

식량안보시리즈 제 10 권

YES to GMOs!

생명공학기술의 진실

Borut Bohanec & Mišo Alkalaj



도서출판 식안연

YES to GMOs!

생명공학기술의 진실

Borut Bohanec & Mišo Alkalaj

한국식량안보연구재단(www.foodsecurity.or.kr)

본 재단은 세계적인 식량위기 상황을 분석하고 평가하여 우리나라 식량안보에 미칠 영향을 미리 예측하고, 이에 대비하기 위한 국가적 정책개발과 국민 의식개혁 운동을 선도하기 위해 2010년 4월 설립된 순수 민간 연구기관이다. 재단은 안정적인 식량공급을 위해 농어업과 식품산업이 식량공급의 주체가 되는 새로운 식량정책의 개발에 힘쓰고 있다. 특히 식품산업의 식량안보적 기능을 강화하고, 식품산업이 사회적 책임을 다하도록 노력하고 있다. 재단은 독지가들의 후원금을 모아 식량안보에 관한 학술활동을 지원하며 출판사업과 관련 자료를 수집하고 공유하는 일을 하고 있다. 재단은 식량자급실천 국민운동 추진본부로서 식량부족의 위험이 없는 사회를 다음세대에게 물려주기 위한 국민실천운동을 전개하고 있다. 도서출판 식안연(食安研)은 재단의 출판사업을 수행하고 있다.

전자책 발행일 2018년 5월 31일

전자책 정가 : 12,000원

종이책 정가 : 12,000원

전자책 ISBN 979-11-86396-48-3[95300]

종이책 ISBN 979-11-86396-47-6[94300]

Original Book(영문판)

저자 Borut Bohanec and Mišo Alkalaj

일러스트레이션 Simon Šimenc

번역 Martin Cregeen

출판사 Geanetic (Ljubljana, 2016)

<http://geanetic.com/>

© by Geanetic, all rights reserved

YES to GMOs! 생명공학기술의 진실

인쇄 2018년 5월 30일

발행 2018년 6월 5일

발행인 이철호 (한국식량안보연구재단)

발행처 도서출판 식안연

주소 서울시 성북구 안암로 145, 고려대학교 생명과학관(동관) 109A호

전화 02-929-2751

팩스 02-927-5201

이메일 foodsecurity@foodsecurity.or.kr

홈페이지 www.foodsecurity.or.kr

편집·인쇄 한림원(주) <http://www.hanrimwon.com>

* 이 책의 무단 전재 또는 복제를 금합니다.

[CIP] YES to GMOs! 생명공학기술의 진실 / 번역: 김태산 / 서울: 식안연, 2018 (식량안보시리즈; 제10권)
원표제: Yes to GMOs! for us and the environment 영어 원작을 한국어로 번역

ISBN 979-11-86396-48-3 95300 : W12000

523.2-KDC6 631.52-DDC23

CIP2018016028



YES to GMOs!

생명공학기술의 진실

추천의 글

YES to GMOs!

생명공학기술과 그로부터 만들어진 유전자변형작물(GMO)의 안전성과 유용성에 대해 전 세계 과학계가 인정하고 활용을 확대해 나가고 있으나 소비자들의 부정적인 인식과 불안감은 크게 개선되지 않고 있다. 이것은 일부 시민운동단체의 지속적이고 집요한 GMO 반대운동으로 과학적으로 전혀 근거가 없는 억측과 허위선전이 유포되기 때문이다. 특히 우리나라는 이러한 괴담과 가짜뉴스들이 아무런 제재 없이 SNS를 통해 확대 재생산 되어 온 국민을 불안에 떨게 하고 있다. 그 대표적인 예가 광우병 대란이다. GMO에 대한 거짓된 괴담 유포와 완전 표시제 주장은 또 다른 식량대란을 일으켜 우리 사회에 혼란과 불필요한 경제적 손실을 일으킬 것으로 보인다.

미국은 농업생명공학기술의 종주국으로 해충저항성 및 제초제저항성 GM 작물 신품종을 개발하여 농업혁신을 실현하고 있으며 세계 최대 곡물수출국의 위치를 지키고 있다. 미국의 과학계는 GMO 반대운동에 대해서 국내외적으로 강력하게 대처하고 있다. GMO 괴담의 근거지로 알려진 환경운동단체 그린피스에 대해 노벨상 수상자 130여명이 연명하여 거짓선전과 과학적 사실에 반하는 억지주장을 즉각 중단할 것을 촉구하고 있다. 미국의 유기농단체가 제작 유포하고 있는 GMO 공포다큐 '유전

자렛’에 대응하여 ‘식량의 진화(Food Evolution)’라는 다큐를 제작하여 생명공학기술에 의한 신식품 개발은 종래의 육종과 다를바 없음을 알리고 GMO에 대한 올바른 이해를 돕는 국민 교육에 사용하고 있다. 미국 과학한림원, 공학한림원, 의학한림원 공동연구로 출간한 ‘유전공학작물, 경험과 전망(Genetically Engineered Crops, Experiences and Prospects, 2016)’이라는 보고서(580여쪽)를 통해 지난 20년간 미국에서 GMO를 생산하고 이용한 결과 인체에 부정적인 효과가 단 한건도 발생하지 않았음을 확인하고, 현재 유통되고 있는 GMO는 안전하다고 결론지은바 있다. 이 보고서는 한국과학기술한림원에서 번역하여 배포하고 있다.

YES to GMOs는 유럽 슬로베니아 류블랴냐(Ljubljana)대학의 식물육종 및 생명공학과 교수인 Borut Bohanec 박사와 수학자이며 ICT 전문가인 Miso Alkalaj 교수가 공동 저술한 GMO 관련 서적이다. ‘제1부: GMO 현황’에서는 GMO의 재배현황과 수확량 증대, 농약 절감 등 상업화에 성공한 글로벌 기업들의 GMO 신식품종뿐만 아니라 부담이 크고 비용이 많이 드는 법적 규제로 인해 상업화되지 못하고 우리에게 잘 알려져 있지 않은 다양한 GM 품종에 대해서 소개하고 있다. ‘제2부: GMO에 대한 일반적 오해’에서는 그동안 GMO 반대운동 단체들이 사용해온 괴담들의 근원지와 허구성과 오해에 대해 조목조목 반박하고 있다. 특히 반론의 과학적 근거를 밝히기 위해 많은 관련 연구

문헌을 제시하고 있다. ‘제3부: GMO가 정말 필요한 이유’에서는 새로운 식물육종의 필요성과 유전공학 연구를 통한 수혜자가 누구인지와 GMO를 반대함으로써 손해 보는 것들에 대해 자세히 기술하고 있다. 이 책에 제시된 참고문헌은 470여 편에 달하며 주석에 친절하게 기록되어 있다.

이 책은 크롭라이프코리아 김태산 박사팀에 의해 우리말로 옮겨졌으며 번역에 참여한 모든 분들께 감사드린다. 이 책을 통해 GMO 괴담으로 불안과 공포에 시달리는 우리 국민들이 새로워지는 계기를 마련하기 바라며, 농업생명공학 연구에 부정적인 우리 사회의 잘못된 인식이 고쳐지기를 바란다. 미래는 긍정적인 마인드와 진취적인 꿈을 가지고 준비하는 자들의 것이다. 농업생명공학기술에 대한 올바른 이해로 좀 더 밝고 과학을 존중하는 우리 사회가 되기를 희망한다.

2018년 5월
한국식량안보연구재단
이사장 이 철 호

서 문

YES to GMOs!

사람들은 철도를 두려워했지만 각 국가는 철도 건설을 실행에 옮겼고 이는 결국 인기 있는 이동 수단이 되었다. 사람들은 자동차를 두려워했지만 도로에는 점차 자동차가 늘어나 이제는 자동차가 없는 세상을 상상할 수 없게 되었다. 사람들은 전기를 두려워했고 오늘날에도 전기로 인해 사망하는 사람이 발생하지만 각국의 정부는 마을 전체에 전기가 들어올 수 있도록 가능한 모든 조치를 취했다.

앞서 언급한 기술들은 여전히 사람을 다치게 하거나 심지어 죽음에까지 이르게 하지만 이들 모두 피해보다 혜택이 더 크다는 것을 이해하고 있다. 그러나 사람들이 GMO를 두려워하고 있는 가운데 GMO의 수많은 혜택이 과학자들을 통해서 알려졌음에도 불구하고 각국 정부는 이를 장려하기 위한 노력을 전혀 하고 있지 않다. 안전성에 대한 수많은 과학적 분석결과와 20년 이상 섭취하였는데도 GMO로 인해 피해를 입은 경우가 단 한 차례도 발생하지 않은 사실에도 불구하고 말이다.

전 세계 반 이상의 농민과 소비자들이 이러한 현대 생명공학 품종을 경험하거나 그 혜택을 누리지 못하도록 엄격히 저지당하고 있는 것이 오늘날의 현실이다.

우리는 네오 러다이트주의에 직면한 것인가? 무의미한 규제
로 인해 상업화되지 못하고 있지만 이미 존재하고 있는 수많은
훌륭한 GMO 상품들을 활용할 수 있는 세상을 상상해보자.
이 책 YES to GMOs는 이러한 교착상태를 타개하여 사람과
환경의 이익을 위해 마침내 지혜가 널리 전파되고 세계가 도약
하도록 하기 위한 작은 기여라고 할 수 있다.

● GMO란 무엇인가?

GMO는 유전자 변형 생물체를 줄인 말이다. 유전공학 기술, 재조합 DNA 기술 또는 유전공학 등의 용어들이 사용되기도 한다. 이는 실험실 절차를 통해 보통 관련 없는 생물체 간 유전자 전이를 뜻한다. 세계보건기구(WHO)는 GMO를 “유전 물질(DNA)이 자연적으로 발생하지 않는 방법으로 변형된 생물체”로 정의하고 있다.”¹⁾ 불행히도, WHO의 정의조차 자세히 따져보면 허점이 드러나는데, 실험실에서 이루어지는 대다수의 유전공학이 바로 자연에서 가져온 기법에 기반하기 때문이다.

만약 “GMO 생물체가 수평적(무성적) 방법을 통해 도입된 관련 없는 생물체에서 비롯된 유전자를 포함”한다면 우리는 다시 한 번 곤경에 처하게 되는데, 이 정의에 따르면 우리 인간 또한 GMO²⁾가 될 수 있기 때문이다. 최근의 한 연구에서 Crisp 등³⁾은 진화과정에서 박테리아, 균류, 식물과 다른 동물과 같은 전

1) Frequently asked questions on genetically modified foods, World Health Organization

2) Gene-swapping means that you have alien DNA inside you, BBC Earth 19 June 2015

3) Expression of multiple horizontally acquired genes is a hallmark of both vertebrate and invertebrate genomes, Crisp A, et al. Genome Biology 2015, 16: 50, doi: 10.1186/s13059-015-0607-3

혀 관련이 없는 종에서 인간이 획득한 145개의 유전자를 발견하였다. 이는 우리가 천년 간 먹어온 식물종도 해당되는 내용이다. 최근의 흥미로운 발견에 따르면⁴⁾; 실험실에서 “DNA 전이 미생물”로 빈번히 사용되는 세균인 근두암종균(*Agrobacterium tumefaciens*)이 유전자 형질전환을 통해 자체 유전자를 고구마에 삽입하였고 인류는 자연에서 이러한 유전자형을 갖는 고구마를 정확히 선발하였다는 내용이다.

간단히 말해서 우리는 GMO 식품을 천년 간 먹어왔다. 그렇기 때문에 GMO를 자연적이지 않다고 말하는 것은 현실을 외면한 왜곡된 상상력의 결과물인 것이다.

4) The genome of cultivated sweet potato contains *Agrobacterium* T-DNAs with expressed genes: An example of a naturally transgenic food crop Kyndt T. et al. PNAS 2015, 112: 5844-5849, doi: 10.1073/pnas.1419685112

● 책의 구성

현재는 동물보다 식물에 집중하고 있는 GMO 품종을 둘러싼 논의는 주로 재배 승인을 받는데 성공한 대부분의 글로벌 기업의 혁신적인 상품을 중심으로 이루어지고 있다. 이 책은 그러한 성공적인 측면과 함께 사실상 매우 부담이 크고 비용이 많이 발생하는 법적 규제로 인해 상업화되지 못하고 우리에게 잘 알려지지 않은 GM 품종에 대한 설명도 제공하고 있다. 우리는 이 밖에도 GMO가 직면해있는 가장 혼란에 대처하며 과학적 근거를 통해 이를 반박하고 있다. 그리고 마지막으로 유전공학 연구를 통한 수혜자가 누구인지와 과연 GMO는 누구에게 필요한 것인가를 설명하고 있다.

참고: 출처가 인터넷으로 표시된 참고문헌은 잦은 도메인 변경으로 인해 제목으로 제공되고 있다. 이는 인터넷 검색엔진을 통해 모두 쉽게 찾아볼 수 있다.

목 차



Part 1

GMO 현황

- 21 GMO는 전 세계에 퍼져 있다
- 23 GMO는 헥타르당 수확량과 생산량을 증가시킨다
- 25 GMO 재배는 농약을 덜 쓰고도 동일한 수확량 증가가 가능하다
- 28 해충으로부터 식물을 보호하기 위한 유전적 변화
 - 방어적 Bt 독소를 발현시키는 GM 식물_30
 - RNA 간섭(RNAi)기술을 통해 해충으로부터 작물을 보호하기_34
 - 선충 저항성 GM 식물_35
- 37 곰팡이병으로부터 식물을 보호하기 위한 유전적 변화
 - 녹병과 기타 곰팡이병 방제를 위한 GM 밀_38
 - 병저항성 강화 GM 포도_39
 - 미국 삼림으로 돌아온 GM 밤나무_41
 - 곰팡이 저항성 GM 감자_42
 - 파괴적인 곰팡이병의 공격을 받는 바나나_44
- 47 박테리아와 바이러스로부터 보호하기 위한 유전적 변화
 - Xanthomonas campestris* pv. *Musacearum*에 저항성을 갖는 GM 바나나_47
 - 박테리아 *Candidatus Liberibacter* spp.에 저항성을 갖는 GM 오렌지_48
 - 화상병에 저항성을 갖는 GM 사과_50
 - “레인보우” 파파야_50
 - PVY 바이러스에 저항성을 갖는 GM 감자_52
- 53 기생 진드기에 강화된 저항성을 갖는 꿀벌
- 56 GM 모기로 Dengue열과 지카 바이러스 퇴치
- 59 더욱 효율적인 육류 생산을 위한 GMO 사용

아프리카 파동편모충에 저항성을 갖는 GM 소고기_61
 아프리카 돼지열병에 저항성을 갖는 GM 돼지_62
 지방함량이 적고 근육조직이 많은 GM 돼지_63
 뿌이 없는 황소_63
 인비이로피그(Enviropig)[®] - 곡물의 인(P) 성분을 더 잘 활용하는
 GM 돼지_64
 아쿠아 어드밴티지(AquAdvantage)[™] - 일반 연어보다 두 배 빨리
 자라는 GM 연어_65

67 식물이 비생물학적 스트레스에 적응하도록 돕는 유전공학기술

빠르게 자라고 서리에 저항성을 갖는 GM 유칼립투스_68
 홍수와 가뭄에 저항성을 갖는 벼_69
 가뭄에 더 큰 저항성을 갖는 GM 옥수수_70
 가뭄 저항성 토마토_71
 가뭄 저항성 GM 콩, 아르헨티나에서 재배승인 받아_71
 온실가스 메탄을 배출하지 않는 GM 쌀_72
 질소를 더욱 잘 활용하는 GM 쌀_72
 인(p) 성분을 더욱 잘 활용하는 GM 식물_73
 내염성 GM 작물_75

76 의학적 활성성분 생산에 GMO 사용

에볼라 예방약을 생산하는 GM 담배_77
 에볼라 치료 위한 인간항체 생산 GM 초_78
 GM 염소, 토끼, 암탉: 걸어다니는 의약품 생산자_79
 말라리아 백신 생산 GM 효모 및 담배_79
 HIV 예방 GM 담배_80
 인슐린 제조를 위한 GM 대장균, 효모 및 홍화_80
 B형 간염 예방을 위한 GM 효모, 감자, 토마토, 바나나_81
 리소자임과 락토페린을 생산하는 GM 벼(지사제)_82
 고세병을 예방하는 GM 당근과 벼_82
 정밀 암세포 파괴를 위해 사용되는 GM 규조류_84

86 최종 소비자에게 직접 혜택을 제공하는 GMO

황금쌀_86

철분과 아연 강화 GM 벼_89

비타민 B6 함량 강화 GM 카사바_90

글루텐 함량이 적은 GM 밀과 보리_91

알레르기를 유발하지 않으며 미생물 감염을 억제하는 우유를 생산하는
GM 소_93

숙성 지연 토마토_94

암 발생 위험을 감소시키는 “흑색” GM 토마토_95

골다공증을 예방하는 GM 당근_96

핑크 과육의 GM 파인애플, 델몬트 로제(Rosé)_97

GM 퍼플 라임과 블러드 오렌지_98

건강에 유익한 요리용 GMO 식용유_99

오메가-3 지방산 함유 GMO 식용유_99

갈변하지 않는 GM 사과 Arctic[®]_102

건강에 유익하며 눈물이 나지 않게 하는 GM 양파_103

레스베라트롤 강화 GM 벼_103

튀길 때 이크릴이미이드를 적게 생성하는 GM 감자_104

산업용 GM 감자_105

아밀로오스 함량을 줄인 GM 곡류_106

리그닌 함량이 적은 GM 알팔파 107

더욱 적합한 단백질 조성을 갖는 GM 식물_108

피타아제 함유 GM 농작물_110

알레르겐과 독성이 없는 GM 식물_111

거미줄만큼 강한 명주실을 생산하는 GM 누에_112

114 식물 육종방법 개량

1대 잡종 종자 생산_114

리버스 브리딩(Reverse breeding)_116

- 117 더 나은 외관, 향, 상업적 관심을 갖게 하는 특별한 GMO
 청색 GM 카네이션_117
 청색 GM 장미_118
 청색 및 보라색 GM 국화_118
 Petunia Circadia, 낮 동안 색이 변하는 GM 페튜니아_118
 독특한 향이 나는 GM 꽃_119
 GloFish® - “발광” GM 물고기_119



Part 2

GMO에 대한 일반적 오해

- 123 “GM 옥수수 NK603 암을 일으킨다?” - Seralini 사건
 126 “GM 감자” - 알파드 푸스타이
 129 GM 옥수수 꽃가루가 제왕나비를 죽인다?
 131 “GM 면화가 인도농부 자살의 원인이다?” - 빈다나 시바
 134 “GM 콩이 어린 실험쥐의 죽음, 성장장애, 불임의 원인이다?” - 이리나 에르마코바
 136 GMO 곡물이 알레르기를 유발한다?
 138 “GMO 꽃가루가 다른 식물을 ‘오염시켜’ 특허 소송을 야기시킨다” - 퍼시 슈마이어
 141 GMO의 외래 유전자가 수백 킬로미터 떨어진 일반 품종에 퍼질 수 있다?
 143 GMO에는 항생제 저항성 유전자가 들어있어 인간에게 위험한 세균을 전염시킬 수 있다?
 146 GMO가 포름알데히드를 포함한다?
 148 “자연적이지 않은” 유전자가 GMO에서 다른 식물로 들어가 “슈퍼잡초”를 만든다?
 150 GM 식물의 종자는 터미네이터 유전자를 가지고 있어 발아하지 않는다?
 152 GMO를 먹으면 그 DNA가 인체로 전이된다?
 154 GM 식물로 만든 식품은 남성의 정자수를 감소시킨다?
 154 임신한 여성과 태아의 혈액에서 GMO 독소들이 발견된다?
 157 GMO가 셀리악병과 기타 원치 않는 글루텐 반응을 일으킨다?
 158 전문기관에서는 90일 독성실험에만 근거하여 GMO의 안전성을 평가하는데 이는 혹시 있을지 모르는 장기적 위해성을 확인하기에는 매우 미흡하다?

- 162 GMO 등록을 위한 안전성 평가는 생산자 스스로가 책임지도록 위임받았다
- 162 GMO 특허는 소수의 다국적 기업의 독점을 보장한다
- 167 글리포세이트
- 세계보건기구는 글리포세이트를 인간 발암물질로 지정_169
 - 글리포세이트가 유방암을 일으킨다?_173
 - 글리포세이트가 만성 신장병을 유발한다?_174
 - GMO를 먹인 동물에서 심각한 위염증과 돼지 자궁비대증이 발생했다는 연구_175
- 176 글리포세이트가 태아 기형, 자폐증, 파킨슨병, 알츠하이머병 등과 관련 있다는 주장
- 글리포세이트가 태아기형의 원인이다?_176
 - 글리포세이트가 자폐증, 파킨슨병 그리고 알츠하이머병과 관련 있다는 연구_177
 - 만성병 환자들의 인체에는 건강한 사람보다 더 높은 수준의 글리포세이트가 들어 있다?_178
 - 모유에서 글리포세이트가 발견된다?_178
 - 글리포세이트를 금지하는 나라들이 많다?_181



Part 3

GMO가 정말 필요한 이유

- 187 왜 식물 육종이 필요한가
- 190 어떻게 신품종 또는 개량종이 육성되는가
- 191 왜 GMO는 육종가에게 그렇게 중요한 것인가
- 193 GMO에 대한 대중의 적대감은 어디에서 왔을까
- 196 GMO를 반대함으로써 손해 보는 것들
- 198 새로운 식물육종 기술: 유전자편집
- 201 소비자들은 혜택에 대해 이해할 필요가 있다



GMO 현황

- GMO는 전 세계에 퍼져 있다
- GMO는 헥타르당 수확량과 생산량을 증가시킨다
- GMO 재배는 농약을 덜 쓰기도 동일한 수확량 증가가 가능하다
- 해충으로부터 식물을 보호하기 위한 유전적 변화
- 곰팡이병으로부터 식물을 보호하기 위한 유전적 변화
- 박테리아와 바이러스로부터 보호하기 위한 유전적 변화
- 기생 진드기에 강화된 저항성을 갖는 꿀벌
- GM 모기로 뎅기열과 지카 바이러스 퇴치
- 더욱 효율적인 육류 생산을 위한 GMO 사용
- 식물이 비생물학적 스트레스에 적응하도록 돕는 유전공학기술
- 의학적 활성성분 생산에 GMO 사용
- 최종 소비자에게 직접 혜택을 제공하는 GMO
- 식물 육종방법 개량
- 더 나은 외관, 향, 상업적 관심을 갖게 하는 특별한 GMO

GMO 현황

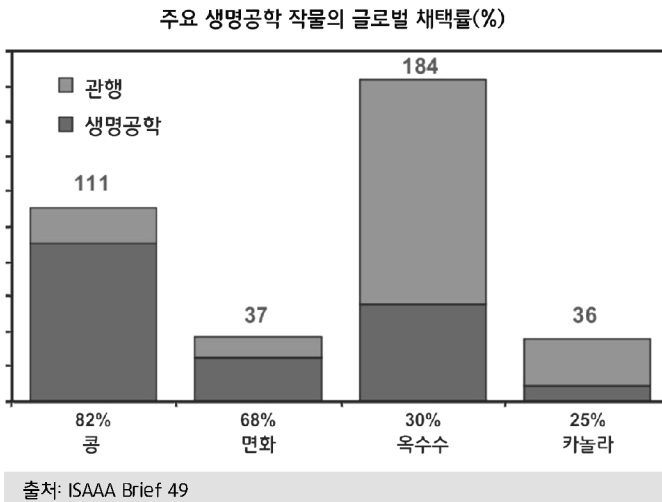
GMO는 전 세계에 퍼져 있다

경제 부문 가운데 유일하게 혁신기술을 느리게 받아들이는 농업은 항상 보수적인 경향이 있었다. 그럼에도 불구하고 현대 GMO 품종 도입에 관한한 이렇게 빠른 시간 안에 확실히 자리를 잡은 기술을 찾기 힘들다고 말할 수 있다. 이는 GMO 기술이 생산자들에게 객관적인 혜택을 제공한다는 가정 하에서만 이해 가능한 부분이다. 그 혜택들은 아래에서 설명하고 있다.

국제 비영리 기구인 국제응용서비스(International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, ISAAA)는 1996년 이래 이 분야와 관련된 핵심자료를 해마다 발표하고 있다. 2014년의 자료를 보면 28개국의 1,800만 농민들이 1억 8,100만 헥타르 이상의 농경지에서 GM 작물을 재배하였음을 알 수 있다. 이것이 무엇을 의미하는지 설명하자면, 이는 유럽 연합 전체 경작 가능한 농경지 보다 더 큰 면적이라고 할 수 있다. 특히 지난 18년 동안 미디어의 말살행위로 전 세계 여러 국가에서 부분적 또는 전면적 재배 금지조치가 내려졌기 때문에 이는 이례적인 성공사례로 볼 수 있다. 그래서 재배면적은 미국이

7,300만 헥타르로 선두국가이며, 브라질 4,200만 헥타르, 아르헨티나 2,400만 헥타르, 인도와 캐나다 1,200만 헥타르로 그 뒤를 잇고 있다. 이와 동시에 대부분의 경우 콩, 옥수수, 유채, 면화의 네 가지 핵심 작물만 해당되는 것임을 집고 넘어가야 할 것이다. 네 가지 주요 작물 재배와 관련된 자료를 보면, 2014년 세계적 규모로 옥수수 30%, 콩 82%, 유채 25%, 면화 68%가 이미 형질전환 작물이었다는 놀라운 수치를 보여주고 있다.⁵⁾

USDA의 자료에 따르면, 미국의 경우 그 수치가 더 큼을 알 수 있다. 8%의 옥수수 품종이 해충저항성, 89%가 제초제 저항성이다.⁶⁾ 현대 품종이 농업적으로 중요한 다양한 형질들을 집



5) ISAAA Brief 49: Global status of commercialized biotech/GM Crops: 2014

6) Recent trends in GE adoption 1996-2015, USDA

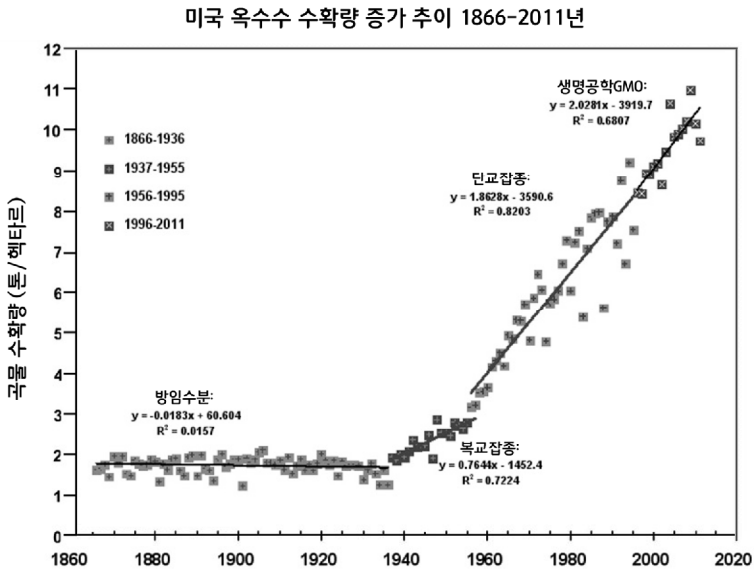
적할 수 있도록 여러 개의 삽입유전자를 동시에 포함하고 있는
후대 교배종이라는 것을 강조하고 싶다. 미국에서 2014년에
77%가 그러한 품종이었다.

그렇다면 여기에서 핵심은 무엇인가? GMO는 우리 생활의
일부이며, 미래라고 할 수 있다. 그 이유를 아래에서 간단히
설명하고 있다.

GMO는 헥타르당 수확량과 생산량을 증가시킨다

GMO는 주로 작물이 더 높은 수확량을 얻고 병, 해충 가뭄
등에 더욱 저항성을 갖도록 하기 위해 의도적으로 개발되었기
때문에 누군가 GMO를 어떠한 근거에서 부정할 수 있는지 이
해하기 힘들다. 그리고 물론, 농민들이 GMO로부터 경제적 혜
택을 받지 못했다면 해당 품종을 구매하지도 않았고 심지 않았
을 것이다.

이는 GM 농작물이 가장 오래 또 가장 광범위하게 재배되어
온 미국에서 제공된 특정 자료로부터 확인할 수 있다. 다음의
그림은 미국의 GM 옥수수 품종에 대한 통계를 보여주고 있다.
다른 농작물에 있어서도 유사한 결과가 나타났다.



출처: USDA-NASS / R.L. Nielsen 2012에 근거⁷⁾

Robert L. Nielsen의 그래프는 옥수수 곡물 수확량 증가가 육종방법과 관련된 20세기 진보의 결과임을 명백히 보여주고 있다. 관행의 방임 수분 품종은 1930년대부터 만연했지만 수확량은 복교잡종과 이후 단교잡종이 등장한 제 1차 식물 육종 혁신 기술을 통해 대폭 증가하게 되었다. 1996년 이후 지속적인 옥수수 수확량의 증가는 GM 품종이 도입된 제 2차 혁신 기술에 기인한 것으로 볼 수 있다.

7) Historical maize grain yields for Indiana and the U.S. R. L. Nielsen, Purdue University, Agronomy Department, August 2012

GMO는 미국뿐만 아니라 도입한 모든 곳에서 수확량에 영향을 끼쳤고, 이는 *PG Economics*가 발표한 연구보고서(1996-2007⁸⁾)에서 확인할 수 있다. 이 가운데 가장 큰 성공은 인도의 GM 면화 도입을 꼽을 수 있는데 이를 통해 인도는 면화 수확량이 54.8% 증가하여 수입국에서 수출국으로 변화하게 되었다.

GM 농작물만으로는 증가하는 인구를 위한 충분한 식량을 보장하지는 못하지만, 위의 자료는 미래 농업 생산이 100억 인구를 먹여 살리려면 GMO의 기여가 매우 중요함을 명백히 보여주고 있다.

GMO 재배는 농약을 덜 쓰고도 동일한 수확량 증가가 가능하다

GMO 반대론자들은 유럽 환경 과학지(*Environmental Sciences Europe* 2012)⁹⁾에 실린 Charles M. Benbrook의 주요 논문 가운데 일부인 “1996-2011년 사이에 미국에서 제초제 및 해충 저항성 농작물로 인해 제초제의 사용량이 239kg 증가하였다...”를 자주 인용하곤 한다. 이는 16년이라는 기간 동안 사용된 전체 제초제 사용량의 증가만을 말하는 것으로, 그 당시의 총 재배면

8) PG economics, focus on yield - biotech crops; evidence, outcomes and impacts 1996-2007

9) Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the U.S. -- the first sixteen years, Benbrook C.M. *Environmental Sciences Europe* 2012, 24: 24, doi: 10.1186/2190-4715-24-24)

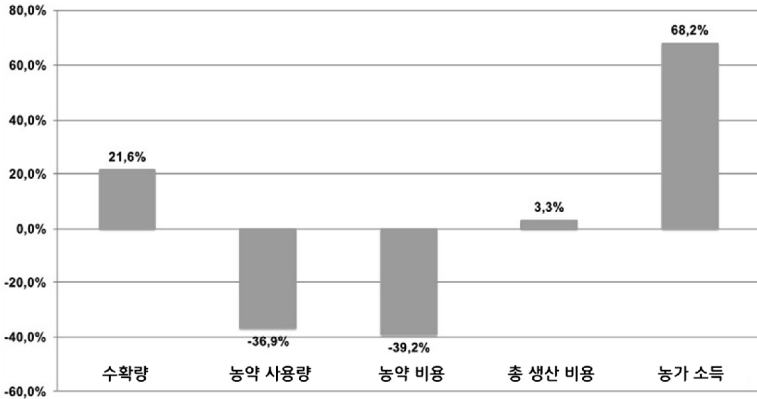
적 증가에 대해서는 전혀 언급하고 있지 않음을 알 수 있다. 저자는 계속해서 “Bt 농작물이 살충제 사용을 5,600만 kg 감소시켰지만...”, “전체 농약 사용량은 1억 8,300만 kg 또는 약 7% 증가하였다.”로 결론 맺고 있다. 같은 기간 동안 예를 들자면, 미국의 벼 재배는 7.56%, 콩 30.25%, 곡물용 옥수수 33.70%, 그리고 기타 두류(콩 제외)는 255.64%¹⁰⁾ 증가하였다. 따라서 GMO 반대론자들이 즐겨 인용하는 논문 전체는 명백하게 GMO 재배가 동일한 또는 더 많은 수확량을 얻는데 농약의 사용을 줄여주지만 기타 작물재배에 있어 농약 사용에는 어떠한 영향도 미치지 못한다고 언급하고 있다.

미 농무부(USDA)¹¹⁾의 보고서는 전체 수확량 증가에도 불구하고, 농약 사용이 1986년 이후로 거의 동일하게 유지되고 있다고 언급하고 있다. 상대적으로, 제초제의 사용은 증가하고 살충제의 사용은 감소하였다. 이러한 변화는 GMO 품종 도입에 따른 것으로 현재까지 두 종류가 주를 이루고 있다. 하나는 Bt 옥수수와 같이 해충 저항성이 추가적으로 내재된 것으로 제초제 사용에는 영향을 미치지 않는 것이 있고, 또 하나는 글리포세이트처럼 더욱 효과적인 제초제에 저항성을 갖는 것으로 물론 살충제 사용을 감소시키지 않는 것이 있다.

10) usda national agricultural statistics service, charts and maps, charts and maps by commodity

11) United States Department of Agriculture, pesticide use in U.S. agriculture: 21 selected crops, 1960-2008. Fernandez-Maizeejo J. et al, 2014

유전자변형 작물에 대한 메타분석 1996-2014년



출처: Wilhelm Klümper & Matin Qaim

Wilhelm Klümper와 Matin Qaim은 옥수수, 콩 그리고 면화에 관한 자료로 1996년에서 2004년¹²⁾ 사이에 출판된 과학논문을 토대로 하여 GMO 도입의 영향을 평가하였다. 그 결과는 GMO 재배가 수확량을 증가시키고, 농약의 사용을 감소시키며(양과 가격 측면에서) 근본적으로 생산자 수익을 증가시킴을 분명히 보여주고 있다.

Bt (*Bacillus thuringiensis*) 균을 기반으로 한 해충 저항성 내재 농작물의 확대는 식물 수액을 빨아먹는 노린재목 해충이 주요 농작물 해충으로 자리잡게 한 것으로 나타났다. 다시 말해 Bt독소는 주로 식물조직(잎, 줄기, 뿌리)에서 나오기 때문에

12) A meta-analysis of the impacts of genetically modified crops, Klümper W, and Qaim M. PLOSone 2014, doi: 10.1371/journal.pone.011162

진딧물과 같이 수액을 빨아먹는 곤충에는 해를 덜 미친다.¹³⁾ 그러나 이미 흡즙곤충에도 저항성을 갖는 GM 식물의 개발을 가능케 하는 해결책을 과학문헌에서 찾아볼 수 있다.^{14),15)}

해충으로부터 식물을 보호하기 위한 유전적 변화

병해충 중에서 특히 해충은 인제나 농업에 위협적인 존재였기 때문에 육종가들은 해충에 저항성을 갖는 품종을 육종하기 위해 끊임없이 노력해왔다. 유전공학뿐만 아니라 관행 육종과 종간잡종 등의 방법을 통한 그들의 성공은 오늘날 우리가 인류 역사상 가장 많은 식량을 생산할 수 있음을 의미한다.

그러나 교배 및 종간잡종과 같은 관행 방법은 제한이 따르는데, 즉 저항성을 갖길 원하는 식물과 가까운 종은 관련 형질을 갖고 있어야 하며 목표식물과 교배가 가능해야 한다는 것이다.

몇몇 주요 농작물 품종 가운데 옥수수의 경우를 보면 야생 근연종이 거의 존재하지 않음을 알 수 있다. 다른 여러 농작물도 적합한 저항성을 갖는 근연종 종을 자연에서 발견할 수 없다.

13) Toxins for transgenic resistance to hemipteran pests, Chougule N. P. and Bonning B. C. Toxins 2012, 4: 405-429, doi: 10.3390/toxins4060405

14) Resistance to sap-sucking insects in modern-day agriculture, VanDoorn A, and de Vos M. Frontiers of Plant Science 2013, 4: 222, doi: 10.3389/fpls.2013.00222

15) Recent advances in plant biotechnology and its applications, Kumar, A, and Sopory S.K. et al, IK International Publishing House 2008, ISBN-10: 8189866095

따라서 오늘날 방사선 기술을 통해 식품 또는 산업용으로 사용되는 여러 품종에 적합한 유전적 구조를 폭넓게 선택할 수 있게 되었다. 방사선을 통해 유전적 변화를 일으키는 방법은 1927년 미국의 유전학자인 Hermann Joseph Muller¹⁶⁾가 발견하였으며, 그는 이를 공로로 1946년 노벨상을 수상했다.

병해충(또는 기타 해로운 생물체)의 방제에 있어 머지않아 변종으로 진화되어 방어 수단에 내성을 갖게 될 가능성이 상당히 크다. 이는 일반적으로 늦어도 수십 년 안에 그 효력을 잃게 되는 살충제 사용의 경우가 특히 그러하다. 관행 육종방법을 통해 획득한 저항성에도 물론 내성이 생긴다.

유전공학은 (원칙적으로) 해충에 저항성을 갖도록 하는 적합한 유전자가 어떠한 생물체에서도 전달될 수 있도록 해준다. 자연에는 해충 방어기작을 구축한 식물과 미생물이 상당히 많기 때문에 육종에 있어서 유전공학 기법을 이용한 잠재적 방어기작의 선택폭은 매우 넓다고 할 수 있다. 하나가 아닌 여러 개의 저항성 유전자를 한 품종에 집적한 품종은 더욱 큰 저항성을 가지게 되어 새로운 종류의 환경 친화적 농작물로 역할을 할 수 있을 것이다.

16) Artificial transmutation of the gene, Muller H.J Science 1927, 66: 84-87, doi: 10.1126/science.66.1699.84

● 방어적 Bt 독소를 발현시키는 GM 식물

Bacillus thuringiensis 균(주로 앞에 Bt가 붙어 있는)^{17),18)}에서 얻은 바람직한 유전자가 도입된 GM 식물은 최초로 또, 특별히 성공한 GMO 가운데 하나였다. 소위 Bt독소(*Cry*-독소라고 공식적으로 명명)는 매우 소량의 농도¹⁹⁾로도 효과적이며 이러한 농도는 사람들이 식품으로 섭취해도 해가 없다.²⁰⁾ 또한 Bt독소는 곤충에 특이적으로 작용하여 모든 곤충이 아닌 목표하는 해충에만 영향을 미친다. 특히, 벌과 같은 유용한 곤충에는 영향을 미치지 않는다. 따라서 Bt 농작물은 전 세계로 확산되고 있으며, 가장 흔한 해충에 저항성을 갖는 Bt 옥수수가 가장 일반적이라고 할 수 있다.

조명나방(*Ostrinia nubilalis*)과 담배나방일종(*Helicoverpa zea*)의 유충²¹⁾은 옥수수의 낱알과 줄기를 가해하는데, 주로 옥수수에 큰 해를 끼치며 토마토와 수수 등에도 피해를 주지만 면화에

17) *Bacillus thuringiensis* toxins: an overview of their biocidal activity, Palma L, et al, *Toxins* 2014, 6: 3296-3325, doi: 10.3390/toxins6123296

18) *Bacillus thuringiensis* as a specific, safe, and effective tool for insect pest control, Roh JY et al, *Journal of Microbiological Biotechnology* 2007, 17: 547-59

19) Effects of refuges on the evolution of resistance to transgenic maize by the western maize rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, Deitloff J, et al., *Pest Management Science* 2015, doi: 10.1002/ps.3988.

20) AgBioWorld, Safety of *Bacillus thuringiensis* proteins used to control insect pests in agricultural crops

21) University of minnesota extension, maize production, Bt maize and European maize borer

가장 치명적인 피해를 준다. 딱정벌레류 해충인 *Diabrotica virgifera virgifera*, *D. barberi*, *D. undecimpunctata howardi*은 그 유충이 뿌리를 갉아먹고, 성충이 옥수수의 ‘껍질’과 ‘잎’을 먹는 두가지 방법으로 옥수수에 피해를 입힌다.²²⁾ 옥수수 딱정벌레는 1992년 유럽에서 출현한 이후로 전례없는 심각한 피해를 주고 있다. 옥수수 외의 작물에도 해를 입히는 방아벌레(Coleoptera, Elateridae)의 유충은 최근 유럽에서 증가추세에 있다.

Bt-옥수수는 조명나방(European maize borer *O. nubilalis*)과 옥수수 뿌리벌레(Western maize rootworm *D. virgifera virgifera*)에 가장 효과적으로 저항성을 보이지만, *Bt*-옥수수가 20년 이상 재배된 시점에서 옥수수 뿌리벌레는 자체 내성을 갖게 되었다.^{23),24)} 내성문제는 두 가지 방법으로 해결될 수 있는데, 하나는 GM 작물의 경우 특이적으로 요구되는 의무 피난구역(Refuge Zone)을 설치하는 것이며, 다른 하나는 저항성 유전자를 한 개 이상 삽입하는 것이다.

22) Purdue University, Field crops IPM, Maize Rootworms

23) Effects of refuges on the evolution of resistance to transgenic maize by the western maize rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, Deitloff J. et al., Pest Management Science 2015, doi: 10.1002/ps.3988

24) Resistance evolution to the first generation of genetically modified *Diabrotica*-active *Bt*-maize events by western maize rootworm: management and monitoring considerations, Devos Y. et al. Transgenic Research 2013 22: 269-99, doi: 10.1007/s11248-012-9657-4.

옥수수 조명나방에 대해 내성을 갖는 유전자의 효과는 이미 자세히 연구되어 저명한 사이언스지에 발표된 바 있다. 해당 논문이 언급되는 이유는 저항성 품종이 도입된 이후 14년 동안 전체 재배지역의 해충 출현 감소를 명백히 밝혀내고 있기 때문이다. 이를 통해 모든 사람들이 32억 달러 상당의 혜택을 받았는데, 여기에는 일반 비형질 전환 품종²⁵⁾을 심은 영농기업의 이득 약 24억도 포함된다.

오늘날, 미국 콩 생산의 93%와 전 세계 콩 생산의 80%가 이미 GMO이다. 콩의 경우, 제초제 저항성 유전자의 사용이 주를 이루지만, 해충에 저항성을 갖도록 하는 Bt 유전자의 사용도 증가하고 있다.

특히 Bt면화는 가장 치명적인 해충인 왕담배나방(*Helicoverpa armigera*²⁶⁾)의 유충에 저항성을 갖는 것이 증명되었으며, 미국과 인도 그리고 호주와 중국에서 면화 재배 증가 및 생산비 절감 역할을 하였다.

25) Areawide suppression of european maize borer with bt maize reaps savings to non-bt maize growers, Hutchison W.D, et al, Science 2010 330: 222-225, doi: 10.1126/science.1190242

26) Suppression of cotton bollworm in multiple crops in china in areas with bt toxin-containing cotton, Wu K.M, et al, Science 2008, 321: 1676-1678, doi: 10.1126/science.1160550

몇년 전, 콜로라도 딱정벌레²⁷⁾에 저항성을 갖는 *Bt*-감자 품종이 미국에서 상업적으로 생산되었다. 그러나 환경론자들은 대규모 생산자들에 대한 위협이 된다고 주장하여 해당 품종의 재배 철회를 관철하였다.²⁸⁾ 따라서 감자에는 여전히 농약을 뿌릴수 밖에 없는 것이다.

환경론자들은 이 밖에도 인도에서 *Bt* 가지 품종(*Bt-brinjal*)의 재배금지를 주장하여 이를 성취하였는데,²⁹⁾ 이후 해당 가지는 오히려 방글라데시에서 포장시험 및 상업화에서 성공을 거둔바 있다.³⁰⁾

Bt 기술은 또한, 토마토³¹⁾ 및 다양한 식물 종을 해충으로부터 보호하는데 사용될 수 있다.

27) Transgenic-Bt potato plant resistance to the colorado potato beetle affect the aphid parasitoid *Aphidius nigripes*, Ashouri A, Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences 2004, 69: 185-189

28) McDonald's GMO dilemma: why fries are causing such a fuss, Gunther M, The Guardian 4 December 2013

29) How Jairam Ramesh's luddite ban on Bt brinjal has set us back several years, Fernandes V, F, Business Feb 17, 2015

30) Bt brinjal in Bangladesh - the true story, Lynas M, 8 May 2014

31) Production of transgenic tomato plants expressing *Cry 2Ab* gene for the control of some lepidopterous insects endemic in Egypt, Saker M.M, et al, Journal of Genetic Engineering and Biotechnology 2011, 9: 149-155, doi: 10.1016/j.jgeb.2011.08.001

● RNA 간섭(RNAi)기술을 통해 해충으로부터 작물을 보호하기

RNA간섭(RNAi)은 전사 후 유전자 억제현상(PTGS)에 기반한 기법이다. RNA 간섭이라는 복잡한 내용을 몇 문장으로 설명하기에는 어려움이 있지만, 이후에 언급되는 성과에 대한 이해를 돕기 위해 RNA간섭이 어떻게 이루어지는지 간단히 설명하고 있다.

RNA 분자들은 DNA와는 대조적으로 단일가닥이지만, 그럼에도 불구하고 세포 내에서 이중 가닥 형태로 발생하게 되면 일련의 이벤트를 통해 한 가닥이 된다. 이는 고등 생물의 세포가 바이러스 감염이나 트랜스포존과 같은 기타 유전적 형태의 침입으로부터 자신을 방어하기 위한 기작이라고 할 수 있다. 이러한 현상은 1998년에 발견되었으며, 2006년³²⁾에는 이러한 이례적인 발견에 대해 노벨상이 수여되었다.

이 기법이 흥미로운 또 하나의 이유는 이미 유전자의 불활성화가 RNA 분자 수준에서 발생하여 목표 단백질이 생성되는 것을 억제하기 때문이다. 유전자 불활성화는 일부 목적 mRNA 서열의 일부와 동일한 서열을 가진 짧은 이중 가닥 RNA 분자를 만드는 구성요소를 삽입하는 유전자 형질전환을 통해 이루어진다. 세포기작에 따라서 RNA 서열과 일치하는 부분 모두가 절단되고 그 결과 유전자 불활성화가 일어난다.

32) The nobel prize in physiology or medicine 2006. Nobelprize.org Nov 25, 2015

이 기법은 다양한 목적을 위해 사용될 수 있는 것으로 정립되었고, 여기에는 해충 방제도 포함되어 있다.³³⁾ *Bt*-유전자 삽입에 비해 이 기법은 RNA 가닥 자체가 살충 효과를 가지지만 식물성 독성 단백질이 발현되지 않는다는 장점이 있다.³⁴⁾ 목표해충 RNAi를 이용해서 식물방어 유도가 가능하기 때문에 매우 해충특이적이라는 것이 특징이다.³⁵⁾

현재 가장 널리 사용되고 있는 기법인 *Bt*-독소 사용은 모든 해충에 적용되는 것은 아니기 때문에 이 새로운 기술은 매우 중요하다고 할 수 있다. 또한, RNAi는 해충이 *Bt*-독소에 내성을 갖는 경우 대안적인 역할을 할 수 있다.

● 선충 저항성 GM 식물

선충은 매우 광범위한 곳에서 서식하는 미세 지렁이다. 약 25,000개의 선충종이 알려져 있으며, 이중 절반 이상이 기생성 선충이다. 생물학자들은 선충종의 수가 백만개 이상이 존재한다고 생각하고 있다. 기생성 선충은 옥수수, 감자, 콩, 사탕무,

33) RNAi for insect-proof plants, Karl H J Gordon K. H. J. and Waterhouse P. M. Nature Biotechnology 2007, 25, 1231-1232, doi: 10.1038/nbt1107-1231

34) Recent advances in RNA interference research in insects: Implications for future insect pest management strategies, Gu L. and Knipple D. CV.; Crop Protection 2013, 45: 36-40, doi: 10.1016/j.cropro.2012.10.004

35) Control of coleopteran insect pests through RNA interference, Baum J. A. et al. Nature Biotechnology 2007, 25: 1322-1326, doi: 10.1038/nbt1359

과일나무, 포도나무, 텃밭 채소 등의 수확량에 영향을 미칠 수 있다. 전통 경작에서는 윤작을 통해 피해를 억제하지만 선충과 같은 종의 경우에는 훈증제, 유기인산화합물, 요소 등의 화학 제품을 이용하기도 한다. 그 결과 원치 않는 환경적 부작용³⁶⁾이 발생하긴 하지만, 선충은 전부 제거된다.

다행히도, (GMO 선입견에 사로잡히지 않은 나라에 한해) 선충³⁷⁾에 저항성을 나타내며, 인체에 해로운 영향을 미치지 않는 형질전환 식물을 개발하는 기술이 이미 알려져 있다.³⁸⁾

그렇기 때문에 이미 쌀, 감자, 바나나(요리용),³⁹⁾ 밀⁴⁰⁾ 등이 선충에 저항성을 갖도록 하는 것이 가능하다. 이 경우 연구진들은 RNAi 기술에서부터 쌀과 감자에서 분리해낸 특정 유전자

36) Chemical control of nematodes: efficiency and side-effects.. Gowen S.R, FAO Corporate Document Repository

37) Engineering broad root-knot resistance in transgenic plants by RNAi silencing of a conserved and essential root-knot nematode parasitism gene 2006, Huang G. et al. PNAS vol. 103: 14302-14306, doi: 10.1073/pnas.0604698103

38) Prototype demonstration of transgenic resistance to the nematode *Radopholus similis* conferred on banana by a cystatin Atkinson H. J. et al. Transgenic Research 2004, 13: 135-142, doi: 10.1023/B: TRAG.0000026070.15253.88

39) Research highlight: Genetic transformation for nematode resistance in rice, potato and cooking bananas for developing countries, PSP Annual Report 2004, Section 2: Introduction, Research Highlights, 17-19

40) Assessment of nematode resistance in wheat transgenic plants expressing potato proteinase inhibitor (PIN2) gene, Vishnudasana D et al. Transgenic Research 2005, 14: 665-675, doi 10.1007/s11248-005-5696-4

삽입까지 여러 가지 방법을 사용하였다. 한 예로, 유럽에서는 선충 저항성 사탕무가 특별히 중요성을 갖는다. 현재 사탕무는 선충으로 인해 4년에 한 번씩만 동일한 밭에서 경작 가능한데, 이는 공장까지의 수송거리를 상당히 증가시키게 된다. 불행히도, 이미 개발된 제초제 저항성 사탕무는 미국에서만 생산된다.⁴¹⁾ 2000년도에 이미 발표된 연구결과인 GM 품종에 대한 반대에 부딪혀 해당 사업은 중단되었다.

다시 말해, 우리는 사탕수수와 비교하여 경쟁력없는 유럽의 사탕무 설탕 생산으로 인해 설탕공장 문을 닫아야 했다. 이러한 상황은 새로운 품종의 육종환경을 완전히 바꾸어 버렸다.

곰팡이병으로부터 식물을 보호하기 위한 유전적 변화

곰팡이병은 많은 수확량 감소는 물론 작물을 초토화 시킬 수 있다. 어떤 곰팡이는 위험한 마이코톡신(진균독)을 생산하기도 한다. 관행방제 방법은 살균제 살포로 17세기에 유럽의 농민들은 *Tilletia tritici* 균으로 인해 흔히 발생하는 옥수수 낱부기병의 전염을 막기 위해 소의 소변이나 수은으로 종자를 살균하기도 했다. 그러나 목표 생물체가 곧 내성을 갖게 되기 때문에 살균제의 효과는 제한적이라고 할 수 있다. 새로운 생

41) Bred for Europe but grown in America: the case of GM sugar beet, Koen Dillen et al. New Biotechnology 2013, 30: 131-135, doi: 10.1016/j.nbt.2012.11.004

태학적 농업이 인기를 얻게 되면서 합성적 종자 살균법은 그 사용이 금지되었고, 그 결과 이미 잊혀진 병들이 다시 확산되고 있으며,⁴²⁾ 더욱 치명적이며, 살충제에 내성을 갖는 변이종이 나타나고 있다.⁴³⁾ *Fusarium* 균으로 인한 감염도 이와 마찬가지로 할 수 있다.

● 녹병과 기타 곰팡이병 방제를 위한 GM 밀

밀은 옥수수과 쌀 다음으로 세 번째로 가장 많이 생산되는 화본과 곡물로, 밀의 세계적 교역 규모는 기타 작물을 합친 것보다 크지만 지금까지 전 세계에서 GM 밀 품종이 재배되고 있는 곳은 없다. 밀 재배에 가장 큰 위협을 가하는 녹병은 *Puccinia* spp. 균으로 인해 발생한다. 녹병은 수확량을 50-80%까지 감소시킬 수 있으며, 전체 작물을 못 쓰게 만들기도 한다. 이미 근동과 아프리카, 독일, 프랑스, 호주, 캐나다에서 잘 알려진 살균제⁴⁴⁾에 내성을 갖는 새로운 변종이 확인되기도 했다.

녹병 저항성 GM 밀을 개발하기 위한 노력은 많은 연구소에서 진행되고 있다. 밀과 유사한 *Aegilops tauschii*의 유전자를

42) Smut diseases, Fuentes-Dávila G, et al, FAO Corporate Document Repository

43) A New Pathogenic Race of *Tilletia caries* Possessing the Broadest Virulence Spectrum of Known Races, Matanguihan J.B. and Jones S.S, Plant Management Network 2011, doi: 10.1094/PHP-2010-0520-01-RS

44) Epidemiology and control of stripe rust [*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*] on wheat, Chen X.M., Canadian Journal of Plant Pathology 2005, 27: 314-337, doi: 10.1080/07060660509507230

밀로 도입하는데 최초로 성공한 곳은 호주 연방과학원(CSIRO)⁴⁵⁾이다. 그러나 불행히도 2011년 7월 14일 국제환경보호단체인 그린피스의 환경운동가들이 녹병 저항성 밀을 시험 재배하고 있던 온실에 침입하여 전체 작물을 못 쓰게 만든 사건이 발생하였다.⁴⁶⁾

Septoria spp., *Tilletia tritici*, *Fusarium* spp. 균 또한 밀에 해로운 곰팡이병을 일으키는데, 특히 후자 균은 식물손상과 수확량 감소 외에도 밀 낱알에 유독한 마이코톡신을 남기기 때문에 인체에 위험하다고 할 수 있다.

● 병저항성 강화 GM 포도

프랑스와 같은 국가에서는 포도재배가 전체 경작면적의 4%를 차지하고 있으며, 여기에 연간 총 농약 사용의 20%인 60,000톤의 농약이 사용되고 있다. 포도재배학에서 “귀부병”으로 알려진 *B. cinerea* 균은 드라이 베리 고급와인이 특유의 향을 갖게 해준다. 프랑스의 소페르네지역의 포도원은 가을에 *B. cinerea* 균의 성장을 돕기 위해 미세한 미스트를 분사하는데, 이는 유명한 달콤한 소테른 와인 생산에 꼭 필요한 과정이다. 다른 시기

45) The Gene Sr33, an Ortholog of Barley Mla Genes, Encodes Resistance to Wheat Stem Rust Race Ug99. Periyannan S. et al. Science 2013, 341: 786-788, doi: 10.1126/science.1239028

46) Australian Greenpeace activists destroy GM wheat crop. Owens B., Nature Biology & Biotechnology, 14 Jul 2011

에는 *B. cinerea* 균은 포도덩굴에 위험하고 피해가 큰 곰팡이로 규칙적인 살균제 살포가 요구된다.⁴⁷⁾ 최근에 과학자들은 포도덩굴이 *B. cinerea* 균에 저항성을 갖도록 유전자를 삽입하는 유전자 변형 기법을 발견하게 되었다.⁴⁸⁾ 여기에서 흥미로운 점은 포도 자체의 유전자가 사용되어 레스베라트롤 농도 증가를 가능케 한다는 것이다.

피어스 전염병 *Xylella fastidiosa*에 저항성을 갖도록 하기 위한 실험은 10년 이상 진행되었지만 삽입된 합성 유전자가 유지되지 않아 성공적이지 못한 결과를 얻었다.⁴⁹⁾ 이와 유사한 실험에는 스틸벤 합성효소를 위해 ‘샤르도네’ 품종에 중국 품종인 *Vitis pseudoreticulata* 유전자를 삽입한 것이 있는데, 이는 흰가루병(*Botrytis cinerea*)⁵⁰⁾에 대한 저항성을 높여 살균제 살포량을 감소시키는 효과가 있다.

47) Gosenice, peronospora, oidij, sedaj še botritis in kap vinske trte. Vtič M., Štajerski tednik 25 Aug 2014

48) Enhanced resistance to *Botrytis cinerea* in genetically-modified *Vitis vinifera* L. plants over-expressing the grapevine stilbene synthase gene. Dabauza M. et al. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 2015, 120: 229-238, doi: 10.1007/s11240-014-0598-x

49) Overexpression of antimicrobial lytic peptides protects grapevine from Pierce's disease under greenhouse but not field conditions. Li ZJT et al. Transgenic Research 2015, 24: 821-836, doi: 10.1007/s11248-015-9876-6

50) Establishment of a picloram-induced somatic embryogenesis system in *Vitis vinifera* cv. Chardonnay and genetic transformation of a stilbene synthase gene from wild-growing *Vitis* species. Dai L.M. et al. Plant Cell Tissue and Organ Culture 2015, 121: 397-412, doi: 10.1007/s11240-015-0711-9

● 미국 삼림으로 돌아온 GM 밤나무

과거에 미국 밤나무(*Castanea dentata*)는 미국의 숲에 있는 전체 나무의 20%에 달했기 때문에 목재와 식량을 위한 중요한 자원이었다. 그러나 1900년 경, 아마도 아시아에서 *Cryphonectria parasitica* 균이 우연히 미국으로 유입되어 50년간 다수의 미국 밤나무에 피해를 주었다. *C. parasitica*에 조금 더 내성을 갖는 중국(*C. mollissima*)과 일본(*C. crenata*) 잡종 밤나무로 미국 밤나무를 대체하고자 하는 노력은 거의 성공적이지 못했다.

미국 밤나무복원을 위한 국가 프로젝트의 일환으로 *C. parasitica*에 저항성을 갖는 GM 밤나무가 개발되었으며,⁵¹⁾ 첫 유전자 변형 *C. dentata* 나무의 시험재배가 2014년에 시작되었다.⁵²⁾ 연구 결과 곰팡이균에 의해 발생하는 옥살산을 분해하는 밀 유전자가 밤나무를 살려낸 것으로 나타났다. William Powell이 주도하는 연구는 이미 밤나무 시험 재도입을 위해 허가를 받은 상태이다.⁵³⁾

미국 밤나무를 살려낸 사례는 특히 유럽의 이목을 끄는데, 유럽 숲의 밤나무도 멸종되고 있기 때문이다. *C. parasitica*가

51) Transgenic American chestnuts show enhanced blight resistance and transmit the trait to T1 progeny, Newhouse AE et al, Plant Science 228: 88-97, doi: 10.1016/j.plantsci.2014.04.004

52) Blight-resistant american chestnut trees take root, Science Daily, November 6, 2014

53) Government approval next step in GM revival of American chestnut, Genetic Literacy Project

유럽 *C. sativa*에 덜 파괴적인 영향을 미침에도 불구하고 유럽 전역에 확산되어⁵⁴⁾ (파괴되지 않은 나무도) 약화시켜 밤나무 혹벌(*Dryocosmus kuriphilus*)과 같은 해충의 공격에 취약하도록 만들고 있다. 미국과는 대조적으로, EU에서 유전자 변형을 통한 문제 해결은 가능하지 않다.

새로운 병이 다른 종에서 지속적으로 나타나고 있음을 언급할 필요가 있다고 본다. 한 예로, 영국에서는 *Chalara fraxinea* 균에 의해 발생하는 곰팡이가 물푸레나무⁵⁵⁾를 파괴하고 있으며, 환경문제에 관심을 갖는 가디언 지 조차 GM이 유일한 해결책⁵⁶⁾이라고 말하고 있다. 이와 유사하게, 이탈리아 남부지역에서는 *Xylcella fastidiosa* 균이 올리브를 전멸시키고 있다.⁵⁷⁾

● 곰팡이 저항성 GM 감자

감자는 *Phytophthora infestans* 균(초기 감자 잎마름병의 원인인 *Alternaria solani* 균과는 대조적으로)에 의한 감자 잎마름병의 영향을 받을 수 있다. *P. infestans* 균에 의한 감염은

54) Chestnut blight in Europe: Diversity of *Cryphonectria parasitica*, hypovirulence and biocontrol, Robin C. and Heiniger U., For. Snow Landsc. Res. 2001, 76, 3: 361-367

55) Ash dieback 'could affect 75% of trees in worst-hit areas', Vaughan A., The Guardian 30 April 2014

56) With 90% of the UK's ash trees about to be wiped out, could GM be the answer? Vidal J., The Observer, Saturday 31 October 2015

57) Europe's olive trees threatened by spread of deadly bacteria, Neslen A, The Guardian 8 January 2015

19세기 중반 유럽의 급격한 감자 생산 감소를 야기시켰고, 가장 큰 타격을 입은 아일랜드는 결국 1845-1852년 대기근을 겪게 되었다. 피해는 적합한 유전자 변형을 통해 방지될 수 있으며,^{58),59),60)} 이는 서리에 대한 저항성도 갖게 해줄 수 있다. 저항성 유전자는 야생 감자종에서 찾을 수 있는데, 이 유전자는 교배나 유전공학기술의 도움으로 감자에 도입이 가능하다. 첫 GM 식물은 이미 시험과정에 있다. 덴마크와 벨기에의 과학자들은 최근 매우 흥미로운 연구결과에 대해 발표한 바 있다. 과학자들은 동종유전자 이식 마커프리 변형을 통한 역병에 대한 지속적 저항성⁶¹⁾이라는 제목의 프로젝트에서 서로 다른 종류의 감자에서 분리한 완전히 다른 세개의 유전자를 동시에 삽입하였다. 이 부분이 중요한 이유가 있다. 다수의 개별 유전자를 동시에 삽입해야만 영구적은 아니더라도 더욱 지속성 있는 저항성을 확보할 수 있는 가능성이 높아지기 때문이다. 저항성을 확보하기 위한 단일 유전자의 삽입은 보통 단기간만 지속되는데, 이는 육종가들이 수십 년 동안 알아온 사실이다. 또 한 가지 중요하게 언급할 필요가 있는 점은 해당 시험에서 유전자가

58) Analysis of late-blight disease resistance and freezing tolerance in transgenic potato plants expressing sense and antisense genes for an osmotin-like protein. Zhu B. et al. *Planta*, 1996, 198: 70-77

59) Performance of transgenic potato containing the late blight resistance gene RB. Halterman D.A. et al. *Plant Disease* 2008, 92: 339-343

60) Development of late blight resistant potatoes by cisgene stacking. Jo K.R. et al. *BMC Biotechnology* 2014, 14: 50, doi: 10.1186/1472-6750-14-50

61) Novel approaches to achieve durable disease resistance. Wageningen UR September 3, 2015

동종유전자 이식을 통해 도입되었다는 사실이다. 동종유전자 이식⁶²⁾은 간단히 말해 근연종에서 분리한 전체 유전자를 어떠한 변형 없이 도입시키는 유전자 형질전환을 일컫는다. 과학자들은 이 접근법을 활용할 경우 소비자 수용도를 높이거나 언제나 부정적인 비평을 잠재우는 일이 더욱 쉬워질 것이라는 확신을 갖고 있다.

● 파괴적인 곰팡이병의 공격을 받는 바나나

아래에서 언급하는 것처럼 많은 종류의 세균병이 바나나를 공격하지만 곰팡이는 더욱 더 파괴적이라고 할 수 있다. 이러한 곰팡이병 가운데 과거에 가장 위험했던 것은 바나나 시들음병 (*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Tropical Race 4)으로, 당시에 가장 흔한 품종인 ‘그로미셸’을 초토화 시켰다. 또 다른 품종인 ‘캐번디시’는 현재 전 세계적으로 재배되고 있는 품종으로 부분적으로만 곰팡이병에 저항성을 갖는다. 대부분의 바나나 농장은 공중에서 살균제를 살포하지만 그 성공은 확신할 수 없다. 전 세계 비디어도 아마도 5년 이내에는 우리가 더 이상 마켓에서 가장 인기 있는 과일인 바나나를 볼 수 없게 될지도 모른다고 자주 보도하고 있다.⁶³⁾

62) Cisgenesis and intragenesis, sisters in innovative plant breeding Schouten H.J. et al. Trends in Plant Science 2008, 13: 260-261, doi: 10.1016/j.tplants.2008.04.005

63) Bananas facing extinction, scientists warn. Wutje E. DW made for minds. Dec 13, 2015

그 원인은 두 가지의 새로운 병원 *yellow sigatoka (Mycosphaerella musicola)*와 *black leaf streak (Mycosphaerella fijiensis)*로 알려져 있는데, 이들은 살균제에 더욱 내성을 보이고 있는 변종이라고 할 수 있다. 살균제를 50회나 살포해도 바나나의 생존은 보장되지 않는다.

바나나는 전통적인 방법으로는 육종을 할 수 없는데 불임성 삼배체가 만들어지기 때문이며, 결과적으로 수정없이 과일이 형성된다. 인공 돌연변이 사용에 기초한 많은 실험들은 대부분 성공을 거두지 못했으며, 교배 또한 성공이 어렵다. 그렇기 때문에 향후 바나나 재배를 위한 가장 현실적인 대안은 유전자 변형을 통해 관련없는 생물체의 유전자를 삽입하는 것이라고 할 수 있다.

바나나 장려품종이 저항성을 갖도록 하는데 필요한 유전자를 삽입하고자 하는 과학자들의 노력과 관련된 다양한 접근법은 과학논문에서 찾아볼 수 있는데, 이는 매우 어려운 과제이다. 아래에서 간단히 이를 설명하고 있다.

인도에서는 마가이닌 유전자 분리라는 이색적인 시험을 하였다.⁶⁴⁾ 이는 아프리카 발톱 개구리에서 발견된 유전자와 유사

64) MSI-99, a magainin analogue, imparts enhanced disease resistance in transgenic tobacco and banana Chakrabarti A. et al, Planta 2003, 216: 587-596, doi: 10.1007/s00425-002-0918-y

한 합성 유전자로 앞서 언급된 곰팡이병에 대해 저항성을 갖는 것으로 알려져 있다. 또 다른 연구팀은 흔한 별꽃의 종자 방어 물질 유전자(Sm-AMP-D1)를 사용하여 인공적으로 합성한 결과 시들음병에 더 큰 저항성을 보여주었다.⁶⁵⁾ 중국의 과학자들은 리소자임을 만드는 유전자를 삽입함으로써 시들음병에 대한 저항성을 얻게 되었다.⁶⁶⁾ 동일한 병에 대한 유사한 저항성은 과도하게 발현된 바나나의 자체 유전자 *MusaDAD1*, *MusaBAG1* 과 *MusaBII*을 통해 얻게 되었다.⁶⁷⁾ 벨기에의 과학자들은 쌀에서 분리된 히티나제 형성을 위한 두개 유전자 도입을 통해 ‘그로미셸’ 품종이 *Mycosphaerella fijiensis* 균에 더 큰 저항성을 갖도록 하였다.⁶⁸⁾ 이스라엘 과학자들은 두개의 다른 유전자⁶⁹⁾인 *Trichoderma harzianum* 균에서 나온 *ThEn-42* endochitinase 유전자와 grape stilbene synthase (*StSy*) 유전자를 삽입하였다.

65) Transgenic banana plants expressing a *Stellaria media* defensin gene (Sm-AMP-D1) demonstrate improved resistance to *Fusarium oxysporum* Chag S.B. et al. 2014, Plant Cell Tissue and Organ Culture 119: 247-255, doi: 10.1007/s11240-014-0529-x

66) Creation of transgenic bananas expressing human lysozyme gene for Panama wilt resistance, Pei X.W. Journal of Integrative Plant Biology 2005, 47: 971-977, doi: 10.1111/j.1744-7909.2005.00141.x

67) Creation of transgenic bananas expressing human lysozyme gene for Panama wilt resistance, Pei X.W. Journal of Integrative Plant Biology 2005, 47: 971-977, doi: 10.1111/j.1744-7909.2005.00141.x

68) Expression of a rice chitinase gene in transgenic banana ('Gros Michel', AAA genome group) confers resistance to black leaf streak disease, Kovacs G. et al. Transgenic Research 2013, 22: 117-130, doi: 10.1007/s11248-012-9631-1

69) Improved tolerance toward fungal diseases in transgenic Cavendish banana (*Musa* spp. AAA group) cv. Grand Nain, Vishnevsky J. et al. Transgenic Research 2011, 20: 61-72, doi: 10.1007/s11248-010-9392-7

이러한 실험방법은 더욱 환경친화적이며, 인간 친화적인 바나나 생산을 가능하게 해줄 것으로 보인다. 그러나 현재는 GM 품종에 대한 반대로 인해 앞서 언급된 연구들이 실험실 또는 온실 수준에 머물러 있으며, 포장시험 또한 거의 수행되지 않고 있는 실정이다.

박테리아와 바이러스로부터 보호하기 위한 유전적 변화

식물은 동물처럼 면역체계를 갖고 있지 않기 때문에 박테리아나 바이러스에 미리 저항성을 나타내도록 ‘백신접종’을 할 수 없다. 식물약제 방법을 통해 부분적이며 제한적인 치료가 가능하긴 하지만 원인인자가 신속하게 내성을 갖게 된다. 바나나와 같은 종은 또한 효과적으로 농약을 살포하기가 매우 힘들다.

● *Xanthomonas campestris* pv. *Musacearum*에 저항성을 갖는 GM 바나나

바나나는 우리에게 다소 이국적인 과일이지만, 전 세계 여러 국가에서 기본적인 식량원이라고 할 수 있다. 2001년 중앙 및 동아프리카의 바나나 농장들은 작물과 보통 전체 식물을 파괴하는 박테리아인 *Xanthomonas campestris* pv. *musacearum* (BWV)의 공격을 받기 시작했다. *X. campestris*은 대기 또는 토양으로 퍼져나가기 때문에 영향을 받은 농장지역에서는 해당 박테리아에 저항성을 갖는 바나나가 아닌 이상 새로운 바나

나를 심을 수 없는데 아프리카에는 그러한 작물이 존재하지 않는다. 파프리카에서 비롯된 적합한 유전자를 도입함으로써 해당 박테리아 감염에 저항성을 갖는 바나나가 재배되었다.⁷⁰⁾ 이와 유사하게 쌀에서 비롯된 유전자⁷¹⁾를 도입하게 되면 *X. campestris*가 새로운 내성을 보일 경우 유용하게 사용될 수 있다.

● 박테리아 *Candidatus Liberibacter* spp.에 저항성을 갖는 GM 오렌지

앞서 이미 아시아와 아프리카의 감귤 농장을 위협한 박테리아(*Candidatus Liberibacter asiaticus*)는 과일의 비정상 숙성(“초록화 현상”)과 나무의 고사를 일으킨다. 이 박테리아는 최근에야 미국에서 발견되었다. 아시아와 미국에서는 곤충 *Diaphorina citri*가 아프리카에서는 *Trioza erytreae*가 병의 매개체로, 이 곤충들은 감귤의 수액을 먹고 살며 감염된 나무의 박테리아를 건강한 나무로 옮긴다. 해당 병은 2005년 플로리다와 2011년 캘리포니아에서 발생하였다. 자연적으로 병에 저항성을 갖는 감귤 품종은 알려져 있지 않다.

70) Expression of sweet pepper Hrap gene in banana enhances resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *musacearum*, Tripathi L, et al, Molecular Plant Pathology 2010, 11: 721-31, doi: 10.1111/j.1364-3703.2010.00639.x

71) Transgenic expression of the rice Xa21 pattern-recognition receptor in banana (*Musa* sp.) confers resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *musacearum*, Jandra N, et al, Plant Biotechnology Journal 2014, 12: 663-673, doi: 10.1111/pbi.12170

플로리다와 캘리포니아(미국에서 다른 여러 가지 가운데 가장 많은 오렌지 주스를 생산)의 오렌지 농장을 구제할 단 한 가지 해결책은 바로 해충 저항성 GMO를 개발하는 것이었다.^{72),73)} 아마도 가장 가능성 있는 해결책은 시금치로부터 두개 유전자를 도입하는데 성공한 것인데,⁷⁴⁾ 이미 실험 절차와 상업화를 위한 준비 중에 있다. 그렇다면 오렌지에서 시금치 맛이 나지 않겠는가 하는 질문을 받는 것은 재미있는 일이다.

또 다른 연구팀은 애기장대의 유전자를 오렌지에 도입하는 유사한 해결책을 제공하고 있다.⁷⁵⁾ GM 감귤은 어떻게 해서든 분명 미국에서 재배될 것이다. 그렇지 않으면 아마도 미국에는 앞으로 감귤이 존재하지 않을 것이기 때문이다.

애기장대는 이후에도 여러 번 언급될 것이다. 이 작은 잡초 품종은 유전학자들 사이에서 매우 인기가 높다. 작은 게놈을 지니고 있으며, 매우 빠른 발달 생활사를 갖고 있어 농업 식물 개선에 필요한 유전자의 기능에 대한 연구에서 흔히 사용된다.

72) A race to save the orange by altering its DNA. Harmon A. The New York Times JULY 27, 2013

73) Can genetic engineering save the florida orange? Voosen P. National Geographic September 13, 2014

74) Spinach genes may stop deadly citrus disease. Rod S.A. AgriLife Today March 26, 2012

75) UF creates trees with enhanced resistance to greening. IFAS News, University of Florida

● 화상병에 저항성을 갖는 GM 사과

Erwinia amylovora 박테리아는 잎 건조를 일으키고 심할 경우 전체 나무를 죽게 만든다. 특히 사과, 배, 모과와 관상용 식물을 공격한다.⁷⁶⁾ 해당 병은 주로 미국에 피해를 입혔지만 1957년 이후로 유럽에 확산되기 시작했다.⁷⁷⁾ 병의 발생은 예측불가능하며, 종종 과수원 나무 전체를 베어내야 하는 경우도 있다.

스위스 ETH연구소에서 개발된 사과 품종 ‘갈라’의 GM 품종은 *E. amylovora*에 저항성을 갖는다. 저항성 유전자는 근연종인 *Malus x robusta*에서 분리되었다. 해당 품종의 포장시험은 2016년 봄 취리히의 보호지역에서 시작한 것으로 되어 있다.⁷⁸⁾

● “레인보우” 파파야

병원성 식물 바이러스인 파파야 윤문병 바이러스(PRSV)는 1937년 하와이에서 처음 나타났으며, 1950년경 더욱 공격적인 돌연변이종이 확산되기 시작하여 당시 파파야 농장의 94%가 파괴되었다. 당시에 파파야는 푸나지역(본 섬에 위치)에서만 엄격히 격리되어 재배되었지만 1992년에 이 지역에도 바이러

76) Scientific opinion on the pest categorisation of *Erwinia amylovora* (Burr.) Winsl, et al. EFSA Journal 2014, 12: 3922 -3959, doi: 10.2903/j.efsa.2014.3922

77) Invasive species compendium, CABI Datasheet

78) Feldversuch geplant mit cisgenen Apfelbäumen, die gegen Feuerbrand resistent sind. Field trial planned with cisgenic apple trees, which are resistant to fire blight. Agroscope 27.10.2015

스가 침입하여 1995년부터 하와이 전역에서 파파야 재배는 불가능해졌다.

Dennis Gonsalves가 이끈 연구팀은 “레인보우” 파파야라고 불리는 GM 파파야를 개발하였는데, 이러한 이름은 PRSV 바이러스에 저항성을 갖도록 도입된 유전자로 인해 과피가 나타내는 색에서 유래되었다.⁷⁹⁾

환경운동가들의 반대에도 불구하고, 생산자들은 GM 파파야를 신속히 받아들였고, 2000년 경에는 수확량이 바이러스 병이 등장하기 이전 수준으로 돌아갔다. 현재는 중국에서도 GM 파파야가 재배되고 있다.

이렇게 이미 일반적인 것이 되었음에도 불구하고, 그린피스 등의 환경운동가들은 태국에서 레인보우 파파야 도입을 막기 위한 시도를 하였다. 우선은 소송을 걸었지만 패소하였고,⁸⁰⁾ 다음으로 단순히 GM 파파야 농장을 파괴하기도 하였다.⁸¹⁾

79) Pathogen-derived resistance provides papaya with effective protection against papaya ringspot virus, Lius S, et al, Molecular Breeding 1997, 3: 161-168, doi: 10.1023/A: 1009614508659

80) Thai supreme court dismisses genetically modified papaya case, Thai Law Forum October 27, 2014

81) Greenpeace decontaminates GMO-tainted Thai papaya farm, NW Resistance Against Genetic Engineering, 19, May 2006

● PVY 바이러스에 저항성을 갖는 GM 감자

포티바이러스과(*Potyviridae* family)에 속하는 PVY 바이러스는 다양한 작물을 위협한다. 변종에 따라 단지 감자수확량 감소만 초래하거나, 괴경에 괴사성 반점까지 일으켜 판매를 하지 못하게 만들기도 한다.

이는 유럽에서 결코 무시할 수 있는 하찮은 문제가 아니다. 바이러스 변종의 하나인 Y^{NTN}은 90년대에 전체 유럽을 위협하기 시작하였다. 이미 앞서 인기 품종이었던 감자들이 더 이상 생산되지 않았다. 슬로베니아 국립생물학연구소의 연구진들은 1998년 전통적인 인기 품종인 'Igor'를 변형하여 Y^{NTN} 바이러스에 저항성을 갖도록 하였으나, 유럽이 GMO에 갖는 과도한 부정적인 태도로 인해 감자의 재배는 불가능하였다. 마침내 유럽의 감자 재배는 야생 감자종 *Solanum stoloniferum* 과 교배하여 PVY^{NTN} 바이러스에 저항성을 갖는 'Sante'와 같은 저항성 품종에 의해 구제되었다.

이들 품종에서 얻은 저항성 유전자는 대부분의 현대 저항성 품종과 교배되었다. 유럽 당국과는 대조적으로 최근 아르헨티나는 더욱 합리적으로 행동하여 2015년 9월 PVY에 저항성을 갖는 GM 감자의 재배를 승인하였다(다른 GM 작물 승인과 함께).⁸²⁾

82) Argentina approves GM potato for human consumption, Fresh Plaza.com, 10/9/2015

기생 진드기에 강화된 저항성을 갖는 꿀벌

21세기 초, 미국을 시작으로 유럽에서도 전체 꿀벌의 집단 폐사가 급격히 증가하는 사건이 발생하였다. 환경단체들은 소위 군집붕괴현상(Colony Collapse Disorder, CCD)의 원인을 네오니코티노이드로 알려진 새로운 종류의 살충제의 탓으로 돌렸다. EU는 환경적 이유를 채택하여 EU에서 임시적으로 clothianidine, thiametoksam 그리고 imidachloprid의 판매와 사용을 금지하였다.⁸³⁾ 과학적 사실들은 네오니코티노이드가 CCD의 중요한 원인이 될 수 없음을 보여주고 있다. 네오니코티노이드가 금지되지 않았던 미국에서는 봉군의 수가 안정적으로 유지되어 사실상 2006년 보다 2012년에 더 늘어난 것으로 나타났다.⁸⁴⁾ 꿀벌의 건강을 연구한 유럽연합 표준물질연구소(European Union Reference Laboratory for honeybee health, EURL)는 공식적으로 발표한 2012-2013년 군집붕괴 관련 범유럽 연구에서 네오니코티노이드의 영향을 언급하지 않고 있으며,⁸⁵⁾ CCD의 흔한 원인으로 꿀벌의 체액을 빨아먹는 기생 진드기 *Varroa destructor*를 꼽고 있다.⁸⁶⁾

83) Commission implementing regulation (EU) No 485/2013. Official Journal of the European Union 25.5.2013

84) Bee deaths reversal: as evidence points away from neonics as driver, pressure builds to rethink ban, Jon Entire, Forbes Magazine 2/05/2014

85) European Union Reference Laboratory for honeybee health (EURL): A pan-European epidemiological study on honeybee colony losses 2012-2013

86) *Varroa destructor* is the main culprit for the death and reduced populations of overwintered honey bee (*Apis mellifera*) colonies in Ontario, Canada. Guzman-Novoa E. et al, Apidologie 2010, 41: 443-450, doi <http://dx.doi.org/10.1051/apido/2009076>



미 농무부(USDA)가 2012년 10월에⁸⁷⁾ 발표한 보고서도 이러한 내용과 유사하다: CCD 출현의 가장 중요한 원인으로 *Varroa destructor*를 꼽고 있으며, 일련의 바이러스는 *V. destructor*에 의해 그 영향이 악화된다고 밝히고 있다.⁸⁸⁾

*V. destructor*와 CCD 간의 관련성을 확인한 것은 대단한 발견이었다. 꿀벌은 Dicistroviridae과에서 비롯되는 바이러스에 의한 마비의 위협을 받는데, 이는 진드기에 의해 옮겨진다. 2007년, 이스라엘에서 최초로 IAPV (*Israeli Acute Paralysis*

87) Report on the national stakeholders conference on honey bee health, USDA, October 2012

88) Varroa-virus interaction in collapsing honey bee colonies, Francis R.M, et al, PlosOne 2013, doi: 10.1371/journal.pone.0057540

Virus)⁸⁹⁾로 알려진 새로운 변종의 활동이 발견되었으며, 최근의 봉군 유전분석은 군집붕괴의 흔한 특징을 *V. destructor*에 의해 옮겨지는 IAPV의 존재로 설명하고 있다.⁹⁰⁾

CCD의 원인에 대한 현재의 정보를 고려해 볼 때, 진드기 *V. destructor*의 해로운 활동이 억제되어야만 하는 것을 명백히 알 수 있다. 다행스럽게도, 앞서 설명된 RNA 간섭이라는 한 가지 효과적인 방법이 알려져 있다. 만약 꿀벌들에게 IAPV의 유전자 염기서열과 상응하는 RNAi를 먹일 경우 이 바이러스 감염에 면역력을 갖게 된다.⁹¹⁾ 진드기의 핵심 유전자만 제거하여 꿀벌과 사람에게는 해를 끼치지 않는 RNAi 서열 삽입도 연구되어 왔다. 이 방법으로 기생진드기수가 60%까지 감소되는 성과를 얻었다.⁹²⁾ 여기에서 괄목할 만한 사실은 제조된 RNA 분자를 먹일 경우 어떠한 DNA도 꿀벌의 게놈에 융합되지 않는다는 사실이다. 2011년부터 몬산토가 소유하고 있는 이스라엘의 Beeologics는 실제 응용을 위한 치료법을 개발하고 있다.⁹³⁾

89) Isolation and characterization of Israeli acute paralysis virus, a dicistrovirus affecting honeybees in Israel: evidence for diversity due to intra- and inter-species recombination. Maori E. et al. Journal of General Virology 2007, 88: 3428-38

90) Genetic survey finds association between CCD and virus. Kaplan K. USDA, September 6, 2007

91) Prevention of Chinese sacbrood virus infection in *Apis cerana* using RNA Interference. Liu X. et al. Current Microbiology 2010, 61: 422-428

92) Bidirectional transfer of RNAi between honey bee and *Varroa destructor*: *Varroa* gene silencing reduces *Varroa* population. Garbian Y. et al. PLoS Pathog. 2012 8: e1003035, doi: 10.1371/journal.ppat.1003035

93) Monsanto's plan to help the honeybee. Rojahn, S.Y. MIT Technology Review, Bio-medicine News July 9, 2013

GM 모기로 뎅기열과 지카 바이러스 퇴치

모기는 지구상에서 가장 치명적인 해충으로 불리곤 했는데⁹⁴⁾ 이는 모기가 옮기는 심각한 질병의 숫자 때문이다. 생명을 위협하는 모기의 수를 감소시키는 것은 오랜 기간 인류의 목표가 되어왔고, 이를 위해 다양한 방법이 사용되었다. 북반구의 개발도상국의 모기가 전염시키는 말라리아는 제2차 세계대전 이후 광범위한 살충제 살포를 통해 거의 완벽에 가까운 전면적 퇴치가 가능했는데, 이때 DDT가 매우 중요한 역할을 하였다. 그럼에도 불구하고, 오늘날에도 말라리아를 전염시키는 모기는 단독으로 2-3백만 명의 사람들을 사망에 이르게 하거나 매년 2억 명 또는 그 이상의 사람들을 감염시키고 있다. 다양한 모기 종에 의해 몇 가지 다른 질병들이 확산되는데 그 가운데에는 황열병과 뎅기열, 심지어 장티푸스도 포함되어 있다. 최근 이집트 숲 모기(*A. aegypti*)가 또다시 대중의 주목을 받고 있는데, 이 모기는 뎅기열과 황열병, 치쿤구니아바이러스(chikungunya virus)를 옮기는 것 외에도, 최근에는 지카 바이러스의 매개체로 확인되었다. 이 치명적인 바이러스를 통한 감염은 암컷 모기에게 단 한번만 물려도 발생한다. 이러한 점은 큰 문제가 되는데, 이집트 숲 모기(*A. aegypti*)의 개체수가 지난 20-30년 사이에 전 세계적으로 늘어나 현재는 가장 널리 퍼진 모기 종이 되었기 때문이다.⁹⁵⁾ 과거 및

94) Mosquitoes and disease, Illinois Department of Public Health, Prevention and Control

95) *Aedes aegypti*, European Centre for Disease Prevention and Control

현재의 모기 퇴치 방법은 충분하지 않으며, (DDT의 경우처럼) 환경적 이유로 사용이 중단되기도 하였다.

한편, 생명공학 기업 옥시테크에서는 새롭고 효과적인 방법을 개발하였다.⁹⁶⁾ 사실 그 방법은 수컷 모기를 환경에 방사해 야생 암컷과 교배 후 알이 죽게 만드는 이미 존재하고 있는 전략을 바탕으로 변형한 것이다. 1950년 이후로 이러한 방법은 수컷 모기에 과도한 방사능 처리를 하였지만 모기 퇴치에는 성공적으로 적용되지 못했는데, 적절한 방사능 처리 양이 모기 자체에게는 너무 강한 탓이었다.

옥시테크의 특허기술은⁹⁷⁾ 곤충의 배아에 tTA 단백질을 생산하는 우성 치사 유전자를 도입시키는 것과 관련 있다. 이는 기술적으로 꽤 복잡해 보이지만 그 사용은 사실 매우 간단하다. 기술적 용어로 말하자면, 사용된 프로모터에 기반하여, 항생물질 테트라사이클린이 존재할 때에는 상대적으로 적은 양의 tTAV 단백질이 생산되는 반면, 테트라사이클린이 존재하지 않을 경우 tTAV 단백질은 양성 피드백 고리로 자체 발현을 촉진한다. 실제로 이는 과학자들이 실험실에서 변형된 모기를 기르고, 항생물질 테트라사이클린으로 먹이를 보충해주며 생존하게 함을 의미한다. 불임을 억제하는 유전자 외에도 GFP 유전자(곤충이

96) TED Talk - Hadyn Parry: Re-engineering mosquitos to fight disease Nov 2012

97) Expression systems for insect pest control, EP 1649027 B1

형광 녹색을 띠게 함) 또는 DsRed(곤충이 형광 붉은색을 띠게 함)가 도입되어 특정 조명 아래에서 GM 모기를 시각적으로 식별할 수 있도록 해주었다. 환경으로 방사하기에 앞서, 수컷과 암컷 모기는 번데기 단계에서 분리시킨다. 수컷 번데기는 암컷보다 작아서 구별을 용이하게 한다. 해당 절차는 매우 효율적인데, 실험결과 수컷 백만 마리당 대략 200 마리의 암컷 GM 모기가 방사되는 것으로 나타났다. 우연히 방사되는 몇몇 암컷들은 위험하지 않은데, 이들은 병을 옮기지 않으며, 도입된 GM 단백질이 인체에 해롭지 않기 때문이다. 사실상 GM 단백질은 모기의 침샘에 존재조차 하지 않는다.

2010년 이후로 대규모 실험이 진행 중이며, 이를 통해 가장 성공적인 90%(이타베라바, 브라질)를 포함하여 이집트 숲 모기의 개체수를 보통 80% 감소시킬 수 있음을 입증하였다. 흔히 사용되는 화학적 모기 퇴치 방법은 모기 개체수를 드물게 20-30% 이상 감소시킨다.

케이맨 제도, 브라질과 기타 지역에서 효율적으로 실험된 반면, 미국의 플로리다키스 제도에서의 실험계획은 GM 기술에 대한 대중의 불신으로 인해 아직 허가를 받지 못한 상태이다. 이러한 상황은 지카바이러스의 출현으로 달라질지도 모른다. 특히, 뉴욕타임즈⁹⁸⁾는 미FDA의 관계자인 Luciana Borio가 미

98) A biotech evangelist seeks a zika dividend. Pollack A, March 5, 2016

국 의회 분과위원회에 플로리다키스 제도에서 모기를 실험하고자 하는 Oxitec사의 승인신청을 FDA가 “매우 신속히 처리할 것”이라고 말했다고 밝혔다. 이는 규제당국에 의한 GMO 상업화 지연의 진짜 원인은 위해성 보다는 대중의 불신과 정치적 공포 때문임을 시사해준다.

옥시테크사는 농업적으로 중요한 해충인 배추좀나방(브라시카 작물), 분홍숨벌레(면화), 지중해과실파리(몇몇 과일 품종), 멕시코과실파리(감귤, 망고, 아보카도), 올리브파리(올리브) 방제를 위해 동일한 방법을 실험하고 있다.

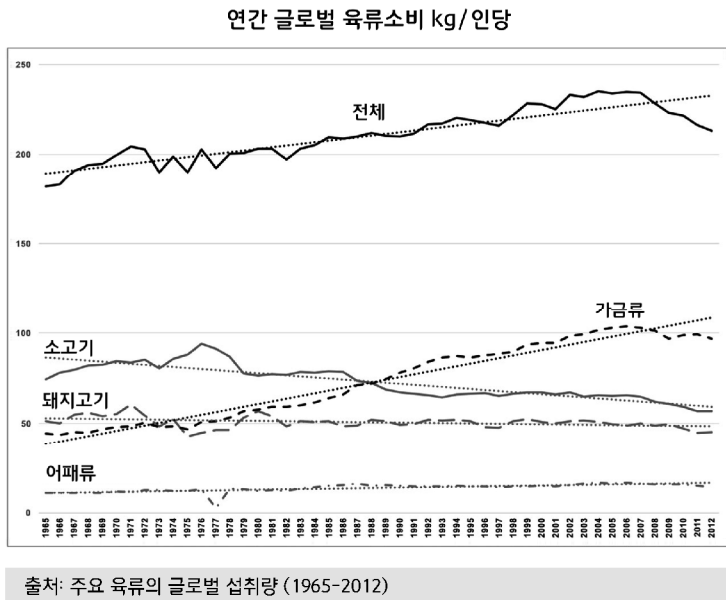
이러한 대규모 포장시험은 모기 퇴치를 위해 실험된 유일한 방법이 아니지만, 설명된 것들이 가장 발전되고 상용화에 가까운 방법임을 강조할 필요가 있다. 다른 몇 가지 방법들에 대한 개요를 Achee 등이 제공하고 있다.⁹⁹⁾

더욱 효율적인 육류 생산을 위한 GMO 사용

육류는 인체가 스스로 생산할 수 없는 필수 단백질을 함유하고 있다. 가장 최근의 연구결과로 판단하자면, 적절하게 영양가

99) A critical assessment of vector control for dengue prevention, Achee N.I. et al, 2015 PLoS Neglected Tropical Diseases 9(5): e0003655

가 풍부하고 균형 잡힐 경우^{100),101)}, 철저한 채식주의 식단이라 하더라도 우리의 인체가 필요로 하는 모든 것을 얻을 수 있는 가능성이 있다. 그러나 이는 결국 육류를 섭취하는 일반식보다 고가일 수 있기 때문에, 정말로 건강한 채식주의 식단은 부자들의 특권정도로 생각할 수 있다. 대부분의 사람들에게 고기는 가장 중요한 단백질원이자 고열량 식품이기도 하다. 이러한 이유로 국가적 차원에서 육류의 사용은 발달의 척도가 되었다.



100) The contribution of vegetarian diets to health and disease: a paradigm shift? Sabatè J., The American Journal of Clinical Nutrition 2003, 78: 502S-507S

101) Nutritional Update for Physicians: Plant-Based Diets, Philip J. and Tuso P.J. The Permanente Journal 2013, 17: 61-66, doi: 10.7812/TPP/12-085

육류의 사용은 거의 글로벌 GDP (2008년 이후의 하락은 재정위기와 관련되어 있다)에 따라 늘어나고 있지만, 그 비율은 변하고 있다. 소고기 사용이 감소하고, 돼지고기도 약간 적게 사용하면서 총 사용량 증가는 전적으로 가금류로 인한 것으로 나타났다. 이는 사육비에도 반영되어 있다: 기본 지침은 FCR (사료요구율)로 1kg의 고기를 생산하는데 필요한 건조사료의 정도(kg)를 나타낸다. 소의 FCR은 7-8, 돼지는 3-4, 가금류는 1.3-2이다. 가장 낮은 FCR은 1.1-1.8의 수치를 갖는 물고기 양식이지만, 우리가 먹는 대부분의 생선은 여전히 야생에서 잡고 있다.

인구증가와 함께, 우리는 가장 고품질의 식품을 충분히 확보 하길 원하기 때문에 육류 생산을 향상시키며 효율성을 제고할 수 있는 모든 방법을 활용해야 할 것이다.

● 아프리카 파동편모충에 저항성을 갖는 GM 소고기

체제파리(*Glossina* spp.)를 통해 옮겨지는 단일세포 기생충인 아프리카 파동편모충(*Trypanosoma brucei*)은 사람의 수면병을 유발하는 것으로 잘 알려져 있으며, 다른 포유류를 감염시킬 수 있다. 사실 아프리카 야생 동물 가운데 가축으로 순화시킨 개량종 아프리카 소 제부(zebu)와 같이 저항성을 갖는 것도 있다. 전 세계 다른 지역에서 온 가축으로 아프리카에서 사

육될 수 있는 것들은 신속하게 감염되어 동물이 매우 약해지고, 종종 죽음에 이르게까지 하는 질병에 걸리게 된다. 그렇기 때문에 아프리카 전역에서 소를 사육하는 것은 불가능하며, 대부분의 지역에서는 제부조차도 서식이 불가능하다. 영국, 아일랜드, 케냐, 한국의 연구팀은 아프리카 파동편모충에 저항성을 갖도록 유럽소를 유전자 변형하는 방법을 발견하였다.¹⁰²⁾ Stephen J. Kemp는 아프리카 파동편모충에 저항성을 갖는 것으로 확인된 GM 소를 사육하기 위해 개코원숭이에서 얻은 유전자를 추가하는데 성공하였고,¹⁰³⁾ 이는 아프리카의 소 사육가능성을 근본적으로 변화시킬 것으로 기대되고 있다.

● 아프리카 돼지열병에 저항성을 갖는 GM 돼지

수면병 외에도, 아프리카에서 사육되고 있는 가축은 ASFV (아프리카 돼지 열병 바이러스)의 위협을 받는데, 이는 주로 *Potamochoerus larvatus* 돼지의 아프리카 종인 흑멧돼지와 기타 많은 토종을 감염시키지만, 병의 증상을 유발하지는 않는다. 그러나 유럽과 아시아 돼지 종에는 높은 사망율과 함께 출혈열을 유발한다. 그래서 아프리카에서는 돼지 육종이 불가능하다. 에든버러 대학교에서는 흑멧돼지의 유전자를 유럽 돼지의 게

102) Genetic and expression analysis of cattle identifies candidate genes in pathways responding to Trypanosoma congolense infection, Noyesa H, et al, PNAS vol. 108 no. 22, 9304-9309, doi: 10.1073/pnas.1013486108

103) Transgenic cows might help struggling farmers in Africa, Fobar R, Popular Science, May 7, 2015

놈에 도입하여 ASFV¹⁰⁴⁾에 저항성을 갖는 GM 돼지의 개발에 성공하였고, 이렇게 탄생한 첫 동물에 대한 시험사육이 이미 진행되었다.¹⁰⁵⁾

● 지방함량이 적고 근육조직이 많은 GM 돼지

현대 서양의 식단에서 동물의 지방은 선호되지 않는다. 이로 인해 동물 사육자들은 가능한 한 버려지는 지방이 적은 고기를 사육하기 위해 노력하고 있다. 중국과 한국의 과학자들은 유전자 편집(CRISPR/Cas9) 기술을 통해 근육 조직의 함량은 높고 피하지방은 적어 가족에서 근육을 볼 수 있는 돼지를 개발하였다. 연구팀은 빠른 시일내에 상업화 승인을 받길 기대하고 있는데, 김진수 박사는 동일한 돼지가 관행선택발달식에 의해 육종 가능하지만, 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다고 밝혔다.¹⁰⁶⁾

● 뿔이 없는 황소

젖소의 뿔은 다른 소와 사육자를 찌르는 것을 막기 위해 주로 초기인 송아지 시기에 제거된다. 몇몇 소와 양 가운데에는 자연적으로 뿔이 없는 종도 존재하지만, 낙농에 사용되는 젖소 종은

104) Species-specific variation in RELA underlies differences in NF-κB activity: a potential role in african swine fever pathogenesis, Christopher J. et al. Journal of Virology 2011, 85: 6008-6014, doi: 10.1128/JVI.00331-11

105) Could these piglets become Britain's first commercially viable GM animals? Hannah Devlin, The Guardian, 23 June 2015

106) Super-muscly pigs created by small genetic tweak, Cyranoski D., Nature 2015, 523, 13-14, doi: 10.1038/523013a

여기에 해당되지 않는다. 명백한 경제 및 안전상의 이유에도 불구하고, 뿔 제거 과정은 비윤리적이며, 고통을 가하는 것임에는 틀림이 없다.

TALENs로 알려져 있는 또 다른 유전자 편집 기술을 통해 미네소타 연구소인 Recombinetics의 연구팀은 뿔 성장에 핵심인 유전자 발현을 억제시켜, 뿔이 자라지 않는 송아지 두마리를 최초로 탄생시키는데 성공하였다.¹⁰⁷⁾ 이렇게 소의 고통을 줄여주는 것은 획기적인 발전이며 동시에 경제성도 클 것으로 기대된다.

● 인바이로피그(Enviropig)[®] - 곡물의 인(P) 성분을 더 잘 활용하는 GM 돼지

인(P)은 지구상의 모든 생명체에 필수적인 요소이다. 옥수수, 콩, 밀 낱알은 피트산(phytic acid)의 형태로 50-75%의 인을 함유하고 있다. 반추동물은 피트산에서 인을 얻을 수 있도록 소화기관에 박테리아를 갖고 있는 반면, 돼지, 가금류, 물고기와 기타 다수의 사육되는 동물들은 그렇지가 못하다. 그렇기 때문에 전 세계의 농민들은 사료에 인산염을 보충해주는데, 이는 채광을 통해 얻어지며 가장 많이 사용되는 비재생 원료라고 할 수 있다. 그러나 이 밖에, 피트산은 소화되지 않은 상태로 남아 있어 수용성 폐기물로 배설되며, 물로 흘러들어가 심해까

107) UC Davis welcomes campus' first gene-edited calves, Sadlowski E. The California Aggie 18 January 2016

지 오염시킨다. 부자들만 사용할 수 있는 또 다른 방법은 사료에 피타아제 효소를 섞어 피트산을 분해하도록 하는 것으로, GM 박테리아를 기반으로 상업적으로 생산된다.

캐나다 켈프대학교의 연구진은 침에서 피타아제를 만드는 유전자 변형 돼지를 개발하였다.¹⁰⁸⁾ *Eschericia coli* 박테리아에 시 나온 PSP/APPA 유전자를 끼워 넣어 만들었다. 피트산을 분해하는 효소가 사료에 섞여있기 때문에, 곡물의 인을 더욱 잘 흡수할 수 있으며, 배설물을 75%까지 줄일 수 있는 것으로 나타났다.¹⁰⁹⁾

다른 방식으로 동물은 먹는 곡물 가운데 이미 피타아제를 함유하고 있는 곡물에 의해 해결될 수도 있다. 자세한 내용은 아래에 설명되어 있다.

● 아쿠아 어드밴티지(AquAdvantage)TM - 일반 연어보다 두 배 빨리 자라는 GM 연어

물고기는 오메가 3 지방산을 함유하고 있어 특히 인체에 이로울 훌륭한 단백질원이라고 할 수 있다. 우리가 먹는 대부분의 물고기는 바다에서 잡히며, 먹이사슬의 최상위에 있기 때문에 지상에 있는 동물 가운데 사자와 호랑이를 식량으로 선택한 것

108) University of Guelph, EnviropigTM Technology

109) Pigs expressing salivary phytase produce low-phosphorus manure. Golovan S.P. et al. Nature Biotechnology 2001, 19: 741-745, doi: 10.1038/90788

과 같은 효과를 보여준다. 인류의 욕구가 증가하면서 우리는 이미 수많은 야생종을 한계치까지 사냥하였기 때문에, 어업은 더 이상 실행 가능하지 않다. 그러나 대부분의 물고기 종들은 양식이 가능하다. 실제로 동물 가운데 물고기의 사료요구율(FCR)의 효율이 가장 좋다. 최상의 FCR은 양식 연어에서 얻어졌는데, 스코틀랜드에서 고기 1kg 당 0.99kg의 사료가 사용되었으며, 칠레에서는 고기 1kg 당 1.1kg의 사료가 사용되었다.¹¹⁰⁾

유전공학기술을 통해 연어가 더 빨리 자라도록 하는 노력은 1989년으로 거슬러 올라가는데, 당시 캐나다의 뉴펀들랜드 메모리얼 대학교에서는 알맞은 유전자 조성을 만들어 도입하였다. 그들은 약 40,000개의 유전자를 갖는 대서양 연어(*Salmo salar*)의 유전체에 태평양 연어(*Oncorhynchus tshawytscha*)에서 얻은 유전자와, 조절영역을 갖는 등가시치과 물고기의 일종인 북서 대서양 오션파우트(*Zoarces americanus*)의 유전자를 도입하였다. 일년의 절반을 따듯한 지역에서 자라야 하는 일반 물고기와는 달리 이러한 인공 유전자는 물고기의 지속적 성장을 가능하게 해준다. 따라서 이 물고기는 일반 물고기에 소요되는 3년이 아닌 16-18개월 안에 판매 가능한 무게로 자라며, 동일한 무게에 도달하는데 사료를 25% 덜 사용하도록 해준다.¹¹¹⁾

110) Evaluation of closed-containment technologies for saltwater Salmon aquaculture, B. Sayavong, E.M.P. Chadwick, G.J. Parsons (ed.): Canadian Science Publishing (NRC Research Press) January 2010, ISBN-13: 978-0660199689

111) Chronology of aquadvantage[®] salmon and aquabounty technologies, www.aquabounty.com

라이센스 구입 후, 상업화 노력은 미국 아쿠아바운티(Aqua-Bounty Technologies)사로 넘어갔으며, 19년 간의 검증 끝에 마침내 2015년 11월에 미국 식품의약국이 식품용으로 승인하였다.¹¹²⁾ 이로써 연어는 미국과 전 세계에서 식품용으로 승인된 첫 GM 동물이 되었다.

식물이 비생물학적 스트레스에 적응하도록 돕는 유전공학기술

유전공학기술을 사용한 초기에는 생물학적 스트레스 즉, 해충이나 더욱 효과적인 제초제에 저항성을 갖는 식물들이 주를 이루었으며, 이를 통해 작물 재배를 개선하였다. 그러나 현재는 비생물학적 스트레스에 저항성을 갖는 품종들이 더욱 더 많이 개발되고 있다. “비생물학적 스트레스”는 병, 해충, 잡초, 그리고 기타 생물학적 요인과는 관련이 없지만 작물의 성장과 결실에 영향을 줄 수 있는 모든 형태의 불량한 자연환경을 일컫는데, 여기에는 토양의 염도, 더위나 추위, 가뭄이나 홍수, 토양의 적은 질소 및 인 함량 등이 포함된다. 상상해 보자. 서리에 저항성을 갖는 유전자가 수년 동안 알려져 있는데, 해마다 봄 특히 요즘에는 더욱 자주 발생하는 치명적인 서리를 두려워할 필요가 있는가?

112) FDA has determined that the aquadvantage salmon is as safe to eat as non-GE salmon.
FDA Consumer Health Information / U.S. Food and Drug Administration November 2015

● 빠르게 자라고 서리에 저항성을 갖는 GM 유칼립투스

유칼립투스는 열대 및 아열대 지역에서 빠르게 성장하는 나무이다. 주로 목재와 셀룰로오스 용도로 쓰이며, 호주와 칠레 그리고 기타 온화한 지역에서 자란다. 유칼립투스는 자연적인 형태에서는 서리를 견뎌내지 못한다.

그러한 이유로 칠레의 연구진이 서리에 견디는 특성을 갖기 때문에 더 높은 고도에서 자랄 수 있는 유전자 변형 유칼립투스를 개발하게 되었다.¹¹³⁾ 미국의 ArborGen사는 -8°C 저온에도 견딜 수 있는 GM 유칼립투스를 개발하였고 이미 플로리다에서 시험재배를 시작하였다.¹¹⁴⁾

이스라엘의 FuturaTech사는 애기장대의 유전자를 도입하여 근본적으로 더욱 빠르게 자라는 유칼립투스를 개발하였다. 이스라엘, 남아프리카, 브라질과 기타 지역의 조림지에서 바이오연료로 가공할 수 있는 목재를 생산하는 것을 목표로 하고 있다.¹¹⁵⁾

113) RAPD and freezing resistance in Eucalyptus globulus, Fernández M.R, et al, Electronic Journal of Biotechnology 2006, 9, doi: 10.2225/vol9-issue3-fulltext-9

114) Cold-tolerant trees win, Walt E, Nature Biotechnology 2011, 29: 1063, doi: 10.1038/nbt1211-1063b

115) The GM tree plantations bred to satisfy the world's energy needs, Vidal J., The Guardian 15 November 2012

● 홍수와 가뭄에 저항성을 갖는 벼

벼 유묘는 물이 담긴 논에 심지만, 어린모는 3일 이상 물에 잠겨 있을 경우 썩게 된다. 베트남, 인도, 그리고 방글라데시와 같은 국가에서 홍수는 상당량의 작물을 파괴한다. 1996년, 파멜라 로널드 박사는 홍수에 저항성을 갖는 벼를 개발하게 된 유전자 연구를 시작하였다.¹¹⁶⁾ 기술적으로 그녀가 사용한 방법(유전자 표지 사용)은 유전자변형기술로 간주되지는 않지만, 원하는 특성을 갖는 식물을 더욱 빠르게 선발할 수 있도록 해주었다.¹¹⁷⁾ 다수의 포장시험 끝에 연구팀은 무려 14일간 침수를 견뎌낼 수 있는 벼를 개발하는데 성공하였다.^{118),119)} 다양한 품종의 역교배에 이어 현재는 Sub1 벼 품종이 동남아시아의 수백만 명의 가난한 농민들에 의해 재배되고 있으며, 그들은 로열티를 지불하지 않아도 된다. 일본 과학자들은 작물 손실없이 벼가 익는 시기에 홍수를 견뎌낼 수 있는 GM 벼 종류를 개발하였다.¹²⁰⁾ 벼 재배에는 많은 양의 물이 요구되는데, 한 예로, 중국에서는 공급되는 전체 담수의 약 50%가 사용된다. 그렇기 때문에 적은

116) Submergence tolerant rice: SUB1's Journey from Landrace to Modern Cultivar, Bailey-Serres J, Rice 2010, 3: 138-147, doi 10.1007/s12284-010-9048-5

117) Selection theory for marker-assisted backcrossing, Frisch M. and Melchinger A.E., Genetics 2005, 170: 909-917, doi: 10.1534/genetics.104.035451

118) Sub1A is an ethylene-response-factor-like gene that confers submergence tolerance to rice, Xu K, et al, Nature 2006, 442: 705-708, doi: 10.1038/nature04920

119) Flood tolerance mediated by the rice SUB1A transcription factor, Jenks M.A, et al, Plant Abiotic Stress 2014, Second Edition, doi: 10.1002/9781118764374.ch1

120) Mechanisms for coping with submergence and waterlogging in rice, Nishiuchi S, et al, Rice 2012, 5: 2, doi: 10.1186/1939-8433-5-2

관개에도 높은 수확량을 얻을 수 있는 품종이 개발되고 있다.¹²¹⁾

● 가뭄에 더 큰 저항성을 갖는 GM 옥수수

2012년에 개발된 DraughtGuardTM는 최초의 가뭄 저항성 GM 옥수수이다.¹²²⁾ 토양 박테리아인 고초균(*Bacillus subtilis*)에서 얻은 유전자를 도입함으로써 저항성을 갖도록 하는데 성공한 것이다. 현재 비생물학적 스트레스에 저항성을 갖는 품종의 재배를 위한 다양한 방법들이 알려져 있다.¹²³⁾ 아프리카 농업기술 재단(The African Agricultural Technology Foundation, AATF)은 관행육종과 GM 기술로 추가된 유전자를 통해 개발된 품종들이 결합하여 근본적으로 아프리카 작물 수확량의 규모와 안정성을 개선시킬 것이라고 생각하고 있다.¹²⁴⁾ 벼에서 얻은 적합한 유전자의 과발현을 통해 발육중인 옥수수 이삭 내 trehalose-6-phosphate의 농도를 줄이는 것이 유망한 방법인 것으로 나타났다.¹²⁵⁾ 연구자들에 따르면, 유전자 변형된 형질은 형질전환되

121) Breeding for water-saving and drought-resistance rice (WDR) in China, Luo L.J., Journal of Experimental Botany 61: 3509-3517

122) Monsanto's GM drought tolerant maize, DiLeo M, Biology Fortified 25 August 2012

123) Overexpression of maize SDD1 (ZmSDD1) improves drought resistance in Zea mays L. by reducing stomatal density, Yanbo Liu Y, et al, Plant Cell, Tissue and Organ Culture 2015, 122: 147-159

124) AATF: combining breeding and biotechnology to develop water efficient maize for Africa (WEMA), Concept Note

125) Expression of trehalose-6-phosphate phosphatase in maize ears improves yield in well-watered and drought conditions, Nuccio ML et al, Nature Biotechnology 2015, 33, 862-869, doi: 10.1038/nbt.3277

지 않은 작물의 수확량과 비교하여, 가뭄이 없거나 어느 정도의 가뭄 환경에서 9%에서 49%까지 수확량을 증가시키며, 더욱 심각한 가뭄 환경에서는 31%에서 123%까지 수확량을 개선시키는 것으로 나타났다.

● 가뭄 저항성 토마토

2013년 1월, 인도의 연구진은 가뭄에 더욱 저항성을 갖는 토마토를 개발했다고 발표하였다.¹²⁶⁾ 그들은 토마토 유전자 BcZAT12를 사용하여 과발현될 경우 토마토가 가뭄에 살아남도록 하였다.

● 가뭄 저항성 GM 콩, 아르헨티나에서 재배승인 받아

아르헨티나의 연구진은 미국의 Arcadia Biosciences사와 협력하여 가뭄에 더욱 저항성을 갖는 GM 콩 품종을 개발하였다.¹²⁷⁾ 아르헨티나 정부는 최근 콩 품종 HB40의 재배를 승인한 바 있다.¹²⁸⁾ HB4(그 구성요소는 아직 밝혀진 바가 없다)로 이루어진 품종은 전 세계에서 최초로 비생물학적 스트레스에

126) Engineering drought tolerant tomato plants over-expressing BcZAT12 gene encoding a C2H2 zinc finger transcription factor, Raia A.C. et al. Phytochemistry 2013, 85: 44-50, doi: 10.1016/j.phytochem.2012.09.007

127) Stress-tolerant soybeans to be advanced through new collaboration by bioceres, Arcadia Biosciences, and TMG, Arcadia Biosciences, July 7, 2015

128) Bioceres and Arcadia biosciences receive regulatory approval for stress-tolerant soybeans in argentina through Verdeca Joint Venture, BusinessWire, April 27, 2015

저항성을 갖는 콩 품종이 되었다.¹²⁹⁾

● 온실가스 메탄을 배출하지 않는 GM 쌀

메탄은 이산화탄소보다 84배나 더욱 효과적으로 지구에서 방출되는 방사선을 흡수하기 때문에, 잠재적 온실가스가 된다고 할 수 있다. 벼 논은 가장 큰 인위적 메탄 방출원으로, 7-17%의 대기 메탄을 생산한다.¹³⁰⁾ Su 등은 최근 네이처지에¹³¹⁾ 단일 전사 인자 유전자인 보리 *SUSIBA2*를 도입함으로써 쌀을 개량했다고 발표하였는데 GM 벼의 뿌리에 있는 탄소 흐름을 지상의 잎과 낱알로 옮기는 중요한 성과를 얻는데 성공한 것이다. 이러한 분배는 종자와 줄기의 바이오매스와 녹말함유량을 증가시키는 동시에 뿌리 분비물의 감소를 통해 메탄생성을 억제시켰다.

● 질소를 더욱 잘 활용하는 GM 쌀

벼는 특별히 물이 담겨진 논에서 재배되어 물이 영양분을 침출시키기 때문에, 주로 아시아에서 농민들은 많은 양의 질소

129) Stress-tolerant soybeans to be advanced through new collaboration by bioceres, Arcadia Biosciences, and TMG, Arcadia Biosciences July 7 2015

130) Metabolic, phylogenetic, and ecological diversity of the methanogenic archaea, Liu Y. and Whitman W.B. Annals of the New York Academy of Sciences 2008, 1125: 171-189, doi: 10.1196/annals.1419.019

131) Expression of barley *SUSIBA2* transcription factor yields high-starch low-methane rice. Su J. et al. Nature 2015, 523: 602-606, doi: 10.1038/nature1467

비료를 추가해야 한다. 현재 육종가들은 질소이용효율을 증가 시킴으로써 비료의 사용량을 줄일 수 있는 방법을 연구하고 있다. 신젠타의 연구진은 켈프 대학교의 과학자들과 협력하여 더 나은 질소 사용에 영향을 미칠 수 있는 다수의 유전자에 대한 연구결과를 발표하였다.¹³²⁾ 조기 뿌리혹 형성유전자 *Os06g05010*는 두과작물의 근류균형성을 지배하는 유전자로 제한된 질소 공급에도 성공적으로 수확량을 증가시켰다. 최근에 발표된 연구에서 연구팀은 해당 유전자가 수확량을 23%나 증가시킬 수 있음을 확인하였다.¹³³⁾ 지금도 연구는 현대 유전체학 방법¹³⁴⁾의 도움으로 집중적으로 계속되고 있으며, 현대 유전체학 방법의 도움으로 다른 종으로까지 연구가 확대되고 있다.¹³⁵⁾

● 인(p) 성분을 더욱 잘 활용하는 GM 식물

인(P)은 식물에 필수적인 요소이며, 사실상 비재생(혹은 최소한 재생하기 어려운)자원이다. 인은 수용성 형태로 끊임없이

132) Increased nitrogen-use efficiency in transgenic rice plants over-expressing a nitrogen-responsive early nodulin gene identified from rice expression profiling. Bi YM et al. Plant Cell & Environment 2009, 32: 1749-1760, doi: 10.1111/j.1365-3040.2009.02032.x

133) Identification of regulatory genes to improve nitrogen use efficiency. Guevara D.R. et al. Canadian Journal of Plant Science 2014, 94: 1009-1012, doi: 10.4141/CJPS2013-154

134) Transcriptome analysis of nitrogen-starvation-responsive genes in rice. Yang W.Z. et al. BMC Plant Biology 2015, 15: Article Number: 31, doi: 10.1186/s12870-015-0425-5

135) Mining for low-nitrogen tolerance genes by integrating meta-analysis and large-scale gene expression data from maize. Luo B.F. et al. Euphytica 2015, 206: 117-131, doi: 10.1007/s10681-015-1481-5

바다로 침출되며, 화산분출에 의해서만 되돌아 올 수 있다. 이러한 이유로 모든 재배 형태에서 인산질 비료가 필요하며, 특히 토양에 상당량의 인이 부족한 지역에(예, 호주)서는 더욱 그렇다. 또 다른 문제는 인이 충분히 또 집중적으로 존재하는 지역이 드물며, 점점 고갈되어가고 있다는 점이다.

인 공급원을 더욱 효과적으로 사용할 수 있도록 하는 특정 유전자가 발견되었는데,¹³⁶⁾ 일반 식물은 무기인산염(orthophosphate PO_4^{3-})을 기반으로 소금에서 필요한 인을 뽑아낼 수 있으며, 유전자 변형된 식물도 phytyte PO_3^{3-} 를 활용할 수 있다. 토양 박테리아인 슈도모나스 스투즈제리(*Pseudomonas stutzeri*)에서 얻은 *ptxD* 유전자를 사용함으로써, 연구진은 최초로 작물이 이러한 형태의 인을 활용할 있는 독특한 기회를 만들어냈다. 실험을 통해 유전자 변형된 식물은 일반 식물보다 동일한 수확량을 얻는데 30-50% 더 적은 인을 사용하며, 바이오매스를 2-10배 많이 생성시켜 잡초를 “능가”하게 된 것으로 나타났다. 이러한 유전자 변형 때문에 동시에 세초제처리 필요성도 감소하게 된 것이다.

중국의 연구진은 또 다른 방법에 성공하였는데, 핵심 영역의

136) Engineering phosphorus metabolism in plants to produce a dual fertilization and weed control system, López-Arredondo D.L. and Herrera-Estrella L. Nature Biotechnology 2012, 30: 889-893

프로모터를 변형함으로써 벼가 적은 인으로도 생존이 가능하도록 했다.¹³⁷⁾

필리핀과 한국의 연구진은 유기인의 활용 향상에 성공하였다고 발표하였다. 벼 유전자 *OsACP1*의 활동을 증가시켜 벼에 이미 존재하는 유기인을 근본적으로 더욱 잘 활용하도록 하였으며, 작물의 생산량이 200%까지 향상되었다.¹³⁸⁾

● 내염성 GM 작물

작물이 고염분 환경에서 자랄 수 있는 형태, 즉 염생식물로 변형시키는 것은 현대 유전공학기술이 갖는 잠재적인 흥미로운 과제 가운데 하나이다. 대부분의 일반 식량작물인 밀, 호밀, 콩 등의 경우, 자연적 염생식물 가운데 유전적으로 가까운 작물을 갖고 있어 핵심 유전자^{139),140),141)}를 도입할 수 있는 가능성

137) Genetic manipulation of a high-affinity PHR1 target cis-element to improve phosphorous uptake in *Oryza sativa* L. Ruan W. et al. Plant Molecular Biology 2015, 87: 429-440, doi: 10.1007/s11103-015-0289-y

138) Enhanced organic phosphate utilization by over-expression of OsACP1 and OsPAP1 genes in rice (*Oryza sativa* L.). Hwang WH et al. Philippine Journal of Crop Science 2015, 40: 17-23

139) Living with salinity. C.S. and Munns R. New Phytologist 2008, 179: 903-905, doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02596.x

140) Learning from halophytes: physiological basis and strategies to improve abiotic stress tolerance in crops, Shabala S., Annals of Botany 2013, 112: 1209-1221, doi: 10.1093/aob/mct205

141) Halophytes: a precious resource. Gamal E.I et al. In: A. Hamdy (ed.), Non-conventional water use: WASAMED project, Bari: CIHEAM / EU DG Research, 2005, p. 119-128 (Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches; n. 53)

을 제공해주고 있다. 식량작물의 “염생식물화”는 근본적으로 해안가, 해수 습지, 오늘날 사용되지 않는 유사 지역뿐만 아니라 척박한 토지 환경이 염류화를 악화시키는 농경지까지 가능한 경작지를 확대시킬 수 있다.

이미 염분이 높은 토지에서 자랄 수 있는 최초의 GM 작물 (밀¹⁴²)과 알팔파¹⁴³)에 대한 시험재배가 진행되고 있다. 과학자들은 밀과 알팔파의 염분 저항성을 위해서 각각 애기장대의 *AtNHX1* 유전자와 질소고정 토양 박테리아 리조비움의 *rstB* 유전자를 도입하였다.

의학적 활성성분 생산에 GMO 사용

신념에 따라 GM 식품에 반대하는 사람조차도 질병에 걸리게 되면 유전자 변형 박테리아로 만든 약을 거부하지는 않을 것이다. 이는 오늘날 대부분의 항생제, 생물학적 제제, 그리고 수많은 의학적 활성성분에 적용된다.

의약품 개발의 다음단계는 필요한 활성성분 또는 원료를 유

142) Enhanced salt tolerance of transgenic wheat (*Triticum aestivum* L.) expressing a vacuolar Na^+/H^+ antiporter gene with improved grain yields in saline soils in the field and a reduced level of leaf Na^+ . Zhe-Yong Xue et al, Plant Science 2004, 167: 849-859, doi: 10.1016/j.plantsci.2004.05.034

143) Enhanced salt tolerance of alfalfa (*Medicago sativa*) by *rstB* gene transformation. Zhanga W.J. Plant Science 234: 110-118, doi: 10.1016/j.plantsci.2014.11.016

전자 변형 작물을 통해 더 저렴한 비용으로 만들어 내는 것이다. 이 가운데에는 이미 개발된 방법들도 있다.

의학적 활성성분을 만들기 위한 GMO의 생산은 전형적인 ‘부티크’ 활동으로, 예를 들면, 소규모의 흩어져 있는 지역에도 적합하여 특히 경작가능한 지역의 크기 면에서 경쟁력이 없는 국가들의 농업에 알맞다.

● 에볼라 예방약을 생산하는 GM 담배

2013년 12월 6일, 치명적인 에볼라 전염병의 첫 희생양으로 아프리카 기니의 2세 남아가 사망하였고, 이어서 동부 및 중앙 아프리카로 확산되어 감염된 이들의 70%가 사망하였고, 2015년 6월 전체 사망자 수는 11,000명 이상에 이르렀다.¹⁴⁴⁾

여러 가지 실험을 통해 개발된 새로운 실험적 치료제인 지맵(ZMapp)을 우선 원숭이에 투여한 결과 100% 성공을 거두었다.¹⁴⁵⁾ 그 뒤 에볼라 증상을 보이는 환자들의 동의를 얻어 지맵을 투여했으며, 이는 가장 효과적인 에볼라 치료 수단으로 증명되었다.¹⁴⁶⁾ 지맵은 치료에 필요한 중화항체를 만들어내는 야생

144) Ebola death rates 70% - WHO study, Briggs H, BBC News Health 23 September 2014

145) Experimental Ebola drug cured 100% of monkeys tested, Szabo I, USA TODAY August 29, 2014

146) Reversion of advanced Ebola virus disease in nonhuman primates with ZMapp, Xiangguo Qiu X, et al, Nature 2014, 514: 47-53, doi: 10.1038/nature13777

담배과에 속하는 담배식물(*Nicotiana benthamiana*)을 통해 만들어졌다.

현재도 지맵은 미국의 소규모 제약회사인 *Mapp Pharmaceuticals*에 의해 실험적으로 생산되고 있으며, 제한된 범위의 담배 생산에 요구되는 엄격한 규제환경을 감당할 수 있다. 그리하여 재배된 첫 GM 담배가 이미 사용되었다.

미국 규제당국이 어떠한 생물체를 허용할지는 아직 명백하지 않다. 한편, 연구진들은 이미 더 넓은 지역으로 퍼질 수 있는 새로운 형태의 에볼라 바이러스를 발견하였기 때문에,¹⁴⁷⁾ 치료제의 성분을 지속적으로 업그레이드시킬 필요가 있다.

● 에볼라 치료 위한 인간항체 생산 GM 소

미국에서 인간 DNA를 삽입하여 에볼라 바이러스에 대한 항체를 생산할 수 있는 소에 대한 보도가 있었다.¹⁴⁸⁾ GM 소의 혈액에서 얻은 혈청은 인간의 것과 완벽히 동일하다. 적합한 항체를 포함하고 있을 경우 이는 이미 에볼라 치료를 돕는 것으로 나타났다.

147) The ebola wars, Preston R., The New Yorker, October 27, 2014 issue

148) Genetically modified cattle with human DNA might hold ebola cure. Fox M., NBC News, Jan 19 2015

● GM 염소, 토끼, 암탉: 걸어다니는 의약품 생산자

혈액응고를 예방할 수 있는 젖을 생산하도록 염소가 유전자 변형되었다. 혈액응고 예방 단백질은 200마리의 GM 염소에 의해 생산되었다.¹⁴⁹⁾ 개발사는 이러한 단백질을 만들기 위해 안티트롬빈을 생성하는 인간 유전자를 사용하였으며, 염소 프로모터 염기서열을 통해 염소 젖에서만 단백질이 생산되도록 하였다. 유전성 질환의 하나인 유전성 혈관부종은 혈장단백질 (C1-esterase inhibitor)의 결핍에 의해 발생하는데, 이는 현재 형질전환 토끼의 젖에서 생산된 인간 재조합 효소에 의해 치료 가능하다.¹⁵⁰⁾ 또 다른 유전성 질환인 리소솜산 리파아제 결핍 증은 현재 GM 암탉이 생산하는 달걀의 흰자로 치료 가능하다.¹⁵¹⁾ 카누마라고 불리는 치료제는 리소솜산 리파아제 결핍증 환자들이 갖고 있는 불량 효소를 대체함으로 효과를 나타낸다.

● 말라리아 백신 생산 GM 효모 및 담배

전 세계적으로 1억 9,800만 명의 사람들이 말라리아로 고통 받고 있고 매년 584,000명이 사망하는데, 이 가운데 대부분이 아프리카의 어린이들이다. 가장 흔한 형태의 말라리아는 미생

149) F.D.A. approves drug from gene-altered goats, The New York Times Pollack A, 6, Feb 6 2009

150) FDA approves new product to treat rare genetic disease, FDA News Release, July 17 2014

151) FDA approves genetically modified chicken - but not as food, Duhaime-Ross A, The Verge Dec 9 2015

물 *Plasmodium vivax*과 *P. falciparum*에 의해 발생하며, 후자가 더 치명적인 형태의 원인이 된다.¹⁵²⁾ *P. falciparum*에 의한 감염에 가장 효과적인 치료법은 본래 원산지가 중국인 쓴쭉과인 개동쭉(*Artemisia annua*)에서 얻어지는 아르테미시닌과 그 파생물의 사용에 기초한다. 치료제는 유전자 변형 효모¹⁵³⁾를 통해 생산하기 시작하여 오늘날 더 구하기 쉬워졌으며, 과학자들은 이미 GM 담배¹⁵⁴⁾에서 아르테미시닌을 생성하는 방법을 발견하였다.

● HIV 예방 GM 담배

지맵(ZMapp)의 개발을 가능하게 한 유사한 방법¹⁵⁵⁾을 통해 이미 임상단계에 이른 HIV 예방 치료제가 개발되었다.¹⁵⁶⁾

● 인슐린 제조를 위한 GM 대장균, 효모 및 홍화

세계보건기구(WHO) 데이터에 따르면, 2014년 18세 이상의

152) World Health Organization, Media Center, Malaria Fact sheet N°94 (Reviewed April 2015)

153) High-level semi-synthetic production of the potent antimalarial artemisinin, Paddon C. J. et al. Nature 496, 528-532 (25 April 2013), doi: 10.1038/nature12051

154) Generation of the potent anti-malarial drug artemisinin in tobacco, Farhi M. Nature Biotechnology 29: 1072-1074, doi: 10.1038/nbt.2054

155) Influence of Antiviral Factor on Tobacco Mosaic Virus RNA Biosynthesis in Tobacco, Šindelářová M. and Šindelář L. Biologia Plantarum 2003, 46: 95-100

156) Anti-HIV drug made by GM plants begins trials in humans, Boseley S. The Guardian 19 July 2011

성인 9%가 당뇨병을 앓고 있는 것으로 나타났다. 2012년에 당뇨병은 1,500만 명이 사망하게 된 직접적인 원인이 되었다.¹⁵⁷⁾ 대부분의 환자들은 매일 인슐린을 필요로 하는데, 이는 본래 소, 돼지, 그리고 물고기에서만 얻을 수 있었다. 1978년 이후로 효모에서 인슐린을 생성하는 방법이 밝혀졌으며,¹⁵⁸⁾ 인슐린을 얻을 수 있는 가장 최근의 방법은 GM 홍화(*Carthamus tinctorius*)에 기반한 것이다.¹⁵⁹⁾

● B형 간염 예방을 위한 GM 효모, 감자, 토마토, 바나나

B형 간염은 인간의 간을 공격하는 바이러스 감염으로, 매년 2억 4,000명이 감염되며, 이 가운데 780,000명이 사망한다.¹⁶⁰⁾ B형 간염의 완치는 불가능하기 때문에 최신의 예방책은 백신 접종이라고 할 수 있다. 오늘날 대부분의 백신은 유전자 변형 효모로 만들어지며,¹⁶¹⁾ 가장 최신 방법은 우리가 규칙적으로 먹는 몇가지 과일이나 채소 중의 유전자 변형 파생물을 통해 백신 발현을 가능하게 하는 것이다.¹⁶²⁾ 해당 연구를 통해 감자

157) World Health Organization, Media Center, Diabetes Fact sheet N°312 (Updated January 2015)

158) Secretion of human insulin by a transformed yeast cell, Hansen T.L. and Sørensen M.T. FEBS Letters 1987, 212: 307-312

159) SemBioSys achieves major insulin milestone, PR Newswire July 18 2006

160) World Health Organization, Media Center, Hepatitis B Fact sheet N°204 (Updated March 2015)

161) Human hepatitis B vaccine from recombinant yeast, McAleer WJ et al. Nature 1984, 307: 178-180

162) Immunogenicity in humans of an edible vaccine for hepatitis Thanavala B.Y. et al. PNAS 2005, 102: 3378-3382, doi: 10.1073/pnas.0409899102

에서 항생제가 만들어졌으며, 실험 대상들은 생감자를 먹었다.

● 리소자임과 락토페린을 생산하는 GM 벼(지사제)

리소자임과 락토페린은 인간의 장과 모유에 들어있는 중요한 면역효소로, 원치 않는 미생물의 감염을 예방해준다. 성인은 일반적으로 먹는 음식인 우유와 달걀 등을 통해 두 효소를 모두 충분히 얻는다. 효소부족은 전형적으로 설사를 유발하며(장의 효소 함량을 감소시킴), 이러한 현상은 효소가 부족한 이유식을 먹는 아기들에게서 주로 발생한다. 이 밖에도 두 효소는 지사제의 핵심 구성요소이기도 하다. 현재는 GM 벼에서 리소자임과 락토페린이 생성될 수 있는데,^{163),164)} GMO에 대한 반대로 아직 미국에서 생산승인을 받지 못했다.

● 고세병을 예방하는 GM 당근과 벼

고세병(Gaucher's disease)은 희귀 유전성 질환으로, 글루코세레브로시다아제(glucocerebrosidase) 효소의 유전적 결핍으로 발생한다. 이 병은 장기의 지방 침착과 간과 비장의 비대증, 간부전, 뼈 결손 등을 유발한다. 고세병은 완치가 불가능하며, 결핍되는 효소와 동등한 성분을 주사함으로써 완화된다.¹⁶⁵⁾

163) Expression and localization of human lysozyme in the endosperm of transgenic rice, Yang D et al, Planta 2003, 216: 597-603

164) Expression of human lactoferrin in transgenic rice grains for the application in infant formula, Nandi S, et al, Plant Science 2002, 163: 713-722, doi: 10.1016/S0168-9452(02) 00165-6

165) Mayo Clinic, Diseases and Conditions, Gaucher's disease



이러한 치료법은 필수적이며, 목숨을 구하지만 매우 많은 비용이 발생한다.

2012년 5월 미국의 식품의약국은 고세병을 치료하는 신약¹⁶⁶⁾을 승인하였는데, 이는 GM 당근 세포를 이용하여 바이오리액터에서 만들어졌으며,¹⁶⁷⁾ 환경운동가들의 반감을 사게 되었다. 이탈리아에서는 과학자들이 낱알에서 베타글루코시다제에 쓰이는 손상되지 않은 인간 유전자를 발현하는 GM 벼를 개발

166) Protalix, Pfizer report FDA approval of plant-derived Gaucher disease ERT Elelyso, GEN News Highlights May 2, 2012

167) Gaucher's disease treatment option rides on carrot cells' biologic power, Morrow T, Managed Care 2012, 21: 45-46

하는데 성공하였으며,¹⁶⁸⁾ 이는 고세병 치료에 이용된다.¹⁶⁹⁾ 과학자들은 온실에서 실시된 실험들을 통해 이 GM 쌀이 필요한 단백질을 성공적으로 만들어 냄을 확인하였는데, 모든 환자들이 쓸 수 있는 양의 GM 벼 재배에는 몇 헥타르의 땅만 필요하기 때문에 치료비용을 극적으로 감소시킬 수 있다. 치료제 등록을 위해서는 2년 동안 포장시험을 실시해야 하는데, GMO에 반대하는 유럽의 법에 따라 이탈리아와 스페인 모두에서 실시되지 못했다. 류블랴나 대학교(University of Ljubljana)의 생공학부와 연결하였지만, 슬로베니아에서도 결과는 같았다: 편견에 근거한 법이 과학을 이긴 것이다.¹⁷⁰⁾

● 정밀 암세포 파괴를 위해 사용되는 GM 규조류

암세포를 파괴시킬 수 있는 항암치료는 매우 독성이 강하다. 그렇기 때문에 치료를 받는 환자들은 치료 내내 몸 상태가 좋지 않으며, 암세포의 완전 파괴를 보장할 수 없는 낮은 수준의 항암 치료에도 보통 머리카락이 빠지게 된다.

수년 동안, 연구진들은 암세포만 정확히 찾아서 항암성분을 분비하도록 고농축 활성 항암 성분을 미세 운반체에 넣기 위한

168) Endosperm-specific expression of human acid beta-glucosidase in a waxy rice, Patti T, et al. Rice 2012, 5: 34 <http://www.thericejournal.com/content/5/1/34>

169) Endosperm-specific expression of human acid beta-glucosidase in a waxy rice, Patti T, et al. Rice 2012, 5: 34, doi: 10.1186/1939-8433-5-34

170) Nezaželeni riž. Undesired rice. Zgonik S., Mladina 27, 7. 7. 2011

방법을 찾기 위해 노력해왔다. 펩타이드를 사용하여 상당한 성공을 거두었으나, 이러한 방법은 쉽게 물에 녹는 수용성 항암 활성성분에만 적합한 것으로 나타났다.

물에 잘 녹지 않는 항암 활성성분을 전달하기 위한 가장 성공적인 방법은 반투과성 규산염 나노입자를 통해 전달하는 것으로 나타났다.^{171),172)} 이 방법의 단점은 입자 생산에 많은 비용이 발생하며, 매우 독성이 강한 화학물질이 사용된다는 것이다.

한편, 자연에는 적합한 반투과성 규산염 운반체가 존재한다. 바로, 규조류의 골격으로, 규조류는 해수 및 담수에서 모두 살 수 있는 단세포 조류이다. 규조류는 이미 지구상의 생명체가 존재하는 핵심 열쇠가 되고 있으며, 바다에 있는 기본 영양분 생산의 약 45%를 차지하여 고등생물체의 존재를 가능하게 한다. 해양 규조류의 일종인 *Thalassiosira pseudonana*는 북대서양에 서식하며, 4-6 μ m 지름의 둥근 골격을 갖고 있다. 미국, 호주, 독일의 연구팀은 *Thalassiosira pseudonana*가 물에 잘 녹지 않는 항암 활성성분의 운반체로 사용될 수 있도록 유전적 구조를 변형하는데 성공하였다. 이 밖에, 연구팀은 이 규조류가

171) Mesoporous silica nanoparticles as controlled release drug delivery and gene transfection carriers, Slowing I.I. Advanced Drug Delivery Reviews 2008, 60: 1278-1288

172) Biocompatibility, biodistribution, and drug-delivery efficiency of mesoporous silica nanoparticles for cancer therapy in animals, Jie L. Small 2010, 16: 1794-1805, doi: 10.1002/sml.201000538

특정 단백질(암)에만 치료제를 사용하도록 구조류의 골격에 특정 장치를 만드는데 성공하였다.¹⁷³⁾

최종 소비자에게 직접 혜택을 제공하는 GMO

유전자 변형 기술은 인간의 건강에 유익한 구성요소를 함유하고 있어 최종 소비자에게 명백한 혜택을 제공하는 작물의 개발도 가능하게 하였다.

● 황금쌀

2000년 7월 31일, 타임지 표지에는 스위스의 잉고 포트리쿠스(Ingo Potrykus) 박사¹⁷⁴⁾의 사진을 게재하였는데, 그는 독일의 피터 베이어(Peter Beyer) 박사와 공동으로 프로비타민 A(인체가 비타민 A를 만드는데 필수적으로 요구되는 베타카로틴)가 함유된 GM 벼를 개발한 인물이다.

오렌지색을 띠는 모든 식품에는 충분한 양의 베타카로틴이 들어있으며, 무엇보다도 육류를 통해 충분한 비타민 A를 섭취하기 때문에 서양에서는 비타민 A 결핍이 문제가 되지 않는다. 그러나 쌀을 주식으로 하는 국가에서는 심각한 문제가 된다.

173) Targeted drug delivery using genetically engineered diatom biosilica, Delalat B. et al. Nature Communications 2015, 6: Article number: 8791, doi: 10.1038/ncomms9791

174) Dr. Ingo Potrykus, Time July 31, 2000

쌀은 베타카로틴을 함유하고 있지 않는다. 비타민 A 결핍은 안구건조증 xerophthalmia(그리스어의 “건조한 눈”에서 유래)을 유발하며, 야맹증의 원인도 되지만, 장기간 부족할 경우 실명에 이르게 할 수 있다. 주로 동남아시아에서 매년 250,000명에서 500,000명의 어린이들이 비타민 A 부족으로失明하며, 절반 이상이 사망하게 된다.¹⁷⁵⁾

잉고 포트리쿠스와 피터 베이어 박사는 수선화의 *psy* 유전자와 토양 박테리아 *Erwinia uredovora*의 *crt I* 유전자를 도입함으로써 베타카로틴을 함유하는 황금쌀을 얻는 첫 실험에 성공하였다. 이렇게 하여 얻어진 비타민 A의 양은 일반적으로 필요한 것보다 약간 적은 것으로 나타났다. 따라서 오늘날 GMO 반대자들은 하루에 필요한 비타민 A의 양을 충족시키기 위해 황금쌀을 몇 키로 단위로 섭취해야 할 필요가 있다는 점을 설명하는데 여전히 이러한 사실을 강조한다.¹⁷⁶⁾ 아스트라제니카(Astra-Zeneca, 현재는 신젠타) 사는 수선화 대신 옥수수의 유사 유전자를 사용하여 근본적으로 더 많은 베타카로틴 함량을 얻어낼 수 있었다. 이렇게 하여 현재 해당 황금쌀은 일반적으로 필요한 생물학적으로 가용한 베타카로틴을 충분히 함유하고 있는 것으로 나타났다.¹⁷⁷⁾

175) World Health Organization, nutrition, micronutrient deficiencies, vitamin A deficiency

176) Golden Illusions - The broken promises of golden rice. Greenpeace, October 2013

177) Golden Rice is an effective source of vitamin A. Tang G, et al. The American Journal of Clinical Nutrition 2009, 89: 1776-1783, doi: 10.3945/ajcn.2008.27119



황금쌀은 처음부터 사람들을 돕기 위해 계획되었으며, 높은 프로비타민 A 결핍률을 보이는 국가의 가족들과 소규모 생산을 위한 무료 접근은 대부분의 사람들을 위한 식량을 보장해준다. 황금쌀은 필리핀의 국제 미작연구소(IRRI)에서 철저한 검사를 거쳤으며, 완벽하게 안전한 것으로 결론 내려졌다.

그러나 불행히도 “환경 운동가”들의 신동적 신전과¹⁷⁸⁾,¹⁷⁹⁾ 공공기를 파손¹⁸⁰⁾으로 인해 황금쌀은 필요로 하는 이들에게 공급되지 못하고 있는 가운데, 최근 첫 상업화 생산용 포장시험이 방글라데시에서 시작되었다.¹⁸¹⁾

178) Take action: Stand up for your rice! Greenpeace International, October 15, 2009

179) Hands off our rice! Greenpeace International

180) GM protesters cut down crop. BBC News, 18 May, 2003

현재 유전적 변화를 통해 콩¹⁸²⁾과 바나나¹⁸³⁾ 그리고 다른 여러 작물 종의 베타카로틴 함량을 증가시키는 것이 가능해졌다.

● 철분과 아연 강화 GM 벼

사실 현대 사회에서 가장 흔한 영양공급 문제는 철분결핍이라고 할 수 있다. 이는 여러 가지 방법으로 인체 기능을 방해할 수 있으며, 심각한 경우 사망에 이르게 할 수 있다.¹⁸⁴⁾ 연구진들은 몇 가지 농작물의 가용 철분 함량을 증대시킬 수 있는 방법을 모색하고 있다. 그 결과, 벼의 유전자 변형을 통해 생물학적으로 가용한 철분을 제공하도록 한 두건의 실험이 성공하였다고 보고되었다.^{185),186)}

두 실험의 경우, 벼 유전자 OsNAS1의 과발현을 일으켜 니코티아나민 성분을 증대시켰다. 이는 최근에 두개 국가에서 포장

181) Bangladeshi scientists ready for trial of world's first 'Golden Rice' The Daily Star Oct 8 2015

182) Genetic modification of the soybean to enhance the β -carotene content through seed-specific expression, Kim M.J. et al, PLOsone 2012, 7(10): e48287, doi: 10.1371/journal.pone.0048287

183) GM banana designed to slash African infant mortality enters human trials, Milmo C., The Independent 10 JULY 2015

184) Iron deficiency anaemia: assessment, prevention and control, World Health Organization 2001

185) Nicotianamine, a novel enhancer of rice iron bioavailability to humans, Zheng L. et al, PLOS one 2010, 5(4): e10190, doi: 10.1371/journal.pone.0010190

186) Constitutive overexpression of the OsNAS gene family reveals single-gene strategies for effective iron- and zinc-biofortification of rice endosperm, Johnson A.A.T. et al, PLOsone 2011, 6(9): e24476, doi: 10.1371/journal.pone.0024476

시험이 이루어져 쌀 낱알에 $15\mu\text{g g}^{-1}$ 철분과 $45.7\mu\text{g g}^{-1}$ 아연 함량을 보여주었다.¹⁸⁷⁾ 낱알에서 해로운 중금속은 검출되지 않았다. 해당 형질은 다른 유전자형을 가진 품종에서도 안정적인 것으로 나타났다. 저자들은 “우리는 수확량 감소 없이 답수답 환경에서도 가장 널리 소비되는 인디카 쌀 품종의 GM 이벤트에서 우리 식단이 필요로 하는 추정된 평균 요구사항의 30%를 충족시킬 수 있는 철분/아연의 영양분 목표달성을 성취하여 유전자의 안정적 도입이 확인되었다.”고 결론을 내렸다.

● 비타민 B₆ 함량 강화 GM 카사바

카사바(*Manihot esculenta*)는 서양식단에서는 희귀하고 이국적인 채소지만, 열대 지역에서는 탄수화물을 얻을 수 있는 세 번째로 가장 중요한 작물이다. 그러나 불행히도 카사바는 탄수화물 이외의 성분은 거의 함유하고 있지 않고, 무엇보다도 비타민이 거의 없어 비타민 1일 권장량을 위해서 1.3kg의 카사바를 섭취해야 한다. 카사바는 대부분의 비타민 B₆를 함유하고 있지만, 일반적인 일일 필요량을 얻기 위해서 최소 1kg의 카사바를 먹어야 한다. 카사바가 주요 식단에 포함되는 나라에서는 B₆ 결핍으로 인한 질병인 염증, 습진, 비듬과 유사한 각질증상(지루성 피부염), 심한 구내염, 눈의 염증(결막염), 신경계 손상

187) Biofortified indica rice attains iron and zinc nutrition dietary targets in the field, Trijatmiko KR et al. 2016, Scientific Reports 6, Article number: 19792, doi: 10.1038/srep19792

(말초신경증) 등이 매우 흔하다. 이로 인해 스위스의 연방공과대(ETH)의 연구진들은 잎과 근경에 더 많은 B₆을 함유하는 GM 카사바 품종을 개발하게 되었다.¹⁸⁸⁾ 이들은 애기장대의 *PDX1.1* 과 *PDX2* 유전자를 카사바에 도입하여 GM 카사바를 만들었다. 첫 번째로 육종된 품종은 개발도상국의 B₆ 결핍 문제를 해결하기에는 여전히 B₆ 함량이 매우 적었지만,¹⁸⁹⁾ 카사바를 더 나은 식량 작물로 변형하는 첫 번째 시도라는 점에서 매우 중요하다고 할 수 있다.

● 글루텐 함량이 적은 GM 밀과 보리

글루텐은 어떤 사람들에게 셀리악병으로 알려진 자가면역반응을 일으킨다. 선진국에서 글루텐 프리 식단의 인기는 점점 많아지고 있는데 정말 실효성이 있는지에 대해서는 과학적 근거가 부족한 경우도 있다. 여하튼 유전공학기술은 자가면역반응을 일으키지 않도록 근본적으로 더 적은 글루텐을 함유하는 밀¹⁹⁰⁾을 생산할 수 있도록 해준다. 가까운 시일 내에 셀리악 병환자들의 식단 문제를 크게 완화해 줄 완벽한 글루텐 프리 밀을 만날 수 있을 것으로 기대된다.

188) Increased bioavailable vitamin B₆ in field-grown transgenic cassava for dietary sufficiency, Li K.T. Nature Biotechnology 2015, 33: 1029-1032, doi: 10.1038/nbt.3318

189) A cure for vitamin B₆ deficiency. Rüegg P. ETH Zurich News 09.10.2015

190) Structural genes of wheat and barley 5-methylcytosine DNA glycosylases and their potential applications for human health. Wen S. et al. PNAS 2012, 20543-20548, doi: 10.1073/pnas.1217927109

스페인 코르도바 *Instituto de Agricultura Sostenible*의 연구팀은 오슬로 대학교의 과학자들과 협력하여 이미 셀리악 자가면역반응을 일으키는 글루텐을 구성하는 단백질인 글리아딘이 없는 GM 밀(특허번호, EP 2 395 089 B1)을 개발하고, 특허를 신청하였다.¹⁹¹⁾ 그들은 RNA 분자 수준에서 목표 단백질의 생성을 방지하는 목적 RNAi 서열을 도입함으로써 이를 만들어냈다. 이는 특허를 받은 GMO 밀은 주요 글루텐 단백질 함량을 97.3% 감소시킬 수 있는 것이 밝혀졌지만, 나머지 다른 성분이 셀리악 병 환자의 자가면역 반응을 유발하는지에 대해서는 아직 입증되지 않았다.

이 경우에도, 극도로 규제가 심한 EU 법이 얼마나 손해를 끼치는지 알 수 있다. 연구소는 유럽에서 밀재배에 관심을 갖는 유럽 회사를 찾을 수 없었다. 특허는 영국 컨설팅 회사 Plan Bioscience Limited가 사들여 직접 밀을 재배하지 않고, 유럽 이외의 국가에 특허를 판매하거나 생산을 위한 라이선스를 제공할 것으로 보인다.¹⁹²⁾

191) Effective shutdown in the expression of celiac disease-related wheat gliadin T-cell epitopes by RNA interference. Gil-Humanes J. PNAS 2010, 107: 17023-17028, doi: 10.1073/pnas.1007773107

192) La patente española del trigo para celíacos tendrá que buscarse la vida en el extranjero. Benavente R.P., El Confidencial, 11.11.2015

● 알레르기를 유발하지 않으며 미생물 감염을 억제하는 우유를 생산하는 GM 소

우유는 단백질 베타 락토글로불린(β -lactoglobulin)을 함유하고 있는데, 이는 모유에 들어 있지 않기 때문에 2-3%의 어린이들에게 알레르기 반응을 유발하고 있다. 대부분의 어린이들이 자라면서 이러한 알레르기가 사라지지만, 오늘날 더 많은 어린이들이 우유로 만든 식품을 먹기 때문에 문제가 되고 있다.

뉴질랜드의 과학자들은 RNAi기술의 도움으로 우유에 베타 락토글로불린이 발현되지 않는¹⁹³⁾ GM 소를 개발하는데 성공하였으며, 이러한 이유로 우유를 신생아에게 먹이기 더욱 안전할 것이다. 많은 사람들은 우유에 함유되어 있는 유당에 알레르기 증상을 갖는다. 우유의 유당 함량을 감소시키는 유전자의 성공적인 도입이 보도되었지만,¹⁹⁴⁾ 최종결과가 아직 과학논문으로 발표되지 않았다.

중국의 과학자들은 우유가 모유와 가능한 한 동일해지도록 우유를 변형하였다. 그들은 락토페린과 리소오좀을 만들기 위해 추가된 유전자가 항균 특성을 갖고 있음을 확인하였다. 연구를 통해, non-GM 또는, GM 복제 소의 우유에서 특수하게 발현

193) Targeted microRNA expression in dairy cattle directs production of β -lactoglobulin-free, high-casein milk, Anower Jaber A., PNAS 2012, 109: 16811-16816, doi: 10.1073/pnas.1210057109

194) Cows genetically modified to produce healthier milk. The Telegraph 17 June 2012

된 인간 알파 락트알부민, 락토페린 또는 리소오좀이 모든 그룹에서 근본적으로 유사한 단백질 프로파일을 갖고 있는 것으로 나타났다.¹⁹⁵⁾

● 숙성 지연 토마토

Flavr Savr(“플레이버 세이버”로 발음) 토마토는 1994년 미국 시장에 출시된 최초의 상업화 GMO 품종이다.^{196),197)} 이 GM 품종은 폴리갈락투로나아제 효소를 암호화하는 유전자의 안티센스 복사본을 포함하고 있다. 효소활동을 억제함으로써, 토마토는 숙성이 지연되어 완전히 숙성된 후 수확할 수 있도록 하였다. 토마토는 “유전자 변형됨”이라는 표시를 달고 판매되었으며, 처음에는 성공한 사례였다. 이와 동시에 (1996년부터 1999년까지) 제네카가 판매한 통조림 토마토가 해당 토마토로 만들어진 페이스트 형태로 유럽에 소개되었다. 영국의 슈퍼마켓 체인 업체인 세인스버리와 세이프웨이에서 180만 개의 통조림이 판매되었다. 이후 GMO를 “프랑켄푸드”¹⁹⁸⁾라고 부르면서 공포심을 조장하는 보도로 인해 통조림들은 슈퍼마켓 판매대에서

195) Comprehensive Assessment of Milk Composition in Transgenic Cloned Cattle Zhang R. et al. Plos ONE 2012, 7(11): e49697, doi: 0.1371/journal.pone.004969697

196) The case of the FLAVR SAVR tomato, G. Bruening and J.M. Lyons, California Agriculture 54: 6-7, July-August 2000

197) <https://www.youtube.com/watch?v=kv5Tlkan3z8>

198) The original Frankenfoods: origins of our fear of genetic engineering. Aneela Mirchandani, Genetic Literacy Project 10, Feb. 2015

사라졌다. 미국에서의 생산은 몬산토사의 라이선스 구입 후 중단되었다. 최근에는 인도의 과학자들¹⁹⁹⁾을 포함하는 몇몇 연구팀들이 유사한 결과를 얻었는데, 이들은 RNAi 기술을 통해 두 개의 N-glycoprotein 변형 효소를 비활성화시킴으로 토마토의 숙성을 지연시켰다.

● 암 발생 위험을 감소시키는 “흑색” GM 토마토

안토시아닌은 과실이나 꽃이 빨강, 파랑, 보라색(pH와 농도에 따라 다름)을 나타내도록 하는 색소로, 암 발생 위험을 감소시키는 것으로 오랫동안 알려져 왔다.²⁰⁰⁾ 안토시아닌은 자연적으로 크랜베리, 레드커런트와 블랙커런트, 체리, 적채, 그리고 가지 껍질 등에 포함되어 있다. 영국 노리치(Norwich) 존인스 센터(John Innes Centre)에서는 Cathy Martin 박사가 이끄는 연구팀이 2008년 안토시아닌을 충분히 함유하여 과숙과 부패 및 곰팡이 등에 저항성을 가지며, 일반 토마토보다 두 배 더 오래 보관할 수 있는 형질전환 토마토를 개발하였다.²⁰¹⁾

유전자 변형 “흑색” 토마토는 유럽에서 물론 재배 또는 구매

199) Enhancement of fruit shelf life by suppressing N-glycan processing enzymes, Meli VS et al, PNAS 2010, 107: 2413-2418

200) Anthocyanins and their role in cancer prevention, Wang L.S. et al, Cancer Letters 2008, 269: 281-290, doi: 10.1016/j.canlet.2008.05.020

201) Anthocyanins double the shelf life of tomatoes by delaying overripening and reducing susceptibility to gray mold, Zhang Y. et al, Current Biology 2013, 23: 1094-1100 10.1016/j.cub.2013.04.072

할 수 없다. 그렇기 때문에 많은 육종가들은 높은 안토시아닌 함량의 형질전환 토마토의 긍정적인 특성들을 활용하면서, 유사한 목표를 성취하기 위해 non-GMO 방법들을 추구하길 원했다. 실제로 그들은 복합 이중 교배를 통해 일부 성공을 거두었다. 그렇게 재배된 "흑색" 토마토는 GMO가 아니기 때문에 유럽에서 재배 및 판매될 수 있다. 다만 안토시아닌은 과육이 아닌 과피에 집중되어 있다. 앞서 언급된 연구소에서 가장 최신 연구 성과에 따라, 현재는 토마토의 이차 대사물을 증가시킬 수 있다. 안토시아닌 이외에, GM 토마토는 스틸베노이드, 레스베라트롤, 이소플라본, 제니스틴 등의 성분들이 발현될 수 있다.²⁰²⁾ 저자들은 한 개의 토마토 과실에 포함되어 있는 레스베라트롤의 함량이 레드와인 50리터에 들어있는 것과 같으며, 콩 "지즈"라 불리는 두부 2.5kg의 제니스틴과 같다고 밝혔다. 이는 애기장대의 *AtMYB12* 유전자 덕분에, 프로모터를 통해 토마토의 식물세포가 아닌 과실에만 원하는 물질을 만들도록 하였다.

● 골다공증을 예방하는 GM 당근

2004년, 미국의 연구팀은 높은 유기 칼슘 함량을 얻기 위해 당근에 애기장대의 *sCAX1* 유전자를 도입시켰다.²⁰³⁾ 그들은

202) *AtMYB12* expression in tomato leads to large scale differential modulation in transcriptome and flavonoid content in leaf and fruit tissues, Pandey A, Scientific Reports 2015 5: Article number: 12412, doi: 10.1038/srep12412

203) GM carrot may help treat osteoporosis, Roger Highfield, The Telegraph 14 Jan 2008

2008년에 해당 당근을 쥐와 30명의 자원자들에게 실험한 결과 일반 당근보다 실험 당근에서 칼슘이 42% 더 많이 얻어지는 것으로 나타났다.²⁰⁴⁾ 해당 시험은 골다공증 예방 목적으로 진행되었으며, 목표 조직의 생체가용성에 중점을 두었다.

● 핑크 과육의 GM 파인애플, 델몬트 로제(Rosé)

델몬트사는 핑크 파인애플의 경우 흑색 토마토와 유사한 실험방법을 택하였다. 그들은 핑크 파인애플을 코스타리카에서 재배하고, 미국을 시작으로 전 세계에 수출하기를 원했다. 이 파인애플은 굴의 유전자를 도입시킴과 동시에 자체 유전자 두 개를 제외시켜 핑크색을 나타내게 되었다. 파인애플을 고르게 익게 할 수 있는 또 다른 유전자도 도입되었다. 핑크색은 토마토를 통해 더 잘 알려진 리코펜에 의한 것이다. 널리 알려진 의학적으로 유익한 효과는 리코펜²⁰⁵⁾ 덕택으로, 이러한 이차 대사물을 갖고 있는 다른 작물과 마찬가지로 과학은 아직 최종 결정을 내리지 못하고 있다. 2013년 4월, 미국 농무부는 핑크 파인애플의 미국 수입을 승인하였지만,²⁰⁶⁾ 아직 상업화 승인은 받지 못한 상태이다.

204) Nutritional impact of elevated calcium transport activity in carrots, Jay Morris et al, PNAS 2008, 105: 1431-1435, doi: 10.1073/pnas.0709005105

205) Carotenoids and their isomers: Color Pigments in Fruits and Vegetables Hock-Eng K, et al, Molecules 2011, 16: 1710-1738, doi: 10.3390/molecules16021710

206) Del Monte gets GM pineapple green light, Carl Collen, AmericaFruit 25th April 2013

텔몬트사의 로제(Rosé) GM 파인애플은 요구되는 모든 안전성 평가 실험을 거쳤기 때문에, GMO 반대자들이 안전성 부분과 관련해서는 비난을 할 수 없었다. 그들은 대신 미디어의 이목을 끌 수 있는 확실한 방법을 선택하였다.²⁰⁷⁾ 바로 해당 과일을 판매하고자 하는 슈퍼마켓 체인을 보이콧하겠다고 위협한 것이다. 이념적으로 집착하는 환경론자들은 과학 및 소비자들의 최대 관심사와는 충돌하는 그들의 생각을 우리에게 강요하고 있는데 이는 처음 있는 일도 아니고 애석하게도 마지막도 아니다.

● GM 퍼플 라임과 블러드 오렌지

지금까지 레드 또는 “블러드” 오렌지는 더운 지역에서의 재배는 제한적이기 때문에 온화한 기후를 가진 이탈리아나 스페인에서 자라는 것으로 알려졌다. 오렌지의 붉은색은 안토시아닌에서 기인한다. 앞에서 언급된 “흑색 토마토”와 마찬가지로, 플로리다 대학교의 연구진들은 높은 안토시아닌 함량을 발현하는 암적색의 감귤류를 생산하게 된 것이다. 새로운 라임은 레드 포도 ‘씨없는 루비’와 블러드 오렌지 ‘모로’에서 분리한 유전자를 사용하여 개발되었다. 과학자들은 이러한 과일들이 비만과 당뇨병을 포함하는 건강문제를 예방하는 것과 같이 직접적인 건강적 혜택을 제공한다고 믿고 있다.

207) Boycotts are a crucial weapon to fight environment-harming firms. Bill Laurance, The Conversation April 6, 2014

● 건강에 유익한 요리용 GMO 식용유

미국 기업 두 곳이 유전자 변형을 통해 튀김용 콩기름 품질을 크게 개선시키는데 성공하였다. 2개 회사 모두 RNAi기술을 통해 원치 않는 유전자의 기능은 차단하고, 기름의 구조를 바꾸었다. 해당 기름은 Plenish[®] 상표명으로 듀폰사에서 출시되었다. 이는 올리브유의 주요 구성성분인 올레산을 75% 이상 함유하고 있다. 유전자 침묵으로 다중불포화지방산의 함량은 적고, 단일불포화지방산의 함량은 많으며, 포화지방산의 함량은 20%까지 감소시킬 수 있었다. 이로 인해 더욱 안정적인 베이킹이 가능하며, 이는 지방의 원치 않는 변화를 일으키는 화학적 수소첨가(hydrogenation) 과정이 불필요함을 의미한다. 몬산토사는 Vistive[®] 상표명으로 올레산 함량이 세 배 이상 증가된 콩기름이 출시되었는데, 리놀렌산과 스테아르산 그리고 팔미트산(불안정한 포화지방산의 일종)은 크게 감소된 반면 올레산은 전체 성분의 70% 이상을 차지하고 있다.

● 오메가-3 지방산 함유 GMO 식용유

오메가-3 지방산은 인체가 필요로 하는 다중불포화지방산(PUFAs)이다. 이는 혈액 응고, 수축, 동맥 이완, 염증을 조절하는 호르몬을 만드는 출발점이 된다. 이러한 효과로 인해, 오메가-3 지방산은 심장질환과 뇌졸중을 예방하는데 도움이 되며, 낭창, 습진, 류마티스성 관절염을 관리하는데 도움을 주고 암과

기타 질환에도 억제 역할을 하는 것으로 나타났다.²⁰⁸⁾

오메가-3 긴사슬 다중불포화지방산 EPA (eicosapentaenoic acid)와 DHA (docosahexaenoic acid)는 건강 측면에서 상당한 혜택을 주는 것으로 알려져 있다. 이 지방산의 육상식물 전구체인 ALA (α -linolenic acid)와 SDA (stearidonic acid)는 인체에서 긴 형태로 전환되어야 하는데, 전환은 놀라울 정도로 낮은 수준으로 발생한다.²⁰⁹⁾ 냉수성 어류인 연어(참치, 고등어 또는 정어리는 아님)는 가장 적합한 공급원이라고 할 수 있다. 연어는 자체적으로 PUFAs를 생산하지 못하지만 조류를 통해 이를 얻는다. 영국의 로담스테드 연구소는 식물 조절 염기서열과 일치하는 바다조류에서 얻어진 7개의 유전자를 삽입함으로써 유채씨과인 카멜리나(*Camelina sativa* 또는 false flax)가 오메가-3 지방산을 발현하도록 만드는데 성공하였다.²¹⁰⁾ 삽입된 유전자의 수가 많고 최종산물 균형유지도 필요해서 이 제품의 연구에 약 15년이 걸렸다. 이는 현재 유전자 변형 기술을 통해 만들어진 것 가운데 가장 복잡한 제품으로 보여진다. 이와 유사

208) Omega-3 fatty acids: an essential contribution, Harvard T.H. Chan School of Public health

209) Alpha-linolenic acid supplementation and conversion to n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in humans, Brenna J.T, et al. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids* 2009, 80: 85-91, doi: 10.1016/j.plefa.2009.01.004

210) Transgenic plants as a sustainable, terrestrial source of fish oils, Napier J.A, *European Journal of Lipid Science and Technology* 2015, 117: 1317-1324, doi: 10.1002/ejlt.201400452

한 성공사례가 호주에서도 보고되었다.²¹¹⁾ 영국에서는 GM 카멜리나의 첫 작물이 이미 수확되었다.²¹²⁾ 기름은 인간의 직접적 소비에 적합하지만, 현재는 양식 연어의 사료로 실험되고 있다. 야생 연어와는 다르게 양식 연어는 작은 물고기를 먹일 경우 오메가-3 지방을 섭취하게 된다.²¹³⁾ 환경론자들의 소식지에서 종종 부정적으로 소개되는 글로벌 종자회사 몬산토사는 GM 콩을 기반으로 하는 오메가-3 지방산 함유 식용유²¹⁴⁾를 제공하기 위해 식품회사 DSM과 협력하였다.

BASF사의 GM 유채유(*Brassica napus*) 또한 오메가-3 지방산을 함유하고 있으며, 미국에서의 재배가 곧 실시되기로 되어 있다.²¹⁵⁾ 유전자 변형은 조류에서 인은 5개 유전자를 삽입하여 이루어졌다. 식물유 외에 우유 또한 오메가-3 지방산을 함유할 수 있다. 이와 관련하여 중국의 과학자들이 2011년 성공적인 결과를 발표하였다.²¹⁶⁾

211) Metabolic engineering Camelina sativa with fish oil-like levels of DHA, Petrie J.R. et al. PLoS ONE 2014, 9, e85061, doi 10.1371/journal.pone.0095409

212) Field trial evaluation of the accumulation of omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids in transgenic Camelina sativa: Making fish oil substitutes in plants, Usher S. et al. Metabolic Engineering Communications 2015, 2: 93-98, doi: 10.1016/j.meten.2015. 04.002

213) New GM cereal crop produces fish oil in its seeds, Connor S, The Independent 09 JULY 2015

214) DSM, Monsanto Partner to Deliver SDA Omega-3 Soybean Oil, FPD April 08, 2013

215) Cargill and BASF Plant Science join forces to develop EPA/DHA canola oil, Cargill News Release Nov. 2, 2011

216) Production of cloned transgenic cow expressing omega-3 fatty acids, Wu X. et al. Transgenic Research 2012, 21: 537-543

● 갈변하지 않는 GM 사과 Arctic[®]

사과는 잘랐을 때 산화되어 갈변한다. 이 때문에 상업적으로 판매되는 말랭이 사과를 만들려면 먼저 사과를 잘라서 산화 방지 처리를 해야 한다.

Arctic[®] Apple이라는 상표명으로 캐나다의 연구진들은 2012년 인기 사과 품종인 ‘Golden Delicious’와 ‘Granny Smith’의 상업화를 시작하였으며, 현재는 ‘Gala’와 ‘Fuji’ 품종의 상업화를 위해 노력하고 있다. 앞서 언급된 품종들은 여러 유전자를 포함하고 있지만, 핵심은 RNAi 기술을 바탕으로 폴리페놀 산화효소의 기능을 억제하여 사과의 갈변을 예방한다는 점이다. 흥미로운 점은 슬로베니아의 ‘Majda’ 품종을 포함하여 이미 갈변하지 않는 특성을 발현하는 품종이 이미 존재하고 있다는 것이다.

그러나 다른 특성으로 인해 어떠한 품종도 상업적으로 성공하지 못했다. 그렇기 때문에 GMO 접근법은 이전에 갖고 있지 않았던 특성을 이미 존재하는 품종에 더할 수 있어 완전히 새로운 것이라고 할 수 있다. 이렇게 특허가 부여되지 않은 오래된 품종들을 GM 기술로 개량해 새로운 특성들을 부여하여 상품가치를 높일 수 있음을 보여준 소규모 회사의 성공사례는 작은 국가들의 관심의 대상이 된다.

● 건강에 유익하며 눈물이 나지 않게 하는 GM 양파

Colin Eady가 이끈 뉴질랜드의 연구팀은 2008년 잘랐을 때 눈물이 나지 않게 하는 GM 양파를 성공적으로 개발하였다. 연구팀은 RNAi 기술을 통해 눈물 생성효소(lachrymatory synthase) 단일 유전자의 발현을 억제시켜, 눈물이 나게 하는 효소의 기능을 억제하였으며, 동시에 건강에 유익한 황을 많이 함유하도록 하였다.²¹⁷⁾

● 레스베라트롤 강화 GM 벼

레스베라트롤은 식물이 훼손되거나 박테리아 또는 곰팡이의 공격을 받을 때 생산하는 천연 페놀이다. 포도, 블루베리, 크랜베리, 오디 등의 과피는 레스베라트롤을 어느 정도 함유하고 있다. 2013년, 과학자들은 레스베라트롤이 심장질환과 그 치료에 도움을 준다는 사실을 발견하였지만, 과일에서 자연적으로 얻을 수 있는 레스베라트롤보다 더 많은 양이 필요함을 알게 되었다.²¹⁸⁾

이에 중국의 과학자들은 쌀 낱알 1g 당 1.9μg의 레스베라트

217) Silencing onion lachrymatory factor synthase causes a significant change in the sulfur secondary metabolite profile, Eady C.C. et al, Plant Physiology 2008, 147: 2096-2106, doi: 10.1104/pp.108.123273

218) Resveratrol in primary and secondary prevention of cardiovascular disease: a dietary and clinical perspective, Tomé-Carneiro J. et al, Annals of the New York Academy of Sciences 2013, 1290: 37-51, doi: 10.1111/nyas.12150

를을 함유하는 형질전환 벼를 개발하는데 성공하게 되었다.²¹⁹⁾ 그들은 땅콩에서 분리한 스틸벤 생성효소를 만드는 유전자를 삽입함으로써 GM 벼를 얻게 되었다. 이 밖에 쥐 실험 결과 해당 벼가 비만 치료에도 도움이 된다는 것을 발견하게 되었다.²²⁰⁾

● 튀길 때 아크릴아마이드를 적게 생성하는 GM 감자

아크릴아마이드는 잠재적 발암물질로 간주된다.²²¹⁾ 이는 2002년부터 탄수화물 식품을 끓이거나 튀길 때 생성되는 것으로 알려져 왔다.²²²⁾ 2014년, 미국 농무부는 심플롯(Simplot)사 에서 개발한 형질전환 감자의 상업화를 승인하였는데 이 GM 감자는 튀길 때 아크릴아마이드의 발생에 관여하는 아스파라긴과 아미노산을 적게 함유하고 있다²²³⁾

‘Innate’ 상표명으로 판매되는 2세대(2015) 감자는 감자 생산 농민, 제조업자, 그리고 소비자들에게 혜택을 주는 네 개의 이로운 형질을 함유하고 있다. 이미 언급된 아스파라긴 감소를

219) Creation of resveratrol-enriched rice for the treatment of metabolic syndrome and related diseases. Baek S.H. et al. PLoS One. 2013, 8(3): e57930, doi: 10.1371/journal.pone.0057930

220) Treatment of obesity with the resveratrol-enriched rice DJ-526. So-Hyeon Baek et al. Nature Scientific Reports 2014, 4: Article number: 3879, doi: 10.1038/srep03879

221) The carcinogenicity of acrylamide, Rice J.M. Mutation Research 2005, 580: 3-20

222) Maizeell chemist explains how acrylamide, a possible carcinogen, might be formed when starch-rich foods are fried or baked. Friedlander B., Maizeell Chronicle Dec. 19, 2002

223) US approves low acrylamide spud. Trager R., Chemistry World 25 November 2014

포함하여, 멩과 검은반점 감소, 그리고 역병에 저항성을 가지며 냉동저장 능력 향상 등의 특성을 가진다. 해당 감자는 미국 야생 종인 *S. venturii*의 유전자를 도입하여 역병에 저항성을 갖도록 하였으며, RNAi 기술을 통해 목표 유전자의 발현을 억제시켜 다른 특성들을 얻게 하였다. 지금까지는 잘 알려진 ‘Russet Burbank’ 품종에 유전자가 삽입되었으며, ‘Ranger Russet’, ‘Atlantic’, ‘Snowden’ 품종에 대한 유전자 삽입이 추가로 계획되어 있다.

● 산업용 GM 감자

감자의 경우 EU의 상반된 경험을 언급할 필요가 있다. Amflora에서 개발한 형질전환 감자는 녹말의 구성성분인 아밀로오스의 함량은 낮고, 아밀로펙틴의 함량은 높아 산업용으로 적합하다. BASF 사는 1996년 8월에 해당 감자의 상업화를 신청하였다. 2010년 3월, 유럽연합집행위원회는 EFSA의 긍정적 의견을 바탕으로 상업화를 승인하였지만,²²⁴⁾ EU 일반법원(General Court)이 이를 무효화하였다.²²⁵⁾

이러한 조치는 BASF 사에 실질적 영향을 미치지지는 않았는데, EU의 복잡하고 시간이 오래 걸리는 절차로 인해 이미 2012년

224) Commission announces upcoming proposal on choice for Member States to cultivate or not GMO's and approves 5 decisions on GMO's, European Commission Press Release Database IP/10/222

225) E.U. court annuls GM potato approval, Rabesandratana T, Science Insider 13 December 2013

부터 식물개발부를 미국으로 이전하기 시작했고,²²⁶⁾ EU에서의 상업화 노력을 포기했기 때문이다.²²⁷⁾ 흥미로운 점은, 동일한 특성을 갖지만 돌연변이 기술과 TILLING 기법을 통해 독일의 연구소²²⁸⁾에서 개발된 감자는 앞서 언급된 제약 없이 산업용 감자의 생산을 승인받았다는 것이다.

● 아밀로오스 함량을 줄인 GM 곡류

아밀로오스는 탄수화물을 구성하는 두 가지 성분 가운데 하나로 (다른 하나는 아밀로펙틴), 변형되지 않은 낱알에서는 탄수화물의 20-30%를 만든다. 아밀로오스는 물에서 녹지 않으며, 소화시키기가 어렵다. 낱알의 함량을 다양화함으로써 과학자들은 동일한 종으로 여러 품종을 개발할 수 있게 되었으며, 이렇게 탄생한 품종은 소화가 더 용이한 것으로 나타났다.

중국의 과학자들은 아밀로오스의 함량을 줄인 유전자 변형 벼²²⁹⁾와 밀²³⁰⁾을 개발하였다(쌀과 밀 모두 더욱 빠르게 소화되며

226) European vacation: BASF Moves Plant Science HQ to U.S, McCurry J.W., Site Selection January 2012

227) BASF to stop selling genetically modified products in Europe, Kanterjan J, The New York Times Jan. 16, 2012

228) Precision breeding creates super potato, ExzellenzNRW 16, Nov, 2009

229) Stable inheritance of the antisense waxy gene in transgenic rice with reduced amylose level and improved quality, Qiaquan Liu et al, Transgenic Research February 2003, 12: 71-82

230) RNA silencing of Waxy gene results in low levels of amylose in the seeds of transgenic wheat (*Triticum aestivum* L.), Li JR et al, Yi Chuan Xue Bao, 2005, 32: 846-54

영양가가 높다).

고-아밀로오스 밀은 높은 수준의 저항성 탄수화물을 생산하는데, 이는 장의 건강에 중요한 역할을 한다. 이는 이밖에도 다른 탄수화물보다 낮은 당지수(glycaemic index)를 갖고 있어, 체중을 조절해주고 혈당수준을 안정화하는 등의 이점이 있다. 이 때문에 다양한 곡류에 대한 다수의 연구는 탄수화물 성분 변화에 중점을 두고 있으며, 이는 대부분 RNAi 기술을 통해 이루어졌다.^{231),232),233)}

● 리그닌 함량이 적은 GM 알팔파

알팔파(*Medicago sativa*)는 대개 가축 사료 용도로 재배된다. 알팔파는 더 오래 재배할수록 주로 줄기 부분에서 더 많은 리그닌을 생성하는데, 이는 식물의 골격을 유지해준다. 그러나 불행히도 리그닌은 소화시키기가 어려워 동물사료에서는 반갑지 않은 성분이다. 이러한 이유 때문에 알팔파 재배자들은 더 적은 수확량에도 불구하고 용이한 소화를 위해 알팔파가 최대무게

231) Comparative proteomic analysis of kernel proteins of two high amylose transgenic durum wheat lines obtained by biolistic and Agrobacterium-mediated transformations, Sestili F, et al, Journal of Cereal Science 2013, 58: 15-22, doi: 10.1016/j.jcs.2013.05.001

232) The differential effects of genetically distinct mechanisms of elevating amylose on barley starch characteristics, Regina A, et al, Carbohydrate Polymers 2012, 89: 979-991, doi: 10.1016/j.carbpol.2012.04.054

233) Suppression of starch synthase I expression affects the granule morphology and granule size and fine structure of starch in wheat endosperm, McMaugh S.J, et al, Journal of Experimental Botany 2014, 65: 2189-2201, doi: 10.1093/jxb/eru095

에 이르기 전에 수확한다. 2014년 4월, GM 알팔파는 미국에서 상업적 재배를 하였는데,²³⁴⁾ CCOMT 유전자의 RNAi 발현억제 기술을 통해 GM 알팔파는 10-15% 더 적은 리그닌을 함유하게 되었다.²³⁵⁾ 덕분에 생산자들은 동일한 지역에서 알팔파의 수확을 늦춰 양질의 사료를 생산할 수 있게 되었으며, 이는 결국 양질의 우유와 고기 생산으로 이어지는 것을 의미한다.

● 더욱 적합한 단백질 조성을 갖는 GM 식물

탄수화물과 단백질은 동물과 인간 모두의 음식을 구성하는 주성분이다. 축산에 있어서 단백질은 보통 콩과 식물이나 곡류의 종자를 통해 제공된다. 그러나 종자의 단백질이 갖는 아미노산 성분은 섭취권장량에 미달이다. 20종의 단백질 아미노산 가운데 10 종은 ‘필수’로 분류된다. 동물은 이를 합성할 수 없기 때문에 사료를 통해 공급받아야 한다. 필수 아미노산의 결핍은 인간의 영양실조를 초래하며, 가축 생산 효율을 저하시킨다. 그 가운데 메티오닌과 라이신과 같은 아미노산은 대개 권장량보다 낮기 때문에 동물 사료에는 합성 아미노산이 추가된다.

과학자들은 식물의 필수 아미노산을 증가시키기 위해 여러 다양한 방법을 사용했다. 과거 1997년에는 유전공학을 통해

234) Determination of nonregulated status under 7 CFR Part 340 for Monsanto company and Forage Genetics International KK179 alfalfa

235) Forage Genetics International the development of HarvXtra™ Alfalfa

Keeler와 그 동료들이 GM 담배 종자에 31%의 라이신과 20%의 잔류 메티오닌을 함유하는 합성 단백질을 삽입하였다.²³⁶⁾ 그 이후 수많은 성과들이 발표되었는데, 브라질 너트, 참깨, 해바라기의 단백질을 루핀, 콩, narbon beans에 삽입하는 것이 포함된다.²³⁷⁾ 미국에서 최초로 재배된 품종은 라이신 합성을 조절하는 박테리아 유전자를 통해 라이신 함량이 증가된 Maveria 옥수수이다.²³⁸⁾

단백질의 아미노산 구성을 변화시키는 것은 식물에만 국한되지 않는다. 흥미로운 점은 예일대학교 연구진들이 최근 합성 생물학을 이용하여 새로운 종류의 박테리아를 만들어냈는데, 이는 성장을 위해 자연에서는 찾아 볼 수 없는 합성 아미노산을 필요로 한다는 것이다.²³⁹⁾

연구팀은 이러한 박테리아가 자연에서는 생존할 수 없기 때문에 제약, 연료 및 새로운 화학물질을 만드는데 있어 이 새로운 “유전체적으로 재암호화된 생물체”가 사용되기를 기대하고

236) Expression of de novo high-lysine alpha-helical coiled-coil proteins may significantly increase the accumulated levels of lysine in mature seeds of transgenic tobacco plants. Keeler S.J. et al, Plant Molecular Biology 1997, 34: 15-29, doi: 10.1023/A: 1005809900758

237) Genetic contributions to agricultural sustainability. Dennis E.S. Philosophical Transactions of the Royal Society 2008, 12;363: 591-609

238) Renessen receives final regulatory clearance for world's first crop-based biotechnology quality trait for animal feed industry February 6, 2006

239) Recoded organisms engineered to depend on synthetic amino acids. Rovner A.J. et al. Nature 2015, 518: 89-93

있다. 그들은 미디어에 “이 새로운 생물적 차단 방법이 생명공학이 오랫동안 직면했던 문제를 해결해준다”고 설명하였다.²⁴⁰⁾

● 피타아제 함유 GM 농작물

이미 Eviropig 부분에서 설명한 것과 같이, 옥수수의 알갱이는 피트산의 형태에서 75%까지 인을 함유한다. 반추동물만 이를 활용할 수 있는데, 피트산을 분해하는 피타아제 효소를 생산하는 특별한 장내 박테리아를 갖고 있기 때문이다. 다른 곡류도 이와 유사하다. 중국 생명공학연구소의 과학자들은 옥수수 알갱이에서 피타아제를 발현하는 GM 옥수수를 개발하여²⁴¹⁾ 반추동물도 피트산의 인을 활용할 수 있도록 있도록 하였다. 이미 여러 실험을 통해 이 옥수수가 돼지와 가금류의 사료로 안전하게 사용될 수 있음이 입증되었다.^{242),243)} 중국은 이 옥수수 품종의 재배를 몇 년 간 계속해서 발표하고 있지만, 아직 농가보급은 이루어지지 못했다. 옥수수와 마찬가지로, 피타아

240) Synthetic amino acid enables safe, new biotechnology solutions to global problems. Science daily

241) Transgenic maize plants expressing a fungal phytase gene. Chen R. et al. Transgenic Research 2008, 17: 633-43

242) Phytase transgenic maize does not affect the development and nutrition utilization of *Ostrinia furnacalis* and *Helicoverpa armigera*. Zhang Y. et al. Environmental Entomology 2010, 39: 1051-1057, doi: 10.1603/EN09380

243) Effect of dietary phytase transgenic maize on physiological characteristics and the fate of recombinant plant DNA in laying hens. Gao C. et al. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 2014, 27: 77-82, doi: 10.5713/ajas.2013.13265

제 발현 유전자를 기타 종에 도입했다는 과학논문이 발표되었지만, 재배와 관련된 내용은 언급하고 있지 않다. 보리의 경우에는 보리 자체의 유전자를,²⁴⁴⁾ 콩,²⁴⁵⁾ 유채,²⁴⁶⁾ 면화²⁴⁷⁾의 경우에는 곰팡이 *Aspergillus* sp.에서 나온 *PhyA* or *MPHY2* 유전자를 도입함으로써 피타아제를 발현할 수 있었다고 한다.

● 알레르겐과 독성이 없는 GM 식물

몇몇 알레르겐과 독성 성분들은 현대 유전자 변형 방법을 통해 식물에서 제거될 수 있다.²⁴⁸⁾ 과학자들은 이미 주요 알레르겐을 포함하지 않는 콩을 개발하였으며,²⁴⁹⁾ 인도 헤이즐넛²⁵⁰⁾과

244) Cisgenic barley with improved phytase activity, Holme I. B. et al. Plant Biotechnology Journal 2012, 10: 237-247, doi: 10.1111/j.1467-7652.2011.00660.x. Epub 2011 Sep 29

245) Transgenic soybean with low phytate content constructed by Agrobacterium transformation and pollen-tube pathway, Yang S.H. et al. Euphytica 177: 375-382, doi: 10.1007/s10681-010-0262-4

246) Codon-modifications and an endoplasmic reticulum-targeting sequence additively enhance expression of an *Aspergillus* phytase gene in transgenic canola, Peng R.H. et al, Plant Cell Reports 25: 124-132, doi: 10.1007/s00299-005-0036-y

247) Agrobacterium-mediated transformation of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) with a fungal phytase gene improves phosphorus acquisition, Liu J.F. et al. Euphytica 2011, 181: 31-40, doi: 10.1007/s10681-011-0370-9

248) Inactivation of allergens and toxins, Morandini P. Nature Biotechnology 2010, 27: 482-93, doi: 10.1016/j.nbt.2010.06.011

249) Genetic modification removes an immunodominant allergen from soybean, Herman E.M. et al. Plant Physiology 2003, 32: 36-43, doi: 10.1104/pp.103.021865

250) Alleviating peanut allergy using genetic engineering: the silencing of the immunodominant allergen Ara h 2 leads to its significant reduction and a decrease in peanut allergenicity, Dodo HW et al. Plant Biotechnology Journal. 2008, 6: 135-45

토마토²⁵¹⁾ 및 기타 여러 작물의 알레르기 속성을 완화시켰다. 이 기술은 대부분이 RNAi 침묵 기술에 기반을 두고 있으며, 이미 개발되어 수년 이내에는 알려져 있는 잠재적 알레르겐들이 식품에서 제거될 수 있을 것으로 예상된다. 이는 물론, 유전자 변형을 통한 육종기술이 정치 및 이데올로기적 반대를 겪지 않을 경우 해당되는 이야기이다.

● 거미줄만큼 강한 명주실을 생산하는 GM 누에

거미줄을 만드는 거미의 실은 자연의 기적이다. 동일한 두께의 거미줄은 강철과도 같은 지지력을 갖지만, 거미줄이 근본적으로 더 가볍기 때문에 동일한 무게에서 강철 케이블보다 5배 강하다고 할 수 있다. 거미의 생활사로 볼 때, 상업적 목적으로 충분한 양의 거미줄을 생산할 수 있도록 대량으로 거미를 육종하는 것은 불가능한 것으로 인식되고 있다.

누에(*Bombyx mori*)는 중국에서 최소 5000년 동안 육종되어 왔다. 누에의 애벌레는 번데기 형태로 될 때 명주실로 만들어진 보호막 고치에 둘러싸인다. 과거에 이 고치는 수작업을 통해 벗겨냈지만, 오늘날에는 기계를 통해 가치가 높은 강한 실을 뽑아낸다. 이 명주실은 거미의 실과 유사한 단백질로 만들어진다.

251) Reduced allergenicity of tomato fruits harvested from Lyc e 1-silenced transgenic tomato plants, Le LQ et al, Journal of Allergy and Clinical Immunology 2006, 118: 1176-83, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaci.2006.06.031>

미국과 중국의 연구진은 2011년 거미의 단백질로 실을 생산할 수 있도록 유전자 변형 누에를 만드는 방법을 개발하였다. 이렇게 만들어진 명주실은 일반실보다 50배나 강한 것으로 나타났다.²⁵²⁾ Kraig Biocraft회사는 “거미실”의 상업적 생산을 위한 방법을 개발하였다.²⁵³⁾

실제로 과학자들은 이미 2002년에 GM 포유류 세포 계통을 통한 거미실의 단백질 생산 가능성 연구결과를 발표한 바 있다.²⁵⁴⁾ 그들은 다른 두 종의 거미에서 나온 두개의 유전자 *ADF-3/MaSpII*와 *MaSpI*를 사용하였다. 과학자들은 이 방법을 염소에 사용하였지만,²⁵⁵⁾ 이 경우, 단백질은 염소젖에 용해되어 실로 만들기 전에 분리해내는 과정을 거쳐야만 했다.

이러한 “거미 명주실”로 만들어진 옷은 작은 구멍의 충알이나 칼로부터 보호해주며, 동시에 천연 명주실과 같은 심미적 장점을 갖게 될 것이다. 이밖에 “거미의 실”로 만든 밧줄은 강철을 대체할 수 있을 것이다.

252) Silkworms transformed with chimeric silkworm/spider silk genes spin composite silk fibers with improved mechanical properties, Teulé F, et al, PNAS 2012, 109: 923-928, doi: 10.1073/pnas.1109420109

253) Kraig Biocraft Laboratories Spider Silk

254) Spider silk fibers spun from soluble recombinant silk produced in mammalian cells, Lazaris A, et al, Science 2002, 295: 472-476, doi: 10.1126/science.1065780

255) “Biosteel”: an exciting product from nature that is superior to many manmade alternatives, Majumder S, et al, Reviews in Chemical Engineering 2015, 31: 509-519, doi: 10.1515/revce-2014-0055

식물 육종방법 개량

● 1대 잡종 종자 생산

서론에서 언급한 바와 같이, 1대 잡종 옥수수 품종 도입은 농업의 이례적인 진보를 의미하였고, 전 세계에 큰 혜택을 제공하였다. 1대 잡종 품종은 수많은 농작물과 채소 그리고 관상용 식물에 까지 도입되었다. 육종가들은 1대 잡종(F1) 종자를 얻기 위해 매년 가장 적합한 양친계통을 선정하여 교배한다. 이를 가능하게 하는 절차는 매우 간단하다. 과학자들은 어떤 종에서는 화분불화합성, 유전 및 세포질적 응성불임성과 같은 다양한 형질을 사용한다. 이 경우, 계통은 서로 인위적으로 교배하지 않아도 되지만, 이처럼 시간이 많이 걸리는 작업은 토마토의 경우 여전히 수행되고 있다. 사람 손으로 이루어지는 교배는 종자를 더욱 값 비싸게 하는데, 물론 이는 제한된 수의 종에만 영향을 미친다.

GM 기술은 1대 잡종 종자를 손으로 교배하지 않아도 생산할 수 있도록 하였다. 이를 가능하게 하는 방법들이 이미 다수 개발되었다. 대부분의 방법은 화분을 둘러싸고 있는 약의 막층과 같이 GM 특성은 특정한 기관 조직으로 한정될 수 있다는 사실에 기반하고 있다. 그렇기 때문에 종자 계통의 화분 불임은 정상적인 1대 잡종과 같이 동일하게 만들어진다.

유럽의 Plant Genetic Systems사 덕분에, GM 기술을 통한 1대

잡종 유채가 1996년부터 이미 재배되었으며,²⁵⁶⁾ 2005년 이후로 이 품종은 EU에서 판매가 허용되었다. Plant Genetic Systems사는 융성 불임 계통을 만들기 위해 네 개의 구성요소를 사용하였으며, 수분수와 방법이 여러 식물 종에 적용되었다. 이와 같은 유채는 북미에서 최소 800,000 헥타르에 재배되었다. 1대 잡종 종자를 얻는데 GM 시스템만 사용된 것이 아니다. 이미 개발되었지만 사용되지 않고 있는 것으로는 서로 다른 계통에서 나오며, 독립되어 만들어진 단백질 부분을 결합하여 종자 계통의 융성 불임을 일으키는 시스템도 있다.²⁵⁷⁾

현재는 듀폰사로 합쳐진 파이어니어사는 2005년부터 자체 시스템을 사용해 왔는데, 이는 불임 화분이 붉은색을 갖게 하여 양친계통의 종자에서 분리하는 방법이다. 이 시스템이 특별한 이유는 부모계통만 GM이며, F1 1대 잡종 종자가 도입된 유전적 구성요소를 갖고 있지 않으며, 그렇기 때문에 최소한 미국에서는 GMO로 판매되지 않기 때문이다.²⁵⁸⁾ EU에서는 이와 유사한 케이스가 정치적 반대로 인해 논의만 되고 있으며, 여전히 결정내려진 바가 없다.

256) Engineered genes for fertility control and their application in hybrid seed production, Reynaerts A, et al, Scientia Horticulturae 1993, 55: 125-139, doi: 10.1016/0304-4238(93)90028-O

257) Split-gene system for hybrid wheat seed production, Kempe K, et al, PNAS 2014, 111: 9097-9102, doi: 10.1073/pnas.1402836111

258) Petition for the determination of nonregulated status for maize 32138 spt maintainer used in the Pioneer seed production technology (SPT) process

● 리버스 브리딩(Rreverse breeding)

앞서 설명한 바와 같이, 1대 잡종 육종은 여러 가지 이유에서 최선의 해결책이라고 할 수 있다. 그러나 불행히도, 해당 절차는 매우 어렵다. 육종가들은 우선, 여러 양친계통을 교배한 뒤 자식 또는 유도된 반수체 도움으로 근교계(inbred)를 만드는데, 이를 통해 수천 개의 계통이 만들어진다. 다음 단계는 최종 1대 잡종을 구성하는 특정한 두 계통을 찾아내도록 다수의 검정 교배를 실시하는 것이다. 특히 이 마지막 단계에서 큰 제약을 받는다.

Rijk Zwaan사의 Rob Dirks 박사가 이끄는 연구팀은 다른 연구팀의 도움으로 리버스 브리딩이라고 불리는 새로운 기술에 대한 특허를 획득하였으며, 관련 논문을 발표하였다.²⁵⁹⁾ 이 방법을 통해 육종가들은 양친계통을 교배하여 다수의 F1 1대 잡종종자를 얻게 되며, 이후 우수한 것을 선정하여 마침내 동일한 F1 1대 잡종종자를 재생산하는 새로운 양친계통을 재구성할 수 있게 된다. 이는 세 단계로 이루어진다. 우선, 감수분열시 교차(cross-over)라고 불리는 과정을 조절하는 유전자를 불활성화시키고, 다음으로 반수체를 배가시켜 2배체 계통을 생산하며, 마지막으로 분자핵산지문 방법을 통해 개별 염색체를 식별하는 것이다. 이 방법은 염색체 수가 적은 작물에만 국한될 수 있지만(적합한 상보적 계통을 식별하는 타당한 가능성을 만들어 낼 수 있는),

259) Hybrid recreation by reverse breeding in *Arabidopsis thaliana*, Wijnker E. et al. Nature Protocols 2014, 9: 761-772

1대 잡종 종자 생산에 있어서 중요한 전환점인 것만은 분명하다.

더 나은 외관, 향, 상업적 관심을 갖게 하는 특별한 GMO

인류는 청색 장미나 카네이션, 흑색 튤립 등이 없어도 생존할 수 있을지 모르지만, 시각적 즐거움은 일상생활에서 중요한 부분을 차지한다. 현대 유전공학기술은 독특한 색을 가진 꽃의 개발을 가능하게 하였다.²⁶⁰⁾ 허구적 위험에 근거한 GMO에 대한 반대는 과학적이라고 보다는 단순히 정치적이라고 할 수 있다.

● 청색 GM 카네이션

호주의 Florigene (2003년부터 대부분이 일본기업 Suntory가 소유), Moonlite™ 청색 카네이션은 EU의 GMO 승인이 얼마나 복잡하고 시간이 많이 걸리는지 보여주는 좋은 예이다. Moonlite® 카네이션은 핑크에서 선명한 청색을 내기 위해 삽입된 유전자를 포함하고 있으며, 이 밖에도 제초제 저항성을 강화시키기 위한 유전자도 포함하고 있다. 2006년, Florigene은 해당 카네이션으로 만든 중요한 절화에 대한 EU 승인신청을 하였고,²⁶¹⁾ 2015년 4월 24일 승인을 받게 되었다.²⁶²⁾

260) Recent progress of flower colour modification by biotechnology. Tanaka Y, International Journal of Molecular Sciences 2009, 10: 5350-5369, doi: 10.3390/ijms10125350

261) Carnation Moonaqua GMO Compass

262) European Commission - Press release. Commission authorises 17 GMOs for food/feed uses and 2 GM carnations. Brussels, 24 April 2015

● 청색 GM 장미

청색 장미는 2008년 10월 도쿄에서 개최된 원예박람회에서 첫 선을 보였다.²⁶³⁾ 장미는 청색 카네이션 개발에 사용된 것과 유사한 기술을 통해 Suntory와 Florigene에서 개발하였다.²⁶⁴⁾ 물론, EU에서의 재배는 허용되지 않았다. 현재는 절화조차 수입될 수 없다.

● 청색 및 보라색GM 국화

호주의 Filippa Brugliera는 청색 또는 보라색을 발현하는 GM 국화를 개발하였다.²⁶⁵⁾ 국화는 관상용에 불과하지만, 아시아 요리에서는 중요한 향신료로 사용되고 있음을 언급할 가치가 있다.

● Petunia Circadia, 낮 동안 색이 변하는 GM 페튜니아

UC Davis에서 일부 개발된 기술의 도움으로,²⁶⁶⁾ Revolution Bioengineering사는 햇빛에 노출도에 따라 청색에서 어두운 핑크까지 색이 변하는 페튜니아를 개발하였다.²⁶⁷⁾

263) World's first blue roses after 20 years of research. Demetriou D. The Telegraph 31 Oct 2008

264) Suntory global innovation center, research & technology, challenge for "blue roses"

265) Patendocs: Patent application title: genetically modified chrysanthemums

266) UC Davis. Today, color-changing petunias on their way. Nelson D

267) Revolution bioengineering, the science of color changing flowers

● 독특한 향이 나는 GM 꽃

플로리다 대학교의 연구팀은 꽃의 향을 바꿀 수 있는 유전적 기전을 개발하였다. 이 기술을 활용한 첫 결과물로, 연구팀은 장미향이 나는 페튜니아를 개발하였다. 그러나 연구의 목표는 독특한 향이 나는 꽃을 개발하는 것만이 아니다. 연구팀은 장미의 향을 내는 동일한 유전자가 더 맛있는 토마토를 만드는데 쓰일 수 있음을 발견하게 되었다.²⁶⁸⁾

● GloFish[®] - “발광” GM 물고기

형광 단백질을 만드는 유전자는 비-파괴적인 방식으로 다양한 세포 안에서 유전자 발현을 추적할 수 있는 단순한 방법을 제공하기 때문에 과학자들에게 잘 알려져 있다. 특히 인기 있는 형광 단백질은 본래 해파리 *Aequorea victoria*에서 발견되었는데, 현재 이는 다양한 생물에서 사용되고 있다. 이 녹색 형광 단백질의 발견에 대해 2008년²⁶⁹⁾에는 노벨상이 수여되었다(GFP).

관상어에 GFP 유전자를 도입하여 탄생한 GloFish[®]는 최초로 유전자 변형을 통해 성공한 상업화된 동물이다. 1999년, 싱가포르 국립대학교의 Zhiyuan Gong 교수가 이끈 연구팀은 당

268) PhDAHP1 is required for floral volatile benzenoid/phenylpropanoid biosynthesis in *Petunia x hybrida* cv 'Mitchell Diploid', Langer K.M. et al. Phytochemistry 2014, 103: 22-31, doi: 10.1016/j.phytochem.2014.04.004. Epub 2014 May 6

269) http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2008/press.html

시에 이미 인기가 높았던 열대어로 인도와 방글라데시의 제브라 피쉬(*Danio rerio*)에 GFP 유전자를 도입하는데 성공하였다.²⁷⁰⁾ 해당 물고기는 주로 표피에서 형광 단백질을 발현하기 때문에, 단파장을 비추었을 때 형광빛을 낸다. 이후에, 회사는 물고기가 여러 가지 색이 나도록 다양한 유전자 변이형을 도입하였다. 현재 GloFish[®]는 녹색, 주황색, 빨강색, 파랑색, 노란색, 보라색을 띤다.

개발된 기술을 활용하여 *Gymnocorymbus ternetzi*와 *Puntius tetrazona* 중 또한 변형시키는데 성공하여, 현재는 인기 열대어가 되었다. 아래 비디오에서 관련 내용을 볼 수 있다.²⁷¹⁾

270) Green fluorescent protein expression in germ-line transmitted transgenic zebrafish under a stratified epithelial promoter from keratin, Gong Z, et al, Developmental Dynamics 223: 204-215 (2002)

271) GloFish[®] fluorescent fish video! (Includes our new GloFish Tetras!)



GMO에 대한 일반적 오해

- “GM 옥수수NK603 암을 일으킨다?” - Séralini 사건
- “GM 감자” - 알파드 푸스타이
- GM 옥수수 꽃가루가 제왕나비를 죽인다?
- “GM 면화가 인도농부 자살의 원인이다?” - 반다나 시바
- “GM 콩이 어린 실험쥐의 죽음, 성장장애, 불임의 원인이다?” - 이리나 에르마코바
- GMO 곡물이 알레르기를 유발한다?
- “GMO 꽃가루가 다른 식물을 ‘오염시켜’ 특허 소송을 야기시키다” - 퍼시 슈마이어
- GMO의 외래 유전자가 수백 킬로미터 떨어진 일반 품종에 퍼질 수 있다?
- GMO에는 항생제 저항성 유전자가 들어있어 인간에게 위험한 세균을 전염시킬 수 있다?
- GMO가 포름알데히드를 포함한다?
- “자연적이지 않은” 유전자가 GMO에서 다른 식물로 들어가 “슈퍼잡초”를 만든다?
- GM 식물의 종자는 터미네이터 유전자를 가지고 있어 발아하지 않는다?
- GMO를 먹으면 그 DNA가 인체로 전이된다?
- GM 식물로 만든 식품은 남성의 정자수를 감소시킨다?
- 임신한 여성과 태아의 혈액에서 GMO 독소들이 발견된다?
- GMO가 셀러막병과 기타 원치 않는 글루텐 반응을 일으킨다?
- 전문가관에서는 90일 독성실험에만 근거하여 GMO의 안전성을 평가하는데 이는 혹시 있을지 모르는 장기적 위해성을 확인하기에는 매우 미흡하다?
- GMO 등록을 위한 안전성 평가는 생산자 스스로가 책임지도록 위임받았다
- GMO 특허는 소수의 다국적 기업의 독점을 보장한다
- 글리포세이트
- 글리포세이트가 태아 기형, 자폐증, 파킨슨병, 알츠하이머병 등과 관련 있다는 주장

“GM 옥수수NK603 암을 일으킨다?” - Séralini 사건

Gilles-Éric Séralini, 프랑스 Caen 대학교 분자생물학과 교수인 세랄리니는 2012년 9월에 몬산토 제초제저항성 GM 옥수수 NK603로 2년간 실험한 결과 실험쥐에 종양이 생겼다는 연구결과를²⁷²⁾ 발표함으로써 세계의 이목을 집중시킨바 있다. 그는 논문을 쓰기 전에 다른 전문가의 자문을 받는 것을 허용치 않는다고 미리 경고를 하였다. 그는 발표에서 커다란 종양이 발생한 실험쥐를 보여주었고 전 세계 미디어는 이것을 앞 다투어 1면 기사로 다루었다.²⁷³⁾

세랄리니의 연구 결과에 대해 곧 다른 과학자들이 의심을 하기 시작했는데 비록 유럽연합 외의 국가들에서 이 GM 옥수수가 식용과 사료, 재배승인을 받기 위해서는 많은 양의 공식적 실험을 통과해야 하지만 NK 603 옥수수의 다른 어느 시험에

272) Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize, Séralini GE et al, Food and Chemical Toxicology 2012, 50: 4221-4231, doi: 10.1016/j.fct.2012.08.005

273) Shock findings in new GMO study: Rats fed lifetime of GM maize grow horrifying tumors, 70% of females die early, Adams M, Natural News, 19. 9. 2012



앗! 죄송합니다. 언급하는 걸 잊었네요.
이 쥐들은 무엇은 먹느냐에
상관없이 암에 걸릴 것입니다.

서도^{274),275)} 이와 동일한 실험결과가 나온 적이 없기 때문이다. 세탈리니의 연구결과를 더 자세히 분석해 보았더니 실험에 사용한 Sprague-Dawley 계통의 실험쥐들은 보통 자연적으로도 종양이 흔히 발생하는 것으로 알려져 상당수의 세탈리니 실험쥐들이 2년간의 실험에서 종양은 발생할 수 있다고 보여지는데, 심지어 이유식을 먹인 쥐에서도 종양이 발생함을 알 수 있었다. 세탈리니는 자신의 실험에서 대조구 실험쥐를 10마리만 사용하였는데 이러한 실험방법은 학술계에서는 일반적으로 허

274) Test Biotech Event NK603

275) Safety assessment of roundup ready maize event NK603

용이 안되는 방법이다. 세랄리니는 아주 적은 샘플의 병든 실험 쥐를 가지고 NK603옥수수의 발암성을 입증하였는데 이런 식으로는 그의 “결론”을 정당화하기 힘들다. 프랑스 과학한림원도 세랄리니 연구는 선동적이며 과학적으로 부적합하다고 규탄하였다.²⁷⁶⁾ 유럽연합의 안전성 평가기관인 EFSA(유럽식품안전국)도 이 연구 결론을 위한 실험 데이터가 충분치 않음을 지적하였다.²⁷⁷⁾

2013년 11월에는 논문을 발표한 “식품화학독성” 과학저널도 이 논문을 철회하였다.²⁷⁸⁾ 이러한 우울한 이야기는 과학계는 물론 심지어 일반인 사이에서도 세랄리니 사건으로 알려지게 되었다.²⁷⁹⁾

세랄리니 “연구결과”는 GMO 반대론자들이 모든 GMO가 암을 유발한다는 주장의 근거자료로 자주 인용하고 있으나 이러한 논문을 확증하는 과학적 논문은 어디에서도 찾아 볼 수 없다.

276) Joint advice note issued by the French national academies of agriculture, medicine, pharmacy, sciences, technologies and veterinary sciences in regard to a recent publication by G.E. Séralini et al. on the toxicity of a GM

277) Séralini et al. study conclusions not supported by data, says EU risk assessment community. EFSA 28 November 2012

278) Retracted: Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize; Food and Chemical Toxicology 2012, 50: 4221-4231

279) Does the Seralini maize study fiasco mark a turning point in the debate over GM food? Forbes, 30. 9. 2012

“GM 감자” - 알파드 푸스타이

알파드 푸스타이, 스코틀랜드 알버딘에 있는 로웨트연구소에 근무했던 헝가리 태생의 생화학자는 1998년 TV를 통해 한번,²⁸⁰⁾ 두 번째는 1999년 연구논문 발표를 통해,²⁸¹⁾ 생명공학회사인 *Cambridge Agricultural Genetics* 사가 개발한 GM 감자로 실험한 결과 실험쥐들의 소화기가 손상된다고 주장하였다. 푸스타이 발표로 전 세계적 미디어 센세이션이 일어났고,²⁸²⁾ GM 식품이 해롭다는 그의 주장은 지금도 “그린” 미디어에 의해 반복적으로 주장되고 있다. 진실은 그렇게 간단하지 않다.

첫째, 아무도 푸스타이가 식품으로 실험한 감자를 생산하고 있지 않다는 점인데 그들은 이들 감자가 상업적 생산에 적합하지 않다는 결론을 내리는데 충분한 데이터를 모으기 위해서 단지 유전공학 기술의 실험 단계 산물을 실험재료로 보냈을 뿐이었다. 두 번째,

280) Genetically modified plants and human health; Key S et al, Journal of the Royal Society of Medicine 2008, 101: 290-298, doi: 10.1258/jrsm.2008.070372 Genetically modified plants and human health; Suzie Key Julian K-C Ma Pascal MW Drake; Journal of the Royal Society of Medicine, 1 June 2008 vol. 101 no. 6 290-298, doi: 10.1258/jrsm.2008.070372

281) Effect of diets containing genetically modified potatoes expressing *Galanthus nivalis* lectin on rat small intestine; Ewen S.W. and Pusztai A. The Lancet 1999, 354: 1353-1354, doi: 10.1016/S0140-6736(98)05860-7 Effect of diets containing genetically modified potatoes expressing *Galanthus nivalis* lectin on rat small intestine; Stanley WB Ewen, Arpad Pusztai PhD, The Lancet, Volume 354, Issue 9187, 16 October 1999, Pages 1353-1354, doi: 10.1016/S0140-6736(98)05860-7

282) GMO evidence Dr Arpad Pusztai: GM potatoes damage gastrointestinal tract in rats. GMO evidence

푸스타이 박사가 확인한 손상은 이러한 형질전환 감자의 특성 때문이 아닌 일부러 실험에 사용한 잘 알려져 있는 렉틴 성분 때문으로 이는 아네모네(*Galanthus nivalis*)라 불리는 다년생화초의 유전자 전이로 획득하였고 렉틴은 독성물질로 잘 알려져 있다.

왜 독성물질을 포함한 감자를 개발하려 했을까? 렉틴은 잘 알려진 독성물질로 완전한 “자연” 식품인 콩의 몇몇 종에서는 종종 볼 수 있다. 생콩은 독성물질이 있기 때문에 항상 익혀 먹는데 10분 정도만 삶게 되면 렉틴독성이 없어진다. 건강한 감자 괴경은 위험할 정도의 독성물질은 포함하고 있지 않지만 줄기, 잎 등 녹색부위에는 독성인 글라이코알칼로이드가 있으며 만약 괴경이 빛이나 손상에 노출되면 이 독성물질이 활성화된다. 그래서 날 감자는 먹지 않는다. 렉틴은 콩 종류에서와 같이 감자 괴경을 해충 공격으로부터 보호해 주는데 이는 식물이 대부분의 공격자로부터 자신을 보호하기 위해서 천연적으로 생산하는 살충제의 일종이기 때문이다. 이러한 식품은 인체에는 해가 없는데 콩이나 감자에 들어있는 렉틴은 익히면 분해되기 때문이다. 이러한 형질전환 감자 실험목적이 렉틴이 충분히 신속하게 분해되는가 그렇지 않은가를 확인하기 위해서 익힌 감자의 효과를 검증하는 것이었다.

언어진 실험결과를 가공하고 과학논문으로 발표하는 대신 푸스타이는 영국의 한 TV 방송에 출연하여 경고성 주장을 하게

된다. 그는 렉틴이 정상적인 감자에 전환된 사실에도 불구하고 GM 감자가 일반 감자보다 실험쥐에 훨씬 더 해로운 영향을 주었다고 주장하였다. 그 후에 있었던 연구소의 반응, 과학계 보도 자료 발표와 명성 있는 영국 과학한림원의 실험방법에 대한 조사, 그리고 영국 의회 위원회의 발표 등에 대해 이야기 하자면 끝이 없다. 그 후 이어진 푸스타이 논문에 대한 엄격한 리뷰결과 그의 논문에서 많은 결함이 발견되었는데 무엇보다도 푸스타이는 너무 적은 수의 실험쥐를 사용했다거나 블라인드 테스트(맹검사)를 하지 않은 점 등이 지적되었다. 왕립학술원의 전문가 리뷰에서 “이 연구는 실험설계, 이행, 분석 등 여러면에서 그 가치가 훼손”되었으므로 “이러한 것을 기반으로 결론을 내린다는 것은 적합지 않다”고 지적했다.²⁸³⁾

저자의 텔레비전 발표와 그 후 논문발표 그리고 의회 청문회 증언 등에서 많은 괴리가 발견되었다. 푸스타이는 과학적으로 부적절한 행위로 인해 연구소에서 해고 되었지만 그의 “용기”(완전히 밝혀지지 않은 의구심과 GMO의 해로운 영향을 일반 대중에게 “경고”함에 있어서는 일조를 했기 때문에) 그린(반 GMO) 운동의 순교자로 추앙을 받게 되었다.²⁸⁴⁾ 비록 그의 주장들은 과학적으로 전혀 근거가 없지만 반 GMO 선동주의자들의 주목을 받게 됨은 물론 영국 학술계에 불명예를 안기기에

283) Review of data on possible toxicity of GM potatoes; The Royal Society, June 1999

284) Arpad Pusztai: Biological divide - James Randerson, The Guardian, 15 January 2008

충분했다.²⁸⁵⁾ 그가 발견한 “사실”들은(그의 경력의 결말과 함께) 오늘날 아직도 전문적인 GMO 반대 환경 운동꾼과 GMO에 타격을 주려는 악의적 의도를 가진 농산업 로비스트들의 “증거”로 이용되고 있다.

GM 옥수수 꽃가루가 제왕나비를 죽인다?

GM 옥수수의 꽃가루가 제왕나비 애벌레(*Danaus plexippus*)²⁸⁶⁾를 죽인다는 논문이 저명한 학술지 네이처 지에 발표되었다.²⁸⁷⁾ 그러나 사실은 그렇지 않다: 그 주장은 단지 실험실내에서 수행된 완전히 비현실적인 조건에 근거하고 있기 때문이다. 그 논문은 광범위하고 심도 있는 과학적 연구들은 촉발시키는 계기가 되었지만 원래의 연구결과는 학계의 지지를 받지 못했다.²⁸⁸⁾ 자연 상태에서 애벌레 치사율 사례는 심한 가뭄이 원인이 되어 발생하지 GM 옥수수 때문에 발생하지 않는다.^{289),290)}

285) “The Pusztai affair - science loses”; BBC News Online's Science D. Whitehouse (Ed), BBC News, October 15, 1999

286) Toxic pollen from genetically modified maize kills monarch butterflies, researchers find in lab tests. Friedlander B, Jr, Maizeell Chronicle, May 20, 1999

287) Transgenic pollen harms monarch larvae. John E. Losey et al., Scientific, Correspondence, Nature 399, 214 (20 May 1999), doi: 10.1038/20338

288) Gensko spremenjena hrana. Genetically modified food. Bohanec B. et al. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, 2004, ISBN 961-6379-06-2

289) Three years later: Genetically Engineered Maize and the Monarch Butterfly Controversy. Pew Initiative on Food and Biotechnology

290) Impact of Bt maize pollen on monarch butterfly populations: A risk assessment. Sears M.K. PNAS 2001, 98: 11937-11942, doi: 10.1073/pnas.211329998

미디어는 제왕나비 수의 감소를 GM 옥수수²⁹¹⁾와 연계시킨 최근 논문이 오히려 GMO가 이러한 나비들을 위협하는 증거라고 해석을 하고 있다. 그러나 논문은 좀 다른 얘기를 하고 있다: 글리포세이트 제초제에 저항성을 보이는 옥수수의 재배가 널리 확대됨에 따라 제초제 사용도 늘어나 옥수수밭과 그 주변에 있는 풀들을 죽이기 때문이라는 것이다. 이러한 풀 중에는 흰 유액을 분비하는 인주솜풀(*Asclepias syriaca*)도 포함하는데 이 풀잎 위에 제왕나비가 알을 낳는다. 인주솜풀 개체 수 감소는 제왕나비의 수가 줄어든다는 의미인데 사실 그 영향은 인주솜풀을 직접 손으로 제거 하더라도 효과는 마찬가지이다.

하지만 환경단체들은 모든 GMO가 이런 나비들을 몰살시키기 때문에 제왕나비 개체수가 여전히 줄고 있다라고 GMO 반대 주장의 근거로 활용하고 있다. 그러나 사실은 다르다: 제왕나비를 연구하는 과학자들은 나비 개체수가 줄어드는 주된 원인을 제왕나비가 겨울을 보내는 멕시코 산림이 급속히 훼손되고 있기 때문으로 보고 있다. 가장 최근의 연구결과는 나비의 이동 과정에서 수가 많이 줄어드는 것이 제왕나비 개체 수 하락의 주요 원인이 된다고 발표하였다.²⁹²⁾

291) Milkweed loss in agricultural fields because of herbicide use: effect on the monarch butterfly population, Pleasants J.M. et al, Insect Conservation and Diversity 2013, 6: 135-144, doi: 10.1111/j.1752-4598.2012.00196.x

292) Are monarch butterflies really being massacred? A new study says it's a lot more complicated than it seems, Sarah Kaplan, The Washington Post August 5, 2015

이 경우 미국에서의 제왕나비에 대한 위협을 이렇게 강조하는 것은 특히 강력한 선전효과를 가진다라는 점을 언급하고 싶다. 유럽에는 그러한 나비가 없지만(분명 비슷한 종으로 호랑나비, *Papilio machaon* 이 있다) 미국에서는 제왕나비가 특히 유명하다: 만약 미국인들이 나비에 대해서 최소 한 가지 이름을 알고 있다면 그게 바로 아마도 제왕나비일 것이다. 제왕나비에 대해서는 모든 초등학교에서 가르친다. 제왕나비에 대한 매력적인 현상은 이 나비가 아주 긴 이동을 하며 일년에 4세대까지 번식하고 첫 번째 비행은 남쪽에서 북쪽으로 캐나다까지 날아가서 그 후 세대가 남쪽으로 다시 날아온다는 점이다. 따라서 일반적으로 미국인들에게 “GM 옥수수가 제왕나비를 위협한다”라는 주장은 예를 들자면 마치 슬로베니아에서 GMO가 카르니올라(Carniolian) 꿀벌에 위협이 된다는 것과 동일한 정서적 영향을 끼친다고 할 수 있다.

“GM 면화가 인도농부 자살의 원인이다?” - 반다나 시바

인도 환경주의자인 반다나 시바는 여러 기고문에서 몬산토사가 판매한 GM 면화 종자 때문에 많은 수의 인도농부가 자살을 했다고 주장하고 있다.²⁹³⁾ 그러한 종자에 지불하는 높은 가격 때문에 가난한 농부들을 빚더미에 앉게 하고 수확이 좋지 않아

293) Seeds of suicide and slavery versus seeds of life and freedom, Shiva V, Al Jazeera 30 Mar 2013

서 농가부채를 갚지 못하게 되어 대부분의 농부들이 극단적 선택을 하게 됐다는 주장이다. 또한 반다나 시바는 몬산토 면화 종자가 “터미네이터” 유전자를 포함하기 때문에 농부들이 수확한 종자는 불임이 되어 종자로 사용을 못하고 결과적으로 농부들은 계속해서 새로운 특허 종자를 살 수밖에 없다고 주장하고 있다.^{294),295)}

반다나 시바의 선전 캠페인은 실제로 거짓말 꾸러미라는 것은 몬산토 종자에 “터미네이터” 유전자가 포함되었다는 그녀의 주장만 봐도 명백히 알 수 있다. 반다나 시바 그녀 자신도 이것이 사실이 아니라고 인정하였다.²⁹⁶⁾

반다나 시바의 왜곡된 정보의 또 다른 사례는 1990년 중반의 증가된 농가 자살이 몬산토 종자 판매와 연관이 있다는 주장인데, 사실 GM 면화가 인도에서 재배가 승인된 것은 2002년이다. 인도 농부들은 인도 전역에 걸쳐서 많은 양의 GM 면화를 재배하고 있다. 인도의 28개 주 가운데 GM 면화를 재배하는 주는 5개 주에 불과한데 왜 농부자살이 전염병처럼 번진다는 것일까? 더욱이 인도 전역에 걸쳐 증가된 자살 수준은 2012년 후에 계속되

294) From seeds of suicide to seeds of hope: why are Indian farmers committing suicide and how can we stop this tragedy? Vandana Shiva, The Huffington Post, April 28, 2009

295) The seeds of suicide: how Monsanto destroys farming. By Shiva V. Global Research, March 13, 2014

296) Vandana Shiva admits: There is No Terminator. SkeptEco

었는데 사실 이 기간에 동일한 양의 GM 종자가 중국과 인도 회사에 의해 제공되어 가격이 절반으로 하락하였다.²⁹⁷⁾ 이러한 왜곡 정보에 대한 상세한 분석은 Paul Raeburn²⁹⁸⁾ 또는 Michael Specter²⁹⁹⁾와 같은 사람들의 기고문을 통해 접할 수 있다.

인도농부의 자살률 증가는 “1990년대 초반에 시행된 예측하지 않았던 은행 개혁 때문이다. 이러한 은행 개혁은 은행의 경쟁력을 더욱 높이고… 농부들의 늘어난 부채를 경감시켰으며…” 이렇게 되자 농부들은 사채 빚을 질 수 밖에 없게 되었는데 사채이자가 무려 45%까지 치솟았다.³⁰⁰⁾ 이 당시 인도 정부는 재정체계는 개혁하였지만 농업개혁은 성공하지 못했다.³⁰¹⁾

반다나 시바와 전문적인 환경주의자들의 로비활동에도 불구하고 해충저항성 Bt 면화는 중국, 수단, 가난한 아프리카 국가인 부르키나 파소에서³⁰²⁾ 성공적으로 재배되어 이들 국가의 농부들에게 실질적인 경제적 이득을 가져다주었다.

297) The GMO-Suicide Myth, Kloor K, Issues in Science and Technology, Volume XXX Issue 2, Winter 2014

298) Demolishing the myth that Monsanto's engineered crops drove 270,000 Indian farmers to suicide, Raeburn P, Knight Science Journalism Tracker March 11, 2013

299) Seeds of doubt, Specter M., The New Yorker August 25, 2014

300) Political economy of suicide: financial reforms, credit crunches and farmer suicides in India, Anoop Sadanandan, The Journal of Developing Areas, Volume 48, Number 4, Fall 2014 pp. 287-307, doi: 10.1353/jda.2014.0065

301) Farming in India: In a time warp, The Economist, Jun 27th 2015

302) Massive economic boost from biotech cotton, Crop Life, October 7, 2015

“GM 콩이 어린 실험쥐의 죽음, 성장장애, 불임의 원인이다?”

- 이리나 에르마코바

러시아 신경과학자 이리나 에르마코바가 2005년 독일의 한 환경학술회의에서 발표한 연구결과가 사람들을 놀라게 하였는데 미국 몬산토 회사의 GM 콩을 어린 쥐에게 먹였더니 출산 후 첫날에 집단폐사 하거나 성장이 멈추거나 불임이 된다는 내용이다.^{303),304),305)} 그러나 진실은 다소 달랐다.

과학자들은 에르마코바가 어느 실험실에서도 사전에 발견된 바 없는 그녀의 실험결과를 단지 미디어와 환경학술회의에서 발표했다는 사실에 우선 놀랐는데, 그녀는 자신의 논문을 공신력있는 리뷰 과정을 결코 거치지 않았다. GMO의 위험성에 대한 추측성 결과에 대한 미디어의 상당한 관심 때문에 저명한 학술지 Nature Biotechnology는 에르마코바에게 그녀의 연구에 대한 상세한 보고서를 요청하면서 4명의 생명공학분야 전문가의 논평과 함께 연구결과를 출간할 것을 제안하였다.³⁰⁶⁾ 전문가의 결론은 “... 이번의 연구결과 만으로 단정적인 결론

303) Influence of genetically modified soybean on the birth-weight and survival of rat pups, in Proceedings of the Conference Epigenetics, Transgenic Plants and Risk, Ermakova, I.V. Assessment, Frankfurt am Main, Germany, December 1, 2005 (ed. Moch, K.) 41-48 (Öko-Institut, Freiburg, 2006)

304) GM soybean fed rats: stunted, dead, or sterile; Dr. Mae-Wan Ho, ISIS Report 28/11/06

305) What biotech doesn't want you to know about GMOs; Food Freedom, September 17, 2010

306) GM soybeans and health safety - a controversy reexamined; Marshall A. Nature Biotechnology 25, 981-987 (2007), doi: 10.1038/nbt0907-981

을 내리는 것이 불가능하다는 사실을 알게 되었다. 이번 결과의 실험방법은 국제적으로 공인된 방법으로 진행되지 않았으며... 실험에 사용된 원래 재료인 콩의 특성도 알려져 있지 않았다; 각개 실험쥐들에게 급이된 먹이의 양도 밝혀지지 않았고 먹이 구성성분에 대한 정보도 없을 뿐만 아니라... 대조구에서 보이는 비정상적인 높은 치사율과 성장 부진을 보면 실험동물관리가 제대로 되지 않은 것 같았다.” 에르마코바는 실험쥐를 모두 굶겼기 때문에 GM 콩에 대한 정상적인 영양결핍 효과가 나타났다고 주장했다. 실험규정을 철저히 따르는 다른 실험실에서는 그녀의 실험에 대한 재현성을 구현할 수 없었으나 이는 전문적 환경운동가들에게는 전혀 문제가 되지 않았다. 에르마코바는 예상대로 GMO를 반대하기 위해 싸우는 영웅이 되었으며 환경 미디어들은 그녀의 논문을 명백한 과학인 것처럼 출간하였다.

이와 유사한 논문으로 복수세대 실험결과 실험쥐가 죽었다는 내용의 오스트리아 과학자 연구결과는 2008년에 인터넷에 발표되었다.³⁰⁷⁾ 그들은 옥수수 조명나방 저항성 Bt 유전자와 제초제저항성 유전자가 들어간 옥수수를 쥐에 먹여 실험을 하였는데 모든 주요 언론들이 GM 옥수수가 실험쥐의 출산에 부정적 영향을 미쳤다고 일제히 보도하였다. 이러한 발표 후 유럽

307) Biological effects of transgenic maize NK603xMON810 fed in long term reproduction studies in mice, Velimirov A, et al, 11, November 2008

식품안전국(EFSA)을 포함하여 유럽 과학계가 이 연구에 대한 심층 분석을 하게 되었는데,³⁰⁸⁾ 실험 디자인과 수행에서 몇 가지 결함이 확인되어 주목을 받았다. 이러한 발표 후 2년 뒤인 2010년에 오스트리아 정부는 이 실험에서 데이터 통계분석의 오류가 발견되었기 때문에 논문을 철회한다고 공식 발표하였으나 이러한 정부의 철회 조치는 전혀 미디어의 주목을 받지 못했다.

GMO곡물이 알레르기를 유발한다?

이러한 주장은 계속 나타나고 있으며 이것에 대해 모두 답하는 것을 쉽지 않다.

유럽회사 아벤티스의 스타링크 옥수수가 사람들에게 알레르기를 일으킨다?³⁰⁹⁾ 아니다, 그렇지 않다. 스타링크 옥수수는 개발된 이후 본래 동물 사료용으로만 승인이 이루어졌다. 그러나 환경단체들은 주로 미국에서 인기 있는 옥수수 칩과 같이 GM 옥수수가 식품에서도 발견된다는 “그들만의 연구를 토대로” 이

308) EFSA GMO unit, bilateral technical meeting between members of the EFSA panel on genetically modified organisms and Austrian delegation, Austrian safeguard clause on GM maize mon810 and maize T25. EFSA Meeting report of the meeting of 02 December 2008

309) Comments on the Assessment of Scientific Information Concerning StarLink Maize (Cry9C Bt Maize Plant-Pesticide) EPA Docket Number OPP-00688; By Michael Hansen, Ph.D., Consumer Policy Institute/Consumer Union November 28, 2000

것이 알레르기를 유발한다고 결론을 내렸다. 전문적인 환경론자들의 끈질긴 미디어 캠페인 때문에 수십 명의 사람이 실제로 아마도 옥수수 칩을 먹고 알레르기 반응이 있었다고 보고했으나 임상실험결과는 이러한 가정과 스타링크 옥수수에 대한 알레르기 반응 시험 논문을 기각하였다.^{310),311)}

또 다른 사례로 브라질 너트와 콩이 있다.³¹²⁾ GMO 반대론자들이 인용하는 추측성 증거에는 파이오니어 사에서 수행한 GM 콩 논문이 있는데 브라질 너트의 한 유전자를 콩에 형질전환하여 단백질 조성을 좋게 하려던 실험이다. 그들이 콩을 닭사료로만 사용하기 위해 개발하려 했음에도 불구하고 도입한 유전자가 인체 알레르기를 일으킬지 모른다고 판단하여 중간에 실험을 중단했으며 그 이후 이 콩은 결코 재배되지도 않았고 심지어 동물사료로도 결코 사용되지 않았다. 이러한 사례는 GMO가 매우 높은 수준의 안전성 평가를 거치고 있음을 잘 설명해 주고 있다. 그러한 콩 품종이 재배된다 하더라도 알레르기 유발물질은 정확히 동일하기 때문에 브라질 너트에 이미 알레르기가 있는 사람에게만 알레르기 반응이 나타난다.³¹³⁾ 개발사 측은

310) CDC: No StarLink allergies; CBSNews, February 11, 2009

311) A negative, double-blind, placebo-controlled challenge to genetically modified maize. Sutton S.A. et al. Journal of Allergy and Clinical Immunology 2003, 112: 1011-1012

312) Food, the environment and genetically modified organisms; Greenpeace

313) Identification of a brazil-nut allergen in transgenic soybeans; Nordlee J.A. et al. The New England Journal of Medicine 1996, 334: 688-692, doi: 10.1056/NEJM199603143341103

데이터가 완전히 회사 규정을 위반한다고 보도하고 있지만 그렇게까지 할 필요는 없어 보인다. 브라질 넛트는 이미 연구되어 잘 알려진 완전한 천연적 알레르기 유발물질로 이 세상 어느 곳에서도 사용이 금지되어 있는 식품은 아니기 때문이다.

“GMO 꽃가루가 다른 식물을 ‘오염시켜’ 특허 소송을 야기시킨다” - 퍼시 슈마이어

글로벌 거대 기업인 몬산토사는 캐나다 농부, 퍼시 슈마이어가 특허등록 유채를 무단으로 재배한 것에 대해 농부는 GMO 식물에서 자신의 밭에 꽃가루가 날라 와 오염된 것이라 주장하고 있지만 거액의 배상을 청구하였다.³¹⁴⁾

이러한 미디어 조작을 설명하려면 Ervan 라디오 프로그램의 답변스타일에서 시작할 수 있는데 “ 원칙적으로 그렇다, 그러나...”. 첫째 슈마이어는 소농민이 아니고 대규모 농지를 소유하고 있는데 가공업자들에게 자신이 소유한 농가에서 재배한 유채를 도매로 넘겨 많은 돈을 벌고 있다. 둘째, 배상청구에 대한 슈마이어 소송은 모든 법원에서 기각되었다. 특허 유채가 자신의 밭에서 나온 것은 어디에서나 꽃가루에 의한 “오염”이란 주장에 대해서 그 근거가 매우 약한데 가장 가까운 GM 유채밭

314) Percy Schmeiser vs Monsanto: The story of a canadian farmer's fight to defend the rights of farmers and the future of seeds; By Democracy Now! , September 18, 2010

은 슈마이저의 “오염”된 밭과 약 8km 떨어져 있는데 어떻게 슈마이저 밭의 95%가 “오염”되었을까? 비록 꿀벌에 의해 꽃가루가 먼 거리를 이동하기는 하지만 보통 유식작물은 자식성이기 때문에 다른 꽃가루에 의해 수정이 이루어지는 경우는 매우 희박하다.³¹⁵⁾

세초제를 구매한 사실에 주목했다. 왜 그랬을까? 그가 만약 라운드업 제초제를 뿌리면 죽는 일반 유채였다면 그렇게 많이 제초제약을 구매할 필요가 있었을까? 라운드업 제초제는 이 제초제에 저항성을 보이도록 개발한 몬산토사의 GM 유채를 재배할 때만 사용한다.³¹⁶⁾

동일한 사례가 몬산토사를 상대로 한 Huge Bowmann 소송 건인데 2012³¹⁷⁾ 년에 발생했다. 그 당시 호주 유기농 유채 생산 농민인 보우맨은 GM 유채를 심은 이웃 농가를 자신의 유기농 유채를 오염시켰다고 소송한 것인데 2014년 유기농가는 소송에서 패배하였다.³¹⁸⁾

315) Series on harmonization of regulatory oversight in biotechnology No.7 consensus document on the biology of Brassica napus L. (oilseed rape), OCDE/GD(97)63

316) Gensko spremenjena hrana; Genetically modified food, Bohanec B. et al, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta 2004

317) Supreme Court of The United States Syllabus, Bowman v. Monsanto co. et al, certiorari to the united states court of appeals for the federal circuit No. 11-796, Argued February 19, 2013-Decided May 13, 2013

318) GM farmer wins landmark canola contamination case in WA Supreme Court, Charlotte Hamlyn and Rebecca Trigger, ABC News 14 Jun 2014

이것이 GM 품종에 대해 자주 사용되는 비난이다: 즉, GM 품종 재배로 주변의 유기농 식품을 생산하지 못하게 된다는 내용이다. 유기농식품이 무엇이든 포함해도 되고, 어떤 것은 포함하면 안된다는 규칙은 유기농 생산자 자신들만의 규정에 근거하며 과학적 지지가 약하다. 규칙 중에는 유기농에는 GMO를 포함하면 안된다는 내용도 있다. 유기농 생산자들이 실제 원하는 것이 화학적 농약사용 부담을 없앤 식품을 생산하는 것이라면 과학적으로 보면 정 반대 사실인데 어떠한 목적으로 그들이 이러한 행동을 하는 것인가? 이렇게 설명해보자: 슬로바니아 언어로 이 책을 출간했을 때 주변의 루블라나 지역의 한 농민이 우리에게 말하길 “한해에도 여러 번 밀밭에 살균농약을 뿌리지만 마이코톡신의 양 때문에 밀의 품질이 떨어져 고작 2-3등급에 팔린다는 것이다. 내 이웃농가는 유기농으로 밀밭에 전혀 농약을 치지 않는데 그는 도정한 밀과 밀가루를 높은 가격에 지역 시장에 팔고 보조금도 2배 받는다. 이것을 어떻게 받아들여야 하는가?”

그러한 생각을 잠시 떠나서 두 가지 재배방법의 공존이 불가능한 것인지 살펴보자. 실제로 재배포장에서 원치 않는 혼입이 이루어지지 않는 격리거리를 상세히 규정하는 연구가 진행된 바 있다.³¹⁹⁾ 옥수수의 경우 40미터 거리를 유지하면 이웃의 다른 옥수수 재배지의 혼입을 99% 확률로 줄이며 사일리지 옥수

319) Adventitious presence of GMOs in maize in the view of coexistence, Kozjek P. et al. Acta agriculturae Slovenica 2011, 97: 275-284

수는 격리 거리가 5배 줄어든다는 연구이다. 그런데 유럽 법입안자들은 이러한 경계를 더욱 넓게 잡았는데 슬로베니아에서는 옥수수 밭 사이 간격을 600미터로 하고 있다.

이웃에 대한 영향은 또한 다른 각도에서 볼 수 있다. 2010년 이래 예를 들면 일반옥수수 생산자들은 그들의 이웃이 조명나방³²⁰⁾에 견디는 살충성 GM 옥수수를 재배하고 있는 것에 대해 고마워해야 하는데, 14년간의 옥수수 생산에서 무려 320만 달러가 절약되어 이중에서 약 240만 달러 이익이 일반 옥수수 재배로 얻어졌기 때문이다. 이익은 무엇인가? 넓은 지역에서 조명나방에 견디기 때문에 이러한 해충발생이 급격하게 감소된 것이다. 반대의 사례를 찾는 것이 어렵지 않은데 유기농가의 병 해충이 확산되어도 그들은 전혀 책임이 없다.³²¹⁾

GMO의 외래 유전자가 수백 킬로미터 떨어진 일반 품종에 퍼질 수 있다?

2001년 10월에 David Quist와 Ignacio H. Chapela가 저명한 과학잡지 Nature에 편지를 기고했는데(사실 이러한 편지기고는 엄격한 논문심사 대상이 아니다) 인위적으로 추가된 Cry 1 독

320) Areawide suppression of European maize borer with bt maize reaps savings to non-bt maize growers. Hutchison W.D. 201, Science 330: 222-225, doi: 10.1126/science.1190242

321) Myth busting on 'contamination': GMO farms' halo effect often protects organic farms. Genetic Literacy Project Nov. 23, 2015

소유전자가 Bt 옥수수를 재배하는 밭에서 수백 Km 떨어진 남부 멕시코 Sierra Norte de Oaxaca 지방의 지역 옥수수품종 criollo 에서 발견되었다는 내용인데 사실여부 확인이 필요했다.³²²⁾ 이후 수차례 항의가 있었으며 Quist와 Chapela의 부적합한 결과 평가와 근거 없는 결론 그리고 부적당한 기술로 주목을 받았는데 모두 계량화를 할 수 없는 것들이다.^{323),324),325)} “매우 놀라운 것은 그렇게 수많은 근본적 결점을 가지고 있는 원고가 어떻게 매우 엄격한 발행 기준을 가지는 과학학술지에 실릴 수 있는가”라고 형질전환연구 편집자를 대표하여 영국 노르위치 소재 존 인스 센터의 분자생물 과장인 폴 크리스토 박사는 말했다.

드디어 2002년 4월 Nature지는 의례적으로 Quist와 Chapela의 주장과 거리가 있는 사실을 기고했는데 “Nature 지는 원래 논문을 정당화할 만한 근거를 찾을 수 없다고 결론 내렸다³²⁶⁾”는 내용인데 이러한 발표는 네이처지 133년 역사상 최초의 사건이었다.

322) Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. David Quist & Ignacio H. Chapela, *Nature* 414, 541-543 (29 November 2001), doi: 10.1038/35107068

323) Biodiversity (Communications arising): Maize transgene results in Mexico are artefacts. Nick Kaplinsky, David Braun, Damon Lisch, Angela Hay, Sarah Hake & Michael Freeling. *Nature* 416, 601-602 (11 April 2002), doi: 10.1038/nature739

324) Conflicts around a study of Mexican crops, Matthew Metz & Johannes Fütterer. *Nature* 417, 897-898 (27 June 2002), doi: 10.1038/417897c

325) The Case of Mexican Maize, Johannes Wirz, In *Context* #9 (Spring, 2003, pp. 3-5)

326) Biodiversity (Communications arising): Suspect evidence of transgenic contamination (see editorial footnote), Metz M and Fütterer J *Nature* 2002, 416: 600-601, doi: 10.1038/nature738

이러한 주장들에 대한 과학적 근거가 결여되어 있음에도 불구하고 GMO로부터 “외래”유전자의 확산이 견잡을 수 없게 일어난다는 주장들이 있다는 점에 유의할 필요가 있는데, 심지어는 유럽의회에서도 종종 발생하였다.^{327), 328)}

GMO에는 항생제 저항성 유전자가 들어있어 인간에게 위험한 세균을 전염시킬 수 있다?

이들 유전자는 예를 들면, 식물에서 세균으로 넘어가 어떤 범위 내에서 질병을 치료하는 항생제의 효용성을 파괴한다는 것이다.^{329), 330)} 전문적 환경론자들의 주장에서와 같이, 오늘날에도 반 GMO 선동의 토대이며 약간의 진실은 포함하는데 초기에 만들어진 1세대 GMO 중 일부에는 유용한 목표유전자 말고도 카나마이신 저항성 유전자가 포함되어 있다. 그러나 기술이 발달함에 따라서 유전자 형질전환에서 이러한 “선발유전자”를 포함하는 것은 꼭 불가피한 것은 아니며 최근에는 논란을 피할 수 있는 선발유전자들이 많기 때문에 최소한 유럽에서만큼은 반대는 초기 GMO에만 해당된다.

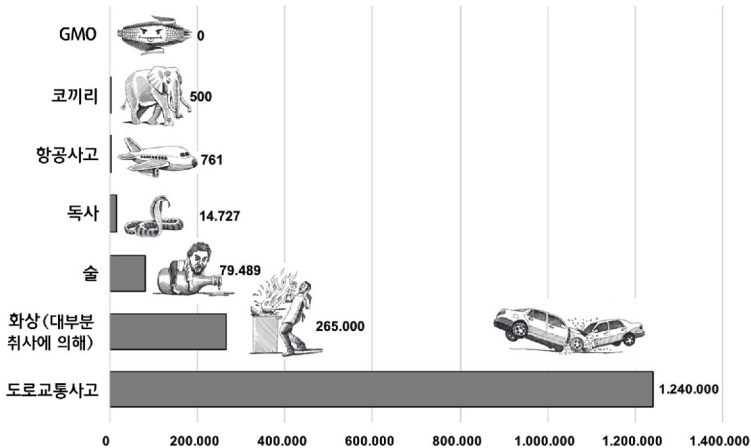
327) No credible scientific evidence is presented to support claims that transgenic DNA was introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. Christou P. Transgenic Research 11: iii-v 2002

328) European attitudes towards GMO - an overview of the current opinions BlogActiv.eu, June 29, 2015

329) Antibiotic resistance in genetically modified plants; Caplan R. June 2002

330) Antibiotic resistance genes in transgenic plants, in particular ampicillin resistance in bt-maize; Executive summary; Oekoinstitut Freiburg on behalf of Greenpeace Germany

2014년도 사망원인



사실 2009년도에 유럽식품안전청(EFSA)은 항생제 저항성 유전자가 포함된 옛날의 일부 GMO가 실제로 내성 증가의 위험성이 있는가에 대해서는 그 가능성이 없다고 공식적으로 발표하였다.³³¹⁾ 2007년부터 항생제 내성 *Npt II* 유전자의 사용과 관련한 EFSA 공식 성명서³³²⁾에는 이러한 유전자가 전이하여 기능을 나타낼 확률은 극히 낮다고 적혀있다. 2004년 EFSA의 특별과학자문단은 이러한 GM 식물이 지난 13년간 식품으로 안전

331) Statement of EFSA, EFSA-Q-2009-00589 and EFSA-Q-2009-00593

332) Opinion of the scientific panel on genetically modified organisms on the use of antibiotic resistance genes as marker genes in genetically modified plants¹ (Question N EFSA-Q-2003-109); Opinion adopted on 2 April 2004; The EFSA Journal (2004) 48, 1-18

하게 사용되었다는 보고서와 함께 GMO 재배의 결과를 공식적으로 분석 발표하였다.³³³⁾

그러나 동일한 문건에서(다른 곳에서도) 항생제 내성유전자의 전이가능성 위험에 대한 전혀 다른 측면의 데이터를 찾을 수 있다: “이러한 형태의 항생제 내성은 일반적으로 여러 종에서 널리 발견되며 자연적으로 미생물, 인간, 그리고 환경에서 보편적으로 출현하기 때문이다”. 유전공학기술에 사용되는 선발 유전자들은 자연에 존재하지 않는 인위적 창조물이 아니고 그러한 유전자는 수백만 년 동안 온전히 자연 생물체에서 발견되었다. 사실, 종간에 이러한 유전자가 전이될 가능성은 매우 낮지만 ³³⁴⁾ 만약에 일어난다³³⁵⁾ 하더라도 이는 완전히 자연적인 현상이며 인간이 유전공학기술을 사용하기 훨씬 이전에도 이미 존재함으로 GMO의 사용이 위험성을 증가시키지는 않는다.

333) Opinion of the scientific panel on genetically modified organisms on the use of antibiotic resistance genes as marker genes in genetically modified plants¹ (Question N EFSA-Q-2003-109); Opinion adopted on 2 April 2004; The EFSA Journal (2004) 48, 1-18

334) Horizontal transfer of DNA from GM crops to bacteria and to mammalian cells; J.A. Thomson, Journal of Food Science 2001, 66: 188-193, doi: 10.1111/j.1365-2621.2001.tb11314.x

335) Transformation of *Acinetobacter* sp. strain bd413(pfg4δnptii) with transgenic plant DNA in soil microcosms and effects of kanamycin on selection of transformants, Kaare M. et al, Applied and Environmental Microbiology 2000, 66: 1237-1242

GMO가 포름알데히드를 포함한다?

2015년 7월, V. A. Shiva Ayyadurai와 Prabhakar Deonikar가 발암물질인 포름알데히드가 GM 식물에 축적된다는 주장의 논문을 발표하였는데³³⁶⁾ 물론 미디어는 이를 좀 더 과장하여 대대적으로 보도하였다.

해당 논문은 농업과학잡지에 발표된 것으로 이미 신뢰성이 떨어지는데, 이 잡지는 “돈만 내면 어떤 논문이든 게재”해 주기 때문에 그렇게 큰 영향력은 없다고 할 수 있다. 만약 두 사람이 정말로 과학적으로 신뢰할 수 있고, 획기적인 발견을 했다면 그 연구결과는 철저한 리뷰를 요하는 저명한 학술지에 게재했어야 한다. 이러한 의혹만 보더라도 그들의 주장에는 믿음이 가지 않는다.

단순히 재배작물 또는 식품에서 포름알데히드가 발견되었다는 사실은 전혀 새롭거나 놀랍지 않은데 포름알데히드는 “자연적” 식물이나 GM 식물 모두에서 식물의 광합성³³⁷⁾ 과정에서 생기는 주요 화합물질 중의 하나이기 때문이다. 이러한 물질은

336) Do GMOs accumulate formaldehyde and disrupt molecular systems equilibria? Systems biology may provide answers. Shiva Ayyadurai V.A. and Deonikar P. Agricultural Sciences, 2015, 6, 630-662, <http://dx.doi.org/10.4236/as.2015.67062>

337) Studies in photosynthesis: The formaldehyde hypothesis. Barton-Wright E.C. and Pratt M.C. Biochemistry Journal 1930, 24: 1210-1216

과일과 종자에서 또한 흔히 발견된다. 그렇기 때문에, 예를 들어 사과 1kg에서는 6.3-22.3 밀리그램의 포름알데히드가 발견되며 양파는 11, 컬리플라워는 22.4, 배는 38.7-60, 건표고에서는 100-406 밀리그램이 나온다.³³⁸⁾

식품에서 포름알데히드를 피하고 싶으면 아무것도 먹지 않으면 된다. 소량의 포름알데히드는 인체에 해가 없는데 그 성분이 인체 내에서 축적되지 않고 바로 휘발되기 때문이다.^{339),340)}

더욱 의혹을 사는 것은 두 사람이 콩에서 포름알데히드의 양을 실제로 측정하지 않고 수학적 모델을 이용한 시뮬레이션에 근거하여 결론을 내렸다는 점으로, 어느 결과에서도 콩에서 위험할 정도의 포름알데히드 성분은 검출되지 않았다.

그들은 자연적인 식물에서는 포름알데히드가 분해되지만 GM 식물에서는 축적된다는 모델에 근거하여 결론을 내렸기 때문에 기껏 해야 그들의 발견은 실제 측정을 통해서만 확인이 가능한 가설일 뿐인 셈이다. 이러한 사실이 해당 논문이 무효임을 입증한다.

338) Foods known to contain naturally occurring formaldehyde I, Fruits & vegetables

339) ATDSR toxic substances portal - formaldehyde

340) Scientific report of EFSA: Endogenous formaldehyde turnover in humans compared with exogenous contribution from food sources

“자연적이지 않은” 유전자가 GMO에서 다른 식물로 들어가 “슈퍼잡초”를 만든다?

2005년 7월 많은 미디어들이 유지작물의 종자로부터 형질전환 DNA가 야생 겨자(*Sinapis arvensis*)로 들어가 이들의 후대에서 모든 제초제에 내성을 보이는 일명 “슈퍼잡초”가 된다고 일제히 보도하였다.³⁴¹⁾

이러한 전문적 환경론자의 주장은 교잡친화성이 없는 식물 종간(배추와 겨자와 같은)에 단순하게 유전적 디자인만 “섞는다고” 교잡이 이루어질 가능성이 매우 낮기 때문에 바로 의혹을 샀다. 의심되는 야생 겨자를 자세히 조사해보니 그들이 주장한 “자연적인” 식물과 형질전환 식물 간 교잡한다는 주장은 상상의 비약으로 밝혀졌다.³⁴²⁾

“슈퍼잡초”라던 야생겨자의 모양은 객관적인 과학자들에게는 물론 놀라운 일이 아니었는데, 야생겨자는 이미 강력한 침입종³⁴³⁾으로 알려져 있으며 완전히 “자연적인” 경로만으로도 제초제 내성을 추가적으로 획득하고 반복적인 제초제 사용은 제초제내성 야생겨자를 출현시키기 때문이다.

341) GM crops created superweed, say scientists; Modified rape crosses with wild plant to create tough pesticide-resistant strain; Brown P. The Guardian, 25 July 2005

342) Claims of GM-field ‘superweed’ are dismissed. Hooper R. New Scientist, 26 July 2005

343) *Sinapis arvensis* - Weed Research and Information Center

그럼에도 불구하고 실험실 내에서 우연히 또는 의도적으로 경작지 표면을 뒤덮고 다른 식물의 생장을 억제하는 소위 “슈퍼 잡초” 창조를 위한 새로운 유전자 개발이 가능할까? 이론적으로 이러한 것이 가능할지 모르지만 실제로는 일어나기가 매우 희박하다. 모든 야생식물들은 불가피하게 죽게 되는 몇 가지 말고는 수백 만 년의 진화적 경쟁을 이겨낸 것들이기 때문이다. 노벨상 수상자인 Francis Crick은 “진화는 당신보다 스마트하다!”라고 단적으로 말하고 있다. 그래서 인간이 제초제를 사용하여 동일한 선택압력을 만들어 낼 수 있다는 것이 그리 놀랍지 않다. “슈퍼잡초”는 이미 존재하는 것이며 완전하게 자연적인 경로를 통해 만들어 지는데 재배종 겨자, 데이지(*Bellis perennis*), 민들레(*Taraxacum* sp.), 그리고 강아지풀(*Setaria viridis*)에서 볼 수 있다. 이러한 종들 중에서 어떠한 종도 아직 우점화되지 않은 것은 모든 유라시아 생물적 환경이 이러한 종들의 경쟁 속에서 발달되어 당분간은 이러한 다수의 공격성 식물들 간에 평형이 이루어지기 때문이다. 이러한 자연 생태계 평형이 GMO의 도입으로 붕괴된다는 아무 증거도 없다.

필립 데일 등은 네이처 지에서³⁴⁴⁾ “... 형질전환 유래 식물의 자유로운 DNA 사슬의 영향은 아마도 자연에 있는 자유로운 유전자의 전체 양과 비교하여 무시할 수준일 것이다. 우리는

344) Potential for the environmental impact of transgenic crops, Dale P.J. et. al, Nature Biotechnology 2002, 20: 567-574, doi: 10.1038/nbt0602-567

GMO와 Non-GMO 품종이 기본적으로 다르다는 것을 보여주는 유효한 과학적 논거를 찾지 못했다. GMO의 잠재적 환경영향이라면 아마도 우점성, 잡초화 가능성, 독성, 환경적 다양성 영향 등 Non-GMO 재배에서 잘 알려진 것과 차이가 없다고 본다”라고 언급하고 있다.

제초제 저항성 슈퍼잡초의 발생은 실제 전문적 농사에서는 바람직하지 않은 내성 작물이 생겨나지 않도록 제초제 농약의 사용 등을 포함하는 적절한 윤작으로 가장 효과적인 관리가 가능하다.

GM 식물의 종자는 터미네이터 유전자를 가지고 있어 발아하지 않는다?

1990년에 델타 파인 랜드사는 미 농무부와 협력하여 GM 식물이 불임이 되도록 하는 유전적 기술을 개발하였다. 이 기술은 단지 GMO 반대론자들이 GMO의 유전자가 자연환경으로 “탈출”할 수 있다는 잠재적 위험성을 주장하기 때문에 개발되었다.³⁴⁵⁾ TPS라 불리는 기술보호시스템은 1998년에 특허등록이 되어 2006년에 몬산토사가 델타 파인 랜드사를 사들이면서 TPS 특허도 함께 획득하게 되었다.

345) Technology protection system http://www.agbioworld.org/newsletter_wm/index.php?caseid=archive&newsid=266

“터미네이터” 유전자 또는 유전적사용제한기술(Genetic use restriction technology, GURT)에 대한 일반대중의 반대에 따라서 몬산토사나 다른 어떤 회사도 GM 종자를 만들 때 이러한 기술은 절대 적용하지 않았다.³⁴⁶⁾

물론, GMO를 만드는 종자는 불임이 아니며, 모든 일반 품종에 적용되지 않는다. 예를 들어, 양파의 1대 잡종 종자는 오랫동안 전통적인 방법으로 개량되어져 왔기 때문에 F2는 종자를 맺지 않는다.

종자회사들은 그들의 지적재산을 보호하기 위해, 예를 들면, 장려품종들에 대해서 수십 년간 노력해 왔다. 가장 성공적인 사례는 1대 잡종 품종들인데 이는 어떠한 유전적 기술도 필요로 하지 않는다. 1대 잡종 종자(F2 세대)는 이듬해 발아는 하지만 성능이 낮고 균일하게 자라지 않기 때문에 새로운 종자를 매년 구입하지 않을 수 없다.

약간의 기본적인 유전적 지식에 대해 알아보자. 1대 잡종 종자(F1 세대)는 두개의 순계를 교배하여 얻어진 후대로 AAbb와 aaBB의 유전자형을 가지는 두 계통을 교배하면 각 배우자의 유성세포 유전자형 Ab와 aB가 조합된다. 이들의 1대 잡종은 AaBb의 한 가지 유전자형을 가지게 되지만 이들의 후대(F2 세

346) Terminator genes, Wright K, and Clark J, Discover Magazine August 2003

대)는 유전적 분리에 의해서 16개의 서로 다른 유전자형을 가진다. 그래서 F2 세대의 식물의 표현형이 매우 불균일하게 되는 것이다.

따라서 종자회사는 완전히 생물학적 수준에서 보호를 받게 된다. 정상적으로 선발된 식물에서는 주요 조합이 필연적으로 더욱 복잡해서 두 번째 세대의 종자가 본래의 유전적 디자인을 보유하는 것은 실제로 매우 적다. 따라서 많은 수확을 바라는 농민은 자신이 수확한 종자를 사용하는 대신 매년 새로운 종자를 구매하게 되는데 이는 GM이든 “자연적” 선발 품종이든 상관없다.

GMO를 먹으면 그 DNA가 인체로 전이된다?

GMO 반대론자들이 인용하는 연구 중 하나는 인체로의 전이는 오로지 GMO 유전자에서만 일어날 수 있는 것이 라는 주장인데 실제로는 인간에 의해 섭취되는 모든 식품에서 유전자들을 발견할 수 있다. 이러한 유전자들은 사람의 유전적 구조 속에 형성되는 것이 아니라 혈액 속에서 발견된다³⁴⁷⁾고 해서 이를 발견한 연구에 대해서 많은 질문이 있었는데 사실 이와는 달리 DNA구조가 화학적으로 아주 불안정해서 심지어 이것들

347) Complete genes may pass from food to human blood, Spisák S, et al, PLOS One 2013, doi: 10.1371/journal.pone.0069805

은 약간의(인간의 위와 같은) 산성 환경³⁴⁸⁾에서도 빠르게 분해되며, 더욱이 펩신에 의해서도 분해³⁴⁹⁾되는 것이 확인되었기 때문이다. 모든 왜곡 주장에도 불구하고 우리는 그렇다고 받아들인다.

더 간단히 말하자면 Bt옥수수 또는 소고기를 섭취하면 이것들의 유전자들이 혈액 속에서 발견된다는 의미이다. 한편, 어느 누구도 소고기를 섭취했다고 뽀이 생겨나지 않는다. 이와 같은 GMO의 유전적 구조물이 이런 식으로 인체에 삽입될 가능성은 매우 희박하다.

두개의 완전히 다른 종간의 수평적 유전자 전이는 자연적으로 일어나긴 하지만 매우 드물게 발생한다. 식품섭취를 통해서도 전이가 일어날 수 있지만 일련의 연구에서 볼 수 있듯이 (인간의 게놈을 포함하여) 게놈은 외래 유전자가 들어오는 것에 대한 광범위한 보호장치를 갖고 있다. 일반적으로, 진화의 역사가 보여 주듯이 이러한 수평적 전이는 꼭 GMO 유전자에만 국한되는 현상은 아니다.³⁵⁰⁾

348) Instability and decay of the primary structure of DNA, Lindahl T. Nature 1993, 362: 709-715, doi: 10.1038/362709a0

349) Digestion of nucleic acids starts in the stomach, Liu Y. et al. Scientific Reports 2015, 5: Article number: 11936, doi: 10.1038/srep11936

350) Gene-swapping means that you have alien DNA inside you, Henriques M. BBC Earth

GM 식물로 만든 식품은 남성의 정자수를 감소시킨다?

GMO가 일부불임의 원인이라고 주장하는 근거로 GMO 반대론자들이 자주 프랑스 연구 결과³⁵¹⁾를 인용하는데 실제로 그 연구는 그러한 감소를 발견한 것으로 되어 있다. 그러나 연구는 정자 수 감소의 구체적 원인보다 GMO가 감소시킨다고만 설명하고 있다. 사실 오늘날의 생활스타일의 많은 부분이 정자 수 감소의 원인이라는 것은 잘 알려져 있는데: 장시간 컴퓨터 업무, 야간근무, 흡연 및 음주³⁵²⁾; 짝 조이는 속옷이나 바지³⁵³⁾; 일반적인 서구 음식, 특히 당분과 소금 과다 섭취 등이 그것이다.³⁵⁴⁾

임신한 여성과 태아의 혈액에서 GMO 독소들이 발견된다?

우선 독소를 복수로 표시한(toxins) 이런 주장이 전혀 정당화될 수 없다는 것을 지적하고 싶다. 이러한 GMO의 잠재적 위해성을 노골적으로 강조한 미디어 기사들은 ³⁵⁵⁾,³⁵⁶⁾,³⁵⁷⁾ “캐나다

351) Gene linked to low sperm count; Nursing Times 10 November, 2010

352) Mayo Clinic, diseases and conditions, low sperm count

353) WebMD, Infertility & reproduction health center, Boxers vs. Briefs: Increasing Sperm Count

354) The association between dietary patterns and semen quality in a general asian population of 7282 Males. Chin-Yu Liu C.Y. et al. Plos One, July 28, 2015, doi: 10.1371/journal.pone.0134224

355) GM food toxins found in the blood of 93% of unborn babies, Poulter S, Daily Mail 20 May 2011

356) Toxic pesticides from GM food crops found in unborn babies, Bloxham A, The Telegraph 20 May 2011

357) Study: GMO toxins found in nearly all pregnant women, unborn babies, Benson Journal of Natural News October 10, 2012

퀘벡 시 동부마을에서의 유전자변형식품과 관련한 임신부와 태아의 살충제 노출; Aziz Arisa, Samuel Leblanc, *Reprod. Toxicol.* 2011³⁵⁸⁾이라는 한 개의 논문만 인용하고 있다. 저자는 *Bacillus thuringiensis* (예를 들어 MON810 옥수수)의 유전자를 포함한 GMO에서(해충에만 독성을 갖는) 단 하나의 Cry1Ab 독소 단백질이 검출됐다고 실제로 설명하고 있다.

그 연구논문은 다수의 비판을 받았는데,^{359),360),361)} 가장 중요한 것은 저자가 인체 독소 농축량을 측정하기위해서 적합하지 않은 것으로 알려진 ELISA 방법을 사용했다는 점이다. 저자들은 실험 대상의 급이에 대한 실험 데이터를 제공하고 있지 않기 때문에, 언급된 Cry1Ab가 GMO에서 유래되었음을 정당화할 수 없다. *Bacillus thuringiensis* 세균은 자연상태의 토양에서도 흔히 발견되고, 심지어 유기농에서는 해충을 방제하기 위해

358) Maternal and fetal exposure to pesticides associated to genetically modified foods in Eastern Townships of Quebec, Canada, Arisa A, and Leblanc S., *Reproductive Toxicology* 2011, 31: 528-33, doi: 10.1016/j.reprotox.2011.02.004, Epub 2011 Feb 18

359) If you record noise, you don't get music - you get nonsense. Tribe D. *Biology Fortified* 29 April 2011

360) Comment: Aris and Leblanc "Maternal and fetal exposure to pesticides associated to genetically modified foods in Eastern Townships of Quebec, Canada". Daniel A. Goldstein D.A. et al. *Reproductive Toxicology* 2012, 33: 120-121, doi: 10.1016/j.reprotox.2011.10.007

361) Comment on "Maternal and fetal exposure to pesticides associated to genetically modified foods in Eastern Townships of Quebec, Canada" by A. Aris and S. Leblanc [*Reprod. Toxicol.* 31 (2011) 528-533]. Utz Mueller, Janet Gorst, *Reproductive Toxicology* 2012, 33: 401-402, doi: 10.1016/j.reprotox.2012.01.012

서 이러한 세균의 살아있는 세포들을 사용하는 것이 허용된다.³⁶²⁾

설령 해당 논문이 전반적인 측면에서 과학적으로 정확하다고 해도 Cry1Ab의 최종 농도가 평균 0.19ng/ml로 해충을 죽이기에도 너무 낮은 것은 물론 인체에 이 독소 단백질에 대한 수용체가 없다는 사실은 문제가 된다. 서로 다른 물질은 한 생물체에 서로 다르게 반응하는데 예를 들면 체리는 개, 고양이, 말에게는 독이 되지만 인간에게는 그렇지 않다.³⁶³⁾

임산부와 태아 혈액에서 Cry1Ab Bt 독소 단백질이 나왔다는 연구를 완전히 저평가한 확고한 과학적 반대에도 불구하고 니콜라스 사르코지의 프랑스 정부는 2012년 MON810 옥수수의 재배를 금지했고 유럽연합 위원회에 “GM 옥수수 MON810의 환경적 위해성에 대한 새로운 정보”인 것 같다고 통지했다. 프랑스 정부의 조치에 대한 분석결과로 2013년 6월 3개의 프랑스 연구소는 “프랑스의 MON810 옥수수 재배금지가 과학적 근거에 의한 위해성 평가 측면에서 무엇을 의미하는가”³⁶⁴⁾라는 제목으로 의견서를 발간했다. 이것은 무엇을 뜻하는가? 바로 정치

362) Council Regulation (EEC) No 2092/91 of 24 June 1991 on organic production of agricultural products and indications referring thereto on agricultural products and foodstuffs, p. 42

363) ASPCA pet care Cherry

364) What the French ban of Bt MON810 maize means for science-based risk assessment. Kuntz M. et. al, Nature Biotechnology 2013, 31, 498-500, doi: 10.1038/nbt.2613

인들은 유권자의 표를 얻을 수 있는 의견이나 예측에 들어맞을 때만 과학을 존중한다는 것을 의미한다.

GMO가 셀리악병과 기타 원치 않는 글루텐 반응을 일으킨다?

비슷한 다른 주장들과 함께 이러한 주장 또한 과학적 연구 근거가 없다. 책임 있는 기술 연구소³⁶⁵(Institute for Responsible Technology) 웹사이트에 올라와 있는 한 개의 논문이 이러한 주장의 근거인데, 이 연구소는 완전히 GMO 반대 옹호 단체인 미국의 NGO이다. 해당 논문의 결론은 매우 이상한 논리를 전개하고 있다. 즉, 지난 20년간 알레르기 수가 증가했다는 것과 (이것은 사실이다³⁶⁶), 이와 유사하게 우리가 먹는 음식에 들어간 GM 원료의 양 또한 증가했다는 것인데 이것 또한 사실이다. 그러나 이것에 대한 인과관계를 설명할 수 있는 논리적 근거는 없다. 최근 개인 컴퓨터의 수 또한 증가했지만 아무도 이것이 셀리악병의 원인이라고 생각하지 않는 것과 마찬가지로 논리이다.

이러한 주장이 더욱 해괴한 것은 그런 문제의 직접적인 원인이 되는 글루텐이 함유된 GM 밀은 아직 어느 곳에서도 상업화가 되지 않았기 때문이다.

365) IRT can genetically engineered foods trigger gluten sensitivity?

366) The 'hygiene hypothesis' for autoimmune and allergic diseases: an update, Okada H. Clinical and Experimental Immunology 2010, 160: 1-9, doi: 10.1111/j.1365-2249.2010.04139.x

심지어 미국 셀리악병 재단도 이러한 연구를 기각한 상태이다.³⁶⁷⁾

**전문기관에서는 90일 독성실험에만 근거하여 GMO의
안전성을 평가하는데 이는 혹시 있을지 모르는
장기적 위해성을 확인하기에는 매우 미흡하다?**

모든 생산물에 대해서 전문적 판단에 근거한 공식적 사용 승인이 요구되고 있는데 이러한 과정을 수행하기 위한 시간은 불가피하게 제한될 수밖에 없다. 만약 승인에 필요한 시간이 무제한이라면 규제과정이 제대로 작동할 수 있을까?

그러나 이는 GMO가 수년간의 기간을 포함하는 기타 실험이나 과학적 검증을 하지 않아도 된다는 의미는 아니다 - 실제로 다른 “자연” 식품보다 GMO만큼 엄격한 실험을 거친 식품도 없다.³⁶⁸⁾ 좋은 예가 약 2년간에 걸친 복수세대 실험(2-5세대)자료인데 이는 2012년 식품화학독성학회지에 발표되었다³⁶⁹⁾ : 해당 연구는 GM 옥수수, 콩, 면화 등이 사람과 동물에 미치는 영향 연구에 대한 리뷰 논문으로 GM 작물이 non-GM 작물과

367) Celiac Disease Foundation, plant geneticist, challenge report linking GMOs to celiac disease, gluten sensitivity. Hennessy M, Celiac Disease Foundation 03-Dec-2013

368) With 2000+ global studies affirming safety, GM foods among most analyzed subjects in science. Wendel J, Genetic Literacy Project October 8, 2013

369) Assessment of the health impact of GM plant diets in long-term and multigenerational animal feeding trials: A literature review. Snell C, et al, Food and Chemical Toxicology 2011, 50: 1134-1148, doi: 10.1016/j.fct.2011.11.048

동일한 영양성분가를 지니기 때문에 사람이 먹는 식품과 동물 사료로 안전하다는 내용이다. Bt 옥수수에 대한 3세대 실험쥐 연구,³⁷⁰⁾ GM 콩에 대한 생쥐실험,³⁷¹⁾ 실험쥐를 이용한 GM 콩 실험,³⁷²⁾ 대서양 연어에 대한 GM 콩 실험,³⁷³⁾ Bt 옥수수에 대한 메추리 10세대 실험,³⁷⁴⁾ MON 810 옥수수에 대한 25개월 젓소 실험,^{375),376)} GM 벼에 대한 3세대 Sprague-Dawley형 실험쥐 실험,³⁷⁷⁾ Bt 옥수수에 대한 4세대 산란계 실험³⁷⁸⁾ 등이 있으며

370) A three generation study with genetically modified Bt maize in rats: Biochemical and histopathological investigation, Kılıç A., and Akay M.T., Food and Chemical Toxicology 2007, 46: 1164-1170, doi: 10.1016/j.fct.2007.11.016

371) Histochemical and morpho-metrical study of mouse intestine epithelium after a long term diet containing genetically modified soybean, Battistelli S. et al, European Journal of Histochemistry 2010, 54: e36, 2010 Sep 26, doi: 10.4081/ejh.2010.e36

372) Organic and genetically modified soybean diets: Consequences in Growth and in Hematological Indicators of Aged Rats, Daleprane J.B. et al, Plant Foods for Human Nutrition 2009, 64: 1-5, doi: 10.1007/s11130-008-0101-0

373) A long term trial with Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed genetically modified soy; focusing general health and performance before, during and after the parr-smolt transformation, Sissener N.H, Aquaculture 2009, 294: 108-117, doi: 10.1016/j.aquaculture.2009.05.002

374) Long term feeding of Bt-maize - a ten-generation study with quails, Flachowsky G, Archives of Animal Nutrition 2005, 59: 449-451

375) Effects of long-term feeding of genetically modified maize (event MON810) on the performance of lactating dairy cows, K. Steinke et al, Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 2010, 94: e185-e193, October 2010, doi: 10.1111/j.1439-0396.2010.01003.x

376) Long-term feeding of genetically modified maize (MON810) - Fate of cry1Ab DNA and recombinant protein during the metabolism of the dairy cow, Guertler P. et al, Livestock Science 2010, 131: 250-259, doi: 10.1016/j.livsci.2010.04.010

377) A three generation study with high-lysine transgenic rice in Sprague-Dawley rats, Zhou X, H. et al, Food and Chemical Toxicology 2012, 50: 1902-1910, doi: 10.1016/j.fct.2012.04.001

378) A four-generation feeding study with genetically modified (Bt) maize in laying hens, Halle I. and Flachowsky G., Journal of Animal and Feed Sciences 2014, 23: 58-63

GMO에 대한 육계, 산란계, 돼지, 바다생선, 육우 등에 대한 급이 시험 등³⁷⁹⁾ 약 300여개의 과학논문 예비목록을 미국과학학회연맹(Federation of American Societies of Science, FASS)에서 보유하고 있다는 점을 특히 언급해야만 할 것 같다. 장기적 영향평가 연구가 이루어 지지 않았다고 주장하는 사람들은 이러한 논문이 있다는 사실을 모르고 있는 것이다.

이 밖에, 일단 GMO가 90일 실험을 근거로 승인을 받으면 그 후의 과학적 발견에 관계없이 이에 대한 재배와 활용이 영구적으로 허락된다는 의미이기 때문에 반대한다고 하는데 이는 절대적으로 사실이 아니다. 많은 나라에서 GMO 등록 사후에도 공식적인 모니터링 프로그램은 운영하며 이를 의무화 하고 있는데 유럽연합 규정에는 이것과 관련하여 GM 식품과 작물을 대상으로 의무적인 사후 모니터링을 명시하고 있다.³⁸⁰⁾

일반 교잡 및 선발 품종의 생산 및 유통에는 요구하지 않으면서 왜 GMO만 안전성을 입증하기 위해서 이렇게 엄격하고 시간이 많이 소요(이마저 환경론자들은 결코 충분치 않다고 함)되는 검증과정을 거쳐야 하는가? Nature 지의 논문에서 Laura DeFrancesco³⁸¹⁾는 GMO에 대한 실험들을 요약하면서 식품 안

379) FASS References - Feeding Transgenic Crops to Livestock

380) European Commission, PLANTS, Monitoring plans and reports

381) How safe does transgenic food need to be? DeFrancesco L., Nature Biotechnology 2013, 31: 794-802, doi: 10.1038/nbt.2686

전성 검사에 관한 새로운 논란들(주로 GMO와 관련된)은 형질 전환 산물에 대한 소비자의 우려만 더욱 부추기게 된다고 지적하였다.

유럽연합이 후원한 “GMO 위해성 평가와 증거의 소통(GRACE)” 프로젝트 결과가 최근 보도되었는데 여기에서 90일과 일년 급 이시험 결과를 설명하고 있다.³⁸²⁾ 이 사업보고서에서 저자들은 GM 식물의 안전성 평가에 있어서 쥐 급이실험의 가치를 재평가해야 할 필요가 있다고 제안하고 있다.

프로젝트의 최종 결과를 발표하면서 연구팀은 MON810 옥수수 및 이와 가장 가까운 관행 비교품종과의 전체식품/사료(whole food/feed)를 이용한 통상적인 90일 급이실험 비교연구에서 안전성에 대한 차이를 발견할 수 없었다고 보고하고 있다. 물론 이러한 논쟁은 또한 동물실험을 줄이려는 전반적인 유럽연합의 목표와도 부합한다.

마지막으로 GMO는 지난 20년 동안 소비되어 왔어도 사람, 동물 그리고 환경에 그 어떤 해로운 영향도 주지 않았다는 사실만으로도 GMO의 안전성은 또한 충분이 입증되었다고 본다.

382) Conclusions and recommendations on animal feeding trials and alternative approaches and on the use of systematic reviews and evidence maps for GMO impact assessment. GRACE project 1st June 2012 - 30th November 2015

GMO 등록을 위한 안전성 평가는 생산자 스스로가 책임지도록 위임받았다

..... 이것은 물론 안전성 평가가 한쪽으로 치우치지 않음을 의미한다. 다른 방법은 없다: 즉 규제공무원이 요구하는 안전성 평가 내용들을 포함한 완벽한 신청서가 준비되어야 하며 신청에 필요한 비용은 개발자 부담이다.

신청자가 흔히 대학교와 같은 독립적인 실험실에서 GMO 안전성 평가를 위임받아 수행한다는 사실 말고도 더 중요성을 강조하고 싶은 것은 이러한 절차가 대부분의 업계에 해당된다는 점이다. 자동차 안전성 테스트와 승인에 필요한 가스배출 및 소비조치 등은 항상 제조사 스스로 수행해야 한다. 이러한 것은 의약품 등록 시험, 가전제품, 가구류 그리고 GMO를 포함하지 않는 모든 식품의 등록에도 적용된다.

그러나 GMO만 유독 완전한 금지를 위한 “전쟁 원인(casus belli)”으로 그렇게 반대하고 있는 것이다.

GMO 특허는 소수의 다국적 기업의 독점을 보장한다

GMO 과잉 규제는 실제로 종자회사 재벌들이 시작했다는 것은 일반적으로 잘 알려져 있지 않다. 1980년대에는 몬산토, 시바-가이키, 그리고 파이오니아와 같은 거대 농업회사들은 처

음으로 GM 작물의(그들은 주로 기술을 구매함) 포장시험 승인을 얻었는데 커다란 회사의 로비스트들은 미국규제 당국이 GMO를 일반재배용으로 보급할 때 가능한 한 규제를 아주 엄격하게 해야 한다고 설득했다.^{383),384)} 이것은 그들이 위험한 작업을 한다는 것을 알기 때문이라고 하는데 전혀 아니다.

문제의 본질은 다른 어떠한 종자 생산자라도 새로운 핵심 유전적 특성을 그들의 고유 품종에 집어넣어 종자를 판매할 수 있기 때문이다. 특허권자는 특허 침해에 대해 민사소송으로 배상을 청구할 수 있지만 재판과정이 10년 이상 걸리기 때문에 그 사이에 특허가 난 유전적 특성은 연속되는 교배를 통해 퍼져나가 결국은 모든 범법자를 구별해 내는 것이 매우 어려워진다.

복잡하고, 물론 고비용의 GMO 보급절차는 그것을 처음 개발한(또는 기술을 인수한) 사람에게는 몇 년간의 어드벤처지를 보장한다. 다른 회사가 아이디어를 복사했더라도 승인과정을 거쳐야 하기 때문이다. 더욱이 그러한 긴 절차에는 매우 큰 비용이 발생하기 때문에 실제로 작은 경쟁회사는 설령 새로운 GMO를 개발했더라도 자금 부족으로 그 승인절차를 진행하지 못할 수도 있다. 이렇게 엄격한 미국 규정은 그 후에 유럽연합을 포함한 전 세계에서 똑같이 따라하게 되었다.

383) Bootleggers and biotechs, Miller H.I. and Conko G, Regulation 2003, 26: 12-14

384) Biotechnology Food: From the Lab to a Debacle, Eichenwald K, The New York Times, January 25, 2001

이것이 거대 다국적 농업기업들이 GMO를 개발하는 것이 농민들의 번영보다는 자신들의 회사 이득만을 취한다고 비판을 받게 된 기업관행의 시작이라고 할 수 있다. 거대 종자회사들은 일상적으로 GMO에 대한 흥미로운 방법을 발견한 소규모 회사들을 사들여 시장점유율을 유지하거나 높이는 동시에 경쟁사의 출현을 막는다. 과학자들은 실제로는 그러한 불필요하게 복잡한 규제에 반대한다. 더욱이 GMO에 대한 우려 자체가 더욱 복잡하고 비용이 많이 드는 보급절차를 만들어내게 되는 것이다.

이러한 기업관행은 단지 다국적 농업기업에만 특별히 한정되어 있는 게 아니라 모든 이윤추구 상업활동에서의 공통점이라는 것을 기억해야 한다. 주로 미국 당국의 도움을 받아서 이윤추구 기업(단지 농업만 아니고)들은 특허나 기타 지식재산권의 형태로 독점권을 확장시켜왔다.

많은 GMO가 특허로 보호되지만 많은 다른 관행 육종품종들도 동일하게 특허로 보호된다.³⁸⁵⁾ 품종들은 또한 소유권 또는 지식재산권에서³⁸⁶⁾ 유래된 기타 권리들의 식물품종 보호 시스템에 의해서도 보호를 받을 수 있는데 이는 특허보호와 동일한 법적효력을 가진다. 유럽연합도 신청자의 지식재산권에 기반한 법적보호를 보장하고 있으며, 이는 특허와 동등하다.³⁸⁷⁾ 사

385) USPTO general information About 35 U.S.C. 161 Plant Patents

386) 28 USC Sec. 1338 <https://www.law.maizeell.edu/uscode/text/28/1338>

387) European Commmission PLANTS: Plant variety property rights

실 유럽연합은 특허보호 외에도 추가법률을 보유하고 있어서 다른 형태로 신청인이 특허와 동등한 법적보호를 받도록 해준다.³⁸⁸⁾

지식재산권이라는 이름으로 소유권을 합법화하는 유럽연합의 조치는 이미 보호받는 제품의 상업적 사용의 조건들을 결정하는 권리를 부여한다.³⁸⁹⁾ 소규모 배당자는 아마도 어떤 경우에는 상점에서 구입한 묘목이 비상업적 목적으로만 사용가능하다는 것을 알 것이다; 즉 만약 꽃을 판매하고 싶다면 권리소유자에게 면허세를 지불해야만 한다.

동시에 품종의 소유권에서 유래한 권리는 매년 더욱 복잡해지고 있어서 원소유권자에게 더욱 확장된 권리를 부여하는 쪽으로 바뀌고 있다. 따라서 생산자들은 구입하는 종자, 구근 또는 묘목에 어떠한 의무사항이 있는지와 종자, 꽃 또는 과일을 사용하거나 재배하면서 면허세를 지불하지 않음으로 가장 최근의 규정을 위반할 수 있다는 사실을 모르는 경우가 많다. 육종가들도 또한 동일한 장애물들을 만나는 경우가 수 없이 많은데 실제로 약간만 변형시킨 품종들이나 사용한 방법들도 특허나 기타 지식재산권 보호 형태로 보호를 받기 때문이다. 심지어 이렇게 분명한 문제점 같은 경향은 실제로 GMO에만 국한되지 않고 관행 육종품종에서도 발생한다.

388) European Commision PLANTS: Legislation on plant protection products (PPPs)

389) CBI Ministry of Foreign Affairs: Which trends offer opportunities on the European cut flowers and foliage market?

이는 세계 기업들 대다수에게 동일하게 적용된다. 예를 들면, 새로운 차 모델은 백여 개 이상의 특허로 보호된다. 의약품, 컴퓨터, 연예산업, 가전제품산업 분야의 회사들은 그들의 시장 입지를 동일한 방법으로 보호받는다. 어떤 형태로든 지식재산권 한 두 개로 자사 제품을 보호하지 않는 회사는 찾아볼 수 없다. 주로 의료산업, 컴퓨터와 영화 분야에서 다국적 기업의 영향하에 있는 많은 국가들이 예를 들어 국제조약과 같은 TRIPS,³⁹⁰⁾ ACTA,³⁹¹⁾ TTIP³⁹²⁾ 등에 따라서 특허나 관련된 보호를 더욱더 확장하고 있다.

그러나 특히 유럽연합에서 GMO의 도입으로 소수 다국적 기업의 독점을 초래한다는 주장은 잘못된 것이다. 유럽에서 농업 분야 다국적기업들은 이미 식물약학이나 종자 등 시장의 대부분을 점유하고 있기 때문이다.^{393),394)} 외국회사들의 잠재적 독점은 이 분야 개발에 있어서 우리 자신의 투자에 의해서만 제한될 수 있다.

더욱이 GMO 분야에서는 보호받지 못하는(생산자는 사용에

390) WTO trade-related aspects of intellectual property rights

391) Office of the United States trade representative, anti-counterfeiting trade agreement (ACTA)

392) European Commission TRADE: The Transatlantic trade and investment partnership

393) Med industrijo in vrtičkarstvu. Between industry and home gardening. Staš Zgonik, Mladina 3. 7. 2015

394) Seed diversity and food security threatened by an overly concentrated EU seed market: Greens/EFA conference. The greens in the European Parliament Jan. 29, 2014

대한 비용을 지불할 필요가 없음) 일련의 범위에 속하는 작물이 있는데 가장 흥미로운 사례가 황금쌀,³⁹⁵⁾ 레인보우 파파야,³⁹⁶⁾ 침수 저항성 벼³⁹⁷⁾ 등이다. GMO 분야에서 계산 모델에 대해서 "공개 출처 종자" 이니셔티브도 있다.³⁹⁸⁾

GMO를 통해 소수의 다국적 기업에 의한 위험스러운 독점이 이루어질 수 있다고 우려하는 사람들이 있다면 그들은 먼저 자신의 컴퓨터에 사용하는 운영체제 종류가 무엇인지를 자문해야 할 것이다: 분명 마이크로소프트사의 것일텐데, 전 세계 개인 컴퓨터 운영체제의 약 92% 이상을 마이크로소프트사가 소유하고 있다!

글리포세이트

농민들은 원치 않는 잡초를 방제하기 위해 제초제를 사용하여 잡초가 재배식물이 이용할 물과 영양분을 빼앗아가거나 그보다 더 왕성하게 자라는 것을 방지한다.

글리포세이트는 최근에 많이 사용되는 가장 효과적인 광범위, 비선택성 제초제이다. GMO에 대한 추측성 위험성을 얘기하는

395) The Golden Rice Project

396) APS transgenic virus-resistant papaya: the hawaiian 'rainbow' was rapidly adopted by farmers and is of major importance in Hawaii today

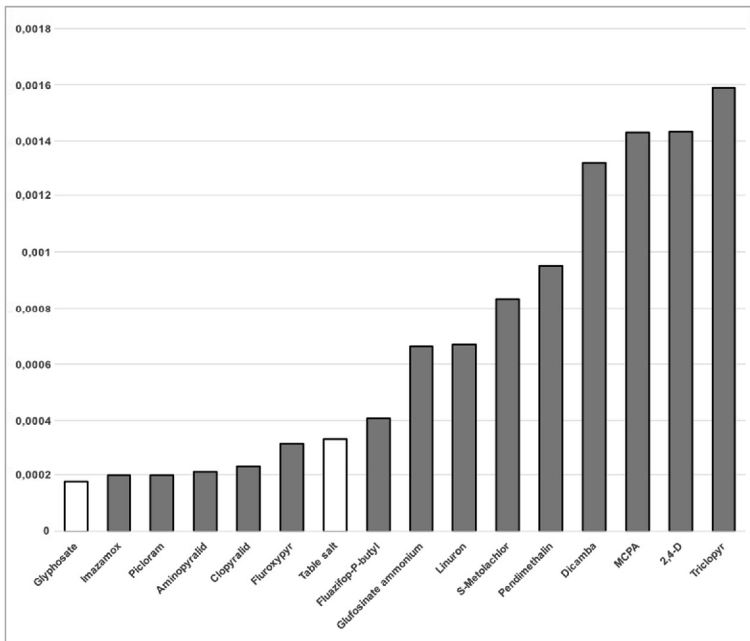
397) Ronald laboratory new flood-tolerant rice offers relief for world's poorest farmers

398) Open source seed initiative

밭간물에 꼭 글리포세이트가 등장하는데 이것은 많은 GM 작물이 글리포세이트에 저항성을 나타내도록 개발되었기 때문이다.

글리포세이트는 다른 제초제보다 독성이 아주 적고 일반 식용 소금보다도 독성이 오히려 적은 것으로 알려져 있다.

일반적으로 사용되는 제초제와 식용소금의 상대적 독성(1/LD₅₀)



▲ 위에 설명하는 그래프의 LD₅₀ 값은 실험쥐의 급성 경구독성 수치이다. 다수의 수치가 가용한 곳에서 가장 적은 LD₅₀ 즉, 가장 높은 독성이 사용되었다

실험에서 경구독성에 인용된 값은 농약사용의 적절성을 판단하기 위해서만 측정된 것은 물론 아니다. 이것을 결정하려면 많은 다른 요인들이 필요하다. 그럼에도 불구하고, 그 가운데에는 글리포세이트가 다른 제초제보다 더욱 적절한 몇 가지 이유가 포함되어 있다. 사실 장점 두 가지는 농약성분이 지하수로 스며 나오지 않는다는 것과 또한 신속하게 분해된다는 점이다. 글리포세이트 사용의 금지는 전체 제초제 사용의 금지를 의미하지 않는다는 것을 첨언할 수 있는데, 오히려 반대로 환경에 해로운 대체품들이 증가하기 때문이다.

● 세계보건기구는 글리포세이트를 인간 발암물질로 지정

2015년 3월 세계보건기구(WHO)는 국제암연구청(IARC)의 제안에 따라서 글리포세이트를 그룹2A 발암원, 즉 발암가능 물질로 분류하였다.³⁹⁹⁾ 어떤 물질에 대해 만약(IARC전문가 그룹의 의견인데) 인체 에 대한 발암성 효과의 증거가 제한되거나 (충분치 않으면), 동물에 대한 발암성 효과의 충분한 증거(투여량에 상관없이)가 있거나, 인체에 대한 발암성 증거가 불충분하거나, 인체에 발암성을 유발한다는 동일한 기작의 강한 증거(동물도 마찬가지)가 있으면 그러한 분류를 받게 된다.

399) Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. Guyton K. Z. et. al. on behalf of the International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group, IARC, Lyon, France Lancet Oncology 2015, 16: 490-491, doi: 10.1016/S1470-2045(15)70134-8.

우리는 환경그룹의 로비활동이나 세탈리니의 부정적 논문이 IARC 제안서에 영향을 주었다고 확대하는 것은 일단 제쳐놓아야 한다. 만약 전문가 위원회에 몬산토사 직원이 위원이었다면 글리포세이트에 대한 긍정적 의견은 분명히 의심을 받게 될 것이다. IARC회의에 크리스토포 포르티에가 참석했다는 것에 아무도 불편해 하지 않았다는 것은 이상한데, 그는 자신이 농약 사용 반대운동을 교사하고 있는 미국 NGO단체인 “환경 방위기금” 소속임을 감추지 않는 사람이기 때문이다.⁴⁰⁰⁾

실제로 글리포세이트와 암과의 연관성을 뺀 일련의 연구논문만을 가지고 IARC가 결정을 내렸다는 것은 이해하기 힘들다: 한 예로, 버밍햄 대학교의 톰 소라한은 54,315명의 글리포세이트 사용자의 데이터를 분석한 결과(1993-2001 기간 동안 이중에서 32건의 암 발생: 다중 흑색종양이 있었다) “글리포세이트와 다중흑색종양간에 연계성을 나타내는 확정적 증거를 관찰하기 어려웠다”고 결론을 내렸다.⁴⁰¹⁾ 독일 정부 위해성평가 연구소(BfR)의 전문가들과⁴⁰²⁾ 네덜란드의 국립 농약관리 및 식물보호 제청(CTGB) 또한 IARC가 내린 결정의 공정성에 대한 의문을

400) Christopher J. Portier, Professor, senior collaborating scientist, Environmental Defense Fund, New York, USA

401) Multiple myeloma and glyphosate use: A Re-Analysis of US Agricultural Health Study (AHS) Data, Soharan T, International Journal of Environmental Research and Public Health, 2015 Feb; 12(2): 1548-1559, doi: 10.3390/ijerph120201548

402) BfR Löst Glyphosat Krebs aus? Mitteilung 007/2015 des BfR vom 23. März 2015

나타냈다.⁴⁰³⁾ 유럽식품안전청(EFSA)은 2015년 11월 글리포세이트의 평가에서 이것이 암유발 원인이 된다고 보기 어렵다고 발표했다.⁴⁰⁴⁾

여기에서 강조하고 싶은 것은 IARC가 문제가 되는 물질의 암 발생 위험성을 실제로 평가하는 것이 아니라 그 물질이 암을 일으킬 가능성을 평가한다는 점이다. 확인된 (암 발생) 가능성에 더하여 위해성 평가가 이루어져야 하는데, 예를 들면 사람이 환경에서 위험할 수 있는 분량에 실제로 노출될 수 있기 때문에 그 차이점은 매우 중요하다.

사례를 들어 설명해 보자: 유성이 우리와 충돌한다면 우리는 아마도 죽게 될 것이며, 그 가능성은 매우 크다고 할 수 있다. 그러나 유성과 충돌할 가능성은 어떻게 되는가? 따라서 유성에 의해 죽을 위험성은 무엇인가? 그래서 위해성 평가를 설명하는 IARC의 결론은 “글리포세이트에 기반한 준비들은 정상적인 조건으로 사람들이나 환경에 노출되었을 때 심각한 유전적 독성의 위해성을 나타내지 않는다”는 실험 연구와 분명하게 상반된다.⁴⁰⁵⁾

403) Ctgb oordeel over IARC artikel over carcinogeniteit van glyfosaat, 27 April 2015

404) EFSA News& Events, Glyphosate: EFSA updates toxicological profile, 12 November 2015

405) Review of genotoxicity biomonitoring studies of glyphosate-based formulations, Kier L.D. Critical Reviews in Toxicology 2015, 45: 209-218, doi: 10.3109/10408444.2015.1010194

IARC가 적색고기와 모든 종류의 고기제품이 발암가능성군 (2B)에 속한다고 분류한다는 뉴스⁴⁰⁶⁾와 함께 IARC 발표를 심각하게 받아들여야할지를 묻는 비판적 논문들이 증가하고 있다.⁴⁰⁷⁾ IARC는 이미 커피⁴⁰⁸⁾와 휴대폰에서 나오는 전자파도⁴⁰⁹⁾ 발암 가능성이 있는 것으로 분류했지만 이들 두 가지 사례의 실제 데이터는 그렇지 않은 것으로 나타났다.^{410),411),412),413)}

어쨌든, 글리포세이트와 함께 2A그룹으로 분류된 것에는 크로암페놀(항생제), 기타 의약품(독소루비신, 아자시티딘 등), 베르갭텐(오렌지류 껍질의 에틸유), 에틸카바메트(이스트로 만든 빵이나 비스킷), 모든 nitrates와 nitrites, 트리클로에틸렌(유기 용매) 그리고 모든 형태의 태양에서 오는 자외선 등도 포함되어 있다.⁴¹⁴⁾

406) IARC Press Release N° 240: IARC Monographs evaluate consumption of red meat and processed meat, 26 October 2015

407) Meat, Coffee - Why Only Activists Pay Attention To IARC Claims, Hank Campbell, American Council on Science and Health November 2, 2015

408) International Agency for Research on Cancer (IARC) - Summaries & Evaluations, Coffee (Group 2B) VOL.: 51 (1991) (p. 41)

409) NCI Statement: International agency for research on cancer classification of cell phones as "Possible Carcinogen", National Cancer Institute, May 31, 2011

410) The carcinogenicity of caffeine and coffee: a review, Pozniak P.C. Journal of the American Dietetic Association 1985, 9: 1127-33

411) Analysis of the potential carcinogenicity of coffee and its related compounds in a medium-term liver bioassay of rats, Hasegawa R, Food and Chemical Toxicology 1995, 33: 15-20

412) Are cell phones a possible carcinogen? An Update on the IARC Report, Trottier L, Science-Based Medicine, April 2, 2012 17

413) American cancer society: Cellular Phones

414) WHO, International Agency for Research on Cancer , Agents classified by the IARC Monographs, Volumes 1-112

● 글리포세이트가 유방암을 일으킨다?

S. Thongprakaisang⁴¹⁵⁾ 등이 쓴 한 과학논문이 유일하게 이러한 주장의 인용을 옹호하는 논문이지만 실제 논문에서는 이를 언급하고 있지 않다. 연구자들은 두 종류의 인체 유방암 세포를 기내에서 배양하였는데, 하나는 에스트로겐에 과민 반응을 보이는 것과 그렇지 않은 것이었다. 글리포세이트가 에스트로겐에 민감한 배양세포를 자라게 했지만 에스트로겐보다는 덜 자라게 했다. 따라서 이러한 연구결과는 글리포세이트가 에스트로겐 감수성인 암세포의 성장을 촉진시킬 수 있음을 나타내지만 이것은 자연적으로 여성의 몸에 존재하는 것이다. 이는 몸속의 에스트로겐이 그렇지 않은 것처럼 그것이 암을 유발한다는 의미와는 거리가 멀다고 할 수 있다.

인용된 논문은 많은 반발을 일으켰는데, 글리포세이트가 실제로 암세포의 성장을 억제한다는 것을 발표한 것이 여기에 속한다.⁴¹⁶⁾

S. Thongprakaisang 등의 주장과는 상관없이 글리포세이트가 에스트로겐에 민감한 암세포 성장을 촉진시킨다는 것은 특

415) Glyphosate induces human breast cancer cells growth via estrogen receptors, Thongprakaisang S. et al, Food and Chemical Toxicology 2013, 59: 129-136, doi: 10.1016/j.fct.2013.05.057

416) Glyphosate and AMPA inhibit cancer cell growth through inhibiting intracellular glycine synthesis, Li Q et al, 2013, 7: 635-43, doi: 10.2147/DDDT.S49197. eCollection 2013

별할 게 전혀 없다. 많은 종류의 식량을 제공하는 식물, 즉 콩과 같은 식물은 제노에스트로젠이라 불리는 에스트로젠 유사물질을 가지고 있는데 이 물질과 동일한 작용을 한다.⁴¹⁷⁾

● 글리포세이트가 만성 신장병을 유발한다?

이 주장은 C. Jayasuman⁴¹⁸⁾ 등의 논문을 잘못 이해하여 생긴 것인데, 이들은 스리랑카 북부 지역에서 만성 신장병의 유발 원인이 무엇인지 조사하고 있었다. 논문은 가설에 의해 특성화되기 때문에 실제 측정결과에 의한 것이 아니라 만성 신장병의 발생에 대한 가능한 생화학적 기작을 기술했다. 이 논문에서 특별히 글리포세이트를 확인한 것은 아니고 중수(hard water), 신장에 독성 있는 금속과 글리포세이트의 복합적인 반응을 언급하였다.

구리는 신장에 독성을 유발하는 금속 가운데 하나임을 언급할 필요가 있다.⁴¹⁹⁾ 가장 흔한 식품유래 구리는 copper hydroxides, oxychlorides, sulphates (blue copperas)들로 유기농 재배에서 잡초를 방제하기 위해 사용이 허용된 것들인데 저개발국들에

417) The role of xenoestrogenic compounds in the development of breast cancer. Safe S. and Papineni S, Trends in Pharmacological Sciences 2006, 27: 447-54

418) Hypothesis: glyphosate, hard water and nephrotoxic metals: are they the culprits behind the epidemic of chronic kidney disease of unknown etiology in Sri Lanka? Jayasumana C. et al. International Journal of Environmental Research and Public Health 2014, 11: 2125-2147, doi: 10.3390/ijerph110202125

419) ATSDR Toxicological Profiles. Copper

서는 이것들이 가장 값싸게 얻을 수 있는 살균제에 속한다.⁴²⁰⁾

● GMO를 먹인 동물에서 심각한 위염증과 돼지 자궁비대증이 발생했다는 연구

이것은 GM 콩과 옥수수 그리고 GMO를 포함하지 않은 사료를 각각 먹인 쥐 실험의 결과를 다룬 한 논문에 근거한 주장이다.⁴²¹⁾

홍보담당자인 마크 라이너스는 그 저자가 실험 결과를 선별적으로⁴²²⁾ 선택하였다는 사실을 발견하였으며, 그들은 GMO에 대해 먼저 제기된 가설을 확인한 결과 데이터만을 사용한 것으로 밝혀졌다.

유전학자인 아나스타샤 브로드나르는 논문의 저자들이 두 가지 형태의 사료⁴²³⁾ 성분의 차이를 실질적으로 분석하지 않았음을 발견했다. 앞선 연구에서 사실 GMO 생산 환경 조건들이 (예를 들면 온도, 강수량, 수질, 도양, 지리적 위치 등) GMO과

420) Council regulation (EEC) No 2092/91 of 24 June 1991 on organic production of agricultural products and indications referring thereto on agricultural products and foodstuffs, p. 42

421) A long-term toxicology study on pigs fed a combined genetically modified (GM) soy and GM maize diet, Carman J.A, et al, Journal of Organic Systems 2013, 8: 38-54 ISSN 1177-4258

422) GMO pigs study - more junk science, Mark Lynas 12 June 2013

423) Lack of care when choosing grains invalidates pig feeding study, Bodnar A, Biology Fortified 13 June 2013

Non-GM 사료⁴²⁴⁾ 간의 차이보다 사료의 영양 성분에 커다란 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다.

또 다른 유전학자인 발 기딩은 실험에 공시된 돼지 중에는 이상적으로 폐렴 발생이 높음을 발견하였으며, 이는 실험동물의 관리가 부적절했음을 의미한다.⁴²⁵⁾

글리포세이트가 태아 기형, 자폐증, 파킨슨병, 알츠하이머병 등과 관련 있다는 주장

이러한 종류의 주장들이 퍼져 나가고 있는데 모든 것에 일일이 코멘트를 한다는 것은 사실 불가능하다. 어떤 주장은 그것들이 전혀 과학적 증거에 근거하고 있지 않다는 공통된 특성 때문에 본 책자에서 한 부분으로 다루고 있다. 일반대중에 정보를 전달할 때의 문제점은 미디어와 GMO 반대자들이 이러한 연구결과를 엄격한 출처 검증 없이 계속해서 사용하고 있다는 점이다.

● 글리포세이트가 태아기형의 원인이다?

그 주장은 완전한 GMO 금지 옹호 NGO인 Earth Open Source의 웹사이트에 게재된 내용을 근거로 한 것으로, 안드레 카라스코⁴²⁶⁾

424) Comparison of two GM maize varieties with a near-isogenic non-GM variety using transcriptomics, proteomics and metabolomics, Barros E. et al, Plant Biotechnol Journal 2010, 8: 436-51, doi: 10.1111/j.1467-7652.2009.00487.x

425) The new pig study gets an "F" in science. Sleuth4Health June 13, 2013

426) EarthOpenSource Birth defects caused by glyphosate, Andres Carrasco

와 한번 토론한 비디오를 포스팅 했을 뿐이었다. 과학적으로 올바른 실험에 근거한 공식적 데이터들은 글리포세이트가 발암 유발 또는 태아손상 등의 위험성을 전혀 포함하지 않는다고 명백히 선언하고 있다.⁴²⁷⁾

● 글리포세이트가 자폐증, 파킨슨병 그리고 알츠하이머병과 관련 있다는 연구

Entropy라는 학술지에 한번 게재된 것에 근거한 주장인데,⁴²⁸⁾ 소위 “약탈자” 또는 “비용을 지불한 연출” 출간으로 불리는 과학 출판계의 새로운 “질병”의 사례로 잘 알려져 있다. 연구기관들은 그들의 분야에서 모든 과학적 출간을 주문해야만 하는데 이렇게 되면 주로 이익위주의 과학 저널의 생성을 부추기게 되어 과학적 리뷰 원칙인 출간 전 논문 검토가 되지 못하고 실제로 비용을 지불한 논문은 모두 출간되기 때문이다.⁴²⁹⁾

해당 논문은 여러 비판의 대상이 되었으며, 아마도 가장 유명한 것이 디스커버 잡지⁴³⁰⁾에 게재된 Keith Kloor의 글로 그는

427) NPIC National Pesticide Information - Glyphosate Technical Sheet

428) Glyphosate's Suppression of Cytochrome P450 Enzymes and Amino Acid Biosynthesis by the Gut Microbiome: Pathways to Modern Diseases, Samsel A, and Seneff S, Entropy 2013, 15: 1416-1463, doi: 10.3390/e15041416

429) Predatory publishers are corrupting open access, Beal J., Nature Column: World View 12 September 2012

430) When media uncritically cover pseudoscience, Keith Kloor, Discover Magazine April 26, 2013

논문이 “가짜 과학과 알 수 없는 내용이 뒤범벅되어 있어 실제 과학자들도 그것을 이해하기 어렵다”고 지적하고 있다.

● **만성병 환자들의 인체에는 건강한 사람보다 더 높은 수준의 글리포세이트가 들어 있다?**

이러한 주장의 근거가 된 유일한 논문⁴³¹⁾은 잘 알려진 “약탈자” 저널에 또 한번 게재되었다. 정상적인 과학적 리뷰였다면 이 논문은 기각 당할 수밖에 없었는데 논문전체 어디에도 사료 급이 시험에 어떤 종류의 먹이를 사용했는지와 어떤 종류의 “만성질환”의 발병을 염두에 두었는지가 언급되어 있지 않았기 때문이다.

이러한 형태의 새로운 “연구”가 분명히 출현할 것이고 비판없이 그것들을 보도하는 미디어에 의해서 일반 대중의 왜곡된 의견은 계속 형성될 것이 분명하다.

● **모유에서 글리포세이트가 발견된다?**

2014년 4월 전미국어머니회(Moms Across America, MAA)는 서스테이너블 펄스(Sustainable Pulse, SP)와 공동으로 수행한 연구결과를 발표하여 세상을 놀라게 했는데, 모유에서 글리포세이트 발견이 가능하다는 것을 보여주었어야 하는 내용이

431) Detection of Glyphosate Residues in Animals and Humans, Krüger M, et al., Journal of Environmental & Analytical Toxicology 2014, 4: 2 ISSN: 2161-0525



었다.⁴³²⁾ 동시에 MAA와 SP는 실험이 실제로 적절한 과학적 연구기 아니라는 이유를 들어 또한 양해를 구하였다. 추측성의 혁명적 발견은 물론 ‘TV 다큐멘터리’를 포함하여 많은 미디어 캠페인을 동반하였다. 두 단체는 이념적으로 모든 종류의 GMO와 식물약학적 수단의 사용을 엄격하게 반대하고 오로지 친환경적으로 생산한 식품만을 고집하고 있다.

현대의 분석방법의 정교함으로 인해서 모유에서 약간의 글리포세이트 성분을 발견할 수 있다는 것은 물론 놀라운 사실이 아니다. 문제는 MAA와 SP가 모유에서 발견한 글리포세이트 성분의 농도가 위험수준에 도달했다고 주장한 점이다.

432) Glyphosate testing full report: Findings in American mothers' breast milk, urine and water. Conducted by Moms Across America and Sustainable Pulse, April 7, 2014

이러한 주장에 대해 과학적으로 반박하는 것은 쉬운 일이 아니다. 제기된 질문에 대해 논란을 일으키지 않도록 답변을 할 수 있는 적절한 연구를 수행하는 것보다 부실하게 검증된 경고성 발견을 발표하는 것이 원래 더 쉬운 법이다.

적절한 과학적 방법의 견지에서 “연구” 결과를 검증 해 보니 결괏값이 완전히 저 평가되는 일련의 심각한 방법적 결함을 즉시 발견할 수 있었다. 여기에는 샘플 10개 중 3개의 결과만 근거하여 위험하게 높은 농도라고 주장한 내용이 포함되어있다. 이 밖에도 수많은 연구들이 존재하지만 현재까지 어떤 연구도 모유에서 글리포세이트를 발견하지 못했다.⁴³³⁾

글리포세이트 성분을 결정하는 꼼꼼하고 신뢰할 만한 방법이 회사와 독립적인 실험실 간 협력을 통해 개발되었다. 발표된 예비 결과는 음성으로 나왔으며, 모유에서 글리포세이트를 발견하지 못했다.⁴³⁴⁾ 그러자 앞에 언급된 극단주의자 그룹들은 이에 반발하여 저자들을 상대로 흠집내기 캠페인을 벌였는데 이를 통해 저자들의 개인적인 신뢰도를 끌어내림과 동시에 그들이 앞서 언급한 반대론자의 주장으로 연결되는 것처럼 보이는 절차상 결함을 논의하는 것을 막기 위해서였다.⁴³⁵⁾ 아직도

433) Debunking pseudo science “lab testing” health risk claims about glyphosate (Roundup). Academics Review, Apr 10, 2014

434) U.S. breast milk is glyphosate free. Science News, July 23, 2015

435) Nutritionist Michelle McGuire responds to attacks in wake of ‘glyphosate not in milk’ study. Michelle McGuire, Genetic Literacy Project August 11, 2015

반 GMO 주의자들은 MAA의 주장을 당연한 것으로 여기고 있다.

● 글리포세이트를 금지하는 나라들이 많다?

정부 또는 법적 금지는 전적으로 정치적 행위이며 일반적으로 과학적 사실과는 동떨어져 있다. 어느 경우든 글리포세이트를 금지하고 있는 나라는 실제로 그렇게 많지 않으며, 그러한 금지는 환경단체들이 주장하는 것같이 포괄적이지도 않다. 실제 상황은 다음과 같다.

엘 살바도르는 2013년 9월에 글리포세이트 사용을 금지했는데, 이때 제초제 파라쿼트와 살충제 엔도설판도 함께 금지했다.⁴³⁶⁾

멕시코에서는 2014년 8월에 유카탄 연방주의 지방판사가 글리포세이트 저항성 Roundup-ready 콩의 상업적 파종 허가를 무효화 하였다.⁴³⁷⁾ 이러한 금지 조치는 특정 GM 콩의 생산에 대해서 유카탄에서만 적용되며, 글리포세이트 사용에 대한 것은 아니다. 그리고 이는 2012년 멕시코 농무부가 허가를 내준 다른 6개 연방주에는 해당되지 않는다.

436) El Salvador government bans roundup over deadly kidney disease, sustainable pulse, Sep 19 2013

437) Sweet victory for Mexico beekeepers as Monsanto loses GM permit, The Guardian, 8 August 2014

네덜란드 의회는 2015년 4월 4일에 비상업적 목적의 글리포세이트 조제용 물질의 판매를 2015년 말부터 금지하는 내용의 법안을 통과시켰다.⁴³⁸⁾ 법률은 글리포세이트의 상업적 생산에 기반한 제초제 사용을 제한하는 것은 아니며 단지 그것들의 장외판매를 금지하는 보호적 수단의 범주로 분류하기 위함인데 슬로바니아에서도 대부분의 농업 제초용 물질에 그렇게 적용하고 있다.

콜롬비아는 2015년 5월 10일에 코카인 농장 폐기에 더 이상 글리포세이트를 사용하지 않는다는 정부성명서를 발표시켰다.⁴³⁹⁾ 이러한 결정은 기타 글리포세이트의 제초용 물질 사용에는 상업용이든 실험용이든 영향을 주지 않는다.

버뮤다에서는 보건부장관 Jeanne Atherden이 2015년 5월 10일에 글리포세이트 제초용 물질에 대해서 사용 및 수입을 잠정적으로 금지하는 결정을 내렸는데 “새로운 연구에 대한 평가” 때까지만이라는 조건을 걸었다.⁴⁴⁰⁾

스리랑카에서 새로 선출된 Maithripala Sirisena 대통령이 2015

438) Dutch parliament bans glyphosate herbicides for non-commercial use, Sustainable Pulse, Apr 4 2014

439) Colombia to ban coca spraying herbicide glyphosate, BBC News, 10 May 2015

440) Bermuda suspends glyphosate-ridden monsanto roundup indefinitely, Sarich C., Global Research, May 13, 2015

년 5월 26일 글리포세이트 제조용 물질의 수입과 스리랑카에 남아있는 재고품의 판매 금지령을 선포하였다.⁴⁴¹⁾ 대통령의 이와 같은 결정 배경에는 글리포세이트가 만성 신장병과 연관이 있다는 가설에 따른 것이다.

2015년 6월 15일 프랑스 생태, 지속가능개발 및 에너지부 장관인 Ségolène Royal은 정원용으로 라운드업[®] 제초제 판매 금지를 요청했다. 소식통에 따르면 프랑스 정부는 2022년까지 규정을 만들어야 하는데 글리포세이트 제조용 물질은 판매소에서 잠금장치가 있는 수납장 속에 보관해야 하며 전문적인 용도로만 판매가 허용된다.⁴⁴²⁾

라운드업[®]은 미국 몬산토사의 상표로 물론 글리포세이트를 포함하고 있지만 제초제는 글리포세이트만 있는 게 아니다. 글리포세이트의 국제특허 보호는 1991년에 만료되었고 미국특허는 2001년에 만료되어 이제는 누구나 글리포세이트 기반의 제초제들을 판매할 수 있게 되었다(물론 라운드업 상표 보호 하에서). 오늘날에는 중국회사가 글리포세이트에 기반한 제초제 제조용 물질의 최대 공급자이다.

441) Sri Lanka's newly elected president bans glyphosate effective immediately, Sarich C, Natural Society MAY 26, 2015

442) French minister seeks to put glyphosate products behind locked shelves, Horticulture Week, 15 June 2015

GM 반대론자들의 글리포세이트가 “대부분” 금지되었다는
기타 주장들은 당분간 단지 항소상태이거나 환경단체가 주도
한 법안으로 아직 실현되지 않고 있다.

오늘날 전 세계에는 196개의 주권국가가 존재한다.



GMO가 정말 필요한 이유

- 왜 식물 육종이 필요한가
- 어떻게 신품종 또는 개량종이 육성되는가
- 왜 GMO는 육종가에게 그렇게 중요한 것인가
- GMO에 대한 대중의 적대감은 어디에서 왔을까
- GMO를 반대함으로써 손해 보는 것들
- 새로운 식물육종 기술: 유전자편집
- 소비자들은 혜택에 대해 이해할 필요가 있다

왜 식물 육종이 필요한가

세계 식량 생산은 20세기에 250% 이상 늘어났다.⁴⁴³⁾ 21세기가 시작되었을 무렵 실제로 전 세계 경작면적은 약간 감소하였으나 그럼에도 불구하고 식량생산은 아직까지는 세계인구보다 빠르게 증가하고 있다. 우리는 앞선 그 어느 세대보다 잘 살고 있지만 세계는 아직도 심각한 기아 문제에 직면해 있다. 1990-1992년에는 인구의 18.7%가 영양실조를 겪었으며, 지금은 11.3%이지만 영양실조 인구는 아직도 8억 명 이상이다. 우리는 기아가 발생하는 이유와 그 해결책을 알고 있는가?

우리는 가끔 중학교 학생들에게 식물육종을 강의한다. 첫째로 우리가 강의하는 내용은 만약 21세기에 육종가들에 의해 모든 주요농업작물의 수량이 급격히 증가하지 않았다면 이렇게 강의실에서 함께하며 유쾌하게 잡담을 나누면서 앉아있는 것은 불가능했을 것이라는 점이다. 대부분의 사람들은 갑작스러운 식량의 풍요함과 다양함이 어디에서 왔는지 모른다. 만약

443) Patterns of economic growth and development

그들이 무엇인가를 기억한다면 그것은 말 대신 트랙터로 경작한다는 것이다. 그리고 무기질 비료로 영양분을 공급하고 완숙되비는 덜 쓰고, 방제용 농약을 사용하며 농지를 관배수한다는 것 등을 기억할 것이다. 그러나 우리가 지금 여기 앉아 있는 것은 현대적 농작물 품종을 재배할 수 있기 때문이라고 말하는 사람은 극히 드물다.⁴⁴⁴⁾ 그럼에도 불구하고 과학은 새로운 품종이 동일한 재배면적에서 극적인 수량증가를 달성하는데 기여했다고 간주하고 있는데, 이는 100년 전에 비해 최소한 5배 이상의 수확량증가가 이루어진 것이다.⁴⁴⁵⁾

식물육종과 동물선발의 역사는 물론 20세기에 시작된 것은 아니다. 인류는 수천 년 전부터 식물을 선발해 왔으며, 동물 선발은 아마도 더 오래전부터 선발 해왔을 것이다. 위대한 발견 이후 - 미국의 예를 들면, 가장 성공적인 종들이 세계에 퍼졌다. 사람들이 성취한 성공들이 유전학에 대한 상식 없이 이루어졌다는 것은 정말 믿기 힘들다. 멕시코의 하찮은 한 식물이 정말로 오늘날의 막강한 옥수수의 고유한 조상이라는 것을 과학적으로 확인시키는데 수십 년이 걸렸다. 이와 마찬가지로 양배추, 케일, 콜라비, 미니양배추(brussel sprouts) 또는 브로콜리가 실제

444) Pocket K No. 13: Conventional Plant Breeding. ISAAA Nov. 2006

445) Visionen der Pflanzenzüchtung zur Ertragssteigerung, -sicherung und Eröffnung neuer Verwertungsperspektiven, Visions of plant breeding to increase yields, securing and opening new recovery prospects, Ordon, F. 2011: In: Landwirtschaft 2025 - Anforderungen an den effizienten Pflanzenbau

로는 *Brassica oleracea* 라는 학명의 동종 식물을 대표한다는 것을 믿기가 쉽지 않다. 식물육종의 역사는 현재 재배에서 볼 수 있는 완전히 독립된 품종이 언제 출현했는지를 보여준다. 예를 들어 로마황제 시대에 그것들 중 상당수가 재배되었다.

모든 다른 분야와 마찬가지로 식물육종의 성과는 점진적이었다. 종내와 종간식물의 대량 교배와 선발은 이미 18세기와 19세기에 이루어졌으며, 첫 현대 품종들이 육성되었다. 이 기간 동안에 육성된 배, 포도 품종들의 상당수가 현재에도 재배되고 있다. 비록 과학적 기반은 1900년대 멘델의 발견으로 다져졌지만 기타 덜 알려진 발견들 또한 실제로 식물육종에서 중요하다.

육종 성과가 가속화 된 것은 밀이나 완두와 같은 자식성 작물과 호밀 또는 양파와 같은 타식성 작물, 그리고 포도와 모든 과수 품종과 같이 영양번식 식물을 육종하는 방법을 발견하고 나서부터이다. 종자교역의 실질적인 기업가 정신 덕분에 제일 먼저 옥수수과 그 다음 다른 여러 종에서 1대 잡종 품종의 발견이 이루어졌다. 이러한 1대 잡종의 풍부함이 100년 동안 이미 알려져 있었다는 것을 강조할 필요가 있다. 비록 일련의 완전히 새로운 유전적 발견들만이 현재 분자적 배경을 더 상세하게 설명할 수 있지만 그것을 설명하는 이론들은 그 역사가 같다. 식물육종에서 이론보다 실제경험이 중요하다는 것을 보여주는 교훈적인 사례들이 있다.

어떻게 신품종 또는 개량종이 육성되는가

모든 식물육종은 수많은 품종들을 교배하고 선발하는 것으로 시작한다. 육종가들은 가능한 유전적 다양성을 극대화시키기 위해 이를 필요로 한다. 이것은 현대 품종, 옛날 품종, 지역 집단 그리고 기타 야생근연종에 감추어져 있다. 농업적으로 중요한 다양성을 보존해야 할 필요성을 인식한 것은 약 90년 전이다. 많은 수의 종자은행들이 설립되어 수백만점의 유전자원을 보존하고 있다. 그것들로부터 유전적 다양성을 꺼낸 뒤 오랜 선발과정을 거쳐 새로운 품종을 육성해 낸다.

기본적인 식물육종 방법은 잡종화, 자가수정, 교잡, 영양번식 또는 돌연변이유발 등이다. 그 과정들은 10년 이상 걸리며 이 과정에서 수천 수만 개의 계통이 도태된다. 이러한 작업을 생명공학적인 방법이 수월하게 해준다. 예를 들어 조직배양기술은 대량 번식을 용이하게 해줄 뿐만 아니라 수년이 걸리는 동계 교배 대신 화분유래 반수체식물(한 세트 염색체만 들어있는) 획득을 가능하게 해준다. 연관성이 적은 종으로부터 유전자를 전환할 때는 형성된 배의 기내구출법 또는 나출된 체세포(원형 질체) 융합 방법의 도움이 필요하다. 이제는 DNA 분석 덕분에 수천 개의 교배종으로부터 개별계통을 선발하는 것이 쉬워졌으며, 이 방법은 계속해서 진화하고 있다. 이 모든 것은 전에는 몰랐던 세포과정의 통찰력을 가능하게 해준다.

선발 방법이 다소 제한적이기는 하지만 동일한 성과가 가축 선발에서도 이루어졌다. 유전학 기술과 생물통계학으로 알려져 있는 수학적방법의 사용이 상당부분 기여했다. 가축개량에는 후대검정, 동계교배, 교잡, 혈청유전학 그리고 복제, 성선발 등의 현대 생명공학기술이 활용된다.

가축 선발을 통해 최근 수십 년간 국내 가축종 개량이 이례적인 성공을 거두었다고 감히 말할 수 있다. 예를 들어, 닭에서 도축 가능한 사육기간이 7주인데 반해 50년 전에는 3배 이상이 걸렸다.⁴⁴⁶⁾ 여기에서도 많은 업적들이 대중의 눈으로부터 감추어져 있었지만 그 성과는 계속되어 육가공품의 품질향상으로 이어졌다.

왜 GMO는 육종가에게 그렇게 중요한 것인가

그렇다면 왜 동식물 육종가들에게는 유전공학기술이 필요한가? 그 답은 매우 간단하다 - 일을 훨씬 쉽고 효과적으로 만들어 주기 때문이다. 전통적 방법으로는 달성할 수 없는 목표에는 종종 GMO가 사용된다. 아마도 해충저항성 옥수수는 존재하지 않기 때문에 이것들을 교배하는 것은 도움이 되지 않지만, GM 기술을 통한 박테리아의 해충저항성 유전자 전이는 매우 성공

446) Havenstein, G.B., P.R. Ferket, and M.A. Qureshi, 2003a. Growth, livability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. Poultry, Sci. 82: 1500-1508

적이었다. 어떠한 목표는 달성하기가 수월하다: 몇 가지 바이러스에 저항성을 갖는 서양호박은 유전공학기술을 이용하여 쉽게 얻을 수 있는 반면, 교배방법으로는 매우 어렵거나 불가능하다. 특히, 이러한 기술을 이용하면 전에는 보지 못했던 완전히 새로운 특성을 갖는 특별한 종이 탄생한다. 예를 들면, 벼 품종은 비타민A를 함유하고 있지 않기 때문에 박테리아와 옥수수 유전자를 벼에 옮겨야만 생명을 구할 수 있는 비타민 A가 만들어진다. 식물종을 산업적 또는 약용성분 생산에 이용하여 값싸게 공급할 수 있기 때문에 유리하다. 많은 관련 사례들이 위에 언급되어 있다. 이것은 동물에게도 동일하게 적용되는데, 현대 생명공학 기술을 통해서만 우유에서 유당을 뺄 수 있다.

GM 품종의 판매를 위한 육종과 보급은 Non-GMO 품종의 보급과는 완전히 다르게 법적규제를 받는다. 이 분야는 많은 국가법,⁴⁴⁷⁾ 지역법,⁴⁴⁸⁾ 그리고 국제법⁴⁴⁹⁾과 규정에 의해 규제를 받는다. 본질적으로, 점진적인 보급에는 다음과 같은 절차가 따른다. 실내실험, 보호된 환경에서의 실험, 소규모 포장시험, 그리고 재배 등이다. 매우 상세한 문건들을 신청자가 준비하면 각국의 과학위원회에서 자세히 검토하는데, 이 과정에서 적절한 추가자료 요구가 이루어지기도 한다. 검토 기간 중과

447) Electronic code of federal regulations http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?c=ecfr&tpl=/ecfrbrowse/Title07/7cfr340_main_02.tpl

448) The long road to authorisation, GMO Compass, Food and Feed from GMOs

449) The Cartagena Protocol on Biosafety, convention of biological diversity

마지막에 규제기관은 문건을 일반에게 공개하고 최종 결론도 공개한다. 따라서 새로운 품종들이 일반 품종보다 덜 안전하지 않고 오히려 더 안전하다고⁴⁵⁰⁾ 하는 것은 결코 과장된 주장이 아니다.

GMO에 대한 대중의 적대감은 어디에서 왔을까

대중의 적대감은 1980년대에 앞에서 언급된 GMO 품종에만 과도한 검사를 요구하는 주요 GM 종자회사의 미국 규제당국에 대한 로비에서 처음 비롯되었다는 것은 의심할 여지가 없다. 해당 절차는 이후에 전 세계적으로 채택되었으며, 특히 유럽에서는 잘못 사용되어져 이러한 부단스런 규제가 대중의 불신을 받는 원인이 되었다. 비록 축적된 지식에 기반한 규제완화가 예를 들어, 스웨덴 과학자들⁴⁵¹⁾에 의해 나중에 요구되기는 하였지만, 정부나 국제기구에 의한 규제완화 활동이 이루어진 적은 없다.

미국의 여론 조사회사인 PewResearch는 2015년 1월 과학계를 대표하는 미국과학발전협회(AAAS)의 회원들과 일반 대중을 대상으로 더욱 중요한 과학적 주제에 대하여 어떻게 생각하는

450) Biotech foods are safe, Says who? [Infographic], Sanders L, Food insight Oct 7, 2015

451) Quasi-science prevents an environmentally friendly agriculture and forestry, Jansson S, et al, 5, Oct 2011

지에 대한 설문조사를 하였다.⁴⁵²⁾ 가장 큰 격차를 나타낸 것은 GMO로 AAAS 회원 88%가 GMO는 안전하다고 답한 반면에 일반 대중은 37%만이 그렇다고 답했다. EU에서 조사한 GMO에 대한 일반여론은 더 부정적이었다.

그 이유 중 하나는 분명히 국민들이 점점 정부를 덜 신뢰한다는 사실이며, 이는 과거 정부들이 그들의 정치적 연합세력 또는 전략적 관심에 득이 되도록 거짓말을 빈번하게 유포시켜왔기 때문이다. 정부들이 이러한 조치를 과학과 함께 정당화시켰기 때문에 과학 또한 국민에 대항한 음모의 일부로 여겨지는데, 예방백신⁴⁵³⁾과 전기자기장⁴⁵⁴⁾의 유해성, 고압선의 발암유발,⁴⁵⁵⁾ 그리고 기후조절 수단으로 HAARP 활용⁴⁵⁶⁾ 등과 같이 과학적으로 전혀 근거가 없는 음모 이론 등이 여기에 포함된다.

실질적으로 모든 전문적인 환경단체들이 GMO에 대한 반대 입장을 갖고 있다는 것이 더욱 중요하다고 할 수 있다. 그들은 미디어의 선동주의 경향을 어떻게 활용할지 잘 알고 있다. 미국 속어에는 “만약 피를 흘리면 그것이 주도하게 된다”는 표현이

452) Public and scientists' views on science and society. PewResearch, 29. januar 2015

453) The anti-vaccination movement. Novella S, Sceptical Inquirer Vol. 31,6 Nov.-Dec 2007

454) Chemtrails: Aerosol and Electromagnetic Weapons in the Age of Nuclear War. Amy Worthington, Global Research, 29. juli 2015

455) Power Lines and Cancer FAQs, Medical College of Wisconsin Aug. 2004

456) HAARP: Secret weapon used for weather modification, electromagnetic warfare. Fred Burks, Global Research, 18. januar, 2015

있다. 즉, GMO의 성공적 재배에 대한 보고서들 보다 GMO의 새로운 추측성 위험성을 강조하는 새로운 “공포”가 더욱 뉴스거리가 되기 때문이다. 불행히도, 미디어가 중요한 대중의 정보원이기 때문에 GMO와의 관련성을 포함한 일반대중의 생각에 중대한 영향을 미칠 수밖에 없다.^{457),458),459)}

왜 그러한가는 심리학자, 사회학자, 정치학자, 미디어 분석가 등등 모두가 궁금해 하는 문제이다.

저자들은 GMO의 실제 장점들을 일반 대중들이 잘 알고 있지 못한다고 생각하기 때문에 본 책을 통해 현대 과학기술의 더욱 중요한 업적들을 소개하려고 하는 것이다. 우리는 효용성 뿐만 아니라 미디어에 꾸준히 등장하는 왜곡된 주장들에 대해서도 설명하려고 노력했다. 이 두 가지 경우에 있어서 우리는 특정 주장에 대한 답을 하기 위해서 과학적으로 뒷받침되는 증거를 정확하게 언급하고 있다.

457) Discursive struggle in the Slovenian media: journalistic representation of genetically modified organism, Erjavec K. Družboslovne razprave, XXVII 68: 45-61, 2011 UDK 608.7: 316.774(497.4), 2010

458) Press media reporting effects on risk perceptions and attitudes towards genetically modified (GM) food, Vilella-Vilaa M. and Costa-Font J. The Journal of Socio-Economics 2008, 37: 2095-2106, doi: 10.1016/j.socrec.2008.04.006

459) Mapping Boundaries of the Hostile Media Effect, Albert C. G. and Schmitt K. Journal of Communication 2004, 54: 55-70, doi: 10.1111/j.1460-2466.2004.tb02613.x

GMO를 반대함으로써 손해 보는 것들

만약 당신이 이 책을 읽으면 여러 나라에서 동물과 식물 개량에 활용하고 있는 현대 생명공학기술의 사용을 사실상 금지하는 것을 왜 과학자들이 첨예하게 반대하는가를 알게 될 것이다. 식물 육종과 동물 선발분야의 전문가들은 그러한 사회의 부적절한 태도에 의해서 우리에게 강요되는 제약에 대해 매우 잘 알고 있다. 우리는 이런 저런 GM 품종은 어떻게 될 것인가만 묻는 것이 아니고 특별히 이러한 혁신적 방법들을 거부했을 때 우리가 잃는 것이 무엇인가 하는 부분에 더 신경써야 한다.

아마도 우리에게 가용한 식물생산과 대안들의 효율성을 언급함으로써 불필요한 거부에 대해 설명하는 것이 가장 쉬울 것이다. 유럽연합국가⁴⁶⁰⁾ 약 19개 나라에서 GMO 생산을 반대했을 무렵 뉴욕타임즈는 “본질적으로 유럽은 생물학보다는 화학을 선택했다.⁴⁶¹⁾”라는 간단명료한 문장을 보도했다.

감자에 대한 간단한 예를 통해 그 주장이 올바른지 판단해보자. 감자는 바이러스병에 의해 위협받고 있다. 우리는 농약을 살포하는 대신 식물 바이러스 프리 괴경을 사용하는데, 이것도 몇 년 뒤에는 한개 이상의 알려진 바이러스에 감염되기 때문에

460) It's official: 19 European countries say 'No' to GMOs, EcoWatch Oct. 5, 2105

461) With G.M.O. policies, Europe turns against science, The New York Times Oct. 24, 2105

실제로 모든 바이러스에 저항성을 갖는 감자는 없다고 할 수 있다. 이러한 문제는 “레인보우 파파야”편에서도 볼 수 있듯이 이미 10년 전에 해결되었어야 했다. “레인보우 파파야”는 세계 최초의 바이러스 저항성 GM 품종으로 2015년부터 재배가 시작되어 현재 전 세계에서 오직 한 개 나라에서만 재배되고 있다. 감자는 콜로라도 딱정벌레에 의해 위협을 받고 있다. 심지어 지난 2002년 플로리다 주 디즈니 센터에서 전시한 것과 같이 이미 Bt 기술로 강력한 해충 저항성 효과가 가능하지만 실제로는 이미 보급한 품종들의 시장 출시가 철회되었다(방어적 Bt 독소를 발현시키는 GM 식물 편 참조). 우리는 해충으로부터 보호를 받을 수 있는 다른 가능성을 알고 있기 때문에(RNA 간섭 기술을 통해 해충으로부터 작물을 보호하기 편 참조) 감자 또한 방아벌레(방아벌레과)와 같은 기타 해충의 방제가 가능하다. 감자는 또한 감자역병의 위협을 받는데, 지속성 있는 천연 GM 해결책이 이미 존재한다(곰팡이 저항성 GM 감자 편 참조). 그렇다면 남은 문제는 잡초이다. 우리는 GM 기술을 이용하여 어떠한 제초제에라도 저항성을 나타내는 유전자를 삽입하는 것이 그리 어렵지 않다는 것과, 한 가지 농약만 과도하게 사용하는 것을 피하기 위해서 여러 가지 제초제에 저항성을 갖는 품종을 활용하는 것이 유용하다는 것도 잘 알고 있다. 결론적으로, 최신 품종들을 파종한 농부들은 파종기에서부터 수확기까지 제초제를 뿌리기 위해 밭에 단 한번만 오면 되는 것이다. 과거에는 농약을 10번⁴⁶²⁾ 이상씩 뿌려야 했다. 이러한 GM 기술을 환경영

향을 이유로 거부하는 것이 과연 올바른 선택인가?

의약품, 화장품과 기타 산업분야에서도 유사한 사례가 아주 많다. 비록 이 책에서는 간단하게 요약했지만, 과학자들의 상상력에 머물며 아직 실현되지 않은 것도 상당수이다. 매우 다양한 품목들이 한꺼번에 출시되는 날도 머지않았다고 우리는 자신 있게 예측한다.

새로운 식물육종 기술: 유전자편집

우리는 분명 완전히 새로운 기술의 개발을 기대할 수 있다. 우리 앞에 가까이 다가와 있는 기술 중에는 자연에서는 볼 수 없는 새로운 바이오 물질의 탄생을 약속할 수 있는 합성생물학이 있다.⁴⁶³⁾ 이미 간단하게 언급한 바와 같이, 새로운 게놈재배지 방법은 최근 들어서 매우 빠르게 발전하고 있다.⁴⁶⁴⁾ 지난 10년간 소위 유전자 편집이라 불리는 기술을 가능하게 해주는 수단이 최소한 4개가 있는데; 그중 가장 인기 있는 최신 기술이 CRISPR/Cas9이다.⁴⁶⁵⁾ 이것은 원하지 않는 유전자들의 선발 또

462) Raba fitofarmaceutskih sredstev in preučitev možnosti za njihovo racionalnejšo uporabo v Sloveniji; The use of plant protection products and analysis of the possibilities for their rational use in Slovenia http://www.kis.si/f/docs/Publikacije/Raba_FFS.pdf

463) The promise of synthetic biology Pleiss J. Applied Microbiology and Biotechnology 2006, 73: 735-739

464) CRISPR: cutting edge tech for plant breeders. The Western Producer Nov. 20, 2015

465) <https://en.wikipedia.org/wiki/CRISPR>

는 편집기술을 획기적으로 개선시켜 선택된 위치에서의 염색체 절단을 가능하게 해주어 실수 없이 DNA 수선이 가능하다. 결국에는 원하는 부위에 목표한 돌연변이가 유기된다. 그러한 결과인 유전자의 비활성화는 과거에 인위적 돌연변이에 의해서도 가능했었고(유전적 변화를 통한 해충방제 편 참조) 그 다음이 RNAi 기술(RNA 간섭기술을 통해 해충으로부터 작물을 보호하기 편 참조)을 이용하는 것이고, 지금은 더욱 쉽고 효과적인 방법으로 돌연변이 유기가 가능하다. 유전자를 파괴하는 것 외에도 경미한 뉴클리오티드 교환 또한 가능하다. 그 기술은 이미 인체 치료에 사용되었는데 인체 이용에서는 비목표 유전자의 잠재적 작용에 대한 정당화할 만한 우려가 있는 것이 사실이지만 식물에서 이런 것은 문제가 되지 않는다.

유전자 편집은 곧 여러 가지로 유용하게 적용할 수 있는데, 식물유래 식품의 알레르기 유발원을 완전히 제거하는데 활용할 수 있다. 커피에서 카페인을 추출하거나 땅콩에서 알레르기 유발 단백질을 제거할 때와 같이 단지 한 두 개의 필요한 유전자만을 제거하기 위한 단순한 목적뿐만 아니라 6배체 밀로부터 글루텐 성분을 일부가 아닌 전체 부분을 완전하게 제거하는 매우 복잡하고 어려운 목표에까지도 적용이 가능하다(글루텐 함량이 적은 GM 밀과 보리 편 참조).

이 책이 출간될 무렵에는 새로운 유전자편집 기술과 관련된

규제절차에 대해 알려진 바가 없었다.⁴⁶⁶⁾ 예를 들어 미국 농무부는 2015년에 기술한 방법 중에 적어도 몇 개는 GMO에 적용하기 위한 판단절차에 속하면 안된다고 결론을 내린바 있다. 유럽연합은 이미 이에 대해서 수년 동안 상세하게 논의를 해왔으며, 2011년에 특별위원회 보고서가 처음 출간되었다.⁴⁶⁷⁾ 기타 많은 사람들이 유럽연구센터⁴⁶⁸⁾의 연구결과와 EFSA⁴⁶⁹⁾의 의견서 그리고 많은 기타 보고서를 참고해 왔다.⁴⁷⁰⁾ 유럽 정치의 특징이 그렇듯이 많은 연구들은 문제를 해결하지는 못한 채 단지 정치적 결정이 미뤄지는 결과만 초래했다. 따라서 독일과 스웨덴과 같은 나라들은 자체적으로 조치를 취하기에 이르렀다.

앞서 언급된 유전자편집 방법을 규제하지 않기로 한 미 농무부의 결정은 미국에만 유효한 것이 아니라 글로벌 환경에도 적용될 것으로 보인다. 다시 말해서, 그러한 품종들은 전 세계적으로 가용하여 그것들의 후대는 아마도 교배를 통해 많은 로컬

466) ZFN, TALEN, and CRISPR/Cas-based methods for genome engineering Gaj T, et, al. Trends in Biotechnology 2013, 31: 397-405

467) New techniques working group FINAL REPORT, http://www.seemnelit.ee/wp-content/uploads/2011/11/esa_12,0029.pdf

468) New plant breeding techniques State-of-the-art and prospects for commercial development, Lusser M, et al, EUR 24760 EN - 2011

469) Scientific opinion addressing the safety assessment of plants developed using Zinc Finger Nuclease 3 and other Site-Directed Nucleases with similar function EFSA Journal 2012, 10: 2943-2974, doi: 10.2903/j.efsa.2012.2943

470) EU Perspectives on New Plant-Breeding Technique Schiemann J. and Hartung F, Julius Kühn-Institut Quedlinburg, Germany

품종에 정착하게 될 것이다. 이러한 돌연변이 또는 경미한 게놈 재배치는 자연적 또는 인위적 돌연변이와 구별이 안 된다는 점과 이 때문에 그러한 품종들은 기술적으로 배재하는 것 또한 가능하지 않다는 점을 주목하는 것이 중요하다.

소비자들은 혜택에 대해 이해할 필요가 있다

그럼에도 불구하고 이 분야에서의 근본적인 발전은 새로운 방법을 통해서 약속이 되고 있으며, 우리는 다른 것이 중요하다고 믿는다: 조만간 GMO에 대해 공개적으로 다른 접근이 분명 필요해질 것이다. 유일한 해결책은 특성이 잘 알려져 있고, 유용성이 평가된 유전자로 만들어진 현대적인 GM 품종들이 시장에 출시되는 것이다. 예를 들어, 이미 미국과 유럽연합 시장에 심장과 동맥질환(GMO를 이용한 건강한 요리유 편 참조)을 예방하는 GM 콩 압착유가 유통되고 있지만 이것만으로 충분하지 않다. 이들 상품에 대해서 “건강에 이로운 GMO 식용유”라는 명확한 표시가 필요하다. 동시에 라벨에 작물이 새로운 특성에 의해 보호되기 때문에 농부들이 독성이 있는 농약을 사용하지 않아도 된다고 설명하면 어떨까? 또는 재배과정에 물과 비료가 적게 사용된다고 설명하면 어떨까? 사람들에게는 새로운 상품의 혜택을 인식하고 이를 구별해 내는 것이 필요하다. 사실 지난 1994년, 최초의 GM 토마토 품종에 이와 유사한 라벨을 갖고 있어서(숙성지연 GM 토마토 편) 사람들은 토마토가 익은 후에

수확해도 생명공학기술에 의해 다른 일반 토마토와는 달리 저장 중에도 무르지 않는다는⁴⁷¹⁾ 것을 알 수 있었다. 후에 GM 품종들에 이러한 방식으로 라벨이 사용되지 않았다. 긍정적 라벨은 최근 들어 사과 품종(감변하지 않는 GM사과 Arctic[®] 편)과 감자(튀길 때 아크릴아마이드를 적게 생성하는 편)에서 재개되었는데, 이들은 소규모 혁신적 기업에 의해 개발되었다.

간단히 말해서 GMO의 사용은 현재 매우 중요한 순간에 처해 있으며, 우리는 본 책이 그것을 조금이나마 설명해주고 있길 희망한다. 우리가 전하는 충고는 우려하지 말고 올바른 정보를 접하라는 것이다.

471) <https://www.youtube.com/watch?v=kv5TlKAN3z8>

도서출판 식안연 식량안보시리즈

제1권 나트륨, 건강 그리고 맛



식량안보시리즈 제 1 권

이숙중, 이철호 공저

국판 / 3쇄 준비중

값 8,000원

ISBN 978-89-967826-9-8

[contents]

1. 자연속의 나트륨
2. 음식속의 나트륨
3. 우리 몸속의 나트륨
4. 고혈압과 나트륨의 관계에 대한 논쟁
5. 세계보건기구의 나트륨 섭취권고량은 합당한가?
6. 한국인의 적정 나트륨 섭취 권장량
7. 나트륨 저감화 기술개발
8. 외국의 나트륨 저감화 사례 및 전략
9. 우리나라 나트륨 줄이기 운동의 성과
10. 전문가 의견
11. 나트륨 줄이기 운동의 올바른 방향

이 책은 맛의 원천인 소금의 식품학적 기능을 다시 돌아보면서 세계보건기구(WHO)가 제시한 나트륨 섭취권고량이 우리에게 합당한 것인지 재검토하고, 이를 근거로 하여 합리적인 기준을 가지고 현실성 있는 나트륨줄이기 운동을 전개할 것을 제안하였다.

제2권 건강 지킴이 보리의 재발견



식량안보시리즈 제 2 권

김영수, 최재성, 석호문,

신동화 공저

국판 / 166쪽

값 8,000원

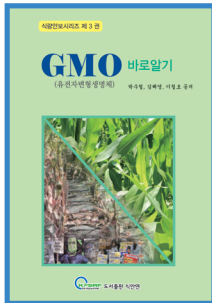
ISBN 979-11-86396-10-0

[contents]

1. 보리의 특성
2. 보리의 구조
3. 생산 및 분포
4. 육종 및 재배
5. 보리의 화학적 조성
6. 보리의 기능성 물질 및 생리적 기능
7. 보리의 가공 및 이용

제2의 주곡이었던 보리를 다시 생각해 보면서 과연 앞으로 보리를 어떻게 처리하는 것이 우리나라의 식량사정과 국민 건강을 위해서 바람직한 것인가를 돌이켜 보고자 하였다.

제3권 GMO 바로알기



식량안보시리즈 제 3 권
박수철, 김해영, 이철호 공저
국판 / 6쇄 / 올컬러
값 12,000원
ISBN 979-11-86396-21-6

[contents]

1. 유전자의 발견과 생명체
2. 유전자변형기술의 발전
3. 유전자변형(GM) 작물의 개발 현황
4. GM작물의 환경 위해성 평가
5. GM작물의 안전성 평가
6. GM작물의 재배 및 교역 현황
7. GMO의 안전성에 대한 논란
8. GMO의 미래
9. 우리나라 식량안보를 위한 GMO 정책 제언

앞으로 예견되는 인류의 식량문제를 해결하기 위한 기술로 GM작물의 개발과 이용 확대를 위해 저술되었다. 그동안 GMO의 안전성 문제를 일으킨 여러 가지 사건에 대한 진위를 밝히고 이로 인해 야기된 국민의 부정적 의식 정도를 조사한 자료를 실었다. 이 책은 우리사회의 여론을 이끌어 가는 전문직 지식인들의 과학적 호기심을 충족하기 위해 만든 참고서이다.

제4권 쌀의 혁명



식량안보시리즈 제 4 권
이철호, 이숙중, 김미령 공저
국판 / 204쪽
값 10,000원
ISBN 979-11-86396-27-8

[contents]

1. 쌀의 이용 역사
2. 쌀의 영양가와 생리기능성
3. 쌀의 가치사슬과 가공산업
4. 쌀의 구조와 가공적성
5. 유럽의 밀 가공 연구
6. 일본의 쌀 식미연구
7. 쌀의 변신
8. 쌀의 식량안보적 기능
9. 우리쌀의 새로운 비전

우리의 주식인 쌀이 농업의 뿌리로 남아있게 하기 위하여 쌀의 수요 창출과 쌀 가공산업의 발전 전략을 제시하기 위해 저술되었다. 쌀의 영양학적 우수성과 생리기능성을 다시 짚어보고 쌀의 가치사슬과 산업 규모를 다시 평가하였다. 현대사회의 요구에 맞는 가공식품을 제조하기 위한 쌀의 물리화학적 가공특성을 살펴보고 유럽에서 쌀의 연구를 위해 수행된 주요 연구개발 사례와 일본의 쌀 식미연구 동향을 소개하였다. 그리고 최근 우리나라에서 개발되고 있는 쌀 가공 신제품의 특징과 발전 가능성을 조사하였다.

제5권 식량낭비 줄이기



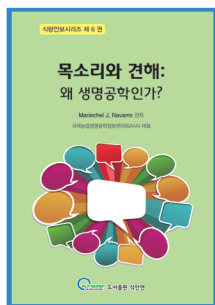
식량안보시리즈 제 5 권
채희정, 이숙중, 이철호 공저
국판 / 2쇄, 244쪽
값 12,000원
ISBN 979-11-86396-30-8

[contents]

1. 식량낭비의 원인과 실태
2. 식량낭비 저감화 기술
3. 식량낭비를 줄이기 위한 제도적 개선
4. 식량낭비를 줄이기 위한 정책제언

음식낭비를 줄이는 것은 식량자급률을 높이는 방법이다. 식량자급률이 60%이면 선진국 수준으로 식량안보를 크게 염려하지 않아도 된다. 농업생산으로 식량자급률을 1% 올리려면 1조 원의 비용이 드는 것으로 추산되고 있다. 정부와 국민이 힘을 합쳐 식량낭비를 줄이는 일에 매진해야 한다는 것은 너무나 당연한 일이다. 이 책은 우리나라의 식량낭비 구조를 분석하고 식량낭비를 줄이기 위한 기술적 방법과 제도적 개선 방안을 제시하고자 노력했다.

제6권 목소리와 견해: 왜 생명공학인가?



식량안보시리즈 제 6 권
Mariechel J. Navarro 편저
국판 / 229쪽
값 12,000원
ISBN 979-11-86396-32-2

[contents]

1. 인류를 위한 기술
2. 혜택과 잠재력 제공
3. 생명공학 옹호
4. 과학 커뮤니케이션
5. 기술을 넘어서는 생각

핀스트럽 앤더슨 박사는 “지속가능한 식량과 농업시스템을 성취 유지하고, 식량과 영양의 불안정을 완화하기 위한 과학의 역할과 전망은 매우 밝다”는 의견을 밝혔다. 그러나 주된 과제는 행동의 결과를 책임지지 않아도 되는 단체들의 반대를 극복하는 것이다. 이러한 다국적 기구의 무책임한 행동들을 처벌하는 국내 및 국제적 합의는 매우 중요한 단계라고 할 수 있다. 그는 많은 유럽의 정부와 다국적 NGO가 아프리카 정부에게 생명공학이 위험하다고 주장하고 있는 사례를 인용하였다. 남아프리카, 아르헨티나, 브라질, 중국, 인도, 그리고 기타 국가들의 소농들이 이미 GM 옥수수를 재배하고 있음에도 불구하고 유럽 정부들은 자국의 농민들이 GM 옥수수를 재배하지 못하도록 막고 있다.

제7권 식량생산 제고를 위한 신(新)육종기술



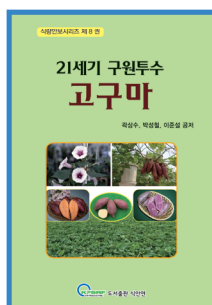
식량안보시리즈 제 7 권
한지학, 정 민 공저
국판 / 153쪽
값 12,000원
ISBN 979-11-86396-39-1

[contents]

1. 종자(種子, Seed)
2. 종자산업의 개요
3. 국내외 종자시장 현황
4. 식량생산
5. 식량생산 제고를 위한 육종기술
6. 신육종기술의 활용
7. 육종기술과 GMO (LMO)와의 차이 해석
8. 시사점 및 제언

이 책은 먹거리의 원천자원인 종자에 대한 기본적인 개념, 그의 중요성과 종자산업의 현황을 다루었고 특히 국내에서도 적극적으로 사용 가능한 여러 신육종기술들을 검토하였다. GMO를 대체할 수 있고 대사공학에 활용할 수 있는 유전체편집 기술, 종속간에 교배가 어려울 때 유전자를 이전할 수 있는 동종기원(Cisgenesis)기술, 핵이나 세포질을 치환하여 새로운 유전자원을 만들 수 있는 세포융합기술들을 집중적으로 다루었다. 이런 기술들과 기 보유하고 있는 관행육종 기술과 접목하고, 마커를 이용한 여교배와 연계하여 활용한다면, 새로운 육종기술 시스템을 구축할 수 있으며 신품종개발과 생산량 제고에 도움이 될 것이다. 특히 곡류자급률이 23.8% 밖에 되지 않고 식량안보에 집중해야 할 우리나라는 이런 신육종기술의 접목과 적용이 필수이다.

제8권 21세기 구원투수 고구마



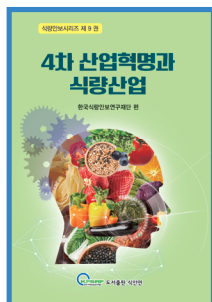
식량안보시리즈 제 8 권
곽상수, 박성철, 이준철 공저
국판 / 155쪽
값 12,000원
ISBN 979-11-86396-41-4

[contents]

- I. 고구마의 특성
- II. 고구마 육종
- III. 고구마의 재배
- IV. 고구마 이용
- V. 고구마의 미래
- VI. 부록

고구마는 글로벌 기후변화시대, 고령화시대, 국제 식량수급 불안정 속에서 인류가 당면한 식량문제뿐만 아니라 노령화문제 등 제반문제의 해결사로 부상하고 있다. 특히 고구마는 전분작물 가운데 척박한 토양에서 가장 높은 수량을 보장하는 친환경 작물로 평가되고 있다. 60년대 보릿고개 시절에 배고픔을 해결해주고 겨울철 간식으로 여겨온 고구마가 21세기 보릿고개를 극복하고 고령화시대의 최고식품과 기후변화에 대응에 적합한 글로벌 구원투수로서의 역할을 할 것으로 기대된다.

제9권 4차 산업혁명과 식량산업



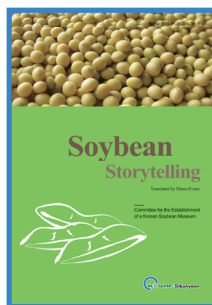
식량안보시리즈 제 9 권
한국식량안보연구재단 편
국판 / 316쪽
값 16,000원
ISBN 979-11-86396-45-2

[contents]

- | | |
|------------------------|-------------------|
| 제1장 4차 산업혁명의 개요 | 제6장 식품공장의 지능형 자동화 |
| 제2장 스마트팜 작물생산 | 제7장 식품로봇 |
| 제3장 농업용 자율주행 로봇과 드론 기술 | 제8장 식품 3D프린팅 |
| 제4장 축산 스마트팜 | 제9장 지능형 식품유통 |
| 제5장 수산업과 4차 산업혁명 | 제10장 스마트 패키징 |
| | 제11장 식품산업의 미래 |

실제로 호텔을 가지고 있지 않은 에어비앤비(Airbnb)가 세계에서 가장 큰 숙박업을 하고 있으며, 택시를 보유하지 않은 우버(Uber)가 가장 큰 택시사업을 하고 있다. 매장이 없는 알리바바나 아마존이 기존의 유통업체들이 따라갈 수 없는 매출고를 올리고 있다. 유비쿼터스 아이폰이 출시된지 10년만에 스마트폰 사용자수가 20억명을 넘고있다. 테슬라, 구글 등 혁신 기업들이 자율주행차 생산에 들어가자 전 세계 자동차산업이 뒤를 이어 앞으로 10년 이내에 무인 자동차가 일반화 될 전망이다. 이러한 파괴적 기술혁신이 식량산업에는 어떠한 변화를 가져오고 있는지를 점검하고 대비하기 위해 이 책을 기획하였다.

Soybean Storytelling(콩 스토리텔링)



한국공백물관립추진위원회 편
Translated by Diana Evans
국판 / 344쪽
값 20,000원
ISBN: 979-11-86396-36-0

[목차]

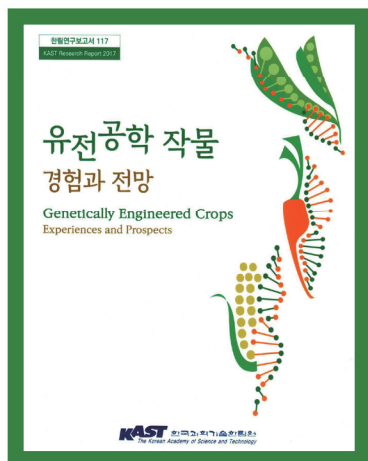
01. 콩의 기원
02. 콩과 장(醬)의 문화
03. 콩의 생육과 생태
04. 콩의 가공과 이용
05. 콩의 영양과 기능성
06. 콩의 미래

[contents]

01. The Origin of Soybeans
02. The Culture of Soybeans and Sauce
03. The Growth and Ecology of Soybeans
04. Processing & Utilization of Soybeans
05. Nutrition and Functionality of Soybeans
06. The Future of Soybeans

한국은 콩의 재배와 이용을 시작한 콩의 종주국임에도 불구하고 대부분의 한국 고대사가 그랬듯이 중국 문화에 묻혀 세계에 제대로 알려져 있지 않다. 이 책은 인류 역사상 가장 먼저 콩을 재배하고 식품으로 이용한 한(韓)민족의 콩 이용 역사를 세계에 알리기 위한 목적으로 경상북도 영주시에 설립된 콩세계과학관 건립을 위해 수집한 자료를 스토리텔링 형태로 정리한 것을 국문과 영문으로 한권에 묶어 펴낸 것이다. 영문 번역은 미국 하버드대학 대학원에서 한국문학을 전공한 다이아나 에반스(Diana Evans)씨가 담당했다.

한국과학기술한림원 출판 ‘유전공학작물: 경험과 전망’
(한림연구보고서 117)



미국과학한림원, 공학한림원, 의학한림원
공동연구보고서, Genetically Engineered
Crops: Experiences and Prospects,
National Academies Press (2016)

한국과학기술한림원 'GM 식품 안전성 과학적
평가의 홍보에 의한 소비자 수용성 제고'
집필위원회 번역 감수

발행처: 한국과학기술한림원
발행일: 2017년 12월
발행인: 이명철(한국과학기술한림원장)
편집인쇄: 경성문화사
정가: 비매품
ISBN 979-11-86795-24-8 (94080)

목 차

핵심요약서 1

요약 5

1. 유전공학작물에 관한 미국 과학, 공학 그리고 의학한림원의 연구 29
2. 보고서 프레임워크 47
3. 2015년까지의 유전공학 작물 65
4. 유전공학 작물의 농경과 환경효과 97
5. 유전공학 작물이 인체건강에 미치는 영향 171
6. 유전공학(GE) 작물의 사회경제적 효과 255
7. 미래의 유전공학 기술 353
8. 미래의 유전공학 작물 405
9. 현재와 미래 유전공학 작물에 대한 규제 455

부록 523-584

YES to GMOs! 생명공학기술의 진실

사람들은 철도를 두려워했지만 각 국가는 철도 건설을 실행에 옮겼고 이는 결국 인기 있는 이동 수단이 되었다. 사람들은 자동차를 두려워했지만 도로에는 점차 자동차가 늘어나 이제는 자동차가 없는 세상을 상상할 수 없게 되었다. 사람들은 전기를 두려워했고 오늘날에도 전기로 인해 사망하는 사람이 발생하지만 각국의 정부는 마을 전체에 전기가 들어올 수 있도록 가능한 모든 조치를 취했다. 앞서 언급한 기술들은 여전히 사람을 다치게 하거나 심지어 죽음에까지 이르게 하지만 이들 모두 피해보다 혜택이 더 크다는 것을 이해하고 있다. 그러나 사람들이 GMO를 두려워하고 있는 가운데 GMO의 수많은 혜택이 과학자들을 통해서 알려졌음에도 불구하고 각국 정부는 이를 장려하기 위한 노력을 전혀 하고 있지 않다. 안전성에 대한 수많은 과학적 분석결과와 20년 이상 섭취하였는데도 GMO로 인해 피해를 입은 경우가 단 한 차례도 발생하지 않은 사실에도 불구하고 말이다. 전 세계 반 이상의 농민과 소비자들이 이러한 현대 생명공학 품종을 경험하거나 그 혜택을 누리지 못하도록 엄격히 저지당하고 있는 것이 오늘날의 현실이다.

— 서문에서

값 12,000원



ISBN 979-11-86396-48-3 (PDF)