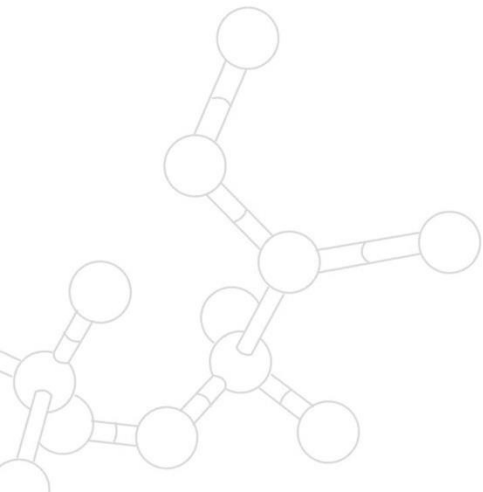


국내 농업생명공학 연구개발 현황과 문제점

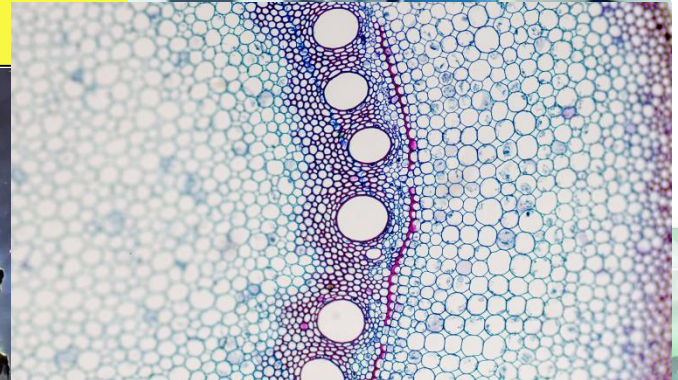
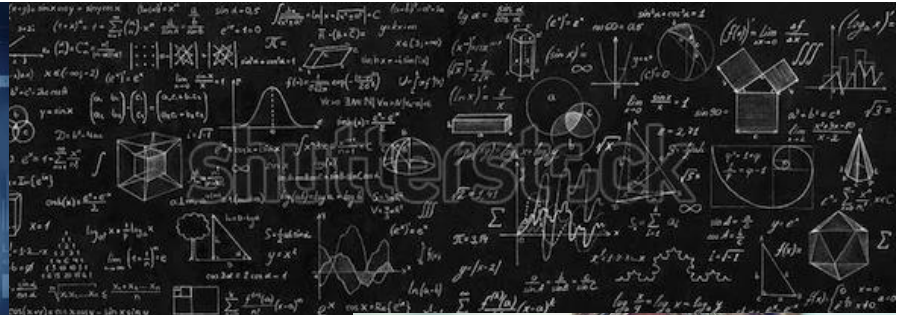
2019. 10. 01

미래 식량자원포럼

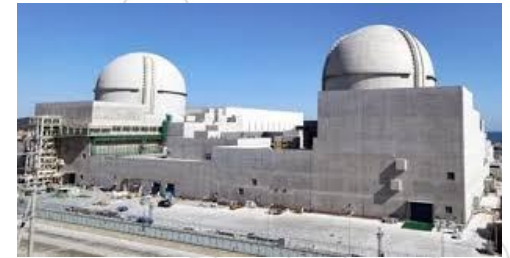
김 동 현



과학 - #세상을 보는 눈 #믿음 #감정 #증명 #객관 #훈련

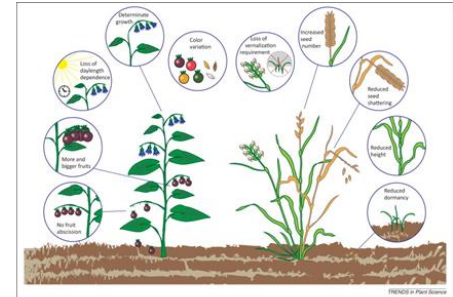
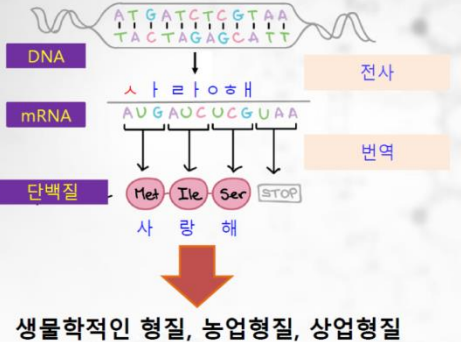


Technology - #과학 지식의 이용 과정 및 산물

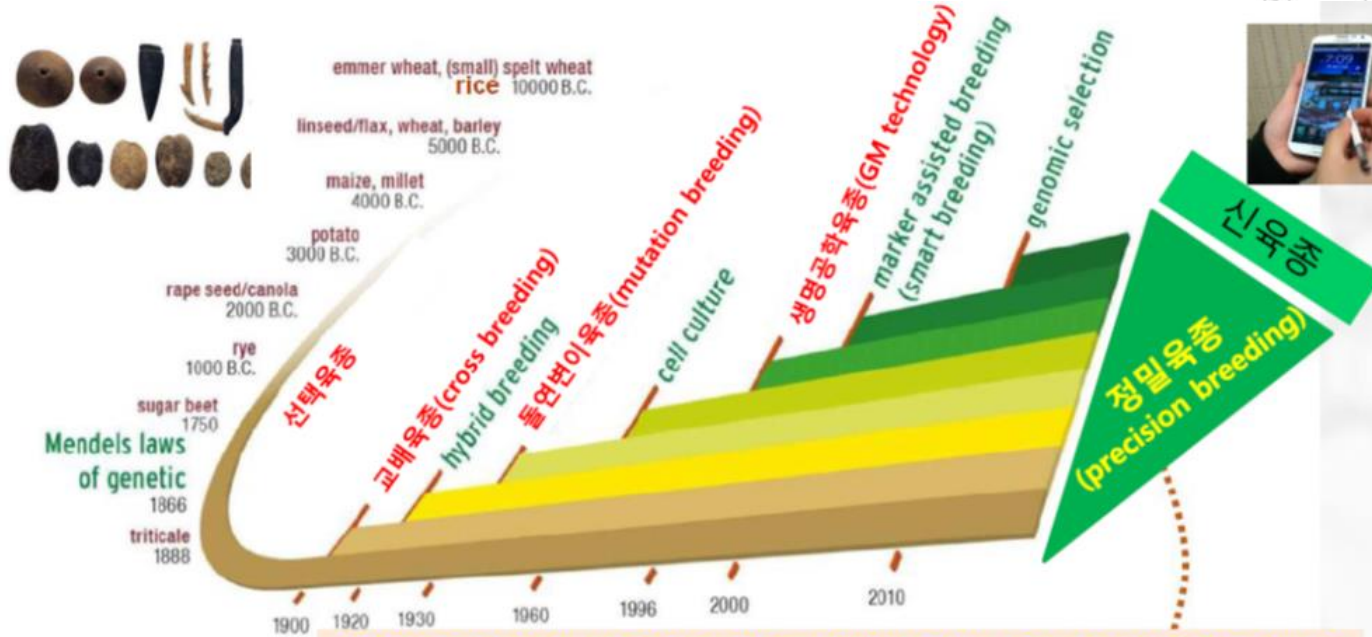


농업생명공학의 발전

Computer: 0, 1
DNA: A, T, G, C



T. Lenser & G. Theißen (2013)
Trends in Plant Sci. 18: 704



정밀육종기술은 식물육종 기술 진화의 자연스런 연속기술의 하나임

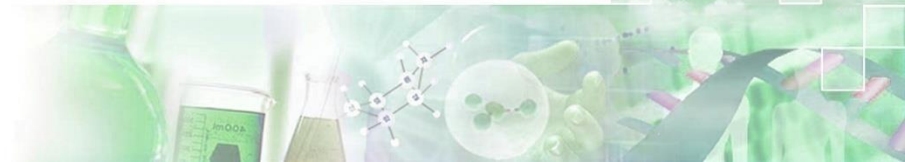
정밀/안전성, 적은시간/노동 효율성, 경제성 높음

Source: American Seed Trade Association (ASTA)

세계 공통의 농업 이슈

- 인구 증가 : 식량 수요 증가
- 경제발전 : 육류 수요 증가 - 가축 사료 수요 증가
- 경작지 제한 : 생산 효율성에 대한 수요 증가
- 기후변화 : 국지적 무생물/생물 스트레스에 대한 대응 전략 필요
- 지속가능한 농업에 대한 요구 : 저투입 (비료, 농약 등) 농업 전략
- 소비자 기호의 다양화 : 농업생산의 다양성 확보.....

농업생명공학이 여러 기술적 해결 방안의 하나 !!!



유전자변형 생물체 (G/LMO)

○ 카르타헤나 바이오안전성 의정서

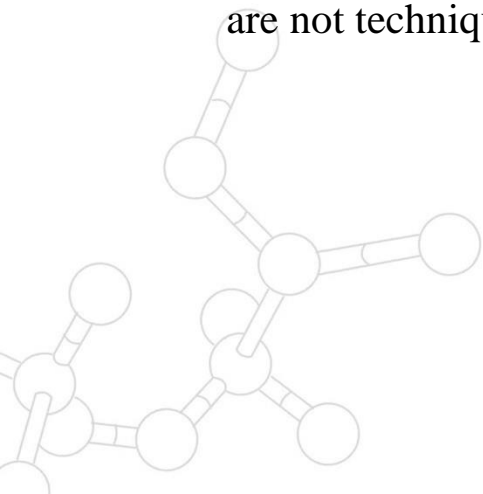
√ Living modified organism : any living organism that possesses a **novel combination of genetic material** obtained through the use of **‘modern biotechnology’**

√ Modern biotechnology : the application of

a. **In vitro nucleic acid techniques**, including recombinant deoxyribonucleic acid (DNA) and direct injection of nucleic acid into cells or organelles

b. **Fusion of cells beyond the taxonomic family**,

that overcome natural physiological reproductive or recombination barriers and that are not techniques used in traditional breeding and selection



○ 우리나라

√ “유전자변형생물체“란 다음 각 목의 **현대생명공학기술**을 이용하여 **새롭게 조합된 유전물질**을 포함하고 있는 생물체를 말한다.

가. 인위적으로 유전자를 재조합하거나 유전자를 구성하는 핵산을 세포 또는 세포 내 소기관으로 직접 주입하는 기술

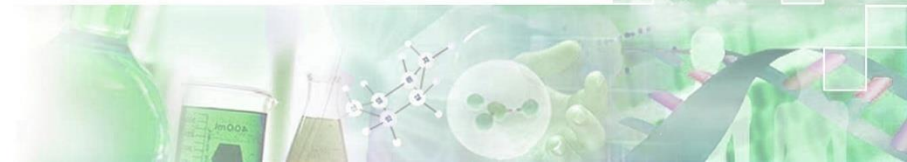
나. 분류학에 의한 과(과)의 범위를 넘는 세포융합으로서 자연상태의 생리적 증식이나 재조합이 아니고 전통적인 교배나 선발(선택)에서 사용되지 아니하는 기술

※ 조합 (組合) : 여럿을 한데 모아 한 덩어리로 짬 (표준국어대사전)

재조합 (再組合) : 특정 유전자의 배열 순서를 바꾸거나 다른 유전자와의 조합을 통하여 지금까지와는 다른 유전자의 조합이 생기는 기구(機構)를 통틀어 이르는 말

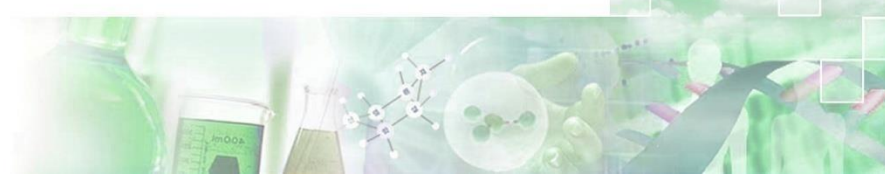
○ EU

√ “an organism, with the exception of human beings, in which **the genetic material** has **been altered** in a way that **does not occur naturally** by mating and/or natural recombination

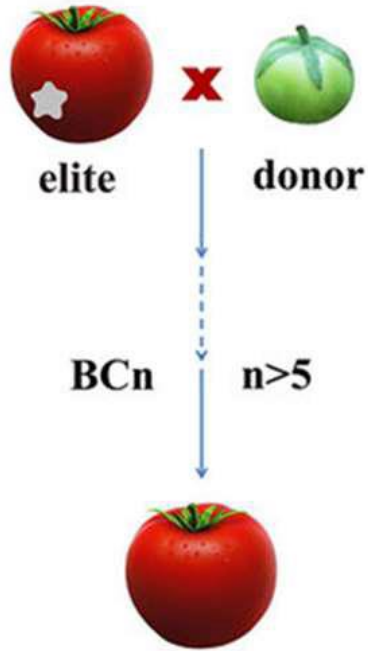


각 국의 GMO 정의는 같은 듯 서로 다른..

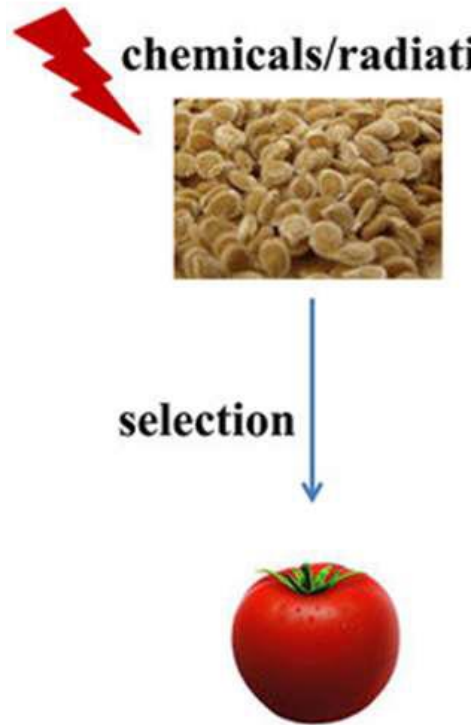
		← 생산물 특성 범위 →			
		넓음			좁음
↑ 임계면 ↓ 임계점	넓음		유전적 변이	새로운 조합의 유전물질	제품의 특성
	제한 없음				(Group 1) Canada, USA (2)
	적용기술적 측면	비자연적 방법	(Group 2) Brkina Faso, Czech Rep., EU , New Zealand, Portugal, Romania, South Africa, Spain, UK (9)		
좁음	현대생명공학기술	(Group 3) Australia, Bolivia, Brazil, China, Honduras, India, Pa kistan, Slovakia (8)	(Group 4)* Argentina, Bangladesh, Colombia , Costa Rica, Japan , Mexico, Phil ippines, Korea , Russia Fed., Sud an, Uruguay (11)		



작물의 품종개발 방법 - 모두 자연계에서 일어나는 일의 모방 내지 응용!!!



교배 육종

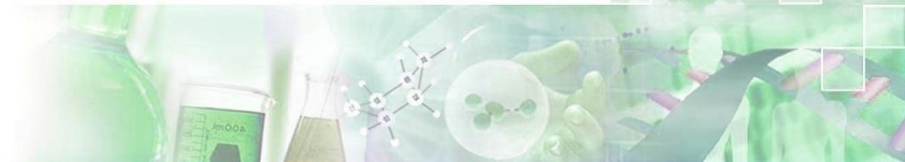


돌연변이 육종

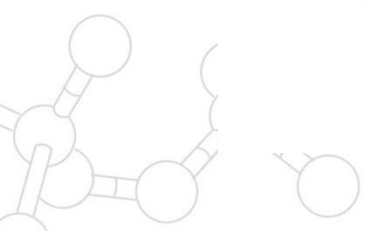
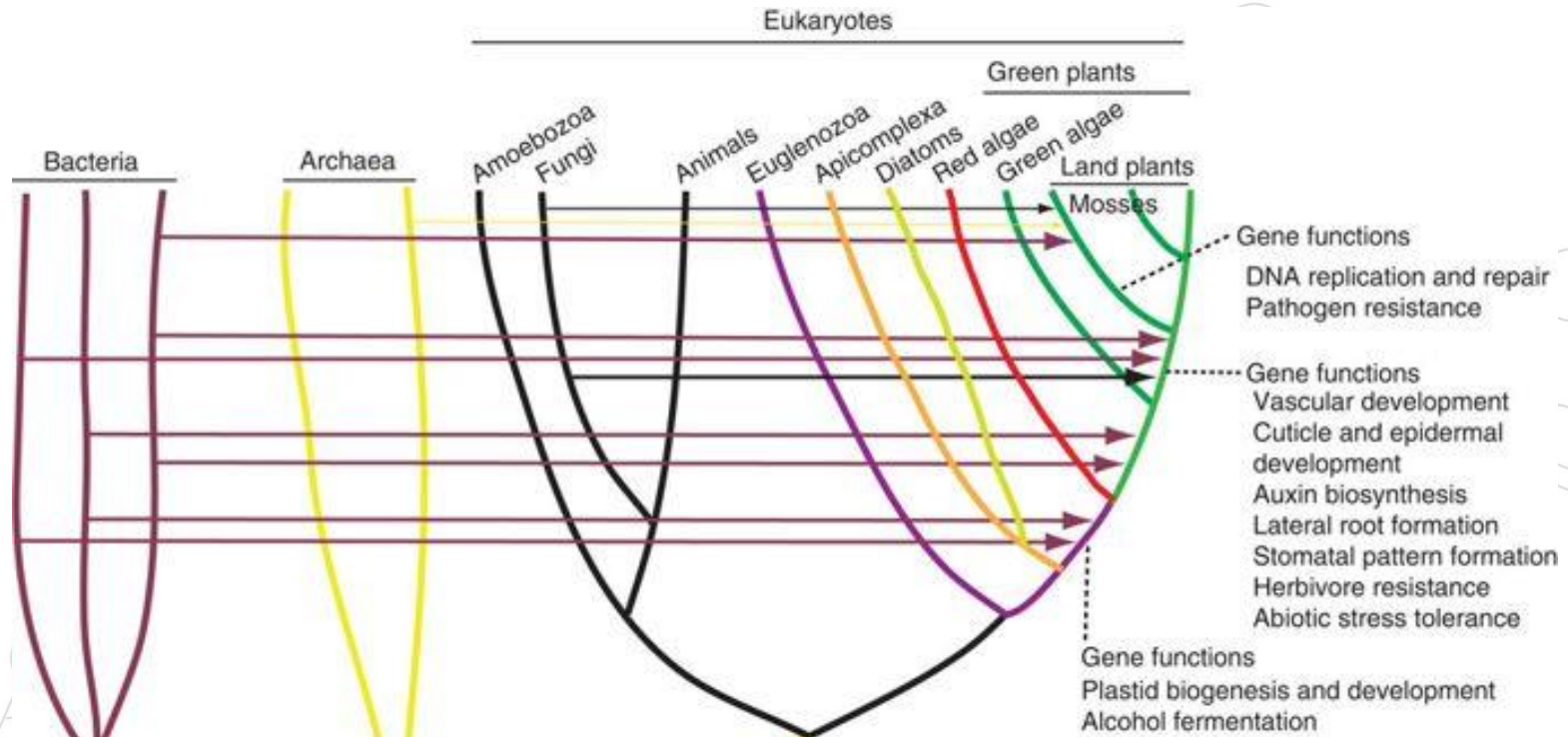


안전성 평가 (환경, 식품)

생명공학 육종 (GMO)

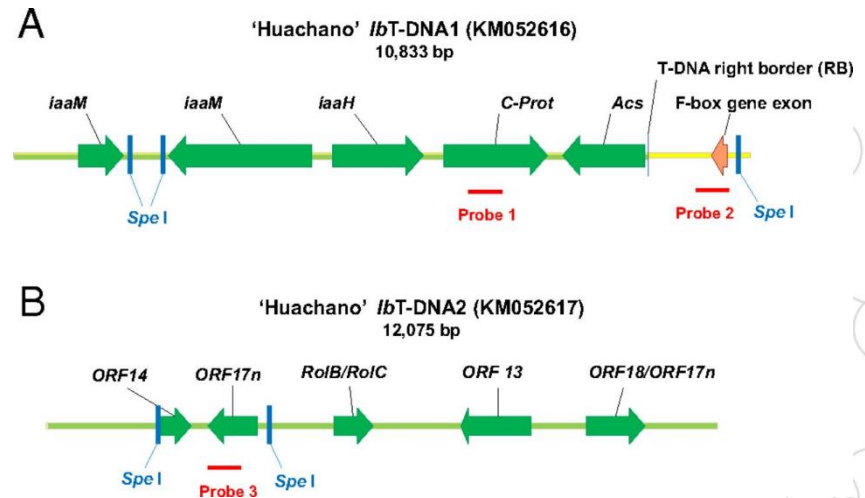


아그로박테리아와 고구마? Horizontal Gene Transfer



아그로박테리아와 고구마? Horizontal Gene Transfer

Future Food Resources Forum



- PCR testing of CIP and USDA collections:

	<i>IbT-DNA 1</i>	<i>IbT-DNA 2</i>
CIP genebank (80)	100%	31%
USDA genebank (211)	100%	15% (137 tested)

- And wild relatives?

	<i>IbT-DNA 1</i>	<i>IbT-DNA 2</i>
<i>Ipomoea batatas</i> / <i>tabascana</i> 4x (10)	0%	20%
<i>Ipomoea trifida</i> / <i>triloba</i> 2x (3)	0%	30%

Horizontal Gene Transfer

horizontal gene transfer is detected more and more in the genomic era



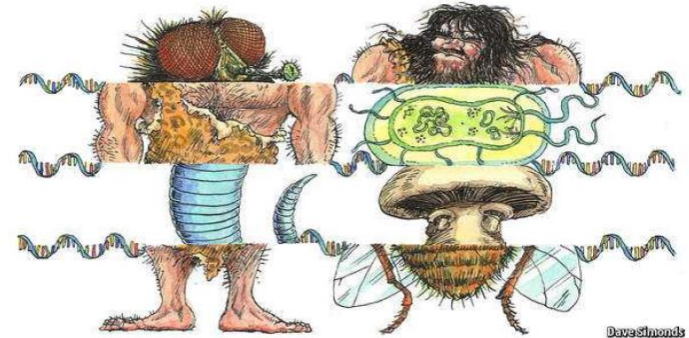
FISH Labeling Reveals a Horizontally Transferred Algal (*Vaucheria litorea*) Nuclear Gene on a Sea Slug (*Elysia chlorotica*) Chromosome
[Julie A. Schwartz](#), [Nicholas F. Curtis](#) and [Sidney K. Pierce](#)
Biol. Bull. December 1, 2014 vol. 227 no. 3 300-312

Even in humans!

Horizontal gene transfer

Genetically modified people

Human beings' ancestors have routinely stolen genes from other species



Expression of multiple horizontally acquired genes is a hallmark of both vertebrate and invertebrate genomes

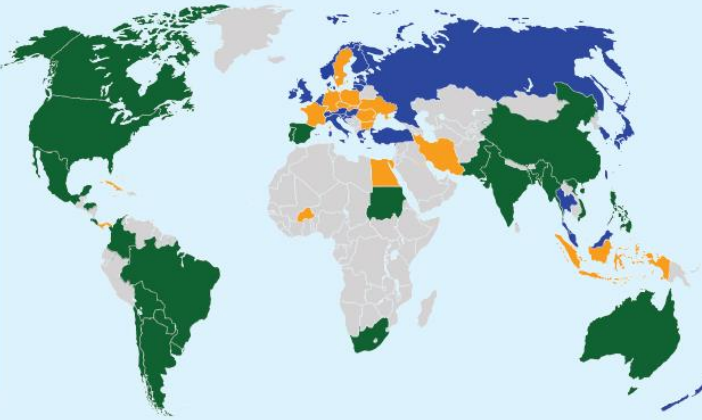
Alastair Crisp, Chiara Boschetti, Malcolm Perry, Alan Tunnacliffe and Gos Micklem
Genome Biology 2015, **16**:50 doi:10.1186/s13059-015-0607-3

GM 작물은 돌이킬 수 없는 세계적 추세 !

22 Years of Biotech Crops in the World

Since the first year of commercial planting of biotech crops in 1996, more than 60 countries from all over the world have either planted or imported biotech crops.

- The 6 founder biotech crop countries in 1996 are **USA, China, Argentina, Canada, Australia, and Mexico.**
- **Up to 17 million farmers** planted biotech crops in 2017, 95% is from developing countries.
- **24 countries** planted **189.8 million hectares** of biotech crops in 2017, a ~112-fold increase from 1.7 million hectares in 1996.
- In 2017, **24 countries** planted and **43** imported biotech crops.



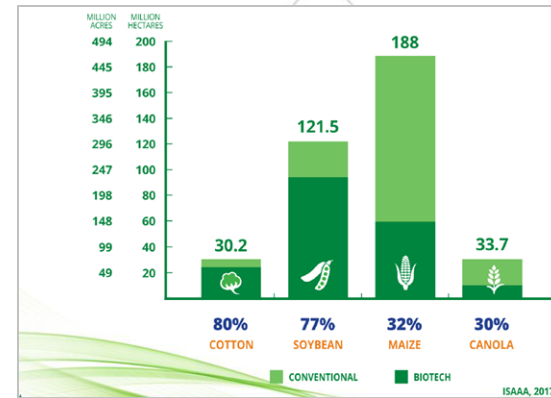
- **Countries planting biotech crops**
(USA, Brazil, Argentina, Canada, India, Paraguay, Pakistan, China, South Africa, Bolivia, Uruguay, Australia, Philippines, Myanmar, Sudan, Spain, Mexico, Colombia, Vietnam, Honduras, Chile, Portugal, Bangladesh, and Costa Rica)
- **Countries that stopped planting, currently importing biotech crops**
(Belgium, Burkina Faso, Czech Republic, Cuba, Egypt, France, Germany, Indonesia, Iran, Panama, Poland, Romania, Slovakia, Sweden, and Ukraine)

- **Countries not planting, but importing biotech crops**
(Austria, Belgium, Croatia, Cyprus, Denmark, Estonia, Finland, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Japan, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malaysia, Malta, Netherlands, New Zealand, Norway, Russian Federation, Singapore, Slovenia, South Korea, Switzerland, Taiwan, Thailand, Turkey, and United Kingdom)

For more information on biotech crops, visit www.isaaa.org



• ISAAA. 2017. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017. ISAAA Brief No. 53. ISAAA: Ithaca, NY.
• ISAAA. GMO Approval Database (<http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/default.asp>).

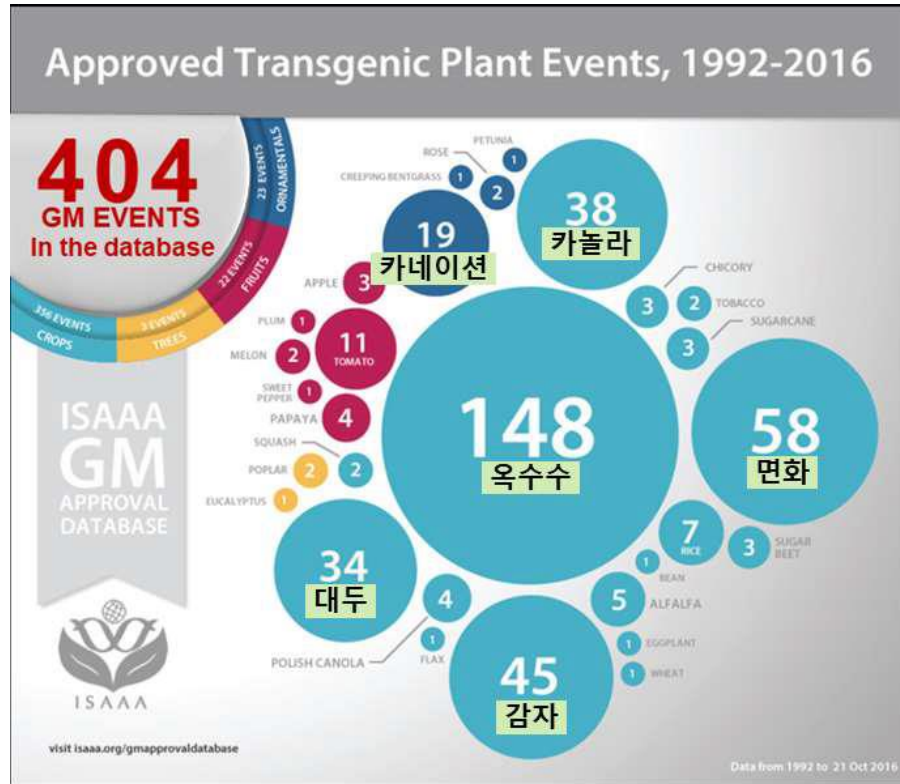


○ 2017년 주요 작물 GMO 채택 현황

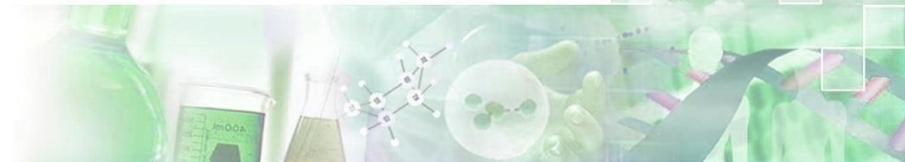
○ 2017년 재배 및 승인 현황

- 24개국 189.8M ha, 17M farmers (1996대비 112배 증가)

- 67개국 26작목 4,133종의 GM작물 승인 (1992~2017)



- 주요 작물 GMO 승인 현황
(2019년 현재 30작물 510 이벤트)



우리도 GM 농산물에 크게 의존하지만 세계 제일의 수입국은 아니다. es Forum

○ 국내 농산물 생산 (2016)

- 곡류 : 벼 4.19Mt, 보리 113Tt, 밀 10Tt
- 두류 : 콩 75Tt, 기타 16Tt
- 서류 : 감자 556Tt, 고구마 341Tt
- 채소 : 잎2.2, 열매1.9, 뿌리1.1, 양념2.3Mt
- 과실 : 사과, 배, 복숭아 등 2.65Mt

○ 세계 콩 수출입 현황

	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18
Exports				
Brazil	50,612	54,383	63,137	76,175
United States	50,136	52,870	58,960	57,945
Paraguay	4,576	5,400	6,129	6,029
Canada	3,763	4,236	4,592	4,925
Argentina	10,575	9,922	7,026	2,112
Other				
World Total	126,226	132,572	147,503	152,958
Imports				
China	78,350	83,230	93,495	94,095
European Union	13,914	15,120	13,441	14,584
Argentina	2	676	1,674	5,050
Mexico	3,819	4,126	4,126	4,873
Japan	3,004	3,186	3,175	3,256

○ 교역 현황 (2017)

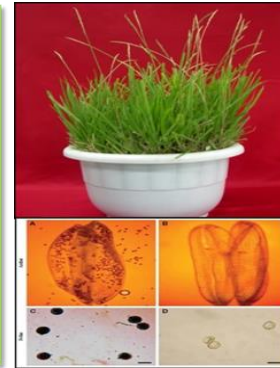
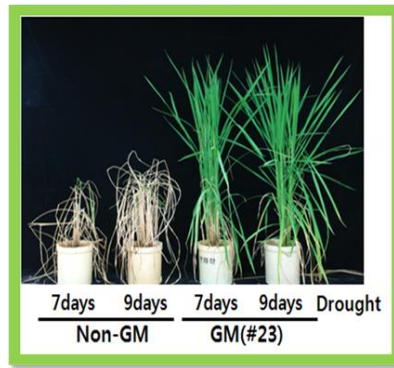
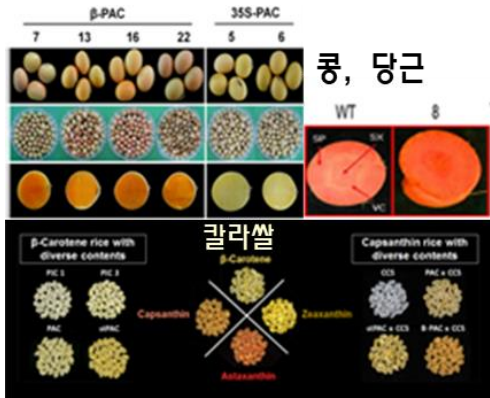
- 자급률 : 식량 47%, 식량+사료 23%
- 수입 : 옥수수 9.35Mt, 밀 4.24, 콩 1.3
- GM 수입 : 옥수수 8.41Mt, 콩 1.04, 면화 0.15
 - 옥수수 : 식용 1.24 + 사료 7.17
 - 콩 : 식용 1.04
 - 면화 : 가공/사료 0.15

○ 세계 옥수수 수출입 현황

	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18
Exports				
United States	46,831	51,098	55,593	63,636
Brazil	21,909	35,382	19,794	25,142
Argentina	18,448	21,679	22,951	24,200
Ukraine	19,661	16,595	21,334	18,036
Russia	3,213	4,691	5,589	5,532
Other				
World Total	128,390	144,930	141,789	151,984
Imports				
European Union	8,908	14,008	14,973	18,411
Mexico	11,341	13,957	14,614	16,129
Japan	14,657	15,204	15,169	15,668
Korea, South	10,168	10,121	9,220	10,018
Vietnam	6,700	8,600	8,500	9,500

그 동안 여러 가지 GM 작물이 개발됐지만....

- 농촌진흥청 주도의 농업생명공학 연구개발 사업
 - 차세대 바이오그린21사업 (2011 - 2020) 등
 - GMO 반대 운동, 심사 부담 등으로 인해 상업화 문턱을 넘지 못하고 있는 실정


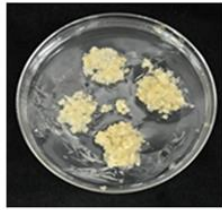



○ 카로틴류 생산 작물

○ 가뭄저항성 벼

○ HR 잔디

○ 바이러스병 저항성 고추

구분	GM벼 종자	GM벼 캘러스	바이오리액터 (3L)
레스베라트롤 함량	 2 ppm	 2,208 ppm (1,000배)	 350~600 ppm (300배)



○ 기능성 단백질 생산 콩 (EGF, IGF, TRX 등)

○ 레스베라트롤 생산 벼

Global GMO 전선에 변화가 오는가?

GMO는 여전히 논란의 대상이고 세계 각 국 정부의 규제 대상

- 방글라데시의 ‘골든라이스’ 재배 결정 (2019)
 - GM 가지 재배 중
 - 인도, 동남아 등지의 인도계 인구 규모로 볼 때 영향력이 클 것으로 예상
- 쿠바의 GM 기술 포용 결정 : 해충저항성 옥수수 대규모 시험재배 (2017)
- 유럽연합 설문조사 (2019) GMO에 대한 우려 크게 감소
- 국내에서는
 - 레스베라트를 생산 벼 신청 포기 : 미국 심사 우선 신청 고려 (By-Pass)
 - 제초제저항성 잔디 10여년간 심사 중

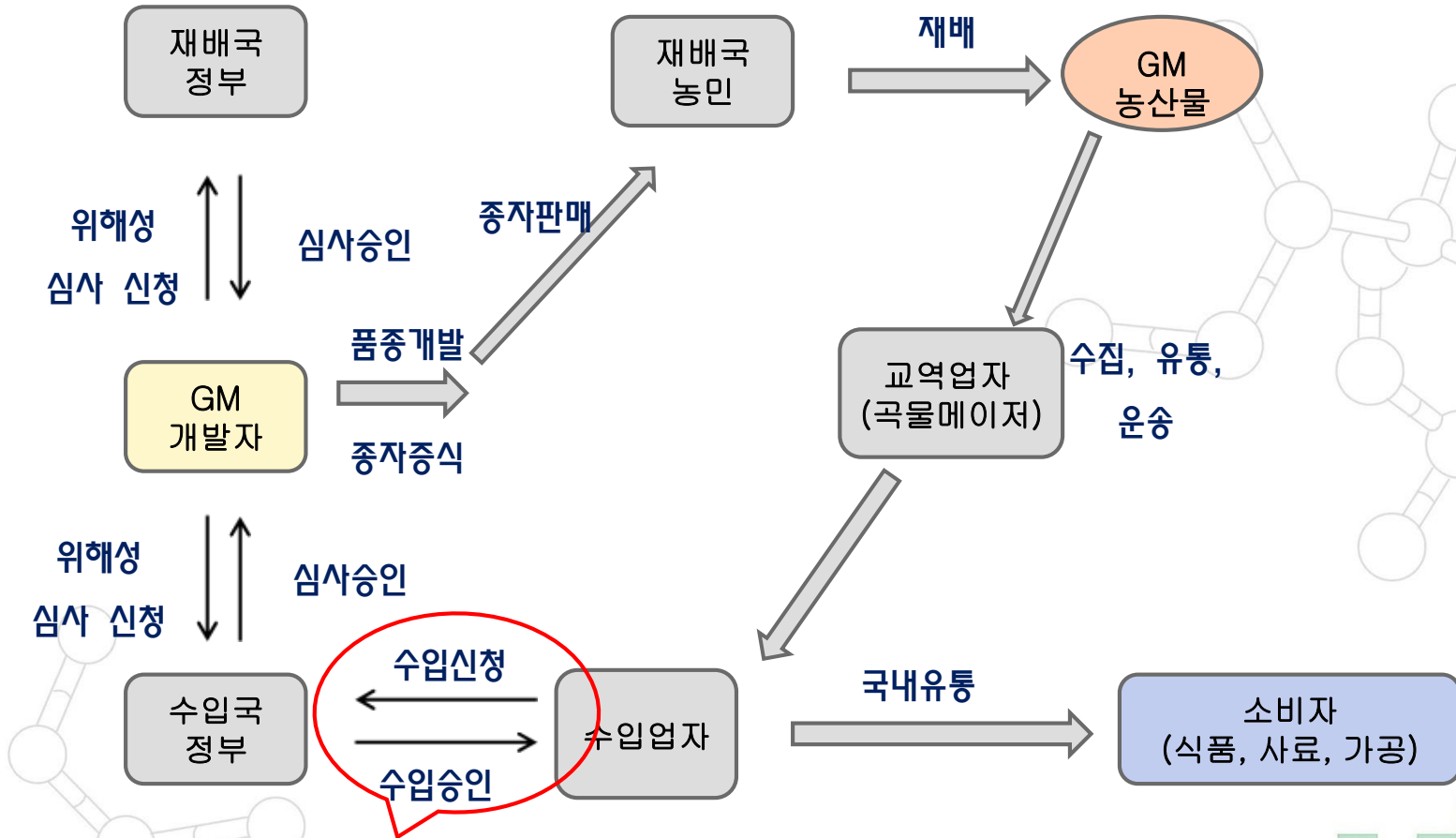


안전성은 더 이상 GMO 논란의 이유가 될 수 없다!!!

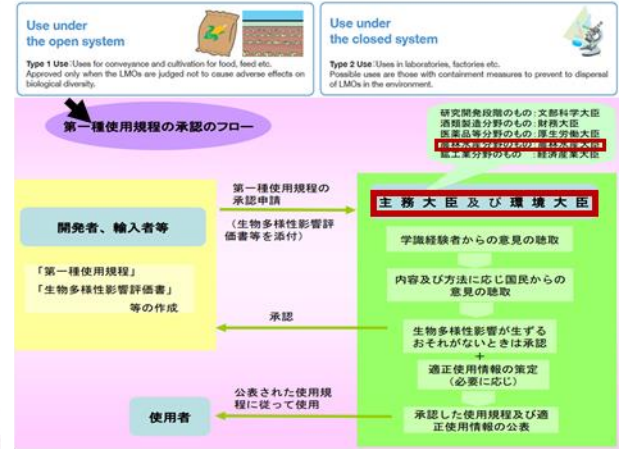
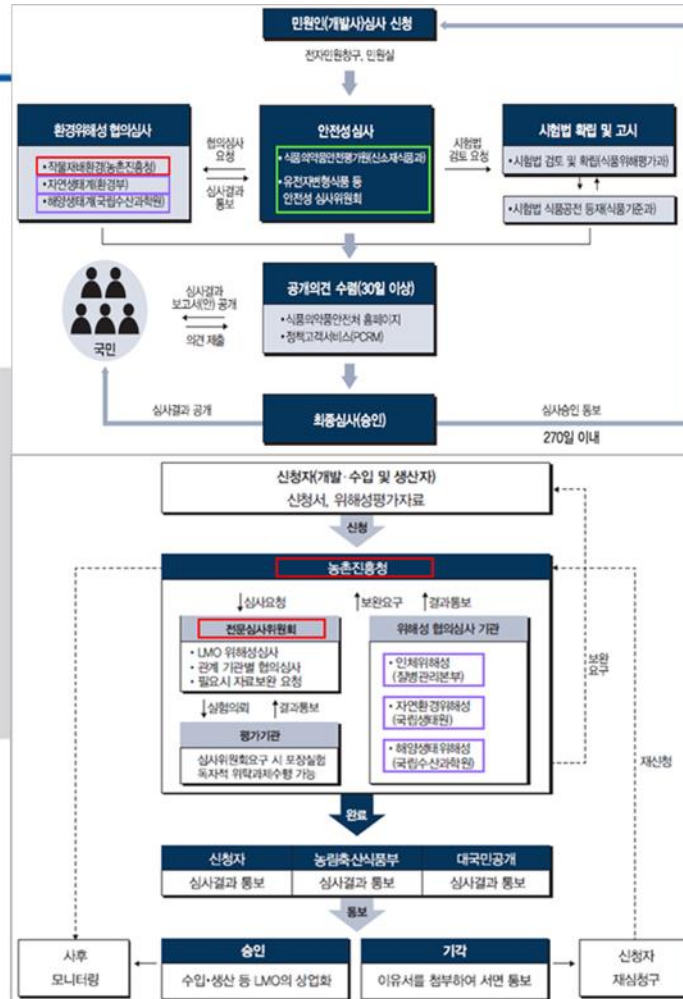
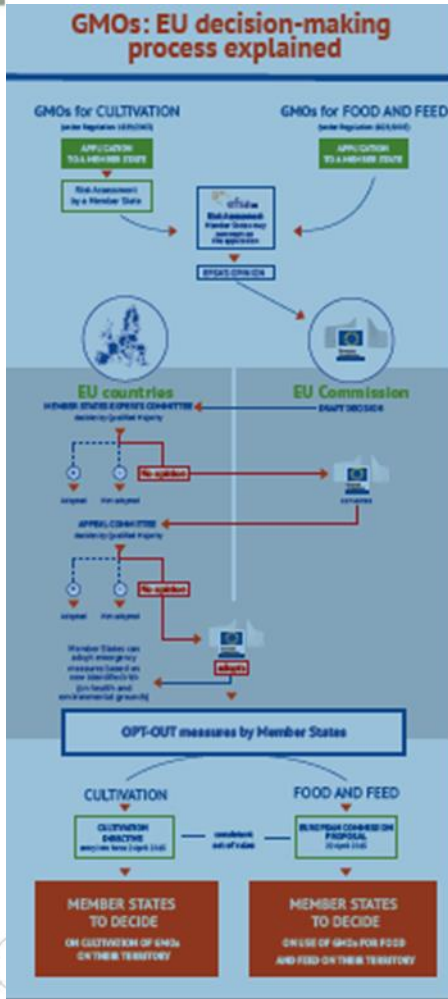
- 20년 이상의 경험, 수 많은 안전성 평가 시험의 결과가 입증
- GMO 위해 주장의 허구성 : 연구방법의 허술함, 자의적 결과선택과 통계분석 등
- GMO 반대는 정치 사회 경제적 이유 때문 (?)
 - 교조적 환경보호론자 등 : 자연 (신)의 질서를 교란하는 인위성에 대한 반감
 - 거대 기업이 지배하는 자유시장 경제체제에 대한 반감 등등
- 그러나
 - GMO 반대 → 강한 규제 → 시장진입 장벽 → 거대 기업의 시장지배 강화



카르타헤나 바이오안전성의정서 체제와 GMO



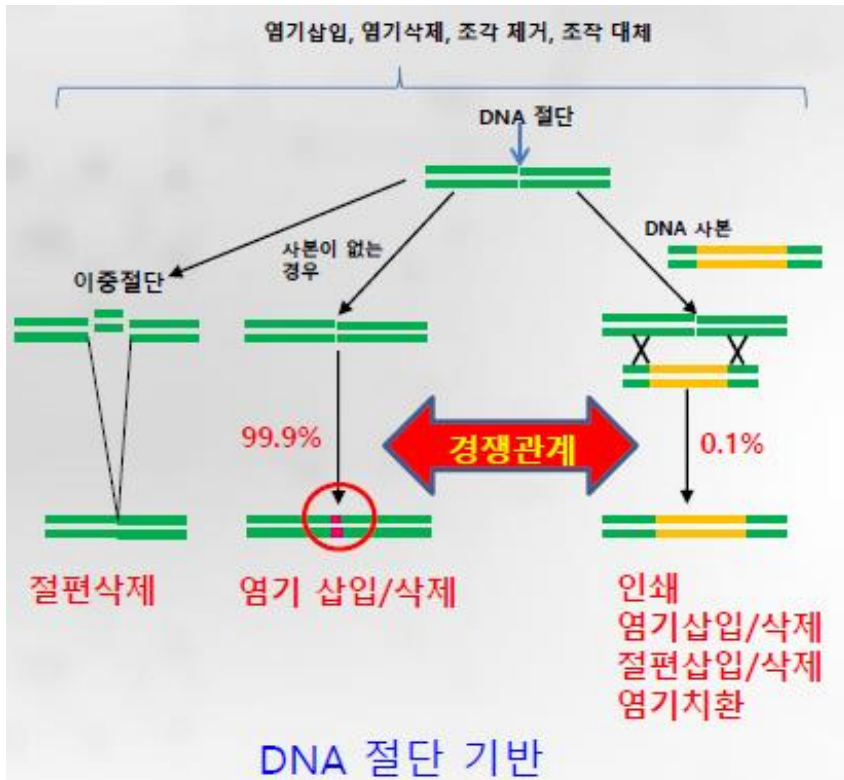
EU와 일본은 우리보다 규제과정이 단순



- 협의심사제도로 인해 단일 GM 작물 이벤트에 대해 5개 부처에서 심사위원회 운영
 - 검토 분야의 중복/ 전문가 수 부족에 따른 전문성 약화/ 행정력 낭비, 개발자 의욕 상실

구분	부처	담당 업무	심사위원회 분과검토 분야	심사위원 수
인체 위해성	식품의약품 안전처	<ul style="list-style-type: none"> ● <u>식품 또는 의료기기 용도의 LMO</u> ● [협의심사: 해당 사항 없음] 	식품일반/ 분자생물학 독성/알레르기/영양	20인
	보건복지부/ 질병관리본부	<ul style="list-style-type: none"> ● <u>시험·연구, 개발, 기타 보건의료용</u> ● [협의심사: 인체에 미치는 영향] 	관련 정보 없음.	15인 이내
환경 위해성	농식품부/ 농진청	<ul style="list-style-type: none"> ● <u>농업, 임업, 축산업 또는 동물용 의약품 용도</u> ● [협의심사: 작물재배 환경에 미치는 영향] 	일반/ 분자생물학 생리·생태/유전·육종 독성 및 타생물영향	15인 이내
	해양수산부/ 수산과학원	<ul style="list-style-type: none"> ● <u>해양산업, 수산업 또는 동물용 의약품 용도</u> ● [협의심사: 수산 환경 및 해양생태계에 미치는 영향] 	생물.생태/분자생물학 유전.육종/생리/독성/사료영양학	15인 이내
	환경부/ 국립생태원	<ul style="list-style-type: none"> ● <u>환경오염물질 감소·제거, 환경 복원용</u> ● [협의심사: 자연생태계에 미치는 영향] 	생물.생태/분자생물학 유전.육종/자연생태계영향 환경방출 및 안전관리	20인
전체 참여 위원 수				약 85인

농업생명공학의 새로운 이슈 – 유전자 교정



DNA 절단은 세포의 내재적인 DNA 복구 기작을 활성화함.

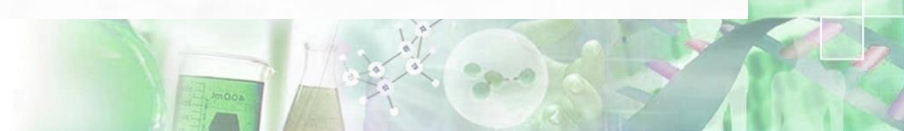
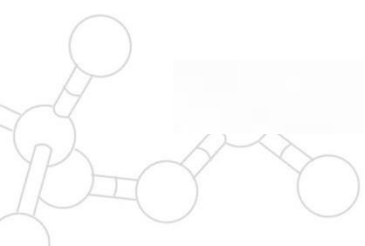
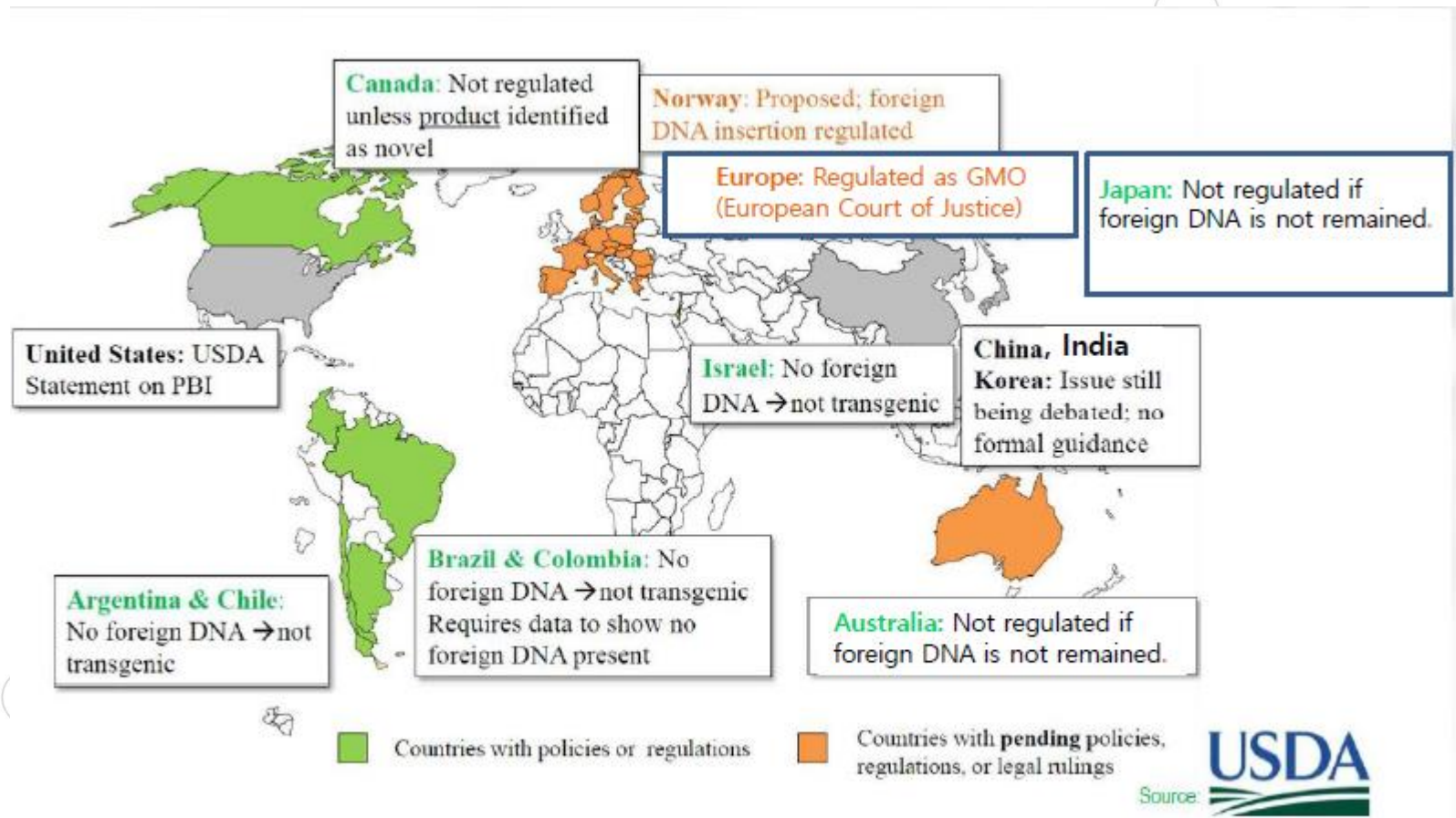
10,000년의 육종/농경

1000 유전자가 결실된 라인

Tannat (+1873 유전자)

2백만개 돌연변이/M² (BMC Biol, 2019)

농업생명공학의 새로운 이슈 – 유전자 교정



감사합니다.

