

# 세계 속의 GMO 작물의 위치와 전망

이 성 희

University of Florida

E-mail: seonghee105@gmail.com

## 요약문

Genetically Modified Organism (GMO) 또는 유전자 변형 작물이라 함은 작물의 생산성을 늘리기 위해서 본래의 자연적으로 가지고 있는 유전자가 아닌 다른 식물종으로부터 또는 다른 생명체에서 유래한 유전자와 결합하여 변형시킨 농작물을 말한다. 현재 식물 유전자 변형 및 재조합의 기술의 발전으로 유전자 변형에 대한 많은 연구가 전세계적으로 이루어지고 있으며 또한 많은 작물들이 유전자 변형을 통하여 만들어지고 생산되고 있다. 특히 유전자 변형된 콩과 옥수수가 전세계 많은 지역에서 재배되고 있으며 이런 유전자 변형 생산물들은 다양한 식품형태로 또는 가공식품에 함유되어 우리의 식탁에 올려지고 있다. 현재까지 이러한 GMO 작물 및 식품이 우리 건강에 어떠한 영향을 미칠지에 대한 의견이 분분하고, 일부에서는 환경적 또는 인체적으로 나쁜 영향을 미친다고 경고를 하고 있으며 특별규제를 요구하고 있다. 일부 유럽국가에서는 유전자 변형을 통한 작물의 생산과 수입에 대해서 더욱 엄격한 법적인 규제로 통제하고 있다. 이러한 이유로 최근에는 더욱더 발전된 유전공학의 기술로 GMO에 의하지 않고 유전자를 교정할 수 있는 새로운 형식적인 방법들을 만들어 내고 있으며 이러한 신기술들은 더욱 더 여러 가지의 생명공학의 기술들과 결합하여 기존의 GMO와는 다른 신세대 유전공학을 통한 작물을, 즉 Genetic Engineered (GE) Crops, 만들어 내는 노력이 이루어지고 있다. 이 보고서에서는 작물개량을 위해서 이루어지는 기술에 대해서 간략하게 소개하며 또한 현재 전세계적으로 유전자 변형 및 재조합을 통한 작물개량과 생산증진을 위해 이용되고 있는 새로운 기술에 대해서도 소개하고자 한다. 또한 이러한 유전공학의 기법을 통해 탄생되는 작물의 향후 안전성 검증과 전망에 대한 정보에 대해서도 소개하고자 한다.

**Key Words:** Genetically modified organism, Transgenic, genetically engineering, gene-editing, CRISPR

## 목 차

1. 서론
2. 본론
  - 2.1 유전 공학을 이용한 작물개량
  - 2.2 유전자 재조합 및 유전공학을 통한 작물개발의 연구현황과 동향
  - 2.3 GMO 규제와 식품의 안정성에 대한 전망
3. 결론 및 맺는말
4. 참고문헌

### 1. 서론

지난 50년 동안 유전자 변형을 통한 작물개량 및 식량개선의 연구가 활발하게 이루어졌고, 현재 전세계는 농업과 식품에 관련한 생명공학 연구분야가 발전함에 따라서 새로운 작물과 신품종 개발을 위한 연구들이 더욱 더 분자육종과 기존의 전통육종에 결합하여 이루어지는 방향으로 나아가고 있다[1]. 유전자 변형 즉 GM 기술이라 함은 자연적인 상태가 아닌 인위적으로 유전자를 변형하고 외래유전자를 형질변환의 목적으로 작물에 삽입하여 새로운 작물을 만드는 과정을 말한다. 이러한 유전자 변형의 기술은 식물생산의 증진과 여러 가지 환경스트레스 및 병저항성 작물을 짧은 시간에 효과적으로 만들어 낼 수가 있다는 장점에서 특히 최근에 널리 이용되고 있다[2]. 특히 유전공학의 기술은 현재 우리 인류가 안고 있는 기후변화 문제와 세계인구증가에 부합할 수 있는 새로운 작물을 효과적으로 만들 수 있는 이유에서 그 중요성이 더해지고 있다. 하지만 그에 상응하는 여러 가지 환경과 식품에 대한 안정성의 논란 등 여러 가지 우리가 안고 있는 문제점들의 해결도 중요하다.

처음 유전자 변형 식물의 기술은 1983년 클린톤 박사 그룹이 식물에서 흑병을 일으키는 아그로박테리아(*Agrobacterium tumefaciens*)의 병원성 기작을 밝히는 과정에서 박테리아 유전자가 식물의 유전체로 이동하여 정착되는 것을 알아내면서 이러한 기술이 식물 유전자 변형을 인위적으로 만들어 낼 수 있다는 생각을 하게 되었고 현재 많은 유전자 변형 작물을 만들어 내게 하는 시발점이 되었다[3]. 유전자 변형 작물들이 처음 보고된 것은 약 30년 전으로 제초제 저항성과 해충저항성을 위해서 만들어 졌다[4-6]. 그 이후 전세계적으로 많은 연구가 이루어졌으며 가장 대표적인 예로서는 옥수수과 면화작물의 해충저항성을 위해서 *Bacillus thuringiensis* (Bt) 유전자를 식물에 유전자 변형을 통해서 삽입하여 해충방제를 하여 작물생산 증진에 큰 기여를 하였으면 현재 전세계적으로 Bt 면화, 감자, 옥수수 작물들이 널리 재배되고 있다[7]. 또한 세계적인 다국적 농업기업인 몬산토(Monsanto)는 가장 널리 이용되고 있는 제초제인 Roundup에 저항성인 Roundup ready 콩과 옥수수를 개발하였고 이로 인해 현재 미국에서 대량 재배되고 있는 거의 모든 콩과 옥수수는 유전자 변형 제초제 저항성 작물이다. 미국에서 재배되는 옥수수와 콩의 93%는 유전자 변형을 한 품종들이고 이들 옥수수와 콩들은 대부분 동물의 사료나 다른 가공품의 재료로 이용되고 있어서 많은 가공식품들에는 유전자 재조합 작물들이 원료로 들어있다고 보면 된다. 식물 외에

가축에서는 현재까지 유전자 변형 및 재조합을 통해서 개량된 품종으로 뿔 없는 소가 최근 보고가 되었지만 상업적으로 이용되는 경우는 아직 없고[8], 현재 유전자 변형 연어가 미국 식품의약국(US Food and Drug Administration, FDA)를 통과하여 상업적으로 이용되고 있다[9].

현재까지 많은 유전자 변형 작물들이 만들어졌지만 상업화로 성공되고 대량으로 이용되고 있는 작물들은 일부에 불과하다. 그 이유는 많은 경제적으로 중요한 작물들이 유전적인 기술의 어려움으로 대량생산에 가능한 작물로 만들기가 어렵다는 문제가 있고 또한 유전자 변형 작물들에 대한 법적인 규제가 강화되고 있다는 점에 있다. 또한 소비자와 대중들이 많이 걱정하는 문제는 유전자 변형 작물들이 건강에 안전한지, 변형된 외래 유전자가 자연상태의 다른 비슷한 종들과 자연 교배를 통해 대량으로 오염이 되지 않을지에 관련한 것들이다[10].

그래서 이러한 GM 기술을 통해 만들어진 작물들의 여러 문제점을 해결하고자 최근 새로운 기술들이 발전되었고 Cisgenesis이라 불린다. Cisgenic 작물은 transgenic 작물과는 달리 동종 간의 유전자를 서로 융합 응용하여 다른 외래 유전자와 전혀 관련 없이 유전자를 정밀하게 수정 변경할 수 있기 때문에 기존의 전통육종처럼 교배를 통해서 다른 같은 식물의 종과 유전자를 혼합하는 것과 비슷하기 때문에 기존의 GMO 규제에 해당되지 않는다는 장점이 있다. 최근 농업의 혁명이라 일컬어질 만큼 주목받고 있는 이 기술은 유전자 가위를 통한 Genome editing(유전체 편집 또는 교정)이라 불리는데 이것은 유전자 가위를 이용해 유전체로부터 DNA를 삽입이나 결실 또는 대체하는 새로운 유전공학의 일종이다[11]. 이러한 기술을 이용하여 어떠한 유전적인 기형으로 생기는 유전병을 치료할 수 있으며 또한 기존의 열성형질을 원하는 우성형질로 개선할 수 있다. 유전체 편집을 위해서 가장 많이 이용되고 있는 방법은 Clustered regularly interspersed short palindromic repeats/CRISPR associated nuclease (CRISPR/Cas9)이다[12].

## 2. 본론

### 2.1 유전 공학을 이용한 작물개량

인류는 아주 오래 전부터 끊임없이 작물을 재배하고 육종 해왔다. 이러한 전통육종의 과정은 아주 오랜 시간 동안 자연적으로 생긴 돌연변이체를 선별하여 재배환경에 적응시켜 지금의 우리의 식탁에 오를 수 있는 기존의 존재하지 않는 새로운 작물로 만드는 과정인 것이다. 선별을 통해서 이루어진 전통육종의 방법과 유전자 재조합과 변형을 통해 이루어진 유전공학 및 생명공학을 이용한 육종의 다른 점은 얼마만큼 많은 유전자가 바뀌었고 변형이 일어났는지에 있다. 일반적으로 자연교배를 통한 육종은 유전체에 전반적인 변화를 만들게 하고 그 가운데 생긴 수많은 유전자의 변이를 교배와 선택을 반복을 통해서 원하는 몇 가지의 특정 형질을 가지는 식물개체를 만들어 내는 것이다. 하지만 유전공학을 이용한 기법은 원하는 목표 유전자의 특정부위나 단일 유전자의 변형을 유도한다. 이러한 인위적인 과정을 통해 작물의 유전체에 작은 변화가 일어나고 형질전환이 일어나게 된다. 전통육종에 비해 상대적으로 기간이 단축되고 비용이 절감되고 효율적으로 원하는 작물을 개발할 수 있다는 장점이 있다.

가장 널리 활용되는 유전공학 기술은 품종개발에 있어서 기존의 육종방법으로 해결할 수

있는 문제가 있을 때 이용된다. 예를 들어 어떤 원하는 형질향상을 위한 품종 개발에 있어서 기존의 식물유전자원에는 없는 새로운 유전자원을 도입하고자 할 때 트랜스제닉 작물(transgenic crop) 또는 유전자 변형 및 재조합(GM)의 기법이 이용된다. 최신 작물육종은 전통육종의 기반에 틀을 가지고 여러 가지 생명정보학, 분자유전학, 유전공학에 관련된 복합 기술들을 응용하는 것이 요즘 전세계적인 추세이다. 비록 여러 가지 기술과 정보들이 유전자 재조합 작물개량에 이용되어 새로운 품종을 만든다 하더라도 안정성과 위험요소 검증을 위해 쉽지 않은 여러 단계의 절차와 검증을 거쳐야 한다. 일반적으로 유전자 재조합 변형 작물을 만들고 상품화를 하는데 있어서 필요한 시간은 작물마다 차이가 있지만 보통 6년에서 15년 정도의 시간이 필요하다[13].

표 1. 작물육종과 개량을 위해 이용되는 방법들

작물 육종	방 법
전통육종 (Conventional breeding)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자연교배를 통해 새로운 유전자의 재조합이 이루어진다.</li> <li>• 원하지 않는 형질이 다음세대로 유전이 된다.</li> <li>• 품종개발에 시간이 오래 걸리고 많은 인력과 비용이 필요하다.</li> </ul>
유전자 재조합(GM) 및 트랜스제네시스 (Transgenesis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자연교배로 되지 않는 다른 종의 유전자를 인위적으로 삽입하여 유전적인 재조합을 만든다.</li> <li>• 원하는 유전자를 쉽고 빠르게 선택하여 새로운 작물개발에 효과적으로 이용할 수 있다.</li> <li>• 원하는 여러 유전자들을 동시에 삽입하여 다양한 좋은 형질을 가진 최상의 작물을 개발할 수 있다.</li> </ul>
시스제네시스(Cisgenesis)/ 인트라제네시스 (Intragenesis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동종이나 같은 비슷한 계열의 종을 이용한 유전자 재조합 기술이다.</li> <li>• 외래유전자의 삽입이 없이 자연적으로 존재하는 유전자를 교배 없이 인위적으로 이용하는 기술이다.</li> <li>• 기존의 GMO 기술을 이용하지 않기 때문에 환경에 안전하고 대중에 친화감이 있다.</li> </ul>
유전자 가위를 이용한 유전체 편집 (CRISPR-based genome editing)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인공적으로 재조합된 핵산분해효소를 이용한다.</li> <li>• 원하는 유전자 부위를 정확하게 수정 편집할 수 있는 장점이 있다.</li> <li>• 외래유전자의 삽입이 없다.</li> <li>• 여러 개의 원하는 유전자를 동시에 편집하여 하나의 작물 품종에 이용할 수 있다.</li> <li>• 여러 개의 유전자의 발현과 네트워크를 통해 나타나는 형질을 효과적으로 조절하여 최상의 품종을 만들어 낼 수 있다.</li> </ul>

유전자 변형 및 재조합 작물은 약 30년 이상 전세계적으로 재배되고 있으며 2015년에는 약 180 헥타르 면적에서 제초제 저항성(콩, 옥수수, 면화, 카놀라), 해충 저항성(옥수수, 면화, 감자, 벼), 바이러스 저항성(스쿼시, 파파야)의 작물들이 재배되었다[14]. 지금껏 상품화된 유전자 변형 작물과 그로 인한 가공품이나 식품들은 우리에게 식량 증산 및 인류 기아 해결, 경제 발전 등 여러 이익을 가져다 주었다. 예를 들어 철분이나 베타 카로틴이 많이 함유된 쌀(Golden rice)의 개발은

영양결핍으로 아프리카 아이들에게 도움을 주었고 유통기간이 긴 바나나의 개발은 품질 향상과 공급 향상에 기여를 하였고, 항산화 물질인 플라보노이드가 많이 함유된 토마토는 건강증진에 도움이 되었으며, 리그닌이 적게 형성되는 나무의 개발은 종이를 만드는데 혁신적인 향상을 주었다. 현재 식물을 이용한 구강으로 섭취할 수 있는 백신개발에 유전공학의 기법이 응용되고 있다[13, 15, 16].

**2.2 유전자 재조합 및 유전공학을 통한 작물개발의 연구현황과 동향**

최근 유럽공동체(EU Commission)는 기존 전통작물육종으로 해결할 수 없는 문제점들을 해결하기 위해서 끊임없는 작물육종기술의 개발에 대한 지원을 약속하였다. 최근 이스라엘은 유전자 가위를 이용한 유전체 교정작물을 더 이상 GM 작물이 아니라 선언하였다. 많은 국가가 유전자 변형 작물의 재배에 대해서는 아직 엄격한 규제를 통해서 제한하는 반면에 대부분의 국가에서는 유전자 변형 작물을 통해 만든 가공식품에 대해서는 많이 인정하고 있는 편이다. 하나의 유전자 변형 식품이라도 인정하는 국가는 전세계 약 480개 국가가 되며 이중 아래 그림과 같이 15개 국가에서는 상당한 수의 유전자 변형 가공식품들이 수입 또는 식품이 이용되고 있다[26].

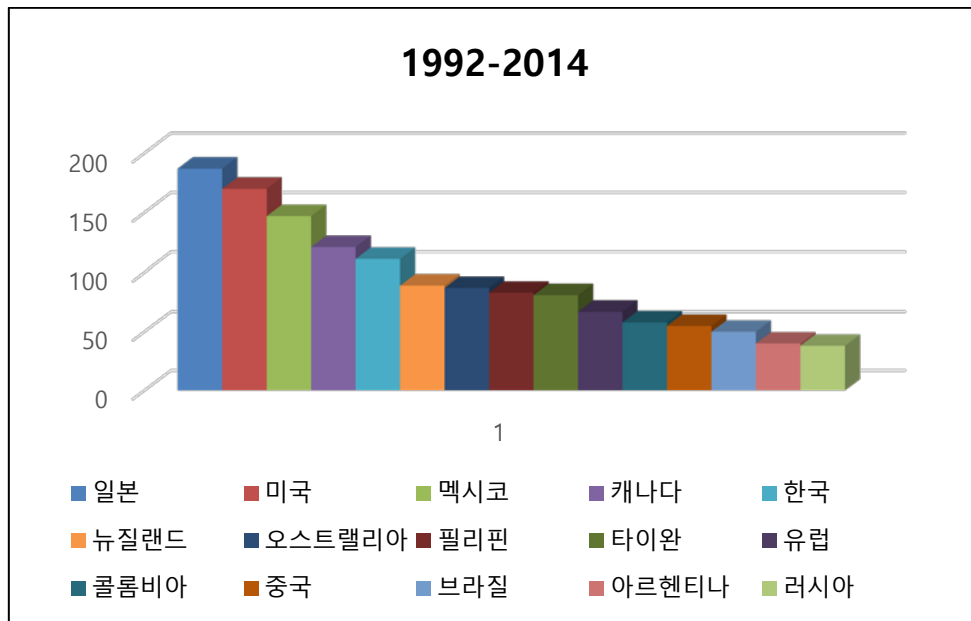


그림 1. 유전자 변형을 통해 생산된 작물의 가공품을 인정하는 전세계 각국의 10년간 상위 15위 순위

우리가 지난 25년간 유전자 변형을 통해서 만들어진 작물로 법적인 승낙을 받고 생산에 이용되는 작물들을 보면 대부분 7가지의 형질변환에 관련된 것이다(해충저항성, 제초제저항성, 생산성 향상, 수확증대, 병저항성, 염분저항성, pollination control-수분조절). 주로 이용된 작물들을 보면 아래 상자 1과 같다[26].

## 상자 1. 유전자 변형이 많이 이용된 작물의 순위

1. 옥수수 (Maize)
2. 면화 (Cotton)
3. 감자 (Potato)
4. 캐놀라 (Canola)
5. 콩 (Soybean)
6. 토마토 (Tomato)
7. 벼 (Rice)
8. 알팔파 (Alfalfa)
9. 치코리 (Chicory)
10. 파파야 (Papaya)
11. 사탕무 (Sugar beet)
12. 사탕수수 (Sugarcane)
13. 멜론 (Melon)
14. 포플러 (Poplar)
15. 스쿼시 (Squash)
16. 담배 (Tobacco)
17. 사과 (Apple)
18. 가지 (Eggplant)
19. 페투니아 (Petunia)
20. 자두 (Plum)
21. 잔디 (Creeping Bentgrass)
22. 고추 (Sweet Pepper)
23. 밀 (Wheat)

### 2.2.1 시스제네시스(Cisgenesis)와 인트라제네시스(Intragenesis)

현재까지 우리는 트랜스제네시스(Transgenensis) 즉 외래유전자를 이용하여 형질전환을 시키는 기술, 이 방법을 통해서 수많은 유전자 변형 작물들을 개발해 왔다. 하지만 이러한 GM 작물들이 인위적으로 삽입된 외래 유전자들을 가지고 있기 때문에 환경과 건강 안전성에 대한 논란이 끊임없이 제기되었다. 그 이유는 이런 다른 종에서 유래된 유전자 들은 절대적으로 자연적인 상태에서는 교배를 통해서 올 수가 없다는 것이다[17]. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 탄생한 기술이 시스제네시스 또는 시스제닉이다[18, 19]. 시스제닉 작물은 한 개 또는 여러 개의 유전자가 같은 동종간에 서로 바꾸어서 만들어진 것으로 최종 산물에 어떠한 다른 외래 유전자의 삽입 없이 자연교배에 의해서 유전자가 바뀌는 것과 결과적으로 비슷하다[20].

인트라제네시스는 시스제닉과는 비슷하지만 단지 동종이 아닌 자연교배가 서로 일어날 수 없는 유사한 종간에 유전자를 유전공학 기법으로 바꾸어 주는 것이다. 예를 들어 고추와 토마토는 같은 종은 아니지만 유사한 종으로 자연상태에서 서로 교배가 될 수가 없지만 인트라제네시스를

통해서 고추의 유전자와 토마토의 유전자를 서로 바꾸어 줄 수가 있다. 이러한 기술 또한 어떤 항생제 표지 마커나 외래 유전자와 관련 없이 유전자 변형 및 재조합 작물을 만들 수 있기 때문에 좀 더 대중과 소비자가 쉽게 받아 들일 수 있다는 장점이 있다.

### 2.2.2 유전자 가위를 이용한 유전체 교정

유전자 가위 기술로 하는 유전체 교정은 일명 크리스퍼(CRISPR)라고도 불리는데 최근 가장 전세계적으로 주목을 받고 유전자 변형작물 기술을 대체할 수 있는 새로운 유전공학의 기술로 인정받고 있다[21]. 크리스퍼에 사용되는 유전자 가위 절단효소는 일명 Cas9이라 불리는데 가이드 RNA (gRNA)를 이용하여 정확하게 원하는 목표유전자를 찾아 교정시키는 역할을 해주는데 이 과정은 매우 간단하고도 원하는 유전자의 20개의 염기서열만 이용해서 유전체 교정 키트를 만들면 된다[22, 23]. 이 기술을 통해서 자연적인 교배를 통해 원하는 유전자의 교환을 통해서 형질전환을 하는 것처럼 더욱 정교하고 빠르고 간편하게 우리가 원하는 형질을 바꿀 수 있게 되었다.

최근 유전자 가위기술을 이용하여 새로운 작물 개발을 하는 연구가 활발하게 이루어지고 있으면 한국에서도 서울대와 기초과학연구원의 연구로 DNA-free 기술을 이용해서 유전자 교정 상추를 성공적으로 개발하였다[24]. 미국에서는 최근 펜실베니아 주립대의 Yang 박사팀이 갈변 현상을 일으키지 않는 양송이 버섯을 개발하여 처음으로 미국 농무성으로부터 non-GMO가 아닌 유전자 교정 작물로 인정을 받아서 상업적으로 재배하고 있다[25].

현재 미국과 이스라엘에서는 유전자 가위기술을 이용해서 개발한 작물을 GMO 규제에 적용시키지 않고 있다. 하지만 아직 많은 나라에서 이 기술로 이용해 만든 작물을 GM 작물과 같은 규제에 적용하고 있고 향후 이러한 작물들을 어떻게 규제를 할 것인지에 대해선 국제적인 논의가 폭넓게 이루어지고 있고 가까운 미래에 어떠한 형식의 가이드 라인이 설정될 것으로 기대된다.

### 2.3 GMO 규제와 식품의 안정성에 대한 전망

지금까지 알려지고 연구된 바에 의하면 유전자 변형 작물에 의해서 생산된 식품들이 다른 식품들에 비해 더 위험하다는 결과가 보고되지 않았고 또한 그러한 근거를 찾기가 어렵다[26, 27]. 수십 년 동안 전세계의 수많은 사람들이 직접적으로 또는 가공품을 통한 간접적으로 유전자 변형 식품을 섭취하였고 그 어떠한 부작용의 예도 발견되지 않았다. 또한 많은 연구적인 결과도 어떠한 특별한 건강상의 문제를 일으키지 않는다는 뒷받침한다. 최근 미국 과학진흥협회(American Association for the Advancement of Science, AAAS)는 분자유전학 기술을 이용한 유전자 변형작물들이 안전하다는 사실이 과학적으로 꽤 명백해 보인다고 발표를 하였다[27, 28]. 사실 우리 인간들은 오랫동안 식물의 육종을 통해서 자연상태에서 없던 새로운 품종의 작물을 만들었고 그러한 일련의 과정들은 자연적인 교배를 통해서 유전자가 서로 동종간 바뀌어져 기존에 없는 새로운 형질을 만드는 과정이며 그러한 반복적인 과정을 통해서 현재 우리가 재배하는 많은 작물들이 탄생하게 된 것이다. 그래서 이러한 사실적인 과학적 근거에 의거해서 많은 과학자들은 식품안전에서 유전공학 기술을 이용하여 유전자를 바꾸고 새로운 품종을 만드는 것이 전통적인 그

어떠한 육종의 방법보다 달리 특별하게 위험한 것이 없다는 의견을 제시한다[29].

거의 대다수의 연구자들은 유전자 변형 작물은 인간 건강에 해를 끼치지 않으며 오히려 수많은 사람들이 식량부족으로 인한 5초에 한 명씩 죽는 아사로부터 인류를 구할 수 있는 유일한 방법이라고 말한다. 현재까지 유전자 변형 및 재조합 작물과 식품에 대한 끊임없는 토론과 논쟁이 있지만 유전자 변형 가공식품을 단순하게 자연적이지 않은 것은 나쁘다는 생각하는 인식에 대한 변화가 필요하고 anti-GM 그룹들이 제기하는 잠재적인 위험성과 유해성에 대해선 앞으로 더욱 자세한 올바르게 과학적인 연구분석이 필요하고 대중에게 자세하게 설명하고 이해 시키려는 노력이 중요하다.

국제연합식량농업기구(The United Nations Food and Agriculture Organization)는 2050년까지 세계인구는 증가하여 지금보다 약 70% 이상 식량증진이 필요하다고 하였다. 현재도 세계는 5초에 한 명씩 기아로 사망하고 또한 전세계 이상기온현상과 기후변화로 작물을 경작할 수 있는 조건이 더욱더 어려워지고 경작지 또한 감소하고 있다. 하지만 유전자 변형 작물이나 또한 다른 유전공학의 신기술 즉 유전자 교정을 통한 작물개량은 가뭄과 염도가 높은 토양에서 재배 경작하여 생산량을 증대할 수 있으며 고온 저온의 상태에서도 내성을 가진 작물을 만들어낼 수가 있다[30].

이러한 노력에도 불구하고 많은 나라가 유전자 변형을 통해 만든 작물과 식품에 대해 강경하게 규제하고 있는 것이 현실이다. 현재 미국에서 재배되는 거의 모든 옥수수과 콩은 유전자 변형으로 만든 작물이다. 일부 유럽국가들은 이러한 작물의 수입을 금지하였고 또한 많은 아시아의 나라들도 정부에서 이러한 유전자 변형 작물들의 수입을 금지하고 있다. 심지어는 아프리카에서는 기아로 굶어 죽는 인구가 늘어나는데도 일부 아프리카 국가들은 GM 작물들의 수입을 금지하고 있다. 예를 들어 비타민 A 결핍으로 아프리카에서는 한해 100만 명 이상이 죽고 있으면 개발도상국에서는 50만 명 정도가 시력을 잃고 있다. 이런 상황에서도 유전자 변형으로 만들어 비타민 A를 향상시킨 Golden Rice를 재배하도록 허용한 국가는 하나도 없다.

현재 전세계 90%의 GM 작물들이 재배되는 곳은 미국, 캐나다, 브라질과 아르헨티나이다. 미국에서는 점점 유전자 변형의 작물, 식품에 대한 규제를 강화하는 추세이고 최소 20개 주에서 모든 식품과 가공품에 GM 작물의 표시를 의무화하는 법안을 통과시키고자 하고 있다[29].

유전자 변형 및 재조합 등 이러한 기술로 만들어진 작물에 대해서 매우 까다로운 규제를 하고 있는 유럽의 경우에 모든 GM 푸드가 과학적으로 완전하게 안정성이 증명될 때까지 GM 작물 생산을 금지해야 한다는 주장도 있다. 하지만 연구자들은 어떠한 식품도 의학적으로 완전하게 안전하다라는 그러한 실험적인 증명을 보일 수 없다는 점을 명시하고 있다. 우리는 유전자 변형 및 재조합 등 여러 다른 기술로 만든 작물과 식품에 편견과 가식을 가지고 대할 것이 아니라 좀더 냉철하고 과학적으로 문제점과 이로온 점을 같이 찾아볼 수 있는 현명함을 갖는 것이 중요할 것이다. 사실 많은 과학자들은 유전자 재조합의 작물에 대한 시선과 관점이 과학적인 것에서부터가 아닌 어떠한 정치적인 관념을 가지고 시작한 단체나 조합에서부터 비롯되었다는 의견을 제시하기도 한다.

### 3. 결론 및 맺는말

약 30년 전부터 시작된 유전자 변형, 재조합 기술 및 작물의 생산은 전세계에 식품과 작물의 향상에 새로운 혁신을 가져다 주었다. 농업과학의 기술은 더욱 진보하여 최근에는 더 이상 전통적인 GM 기술이 아닌 새로운 유전공학의 기법을 사용한 Genetic Engineering (GE) 작물의 생산이 가능하게 되었다. 앞으로는 많은 작물들을 더 이상 GM이 아닌 GE 작물과 식품이라 불러야 할 것으로 기대된다. 유전자 재조합 및 교정을 통해 만들어진 작물에 대한 대중적인 편견과 여러 과학적이지 않은 비합리적인 규제 또한 해결해야 할 중요한 문제이다. 특히 유전자 교정의 방법은 특정 유전자의 일부 부위를 자연적으로 존재하는 같은 종의 유전자와 똑같은 형태로 교정하기 때문에 전혀 어떠한 다른 외래 유전자의 삽입이 없어서 전통적인 자연교배를 통해서 생산되는 작물의 최종 생산물에서 결국 차이가 없다. 그렇기 때문에 이런 쉽고도 간단한 유전자 가위 CRISPR를 이용한 유전체 교정작물들은 앞으로 우리에게 더욱 더 많이 다가올 것으로 기대된다. 가장 분명한 것은 최근 전세계적으로 문제가 되는 기후변화, 식량부족, 환경오염 등에 맞추어 이루어져야 할 작물개발과 생산들이 기존의 전통육종 방법으로는 절대적으로 이루어질 수 없다는 점이다. 최근 생명공학, 유전공학, 분자유종 기술들과 기존의 작물육종에의 접목이 우리가 안고 있는 식량자원 문제들을 해결해 줄 수 있고 앞으로의 미래세대에게 더욱 중요한 자산이 될 것으로 본다.

### 4. 참고문헌

- [1] Schaart, J.G., et al., Opportunities for Products of New Plant Breeding Techniques. Trends in Plant Science, 2016. 21(5): p. 438-449.
- [2] Moose, S.P. and R.H. Mumm, Molecular plant breeding as the foundation for 21st century crop improvement. Plant Physiol, 2008. 147(3): p. 969-77.
- [3] Barton, K.A., et al., Regeneration of intact tobacco plants containing full length copies of genetically engineered T-DNA, and transmission of T-DNA to R1 progeny. Cell, 1983. 32(4): p. 1033-43.
- [4] Bevan, M.W., R.B. Flavell, and M.D. Chilton, A chimaeric antibiotic resistance gene as a selectable marker for plant cell transformation. 1983. Biotechnology, 1992. 24: p. 367-70.
- [5] Fraley, R.T., et al., Expression of bacterial genes in plant cells. Proc Natl Acad Sci U S A, 1983. 80(15): p. 4803-7.
- [6] Murai, N., et al., Phaseolin gene from bean is expressed after transfer to sunflower via tumor-inducing plasmid vectors. Science, 1983. 222(4623): p. 476-82.
- [7] Funke, T., et al., Molecular basis for the herbicide resistance of Roundup Ready crops. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006. 103(35): p. 13010-13015.
- [8] Wiedemar, N., et al., Independent Polled Mutations Leading to Complex Gene Expression Differences in Cattle. PLoS ONE, 2014. 9(3): p. e93435.

- [9] The Aquaculture Genomics, G., et al., Aquaculture genomics, genetics and breeding in the United States: current status, challenges, and priorities for future research. *BMC Genomics*, 2017. 18: p. 191.
- [10] Bawa, A.S. and K.R. Anilakumar, Genetically modified foods: safety, risks and public concerns—a review. *Journal of Food Science and Technology*, 2013. 50(6): p. 1035-1046.
- [11] Khatodia, S., et al., The CRISPR/Cas Genome-Editing Tool: Application in Improvement of Crops. *Frontiers in Plant Science*, 2016. 7: p. 506.
- [12] Noman, A., M. Aqeel, and S. He, CRISPR-Cas9: Tool for Qualitative and Quantitative Plant Genome Editing. *Frontiers in Plant Science*, 2016. 7: p. 1740.
- [13] Aldemita, R.R., et al., Trends in global approvals of biotech crops (1992–2014). *GM Crops & Food*, 2015. 6(3): p. 150-166.
- [14] Benbrook, C.M., Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe*, 2016. 28(1): p. 3.
- [15] Beyer, P., et al., Golden Rice: introducing the beta-carotene biosynthesis pathway into rice endosperm by genetic engineering to defeat vitamin A deficiency. *J Nutr*, 2002. 132(3): p. 506s-510s.
- [16] Elitzur, T., et al., Banana MaMADS Transcription Factors Are Necessary for Fruit Ripening and Molecular Tools to Promote Shelf-Life and Food Security. *Plant Physiology*, 2016. 171(1): p. 380-391.
- [17] Lassen, J., K.H. Madsen, and P. Sandøe, Ethics and genetic engineering – lessons to be learned from GM foods. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 2002. 24(5): p. 263-271.
- [18] Schouten, H.J. and E. Jacobsen, Cisgenesis and intragenesis, sisters in innovative plant breeding. *Trends Plant Sci*, 2008. 13(6): p. 260-1; author reply 261-3.
- [19] Varshney, R.K., et al., Agricultural biotechnology for crop improvement in a variable climate: hope or hype? *Trends Plant Sci*, 2011. 16(7): p. 363-71.
- [20] Molesini, B., Y. Pii, and T. Pandolfini, Fruit improvement using intragenesis and artificial microRNA. *Trends Biotechnol*, 2012. 30(2): p. 80-8.
- [21] Bortesi, L. and R. Fischer, The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing and beyond. *Biotechnol Adv*, 2015. 33(1): p. 41-52.
- [22] Sander, J.D. and J.K. Joung, CRISPR-Cas systems for editing, regulating and targeting genomes. *Nat Biotech*, 2014. 32(4): p. 347-355.
- [23] Schaeffer, S.M. and P.A. Nakata, CRISPR/Cas9-mediated genome editing and gene replacement in plants: Transitioning from lab to field. *Plant Sci*, 2015. 240: p. 130-42.
- [24] Woo, J.W., et al., DNA-free genome editing in plants with preassembled CRISPR-Cas9 ribonucleoproteins. *Nat Biotechnol*, 2015. 33(11): p. 1162-4.
- [25] Waltz, E., Gene-edited CRISPR mushroom escapes US regulation. *Nature*, 2016. 532(7599): p. 293.
- [26] Nicolia, A., et al., An overview of the last 10 years of genetically engineered crop safety research. *Crit Rev Biotechnol*, 2014. 34(1): p. 77-88.
- [27] Strauss, S.H. and J.K. Sax, Ending event-based regulation of GMO crops. *Nat Biotechnol*, 2016. 34(5): p. 474-7.

- [28] Wunderlich, S. and K.A. Gatto, Consumer perception of genetically modified organisms and sources of information. *Adv Nutr*, 2015. 6(6): p. 842-51.
- [29] Yang, Y.T. and B. Chen, Governing GMOs in the USA: science, law and public health. *J Sci Food Agric*, 2016. 96(6): p. 1851-5.
- [30] Sovova, T., et al., Genome Editing with Engineered Nucleases in Economically Important Animals and Plants: State of the Art in the Research Pipeline. *Curr Issues Mol Biol*, 2017. 21: p. 41-62.

The views and opinions expressed by its writers do not necessarily reflect those of the Biological Research Information Center.

이성희(2017). 세계 속의 GMO 작물의 위치와 전망. BRIC View 2017-T26  
Available from <http://www.ibric.org/myboard/read.php?Board=report&id=2774> (Jun 27, 2017)

Email: [member@ibric.org](mailto:member@ibric.org)

※ 본 콘텐츠는 **invitrogen** **applied biosystems** 의 후원으로 작성되었습니다.