



스마트팜을 활용한 식의약소재 대량생산 기술개발

◆ 스마트팜을 활용한 농생명 식의약소재 대량생산 기술개발의 목적

- ☞ 스마트팜 적용은 농생명 식의약소재의 안전성과 지속가능한 생산, 그리고 고품질화를 통한 고부가가치 창출을 가능하게 하여 소재산업의 활성화 및 국가경쟁력을 제고
 - "농생명 소재"는 식물, 동물, 미생물, 곤충 등에서 유래한 유용하고 특수한 기능을 가진 농생명자원 그 자체, 또는 분리·정제 등의 가공을 거친 물질로 정의
 - "스마트팜"은 빅데이터, AI, 무인자동화 기술 등 첨단 융합기술을 온실·축사 등에 접목해 원격·자동으로 작물과 가축의 생육환경을 적정하게 유지·관리할 수 있게 하는 지능화된 시설농장으로 정의

1 추진 배경 및 필요성

■ 농업 지속가능성 제고를 위한 농생명소재 개발 집중 및 확대

- 지속가능한 농업 확산을 위한 농생명소재 개발 필요
 - 우리나라 농업이 지나치게 양적 성장에 치중하면서 지속가능한 농업에 위협이 되고 있음
 - * 농약과 비료의 과다 사용, 축산분뇨의 급증 등 고투입·고생산 농업에 따른 환경부하 증대
 - 지속가능한 농업을 위한 농가의 가장 큰 어려움은 '친환경농산물 생산기술'로 나타나, 이에 대한 기술개발이 절실한 상황
- 고기능, 고품질의 고부가 농생명소재 개발을 통한 새로운 농업 성장동력 확보 필요
 - 우리나라 농업의 GDP 대비 부가가치 비중은 1997년 4.9%에서 2017년 1.9%로, 타 산업과 비교하여 상대적 성장이 지체되고 있는 상황
 - 농업의 경쟁력 제고와 안정적 발전을 위한 성장 모멘텀 확보가 필요
 - * 먹거리 중심의 농식품업에서 고기능, 고품질 등의 고부가가치 산업으로 영역확대가 필수
- 안전성을 확보한 고기능, 고품질의 고부가 농생명 소재에 대한 국민적 관심과 수요 확대
 - 에너지 위기 문제와 지구온난화 등의 이상기상 변화, 환경오염 등 생태의 문제로 자생식물의 멸종 위기와 노지재배의 연작장해, 염류집적, 토양전염병 등의 원인으로 농생명 소재의 생산성과 품질이 저하



- 가습기 살균제 사건, 치약 내 유해물질 검출 등 석유·화학소재에 대한 불안감 등의 사회적 이슈가 발생함에 따라, 천연 재료에 대한 요구 급증 및 이에 따른 매출 증가, 그리고 친환경 제품을 선택하는 소비자 증가
- 가축 질병, 살충제 달걀 사태 등의 식품 안전성 문제에 대한 국민 불안감이 높아지고, 안전·안심 먹거리에 대한 수요 증가

* 출처: 한국과학기술기획평가원(2020), 2019년도 예비타당성 조사 보고서-농생명소재개발산업화기술 개발사업

■ **농생명소재의 생산성과 품질 향상을 위한 기술집약형 생산 체계화 요구 증대**

- 스마트팜은 미래의 식량위기와 기후변화에 대응방안으로 농생명 소재의 생산성 극대화 및 고품질 생산을 가능하게 함



* 출처: 농림축산식품부 외(2019), 스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발사업

<스마트팜의 구현 개념>

- 스마트팜은 농축산 생산시설의 환경 및 생체정보의 측정과 이의 해석 및 판단을 통해 기존 관행적·경험적 농업기술에 의존하지 않고 언제 어디서나 적절한 제어·처방을 함으로써, 최소한의 노동력·에너지·자원투입을 통해 생산성 극대화 및 고품질 생산이 가능하도록 하는 기술
- 농업 생산인구의 지속 감소는 먹거리의 안정적 공급의 치명적 위협 요인이므로, 스마트팜이라는 고효율의 생산방식으로의 신속한 전환이 요구됨

* 농가당 좁은 경지면적(美 : 175ha, 韓 : 1.5ha), 높은 농지 가격, 인력 감소 등의 제약 하에 스마트팜은 경쟁력 있는 새로운 생산시스템



<농가 호수 및 농가 인구 현황 및 전망>

(단위: 만호, 만명, %)

	'98	'17	'18 (E)	전망			연평균 변화율(%)			
				'19	'23	'28	17/98	18/17	19/18	28/18
농가호수	141.3	104.2	102.8	101.3	97.7	94.8	-1.6	-1.4	-1.4	-0.8
농가인구	440	242.2	238.2	234.2	214.2	191.2	-3.1	-1.6	-1.7	-2.2
65세 이상 농가인구 비율	19.6	42.5	42.9	43.3	46.9	52.3	1.2%p	0.4%p	0.4%p	0.9%p
총 인구 중 농가인구 비율	9.5	4.7	4.6	4.5	4.1	3.6	-0.3%p	-0.1%p	-0.1%p	-0.1%p
농림업 취업자	248	127.9	134	136	138.4	136.2	-3.4	4.8	1.5	0.2

출처: 농업전망(2017), 한국농촌경제연구원

- 국내 농업의 성장한계를 극복하고 글로벌 강국으로 진입하기 위해서는 자본·기술집약적 농업인 스마트팜 시스템 구축이 필수적
 - * 농업 경지면적이 협소한 네덜란드의 경우 스마트 시설농업(스마트팜)에 집중하여 농산물 수출액 세계 2위, 스마트팜 핵심기자재 수출 등 세계농업 강국 위상을 차지
- 경험적 영농기술의 승계 방식을 넘어 4차 산업혁명의 핵심기술인 초지능, 초연결, 초실감, 초신뢰 등을 활용하여 농촌 현안 문제해결의 핵심기술로 활용 가능
 - * 초지능(AI, BigData-Cloud, 지능형 반도체), 초연결(IoT, 5G, 전파응용), 초실감(VR/AR, 스마트미디어, 3D 프린팅), 초신뢰(정보보안, 블록체인, 양자정보통신) 등 지능정보기술의 발전 및 보편화에 따라 농업 분야 응용 가능성 확대
- 장기적인 관점에서 현재 선진국 기술 추격형인 스마트팜의 위상을 한국형 스마트팜 모델(K-Farm)의 글로벌 시장진출 및 시장을 선도할 수 있는 원천기술개발 및 R&D 추진 시급

■ 스마트팜 활용 고기능, 고품질의 고부가 농생명소재 개발을 위한 기술고도화 가속

- 합성생물학, 유전자재조합 기술, 유전자편집 기술 등을 통한 농생명소재 개발은 그린바이오 분야에서 레드·화이트바이오 분야로의 소재 확장성 및 경제성 제고
 - 현재 스마트팜은 대부분 온실작물에 치중, 파프리카 등 온실작물의 생산량은 증가하고 있으나 대량생산에 따른 가격하락 유발, 따라서 스마트팜 활용을 위해 투자 효율성이 높은 고부가 농생명소재 개발이 필요
 - 전통적인 소재생산 중심 농업에서 농업생명공학기술 기반 수요 맞춤형 고품질 농생명소재 개발로 기존과 차별화된 고부가 농산업으로의 전환
 - * 그린바이오는 레드·화이트바이오 분야로 영역 확장을 통하여 의약, 에너지, 환경 등으로 범위를 넓히고 있음[과기정통부 R&D KIOSK 제51호(2018. 8.)]



* 출처: 차세대바이오그린21 성과보고서(2017)

<수요자 맞춤형 고부가 농생명소재 개발 기술고도화 사례>

- 합성생물학은 유전자편집, 의약품용 RNA, 인공지능, 나노유체와 같은 첨단기술 개발과의 융합으로 제약, 식품, 화장품 등 여러 산업에서 합성생물학의 적용이 현실화될 전망
- * 합성생물학은 공학적 접근을 통해 생물시스템을 분석·설계·합성하여 다양한 분야에 응용하는 것이 우선적 목적이기에 기존의 DNA, 세포, 개체 등을 변형하는 수준에 그쳤던 유전공학(Genetic Engineering)과는 차이가 있으며, 생물시스템 구성체들의 관계 및 상호작용을 연구하는 시스템 생물학(System Biology)과도 구별됨

<합성생물학의 패러다임 변화>

구분	유전자 변형	합성생물학
기술	DNA를 읽고 분석함 (Reading/Analysing DNA)	DNA를 쓰고 합성함 (Writing/Synthesis of DNA)
적용	존재하는 생물학 체계의 적응 및 변형	새로운 생물학 체계의 디자인, 건설, 모듈화

* 출처: 생명공학정책연구센터(2016.5.26.), BioINwatch 16-35 합성생물학 스타트업에 대한 관심 증가

- 유전자 편집기술 상업화 대표 사례: 미국 바이오 기업 칼릭스트(Calyxt)는 콩에서 지방산을 만드는 유전자 두 개를 교정해 포화지방산 대신 올리브유처럼 몸에 좋은 불포화지방산을 생산하는 콩을 개발하여 2020년 세계 최초로 유전자 교정 콩을 시판할 예정. 또한, 밀가루 알레르기가 있는 사람들을 위해 글루텐 단백질을 제거한 품종도 개발. 미국 듀폰 파이오니어는 유전자교정으로 전분을 강화한 찰옥수수를 개발해 2020년 시판을 기대하고 있음



대표적인 유전자 교정 축산·농산물

올리브유처럼 건강에 좋은 기름 내는 콩
美 미네소타대 창업 기업 칼릭스트 개발

가지 더 많이 쳐 생산량 늘어난 토마토
美 콜로라도스프링하버 연구소 개발

치명적 바이러스 감염에서 자유로운 돼지
美 애든버러대 로슬린 연구소 개발

제2의 농업혁명 이끄는 유전자 교정

※ 질병을 유발하거나 농작물의 품질을 떨어뜨리는 DNA를 효소로 잘라내고 해당 부위를 정상 DNA로 복구함

도구: 가이드 RNA, CAS9, 절단 효소, 대체 DNA

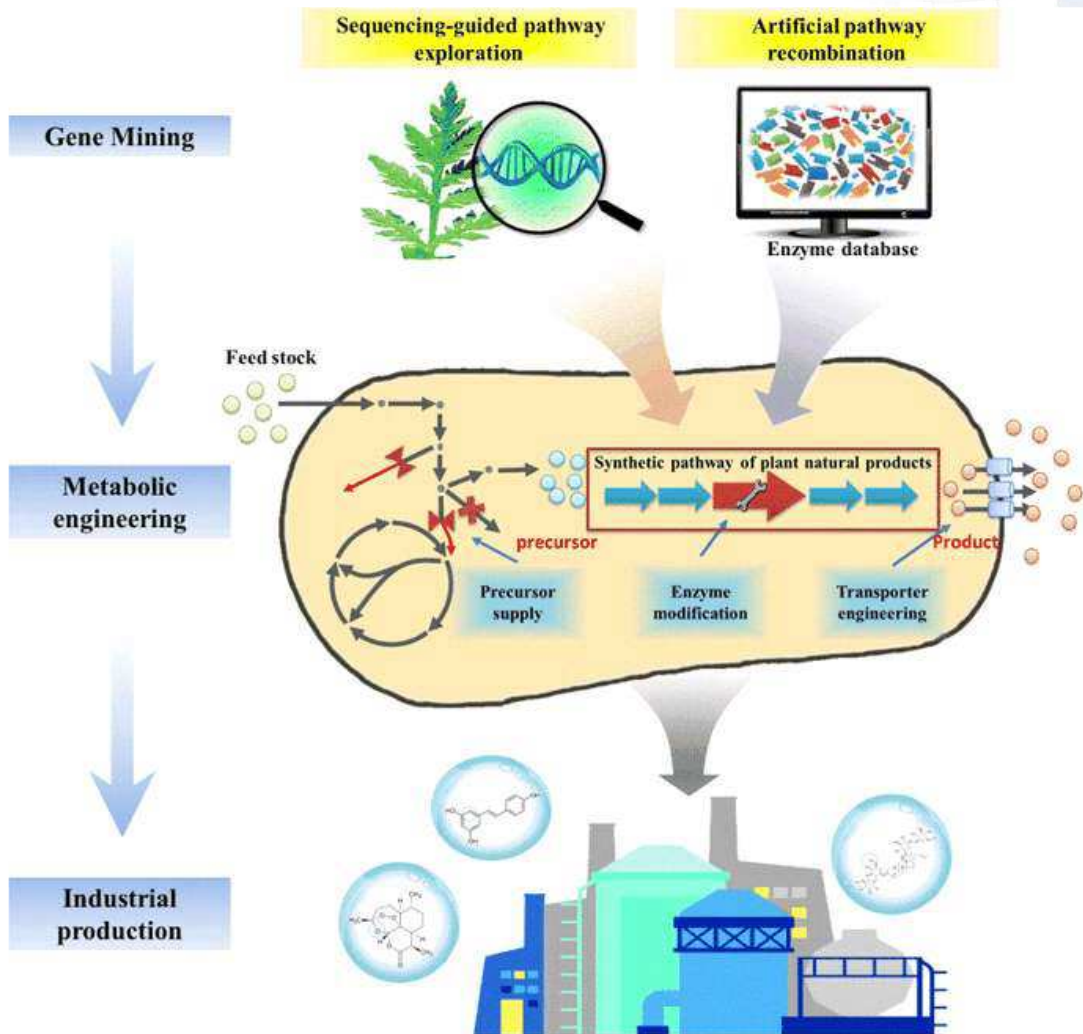
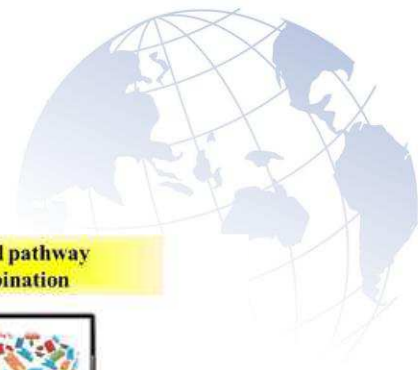
1단계 가이드 RNA, 잘라낼 DNA에 결합
2단계 효소로 DNA 절단
3단계 정상 DNA로 복원

자료=美 콜로라도스프링하버 연구소, 애든버러대, 리컴비네틱스

* 출처: 조선비즈(2018.6.28), [IF] GMO의 대안 ‘유전자교정’ 농업혁명 이끈다

<유전자교정 기술개발 사례 및 핵심기술프로세스>

- 정밀제어가 가능한 식물(세포)공장은 의료용 고부가가치 단백질과 산업적 가치가 있는 재조합 단백질 및 2차대사산물을 식물에서 대량으로 생산하는 시설 확산
 - 식물(세포)공장은 유전자변형식물, 생약식물 등을 활용하여 고기능·고품질의 고부가 소재를 외부 환경으로부터 독립적으로 연중 안정적으로 생산할 수 있어, 활용가치가 커지고 있음
 - * 유럽연합 보고서는 '25년 녹색(세포)공장의 세계시장 규모가 약 100조 원에 이를 것으로 전망
 - 식물공장은 생산단가가 높아 한정된 생산물에 국한되고 있으며, 고부가작물의 발굴 미흡으로 산업화에 한계 봉착
 - 개선방안으로 유전자변형작물, 생약식물 등 고기능·고품질의 고부가 소재생산 식물의 재배를 통해 시장을 확대하기 위한 노력이 추진 중
 - * 일례로 항암 및 항노화 효과가 있는 폴리페놀, 아이소플라본 등 피토케미컬(Phytochemical) 등 식물에서만 생성되는 물질로 환경제어를 통한 조절을 통해 생산성을 개선할 수 있는 생육제어법의 개발이 추진
 - 세계적으로 식물공장용 고부가 식물생산을 위해 유전자변형, 유전자편집 등의 식물을 이용한 유용물질 생산 연구개발이 의약품 원료 생산을 중심으로 소재 선도국가에서 적극적 수행 중
 - * 이스라엘의 인삼 형질전환 배양세포 기반 고쇄병 치료제, 네덜란드의 부초를 이용한 C형 간염백신, 캐나다의 담배를 이용한 인플루엔자 백신이 생산된 바 있음
 - 현재 식물(세포)공장을 주로 바이오의약품 생산에 활용하고 있으나, 향후 화장품, 효소, 비타민 등 다양한 물질생산에 적용할 수 있어 새로운 농업생산 패러다임이 될 것으로 기대



* 출처: 농촌진흥청 외(2019), 그린바이오 융복합기술 실용화사업 기획보고서

<식물유래 유용물질의 세포공장 생산>

- 또한, 밀폐형 식물공장은 유전자변형식물의 환경 방출로 인한 LMO 규제 등의 환경위해성 문제를 해결할 수 있음
- 세포공장은 기존 미생물을 이용한 유용물질 생산 수단으로 이용하여 왔으나, 최근 들어 유전체, 대사공학, 합성생물학 등의 발전에 맞물려 줄기세포, 면역치료제 기반 바이오의약품 생산에 중점을 두고 발전하고 있음
- * 주로 줄기세포기반 치료제, 면역제어 치료제, 유전자 재조합 단백질 기반 제품 개발
- 대사공학을 통해 구명된 유용물질 생산체계를 분석하고, 이에 유전체 연구 등을 통한 유용 유전자를 세포 내에 도입하여 기존 세포에서 생산할 수 없었던 물질을 생산할 수 있는 체계를 구축



2 스마트팜활용 농생명소재 대량생산 기술개발 정의 및 개념

■ 농생명소재 정의 및 개념

- 농생명소재는 “식물, 동물, 미생물, 곤충 등에서 유래한 유용하고 특수한 기능을 가진 농생명자원 그 자체, 또는 분리·정제 등의 가공을 거친 물질”로 정의
- 농생명소재는 농업생산 현장에 투입되어 친환경적인 농축산물 생산이 가능하도록 하는 농생명소재와 농업 외 타 산업에서 제품 개발의 원료 또는 중간재로 활용 가능한 농생명소재로 2가지로 구분

* 출처: 농림축산식품부; 농촌진흥청(2018), 「농생명소재산업화기술개발사업」 사업설명자료

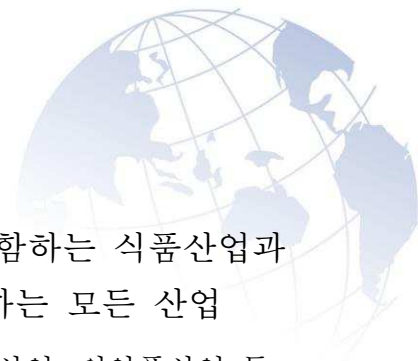


* 출처: 한국과학기술기획평가원(2020), 2019년 예비타당성조사 보고서-농생명소재산업화기술개발사업

<농생명소재의 다양한 원천과 활용분야>

- 농생명소재 산업은 ‘농생명소재’를 생산하고 직접적으로 활용하는 농업 및 농업 관련 산업(농업과 유효한 상호 의존관계를 형성하는 전후방산업)으로 정의
- (농업) 작물, 원예, 임업 등 식물을 생산하거나 축산, 양잠, 양봉 등 동물을 사육하는 산업
- (농업후방산업) 농업생산 활동을 위한 투입재, 생물자원, 생산 관련 서비스 등이 포함되며, 농산물을 재배하는 데 필요한 활동을 위한 모든 산업

* 농업생산 경쟁력을 좌우하고 보조하는 농약산업, 비료산업, 사료첨가제 산업 등



- (농업전방산업) 먹거리로써 농산물의 저장·유통·가공을 포함하는 식품산업과 그 외 농생명자원을 타 산업의 원료 또는 중간재로 활용하는 모든 산업
- * 농업 생산의 부가가치를 결정하는 식품산업, 생활소재산업, 화장품산업, 의약품산업 등
- 농생명 기능성 소재 산업의 범위는 농생명자원 생산, 유용물질 발굴, 소재개발 및 평가를 통한 상용화, 완제품의 생산 및 판매까지 산업 Value-Chain상 전단계를 포함

■ 스마트팜의 정의 및 개념

- 스마트팜은 빅데이터, AI, 무인자동화 기술 등 첨단 융합기술을 온실·축사 등에 접목해 원격·자동으로 작물과 가축의 생육환경을 적정하게 유지·관리할 수 있게 하는 지능화된 시설농장으로 정의
- 농축산 생산시설의 환경 및 생체정보의 계측과 이의 해석 및 판단을 통해 기존 관행적·경험적 농업기술에 의존하지 않고 언제 어디서나 적절한 제어·처방을 함으로써, 최소한의 노동력·에너지·자원투입을 통해 안정적 생산체계 확립, 생산성 극대화 및 고품질 생산이 가능하도록 하는 기술
- (세대별 정의) 스마트팜은 기술 적용 단계별로 (1세대) 원격 제어 → (2세대) 생육 데이터 기반 자동 제어 → (3세대) 완전 무인·자동화 등 3세대로 구분

<스마트팜의 세대별 구분>

구분	1세대	2세대	3세대
목표실현시기	현재	2025년	2030년
목표효과	편의성 향상 '좀 더 편하게'	생산성 향상 '덜 투입, 더 많이'	지속가능성 향상 '누구나 고생산·고품질'
주요기능	원격시설제어	정밀 생육관리	전주기 지능·자동관리
핵심정보	환경정보	환경, 생육정보	환경, 생육, 생산정보
핵심기술	통신기술	통신기술, 빅데이터/AI	통신기술, 빅데이터/AI, 로봇
의사결정/제어	사람	사람/컴퓨터	컴퓨터
대표 예시	스마트폰 온실제어 시스템	데이터 기반 생육관리 소프트웨어	지능형 로봇공장

* 출처: 농림축산식품부 외(2019), 스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발 기획보고서

- (개념적 범위) 스마트팜은 스마트농업(생산+전후방산업+유통소비)의 하위 범주
- (스마트팜) ICT, 로봇 등 첨단 과학기술을 접목하여 작물·가축 등의 농축산 생산시설의 최적 생육환경을 제공하는 지능화된 시설농장(대상: 실내농업)
- * (예시) 최첨단 자동화 시설온실 및 축사, 제약원료 생산 정밀제어 식물(세포)공장 등



- (스마트파밍) ICT, 로봇 등 첨단 과학기술을 접목하여 시설내 또는 노지에서 작물·가축 등의 재배·생산에 필요한 작업의 자동화·지능화를 구현하는 농업 생산기술(대상: 실내·실외농업)
 - * (예시) 자율주행 농기계 제어 기술, 농약 살포 드론, 착유 로봇, 지능형 관수 정밀제어 기술
- (스마트농업) 종자/종축으로부터 생산·유통·소비 등 전주기적 생산 활동과 연계된 전후방 산업까지 포괄적으로 ICT, 로봇 등 첨단 과학기술을 접목한 광의의 융복합 농업(대상: 노지생산 및 전후방 농산업)
 - * (예시) AI 기반 종자개발 기한 단축, 정밀농업 생산, 스마트물류



* 출처: 농림축산식품부 외(2019), 스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발 기획보고서

<Smart Farm-Farming-Agriculture간 개념 구분>

- 본 이슈리포트에서는 스마트팜을 활용한 농생명소재 대량생산 기술개발에서 바이오 의약품, 천연물 의약품, 기능성 식품, 천연화장품 등의 식의약소재를 중심으로 하여 기술 및 R&D 투자 동향을 분석하고자 함
 - 농생명소재 중 식의약소재 대량생산 기술개발
 - 스마트팜을 활용한 식의약소재 대량생산 기술개발 사례
 - 식의약소재 대량생산 기술개발 R&D 투자 동향



3 농생명 식의약소재 대량생산 기술개발

■ 바이오의약품

- 바이오의약품은 생물공학 기술(유전자재조합 기술, 세포배양 기술 등)을 이용하여 사람이나 다른 생물체에서 유래된 것(단백질)을 원료 및 재료로 해서 만든 의약품으로 정의
 - 바이오의약품은 생물학적 제제, 유전자재조합의약품, 세포배양의약품, 세포치료제, 유전자치료제 등으로 분류



* 출처: 성동원(2019), 2019 이슈보고서: 세계 바이오의약품 산업 동향 및 전망. 한국수출입은행/해외경제연구소

<바이오의약품 분류>

- EvaluatePharma에 의하면 2018년 기준 전체의약품 시장은 8,640억 달러, 이 중 바이오의약품 시장이 2,430억 달러로 전체의약품 시장의 28%로 추정
 - 세계 바이오의약품 시장은 지난 8년('10~'18년)간 연평균 8.2%로 성장, 향후 5년('19~'24년)도 연평균 8.5%의 고성장을 지속, 2024년 시장규모가 3,880억 달러에 달할 것으로 예상
 - 2017년 전 세계 매출 상위 10위 의약품 중 바이오의약품이 8개를 차지하는 등 바이오의약품이 세계 의약품 블록버스터급 시장 주도

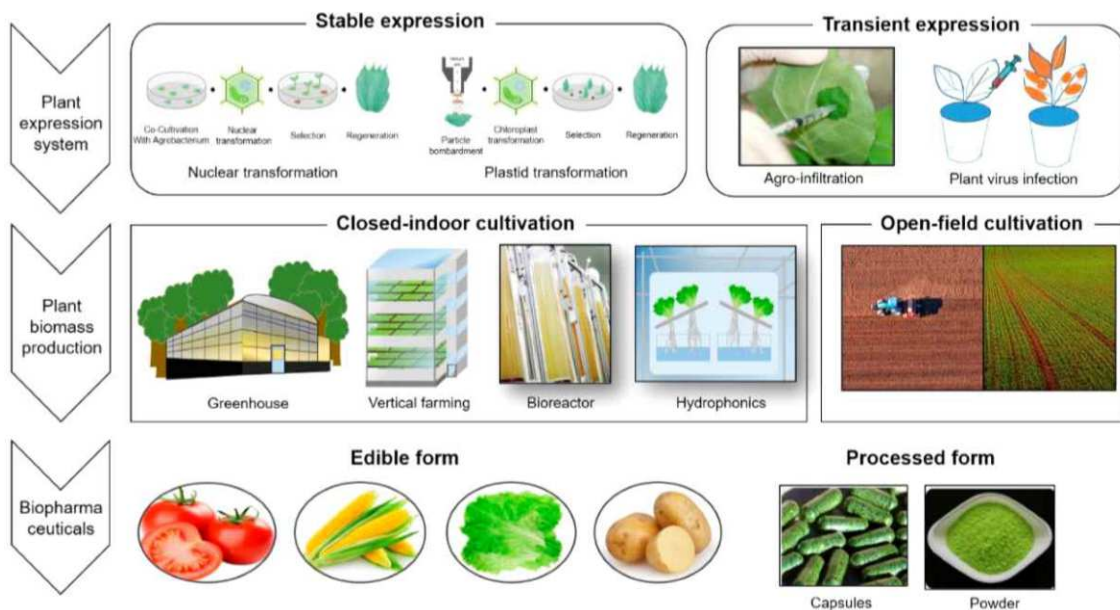


<2017년 10대 의약품 매출액>

순위	제품명	판매 기업명	2017년 매출액 (십억 달러)	구분
1	휴미라(Humira)	AbbVie(애브비)	18.4	단일클론항체
2	레블리미드(Revlimid)	Celgene(셀젠)	8.2	합성의약품
3	리톡산(Rituxan)	Roche(로슈)	7.5	단일클론항체
4	허셉틴(Herceptin)	Roche(로슈)	7.1	단일클론항체
5	아바스틴(Avastin)	Roche(로슈)	6.8	단일클론항체
6	레미케이드(Remicade)	Johnson & Johnson	5.8	단일클론항체
7	프리베나(Prevnar 13)	Pfizer(화이자)	5.6	백신
8	엔브렐(Enbrel)	Amgen/Pfizer(암젠/화이자)	5.4	융합단백질
9	란투스(Lantus)	Sanofi(사노피)	5.2	재조합단백질
10	리리카(Lyrica)	Pfizer(화이자)	5.1	합성의약품

* 출처: Nature Reviews Drug Discovery vol.17, 232 (2018), 한국바이오의약품협회(2018), 음영표시: 바이오의약품

- 다양한 작물기반 안정적인 바이오의약품 재조합단백질 생산 연구
 - 식물을 이용한 시스템에는 식물 세포배양, 식물체 일시적 발현시스템, 식물 형질전환시스템이 있는데, 이중 식물바이러스 아그로박테리움을 통해 식물세포에 전달해 단백질을 대량생산하는 발현시스템이 주목받고 있음



* 출처: Plants 2020.9.30.; 조정숙(2020), KBCH 브리핑-바이오의약품 산업의 성장: 식물 유래 의약품

<식물기반 바이오의약품 생산시스템 개념도>



<식물기반 표적단백질 생산 연구 사례>

발현시스템	대상식물	표적단백질
아그로박테리움법 (Agrobacterium mediated transformation)	상추	Cholera toxin B, pro-insulin
	토마토	Thymosin α1
	담배	TBAg-ELP
	당근	ESAT6, CFP10
	감자	HBsAg
	벼	CTB, ARP1
입자총법 (Microprojectile-mediated transformation)	벼	Glutelin1, hLF
	상추	CTB-Pins, CTB
	담배	plyGBS, EPSPS, CTB, Protective antigen, F1-V, CTB-VP1
세포/조직배양 (Cell and Tissue culture)	담배	HSA, interferon-gamma, rhEPO, Elastin-like polypeptides, Zein-derived peptides, hydrophobins
	해마라기	hGH
	벼	α-1-antitrypsin, mAb, interferon-gamma, HSA, Trypsin, hGH, Human pepsinogen C
일시적 발현시스템 (Transient expression system)	담배	mAb, Hemagglutinin, rhEPO

* 출처: Plants 2020, 9, 30

- (국외) 20종 이상의 식물기반 의약품 단백질이 판매승인 혹은 임상시험 중
 - 식물 세포배양에 의한 치료용 단백질 생산은 미국의 Dow AgroSciences 사가 수의학용 Newcastle 질병 백신을 개발하여 2006년 2월 미국 농무부(USDA)로부터 최초로 허가를 받았음.
 - 이스라엘의 Protalix 사에서는 인간의 고세병 치료제인 Glucocerebrosidase를 개발하여 라이선스 독점권을 1억 1,500만 달러에 미국 Pfizer사에 이전했으며, 형질전환 당근 세포를 이용한 단백질의약품으로 세계 최초의 미국 FDA 제품 허가를 2012년 7월 획득함.
- 식물기반 산업용 단백질 부문은 6개 제품(Avidin, Trypsin, β-glucuronidase, Aprotinin, Lactoferrin, Lysozyme)이 개발되어 상업화를 완료하였음
 - 식물발현시스템 활용 바이오의약품에서 형질전환 식물체를 이용한 재조합 단백질은 1990년 최초로 담배와 감자에서 인간유래 혈청 알부민이 생산되었으며, 이후 Hirudin 등이 상업화됨.
 - 현재 상용화에 성공한 식물기반 산업용 단백질의 경우 미국 Sigma사에서 판매하고 있는 Avidin, Trypsin, Lysozyme 등 연구용 시약이 주를 이루고 있음.



- 미국 Prodigene 사는 2002년 Trypsin을 유전자변형 옥수수로부터 kg 단위로 생산하는데 성공하였음(제품명: TryZean)
- (국내) 바이오의약품 시장규모는 2017년 2.2조 원(전년대비 22.0% ↑), 전체의약품 중 바이오의약품 시장 비중은 약 10% 수준
- 세계 주요 4대 바이오시밀러 중 약 3분의 2를 국내기업이 생산 중이며, 최근 수년간 셀트리온, 삼성바이오로직스 등이 바이오시밀러 사업 투자를 확대한 결과 두 기업 매출이 세계시장에서 비중이 2015년 21%, 2016년 25%, 2017년 27%를 차지(BCC Research)
- 국내 식물기반 의약품 단백질 생산 기술개발 현황
 - 국내의 경우 개별 연구자 중심으로 개별과제 형태로 연구를 진행하면서 주로 식물생산용 유전자 발현시스템을 중심으로 상당히 상위분야 위주로 진행되고 있으나, 식물생산의 세포디자인, 유용 단백질 정제 등의 기반기술 분야는 취약한 실정임

<식물기반 의약품 단백질 국내 연구현황>

연구수행기관	연구개발의 내용	성과 활용현황
경희대학교	식물바이러스복제시스템을 활용한 고발현 시스템 개발	실증 단계
국립농업과학원	EPO-발현 식물체 개발, 식물을 이용한 혈전용해제 t-PA 생산	연구 단계
	돼지콜레라 예방용 백신 알팔파 개발	실증 단계
(주)넥스젠	식물을 이용한 진단용 항원 생산	산업화 진입단계
단국대학교	자돈 설사병 방지를 위한 경구백신용 형질전환 당근 개발	실증 단계
(주)엔비엠	재조합트립신 생산	산업화 진입
	식물유래 사이토카인 6종	산업화 진입
전북대학교	식물유래 인간 피부성장인자 2종	사업화 진입
	가축질병 예방을 위한 경구백신 연구	실증 단계
포스텍/바이오엠플	유용단백질 생산 기반 구축	산업화 진입단계
	단백질 고발현/고축적 시스템	산업화 단계
한국생명공학연구원	돼지열병마커백신 개발	산업화 진입
	B형 간염과 치매 예방을 위한 경구백신 개발	실증 단계

* 출처: 한국생명공학연구원(2018), 식물기반 바이오의약품 생산 원천기술개발 과제보고서

- 세포공장은 합성생물학 등의 발전에 맞물려 줄기세포 등 기반 바이오의약품 생산 분야에서 도약을 이루고 있으며 다양한 소재에 대한 상업화가 추진되고 있음

* 주로 줄기세포기반 치료제, 면역제어 치료제, 유전자재조합 단백질 기반 제품 개발



■ 천연물 의약품

- 식물유래 의약품 세계시장은 2017년 294억 달러 규모로 연평균 6.1% 성장하여 '22년에 396억 달러로 성장할 것으로 전망
- 세계에서 판매되는 상위 25개 의약품 중 42%가 생물학제제 천연물 의약품 또는 천연물 유래 단일물질
- * 대표적인 식물유래 의약품은 타미플루(Tamiflu)로, 타미플루의 전 세계 판매액은 30억 달러를 초과함

<해외 대표적인 천연물 의약품>

약물명	회사	원료	적응증	비고
아스피린	바이엘	버드나무	해열진통제	100년 전 개발
탁솔	BMS	서양주목	항암제	12억 달러/년
타미플루	길리어드	팔각회향	항바이러스제	30억 달러/년
은행잎엑스	수바베	은행잎	혈액순환	20억 달러/년
차전자엑스	P&G	질경이씨	정장제	3억 달러/년

* 출처: 2017 국가생명연구자원 통계자료집

- (미국) 미국의 FDA에서도 'Botanical drug'이라는 의약품 분류를 새롭게 만들어 천연물 의약품 시장의 가능성을 열어두고 있음
- 미 FDA에서 처음으로 botanical drug에 대한 산업 가이드라인인 Botanical drugs Guidance를 제정
- * 1982년 이후 868종의 신약후보물질, 40종의 신약, 209종의 천연물 유래 반합성 물질을 승인, '02년까지 천연물에서 유래한 20종의 항암제를 개발한 것으로 집계됨
- HIV/AIDS 환자의 설사증상 완화용 천연물 의약품 Mytesi®(Jaguar Health, Inc.)
- 미국 Jaguar Health, Inc.는 남미에서 서식하는 sangre de Grado(Croton lechleri, Dragon's blood, 크로톤 식물의 일종)의 껍질에서 분리한 물질을 바탕으로 HIV/AIDS 환자의 비감염성 설사 증상 완화용 천연물 의약품인 Mytesi® 출시
- 천연물 신약으로는 '12년 역대 두 번째로 미 FDA의 승인을 받아 '14년 발매
- '18년 4분기 순매출액만 약 15억 5천만 달러를 기록, '18년 연간 Mytesi 순매출액은 약 4백만 달러인 것으로 나타남
- 후속연구로는 자회사 Napo Pharmaceuticals, Inc.를 통해 열대 우림지역에서 전통적으로 사용되는 식물을 활용한 위장 관련 적응증의 천연물 제제 개발 및 글로벌 제품 출시를 위해 중점적으로 연구하고 있는 것으로 알려짐



* 출시 당시의 제품명은 Fulyzaq®(플리작)이었으나, '16년 원개발사인 Napo가 Salix와의 공동개발 계약을 해지하면서 현재는 Mytesi®(미테시)라는 이름으로 판매 중임



Mytesi
(crofelemer) 125 mg
delayed-release tablets



* 출처: 농림축산식품부(2019) 농생명소재산업화기술 개발사업 기획보고서

<천연물의약품 분야 사례: sangre de Grado 나무(왼쪽)와 Mytesi®(Jaguar Health, Inc.)(오른쪽)>

- 단일 약재 연구를 탈피하여 라이브러리 구축을 통한 동시다발적 치료용 소재개발
 - 생물다양성협약(CBD)에 근거하여 미국의 NCI(National Cancer Institute)는 약 35,000점의 식물자원을 수집하고, 이 중 114,000점의 분획물을 추출하여 항암제로서의 가능성을 연구하고 있음
- (영국) 영국 등 11개국이 식물요법유럽협력기구(ESCOP: The European Scientific Cooperative on Phytotherapy)를 두고 유럽 생물생약에 대한 평가범위, 연구개발 방향 등을 결정하며, MSD 프로그램을 통해 식물 종자를 확보 중
 - 영국 제약사인 GW Pharmaceuticals에서 개발한 Sativex(Oromucosal Spray)는 마리화나의 추출물로 다발성경화증에 따른 경직에 적응증이 있음
 - 전 세계 식물자원의 10%인 24,000여 종의 식물 종자를 확보를 목표로 MSD 프로그램을 운영하고 있으며 영국 식물 종자의 94% 수집 완료
- (독일) 천연물 의약품 개발은 새로운 기작에 대한 연구와 함께 기존에 입증된 천연물 제품에 대한 적응증 확장 연구가 두드러짐
 - 1976년 독일약품법을 제정하여 식물약품이라는 개념 하에 저분자 의약품과 천연물 의약품을 동등하게 간주하고 있으며 정부주관하에 1996년부터 정부와 민간 회사가 공동으로 지원하는 'Natural product pool' 시작
 - * 천연물성분과 유도체 수집 확보, 대단위 생리활성 검색을 통한 새로운 의약품 및 농약 개발 중
 - 독일의 Medigen 사에서 개발한 Veregen Ointment 15%(Veregen®, Phynova, 음부 사마귀치료제)가 2006년도 미국 FDA 승인을 획득
 - * 이 제품은 녹차잎에서 부분 정제된 물 추출물로 주성분인 카테킨과 다른 녹차 성분들의 혼합물인 외용



제

- (일본) 천연물 의약품을 한약(방)제제(kampo)로 표현하며, 900여 품목의 한약제제를 시판하고 있으며 148종의 전문의약품이 전체 한방제제의 80%를 차지하고 있음
 - Sankyo 제약사에서 미생물을 활용한 혈중 콜레스테롤 저하제인 ‘메바스타틴 (Mevastatin)’을 개발하여 연 수출액 1,000억엔(약 1조) 이상 수출
- (중국) 세계 최대 중약 천연화합물(天然化合物) 베이스 구축을 위하여 초대형 프로젝트 추진 및 국제 의약시장 진출
 - 식물자원은 중국농업과학원 작물생물 자원연구소를 중심으로 관리, 운영됨
 - 심뇌혈관질환 치료제인 ‘복방단삼적환(夏方丹參適丸)’과 ‘행령과립(杏靈顆粒)’의 미국 FDA IND 통과
 - 발한해열제 ‘시호적환(柴胡適丸)’의 캐나다 천연 약품 허가 획득
- (국내) 천연물 의약품 국내시장은 약 2,940억 원 규모이고, 천연물 의약품 매출액이 1,400억 원 정도 규모인 것으로 나타남
 - 가속화되는 인구 고령화와 건강지수 등 건강에 대한 경각심 확대에 의약품 분야 등의 국내시장이 확대될 것으로 전망
 - 국내 허가된 천연물 의약품은 총 8개로 그중 하나인 동아에스티의 스티렌은 ‘13년 월처방액 600억 원을 기록

* 출처: 메디포뉴스(2018.1.26.), 우리나라 천연물 제제 약물이 글로벌신약으로 거듭나려면?



동아제약 '스티렌정'

SK케미컬 '조인스정'

녹십자 '신바로캡슐'

한국피엠지제약 '레일라정'

구주제약 '아피톡신주'

안국약품 '시네츄라시럽'

* 출처: BRIC View 동향리포트 (2019)

<국내의 허가 천연물 의약품 종류>



- (대상주) 필수아미노산 중 하나인 히스티딘 사업화에 성공, 세계에서 3번째로 개발함
 - 성인남녀에게 히스티딘을 섭취시켰을 때 두뇌 피로가 개선된다는 연구결과 존재, β -alanine*과 병행 섭취 시 근육 피로를 완화하고 근육 활동 증강효과를 가짐
 - * β -알라닌은 알라닌의 구조이성질체로 β -아미노프로피온산이라고도 불리며 단백질의 수성 아미노산은 아니지만 생리적으로 중요한 아미노산으로 여겨짐
- (동아에스티) 글로벌 제약회사로 국내 천연물 신약 1호인 ‘스티렌정’을 개발하는 등 천연물 이용 신약 개발에도 적극적으로 투자하고 있음
 - 미국 뉴로보 파머슈티컬스(NeuroBo Pharmaceuticals)와 당뇨병성 신경병증 치료제 ‘DA-9801’ 글로벌 개발 및 허가·판매에 대한 기술수출 계약 체결
 - * 산약 및 부채마가 주요 성분인 천연물 신약으로 임상시험단계에서 진통 및 신경재생 효과가 입증됨
 - 알츠하이머병 치료제 ‘DA-9803(성분 상삼자, 복령피)’을 비롯해 당뇨병성 신경병증 치료제 ‘DA-9801(성분 부채마, 산약)’, 파킨슨병 치료제 ‘DA-9805(성분 목단피, 시호, 백지)’, 기능성 소화불량증 치료제 ‘DA-9701(성분 현호색, 견우자)’ 총 4개 천연물 파이프라인을 보유함
 - * 알츠하이머 치매 치료제로 개발 중이던 신약후보물질인 ‘DA-9803’은 알츠하이머의 원인 중 하나인 베타아밀로이드 생성을 억제하고 신경세포를 보호하는 효능이 있는 것으로 알려짐
- (메디포럼) 천연물질을 이용하여 신약을 연구개발하는 등 바이오 기술선도 기업으로서 차세대 바이오 메디컬 시장을 선도하기 위해 노력하고 있으며 천연물 기반 항치매제, 항우울제 등 천연물 신약은 물론 한방성분을 이용한 건강기능식품도 판매
 - 현재 한의원들과 협업을 통해 치매치료 천연물 의약품을 한약으로 제조해 판매하면서 약물효과를 실질적으로 검증하고 있음
 - 홍삼 농축액을 활용한 기억력 개선용 건강기능식품 ‘브레인원’을 개발·판매 중
- (서울대학교) 난용성 문제로 적극 활용이 불가능한 물질 및 성분을 이용할 수 있는 기술개발 및 신경계 질환 예방을 위한 물질 연구
 - 국제농업기술대학원 연구진은 천연물질을 활용해 강황에 함유된 항산화 물질 ‘커큐미노이드’라는 성분을 천연 감미료인 ‘스테비올 배당체’를 이용하여 물에 잘 녹도록 바꾸는 방법을 개발
 - * 커큐미노이드는 혈액 내 포도당 농도를 낮춰 당뇨를 예방하고, 폐암유방암백혈병 등 다양한 종양세포의 증식을 막는 것으로 알려짐
 - * 또한 커큐미노이드가 함유된 강황은 숙취해소, 치매예방, 간위장질환 치료에 효과가 있고 우울증 극복 및 예방에 탁월함



- 농업생명과학대학 연구진은 분지 아미노산의 흡수율 증대를 위한 가용성과 투과성 증대 기술을 개발
 - * 난용성 아미노산의 일종인 분지 아미노산은 소수성으로 체내 흡수율이 낮으나 인체에서 합성되지 않아 식품 등을 통한 섭취가 필수적인 것으로 밝혀짐
 - * 난용성 소재 가용화 기술개발을 통해 건강기능식품 소재화 기술향상
- 브로콜리의 성분 '설포라판'이 뇌의 특정 단백질 발현을 후성 유전적으로 유도하여 치매, 자폐증 등 신경계 질환의 예방 가능성을 제시
- (영진약품) 만성폐쇄성폐질환 및 천식 치료제 'YPL-001'의 미국 임상2a상을 성공적으로 수행, 주요 성분은 국내 자생식물인 산꼬리풀 추출물임
 - * 만성폐쇄성폐질환(Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD): 만성적으로 기류의 상태가 불량한 폐쇄성 폐질환의 한 종류로 주요 증상으로는 호흡 곤란, 기침 및 가래 등이 있음
- 'YPL-001'은 경구제로 기존 흡입기 제형 치료제에 비해 복용이 편리하고, 스테로이드 성분에 대한 인체 민감도를 높여주기 때문에 투여 빈도를 줄일 수 있음
- (GC녹십자웰빙) 녹십자웰빙은 보편적 영양공급이 아닌 PNT(Personalized Nutrition Therapy) Biz Model 개발에 집중하고 있음
 - 자연에서 얻은 면역 소재인 다래 추출물과 면역 기능 및 항산화 작용을 증진시키는 망간이 함유된 '알르마젠' 개발
- (한국식품연구원) 치료용 식의약품 및 건강 증진을 위한 제품 개발
 - 만성 신장 질환 치료용 프로바이오틱스 개발에 성공
 - 한국식품연구원 식품가공기술연구센터는 밀가루 과자를 대체하기 위하여 셀리악병과 같은 알레르기 유발율이 현저히 낮고 소화가 잘되며 바삭한 식감을 유지하는 팽화 쌀과자를 개발
 - 미성숙 밀의 높은 폴리페놀함량과 플라보노이드함량으로 인한 높은 항산화 기능과 항암억제 효과를 규명함
 - 한국식품연구원 특수목적식품연구단 연구팀은 갱년기 여성 건강을 위한 프로바이오틱스 'YT1'을 도출하는데 성공함
 - 지질생성 억제효능이 있는 천연물질인 레스베라트롤 및 제니스테인의 화학구조를 변형하여 개발된 물질이 지방간 및 혈중중성지방 억제효과를 나타내는 것을 확인함



- (주)청보리식품) 고지혈증, 당뇨, 비만예방 효과를 나타내는 새싹보리 제품 개발
 - 청보리식품은 농업실용화재단의 기술중개를 통해 농촌진흥청의 새싹보리 관련 특허기술을 이전받아, 새싹보리를 활용한 가공제품을 개발하여 상품화에 성공
 - * (특허등록) 폴리코사놀 함량이 증가된 새싹밀, 새싹귀리 또는 새싹호밀 추출물의 제조방법(15)
 - (주)청보리식품 대표는 “기존 농산물 출하가격 대비 67배의 부가가치가 발생하여 향후 가공을 더욱 늘릴 계획이며, 주변 농가의 조직화를 통한 생산을 기대하고 있다”고 언급함
 - 새싹보리에 풍부하게 함유된 폴리코사놀 성분은 다방면에서 활용 가능한 우수 신규 기능성 천연소재로 알려져 있음
 - * 영양학적인 이점으로 식품, 건강기능식품, 화장품, 사료 등에 활용 가능
 - * 고지혈증, 성인병 예방 및 개선, 항노화 성분 등 의학조성물로서 활용 가능



* 출처: <http://item.gmarket.co.kr/Item>

<천연물 의약품 분야 사례: 기술이전을 통한 개발 및 사업화 제품 '청녹수'>

■ 건강기능식품

- 건강기능식품은 「건강기능식품에 관한 법률」 제3조 제1호에서는 건강기능식품을 인체에 유용한 기능성을 가진 원료나 성분을 사용하여 법적 기준에 따라 제조(가공을 포함)한 식품으로 정의
 - 일반 식품에서와는 달리 기능성식품 원료는 인체 적용시험을 거쳐 안정성과 기능성을 담보할 수 있어야 함
 - 건강기능식품 소재는 개별인정형과 고시형 원료로 구분하며,
 - 고시형 원료란 식약처장이 고시한 「건강기능식품의 기준 및 규격」에 따른 원료 또는 성분을 말하며, 개별인정형 원료는 식약처장이 별도로 인정한 원료 또는 성분을 의미



<건강기능식품>

구분	식품		의약품	
	건강기능식품	건강식품, 건강보조식품, 식이보충제	의약외품	일반의약품
정의	인체에 유용한 기능성을 가진 원료 또는 성분을 사용하여 제조한 식품	전통적으로 건강에 좋다고 여겨져 널리 섭취되어 온 식품, 식약처로부터 안전성과 기능성을 인증받지 않은 제품	의약품의 용도로 사용되는 물품을 제외한 것으로 인체에 대한 작용이 경미하거나 직접 작용하지 않는 것	사람이나 동물의 질병 치료, 예방 목적으로 사용하는 물품, 사람이나 동물의 구조와 기능에 약리학적 영향을 줄 목적으로 사용하는 물품
관련법	건강기능식품법	식품위생법, 축산물위생관리법	약사법	약사법

* 출처: 식품의약품안전평가원, 한국농수산식품유통공사, IBK투자증권 리서치센터

- 세계 건강기능식품 시장은 지난 3년간('15~'17) 5% 이상의 성장률을 보이며 지속적으로 성장해 왔고, '20년에는 전년 대비(1,457억 달러) 6.4% 성장한 1,551억 달러 시장규모를 가질 것으로 전망
 - * 출처: 한국건강기능식품협회
 - 미국, 아시아, 유럽 순으로 높은 시장점유율을 나타내고 있으며, 중국 시장의 경우 2006년 9.6%에서 2017년 14.6%로 가파르게 성장
 - * 미국은 '17년 기준 43,674백만 달러(점유율 33.9%)로 가장 큰 시장을 형성
 - * 중국(점유율 14.6%)은 매년 약 9%씩 성장하고 있으며, 식이보충제 (55.2%) 및 보양 목적(33.5%) 시장이 대부분을 차지하고, 그 외 면역력 강화(32%), 피로 완화(14%), 영양보충제 (10%) 비중
- (국외) Nutrient와 Pharmaceutical의 합성어인 약효식품(Nutraceutical)이라는 용어를 기능성 식품(Functional food)과 같은 의미로 사용
 - 생명공학의 첨단기술을 식품 분야와 융합하여 식품 Phytochemical과 인간 유전체 간 관련성, 영양 관련 질병 제어 및 맞춤형 처방 분야로 응용하려는 연구가 핵심연구 분야로 부상 중임
- 유럽 각국의 식품연구기관은 기능성 식품과 관련하여 심혈관 질환 예방, 면역 조절, 장 건강, 체중조절 등을 목적으로 연구를 집중하고 있음
 - 주요 소재로는 Phytochemical류의 연구 빈도가 가장 높았고, 장 건강과 면역 증진과 관련하여 Probiotics 연구도 활발하게 진행하고 있음
 - 유럽의 식품 연구소에서는 기능성 소재의 세부 작용기작 연구와 오믹스 기술을 접목한 첨단 연구를 진행하고 있음
- 일본은 바이오 기능성 식품에 대한 기초 및 산업 연구를 기반으로 제품화 기술개발이 활발하여 세계 기능성 식품시장의 75%를 점유



- 식품의 영양성(1차)과 기호성(2차)에 식품의 생체조절성(3차 기능)을 강조하여 3차 기능을 주 기능으로 한 식품을 「기능성 식품」이라는 용어로 칭함
- 정부의 건강 장수 계층 탐색연구를 중심으로 유전체기술의 기반 확대 및 SNP 발굴, 유전체 활용기술개발사업이 대대적으로 수행되고 있고 Nutrigenomics 데이터베이스 등의 연구가 진행되고 있음

<건강기능식품의 기술개발 동향>

국가	용어	내용
미국	식이보충제	<ul style="list-style-type: none"> • 비타민, 무기질, 허브 등 식품 성분, 아미노산, 식사를 보충하기 위해 사용되는 물질, 농축물, 대사산물, 구성요소, 추출물 혹은 이에 포함된 성분 등의 원료를 함유한 식품 • 식이보충제에 사용하는 건강관련 표시로는 건강 강조표시, 구조/기능 강조표시, 영양소 함량 강조표시가 있음
유럽	식품보충제	<ul style="list-style-type: none"> • 영양 또는 생리학적으로 효과를 가진 영양소 또는 그 밖의 성분/물질을 농축한 식품
일본	보건기능 식품	<ul style="list-style-type: none"> • 영양기능 식품, 특정 보건용 식품, 기능성 표시 식품으로 분류 - 영양기능 식품은 국가가 정한 기준에 부합한 특정 영양 성분(비타민, 미네랄 등 17개 성분)을 포함하여 해당 영양성분의 기능을 표시하는 식품 - 특정 보건용 식품은 생리적 기능이나 특정 보건기능을 나타내고, 유효성 및 안전성 등에 관해 국가 심사를 받으며 소비자청이 유효성에 관계되는 표시를 허가 또는 승인한 식품 - 기능성 표시 식품은 사업자가 일정한 과학적 근거에 입각하여 건강효과를 신고한 식품(2015.4부터 관련 법안 시행)
중국	보건식품	<ul style="list-style-type: none"> • 특정 보건기능을 갖추거나 비타민, 미네랄 보충을 목적으로 하는 식품을 의미하며 영양소 보충제와 전통 보건식품으로 분류 - 영양소 보충제는 부족한 영양소의 섭취를 보조하는 비타민제, 단백질 가루 등 식사 영양 보충제, 다이어트 관리식품, 아동식사 영양보충제 등을 말함 - 전통 건강보건식품은 신체 기능을 조절하는 기능이 있으며 질병 치료를 목적으로 하지 않는 식품

- (국내) '18년 국내 건강기능식품 시장은 4.3조 원 규모로 전년 동기 대비 2% 성장하여 '17년 성장률 17.1%를 크게 하회
 - 대기업의 저가형 PB 제품, 복합형 제품 등의 출시로 금액 기준 상위 원료시장의 경쟁 가열화로 분석되었으며, 구매자는 증가하는 반면 경쟁심화에 따른 가격하락으로 구매자 당 평균 금액은 감소
 - 특히, 비타민 및 EPA/DHA 시장은 '18년 전년 동기 대비 역성장 기록
- 향후 국내시장은 소비자 각 개인이 요구하는 원료 기반의 건강기능식품 시장이 성장을 견인할 것으로 추정
 - 최근에는 환경적 영향으로 노년층뿐 아니라 학생 및 2030 세대에까지 관심이 높은 건강기능식품 소재인 루테인의 성장이 두드러짐
 - 반면에, 밀크씨슬 추출물, EPA/DHA, 인삼은 전년대비 감소하였으나, 건강을 추구하고자 하는 소비자의 수요는 지속될 것으로 전망됨



- 2018년 기술수준평가에 의하면 국내 식품을 통한 가치 창출 관련 기술은 최고기술 보유 선진국과 3년의 기술격차를 보이며, 선진국 대비 기술 수준은 약 80%의 수준인 것으로 분석됨(2018 기술수준평가, KISTEP)
- 국내에서는 구기자나무 뿌리껍질(지골피)를 이용한 골다공증 예방·개선 제품 개발, 오이 식초를 주원료로 한 숙취 음료 제품 개발을 통해 생과 가격의 최고 240배의 부가가치를 창출하였음
- 또한, Probiotics의 응용 및 개발연구를 추진하고 있으며 전통 발효식품의 미생물자원 발굴 및 보존을 위한 연구도 활발하게 수행되고 있음
 - Probiotics과 유산균 식품의 개발 및 박테리오신 생산균의 개발연구와 전통 발효식품의 발효에 관여하는 Probiotics 연구 등이 진행되고 있음(예: 니신(nicin)을 이용한 김치 시어짐 방지 연구)
 - 한편, 유산균을 이용한 기능성 저분자물질(CLA; Conjugated Linoleic Acid, 항암·콜레스테롤 저하·체중감소 기능)과 GABA(Gamma Amino Butyric Acid, 혈압조절, 신경안정) 및 비타민류 등 합성 연구가 활발히 진행 중

<국내 건강기능식품 기술개발 동향>

주요 연구 분야	<ul style="list-style-type: none"> • 건강기능식품개발, 전통발효식품의 고기능화, 식품안전성 관련 기술 등
신기술유망분야	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 기능성식품소재 개발연구, 영양유전체 활용 및 개인맞춤형 식품개발 연구, 식품나노기술개발 등
강점 및 약점	<ul style="list-style-type: none"> • 강점: 식품 제조 가공 공정기술, 제형화 기술, 소재탐색기술, 전통발효 식품가공기술 • 약점: 기능성평가모델개발기술, 안전성평가기술, 영양유전체기술, 인체효능 평가기술

■ 천연화장품

- 세계 화장품 시장이 '18년 기준 약 4,932억 달러(약 591조 8,000억 원)에 달하는 가운데 같은 해 천연화장품의 세계시장 규모는 345억 달러(약 38조 7,000억 원)인 것으로 나타남
- (미국) Evolva는 효모로부터 Flavor & Fragrance (F&F) 물질을 생산
 - 대표제품으로 바닐라향을 내는 원료인 바닐린(Vanillin)은 FDA 및 FEMA로부터 'Natural' 라벨 획득 및 GRAS로 인정됨
 - * Generally Recognized as Safe(GRAS): 미국 FDA 안전원료 인증제도로 먹을 수 있는 안전한 물질이라는 의미로써 인증을 받는 경우 다양한 용도로 상업적 판매가 가능



- 천연원료의 높은 가격과 수급 불안정을 해소할 수 있는 소재로 기대됨
- Amyris 또한 효모로부터 생산된 Farnesene을 기반으로 F&F 기업과 파트너십을 맺고, 바이오 기반 F&F 개발에 집중
 - 100% 바이오소재 기반 스쿠알렌(Neossance)으로 기능성 화장품 브랜드를 개발하고 제품화에 성공
- Dupont사와 Tate & Lyle사가 합작하여 'Dupont Tate & Lyle BioProducts'를 설립, 화장품 원료인 1,3-Propanediol을 생산
 - * 1,3-프로판디올: 옥수수에서 발효 추출한 천연 보습 성분으로 점도 조절 및 보습 역할과 방부제 역할까지 가능, EWG 1등급으로 안전한 성분으로 인증됨
- Ginkgo Bioworks은 '09년에 설립된 동 회사로 유전 공학을 이용하여 산업용 미생물 생산에 집중, '17년에 유니콘 기업으로 성장함
 - * 향수와 화장품에 사용되는 첨가물 배양 성분, 제약공정 맞춤형 효소 생산, 균주 개량 등을 위한 미생물 설계
 - * 4억3,700만 달러의 투자금을 유치하였으며 기업가치는 13억7,000만 달러로 평가됨
- (영국) 에스티로더의 자연주의 브랜드 오리진스(Origins)는 찻잎가루성분의 파우더 마스크를 개발해 '16년 'rituali Te' 마스크팩을 성공적으로 런칭
- (독일) 'Synthos Group'은 화장품 원료가 피부에 침투하는데 장애물이 무엇인지 연구에 집중하여 효과적으로 효소, 호르몬 등을 전달하는 VECTICELL 개발
 - 'VECTICELL™'은 지방질을 분해하는 자연 효소인 포스파티딜콜린으로 만들어졌으며 활성 성분 침투력과 화장품 지속 효과를 높임
- (일본) Nikko chemical(니코 케미컬)은 1948년에 설립된 화장품 원료 전문 기업으로, '지속가능한 소재' 개발을 목표로 미국의 Amyris사와 '11년부터 제휴하여 기술 개발 및 상업화에 힘쓰고 있음
 - 사탕수수 찌꺼기를 활용한 'Nikkol 슈가 스쿠알렌'은 친환경 소재로 알려져 있으며 1톤 생산 시 CO₂ 배출 약 3톤을 감소시키는 효과가 확인됨
- (국내) 천연화장품 국내시장은 '17년 기준 약 2조 9,000억 원 규모로 전체 화장품 시장규모의 12.2%를 차지
 - '17년 한방화장품 국내 매출액은 2조 4,000억 원 규모로 전체 국내 매출의 9.7%에 해당하며, 최근 5년간 국내 상위 품목에 한방화장품이 꾸준히 포함되고 있어 한방화장품에 대한 높은 소비자 선호도를 알 수 있음



- 유기농 화장품 국내 매출은 '13년 1,600억 원대 규모에서 '17년 5,989억 원으로 대폭 성장, 이는 유기농 화장품에 대한 수요의 증가와 천연화장품 및 유기농 화장품의 기준신설에 따른 소비자 신뢰도 향상으로 성장 폭이 커질 것으로 기대됨
- (주)아모레퍼시픽) 국내산 원료를 통한 프리미엄 기능성 화장품 출시
 - 아모레퍼시픽은 태안 백합 뿌리, 제주 동백씨 기름, 괴산 닥나무 등 전국의 친환경 유기농 재배 농가와의 계약재배를 통해 프리미엄 한방화장품 생산 및 출시
 - 태안백합수출영농조합법인과 백합 구근 수매계약을 통해 설화수 '윤조에센스', '자음생크림' 등 설화수 최고급 프리미엄 화장품의 원료로 사용
 - 제주 서귀포 동백마을 농가 및 주민들과의 동백씨앗 수매계약을 통해 탈모 예방샴푸 '려'(동백씨 기름), 이니스프리 에센스 및 마몽드 파우더팩트(동백꽃잎)의 원료로 활용
 - 진안 인삼농협은 '10년 아모레퍼시픽과의 인삼 직거래계약을 통해 50억원 상당의 친환경 인삼을 수매하여 설화수 화장품 원료로 활용
- * 이 과정에서 아모레퍼시픽 기술연구원은 인삼의 유효성분인 '킴파운드K'와 '진세노사이드F1' 성분이 각각 보습, 노화 억제에 효능이 있음을 세계 최초로 규명



* 출처: 아모레퍼시픽

<천연화장품 분야 사례: 자음생크림(왼쪽)과 려(오른쪽)>

- 테라젠이텍스와 유전자 연구 파트너십 협약을 맺고 700여명의 고객 유전자 분석 결과를 확보한 상태로 관련 분야 공동연구를 통해 미백을 포함한 기능성 화장품 개발에 집중할 계획
- (SK바이오랜드) 1995년부터 '자연, 과학, 생명'을 이념으로 천연자원을 이용한 화장품 원료개발에 앞장서고 있으며, 식품, 의약품 부분에서도 신뢰할 수 있는 기업으로 자리매김함



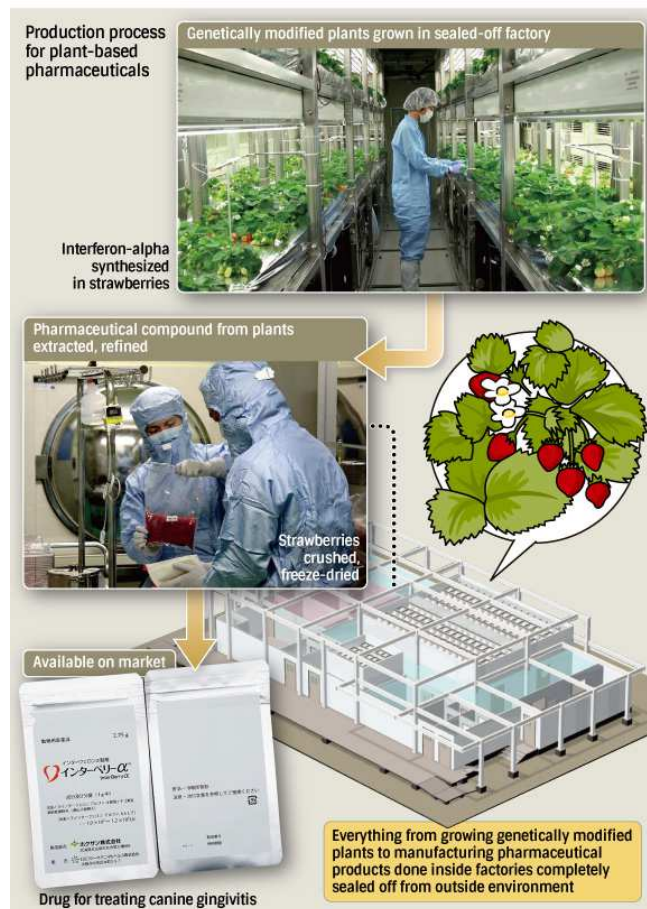
- 최근 화장품 업계에서 대두되고 있는 '열노화(Thermal aging)'를 방지하기 위해 적외선 등 열로 인해 손상된 피부에 쿨링효과를 주고 노화를 방지시켜주는 'Eucoolan™' 개발
- 어성초 추출물을 활용하여 세정력이 있으며 항균력을 보유해 친환경 클렌징 원료로 이용하는 'HOCOX' 개발
- 둥글레의 점액성분인 식물체 다당체를 분리 정제한 제품으로 보습 효능 및 미백 효능, 욱모 효능을 보유한 'MUSAP' 개발
- (LG생활건강) LG생활건강은 1947년부터 화장품을 생산해온 국내 최대의 화장품 기업으로 현재는 화장품뿐만 아니라 건강기능식품 등 생활 전반에 걸친 분야에 대한 제품 개발로 영역을 넓혀가고 있음
 - 화학제품뿐 아니라 천연물을 이용한 화장품개발에도 투자하고 있으며 한국해양연구원 부설 극지연구소와 MOU를 체결, 항산화 물질을 생성해내는 '라말리나'에서 성분을 추출해 만든 최초의 냉장 화장품 '프로스틴'을 개발
- (주)단정바이오) 천연소재를 개발하는 기업으로, 천연물 기반 식품, 화장품, 의약품 등을 제작하며 판매하고 있음
 - 락토바실러스, 비피다, 락토코쿠스를 이용한 발효물 복합체인 'Probiotics III'는 피부 보습 및 항염 작용을 통해 피부를 촉촉하게 만들어 줌
 - 'Sargassum SFE'는 팽생이모자반을 초임계 추출하여 만든 제품으로, 항산화 및 피부미백 효과가 우수하고 피부에 부작용이 없는 추출물임
- (한국식품연구원) 인삼연구팀은 서울대학교와 공동으로 우리나라 고려인삼에서 피부 주름을 억제할 수 있는 소재를 발굴하고 효능을 입증함
 - 진세노사이드 '20(s)-PROTOPANAXADIOL'(20(S)-PPD) 소재가 피부주름 개선에 효능이 있다는 것을 확인함
 - 오미자 고유 향기성분을 신속하고 편리하게 친환경적으로 추출할 수 있는 기술 최적화
 - 장미 등 천연 허브에 함유된 향기성분인 게란산(Geranic acid)의 피부색소 억제효과를 입증



4 스마트팜을 활용한 식의약소재 대량생산 기술개발 사례

■ 식의약소재의 지속가능한 생산과 품질 향상을 위한 스마트팜 적용

- 식물기반 동물용 의약품 생산
 - 일본 경제산업성 산하 산업기술종합연구소(AIST)는 개의 치주염을 치료하는 항바이러스 인터페론을 생성하는 GM 딸기를 개발, 2013년에 상품등록을 마치고 2014년 3월에 마침내 상업용 판매를 시작
 - 이 GM 딸기는 밀폐형 온실에서 격리재배하고 수확한 딸기를 재료로 의약품을 제조
 - 일본은 2007년에 삼나무 꽃가루 알레르기 예방백신을 생산하는 GM 벼를 개발하고, 2016년 현재 상용화에 필요한 임상시험 진행 중(조정일 등, 2020)



* 출처: AKIHIKO NISHIYAMA, NIKKEI Asian Review. June 09, 2014.)

<Production process for plant-based pharmaceuticals: Interferon- α synthesized GM strawberries>



- 식물기반 돼지열병마커백신 개발
 - (주)바이오앱(대표 손은주)은 2019년 4월 식물을 이용한 동물용 백신, ‘허바백™ 돼지열병 그린마커 주’의 품목허가를 농림축산검역본부로부터 받음
 - 손 대표는 “담배의 한 품종인 니코티아나 벤타미아나라는 식물 플랫폼에서 생산해 품목 허가를 받은 세계 최초의 바이오의약품”이라고 강조
 - * 식물(그린)백신은 바이러스를 배양해 백신으로 만들지 않고 유전자 재조합 기술을 이용해 식물체에서 백신을 생산해 만든 식물기반 동물약품임
 - 핵심 기술력은 스마트팜을 이용한 식물 재배, 식물단백질 고발현 기술과 단백질 분리정제 기술임. 동물용 단백질 백신을 식물에서 생산하는 기술(플랫폼)을 구축했기 때문에 기존의 백신보다 안전하고 효과적인 의약품을 생산할 수 있는 길을 연 것임



* 출처: 바이오앱 홈페이지 참조, <https://www.http://bioapp.co.kr/>

<식물기반 백신인 허바백™ 돼지열병 그린마커 주>

- 국내 식물기반 기능성 화장품 소재 단백질 생산: 넥스젠의 EGF와 IGF 재조합 단백질 생산 및 화장품개발 적용
 - 넥스젠의 화장품 신기능성 소재인 성장인자 단백질 50여 가지 이상을 대량생산 시스템 구축. 그 중 대표적인 것으로는 세포재생과 노화 방지에 탁월한 효능을 지닌 EGF(Epidermal Growth Factor), 세포재생과 노화 방지는 물론 모발 성장에도 도움을 주는 IGF(Insulin-like Growth Factor: 인슐린유사 성장인자) 등을 꼽을 수 있음.
 - 세포재생과 탄력회복에 뛰어난 효능을 보이는 EGF는 실온에서 유통되는 기간 동안 안정성이 떨어지는 문제가 있어 최근 안정성(stability)을 향상시킨 EGF 두 종류도 개발 완료하고, 특허등록까지 진행 완료
 - 안정성 향상 EGF와 IGF의 식물에서 대량생산 시스템 구축 완료. 이러한 재조합 단백질은 현재 화장품개발에 적용

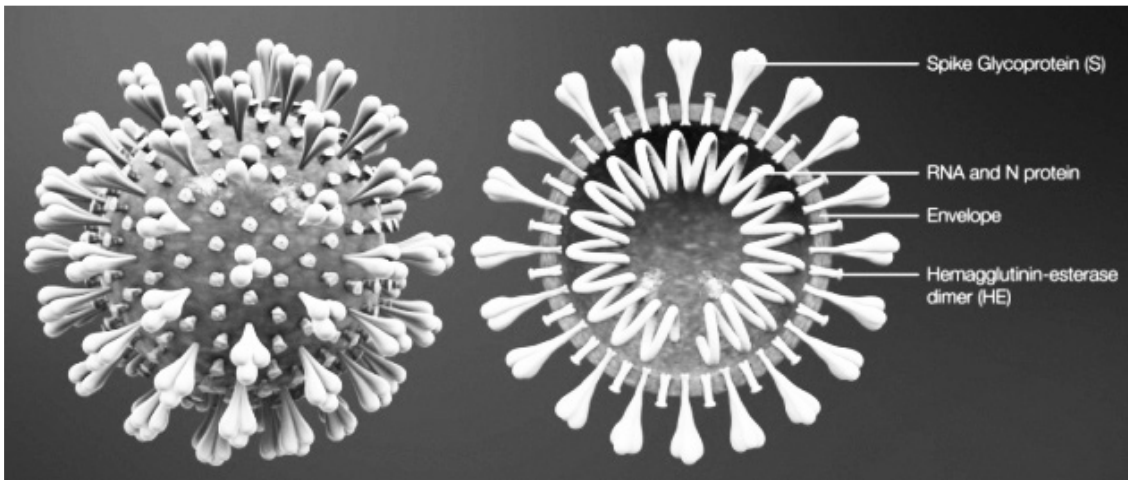


- 1 die hard® 인공거미줄 단백질을 함유한 보습 세럼.
- 2 TESLA® 인공거미줄 단백질을 함유한 보습 로션.
- 3 NINJA THE GHOST™ 인공 거미줄 단백질 함유 무방부제 멸균 미세침 제품. 무방부제 멸균 처리하여 염증반응/부작용 최소화. EGF 10ppm 함유.
- 4 안개가인SONIC™ 카트리지 장착 타입 초음파 미스트 기기.
- 5 안개가인™ 안개가인SONIC™에 장착하여 사용하는 카트리지 타입 무방부제 멸균 미스트.
- 6 THE MASK™ 영양보습 마스크팩. 진정 관리 시 우수한 효과. 보습력 오래 유지.

* 출처: 넥스젠 홈페이지, <https://www.nexgenbiotech.com>

<식물기반 재조합단백질의 화장품 개발 적용 사례>

■ 식물기반 COVID-19 백신 연구개발 사례



* 출처: <https://www.scientificanimations.com/wiki-images/>

<코로나바이러스 구조>

- 코로나바이러스감염증-19(이하 ‘COVID-19’)는 2019년 12월 중국 후베이성 우한 시에서 처음 발생, 현재는 전 세계적으로 확산된 호흡기 감염질환임
- (진단키트 개발) SARS-CoV-2의 유전체 서열 공개로 재조합 바이러스 단백질 생산이 가능해졌으며, 식물은 수 주 안에 단백질을 대규모로 생산할 수 있는 수단이 될 수 있음
- 이탈리아 생명공학회사 Diamante는 담배를 사용하여 COVID-19 기반의 항원



을 발현하여 혈청 항체 검출을 위한 ELISA에 사용

- Western University/Suncor는 조류(algae)에서 생산된 단백질을 기반으로 하는 진단키트 개발 중
- (백신 개발) 퀴즐랜드 기술대학에서 담배기반 COVID-19 백신 개발 중
 - 담배는 일반 식물보다 많은 유전자를 보유하고 있어 고품질 백신과 항체를 대량으로 생산할 수 있어 그린백신 생산 식물 모델로 활용 중
- Medicago에서 식물기반 VLP 개발에 성공
 - Medicago는 식물기반 VLP 생산에 대한 특허보유: **Recombinant influenza virus-like particles(VLPs) produced in transgenic plants expressing hemagglutinin, US9458470B2**
 - 자체 기술력을 바탕으로 SARS-CoV-2 유전체 정보를 이용하여 식물기반 코로나바이러스 VLP 생산에 성공
 - * 캐나다와 퀘벡 정부의 자금을 지원받아 수행되는 이 연구는 2021년 11월 정부에 승인신청을 목표로 COVID-19 백신 후보 물질에 대해 2020년 7~8월에 임상시험에 착수 예정
 - 백신 외에도 Laval 대학의 감염병연구센터와 협력하여 항체생산 연구도 진행 중
- British American Tobacco에서 GM 담배기반 백신을 개발하여 현재 임상시험 진행 중
 - 2020년 4월 GM 담배를 통해 COVID-19 백신을 개발 중이라고 발표했으며, 정부 기관과 정확한 제조업체의 지원이 있으면 일주일에 100만~300만 dose를 생산할 수 있다고 언급
 - * 출처: 조정숙(2020), KBCH 브리핑-코로나 백신개발에 있어 식물생명공학의 잠재력
- 한국‘지플러스생명과학’, 식물체를 통해 백신후보 분리정제
 - S 단백질을 코딩하는 유전자를 식물세포 발현용으로 최적화 및 인공합성하여 식물 발현 벡터에 삽입, 지플러스에서 개발한 인간화 식물체에 전달하여 백신 후보 물질인 돌기 단백질을 발현 및 분리·정제 성공
 - * 식물체에서 생산되는 단백질이 인체에 투여됐을 때 발생할 수 있는 독성(알러지 반응 등)을 제거하기 위해 자체 유전자가위 기술로 식물체를 개량하여 플랫폼 구축
 - 현재, 실험쥐를 대상으로 S 단백질을 주입하여 실험쥐로부터 혈장을 분리하여 SARS-CoV-2에 대한 중화항체 형성 실험을 진행 중
 - * 중화항체 형성이 확인되면 백신 개발을 위한 비임상 실험에 착수 예정



- 또한, 비임상이 진행되는 동안 보유하고 있는 식물호텔시스템은 백신 후보 물질의 대량생산체제로 전환할 예정
- 한국 한미사이언스-바이오엠플 "식물기반 코로나19 백신 개발"
 - 한미사이언스와 바이오엠플은 현재 다양한 코로나19 백신 후보 항원 단백질을 생산했으며 이를 이용한 마우스, 기니피그 동물 실험에서 높은 항체 반응을 확인하고 있음
 - 바이오엠플에서 생산한 항원과 큐라티스의 다양한 면역증강제를 활용해 마우스 2회 주사 면역 실험을 수행. 연구팀은 세포매개성 면역반응과 체액성 면역반응 활성화가 일어날 뿐 아니라, ELISA 방법으로 1만6000배에서 양성 항체반응이 나타나는 것을 확인
 - 손은주 바이오엠플 대표는 "식물에서 생산된 코로나19 항원 단백질의 백신 가능성을 입증한 첫번째 결과"라면서 "앞으로 페럿(족제비과의 포유류)과 햄스터 동물 모델을 이용한 공격접종 실험을 통해 바이러스 방어 효능을 분석할 예정"이라고 설명(했다).

* 출처: <http://www.biospectator.com/view/news> (2020.7.9.)

■ 고기능, 고품질의 고부가 식의약소재 개발을 위한 식물(세포)공장 적용

- 합성생물학 등의 바이오혁신 기술고도화를 통한 식의약소재 개발은 그린바이오 분야에서 레드·화이트바이오 분야로의 소재 확장성 및 경제성 제고
 - 현재 스마트팜은 생산량 증가로 인한 소재의 가격하락으로 투자 효율성이 높은 고부가 농생명소재 개발이 필요
 - 식물(세포)공장은 고기능·고부가가치 소재를 외부 환경과 독립적으로 생산할 수 있어 생산 안정성을 제공
 - 또한, 밀폐형 식물공장은 유전자변형식물의 환경 방출로 인한 환경위해성 문제 등의 소재 안전성 문제해결 가능

■ 합성생물학 등 바이오기술혁신을 통한 소재개발

- 소비자 지향적 GM 작물: 갈변방지 GM 감자
 - 미국 냉동감자회사인 Simplot社는 저장 및 가공 시 상처로 인한 갈변현상 방지 감자를 개발한데 이어, 감자를 고온에서 오래 튀길 경우 발생한다는 잠재적 발암물질(아크릴아마이드) 함량을 감소시키는 GM 감자를 자체적으로 개발



- Innate™ 라고 명명된 이 1세대 GM 감자는 2014년 11월 미농무부에서 상업적 재배 승인을 받은 후 미국에서 2015년 처음으로 160 ha가 재배
- 2세대 Innate 감자는 1세대 innate 감자에 아일랜드 감자 기근의 원인균이었던 잎마름병, 즉 감자역병에 대한 저항성 형질이 추가. 이는 2016년 1월 12일 미국 FDA와 USDA에서 식용 및 재배가 최종 승인된 후 2017년도에 미국에서 809 ha가 재배
- 이 2세대 Innate 감자는 병저항성과 함께 고온 조리 시 암유발인자인 아크릴아마이드(acrylamide) 생성저감 형질도 동시에 가짐으로써, 소비자의 이익과 농업의 지속가능성을 모두 충족하게 하는 생명공학기술개발 최근 트렌드의 사례로 소개되고 있음(Kim et al. 2018).
- 소비자 지향적 GM 작물: 아플라톡신(aflatoxin)을 생산하는 곰팡이 제어가 가능한 GM 옥수수 개발
 - 매년 전 세계적으로 1,600만 톤의 옥수수가 아플라톡신 오염으로 버려지고 있다고 하는데, 연구진은 RNA 간섭(RNA interference)기술을 이용하여 곰팡이의 아플라톡신 생산을 차단하는 물질을 GM 옥수수에서 생산(Kim et al. 2018).
- 세계 최초 유전자교정 기술을 통한 고올레산 대두 상업화
 - 유전자교정 기술 중 TALEN을 기술적 기반으로 하여 2010년 창업한 Calyxt 사는 TALEN 기술을 기반으로 하여 개발한 고올레산 대두를 2018년 재배 시작하여 2019년에는 고올레산 식용유와 부산물인 고올레산 대두박을 시판하기 시작(Calyxt 2019, Kleter et al. 2019).
 - * TALEN: Transcription Activator-Like effect
- 유전자교정 작물 개발
 - 미국에서는 CRISPR, TALEN 등 유전자교정 기술을 적용한 다양한 작물들이 개발
 - * CRISPR: Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats
 - 펜실베이니아 주립대학(Pennsylvania State University)의 갈변 방지 양송이, DuPont Pioneer 社의 찰옥수수, 잎마름병(Northern Leaf Blight) 저항성 옥수수, 플로리다 대학(University of Florida)의 수확성 개선 토마토, 미국 농무부 농업연구센터(USDA-ARS)의 가뭄 저항성/내염성 대두 등은 CRISPR 기술을 적용하여 육성



- Calyxt 사의 고올레산 대두, 흰가루병 저항성 밀, 갈변방지 감자, 영양성 개선 알팔파, 아이오와 주립대(Iowa State University)의 병저항성 벼, Simplot 사의 흑변 감소 감자 등은 TALEN 기술을 적용하여 육성.
- Agrivida 사의 전분함량 증대 옥수수과 노스캐롤라이나 주립대학(North Carolina State University)의 니코틴 함량 저감 담배는 Meganuclease 기술을 적용

<미국의 유전자교정 농작물 개발 현황(as of April 2019)>

USDA response	Institution	Plant	Intended trait	Technology
2019/4/19	Illinois State Univ.	Pennycress	"Undisclosed"	CRISPR
2019/2/25	Max Planck Institute	<i>Nicotiana attenuate</i>	Modified nectar composition	CRISPR
2019/2/8	Intrexon	Lettuce	"Undisclosed"	"Undisclosed"
2018/9/27	Yield 10 Bioscience	Camelina	"Undisclosed"	CRISPR
2018/8/6	Illinois State Univ.	Pennycress	"Undisclosed"	CRISPR
2018/5/14	Univ. of Florida	Tomato	Fruits lacking the pedicel abscission zone	CRISPR
2018/3/20	Calyxt, Inc.	Wheat	Nutritionally-Enhanced	TALEN
2018/3/19	Benson Hill Biosystems	Maize	Increased yield	"Undisclosed"
2018/1/16	DuPont Pioneer	Maize	Improved resistance to Northern leaf blight	CRISPR
2017/12/29	North Carolina State Univ.	Tobacco	Low levels of nicotine	Meganuclease
2017/10/16	USDA ARS	Soybean	Drought and salt tolerance	CRISPR
2017/9/25	Calyxt	Alfalfa	Nutritional quality	TALEN
2017/8/29	Yield10 Bioscience	<i>Camelina sativa</i>	"Undisclosed"	CRISPR
2017/4/7	Donald Danforth Plant Science Center	<i>Setaria viridis</i>	Delayed flowering time	CRISPR
2016/12/2	Simplot Plant Sciences	Potato	Reduced PPO5 protein	TALEN
2016/9/15	Calyxt	Potato	PPO knock-out	TALEN
2016/4/18	DuPont Pioneer	Maize	Waxy starch	CRISPR
2016/4/13	Penn State Univ.	White button mushroom	Anti-browning	CRISPR
2016/2/11	Calyxt	Wheat	Resistance to powdery mildew	TALEN
2015/11/30	Agrivida	Maize	Increased starch	Meganuclease
2015/5/22	Iowa State Univ.	Rice	Disease resistance	TALEN
2015/5/20	Cellectis Plant Sciences	Soybean	High oleic acid	TALEN
2014/8/28	Cellectis Plant Sciences	Potato	"Undisclosed"	TALEN
2012/3/8	Dow AgroScience	Maize	Reduced phytate	ZFN

* 출처: 박수철 등(2019), 유전자교정 농작물의 실용화 현황 및 전망

- 일본에서는 주로 국가연구소 및 대학 연구기관에서 연구가 이루어지고 있으며, 현재 CRISPR를 이용한 벼와 토마토, 그리고 TALEN을 이용한 감자가 실용화 단계에 접근하고 있음

<일본의 유전자교정 농작물 개발 현황(as of April 2019)>

Institution	Plant	Intended trait	Technology
National Agriculture and Food Research Organization	Rice	Yield increase	CRISPR
Univ. of Tsukuba	Tomato	Increase production of gamma amino butyric acid	CRISPR
Osaka Univ.	Potato	Reduced level of steroidal glycoalkaloids	TALEN

* 출처: 박수철 등(2019), 유전자교정 농작물의 실용화 현황 및 전망



- (국내) 경상대학교 국내 농생물체 대사공학 연구를 본격적으로 지원
 - 활발한 대사체 분석법 개발 및 DB 구축을 병행 진행
 - 복합 네트워크 확립을 위한 전산학적 연구, 시스템 분석, 제어 및 회로 설계 등을 위한 분석방법 개발, 실험데이터를 산출할 수 있는 측정 기술 등의 개발을 병행하여 다양한 네트워크 정보를 구축
 - 이소프레노이드 생합성 대사회로를 개량, 이소프레노이드의 전구체인 *isopentenyl diphosphate*의 생산이 극대화된 재조합 대장균 균주를 제작
 - 국내 시스템생물학 및 생물정보학 연구가 선진국 수준에 도달할 수 있도록 활발한 연구가 진행되도록 지원
- KAIST의 이상엽 교수는 대장균의 지방산 네트워크를 이용하여 포도당으로부터 4-12개의 탄소로 이루어진 *short-chain alkane*을 생산하는 대사 네트워크를 합성하는데 성공
 - 기존에는 13-17개의 탄소로 이루어진 *long-chain alkane*의 생산만이 보고됨
- 농촌진흥청은 카로티노이드 대사제어로 카로티노이드계 영양성분인 베타카로틴(프로비타민 A)이 강화된 황금쌀을 개발 기술을 확보
 - 경희대학교 하선화 교수는 황금쌀 발현 유전자의 코돈을 벼에 맞게 최적화 후 합성하여 사용함으로써 베타카로틴 생성이 3배 증진됨을 확인
 - 다중유전자 복합카세트 발현 기술에 의한 다단계 카로티노이드 대사공학의 성공적 실현으로 베타카로틴, 지아산틴, 아스탁산틴, 캡산틴 등 다양한 생물 종 유래의 기능성 유용물질을 벼 종자 특이적으로 생산하는 기능성 컬러쌀 4종 개발에 성공
- 서강대학교의 이진원 교수는 *acetolactate decarboxylase*와 *acetolactate synthase*를 과량 발현시킨 *Klebsiella pneumoniae*를 이용하여 2,3-butanediol 생산하는데 성공



5 식의약소재 기술개발 R&D 투자 동향

■ 분석 개요

- 최근 5년간(2014년~2018년) 농생명소재 관련 국가연구개발 과제에 대해 NTIS에서 수집한 정보를 바탕으로 검색 및 분석 실시

<소재별 NTIS 검색어 및 과제 건수(2014~2018)>

소재	검색어*	검색건수
바이오의약품	(바이오의약품) & (생물학적제제 유전자재조합의약품 세포배양의약품 재 새의약품)	1,705건
천연물 의약품	(치료제 의약 생약 의약품) & (천연물 천연 농생명 부산물 내추럴 네추 럴 친환경 미생물 식물유래 동물유래 자연)	198건
천연화장품	(화장품 메이크업 향장 색소) & (기능성 천연 바이오 발효 농생명 친환 경 네추럴 내추럴 자연 에코 웰빙)	480건
합계		2,383건

*검색항목: (과제명 키워드) and (과제요약서(연구내용) 키워드)

■ 분석 결과총괄

- 농생명소재 R&D 투자는 최근 5년간 꾸준히 투자되었으나 바이오의약품의 경우
보다 많은 농림부의 투자가 필요할 것으로 판단됨
 - 천연물 의약품과 천연화장품은 여러 부처에서 보다 고르게 투자가 진행되었으
며, 농림수산식품부와 농촌진흥청의 비율은 전체 과제의 11%로 높지 않았음
 - 바이오의약품의 소재 자원에 대한 주관부처인 농촌진흥청, 농림축산식품부, 해
양수산부, 산림청에서는 6.2%로 나타나 바이오의약품 소재의 확보 등에 대한
연구가 매우 미진한 것으로 판단됨
 - * 천연물 의약품은 기초연구단계에, 천연화장품은 개발연구단계에 매우 높은 연구 비중이 있는 반면,
바이오의약품은 기초와 개발연구단계에 골고루 연구 비중이 분포
- 전체 R&D 투자 비용은 5,582.4억 원으로 부처별로 나누면 과학기술정보통신부,
산업통상자원부, 보건복지부, 중소벤처기업부 순으로 투자하고 있었으며, 상위 4개
부처가 전체 투자의 84.1%를 차지함
 - * 농림축산식품부의 R&D 투자 비용은 106.9억 원으로 전체 투자의 1.9%로 농생명 식의약소재, 특히
바이오의약품 소재개발에 대한 R&D 투자 규모를 전반적으로 확대해야 할 것으로 판단됨



<부처별-연도별 정부 연구개발 투자규모 ('14~'18)>

(단위: 억원)

부처명/연도	바이오의약품	천연물의약품	천연화장품	합계
과학기술정보통신부	1,660	146.4	37.0	1,843.4
교육부	270	21.7	8.2	299.9
농림축산식품부	70	7.8	29.1	106.9
농촌진흥청	60	31.7	20.7	112.4
다부처	70	4.1	19.2	93.3
보건복지부	510	41.1	28.4	579.5
산림청	10	3.4	10.1	23.5
산업통상자원부	1,440	45.9	284.1	1,770
식품의약품안전처	160	16.9	-	176.9
중소벤처기업부	200	13.3	289.9	503.2
해양수산부	60	3.6	9.7	73.3
총합계	4,510	335.9	736.5	5,582.4

- 전체 R&D 과제 건수는 2,383건으로 부처별로 나누면 과학기술정보통신부, 중소벤처기업부, 교육부, 보건복지부, 보건복지부, 산업통상자원부 순으로 과제를 관리하고 있었으며, 상위 4개 부처가 전체 과제 수의 77.7%를 차지함

* 농림축산식품부의 R&D 과제 수는 80건으로 전체 과제의 3.4.9%로 R&D 투자 규모와 마찬가지로 농생명 식의약소재, 특히 바이오의약품 소재개발에 대한 과제 수의 확장이 필요한 것으로 판단됨

<부처별-연도별 정부 연구개발 지원과제 건수 ('14~'18)>

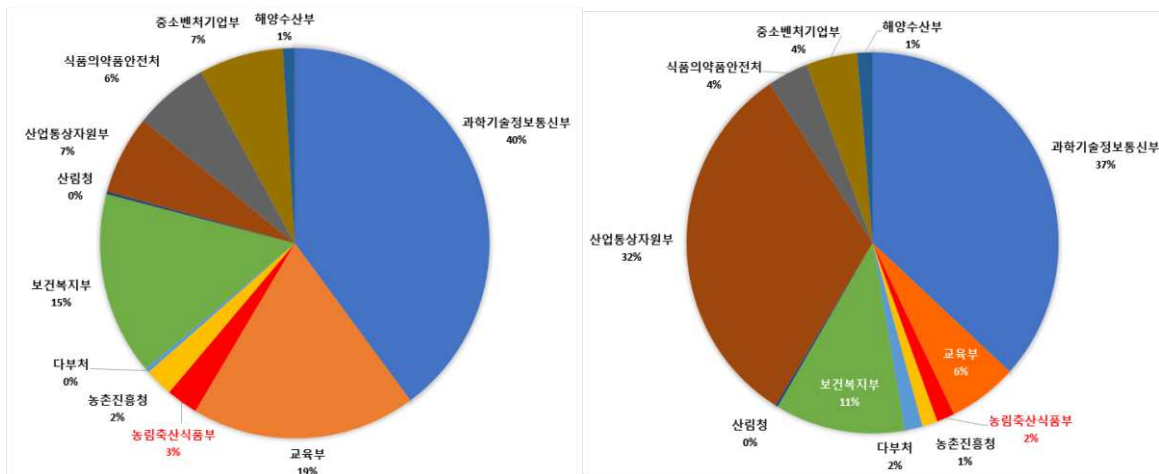
(단위: 건)

부처명/연도	바이오의약품	천연물의약품	천연화장품	총합계
과학기술정보통신부	680	57	21	758
교육부	318	43	13	374
농림축산식품부	45	7	28	80
농촌진흥청	40	15	22	77
다부처	6	1	2	9
보건복지부	259	21	31	311
산림청	4	3	4	11
산업통상자원부	111	11	76	198
식품의약품안전처	106	19	-	125
중소벤처기업부	119	17	273	409
해양수산부	17	4	10	31
총합계	1,705	198	480	2,383



■ 바이오의약품

- (부처별) '14년~'18년 최근 5년간 바이오의약품 분야 1,705건의 과제를 대상으로 정부 연구개발 투자 현황을 살펴보면 과학기술정보통신부가 39.9%(680건), 교육부 18.6%(318건), 보건복지부 15.2%(259건) 순으로 지원
 - 과학기술정보통신부와 교육부의 비중의 합이 약 59% 정도로 나타나 바이오의약품에 대한 과제는 기초연구단계가 많을 것이라고 예상
 - 바이오의약품의 소재가 되는 자원에 대한 주관부처인 농촌진흥청, 농림축산식품부, 해양수산부, 산림청에서는 6.2%(106건)로 나타나 바이오의약품 소재의 확보 등에 대한 연구가 매우 미진한 것으로 판단됨



<바이오의약품관련 국가연구 과제(왼쪽)와 연구비(오른쪽) 부처별 비중 ('14~'18)>

<부처별-연도별 정부 연구개발 지원과제 건수 ('14~'18)>

부처명/연도	2014	2015	2016	2017	2018	총합계
과학기술정보통신부	90	114	138	164	174	680
교육부	47	48	53	82	88	318
농림축산식품부	5	13	10	13	4	45
농촌진흥청	12	6	9	6	7	40
다부처	-	-	1	3	2	6
보건복지부	44	54	50	48	63	259
산림청	4	-	-	-	-	4
산업통상자원부	21	16	20	31	23	111
식품의약품안전처	13	16	25	27	25	106
중소벤처기업부	11	21	24	29	34	119
해양수산부	1	1	5	5	5	17
총합계	248	289	335	408	425	1,705



- (연도별 과제 건수) 바이오의약품 분야에서는 연도별 248~425개 내외의 과제가 지원되고 있으며, '14년도 248건, '15년도 289건이 '18년도에는 425건으로 거의 70% 이상의 과제 건수가 증가함
 - (연도별 정부투자 연구비 규모) '14년~'18년 5년간 바이오의약품 분야 과제에 투자된 연구비 규모는 총 4,510억 원으로, 연도별로 540억 원~1,200억 원 규모의 정부출연금이 투자되었으며, 과학기술정보통신부에서 가장 많은 연구비를 지원
- * 지원된 연구비 규모는 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 보건복지부 순으로 나타났으며, 바이오의약품과 관련하여 3개 부처에서 지원한 연구비 규모가 전체 투입된 연구비 규모의 80%(3,610억 원)를 차지함

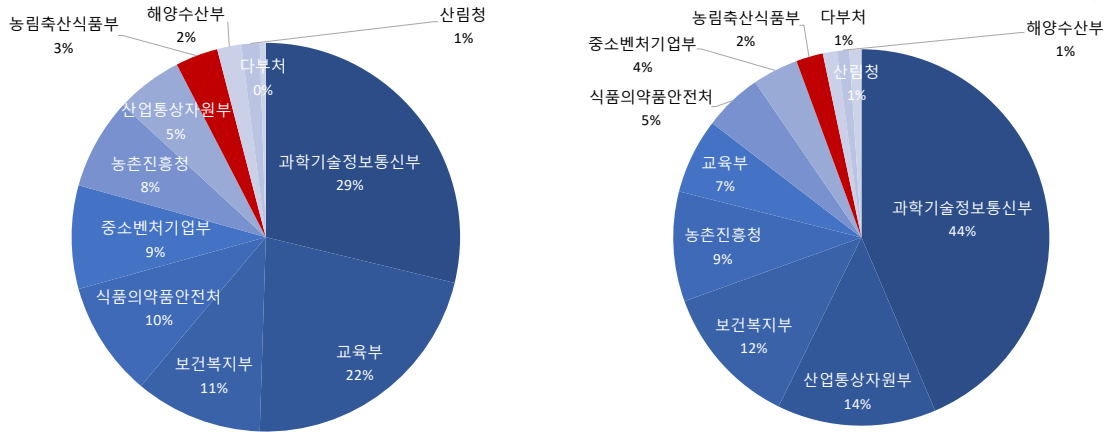
<부처별-연도별 정부 연구개발 투자규모 ('14~'18)>

(단위: 10억원)

부처명/연도	2014	2015	2016	2017	2018	총합계
과학기술정보통신부	17	27	38	39	45	166
교육부	4	5	5	6	7	27
농림축산식품부	1	2	1	2	1	7
농촌진흥청	2	1	1	1	1	6
다부처	-	-	1	5	1	7
보건복지부	9	11	15	12	4	51
산림청	1	-	-	-	-	1
산업통상자원부	16	17	24	37	50	144
식품의약품안전처	2	3	3	4	4	16
중소벤처기업부	2	2	7	4	5	20
해양수산부	-	-	1	3	2	6
총합계	54	68	96	113	120	451

■ 천연물 의약품

- (부처별) '14년~'18년 최근 5년간 천연물의약품 분야 198건의 과제를 대상으로 정부 연구개발 투자 현황을 살펴보면 과학기술정보통신부가 28.8%(57건), 교육부 21.7%(43건), 보건복지부 10.6%(21건) 순으로 지원
- 과학기술정보통신부와 교육부의 비중의 합이 약 50% 정도로 나타나 천연물 의약품에 대한 과제는 기초연구단계가 많을 것이라고 예상
- 천연물 의약품의 소재 자원에 대한 주관부처인 농촌진흥청, 농림축산식품부, 해양수산부, 산림청에서는 14.6%(29건)로 나타나 천연물 의약품 소재의 확보 등에 대한 연구가 다소 미진한 것으로 판단됨



<천연물의약품관련 국가연구 과제(왼쪽)와 연구비(오른쪽) 부처별 비중 ('14~'18)>

- (연도별 과제 건수) 천연물 의약품 분야에서는 연도별 30~50개 내외의 과제가 지원되고 있으며, '14년도 30건, '15년도 48건으로 50% 증가하였으며, '18년도에는 비슷한 수준을 유지하고 있음

<부처별-연도별 정부 연구개발 지원과제 건수 ('14~'18)>

(단위: 건)

부처명/연도	2014	2015	2016	2017	2018	총합계
과학기술정보통신부	7	8	16	15	11	57
교육부	6	7	8	9	13	43
농림축산식품부	1	1	2	2	1	7
농촌진흥청	5	1	2	2	5	15
다부처	-	-	-	-	1	1
보건복지부	2	4	5	4	6	21
산림청		1	1	1	-	3
산업통상자원부	2	3	1	3	2	11
식품의약품안전처	4	1	7	3	4	19
중소벤처기업부	4	3	3	4	3	17
해양수산부	-	1	3	-	-	4
총합계	31	30	48	43	46	198

- (연도별 정부투자 연구비 규모) '14년~'18년 5년간 천연물 의약품 분야 과제에 투자된 연구비 규모는 총 335.9억 원으로, 연도별로 54.4억 원~82.6억 원 규모의 정부출연금 지원이 투자되었으며, 과학기술정보통신부에서 가장 많은 연구비를 지원

* 지원된 연구비 규모는 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 보건복지부 순으로 나타났으며, 천연물 의약품과 관련하여 3개 부처에서 지원한 연구비 규모가 전체 투입된 연구비 규모의 69.5%(335.9억 원)를 차지함



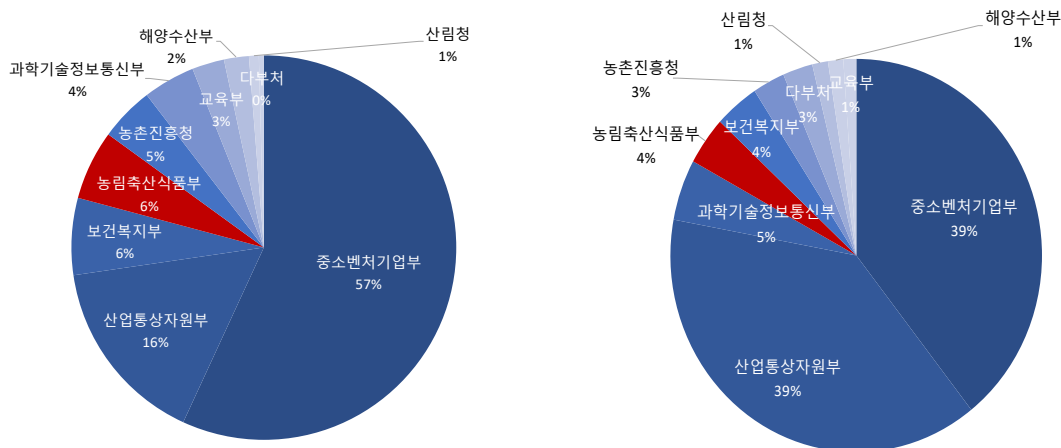
<부처별-연도별 정부 연구개발 투자규모 ('14~'18)>

(단위: 억원)

부처명/연도	2014	2015	2016	2017	2018	총합계
과학기술정보통신부	46.2	27.8	18.9	19.0	34.5	146.4
교육부	2.4	3.6	4.6	5.2	6.0	21.7
농림축산식품부	0.3	0.9	2.6	3.1	1.0	7.8
농촌진흥청	9.7	2.7	3.9	3.9	11.7	31.7
다부처	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	4.1
보건복지부	3.8	7.6	10.0	8.5	11.3	41.1
산림청	0.0	1.2	1.0	1.2	0.0	3.4
산업통상자원부	6.9	17.5	4.8	9.0	7.6	45.9
식품의약품안전처	4.8	1.2	5.2	2.5	3.2	16.9
중소벤처기업부	4.0	2.7	0.9	2.4	3.2	13.3
해양수산부	0.0	1.0	2.7	0.0	0.0	3.6
총합계	78.2	66.1	54.4	54.7	82.6	335.9

■ 천연화장품

- (부처별) '14년~'18년 최근 5년간 천연화장품 소재 분야 480건의 과제를 대상으로 정부 연구개발 투자 현황을 살펴보면 중소기업부(56.9%)가 과반수 이상의 과제를 중소기업부에서 지원하고 있음
 - 뒤이어 산업통상자원부 15.8%(76건), 보건복지부 6.5%(31건), 농림축산식품부 5.8%(28건) 순
 - 중소기업부와 산업통상자원부의 비중의 합이 72.7%(349건)로 나타나 천연화장품과 관련하여 사업화를 위한 정부투자가 많이 이뤄지고 있는 것으로 판단됨



<천연 화장품 관련 국가연구 과제(왼쪽)와 연구비(오른쪽) 부처별 비중 ('14~'18)>



- (연도별 과제 건수) 천연화장품 분야에서는 연도별 100개 내외의 과제가 지원되고 있으며, 중소벤처기업부에서는 '15년 이후 증가추세를 보이며, 산업통상자원부는 15개 내외의 과제를 꾸준히 지원하고 있는 것으로 나타남

<부처별-연도별 정부 연구개발 지원과제 건수 ('14~'18)>

(단위: 건)

부처명/연도	2014	2015	2016	2017	2018	총합계
과학기술정보통신부	3	4	4	6	4	21
교육부	1	1	2	5	4	13
농림축산식품부	2	9	8	7	2	28
농촌진흥청	7	6	2	3	4	22
다부처	-	-	-	1	1	2
보건복지부	11	8	6	6	-	31
산림청	1	-	-	1	2	4
산업통상자원부	17	13	16	14	16	76
중소벤처기업부	49	46	49	57	72	273
해양수산부	3	-	3	2	2	10
총합계	94	87	90	102	107	480

- (연도별 정부투자 연구비 규모) '14년~'18년 5년간 천연화장품 분야 과제에 투자된 연구비 규모는 총 736.5억 원

- * 연도별로 138.0억 원~172.4억 원 규모의 정부출연금이 투자되었으며, 중소벤처기업부에서 가장 많은 연구비를 지원
- * 중소벤처기업부와 산업통상자원부에서 지원한 연구비 규모가 전체 투입된 연구비 규모의 83.0% (611.0억 원)를 차지함
- * 연도별 정부 연구개발 투자규모는 일정한 양상을 보이지는 않으나 2017년 대비 '18년도에 규모가 축소함

<부처별-연도별 정부 연구개발 투자규모 ('14~'18)>

(단위: 억원)

부처명/연도	2014	2015	2016	2017	2018	총합계
과학기술정보통신부	5.3	8.1	9.0	11.4	3.3	37.0
교육부	0.5	0.5	1.7	2.9	2.6	8.2
농림축산식품부	3.4	10.8	8.1	5.7	1.0	29.1
농촌진흥청	4.4	4.0	6.2	2.5	3.6	20.7
다부처	0.0	0.0	0.0	7.7	11.5	19.2
보건복지부	10.2	7.0	5.6	5.6	0.0	28.4
산림청	0.7	0.0	0.0	4.8	4.7	10.1
산업통상자원부	57.5	46.3	60.3	60.8	59.3	284.1
중소벤처기업부	54.1	51.3	58.3	68.6	57.5	289.9
해양수산부	1.9	0.0	2.8	2.5	2.5	9.7
총합계	138.0	128.1	151.9	172.4	146.1	736.5



6 시사점 및 기대효과

◆ 스마트팜을 활용한 식의약소재 대량생산 기술개발은 소재의 생산 안정성 및 안전성, 그리고 고부가가치화를 통해 소재산업 활성화와 국가경쟁력 제고라는 측면에서 국가 차원의 체계적인 투자 필요

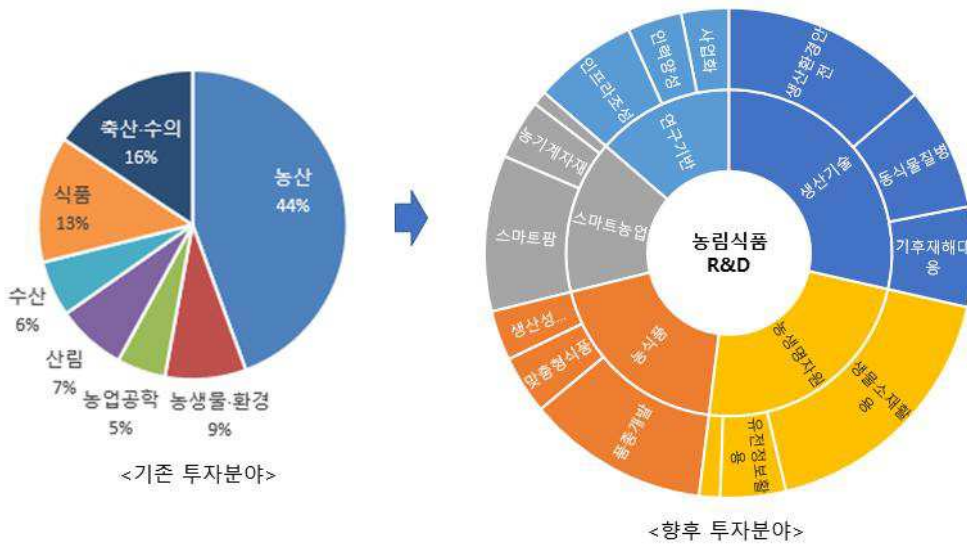
- 이는 「정부 R&D 중장기 투자전략」의 국가 투자 우선순위에 있어서 중기, 중규모적이고, 공공성과 민간의 융합형인 생물소재, 그린백신, 스마트팜 등의 생산기술 분야에 해당하므로 정부와 민간의 융합형 신산업으로 육성하기 위한 투자의 당위성을 가짐

■ 스마트팜을 활용한 농생명소재 대량생산 기술개발은 소재의 생산 안정성 및 안전성, 그리고 고부가가치화를 통해 소재산업 활성화와 국가경쟁력 제고라는 측면에서 국가 차원의 체계적인 투자 필요

- 합성생물학 등의 바이오혁신 기술고도화를 통한 식의약소재 개발은 그린바이오 분야에서 레드·화이트바이오 분야로의 소재 확장성 및 경제성 제고
 - 식물(세포)공장은 고기능·고품질의 고부가 소재를 외부 환경과 독립적으로 생산할 수 있어 생산 안정성을 제공
 - 또한, 밀폐형 식물공장은 유전자변형식물의 환경 방출로 인한 환경위해성 문제 등의 소재 안전성 문제를 해결
- 나고야의정서에 따른 농생명소재 수입 제약에 대한 선제적 대응 필요
 - 제10차 생물다양성 협약 당사국총회에서 ‘유전자원의 접근 및 이익공유(ABS)’ 이행을 위한 ‘나고야의정서’ 채택(‘14년 발효)
 - (목적) 유전자원의 이용으로부터 발생하는 이익을 당사국에 공유함으로써 생물 다양성 보전 및 지속가능한 이용
 - * 2018년 9월 28일 현재 당사국 107개국, 비준국 4개국, 비당사국 91개국
 - (영향) 원료 가격 상승, 조달 절차 및 특허출원 과정 엄격화
 - * 생물 유전자원 제공국과의 이익 공유로 인해 화장품 원료 가격의 전반적 상승 우려
 - * 유전자원 제공국의 승인 절차와 서류 작업 등에 따라 공급지연 또는 공급 불가 등 화장품 원료 조달 장애 발생 가능
 - * 화장품 관련 특허출원 시 유전자원 관련 의무를 이행하지 않은 경우, 특허출원이 거절되거나 등록되더라도 권리를 무효화시키고 벌금 부과 조항 포함 가능



- (현황) 유전자원 제공국별로 법이 다르며, 특히 생물자원이 풍부한 중국, 브라질, 인도 등에서 관련법이 최종 확정되지 않았으나 강화 추세에 있어 선제적 준비가 필요한 상황
- 스마트팜을 활용한 농생명 식의약소재 대량생산 기술개발은 다음과 같은 목적으로 국가 차원에서 체계적으로 지속적인 투자 필요
 - 국가간 농생명 소재에 대한 선제적 대응, 농생명 식의약 소재의 생산 안정성 및 안전성, 그리고 고부가가치화를 통한 소재산업 활성화 및 국가 소재산업에 대한 경쟁력 제고, 민간 R&D 역량 강화, 그리고 지속발전 가능한 농업 생태계 마련
 - 스마트팜을 활용한 농생명 식의약소재 개발은 향후 농림식품 R&D 투자에서 주된 분야로 부각하고 있으며 농식품의 소재·품종개발과 스마트팜 분야와의 높은 연계성을 가져 융복합 R&D로 투자가치가 높을 것으로 전망됨



* 출처 : 박지현(2019), 농림식품 R&D 전략분야 도출 및 투자 우선순위 설정에 관한 연구

<농림식품 분야별 기존 투자분야 대비 향후 투자분야 맵핑>

- 스마트팜을 활용한 농생명 식의약소재 대량생산 기술개발은 「정부 R&D 중장기 투자전략」의 국가 투자 우선순위에 있어서 중기, 중규모적이고, 공공성과 민간의 융합형인 생물소재, 그린백신, 스마트팜 등의 생산기술 분야에 해당하므로 정부와 민간의 융합형 신산업으로 육성하기 위한 투자의 당위성을 가짐(박지현, 2019)
- 농생명 식의약소재 산업을 민간의 창의성에 기반한 융합형 신산업으로 육성하기 위해 개별 산업보다는 공공 인프라에 집중투자가 효율적, 기술개발, 인력양성, 자금지원 등을 패키지화하여 투자가 필요



■ 최근 정부는 '그린바이오 융합형 新산업육성방안'을 마련하여 농생명소재개발을 포함한 그린바이오산업을 새로운 혁신성장 산업으로 육성

- 5대 유망산업을 중심으로 BT, 빅데이터 및 AI 관련 기술을 융합하여 그린바이오 산업을 새로운 혁신성장 산업으로 육성(관계부처합동, 2020.9.21)
 - * 5대 유망산업: 마이크로바이옴, 대체식품·메디푸드, 종자, 동물용의약품, 기타 생명소재
 - 기술 및 산업간 융합적 접근으로 그린바이오 산업 경쟁력 강화
 - 기술개발부터 사업화까지 쏠주기 지원으로 고용 및 부가가치 창출 극대화
 - 지역·산업·기술이 융복합된 그린바이오 산업 혁신생태계 구축
 - 정부와 민간의 역할 분담을 통해 민간 투자 및 창의성 극대화
- 문재인정부 100대 국정과제에서 농생명 소재개발 육성방향 제시(2017)
 - 문재인 정부의 100대 국정과제에 국민의 먹거리 안전 보장, 농산물 수급 안정, 친환경 농축산업 및 품질 좋은 먹거리 공급 등의 과제가 포함되어 있으며, 농생명소재 관련 연구, 육성, 발전 기본계획 등과 관련된 상위계획이 수립되어 있음

<농생명소재 관련 문재인정부 100대 국정과제>

목표	전략		국정과제	
내 삶을 책임지는 국가	3	국민안전과 생명을 지키는 안심사회	57	국민 건강을 지키는 생활안전 강화 (먹거리 안전 국가책임제 실시) 생산(잔류물질 관리 강화 등), 제조·유통(HACCP 의무적용 확산) 등 전주기적 먹거리 안전관리 강화
			82	농어업인 소득안전망의 촘촘한 확충 (농산물 수급 안정) 선제적 수확기 수급안정방안 시행 및 생산조정제 한시 도입
고르게 발전하는 지역	3	사람이 돌아오는 농·산·어촌	83	지속가능한 농식품 산업 기반 조성 (환경친화형 농축산업) 친환경 동물복지 농축산업 확산(품질좋은 먹거리 공급) GAP 및 HACCP 인증농가 확대 및 기능성식품, 발효식품 육성 등



■ 기대효과

- 안전·안심 친환경 먹거리에 대한 수요 충족을 통한 국민적 신뢰 회복
 - 친환경 농업생산 소재개발을 통하여 안전·안심 먹거리에 대한 소비자의 관심을 충족시키고, 화학성분 대체 농생명소재 개발을 통한 대한 국민의 요구를 충족
- 친환경 농업정책 기여 및 지속가능한 농업의 실현기반 마련
 - 유기 농업자재 공급의 안정성을 확보하여 ‘국민적 신뢰에 기반한 지속가능한 친환경 농업’이라는 친환경농업 육성 계획의 비전 달성에 기여
- 농생명 소재산업의 기반 구축을 통한 농가와 기업이 소득을 공유하고 연계하는 선순환 구조 정착 및 농업의 성장동력 확보
 - 기존 먹거리 위주의 농업에서 탈피하여 농생명소재 및 원료작물 생산 농업으로의 전환을 통해 농가-기업의 연계를 강화하고 상생 체계를 구축
 - 기업은 안심하고 표준화된 농생명소재 원료를 공급받아 산업 활성화에 전념하고, 농가는 소득이 안정화·다각화된 통한 농가-기업 선순환적 생태계 구현에 기여
- 바이오 기술혁신을 통하여 소재의 고부가가치화를 통한 소재산업 활성화와 국가경쟁력 제고
 - 식물공장은 외부 환경에 제한적이지 않은 소재의 생산 안정성 및 환경위해성과 같은 소재 안전성 문제를 해결



붙임 **참고자료**

- Calyxt, 2019, First commercial sale of Calyxt high Oleic Soybean oil on the U.S. market. <http://www.calyxt.com/>
- Kim SM, Lim SM, Park SC, 2018, Global Trends of Biotech Crops in 2018. Korea Biotechnology Information Center (KBIC).
- Kleter GA, Kuiper HA, Kok EJ, 2019, Gene-edited crops: Towards a harmonized safety assessment. Trends Biotechnol 37, 443-447.
- 농림축산식품부, 2019, 농생명소재산업화기술개발사업 기획보고서
- 농림축산식품부, 농촌진흥청, 과학기술정보통신부, 2019, 스마트팜 다부처 패키지 혁신 기술개발 기획보고서
- 한국농촌경제연구원, 2017, 농업전망 2017
- 농촌진흥청, 과학기술정보통신부, 특허청, 2019, 그린바이오 융복합기술 실용화사업 기획보고서
- 박수철, 정영희, 김경민, 김주곤, 고희중, 2019, 유전자교정 농작물의 실용화 현황 및 전망. Korean J. Breed. Sci. 51(3):175-183
- 박지현, 2019, 농림식품 R&D 전략분야 도출 및 투자 우선순위 설정에 관한 연구, 한국과학기술기획평가원
- 성동원, 2019, 2019 이슈보고서: 세계 바이오의약품 산업 동향 및 전망. 한국수출입은행/해외경제연구소
- 조정숙, 2020, KBCH 브리핑-코로나 백신개발에 있어 식물생명공학의 잠재력. 한국바이오안정성정보센터
- 조정숙, 2020, KBCH 브리핑-바이오의약품 산업의 성장: 식물유래 의약품. 한국바이오안정성정보센터



- 조정일, 박성현, 이강섭, 김수민, 임수미, 김연식, 박수철, 2020, GM작물 연구개발 및 상용화 동향. Korean J. Breed. Sci. Special Issue, 40-48
- 한국과학기술기획평가원, 2020, 2019년 예비타당성 조사 보고서-농생명소재산업화기술개발사업

본 보고서는 농림식품기술기획평가원의 공식적인 의견이 아님을 밝히며, 보고서의 내용을 인용할 때에는 반드시 출처를 명기하여 주시기 바랍니다.