 유전체, 대사체 분석 및 대량생산			
	면역증강제		면역증강 미생물 및 유전체 확보				면역증강 소재 대량생산/사업화			
	프로바이오틱스 식용 및 약용버섯류		우수 균주 선발 및 활성성분 탐색		유전체 분석 및 활성유전인자 분석		인체 적용시험 및 제품개발			
		핵심 집단비교 유전체 분석		교배집단 유전체 분석		산업적 활용기술				

[그림 1] 초기성과창출분야 기술개발 로드맵

제 2 장



국내외 연구개발 및 산업 현황 및 전망

제2장 국내외 연구개발 및 산업 현황 및 전망

제1절 발효식품

1. 김치류 미생물

□ 국내 김치산업 동향

- 국내 김치시장의 총 규모는 2013년 기준 약 2조 5천으로 추정되고, 연간 김치 총 생산량은 약 120만 톤 내외의 수준으로 추정하고 있고 이중 배추김치가 전체 소비의 약 70%를 차지하고 포장 김치는 약 20%정도로 추정되고 있고, 그 중 자가생산과 상품김치 비율이 각각 약 51%와 49%를 차지하고 있음
- 국내 김치시장에는 약 600-1000개의 김치생산제조업체가 존재하는 것으로 파악되고 2010년 기준 김치 종류별 생산비중은 포기김치 31.0%, 맛김치 22.7% 깍두기 11.6%, 열무김치 3.9%, 총각김치 3.8% 기타 2.0%로 나타났음
- 우리나라 1인당 김치소비량은 성인남녀기준 2011년 기준 1일 소비량 86.2g, 연간 소비량 31.5 kg으로 나타났음
- 최근 김치산업은 기후 환경변화 및 재배인구와 면적의 감소 등으로 원재료의 가격이 급상승하고 있고, 환율 하락으로 수출 및 가격경쟁력 약화, 그리고 최근 쌀 식량의 지속적인 감소로 인한 소비물량 감소로 어려움을 겪고 있음
- 2013년 기준 주 수출국인 일본의 엔저 및 현지산과의 차별화 등으로 인해 전년도 대비 16% 감소한 89백만 불이 수출되었고, 수입의 경우 전년도대비 5.9% 증가한 117백만 불로 2013년 기준 연간 28백만 불의 무역적자 상태임

□ 해외 김치산업 동향

- **중국:** 90년대까지 자가소비 형태였으나, 2003년 사스발생이후 상업성이 부각되면서 공장형 생산이 증가. 현재 연간 30만 톤의 김치를 생산하여 24만 톤 수출 후 연간 6만 톤 내외 김치를 소비하고 있음
- **일본:** 일본은 연 20만 톤의 김치를 생산하고 2만 톤의 수입을 감안하여 연간 22만 톤 내외의 김치를 소비하고 있음. 일본의 김치시장은 한국산 수요 감소 및 가격경쟁 심화로 2011년 73,400, 2012년 72,900 그리고 2013년 71,500백만 엔으로 감소하는 경향을 보임. 반면 2011년 국내산 85%, 수입산 15%, 2013년 국내산 87.3%, 수입산 12.7%으로 국내산 비중이 증가하고 있는 추세임

- **대만:** 대만의 김치시장은 2001년 활성화되어 2003년 말에 접어들면서 안정기에 접어들었음. 김치시장점유에는 크게 네 가지의 브랜드가 시장을 장악하고 있고, 판매량 1위인 이화사 제품은 월 약 3천만 톤의 판매량을 보이고 있는 것으로 파악됨
- **홍콩:** 홍콩의 김치시장은 2010년 기준 3,814톤을 소비하고 총 7,711천 불의 시장규모를 가지고 있음. 이중 한국, 중국, 일본이 각각 약 20%의 시장을 점유하고 있음

□ 국내 전통발효식품 발효미생물 연구개발 동향

- 과거에는 한국식품연구원과 농촌진흥청 등을 중심으로 단순히 누룩, 막걸리, 메주, 된장, 식초, 간장, 김치 등 한국의 다양한 전통발효식품에 존재하는 미생물의 종류를 규명하고 이들 시료로부터 미생물(세균, 효모, 곰팡이)을 분리하는 연구가 집중되어 왔음
- 또한 2002년부터 2012년까지 교과부에서 진행된 “미생물유전체활용기술개발사업”으로 국내·외의 다양한 미생물 유전체 자원의 분석을 통해 미생물 유전체기능 정보를 분석, 활용하여 전통 미생물 산업을 획기적으로 발전시키고 신 산업군을 창출하는 것을 최종목표로 제시하였음
- 최근 들어 국내에서도 한국의 전통발효 식품으로부터 분리한 균에 대한 유전체분석 결과가 보고 있으며, 특히 *Lactobacillus kimchii*, *Leuconostoc citrium*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Weissella koreensis*, *Leuconostoc carnosum*, *Leuconostoc gellidum*, *Leuconostoc kimchii* 등의 김치유산균 유전체분석 결과가 보고되고 있으나 단순히 유전체 서열분석에 머무르고 있는 상황임

□ 해외 전통발효식품 발효미생물 연구개발 동향

- 일본의 경우 우리나라의 전통발효식품인 청국장과 비슷한 natto의 발효 미생물인 *Bacillus subtilis* natto에 대한 유전체분석을 완료하였으며 기능성 물질대사와 관련된 유전자에 대해 연구를 활발하게 진행 중에 있음(Nishito *et al.* 2010).
- 중국 또한 발효유에서 발견한 *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (Sun *et al.* 2011)와 기능성 물질인 poly- γ -glutamic acid를 생산하는 발효 미생물인 *Bacillus amyloliquefaciens* LL3에 대한 genome sequencing을 완료하여(Geng *et al.* 2011) 발효 대사와 관련된 연구를 활발하게 진행하고 있음
- 발효 미생물에 대한 연구를 일찍 시작한 미국, 유럽 등의 여러 나라에서도 이미 발효 미생물에 대한 genome 연구를 진행하고 있으며 16 *Lactobacillus*, 2 *Leuconostoc*, 1 *Pediococcus*, 2 *Oenococcus*, 4 *Lactococcus*, 4 *Streptococcus*, 8

Bifidobacterium 균주에 대한 genome 분석을 진행 또는 완료하였을 뿐 아니라 최근에는 유산균간 상호 유전체 분석을 통해 유전체간 차이점에 대한 연구를 활발하게 진행하고 있음(Liu *et al.* 2005; Makarova *et al.* 2006)

2. 주류미생물

□ 주류산업 동향

- 우리나라는 세계적인 술 다소비 국가임에도 불구하고 전통주 산업 비중은 국내에서 조차 미미한 실정임
 - 약 22조에 달하는 주류 소비시장에서 전통주의 시장 점유율은 0.5% 수준에 불과하며, 그간 전통주의 우수성이 소비자에게 있어 제대로 인식되지 못하였으며 세계시장 진출을 목표로 한 품질개선 노력도 부족하였음
- 세계 문화 선진국들은 자국의 전통주를 국가 전략산업으로 육성하여 높은 부가가치를 창출하고 있음
 - 전통주 산업은 국산 농산물의 소비와 농촌 관광 활성화를 견인 할 수 있는 성장 동력이자 고부가가치 산업임
- 전통주류 업체는 타 주종 업체에 비해 규모 등이 영세
 - 업체의 영세성은 제품개발 및 R&D, 영업·마케팅, 위생·품질관리 등의 취약점으로 이어져 경쟁력 저하로 연결됨
 - 1억 원 미만 업체가 막걸리의 경우 61.4%, 전통주는 43.3%
 - 평균종업원 수는 막걸리의 경우 4.3명, 전통주는 5.2명
- 주류시장 소비 트렌드의 변화 추세
 - 건강 지향적 주류 선호 : 무감미, 무첨가물, 저도수, 웰빙 재료

□ 주류미생물산업 동향

- 국내에서는 현재 대부분 외국에서 개발 및 개량된 미생물 종균을 수입하여 사용하고 있으며, 그 중 주류 제조를 포함하여 발효 관련 효모, 효소제(누룩 포함), 유산균 등의 수입 비용은 약 4,400만 불(한국무역협회, 2010)에 달함
- 특히 양조 미생물 산업의 경우 열악하여 주류산업을 지원하지 못하는 실정임
 - 효모의 경우 국내에서는 송촌효모 1개사에서만 양조용 건조효모를 생산하고 있으며, 대부분의 제조장에서는 양조효모가 아닌 수입산 제빵효모를 사용하고 있음

- 곰팡이 종균의 경우 국내 2개사에서 종균을 공급하나 이는 누룩용이 아닌 입국용 곰팡이 종균만을 생산하고 있음
- 누룩의 경우 국내 2개 회사에서 제조하고 있으나 자연 배양에 의한 생산으로 품질의 균일화가 미흡한 실정임
- 외국의 경우 맥주, 와인, 사케 등의 주류에 대한 전용 효모에 대한 지속적인 연구를 통해 주류 제조에 활용하고 있으며, 특히 일본 청주는 발효협회에서 다양한 종류(향, 맛 등)의 사케 효모를 관리하며 제조사의 요청에 따라 균주 판매하고 있음
- 최근 연구가 활발한 주류 미생물 분야는 에탄올 발효에 관여하는 *Saccharomyces*와 같은 효모의 생육, 또는 발효능 조절로 인한 생산성 향상 연구가 대부분임
- 특히 특허출원의 65%는 일본에서, 25%는 중국이 보유하고 있어 이는 상대적으로 우리나라는 보유 특허가 매우 적어 관련 연구가 필요함을 강하게 시사하고 있음
- ABS 나고야의정서가 발효됨에 따라 세계적으로 생물종의 주권이 강화되고 있는 현 시점에서 우리나라의 전통주류 유래 미생물의 통합적이고 총체적인 연구를 통하여 미생물 자원의 자국화가 매우 시급함

□ 국내 주류미생물 연구개발 동향

- 국내에서 최초로 누룩미생물 연구가 시작된 것은 1905년으로 1903년에 수집된 조선누룩으로부터 3종의 *Mucor* 속이 분리된 것이 누룩 미생물의 최초 연구라 할 수 있음. 그 후 누룩에 존재하는 미생물의 종류를 단순 규명하고 이들로부터 유용한 누룩 미생물을 분리하는 연구가 집중되어 왔음
- 누룩 유래의 미생물로 가장 많이 분리 된 균주는 *Aspergillus* spp., *Rhizopus* spp., *Mucor* spp. 등의 곰팡이류와 *S. cerevisiae*와 같은 효모, 그리고 유산균 등이 보고되고 있음(Hong *et al.*, 1997). 최근 연구 결과에서 지역별로 다양한 누룩미생물 균총(microflora)을 보고한 바 있음(Song *et al.*, 2013)
- 누룩 유래의 미생물로 가장 많이 분리 된 균주는 *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Mucor* 등의 곰팡이류와 *Saccharomyces cerevisiae*와 같은 효모, 그리고 유산균 등이 보고되고 있음(Hong *et al.*, 1997)
- 최근 연구 결과에서 지역별로 다양한 누룩미생물 균총을 보고한 바 있음(Song *et al.*, 2013)
- 또한 전통주의 발효기간에 따른 미생물 조성분석에 대한 결과가 보고되어 있으며 특히 6종의 각기 다른 누룩을 사용하여 탁주(막걸리)의 미생물 조성을 분자생물학

적 분석을 통하여 확인한 결과, *Saccharomycetaceae*가 발효 과정 중에 증가하고 *γ-Proteobacteria*에서 *Firmicutes*가 우점종으로 나타나는 변화 양상이 보고되었음 (Jung *et al.*, 2012)

□ 국외 주류미생물 연구개발 동향

- 해외에서 수행된 주류미생물 연구는 대부분 *S. cerevisiae*에 집중되어 있으며 진행 세포 최초로 전체 유전체의 염기서열이 밝혀진 만큼 비교적 많은 연구가 진행되어 수백 종 이상의 *S. cerevisiae* 종이 보고되어 있음
- 대부분 와인 유용미생물의 유전체를 비롯한 오믹스 분석은 *S. cerevisiae*에 한정되어 있으며 에탄올 발효 과정을 중심으로 연구가 진행되어있음
- 에탄올 발효 과정에서 나타나는 와인 효모(*S. cerevisiae* EC1118)의 전사체 분석 기법을 통하여 환경적인 변화에 의하여 실제로 2,000여 개의 유전자가 영양과 환경, pH와 같은 생리학적 상태에 따라 그 발현에 영향을 받는다는 결과가 보고된 바 있음(Rossignol *et al.*, 2003)
 - 따라서 와인유래 유용 미생물의 통합적이고 복합적인 이해가 요구되고 있는 가운데, 최근 NGS의 응용이 다방면으로 가능해짐에 따라 와인 유래 미생물의 비교 유전체학적 분석이 많은 연구그룹을 통해 보고되고 있음.
- 맥주의 경우 양조미생물 전체 염기서열 분석은 최근 들어 활발히 수행되고 있으며, 특히 *S. cerevisiae*의 유전체와의 비교 분석이 보고되고 있어 차후에는 맥주 효모 strain의 종간잡종(interspecies hybrid) 비교분석까지도 가능할 것으로 예상됨
- 일본 사케의 경우 다양한 입국 곰팡이와 사케 효모 전체 유전체 분석이 이루어지고 있어, 차후 통합적인 유전체 분석이 활발히 수행될 것으로 예상됨

3. 장류 및 염장류 미생물

□ 장류 산업 현황

- 장류시장은 여성 사회참여확대(맛벌이), 핵가족화, 출산율 감소, 주거환경의 변화 등으로 인해 가정에서 주로 생산되던 장류를 공업화 장류가 대체하고 있음
- 2013년 기준 장류의 국내 판매량은 509천 톤으로 1조 234억 원 규모의 판매액 수준인 것으로 조사됨
- 장류시장은 성숙기에 접어들어 장류의 국내 판매량은 2009년 이래로 감소세를 보이고 있으나 판매액규모는 판매량 대비 2009년 이후 연평균 2.8% 성장

- 2013년 기준 장류의 품목 중 고추장과 간장의 국내 판매액이 약 3,169억 원, 3,154억 원으로 전체 장류 품목 중 각각 31.0%, 30.8%를 차지하고 있었고, 그 뒤로 된장(1,607억, 15.7%), 간장(1,432억, 14.0%)등의 순으로 판매되고 있음
- 2014년 기준 장류의 수출실적은 전년대비 9.4% 증가한 약 60백만 불로 조사되었고, 한인소비자가 많은 미국으로의 장류 수출비중이 증가하고 있는 추세임

□ 국내 엿장류 산업 동향

- 젓갈류의 국내 생산 제조업체수는 약 700여개로 2013년 기준 약 101톤의 젓갈류가 생산량과 약 2,444억 원의 생산액으로 집계됨

[표 2] 젓갈류의 연도별 생산 및 수출 실적현황

구분		2008년	2009년	2010년	2012년	2012년	2013년
생산 현황	생산량(톤)	110,115	101,241	98,334	122,484	118,076	100,935
	생산액(천원)	224,813	225,822	192,943	286,352	254,700	244,412
수출 현황	수출량(톤)	2,538	2,733	2,417	2,867	3,081	2,913
	수출액(불)	25,232	25,768	15,705	24,513	28,030	24,590

출처: 식품의약품안전처 통계자료

- 1990년 이후 전체 수산가공품 중 젓갈류의 생산비중은 점차 증가하여 2006년 기준 전체 수산가공품 생산량기준 2.4%, 생산액기준 5.5%를 차지하는 것으로 나타났고, 멸치젓 40%, 새우젓 17.9%, 명란젓 17.1%로 이들 3개의 젓갈류가 전체 젓갈류 중 75%를 이상을 차지하는 것으로 조사됨
- 저가 원료나 제품들과의 경쟁이 심화되고 있고, 새우젓, 오징어젓, 명란젓, 창난젓, 조개젓, 액젓등 주요 젓갈류 식품의 수입이 늘어나 최근 국내 생산량 못지않게 수입공급량이 많아진 실정임

□ 해외 장류산업 동향

- 중국: 중국 장류의 시장규모는 2013년 기준 100억 위안에 달함. 중국인들의 우수품질의 장류구매 계층이 증가하면서 장류시장의 중·고급 장류시장의 전망이 낙관적임 특히 간장의 경우 2013년 1리터에 16위안이 넘는 간장이 전체 간장시장의 25%에 달하고, 고가 간장을 구매하는 소비자가 전년도 대비 16%증가함

- 일본: 일본의 대표적인 장류인 간장은 일본 내 식습관의 서양화와 외식의 증가로 인해 간장과 관련된 기타 조미료(쓰유, 타래류 등)의 소비확대로 이어져 전통간장의 이용이 크게 감소하고 있음. 된장의 경우 매년 생산량이 감소되고 있고 최근 수년간 불황에 따른 가격 하락 등 가격경합이 심화되고 있음
- 미국: 현지인들의 매운 음식에 대한 선호도가 높아지면서 고추장이 인기를 얻으며 다양한 조리법과 메뉴개발로 관심을 얻고 있음. 고추장을 이용한 신 메뉴 개발 및 현지인들의 소비 형태를 고려한 제품 개발 역시 증가할 것으로 예상됨

□ 해외 젓갈산업 동향

- 일본: 일본의 경우 오징어젓이 전체 젓갈류에 80%이상을 차지하고 있고, 그 외에 성게젓과 해삼젓, 연어 및 송어의 내장젓, 창어알젓, 은어알 및 내장젓 등도 생산함. 최근 가정에서 조리하는 수산물소비가 감소하면서 젓갈류를 포함한 수산가공품의 지출이 감소하고 있음
- 베트남: 베트남에서는 생선으로부터 많은 젓갈종류를 제조하고 있음. 새우살을 섞은 젓갈인 맘녀우, 진한새우액젓, 액체새우젓, 그리고 생선젓갈인 느억맘 등이 유명함
- 서양의 경우 맛, 냄새, 색깔, 염도 여러 가지 심미적 부분에서 거부감을 가질 수 있어, 일부 소수의 집단이나 인원에게만 선호되고 있는 현황임

제2절 농림유용미생물

1. 미생물농약

□ 국내 미생물농약 시장 동향

- 국내 바이오 작물보호제 시장은 미생물 농약, 유기농업자재, 천적 등을 포함하여 약 1,000억 정도로 추정되고 있으며, 2020년에는 전체 작물보호제 시장의 10% 규모인 2,000억 원 정도에 이를 것으로 추정됨(ARPC 자료)
 - 이 중에서 미생물 농약과 미생물을 이용한 유기농업자재 시장은 약 750억 원 정도로 추정되고 있음
- 우리나라는 유기농업자재가 미생물 농약 시장을 주도하고 있음
 - 미생물 농약으로 등록하는 데에는 약 2억 원 정도의 비용이 소요되고, 또한 미생물 농약이 다른 제품에 비하여 영업에 있어 장점이 없기 때문에 현재 많은 기업에서는 미생물 농약으로 등록을 회피하는 대신에 친환경 유기농업자재로 등록을 추진하고 있음
 - 품목 면에서 농약관리법에 의한 병해충 방제용 바이오 작물보호제 제품보다는 상대적으로 등록비용이 적게 들며, 개발이 쉬운 유기질비료, 4종 복비, 기능성 제제 등과 유기농자재 목록공시에 의한 제품들이 품목 수와 매출액에서 시장을 주도하고 있음
 - 2015년 2월 현재 국내에는 식물병과 해충관리용 유기농업자재로서 395개의 제품이 등록되어 있는데, 이들 중 약 50%는 미생물 제품임
 - ※ 병해충 방제관련 유기농업자재는 약 400개의 제품이 등록되어 판매되고 있음
- 상기와 같이 어려운 상황임에도 불구하고 서서히 농민들의 인식이 변화되어 가고 있고, 국내 미생물 농약 제품화 기술도 거의 선진국 수준에 도달하고 있기 때문에, 곧 국내에서도 블록버스터 제품이 등장할 것으로 기대됨
- 국내 기업에서는 기술력이 올라감에 따라 현재 캄보디아, 베트남, 일본, 중국 등에 수출을 진행하고 있거나 예정으로 되어 있어 조만간 글로벌 제품이 출현할 수 있을 것으로 예상됨

□ 국내 미생물 농약 제품동향

- 현재까지 우리나라 미생물 농약은 살균제 15개와 살충제 13개 등 총 28개 품목이 등록, 시판되고 있음

- 이 중 17개의 제품은 국내에서 개발되었고, 11종은 외국 개발 원제를 수입한 제품임
- 우리나라 미생물 살균제 제품은 대부분 바실루스균주를 이용하였으며, *Bacillus* 이외에 *Streptomyces* 방선균과 *Simplicillium* 및 *Trichoderma* 등의 진균이 있음
- 미생물 살충제의 경우 Bt관련 제품이 8개, *Beauveria* 제품 2개, *Monacrosporium* 제품 1개, *Paenibacillus* 제품 1개임. 생화학 살충제로 1개의 제품(아자디락틴)이 등록되어 있음
- 제초활성 생물농약의 경우 미생물 제초제인 *Pacilomyces* 제품 1개와 생화학 제초제인 펠라곤산 유제 1개 제품이 등록되어 있음
- 우리나라 미생물 농약과 생화학 농약 등록규정이 각각 2001년과 2005년에 정해졌으며, 현재까지 등록된 36개 제품 중 34개는 미생물 작물보호제이며, 생화학 작물보호제의 경우 현재까지 두 개의 제품이 등록되어 있음
- 생물농약의 등록 업체 및 제품 현황을 정리하면 그린바이오텍 8개 품목, 동부팜한농이 7개 품목, 영일케미컬이 5개 품목 등 총 18개 회사가 제품을 등록하였음

□ 해외 생물농약 산업 동향

- 2012년 현재 전 세계 생물농약 시장은 약 16억 달러로서 매년 15.8%씩 성장하여 2017년에는 약 32억 달러에 이를 전망이다(Market and Market analysis, 2013)
- 글로벌 Top 10에 속하는 대부분의 합성농약 회사들이 생물농약의 시장이 확대되고, 생물농약의 글로벌 블록버스터 등장으로 2009년부터 본격적으로 생물농약 시장에 진입함
 - AgraQuest사가 *Bacillus subtilis* QST713 균주를 이용하여 개발한 미생물살균제 Serenade(25개국에 등록되어 있으며, 50여 작물에 다양한 식물병에 대하여 방제활성을 보임)는 2008년 현재 약 1억 불의 매출을 기록한 것으로 추정되고, 2012년에는 Bayer에 인수되면서 더욱 매출이 신장한 것으로 예상됨
- 중국: 2013년 국가적 차원에서 올해 논의 할 1호 안건으로 친환경 농업과 식품 안전 문제를 선택하였으며, 미생물 기반 바이오 작물보호제의 급속한 시장 확대가 예상됨
 - “생물기술에 의한 미생물 작물보호제 개발”이 1996년 처음으로 공관 프로젝트로 선택되어 5년간의 연구 끝에 11개 기업에서 신형 작물보호제, 수의약, 미생물비료 등을 개발하였고 이들의 생산량은 5,400여 톤으로 1.22억 위엔의 생산 가치를 창출하였음

□ 국내 미생물농약 연구개발 동향

- 미생물 농약에 대한 연구는 1980년대에 태동하여 1987년에는 인삼 뿌리썩음병 방제용 바이코나의 개발로 시작되었으며, 본격적인 바이오 작물보호제 연구개발은 1990년대 후반부터 이루어짐
 - 한국화학연구원과 생명공학연구원, 농업과학기술원 등의 연구소, 경상대학교, 순천대학교, 서울대학교 등의 대학교, 그리고 (주)동부팜한농, (주)그린바이오텍, (주)비아이지, (주)고려바이오 등의 기업체에서 개별적으로 연구를 진행해왔음
 - 전남대학교, 한국화학연구원, 한국생명공학연구원, 국립농업과학원 등의 연구기관에서 *Bacillus*와 *Pseudomonas* 등의 항진균, 항세균 및 면역증진 효과를 가진 길항 미생물을 이용한 식물병 방제 기술을 개발하는데 연구에 집중하고 있음
- 우리나라 미생물 살충제 개발을 위해 전북대학교, 서울대학교, 전남대학교 등에서는 곤충병원성 곰팡이, 살충활성 세균 및 진균 등을 이용한 나방 방제제 및 진딧물 방제제 개발에 대한 연구를 집중하고 있음
 - 전남대학교, 서울대학교 등에서는 또한 선충 방제를 위한 미생물 살선충제 개발에 대한 연구를 하고 있으며, 전남대학교에서는 살충활성 진균을 이용한 미생물 살충제 개발에, 서울대학교에서는 살충활성 세균을 이용한 미생물 살선충제 개발에 연구를 집중하고 있음

□ 글로벌 기업들의 생물농약 시장 진입

- 세계 주요 작물보호제 회사들은 21세기 들어와 합성 작물보호제 분야를 넘어 종자산업에 진출하였고, 최근에는 바이오 작물보호제 분야에 본격적으로 진출하고 있음
- 세계 10대 농약 회사들 중 Bayer, Syngenta, Monsanto 및 Dupont은 종자산업에 진출하였으며, 최근에는 바이오 작물보호제 산업에 본격적으로 진출하고 있음
 - 특히 2012년에 들어 Bayer사의 AgraQuest사를, Syngenta사가 Pasteuria Bioscience사를, 그리고 BASF사가 Becker Underwood사를 인수 하는 등 바이오 작물보호제 산업에 본격적으로 진출하였음
- 2002년 현재 미국 EPA에는 76개의 미생물 작물보호제과 113개의 생화학 작물보호제가 등록되어 있음
- 영국의 BCPC(British Crop Protection Council)에서 출판한 "The Biopesticide Manual"과 "The Manual of Biocontrol Agents, 4th edition"을 살펴보면 미생물 농약, 천연물질 등의 생물농약의 수는 매년 증가하고 있음

□ 글로벌 미생물 살균제 제품 동향

- 세균과 진균 등에 의한 식물병을 방제하는 기술에는 미생물 농약, 생화학 농약 및 유전자를 이용한 GMO작물 등이 개발되고 있음
- 미생물 살균제 중의 대부분의 제품은 진균에 의해 발생하는 식물병을 대상으로 개발되었으나, 아직 합성살균제에 비하여 효능과 가격 면에서 경쟁력이 떨어져 관행 농업까지 시장이 확대되지 못하고, 유기농업과 같은 친환경농업에서만 사용되고 있음
- 따라서 합성농약이 거의 개발되지 않고 또한 항생물질의 저항성 문제로 약제가 전혀 없는 세균에 의한 식물병에 효과를 보이는 미생물 살균제를 개발할 경우 블록 버스터의 제품을 개발할 수 있을 것이라 판단됨

□ 글로벌 미생물 살충제 제품 동향

- 곤충병원 미생물의 글로벌 시장에서의 경쟁력 확보 및 미래 원천 기술 개발을 위한 다양한 노력들이 진행되고 있음. 그 중에서 병원성 관련 유전체 연구는 가장 많은 투자와 관심이 집중되고 있음
- 가장 일반적인 Bt strains은 Bt kurstaki로 나방류에 효과가 있는 것으로 알려져 있고, Bt israelensis는 모기와 blackfly의 유충에 효과가 있다고 알려짐
- 곤충병원성 바이러스인 Baculovirus에 대한 연구는 단순한 유전체연구뿐만 아니라, 바이러스 자체가 보유한 높은 단백질 발현 시스템으로 인해 일찍부터 많은 연구가 진행되어 왔음
- 하지만, 곤충병원성 곰팡이 분야의 경우 산업적인 측면에서의 연구개발은 많이 되고 있으나, 병원성 관련 유전체 연구는 최근에서야 진행되고 있음. 유전체 연구는 주로 Maryland University의 St. Leger group을 중심으로 이뤄지고 있으며 여기에 중국 과학자 (Dr. Wang 등)들이 대거 참여하고 있음

2. 미생물비료

□ 국내 미생물 비료 시장 및 산업동향

- 친환경 농산물에 대한 국민적 수요가 날로 증대되고 있으며, 이로 인해 미생물비료와 같은 친환경 농자재의 중요성도 증가하고 있음
 - 국내 친환경 농산물의 시장규모는 계속 증가하고 있으며, 한국농촌경제연구원의 조사에 따르면 유기농 농산물의 시장규모는 2011년 5,364억 원에서 2020년 17,536

억 원으로, 무농약 농산물 시장규모는 2011년 15,627억 원에서 51,709억 원으로 성장할 것으로 전망됨

- 국내 미생물비료 시장은 약 267억 원 규모로 예상되며 친환경 농업의 확산에 따라 미생물비료 생산량은 5.5%의 성장률로 2016년에는 297억 원 규모로 성장할 것으로 추정됨

[표 3] 국내 미생물비료 시장 현황 및 성장률

(단위 : 억 원)

시장규모					성장률 CAGR(%)
2012	2013	2014	2015	2016	
240	253	267	281	297	5.5

출처: 2013년 중소기업청

- 미생물비료 연간 생산량은 약 3,000톤 이상으로 주로 대전, 경기, 충북, 충남, 경북, 경남지역에서 다른 지역에 비해 많은 수의 업체가 분포하고 있으며, 수입 실적은 61톤으로 전체 생산량의 2% 수준임
- 현재 국내에서 시판중인 미생물비료는 주로 *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* 등의 균주를 이용하여 토양개량, 병해충방제, 물질분해합성, 양분흡수, 작물생육촉진 및 제초기능으로 사용되고 있음

□ 국내 미생물비료 등록 현황

- 국내 미생물비료 생산업체는 국립농업과학원 조사에 따르면 135개 업체로 조사되었으며, 수입 업체 수는 22여개 업체로 조사되었음
- 2014년에 농촌진흥청에 등록된 미생물제제는 83개의 업체에서 총 138개가 등록되어 있으며, 그 중에서 작물생육용자재가 22개, 토양개량 및 작물생육용자재가 114개, 토양개량용자재 2개가 등록되어 있음

□ 해외 미생물비료 시장 및 산업 동향

- 질소고정 미생물비료는 전체 미생물비료 제품 매출의 77.4%를 차지하는 것으로 나타났으며, 질소비료에 대한 수요가 증가함에 따라 질소고정 미생물비료 시장규모 또한 증가할 것으로 예상됨
 - 세계적으로 질소비료의 소비는 전체 비료시장의 60% 이상을 차지하고 있으며, 2012년에는 10억 톤이 소비되었음
- 인산가용화 미생물비료는 전체 시장에서 두 번째로 큰 점유율을 보이고 있으며,

2012년에는 전체 시장의 15%를 차지함

- 인산가용화 미생물비료는 토양 인산염의 유용성을 증가시킨다는 점에서 중요성이 증가하여 2020년까지 연평균성장률이 15.5%에 이를 것으로 전망됨
- BCC Research에서 전 세계 미생물 제품 시장을 조사한 결과, 2012년 미생물 및 미생물제품 시장은 1,170억 달러 수준이었으며, 2013년에는 1,340억 달러로 12.6% 증가하였으며, 2018년에는 1,790억 달러로 5년간의 연평균 성장률(CAGR)이 6%에 이를 전망으로 보임
- 이 중 세계 미생물비료 시장은 2011년 기준 12억 달러 수준이었으나, 연평균성장률이 4.5%인 것을 고려하면 2016년에는 약 15억 달러에 달할 것으로 전망됨
- 전 세계적으로 화학비료를 대체할 수 있는 생물비료 개발에 중요성을 두고 있으며, 주요 미생물제제로는 *Azospirillum* spp., *Azoarcus* spp., *Azotobacter* spp., *Bacillus* spp., *Burkholderia* spp., *Cyanobacteria* spp., *Herbaspirillum* spp., *Rhizobium* spp. 등을 이용한 제제로 토양 미생물의 종류 대비 이용효율이 5% 미만인 실정으로 우수 균주의 지속적인 탐색이 필요함
- Grand view research에서 2012년에 조사한 자료에 의하면 세계적으로 판매되고 있는 생물비료 제품은 질소고정 생물비료(77.4%), 인산가용화 생물비료(14.6%)의 형태로 나타남
- (미국) 친환경 비료를 사용하는 농업인들이 늘고 있으며, 대량생산 및 대규모 농장, 협동조합, 전진농업기술에 중점을 두어 생물비료 수요 증가 및 북미 시장 범위가 확장됨에 따라 2018년 생물비료 시장 수익은 약 2억 560만 달러로 전망됨
- (일본) 전체 비료시장 규모는 비료사용의 자제, 농산물 가격의 침체와 농가 고령화로 비료 수요가 감소하고 있으며, 토양미생물제제를 지력증진법에 의한 토양개량 자재로서 품질표시를 규정하도록 하고 있음
- (중국) 2012년 친환경비료의 매출액은 전체 비료 매출액의 7%인 595억 위안에 불과하였으나, 친환경비료에 대한 관심이 증가하고 있고 생물비료 산업에 대해 현재 중국 정부가 적극적으로 지원을 하고 있어 전략적 지원사업으로 인해 2015년 매출액은 900억 위안, 2020년에는 1,400억 위안으로 향후 5~10년 이내에 친환경비료의 비중이 15%를 차지할 것으로 전망됨

□ 해외 미생물비료 및 유전체 분석관련 연구개발 동향

- 국외 미생물비료 및 유전체 분석에 관한 연구 동향을 분석하기 위해, 검색어는 'Biofertilizer, Genome analysis, Bacteria, Fungi, AMF', 주제영역은 'Agricultural

and Biological Science, Biochemistry, Genetic and Molecular Biology, Microbiology, Environmental Science' 범위에서 최근 20년 동안 Scopus에 등록된 SCI(E)급 논문들을 분석

- 미생물비료 관련 논문은 총 1,161편이었으며 연구 논문 편수는 2000년대 초반 이후부터는 급격하게 증가하는 추세였으며, 논문의 영역범위의 논문 수는 Agricultural and Biological Science가 전체의 72.6%로 가장 많은 비중을 차지하였으며, Environmental Science가 27%, Microbiology가 19.1% 순으로 조사됨
- 미생물유전체 분석은 NGS를 이용하여 다양한 환경에서 서식하는 세균 및 미생물의 유전체를 분석하는 추세임
- 최근에는 식물과 토양에서 분리한 식물생장촉진 미생물의 유전체 분석 연구에도 이용되어 식물과 미생물의 상호 메커니즘에 관여하는 유전적 특성을 확인하는데 매우 중요한 역할을 하고 있음
- 또한 indole-3-acetic acid (IAA) 생합성, siderophore 생산과 같은 식물의 생장촉진에 관여하는 유전체뿐만 아니라 이차 대사과정에서 non-ribosomal peptide의 합성 및 식물의 환경적응에 관여하는 유전체를 분석하는 연구가 활발히 진행되고 있음

3. 농업환경개선제

□ 국내 시장 및 산업 현황

- 농업생명산업의 분야별 경제적 파급효과를 비교 분석한 결과 미생물산업이 가장 효과가 높은 분야 중 하나임
 - 환경처리 용 미생물제제의 국내 시장 규모는 매년 약 10%의 고성장률을 보이고 있으며 규모는 약 1,500억 원으로 추정됨(농림축산식품부, 2013)
- 축산 관련 미생물의 경우 사료첨가제, 가축분뇨 처리 및 악취 제거, 항생제, 백신 등 4가지의 사용 목적에 따라 분류됨
 - 국내에서는 축산분뇨 악취 저감제 및 사료용 생균제의 개발이 증가하고 있으며 전체 미생물 산업의 시장규모는 약 7,700억 원으로 추정됨
 - 축산업 분야의 퇴비화 및 악취 제거와 관련된 기술의 특허 출원 건수는 245건으로 보고되어 있으며, 축산업 관련 기술의 전체 761건 중 약 33%를 차지하고 있음(농림수산식품기술기획평가원, 2011)
- 2010년 악취방지법이 개정되면서 공공환경시설에 대하여 5년마다 악취기술진단 실시가 의무화 되고, 위반 벌칙이 강화됨에 따라 환경 생물 산업 및 생물정화시장

규모가 증가하고 있음(환경부, 2012)

- 환경생물 산업의 국내 시장 규모는 2,150억 원으로 조사되었으며 이후에도 급격한 시장 확대가 예측되고 있음(농림수산식품기술기획평가원, 2011)
- 2012년 국내 온실가스 다배출 사업장을 대상으로 감축 규제가 본격적으로 시행되었으며 2020년까지 축산 분야의 온실가스 배출량을 5% 이상 감축시키는 것을 목표로 함
- 국내 기업과 농촌진흥청이 협력하여 저메탄 사료 개발 연구를 진행하고 있으며, 메탄 생성균 분리 및 메탄발생 억제 기술 개발을 목표로 연구 진행 중임

□ 국외 시장 및 산업 현황

- 미국 환경보호청은 '기후행동계획'의 일환으로 온실가스 배출량 계획을 발표하였으며 EU 역시 '기후 및 에너지 정책을 위한 2030 프레임워크' 등을 운영하며 온실가스 저감 방안 마련을 추진 중에 있음(World economy update, 2014)
- 미국의 경우 미생물 환경개선제 시장은 약 2,500억 원 규모에 이르며 연평균 7.7%의 성장률을 보이고 있으며 환경개선 장려프로그램을 통해 친환경축산 지원 정책을 실시하고 있음
- 유럽도 악취를 비롯한 수질 악화 등의 환경문제 해결을 위한 다양한 정책을 실시하고 있음
- 일본에서는 축산과 관련하여 악취와 수질오염에 대한 민원이 지속적으로 증가하고 있으며 이에 대한 대응방안으로 축산 폐수 및 악취 경감을 위해 축산 농가에 대한 지원 사업을 실시하고 있음

□ 국내 농업환경개선제 연구개발 동향

- 축산환경개선용 미생물의 경우 주로 미생물혼합제체를 이용하여 아래와 같은 실증시험과 DGGE 등의 분자생물학 기법을 활용한 군집분석 단계의 연구가 진행 중이며 아직까지 유전체를 활용한 접근은 이루어지고 있지 않음
- 축산 농가 악취의 원인이 되는 분변 내 암모니아 가스 배출량이 유용미생물의 처리(*Lactobacillus plantarum*, *L. casei*, *L. cerevisiae* 및 *Rhodospseudomonas palustris*의 복합제)에 따라 유의하게 감소됨을 확인(강환구, 2014)
- 농촌진흥청에서는 온실가스 감축을 위한 연구를 진행 중이며 축산 농가에서 발생하는 온실가스 감축과 관련하여 소화 과정 중 발생하는 온실가스를 줄이기 위해 소화율이 높은 사료 및 사료 첨가제를 개발 중임(박규현, 2012)

- 메탄생성에 직접적으로 관여하는 혼합 메탄균과 반추위 내 혐기성 섬유소분해균 중 대표적인 *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus flavefaciens*, *R. albus*가 메탄 발생에 미치는 영향을 조사함. 세 균주를 biochemical methane potential 시험에 첨가하였을 때 *F. succinogenes*의 첨가량이 증가함에 따라 메탄 생성량이 증가됨으로서 특정 균주의 역할을 확인(김지애, 2012)
- 시판되고 있는 미생물제제를 사육 돼지에게 급이 하였을 때 분뇨에서 발생하는 알데히드 화합물의 발생량이 영향을 받는 것으로 확인. 알데히드화합물은 악취의 원인이 되는 물질로서 미생물제제의 처리로 인해 알데히드화합물의 발생량 감소를 검증함(이창원, 2011)
- 하수처리장의 폭기조슬러지에서 분리한 황산화 박테리아를 이용하여 미생물제제를 제조한 후 돼지 사육 농장에 약 3주 간 미생물제제를 처리한 결과 전체적인 악취 물질 발생량이 감소하였음(오민환, 2010)

□ 국외 농업환경개선제 연구개발 동향

- 돼지사육 농가는 암모니아의 주요 배출원으로서 유럽에서는 돼지생산량 대비 암모니아 배출량이 1990년보다 약 24% 저감되었으나 추가적인 저감이 필요함. 축산 농가의 암모니아 생성량에 영향을 미치는 요인은 축사의 형태, 분뇨 처리시스템, 축사 내부기후, 사료의 조성 및 소화 효율 등으로 조사되었으며 사료첨가제에 의한 영향도 검증되어 미생물 제제 개발의 필요성이 부각됨(Philippe, 2011)
- 6개의 박테리아와 1개의 효모 균주(*Bacillus subtilis* subsp. *spizizenii* LOCK 0272, *Bacillus megaterium* LOCK 0963, *Pseudomonas* sp. LOCK 0961, *Psychrobacter faecalis* LOCK 0965, *Leuconostoc mesenteroides* LOCK 0964, *Streptomyces violaceoruber* LOCK 0967, *Candida inconspicua* LOCK 0272)를 사용하여 가금류 분뇨의 악취 화합물 제거 효율성을 분석함. *Bacillus subtilis* subsp. *spizizenii* LOCK 0272 균주에서 가장 높은 악취 화합물 제거 효율을 확인하였으며, 실험에 사용한 미생물은 가금류 분뇨 중 시스테인과 메티오닌을 약 45% 가량 분해하는 것으로 확인(Gutarowska, 2014)
- *Bacillus* 균주 혼합액(*B. subtilis* 2084, *B. subtilis* 27, *B. licheniformis* 21)이 축산 악취 원인인 암모니아 생성을 약 50~60% 시켰으며 해당 효과를 보인 *Bacillus* 균주 혼합액의 제조법이 미국 내에 특허로 등록되어 있음(US 8,404,227 B2)

제3절 축산미생물

1. 사료첨가제

□ 국내 사료첨가제 시장 및 산업 현황

- 1940년대 말에는 항균물질의 다른 생물에 대한 성장촉진 특성이 밝혀졌고, 이 당시 축산분야에서는 가축의 생산효율을 높이기 위하여 사료에 성장촉진항생제를 보편적으로 사용하게 됨
- 축산분야에서 항생제는 가축의 질병에 대한 치료 목적으로 사용되기도 하였지만, 그보다는 성장촉진을 목적으로 많이 사용되어왔음. 성장촉진용 항생제는 사료첨가용으로 사용되어 대부분이 배합사료에 이용되거나 농가에서 자가 사용하게 되었고 이에 따라 항생제의 오남용 문제가 심각해짐
- 2009년에는 세계보건기구(WHO)에서 항생제 내성을 인류의 건강에 위협을 주는 요소로 명명하여 항생제 오남용 및 내성제에 대한 경각심을 불러일으킴
 - EU 및 WHO에서는 동물용 사료에 성장촉진항생제 사용이 동물과 인간에 미칠 영향을 염려하여 전 사회적으로 시장에서 사용을 금지하는 등 강력한 조치를 취하고 있음
 - 우리나라도 항생제 내성 감소 종합 안전관리대책을 수립해 2005년부터 사료내 항생제 무첨가 정책이 본격 추진되었으며, 2011년 7월부터 전면 시행됨
- 기존 항생제가 지니고 있었던 단점을 극복하면서 항생제가 하던 역할을 대신할 수 있는 즉, 내성이 없고 친환경적이면서도 성장 촉진 효과가 있는 항생제 대체 소재를 개발하기 위한 연구가 많이 진행되고 있음
 - 항균 펩타이드, 호르몬, 효소제, 허브 및 천연식물, 유기산 등이 이러한 환경 친화적인 소재로 연구·개발되고 있으며 그 중에서도 생균제와 박테리오파지와 같은 미생물 소재가 가장 큰 주목을 받고 있음
- 국내 시판중인 생균제는 크게 동물용의약품과 사료첨가제를 목적으로 사용되는 보조사료(사료첨가제)로 대별되며, 2012년 시장규모는 약 500억 원으로 추정됨
- 인구구조의 고령화, 1~2인 가구의 증가, 애완동물을 하나의 가족 구성원으로 받아들이는 인식의 변화 등으로 애완동물을 키우는 인구의 증가로 국내 애완동물관련 시장이 증가하고 있음
 - 2012년 전체가구의 16%(320만 가구)가 440만 마리의 개를 3.4%(68만 가구)가 116만 마리 고양이를 사육하고 있음
 - 대표적인 반려동물인 반려견 관련 국내 시장 규모는 1995년 5,000억 원에서 2010년

1조 8,000억 원으로 성장하였고, 2020년에는 6조원 규모로 증가할 것으로 전망됨

- 관련 시장(1.8조원) 중 의료 및 미용시장 1.1조원, 사료 및 식품시장 4,957억 원, 의류 및 용품 1,836억 원 등으로 추정(반려동물 관련 소비실태 및 개선방안, 2013, 한국소비자보호원)

- 애완동물 사료시장에서 Nestle와 Mars 등 외국계 업체가 시장의 60~70%를 차지해왔으나 시장이 커지면서 국내 식품업체도 앞 다투어 사료를 출시하고 있음

□ 국외 사료첨가제 시장 및 산업 현황

- EU의 항생제 이용 금지에 따른 생균제 연구가 강화되는 추세임
- 미생물 사료첨가제 시장(수산용 포함)은 2010년 1.8억 달러로 추정되며, 2011년에는 2.1억 달러, 2016년에는 5억 달러에 달할 것으로 전망됨. 따라서 2011년부터 2016년까지 5년간 연평균성장률은 19.3%로 미생물시장에서 가장 높은 성장률을 나타내는 것으로 예상됨
- 생균제는 일본이 11종, 미국 40여 종, EU 38종이 개발되었으며, 탈취제로는 일본에서 200종이 성능평가 중임
- 세계 사료용 생균제 시장은 Chr. Hansen 21%, Lallemand 19%, Alltech 16%, Lesaffre 7%, 그리고 기타 37%로 형성되어 있음
- **(미국)** 애완동물용품관련 시장규모는 2013년 약 82억 540만 달러이며 의약품이 38%, 사료 및 간식 33%, 기타 4%가 차지하고 있음. 애완동물용 사료, 건강보조제 및 의약품은 FDA에서 관리 및 규제하고 있음
- **(일본)** 반려동물 관련 시장규모는 2012년 1조 4,133억 엔, 2013년 1조 4,233억 엔으로 지속해서 증가하는 추세이며, 애완동물 사료시장은 4428억 엔으로 전년대비 101.0% 성장하였음
- **(중국)** 애완동물식품 시장규모는 2013년 193억 2,000만 위안에 달했으며, 2014년에는 25% 증가한 것으로 나타났으며, 2020년까지 성장률이 1,200억 위안으로 세계 3위의 시장이 될 것으로 예상함

□ 국내 사료첨가제 연구개발 동향

- 2012년에 사료용 생균제 39종이 등록되었으며, 사료첨가제에 가장 많이 사용되고 있는 미생물은 주로 *Lactobacillus*와 *Streptococcus* 속에 속하는 유산균임.
- 2010년 최초로 사료 공정서에 *Salmonella gallinarum* 박테리오파지, *S. typhimurium* 박테리오파지가 사료첨가제로 사용할 수 있게 등재되었으며, 2013년 10월에 *S.*

enteritidis 박테리오파지와 *Clostridium perfringens* 박테리오파지가 사료 공정서에 추가 등재됨으로써 현재 4종의 박테리오파지가 사료 공정서에 등재됨

○ 박테리오파지를 이용한 신개념 항생제를 개발하는 국내 대표적인 기업으로 인트론과 CJ제일제당이 있음

- 인트론: 박테리오파지를 개발하여 사료첨가제 업체인 CTC바이오를 통해 세계 최대 곡물, 사료회사인 카길사에 납품하며 전체 매출의 10%를 올리고 있음. 또한 박테리오파지를 전문적으로 연구하고자 2012년 파지센터를 설립하였으며, 현재 수 1,000종에 달하는 박테리오파지 연구를 통해 바이오신약으로 개발하고자 함. 최근에는 대장균 감염으로 인한 '부종병(Edema Disease)'이 만연한 돼지농장을 대상으로 개발한 박테리오파지 제제의 효능을 확인함.

- CJ제일제당: 바이오텍터는 2010년 출시 첫해 13억 원의 매출을 올렸으며, 동물용 약품과 식품첨가물, 그리고 의약품으로 제품이 확대될 계획임

- CTC바이오: 양돈, 육계오리, 산란종계, 축우용별로 박테리오파지를 개발해서 판매하고 있으며, 2014년에는 제주특별자치도 해양수산연구원과 '세균 천적을 활용한 수산양식분야에서의 세균성 질환 극복 기술 개발'이란 국책과제를 진행하며 공동 개발한 양어용 박테리오파지(벡터페이지A)를 출시했음

○ 한국식품연구원은 미강 발효물로 만든 생균제의 한우 생육 촉진효과를 시험한 결과, 개발생균제섭취군이 일반사료 섭취군에 비해 130 kg, 시중생균제섭취군에 비해 97 kg의 체중이 더 늘어남

- 700kg에 도달할 때까지의 예상 사육기간이 다른 군에 비해 4개월 이상 단축됨

- 한우 장내 미생물의 metagenome 분석을 통해 25,000여종의 미생물이 장내에 존재하고, *Firmicutes*와 *Bacteroidetes*가 대부분을 차지하고 있는 것을 확인함

- 개발 생균제 섭취에 의해 *Firmicutes*의 양이 유의적으로 증가하는 것을 관찰됨

□ 국외 사료첨가제 연구개발 동향

○ Chr Hansen은 BioPlus2B를 개발하였으며, EU에서 최초로 항생제 대체제로 인증됨. 모든 영양관리, 항균력, 자돈폐사감소 등의 우수 효과를 통해 우수한 항생제 대체제 역할을 하고 있음

○ 해외 박테리오파지를 개발하는 대표적인 기업으로 Kemira(네덜란드), Chr. Hansen(덴마크), 비타맥스(벨기에) 등이 있음

[표 4] 주요 사료용 프로바이오틱스 제조 회사

회사명	종류	타겟	브랜드
Chr Hansen A/S	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus licheniformis</i>	돼지	Bioplus, Yieldcure, Lactiferm
	<i>Lactobacillus spp.</i> <i>Enterococcus spp.</i>	가금류	Gallipro
BioArmor Development SARL	<i>Lactobacillus farciminis</i>	돼지, 가금류	Bioacton®
Lohmann Animal health & Co.	<i>Enterococcus faecium</i> <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	돼지, 송아지	Microbisan®
LeSaffre	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	가축	BioSaf®, Procreatin-7®
Lallemand Animal Nutrition	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	가축	Levucell®

출처: 농수축산용 미생물산업 육성지원센터 설립 방안에 대한 연구, 2011, 농림수산물기술평가원

2. 면역증강제

□ 국내 면역증강제 시장 및 산업 현황

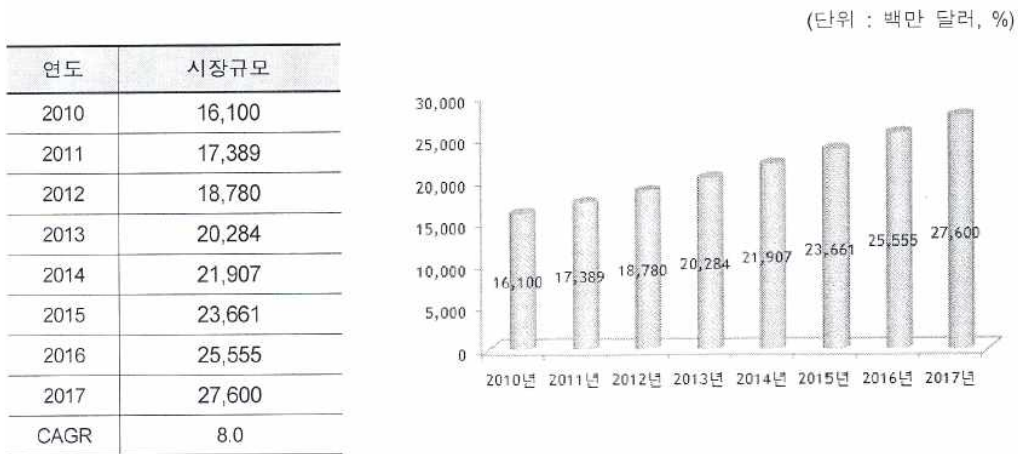
- 2004년 한·칠레 FTA를 시작으로 2012년 3월 한·미 FTA 체결로 인한 농축산업 분야 국가경쟁력 강화의 요구가 높음
- 2005년부터 농림부에서는 사료 내 항생제 사용량을 줄이는 시책을 펴오면서, 2011년 7월부터 항생제 사료 첨가를 전면적으로 금지함에 따라 축산 농가에서는 가축 생산성 저하 및 폐사율 증가 등 많은 피해가 발생할 것으로 전망됨
- 축산물 생산과정에서 항생제 사용 규제는 세계적인 추세임. 따라서 우리 정부에서는 사료 내 항생제 사용 금지와 더불어 앞으로 치료용 항생제 관리/유통 역시 점차적으로 관리하겠다는 방침을 세우고 있어 항생제를 대체할 수 있는 면역증강제의 개발이 시급함
- 항생제의 가축성장 촉진효과를 대체할 수 있는 면역증강제를 개발하여 사료 첨가제로 개발한다면 축산업 의존도가 높은 동남아 동물의약품 시장을 겨냥한 수출도 가능할 것으로 예상됨
- 국내에서는 최근 들어 중앙백신연구소, 고려비엔피 등 동물약품회사에서 면역증강을 위한 동물의약품, 백신의 수출실적이 꾸준히 늘고 있음
- 국내 동물의약품 시장의 2009년도 총 매출액은 5,663억 원이고, 이중 면역증강과

관련된 동물백신시장이 속하는 생물학적 제제시장은 1,171억 원을 점유하고 있음

- 생물학적 제제시장은 2010년에는 전년도 대비 약 28.1%나 증가한 1,500억 원 규모의 시장이 형성되었고, 10개의 주요 생산업체로는 베링거인겔하임, 중앙백신, 메리알코리아, 한국화이자, 인티베트코리아, 코미팜, 고려비앤피, 대성미생물연구소, 녹십자수의약품, 삼지약품 등이 있음
- 한편 국내 시장의 경우 글로벌 다국적 기업이 국내 동물백신 시장의 53%를 차지하고 있어 국내기술로 면역증강제를 개발할 경우 국내 점유율 증가뿐만 아니라 다국적 기업이 장악한 세계시장을 진출할 수 있을 것임

□ 국외 면역증강제 시장 및 산업 현황

- 면역증강제를 포함하는 사료첨가제의 시장현황으로 2010년 139억 달러이고 2015년과 2020년은 약 529억 달러, 1,262억 달러로 전망됨(Icon Group International, Inc., 2010; 생명산업의 글로벌 전략, CJ, 2010)
- 연평균 성장률은 19.3%로 다른 분야의 연평균 성장률 보다 두 배 이상 높음



[그림 2] 세계 사료 첨가 소재시장 현황

출처: The Global Compound Feed Market: Technology Developments and Market Changes, BCC Research, 2012

□ 국내 면역증강제 연구개발 동향

- 의생명공학 분야에서 밝혀진 분자 면역증강 물질을 수의학과 접목하여 가축 질병 대응에 활용하려는 노력이 일부에서 시작됨
- 현장에서는 광물질이나 발효물질 혹은 약용식물 가공 부산물을 활용한 면역증강용 첨가제를 활용하고 있지만 정확한 기작을 밝혀내는 기초연구는 부족한 상황임

- 최근 정부지원이 늘어나 구제역이나 조류독감에 효과를 보이는 소재들에 대한 연구들이 진행되고 있고 연구논문으로 발표하는 사례들이 늘고 있는 추세임
- 항균 펩타이드·단백질을 함유한 생균제 등을 개발하였으나, 전체적인 실험을 통한 효과 검증 및 대량생산 체계 확립이 필요함

□ 국외 면역증강제 연구개발 동향

- 최근 조류독감과 신종플루의 유행으로 인수공통질병에 대한 우려가 높아지면서 가축 질병에 대처하여 가축 질병 수준에서 제어하는 것이 경제적이라는 판단 하에 가축들의 면역력을 높이는 연구들이 많이 진행 중임
- 동물의 질병과 관련하여 의생명공학 분야에서 발견된 분자인자들의 가축에서의 면역 증강효과를 검증하고 활용가능성을 제시하는 연구논문들이 지속적으로 발표됨
- 신규 항균 펩타이드·단백질 개발이 활발히 진행되고 있으면, 항균능력이 높고 세포독성이 없는 다양한 종류의 항균 펩타이드·단백질이 개발 중임
- 최근에 세계적인 과학저널인 PNAS에 가축에서 투여하는 성장촉진용 항생제의 분자생물학적인 작용기작을 밝혀낸 논문이 발표된 바 있는데 이는 항생제를 대체할 성장촉진용 소재 개발에 크게 기여할 것임

제4절 건강기능성 미생물

1. 프로바이오틱스

□ 국내 프로바이오틱스 시장 및 산업 현황

- 국내 프로바이오틱스 시장은 크게 유산균 발효유와 분말 또는 과립형태로 판매되는 건강기능식품으로 구분됨
 - 시장의 대부분이 발효유가 차지하고 있으며, 2012년 2조 2천억 원 시장규모로, 기능성 유산균이 함유된 드링크 타입의 기능성 발효유가 51%를 차지하고 있음
- 분말 또는 과립형태로 판매되는 프로바이오틱스 건강기능식품은 2011년 이후 30%에 가까운 성장률을 보이고 있다. 식품의약품안전처에 따르면 프로바이오틱스 시장 규모(총생산액 기준)는 2011년 405억에서 2012년 518억 원, 2013년 804억으로 증가했으며, 2014년에는 1,200억 원으로 예상하고 있음
- 국내 고시형 프로바이오틱스에는 *Lactobacillus* 속, *Lactococcus* 속, *Enterococcus* 속, *Streptococcus* 속, 그리고 *Bifidobacterium* 속에 해당하는 19종의 유산균이 등재되어 있음.
 - 기능성 내용: 유익한 유산균 증식, 유해균 억제 또는 배변활동 원활
 - 일일 권장섭취량: $1 \times 10^8 \sim 1 \times 10^{10}$ CFU
- 국내 분말 또는 과립형태의 건강기능식품 프로바이오틱스 시장은 쉐바이오텍이 40%를 점유하고 있으며, 2014년 400억 원 정도의 매출을 올림
 - CJ제일제당과 대상, 한국야쿠르트 등 다른 대기업들도 잇달아 가세하면서 시장이 급격히 성장함

□ 국외 프로바이오틱스 시장 및 산업 현황

- 세계 프로바이오틱스 시장은 2014년 326억 달러 규모로 연평균 12.6%의 성장률을 기록하고 있으며, 유럽과 아시아에서 각각 총 판매액의 42%와 30%를 차지하여 강세를 보이고 있음.
- 2014년 유럽은 약 135억 달러 규모, 미국은 2013년 기준 약 4,200만 달러임
- 2013년 아시아 시장은 3,500억 원 규모로 아직 미미한 수준이지만 성장은 상대적으로 빠른 편임. 아시아 시장 내 50% 이상은 일본 시장이 차지하고 있음
- 프로바이오틱스의 생산업체는 전 세계적으로 다수의 군소 업체들이 존재하나, 유산균 강국인 덴마크의 Danisco와 Chr. Hansen, 프랑스 Rosell-Lallemend, 일본

Morinaga 등이 선진 시장에서 주요 기업으로 자리 잡고 있음

- 프로바이오틱스 유산균 제품은 건강 보조식품분야뿐만 아니라, 유제품에서의 성장률이 두드러지게 나타나며 2011년에는 세계 요구르트 판매 시장의 약 35%를 기능성 유산균이 함유된 프로바이오틱스 요구르트 제품이 차지하고 있음

□ 국내 프로바이오틱스 연구개발 동향

- 건강기능식품 개별인정형 유산균의 기능성이 확대되면서, 기존의 장 건강에서 아토피개선, 피부보습 및 주름 개선, 체지방 감소 등에 관한 연구결과들이 발표되고 있으며, (주)한국야쿠르트, CJ, 대상 등에서 이를 개별 인정형 원료 및 건강기능식품으로 개발하고 있음.
- *L. curvatus* HY7601과 *L. plantarum* KY1032의 복합유산균이 고과당 식이에 의해 유도된 혈중 중성지방, 혈당, 그리고 인슐린 저항성을 개선시켜주며, 고지방식이에 의해 유도된 체지방을 감소시킨다는 연구결과가 보고됨
 - 또한 고지방식이 투여에 의해 장내 미생물 군총의 분포에 있어서 체중증가와 관련된 것으로 알려져 있는 *Firmicutes*의 유의적인 증가가 나타났으며, 반대로 *Bacteroidetes*는 감소한 것으로 나타났음
 - 유산균을 투여하였을 때는 장내 군총의 분포가 정상식을 섭취하는 군과 유사하게 변화하여 *Firmicutes*는 감소하였고, *Bacteroidetes*는 증가하는 것으로 확인됨
- 프로바이오틱스와 프리바이오틱스가 함유된 발효유 섭취에 의한 사람 분변의 metagenome을 분석한 결과에서, 발효유 섭취에 의해 *Bacteroidetes*가 증가하고 발효유 섭취를 중단하였을 때 *Bacteroidetes*가 감소하는 것으로 나타났음
- 프로바이오틱스의 생존력을 높이는데 있어 주요 과제는 유산균 코팅 기술이며 유산균을 보호하는 코팅제를 씌워서 체내 산으로부터 보호하거나 유통 중 산소, 습기, 열 등과 같은 외부환경에 대한 생존율을 높여 줌
 - 셸바이오텍: 단백질과 다당류의 이중코팅 기술
 - 일동제약: 수용성 폴리머, 히알루론산, 다공성 입자 코팅제, 단백질 순서로 4중 코팅한 기술
 - CJ 제일제당: 오일로 1차 코팅시킨 후 연질캡슐로 2차 코팅
 - 케비젠: 다중 마이크로캡슐 기술(유청분말, 저지방 탈지분유, glucose를 glycerol과 혼합하여 1차 코팅하고 정제 가공유와 폴리글리세린지방산 에스테르 및 글리세린 호박산지방산 에스테르를 혼합 균질화시켜 2차 코팅을 한 후 최종적으로 탄수화물, 단백질 성분 및 검류 증점제, 유화제를 혼합해 균질화)

- 한국생명공학연구원: 미생물 유래의 레반(levan)을 이용하여 폴리머 형태로 코팅

□ 국외 프로바이오틱스 연구개발 동향

- 유럽에서는 캡슐 또는 코팅하는 기술을 통해 유산균의 위장관내 생존율을 높이고 있음
 - Chr. Hansen(덴마크): hydroxypropyl methylcellulose와 같은 cellulose polymer를 acacia gum이나 propylene glycol과 혼합하여 유산균을 film 코팅
 - Institut Rosell-Lallemand(캐나다): micro encapsulation, enteric coating인 STAR (Optimal STmach Acid Resistance)
 - 미국, 일본: 식물성 지방원료를 이용하여 코팅, lipid powder(natural powder, oils, wax, fatty acid 등)를 이용하여 유산균체 표면을 코팅
- 유산균 사균체 제품 중 가장 대표적인 예로서 프랑스의 Lacteol사의 'Lacteol Forte'를 들 수 있음
 - 장점막세포에 병원성 세균의 부착을 방해하여 정상작용을 하는 것으로 알려져 있음
- 일본 니치니치 제약의 'FK-23'은 유산구균을 열처리한 사균체 제품으로서 면역 활성 기능을 규명하여 c형 간염 치료제로 개발하였음
- 유산균이 만들어 내는 대표적인 박테리오신은 nicin으로 1950년대에 영국에서 처음으로 유통되기 시작하여 음식물 첨가제로 허가 받은 유일한 박테리오신임
 - 덴마크의 Danisco는 nicin을 상업화하여 'Nisaplin'과 'Novasin'이라는 제품을 판매하고 있음
 - 오스트레일리아의 Quest 사는 *Pediococcus acidilactici* PA1이 생산하는 pediocin을 함유하는 발효물을 판매하고 있음

2. 버섯류

□ 국내 버섯 시장 및 산업 동향

- 국내 식용버섯은 느타리버섯, 팽이버섯, 양송이버섯, 큰느타리버섯(새송이버섯) 등 농산버섯과 표고버섯 등 임산버섯으로 구분됨
 - 팽이버섯은 5개 내외의 대농가가 자동화 시스템으로 대량생산하여 국내 및 수출 시장을 장악하고 있는 체제임
 - 새송이버섯은 중대형 농가가 다수 존재하며, 자동화 병버섯재배 시스템이 대농가

를 중심으로 자리잡아가고 있음

- 양송이버섯, 느타리버섯은 중소농가 위주로 재배되고 있으나, 자본이 집중되는 경우 대농가 체제로 언제든 재편될 수 있음
- 임산버섯의 대표버섯인 표고버섯은 원목재배법과, 봉지재배법, 병재배법 등 다양한 재배법이 시행되고 있으며, 재배기간 및 수확기간이 길어서 주로 소농중심의 생산이 이루어지고 있음
- 기타 산림버섯으로 송이버섯, 싸리버섯, 목이버섯 등이 있으나, 인공재배법이 확립되지 못하고 있음
- 농산버섯류는 국내 시장이 포화상태에 도달하였으며, 포화물량의 해소를 위하여 수출에 유리한 새송이버섯과 팽이버섯의 생산량이 꾸준히 늘고 있음
- 표고버섯은 생산성이 담보상태라서 시장은 일정한 수준을 유지하고 있으나, 건표고 위주로 중국에서 대량 수입되고 있어 생산성 향상으로 시장의 추가확대 여지가 있는 품목임

□ 해외 버섯 산업현황

- **(중국)** 세계 버섯 생산의 70-80%를 차지하고 있으며, 공장화가 진행됨에 따라 그 비중이 더욱 확대될 것으로 예측됨. 2011년 연간 116만 톤을 생산하고 있음(2011년 우리나라 국내 버섯 총생산량 20만 톤)
 - 경제발전에 따라 중국 국내 버섯 소비량이 크게 증가하고 있으며, 수출시장의 확대가 기대되고 있음
- **(일본)** 버섯 총생산량이 44만톤(2009), 총생산액 2조 5천억 원에 이르고 있음. 생표고, 팽이버섯의 생산량은 늘고 있으며, 기타버섯들의 생산량은 소폭 감소하였음
- **(미국)** 중국 다음으로 많은 버섯생산량을 차지하고 있음(16%). 양송이버섯이 전체 버섯 생산량의 95%를 차지하고 있음. 표고, 느타리, 팽이버섯의 생산이 점차 증가하는 추세임
- **(유럽)** 양송이버섯이 자동화 공장 시스템으로 생산되고 있음. 국내 재배 팽이버섯, 새송이버섯이 수출되고 있음

□ 국내 버섯류 연구개발 동향

- 팽이버섯의 표준유전체 분석을 농촌진흥청에서 완료하였으나 아직 완성단계임. 후속 비교유전체 연구가 차세대바이오그린 사업으로 일부 진행되었음

- 느타리버섯, 새송이버섯, 동충하초, 송이버섯의 유전체도 생산균주를 대상으로 차세대바이오그린 사업으로 부분적으로 진행되었음. 기능유전체, 비교유전체 연구는 미비한 수준임. 표고버섯 유전체는 산림과학원을 중심으로 분석되고 있음
- 대부분 연구초기 단계로, 버섯 유전체 해독 연구에 대한 정보는 현재 거의 공개되어 있지 않음.

□ 해외 버섯류 연구개발 동향

- 양송이버섯이 주로 소비되는 서구지역에서는 양송이버섯위주로 식용버섯 유전체가 해독되어 공개되었음
- 표고 유전체 연구는 중국, 일본을 중심으로 이루어지고 있으며 표준유전체 해독 중
- 국내뿐만 아니라 국외에서도 산업적 가치에 비해 버섯 유전체 관련 기술은 아직 매우 미미하며 국외에서도 기능유전체 연구는 시작 단계임

제 3 장



세부추진계획

제3장 세부추진계획

제1절 발효식품

1. 김치류 미생물

- 프로바이오틱스(probiotics) 특성을 가진 김치유산종균(스타터)을 개발하여 프로바이오틱스 기능이 첨가된 고기능성, 고품질을 가진 표준화된 김치개발
- 장건강 개선 건강기능식품 김치유래 프로바이오틱스 원료 개발: 유산균 증식, 유해균 억제, 배변활동 원활 건강기능식품 원료 개발

▶ 배경 및 필요성

- 김치는 원료에서 유래되는 젖산균에 의한 자연발효에 의존함으로써 동일한 제조법을 사용하더라도 원료의 재배시기, 산지에 따라 미생물 천이가 다르게 나타나고 형성되는 맛과 풍미가 다르게 나타남
 - 김치의 세계화와 산업화를 가로막는 주요 요인으로 종균의 사용으로 이를 극복 가능함
- 다양한 유산균들이 건강기능식품소재인 프로바이오틱스로 인정되어 이들을 이용한 발효식품들(발효유, 치즈 등)의 시장규모가 날로 확대되고 있는 반면, 김치의 경우 우수한 건강기능에도 불구하고 김치의 소비량은 감소하고 있음
- 프로바이오틱스 기능이 첨가된 기능성 김치의 개발로 김치의 소비증가 유도 필요
- 김치의 고급화, 세계화 및 국내 김치산업의 경쟁력 확보를 위해 프로바이오틱스 (probiotics) 특성을 가지는 김치유산균을 선별하여 프로바이오틱스 건강기능을 인정받는 것이 시급함
- 프로바이오틱스(probiotics) 특성을 가지는 김치유산균을 선별하여 김치생산의 표준화 및 발효안정성을 향상시키는 김치 종균(스타터)으로 개발하면 김치의 고급화, 세계화 및 국내 김치산업의 경쟁력 확보가 가능함

▶ 연구개발목표

- 프로바이오틱스 기능이 인정된 김치유산균을 사용한 고기능성, 고품질을 가진 표준화된 김치개발
- 김치로부터 프로바이오틱스 기능을 가진 김치유산균을 선별하고 김치 발효환경에 맞도록 적응시켜 발효 안정성을 증가시킨 김치유산종균 개발하여 건강기능성 프로

바이오틱스 인정 추진하여 우리나라 김치의 건강기능성을 발효유(yogurt) 수준으로 향상시킴

- 건강기능성 프로바이오틱스 인정 추진: 프로바이오틱스 건강기능성 인정 신청 1건

▶ 주요연구개발

- 김치로부터 잠재적 프로바이오틱스 기능을 가진 김치유산균 선별
 - 김치의 세계화와 산업화를 가로막는 주요요인으로 종균의 사용으로 이를 극복
 - In vitro 시험법을 통한 잠재적 프로바이오틱스 기능을 가진 김치유산균 선별
 - 김치유산균의 유전체 분석을 통해 우수 발효능과 기능성을 가진 잠재적 발효종균용 김치유산균 선정
- 선정된 김치유산균의 프로바이오틱스(위산 및 담즙 저항성, 장내 정착능, 체지방 감소, 면역 증강 등) 특성 및 기능성 물질(mannitol, GABA 등) 생산특성 분석
- 우수한 발효능과 기능성을 가진 김치발효용 스타터균주를 개발하기 위해 김치환경(low pH, salt, 저온)에 최적화된 균주로 개량하기 위한 진화(순화, domestication) 과정 실시
 - 순화된 균주의 생리적, 유전적 특성분석
 - 개량된 김치유산균의 유전체 분석(genome, transcriptome) 및 대사체(metabolome) 분석을 통한 김치유산균의 발효능, 기능성, 안전성 분석 및 검증
 - 프로바이오틱스 기능이 입증된 김치유산종균을 사용한 고기능성, 고품질을 가진 표준화된 김치개발 및 상품화
- 동물효능평가를 통해 장내 유산균 증식, 유해균 억제, 배변활동 원할 기능 등 프로바이오틱 특성분석
- 인체적용시험
 - 국내 임상시험기관에서 인체효능평가
- 프로바이오틱스 인정 추진
 - 식약처 건강기능식품 인정 원료 인증

▶ 기술개발 체계



▶ 연차별 투자계획

구분(억 원)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	'14~'21 예산
김치류 미생물	2.5	2.5	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	20.5
잠재적 프로바이오틱스 김치 유산균 선별 및 특성분석	0.8	0.8	0.8	0.5	0.3	0.3			3.5
진화를 통한 김치 발효용 스타터 균주 개발	1.4	1.4	1	0.7	0.7	0.5	0.4	0.4	6.5
발효능, 기능성, 안전성 분석 및 검증	0.3	0.3	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	3.8
김치개발 및 상품화			0.5	0.4	0.4		0.5	0.5	2.3
동물효능평가를 통한 프로바이오틱 특성분석				0.4	0.6	0.6			1.6
인체적용시험을 통한 프로바이오틱 특성분석							0.5	0.5	1
프로바이오틱스 인정 추진						0.4	0.4	0.4	1.2
김치유산균 프로바이오틱스 상품화						0.2	0.2	0.2	0.6
총예산대비 비중(%)	12.2	12.2	14.6	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	100%

▶ 기술개발 로드맵

중점연구영역		1단계				2단계				연구개발 목표	
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021		
김치류 미생물	프로바이오틱스 기능을 가진 김치유산균 선별									- 잠재적 프로바이오틱스 김치 유산균 선별 및 유전체분석 10건 - 우수균주 선정 2건	
	진화를 통한 김치 발효용 스타터 균주 개발 및 검증										- 김치환경에 최적화된 균주개발 3건 - 개량된 균주의 유전체, 전사체, 대사체 분석 3건 - 표준화된 김치개발 및 상품화 4건
	프로바이오틱스 개발									- 유산균 증식, 유해균 억제, 배변활동 원활 건강기능식품 원료 후보 3건 - 프로바이오틱스 건강기능성 인정 신청 1건	
'15~'21 투자계획(억원)		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	총 투자액	
		2.5	2.5	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	20.5	

▶ 기대효과

□ 기술적 측면

- 진화를 이용한 균주개발 기술 개발을 통한 김치유산균에서 뿐 아니라 다양한 발효 식품에서의 최적화된 스타터균주를 개발 및 활용 할 수 있는 기반 구축
- 유전체, 전사체, 대사체를 종합한 오믹스 분석 기술 확립을 통한 김치유산균의 발효능, 기능성, 안전성 분석 및 검증 시스템 구축

□ 경제/산업적 측면

- 프로바이오틱스 특성을 가진 김치유산균의 사용으로 인한 김치의 표준화 및 고급화
- 특허 및 산업재산권을 확보하고 김치종주국으로서의 위상확보
- 김치의 건강기능성을 향상시킴으로 인한 김치 대중화 및 세계화

2. 주류 미생물

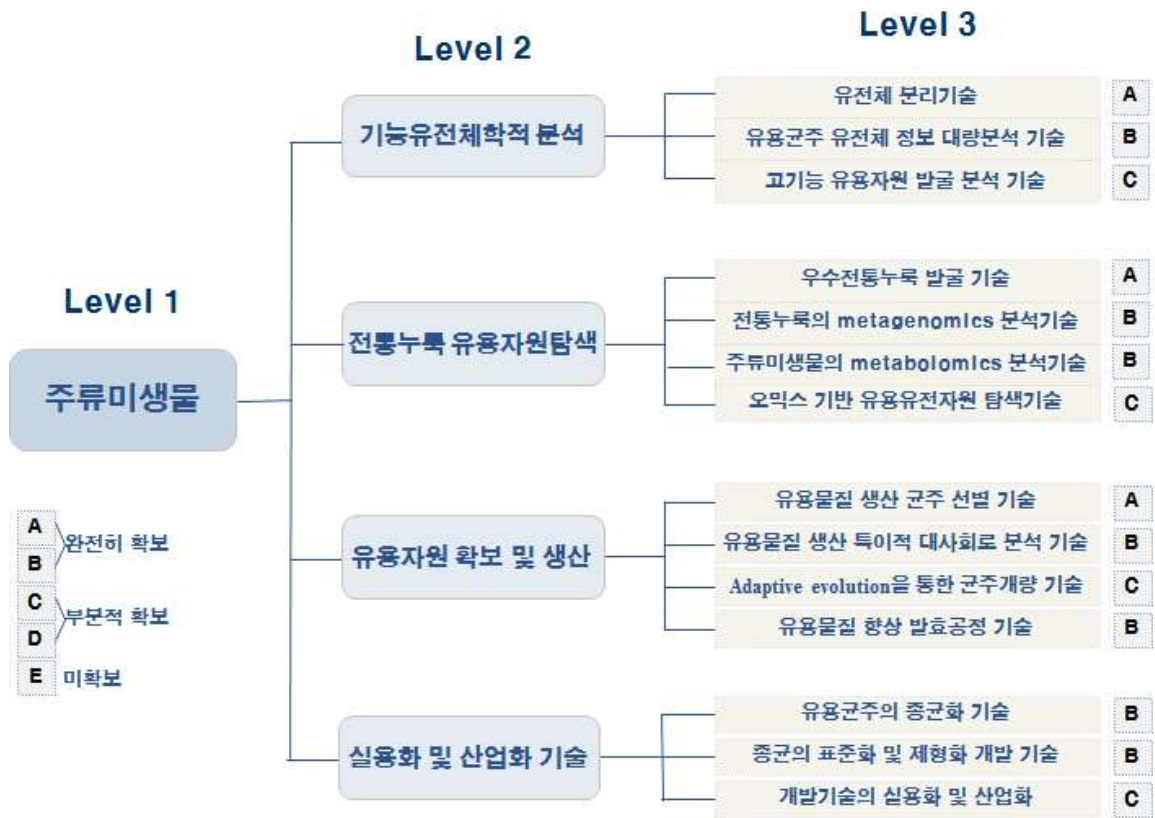
▶ 연구 개발 목표

- 양조 미생물(효모, 곰팡이)의 유전체 및 기능 분석
- 전통누룩의 미생물 자원 및 유전자원 분석
- 유용 유전자원 확보 및 발효균의 표준화
- 양조 미생물 자원의 산업화
- 전통 누룩 유래의 유용 기능성 물질 생산 가능 발효 효모 개발

▶ 주요 연구 개발 내용

- 우수 양조미생물의 유전체 및 기능 분석
 - 양조미생물 유전체 분리기술 구축
 - 유용균주 유전체 정보 대량분석
 - 고기능 유용자원 발굴 및 기술 개발
- 전통누룩의 미생물 자원 및 유전자원 탐색 및 기술개발
 - 양조 미생물의 선호도가 높은 향기성분 및 기능성 물질을 고함유한 전통 누룩 확보
 - 전통누룩의 metagenomics 분석을 통한 유용 유전자원 확보
 - 전통누룩 유래 유용 효모 및 진균 분리 및 대사체 분석
 - 오믹스 기반 유용유전자원 탐색기술 구축
- 유용 효모 및 진균의 대사회로 자원화
 - 분리된 유용 효모 및 진균의 대사체, 유전체 등을 비교 분석하여 기능성 물질 생산관련 등 특이적 대사회로 분석 및 DB화
 - 유용 효모 및 진균의 대사회로 자원을 활용한 기능성 물질 생산 균주 선별
 - Adaptive evolution 등의 기술 개발 등을 통한 균주 개량
 - 특정 유용 기능성 물질 대량 생산을 위한 발효공정 개발
- 확보된 미생물 자원의 실용화 및 산업화
 - 대량 배양조건 확립을 통한 선발 유용균주의 종균화
 - 종균의 표준화 및 제형화 기술 개발
 - 개발 기술의 실용화 및 산업화 지원

▶ 기술개발 체계



▶ 연차별 투자계획

구분(억 원)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	'14~'21 예산
주류미생물	2.5	2.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	26
양조미생물의 유전체 및 기능분석	0.9	0.9	0.9	0.9	0.3	0.3	-	-	4.2
전통누룩의 미생물 자원 및 유전자원 분석	1	1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	-	8
유용 유전자원 확보 및 유 용 기능성 물질 생산 가능 발효효모 개발	0.3	0.3	0.8	0.8	1	1	1	1.5	6.7
양조 미생물 종균의 표준 화 및 양조미생물 자원의 산업화	0.3	0.3	0.6	0.6	1	1	1.3	2	7.1
총예산대비 비중(%)	9.6%	9.6%	13.5%	13.5%	13.5%	13.5%	13.5%	13.5%	100.0%

▶ 기술개발 로드맵

중점연구영역	1단계				2단계				연구개발 목표
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
주류 미생물	양조미생물 (효모, 곰팡이)의 기능 유전체학적 분석	양조미생물의 유전체 분리기술 확보		전통누룩 유래 고기능 유용자원 발굴 분석기술 개발				유용균주 유전체 정보 대량분석 기술 구축	- 유전체정보 대량분석 기술구축 완료 - 유용자원 발굴 및 분석기술 개발
	전통누룩의 미생물 자원 및 유전자원 탐색 및 분석	양조적성을 바탕으로한 우수 전통누룩의 선정		전통누룩의 metagenomics 분석을 통한 유용 유전자원 확보		누룩 자원으로부터 유용 효모 및 진균분리 및 metabolomics 분석			오믹스 기반 유용유전자원 탐색기술 구축
	전통누룩유래 유용 기능성 물질 생산 가능 발효 효모 개발	양조미생물 분리 및 선발		누룩유래 유용미생물의 기능성 물질 생산관련 특이적 대사회로 분석				유용물질 항상 발효공정 개발	- 유용물질 생산관련 대사회로 3건이상 분석 및 DB화 - Adaptive evolution 기술 2건이상 개발 - 최적 발효공정 2건이상 개발
	양조미생물 유전자원 확보 및 산업화	유용균주의 종균화 기술개발		선발 유용균주의 종균화 및 제형화 공정 확립		실용화/ 산업화			
'15~'21 투자계획(억 원)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	총 투자액
	2.5	2.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	26

▶ 기대효과

□ 기술적 측면

- 전통누룩 및 전통주의 양조미생물의 체계적인 분리 및 산업적 이용을 위한 생물자원의 확보
- 전통주 균총의 성장규명에 의한 발효 메커니즘의 과학적 근거 제시
- 전통주의 품질균일화 및 고품질화를 위한 기반 조성

□ 경제/산업적 측면

- 전통주의 품질균일화 및 고품질화를 위한 기반 조성
- 자생 미생물자원으로부터 생물 산업의 주 발효제로 사용되고 있는 수입 종균의 대체 자원 발굴 가능
- 전통누룩 및 전통주의 미생물 지도를 완성하여 전통주산업의 미생물 관련 안전성을 입증함으로써 전통주 수출의 증대 효과

3. 장류 미생물

유전체 정보를 활용하여 안전성이 확보된 고기능성 장류 스타터(종균)를 개발하고 이를 장류발효에 적용하여 고품질의 표준화된 장류 상품화

▶ 배경 및 필요성

- 최근 건강에 대한 관심고조로 영양적 가치와 더불어 항혈전, 항균, 항염증, 항비만 등 건강기능성이 알려져 있는 발효생산물인 장류는 식품산업분야에서 그 중요도가 높아지고 있음
- 장류의 발효기작 및 기능성의 체계적인 분석을 위해 오믹스기법(유전체, 전사체 및 대사체에 대한 분석 등)을 이용한 장류발효미생물의 기능성 물질에 대한 생성기작, 발효특성 및 생리활성 등에 대한 연구 필요성 증대
 - 정체기의 장류산업 발전을 위해 장류의 과학적 효능 입증 필요
 - 장류 기능성의 입증을 통해 국내외 장류 소비 증대: 수요 증대 및 세계화
- 전통발효식품인 장류는 종균(스타터)을 첨가하지 않고 주원료에 부재료를 첨가, 혼합하여 원료나 공기 중에서 유입된 미생물에 의한 자연발효 과정을 이용하고 있음
 - 자연발효과정은 지역마다 다른 전통장류의 발달을 가져왔으나, 발효미생물이 균일하지 못하여 장류의 기능성, 품질 및 맛이 표준화가 힘들고, 상업적 제조 공정의 표준화가 어려움: 장류의 산업화, 표준화에 대한 걸림돌
 - 고기능성 장류 생산 표준화를 위해 발효능과 기능성이 확인된 장류 스타터 개발 필요성 증대
- 장류 내 존재할 수 있는 독소 및 biogenic amine의 생성 등 식품에 대한 안전성 문제가 사회적 이슈로 대두
 - 장류 생산단계에서 위해요소를 최소화 할 수 있는 방안 마련 필요성 증대
 - 안전성이 확보된 장류 스타터를 이용한 고품질의 장류생산 필요성 증대

▶ 연구 개발 목표

- 국내 전통장류에서 분리한 장류발효미생물의 유전체 분석을 통하여 장류미생물의 기능성을 확인
- 선발 균주의 대사과정조절을 통해 상업화를 위한 우수 장류스타터 개발
- 장류의 표준화를 위해 안전성 및 건강 기능성이 확인된 장류 미생물을 스타터로 사용하여, 안전성이 확보된 고품질 장류의 개발 및 산업화

▶ 주요 연구 개발 내용

- 기존 전통장류(매주, 된장, 간장)으로부터 우수 장류미생물 확보
 - 기능성 균주 선별: *in vitro* 탐색기술을 활용한 장류 미생물의 기능성(단백질 분해능, 항균, 항혈전, 항염증 등) 탐색
 - 장류 미생물 안전성 검증: 독소와 아민(biogenic amines) 생산능 검정
 - 발효 스타터 후보균주 선별: 장류미생물의 유전체 분석을 통해 우수 발효능과 기능성을 가진 잠재적 발효스타터용 미생물 선정
- 진화를 통한 장류 미생물 개량
 - 우수한 발효능과 기능성을 가진 장류용 스타터균주로 개발하기 위해 진화를 통한 선발 장류미생물의 장류환경 적응성 및 기능성 개량
 - 개량된 장류 미생물 종균의 생리적, 유전적 특성분석을 통한 선발
 - 선발된 장류미생물의 오믹스분석(genome, transcriptome, metabolome)을 통해 선발균주의 발효능, 기능성, 안전성 검증
- 장류발효 적용: 개량 장류 미생물의 장류 발효 스타터능 검증
 - 선발된 개량 장류미생물의 발효능, 기능성, 안전성 실증
- 고품질 장류 산업화 적용: 개발된 장류 스타터를 사용한 안전성이 확보된 기능성, 고품질 장류개발 및 상품화
 - 발효 스타터능 검증 균주의 산업적 적용
 - 선발 균주를 이용한 표준화된 장류발효기술 개발 및 적용
 - 개발 제품의 상품화: 고품질 장류 시제품 생산 및 제품화

▶ 기술개발 체계



▶ 연차별 투자계획

구분(억 원)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	'14~'21 예산
장류미생물	-	-	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	16
장류미생물 확보 및 특성분석을 통한 우수균주 선정			1.5	1	1				3.5
진화를 통한 장류미생물 적응성 및 기능성 개량			2	1	1	1	0.5	0.5	6
개량된 균주의 발효능 기능성, 안전성 분석 및 검증				0.5	0.5	0.5	1	1	3.5
개량 균주를 이용한 표준화된 장류개발 및 상품화						1	1	1	3
총예산대비 비중(%)			21.9%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	100.0%

▶ 기술개발 로드맵

중점연구영역		1단계				2단계				연구개발 목표
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
장류 미생물	장류미생물 확보 및 특성분석을 통한 우수균주 선정	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">장류미생물 확보 및 기능성 독소 및 아민 생산능 검정</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">유전체 분석을 통한 우수 균주 선정</div> </div>								- 장류미생물 확보 및 잠재적 발효스타터 선정 10건 - 우수균주 선정 2건
	진화를 통한 장류 스타터 균주 개량 및 검증	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">진화를 통한 장류 환경적응성 및 기능성 개량</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">개량 균주 생리유전적 특성분석</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">오믹스 분석을 통한 균주 검증</div> </div>				<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">발효능 기능성 안전성 실증</div>				- 장류 환경 적응성 및 기능성 개량 3건 - 개량된 균주의 유전체, 전사체, 대사체 분석 3건
	개량 균주를 이용한 표준화된 장류개발 및 상품화					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">개량균주 최적적용조건 개발</div>				- 표준화된 장류 개발 - 실용화/상품화 2건 이상
'15~'21 투자계획(억원)		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	총 투자액
		-	-	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	16

▶ 기대효과

□ 기술적 측면

- 전통장류의 기능성 연구를 통한 전통장류의 과학적 분석 및 체계화
- 전통장류로부터 우수 장류 미생물 확보 기술구축
- 진화를 통한 장류용 스타터균주개발 기술 확보
- 장류에서의 미생물의 발효능, 기능성 그리고 안전성 실증 기술 확보

□ 경제/산업적 측면

- 장류용 스타터를 사용한 장류의 표준화 및 산업화
- 안전성, 기능성이 입증된 고품질 장류 상업화로 소비자층 확대 및 시장창출
- 고품질 장류의 수출을 통한 장류의 세계화

4. 염장류 미생물

국내 젓갈로부터 젓갈미생물을 분리하고 안전성이 확보된 젓갈 스타터(종균)로 개발하여 안전성이 확보된 고품질 젓갈 상품화

▶ 배경 및 필요성

- 오믹스(유전체, 전사체 및 대사체에 대한 분석 등) 기법을 이용한 젓갈발효미생물의 기능성 물질 및 위해 물질의 생성기작에 대한 자료가 부족한 실정이며 젓갈의 과학화 및 세계화를 위해서는 젓갈 미생물의 기능성 및 안전성에 대한 연구필요성이 증대됨
- 젓갈은 부패, biogenic amine 등의 생성 등에 대한 안전성 문제가 사회적 이슈로 대두되면서 젓갈의 생산단계에서 이러한 위해요소 생성을 최소화 할 수 있는 방안 마련이 필요함
- 발효능과 안전성이 확인된 젓갈미생물을 스타터로 사용하여 안전성에 문제가 없는 젓갈생산 필요성 증대
- 전통 발효식품인 젓갈은 종균(스타터)을 첨가하지 않고 주원료에 부재료를 첨가, 혼합하여 원료나 공기 중에서 유입된 천연 미생물에 의한 자연발효 과정을 이용하고 있음. 따라서 원료, 계절, 온도 등에 따라 발효에 참여하는 미생물이 다르고 이에 따라 발효과정이 다르게 나타나고 젓갈의 품질 및 맛이 표준화되지 못함
- 젓갈의 산업화, 표준화에 대한 걸림돌로 작용함

▶ 연구 개발 목표

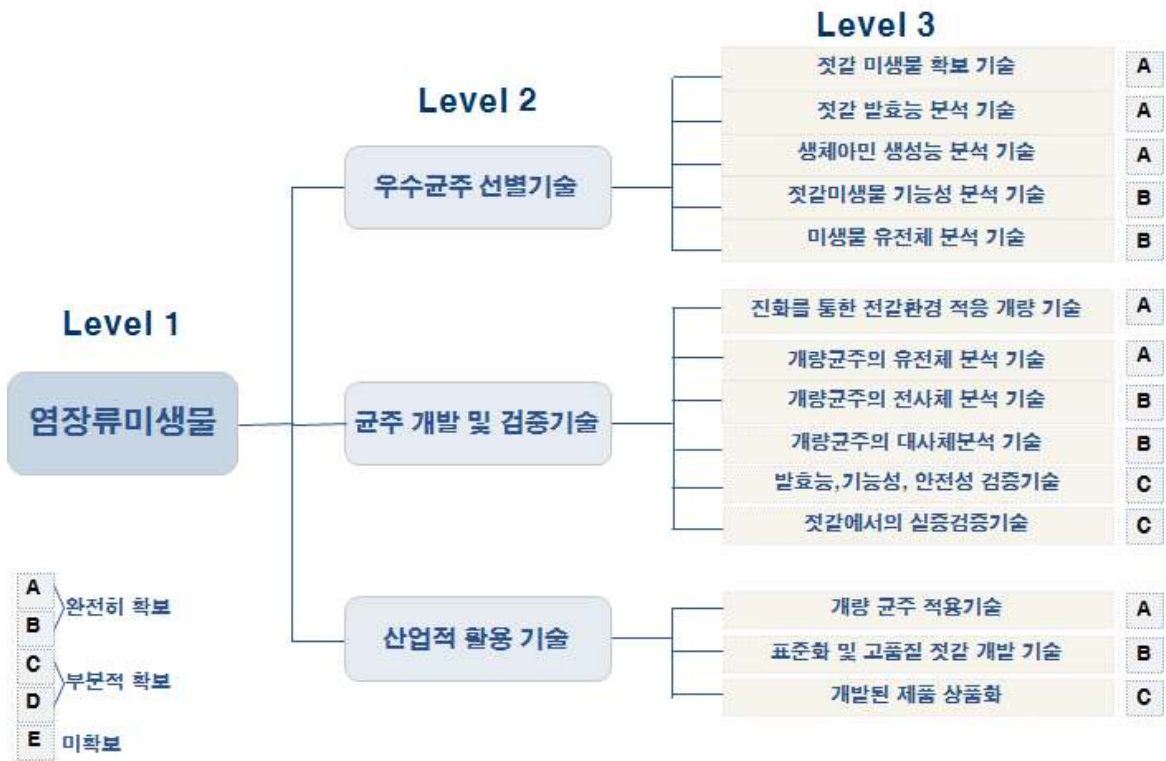
- 국내 전통젓갈에서 분리한 우수 젓갈발효미생물의 유전체 분석을 통하여 젓갈미생물의 발효특성 및 안전성을 확인하고 대사과정의 조절을 통해 우수한 젓갈종균으로 개발하고자 함.
- 발효특성이 우수하고 안전성이 확보된 젓갈 스타터의 사용으로 표준화되고 안전성이 확보된 고품질의 젓갈을 개발하고 상품화하고자 함

▶ 주요 연구 개발 내용

- 전통젓갈(새우젓, 멸치젓 등)으로부터 우수한 젓갈미생물의 확보
 - 장류미생물의 유전체 분석을 통해 발효능과 기능성을 가진 잠재적 발효종균용 젓갈미생물 선정

- *in vitro* 탐색기술을 활용한 젓갈 미생물 기능성 및 발효능 탐색 및 biogenic amine 생성능 검정
- 우수한 발효능과 기능성을 가진 젓갈발효용 스타터균주 개발하기 위해 젓갈환경에 맞도록 개량
 - 개량된 젓갈 미생물의 생리적, 유전적 특성분석
 - 젓갈미생물의 오믹스(genome, transcriptome, metabolome)분석을 통해 젓갈미생물의 발효능, 기능성, 안전성 검증
- 젓갈에서의 젓갈미생물의 발효능, 기능성, 안전성(biogenic amine 생성능) 실증실험
- 안전성이 확보된 젓갈스타터를 사용하여 안전성이 확보된 고품질 젓갈개발 및 상품화

▶ 기술개발 체계



▶ 연차별 투자계획

구분(억 원)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	'14~'21 예산
염장류미생물	-	-	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	16
젓갈미생물 확보 및 특성분석을 통한 우수균주 선정			2	1	1				4
진화를 통한 젓갈미생물 적응성 및 기능성 개량			1.5	1	1	0.5			4
개량된 균주의 발효능, 기능성, 안전성 분석 및 검증				0.5	0.5	1	1	1	4
개량 균주를 이용한 표준화된 장류개발 및 상품화						1	1.5	1.5	4
총예산대비 비중(%)	-	-	21.9	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	100

▶ 기술개발 로드맵

중점연구영역		1단계				2단계				연구개발 목표
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
염장류 미생물	젓갈류미생물 확보 및 특성분석을 통한 우수균주 선정			젓갈류미생물 확보 및 기능성 생체아민 생성능 검정						- 젓갈류미생물 확보 및 잠재적 발효스타터 선정 10건 - 우수균주 선정 2건
	진화를 통한 젓갈류 스타터 균주 개량 및 검증			진화를 통한 젓갈환경 적응성 및 기능성 개량						- 젓갈환경 적응성 및 기능성 개량 3건 - 개량된 균주의 유전체, 전사체, 대사체 분석 3건
	개량 균주를 이용한 표준화된 젓갈류개발 및 상품화			개량 균주 생리 유전적 특성분석	오믹스 분석을 통한 균주 검증			개량균주 최적적용조건 개발	표준화 및 고품질 젓갈개발	상업화
'15~'21 투자계획(억 원)		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	총 투자액
		-	-	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	16

▶ 기대효과

□ 기술적 측면

- 전통젓갈의 안전성 확보를 통한 전통 젓갈의 과학화
- 전통젓갈로부터 우수 젓갈 발효미생물 확보 기술구축
- 진화를 통한 젓갈용 스타터균주개발 기술 확보
- 전통젓갈에서의 미생물의 발효능, 기능성 그리고 안전성 실증 기술 확보

□ 경제/산업적 측면

- 안전성이 입증된 고품질 전통장류 개발로 전통장류의 세계화
- 스타터를 사용한 전통젓갈의 표준화 및 산업화

제2절 농림유용미생물

1. 미생물농약

기후 변화로 인하여 발생이 증가하고 있으나 방제약제가 제한적인 고추 세균성 점무늬병, CMV 및 바이러스 매개 진딧물을 효과적으로 방제하는 고효율 미생물 농약을 개발하고 제품화하고자 함

▶ 배경 및 필요성

- 기후변화에 따라 주요 작물중의 하나인 고추에 방제가 어려운 식물병과 해충이 발생 급속 증가
 - 고추는 우리나라에서 재배되고 있는 주요 채소중의 하나이며, 2010년 현재 생산액은 1.1조원이 이르며, 10a당 소득은 2011년 현재 322만 원으로 고소득 작물 중의 하나임
 - 고추에는 탄저병과 역병 등이 주로 발생하여 문제를 일으키지만, 최근에는 지구 온난화로 인하여 세균성점무늬병과 오이모자이크 바이러스병(CMV: Cucumber Mosaic Virus) 및 CMV를 매개하는 진딧물에 의한 피해가 급속도로 증가하고 있음
- 합성농약으로도 방제가 어려운 식물병과 해충
 - 세균병의 경우 그 동안 동제와 항생물질을 사용하여 왔으나, 대부분의 병원성 세균이 이들 화합물에 대하여 저항성을 나타내기 때문에 방제 약제가 전무한 실정임

- CMV를 포함한 바이러스병을 방제하는데 있어서도 합성 농약 및 생물농약이 거의 전무한 실정임
- 현재 진딧물을 친환경적으로 방제하기 위하여 다양한 식물유래 물질 제품을 사용하고 있으나, 활성성분이 님오일과 고삼추출물로 거의 동일하여 저항성 해충이 발생하고 있으며, 미생물 제품은 전무한 실정임.
- 연구의 필요성
 - 세균성점무늬병과 CMV 방제용 미생물농약은 친환경 농가에서 뿐만 아니라 관행 농가에서도 사용할 수 있으므로 연구개발이 절실히 필요하고, 또한 진딧물의 친환경적 방제를 위해서는 새로운 소재 개발이 절실히 필요함.

▶ 연구 개발 목표

- 난방제 병해충 방제용 미생물 농약 개발 및 제품화
 - 길항 미생물을 이용하여 방제가 어려운 고추 세균성 점무늬병, CMV 및 바이러스 매개 진딧물 방제용 미생물 농약 개발 및 제품화
- 난방제 고추 병해충 활성 검정 기술 구축
 - 각종 미생물 라이브러리를 이용한 병해충에 방제효과를 효율적으로 스크리닝 할 수 있는 *in vivo* 스크리닝 기술 구축 및 지속적인 길항미생물 발굴

▶ 주요 연구 개발 내용

- 난방제 고추 병해충 스크리닝 기반 기술 구축
 - 온실에서 유묘에서 난방제 병해충에 대한 효능을 평가할 수 있는 기반 구축 및 이를 활용한 신규 우수 길항 미생물 선발
- 활성물질 분리 및 구조 동정
 - 다양한 크로마토그래피 기술을 활용한 물질 분리
 - 다양한 분광학 기술을 이용한 물질 구조 동정
 - 활성물질의 활성 스펙트럼 조사
- 최적 발효 공정 및 제제 기술 개발
 - 다양한 발효조건 조사를 통한 최고 약효를 위한 최적 발효 공정 개발
 - 다양한 제제 및 약효 검정을 통한 최적 제형 개발
- 시제품의 적용 스펙트럼 조사

- 주요 대상 병해충 외 유사 병해충에 대한 방제효과 조사
- 유기농자재 등록
 - 포장약효 시험, 약해시험, 독성시험, 이화학분석시험, 적용확대시험

▶ 기술개발 체계



▶ 연차별 투자계획

구분(억 원)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	'14~'21 예산
미생물 농약	-	-	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	16
고추 세균성점무늬병 방제용 미생물 농약 개발 및 제품화			1.5	1	1	1	1	1	6.5
고추 오이모자이크 바이러스병 방제용 미생물 농약 개발 및 제품화			1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	4.75
고추 진딧물 방제용 미생물 농약 개발 및 제품화			1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	4.75
총예산대비 비중(%)			21.9%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	100.0%

▶ 기술개발 로드맵

중점연구영역		1단계				2단계				연구개발 목표
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
미생물 농약	고추 세균성점무 늪병 방제용 미생물 농약 개발 및 제품화	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">우수 균주 선발 및 온실 검정기술 개발</div>				<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">향세균활성 물질 분리 및 구조 동정</div>				- 고추 세균성점무늪병 온실 검정 기술 개발 - 미생물 살세균제 개발 및 제품화: 1건 이상 - 기술이전료: 정액기술료 5,000만 원 이상
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">최적 발효공정 및 제제 개발, 포장 약효 시험 제품 등록</div>									
	고추 오이모자이크 바이러스 병 방제용 미생물 농약 개발 및 제품화	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">온실 및 <i>in vitro</i> 검정 기술 개발 항바이러스 우수 균주 선발</div>				<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">항바이러스 물질 분리 및 구조 동정 항바이러스 활성 작용 기작 규명</div>				
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">최적 발효 공정 및 제제 개발, 포장 약효 시험 제품 등록</div>										
고추 진딧물 방제용 미생물 농약 개발 및 제품화	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">온실검정 기술 개발 우수 균주 선발 살충활성 물질 탐색</div>				<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">작용기작 규명</div>				- 고추 진딧물 온실 검정 기술 개발 - 미생물 살충제 개발 및 제품화: 1건 이상 - 기술이전료: 정액기술료 2,000만 원 이상	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">최적 발효 및 제제 기술 개발</div>				<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">제품 등록 및 적용확대시험</div>						
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		2021
'15~'21 투자계획(억원)		-	-	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	16

▶ 기대효과

□ 기술적 측면

- 난방제 병해충 검정용 온실 검정법 개발을 통한 신규 약제 개발을 위한 기반 마련
- 약효최적화를 위한 미생물 제제관련 첨단 기술 개발

□ 경제/산업적 측면

- 원천기술을 통한 미생물 농약 제품화를 통한 글로벌 시장에서 독점적인 제품개발
- 글로벌 제품 개발을 통한 생물농약 기업 육성

2. 미생물비료

유전체 및 전사체 해석을 통해 건전 고추 유묘 생산을 위한 고효율 미생물비료의 개발 및 제품화

▶ 배경 및 필요성

- 친환경 농산물에 대한 국민적 수요가 증가함에 따라 미생물비료와 같은 친환경 농자재의 중요성 증가
 - 전 세계적으로 화학비료를 대체할 수 있는 바이오비료 개발에 중요성을 두고 있으며, 토양미생물의 종류 대비 이용효율이 5% 미만인 실정으로 우수 균주의 지속적인 탐색 필요
 - 국내 친환경 농산물의 시장규모는 계속 증가하고 있으며, 한국농촌경제연구원의 조사에 따르면 유기농 농산물의 시장규모는 2011년 5,364억 원에서 2020년 17,536억 원으로, 무농약 농산물 시장규모는 2011년 15,627억 원에서 51,709억 원으로 성장할 것으로 전망됨
- 우리나라 고추의 우수한 품질에도 불구하고 저가 수입물량의 증가로 국내 고추산업이 위축되고 있음
 - 최근 3년간 총 29만여 톤에 달하는 수입고추가 국내로 유입됨으로써 국내 고추자급률이 10% 이상 대폭 하락하여 현재 고추 자급률이 40%를 밑돌고 있음
 - 국내 고추 재배면적은 총 45,360 ha 로 2000년 74,471 ha에 비해 42%가 감소하였으며, 국내 고추 생산량 또한 2001년 18만 톤에서 2013년 11만 7000톤으로 35% 감소
- 건전 고추 유묘 생산을 위한 고효율 미생물비료 개발 필요
 - 고추의 육묘기 관리는 고추재배의 절반을 차지한다고 말할 정도로 매우 중요
 - 기존 제품의 경우 미생물비료의 효능 및 작용기작에 대한 정보가 미흡하고 유통기한 및 정확한 효과가 입증되어 있지 않은 실정
 - 2013년에 농업기술실용화 재단에서 미생물비료와 관련된 업체 26곳을 조사한 결과, 현재 미생물비료 연구개발 및 제품 생산과정에서 가장 필요로 하는 기술 중 새로운 미생물 소재 개발이 46.2%로 가장 많았고, 대량생산 기술(23.1%), 첨가제 및 보존제 기술(15.4%) 순으로 나타남

▶ 연구 개발 목표

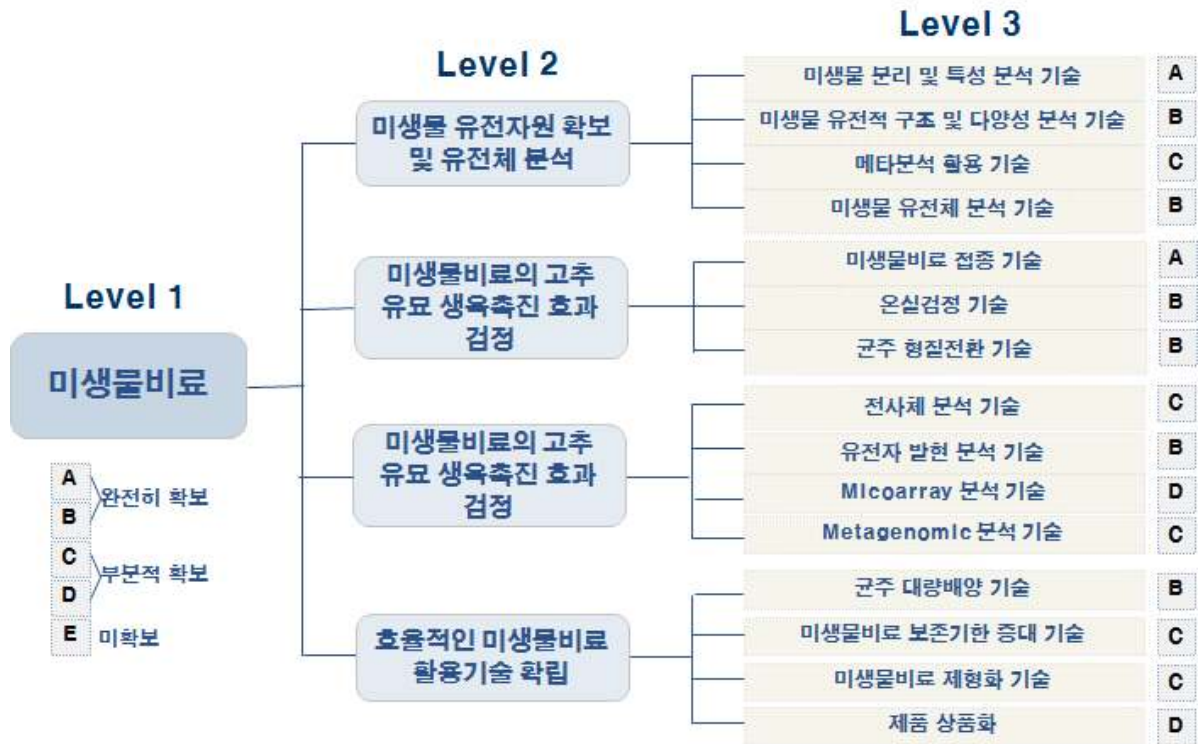
- 건전 고추 유묘 생산용 고효율 미생물비료 개발 및 제품화

- 식물생장촉진 특성이 우수한 미생물 유전자원을 이용하여 건전 고추 유묘 생산용 고효율 미생물비료 개발 및 제품화
- 미생물 유전자원의 유전체 및 전사체 해석
 - 미생물 유전자원의 유전체 및 전사체 해석을 통해 미생물비료의 고추 유묘 생육촉진효과를 보다 명확하게 규명하여 건전 고추 유묘 생산 기술을 확립

▶ **주요 연구 개발 내용**

- 우수 미생물 유전자원 선발 및 확보
 - 기 분리된 미생물 유전자원의 유전체 및 기능 분석을 통한 우수 미생물 유전자원 선발
 - 메타분석을 이용한 다양한 조건(토성, 작물, 접종방법 등)에 따른 미생물비료의 최적 효능 검정
- 미생물비료의 고추 유묘 생육촉진 효과 검정
 - 기내 실험을 통한 미생물비료의 고추 종자 발아촉진 효과 검정
 - 미생물비료의 접종에 따른 고추 유묘생장 확인 및 최적 처리농도 탐색
- 효율적인 미생물비료 활용기술 확립을 위한 작용기작 규명
 - 전사체 해석을 통한 미생물 유전자원의 식물생장 등에 관여하는 유전자 발현 분석
 - Microarray 분석을 이용한 미생물비료 접종에 따른 식물체 내 유전자 발현 분석
 - Metagenomic 분석 등을 이용한 미생물비료 접종 후 토양 및 식물체 내 미생물의 군집 패턴 및 다양성 변화 측정
- 대량생산을 통한 미생물비료 제조 및 산업화
 - 선발 미생물 유전자원의 대량배양 기술 확립
 - 미생물비료 저장 수명 향상에 적합한 첨가제 선별 및 최적처리농도 분석
 - 경제적인 대량생산을 위한 최적 물리적 배양조건 탐색

▶ 기술개발 체계



▶ 연차별 투자계획

구분(억 원)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	'14~'21 예산
미생물비료	2.2	2.2	3	3	3	3	3	3	22.4
미생물 유전자원 선별 및 확보	1.9	1.9	1.5	1	1				7.3
미생물비료의 고추 유묘 생육촉진 효과 검정			0.5	0.5	0.5	1			2.5
효율적인 미생물비료 활용기술 확립			0.5	1	1	1	1.5	1.5	6.5
대량생산을 통한 미생물비료 제조 및 산업화	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	1	1.5	1.5	6.1
총예산대비 비중(%)	9.8%	9.8%	13.4%	13.4%	13.4%	13.4%	13.4%	13.4%	100.0%

▶ 기술개발 로드맵

중점연구영역		1단계				2단계				연구개발 목표
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
미생물 비료	미생물 유전자원 선발 및 확보	미생물 유전자원 선발 및 유전체 분석				우수 미생물 유전자원 선정				- 미생물 유전자원 선발 및 유전체 분석 10건 - 우수 균주 3건
	미생물비료의 고추 유묘 생육촉진 효과 검정	접종에 따른 고추의 종자발아 및 유묘생육 촉진 효과 검정								- 미생물비료 효능 관련 특허 출원 및 등록 5건
	효율적인 미생물비료 활용기술 확립	우수 미생물 유전자원 선정				우수 미생물 유전자원 선정				- 미생물비료와 식물 간의 작용기작 규명 3건 이상
	통한 미생물비료 제조 및 산업화	최적 배양조건 탐색 및 첨가제 선별				최적 대량배양 기술 확립 및 시제품 생산				- 시제품 생산 2건 - 사업화·실용화 2건
'16~'19 투자계획(억원)		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	총 투자액
		2.2	2.2	3	3	3	3	3	3	22.4

▶ 기대효과

□ 기술적 측면

- 미생물 유전체의 구조 및 작용기작 규명으로 인한 우수 미생물 유전자원 선발 및 고효율 미생물비료 개발
- 미생물비료용 미생물 유전체 해독 분석을 통해 최신 기술을 활용한 다양한 사이즈의 라이브러리 제작
- 고효율 미생물비료 활용을 통한 친환경 고추 유묘 생산 기술 확립

□ 경제/산업적 측면

- 화학비료 사용 저감으로 농업생태계 보호, 그린농업 발전
- 부가가치가 크고 특허적 보완이 가능한 미생물 응용 작물 생산 개발 기술의 기업화 가능

3. 농업환경개선제

축산환경에서 악취 및 온실가스 저감을 위한 미생물을 개발하여 산업화하고자 함. 이를 위해 고효성의 미생물을 분리하여 유전체를 분석하고 미생물군집의 메타지놈을 분석함으로써 축산환경개선용 사료첨가제 개발하고자 함

▶ 배경 및 필요성

- 미생물은 농업, 환경 등 여러 분야에서 고부가가치 창출을 위한 핵심 원료로 평가되고 있으며, 미생물에 대한 관심과 수요가 증가함에 따라 국가적 자원으로 인식되어 자원 선점을 위한 경쟁이 증가하고 있음.
- 축산단지로부터 발생하는 악취 관련 민원이 연평균 13%씩 지속적으로 증가하고 있으며, 기존 악취방지법의 개정에 따라 규제 수준이 강화됨. 또한 축산 농가에서 발생하는 대표 악취물질들이 지정악취물질로 선정됨에 따라 악취 저감을 위한 연구의 필요성이 대두됨. 축산 악취 요인은 암모니아, 황 함유화합물, 메르캅탄, 인돌 및 페놀류 등으로 구성되어 있음.
- 축산 악취에 대한 대책으로는 물리적방법이나 화학적방법 등의 방법이 있으나 악취를 유발하는 원인 성분이 매우 다양하여 이를 제어하기 위한 장치형의 시설은 비효율적임. 그러므로 국내 축산 농가에 경제적으로 실현가능성이 있는 악취물질 저감 효능을 갖는 미생물제제에 대한 개발 연구가 필요함.
- 온실가스 감축목표를 2020년 배출전망치 대비 30%로 결정하여 국제사회에 공표함. 온실가스 다배출 사업장을 대상으로 감축규제가 2012년 이후 본격적으로 시행되었으며 온실가스 배출권 거래제가 2015년부터 본격 시행됨. 따라서 축산 농가에서 배출되는 온실가스 제어 방안 마련을 필요로 함

▶ 연구 개발 목표

- 축산환경개선용 미생물의 분리 동정을 통한 유용 유전자원 확보
 - 축산환경 개선을 위한 우수 유전자원을 가진 미생물 분리 및 동정
- 축산환경개선용 미생물 유전체 해독 및 메타지놈 분석
 - NGS를 이용한 축산환경개선용 미생물의 유전체 정보 분석
 - 메타지놈 분석을 이용한 미생물 군집 내 상호관계 분석
- 온실가스 제어를 위한 축분 내 아산화질소제어 및 반추위 메탄생성 미생물 군집 분석 및 제제개발

- 반추위 미생물 제어를 통한 메탄 및 아산화질소의 배출량 감축 효능 규명

▶ 주요 연구 개발 내용

- 축산환경개선용 미생물의 선발 및 악취 및 온실가스 저감 효과 규명
 - 주요 악취물질인 암모니아, 황화수소 및 휘발성지방산 저감 유용미생물 유전자원 분리 및 동정
 - 유용미생물의 악취물질 및 온실가스 저감 효능 규명
 - 축산환경(악취저감) 제제의 산업화를 위한 생산 공정 확립
- 축산환경개선용 미생물 유전체 해독 및 메타지놈 분석
 - 축산 환경 개선에 기여하는 환경미생물의 역할 규명 및 생리·생화학적 특성 연구
 - 주요 대표 환경미생물의 환경개선 관련 기작 분석
 - 메타지놈 분석을 통한 농업환경미생물의 상호관계 분석
- 온실가스 제어를 위한 축분 내 아산화질소 조절 환경미생물 제제 및 반추위 메탄 생성 미생물 군집 분석 및 제제개발
 - 아산화질소 제어용 환경미생물 분리 및 특성 규명
 - 메탄제어를 위한 반추위 메탄조절미생물 유전 특성 조사
 - 온실가스 저감용 사료첨가제 개발

▶ 기술개발 체계



▶ 연차별 투자계획

구분(억 원)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	'14~'21 예산
농업환경개선제	-	-	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	15.5
축산환경개선용 미생물의 분리 동정을 통한 유용 유전자원 확보			0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	4.2
축산환경개선용 미생물 유전체 해독 및 메타지놈 분석			1.2	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	5.7
온실가스 제어를 위한 축분 내 아산화질소 조절 환경미생물 제제 및 반추위 메탄생성 미생물 균집 분석 및 제제개발			1.1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	5.6
총예산대비 비중(%)			19.4%	16.1%	16.1%	16.1%	16.1%	16.1%	100.0%

▶ 기술개발 로드맵

중점연구영역	1단계				2단계				연구개발 목표
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
농업 환경 개선제	축산환경개선용 미생물의 분리 동정을 통한 유용 유전자원 확보		약취저감 미생물 선발		약취저감 미생물의 생리·생화학적 활성 분석		약취저감 미생물제제 산업화를 위한 생산공정 개발		- 약취저감 미생물 선발 (10주 이상) - 약취저감 미생물제제 3건 이상
	축산환경개선용 미생물 유전체 해독 및 메타지놈 분석		농업환경개선 미생물 유전체 분석		전사체를 이용한 기능유전체 분석		메타지놈 분석을 통한 미생물군집의 상호관계 규명		- 유전체 6건 이상 확보 - 전사체 분석 20건 이상 확보
	온실가스 제어를 위한 축분 내 아산화질소 조절 환경미생물 제제 및 반추위 메탄생성 미생물 균집 분석 및 제제개발		아산화질소 제어용 미생물 선발		반추위 메탄조절미생물의 유전특성 및 생리·생화학적 활성 규명		온실가스 저감용 사료첨가제 개발		- 생산공정 2건 이상 발굴 - 실용화/산업화 2건 이상
'15~'21 투자계획(억 원)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	총 투자액
	-	-	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	15.5

▶ 기대효과

□ 기술적 측면

- 축산 농가의 온실가스 배출 및 악취 발생 기작을 규명하는데 유용 정보로 활용 가능하며 유용 미생물의 분리 및 특성 구명을 통해 추후 미생물제제 개발에 있어 기초 정보를 제공함.
- 지속적으로 증가해온 축산분야 주요 민원인 농가 인근 지역 내 악취 문제 해결에 높은 활용성을 지님

□ 경제/산업적 측면

- 축산환경 개선을 위한 특허 및 산업재산권 확보와 미생물제제 시장 선점을 통한 경제적 이익 산출 및 산업화.
- 온실가스 저감 및 악취 제거에 장비형 시설대신 미생물제제를 사용함으로써 축산분야의 생산비용 절감.
- 미생물산업의 발전을 통해 친환경농업에서의 활용 및 생명공학분야로의 산업영역 확장이 가능해짐.

제3절 축산미생물

1. 사료첨가제

유전체공학을 통한 가축 생산성 증진용 항균활성/안정성 우수 사료첨가 생균제 및 박테리오파지 그리고 반려동물용 생균제를 개발하고 생산공정을 최적화함

▶ 배경 및 필요성

- 친환경 축산물의 생산을 위한 사료첨가 소재의 필요
 - 성장촉진용 항생제 전면 사용금지 후 가축 생산성 저하가 발생하고 있어 생산성 증진을 위한 차세대 친환경 소재 개발이 필요
- 항생제 대체 가축 성장촉진 소재로서의 생균제 및 박테리오파지
 - 유산균, 효모 등의 생균제는 성장촉진, 번식력 증강, 체중 증가, 사료 효율 개선 등의 효과가 밝혀져 있으며 향후 시장의 성장이 기대됨
 - 항생제 오남용에 따른 슈퍼박테리아 출현과 내성문제 때문에 '박테리오파지'가 주

목 받게 되었고 여기에 바이오테크놀로지(BT) 기술발전과 함께 투자가 활발해졌고, 미국 FDA, USDA에서는 식품, 육가공 등에 인증돼 사용되고 있음

- 국내에서는 2010년 최초로 사료공정서에 *Salmonella gallinarum*과, *S. typhimurium* 박테리오파지가 사료첨가제로 등재됐으며, 현재까지 *S. enteritidis*와 *Clostridium perfringens* 박테리오파지가 사료공정서에 추가 등재됨으로써 4종의 박테리오파지가 사료공정서에 등재 됨

국내 사료 첨가용 및 반려동물용 생균제 시장

- 국내 시판중인 생균제는 크게 동물용의약품과 사료첨가를 목적으로 사용되는 보조 사료(사료첨가제)로 대별됨. 2012년에 사료용 생균제 39종이 등록되었으며, 시장규모는 약 500억 원으로 추정됨. 반려견 의료/미용 및 사료/식품 시장 확대중이며 (2010년 기준, 시장 규모 2조원) 이에 맞는 기능성 생균제 개발 필요

국내 사료첨가용 생균제의 한계

- 낮은 미생물 생산 수율 및 가공·유통 시 낮은 미생물 생존율, 미생물 균주의 기능성 부족 또는 기능성에 대한 과학적 검증 부족, 그리고 국내에 보급된 생균제 제품중에 일본과 중국 및 유럽에서 수입된 제품들이 많이 판매되고 있어, 여전히 국내 자급율을 높일 필요가 있음

▶ 연구 개발 목표

사료첨가용 항균활성/안정성 우수 생균제의 상품화

- 항균활성 및 안정성이 우수한 미생물을 이용하여 가축 생산성 증진용 생균제 및 박테리오파지 그리고 반려동물용 생균제의 개발 및 상품화

미생물 대사체 및 유전인자 분석

- 생균제 및 박테리오파지의 유전체 또는 대사체 분석을 통해 항균활성/안정성관련 활성유전자 탐색

▶ 주요 연구 개발 내용

항균활성/안정성 확보된 미생물 자원 및 유전체 확보

- 항균활성 균주 및 박테리오파지 선발
- 유전체 육종기술을 이용한 기존 상업용 균주 개량
- Genome sequencing을 통한 생균제 균주 및 박테리오파지의 활성성분 탐색 및 대사체 분석

- 우수한 균주 및 박테리오파지의 유전체 분석 및 활성유전인자 분석
- 사료첨가용 및 반려동물용 생균제의 배양 생산성 및 생존을 최적화
 - 균주 배양조건 최적화
 - 균주 생존을 증진 물질 및 생산조건 탐색
- 박테리오파지의 배양 생산성 및 안정성 최적화
 - 배양조건 최적화
 - 박테리오파지 안정성 증진 조건 탐색
- 생균제 및 박테리오파지 사양시험
 - 선발 균주의 가축 및 반려동물 사양시험을 통해 효과 검증 및 안전성 검사
 - 장내세균총의 상관관계 분석
- 생균제 및 박테리오파지의 대량 생산 공정 확립 및 시제품 생산
 - 선발된 균주 및 박테리오파지를 플랜트에서 대량 생산하기 위해 필요한 생산 공정 확립 및 시제품 생산

▶ 기술개발 체계



▶ 연차별 투자계획

구분(억 원)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	'14~'21 예산
사료첨가제	2.2	2.2	3	3	3	3	3	3	22.4
항균활성/안정성 확보된 미생물 자원 및 유전체 확보 및 분석	0.65	0.5	1.8	1.8	0.8	0.8	1.7	1.7	9.75
생산성 최적화 (배양조건 및 생존율)	0.65	0.5	1.2	1.2	0.7	0.7	1.3	1.3	7.55
사양시험 및 동물효능평가		0.3			1	1			2.3
대량 생산공정 확립 및 시제품 생산	0.9	0.9			0.5	0.5			2.8
총예산대비 비중(%)	9.8%	9.8%	13.4%	13.4%	13.4%	13.4%	13.4%	13.4%	100.0%

▶ 기술개발 로드맵

중점연구영역	1단계				2단계				연구개발 목표
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
사료첨가제	항균활성/안정성 확보된 미생물 자원 및 유전체 확보 및 분석	생균제 균주의 유전체 확보			박테리오파지 유전체 확보				<ul style="list-style-type: none"> - 유전체 30건 이상 확보 - 가축용 생균제 균주 7종 이상 확보 - 반려동물용 생균제 균주 2종 이상 확보 - 박테리오파지 5종 이상 확보
	생산성 최적화 (배양조건 및 생존율)	활성성분 탐색 및 대사체 분석			활성성분 탐색 및 대사체 분석				
	사양시험 및 동물효능평가	생균제 유전체 및 활성 유전인자 분석			박테리오파지 유전체 및 활성 유전인자 분석				
	대량 생산공정 확립 및 산업화	최적 배양 및 생산조건 탐색			최적 배양 및 생산조건 탐색				
		생존율 증진 소재 및 조건 탐색			안정성 증진 소재 및 조건 탐색				<ul style="list-style-type: none"> - 생산성 향상 조건 3건 이상 발굴 - 생존율 및 안정성 향상 기술 3건 이상 발굴
		생균제 : 가축용, 반려동물용			박테리오파지				<ul style="list-style-type: none"> - 동물시험 효능확인 3건이상 확보
		대량생산 공정 확립			대량생산 공정 확립				<ul style="list-style-type: none"> - 대량생산 공정 2건 이상 발굴 - 시제품 제작 3건 이상
		시제품 생산			시제품 생산				
'16~'19 투자계획(억 원)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	총 투자액
	2.2	2.2	3	3	3	3	3	3	22.4

▶ 기대효과

□ 기술적 측면

- 유전체학적 접근을 통한 항생제 대체 유용 생균제 및 박테리오파지 선발 연구의 기틀 확립

□ 경제/산업적 측면

- 수입 가축용 생균제 및 반려용 동물 생균제 대체, 내수 확대

2. 면역증강제

축산동물용 고면역증강소재 개발을 위해 면역증강효능 미생물 및 유전체 확보, 기작 규명, 면역증강소재의 대량생산시스템 구축을 하고 이 기술의 조기 사업화를 통한 관련 시장을 선점함

▶ 배경 및 필요성

□ 면역증강제 개발 현황

- 우리나라의 축산물 생산구조는 밀집사육 등의 후진국형 시스템을 면치 못하고 있어 동물 발생 및 전염에 매우 취약한 형태임
- 밀집된 사육환경 등의 다양한 사육 스트레스는 경제동물의 면역 저하 및 질병에 대한 취약성을 유발하기 때문에, 오랫동안 사료에 항생제를 첨가해왔으나, 유럽을 포함하여 전 세계적으로 사료첨가용 항생제 사용금지 추세임(우리나라는 2011년부터 사용 금지)
- 사료에 항생제 첨가를 금지한 이후부터 경제동물의 소모성질병 및 설사발병양상이 크게 변화하는 추세를 나타내고 있으며, 질병 및 이유 후 폐사율이 축산선진국에 비해 월등히 높은 상황임
- 경제동물의 폐사율 감소 및 사양효율을 증가시킬 수 있는 면역증강소재의 개발과 사업화를 통해 질병발생이 억제되고 생산성이 향상되며, 사회적 이슈가 되고 있는 질병 전파 억제에도 크게 기여할 것으로 기대됨
- 그동안 다양한 종류의 동물용 면역증강소재가 개발되어 왔으나, 작용 기작이 불분명하거나 효과의 일관성 부족, 대상동물에서의 효능검증 부족 등의 문제가 있음

▶ 연구 개발 목표

- 면역증강효능 미생물, 유전체 확보 및 기작 규명
 - 면역증강 효과가 높은 미생물 선별 및 유전체 확보
 - 대사체 프로파일링, *in vitro/in vivo* 실험기반 면역증강 효능 기작 규명
- 면역증강소재의 대량생산시스템 구축
 - 발효기술을 이용한 면역증강소재의 산업화 기술 개발
 - 대량생산기술을 이용한 면역증강소재의 사업화 추진

▶ 주요 연구 개발 내용

- 면역증강효능 미생물 확보
 - 면역증강효능 미생물 라이브러리 구축
 - 면역증강효능 미생물 선별
 - 선별미생물의 생리적 특성 규명
 - 고면역증강효능 미생물 개발
- 면역증강효능 미생물의 유전체 확보 및 기작 규명
 - 면역증강효능을 가진 미생물 유전체 확보
 - 기능유전체 및 유용유전자 확보/분석
 - *In vitro/in vivo* 실험을 통한 면역증강기작 규명
 - 대사체 분석 기술을 통한 기작 규명
- 면역증강소재의 대량생산시스템 구축
 - 면역증강소재의 배양조건 확립
 - 면역증강소재의 대량발효기술 개발
 - 면역증강소재의 분리정제기술 개발
 - 면역증강소재의 사업화기술 개발

▶ 기술개발 체계



▶ 연차별 투자계획

구분(억 원)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	'14~'21 예산
면역증강제	-	-	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	15.5
면역증강효능 미생물 확보			1.3	0.8	0.5	0.3	0.3	0.3	3.5
면역증강 유전체 확보 및 기작 규명			1.3	1.3	1	0.9	0.9	0.9	6.3
면역증강소재 대량생산시스템 구축			0.4	0.4	1	1.3	1.3	1.3	5.7
총예산대비 비중(%)			19.4%	16.1%	16.1%	16.1%	16.1%	16.1%	100.0%

▶ 기술개발 로드맵

중점연구영역		1단계				2단계				연구개발 목표	
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021		
면역 증강제	면역증강효 능 미생물 확보	면역증강효능 미생물 라이브러리 구축 및 미생물 선별				선별미생물의 생리적 특성 규명				<ul style="list-style-type: none"> - 면역증강효능 미생물/변이주 라이브러리 구축 (100개 이상의 변이균주 확보) - 고면역증강효능 미생물 5종 이상 확보 	
	면역증강효 능 미생물의 유전체 확보 및 기작 규명	면역증강효능을 가진 미생물 유전체 확보				기능유전체 및 유용유전자 확보/분석					<ul style="list-style-type: none"> - 유전체 30건 이상 확보 - 기능유전체 또는 유용유전자 60건 이상 확보 - 면역증강기작 규명 - 대사체 10건 이상 확보
		In vitro/in vivo 실험을 통한 면역증강기작 규명				대사체 분석 기술을 통한 기작 규명					
	면역증강소 재의 대량생산시 스템 구축	면역증강소재의 배양조건 확립		면역증강소재의 대량발효기술개발				면역증강소재의 분리정제기술 개발		<ul style="list-style-type: none"> - 대량발효공정 2건 이상 발굴 - 분리정제기술 2건 이상 개발 - 시작품 제작 3건 이상 	
				면역증강소재의 사업화기술 개발							
'15~'21 투자계획(억원)		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	총 투자액	
		-	-	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	15.5	

▶ 기대효과

□ 기술적 측면

- 축산동물의 면역증강제 기술 개발을 통한 미생물 소재화 기술 연구의 기반을 마련함

□ 경제/산업적 측면

- 본 연구를 통해 개발 가능한 면역증강소재로 사업종료 후 5년간 관련소재 시장에서 약 100억 원의 매출이 발생할 것으로 예상함
- 동물의 면역증강을 통한 폐사율 감소 및 생산성 향상, 농가소득 증대

제4절 건강기능성미생물

1. 프로바이오틱스

기존의 프로바이오틱스의 장건강(정장)관련 기능성 이외에 항비만, 혈당 개선, 고지혈증 개선과 같은 대사성질환 개선효능을 갖는 프로바이오틱스를 개발하고 유전체 및 대사체 분석을 통해 효능관련 유전인자를 갖는 우수한 프로바이오틱스를 발굴하여 건강기능식품을 상품화함

▶ 배경 및 필요성

□ 프로바이오틱스 시장현황

- 글로벌 프로바이오틱스 시장 규모는 2011년에 약 25조 원으로 연평균 6.8%의 성장률을 나타냈으며, 2014년에 약 36조 원 시장으로 성장할 것으로 추정됨(BCC Research, 2013)
- 국내 프로바이오틱스 시장은 대부분이 발효유 시장이 차지하고 있으며, 2012년에 2조 2천억 원 규모이고 드링크 타입의 기능성 발효유가 51%를 차지하고 있음, 그리고 분말 또는 과립형태로 판매되는 프로바이오틱스 건강기능식품은 2012년 대비 2013년에 생산액이 804억 원으로 55% 증가하였으며, 2014년에는 1200억 원으로 예상하고 있음

□ 국내 대사성질환 발병율

- WHO에서 전 세계적 유행병으로 지정할 만큼 당뇨병 및 비만을 포함한 대사성질환이 빠르게 증가하고 있음. 보건복지부 2007~2010년 국민건강영양조사 자료분석 결과, 30세 이상 성인의 대사증후군 유병률이 28.8%이었으며, 남성 31.9%, 여성 25.6%이었음
- 또한 국민건강보험공단의 건강검진 데이터베이스에 저장된 1217만 1006명의 빅데이터를 분석한 결과, 23.2%(282만 6896명)가 대사증후군 증상을 나타냄

□ 국내 대사성질환관련 프로바이오틱스 연구현황

- *Lactobacillus curvatus* HY7601과 *Lactobacillus plantarum* KY1032의 복합유산균이 고과당식이에 의해 유도된 혈중 중성지방, 혈당, 그리고 인슐린 저항성을 개선시켜주고 또한 고지방식이에 의해 유도된 체지방을 감소시킨다는 연구결과가 보고되었으나, 유전체학적 접근을 통해 이들이 생산하는 대사체 및 이와 연관된 유전인자 분석은 이루어지지 않음

- (주)바이오니아의 *Lactobacillus gasseri* BNR17이 체지방감소 기능성 관련하여 건강기능식품 개별인정형원료, 생리활성기능 3등급으로 등재(제2014-5)되어 있으나, 아직 개별인정형 건강기능식품으로 상품화되어 있지 않음

▶ 연구 개발 목표

- 대사성질환 개선 효능을 갖는 프로바이오틱스 상품화
 - 체지방 감소, 혈당 개선, 혈중 중성지방 감소 등의 대사성질환 개선 효능을 갖는 프로바이오틱스 발굴
 - 건강기능식품 개별 인정형 원료로 등재 및 상품화
- 프로바이오틱스의 대사체 및 유전인자 분석
 - 프로바이오틱스의 유전체 및 대사체 분석을 통한 대사성질환 개선관련 활성유전인자 탐색

▶ 주요 연구 개발 내용

- 선행 연구결과에 따른 산업화 가능 우수 균주 선발 및 생산성 분석
 - 효능, 인체 생존율, 생산성, 유통환경 내 생존율 등 탐색
- 유전체학 기반의 프로바이오틱스의 활성성분 및 대사체 분석
 - 실험동물에서 프로바이오틱스의 활성성분 탐색 및 대사체 분석
 - 우수한 프로바이오틱스의 유전체 분석 및 활성유전인자 분석
- 인체적용시험 및 제품개발
 - 인체적용시험을 통해 그 효능을 입증하고 이 결과를 바탕으로 건강기능식품 개별 인정형 원료 인정 추진
 - 프로바이오틱스 대량 생산을 위한 배양조건, 생산성 향상 및 생존율 증진 소재개발 및 공정 등 확립
 - 건강기능식품 개별인정형 원료 인정 후 체지방 감소, 혈당 개선, 혈중 중성지방 개선 등과 같은 개념의 발효유, 과립, 분말, 캡슐형태의 건강기능식품 개발

▶ 기술개발 체계



▶ 투자계획

구분(억 원)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	'14~'21 예산
프로바이오틱스	-	-	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	26
산업화 가능성 우수 균주 선발 및 생산성 분석			1			1			2
프로바이오틱스 활성성분 탐색 및 대사체 분석			0.8	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	7.2
프로바이오틱스 유전체 분석 및 활성유전인자 분석			0.8	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	7.2
인체적용시험 및 제품개발			0.9	1.9	1.9	1.1	1.9	1.9	9.6
총예산대비 비중(%)			13.5%	17.3%	17.3%	17.3%	17.3%	17.3%	100.0%

▶ 기술개발 로드맵

중점연구영역		1단계				2단계				연구개발 목표
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
프로바이오틱스 연구	산업화 가능성 우수 균주 선발			체지방 감소 균주		혈당개 선균주				- 산업화 가능 균주 4종 이상 확보
	성분 및 대사체 분석			활성성분 탐색 및 대사체 분석		활성성분 탐색 및 대사체 분석				- 기능성관련 메커니즘 2건 이상 발굴 - 신규 균주 스크리닝법 2건 이상 발굴 - 신규 후보균주 6종 이상 확보
	프로바이오틱스 유전체 분석			유전체 분석 및 활성유전인자 분석		유전체 분석 및 활성유전인자 분석				- 신규 균주 스크리닝법 2건 이상 발굴 - 신규 후보균주 6종 이상 확보
	인체적용시험 및 건강기능식품 개발			인체 적용시험		인체 적용시험				- 개별인정형 원료 2건 이상 확보 - 제품 출시 2건 이상
'16~'19 투자계획(억원)		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	총 투자액
		-	-	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	26

▶ 기대효과

□ 기술적 측면

- 프로바이오틱스의 대사성질환 개선에 관한 메커니즘 규명 및 유전체학적 접근을 통한 신규 프로바이오틱스 연구의 기틀 확립

□ 경제/산업적 측면

- 대사성질환 개선관련 제품 개발 및 출시를 통해 국내외 글로벌 프로바이오틱스 시장을 선도함

2. 식용 및 약용버섯류

주요 유용버섯의 우수 형질 핵심집단 유전체 구축과 비교, 기능유전체 해석, 버섯 산업적 활용 기술 개발

▶ 배경 및 필요성

- 유용버섯의 유전체는 많이 해독되어 있지만, 이를 활용하기 위한 연구는 초기단계
 - 양송이, 팽이, 느타리, 풀버섯, 송이, 새송이(큰느타리), 간버섯 등의 유용버섯류의 유전체는 다수 해독되어 있음,
 - 식용버섯의 경우 주로 야생종에 대한 유전체 연구가 진행되어 상업적 유통 품종과는 유전체 상이하여 이용에 한계
 - 교배, 유전지도, QTL mapping 등 전통기술과 표준유전체를 기반으로 하는 유전체 재분석과 비교유전체 등 최신기술의 융합을 통하여, 병저항성, 수량성 등 관련 유전자를 효율적으로 동정하여, 한 품종에서 여러 유용형질을 집적한 수퍼 품종의 개발가능성 타진
- 균류는 자연계에서 바이오매스를 효율적으로 분해하는 생물체로 이를 이용한 산업용 효소개발 요구
 - 전 세계적으로 30억 달러 규모, 매년 8% 성장률의 산업용 효소산업은 후방산업이 100-1,000배에 달하는 대표적인 바이오부품산업임
 - 균류의 유전체내에는 다양한 종류의 분해합성효소(CAZyme, FOLyme 등)가 있으므로 이들을 개발하여 고부가가치 생명산업 발전 필요

▶ 연구 개발 목표

- 비교, 기능 유전체학적 분석을 통한 버섯 생리제어
 - 물리적 환경변화, 재배생리환경변화, 버섯 균주 간 생리활성물질 함량변화 등에 대한 비교, 기능 유전체 분석을 통하여 버섯 제어기술 개발, 유용형질 QTL 발굴 및 형질 마커 개발
- 산업적 유용 효소 및 버섯 형질전환체 기술 개발을 통한 버섯 신산업 창출
 - 산업용 유용효소 개발을 통한 실용화, 형질전환도구 및 형질전환기술 개발을 통기능성 형질전환버섯 개발

▶ 주요 연구 개발 내용

- 주요 버섯별 핵심집단 구축과 재분석을 통하여 산업적으로 유용한 형질, 마커개발
 - 유전적 다양성을 대표하는 핵심집단을 구축, 이를 재분석, 비교유전체 연구를 통하여 산업적으로 유용한 형질의 QTL 발굴 및 활용, 버섯 품종 마커 대량발굴
 - 퇴화균주의 비교유전체 분석을 통하여 버섯균의 퇴화원인 규명
- 대립집단간의 교배를 통한 유용형질별 분리집단 작성, QTL 분석, 유전자 동정
 - 단핵균주의 비교유전체 분석을 통한 단핵균주별 자실체 형질 지배 특성 규명
 - 수량, 품질, 생육소요일수 등의 주요형질별 유전지도 작성 및 QTL mapping
 - QTL에 대한 고분해능 지도 작성으로 관련 유전자 직접 클로닝 및 선별 마커 개발
 - 재배환경(온도, 배지, 환경) 대응, 내병성 규명을 위한 군사체, 자실체 전사체 분석과 환경대응 유전자 발굴 및 마커 개발
- 버섯 형질전환 및 산업적 활용 기술 개발
 - 버섯형질전환을 위한 유용 프로모터, ARS, selective marker, reporter 개발
 - 버섯형질전환 기술 개발
 - CAZyme, FOLyme 등의 유전자 allele이나 SNP 기반 유전지도 작성으로 관련 유전자 신속 예측기술 개발 및 활용
 - 바이오연료생산, 식품, 직물, 가축사료, 세제, 식기세척제 등의 산업용효소로 개발할 수 있는 균류 유전체내 유망 유전자 개발

▶ 기술개발 체계



▶ 연차별 투자계획

구분(억 원)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	'14~'21 예산
식용 및 약류버섯류	-	-	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	15.5
핵심집단 선정 및 비교유전체 분석			0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	3.8
교배집단, 단핵균주 비교유전체분석			0.8	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	4
유용 유전자 발굴 및 특성 규명			0.9	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	3.9
버섯형질 전환 및 산업적 활용기술개발			0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	3.8
총예산대비 비중(%)			19.4%	16.1%	16.1%	16.1%	16.1%	16.1%	100.0%

▶ 기술개발 로드맵

중점연구영역	1단계				2단계				연구개발 목표
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
식용 및 양용 버섯류	핵심집단 비교유전체 분석	핵심 집단 선정		핵심집단 비교유전체 분석				- 버섯 대표핵심집단 유전체 분석 4건	
		품종마커 대량발굴						- 품종마커개발 10건	
		유용형질 QTL발굴							
식용 및 양용 버섯류	교배집단, 단핵균주 비교유전체 분석	단핵균주 비교유전체 분석		교배균주 비교유전체 분석				- 단핵균 및 교배균 비교유전체 분석 4건	
		환경대응 전사체분석 및 마커개발		자실체 발생관련 전사체분석				- 환경별 전사체 분석 4건	
		버섯 기능 조절 유용유전자 발굴							
식용 및 양용 버섯류	버섯형질 전환 및 산업적 활용기술개발	형질전환기술개발		형질전환 버섯 개발				- 형질전환체 4건	
		산업용 효소유전자 발굴		실용화/산업화				- 산업용효소 5건 - 실용화/산업화 2건 이상	
'15~'21 투자계획 (억 원)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	총 투자액
	-	-	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	15.5

▶ 기대효과

□ 기술적 측면

- 버섯균주 간 차이, 퇴화기작 규명, 유용형질 관련 QTL 맵핑 정보 구축, 재배환경 관련 유전자 발현 조절 기작 규명 등 버섯 산업화 연구 기반 구축
- 버섯 기능 조절 유전자 발굴을 통한 버섯균의 생물공장화, 버섯유래 산업용 효소 기술의 기술이전을 통한 산업화, 버섯 형질전환 기술 개발을 통한 기능성 버섯 창출의 기반 구축

□ 경제/산업적 측면

- 현재 식용버섯 생산에 머물고 있는 버섯산업의 다각화를 통하여 8천억 원대에 머물고 있는 국내버섯시장을 획기적으로 확장시킬 수 있는 교두보 확립

미생물 유전체 R&D 중장기계획 전략사업별 추진전략(조기성과창출 분야)

-
- 발행일 : 2015년 8월 7일
 - 발행처 : 농림축산식품 미생물유전체전략연구사업단
 - 발행인 : 사업단장 김지현
 - 기획/편집 : 오평록, 김진묵
 - 주소 : 서울특별시 서대문구 연세로50, 연세대학교 첨단과학기술관
(www.imaf.or.kr)
-

이 책에 수록된 내용과 관련하여 문의사항이 있으시면
아래 연락처로 연락주시기 바랍니다.

농림축산식품 미생물유전체전략연구사업단 김진묵 ☎ 02-2123-8126