

BT분야 전문가가 바라본 분야별 동향을 소개합니다.

# BioINpro

BioIN + Professional

## 그린바이오 국내 동향 및 시사점

2019. 2

Vol.60

박수철 / 서울대학교 교수



## 그린바이오 국내 동향 및 시사점



박수철 / 서울대학교 그린바이오과학기술연구원 교수

### 1. 배경

#### 가. 바이오기술과 인류의 생존

바이오기술(Biotechnology)은 생명공학기술이 생명과학에 도입되어 다양한 분야에 활용되는 기술로 인류 생존과 지속발전을 가능케 하는 핵심기술이다. 많은 사람들은 바이오기술이 DNA가 유전물질로 규명되고 유전체 정보가 밝혀지는 1950년대 이후부터 시작되었다고 잘못 이해하고 있지만, 사실은 인류의 탄생과 함께 바이오기술은 지속 발전해오고 있는 것이다. 즉, 인류의 먹거리 해결을 위해 병해충/불량환경과의 생존경쟁을 위해 끊임없이 새로운 기술을 발전시켜왔고 지금도 지속 진행 중이다. 만약 인간이 농업기술이나 의료기술의 발전이 없었다면 지금까지 생존은 불가능하였을 것이다. 최근 진행 중인 4차 산업 혁명도 인공지능 등 첨단 정보통신기술(ICT)과 함께 생명과학이 핵심기술로 관여하고 있을 만큼 인류 생존과 발전에 매우 중요한 기술이다. 오래전부터 BT기술은 정보기술(Information Tech, IT)과 함께 미래 성장동력산업을 주도할 기술로 인정 받아오고 있다. 이런 차원에서 우리는 새로운 바이오기술의 지속발전과 활용을 통한 글로벌 그린바이오 시장진출을 적극 도모하여야 할 것이다.

#### 나. 그린바이오의 정의와 역할

##### 1) 바이오기술의 분류

바이오기술은 그 기술의 사용 목적과 기술에 사용되는 소재에 따라서 레드바이오, 그린바이오, 화이트바이오로 분류되고 있다. 2017년 작성된 제3차 생명공학육성기본계획에 따르면 레드바이오는 질병극복과 건강증진을 위해 연구하는 생명과학기술 분야로, 화이트바이오는 환경변화에 대응한 관련 산업과 서비스를 창출하는 바이오 분야로 정의를 내리고 있다. 그린바이오는 안전한 먹거리 공급과 고부가 농생명 소재산업 육성을 위한 생명공학기반의 과학기술 분야로 정의하고 있으며 그 목적으로는 지속가능하고 환경 친화적인 식량자원 및 농림·축수산 생명자원의 안정적인 생산, 고부가가치 농생명 신소재 개발을 통한 신산업 창출, 그리고 건강하고 안전한 먹거리의 공급 및 국민건강·웰빙 실현 등을 목적으로 하고 있다.

## 2) 그린바이오기술의 역할

그린바이오기술은 인구증가와 기후변화에 따른 인류 먹거리 해결과 함께 자원고갈에 따른 바이오에너지 생산, 고령화시대의 건강관리를 위한 영양개선 및 의약소재 생산 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 그린바이오기술은 예로부터 지속적으로 발전해 왔지만 생명공학기술의 접목으로 급진적인 발전이 이루어졌다. 2017년 기준 곡물 자급율이 23.4%인 우리의 경우 식량안보차원에서 그린바이오기술의 역할은 매우 중요하다. 또한 고령화시대에 농업 노동력 문제(2017년 기준 65세 이상 40.3%), 쌀 소비감소에 따른 주곡 생산기반 붕괴 우려 등 여러 위협요소를 가진 우리 농업의 어려움 해결에 이 기술의 활용은 매우 중요하다. 고부가 생물소재와 관련된 그린바이오산업 또한 매우 중요하다. 생명공학종자나 생물소재산업의 경우 선진국 소재 글로벌 기업이 이미 선점하고 있다. 관련 기업이 상대적으로 열세인 우리의 경우 기술경쟁력에서 밀릴 수밖에 없다. 또 하나 중요한 역할은 4차 산업혁명 대응이다. 세계적으로 불어 닥친 4차 산업혁명의 주도권 선점을 위한 노력이 각 나라별로 치열하다. 이러한 상황에서 우리도 식량안보라는 생존권 확보 차원과 함께 4차 산업혁명 대응 그린바이오기술 개발과 활용이 필요하다. 이에 국내외 그린바이오 기술 연구 및 상업화 동향과 전망을 알아보고 이에 따른 국내 대응전략을 모색해 보고자 한다.

## 2. 주요내용

### 가. 그린바이오 핵심기술

그린바이오의 핵심기술로 안전한 먹거리 공급을 위한 유용 식량종자 개발용 첨단 육종기술과 안정적 농축산물 생산 공급용 최적 재배기술을 꼽을 수 있다. 이와 함께 고부가 생물 산업 육성에 필요한 생물 신소재 개발기술, 그리고 건강하고 안전한 식생활과 지속가능한 농업에 필요한 생산·가공·유통 효율화 기술 등도 포함될 것이다. 이러한 기술들 중 우리 생활에 밀접하게 연관되어 있거나 최근 이슈로 떠오른 핵심 기술들의 국내외 동향과 전망에 대해 알아보기로 하자.

#### 1) 종자개발을 위한 육종기술

##### 가) 육종기술의 발전

생명체는 진화를 통해 주위 환경에 적응하면서 생존한다. 특히, 인간의 경우 생존에 필요한 식용 또는 의료 등 산업용으로 사용하는 동식물을 진화시키면서 생존을 이어오고 있다. 이와 같이 인류가 필요로 하는 작물을 개량하는 농업기술을 육종(breeding)이라고 한다. 육종은 우리 인류의 생존을 지켜온 엄청난 그린바이오 기술로 우리가 현재 먹고 있는 대부분의 작물육종은 선사시대 농경문화와 함께 시작되었다. 육종 역사상 가장 획기적인 사건은 인위적인 교배를 통해 작물을 개량하는 교잡육종(交雜育種, crossbreeding) 방법의 개발일 것이다. 육종가들은 유전적 특성이 다른 두 계통 간에 교배를 통해 엄청난 유전적 변이를 창출하게 된 것이다. 이 교배육종기술은 전 세계적으로 식량문제 해결에 기여하는 등 실로 대단한 성과를 이룩하였다. 우리나라도 이 기술을 통해 통일벼라는 획기적인 다수확 벼 품종을 개발함으로써 온 국민의 소원이던 주곡인 쌀의 자급자족을 이루게 된다. 이러한 전통 육종기술의 성과는 실로 대단한 것으로 선사시대부터 시작된 육종기술의 결과 야생 잡초와 같던 식물들이 현재 우리가 주식으로 먹는 쌀과 옥수수로 변화하게 되었다. 만약 육종기술이 없이 그 당시의 형태로 현재까지 이용되었다면 우리 인류의 생존과 문명의 발달은 불가능했을 것이다.



그림 1. 전통육종의 성과; 쌀과 옥수수의 기원

출처: GMO 바로알기. 도서출판 식약연

#### 나) 생명공학작물(GM작물)의 탄생

교배가 가능한 한정된 유전자원만을 사용하는 교배육종으로는 인구증가와 이상기후에 따른 식량의 폭발적 수요를 충족시키는데 한계에 도달하게 되었다. 이러한 시대적 요구에 따라 다양한 유전변이의 창출이 가능한 생명공학 육종기술이 탄생하게 된다. 생명공학육종 기술은 식물, 동물 또는 미생물의 유용 유전자를 식물에 도입하여 인류에 이로운 유용형질을 식물이 획득하는 유전자 재조합 기술이다. 생명공학 육종기술은 전통육종기술과 조화를 이루어 1996년 처음으로 상업용 생명공학 종자가 개발되어 재배가 시작되었다. 이후 지속적으로 재배면적이 확대되어 현재 상업화 초기보다 재배면적이 100배 이상 증가되는 등 중요한 육종기술로 자리 잡고 있다.

1세대 GM종자는 미국과 유럽 등 선진국의 다국적 기업이 상업화를 주도하고 있다. 20년간 상용화되고 있는 1세대 GM종자의 99% 이상이 해충저항성과 제초제 내성 두 가지 형질이란 것은 이들이 농업생산성 향상과 농민들의 소득 증대에 지속적으로 효과를 주고 있다는 것을 입증한다. 현재 기후변화 대응을 위한 건조저항성 작물과 질소 비료 절감 작물 개발이 적극 추진되고 있다. 건조 저항성 옥수수의 경우는 2013년 미국에서 최초 상업화된 이후 다른 국가로 상업화 재배가 확산되고 있다. 최근 연구개발 동향이 급속도로 변화되고 있다. 즉, 생산자 중심에서 생산자와 소비자가 동시에 혜택을 주는 2, 3세대 GM작물 개발과 상업화가 활발히 이루어지고 있다. 또한 다국적 기업 주도에서 각 국가별 농업의 문제해결의 방안으로서 GM작물이 개발되어 상용화 되거나, 식품가공업체 등 소규모 기업들이 자체 애로사항 해결을 위한 연구개발과

상업화를 추진하고 있다.

#### <소비자/수요자 지향적 GM작물 개발 및 상용화 사례>

농산물의 경우 가공이나 유통과정에서 손실을 입는 경우가 많다. 이러한 어려움을 해결하기 위한 GM작물 개발이 활발히 진행되고 있다. 대표적인 사례는 갈변방지 GM감자이다. 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 GM감자를 자체적으로 개발하였다. Innate™ 라고 명명된 이 GM감자는 2014년 11월 미농무에서 상업적 재배 승인을 받는데 이어 2015년 3월 미 식약처에서 일반 감자와 다른 차이 없이 안전하고 건강하다고 인정하여 식용으로 승인되었다. 이 감자는 국내에도 식품용으로 안전성심사 요청이 접수되어 심사가 진행 중에 있다.



GM감자 (Innate™)

일반 감자

#### 그림 2. 갈변억제 GM감자

출처: 바이오안전성백서. 2017. KBCH

고령화 시대에 질병을 사전 예방하는 건강식품 제공 차원의 GM작물 개발도 활발히 진행되고 있다. 즉 기능성 작물을 일상 섭취함으로써 자연스럽게 질병을 예방하는 전략이다. 뉴질랜드 과학자들은 혈당을 건강한 수준으로 유지하는데 도움이 되는 GM사과를 개발하고 있다. 개발 중인 사과는 2형 당뇨병 환자들의 혈당 수치를 현저히 낮추는데 도움이 되는 플로리디진(phloridzin)이라는 물질을 과실에서 다량 생산하도록 연구 중이다. 영국 노리치 식품연구소는 기존 브로콜리보다 3배 더 많은 글루코라파닌(glucoraphanin)을 함유한 GM브로콜리를 개발 중이다. 연구진은 GM브로콜리가 임상실험을 통해 혈중 LDL-콜레스테롤을 6%까지 낮추는 것으로 보고했다. 이외에도 많은 국가의 연구진들이 소비자 건강에 도움을 주는 기능성 GM작물 개발에 노력하고 있다.

### <국가별 문제 해결을 위한 GM작물개발>

GM작물 적극 도입을 통한 농업현장의 어려움을 해결한 대표적 나라는 방글라데시다. 방글라데시에서 가지는 중요한 채소작물로서 15만 영세농가가 약 5만ha에서 가지를 재배하고 있는데, 재배 품종들이 해충인 FSB (fruit and shoot borer)의 공격에 매우 취약하여 70% 정도의 재배손실을 준다.

이 해충은 살충제로 제어하는 방법 밖에 없는데 살충제도 매우 비효과적이어서, 심한 경우 살충제 살포 횟수가 80회에 달하는 경우도 있다. 이 문제의 해결을 위해 방글라데시는 해충저항성 GM가지를 개발하여 상업화를 진행했다. 상업화 원년인 2014년에는 2ha에서 20명의 농부가 재배했으나, 2016년 현재 2,500명의 농부가 700ha에서 재배하여 기하급수적 증가를 보여주고 있다. 현재까지 시험 결과, 생산성이 30% 이상 증가했으며, 살충제 사용을 70~90% 감소시켜서 일반 가지에 비해 헥타르 당 1,868 달러의 경제적 이익을 가져왔다. 이것은 그 국가의 과감한 신기술도입 정책결정으로 농가의 애로사항 해결이 가능하게 된 대표적 사례 중 하나이다.

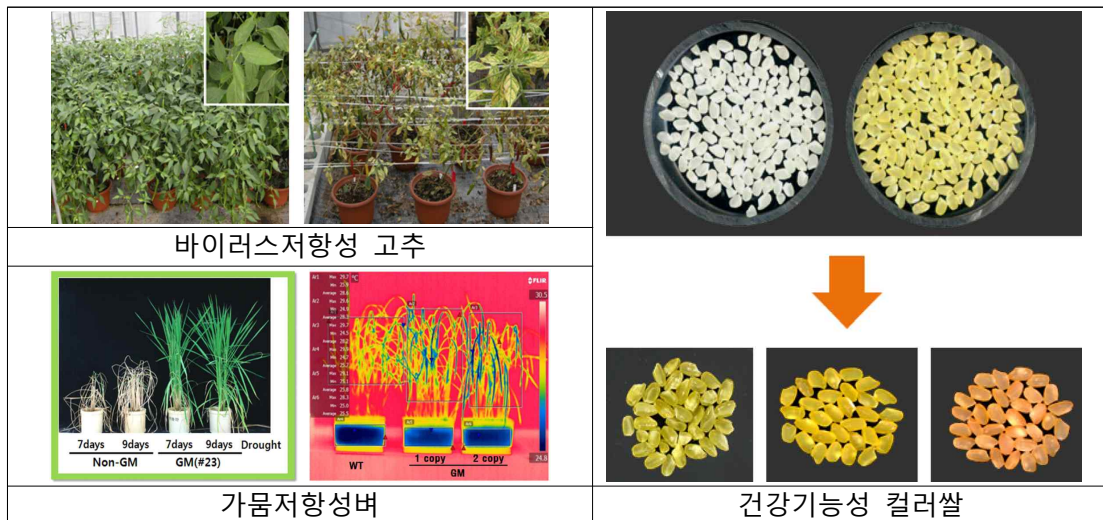
표 1. 방글라데시 GM가지 재배면적 증가

연도	가지 재배 총면적 (ha)	해충저항성 GM가지		
		재배면적 (증가비율)	재배농가수 (증가비율)	채택률
2014	50,000	12	120	<1%
2015	50,000	25 (2배)	250 (2배)	<1%
2016	50,000	700 (58배)	2,500 (20배)	2%

### <국내 생명공학작물 개발 연구>

국내의 경우 2000년대 초반부터 본격 시작된 농업생명공학연구로 생명공학 종자 개발 기술기반을 구축하는 등 기술경쟁력을 확보에 노력중이다. 농약 사용을 줄이며 해충을 방제할 수 있는 해충저항성벼 등 1세대 GM작물 개발에 성공하여 생명공학기술의 활용가능성을 확인시켜 주었다. 또한 비타민 A 성분이 보강된 황금쌀과 시력개선 및 노화방지용 컬러쌀 등 소비자에게 혜택을 주는 2세대 GM작물의 개발도 순차적으로 성공을 거두는 등 첨단기술 경쟁력 확보가 가능하다는 것도 증명해 보였다. 기후변화에 대비한 가뭄저항성 작물개발 성공과 백신작물 등 3세대 GM작물 연구도 활발히 진행되는 등 기술경쟁력 확보 노력이 꾸준히 진행 중이다. 이러한 기술력 확보에는 농업생명공학연구를

통한 우리농업의 첨단산업화를 지향하는 정부의 정책의지가 큰 몫을 담당하였다. 특히, 2001년부터 시작된 프론티어21사업의 작물기능유전체사업과 농촌진흥청의 바이오그린21사업의 추진은 농업생명공학 기술기반 구축에 큰 힘이 되었다. 하지만, 아직까지 상업화에 필요한 안전성심사가 통과된 국내 개발 GM작물은 1건도 없다. GM종자는 일반 육종 품종과는 달리 철저한 안전성 평가와 엄격한 안전성심사라는 승인 절차를 거쳐야 상업화가 가능하다. 현재 유일하게 국내 개발 제초제내성 GM잔디가 안전성평가를 마치고 현재 안전성 심사를 진행 중이다. 잔디는 제초작업에 많은 농약 및 노동력이 소요된다. 만약, 제초제내성 GM잔디가 안전성심사를 통과하여 상용화가 허가될 경우, 제초제 사용량과 노동력 절감을 통해 잡초관리 비용을 1/5로 줄일 것으로 예상되어 국내 상용화는 어렵더라도 글로벌 시장에 진출이 가능할 것으로 기대되고 있다.



**그림 3. 국내 개발 생명공학작물들**  
출처: GMO 바로알기. 도서출판 식약연

다) 유전자교정(Genome Editing)기술을 활용한 생명공학작물 개발

최근 유전자교정기술을 활용한 생명공학작물 개발이 과학계의 최고 핵심 이슈 중 하나다. 유전자가위로 불리는 유전자교정 기술을 적용할 경우 외래 유전자 도입으로 만든 GM작물에 비해 개발 시간과 비용 면에서 크게 절약이 가능하고, 특히 규제에서 자유로울 수 있다는 예측으로 각 국가별로 경쟁적으로 기술개발에 몰두하고 있다. 여러 유형의 유전자편집 기술들이 있지만 최근

개발된 CRISPR-Cas9(Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeat-Cas9) 기술이 가장 전망 있는 기술로 간주되고 있다.

<연구개발 및 상업화 현황>

이미 많은 대학과 기업에서 이 기술을 활용한 생명공학작물 개발이 속속 보고되고 있다. 미국의 경우 유전자가위기술로 개발된 작물들이 GMO 안전성심사 해당부처로부터 규제 대상이 아닌 것으로 판정됨으로써 이 기술로 개발된 생명공학작물들의 상업화가 급속히 이루어질 것으로 전망되고 있다. 현재, 유전자 편집기술로 개발 또는 개발 중인 제품에는 유채(제초제저항성), 옥수수(가뭄 저항성), 밀(병 저항성과 교잡 기술), 콩(기름 품질 개선), 쌀(병 저항성), 감자(저장 품질 개선), 토마토(저장 능력 개선), 땅콩(알레르기 제거) 등 모든 주요 식량 및 사료 작물이 포함되어 있다. 이중 Cibus사가 개발한 제초제내성 카놀라가 이미 상업화가 이루어진 것으로 알려졌다

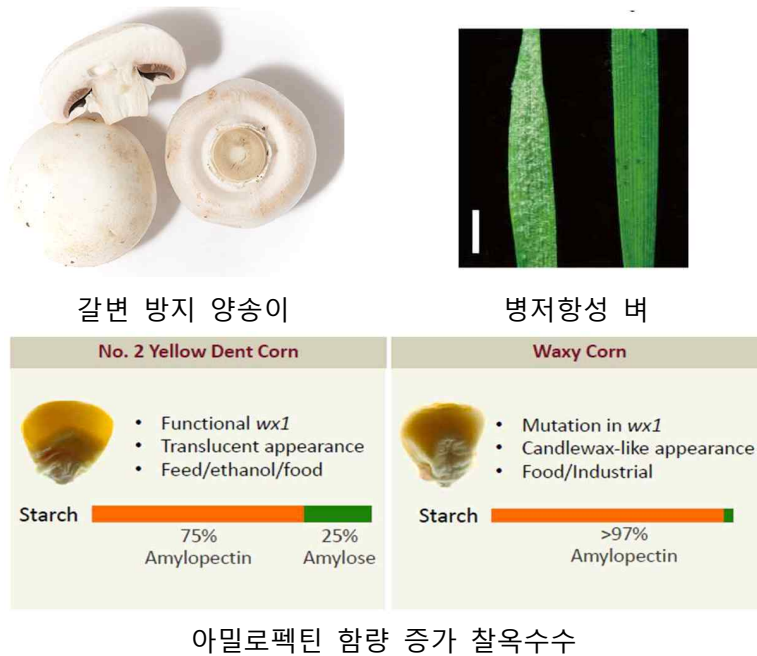


그림 4. 규제대상에서 제외된 genome-editing 기술로 개발된 작물들

출처: Genome editing 기술의 연구개발 현황과 신품종 육성에의 이용. 2018.

한국종자연구회/한국육종학회 공동 학술심포지엄 학술집

이러한 상황에서 GM작물 개발 및 상업화를 주도하던 몬산토 등 다국적 기업들의 경우 유전자가위 기술의 특허권 확보를 위하여 원천특허를 보유한

UC 버클리와 MIT 브로드 연구소 등과 기술이전 계약을 체결하고 제품개발에 적극 나서고 있다. 몬산토의 경우는 국내 벤처기업인 툐젠과 기술이전 계약을 체결하여 제품개발을 진행 중이다. 이 기술 활용의 선두주자 역시 미국과 유럽의 글로벌 기업이지만 기존 GM작물과 다른 점은 대학 및 소규모 기업들과 각 국가에서 경쟁적으로 참여하고 있다는 것이다. 현재 이 기술을 활용한 생명공학작물들의 개발과 실용화가 급속도로 확산되고 있어 이에 따른 시장도 급격히 증가할 것으로 전망되고 있다.

#### <유전자가위 기술로 개발된 생명공학작물에 대한 규제여부 현황 및 전망>

세계적으로 Genome Editing이 각광을 받기 시작하면서 이에 대한 규제 여부도 뜨거운 이슈로 떠오르고 있다. 이 기술로 만든 생물체를 GMO와 같이 규제할 경우 엄청난 상업적 비용을 수반함으로써 신기술의 활용에 어려움을 겪을 것을 우려하고 있는 것이다. 이 기술을 활용하여 작물을 개발할 경우 개발과정은 GMO와 같은 과정을 거치지만 결과물은 적용기술에 따라 외래 유전자 도입이 없으므로 GMO와 분리하여 규제에서 제외할 수 있다고 판단하는 것이다.

좀 더 자세히 알아보면 유전자가위 기술의 과정과 결과는 유전자가위 기능을 가진 Site-Directed Nucleases의 앞 글자를 딴 SDN-1, 2, 3로 크게 구분된다. 과학계의 입장은 최종 산물에 외래유전자 도입이 없는 SDN-1과 SDN-2은 GMO 규제 대상이 아니고, 최종 산물에 외래유전자가 도입되는 SDN-3는 GMO와 같은 규제대상이 된다는 것이 과학계의 판단이다. 하지만 유럽의 경우 개발과정의 생명공학기술여부도 규제대상에 포함한다는 논리로 판단하고자 하는 입장이라, 유럽의 과학자들과 개발자들이 농업의 신기술 활용 장애를 우려하고 있다. 미국의 경우는 규제 대상에서 제외하고 있으며 일본의 경우도 규제대상에서 제외를 검토하고 있다. 하지만, 우리나라의 경우 아직 정부 차원에서의 규제 및 허가에 대한 결론을 못 내리고 있다. 국내의 많은 과학자들과 종자산업 종사자들은 우리 정부가 유럽의 결정에 영향을 받을 것을 우려하고 있다.

국내의 경우도 기초과학지원센터인 유전체교정사업단을 중심으로 연구가 활발히 이루어지고 있다. 국내 생명공학벤처 기업인 툐젠의 경우 CRISPR-Cas9 기술에 대한 특허권 선점 등 세계적인 기술기반을 구축하고

있으며, 대학 및 민간연구소와 공동으로 색상변이 당근, 고품질 양배추, 제초제내성 담배, 지방산 조성변경 콩 등의 개발에 성공을 거두고 있다. 국내 연구소와 대학 에서도 동 기술을 활용하여 다양한 생명공학작물 개발을 진행하고 있다. 하지만, 국내에서 유전자편집 기술로 개발된 작물의 규제대상 여부에 대한 공식정리가 안되어 이에 대한 과학적 지식기반의 적절한 판단이 시급할 것으로 사료된다.

## 2) 고부가 의약소재 생산을 위한 Bio-pharming 기술

질병예방을 위한 백신용 GM작물의 상업화도 이미 현실화 되고 있다. 고부가가치의 유용물질의 대량 생산을 위하여 유전자변형 식물체를 생산 공장으로 활용하고자 하는 방식을 분자농업(Molecular Farming)이라 말한다. 이러한 분자농업에서 가장 주목받는 연구 분야 중 하나가 섭취를 통해 질병을 사전 예방할 수 있는 식물 경구백신의 개발이다. 2002년에 설사 면역제를 생산하는 GM토마토가 개발되어 타임지가 선정한 2002년 세계 20대 발표의 하나로 선정되기도 하였다. 문제는 식물세포에서 단백질을 생산할 경우 인체에서 활성이 가능한 복잡한 구조의 단백질 합성에 어려움이 있을 수 있으며, 식물체의 단백질 발현율이 낮아 경제성이 문제가 되는 등 해결해야할 여러 문제가 있다는 점이다. 이런 이유로 현재까지는 경구백신의 상업화가 이루어지지 않았지만, 광견병, 콜레라, 구제역, 에이즈 등 예방을 위한 식물 경구백신이 지속적으로 개발 중으로 수년 내에 상업화가 이루어 질 것으로 예상되고 있다. 이러한 연구는 기존의 다국적 종자 기업이 아닌 대형 다국적 의약품회사, 미국/유럽/이스라엘/일본 등 기술력을 중심으로 설립된 소규모 생명공학기업, 또는 각 국가의 대학 및 국공립연구소를 중심으로 활발히 진행되고 있다. 반면 동물용 의약품 생산 GM작물의 상업화는 2013년 이미 이루어졌다. 일본 경제산업성 산하 산업기술종합연구소(AIST)는 개(dog)의 치주염을 치료하는 항바이러스 인터페론을 생성하는 GM 딸기를 개발하였다. 이들은 2013년에 동물용 단백질 의약품(개 치주염) 상품등록을 마치고 2014년 3월에 마침내 상업용 판매를 시작하였다. 이 GM딸기는 밀폐형 온실에서 격리재배하고 수확한 딸기를 재료로 의약품을 제조하게 된다. 이와 같이 비록 동물용이지만 질병 치료용 유전자변형작물의 재배가 상용화 된 것은 매우 고무적인 일이다.

일본은 현재 식물공장과 식물에서의 의약품질 생산기술을 접목하여 산업으로 육성하기 위한 노력 중으로 독감백신(캐나다 Medicago사), 에볼라 백신 합성기술(독인 아이콘 제네릭스사) 등 해외기술에 대한 전략적 투자를 강화하고 있다. 생명공학연구의 선두주자인 미국도 민간 기업을 통한 식물세포 및 식물체에서의 단백질 의약품 생산에 관한 연구개발이 적극 진행 중이다. 세계적인 관심을 모았던 에볼라 치료제 지뎀의 성공으로 2016년 담배에서 생산한 독감백신 및 에볼라 치료제가 대규모 임상시험 (2/3단계) 중으로 2019년 제품출시를 목표로 하고 있으며, 시장진입이 가장 앞선 상태라고 알려져 있다.



GM딸기 생산용 밀폐형 실내용실



GM딸기로 만든 동물용 인터페론

### 그림 5. 동물치료용으로 개발된 GM딸기 및 이를 재료로 만들어진 상업용 의약품

출처: GMO 바로알기. 도서출판 식약연

국내에서도 최근 국내 벤처 기업인 (주)바이오엠피에서 돼지에 치명적 전염병인 돼지열병을 치료하는 백신을 식물에서 생산할 수 있는 기술을 개발하는데 성공하였다. 이 기술은 담뱃잎을 통해 백신단백질을 대량 생산하는 기술로 가축질병 치료제뿐만 아니라 의약품이나 화장품 원료생산 등에도 활용할 수 있을 것으로 기대를 모으고 있다. 현재 이 기업은 밀폐형 생산 플랜트를 구축하여 안전하게 식물기반 그린백신 생산이 가능한 시스템을 확보하였다. 이 연구 성과의 상업화가 성공될 경우 축산 농가의 애로사항 해결과 함께 우리도 미래 핵심 그린바이오산업인 그린백신 생산 기술선진국으로 도약이 가능할 것으로 기대된다.

### 3) 그린바이오의 기대주 식물 마이크로바이옴

마이크로바이옴(Microbiome)이란 인체를 포함한 동물, 식물 등과 더불어

살아가는 미생물 전체로 이들의 유전정보까지 포함한 개념이라 정리된다. 최근 인체에 서식하는 마이크로바이옴 연구를 통한 인체 질환에 대한 신 개념 진단기술 개발과 함께 신약개발 및 난치병 치료법 등 레드바이오 산업의 핵심 소재로 크게 기대를 모으고 있다. 최근 식물-마이크로바이옴 (Plant-Microbiome) 연구를 통해 식물도 미생물의 조화로운 균형이 무척 중요하다는 사실을 알게 됐으며, 그린바이오 분야에서도 마이크로바이옴 연구와 산업화 활용이 다양하게 추진되고 있다. 식물마이크로바이옴의 기능으로 첫째는 식물이 성장과정 중에 직면하는 병해충/불량환경 등 다양한 스트레스를 감소시키는 역할을 한다고 한다. 둘째로 식물 마이크로바이옴이 식물의 자체 면역력 높이기도 한다고 알려져 있으며, 셋째로는 식물의 성장발달을 조절하는 기능을 한다고 한다. 즉 식물체와 상호작용하는 마이크로바이옴 구성에 따라 개화시기 등 작물의 성장발달 조절이 차이가 날수 있다는 것이다. 실지로 이를 이용한 성장조절제 개발과 함께 특정한 식물의 표현형을 유도할 수 있는 마이크로바이옴의 구성에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. 넷째로 식물이 생육을 저해하는 특정 미생물의 특성을 이용한 잡초 제거 능력도 주목받고 있다. 즉, 특정 잡초에 선택적으로 병을 일으키는 병원균을 이용하여 잡초의 성장을 억제시키는 생물학적 방제가 가능하다는 것이다. 국내에서도 농진청에서 개발한 미생물 제초제 다이클로버가 콩과식물에 병을 일으키는 곰팡이균으로 잔디밭과 농경지에서 클로버만 선택적으로 제거하는 친환경 제초제 역할이 확인된바 있다.



다이클로버 처리 전



다이클로버 처리 후

그림 6. 농진청 개발한 미생물 제초제의 효능

출처: RDA Interrobang 205호. 2017

이밖에, 미생물의 상호작용을 이용한 토양정화 방법 등 다양한 기능이 보고되면서 농업의 지속가능성 유지와 함께 그린바이오산업의 주요 소재로 부상되고 있다. 농림식품기술기획평가원의 보고서에 따르면 최근 작물과 미생물간

상호작용을 마이크로바이옴 수준에서 설명할 수 있는 작물 홀로바이옴 연구가 시도 중이라고 한다. 즉, 작물을 한 개의 생물체로 보지 않고 작물과 주변 미생물 군집의 연합체로 간주해 연합체의 유전체정보 간 상호작용을 통해 작물의 기능이 조절될 수 있다는 개념이다. 홀로바이옴 연구는 2014년에 코넬대학 연구팀에 의해 수행되었으며 옥수수 품종의 낮은 유전력(heritability) 차이와 마이크로바이옴의 연관성을 분석하여 토양 특성이 미생물군집 형성에 중요한 요인임을 확인하였다고 한다. 이와 같이 마이크로바이옴의 기능은 다양하며 아직까지 알려지지 않은 무한한 기능에 주목할 필요가 있다. 이런 이유로 각 국가와 글로벌 기업들은 엄청난 투자를 통해 이 분야 연구와 상업적 활용에 집중하고 있다.

국내의 식물 마이크로바이옴 연구도 차세대염기서열분석기술(NGS)의 도입으로 다양한 환경의 마이크로바이옴에 대한 연구가 진행 중이다. 가장 많이 이뤄진 연구는 작물별 생물 군집과 다양성 분석과 유용 미생물의 유전체 분석을 통한 식물 유용인자 발굴 등이다. 즉, 작물과 연관된 마이크로바이옴 연구가 단편적으로 수행되고 있으나 마이크로바이옴에 따른 작물의 홀로바이옴 연구는 미흡한 실정이다. 최근 국내에서도 동아대학교 이선우 교수팀과 연세대 김지현 교수팀이 공동으로 ‘병 저항성과 관련된 식물 마이크로바이옴 구조와 기능’을 처음으로 발견하였다는 연구결과를 2018년 Nature Biotechnology 에 보고하였다. 이와 같이 국내에서도 식물 마이크로바이옴의 가치를 인식하여 이들의 연구와 활용에 좀 더 많은 투자와 노력이 이루어져야 할 것으로 생각한다.

#### 4) 농업분야 4차 산업혁명 선두주자 스마트팜

4차 산업혁명은 2016년 다보스 세계경제포럼에서 최초 언급되었으며 인공지능(AI), 로봇기술, 생명과학이 주도하는 차세대 산업혁명으로 정의하였으며 간단하게 인공지능으로 자동화와 연결성이 극대화되는 산업 환경의 변화를 의미한다. 이 제4차 산업혁명은 각 분야에서 효율과 생산성을 비약적으로 높일 수 있으며, 농업도 생산과 유통 관리 등 전 과정에 걸쳐 새로운 탈바꿈이 가능한 전기를 마련할 기회가 온 것으로 판단된다. 즉, 4차 산업혁명기술을 우리 농업에 융합 적용함으로써 우리 농업의 경쟁력 강화와 새로운 첨단 그린바이오산업으로 발전이 가능하다는 판단이다.

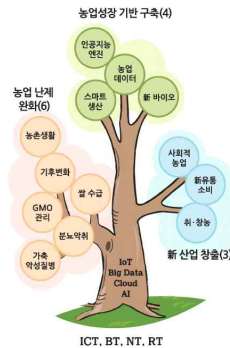


그림 7. 4차 산업혁명기술과 농업R&D 융합모델

출처: 농업 R&D와 4차 산업혁명기술의 융합, 2017, 농촌진흥청

현재 농업에서 가장 선제적으로 4차 산업의 개념이 도입된 것이 스마트팜 일 것이다. 스마트팜의 시조라고 할 수 있는 시설농업은 1980년대 우리농업의 백색혁명을 성공시킨 주역으로 이를 통해 겨울철에도 신선한 채소와 과일을 먹는 것이 가능하게 되었다. 세계적으로도 시설농업을 통하여 농업의 패러다임이 바뀌게 되었고 농업생산여건이 불리한 네덜란드, 이스라엘 등이 시설농업을 통해 농업강국으로 도약하게 된다. 이제 4차 혁명의 핵심인 ICT 융복합 스마트기술의 도입으로 농업의 패러다임이 또 한 번 바뀌는 전기를 맞게 되었다. 스마트팜은 생산관리의 효율성과 생산성도 중요하지만 기술자체의 수출이 가능한 미래 핵심 그린바이오기술이다. 시설농업 강국 네덜란드는 다양한 과학기술 접목을 통하여 세계 스마트 농산업을 주도하고 있다. 세계 최고의 농업시설회사 프리바(Priva), 릴리(Lely), 홀티맥스 (Hortimax)등이 모두 네덜란드 회사들로 우리나라를 포함한 많은 국가의 온실이 그들이 개발한 모델과 관리 시스템을 사용하고 있다. 스마트팜은 데이터와 인공지능 기반 고효율 농작물 재배 시스템으로 생체 계측과 인공지능을 통해 농작물의 생산 환경이 자동관리 된다, 또한 효율적인 복합 에너지 관제와 로봇을 통해 효율적이고 안전한 농작업 자동화 시스템이 가동되는 등 지능형 스마트 농업 혁명이 이루어지게 되는 것이다. 현재 스마트팜은 생육 분석부터 복합 환경제어, 자동 생산 및 품질관리 등 전 과정에 인공지능, 빅데이터, 생명과학, 로봇기술 등이 도입되어 점차 그 기능이 정교해지고 있으며 타 분야 산업에도 적용될 수 있는 정도라고 한다. 아래 그림은 인공지능과 클라우드 기반 서비스 기술을 도입한 2세대 스마트팜의 모델을 보여주고 있다.

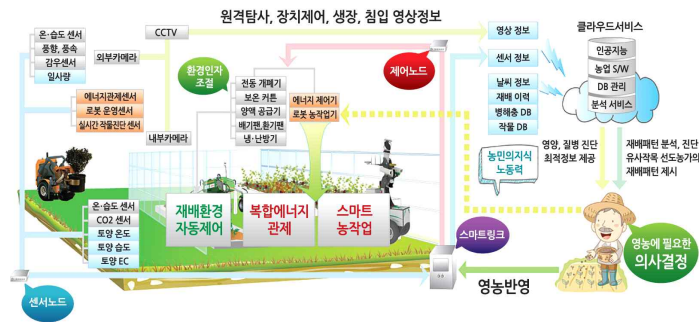


그림 8. 2세대 스마트팜 모델

출처: 농업 R&D와 4차 산업혁명기술의 융합, 2017, 농촌진흥청

이 스마트팜은 대표적인 융복합 그린바이오기술로 이상기후에 따른 잦은 기상재난에서 우리의 식량생산을 유지하고, 고령화 시대에 노동력부족을 해소할 수 있는 핵심 그린바이오기술이다. 우리나라에서 시설농업이 차지하는 비중은 시설원에 생산액이 전체 농업생산액의 13%를 차지(2015 ETRI)하는 등 매우 높은 편이나 스마트팜은 이제 겨우 첫 걸음을 댄 정도이다. 최근 정부는 스마트팜 보급 속도를 높이기 위한 지원을 지속 확대하고 있다. 이제 스마트팜은 1세대 스마트팜을 넘어서 효율적인 복합 에너지 관제와 로봇·자동화 시스템의 지능형 작업이 가능한 2세대 스마트팜을 개발되는 등 글로벌 시장선점 경쟁이 치열하다. 우리나라도 기존 모델을 뛰어넘는 한국형 스마트팜 개발을 통한 글로벌 시장진출을 목표로 연구개발에 전념하고 있으나 글로벌 시장에서 경쟁할 수 있는 기술기반과 산업생태계 조성이 필요하다는 분석이다. 현재 농촌진흥청은 한국형 스마트팜 개발을 위한 ICT융복합 기술개발에 노력하고 있으며 한국과학기술원의 ‘스마트팜 솔루션(SFS, Smart Farm Solution)융합연구단’은 데이터 기반 농업을 연구하는 등 지속적인 노력을 기울이고 있다. 2016년도 SPRI 보고서에 따르면 세계농업에서 스마트농업이 차지하는 비중이 점차 커지고 있으며 시장규모로 볼 때 앞으로 중요성은 더욱 커질 것이라고 한다. 세계 식량 시장은 약 5조 8천억 달러인데 그중 스마트농업은 248억 달러(2017)이며 평균 10%이상 성장하는 추세인 점을 감안할 때 정부의 좀 더 과감한 연구투자 노력이 절실하다.

### 3. 결론 및 시사점

#### 가. 결론

살펴본 바와 같이 글로벌 차원의 식량위기 극복과 농업의 지속가능성 성장을 위해서는 그린바이오기술의 활용은 선택이 아닌 필수이다. 또한 AI, ICBM 등 다중 융합형 혁신기술 접목을 통해 농업도 4차 혁명시대를 맞이하여 신기술 시장선점을 위한 기술주도권 경쟁이 치열한 상황이다. 특히, 식량 자급율이 50% 이하인 우리 농업의 어려움 해결과 4차 산업혁명을 통한 우리 농업의 첨단 산업화를 위해서는 그린바이오 기술력 확보가 필수일 것이다. 현실적으로 생명공학종자나 생물소재산업에서 선진국의 글로벌 기업의 지식재산권 선점과 높은 기술력은 우리의 참여를 어렵게 하고 있다. 특히 그린바이오 관련 기업의 규모가 상대적으로 열세인 우리의 경우 기술경쟁력이나 산업화 경쟁력에서 밀릴 수밖에 없다. 반면 기술적인 면에서 우리는 우수한 육종기반을 갖추고 있으며 생명공학에 대한 꾸준한 투자로 생명공학종자개발 등 그린바이오 핵심기술의 경쟁력을 나름 확보하고 있다. 특히, 4차 산업혁명에 필요한 융복합기술 접목차원에서는 우수한 정보통신기술과 세계 최고의 통신 인프라를 구축하고 있는 등 강점도 보유하고 있다. 우리는 이러한 문제점을 정확히 인식하고 우리의 강점을 잘 활용한 기술혁신을 통해 그린바이오산업 활성화에 전념해야 할 것이다.

#### 나. 시사점

우리의 육종기술 등 그린바이오 기술기반과 기술혁신으로 지속 성장 가능한 공세적 농업 실현이 가능하다. 국내 우수 ICT 기술기반의 4차 산업혁명 기술과 농업기술기반의 융합으로 첨단 기술 개발이 가능하며, 이를 통한 새로운 형태의 그린바이오 시장 창출과 선점이 가능할 것으로 본다. 특히, 최근 우리나라 농업기술을 동남아/아프리카/남미 등 개발도상국에 지원하는 ODA사업이 활발히 진행되고 있는바, 향후 우리가 개발한 한국형 그린바이오 기술과 시스템이 세계 시장 진출 가능성이 매우 높다. 그러기 위해서는 아래와 같은 선제적 조치와 노력이 필요한 것이다.

첫째, 첨단 생명공학기술의 적극적 활용을 위한 사회적 공감대가 필요하다. 그린바이오산업의 핵심인 생명공학작물은 의약품등 고부가 산업소재 생산용 생명공학작물도 상용화되는 등 그 발전 속도가 가속화되고 있다. 이런 관점에서 대기업의 참여를 기대하기 어려운 우리의 경우, 보다 적극적인 국가 투자를 통한 기술개발이 필요할 것이다. 즉, 당장의 상용화는 아니더라도 국가 기술경쟁력 확보 및 기후변화 대응 육종소재 확보 차원에서 생명공학작물 연구개발은 멈추지 말아야 할 것이다. 이런 차원에서 국민들도 그린바이오 핵심기술인 생명공학작물 국가기술 경쟁력 확보를 위한 연구개발에 격려와 지지가 필요하다.

둘째, 산업화 수용확대를 위한 글로벌 시장 진출에 노력해야 할 것이다. 농산물 소비시장의 한계로 국내 그린바이오산업의 확장은 매우 어려운바 글로벌 시장 진출을 통한 그린바이오산업 확장이 필요하다. 생명공학종자 시장은 2017년 기준 150억 불 이상으로 전체 종자시장 가치의 35% 이상을 차지하고 있다. 이를 생산액 기준으로 환산하면 약 190조 원, 식품 등 가공용으로 확대 시 최소 300조 원 이상의 엄청난 그린바이오산업 시장인 것이다. 중국이 글로벌 농화학기업인 신젠타를 인수하여 생명공학종자개발 강국 도약을 선언한 것도 자체 농업생산성 향상 목적과 함께 아시아 시장 진출이라는 목적도 있을 거라는 판단이다. 우리도 질소비료저감 종자 등 특성화된 생명공학종자 개발을 통한 글로벌 종자시장 진출 등을 노려볼 필요가 있다.

셋째, 규제완화를 통한 그린바이오산업 활성화가 필요하다. 유전자가위기술의 활용을 위한 적극적인 정책지원과 노력이 필요하다. 국내의 많은 과학자들과 종자산업 종사자들은 우리 정부가 유럽의 결정에 영향을 받을 것을 우려하고 있다. 이런 관점에서 해당 부처에서의 규제대상 여부 결정 시 과학적 지식기반에 준한 합리적인 판단이 필요하다. 일본도 규제 제외라는 빠른 행보를 보이고 있으며 중국은 이미 유전자교정기술을 활용한 생명공학작물개발의 선두주자로 부상하고 있다. 우리도 국익차원에서 연구개발과 상업화에 걸림돌이 되는 규제대상에서 제외하는 빠른 결정이 필요하다.

마지막으로, 기술경쟁력 확보를 위한 정부의 과감한 투자와 기업참여를 위한 정책지원이다. 연구개발 최종산물의 산업화와 수출 등은 결국 기업의 몫이다. 현재 주요한 그린바이오산업의 주도권은 대부분 미국과 유럽 소재 글로벌 기업이 선점하고 있다. 규모 및 기술력에서 상대적으로 열세인 우리 민간기업의 경우 기술경쟁력 강화가 상당히 어려운 상황이다. 이의 개선을 위해서는 대기업의 투자유치와 기존 민간 기업들의 경쟁력 강화 지원의 병행추진이 필요하다. 우선적으로 기존 기업들의 경쟁력 강화를 위한 산학관련 국책사업의 지속적 강화와 상업화 프로그램 강화가 필요하다. 기존 국책사업의 지원강화를 통해 대학/연구소와 기업과의 공동연구를 활성화하고 수요자 연결 등의 상업화 지원 프로그램 마련 등 정부의 적극적 정책지원이 필요하다.

이상과 같이 그린바이오에 대한 국내외 동향과 시사점에 대하여 알아보았다. 우리는 식량안보 구축 및 지속 가능한 농업발전과 함께 4차 혁명에 부응한 농업의 고부가 첨단산업화에 필요한 그린바이오기술력 확보와 이의 활용에 대해 고민과 노력을 하고 있다. 하지만 이정도의 고민과 노력만으로는 그린바이오기술 선진국을 추월하기가 어렵다고 생각한다. 농업의 4차 혁명으로 새로운 시장이 열릴 것이다. 기후변화와 인구증가에 따른 곡물시장의 확대, 고령화에 따른 건강기능식품시장의 확대, 산업소재로서의 바이오 생합성 물질의 선호도 증대, 대체에너지로의 바이오메스 활용 등 기존 시장의 확대와 함께 생체시스템을 활용한 나노기술, 센서 및 에너지생산 시스템 등 다양한 신규 시장이 생성될 것이다. 이러한 신규 산업분야를 선점할 선도적 그린바이오기술이 무엇일까를 고민하고 창의적 아이디어를 실험에 옮기는 노력과 이를 수렴하는 과학개발 풍토만이 향후 다가올 5차 산업혁명을 주도할 선도적 그린바이오기술을 선점할 수 있을 것이다. 이와 같이 기존 기술을 능가할 혁신적 기술개발에 대한 부단한 고민과 노력들이 진정한 그린바이오 강국으로 도약할 선결조건이라고 생각한다.

## 참고문헌

1. Global Statues of Commercialized Biotech/GM Crops in 2007. ISAAA
2. 농업 R&D와 4차 산업혁명기술의 융합. 2017년 농촌진흥청
3. 마이크로바이옴 연구개발 동향 및 농식품 분야 적용 전망. 2017.  
농림식품기술기획평가원
4. 바이오안전성백서. 2017. KBCH
5. 생명공학작물 글로벌 동향 분석. 2018. KBIC
6. RDA Interrobang (179호). 2016. 농촌진흥청
7. RDA Interrobang (205호). 2017. 농촌진흥청
8. Genome editing 기술의 연구개발 현황과 신품종 육성에의 이용. 2018.  
(사)한국종자연구회/한국육종학회 공동 학술심포지엄 학술집
9. Genome Editing in Agriculture: Methods, Applications, and Governance,  
CAST ssue paper Number 60, July 2018
10. 제3차 생명공학육성기본계획. 2017. 과학기술정보통신부
11. GMO 바로알기. 2015. 도서출판 식약연

2019년  
BioINpro

- 발 행 호 : Vol.60
- 발 행 처 : 한국생명공학연구원 생명공학정책연구센터
- 온라인 서비스 : <http://www.bioin.or.kr>

- ◇ BioINpro는 생명공학 주요 기술별 관련 전문가의 시각에서 작성된 보고서이며, 생명공학 정책연구센터의 공식 견해는 아닙니다.
- ◇ 본 자료는 생명공학정책연구센터 홈페이지(<http://www.bioin.or.kr>)에서 다운로드가 가능하며, 자료의 내용을 인용할 경우 출처를 명시하여 주시기 바랍니다.

34141 대전광역시 유성구 과학로 125(어은동) | Tel. 042-879-8376