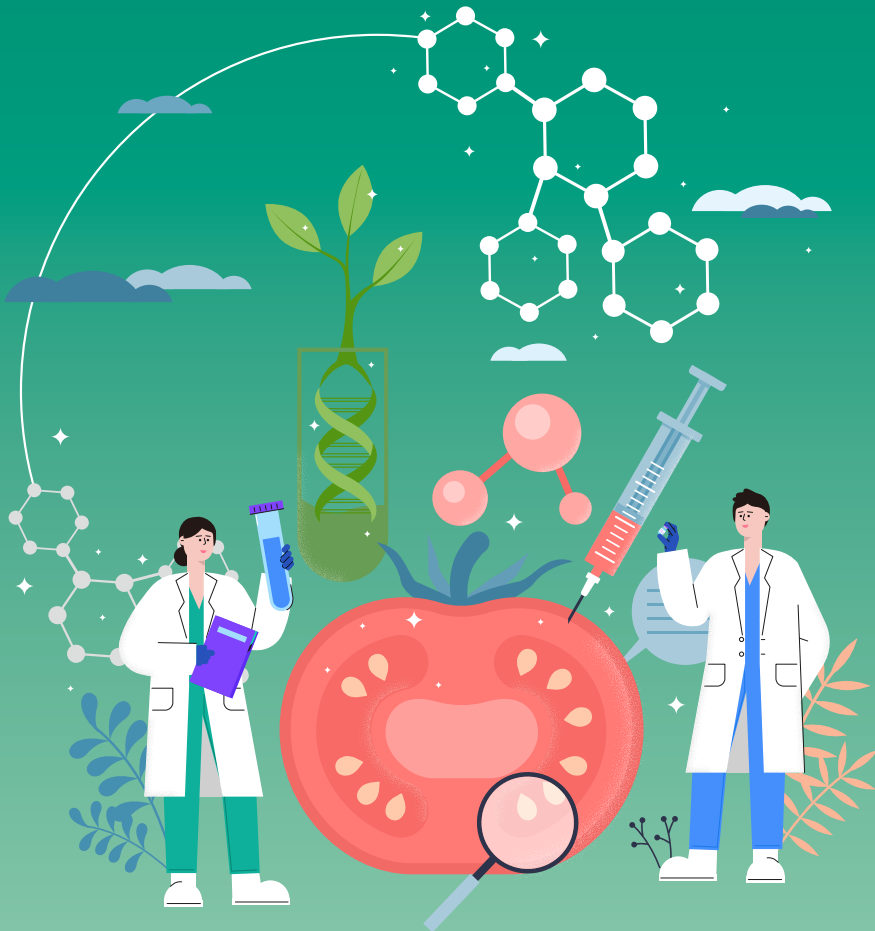


유전체 교정 작물 식량안보의 대안이 될 수 있을까?



펴낸곳

한국과학기술한림원

031)726-7900

펴낸이

유 욱 준

발행일

2022년 12월

홈페이지

www.kast.or.kr

기획·편집

배승철 한국과학기술한림원 정책연구팀 팀장

조은영 한국과학기술한림원 정책연구팀 주임

백서연 한국과학기술한림원 정책연구팀 주임

컨텐츠

김준래 과학기술분야 전문 작가

디자인·인쇄

경성문화사

02)786-2999

이 보고서는 복권기금 및 과학기술진흥기금의 지원을 통해 제작되었으며,
모든 저작권은 한국과학기술한림원에 있습니다.

발간사

한국과학기술한림원에서 발간하고 있는 정책제안서인 차세대리포트는 우수한 젊은 과학기술인 그룹인 ‘한국차세대과학기술한림원(Young Korean Academy of Science and Technology, Y-KAST)’ 회원들의 목소리를 담아오고 있다.

2018년 ‘영아카데미, 한국과학의 더 나은 미래를 위한 엔진’을 주제로 차세대리포트 발간을 추진하던 당시 ‘Y-KAST라는 이름으로 모인 젊은 과학기술인들은 어떤 목적을 가지고, 어떤 일을 해나가야 하는지’에 대한 설문 조사와 소규모 인터뷰를 진행한 바 있다. 그 결과는 매우 인상적이었다. 이들은 성별, 전공 분야에 상관없이 ‘Y-KAST는 다음 세대 과학자들을 위해 기여해야 하며, 정부와 젊은 연구자들 사이의 통로로 기능해야 한다.’라고 목소리를 내었던 것이다.

발간 5년 차에 접어든 올해의 차세대리포트 역시 Y-KAST 회원들이 강조한 두 가지 역할 수행을 위한 작은 발판이 될 수 있기를 바라며 발간을 추진하였다. 이를 위해서 우선 주요 과학기술의 연구개발 동향과 이슈, 그리고 해당 분야에서 우리나라가 선도적 역할을 수행하기 위해 필요한 정책적 지원 방향을 살펴보았으며, 나아가 이공계 인재들뿐만 아니라 국민들에게 도움이 될 수 있는 생생한 정보를 전달하고자 하였다.

흔히들 과학의 발전을 ‘양날의 검’으로 비유한다. 과학기술이 발전하면 할수록 인간의 생활은 풍요로워 지지만 그에 따른 부작용도 만만치 않기 때문이다. 유전체 교정 기술이 바로 그런 경우다. 혈우병이나 조로증 같은 유전병은 얼마 전까지만 해도 불치병으로 통했다. 하지만 유전체 교정 기술이 등장하면서 이들 병을 앓고 있는 환자들은 나을 수 있다는 희망을 가질 수 있게 되었다. 반면에 생각지도 못한 부작용이 나타날 수도 있다는 우려 때문에 상용화가 더딘 것도 사실이다.

이에 국내 생명공학 분야 전문가들이 바라보는 유전체 교정 기술의 현황과 미래를 분석하고 예측해 보는 보고서를 마련했다. 가치중립적으로, 오로지 기술의 현황과 미래에 발생할 수 있는 가능성에만 중점을 둔 이번 차세대리포트가 정책적인 참고서뿐만 아니라 유전체 교정 분야에 관심이 있는 국민들에게 입문서 역할을 할 수 있기를 기대해 본다.

2022년 12월
한국과학기술한림원 원장
유 욱 준

함께해주신 분들



권순경 경상국립대학교 생명과학부 교수

미생물 유전체 및 오픈스·마이크로바이옴 연구를 기반으로 자연과 인체 등 다양한 환경에 서식하는 미생물의 유전체 해독 및 분석을 수행하고 있다. 또한 토양 속 미생물 군집 연구를 통해 식물병 방제에 효과가 있는 미생물 유전체 분석을 수행한 바 있다. 마이크로바이옴 분석을 통해 병에 저항성을 가진 식물이 병원균에 대항하기 위해 미생물을 이용한다는 것을 증명했고 이와 관련된 기작 연구를 수행 중이다.



정춘균 서울대학교 국제농업기술대학원 교수

기후 변화에 대응하기 위해 작물의 환경 스트레스 저항성 관련 유전자 기능 연구를 수행 중이다. 특히 전통 육종기술의 한계를 보완할 수 있는 유전체 교정 기술을 이용하여 가뭄 저항성 벼를 개발하고 있다. 또한 가뭄과 고염, 그리고 저온과 같은 환경 스트레스에 의해 발현되는 벼의 긴 비암호화 RNA에 대한 기능 연구와 인간 세포주에서 개발된 최신 염기교정 및 프라임교정 기술을 작물에 적용할 수 있도록 최적화 연구를 수행 중이다.



김상규 KAIST 생명과학과 교수

분자 생물학을 기반으로 식물 생태를 연구하고 있다. 식물의 꽃이 곤충을 유인하는 과정이나 곤충과 식물 간 상호작용, 예를 들면 콩을 먹는 노린재와 콩과의 상호작용 등을 연구하고 있다. 자연에서 발견한 질문에 답하기 위해 비모델 식물의 유전체 교정 기술을 개발하고, 물질 분석, 유전체 시퀀싱, 단일 세포 RNA 시퀀싱, AI 등을 활용하여 연구하고 있다.



변상균 연세대학교 생명공학과 교수

질병 예방 및 치료에 도움이 되는 기능성 식품을 연구하고 있다. 생리활성을 보이는 식품 및 천연물 소재를 새롭게 발굴하면서 어떻게 이러한 효능이 나타나는지에 대한 작용기전까지 함께 규명하고 있다. 또한 식품 가공 과정 중에 생리활성이 최대화될 수 있는 가공 조건에 대한 연구를 바탕으로 개인 맞춤형 건강기능식품 및 헬스케어 시스템 개발에 기여하고 있다.



최윤상 한국식품연구원 식품융합인프라팀 책임연구원

식량주권 확보를 위한 푸드테크 기술 중에서 대체 단백질 확보 기술을 연구하고 있다. 특히 단백질 자원의 확보를 위한 신규 단백질 공급원을 확보하는 연구를 수행 중이다. 또한 식량안보를 위한 지속가능한 연구로서 탄소 소비를 저감화할 수 있는 단백질 급원의 활용도를 높일 수 있는 고부가가치 가공기술 연구를 수행하고 있다.

CONTENTS

들어가기	04
------	----

I. 기후변화와 식량안보 이슈, 그리고 유전체 교정 작물 개발의 현황

① 기후변화와 전쟁, 그리고 팬데믹 등에 의한 식량 부족 문제	06
② 농업 분야의 유전체 교정 기술 현황	08

II. 용도별 유전체 교정 작물 사례

① 건강 기능성 강화 작물	11
② 병에 대한 저항성 증진 작물	13
③ 제초제에 대한 저항성 증진 작물	14
④ 수확량 증대 작물	14

III. 유전체 교정 작물의 미래

① 생산성 및 상품성을 높이기 위한 작물 개발 전망	17
② 건강 기능성을 강화하기 위한 작물 개발 전망	17
③ 맞춤형 헬스케어를 위한 작물 개발 전망	19

IV. 유전체 교정 기술의 특징과 이슈

① 육종에 대한 설명과 유전체 교정(GE) 기술과의 차이	21
② GM 기술의 개요 및 GE 기술과의 차이점	22
③ 학계 및 시민단체들의 안전성 및 정책에 대한 견해	25

맺음말	27
-----	----

들어가기



팬데믹과 전쟁, 그리고 기후변화라는 '삼중고(三重苦)'가 전 세계에 불어 닥치면서 현재 지구상의 모든 국가들이 식량 확보에 사활을 걸고 있다.

코로나19가 불러온 글로벌 유통 대란과 폭염 및 태풍 같은 기상이변이 가져온 곡물 수확량 감소, 그리고 러시아와 우크라이나 간 전쟁으로 인한 곡물 수출 금지 조치 등이 연이어 벌어지면서 인류는 이전에 미처 겪어보지 못한 복합적 식량 위기 문제에 직면해 있는 상황이다. 실제로 국제연합(UN) 산하기구인 세계식량계획(WFP)의 조사에 따르면 전 세계의 식량 위기 문제는 전례가 없는 수준까지 치솟은 것으로 나타났다.

식량 공급 불안정을 심각하게 겪고 있는 사람들이 얼마나 되는지를 파악하기 위한 기준으로 보통 'AFI(Acute Food Insecurity)'라는 개념을 사용한다. AFI는 적절한 식량 공급이 없으면, 생명이나 생계가 즉각적인 위협에 빠지는 상태를 뜻하는데 그 숫자가 최소 2억 7,600만 명에 이른다는 것이 WFP의 조사 결과다. 코로나19 팬데믹이 발생하기 전인 2019년에는 AFI 숫자가 1억 3,500만 명 수준이었으나, 불과 3년 만에 2배 이상으로 증가한 것으로 파악됐다. 또한 WFP는 전 세계 43개국 4,900만 명 정도의 사람들이 기아 상태 직전에 몰려 있다는 조사 결과도 밝혀낸 바 있다.

이처럼 전 세계가 식량 부족 문제로 고통을 겪고 있고, 앞으로도 많은 고통을 겪을 것으로 전망되고 있다 보니 국가들 대부분이 자국민에게 안정적으로 식량을 제공하는 방안을 정책의 우선순위로 삼고 있다. 식량이 단순한 먹거리가 아니라, 안보 차원의 이슈가 된 것이다. 이른바 '식량안보'의 개념이다.

식량안보의 사전적 개념은 재해나 재난, 또는 전쟁 등이 발생할 때를 대비하여 일정한 양의 식량을 항상 확보하여 유지하는 것을 말한다. 천재지변에 해당하는 각종 재난이나 전쟁과 같은 특수한 상황에서도 항상 국민들이 일정한 수준의 식량을 소비할 수 있도록 적절한 양과 품질을 유지하는 것이다.

문제는 식량 공급보다 이를 소비하는 사람들의 숫자가 월등히 많다 보니 기존의 전통적인 농업 및 축산 시스템으로는 적절한 양의 식량을 제공하기가 어려워지고 있다는



점이다. 이 같은 문제를 해결하기 위해 등장한 것이 바로 유전체를 변형시켜 생산성을 높이거나 각종 스트레스에 대한 저항성을 높인 ‘GM(Genetically Modified) 작물’이다. 서로 다른 좋은 형질을 가지고 있는 작물을 선택하고 교배해서 중간 단계의 개체를 만드는 육종기술이 ‘녹색혁명’의 시작을 알렸다면, 유전체를 변형시켜 새로운 개체를 만드는 GM 기술은 ‘제2의 녹색혁명’을 일으키기에 충분한 잠재력을 갖고 있다.

하지만 유전체를 변형한 작물의 보급은 생각만큼 널리 확산되지 못하고 있다. 안전성에 있어 의문이 남아있기 때문이다. 지금도 북미나 남미에서는 GM 작물을 생산하여 수출까지 하고 있지만, 유럽 등지에서는 안전성을 우려하여 GM 작물을 원료로 사용하는 것을 철저히 금지하고 있는 상황이다.

이 같은 제약조건 때문에 GM 기술 활용이 주춤하고 있지만, 작물 생산량을 획기적으로 늘릴 수 있는 유전체 변형 기술은 인류에게 있어 너무나도 매력적인 기술일 수밖에 없다. 그래서 등장한 기술이 바로 유전체를 교정하는 GE(Genetically Edited)다. 외부에서 받은 유전체를 이용하여 작물을 변형하는 것이 아니라 자체 유전체를 교정하여 작물을 교정하는 기술로 GE 작물을 개발하여 GM 기술에 쏠린 우려를 해소해 나가고 있다.

유전체를 변형하는 것이 아니라 교정하는 기술은 완고한 유럽의 시각도 바뀌 놓고 있다. 당장 영국을 포함한 일부 국가는 GE 기술에 대한 규제 완화에 시동을 건 상황이다. 영국의 경우 유전체를 교정한 동·식물의 사육 및 재배를 허용하는 법안을 지난 5월 의회에 제출한 바 있다.

미래의 식량 공급 정책은 기후변화나 팬데믹 같은 상황에서도 자원을 보존하면서 농업 생산성을 높일 새로운 기술이 뒷받침 되어야 한다. 따라서 이번 차세대 리포트에서는 전 세계 식량 부족 문제를 해결할 수 있는 대안으로 떠오르고 있는 유전체 교정 기술의 최신 동향을 담았다. 그리고 이를 통해 우리나라의 식량안보에도 적용할 수 있는 방법을 담고자 노력했다.

I

기후변화와 식량안보 이슈, 그리고 유전체 교정 작물 개발의 현황



1 기후변화와 전쟁, 그리고 팬데믹 등에 의한 식량 부족 문제

‘안토니우 구테흐스(Antonio Guterres)’ UN 사무총장은 최근 인터뷰를 통해 “러시아와 전쟁을 벌이고 있는 우크라이나의 식량 수출이 전쟁 이전 수준으로 회복되지 않는다면, 식량 부족 문제를 겪고 있는 일부 국가들은 당면한 위기를 이겨낼 효과적인 방법이 없다는 것을 전 세계가 알아야 한다”라고 경고한 바 있다. 굳이 UN 사무총장의 인터뷰를 인용하지 않더라도 현재의 국제 정세에 조금이라도 관심이 있는 사람이라면 식량 부족 문제가 심상치 않음을 느낄 수 있을 것이다. 기상이변이라는 자연환경의 변화로 말미암아 이미 전 세계가 식량 확보에 비상이 걸려 있는 상황에서 코로나19 팬데믹과 러시아-우크라이나 전쟁은 식량 부족 문제를 더욱 악화시키고 있다.

지구의 평균 기온이 올라갈수록 식량 확보를 위해 들어가는 비용이 기하급수적으로 늘어난다는 사실은 이미 상식이 된 지 오래다. 기온이 1℃ 정도 상승하면 식량 생산량은 3~7%나 감소하기 때문에 기존과 같은 규모의 식량을 생산하려면 더 큰 비용이 필요해지는 것이다. 작물은 기온이 올라가면 성장 속도가 더 빨라지게 되는데, 수확량을 늘려야 하는 사람의 입장에서 보면 바람직한 현상이 아니다. 열매를 키우는데 필요한 에너지가 다른 용도로 사용되고, 작물이 받는 스트레스 또한 증가하기 때문이다. 따라서 작물이 자라는 데 있어 온도가 올라가는 환경 변화는 전반적으로 수확량이 줄어드는 결과를 가져올 가능성이 높다.

또한 기온이 올라가서 해수면이 상승하게 되면 비옥한 삼각주 지대의 토양 속 염분의 증가로 쌀 생산량이 감소할 가능성도 높아지게 된다. 토양 속 염분이 늘어나게 되면 삼투압의 증가로 식물이 양분 흡수를 하지 못하고 수분을 토양에 빼앗겨 결과적으로 미처 자라지도 못한 채 죽어버릴 확률이 높아지게 되는 것이다. 실제로 세계 최대 곡물 수출국 중 하나인 미국의 경우, 가뭄으로 곡물 생산이 최대 40%나 감소한 사례가 있다.

기상이변 외에 코로나19 확산 및 러시아와 우크라이나 간 전쟁도 국제 곡물가를 급등시키고 있는 원인이 되고 있다. 코로나19로 인해 발생한 경기침체를 회복하기 위해 대량으로 발행된 돈이 물가 인상을 부채질하고 있고, 전쟁으로 인한 우크라이나의 곡물 수출 중지 조치가 결과적으로 식량 확보에 있어 커다란 문제를 야기하고 있다.

이처럼 식량 확보를 둘러싼 국제 정세가 복잡해지고 있는 상황에서 우리나라도 앞으로 다가올 진짜 위기에 대비해야 한다는 것이 전문가들의 의견이다. 아직은 우리나라의 식품 물가가 오르는 정도로 그치고 있지만, 식량의 80%를 해외에 의존하고 있는 국내 형편상 다른 나라의 농업 생산량이 크게 줄어들어 글로벌 식량 공급망 위기가 일어날 경우 상당한 영향을 받지 않을 수 없다.

다만 우리나라의 경우 쌀이 주식이기 때문에 쌀의 생산 기반을 지속적으로 현대화하고, ‘유전체 교정’과 같은 혁신적 기술 및 품종개량에 대한 투자가 꾸준히 이뤄진다면 충분히 대응이 가능할 것으로 전망되고 있다.



2 농업 분야의 유전체 교정 기술 현황

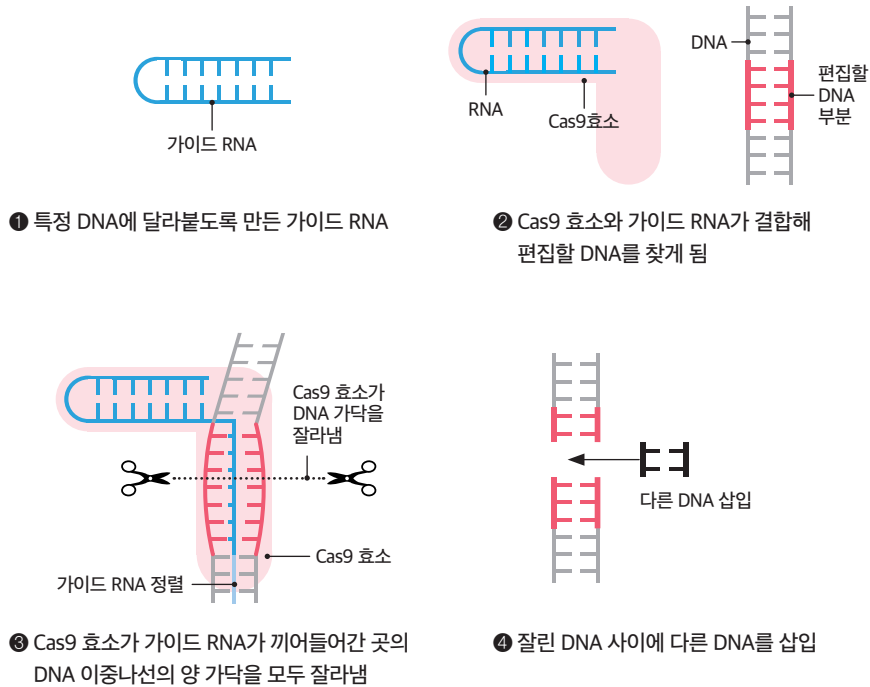
유전체 교정(genome editing)이란 인간 및 동·식물 세포의 유전체를 교정하는 데 사용되는 기술로서 ‘유전자 가위 기술’로도 불리며 유전체에서 특정 염기 서열을 인식한 후 해당 부위의 DNA를 정교하게 잘라내는 시스템을 말한다.

지금까지 개발된 유전자 가위로는 △1세대 징크핑거 뉴클레이즈(ZFNs·Zinc Finger Nucleases) △2세대 탈렌(TALENs·Transcription Activator-Like Effector Nucleases) △3세대 크리스퍼(CRISPR-Cas9)가 있다.

가장 최신 기술인 크리스퍼 유전체 가위는 인간이나 동·식물의 세포에서 특정 유전체가 있는 DNA를 잘라내는 효소로서, 교정하려는 DNA를 찾아내는 ‘가이드 RNA’와 DNA를 잘라내는 ‘Cas9 단백질’로 구성되어 있다. 크리스퍼(CRISPR-Cas9)기술을 이용하면 유전체를 잘라내고 새로 바꾸는 데 있어 최장 수년씩 걸리던 것을 며칠로 줄어든도록 만들 수 있고, 동시에 여러 부위의 유전체를 손볼 수도 있다. 이로 인해 유전자 가위는 의료 분야에서 에이즈나 혈액병 같은 각종 유전 질환을 치료할 수 있으며 농작물 품질 개량도 용이해서 GM 작물의 대안으로도 주목받고 있는 상황이다.



그림 1 크리스퍼(CRISPR-Cas9) 유전자 가위 기술 작용 모식도



출처 : 외신종합

특히 해외에서는 GE 기술을 활용한 다양한 연구가 시도되고 있는데 콜드스프링 하버연구소의 대표적 식물유전학자인 ‘자크 립먼(Zach Lippman)’ 박사는 자연적으로 발생하는 선별 육종에 대해 상당히 회의적이기 때문에 크리스퍼 가위를 활용한 유전체 교정 작물의 개발을 적극적으로 지지하고 있다. 그는 오래전부터 토마토를 연구해 왔는데, 몇 가지 돌연변이가 동시에 일어나야 토마토의 수확량을 늘릴 수 있음을 깨닫고 인위적인 기술이 적용되어야 토마토 농사가 성공할 수 있다는 사실을 강조하고 있다.

국내 연구자들도 유전자 가위를 활용한 기초 연구 부분에서는 괄목할만한 성과를 이룩하고 상용화에 이를 수 있는 잠재력을 축적하고 있으나, 아직 GE 기술이 도입된 농작물에 대해서는 시민단체를 중심으로 한 우려의 목소리 또한 높다.

GE 기술의 상용화를 반대하는 측의 핵심 문제는 △표적이탈 발생 가능성 △비의도적 적중 △삽입된 DNA의 잔류 가능성 등이다. ‘표적이탈 발생 가능성’은 처음 유전체를 교정할 때 목표로 삼지 않은 부위에서 유전자의 변화가 나타나는 것으로서, 그동안 GE의 대상이었던 쌀과 콩, 밀 같은 작물은 물론 소나 돼지 같은 가축에서도 발견된 것으로 알려져 있다.

또한 ‘비의도적 적중’이란 원하는 부위를 교정했음에도 유전적 오류가 발생하여 잘못된 단백질이 생성될 가능성을 의미하는 것이고, 삽입 DNA의 잔류 가능성은 유전체 교정 후 삽입된 DNA가 없어지지 않고 그대로 남게 될 가능성 등이 존재한다는 뜻이다. 설사 유전체를 추가하지 않더라도 교정과정에서 주변 유전체들에 영향을 줄 수 있으며, 안전성에 아무 문제가 없음을 입증하거나 반박할 근거가 없기 때문에 규제가 있어야 한다는 목소리를 높이고 있다.



II

용도별 유전체 교정 작물 사례



GE는 유전체의 특정 부위를 교정하여 원하는 형질만을 정확하게 개량할 수 있는 정밀육종(Precision breeding) 기술의 하나다. 인간이 개발한 기술이지만 자연적으로 발생하는 돌연변이를 이용한 전통육종과 차이가 없기 때문에 GM 작물의 안전성 문제를 해소할 수 있는 새로운 기술로 주목받고 있다. 작물 유전체를 교정하는 목적으로는 크게 △건강 기능성 강화 △병에 대한 저항성 증진 △제조제에 대한 저항성 증진 △작물 수확량 확대 등이 있다.



1 건강 기능성 강화 작물

지난해 일본의 바이오벤처기업인 ‘사나텍시드(Sanatech Seed)’는 크리스퍼 유전자 가위를 이용하여 세계 최초로 GE 토마토를 판매했다. 이 유전체 교정 토마토는 혈압상승을 억제하는 기능성 물질인 ‘가바(GABA)’의 함량이 일반 토마토보다 4~5배

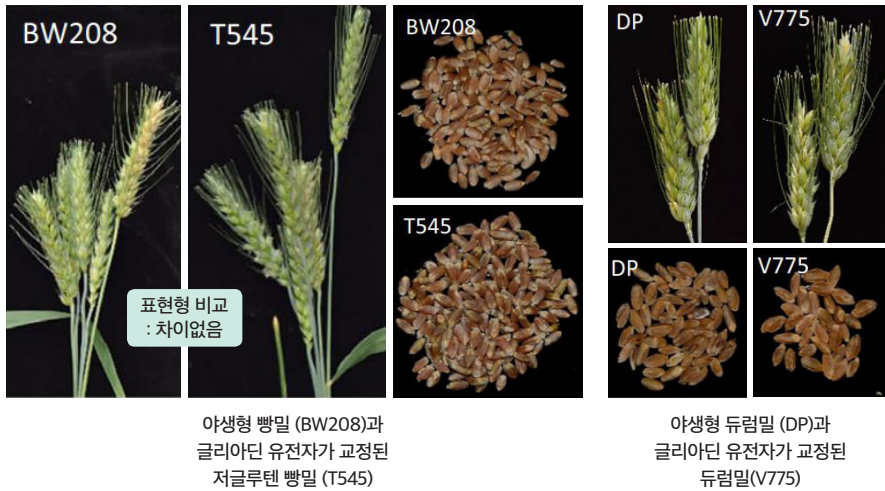
많은 것으로 알려졌다. 아미노산의 하나인 GABA는 뇌에서 신경세포가 과도하게 작동하는 것을 막아 수면을 촉진하고 스트레스와 불안을 줄여주는 기능성을 갖고 있다. GABA 생합성 효소의 말단에는 효소 활성을 자가 억제하는 부위가 있는데 GE 기술로 제거하여 토마토 열매의 GABA 함량을 최대 15배까지 증가시켰다는 것이 개발업체의 설명이다.

저트랜스 지방 콩은 지난 2019년 미국에서 상업화된 세계 최초의 유전체 교정 품종이다. 이들 콩에서 뽑은 고품질의 식용유는 기존의 콩 식용유보다 포화지방산이 훨씬 적고, 대신 건강에 좋은 올레익산(oleic acid)이 많은 것이 특징이다. 유전체 교정 콩의 가장 큰 장점은 튀길 때 트랜스지방산이 덜 형성되어 건강에 덜 해롭다는 것이다. 트랜스 지방은 높은 콜레스테롤과 심장병을 유발하는 성분으로 알려져 있는데, 올레익산이 풍부하게 들어간 콩으로 만든 식용유는 트랜스지방산이 거의 발생하지 않는다. 이러한 장점으로 인하여 전 세계 약 100조 원 정도로 추정되는 콩기름 시장에서 미국 칼리스트(Calyst)사가 개발한 유전체 교정 콩 ‘칼리노(Calyno)’는 지난 2020년을 기준으로 약 200억 원의 매출을 올렸다.

한때 카로티노이드 함량을 증가시킨 쌀이 개발됐다고 하여 세상을 떠들썩하게 만든 ‘황금쌀(Golden Rice)’은 비타민A 결핍을 해소하여 실명 방지와 건강 유지를 목적으로 카로티노이드 생합성 유전자를 선발 마커와 함께 과발현시킨 GM 작물 형태로 제작되었다. 하지만 선발 마커를 삽입하지 않고도 유전체 교정만을 통해 카로티노이드 생합성 유전자를 벼 염색체의 원하는 위치에 정확히 삽입하여 카로티노이드 함량을 증가시킨 작물을 개발함으로써 유전체 변형과 관련된 문제를 최소화하였다.

‘글루텐-프리’ 열풍을 몰고온 ‘저글루텐밀(Low gluten wheat)’ 역시 유전체 교정을 통해 개발된 작물이다. 글루텐을 섭취했을 때 나타나는 부작용으로 인해 발생하는 셀리악병은 알레르기성 자가면역 질환의 하나다. 글루텐의 주성분인 글리아딘(Gliadin) 유전자는 밀의 유전체에 100개 이상 존재하므로 전통적인 육종기술이나 돌연변이 유도만으로는 글루텐 함량을 감소시킬 수 없었다. 하지만 글리아딘 유전자에서 고도로 보존된 공통서열을 표적으로 하는 가이드 RNA를 이용하여 최대 35개 유전자를 교정함으로써 면역 반응성을 85%까지 감소시킨 저글루텐밀을 개발하는데 성공했다.

그림 3 야생형 밀과 유전자 교정 저글루텐 밀



출처 : Journal of Plant Biotechnology

고함량의 프로비타민D를 다량으로 함유한 토마토 역시 유전체 교정을 통해 개발 중인 작물이다. 전 세계적으로 대략 10억 명 정도가 비타민D 결핍에 시달리고 있는 것으로 알려져 있는데, 이 같은 문제를 해결하기 위해 프로비타민D를 콜레스테롤로 전환하는 토마토 효소 유전자를 교정함으로써 프로비타민D 함량을 증가시킨 토마토가 개발되고 있다.

2 병에 대한 저항성 증진 작물

벼 흰잎마름병은 벼 재배 시 심각한 병해를 일으켜 막대한 수확량 손실을 초래하는 병으로 알려져 있는데, 이에 저항성을 가지는 벼 품종이 유전체 교정 기술로 개발되었다. 교정된 벼에 흰잎마름병을 일으키는 병원균을 접종한 결과 병에 강한 저항성을 갖는 것을 확인했고, 또한 다음 세대에도 개선된 저항성이 안정적으로 전달된다는 사실도 파악됐다.

‘흰가루병 저항성밀(Powdery mildew resistant wheat)’은 병을 일으키는 데 관여하는 유전자를 모두 탈렌(TALEN) 유전자 가위로 교정하여 유전자 기능을 상실시킴으로써 흰가루병에 대한 저항성을 향상시켰다.

한편 WDV(Wheat dwarf virus)는 밀과 보리를 감염시켜 심각한 생산량 감소를 유발하는 바이러스지만, 자연적인 저항성 소재가 부족했다. 이를 위해 바이러스의 유전체를 표적으로 하는 유전자 가위를 보리에 이식하였으며 그 결과 바이러스 저항성이 현저히 향상된 것으로 나타났다.



3 제초제에 대한 저항성 증진 작물

‘설폰닐우레아 제초제에 저항성을 가진 유채꽃(Sulfonylurea resistant oilseed rape)’의 경우, 아미노산 생합성 효소 유전자(ALS)를 교정하여 아미노산을 치환함으로써 설폰닐우레아계 제초제인 Tribenuron methyl에 대한 저항성을 확보했다. 또한 제초제에 대한 저항성을 가진 벼(Haloxypop-R-methyl-resistant rice) 역시 지방산 생합성 효소 유전자를 교정하여 아미노산을 치환함으로써 선택성 제초제인 Haloxypop-R-methyl에 대한 저항성을 획득했다.



4 수확량 증대 작물

날알 크기와 식물 구조는 작물 생산성에 있어 중요한 요소이다. 고수확량 벼(High grain yield rice) 같은 경우 이를 조절하는 마이크로 RNA 유전자의 교정을 통해 날알 크기를 증가시키고 긴 잎과 짧은 마디와 같은 식물 구조를 변형시켜 수확량을 증대시킬 수 있다. 고수확량 찰옥수수(High yield waxy corn)도 마찬가지다. 옥수수 전분은 선형의 아밀로스와 분지 형태의 아밀로펙틴으로 구성되어 있는데, 아밀로스를 생합성하는 옥수수 유전자는 교정을 통해 제거하고 아밀로펙틴의 함량을 거의 100%까지 증가시킨 결과, 단위 면적당 수확량을 증대시킨 찰옥수수의 개발이 가능해졌다.

III

유전체 교정 작물의 미래



유엔식량농업기구(FAO)의 분석에 따르면 오는 2050년까지 세계 인구가 대략 100억 명에 도달할 것이며, 그에 따른 식량 수요도 70% 이상 증가하면서 미래 인류의 식탁에 커다란 변화가 일어날 것으로 전망했다. 미래 인류의 식탁에 변화가 생길 것으로 전망한 가장 큰 이유는 바로 기후변화 때문이다. 현재의 농업 방식이 기후변화에 상당한 영향을 미치고 있는 만큼, 인류의 식탁에 농산물이나 축산물이 올라올수록 점점 더 지구에 악영향을 끼치게 된다는 것이 환경 전문가들의 의견이다.

따라서 환경을 오염시키지 않으면서도 자연이 공존하기 위해서는 인류의 식탁에 변화가 필요할 것이다. 이와 관련하여 내셔널지오그래픽의 경우 미래 식탁을 책임질 5가지 식품 트렌드로 △곤충 △컨자(kernza) △식물성고기 △조류(algae) △배양육을 제시한 바 있다. 이 중에서 컨자는 밀을 대체할 수 있는 다년생 식물을 말한다.

내셔널지오그래픽이 제시한 이들 5가지 식품을 살펴보면 현재 기준으로 많이 소비되지는 않지만, 환경의 미래를 우려하는 다양한 의견들이 반영된 식품들이라고 할 수 있다.

따라서 유전체 교정 작물의 미래도 앞으로의 식탁을 책임질 5가지 식품군의 용도와 비슷한 테두리 안에서 접근할 필요가 있다.

예상되는 유전체 교정 작물의 첫 번째 용도는 식량이나 사료, 또는 바이오 에너지원으로 활용될 가능성이 크다. 인공지능과 사물인터넷 같은 IT 기술이나 바이오매스 같은 친환경 에너지 기술이 유전체 교정 기술과 융합되어 생산량이 증가하고 상품의 종류도 다양해질 것으로 전망된다. 가령 바이오 에너지원으로 사용될 유전체 교정 작물의 경우, 환경친화적인 바이오매스로의 자원 확보가 가능할 것이다. 따라서 이런 작물을 통해 확보한 바이오매스를 활용하면 자동차나 비행기 등에 사용하는 수송용 에너지도 얻을 수 있다.

두 번째 용도로는 생산성 및 상품성 증가 외에 특수목적형 작물이 많이 개발될 것으로 보인다. 점점 더 변화의 속도가 빨라지고 있는 토양 상태나 기후 조건에 맞는 작물이 보급될 것이라는 예측이다. 건조하고 메마른 지역에서 최소한의 물만으로도 생육할 수 있는 작물을 개발한다거나 추운 지역에서도 잘 자라는 작물을 보급하는 것 등이 그런 사례라고 할 수 있다. 분명한 점은 이런 용도의 작물이 많이 보급될수록 온실가스 배출량이나 토지 사용량을 줄여갈 수 있다는 점이다.

세 번째 용도는 축산업 발전에 도움을 줄 수 있는 유전체 교정 작물을 개발하는 것이다. 구체적으로 돼지나 소의 영양 및 생산성을 높일 수 있는 작물을 개발하는 것인데, 이를 통해 기능성 성분이 함유된 축산물을 얻을 수 있는 장점이 있다.

마지막으로 네 번째 용도는 요즘 들어 전 세계의 관심이 쏠리고 있는 우주 탐사와 관련된 것이다. 정부가 주도하던 우주 탐사가 어느새 민간기업이 주도하는 방식으로 바뀌면서 농업도 우주와 관련된 기술이 필요해졌기 때문이다. 따라서 우주 공간에서도 생육이 가능한 유전체 교정 작물이나 산소와 식량을 제공해 줄 수 있는 유전체 교정 작물이 필요할 것으로 전망되고 있다.

다음은 앞서 언급한 미래에 주목받을 유전체 교정 작물을 용도별로 예측해 본 것이다.



1 생산성 및 상품성을 높이기 위한 작물 개발 전망

전통적 육종 산업은 병충해의 저항성을 키우거나 섭취하는 식용 부위의 크기를 증가시키는 방향으로 발전했다. 동일한 단위 면적에 비해, 또는 동일한 작물 수에 비해 더 높은 최종 수확량을 얻을 수 있으며, 더 큰 작물을 얻을 수 있기 때문이다.

수확률이 높아지면 이를 통해 더 많은 작물을 획득함으로써 농가의 소득을 올려주거나 더 많은 사람들에게 작물을 공급할 수 있다. 따라서 앞으로의 과일이나 채소와 같은 작물 개발은 병충해에 대한 저항성을 증가시켜 수확률을 높이거나 식용 부위의 크기 증가를 통해 생산성을 증가시킨 형태로 진행될 가능성이 높다.

생산성 외에 주목할 작물 개발 방향은 상품성이다. 이를테면 풍미가 더 향상된 과채류 같은 경우가 해당된다. 과일이나 채소의 맛은 당도만으로 결정되는 것이 아니고 그 과채류 특유의 향이 중요한 역할을 수행한다. 예를 들어, 복숭아나 딸기, 또는 사과 등의 경우 고유의 풍미가 있으며 이런 풍미가 해당 과일의 상품성을 결정한다. 향은 식물에서 생합성 되는 물질이며, 이러한 물질을 많이 생산할 수 있게 생합성 경로를 조절하는 유전체 교정 작물을 만들면 사람들이 좋아하는 풍미가 강한 과채류를 만들 수 있을 것으로 예상된다.



2 건강 기능성을 강화하기 위한 작물 개발 전망

과일과 채소의 섭취는 암이나 심혈관질환, 또는 당뇨 및 치매 등 여러 만성질환 및 자가면역질환의 발생률을 감소시키는 과정에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 특정 과채류가 건강 기능성을 지니고 있는 이유는 그 과채류에 함유된 수 십에서 수 백 가지의 다양한 물질 중에서 몇 가지 특정 성분들이 우리 몸속에서 유익한 효과를 내기 때문이다.

특히 파이토케미컬(Phytochemical)이라고 불리는 식물의 2차 대사물질들이 과채류의 건강기능성을 나타내게 하는 주요 활성성분으로 알려져 있다. 즉, 그 과채류의 모든 성분이 중요한 것이 아니라 소수의 몇 가지 성분이 주요하게 건강 기능성을 제공하는 것이다. 따라서 건강 기능성을 부여하는 주요 활성성분의 함량이 높아진다면 고기능성 과일이나 채소를 생산할 수 있다.

그림 4 활성 성분을 가진 대표적인 과채류



출처 : Journal of Functional Foods

생강은 관절염 같은 염증성 질환이나 항암 효과에 좋다는 연구 결과가 많이 보고되어 있지만 생강의 모든 성분이 항염증 효능을 갖고 있는 것은 아니다. 생강에 함유된 여러 성분들을 동일한 농도에서 비교하면 항염증 효능이 물질별로 많은 차이를 보이는데 그중에서도 8-Shogaol이라는 활성성분이 다른 생강 물질들에 비해 가장 효과가 뛰어난 것으로 증명되었다. 이런 경우 8-Shogaol 성분을 유효성분으로 하여 해당 성분의 함량이 더욱 증대될 수 있도록 생강의 유전체를 교정할 수 있다면 항염증 활성이 더 극대화된 생강이 만들어질 수 있다. 문제는 작물 내의 유효성분만을 골라서 그 함량을 인위적으로 높이거나 낮추는 것이 쉽지 않다는 점이다.

그동안 과학자들은 많은 연구를 통해 질환별로 좋은 과일이나 채소가 무엇인지, 그리고 그 과일이나 채소 중에서 어떠한 성분이 중요하게 작용하는지를 파악하고 있지만 아직은 아는 것보다 모르는 것이 더 많은 것이 현실이다. 따라서 얼마 전까지만 해도 원하는 성분의 함량이 높은 종자를 찾거나, 작물의 재배 과정에서 그 함량이 변하는 과정을 연구하여 재배 방법을 최적화하여 특정 성분의 함량을 높이려는 시도가 최선인 상황이었다. 일례로, 딸기의 경우 동일한 작물이어도 재배되는 토양이나 기후, 또는 비료 및 재배 기간 등에 따라 생육 및 성분의 차이가 나타나기 때문에 재배 조건을 변화시켜 원하는 기능성 성분의 함량을 높이는 접근들이 시도되었다.

또한 스마트팜(Smart farm) 기술 등을 통해 실내에서 LED 등을 활용하여 특정 파장의 빛을 조절해줌으로써 그 작물에서 만들어지는 성분을 조절하는 시도도 이루어지고 있다. 하지만 이러한 방식들의 경우 유효성분의 함량을 높이기에는 한계가 있다. 의미가 없는 것은 아니지만, 이러한 접근보다는 그 작물 자체가 특정 성분을 많이 만들 수 있는 원천적인 생화학적 합성 경로를 지니고 있다면 가장 이상적으로 특정 성분을 많이 함유하게 되는 것이다.

유전체 가위를 활용하여 작물을 교정하는 연구를 진행하는 것은 바로 이런 이유 때문이다. 유전체 교정을 통해 유효성분을 더 많이 만들도록 개발하고, 거기에 재배 조건까지 겸비한다면 건강기능성 성분이 더 많이 함유된 작물 생산이 가능해지는 것이다. 다시 말해 특정한 건강 기능성을 나타나게 만드는 활성성분을 생산하는 것에 관련된 생합성 경로를 파악하고 그 생합성 경로를 조절하도록 유전체 교정을 하게 되면 그 활성 성분이 많이 만들어지는 작물을 만들 수 있게 되는 것이다.



3 맞춤형 헬스케어 위한 작물 개발 전망

미래의 개인 맞춤형 헬스케어 시스템은 개인의 유전체 정보를 통해 암이나 당뇨, 또는 치매 및 심혈관질환 같은 여러 질환에 대한 예측을 가능케 할 것이다. 또한 개인의 현재 건강 상태도 건강검진 등을 통해 알 수 있는데, 이러한 모든 정보를 종합한 뒤 개인별로 좋은 식단을 섭취하면 질병 예방효과를 극대화할 수 있다.

맞춤형 식단은 개인별로 섭취하는 식품의 성분들이 모두 다를 것이기에 개인의 건강상태 및 유전체 정보를 바탕으로 맞춤형 식단에 도움이 될 수 있는 유전체 교정 작물을 만들어 제공할 수 있다. 예를 들어, 심혈관질환 발생 가능성이 높은 유전성 질병인자를 보유하고 있고, 실제로 혈액의 지질 대사물 분석 결과 심혈관질환 발생 가능성이 높은 사람이 있다고 가정할 때 이 사람에게서는 안토시아닌(Anthocyanin)이 높은 식품을 주면 도움이 될 수 있다. 하지만 필요한 양만큼의 안토시아닌들을 섭취하려면 블루베리를 하루에 수 kg씩 먹어야 할 수도 있다. 따라서 이런 경우에는 유전체 교정을 통해 안토시아닌 성분을 강화한 베리류의 과일을 개발하여 제공한다면 더 적은 양으로도 원하는 것을 이룰 수 있다.



IV

유전체 교정 기술의 특징과 이슈



1 육종에 대한 설명과 유전체 교정(GE) 기술과의 차이

지난 수천 년 동안 인류는 작물 개량을 위해서 육종(Breeding)이라는 방법을 사용해 왔다. 육종이란 생물이 가진 유전적 성질을 이용하여 새로운 품종을 만들어 내거나 기존 품종을 개량하는 작업을 말한다. 가령 자신이 키운 열매를 다른 열매들보다 크게 만들거나 병충해에 강한 특성을 보이는 작물로 키우는 것 등을 육종이라 할 수 있다. 현재 우리가 먹고 있는 벼나 밀, 또는 옥수수 같은 작물들이 대부분 육종에 의해 만들어졌다.

식물이 각자 다른 형질을 보일 수 있는 이유는 유전적 다양성 때문이다. 또한 식물의 유전적 다양성은 돌연변이(mutation)가 많을수록 높아지게 된다. 따라서 돌연변이 식물이 자연적이든지 아니면 인위적이든지 교배가 되기만 하면 그 후대는 부모 세대가 가지고 있던 좋은 형질을 물려받거나 아니면 전혀 다른 독특한 형질을 보이기도 한다.

육종은 현대에 들어와서도 작물 개량에 여전히 사용하고 있는 방법이다. 대표적으로는 돌연변이를 증가시키기 위해 방사선이나 화학물질로 처리하는 ‘돌연변이 육종’과 DNA 시퀀스 분석을 통해서 다양성이 높거나 육종가가 원하는 유전형질을 가지고 있는 작물을 선택하고 교배하는 ‘교배 육종’등이 있다.

다만 이와 같이 육종으로 유전적 다양성을 높이는 방법은 많은 단점을 안고 있다. 무작위로 변이를 발생시키기 때문에 원하는 유전형질을 쉽게 얻을 수 없다 보니 희망하는 형질을 가진 작물을 찾기 위해서는 오랜 시간과 노력이 필요하다. 문제는 인구 증가 및 가축 사료 증가로 인해 미래의 식량 수요가 폭발적으로 늘어나고 있는 상황에서 국가별 식량 확보가 나라의 안보와 직결될 만큼 중요해졌다는 사실이다. 따라서 전통적인 육종 방식만으로는 이런 문제를 해결하는 것이 어려워졌기 때문에 새로운 육종 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.



2 GM 기술의 개요 및 GE 기술과의 차이점

생명공학 기술을 적용한 대표적인 육종 방식으로 유전자 변형(GM, Genetically Modified) 기술을 들 수 있다. 원래 작물이 가지고 있지 않은 유전자를 작물에 넣어서 새로운 형질을 부여하는 방식이다. 이를 통해 해충 저항성 옥수수를 만들거나 식물을 죽이는 제초제에 저항성을 가지는 콩을 만들어서 재배하고 있다.

유전자 변형을 통해 제초제 저항성을 작물에 도입하는 방식은 다음과 같다. 식물은 동물과 달리 광합성을 통해서 스스로 에너지를 만들고 필수 아미노산을 합성한다. 따라서 광합성과 아미노산 합성에 관여하는 단백질의 기능을 억제하는 물질을 찾을 수 있다면 동물에는 큰 영향을 주지 않고 식물만을 선택적으로 죽일 수 있다. 제초제는 이런 원리를 이용하여 만든 화학물질이다.

하지만 제초제는 잡초뿐 아니라 사람이 원하는 작물에게도 피해를 줄 수 있다. 제초제 저항성 작물은 제초제에 영향을 받지 않으면서 원래 기능을 할 수 있는 외부 단백질을

작물에 넣어주는 방법으로 만들어진 것이다. 다만 많은 경우 이런 기능을 가진 단백질을 미생물에서 찾아 식물에 넣어서 GM 작물을 제작했기 때문에 기존 전통육종을 통해서 만들어진 작물들과 쉽게 구별이 되는 특징을 갖고 있다.

반면에 유전체 교정 기술인 GE 기술은 사람이 원하는 위치에 유전적인 변이 즉 돌연변이를 유도하는 기술이다. 현재 다양한 형태의 돌연변이를 유전체 교정 기술을 통해 인위적으로 만들 수 있는데 이는 크리스퍼(CRISPR)라고 불리는 3세대 유전체 교정 기술을 개발한 덕분이다. 유전체 교정 기술은 흔히 유전체 가위라고도 불리는데, 그 이유는 기본적인 유전체 교정 도구가 생명 정보를 담고 있는 게놈(genome)의 특정 위치를 인식하고 자르는 도구이기 때문이다.

유전체가 잘리면 세포는 이를 스스로 복구하기 위한 시스템을 작동한다. 외부 영향에 의해서 유전체가 잘리기도 하고, 유전적 다양성을 증가시키기 위해서 감수분열 시 세포 스스로 유전체를 자르기도 하기 때문에 이를 복구할 수 있는 시스템이 존재하는 것이다. 유전체 가위 역시 마찬가지다. 특정 위치의 유전체를 유전체 가위로 자르면 세포가 원래 상태로 유전체를 복구하는데, 이 과정에서 가끔씩 몇 개의 염기가 들어가거나 빠지는 돌연변이가 발현한다. 이런 유전체 교정 방식의 장점 중 하나는 세포의 복구 시스템을 사용한다는 것이다. 그렇기 때문에 유전체 교정기술로 만들어진 돌연변이 작물은 자연적으로 만들어진 돌연변이 작물과 구별할 수 없다. 자연에서도 동일한 방식의 돌연변이가 일어나기 때문이다. 그런 점에서 볼 때 GE 기술을 기존 유전체 변형(GM) 작물을 만드는 기술과 비교하는 것은 적절하지 못하다. 오히려 GE 기술은 방사선 육종이나 화학물질을 사용해서 돌연변이를 만드는 방식의 육종과 비교되어야 한다.

방사선이나 특정 화학물질을 씨앗에 처리를 하게 되면 씨앗에는 무작위적인 돌연변이가 일어난다. 많은 경우 작물의 성장이 비정상적으로 일어나지만 그중 일부는 육종가가 원하는 형질을 가진 작물이 된다. 이런 방식의 돌연변이 육종은 자연에서 일어나는 돌연변이의 속도를 비약적으로 증가시켜 육종의 기간을 단축시킨다. 그래서 현재도 이런 방식으로 만들어지는 작물은 우리나라에서 유전체 변형 작물로 분류되지 않고 현대적인 육종방식으로 인정받고 있다. 이러한 방식으로 만들어진 식물들도 우리나라에서 생산되고 있다. 어디에 돌연변이가 일어났는지 모르지만 원하는 형질이 만들어지면 사용되고 있는 것이다.

무작위적 돌연변이를 일으키는 방식과는 달리 GE 기술은 연구자가 그 기능을 알고 있는 유전체를 연구자가 원하는 방식대로 변형시키는 기술이다. 그리고 연구자가 원하는 변형은 주로 자연계에서 이미 일어났던 방식을 따라하는 경우가 많다. 예를 들어 제초제 저항성 형질을 GM 기술이 아닌 GE 기술로 작물에 도입하려는 시도를 대표적 사례로 볼 수 있다. 오랜 기간 제초제를 사용하면서 제초제에 저항성을 가지고 있는 잡초들이 생겨났다. 제초제 저항성 옥수수나 콩처럼 인위적으로 미생물 유전자를 넣어서 만든 것도 아님에도 자연적으로 제초제에 대한 저항성이 생긴 것이다.

그 원인을 조사해보니 단백질의 일부 아미노산에 변형이 생긴 잡초들에서는 제초제가 본연의 기능을 발휘하지 못한다는 점이 밝혀졌다. 이 돌연변이가 언제 생겼는지는 알 수 없었지만, 원인은 분명했다. 제초제가 억제해야 하는 단백질을 가진 식물이 과거 사람이 살포한 제초제로 인해 서서히 저항 능력을 갖게 되면서, 제초제 저항성 식물이 그 지역을 점령하고 잘 자랄 수 있게 된 것이다. 이런 현상들이 제초제 저항성을 연구하는 과학자들에게는 상당한 도움이 되었다. 자연의 식물이 어떻게 인간이 만든 제초제에 대해 저항성을 가지게 되었는지 이해할 수 있는 계기를 만들어주었기 때문이다.

유전체 교정 기술을 사용하면 제초제 저항성 식물에서 일어난 현상을 작물에도 적용할 수 있다. 벼나 옥수수, 콩이 원래 가지고 있는 단백질의 아미노산 하나만 바꾸면 제초제 저항성이 만들어지게 된다. 다만 이런 과정을 통해 만들어진 작물을 GE 작물로 볼 것인지 아니면 자연적으로 일어난 돌연변이로 취급해야 할지에 대한 의견이 분분하다. 같은 돌연변이라도 화학물질을 처리하거나 방사선을 이용해서 만들면 전통육종에서 만들어진 작물로 판단하고 GE 기술로 만들면 GM 작물로 판단하고 있는 현재 우리나라의 기준은 옳은 것인지에 대해서도 생각이 다를 수밖에 없다. 따라서 지금 전 세계 학계와 정부, 시민단체 등은 이 문제를 놓고 많은 논의를 하고 있는 중이다.



3

학계 및 시민단체들의 안전성 및 정책에 대한 견해

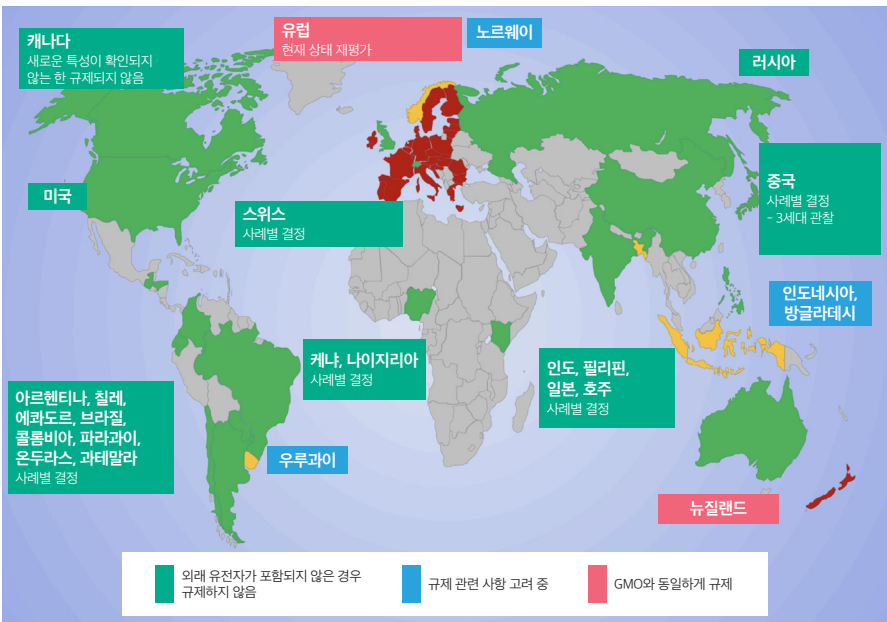
기존 GM 작물은 자연계에 존재하지 않는 형태의 작물이기 때문에 안전성 등의 이유로 많은 규제를 받고 있다. 과학계에서는 GM 작물의 안전성을 주장하고 있지만 여전히 소비자들의 심리적인 장벽은 높다. 우리나라 같은 경우 GM 작물을 상업적인 목적으로 재배하는 것을 엄격히 금지하고 있다. 다만 미국이나 브라질 등에서 수입하고 있는 콩이나 옥수수의 경우 대부분 GM 작물로 알려져 있는데, 식용유같이 가공된 형태로 혹은 가축의 사료에 포함되어 국내에 들어오기 때문에 완전하게 금지하지는 못하고 있는 것이 현실이다. 새로운 육종 기술인 GE 기술로 만들어진 작물은 자연적으로 일어난 돌연변이와 구별할 수 없다. 그렇기 때문에 수입을 할 때도 국내에서 재배된 작물을 검사할 때도 이것이 유전체 교정 작물인지 아닌지는 과학적으로 검증할 수 있는 방법이 없다는 의미다.

이런 이유로 미국, 중국, 일본을 포함한 많은 국가에서 GE 작물의 돌연변이가 자연적으로 일어나는 수준으로 유도가 되었거나 외부 DNA가 식물에 남아있지 않다면 GE 작물을 GM 작물로 규제하지 않기로 결정했다. GE 기술도 다양한 형태의 돌연변이를 작물에 도입할 수 있는데 이 모든 것을 허락한 것이 아니라 자연계에서 일어나는 것과 유사한 형태의 돌연변이만을 GM 작물이 아닌 것으로 인정한 것이다.

반면에 유럽은 사법재판소의 판결을 통해 GE 작물이 여전히 GM 작물과 동일하게 규제되어야 한다고 판단했다. 물론 최근 들어서는 그런 기초에서 벗어나 유럽식품안전청, 유럽집행위원회 검토 보고서 등을 통해 기존 판결의 문제점을 지적하고 재논의 필요성을 언급하고 있는 등 분위기가 달라지고 있는 것도 사실이다. 특히 영국의 경우 최근 유럽연합에서 탈퇴하면서 유전체 교정 기술로 만들어진 작물에 대한 긍정적인 논의를 시작하는 등 과거와 달라진 행보를 보이고 있어 관심이 모아지고 있다.

GE 작물을 바라보는 우리나라 정부 기관들의 입장은 복잡하다. 그렇기 때문에 GE 기술로 만들어진 작물을 완전히 GM 작물로 인정을 할 것인지 아니면 대부분의 국가들처럼 자연적으로 만들어진 돌연변이와 구별할 수 없다면 그냥 기존 육종을 통해서 만들어진 작물들과 동일하게 판단할 것인지 아직 결정을 내리지 못하고 있다.

그림 5 유전체 교정 작물에 대한 국가별 규제 현황

출처 : New Phytologist (<https://doi.org/10.1111/nph.18333>)



‘유전체 교정 작물은 식량안보의 대안이 될 수 있을까?’는 팬데믹과 전쟁, 그리고 기후변화 등으로 고통을 겪고 있는 인류에게 대안 마련의 필요성을 제시하기 위해 마련한 보고서다. 연이어 발생하고 있는 어려움들로 국제 정세가 한 치 앞도 내다보기 어려운 국면으로 빠져들면서 인류가 먹고사는 문제의 해결에 ‘유전체 교정’이라는 과학기술이 대안이 될 수 있을지를 파악하기 위해 준비한 것이다.

얼핏 생각해보면 '전쟁', '기후변화' 처럼 위기감을 주는 단어와 '유전체'라는 과학기술 용어가 무슨 상관이 있는지 의문을 갖게 된다. 하지만 그 관계를 좀 더 자세히 들여다보면 의외로 큰 관련성이 있음을 알 수 있다. 현재 전쟁을 벌이고 있는 러시아와 우크라이나는 밀과 옥수수, 그리고 대두의 주요 수출국이다. 특히 양 국가의 밀 수출량은 전 세계 공급의 약 25%를 차지할 정도로 엄청난 물량을 자랑한다. 러시아와 우크라이나가 생산한 밀이 전 세계 밀 시장의 1/4을 차지하고 있고, 옥수수와 대두 등도 전 세계 곡물 시장에서 상당한 점유율을 확보할 수 있었던 가장 큰 이유는 바로 Non-GM(Non-Genetically Modified) 작물로 이루어진 곡물만을 취급했기 때문이다. 이른바 안전한 먹거리로 인정받았기에 가능한 시장점유율이었다.

그런데 러시아와 우크라이나 간에 전쟁이 발발하면서 모든 상황이 바뀌기 시작했다. 두 나라가 우크라이나의 주요 항구를 차지하기 위해 공방을 벌이다 보니, 수확한 곡물들이 그대로 창고에 쌓이면서 다른 나라로의 수출길이 막혀버리게 되었다. 그러자 이들 국가에서 곡물들을 수입하던 국가들도 발등에 불이 떨어졌다. 스페인의 경우가 대표적이다. 스페인은 EU 국가들 중에서도 러시아와 우크라이나 곡물을 가장 많이 수입해 왔는데, 곡물 수입이 어려워짐에 따라 미국과 남미의 GM 작물이라도 수입하기 위해 EU에 GM 작물의 수입제한 조치를 일시적으로 해제해 달라고 요청한 바 있다. 이른바 전쟁이라는 비상 상황으로 인해 유전체를 활용한 기술이 식량안보의 핵심으로 떠오르게 된 사례다.

문제는 이 같은 전쟁 외에도 코로나19 팬데믹이나 기후변화에 따른 각종 재난으로 인해 심각한 식량 부족 문제를 겪고 있는 국가들, 특히 경제적으로 어려운 국가들의 어려움이



늘어나고 있다는 점이다. 더군다나 오는 2050년까지 전 세계 인구는 100억 명에 이를 것으로 예측되고 있다. 인구 증가로 인해 더 많은 식량이 필요하겠지만, 그때까지 식량 생산을 방해하는 어떤 전쟁이 벌어질지 또는 어떤 재난이 닥쳐올지 알 수 없는 노릇이다. 따라서 유전체를 활용하는 기술, 그중에서도 유전체 변형 기술보다 좀 더 안정성이 담보된 유전체 교정 기술은 국가별 식량안보 문제를 해결해 줄 대안으로 받아들여지고 있다. 물론 아직은 유전체 교정 기술의 파급효과와 관련한 결론을 내리기에는 고려해야 할 점들이 많은 것도 사실이다. 우선 유전체 교정 기술이 과거 밀의 생산량을 6배나 증가시킨 녹색혁명에 버금가는 새로운 먹거리 혁명을 가지고 올 수 있을지는 아직 알 수 없다.

또한 유전체 교정 기술을 대표하는 크리스퍼 가위 역시 아직은 보완할 점들이 많기에 다른 기술들과 융합하고 장점을 흡수하는 발상의 전환이 필요한 시점이다. 다만 유전체 교정 기술이 불확실한 인류의 미래 문제들을 해결하는 열쇠 중 하나인 만큼, 이를 제대로 사용하여 번영과 풍요라는 문을 열 수 있기를 기대해 본다.



차세대리포트

- 2018 젊은 과학자들을 위한 R&D 정책은 무엇인가(上)
젊은 과학자들을 위한 R&D 정책은 무엇인가(下)
과학자가 되고 싶은 나라를 만드는 방법
영아카데미, 한국 과학의 더 나은 미래를 위한 엔진
10년 후 더 건강한 한국인을 위해 필요한 과학기술은 무엇인가?
- 2019 머신러닝, 인간처럼 보고 생각하고 예측하라
수소사회, 과학기술이 만들어가는 미래
양자기술, 과학은 끝없이 증명할 뿐이다
- 2020 뉴로모픽칩, 인간의 뇌를 담은 작은 반도체
대학의 미래, 젊은 과학자의 시선으로 바라보다
암과의 전쟁, 정복을 향한 꿈의 치료법
디지털 헬스케어, 건강관리의 새로운 패러다임
- 2021 자율주행, 그 이상의 모빌리티 생각하는 자동차
젊은 과학자의 눈으로 바라보다, 과학기술 2050
학령인구 절벽시대를 마주하다, 대학이 나아갈 길
새로운 팬데믹, 어떻게 준비해야 할까?

한국과학기술한림원은,

대한민국 과학기술분야를 대표하는 석학단체로서 1994년 설립되었습니다. 1,000여 명의 과학기술분야 석학들이 한국과학기술한림원의 회원이며, 각 회원의 지식과 역량을 결집하여 과학기술 발전에 기여하고자 노력해오고 있습니다. 그 일환으로 기초과학연구의 진흥기반 조성, 우수한 과학기술인의 발굴 및 활용 그리고 정책자문 관련 사업과 활동을 펼쳐오고 있습니다.

한림석학정책연구는,

우리나라의 중장기적 과학기술정책 및 과학기술분야 주요 현안에 대한 정책자문 사업으로 한국과학기술한림원 회원들이 직접 참여함으로써 과학기술분야 및 관련분야 전문가들의 식견을 담고 있습니다. 한림연구보고서, 차세대리포트 등 다양한 형태로 이루어지고 있으며 국회, 정부 등 정책 수요자와 국민들에게 필요한 정보와 지식을 전달하기 위하여 꾸준히 노력하고 있습니다.

한국과학기술한림원 더 알아보기

- 홈페이지 www.kast.or.kr
- 블로그 kast.tistory.com
- 포스트 post.naver.com/kast1994
- 페이스북 www.facebook.com/kastnews





KAST 한국과학기술원
The Korean Academy of Science and Technology

(13630) 경기도 성남시 분당구 돌마로 42

Tel 031-726-7900 **Fax** 031-726-7909 **E-mail** kast@kast.or.kr



9 772635 716007
ISSN 2635-716X