면지교체

행 사 일 정

시 간	내 용	사회/좌장
14:30~14:40	**개 회**	사회 형남인 교수
	개회사 : 곽상수 회장 (한국식물생명공학회)	
	환영사 : 이철호 이사장 (한국식량안보연구재단)	
강 연		
14:40~15:10	**유전자변형작물의 생산 이용과 안전관리 현황** ▸ 유장렬 박사 (한국생명공학연구원)	좌장 황철호 교수
15:10~15:40	**Non-GMO 방식의 식물 유전체 교정** ▸ 최성화 교수 (서울대학교)	
15:40~16:10	**품종 육성을 위한 신기술 활용** ▸ 한지학 박사 ((주)농우바이오)	
16:10~16:15	**휴 식**	
종합토론		
16:15~17:00	**토론자** ▸ 조용구 교수 (충북대학교, 한국육종학회 회장) ▸ 조현석 과장 (국립농업과학원 생물안전성과) ▸ 이윤동 과장 (식품의약품안전처 수입식품정책과) ▸ 김정년 부장 (한국식품산업협회 식품안전부)	좌장 이철호 이사장
17:00	**폐 회**	

목　　차

＊ 종합토론

좌　　장 - **이철호** 이사장 (한국식량안보연구재단)

개 회 인 사

곽 상 수 한국식물생명공학회 회장

안녕하십니까?

공사다망 하신 가운데 식량안보에 관심을 가지시고 본 심포지엄에 참석하여 주신 모든 분들께 한국식물생명공학회 회원을 대신하여 감사의 인사를 드립니다. 이번 심포지엄을 국가 식량안보를 진정으로 고민하고 해결 방안을 찾는 연구에 매진하는 (재)한국식량안보연구재단과 공동으로 개최하게 되어 매우 기쁘게 생각합니다.

바쁘신 가운데 주제 강연을 해 주시는 유장렬 박사님, 최성화 교수님, 한지학 박사님, 종합토론에 참여하시는 조용구 회장님, 이윤동 과장님, 김정연 부장님, 조현석 과장님 그리고 좌장으로 수고하시는 이철호 이사장님, 황철호 교수님께 진심으로 감사드립니다.

유엔 식량농업기구(FAO)는 2050년 세계 인구가 91억 이상이 될 것이며 식량은 지금보다 1.7배 이상이 필요하다고 전망하고 있습니다. 현재 우리의 곡물자급률 24%는 국가식량안보를 크게 위협하는 수준입니다. 미래는 돈이 있어도 식량을 수입할 수 없을 수도 있습니다. 21세기 보릿고개를 걱정하지 않을 수 없습니다. 그러나 우리는 식량안보에 대한 인식부족으로 개념의 위기를 초래하고 있는 실정입니다.

국가 식량안보를 구축하기 위해서는 생산성 향상과 기능성을 극대화하는 새로운 품종을 육성할 필요가 있습니다. 생명공학 신품종(GMO) 개발은 세계적인 대세이며 우리 농업의 국가경쟁력을 높이기 위해서는 안전성이 확보된 생명공학 신품종 개발 연구에 더욱 노력해야 한다고 생각합니다. 생명공학 신품종 개발에 대한 기술이 진보하고 있으며 생명공학 신품종 개발기술의 일부를 대체할 수 있는 새로운 육종기술이 등장하고 있습니다. 이런 측면에서 국가 식량안보 구축을 위한 “GMO와 신육종기술의 현황과 전망”에 관한 심포지엄을 준비하게 되었습니다.

개 회 인 사

곽 상 수 한국식물생명공학회 회장

한국식물생명공학회는 1973년 한국식물조직배양학회로 출범하여 2010년 현재의 학회 명칭으로 개명하고 국가 식물생명산업의 활성화를 위해 산학연관 전문가가 모여 식물조직/세포배양분야, Omics분야, 생명공학 신품종 개발을 포함하여 분자육종분야 전반에 대해 활발히 노력하고 있습니다. 2016년 6월 9일 정기총회에서 생명공학 신품종 개발연구는 결코 중단돼서는 안 되며, 생명공학 신품종 연구개발의 지속적인 지원과 안전성 확보를 촉구하는 학회의 공식입장을 표명하였습니다. 또한 한국육종학회 등 5개 학회와 함께 “농업생명공학 연구개발 위축 우려에 대한 과학계 모임”을 결성하여 생명공학 신품종 연구개발과 안전성 확보를 위한 공동선언문을 2016년 6월 27일 발표한 바 있습니다.

이번 심포지엄에서 비록 제한된 시간이지만 GMO와 신육종기술 분야의 국내 최고의 과학전문가의 심도 있는 주제발표와 토론이 있을 것을 기대합니다. 본 심포지엄 조직위원장으로 수고하신 형남인 교수님과 조직위원 모두의 큰 수고에도 감사드립니다.

거듭 바쁘신 가운데 본 심포지엄에 참석하여 주신 모든 분들께 감사의 인사를 드리며 유익하고 보람된 시간이 되시길 기원합니다.

2016년 10월 21일

환 영 인 사

이 철 호 한국식량안보연구재단 이사장

여러분 반갑습니다.

식량안보를 위한 식물생명공학 심포지엄에 참석하여 주셔서 감사드리고 환영합니다. 이번 모임은 저희 한국식량안보연구재단의 17번째 식량안보세미나 이기도 합니다. 특히 이번 심포지엄은 저희 재단과 한국식물생명공학회가 공동으로 주최하게 되어 어느 때보다 알찬 토론회가 될 것으로 기대합니다. 학회 곽상수 회장님과 임원여러분들의 협조와 노력에 감사드립니다.

최근 우리나라 농업생명공학계는 무책임한 일부 반GMO 단체들의 거짓 선전과 정치 공세로 심각한 도전을 받고 있습니다. 유럽의 그린피스를 비롯한 일부 환경단체들의 해묵은 GMO 반대 주장을 그대로 받아들인 국내 반GMO 단체들이 생명공학 신품종에 대한 잘못된 공포심을 유포하여 농민단체들이 생명공학 연구 자체를 중지하라고 시위를 벌이는 사태에 까지 왔습니다. 지난 6월말에는 생명공학 관련 5개 학회가 모여 반GMO운동을 중지할 것을 요구하는 성명서를 내었고, 식품관련 학회 9개 단체가 '일부 국회의원들의 GMO 정치이슈화를 우려 한다'는 성명서를 일간 신문에 게재하였습니다.

이러한 사태에 까지 이른 것은 일차적으로 우리 과학계가 생명공학의 유용성과 안전성에 대해 적극적으로 국민 교육 홍보를 하지 못한 책임이 있습니다. 전 세계가 지난 20년간 생명공학 신품종을 생산 이용하여 그 안전성이 입증되었음에도 불구하고 우리 과학계가 이 문제에 대해 소극적인 자세를 취해왔던 것이 사실입니다. 이에 따라 정부도 확신을 갖지 못하고 국민을 GMO 공포심에 빠지도록 방치해 왔습니다. 세계 곡물시장에서 non-GMO를 구하기 어려워지는 상황에서 이런 사태가 계속되면 국가 식량수급에 심각한 차질을 빚게 되고 식량안보 위기를 맞게 되는 것이 불 보듯 한데도 식량공급을 책임지고 있는 정부 당국은 여전히 안이한 자세에 머물러 있습니다.

환 영 인 사

이 철 호 한국식량안보연구재단 이사장

오늘 이 심포지엄을 통해 생명공학 신기술의 안전성과 미래 전망에 대해 우리 과학계가 먼저 확신을 가지고 정부와 국민을 설득하고 교육하는 계기가 되기를 바랍니다. 주제 발표를 하실 유장렬 박사님, 최성화 교수님, 한지학 박사님과 토론자 여러분께 감사드립니다. 특히 ㈜농우바이오의 한지학 박사님은 저희 재단 2016년도 공모 연구과제 '세계 식량위기를 해결할 식량생산 신기술 연구'의 일환으로 오늘 발표하시게 되어 특별한 의미가 있습니다.

아무쪼록 이번 심포지엄을 통해 농업 생명공학의 안전성과 유용성에 대한 긍정적인 여론이 확장되어 국내 관련 연구가 더욱 활성화 되고 식량안보에 도움이 되기를 바랍니다. 참석하신 모든 분들의 건승과 가정의 행복을 기원합니다.

2016년 10월

주제발표 좌장

단국대학교 식량생명공학과

황 철 호 교수

학 력

서울대학교 농과대학 농학과 농학사

미국 University of Maryland 생명과학과 이학박사

경 력

단국대학교 식량생명공학과 교수

호주 University of Queensland 식물학과 방문교수, ARC-CILR 객원연구원

경기도, 충청남도 농업기술센터 겸임연구원

식품의약품안전청, 환경부 유전자변형생물체 위해성 심사위원

한국식물생명공학회 차기회장 (2017-2018)

1. 유전자변형식물의 생산 이용과 안전 관리 현황

한국생명공학연구원 박사 **유 장 렬**

Profile

유 장 렬

학 력

서울대 문리과대학 식물학과(이학사)
California Polytechnic State University 생물학과(이학석사)
Michigan State University 원예학과(농학박사)
University of Florida 채소학과(Postdoc)

경 력

한국생명공학연구원 책임연구원
한국과학기술한림원 정회원
출연(연)연구발전협의회총연합회 회장
한국식물학회 회장
한국식물생명공학회 회장
한국생물정보시스템생물학회 회장
한국대사체학회 회장
Plant Cell Reports Editor-in-Chief
Plant Biotechnology Reports Editor-in-Chief
대구경북과학기술원 초빙연구원/겸임교수
(사)미래식량자원포럼 회장

유전자변형식물의 생산 이용과 안전 관리 현황

1980년대 이후부터 생물학자들은 농작물에 유전공학을 사용하여 신소재 형질을 발현하였다. 여러 가지 이유에서 몇 안 되는 작물종에 오직 해충저항성 및 제초제 내성이라는 두 가지 형질에 대해서만 유전자재조합이 이루어졌지만, 2015년에 이르러서는 그 사용이 널리 퍼지게 되었다. 기존의 유전자재조합(GE)작물을 두고 긍정적인 영향과 부정적인 영향을 미친다는 주장이 수없이 제기되어 왔다. 따라서, 위원회가 유전자재조합작물에 관해 부여받은 직무 중 가장 중요한 것은 다음과 같았다. '과거 경험 및 향후 전망'을 통해 앞에 언급한 주장과 관련된 증거를 조사한다. 신생 유전자재조합 기술로 작물개량에 기여할 수 있는 방법을 검토하고, 또한 기술/규제 측면에서 야기될 과제는 무엇인지도 검토한다. 위원회는 GE 작물에 관한 모든 문제를 폭넓게 파악할 수 있도록 관련 문헌을 샅샅이 뒤졌고, 80명의 연사들이 다양하게 발표한 내용을 경청했으며, 일반인이 피력한 견해를 700가지 이상 읽고 그 내용을 파악했다. 이상으로, 위원회는 GE 작물에 관한 문제가 다차원적인 성격을 띠고 있어서 이를 두고 포괄적으로 제기된 진술에는 다루기 어려운 측면이 있다는 결론을 내렸다.

증거를 통해 밝혀진 바로는 GE 대두, 면화, 및 옥수수를 채용한 생산자는 경제적인 면에서 일반적으로 결과가 좋았지만, 해충의 존재비율, 농법, 및 농업 기반구조 등에 따라 그 결과가 잡다했다. 박테리아 (Bt)를 기반으로 볼 때 형질상 해충에 내성이 있는 작물은 소규모 농지든 대규모 농지든 무(無)-Bt 품종에 비해 일반적으로 수득률 손실 및 살충제 사용이 감소했다. 일부 사례에서는, 이와 같은 작물의 광범한 도입으로 지표(地表)에 창궐하던 특정 해충이 감소하여, 심지어는 Bt 형질을 갖추지 않은 작물까지도 충해(蟲害)를 줄일 수 있게 되었으므로, Bt 작물 도입으로 인해, Bt 형질 없이 합성살충제를 사용하여 유사 품종을 재배하던 것보다 농지의 해충 생물다양성을 높이는 결과가 되었다. 그러나 저항성 관리 전략을 준수하지 않았던 지역에서는 일부 표적 해충의 경우 저항성 손상 수준이 점증했다. 제초체내성(HR)작물에 제초제 글라이포세이트를 살포하면 HR을 살포하지 않은 대응물에 비해 약간 수득률이 증가하는 경우가 있었다. 농지수준의 조사에서는 HR 경작지의 작물 다양성이 비(非)-GE 대응물보다 낮게 나타나지 않았다. HR 작물 재배로 글라이포세이트 의존도가 대폭 증가했던 지역에서는 일부 잡초에 저항성이 점증하여

커다란 농경 문제를 야기하고 있다.

작물에 Bt와 HR을 지속적으로 사용하려면 해충종합관리전략을 사용해야 한다. 그런데, GE 작물이 보건에 유해한 영향을 끼치고 있다는 주장이 이어져 왔다. 수없이 되풀이된 조사를 통해 나타난 바로도 GE 작물로 가공한 식품이 비(非)-GE 작물로 파생된 식품 못지않게 안전하다고 나타났지만, 위원회는 이 주제와 관련된 여러 가지 연구를 재조사했다. 여러 차례 실시했던 가축사양(家畜飼養) 연구에서, 그 설계와 분석이 최적화된 것은 아니었지만, 동물이 GE 작물로 파생된 먹이를 먹어도 해가 없다는 합리적인 증거가 수많은 실험연구를 통해 밝혀졌다. 뿐만 아니라 GE 작물 도입을 전후로 가축 건강과 관련하여 수집한 장기 데이터는 GE 작물과 결부된 유해효과가 없다는 것을 입증하고 있다. 이외에도 위원회는 시간이 지나면서 암 발병률 및 기타 보건문제에 관한 역학(疫學) 데이터도 조사해보았지만, GE 작물로 가공한 식품이 비(非)-GE 작물로 가공한 식품보다 안전도가 떨어진다는 구체적인 증거는 어디에서도 찾아볼 수 없었다.

GE 작물이 사회 및 경제에 미치는 영향은 GE 형질의 적합성, 작물품종의 농지환경 적합성 여부, GE 종자의 품질 및 가격에 등에 따라 달라진다. GE 작물이 농민에게 이익이 되는 것은 그 규모를 따질 수 없을 만큼 다양하지만, 그렇다고 유전공학만으로 농민들, 특히 소규모 자작농이 당면하고 있는 다양하기 짝이 없는 난제를 모두 해결할 수는 없다. 농업의 복잡성과 계획 및 실행에 응집력이 있어야 한다는 점을 감안할 때 장기간에 걸쳐 지역을 막론하고 사회적 편익을 극대화하려면 반드시 일반대중 및 민간부문의 지원이 따라야 한다.

20년 전 GE 작물이 도입된 이후 분자생물학은 커다란 진보를 이루었다. 신생 기술의 등장으로 농작물에 더욱 정확하고 다양한 변경을 가할 수 있게 되었다. 해충과 질병이 갈수록 다양해져 점점 더 많은 작물이 시달리고 있다는 점을 염두에 두고 저항성 형질을 개발하는 것도 가능할 것 같다. 잠재적인 수득률 및 영양소 사용의 효율성을 높이기 위한 연구도 진행되고 있지만, 아직은 성공을 예단하기가 시기상조다. 위원회는 식량안보 및 기타 난제에 대처할 수 있도록 신생 유전자재조합 기술과 기타 접근법에 공공투자를 전략적으로 이용하도록 권장한다.

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

Genetically Engineered Crops: Experiences and Prospects

Released May 17, 2016

유 장 렬

한국생명공학연구원

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

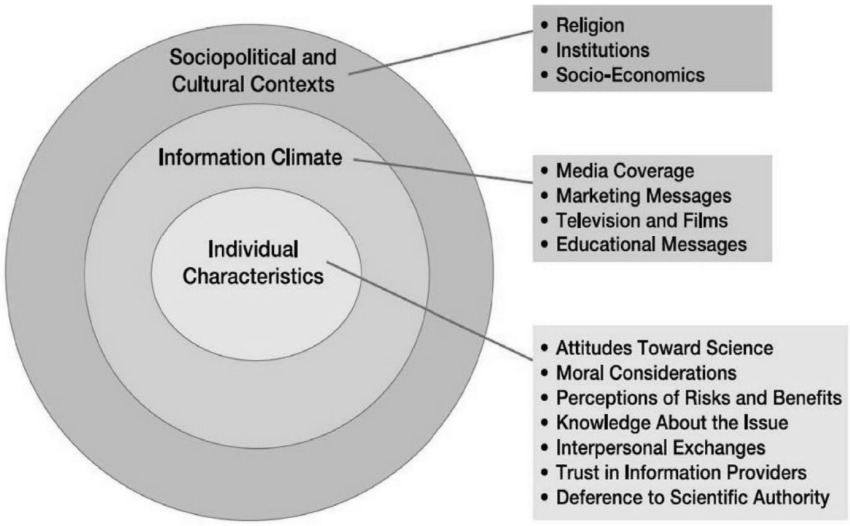
Motivation for Study

- Claims and research that extol either the benefits of or the risks p osed by current genetically engineered (GE) crops and food have created a confusing landscape for the public and policy-makers.
- A clear need for a study that carefully examined the evidence behind these claims and the rigor of the research.
- Because the GE technologies are changing so rapidly, there was a need for a study examining the cutting edge, and where that may take us in the future.

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

Contextual filters that influence a person's perception of scientific innovations



The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

20+ Years of Experience with Genetically Engineered Crops

1980s
- Since the 1980s, genetic engineering has been used to express many traits in plants

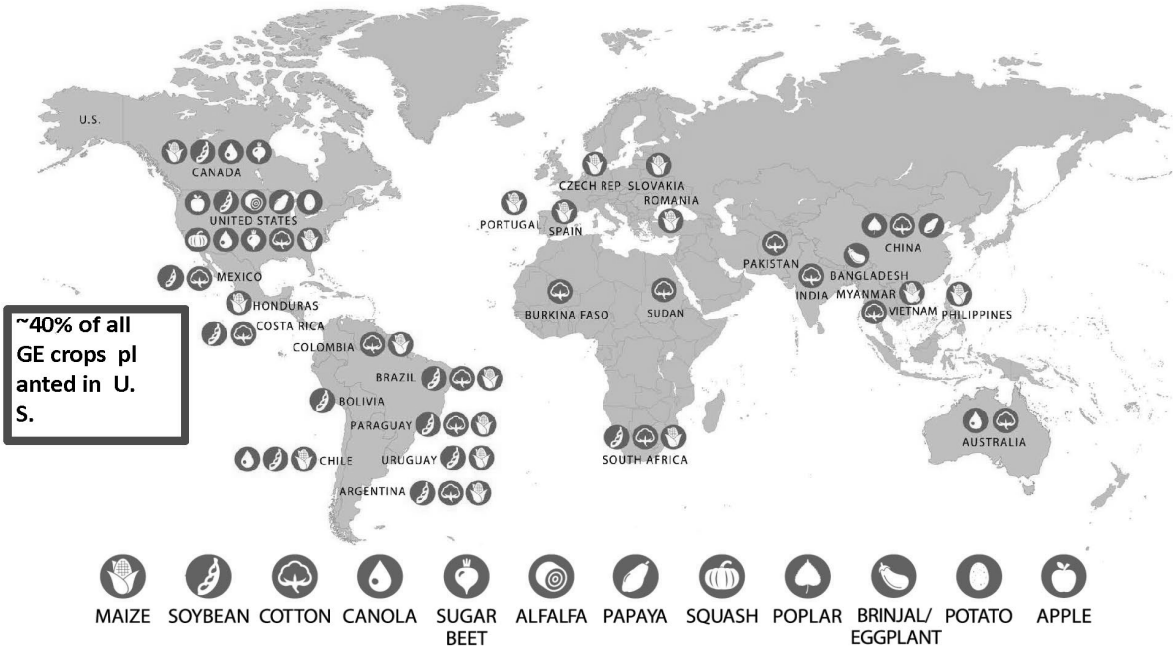
1990s
- First introduced into commercial production in mid-1990s

To date
- For a variety of reasons, only a few GE traits are in widespread use.
- Herbicide resistance and insect resistance
- In maize, soybean, and cotton

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

GE Crops Planted on 12% of World's Cropland



The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

Committee on Genetically Engineered Crops

Entomology
- **Fred Gould (Chair),** North Carolina State University

Molecular Biology and Genomics
- **Richard M. Amasino,** University of Wisconsin–Madison
- **C. Robin Buell,** Michigan State University

Crop Biotechnology
- **Richard A. Dixon,** University of North Texas
- **C. Neal Stewart,** University of Tennessee

Risk Communication
- **Dominique Brossard,** University of Wisconsin–Madison

Economics
- **José B. Falck-Zepeda,** International Food Policy Research Institute (IFPRI)

Toxicology
- **Michael A. Gallo,** Rutgers-Robert Wood Johnson Medical School (retired)

Food Science
- **Bruce R. Hamaker** Purdue University

Ecology
- **Ken Giller,** Wageningen University
- **Peter M. Kareiva,** University of California–Los Angeles

Weed Science
- **Carol Mallory-Smith,** Oregon State University

Plant Breeding
- **Kevin Pixley,** International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT)
- **David M. Stelly,** Texas A&M University and Texas A&M AgriLife Research

Sociology
- **Leland Glenna,** Pennsylvania State University
- **Elizabeth P. Ransom,** University of Richmond

Law
- **Michael Rodemeyer,** University of Virginia (formerly)
- **Daniel Magraw,** Johns Hopkins University School of Advanced International Studies

Food Safety
- **Robert J. Whitaker,** Produce Marketing Association

Agronomy
- **Timothy S. Griffin,** Tufts University

This study was supported by the Burroughs Wellcome Fund, the Gordon and Betty Moore Foundation, the New Venture Fund, the U.S. Department of Agriculture, and the National Academy of Sciences.

Committee's Process

- *1996 National Research Council report, Understanding Risk: Informing Decisions in a Democratic Society.* A purely technical assessment of risk could result in an analysis that accurately answered the wrong questions and will be of little use to decision makers.
- *Academy study process.* "Efforts are made to solicit input from individuals who have been directly involved in, or who have special knowledge of, the problem under consideration."
- *Academy study process.* "Report should show that the committee has considered all credible views on the topics it addresses."

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

Committee's Process

- Examined the relevant literature (1000+ research and other publications)
- Held information-gathering meetings
  - 80 presentations (archived)
- Read more than 700 comments submitted by members of the public

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

Broad Communications Throughout Study

- 1800 subscribers
- 1200 Twitter followers
- 2-min Statement of Task v ideo; meet the members videos
- Topical understandable products

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

A Key Message:
No Longer Clear Distinction Between Crop-Improvement Approaches

- New technologies in genetic engineering and conve ntional breeding are blurring the distinction betwee n the two approaches (e.g., Gene editing and TILLIN G)
- It is not possible to make sweeping generalizations about the benefits and risks of GE crops
- All technologies for improving plant genetics have the potential to change foods in ways that raise s afety issues

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

Committee's Analysis of Current GE Crops

- Based on **experience to date**
  - Mostly restricted to herbicide-resistant and insect-resistant varieties of maize, cotton, and soybean
  - Data from industrial-scale and low-resource farms
- Analysis conducted for:
  - Agronomic and environmental effects
  - Human health effects
  - Social and economic effects

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

Agronomic and Environmental Effects: **Insect Resistance** in Maize, Cotton, and Soybean

- Reduction in yield losses from insect pests.
- Application of synthetic insecticides to *Bt* maize and cotton has decreased.
- Often higher insect biodiversity than in plantings of similar varieties without the *Bt* trait but with synthetic insecticides.
- Where resistance-management strategies were not followed, damaging levels of resistance evolved in some target insects.

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

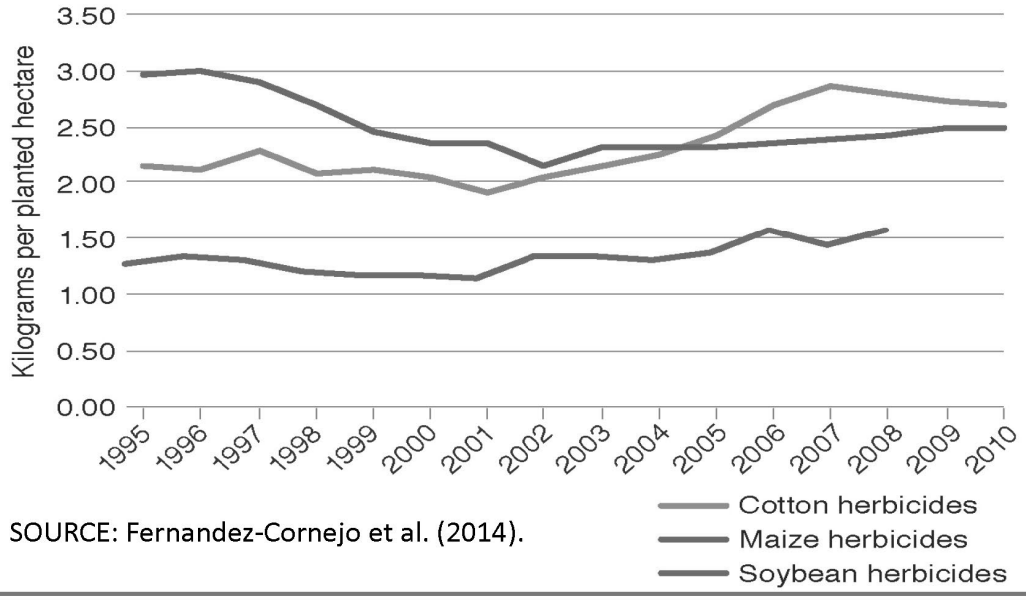
Agronomic and Environmental Effects: **Herbicide Resistance** in Maize, Cotton, and Soybean

- Herbicide-resistant crops sometimes contribute to higher yield but mostly increase flexibility in farm operations.
- Weeds have evolved resistance to glyphosate.
- Integrated weed-management approaches should be used to delay resistance. (This is true for GE and non-GE crops.)

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

Herbicide use in cotton, maize, and soybean in the United States, 1995–2010



SOURCE: Fernandez-Cornejo et al. (2014).

Experiences: Agronomic and Environmental Effects

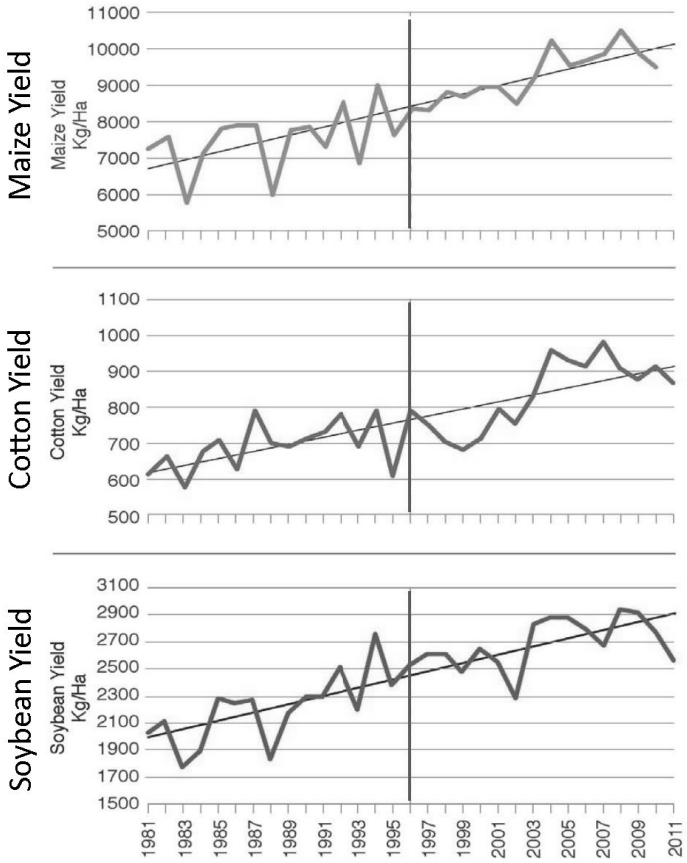
General Findings:

- Although gene flow has occurred, no examples have demon strated an adverse environmental effect of gene flow from a GE crop to a wild, related plant species.
- No conclusive evidence of cause-and-effect relationships between GE crops and environmental problems.
- No evidence from USDA data that genetic engineering has increased the rate at which U.S. crop yields are increasing.

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

Yields of maize, cotton, and soybean in the United States, 1980–2011.



USDA Data SOURCE: D uke (2015)

농경 및 환경에 미치는 영향에 관한 권고

- 현재와 미래의 유전공학 형질들이 전체 농장 수율에 기여하는 정도를 산출하기 위하여 수율에 관여하는 여러 환경과 유전요소들의 효과를 개별적으로 파악하는 연구가 필요함
- 향후 Bt 형질이 도입된 작물 품종과 도입하지 않은 품종을 비교하는 실험적 조사연구에서는 충해(蟲害) 감소에 기인한 수율 차이가 얼마나 되며, 생물학(품종차이) 또는 사회적 요인에 기인하는 차이는 얼마나 되는지를 평가하는 것이 중요함
- 이론 및 경험적 증거로 보아 Bt 작물에는 고용량/피신처(high dose/refuge)전략이 내성(耐性)진화를 지연시키는데 도움이 된다는 점을 감안해서, 독소가 한 가지 이상 함유된 고용량이 아니면 작물 품종으로 개발하지 못하도록 하고, 적절한 피신처용 재배를 장려함
- 종묘업자들에게는 해당지역 및 농경 상황에 요구되는 해충저항성 형질만을 가진 수율높은 작물 품종을 농민들에게 공급하도록 권장해야 함
- 제초제의 종류에 따라 독성이 서로 다르므로 연간 헥타르당 제초제 사용 총량을 킬로그램 단위로 단순 비교하는 데이터를 발표하여 독자들이 오해하는 일이 없도록 해야 함
- 형질에 한 가지 이상의 제초제내성(耐性) 유전공학 작물이 재배되는 곳에서 제초제내성(耐性)진화를 지연시키려면 단순한 제초제 혼용살포 방식을 벗어나 종합잡초방제가 필요함. 여기에는 농민을 위한 순회교육 프로그램과 종합방제에 대한 우대조치를 실효성 있게 운영하는 것이 필수임
- 잡초의 내성(耐性)을 지연시키기 위해서 복합적 전략을 사용할 수 있지만, 특정 작부체계에서 어떤 전략이 효과가 가장 좋을지 확인할 수 있는 경험적 증거는 충분하지 못하다. 그러므로, 잡초의 내성(耐性)관리 전략을 향상시키기 위한 실험실 및 농업현장 수준의 연구가 지원되어야 함

Experiences: Human Health Effects

The committee re-examined most of the original studies:

- Studies conducted with animals. (Not optimally designed)
- Long-term data on the health and feed-conversion efficiency of livestock.
- Comparative data on nutrient and chemical composition.
- Epidemiological data of specific health problems for populations in the United States and Canada compared to United Kingdom and western E urope.

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

Experiences: Human Health Effects

CONCLUSION: No persuasive evidence of adverse health eff ects directly attributable to consumption of foods derived fr om GE crops.

CAVEAT: With any new food, GE or non-GE, there may always be some subtle ***favorable or adverse health effects*** that are n ot detected even with careful scrutiny, and health effects can develop over time.

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

보건에 미치는 영향에 관한 권고

- 동물시험에서 생물학적으로 연계된 것으로 간주되는 측정을 할 때에는 처리구간에는 충분한 차이가 인정되어야 함
-
- 가능한 한 선행 시험을 통해 확인된 처치표준편차 미만을 토대로 검증력 분석을 실시하여 생물학적으로 유관하다고 간주되는 차이를 검출할 수 있는 개연성을 높여야 함
- 앞서 발표되었던 연구가 GE 작물이 건강에 미치는 영향을 두고 모호한 결과를 제시한 경우, 신뢰할 만한 연구방법, 인원, 및 공개 경로 등을 사용하는 사후 조사를 통해 규제결정의 불확실성을 줄이고, 그 정당성은 제고해야 함
- 초기 또는 예비시험이 합리적으로 설계되었음에도 모호한 결과가 나타난 경우 독자적인 사후 연구를 뒷받침할 수 있도록 미국의 공적자금을 제공해야 함
- 새로운 농산물을 시판할 단계에서 정확한 시험방법이 제공될 수 있도록 미래 유전자재조합 생산물을 시험하기 위하여 분자수준의 접근방식에 기반한 새로운 연구에 공적자금이 제공되도록 시급하게 조치해야 함

Experiences: Social and Economic Effects

CONCLUSION: Available evidence generally indicates favorable economic outcomes for producers of GE maize, cotton, and so ybean, although there is high heterogeneity.

CAVEAT: Although GE crops have provided economic benefits to many small-scale farmers in the **early years of adoption**, enduri ng and widespread gains will depend on institutional support a nd access to profitable local and global markets.

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

Experiences: Social and Economic Effects

CONCLUSION: Benefits to intended stakeholders depend on the social and economic contexts in which technology is developed and diffused.

- **Regulations** need to balance biosafety and consumer confidence with impacts on innovation and deployment of beneficial products.
- **Patents** may limit access for farmers and plant breeders who lack resources.
- **GE crops alone** are not able to address the complex challenges to productivity on small-scale farms in food insecure places.

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

사회 및 경제에 미치는 영향에 관한 권고

- GE 작물 연구개발투자는 생식질(生殖質), 환경조건, 관리실무, 그리고 사회경제 및 물리적 기반구조를 개선하여 수율을 증진하고 안정화하기 때문에 농업생산 및 식품안전성 문제를 해결할 수 있는 여러 가지 잠재적 방법 중 하나가 될 수 있음. 정책 입안자들은 비용효율이 가장 높은 방법을 결정하여 위에 언급한 범주의 자원 배분을 통해 생산을 증진해야 함
- 더 많은 연구를 실시하여 농민이 현행 규정을 숙지함으로써 활용할 수 있는 방법을 확인해야 함. 이외에도 연구를 통해, 일반적 GE 형질 또는 특정한 GE 형질의 유전자재조합이 농민의 탈숙련화(deskilling)에 도움이 되는지, 그렇다면, 어느 정도로 도움이 되는지 확인해야 함
- GE 작물의 규제절차 이행과 결부된 비용을 개산(概算)할 수 있도록 강력하고, 일관되며, 엄격한 방법론을 개발해야 함
- 더 많은 연구를 실시하여 GE 및 관행육종 작물의 현행 지적재산권 보호에 관한 편익 및 문제점을 증거로 입증해야 함
- 더 많은 연구를 실시하여 종자시장 집중이 GE 종자 가격에 영향을 미치는지, 미친다면 그 영향이 농민에게 유리한 것인지 불리한 것인지 판정해야 함
- 연구를 통해, 형질 집적 (즉, 특정 품종이 한 가지 이상의 GE 형질을 함유하는 것)으로 농민에게 필요한 종자가 더 비싼 값으로 팔리게 되는지 확인해야 함
- 사기업(私企業)에게 시장수익률을 크게 올려주지 않는 기초연구투자 및 작물투자는 확대해야 함. 그러나, 공공기관의 포트폴리오가 바뀌어, 점차 사기업(私企業)의 포트폴리오를 닮아가는 징후가 나타나고 있음

Prospects for Novel Genetically Engineered Crops

CONCLUSION: Emerging genetic-engineering technologies are expected to increase the precision, complexity, and di versity in GE crop development.

- **Resistance traits** for a broader array of insect pests and diseases in more crops are likely.
- **High uncertainty** about other new traits, such as increased efficiency in photosynthesis and nitrogen use.
- **Balanced public investment** in diverse GE and non-GE approaches is recommended to address food security.

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

유전자재조합의 전망에 관해 드리는 권고

- 새로운 작물 품종이 보건 및 환경에 미치는 영향은 그 의도 여부를 불문하고 평가해서 농작물의 생산 및 품질을 향상할 수 있는 '오믹스'(omics) 기술의 잠재적 가능성을 실현할 수 있도록 시스템 수준에서 식물학의 지식 베이스 (DNA, RNA, 단백질, 및 대사산물)를 더욱 확충하여 관행육종 및 유전자재조합 작물종 두 가지 모두에 고유하게 내재된 변이폭(變異幅)을 감안하여 이를 구축해야 한다.

- 이 같은 유전자재조합 기술 및 그 외의 다양한 방식에 소요되는 공공투자는 전세계 및 지역적 식량부족의 위험을 완화하기 위해 필수불가결하므로 균형을 이룰 수 있도록 관리해야 한다.

Prospects for Evaluation of Crops with Novel Characteristics

- -Omics technologies can provide a "fingerprint" of a plant's composition.
- These technologies can examine new GE and non-GE crops for intended and unintended effects.
- Further development of -omics is needed.

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

Diverse Regulatory Approaches

- Regulatory processes for products of genetic engineering differ among countries because they mirror the broader social, political, legal, and cultural differences.
- All issues cannot be answered by technical assessments alone.
- Disagreements among countries about regulatory models and resulting trade disagreements are expected to continue as part of the international landscape.

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

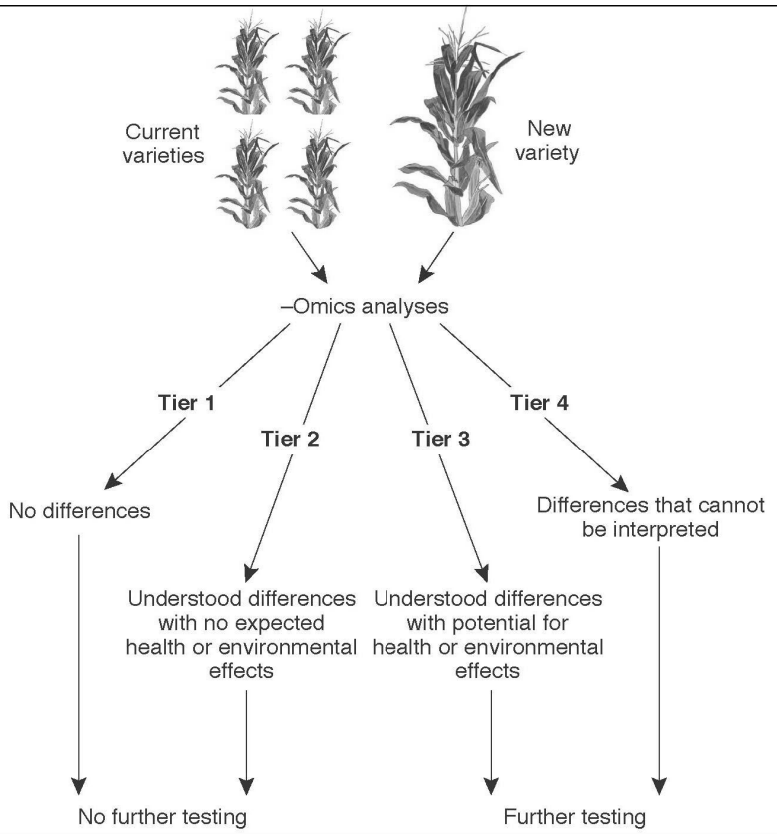
The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

Regulation Should Be Based on Novelty

- In determining whether a new plant variety should be subject to safety testing, regulators should focus on:
  - ➢novel characteristics
  - ➢uncertainty about risk
- -Omics technologies will be critical in enabling these regulatory approaches

BOARD ON AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE



Proposed strategy for evaluating crops using -omics technologies

규제에 관한 권고

- 생산물 안전성 이슈 외에도, 생산물 안전성을 웃도는 사회경제적 이슈는 다양한 이해관계자들이 경쟁적으로 추구하는 이해관계 및 내재적인 교환조건을 헤아려주는 방식으로 정책입안자, 민간부문, 및 공공부문이 다루어야 하는 기술거버넌스 (technology-governance) 이슈에 해당됨

- 규제당국은 (유전자가위 및 합성생물학 등) 신생 유전자재조합 기술 또는 그 기술을 이용하는 생산물의 규제방법 및 ('오믹스' 기술 등) 새로운 규제방법론의 적용에 관해 솔선해서 일반인들과 소통해야 함. 또한, 이 같은 이슈에 관해 일반인들이 의견을 개진하도록 솔선해서 추구해야 함

- 영업비밀 또는 기타 법적근거로 특정 정보를 공시(公示)에서 제외하기로 결정할 경우, 규제당국은 투명성, 정보 접근성, 및 일반대중의 참여 등이 갖는 중요성을 명심해서, 가급적 예외를 최소화해야 함

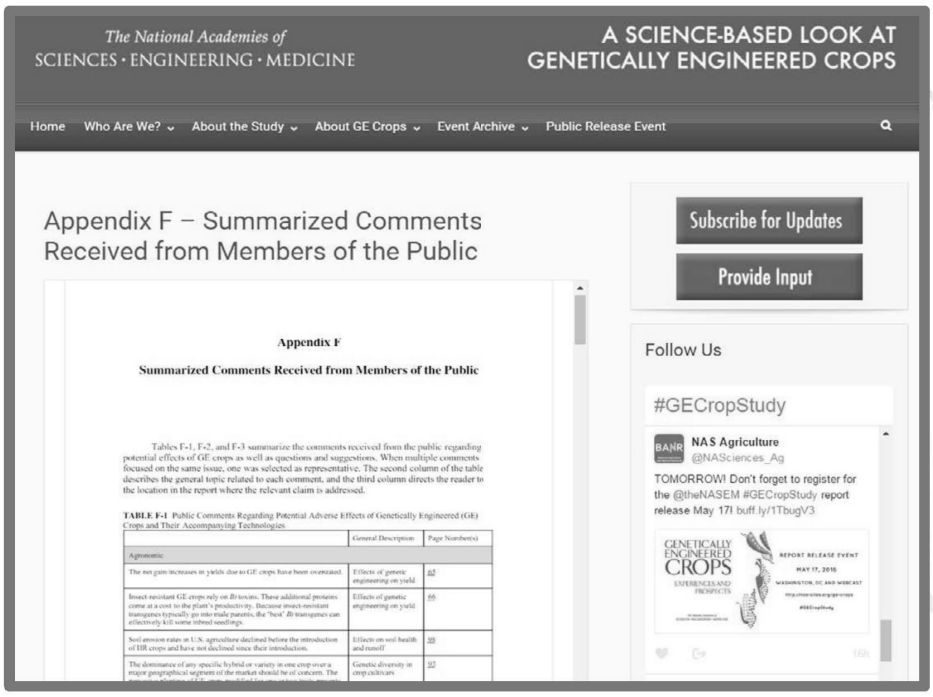
- 환경위해성을 담당하는 규제기관에게는 요구사항을 계속 부과할 수 있는 권한을 부여해서, GE 작물이 시판 승인을 받은 다음에도 환경에 예기치 못한 영향을 미치고 있는지 감시하도록 규정해야 함

- 새로운 작물 품종의 시판 전 정부안전성승인(premarket government approval for safety) 여부를 결정할 경우, 규제기관은 신소재 작물 품종의 육종절차와는 무관하게 작물 품종 (의도적인 것과 비(非)의도적인 것)의 신소재 특성이 건강 또는 환경에 야기할 수 있는 위해(危害) 개연성의 범위, 잠재적 위험의 심각도에 관한 불확실성의 범위, 그리고 잠재적 노출 가능성 등을 중점적으로 검토해야 함

Interfaces with the Reader

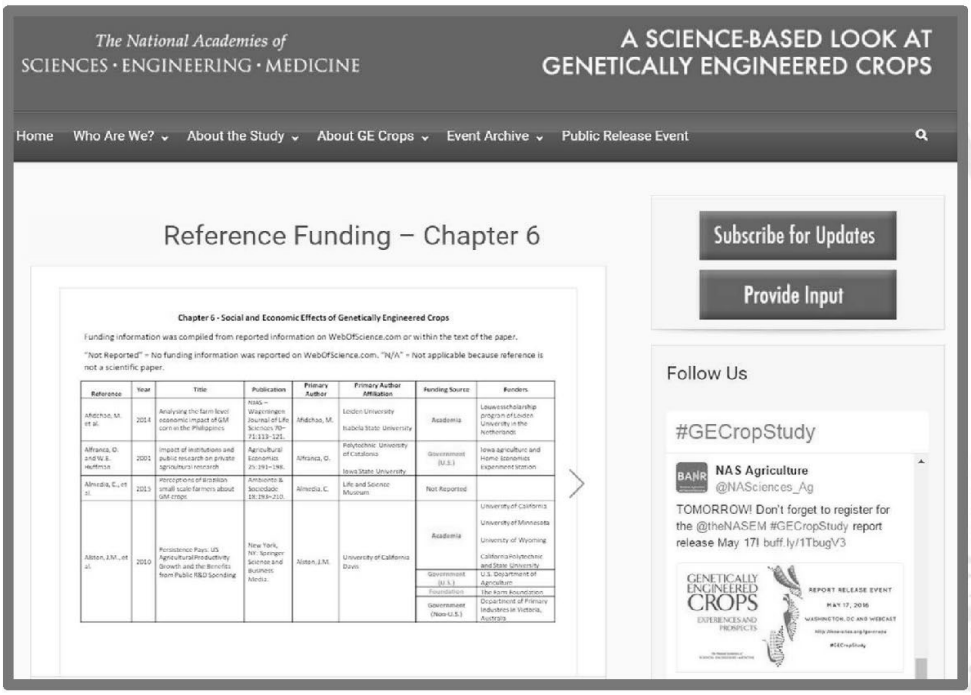
The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

Interfaces with the Reader



The National Academies of
SCIENCES · ENGINEERING · MEDICINE

Interfaces with the Reader



Only able to identify funding for 55.3% of studies

2. Non-GMO 방식의 식물 유전체 교정

서울대학교 교수 **최 성 화**

Profile

최 성 화

학 력

University of Arizona, Ph.D., 유전학 및 생화학
서울대학교 이학석사, 생물학
서울대학교 이학사, 식물학
한국방송통신대학교 이학사, 컴퓨터과학

경 력

University of Arizona, 연구교수
美 Ceres, Inc., 책임연구원
美 University of Wisconsin-Madison, 객원교수
美 Purdue University, 객원교수
차세대융합기술연구원, 부원장 및 부설 컨텍아카데미 소장
농촌진흥청 식물분자육종사업단, 연구책임자
차세대융합기술연구원, 식물 기능성 소재 융합연구실장
(주) 지플러스 생명과학 대표이사
서울대학교 생명과학부, 조/부/정교수

Non-GMO 방식의 식물 유전체 교정

식물은 인류에게 식량뿐 아니라 의약품과 섬유 등을 공급하기 때문에 의식주 전체에 걸쳐 반드시 필요한 생명자원이다. 이처럼 식물은 인류역사에서 핵심적인 역할을 수행해 왔지만 최근 대기온도 상승 등 자연 환경 변화와 인류의 행동 방식이 다양화됨에 따라 보다 새로운 형질을 갖는 작물의 확보가 시급한 실정이다. 실제로 2050년 전 세계 인구는 90억 명을 넘어설 것으로 예상되는데 이와 같이 많은 인구를 부양하기 위해서는 현재 대비 60%이상의 괄목할만한 식량증산이 필요하다. 하지만 농경지는 더 이상 늘리기 어려우며 지구온난화 등 기후조건도 급변하여 식량증산에 먹구름이 드리워져 있다.

우리나라뿐 아니라 전 세계적으로 전통육종 방법은 지난 30여 년간 지속적으로 신품종을 공급하는 도구로 사용되어 왔다. 하지만 보다 획기적인 식량증산을 위해서는 전통 육종 방법을 보충할 수 있는 더 새롭고 정밀한 기술이 필요하다. 외부유전자를 작물에 도입하여 새로운 형질을 구현하는 작물생명공학 기술은 다국적 종자회사를 중심으로 발전하여 제초제 저항성 작물의 상용화가 미국과 브라질 등 아메리카 대륙에서 집중적으로 진행되고 있다. 하지만 GMO에 대한 소비자의 수용성이 아직 매우 낮은 점을 감안하면 기존의 GMO 기술을 대치할 새로운 방법이 요구되고 있다.

새로운 기술에 요구되는 사항은 작물의 유전체를 Non-GMO방식으로 교정하며 신품종 개발기간은 단축시키고 또 안전성은 높이는 것을 골자로 한다. 기존 GMO방식은 새로운 형질을 작물에 도입하기 위해 식물 병원균인 아그로박테리움을 사용하여 유전자를 도입하고, 또 형질전환체를 선발하는 과정에서 아그로박테리움이 전달한 항생제 저항성 유전자를 마커로 이용한다. 이러한 GMO 방법을 통해 다국적 종자회사는 제초제 저항성 콩이나 옥수수 등을 제작해 전 세계적으로 판매하고 있다.

이러한 상황에 맞추어 본 연구진은 아그로박테리움을 사용하지 않고 또 외부유전자의 도입 없이 새로운 형질을 창출할 수 있는 방법을 유전자가위 시스템 중 하나인 CRISPR/Cas9를 이용해 성공하였다. 시험관 내에서 CRISPR/Cas9 유전자 가위(RGEN)를 제작한 후 이 단백질 복합체를 아그로박테리움의 도움 없이 상추, 애기장대, 벼 등의 식물 세포 내부로 도입하여 유전체를 교정케 한 후 교정된 세포로부터 새로운 식물체를 재분화 시키는 방법을 골자로 하고 있다.

이러한 방법을 통해 유전체가 교정된 상추를 개발했으며 교정된 유전자는 다음세대까지 성공적으로 유전되고 있음을 확인하였다. 향후 이러한 기술을 벼, 옥수수, 콩, 고추 등 주요 작물로 확대하고자 한다. 주요 작물에서 Non-GMO방식으로 보다 안전한 작물이 개발된다면 이는 분명 인류의 생존에 크게 기여할 것으로 보인다.

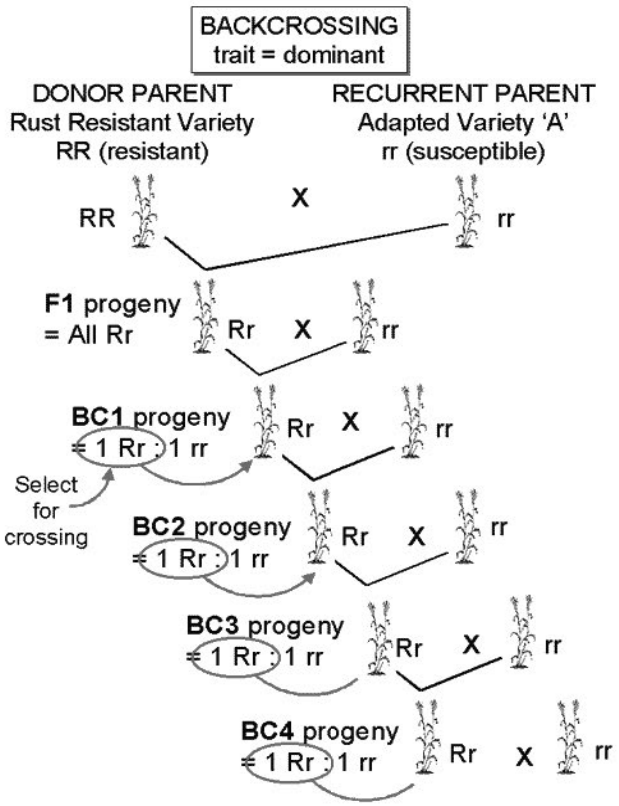
DNA-Free Genome Editing in Plants

Sunghwa Choe 최성화 崔聖和
School of Biological Sciences
College of Natural Sciences
Seoul National University
Seoul, Korea

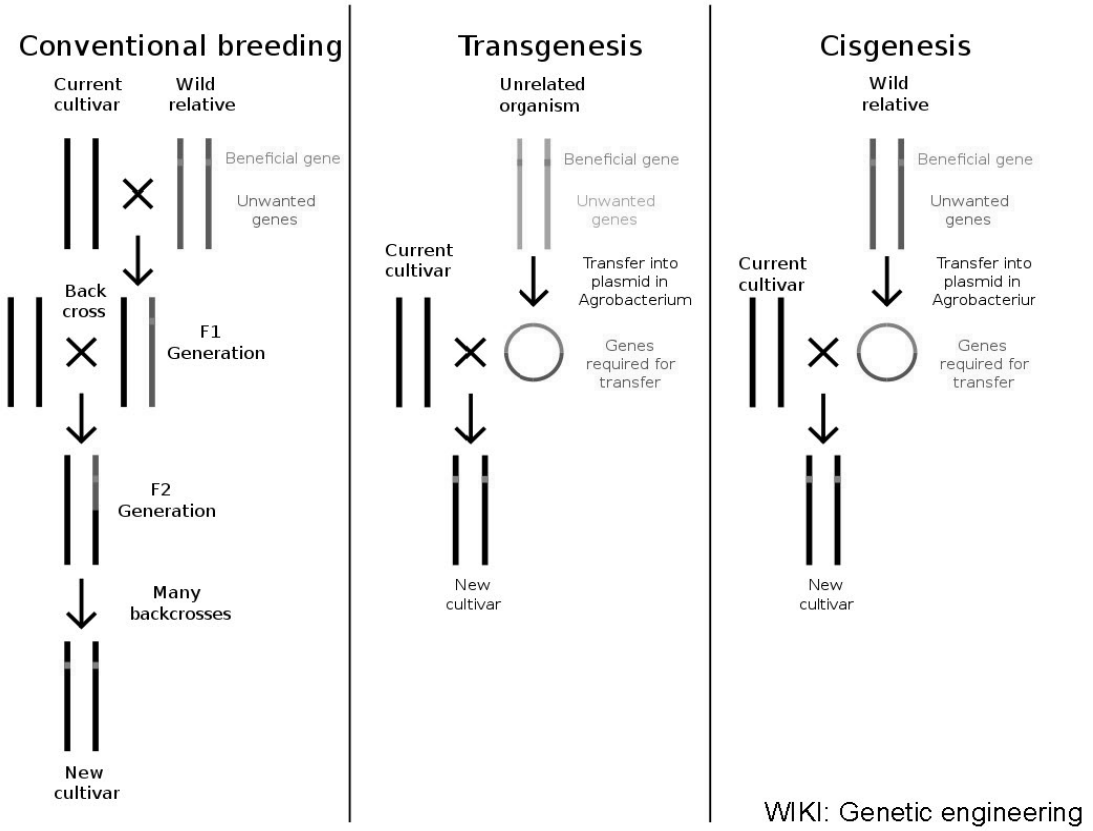
shchoe@snu.ac.kr

Nature Reviews | Genetics

Laos Vientiane NAFRI research institute for agriculture and forestry

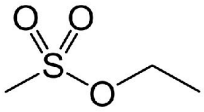


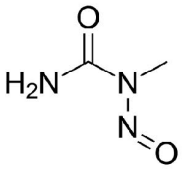
http://passel.unl.edu/



Source of variation

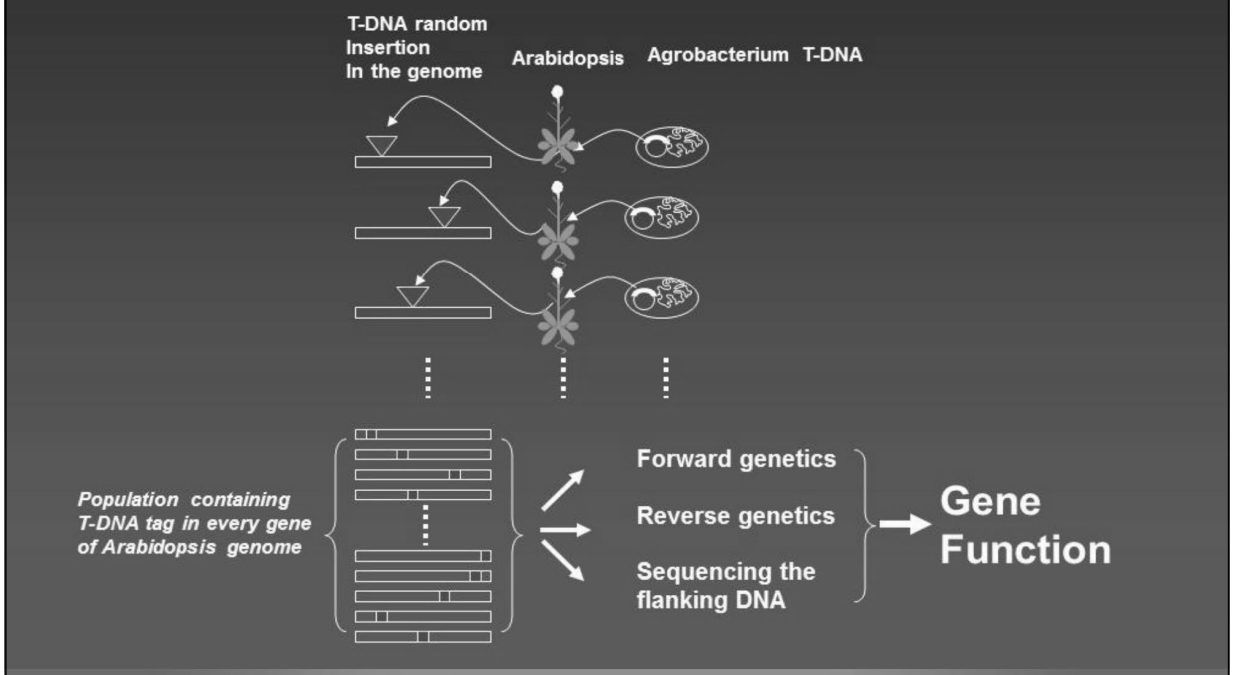
- Natural variation (mutation)
  - Generally regarded as safe: all possible mutations including indels
- Chemical mutagenesis
  - EMS (Ethyl methanesulfonate)
  - NMU (*N*-Nitroso-*N*-methylurea)
  - etc





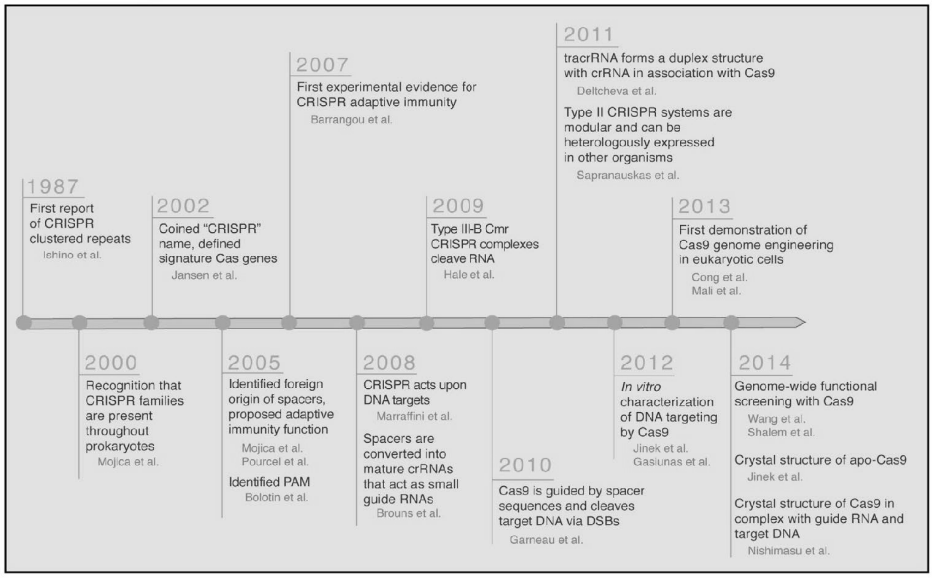
- Radiation
  - Fast neutron
- DNA mutagen
  - Transposon
  - Agrobacterium transfer DNA (T-DNA)
- Biotechnological precise genome surgery
  - Non-random, planned correction

T-DNA random tagging and subsequent identification of insertion for functional genomics



7

Key Studies Characterizing and Engineering CRISPR Systems

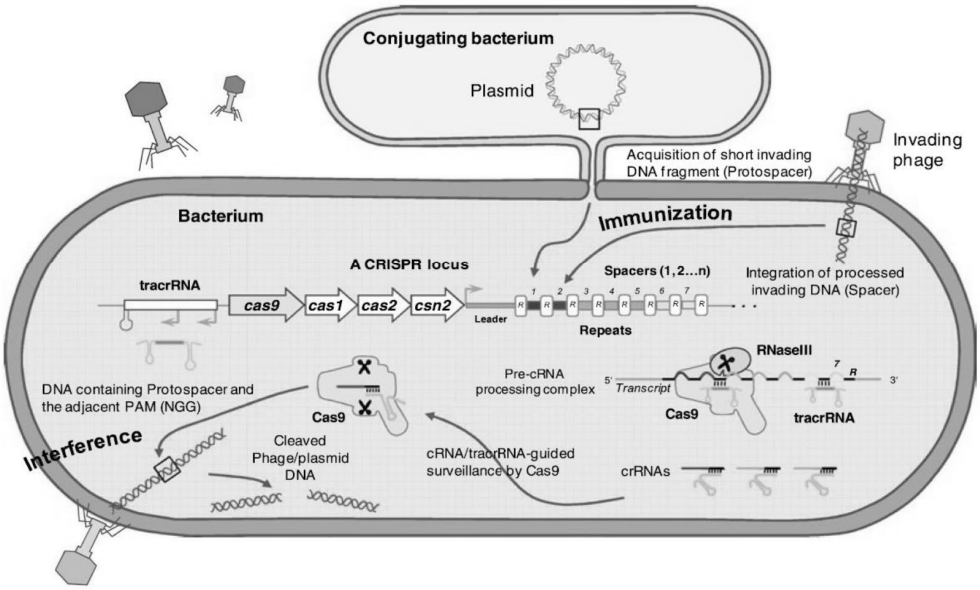


Hsu PD, Lander ES, Zhang F (2014) Development and applications of CRISPR-Cas9 for genome engineering. Cell 157:1262-1278

8

CRISPR/Cas9 RNA-mediated DNA cleavage in Bacterial Immunity

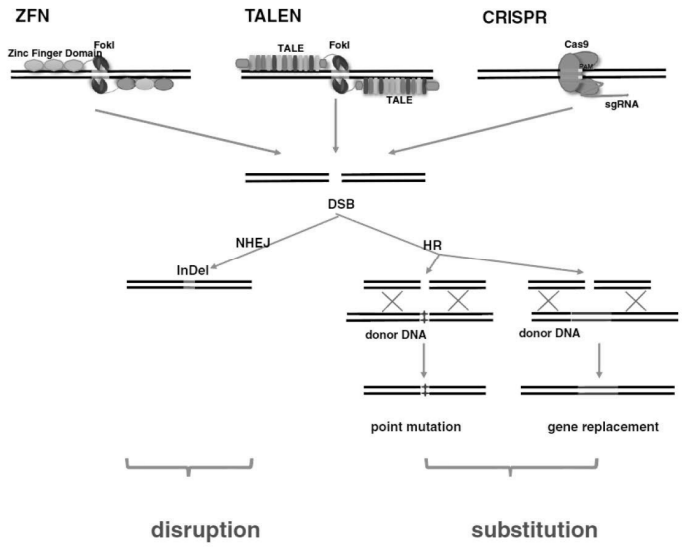
Streptococcus pyogenes



Fichtner F, Urrea Castellanos R, Ulker B (2014) Precision genetic modifications: a new era in molecular biology and crop improvement. Planta 239:921-939

9

Targeted genome editing

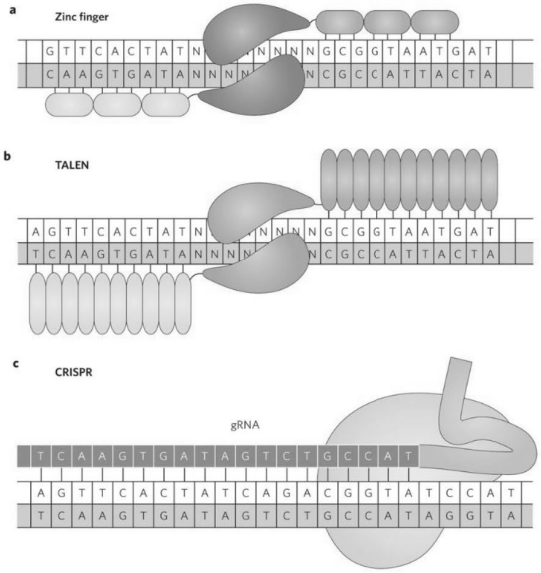


ZFN (Zinc Finger Nuclease)
TALEN (Transcription Activator-Like Effector Nuclease
CRISPR/Cas9 nuclease (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats/Cas9 nuclease)

Chen L, Tang L, Xiang H, Jin L, Li Q, Dong Y, Wang W, Zhang G (2014) Advances in genome editing technology and its promising application in evolutionary and ecological studies. GigaScience 3:24

10

Site-directed nucleases

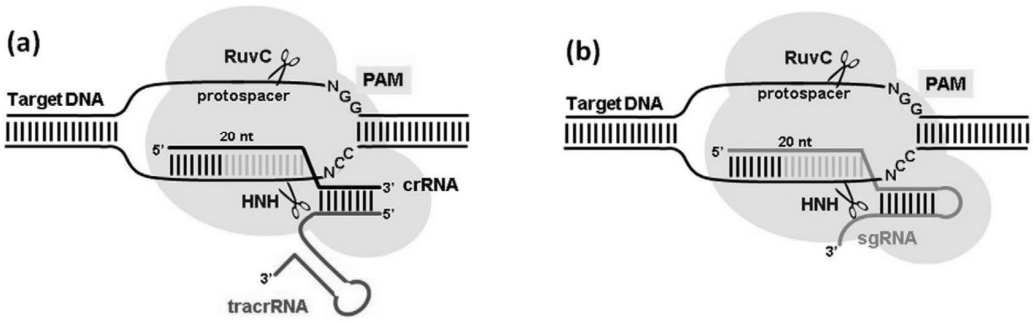


ZFN (Zinc Finger Nuclease)
TALEN (Transcription Activator-Like Effector Nuclease
CRISPR/Cas9 nuclease (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats/Cas9 nuclease)

From Huw Jones 2015 Nature Plants

11

CRISPR/Cas9 mechanism



Bortesi L, Fischer R (2015) The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing and beyond. Biotechnology advances 33:41-52

12

GMO Regulations

United States Department of Agriculture
Animal and Plant Health Inspection Service

About APHIS | Ask The Expert | Careers | Contact Us | Help

Search

Home | Our Focus | Resources | Newsroom | Blog

Biotechnology (BRS) / Am I Regulated Under 7 CFR Part 340?

- **Biotechnology (BRS)**
- Am I Regulated Under 7 CFR Part 340?
  - Regulated Article Letters of Inquiry
- Program Overview
- Engagement on APHIS Biotech Regulations
- Permits, Notifications, and Petitions
- Guidance Documents
- Biotechnology Quality Management System (BQMS)
- Compliance and Inspections
- Environmental Documents
- Library
- Regulations

Am I Regulated Under 7 CFR part 340?

Last Modified: Oct 15, 2015 | Print

Regulated Article Letter of Inquiry Submission Process

Biotechnology Regulatory Services provides oversight of certain genetically engineered (GE) organisms to protect plant health, by regulating the introduction—meaning the importation, interstate movement, and environmental release—of those GE organisms that may pose a pest risk to plants. The definition of a regulated article is found at 7 CFR § 340.1, which can be read at /brs/pdf/7cfr340.pdf.

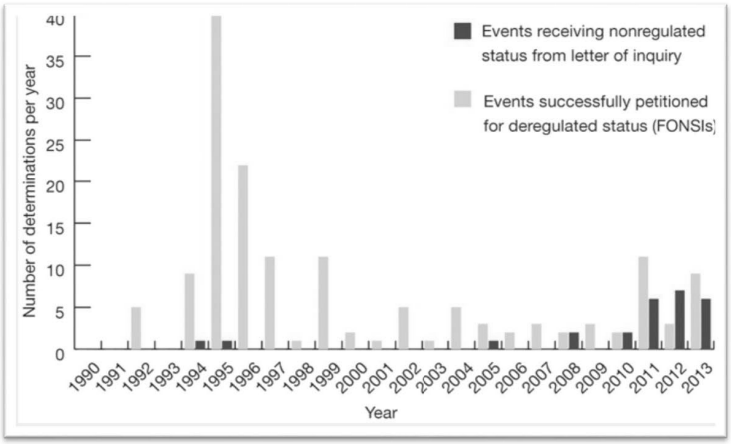
If your GE organism meets the definition of a regulated article and you plan to import it, move it interstate or release it into the environment, you will need to apply for a permit or notification.

If you are unsure whether your GE organism meets the definition of a regulated article as described in 7 CFR part 340, you may seek a determination from BRS by sending a signed letter with the information below to:

Dr. Michael J. Firko
APHIS Deputy Administrator,
Biotechnology Regulatory Services
4700 River Rd, Unit 98
Riverdale, MD 20737

13

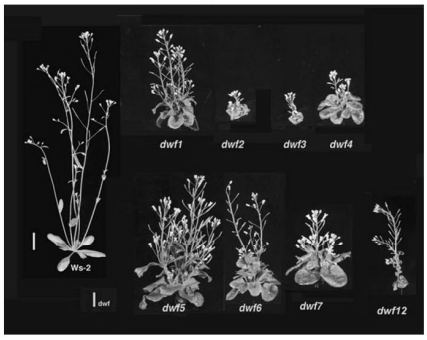
Regulations and plant biotechnology

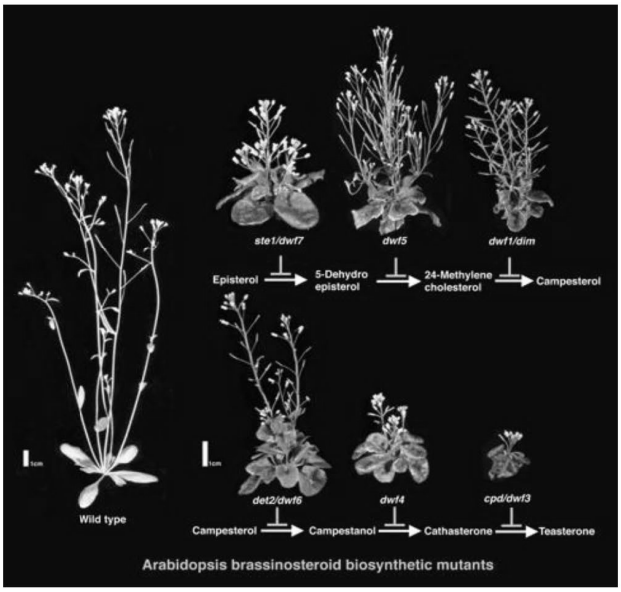


From
Genetically engineered crops that fly under the US regulatory radar
Alex Camacho, Allen Van Deynze, Cecilia Chi-Ham & Alan B Bennett
Nature Biotechnology **32**, 1087–1091 (2014) | doi:10.1038/nbt.3057
Published online 07 November 2014

14

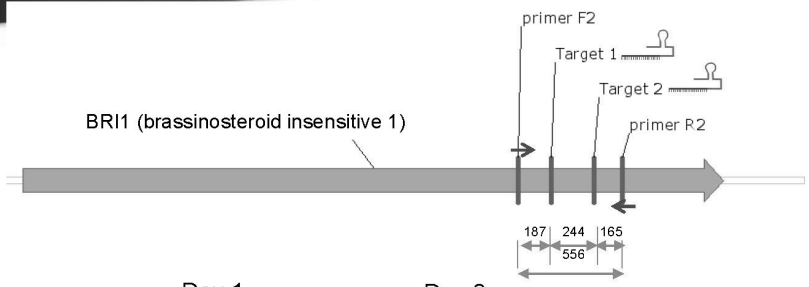
Arabidopsis brassinosteroid mutants

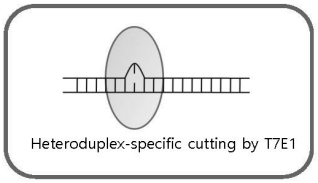


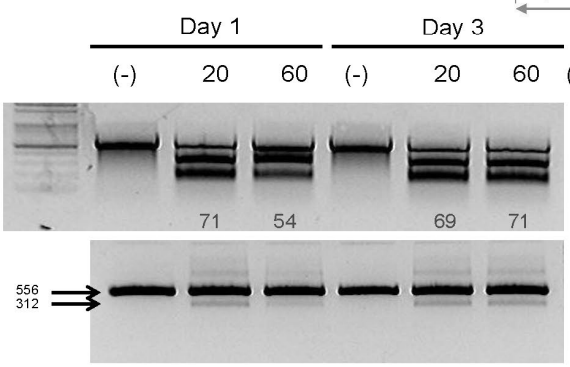


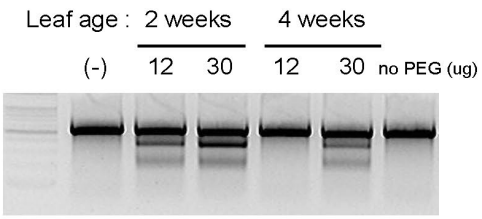
15

Does RNP of Cas9-sgRNA enter and edit protoplasts?







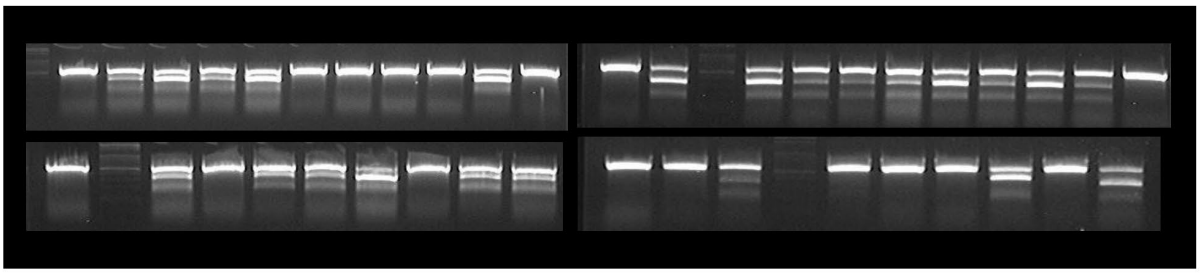


One day treatment of 200K cells in 200 ul volume with 20 ug RNP with PEG induced indels

16

Did the double target method work to delete the intervening DNA?

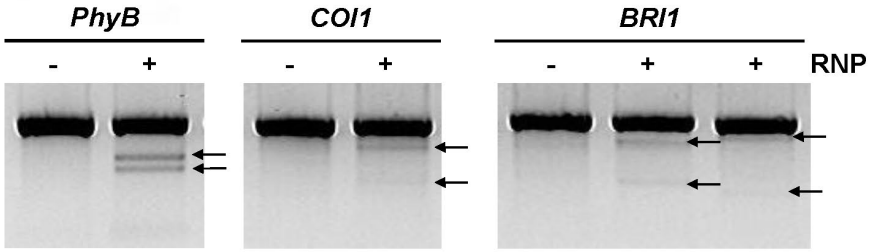
1. DNA spanning the 2 target sites was PCR amplified
2. Cloned into a TA-cloning vector
3. Clones were randomly selected and Sanger sequenced: 23/40 = 57.5 (%)



```
TGGGTTTGGAGATGTTTACAAAGCGATTTTGAAAGATGGAAGCGCGGTGGCTAT........... 190 bp ..........GCTGGGGTGAAACTAAACTGGTCCACACGGCGGAAGATTGCGATAGGATCAGCTAG (wt)

TGGGTTTGGAGATGTTTACAAAGCGATTTTGAAAGATGGAAGCGCGGTGGCTAT........... 190 bp ..........GCTGGGGTGAAACTAAA-------ACACGGCGGAAGATTGCGATAGGATCAGCTAG (-7)
TGGGTTTGGAGATGTTTACAAAGCGATTTTGAAAGATGGAAGCG------------------------------------------------------------ACACGGCGGAAGATTGCGATAGGATCAGCTAG (-224)
TGGGTTTGGAGATGTTTACAAAGCGATTTTGAAAGATGGAAGCG-----------------------------------------------------------CACACGGCGGAAGATTGCGATAGGATCAGCTAG (-223)
TGGGTTTGGAGATGTTTACAAAGCGATTTTGAAAGATGGAAGCGAAATAGCAAGTTAAAATAAGGCTAGTCCGTTATCAACTTGAAAAAGTGGCACCGAGTCGGTGCACACGGCGGAAGATTGCGATAGGATCAGCTAG (-223+62)
```

17

Are other loci of the Arabidopsis genome accessible?



Protoplast	1*10^5 cell
Cas9 protein	20 ug (final concentration : 50 ng/ul)
sgRNA	15 ug (final concentration : 38 ng/ul)
PEG incubation condition	20 %, 15 min
Total volume	400 ul

***BRI1*-TS1**

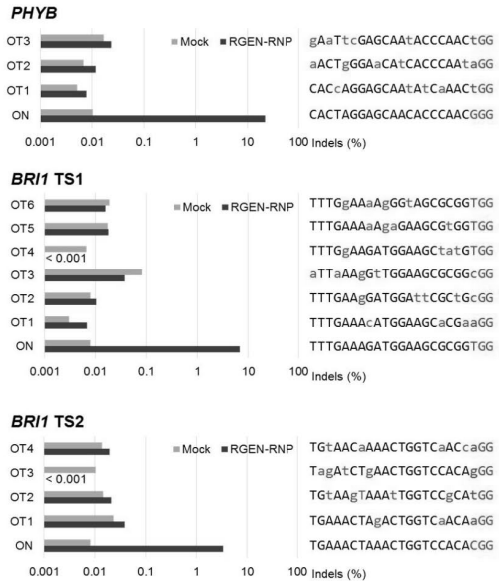
```
5'-GTGGGTTTGGAGATGTTTACAAAGCGATTTTGAAAGATGGAAGCG-CGGTGGCTATCAAGAAACTGATTCATGTTAGCGGT        WT
5'-GTGGGTTTGGAGATGTTTACAAAGCGATTTTGAAAGATGGAAGCGgCGGTGGCTATCAAGAAACTGATTCATGTTAGCGGT     +1 bp (1/4)
5'-GTGGGTTTGGAGATGTTTACAAAGCGATTTTGAAAGATGGAAG---CGGTGGCTATCAAGAAACTGATTCATGTTAGCGGT     -2 bp (2/4)
5'-GTGGGTTTGGAGATGTTTACAAAGCGATTTTGAAAGATGGAAGCGtCGGTGGCTATCAAGAAACTGATTCATGTTAGCGGT     +1 bp (1/4)
```

PhyB

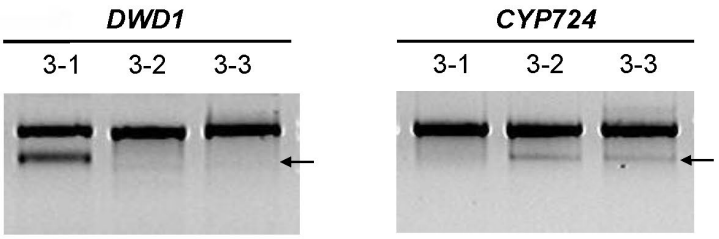
```
5'-ACGGTGCAGCATTTCTTTACCACGGGAAGTATTACCCGTT-GGGTGTTGCTCCTAGTGAAGTTCAGATAAAAGATGTTGTG        WT
5'-ACGGTGCAGCATTTCTTTACCACGGGAAGTATTACCCGTT--GGTGTTGCTCCTAGTGAAGTTCAGATAAAAGATGTTGTG    -1 bp (3/10)
5'-ACGGTGCAGCATTTCTTTACCACGGGAAGTATTACCCGTTaGGGTGTTGCTCCTAGTGAAGTTCAGATAAAAGATGTTGTG    +1 bp (1/10)
5'-ACGGTGCAGCATTTCTTTACCACGGGAAGTATTACCCGTTtGGGTGTTGCTCCTAGTGAAGTTCAGATAAAAGATGTTGTG    +1 bp (4/10)
5'-ACGGTGCAGCATTTCTTTACCACGGGAAGTATTACCCGT--GGGTGTTGCTCCTAGTGAAGTTCAGATAAAAGATGTTGTG    -1 bp (2/10)
```

18

Off-target effects are negligible



Do the assembled RNPs work for rice protoplasts?



Protoplast	3*10^4 cell
Cas9 protein	20 ug (final concentration : 50 ng/ul)
sgRNA	15 ug (final concentration : 38 ng/ul)
PEG incubation condition	20 %, 15 min
Total volume	400 ul

DWD1

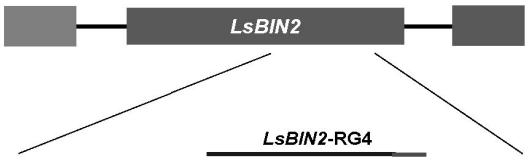
```
5'-TGGTTGATCCCGTCTGCATCGTCCAAGCGCACAGTGGCCCGGCCTACGACGTCAGGTTCT----ACCCGGATTCGCAGCAGC          WT
5'-TGGTTGATCCCGTCTGCATCGTCCAAGCGCACAGTGGCCCGGCCTACGACGTCAGGTTCT-//-ACCCGGATTCGCAGCAGC       +33 bp(4/5)
5'-TGGTTGATCCCGTCTGCATCGTCCAAGCGC----------------------------T----ACCCGGATTCGCAGCAGC       -29 bp(1/5)
```

CYP724

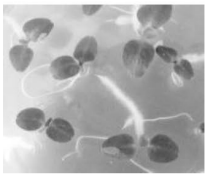
```
5'-CAGGAACCTTGCTCTAGCACTGGTCACCTCCACAAAGCTCAAGCCCAGCTACCTTGGCGACATTGAGAAGATTGCACTGCATATAGTTGGGTCATGGCATGGCAAGAGCAAGG  WT
5'-CAGGAACCTTGCTCTAGCACTGGTCACCTCCACAAAGCTCAAGCCCAGCTACCTTGGCGACATTGAGAAGATTGCACTGCATATAGTTGGGTCAT-GCATGGCAAGAGCAAGG  -1bp (2/2)
```

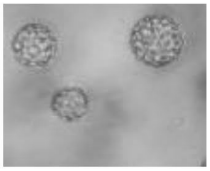
Does the CAS9-sgRNA complex work in lettuce?

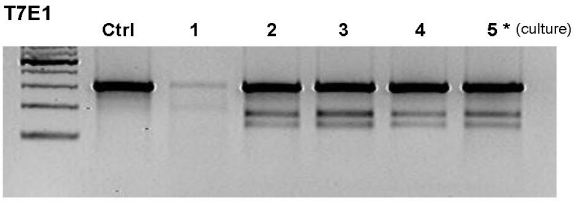
Arabidopsis *BIN2* (*brassinosteroid insensitive2*): gain-of-function mutants



5'-AATTTTTCGGGTTTTAAAGCATCACAGTGATGCTCGTCAAAGGATGCCTCTCAT
3'-TTAAAAAGCCCAAAATTTCGTAGTGTCACTACGAGCAGTTTCCTACGGAGAGTA



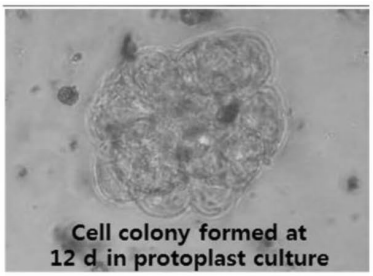


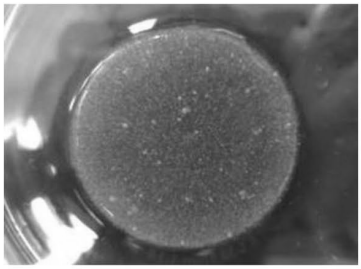


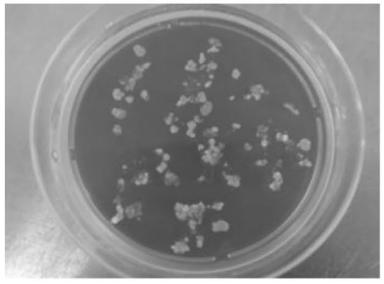
sgRNA (ug)	0	5	10	20	40	80
CAS9 (ug)	0	2.5	5	10	20	40
Indel (%)			10	14	8	11

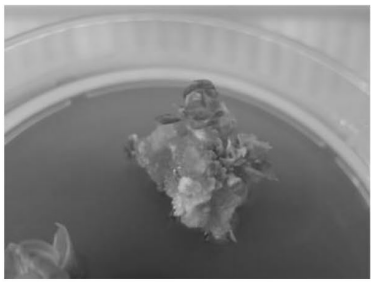
21

Ribonucleoproteins (RNPs) – mediated genome editing followed by lettuce plant regeneration



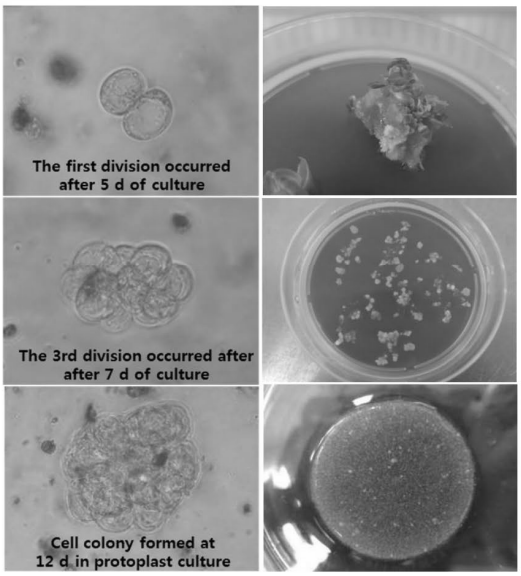




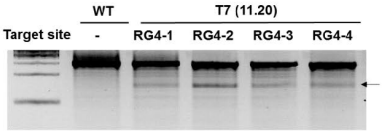


22

Is regeneration of plantlets possible from PEG-tranfected protoplasts of lettuce?



Growth and Division of lettuce Protoplasts
(*LsBIN2* (RG4) editing line)



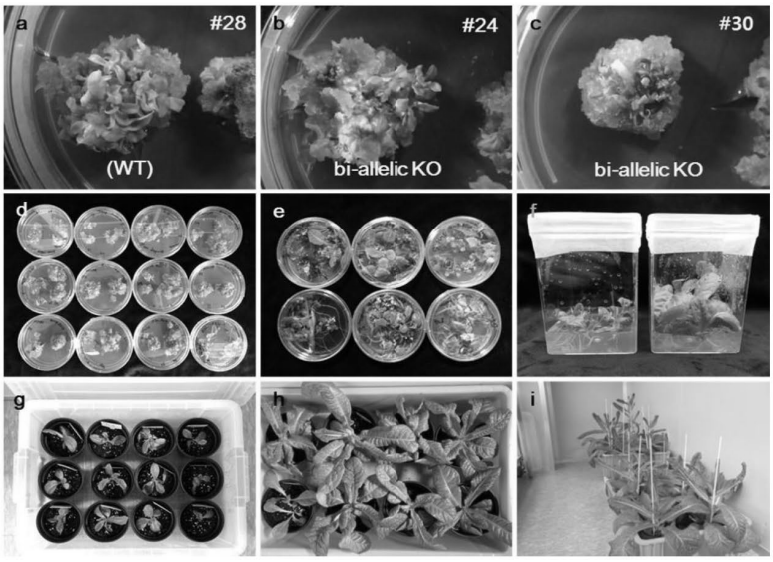
WT	T7-RG4-1	T7-RG4-2	T7-RG4-3	T7-RG4-4
0.046	4.5	5.7	3.8	3.2

```
T7 (RG4-1)                                PAM
                ATCACAGTGATGCTCGT-CAAAGG
Mutated locus   ATCACAGTGATGCTCGTtCAAAGG  + 1bp (1106/36122;   3.1 %)
                ATCACAGTGATGCTCG--CAAAGG  - 1bp (  93/36122;  0.26 %)
                ATCACAGTGATGCTCGTaCAAAGG  + 1bp (  89/36122;  0.25 %)
                ATCACAGTGATGCTCGTgCAAAGG  + 1bp (  76/36122;  0.21 %)

T7 (RG4-2)                                PAM
                ATCACAGTGATGCTCGT-CAAAGG
Mutated locus   ATCACAGTGATGCTCGTtCAAAGG  + 1bp (1492/44912;   3.3 %)
                ATCACAGTGATGCT----CAAAGG  - 3bp ( 305/44912;  0.68 %)
                ATCACAGTGATGCTCGTaCAAAGG  + 1bp ( 168/44912;  0.37 %)
                ATCACAGTGATGCTCGTgCAAAGG  + 1bp ( 115/44912;  0.26 %)

T7 (RG4-3)                                PAM
                ATCACAGTGATGCTCGT-CAAAGG
Mutated locus   ATCACAGTGATGCTCGTtCAAAGG  + 1bp ( 805/33980;   2.4 %)
                ATCACAGTGATGCTCGTaCAAAGG  + 1bp ( 146/33980;  0.43 %)
                ATCACAGTGATGCTCGTgCAAAGG  + 1bp (  93/33980;  0.27 %)
                ATCACAGTGATGCTCGTcCAAAGG  + 1bp (  50/33980;  0.15 %)

T7 (RG4-4)                                PAM
                ATCACAGTGATGCTCGT-CAAAGG
Mutated locus   ATCACAGTGATGCTCGTtCAAAGG  + 1bp ( 639/29598;   2.2 %)
                ATCACAGTGATGCTCGTaCAAAGG  + 1bp (  81/29598;  0.27 %)
                ATCACAGTGATGCT----CAAAGG  - 3bp (  59/29598;  0.20 %)
                ATCACAGTGATGCTCGTgCAAAGG  + 1bp (  34/29598;  0.11 %)
```

(Deep sequencing analysis : NGS)

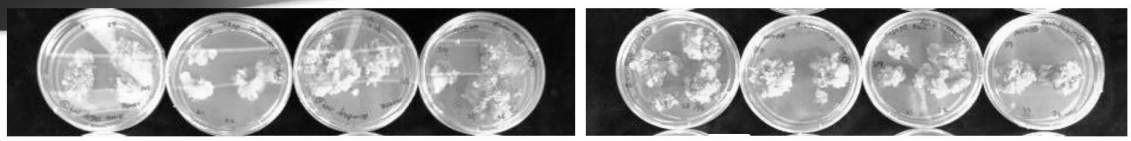
23

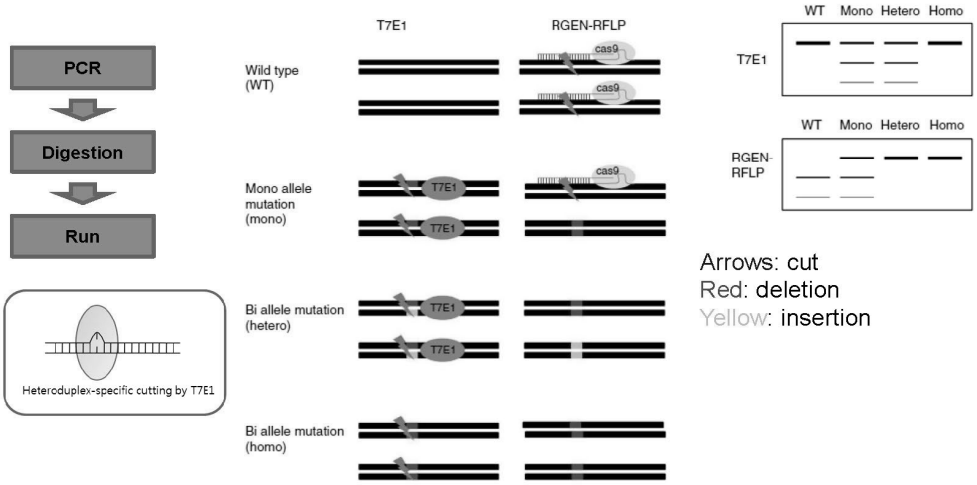
Regeneration of whole plants from edited protoplasts



24

Can we tell edited clones from non-edited ones?

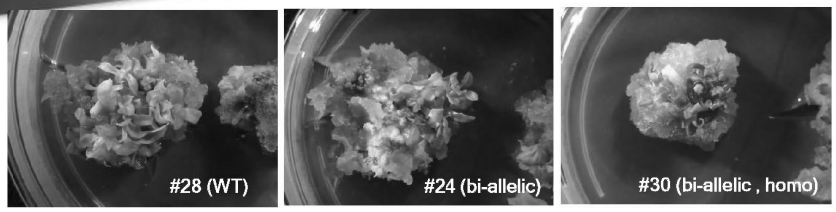


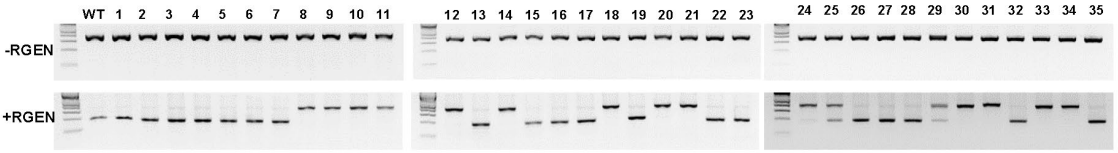


Kim JM, Kim D, Kim S, Kim JS (2014) Genotyping with CRISPR-Cas-derived RNA-guided endonucleases. Nature Commu 5: 3157

25

What are the nature of editing in the regenerating plantlets?





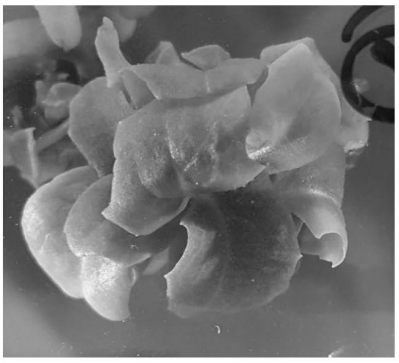
	ATCACAGTGATGCTCGT-CAAAGG	WT
#08	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1
#09	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1
#10-A1	ATCACAGTGATGCT----CAAAGG	-3
-A2	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1
#11-A1	ATCACAGT----------CAAAGG	-9
-A2	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1

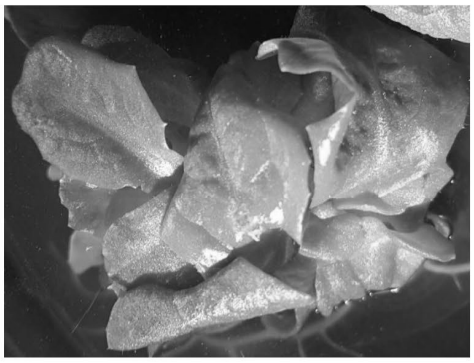
	ATCACAGTGATGCTCGT-CAAAGG	WT
#12	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1
#14-A1	ATCACAGT----------CAAAGG	-9
-A2	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1
#18-A1	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1
#20-A1	ATCACAGTGATGCTCGT---AAGG	-2
-A2	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1
#21-A1	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1

	ATCACAGTGATGCTCGT-CAAAGG	WT
#24-A1	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1
-A2	ATCACAGTGATGCTCG--CAAAGG	-1
#25-A1	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1
-A2	ATCACAGTGATGCTCGT-CAAAGG	WT
#29-A1	ATCACAGTG-------T-CAAAGG	-7
-A2	ATCACAGTGATGCTCGT-CAAAGG	WT
#30-A1	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1
#31-A1	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1
#33-A1	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1
#34-A1	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1

26

Does the biallelic heterozygous line exhibit any phenotype?



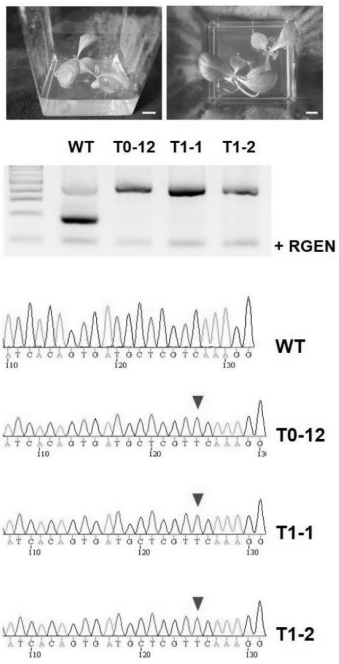


#26 (WT) ATCACAGTGATGCTCGT-CAAAGG

	ATCACAGTGATGCTCGT-CAAAGG	WT
#24-A1	ATCACAGTGATGCTCGTTCAAAGG	+1
-A2	ATCACAGTGATGCTCG--CAAAGG	-1

Germline transmission of the edited mutations

Bar = 10 cm



Number of potential off-target sites in the lettuce genome (Cas-OFFinder (www.rgenome.net)).

	No. of mismatches to on-target site						
	0	1	2	3	4	5	Total
No. of potential off-target sites	1 (on-target)	0	1	4	27	349	382
No. of sites with appropriate PCR primers	1	0	1	3	24	72	101
No. of sites amplified successfully	1	0	1	3	22	65	92

29

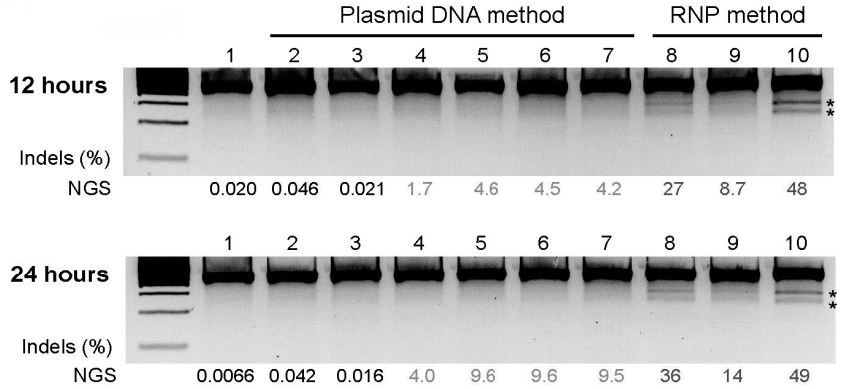
Negligible Indel frequencies at the on-target and 91 potential off-target sites

		WT	T0-20	T0-24	T0-25
Site name	Sequence	Indels(%)	Indels(%)	Indels(%)	Indels(%)
On-target	ATCACAGTGATGCTCGTCAAAGG	0.021	99.912	99.867	45.042
OT1	ATCACAGTGcgGCTCGTCAAgGG	0.022	0.039	0	0
OT2	caCACAGTGATGtTCGTCAAgGG	0	0.014	0.024	0.013
OT3	ATacCAGgGATGCTCGTCAAtGG	0	0	0	0
OT4	ATCAtAGTGATGCTCaTgAAgGG	0.013	0.03	0.019	0
OT5	ATCACAtTGATGCTCtaCAtAGG	0.023	0.033	0.029	0.012
OT6	ATaACAGaGAcGaTCGTCAAAGG	0.029	0.03	0.014	0.027

⋮

30

Comparison of RNP vs DNA methods: time course efficiency



1. Control (PEG treatment only)
2. 35Sp-cas9 plasmid only 12 ug
3. U626p-phyB sgRNA plasmid only 12 ug
4. 35Sp-cas9 plasmid 3 ug + U626p-phyB sgRNA plasmid 3 ug
5. 35Sp-cas9 plasmid 6 ug + U626p-phyB sgRNA plasmid 6 ug
6. 35Sp-cas9 plasmid 12 ug + U626p-phyB sgRNA plamisd 12 ug
7. 35Sp-cas9 plasmid 24 ug + U626p-phyB sgRNA plamisd 24 ug

$2*10^5$ cell

RNP method

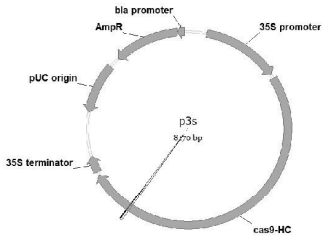
8. phyB sgRNA (ggX20) 60 ug + cas9 protein 30 ug
9. phyB sgRNA (gtX20) 60 ug + cas9 protein 30 ug
10. phyB sgRNA (gX19) 60 ug + cas9 protein 30 ug

31

DNA vs RNP method: Unwanted DNA integration issue

Cas9 plasmid 3 ug + sgRNA plasmid 3 ug

```
CACTAGGAGCAACACCC-----------------------------------AACGGG     WT
CACTAGGAGCAACACCTGATGATCAGGTCCTTCTTCACCTCCTTGTAGCCCTAACGGG + 35bp (2/90518)
```



Cloning vector pYB196 T-DNA region, complete sequence

Sequence ID: gb|KJ816368.1| **Length:** 8616 **Number of Matches:** 1

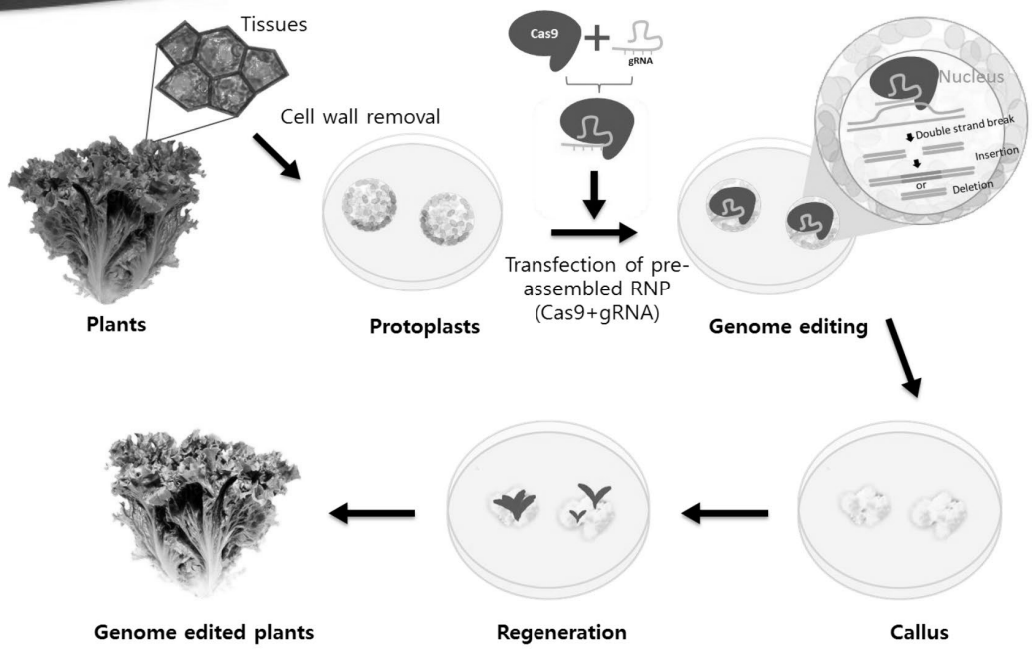
Range 1: 7023 to 7057 GenBank Graphics ▼ Next Match ▲ Previous Match

Score	Expect	Identities	Gaps	Strand
69.9 bits(35)	1e-09	35/35(100%)	0/35(0%)	Plus/Minus

```
Query  1     GATGATCAGGTCCTTCTTCACCTCCTTGTAGCCCT  35
             |||||||||||||||||||||||||||||||||||
Sbjct  7057  GATGATCAGGTCCTTCTTCACCTCCTTGTAGCCCT  7023
```

32

DNA-free genome editing procedure



33

Pros and cons of the method

- Pros
  - Cas9 protein expression and sgRNA processing nod needed
  - No foreign DNA remained in the genome
  - Homozygous mutant at single generation
  - Simultaneous editing of multiple genes (multiplexing)
- Cons
  - Possibility of accompanying somaclonal variation
  - Difficulty regeneration of whole plants from some crop protoplasts
  - Delivery issues

34

Conclusion

- RGEN RNPs can be used to induce targeted genome modifications in **six genes** in **four species**.
- RGEN-induced mutations were stably **maintained** in whole plants that were regenerated from the protoplasts and were **transmitted** to the germline.
- The resulting genome-edited plants might be **exempt** from current GMO regulations

NEWS

A face-lift for biotech rules begins

US federal agencies on October 30 held the first public meeting to comply with the White House's order to modernize the federal regulatory system for genetically modified (GM) products. In the meeting representatives from the three agencies that oversee such products—the US Department of Agriculture (USDA), the US Environmental Protection Agency and the US Food and Drug Administration (FDA)—presented overviews of their current roles in the regulatory system, and gave members of the public four minutes or less to air their views on how the system should be updated. The public comments ranged from demands for moratoria on some types of GM crops, to calls for regulatory exemptions for others. Despite the chasm, nearly all speakers seemed to agree: the system is sorely in need of revision.

The meeting, held at the EPA's campus in Silver Spring, Maryland, was a response to a July 2, memorandum from the White House Office of Science and Technology Policy (OSTP) (*Nat. Biotechnol.* 33, 894, 2015) that asked the three agencies to "update" the current

The White House, through the Office of Science and Technology Policy, annou overhaul the regulation of biotech products.

rights reserved.

BIOTECHNOLOGY

Gene-edited CRISPR mushroom escapes US regulation

A fungus engineered using CRISPR–Cas9 can be cultivated and sold without oversight.

BY EMILY WALTZ

The US Department of Agriculture (USDA) will not regulate a mushroom that has been genetically modified with the gene-editing tool CRISPR–Cas9, the agency has confirmed. The long-awaited decision means that the mushroom can be cultivated and sold without passing through the agency's regulatory process — making it the first CRISPR-edited organism to receive a green light from the US government.

"The research community will be very

STUART MCCALL/GETTY

CRISPR-edited crops free to enter market, skip regulation

The first CRISPR-edited crops presented to the US regulatory system can be cultivated and sold without oversight by the US Department of Agriculture (USDA), the agency said in a pair of letters posted in April. The decisions could reduce by millions the cost of development of the crops: an anti-browning mushroom and a waxy corn genetically modified with the gene editing tool CRISPR-Cas9. Some scientists hailed the decision as a step in the right direction, although media outlets and other interested parties said it illustrates the murky state of US biotech regulations.

Johnston, Iowa–based DuPont Pioneer engineered the waxy corn to contain starch composed exclusively of the branched polysaccharide amylopectin—a commodity in processed foods, adhesives and high-gloss paper. Company researchers achieved the effect by shutting

©Dreuda Photo / Alamy Stock Photo

DuPont Pioneer's high amylopectin corn is the first CRISPR-edited plant likely to bypass USDA oversight.

necessary tool in biotech. Plant pests have served as the trigger for

erved.

Acknowledgement of major contributors

- Prof. Jin-Soo Kim
- Jungeun Kim
- Seung Woo Cho, Ph.D.
- Sang-Gyu Kim

ibs 기초과학연구원 Institute for Basic Science

- Je Wook Woo
- Soon Il Kwon , Ph.D.

Advanced Institutes of Convergence Technology

- Claudia Corvalán

Seoul National University

- Plant Molecular Breeding Center

식물분자육종사업단 PLANT MOLECULAR BREEDING CENTER

37

Thank You !

3. 품종육성을 위한 신기술 활용

㈜농우바이오 박사 **한 지 학**

Profile

한 지 학

학 력

중앙대학교 생물학과 졸업(학사)
오레곤주립대 유전학 전공(석사)
럿거스대 식물분자생물학 전공(박사)
럿거스대 Food Biotechnology Institute (postdoc fellow)

경 력

(주)농우바이오 생명공학연구소 소장
겸임교수(고려대학교, 경상대학교, 서울여대, 전남대)
한국생명공학연구원 바이오안전성정보센터 전문위원
농진청 농과원 전문위원
과기부 LMO 전문가 심사위원
농림부 과학기술위원회 분과위원
농진청 차세대바이오그린사업단 사업관리위원
식물형질전환연구회 회장
식물생명공학회 회장
육종학회 부회장
원예학회 부회장
현: ㈜농우바이오 R&D본부장

품종육성을 위한 신기술 활용

1. 인구팽창 vs. 식량생산

현재 전 세계 인구는 약 73억 명이며 과거 40년 전 인구수에 비해 2배로 증가하였다. 그리고 2050년에는 100억 명으로 늘어날 것으로 예측되고 있어서 향후 지구 내 인구과밀에 의한 여러 문제점이 발생할 것으로 사려 된다. 그중에서 가장 걱정스런 문제는 인류를 위한 충분한 식량이 생산되지 못할 것이라는 사실이다. 그 이유로는 1) 녹색혁명으로 불리우는 농약과 비료의 혜택은 이미 포화상태로서 과거 1960년대 까지는 국가별로 10% 이상의 생산성 증가가 있었지만 1970년대 후반 이후 2% 정도로 부진하며 지금은 1% 또는 제자리상태이다. 즉 더 이상 화학물질에 의한 작물의 생산성 증가는 한계가 있다는 것이다. 2) 신흥국의 급격한 산업화, 도시화 등으로 농경지가 감소되고 있으며 생산 면적이 점차 줄고 있는 실정이다. 3) 또한 기후변화, 병충해 재해로 생산성이 줄고 있으며 이에 대비되는 품종개량이 따라가지 못하고 있다. 4) 저개발국과 인도, 중국처럼 多인구 국가에서는 식품 및 사료 소비가 엄청 빨리 상승하고 있어서 식량작물 수출국에서 수입국으로 바뀌고 있다. 따라서 전체적으로 식량생산율이 인구팽창률에 미치지 못하고 있으며 2050년 지구상의 인구와 가축을 먹여 살리려면 지금보다 약 70%의 식량이 더 생산되어야 한다. 이를 위해선 품종육성기술과 더불어 식량생산량 증대기술이 개발되고 활용되어서 실질적으로 식량이 안정적으로 공급되어야 할 것이다.

2. 품종개발 및 생산성제고 기술

모든 먹거리 농작물은 종자에서부터 시작하며 모든 종자는 지속적으로 개량이 되고 있다. 즉 과거의 종자는 육성을 통해서 새로운 종자로 계속 탈바꿈해지고 있으며 소비자가 원하는 작물을 위해서 새롭게 만들어지고 있는 것이다. 상업적으로 판매가 되는 종자는 크게 3가지로 나누어진다. 1) 과거 조상 대대로 자가증식을 통해서 이어져 내려온 재래종, 2) 모부계를 만들어서 교배를 통하여 얻는 F1 hybrid(제1대교잡종), 3) Hybrid이지만 특정 유전자를 삽입한 GM종자 등이 있다. 재래종도 또 다른 계통으로 육성되며 hybrid를 만드는 유전자원으로 변하기도 한다.

품종육성 시작서부터 판매까지 여러 과정이 있으며 이 과정 중에 특히 품종개발에 필요한 전통 육성기술로서는 분리육종, 교잡육종, 여교배 등이 있다. 그리고 새로운 유전자원을 개발하기 위한 기술로서는 돌연변이, 조직배양, 세포융합, GM기술들이 있으며 이외에 DNA 마커를 이용하여 경비절약과, 세대단축을 할 수 있는 DNA 마커이용 육성방법들이 있다.

생산성 제고 육성기술 중의 최고의 기술은 GM기술이다. GM작물을 재배함으로서 제초제, 농약 사용이 줄어들었고 조사기관의 차이는 있지만 전체적으로 5-10% 정도 생산성이 늘었다. 미래농업을 위하여 반드시 필요한 기술이며 유전체를 변형하여 우리가 원하는 맞춤작물을 개발할 수 있는 방법은 현재 GM기술 밖에 없다. 즉 기후변화 저항성, 병충해 저항성을 비롯하여 광합성과 질소동화작용 효율제고 작물, 해수이용 작물, 우주재배작물 등 원하는 대로 만들어낼 수 있다. 그러나 위해성평가를 통과하는 현 규정상, 그리고 아직도 public concern이 심화되어 있는 사회에선 크게 확대하기에는 문제가 있으며 반드시 필요한 특정 GMO개발 이외에는 다른 기술들과 병행하는 것이 바람직하다. 최근 들어서 작물육성에 필요한 도구를 분석함으로서 생산성 제고에 이바지 하는 경우가 있다. 지역별 기상정보, 병충해정보, 토양 질 정보 등의 big data 분석이 공유되고 저렴한 센서기술과 IoT를 통해 경작지 환경을 세밀하게 통제하는 정밀농업이 실현이 되면 생산성이 높아질 수 있다. 특히 특정한 한개 기술이 생산성을 증가하는 것 보다는 여러 기술들을 함께 연계하여 사용함으로서 생산성 제고가 가능하다.

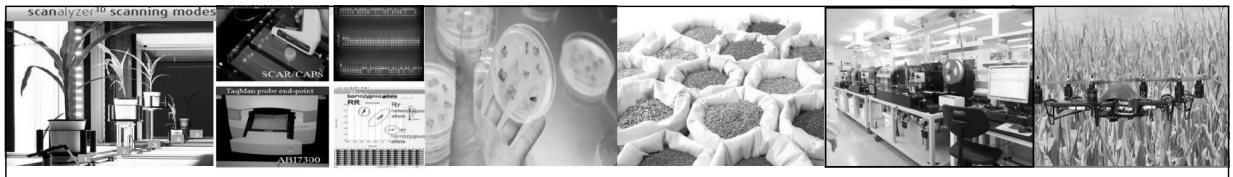
3. 새로운 기술

최근에 genome editing에 대한 활용이 폭발적이다. 일단 유전자의 기능분석을 위해 mutant를 개발하는 연구는 실험실상에서 보편화가 될 것 같다. 품종개발 측면에서도 이 기술은 크게 3가지로 사용할 수 있다. 1) GMO를 대체할 수 있다는 장점이 있다는 것이다. 특히 제초제저항성 non-GM작물을 개발할 수 있어서 우리나라처럼 일 년에 3조원의 GMO를 수입해야하는 실정에 정말 필요한 대체기술이다. 국내 현 상황으로 봐서는 제초제저항성 GM 옥수수나 콩이 개발되어 실용화되기까지에는 요원하기 때문에 이 분야의 연구가 절실하다. 2) 대사공학에 활용하여 주요 항암성분 및 항산화 성분, 또는 특정화합물이 축적될 수 있도록 디자인할 수 있으며 GM기술보다 더 쉽게 접근할 수 있다. 3) 육성할 때 나타나는 열성인자의 연관을 타파할 수 있어서 상업육성에 있어서는 획기적인 방법이 된다.

Genome editing 외에도 여러 기술들이 있는데 그전에 이미 나온 기술들이다. 다만 활용을 하지 않아서 잠자고 있지만 성공사례들을 review할 경우 상업적으로 결코 간과할 수 있는 기술들이 아니어서 기업연구자들로 부터 재발견이 필요하다. 또한 어떤 기술도 DNA 마커를 접목하여 활용한다면 모두 새로운 기술이 될 수 있다는 것이다.

4. 결론

본 발표에는 MAB, 세포융합, cisgenesis, genome editing 기술을 어떻게 품종육성에 활용할 수 있는지 그 예를 보고할 예정이며, 일반 종자기업연구소에서도 충분히 사용할 수 있는 기술이어서 적극적으로 활용되길 바란다. 또한 제시된 기술들은 다국적기업과 기술적으로 큰 차이가 없어서 도전할 만 하며 이런 기술개발 분야의 연구들이 국가연구사업으로 확장되어서 식량증대 및 고부가가치 품종개발 분야에 우리도 first mover로서 정착되길 희망하는 바이다.



품종육성을 위한 신기술 활용

한지학
(주)농우바이오
chharn@nongwoobio.co.kr

Milestones in Biotechnology

주요 생명공학적 기술

- ▷ DNA strand sequencing
- ▷ Restriction enzyme and cloning
- ▷ PCR (polymerase chain reaction)
- ▷ GM technology

⬇

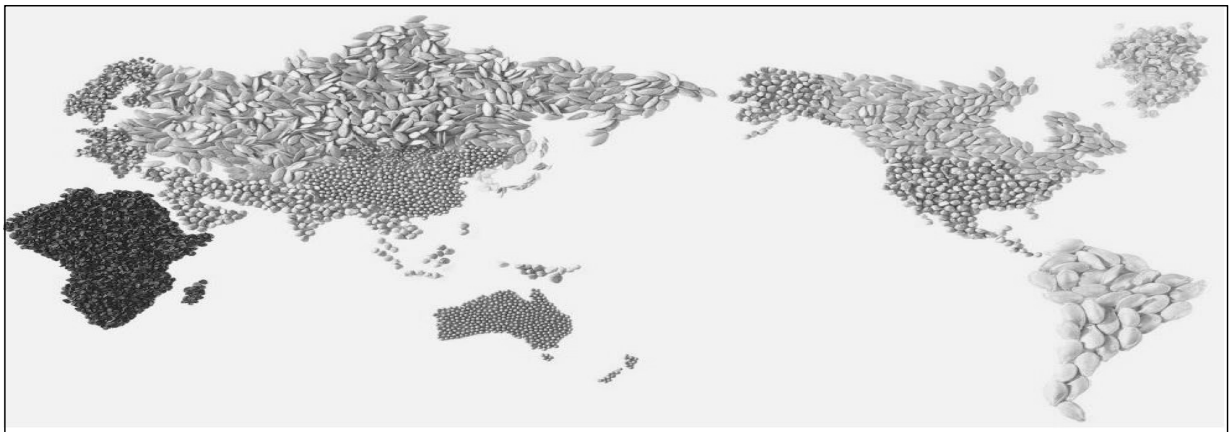
실험실에서 사용할 수 있는 기본 tool box로 전환됨

Contribution

1) to Science Work ➡ 기초학문, 노벨상

2) to Industry Application

Red Bio	White Bio	Green Bio
1100조 시장 바이오의약, 백신 유전자치료, 질병치료	180조 시장 바이오 화학 제품 바이오 연료, 에너지, 친환경산업	120조 시장 개량종자, 건강기능 식품, 친환경 농약 및 사료 첨가제



종자, 육성기술, 식량증대에 중점.....

1) 재래종: OP (open pollination); 인도, 중국, 동남아시장의 60-70% 차지

2) 제1대 교잡종: F_1 Hybrid (우수계통조합); 재래종보다 고부가가치가 있는 종자; 재래종시장을 잠식

3) 유전자변형종자: GM(genetically modified) 종자; 전체종자시장의 30%; 생명공학기술을 이용한 F_1

Questions

√ 생명공학기술들이 종자개발에 얼마나 도움이 되었나?

세계 작물 종자시장

1975	1985	1996	2006	2009	2010	2011	2012	2015	2020	년도
120	180	300	340	380	420	430	450	482	615	억$

ISF(International Seed Federation, 2013) 연평균 약 5% 증가

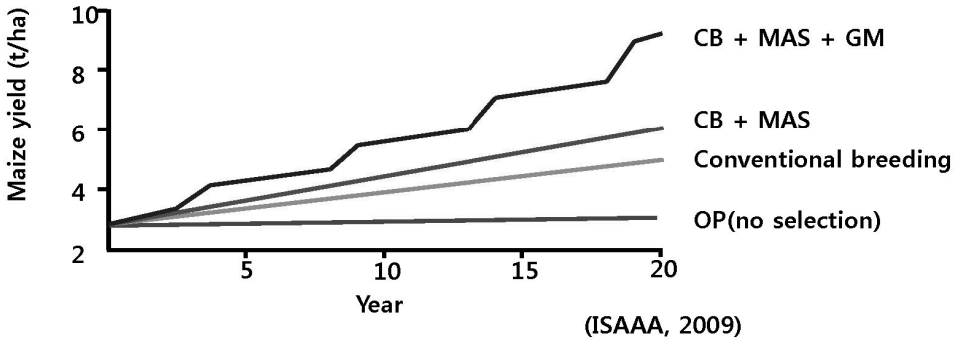
세계 GM 종자시장 규모의 변천

1996	1998	2000	2004	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	년도
0.9	15	24	51	67	90	104	117	132	146	156	157	153	억$

Global market value of biotech crops = biotech seed + technology fee (ISAAA, 2015)

√ 현재 전세계 종자의 약 33%가 GM종자

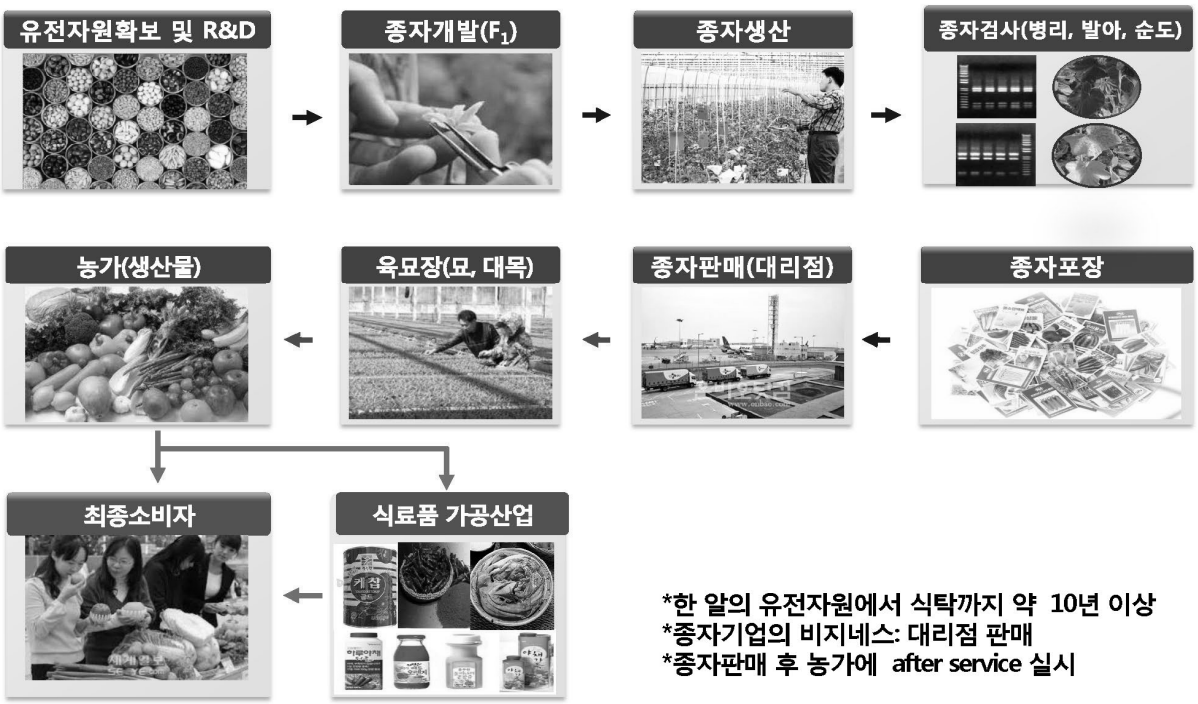
√ 식량 증대에 얼마나 도움이 되었나?



(ISAAA, 2009)

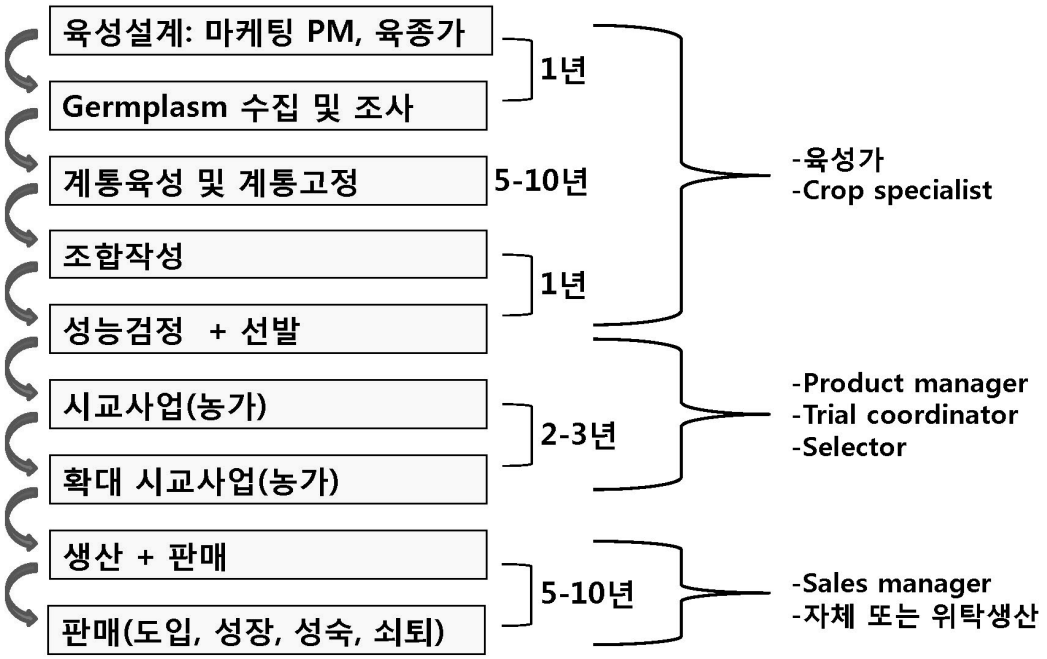
CB: conventional breeding
MAS: marker-assisted breeding
GM: genetically modified

종자회사의 사업과정



*한 알의 유전자원에서 식탁까지 약 10년 이상
*종자기업의 비지네스: 대리점 판매
*종자판매 후 농가에 after service 실시

육성시작서 부터 판매까지 과정



육성-판매 과정에 필요한 주요 기술

품종육성 제고 기술

- 다양한 새로운 유전자원 개발 기술
- 육성세대 단축 기술
- 육종기술, 생명공학기술, 그리고 융합기술
- In Silico 분석 기술

식량증대(생산성 제고) 적용 기술

- GMO 개발 기술
  - -기술적으로 최적합; 생산성 제고 가능
  - -단점: high cost, public concern
- 새로운 농약·비료 개발 기술
  - -한계
  - -50-70년대 생산성 증가; 현재 1-2%
- 재배지역 확장(예: 새만금), 수확기계화 기술
  - -재배지역 증가 한계
- 정밀농업(precision farming) 기술
  - -작물생육에 필요한 토양, 기후정보 활용
  - -Big data에 의한 정보 생성, 수집, 공유, 활용(IoT)
  - -생산성 제고 가능
- 품종육성기술간의 연계
  - -모든 기술을 적용하는 pipeline 구성
  - -생산성 제고 가능

다국적기업: 육종기술, 생명공학기술, ICT를 융합 활용

다양한 유전자원
유전체(DNA) 정보
지역별 기상정보, 병충해정보, 토양질 등의 big data
생명공학 기술
육종 기술

→ 타켓 육종 → 통계적 평가, 모델링, 컴퓨터를 활용한 DB 분석을 통하여 최종 선발 (phenotyping) → 대용량 분석 시스템에 의한 ID 확인 → 판매

첨단 기자재, 시설 + 정밀농업

개체별촬영,
과실비파괴분석,
토양건조상태분석,
병충해조사, 농장관리 등

기술 활용의 차이(선진국 vs 한국)

선진국

산업체 연구소
국가연구기관
대학 실험실

→ 기술개발 → 창의적 활용 → 연계사업 → 산업화, 실용화

농업과 IoT, big data, smart 시설 연계
의약, 화장품, 건강기능식품과 연계

국내

산업체 연구소
국가연구기관
대학 실험실

→ 기술개발 / 도입기술 → 기술활용 저조 → →

고전육성 의존성
첨단과 고전 중간역할 부재
산업화로 연결 미약
기업 리더쉽 부재

품종육성을 위한 신기술 활용

I. 신 유전자원(germplasm) 확보용 기술

▶ 유전자원 확보: 야생종, 재래종, 계통, F1 hybrid, 조직배양체

▶ 유전자원 개발기술:

1. 돌연변이
   - -방사선, EMS, Site-directed mutagenesis, Genome editing…
2. 조직배양(double haploid line)
3. 세포융합
4. Genetically modified
   - -GMO, Cisgenesis, Reverse breeding…

과거 도출된 기술의 재활용, 변경로 결과 도출

II. DNA marker-assisted Technology

+ Genome information

▷ MAS (marker-assisted selection)

▷ MABC (marker-assisted backcrossing)

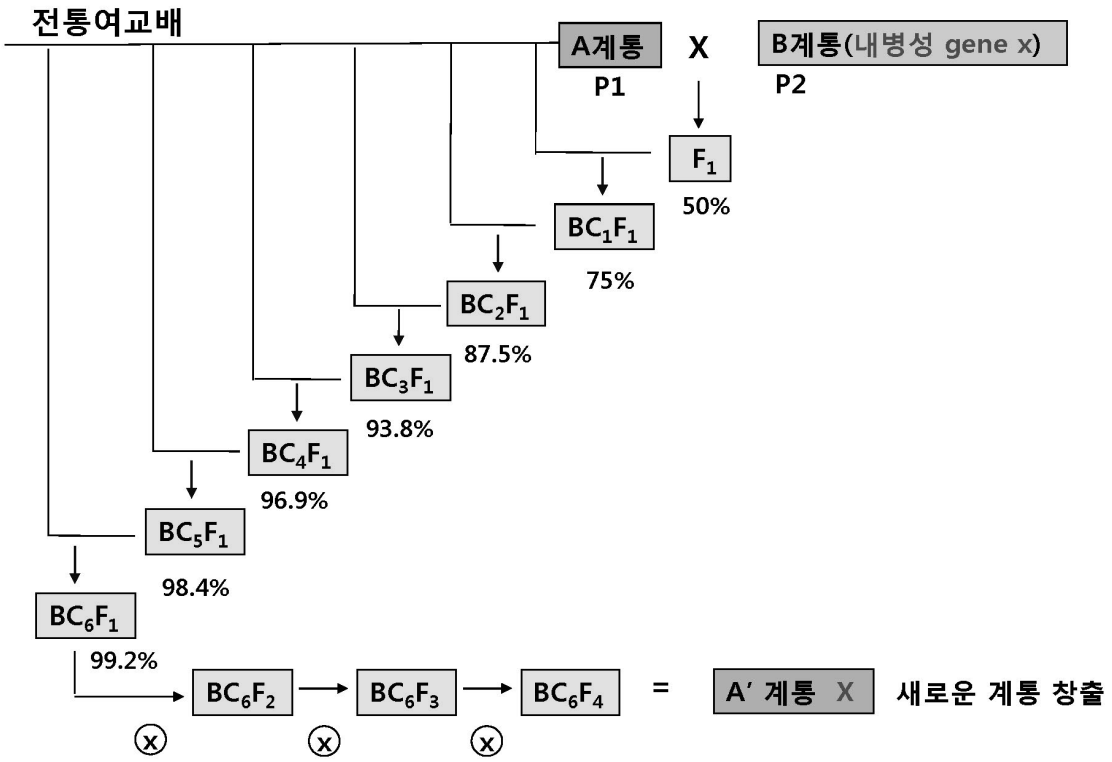
▷ Genomic selection

▷ GWAS

…….

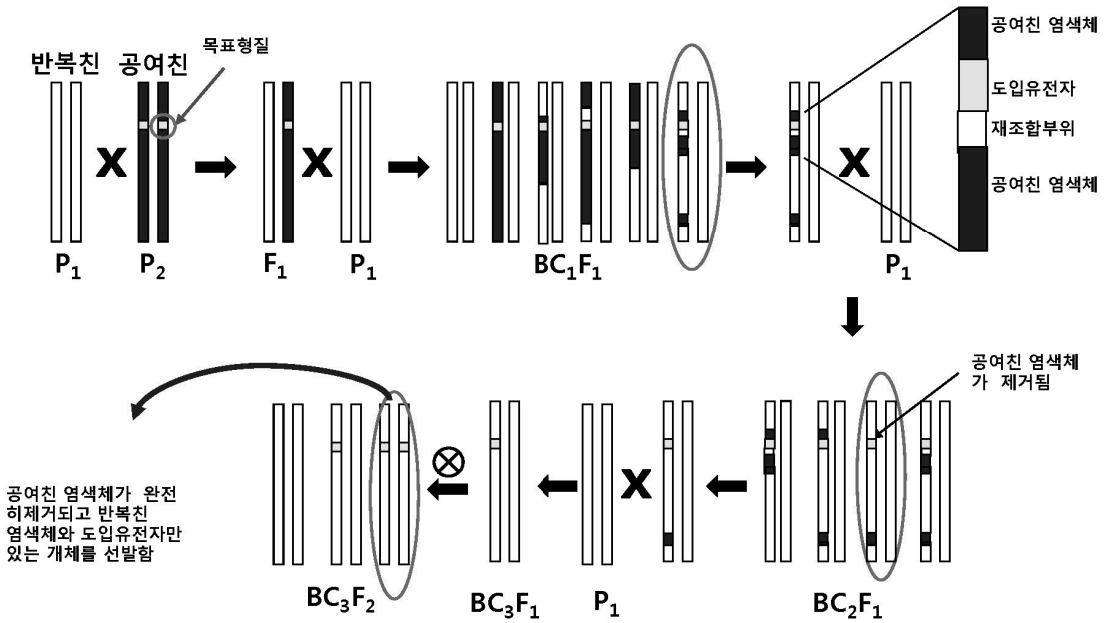
궁극적으로는 유전체육종 관련 기술

적용기술의 예: 1) MABC

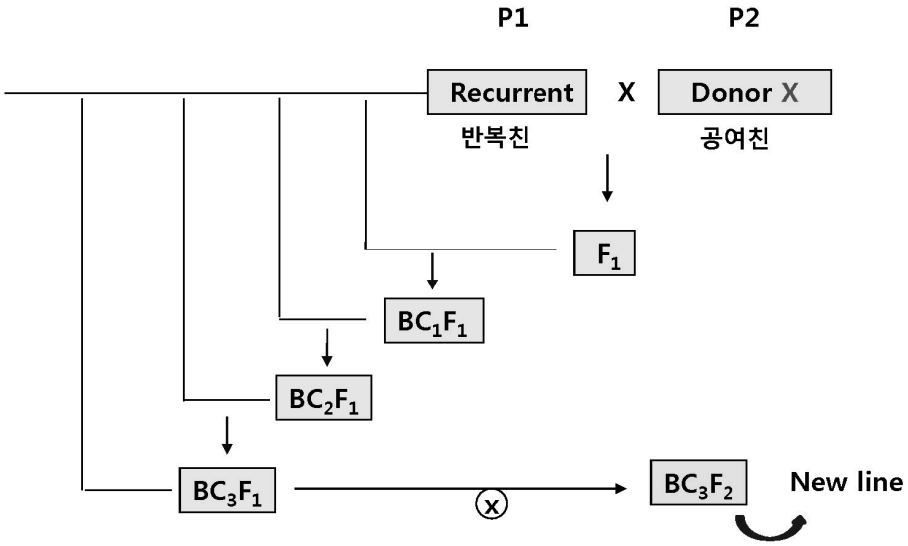


MABC 전체 과정 도식화 (background selection)

P2의 genome에 대한 마커를 이용하여 P2 유전정보 보유한 개체를 selection out



MABC



- Recurrent와 donor line을 구별하는 마커를 이용하여 recurrent backbone만을 선발
- BC_2F_1 에서 안정적으로 고정; 세대 단축 장점

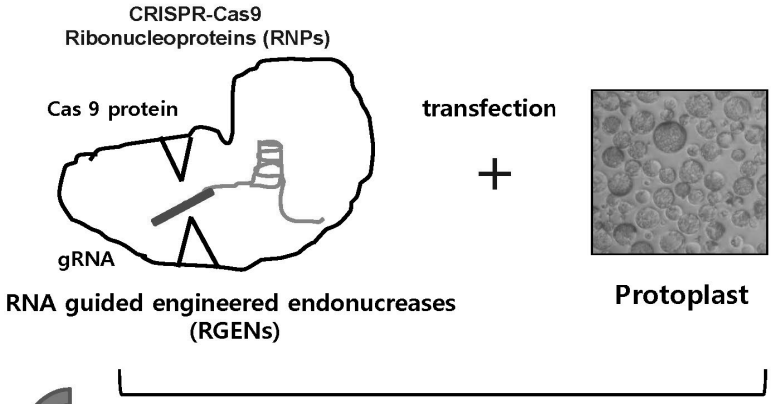
Selection of A New Line by MABC

KSWP(Tm3)→TSWV R

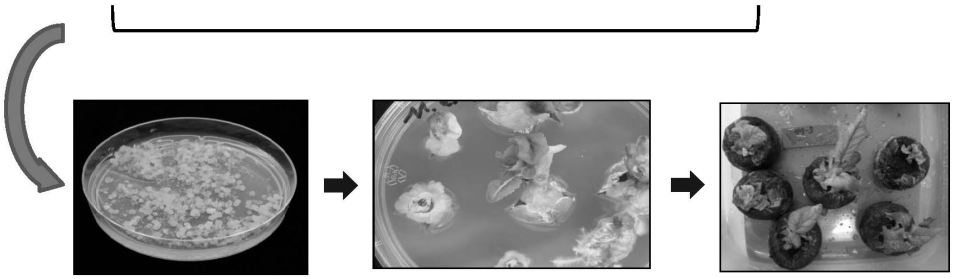
BC_2F_1 → BC_2F_2

(Dr. SH Choi, NWB)

적용기술의 예: 2) G. Editing



1) 특정유전자 변이 유도
2) 원형질체 배양
3) transfection
3) 재분화
4) DNA 마커로 선발



CRISPR/Cas9-mediated mutant

19

1. Metabolic Engineering을 통한 새로운 유전자원개발

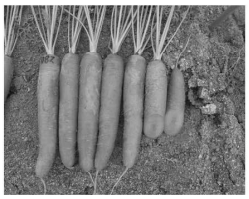
(예: 유전체교정 후 예상되는 당근 색)

Purple

CHS1,CHS2 Knockout

-anthocyanin 함량감소 기대
-배경색으로 변환

Orange



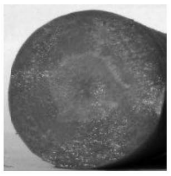
PSY Knockout

CHYB1/CHYB2 Knockout

-Beta-carotene 함량,
-진한 orange

Red

LCYB1,B2 Knock-out

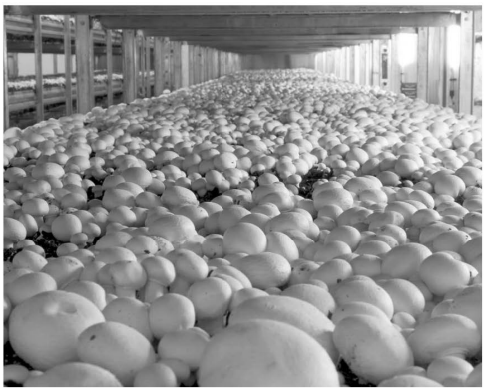


-Alpha-carotene, Lycopene 함량 증가
-Beta-carotene 함량 감소
-진한 red

(농우 + 농협종묘 + 틀젠의 농기평 연구과제 수행 중)

성공사례 !

The common white button mushroom (*Agaricus bisporus*) has been modified to resist browning.



polyphenol oxidase (PPO) knock out

The mushroom can be cultivated and sold without passing through the agency's regulatory process — making it the first CRISPR-edited organism to receive a green light from the US government. April 17, 2016

2. 제초제 저항성 GM 작물 대체 (non-GMO)

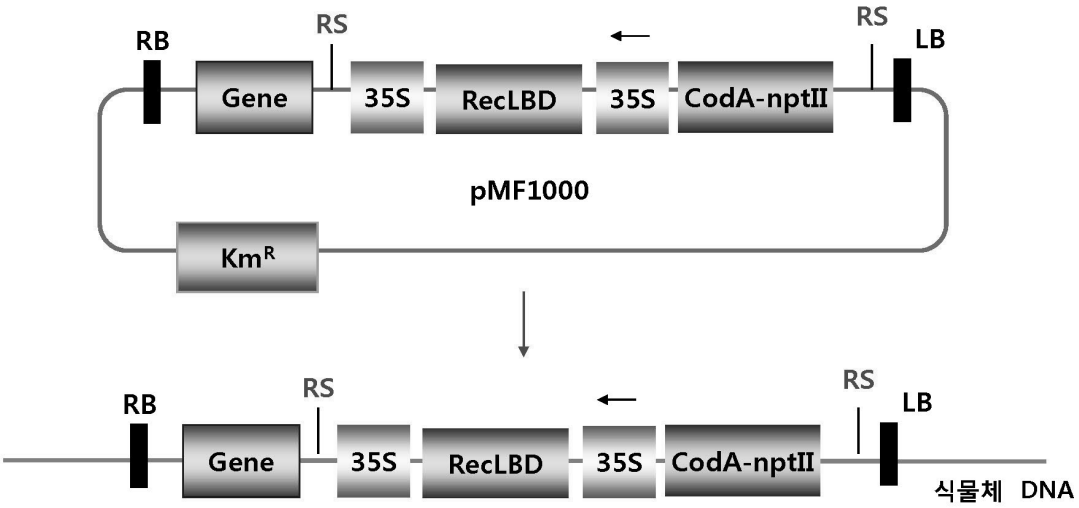
(제초제 반응 enzyme knock out)

적용기술의 예: 3) Cisgenesis(동종기원)기술

정의: 같은 종 또는 sexually crossable 종에서 특정유전자를 이전하는데 교배가 아니고 형질전환방법을 이용하여 whole gene을 옮겨 새로운 유전자원을 개발. 유전자를 삽입 후 vector는 selection-out (non-GMO).

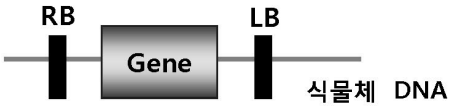
Cisgene
-is a natural gene, coding for a trait, from the crop plant itself or from a crossable species which is normally used in conventional breeding (It belongs to breeder's gene pool)
-contains exons and introns and flanking regions such as native promoter and terminator region in a sense orientation(whole gene: 한 개 유전자가 mRNA 만들기 전의 DNA 상태)

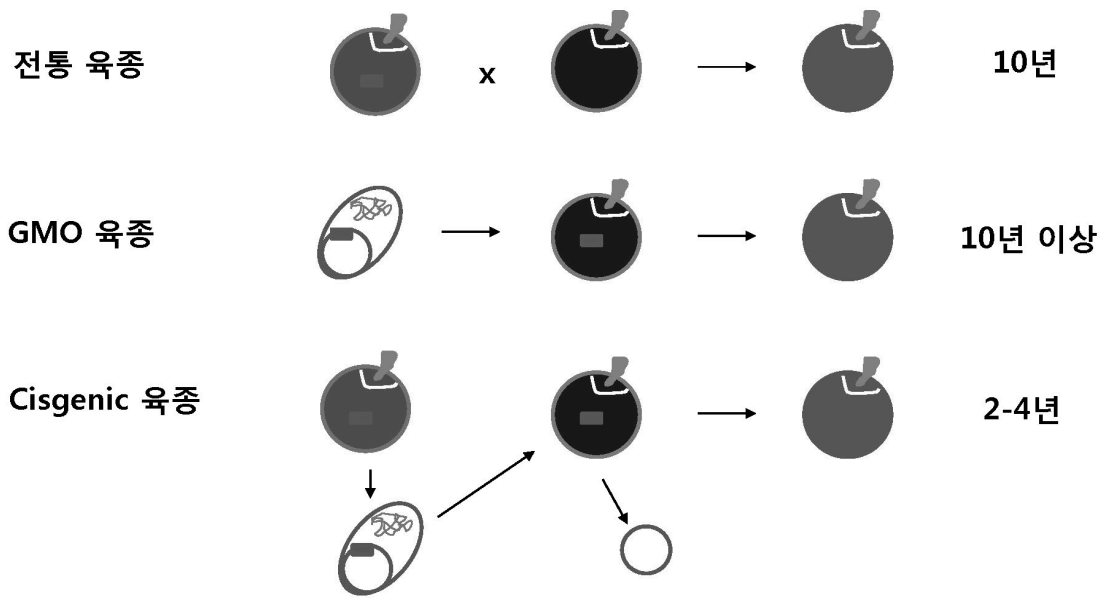
Cisgenesis용 형질전환벡터



+dexamethasone(dex): chemically activates the recombinase and excises RS region

식물체내





Cisgenesis 장점

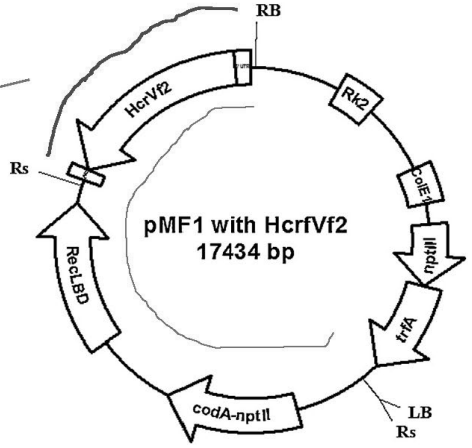
-quickly, cheaply create new varieties
-only beneficial gene transferred
-일반육종에서 올 수 있는 linkage drag을 피할 수 있음

Cisgenesis 조건

-Available cisgene (whole gene cloning)
-Marker free transformation

실제 예

결국 이 유전자만
식물체에 삽입됨



Schematic representation of the pMF1 vector containing the *HcrVf2* gene controlled by its native regulatory sequences. The segment between the left (LB) and the right border (RB) is transferred into the plant cell, and the segment between the recombination sites (RS) is then removed on recombinase-mediated deletion, with the exception of one of the RS. *HcrVf2*, apple scab resistance gene from apple cv. Florina; fusion marker gene *codA/nptII*, hybrid gene for positive (*nptII*) and negative (*codA*) selection. RecLBD, translational fusion of recombinase R-LBD; Rk2 and ColE1, origins of replication. trfA; replication gene; nptIII, kanamycin resistance gene.

성공사례 !

▷ 사과: 더뎅이병 내성

▷ 감자: 역병 내성 (R gene stacking)

Creating blight resistant potatoes from wild varieties and transferring them into high yielding varieties. After treatment with *Phytophthora infestans*, the normal potatoes have blight but the cisgenic potatoes are healthy.

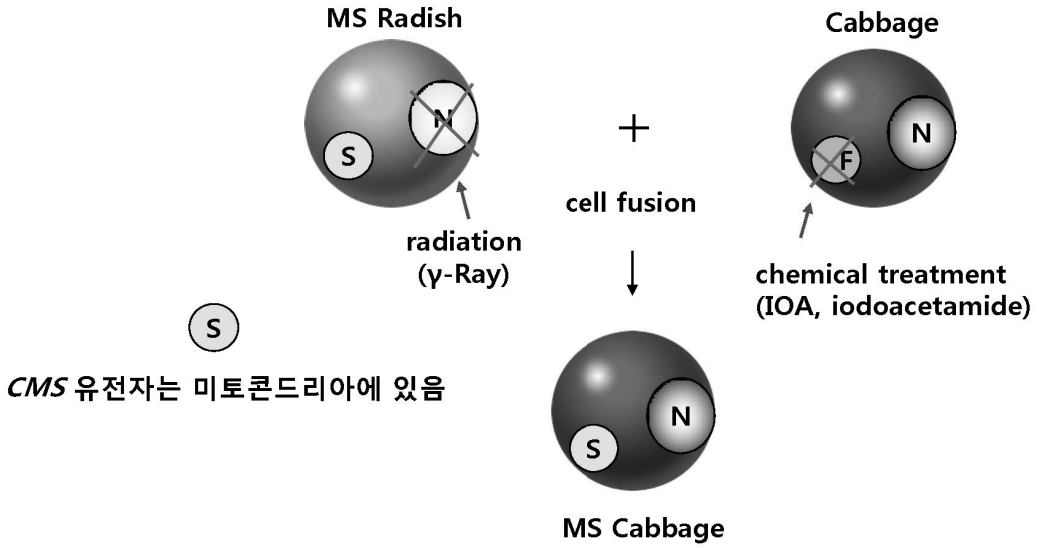
-GMO 아님
-gene 자체가 crop specific

Application: 모든 작물 가능; genome 정보를 통하여 특정 대상 유전자확보

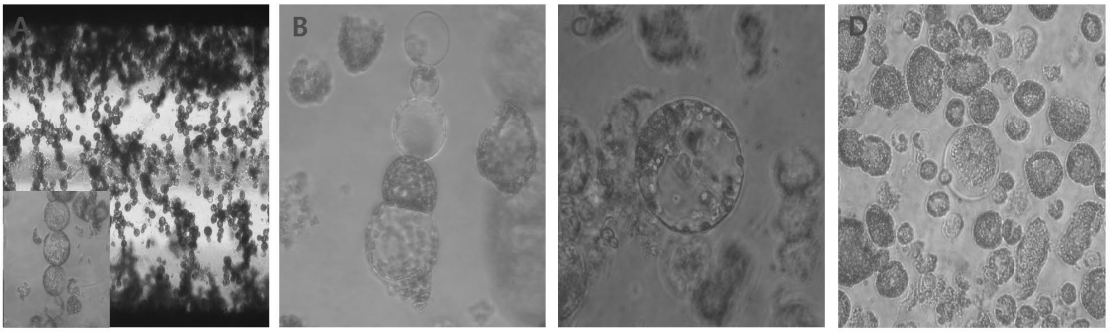
적용기술의 예: 4) 세포융합기술

1. Cytoplasmic Genome Transfer

무의 *CMS* 유전자를 양배추로 전이



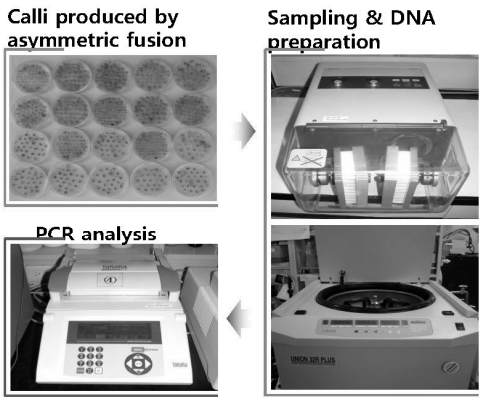
원형질체의 Electro-fusion

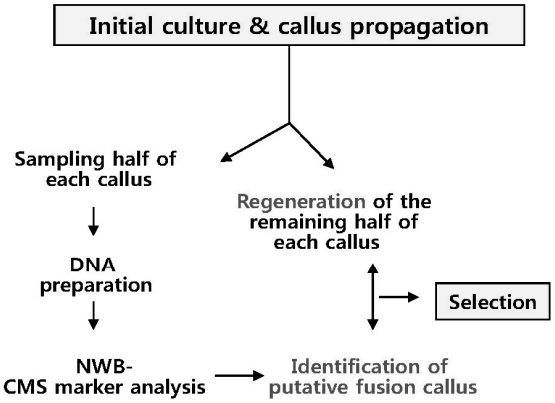


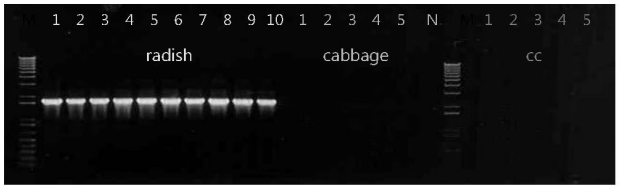
A: pearl chain shape of protoplasts formed in AC fields; B: heterokaryotic fused cells; C, D: putative fusion cells in liquid culture medium at 6 days.

30

Marker analysis and selection





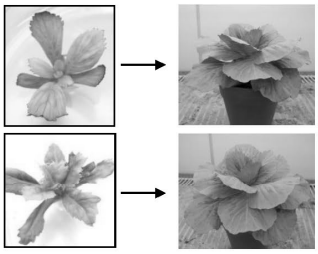


About 2% of calli screened contains the band

radish: (*NWB-CMS* hybrid); cabbage: C564; CC: #42

31

Fused plants (radish + cabbage)



EF 3 (cybrid)

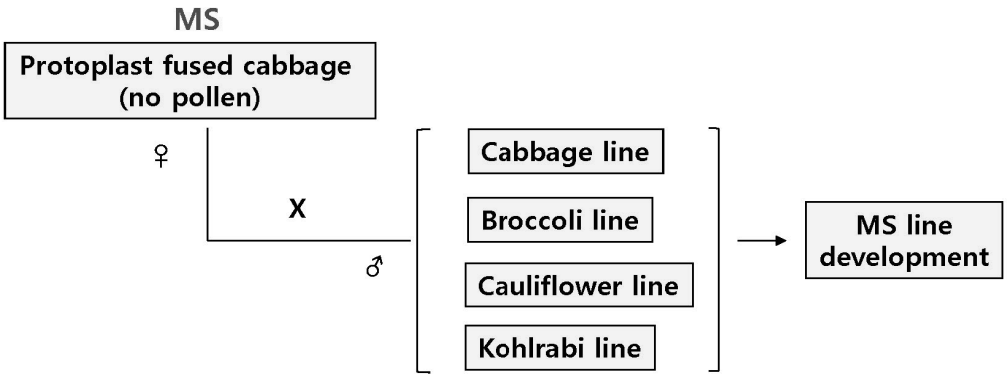
Control

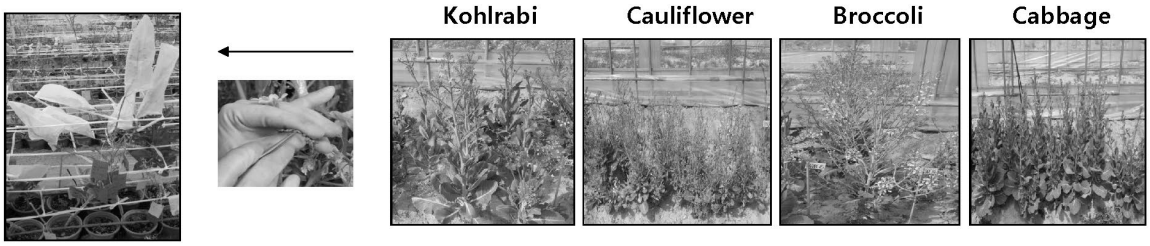
Control

EF 3 (cybrid: C_0)

32

Development of New Brassica lines
(*Brassica oleracea*)

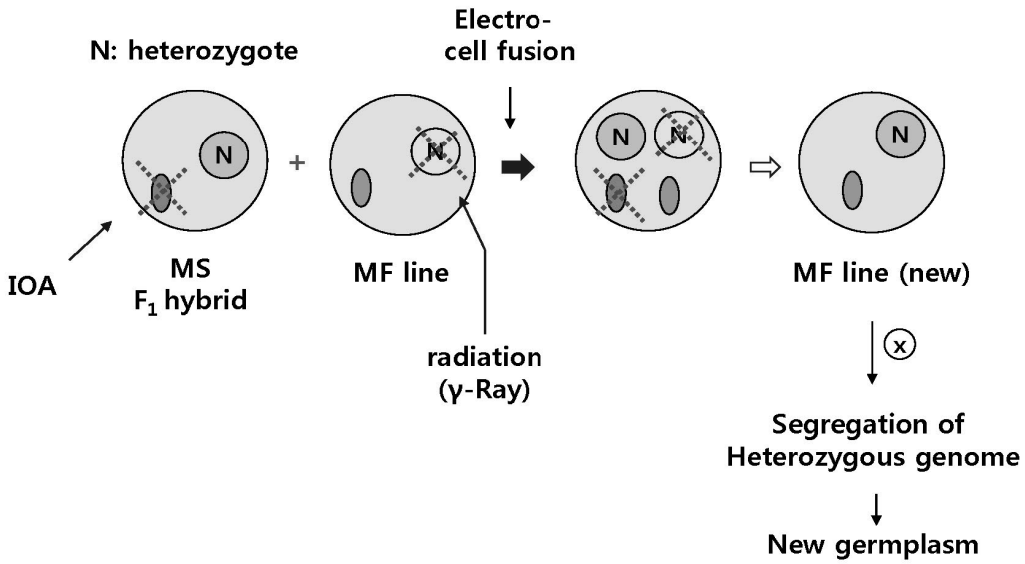




33

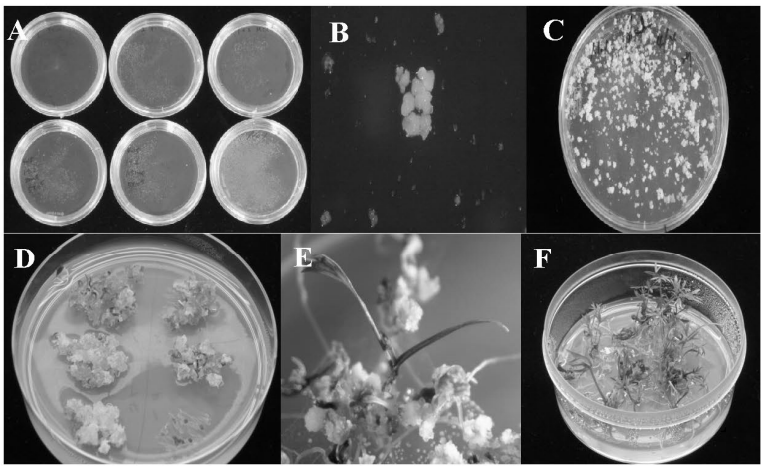
2. Nuclear Genome Transfer

MS F1 hybrid의 핵만 치환하여 분리시키는 방법



34

Process for carrot regeneration from callus after fusion

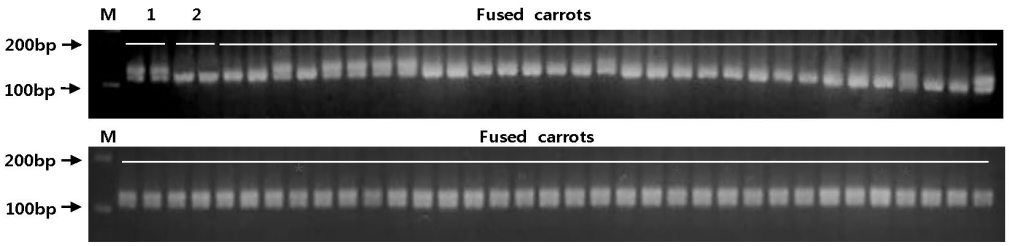


A: early stage of after-fusion; B: callus induction after-fusion; proliferation of callus; D, E: shoot induction; F: regeneration

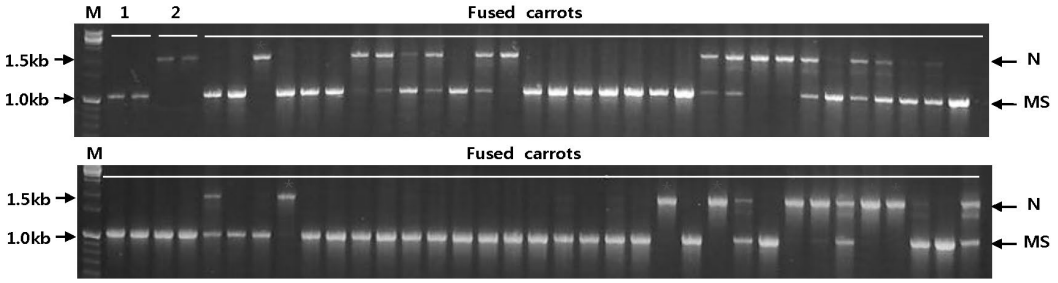
35

DNA marker analysis of cybrid (C_0) carrots

Nucleus-specific marker



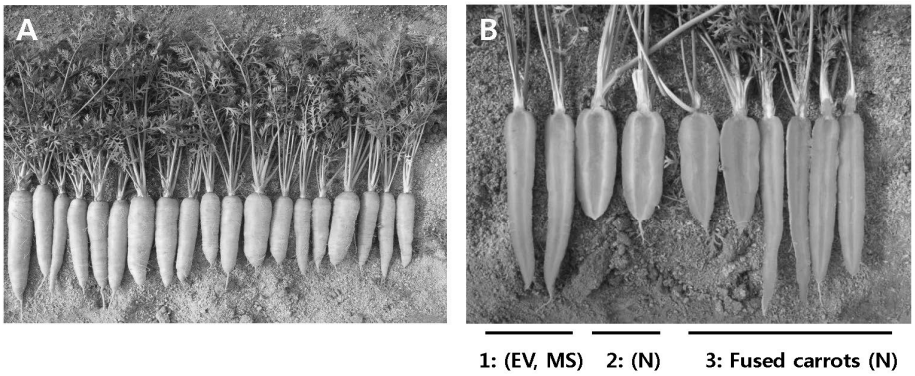
CMS-specific marker



M: Molecular marker; 1: nucleus donor variety (MS); 2: nucleus acceptor line (MF); Fused carrots: cybrids constructed by protoplast cell fusion. MS: male sterile, N: normal, male fertile;
* Selected samples

36

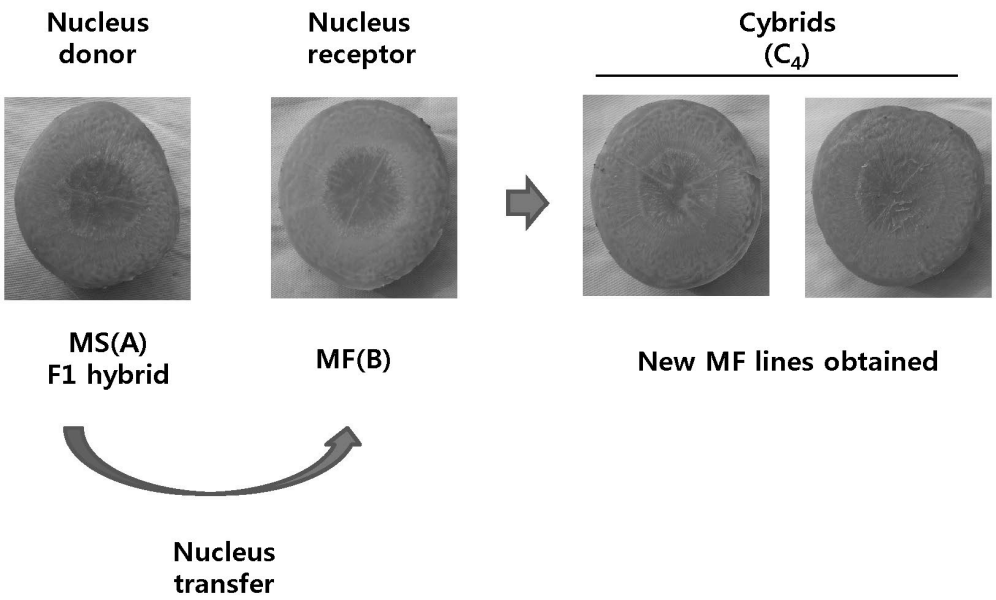
Segregation pattern of fused carrots (C_1)



A: Phenotypic variation of fused C_1 carrots, B: Pigmentation of carrots; 1: elite variety; 2: N, normal inbred line; 3: fused carrot. EV: elite variety; MS: male sterile; N: normal, male fertile

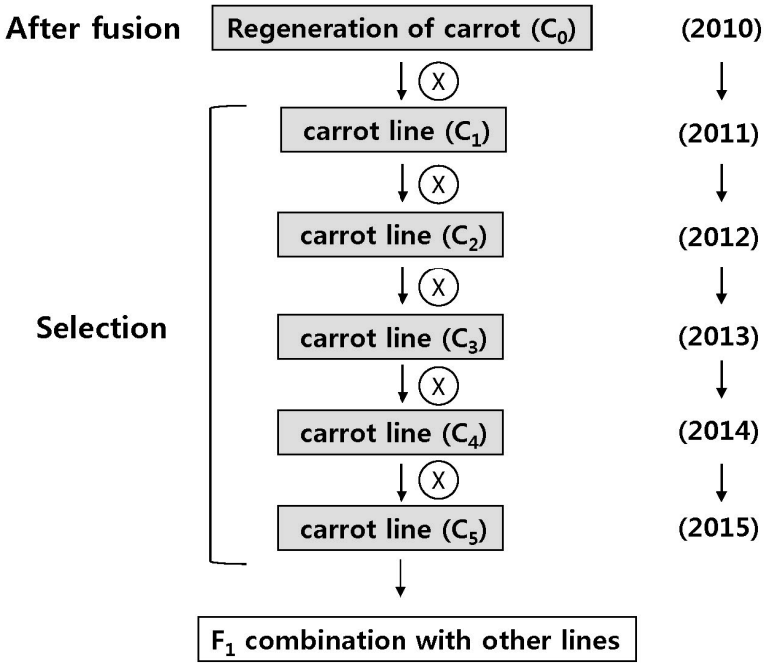
37

Difference of root color among carrot cybrids



38

Development of fused carrots and selection for new inbred lines



39

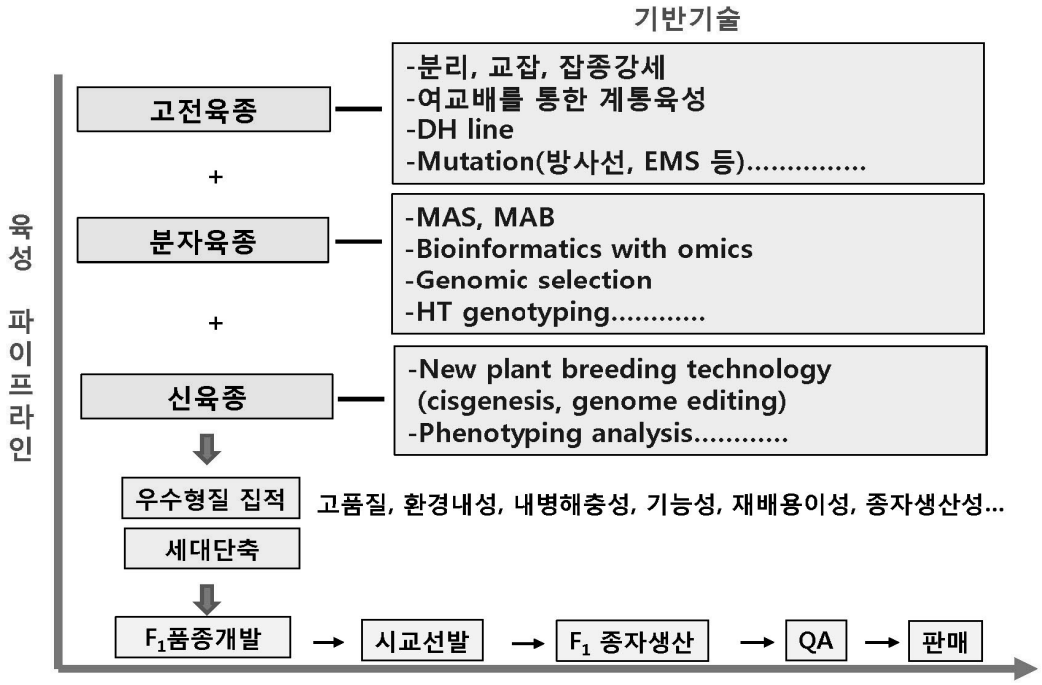
새로운 계통을 만든 후 F1 조합 및 선발

(2015.12)

New F_1 hybrids with uniformed root color and stable purity could be selected.

40

신품종, 고생산성을 위한 기술융합 파이프라인 확립



통계적 평가, 모델링, 컴퓨터를 활용한 DB 분석을 통하여 최종 선발

결론

- ▶ 국내 영세한 종자기업들도 활용 가능한 육종기술들임
- ▶ 식량작물 및 원예작물에 다 적용이 가능하며 새로운 유전자원을 확보할 수 있음
- ▶ G. Editing은 적은 비용으로 GMO를 대처할 수 있는 장점이 있음
- ▶ 제시된 기술들은 다국적기업과 기술경쟁력 측면에서 크게 차이가 없음
- ▶ 본 기술융합 파이프라인을 활용한 식량생산제고 및 고품질 품종개발 분야가 국가연구사업으로 정착할 수 있도록 관련 정부기관에 제언이 되어야 함

종합토론 좌장

한국식량안보연구재단

이 철 호 이사장

학 력

고려대학교 농화학과(농학사)
덴마크 왕립수의농과대학 대학원 식품저장학교실(농학박사)

경 력

미국 M.I.T. 공과대학 식품영양학과 연구원
고려대학교 식품공학과 교수
고려대학교 부설 식품가공핵심기술연구센터 소장
보건복지부, 식품위생심의위원
한국산업식품공학회 회장
한국미생물생명공학회장, 한국미생물학회연합 회장
한국식품과학회장, 한국식품관련학회연합 초대회장
한국국제생명과학회(ILSI Korea) 회장
Codex 제15차 아시아지역조정위원회(CCASIA) 의장
국무총리실 식품안전정책위원회 위원, 민간위원협의회 의장
식품의약품안전청 식품안전평가위원회 공동위원장
한국인정원 식품안전미래포럼 위원장
UN식량농업기구(FAO) 고문관(Consultant)
(현)한국과학기술한림원 회원
(현)국제식품과학기술한림원(IAFoST) 회원
(현)미국 식품공학회(IFT) Fellow
(현)고려대학교 명예교수
(현)한국식량안보연구재단 이사장

토/론/문

충북대학교 교수, 한국육종학회 회장 **조 용 구**

Profile

조 용 구

학 력

서울대학교 식물분자유전학 전공(박사)
서울대학교 작물학전공(석사)
충북대학교 농학과 졸업(학사)
코넬대학교 Plant Breeding and Genetics 학과
(Postdoc fellow)

경 력

충북대학교 교수
한국육종학회 회장
미국 코넬대학교 겸임교수
GM작물개발사업단 전문위원
Plant Breeding and Biotechnology 저널 편집위원장
Journal of Plant Biotechnology 저널 책임편집위원
미국 코넬대학 객원교수
국립식량과학원 겸임연구관
국립농업과학기술원 세포유전과 연구실장
농업기술연구소 연구원

유전자 재조합 작물의 연구와 재배는 식량안보를 위해 반드시 필요하다

유전자 재조합(GM, Genetically Modified) 기술은 자연계에 이미 존재하는 생물 현상을 인류가 일부 가공하여보다 효율을 높인 것으로, 지금은 세계적인 표준 기술이 되고 있다. 이에 따라 최근 식물의 생명 시스템의 유전자 수준에서의 이해가 비약적으로 진행되었다. 또한 유전자 재조합 기술이 만들어내는 유전자 변형 식물, 즉 유전자 재조합 식물의 실용화는 전 세계적으로 급속히 진행되고 있어, 향후 글로벌 식량・환경・에너지에 관한 제반 문제 해결을 위한 돌파구가 되고 있다고 생각되고 있다. 실제로 2008년 G8에서 각국 지도자는 유전자 변형 작물(GMO, Genetically Modified Organism)의 중요성에 대해 처음으로 언급하고 "유전자 재조합 작물의 연구 개발을 촉진하고 농업 생산을 향상 위한 새로운 기술을 도입하고 이렇게 개발 된 신품종의 특성을 과학적으로 평가하자"고 호소하고 있다.

자원이 부족한 한국은 과학기술 입국을 목표로 학술과 기술의 발전에 힘을 기울여 왔다. 그 효과는 식물 과학에도 영향을 미쳐 모델식물인 애기 장대와 벼를 재료로 하는 기초 연구 분야에서 세계를 선도하는 우수한 연구 실적이 축적되어 있다. 외국에서는 세계의 식량과 환경 문제의 해결에 공헌 할 수 있는 유전자 재조합 식물을 개발하여 25 개국이 유전자 재조합 작물을 이미 재배하고 있다. 한편, 한국에서는 화훼를 제외하면 식량 작물 등은 유전자 재조합 작물을 자국에서 실용화・재배・수확에 이르지 않고 외국에서 대량으로 수입하여 사용하는 상태에 그치고 있다. 국내의 기초 연구의 성과를 사회에 환원하고 앞으로 더욱 심각해지고 있는 환경 문제와 식량 문제 등 글로벌 이슈 해결에 식물 기능을 활용하기 위해서는 유전자 재조합 식물 연구와 개발을 위한 연구 기반을 확충함과 동시에 이러한 유용한 기술의 이용에 관한 국민의 이해 증진을 위해 과학자들이 다방면의 관계자들과 협력하고 노력할 필요가 있다.

따라서 한국식물생명공학회-한국식량안보연구재단 공동심포지엄 토론자로서 자원이 부족한 한국이 과학기술 입국을 목표로 세계 식량의 안정 공급과 환경 문제의 해결에 기여하기 위해 유전자 재조합 식물의 이용을 위한 전략적 대응이 요구되고 있다. 다음에 그 구체적인 내용에 대해 토의하고자합니다.

1) 유전자 기능 분석의 전략적 이니셔티브를 지향하며

식물이 가진 다양한 기능을 고도로 활용하기 위해서는 다양한 식물에 대한 분자 수준의 이해가 필요하다. 특히 다양한 식물의 게놈 분석 및 게놈 정보의 새로운 활용이 요구되고 있다. 최근 야생 식물의 작물화, 품종 개량의 과정에서 많은 우량 유전 형질이 손실되어 온 것이 밝혀지고 있다. 이러한 사용하지 않았던 유전자 자원의 발굴을 위해 게놈 비교는 전사체, 프로테옴, 대사체 등의 통합 오믹스 분석과 함께, 식물 유전자의 미지 기능의 활용에 필수적인 플랫폼이다. 이러한 첨단 기술을 식물 과학에 활용하기 위해서는 기초 연구와 응용연구를 묶는 중장기 전략이 절실히 필요하다

2) 유전자 재조합 기술의 안전성 검증과 야외 포장시험 지역의 정비 실시

유전자 재조합 기술의 개량 및 그 안전성 등에 관하여 추가 연구 개발에 의한 안전성에 대한 신뢰감 조성과 함께 현재의 실험실내에서의 성과를 실질적인 고기능 식물로 개발하려면 야외 환경 시험의 추진이 필수적이다. 유전자 재조합 기술에 불안을 느끼고 있는 국민의 지원을 얻기 위해서도 야외 환경 시험에 의한 실제 데이터의 확보가 필수적이다. 특히 한국과 같은 소규모 형 농업에 적합한 지역 특성에 맞는 맞춤형 품종 개량을 실현하기 위해 전국 각지의 다양한 환경에서 유전자 재조합 작물의 시험 재배를 실시 할 수 있는 야외 시설의 정비가 필요하다.

3) 젊은 인재의 육성 추진

유전자 재조합 식물의 실용화를 위해 한국에는 많은 시급한 과제가 산적해있다. 이러한 과제를 해결함에 있어서는 새로운 인재의 육성이 필수가 된다. 특히 식물의 생명 시스템을 유전자 수준에서 해명하고, 유전자 재조합 기술의 안전성을 확보 · 검증하고 그 이해를 사회에 환원 할 필요가 있을 것이다. 그러기 위해서는 식물 과학에 정통한 응용 과학에의 중개 연구 (트랜스 레이셔널 리서치)에도 이해를 가진 젊은 연구자의 양성과 활약 장소의 확보가 절실히 필요하다.

4) 유전자 재조합 식물의 사회적 합의를 위한 노력 진행

사회에서 유전자 재조합 식물에 대한 과학적인 인식의 보급이 필수적이다. 한국에서 유전자 재조합 식물에 대한 일반인의 불안은 뿌리 깊다. 이 현상을 근거로 하여 유전자 재조합 식물이 사람의 건강이나 환경 생태계에 미치는 영향에 대해 국내외의 연구 기관이 추진해온 과학적인 조사를 지속적으로 수행하여야 한다. 한편, 그 지식을 알기 쉽게 사회에 정보를 알려주는 것으로, 사회의 구성원이 평등하게 연구 성과에 접할 수 있도록 함과 동시에, 과학자, 정부 관계자, 산업계, 언론, 생산자, 소비자 등이 일반적인 정보에 따라 공동으로 유전자 재조합 식물 이용에 대한 사회적 합의 형성에 일할 수 있는 체제를 정비할 필요가 있다.

한국이 과학기술 입국을 국시로 국제 경쟁에서 세계적인 식량 문제, 환경 문제에 솔선하여 대처 해 나가기 위해서는 식물 과학을 기반으로 한 세계 탑 클래스 바이오 기술이 필수적이다. 한국육종학회에서는 환경과 조화로운 안전한 식품의 생산・공급 및 생물 기능 활용에 의한 물질 생산을 위한 기반 기술의 구축을 검토하고 국민의 이해를 얻으면서 유전자 재조합 기술을 활용한 식량 증산, 환경 보전, 바이오 매스 에너지의 증대에 관한 연구를 진행하는 것이 미래를 위해 반드시 필요하다는 인식을 하고 있다.

토/론/문

국립농업과학원 생물안전성과 과장 **조 현 석**

Profile

조 현 석

학 력

경북대학교 농학과 졸업(학사)
경북대학교 작물육종 전공(석사)
경북대학교 작물육종 전공(박사)

경 력

농진청 농업생명공학연구원 연구사
미국 코넬대 방문연구원
농림부 GMO 대책반 근무
(전)바이오그린 GMO 사업단장
(전)환경부 LMO 전문가 심사위원
APEC 및 OECD 전문가 회의 참석
(전)경북대 농업생명과학대학 초빙교수
(현)식물생명공학회 부회장
(현)농진청 국립농업과학원 생물안전성과장

GMO와 신육종기술의 현황과 전망 토론 자료

기존의 GMO 개발 기술은 새로운 유전자를 도입 및 발현시켜서 이에 대한 안전성 평가를 수행하였던 반면, 유전자가위, 올리고뉴클레오티드 돌연변이, 시스제네시스, 리버스 브리딩, RNA기반 DNA메틸레이션, 삽목, 아그로 인필터레이션 등 7가지 신육종기술은 외부유전자 도입 없이도 목적하는 형질을 발현하거나, 도입된 유전자와 자연적인 돌연변이와 구별이 불가능한 경우 등 다양한 경우가 보고되고 있습니다.

이들 기술을 농업적으로 활용하려는 연구가 최근 여러 나라에서 시도되고 있으며, 미국의 경우 유전자가위기술을 이용한 흰양송이 개발 및 듀퐁파이오니어에서 가뭄에 강한 옥수수를 개발하였다고 보고하고 있습니다. 앞으로 이 기술은 기존의 GMO 기술을 대체/보완하여 세계적으로 더욱 많이 활용될 것으로 예상되고 있습니다.

이들 기술은 새로 도입된 유전자가 없거나 동일종의 유전자를 가지고 있으며, 자연적인 돌연변이와 구별이 어렵기 때문에 기존의 GMO 안전성 규제체계와는 다른 새로운 규제 체계를 마련해야할 필요성이 제기되고 있습니다.

세계적으로 미국, 일본, 유럽, 아르헨티나, OECD, CBD 등에서 신육종기술 산물에 대한 규제 방안을 논의하고 있지만, 아직까지 구체적인 가이드라인이나 합의점은 제시되지 않고 있습니다.

우리나라도 최근 이들 신육종기술에 대한 규제를 마련하기 위한 논의가 시작되었는데, 외국의 경우는 공공정책연구 등을 통해 과학계의 의견을 수렴하고 신육종기술 규제 여부에 대한 검토보고서를 발간하는 등 미리부터 준비를 많이 해오고 있지만 아직 우리나라는 이러한 시도가 없었으며, 현재 관련부처의 의견을 수렴하고 있는 단계입니다.

이들 기술의 산물이 다양하고 일반작물과 구별하기 어려운 특성이 있는 만큼 규제 체계 작성 시 국내 생명공학 연구 발전을 저해하지 않도록 과도한 규제는 피해야 할 것이며, 국제적인 추세에 부합할 수 있는 합리적 기준이 제시되어야 할 것 입니다.

최근 GMO 안전성에 대한 소비자의 우려가 큰데, 이를 해결하기 위해서 과학적 사실에 기반한 안전성 평가와 소비자와의 소통강화에 더욱 힘써야 할 것이며, 농업생명공학 연구를 통한 미래 식량안보와 국가 농업경쟁력 확보는 반드시 필요한 것임을 인식해야 할 것입니다.

토/론/문

식품의약품안전처 수입식품정책과 과장 **이 윤 동**

Profile

이 윤 동

학 력

고려대학교 농화학과(학사, 석사)
한국과학기술원 생물공학과(박사)
중국 칭화대학 생물과학(박사후)

경 력

식품의약품안전청 오염물질과 보건연구사
식약의약품안전청 위해정보과, 위해관리과,
식품안전정책과 식품위생사무관
식품의약품안전청 해외실사과장, 부산지방청 식품관리과장
주중 한국대사관 식약관
현)식품의약품안전처 수입식품정책과장

주요 국가의 GMO 표시제도

○ 현재 우리나라를 포함하여 EU, 일본, 호주/뉴질랜드 등 주요 국가에서 GMO 표시제를 시행하고 있음('16.10월 현재)

구 분	한 국	일 본	호주/뉴질랜드	미 국	유 럽
식품용으로 승인된 GMO* * 식품용 GMO가 승인되었다고 모두 상업적 생산을 의미하는 것은 아님	6종 대두, 옥수수, 면화, 카놀라, 사탕무, 알팔파	8종 대두, 옥수수, 면화, 카놀라, 사탕무, 알팔파, 감자, 파파야	8종[1] 대두, 옥수수, 면화, 카놀라, 사탕무, 알팔파, 감자, 쌀	15종[2] 대두, 옥수수, 면화, 카놀라, 사탕무, 알팔파, 감자, 파파야, 호박, 사과, 치커리, 아마, 자두, 벼, 토마토	5종[3] 대두, 옥수수, 면화, 카놀라, 사탕무
GMO 표시대상	상기 6종의 농산물 및 그 가공품	상기 8종의 농산물 및 그 가공품	상기 8종의 농산물 및 그 가공품	-	상기 5종의 농산물 및 그 가공품
GMO 표시기준	유전자변형 원재료를 **주요 원재료***로 사용한 식품 중 유전자변형 DNA(단백질)가 **남아있는 식품** * 많이 사용한 5순위 원재료 ☞ **원재료로 개정・시행 ('17.2.4)**	유전자변형 원재료를 함량 **3순위 이내**로서, **원재료 함량비 5%**이상으로 사용한 식품 중 유전자변형 DNA(단백질)가 **남아있는 식품**	최종제품에 유전자변형 DNA 또는 유전자변형단백질이 **남아있는 식품**	기존식품과 영양성, 알레르기성 등이 현저하게 차이나는 경우만 표시* * GM 고올레인산 대두, GM스테아리돈산 대두	유전자변형 DNA(단백질) **잔류 여부와 관계없이** 모두 표시
Non-GMO 표시	자율이나, GMO 성분이 전혀 없어야 함(비의도적 혼입치 **불인정**)	자율이나 '유전자변형이 아닌 것을 분별' 등으로 표시해야 함(비의도적 혼입치 **인정**)	GMO와 전혀 관련 없는 제품등에 Non-GMO 표시는 할 수 없음 공정거래법 위반, 비의도적 혼입치 **불인정**)	GMO와 전혀 관련 없는 제품등에 Non-GMO 표시는 부적절하다고 안내	자율 ※ 통일된 규정은 없으나 자국의 상황에 따라 인정 범위를 달리하고 있음
유지류·당류 등 고도로 정제되어 유전자변형 DNA(단백질)가 남아 있지 않은 제품에 대한 GMO 표시 여부	표시제외	표시제외	표시제외	※ GM 고올레인산 대두, GM 스테아리돈산 대두로 만든 대두유	표시
비의도적 혼입치*	3%	5%	1%	-	0.9%

* 농산물을 생산・수입・유통 등 취급과정에서 구분하여 관리한 경우에도 그 속에 유전자변형농산물이 비의도적으로 혼입될 수 있는 비율(「유전자변형식품등의 표시기준」(식약처 고시 제2014-114호, '14.4.24)

1) http://www.foodstandards.gov.au/consumer/gmfood/application/pages/default.aspx
2) https://www.aphis.usda.gov/biotechnlolgy
3) http://ec.europa.eu/food/dyna/gm_register/index_en.cfm

토/론/문

한국식품산업협회 식품안전부 부장 **김 정 년**

Profile

김 정 년

학 력

건국대학교 농화학과 졸업 (농학사)
건국대학교 대학원 졸업 (농학석사)
건국대학교 대학원 졸업 (이학박사)
MIT Biological Engineering Division (Postdoc)

경 력

2006-2008 /2010-2012 /2014.9-2016.9
식품위생심의위원회 위원
2013.6-2017.6 식품의약품안전처 자체규제심사위원회 외부위원
2013.7-2017.7 어린이 식생활 안전관리위원회 위원
2015.6-2017.5 축산물위생심의위원회위원

국내 식품업체가 가공식품 제조에 사용하는 원재료 중 70%는 수입산 원료이다(농림축산식품부, 「2015 식품산업 원료소비 실태조사」, 2015.12). 또한 국내 곡물자급률은 23.8%를 보이고 있다. 이러한 상황에서 우리나라의 식량안보와 농업 경쟁력의 중요성은 자명하다.

그러나, 강연에서 공통적으로 지적된 바와 같이, 우리나라는 소비자의 유전자변형작물에 대한 수용도가 낮으며, 사회적 불안이 심화된 상태이다. 한국바이오안전성센터의 일반인 대상 설문조사(KBCH, 대국민 LMO인식조사, 2015.11, 600명)에 따르면 GM기술 연구개발 및 수입에 대한 규제를 엄격히 해야 한다는 응답이 80%이상, 인체 안전성에 의문이라는 응답이 76% 정도이다. 이는 신기술에 대한 연구개발이 필요한 국내 현실에서 큰 저해요인이 될 수 있다.

이와 같은 상황에서 식량자원 확보를 위한 Non-GM 방식의 새로운 품종개발 기술은 국내 농업 발전과 생산성 향상을 위해 적극적인 활용이 필요할 것이다. 또한, 대부분 수입 원재료를 사용하는 국내 가공식품 제조업체와 유전자변형생물체에 대한 거부감이 큰 현실에도 적합한 기술로 생각된다.

다만, GMO 식품과 관련해서는 현재 여러 이슈가 진행 중이다. 과학적 근거 없는 괴담이 여전히 소비자의 불안감을 자극하고 있고, 특히 최근에는 일부에서 외래 단백질이 남지 않는 식품까지 표시를 의무화할 것을 요구하고 있다.

표시제와 관련해서, 지난 2015년 12월 개정된 식품위생법은 그동안 각계에서 어렵게 합의된, 기존보다 진일보한 GMO 표시제로 개정되었으며, 2017년 2월 시행을 앞두고 있다. 그러나 개정된 법률이 시행도 되기 전에 표시 확대를 추진하는 개정안이 새로 발의된 상황이다.

이는 소비자 혼란을 넘어 식량수급 및 물가상승 문제, 국내 식품산업의 경쟁력 약화 등 우리나라 전체에 큰 파급효과를 불러올 수 있는 문제이다.

어느 시대라도 '새로운' 과학 기술은 일반 대중이 불안해할 수 있다. 철저한 안전성 검증이 있더라도 소통의 중요성은 항상 생각해야 할 문제이다. 이에 대해 정부나 학계 모두 새로운 과학기술을 제대로 인식시키고 효과적으로 활용할 수 있도록 소통에 노력해야할 것이다. 신기술에 대한 사회적 공감도를 높인 이후에 관련 규제나 기술 적용에 대한 각계의 합의가 필요하다고 본다.

Memo

Memo

Memo

Memo