



改变生活的生物技术

人有多大胆，地有多高产？

-转基因植物介绍





改变生活的生物技术

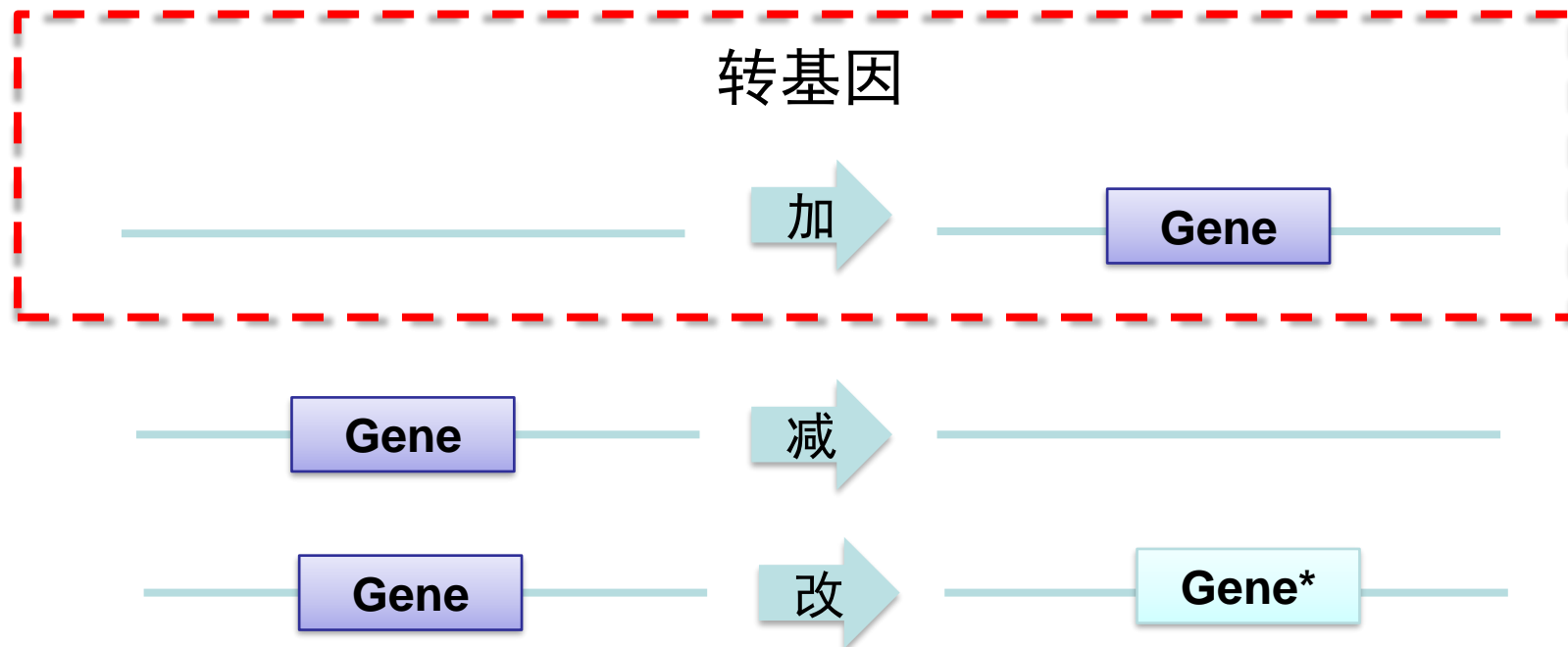
- 转基因技术和转基因生物
- 转基因植物
- 转基因食物-吃还是不吃
- 中国的转基因现状
- 理性看待转基因



改变生活的生物技术

- 转基因技术和转基因生物
- 转基因植物
- 转基因食物-吃还是不吃
- 中国的转基因现状
- 理性看待转基因

基因改造



- **基因改造 (gene modification)**
利用基因工程对生物体的基因组进行改变，**产物**为基因改造生物(GMO)。



转基因

- 转基因是一种最常见的基因改造操作。
- 转基因 (transgenic) 是将外源基因 (通常为其他物种的基因) 导入到目的生物体的基因组中, 从而改造生物一种技术, 产物为转基因生物。



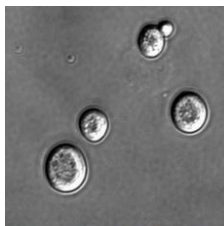
进化中的转基因

- 进化上的转基因：基因水平转移
- 细菌和单细胞生物的基因组中存在大量的基因水平转移。
- 果蝇、线虫、斑马鱼、大猩猩等动物基因组的数百个基因来自于其他生物。
- 人类基因组中有145个基因是从更简单的生物水平转移来的。

***Genome Biology* 2015 16:50**

基础研究中的转基因生物

酵母



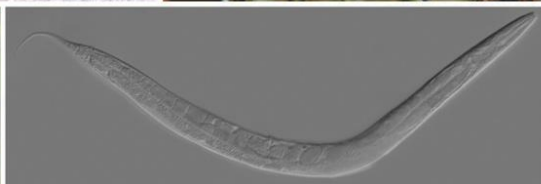
果蝇



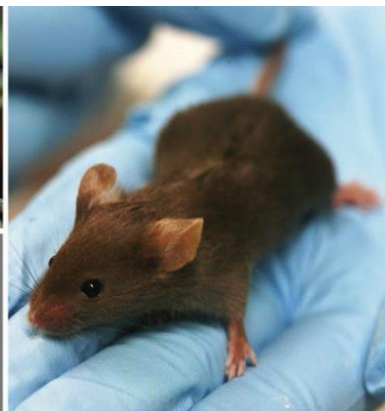
拟南芥



斑马鱼



线虫



小鼠

- 广泛用于基础研究的生物被称为**模式生物**。科学家们通过对于模式生物的基因改造（包括转基因），来研究生命规律。
- 模式生物某些方面与人类很相似，因此对模式生物的研究能为揭示人类的生命规律提供重要的借鉴。⁷



我们身边的转基因生物

种类	代表	实现的商品化的产品
微生物	酵母，细菌，霉菌	细胞工厂的产物
植物	木瓜，玉米，番茄，大豆	植物本身及其衍生产物
哺乳动物	牛，羊等产奶牲畜	奶制品
	哺乳动物细胞工厂	细胞工厂的产物
鱼	斑马鱼，鲑鱼	荧光鱼，鲑鱼肉



改变生活的生物技术

- 转基因技术和转基因生物
- 转基因植物
- 转基因食物-吃还是不吃
- 中国的转基因现状
- 理性看待转基因

为什么需要转基因植物？



人口持续增长



自然资源匮乏



农药残留严重

- 传统育种技术解决上述问题有很大的局限性
- 通过基因工程制造更好的植物来解决问题。

转基因植物的诞生



Marc Van Montagu (左) Jozef Schell (右)

- 1983年，比利时分子生物学家Marc Van Montagu和Jozef Schell利用农杆菌将来自细菌的氯霉素抗性基因转入烟草中，获得第一种转基因植物。

农杆菌



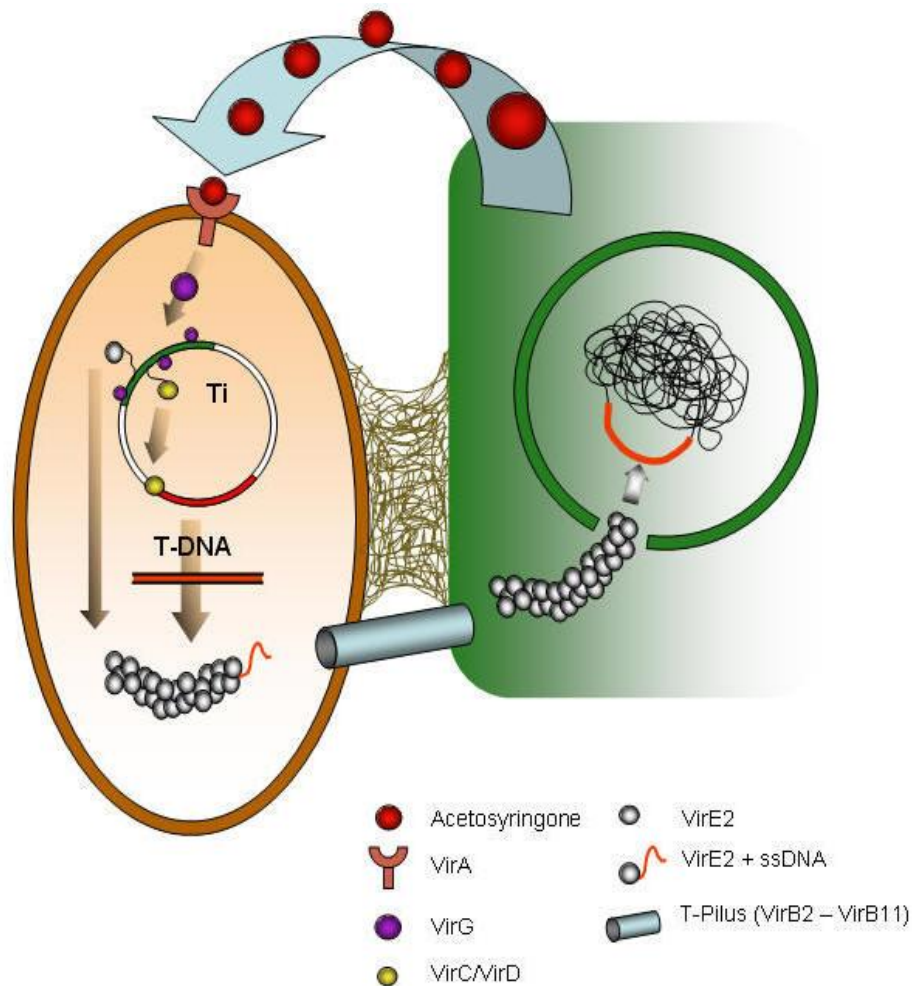
农杆菌附着在植物细胞表面



冠瘿瘤

- 农杆菌 (*Agrobacterium tumefaciens*) 是生活在植物根的表面的植物病原菌。
- 植物被农杆菌感染的部位会形成冠瘿瘤。

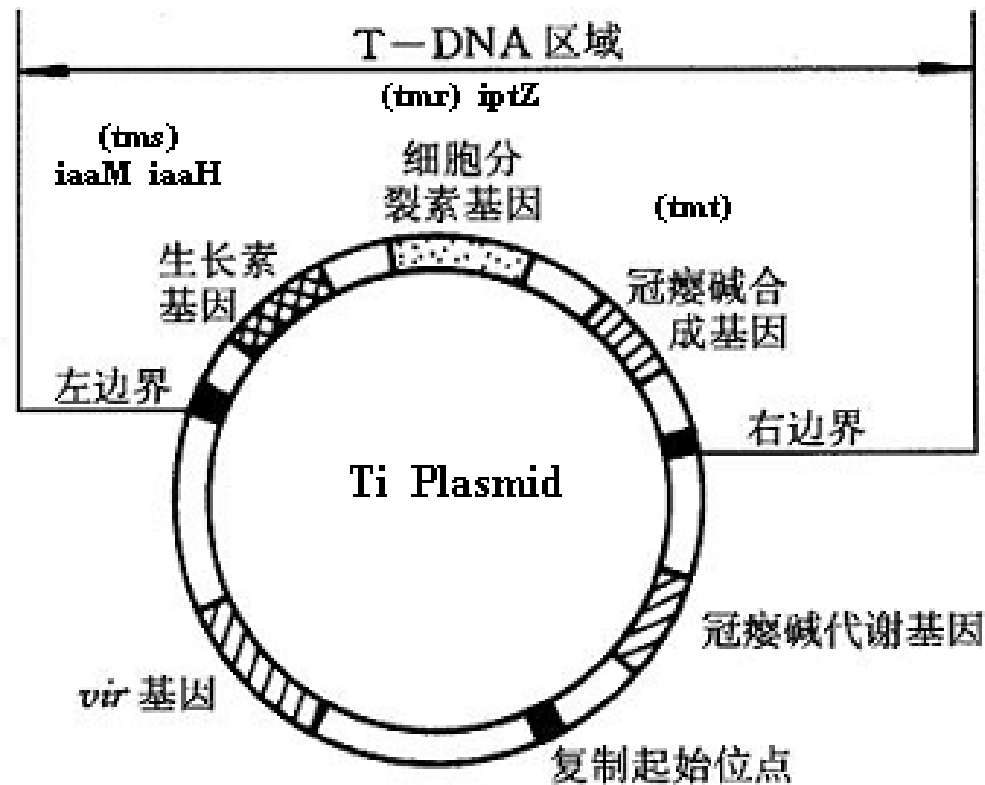
如何形成冠瘿瘤



- 农杆菌含有一种特殊的质粒Ti (Tumor inducing)，是导致冠瘿瘤的关键。

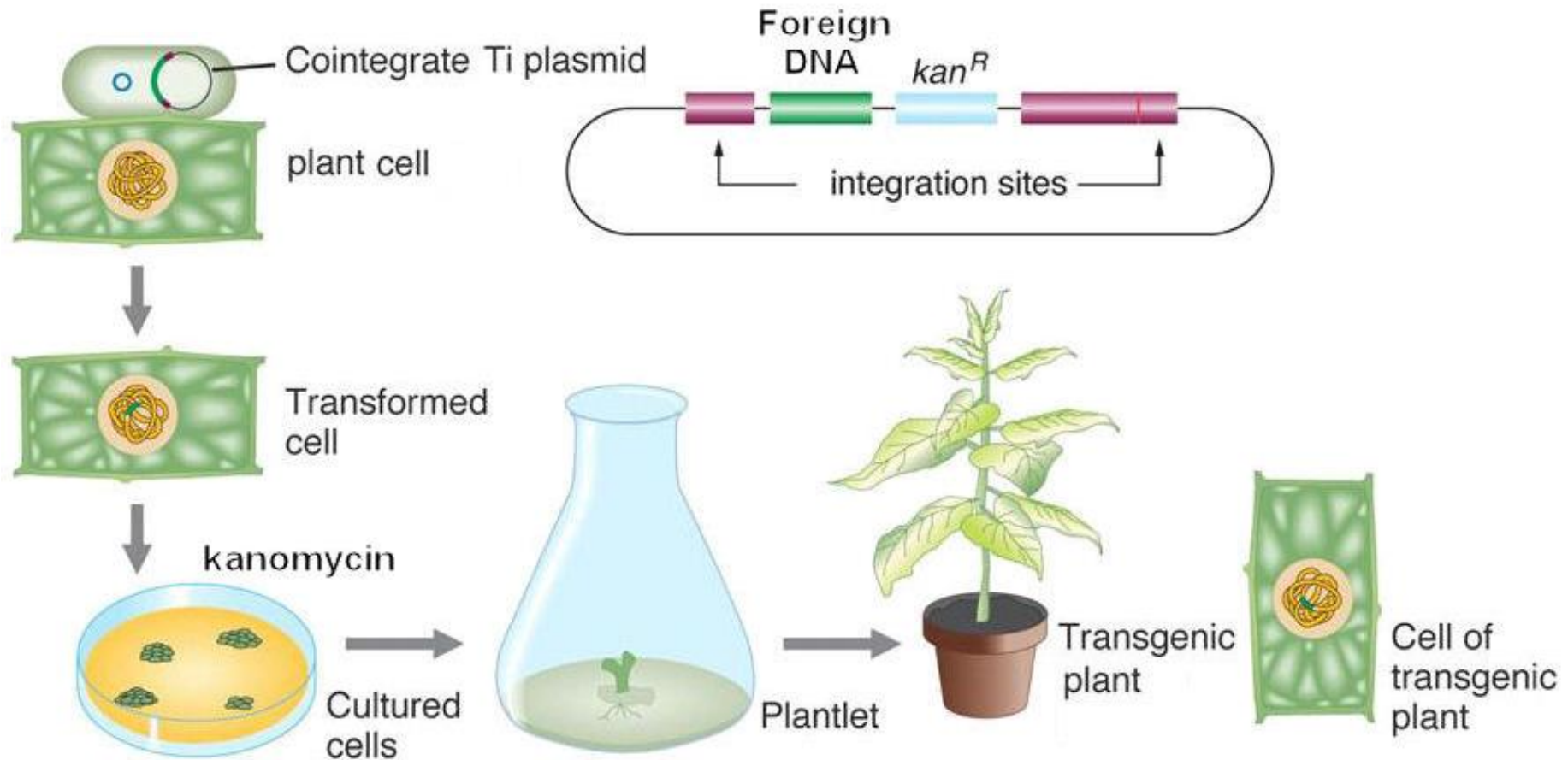
Figure A.3 The natural infection cycle of *A. tumefaciens*, see text for explanation.

Ti质粒的结构

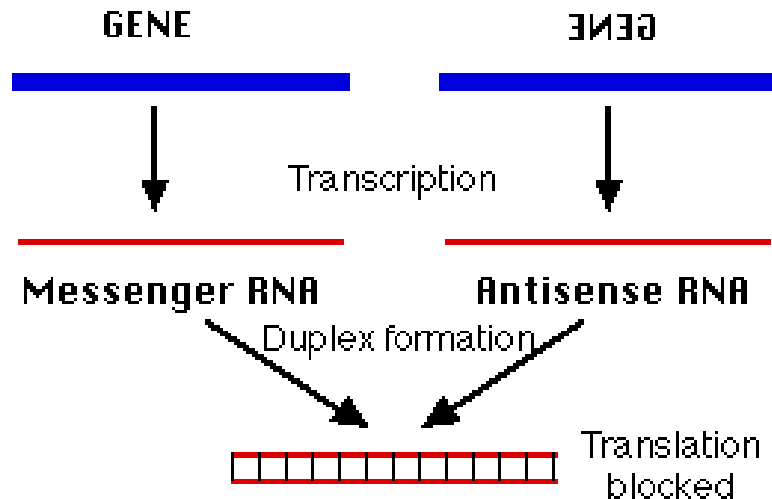


- 在T-DNA的左右边界不改变的情况下，T-DNA可以将携带的任何基因转移并整合到植物基因组中。

转基因植物流程



第一个上市的转基因植物产品



- 1994年，第一种转基因植物产品，转基因西红柿（Flav'r Sav'r）上市。
- 利用反义基因干扰了多聚半乳糖醛酸酶的表达，使西红柿的皮在成熟后不会变软。



种子公司-孟山都



孟山都的商标



现任CEO Hugh Grant

- 孟山都公司 (Monsanto Company) 是一家跨国农业生物技术公司。
- 孟山都是转基因种子的领先生产商，占据了多种农作物种子70% - 100%的市场份额。

孟山都的策略



普通棉花



转基因抗虫棉花

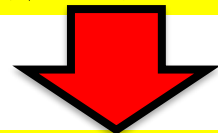


人工除草



飞机喷洒除草剂除草

抗虫植物



减少虫害

减少杂草

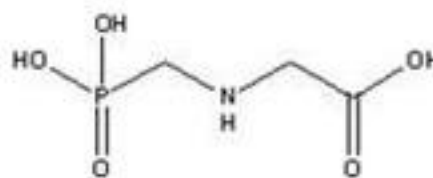


抗除草剂植物



对农作物产量影响最大的因素：**虫害和杂草。**

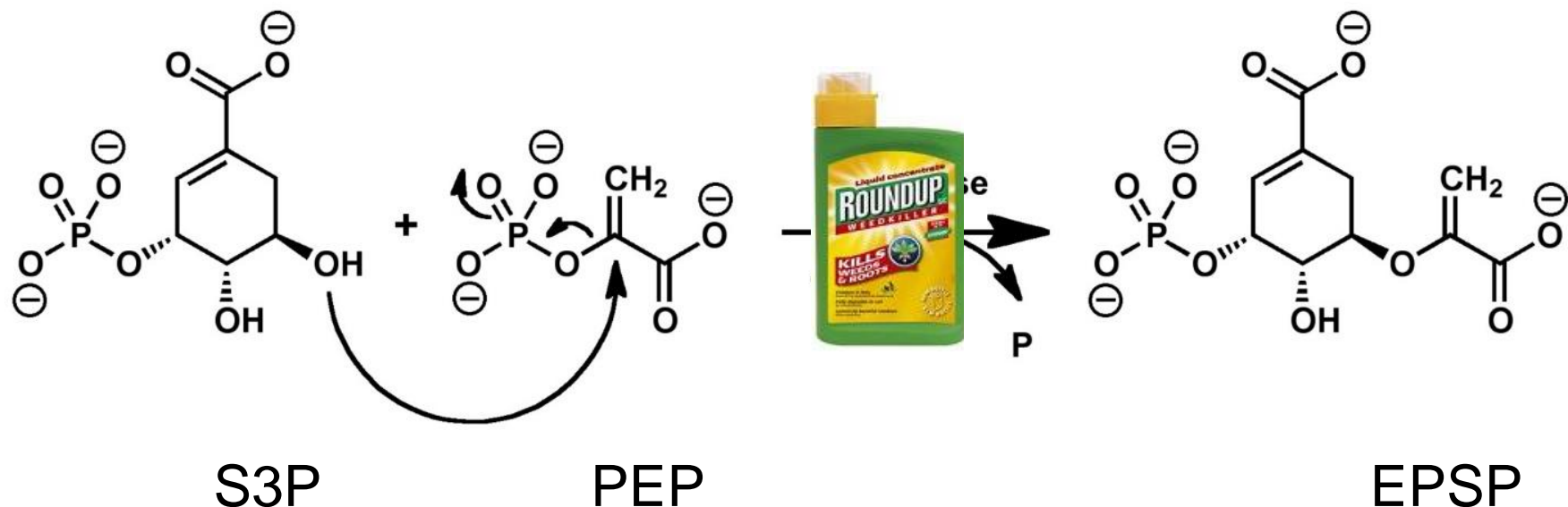
草甘膦除草剂



N-(膦羧甲基)甘氨酸

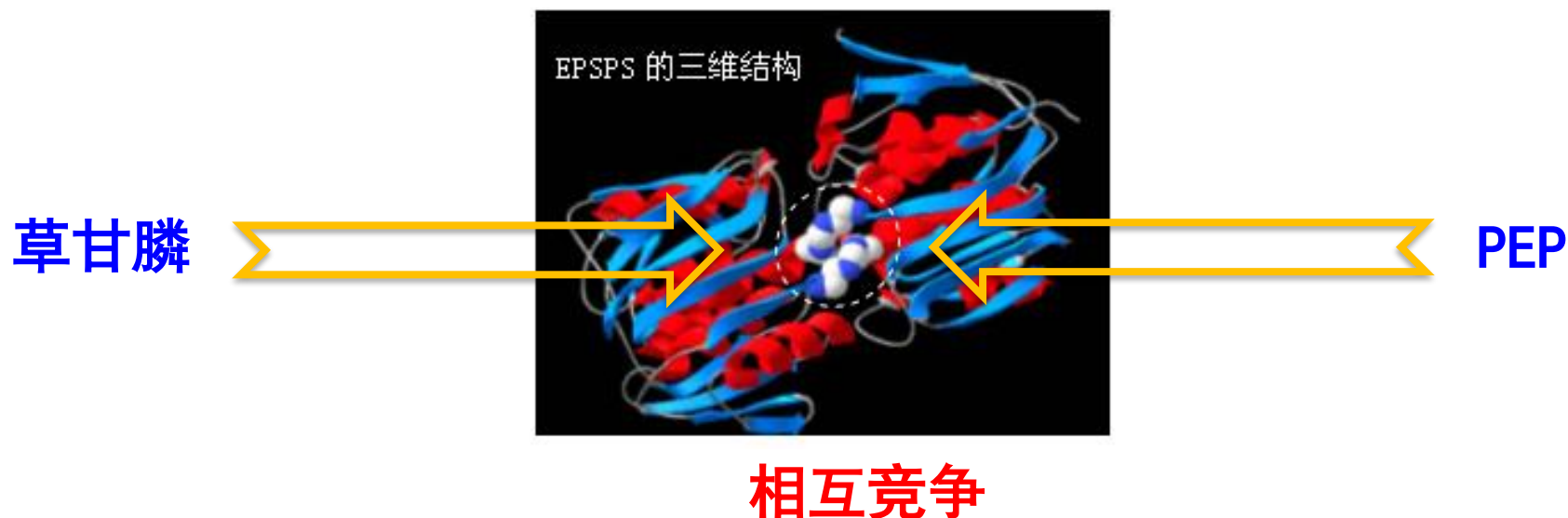
- 除草剂是指可使杂草彻底地或选择地发生枯死的药剂。
- 草甘膦是孟山都公司生产的除草剂农达RoundUp的活性成分（视频）。

草甘膦的工作原理



- 草甘膦竞争性抑制莽草酸途径中EPSP合成酶的活性。EPSP是真菌、细菌、藻类、高等植物体内芳香族氨基酸的前体。

草甘膦的工作原理



- 草甘膦与PEP结构类似，两者竞争性的与EPSP合酶结合。

对草甘膦抗性弱的植物



- EPSP合酶与草甘膦亲和力强, 与PEP亲和力弱, 导致EPSP无法合成。植物被草甘膦杀死。

对草甘膦抗性强的植物

抗性强的植物

亲和力弱

草甘膦



EPSP
合酶

EPSP
合酶

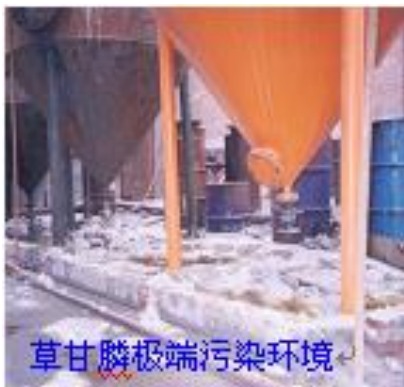


PEP

亲和力强

- EPSP合酶与草甘膦亲和力弱, 与PEP亲和力强, EPSP依然可以合成。植物不容易被草甘膦杀死。

抗草甘膦的转基因植物



富含草甘膦的环境



土壤农杆菌CP4



抗草甘膦的EPSP基因



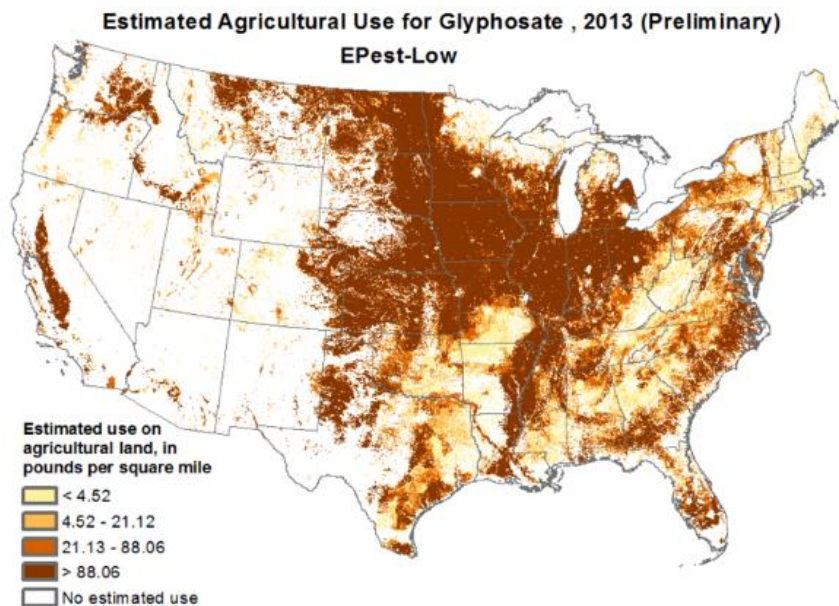
抗草甘膦的转基因植物

抗草甘膦的使用



- 草甘膦特点：内吸、传导、慢性、广谱、灭生。
- 在种植抗草甘膦作物的农田里，喷洒草甘膦一种农药就可以消除绝大多数杂草。
- 使用方便，成本低廉，减少污染。

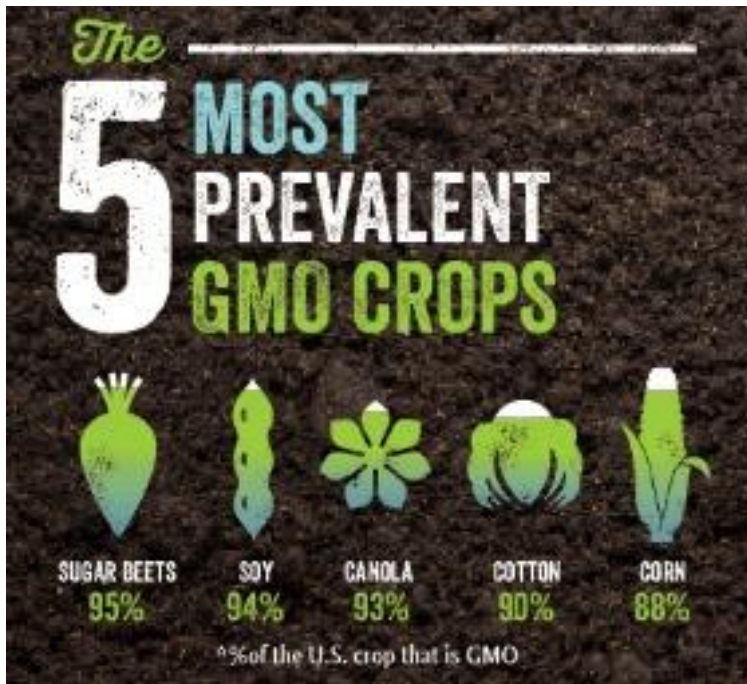
抗草甘膦的转基因植物



美国草甘膦使用量的地区分布图

- 1996年，孟山都推出抗农达大豆后，抗草甘膦的转基因植物迅速占领市场。
- 2015年，美国89%的棉花，94%的大豆和89%的玉米都携带有抗草甘膦的基因。

美国的转基因作物



美国是种植和食用转基因作物的大国。有95%的甜菜，94%的大豆，93%的油菜，90%的棉花和88%的玉米为转基因作物。75%~80%的加工食品含有转基因成分。



转基因作物带来的福利



- 1997-2012, 转基因作物的全球经济效益接近1000亿美元。
- 转基因作物为农民带来了前所未有的农业收益, 同时也为技术使用国提供了可观的环境效益。



改变生活的生物技术

- 转基因技术和转基因生物
- 转基因植物
- 转基因食物-吃还是不吃
- 中国的转基因现状
- 理性看待转基因



改变生活的生物技术

- 转基因技术和转基因生物
- 转基因植物
- 转基因食物-吃还是不吃

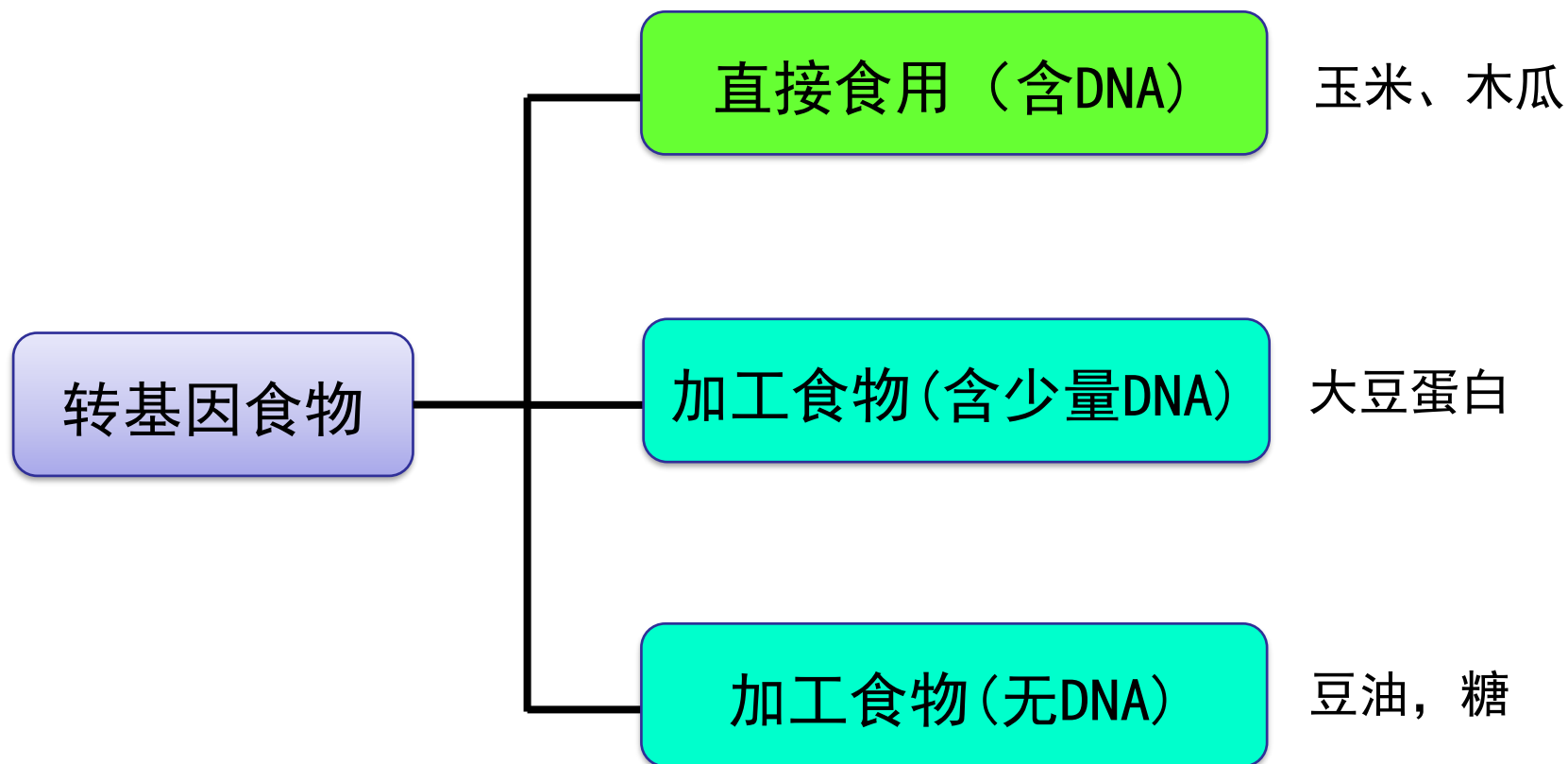
人吃了转基因食品自身的基因会发生改变吗？

虫吃了都死的东西，人能吃吗？

偷偷给小朋友吃的黄金大米，有毒吗？

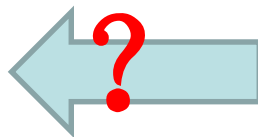
- 中国的转基因现状
- 理性看待转基因

转基因食品



- 转基因食物是由转基因生物制成的食物。

对于转基因食物的疑虑之一



Corn



Soy



Cottonseed



Papaya



Rapeseed
(Canola)



Potatoes



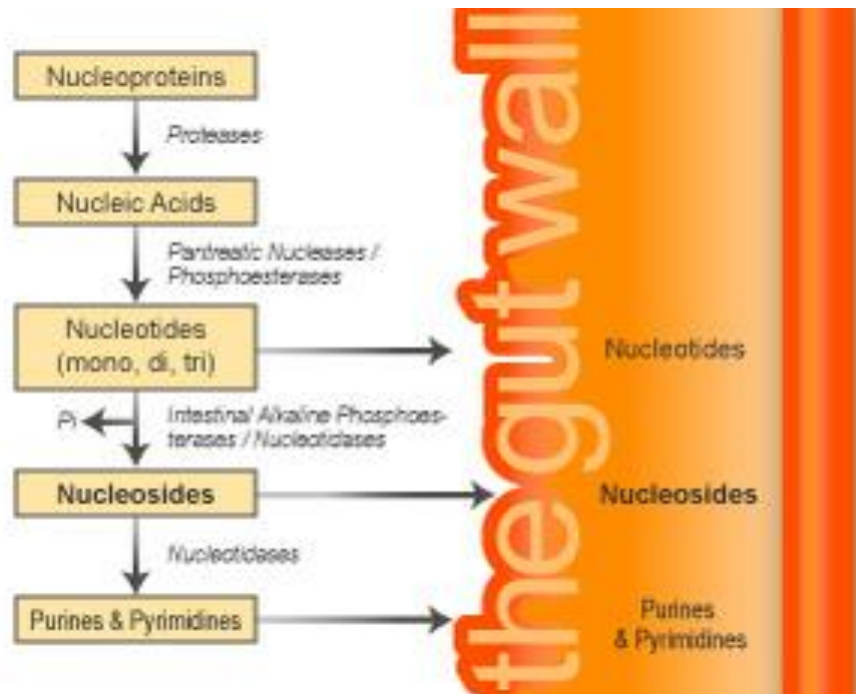
Tomatoes



Dairy products

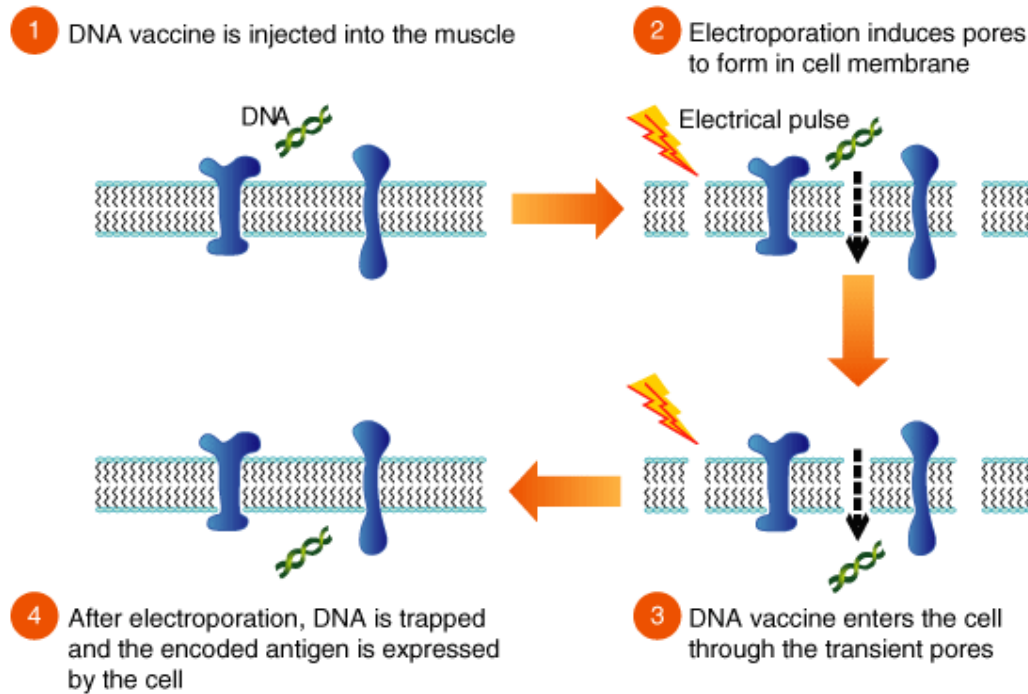
人吃了转基因食品自身的基因会发生改变吗？

吃进肚的DNA去哪儿了？



- 核酸在肠道中被降解为核苷、嘌呤、嘧啶等小分子。90%的小分子会被吸收，用于合成新的核酸及其它分子。

DNA能进入细胞吗？



DNA可以通过电转化法进入细胞

- DNA是一种大分子，不能直接穿透细胞膜进入细胞核

外源DNA能改变我们吗？



- 进入细胞的DNA很难通过表达蛋白或者改变基因组结构来影响细胞甚至个体。
- 小概率*小概率*小概率=几乎不可能。
- 进化的结果。



改变生活的生物技术

- 转基因技术和转基因生物
- 转基因植物
- 转基因食物-吃还是不吃

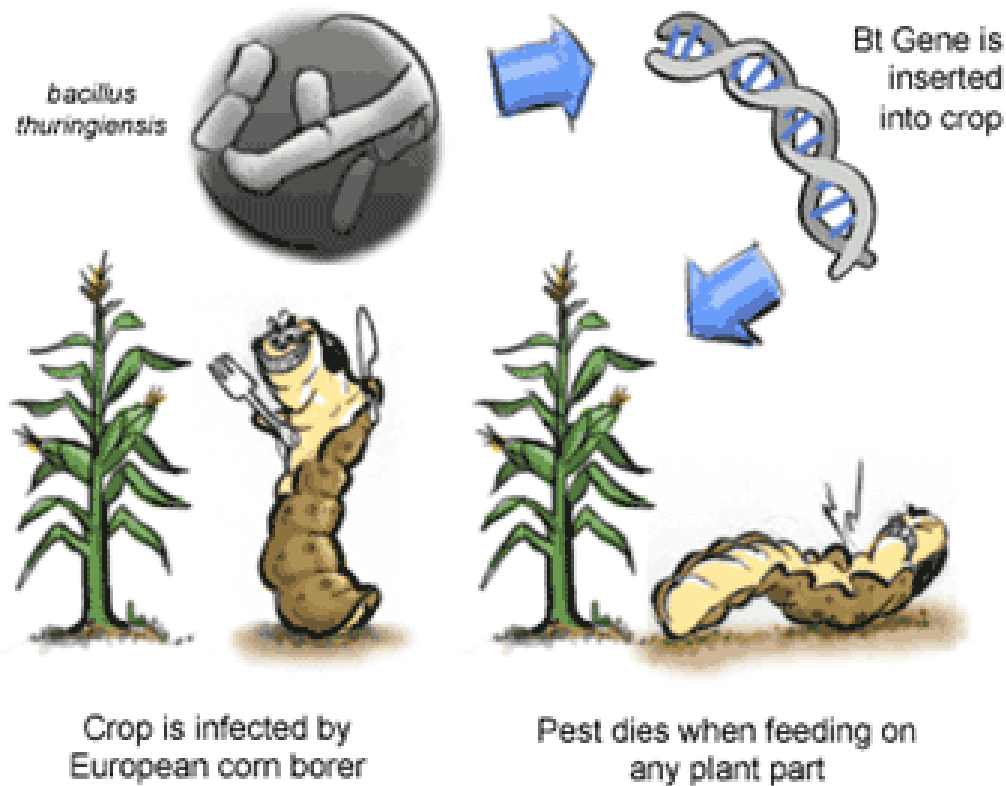
人吃了转基因食品自身的基因会发生改变吗？

虫吃了都死的东西，人能吃吗？

偷偷给小朋友吃的黄金大米，有毒吗？

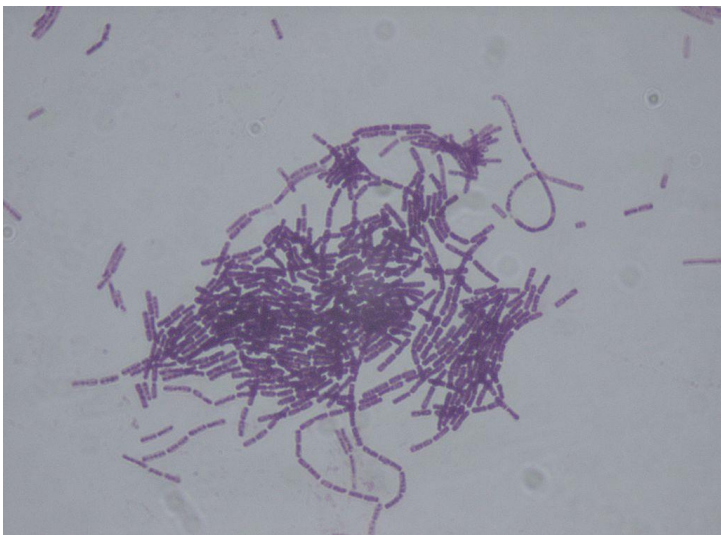
- 中国的转基因现状
- 理性看待转基因

对于转基因食物的疑虑之二



虫吃了都死的东西，人能吃吗？

苏云金杆菌是安全的生物农药



Bacillus thuringiensis



一袋红[®] I 号 抗性刺蛾式口器害虫专用
比同类产品防效高达5倍

苏云金杆菌
有效成分含量:8000IU/毫克
剂型:可湿性粉剂

使用技术和使用方法:

作物(或范围)	防治对象	制剂用药量	使用方法
水稻	稻飞虱、稻纵卷叶螟	100-400克/公顷	喷雾
棉花	棉铃虫、造桥虫、蚜虫	100-500克/公顷	喷雾
苹果树	蚜虫	150-250克/公顷	喷雾
玉米	玉米螟	250-300克/公顷	喷雾、毒土
蔬菜	菜青虫、蚜虫	100-300克/公顷	喷雾

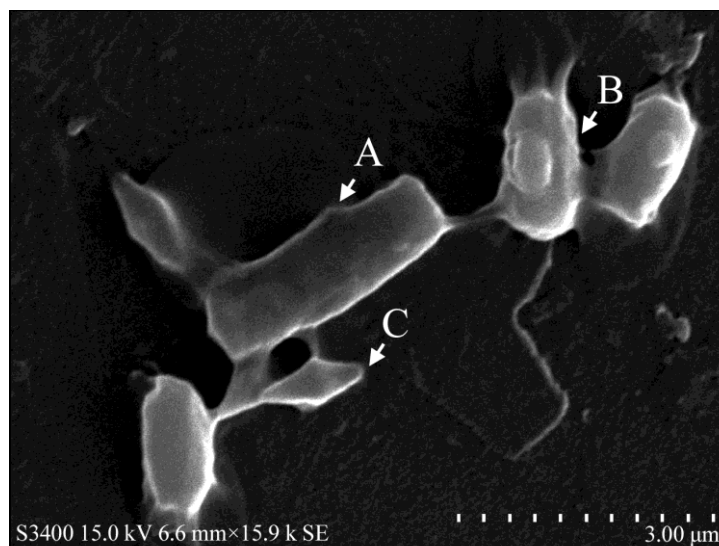
NET:10g

杀虫剂 alibaba.com.cn

斯
秘
诺

- 1901年-1910，日本生物学家石渡和德国科学家 Ernst Berliner 分别独立发现的一种可以杀死昆虫细菌，这种细菌被称为Bt, 即苏云金杆菌。
- 苏云金杆菌主要针对鳞翅目昆虫幼虫，是目前产量最大的微生物杀虫剂。

抗虫蛋白-Bt毒蛋白



- 1956年，科学家发现苏云金杆菌杀虫活性存在于其产孢过程中分泌形成的伴胞晶体中。
- 伴胞晶体被称为Bt毒蛋白，“Bt”是苏云金杆菌 (*Bacillus thuringiensis*) 的缩写。

Bt转基因植物

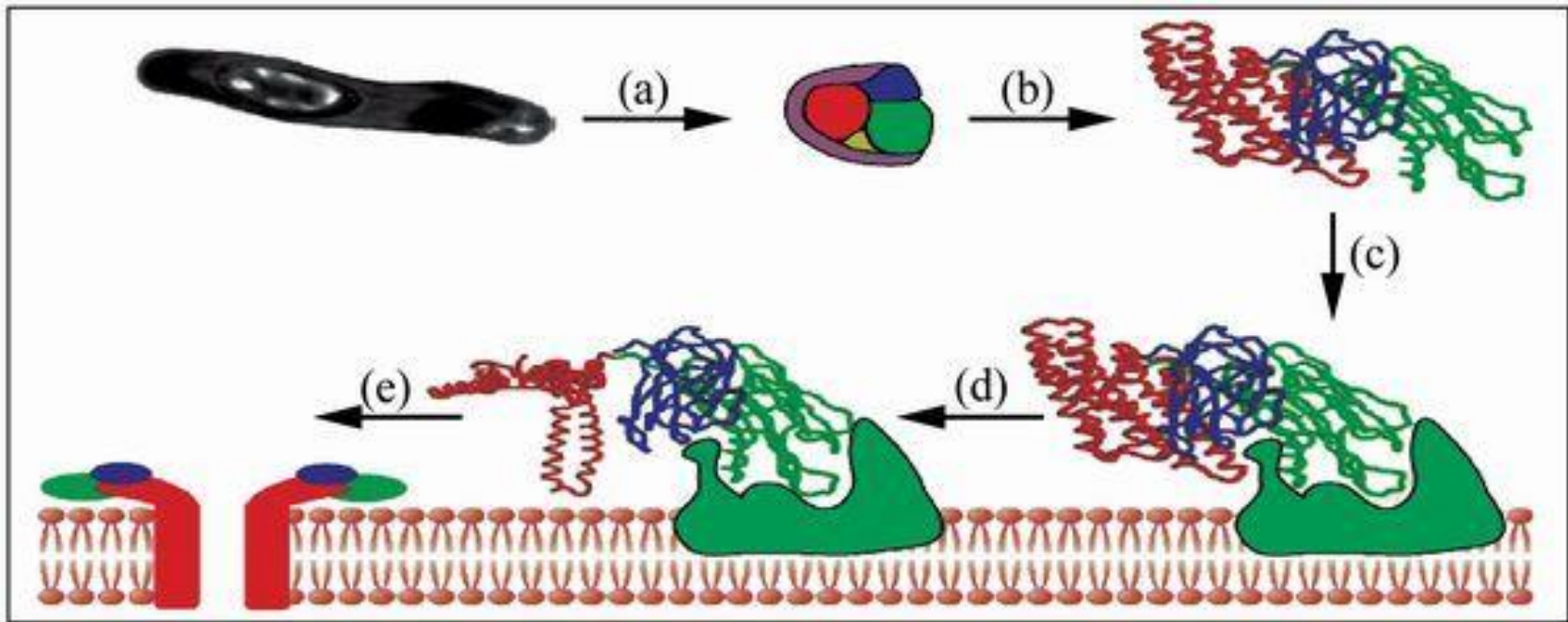


cry

cry⁺

- 1995年，科学家将编码Bt蛋白的*cry*基因转入烟草。
- 1996年，孟山都公司推出Bt玉米。
- Bt抗虫植物的推广减少了杀虫剂的使用量，减少了对非农业害虫的误伤，保护了环境。

Bt毒蛋白的作用机理



- 晶体蛋白在昆虫中肠的碱性环境中溶解。
- 原毒素蛋白两端被蛋白酶水解。
- 毒蛋白与细胞膜受体受体结合。
- 毒蛋白插入细胞后形成穿孔。



Bt毒蛋白对人体无害

- 晶体蛋白需要碱性环境，蛋白酶水解激活，细胞特异受体才能发挥作用。人类胃液可消化Bt蛋白，人不含有激活Bt的蛋白酶和受体。因此Bt蛋白对人体无害。
- 人类食用残留有Bt蛋白的植物超过90年，没有针对Bt蛋白对人体有毒的报道。
Bt毒蛋白对人体无害
- 喷剂的植物中Bt蛋白的残留量高于Bt转基因植物中的Bt蛋白。
- 小鼠按每千克体重口服5gBt毒蛋白是安全的—相当于60kg的人吃120吨Bt水稻是安全的。
食用Bt转基因食物是安全的



改变生活的生物技术

- 转基因技术和转基因生物
- 转基因植物
- 转基因食物-吃还是不吃

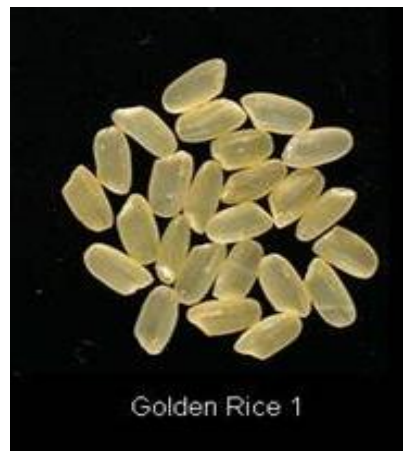
人吃了转基因食品自身的基因会发生改变吗？

虫吃了都死的东西，人能吃吗？

偷偷给小朋友吃的黄金大米，有毒吗？

- 中国的转基因现状
- 理性看待转基因

对于转基因食物的疑虑之三



偷偷给小朋友吃的黄金大米，有毒吗？



中国儿童试吃黄金大米引发争议

β -Carotene in Golden Rice is as good as β -carotene in oil at providing vitamin A to children¹⁻⁴

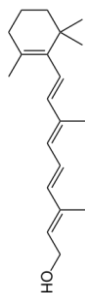
Guangwen Tang, Yuming Hu, Shi-an Yin, Yin Wang, Gerard E Dallal, Michael A Grusak, and Robert M Russell

Am J Clin Nutr. 2012,96(3):658-64

- 2008年，研究者让衡阳市一所小学的儿童在午餐进食50克黄金大米。
- 发给孩子父母的知情同意书上写了黄金大米会“制造 β -胡萝卜素”，但其中并未声明这种大米是转基因技术培育出来的。
- 引发争议。

维生素A缺乏与夜盲症

维生素A



视紫红质

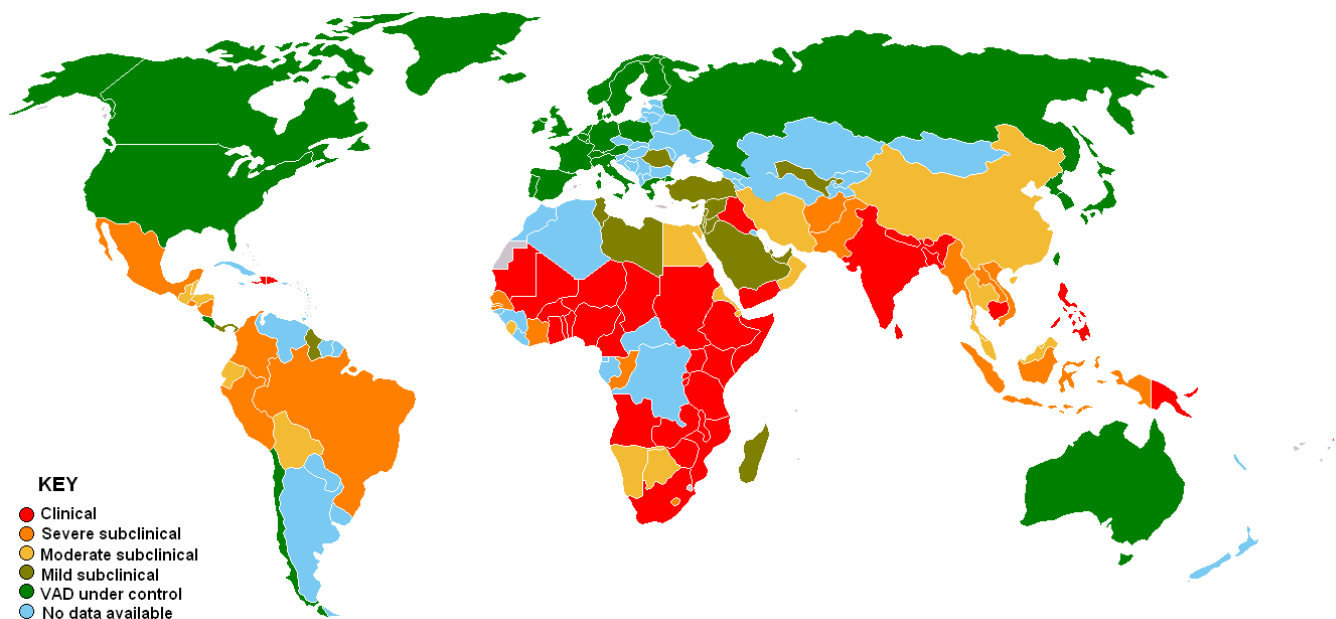


感光



- 维生素A也称视黄醛，它与视蛋白构成了视紫红质，负责感光。
- 缺少维生素A会引起夜盲症，是营养不均衡人群普遍易发的疾病。

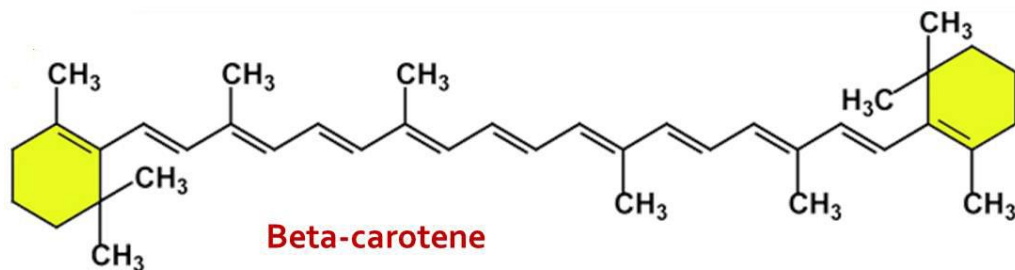
维生素A缺乏威胁世界儿童健康



世界范围内的维生素A缺乏情况

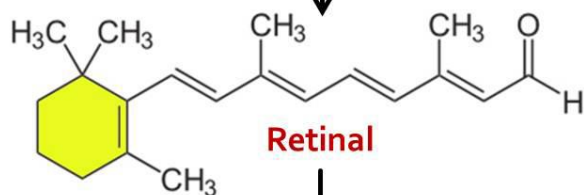
维生素A是发展中国家的新生儿失明和死亡的主要原因世界约有1.4亿儿童在某种程度上缺乏维生素A，其中大约有25万至50万致盲。

胡萝卜素可以转化为维生素A



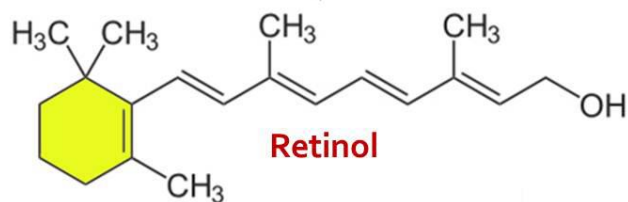
β-胡萝卜素

15, 15' Dioxygenase



维生素A醛

Dehydrogenase



维生素A



普通大米

第一代黄金大米

第二代黄金大米

- 2000年，瑞士科学家将水仙的八氢番茄红素合成酶和来自细菌的胡萝卜素脱氢酶导入水稻。
- 每克稻米含1.6 μg β -胡萝卜素，由于稻米色泽金黄，故称为“金色大米”，也称“黄金大米”
- 2005年，科学家们改用玉米的八氢番茄红素合成酶，将 β 胡萝卜素的含量提到到31 $\mu\text{g/g}$ 稻米。



试吃黄金大米的实际效果

β -Carotene in Golden Rice is as good as β -carotene in oil at providing vitamin A to children¹⁻⁴

Guangwen Tang, Yuming Hu, Shi-an Yin, Yin Wang, Gerard E Dallal, Michael A Grusak, and Robert M Russell

Am J Clin Nutr. 2012,96(3):658-64

- 第一组儿童吃下黄金大米，第二组服用 β -胡萝卜素胶囊，第三组吃菠菜。
- 50克黄金大米煮熟后吃下，就能供应儿童维生素A日常建议摄入量的60%。在维生素A的提供上，黄金大米的效果与胶囊相等，且好于菠菜。

黄金大米是个好东西，实验和推广要合理合法

黄金大米的推广困境



- 种植黄金大米每年可以拯救超过百万的儿童。
- 公司放弃专利，供发展中国家农民无偿使用。
- 黄金大米问世已有16年，但至今还没有完成商业化。



改变生活的生物技术

- 转基因技术和转基因生物
- 转基因植物
- 转基因食物-吃还是不吃
- 中国的转基因现状
- 理性看待转基因

中国的转基因作物



- 2013年，中国拥有转基因作物400万公顷，是世界第六大转基因作物生产国，其中转基因棉花占绝大部分。

中国有几种转基因作物？



转基因水稻



转基因玉米

- 截至目前，我国共批准发放**7种**转基因作物安全证书，分别是耐储存番茄、抗虫棉花、改变花色矮牵牛、抗病辣椒、抗病番木瓜、转植酸酶玉米和抗虫水稻。**但实现大规模商业化生产的只有抗虫棉和抗病毒木瓜。**

转基因木瓜



- 转基因木瓜转入了一个木瓜环斑病毒的基因，使木瓜对这种病毒产生抗性。
- 中国转基因抗病毒木瓜的种植面积大约8500公顷，分布在广东、海南和广西。



中国抗虫棉花对抗孟山都

- 1996年，孟山都的抗虫棉花进入中国。
- 1998年，孟山都占据国内95%以上的抗虫棉市场。
- 1998年，创世纪转基因技术公司成立，推广中国自主研发的抗虫棉花。
- 2002年，创世纪的抗虫棉花占领了国内市场份额35%。2003年上升到50%。2004年攀升到60%以上，2005年，上升至70%以上。
- 2012年，国产抗虫棉占据了抗虫棉市场的95%，彻底击败了孟山都公司的垄断。
- 中国出口的棉花制品的大部分来自抗虫棉花。



中国抗虫棉之父
—郭三堆



转基因作物的非法种植



- 海南南繁育制种基地是全国最大、最开放、最具影响的农业科技试验区。
- 2013年底，海南农业局发现13家单位种植的15个样品呈转基因阳性，其中玉米12个，棉花3个。省级农业主管部门承认发现涉嫌非法种植转基因植物。

中国批准进口的转基因作物



- 我国先后批准了转基因棉花、转基因大豆、转基因玉米、转基因油菜，转基因甜菜5种作物的进口安全证书。除批准了转基因棉花的种植外，进口的转基因大豆、转基因玉米、转基因油菜，转基因甜菜用途仅限于加工原料。

中国的转基因大豆



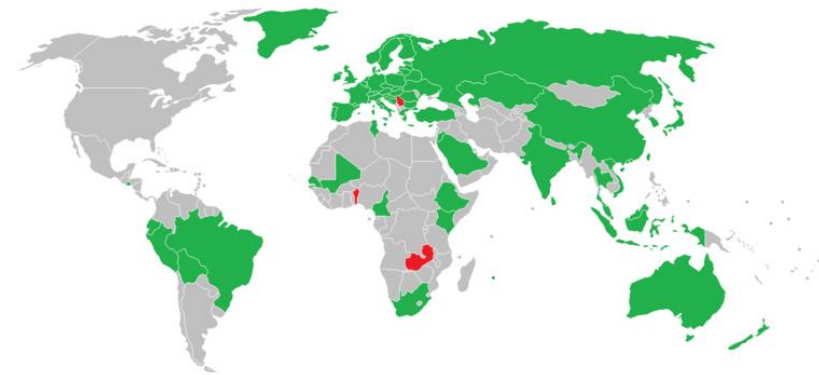
- 进口的转基因作物中最多的的是转基因大豆。
- 2014年全球转基因大豆种植面积占总面积82%。中国进口总量占世界贸易量的70%，但只占世界生产量的30%。
- 进口大豆主要用于两方面：一是食用豆油，二是饲料豆粕。70%的转基因大豆用于榨油。目前批发市场销售的大豆油中，转基因大豆油大约占据90%以上的市场份额。国产大豆在豆制品领域具有优势。



中国的转基因食品

- 为满足消费者的知情权和选择权，我国实施与国外相比较为严格的按目录、定性、强制标识制度。

中国主要的转基因食品是豆油和木瓜。



绿色：强制标示区域

红色：不允许进口和种植区域

- 美国是转基因食品生产和应用的大国，但对转基因产品实行自愿标识制度。
- 欧盟则实施定量标识制度，即规定食品中某一成分的转基因含量达到该成分的0.9%时须标识，在此阈值之下的可不标识。



转基因的标识



图1 CCIC非转基因产品认证标志

关于转基因的争议





改变生活的生物技术

- 转基因技术和转基因生物
- 转基因植物
- 转基因食物-吃还是不吃
- 中国的转基因现状
- 理性看待转基因



2014年纽约转基因辩论会

主题：我们是否应该支持转基因食品？



Genetically modified (GM) foods have been around for decades. Created by modifying the DNA of one organism through the introduction of genes from another, they are developed for a number of different reasons—to fight disease, enhance flavor, resist pests, improve nutrition, survive drought—and are mainly found in our food supply in processed foods using corn, soybeans, and sugar beets, and as feed for farm animals. Across the country and around the world, communities are fighting the cultivation of genetically engineered crops. Are they safe? How do they impact the environment? Can they improve food security? Is the world better off with or without GM food?



FOR
Robert Fraley
Executive VP & Chief
Technology Officer,
Monsanto



FOR
Alison Van Eenennaam
Genomics and
Biotechnology
Researcher, UC Davis



AGAINST
Charles Benbrook
Research Professor,
Center for Sustaining
Agriculture and Natural
Resources



AGAINST
Margaret Mellon
Science Policy
Consultant & Fmr.
Senior Scientist, Union
of Concerned
Scientists



MODERATOR
John Dorvan
Author &
Correspondent for
ABC News

支持方

孟山都CTO Robert Fraley和加利福尼亚大学戴维斯分校动物系的 Alison Van Eenennaam

反对方

华盛顿州立大学可持续农业中心的Charles Benbrook和忧思科学家联盟的Margaret Mellon)



支持方的理由

- 转基因作物已在美国食品体系中**安全生产、食用了近20年**，目前为止，对人体健康没有任何已知的危害和风险；
- **转基因作物对农民和环境均有利**，能够帮助增加产量、降低农药的使用以及减少对耕地的需求；
- 转基因能帮助作物抵御病虫害、抗旱以及增加营养，这些特性能够**保证我们的粮食供应安全**。



权威科学组织的意见

- 2012年，美国科学院、英国皇家医学学会等组织表明尚未有确凿证据证明使用转基因食物会对健康造成危险。
- 科学界共识：迄今为止，没有任何科学证据显示转基因对健康和环境会造成比传统作物更大的风险。



反对方的理由

- 目前的监管制度尚不能充分的证实转基因作物的安全性，其对消费者长期的作用如何尚不得而知；
- 转基因作物可能对环境造成威胁，比如可能会污染非转基因作物，危害非靶标生物以及降低生物多样性；
- 目前全球的粮食产量已经足够，但仍有人在忍饥挨饿，这是政治原因导致的，不是粮食产量决定的。过度关注基因工程，希望藉此解决饥饿问题，会让人们不再关注从公共政策角度来解决这一问题。



转基因植物对于生态的影响

- 危害非靶标生物

草甘磷杀死的乳草，是帝王蝶的食物。草甘磷的使用减少了墨西哥帝王蝶的数量。 (*Insect Conservation and Diversity* 2012,6(2):135-144.)

- 降低生物多样性

在使用转基因植物专用的农药的田间，生物多样性水平下降，最多可达30%。 (*Ecological Applications* 2005,15(2):618–627).

- 引发次要害虫问题

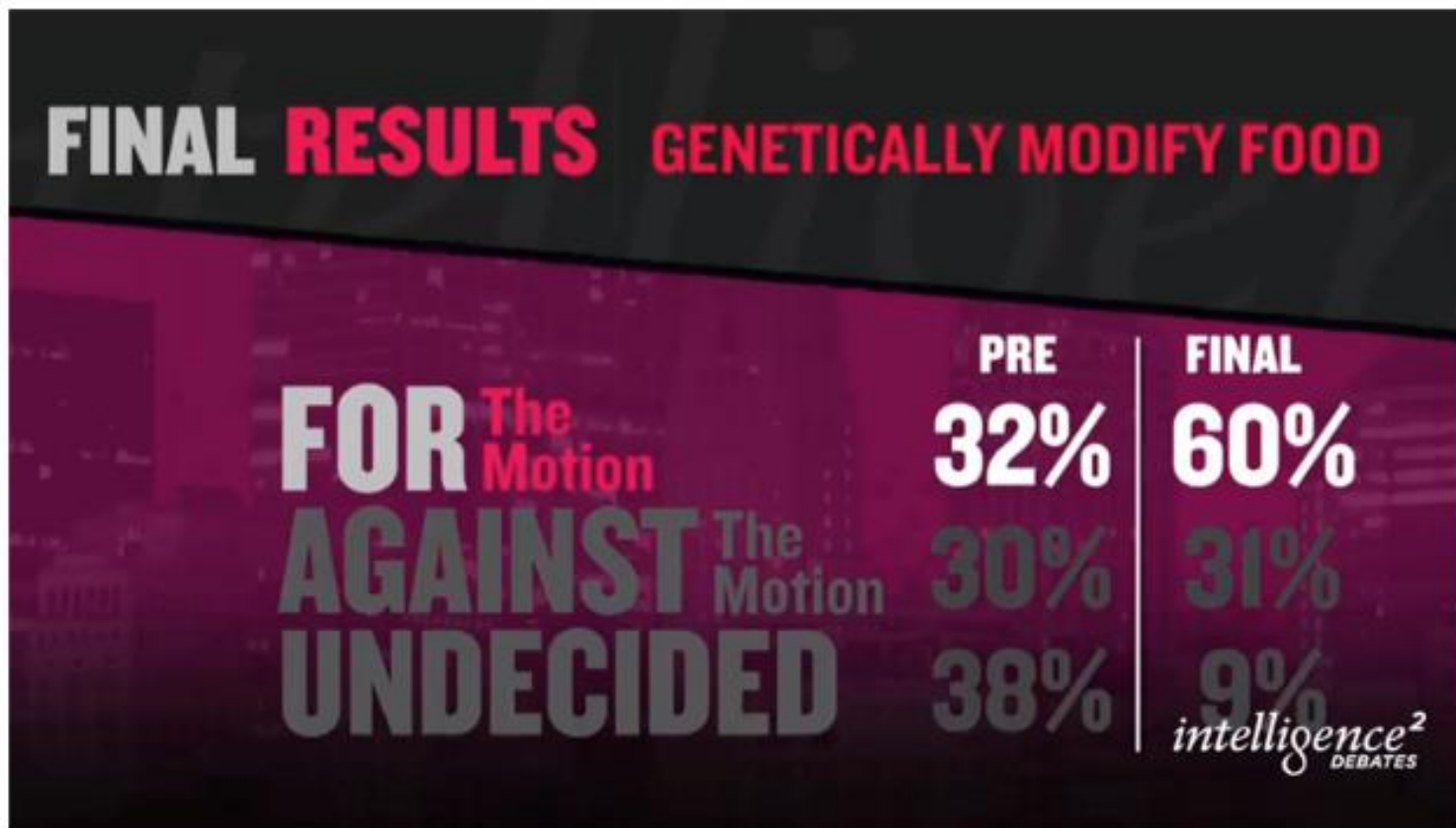
Bt棉花虽然有效控制棉铃虫的危害，但由于农药用量明显减少，间接导致另外一种害虫-盲椿象泛滥成灾。

(*Science* 2010,328(5982):1151-1154).

- 基因水平转移

转基因成分转移到野生的玉米和油菜中。 (*Mol. Ecol.* 2009,18(4):750–61).

支持转基因一方大胜



观众中，辩前32%支持转基因，30%反对转基因，38%不确定；
辩后数据为支持方60%，反对方31%，不确定的为9%。

转基因生物的安全等级



1 级转基因生物是安全的，甚至是更加健康和环保的。

2 级转基因生物具有一定风险，但是很容易管理和控制，通过适当措施就能实现安全使用。

目前进入市场的转基因生物基本上都属于以上两类。

3 和 **4** 级转基因生物具有明显风险，甚至较大风险，可能危害人体健康或环境安全，不能释放到环境中，但可以在控制的环境中生产和利用，一般在工厂设施内，密闭的温室内才能生产。



转基因事件的澄清-转基因玉米致癌



Seralini
与具有争议的大鼠

- 2012年9月19日，法国卡昂大学教授 Gilles-Eric Seralini在*Food and Chemical Toxicology*杂志上发表了大鼠长期服用抗草甘膦的转基因玉米会致癌的研究。
- 学界质疑：选择的鼠种是容易患癌的鼠种，每组10只大鼠的样本量太少、存在统计错误。
- 2013年11月28日，文章被撤稿。
- 2012年，美国科学院、英国皇家医学学会等组织表明尚未有确凿证据证明使用转基因食物会对健康造成危险。

转基因事件的澄清-转基因大豆致敏

权威论证：这是一个实验室阶段就被中止的转基因案例，这种转基因大豆根本没有上市。



- 美国先锋种子公司将巴西坚果中编码2S albumin 蛋白基因转入大豆中，提高了转基因大豆中含硫氨基酸。
- 该公司对该转基因大豆进行食用安全评价时，发现对巴西坚果过敏的人同样会对这种大豆过敏，因此立即终止了这项研究计划。但此事后来一度被说成是“转基因大豆引起食物过敏”，作为反对转基因的一个主要事例。

转基因事件的澄清-转基因作物杀死帝王蝶



- **事件溯源：**1999 年5 月，康奈尔大学的Losey研究组在 *Nature* 上报道：帝王蝶幼虫食用转Bt基因抗虫玉米花粉后，生长缓慢，且死亡率高达44%，提示抗虫转基因作物同样对非目标昆虫产生威胁。
- **论证：**美国环境保护局研究后认为，该实验是在实验室完成的，应以田间实验为准。
- **真相：**2001 年10 月，Losey研究组又在 *PNAS* 报道：帝王蝶幼虫经饲喂转Bt基因抗虫玉米Bt11和Mon810花粉后，对其存活的影响可以忽略不计。

理性看待转基因植物



- 转基因植物对提高现代农业的产量和质量,改善人类生活作出了积极的贡献。
- 它存在一些潜在的风险,但对于这样一个利大于弊的事物,应该趋利避害,而不能因噎废食。类似的事物可以参照wifi、电脑、手机等等。

理性看待转基因植物



- 应重视转基因作物安全性的科学研究, 通过科学手段来降低作物的可能风险, 同时积极完善相应的法令法规, 利用法制手段来提高转基因生物的安全性。



中国领导人的态度

- 习近平：

我强调两点：**一是确保安全，二是要自主创新**。也就是说，在研究上要大胆，在推广上要慎重。转基因农作物产业化、商业化推广，要严格按照国家制定的技术规程规范进行，稳打稳扎，确保不出闪失，涉及安全的因素都要考虑到。要大胆创新研究，占领转基因技术制高点，不能把转基因农产品市场都让外国大公司占领了。

- 农业部总经济师、新闻发言人毕美家：

（转基因作物的放开过程）先是非食用，然后是间接食用，最后是食用——这样的步骤来稳步推进。**首先发展非食用的经济作物，其次是饲料作物、加工原料作物，再次是一般食用作物，最后才是主粮作物。**



改变生活的生物技术

谢谢！

