

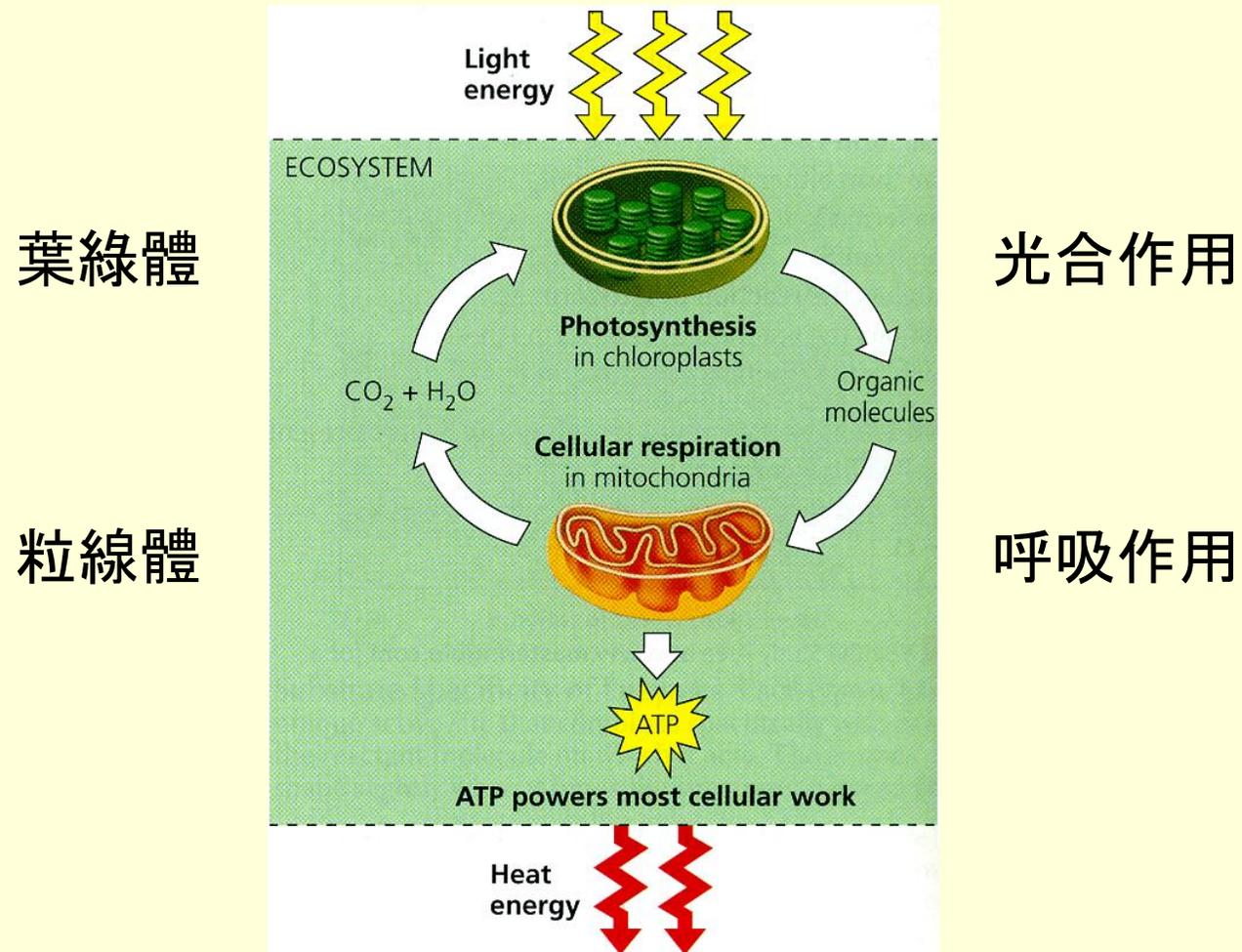
# 細胞生物學：葉綠體、粒線體



謝明勳

中央研究院  
植物暨微生物學研究所

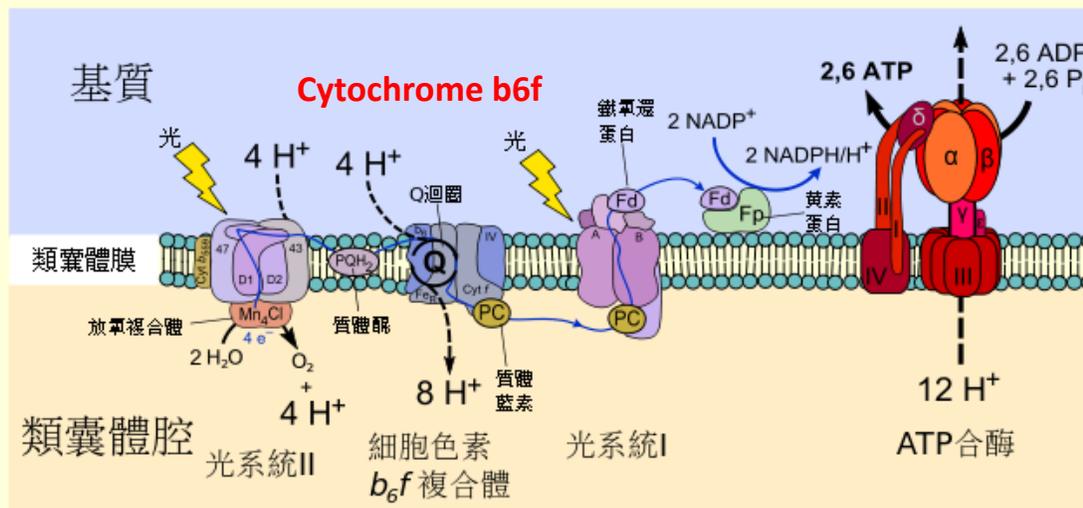
# 葉綠體與粒線體的主要生理功能



葉綠體、粒線體的生理功能：產生能量(ATP)

# 葉綠體、粒線體：細胞內產生能量 (ATP) 的重要胞器

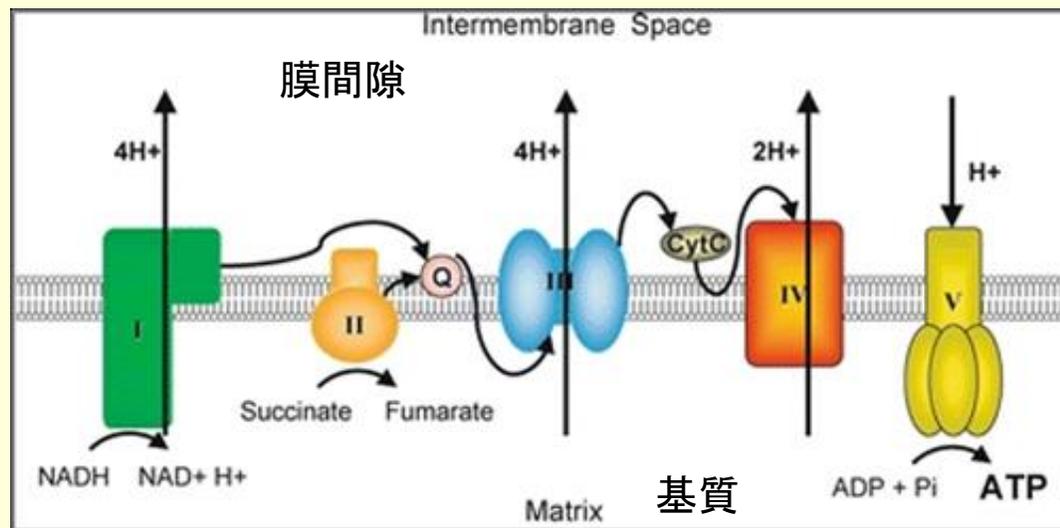
葉綠體的  
電子傳遞鏈



PSII (Photosystem II)    PSI (Photosystem I)    ATP synthase

H<sup>+</sup>離子濃度的差異  
驅動ATP的合成

粒線體的  
電子傳遞鏈



Complex I    Complex II    Complex III    Complex IV    Complex V (ATP synthase)

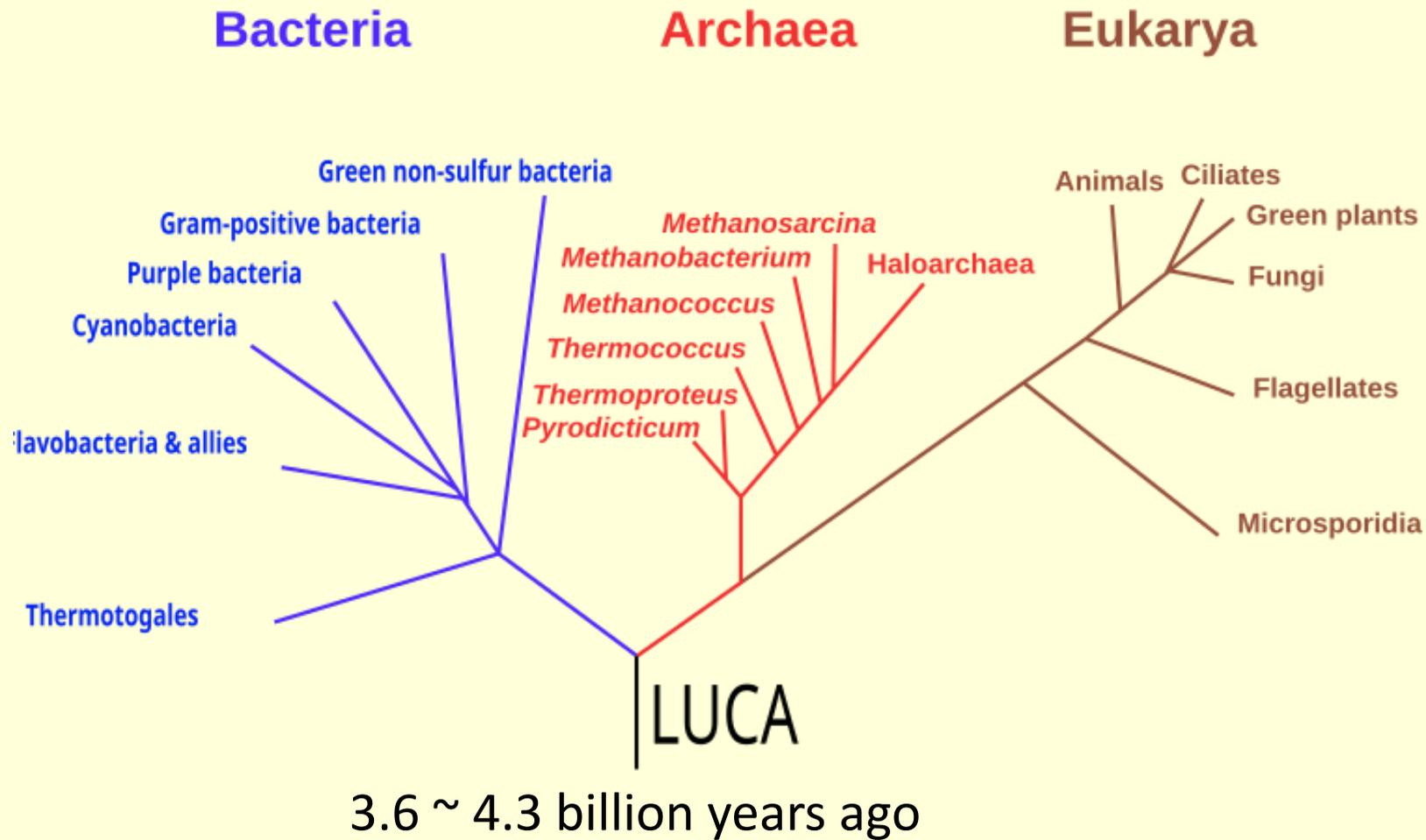
H<sup>+</sup>離子濃度的差異  
驅動ATP的合成

# 葉綠體與粒線體是如何演化來的？

## Endosymbiosis theory (內共生假說)

- The **mitochondria** (粒線體) of eukaryotes evolved from  **$\alpha$ -proteobacteria** ( $\alpha$ -變形菌) living within their host cell.  
~ 1.5 billion years ago
- The **chloroplasts** (葉綠體) of eukaryotes evolved from endosymbiotic **cyanobacteria** (藍綠菌).  
~ 1.2 billion years ago

# 地球生物最原始的共同祖先：LUCA (last universal common ancestor )



The **last universal common ancestor (LUCA)** is the hypothesized common ancestral cell from which the three domains of life, the Bacteria, the Archaea, and the Eukarya originated. 5

# 葉綠體與粒線體都有自己的 DNA

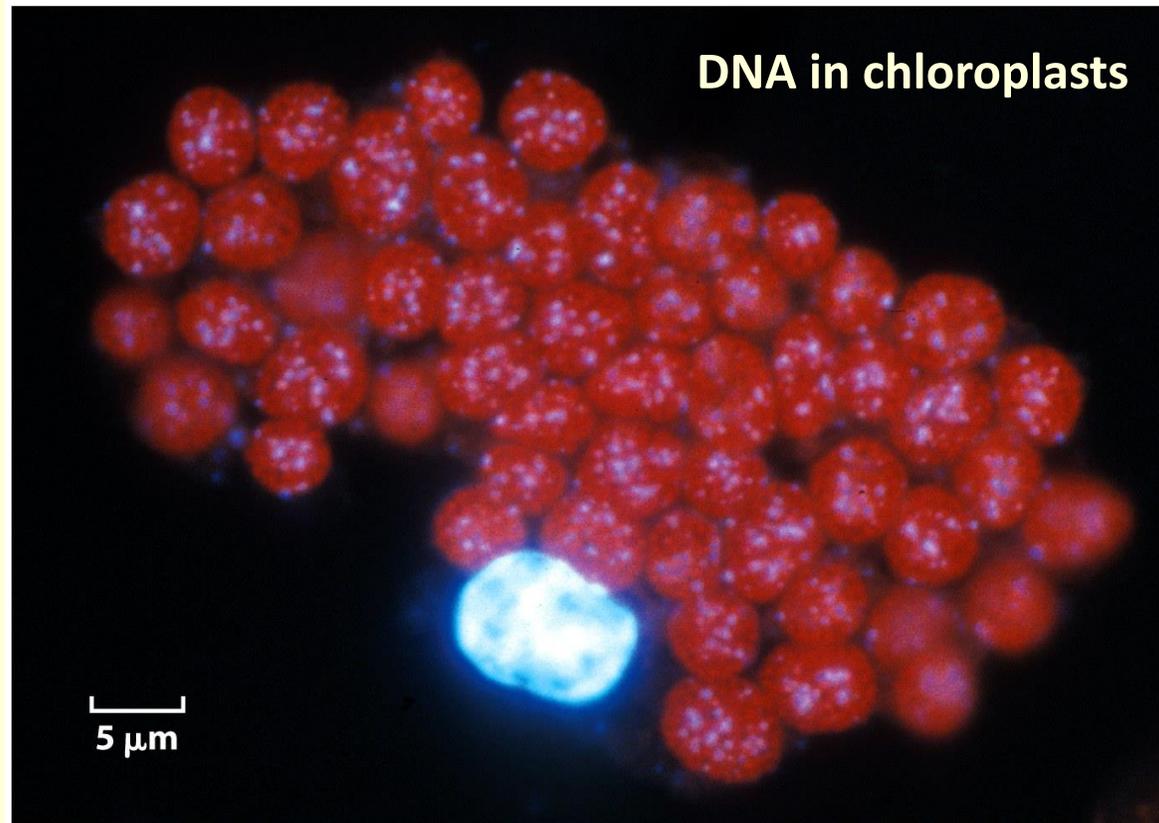


Figure 2-32 Plant Biology (© Garland Science 2010)

阿拉伯芥葉綠體內約有87 基因, >3,000 蛋白質

阿拉伯芥粒線體內約有57 基因, 2,000 ~ 3,000 蛋白質

# 植物葉綠體內的基因

## I. Genes involved in chloroplast gene expression (與基因表現有關的基因)

- rRNAs, tRNAs
- ribosomal proteins
- RNA polymerase

## II. Genes involved in photosynthesis (與光合作用、電子傳遞鏈有關的基因) (electron transport chain)

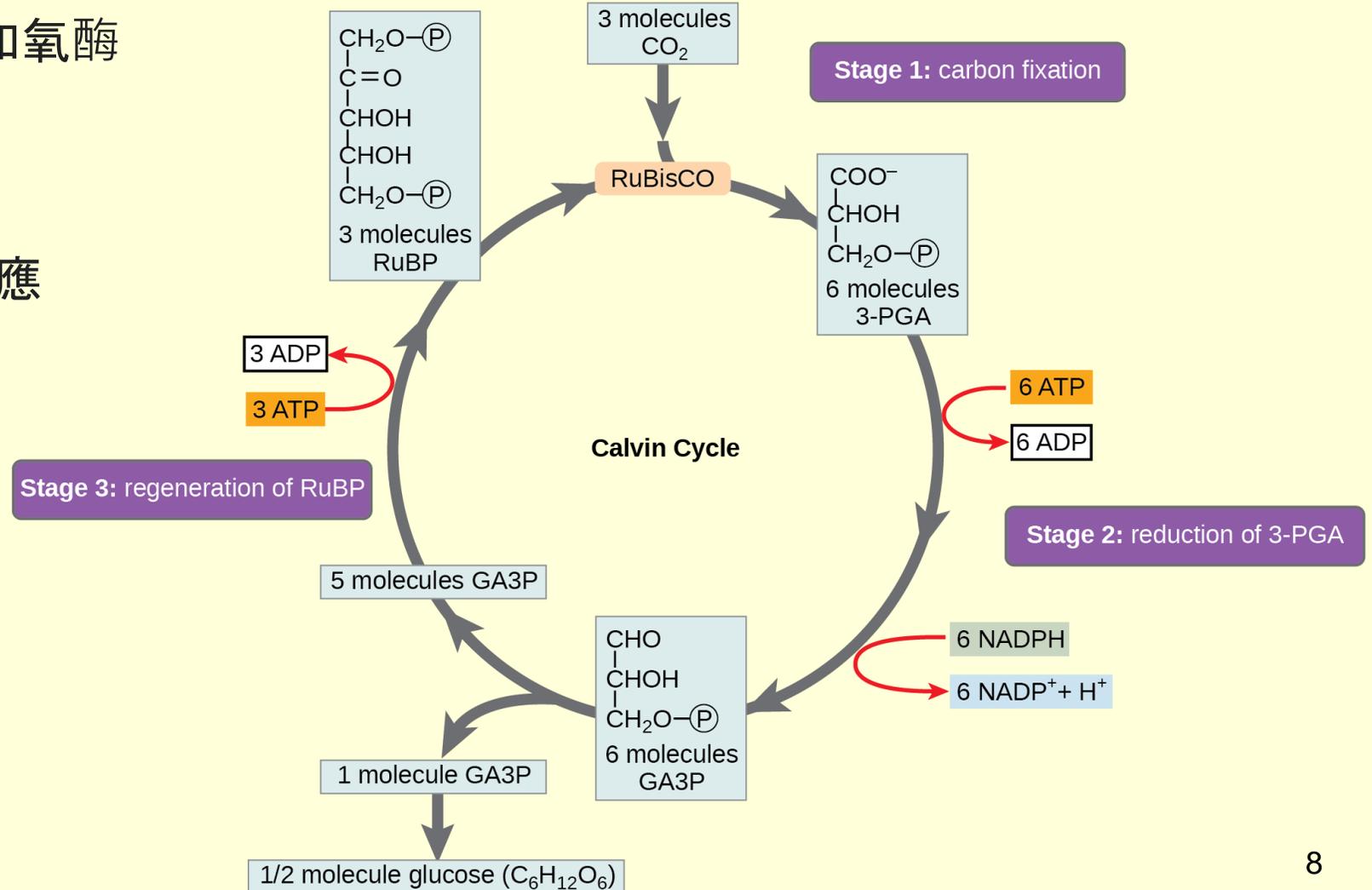
- 28 thylakoid proteins *psa* and *psb* subunits
- ATP synthase subunits (*atp*)
- NADH dehydrogenase subunits (*nad*)
- Cytochrome b6f subunits (*pet*)

## III. RUBISCO large subunit (*rbcL*)

**Ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase-oxygenase (RuBisCO)** is the enzyme responsible for the fixation of C derived from atmospheric CO<sub>2</sub> as part of the Calvin-Benson cycle

1,5-二磷酸核酮糖羧化酶／加氧酶 (RUBISCO):

在光合作用中卡爾文循環裡  
催化第一個主要的碳固定反應

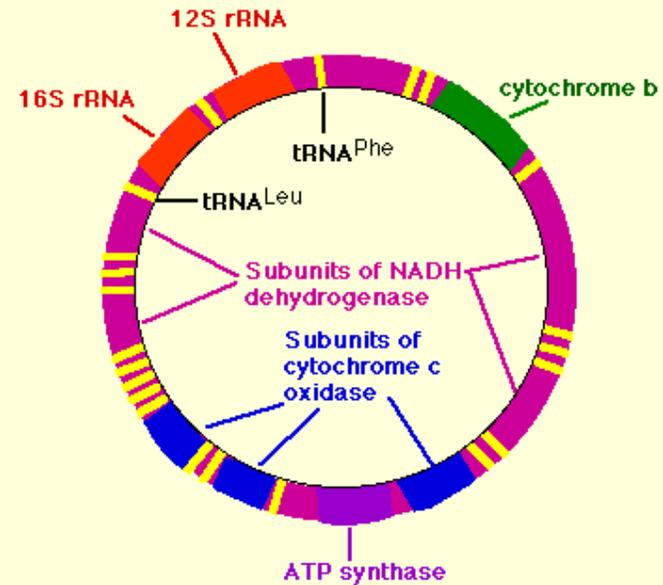


# Human Mitochondrial Genome

人類粒線體的基因體全長16.5 kb，只有13個可以轉譯成蛋白質的基因（與電子傳遞鏈有關）

The genome of **human mitochondria** contains 16,569 base pairs of DNA organized in a closed circle. These encode:

- 2 **ribosomal RNA** (rRNA) molecules
- 22 **transfer RNA** (tRNA) molecules
- 13 polypeptides
  - 7 subunits that make up the mitochondrial **NADH dehydrogenase**
  - 3 subunits of **cytochrome c oxidase**
  - 2 subunits of **ATP synthase**
  - **cytochrome b**



絕大部分的粒線體蛋白質，都是在細胞質內合成，然後運送到粒線體內。

# Evolutionary trend towards reducing organelle gene content

Genome	Protein coding genes
<i>Rickettsia prowazekii</i> (alpha proteobacterium)	832
<i>Reclinomonas americana</i> (protozoan) mitochondria	62
<i>Marchantia polymorpha</i> (liverwort) mitochondria	64
<i>Arabidopsis thaliana</i> mitochondria	57
<i>Homo sapiens</i> mitochondria	13

I. 葉綠體、粒線體: “Energy Producing Organelles” 細胞內產生能量 (ATP) 的重要胞器

II. 葉綠體、粒線體: “Semi-autonomous Organelles” 有自己的基因, 但必須仰賴細胞核基因

# Chloroplast Biology



**Many important reactions occur  
in the chloroplast**

Photosynthesis

光合作用

**Amino acid metabolism**

**氨基酸代謝**

Carbohydrate metabolism

醣類代謝

Redox regulation...etc

- 很多殺草劑的作用機制，與必需氨基酸的合成有關。
- **很多基改作物，與抗殺草劑有關。**

# 基改作物主要來自四大公司

- **BASF 巴斯夫 (德國)**



- **Syngenta 先正達 (瑞士)**



- **Bayer 拜耳 (德國)**

(Monsanto 孟山都)



- **Corteva 科迪華 (美國)**

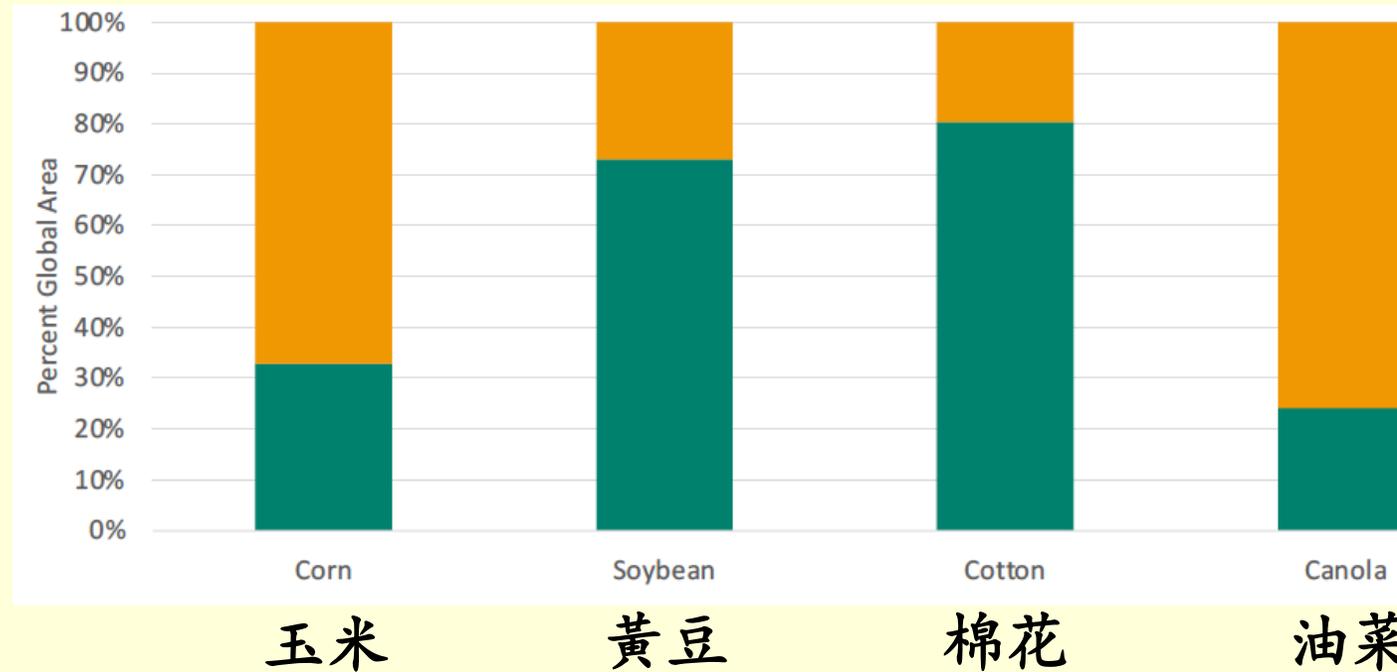
(Dupont 杜邦)



# 四大基改作物：



GM Crops grown on 200 million hectares in 2022



■ GM ■ non-GM

Source: <https://gm.agbioinvestor.com/>

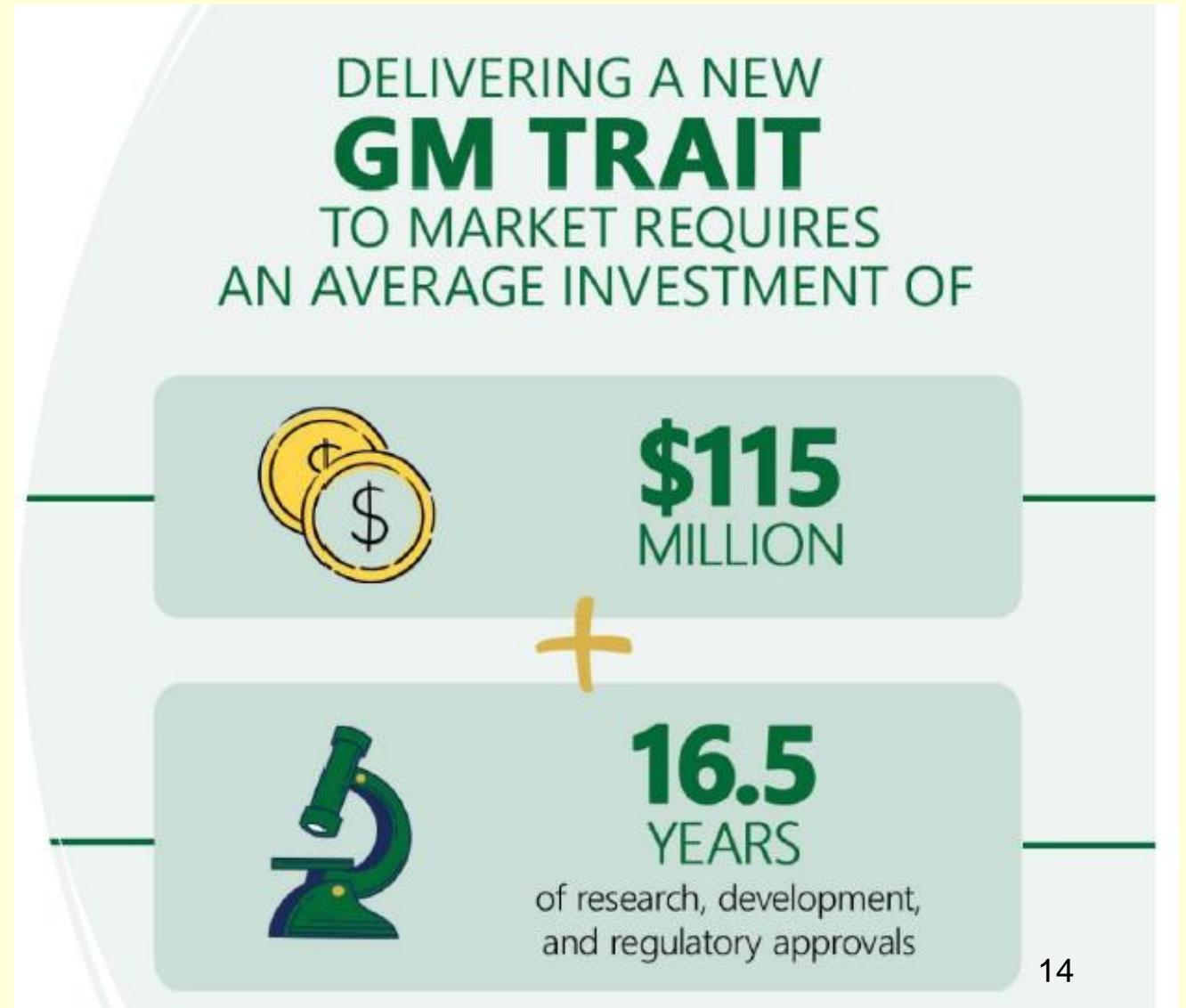
# 基改作物從研發到上市所花費的時間與金錢

- 16.5 年
- 1億1千5百萬 美元

巴斯夫、先正達、拜耳、科迪華  
2017-2022 上市產品之平均花費

## Time and Cost to Market Study

A new study from Agbio Investor surveyed four leading biotech crop developers (BASF, Bayer, Corteva, Syngenta) on how long it takes and how much it costs to bring a product from early-stage research through product launch, for traits launched 2017-2022.

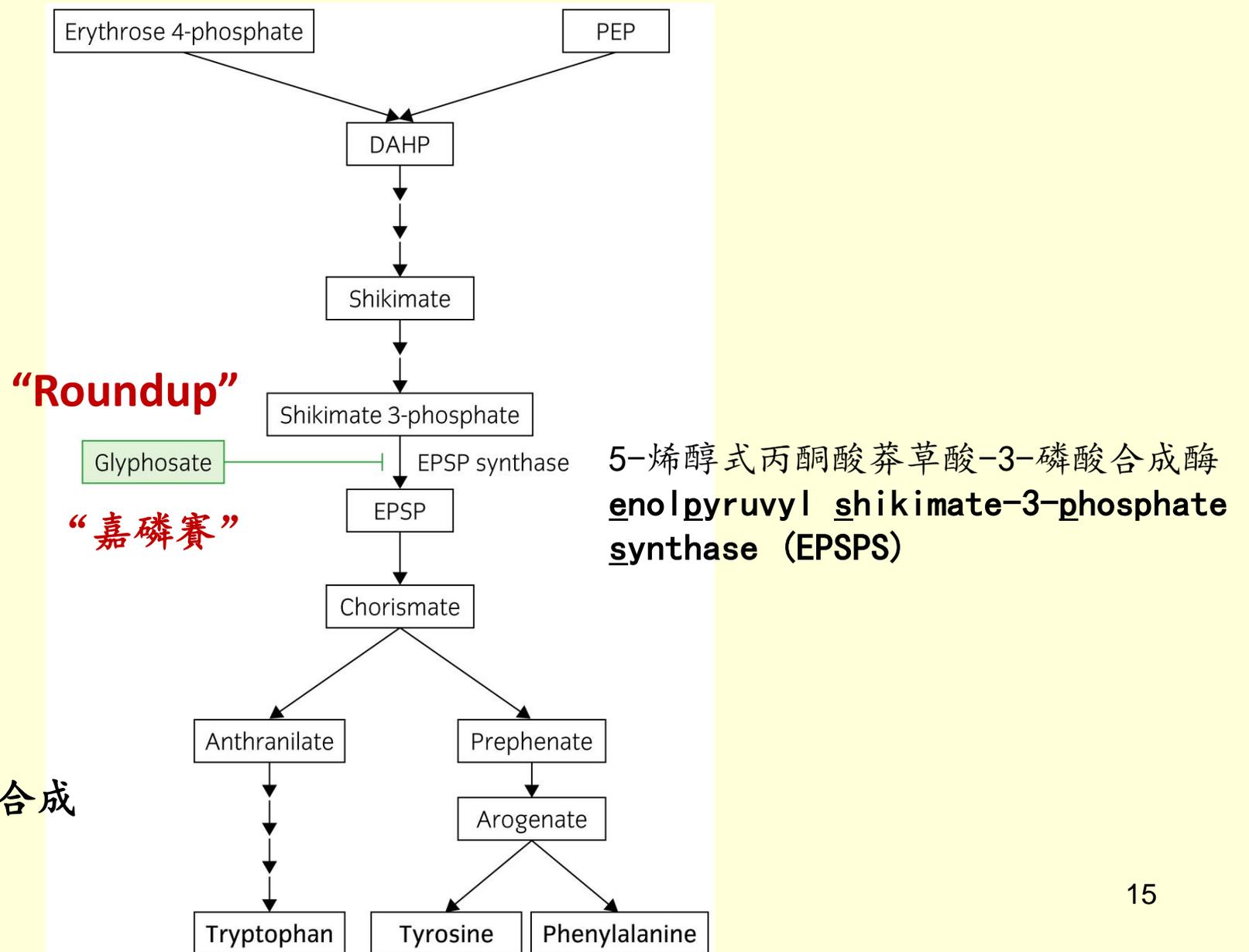


# “Roundup” 「年年春」為什麼可以殺死植物？

“Roundup” 抑制了  
芳香族氨基酸的合成



- 芳香族氨基酸：必須氨基酸
- 必須氨基酸：人類不能自行合成，必須從食物中獲得。



# 孟山都的抗除草劑基改作物 “Roundup Ready® ” (抗農達)

傳統的  
非基改作物



Roundup Ready®  
基改作物

孟山都最賣座的產品：“Roundup” 「年年春」殺草劑



“Roundup”: the most used herbicide in the USA and the most-sold agrichemical of all time

# Roundup Ready® 作物的研發

- 科學家在農桿菌 (*Agrobacterium tumefaciens*) 中，篩選到可以抗 “Roundup”，又能合成芳香族胺基酸的菌種 (*A. tumefaciens* CP4)

此菌種是因為 **EPSPS** 酵素發生**突變**所造成 (mutant EPSPS)

- 將此不受Roundup 抑制的 **EPSPS 突變型基因**轉殖到作物中

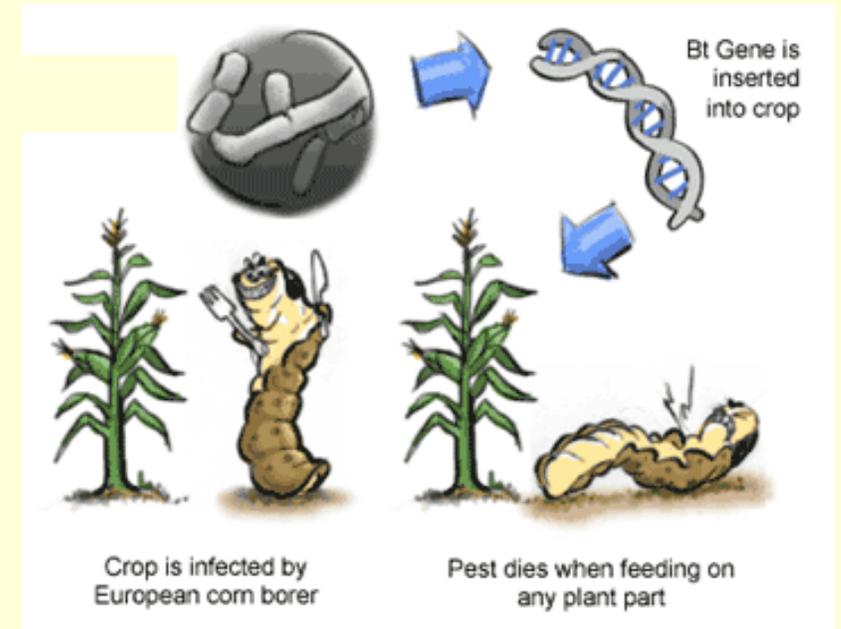
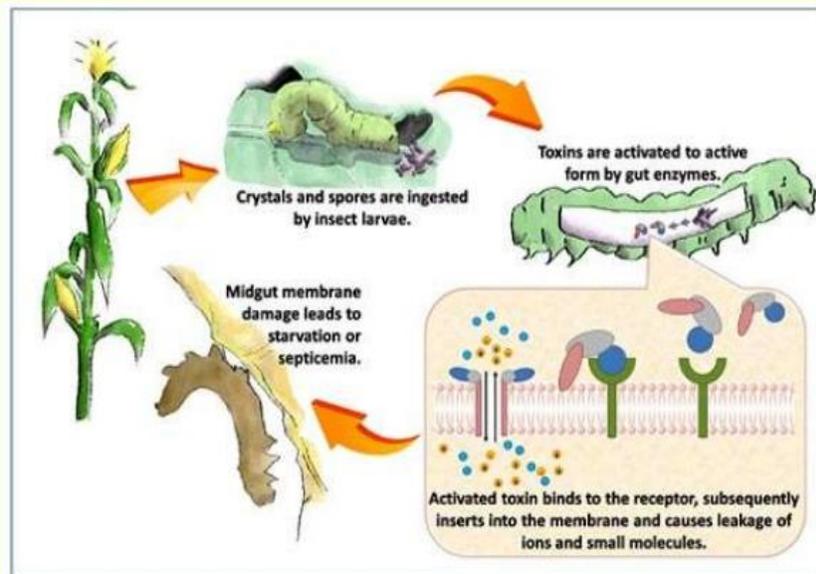


用來製造 Roundup Ready® 作物的基因簡圖

植物芳香族氨基酸於“葉綠體”內合成，因此在EPSPS基因前面加上一段“transit peptide (TP)”，讓EPSPS可以順利地運送到“葉綠體”內。

# 抗蟲的基改作物 (*Bt crops*)

- 蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*) 會產生具有殺蟲效果的結晶蛋白(crystal proteins, Cry)
- Cry 蛋白在昆蟲的腸道中 (鹼性) 具有毒性，在人類腸道中 (酸性) 不具毒性。
- 將蘇力菌的 **Cry** 基因轉殖到作物中，簡稱“**Bt crops**”。
- Cry 蛋白的作用機制：

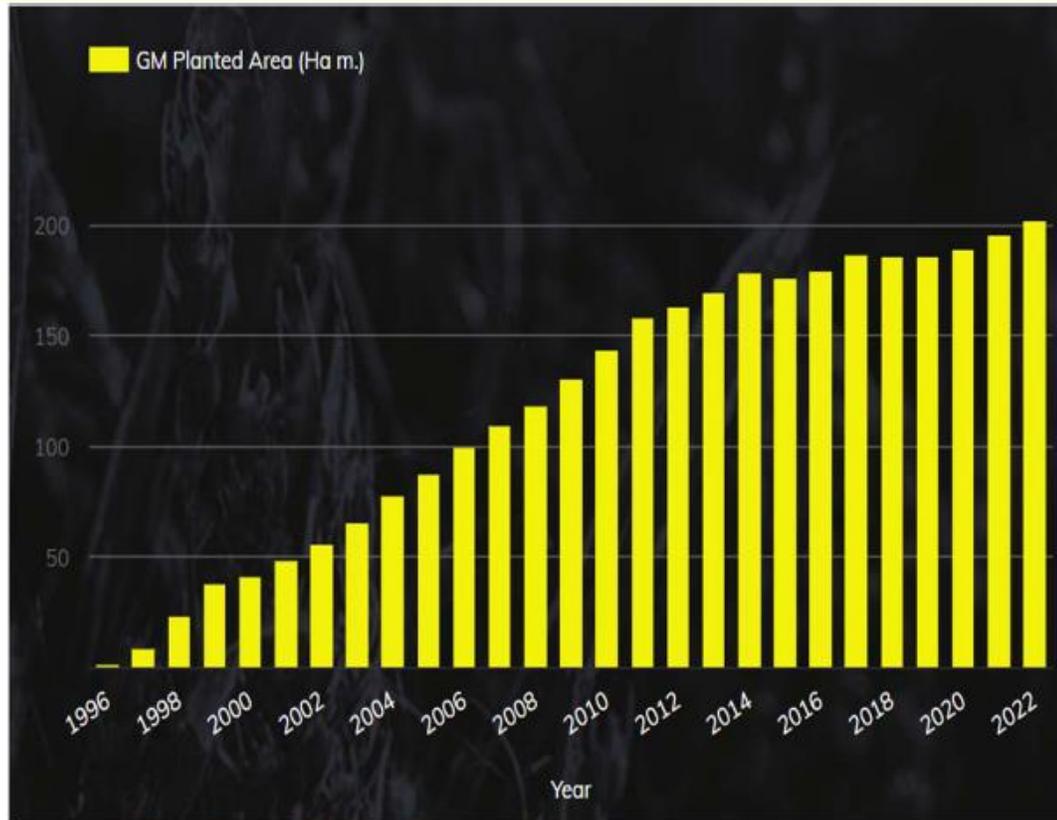


蘇力菌的 Cry 蛋白會與昆蟲的腸壁細胞膜上的接受器 (receptor) 結合，造成腸細胞穿孔

# 抗蟲的基改黃豆、基改玉米



# 抗殺草劑、抗蟲的基改作物自1996年上市後即不斷擴增



Source: <https://gm.agbioinvestor.com/>

- 27 countries in 2021
- Total of 202.2 million hectares in 2021
- Increase of 3.3% in 2022 (208.9 million hectares)

- 99% 以上的基改作物是抗殺草劑、抗蟲的基改作物
- 這類基改作物的研發，讓農民耕作更方便，也讓種子公司更容易壟斷市場
- 種植基改作物的國家：美國、巴西、阿根廷、加拿大、印度、巴拉圭、中國、<sup>20</sup>...

# 越來越多與抗蟲、抗殺草劑無關的基改作物已獲批准上市



番茄  
不易軟化



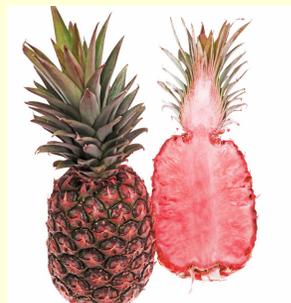
紫色番茄



藍色玫瑰花



木瓜  
抗病毒



鳳梨  
粉紅色



蘋果  
不易變黑



水稻  
黃金米



馬鈴薯  
抗病、不易變黑、低丙烯醯胺

“不是由四大公司所研發”

2004年，丹麥一家生技公司發展出可以偵測地雷的基改植物



NO<sub>2</sub> inducible  
P<sub>i</sub> promoter

Gene that controls  
anthocyanin biosynthesis

Termination  
signal

將可以調控花青素合成的基因，接在會受二氧化氮誘導的驅動子之後

# 可以偵測地雷的植物 Land-mine-detecting plants



The New York Times

December 9, 2004

Photomontage by Zachary Scott for The New York Times

紐約時報

可以抗輪點病毒的基改木瓜於1998年在夏威夷核准上市

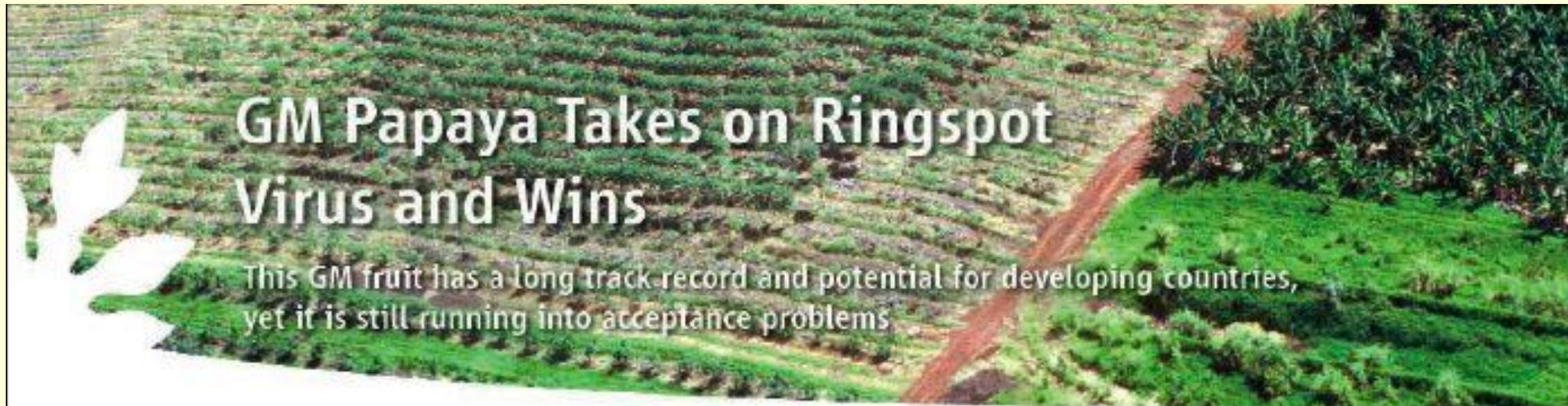


SunUp

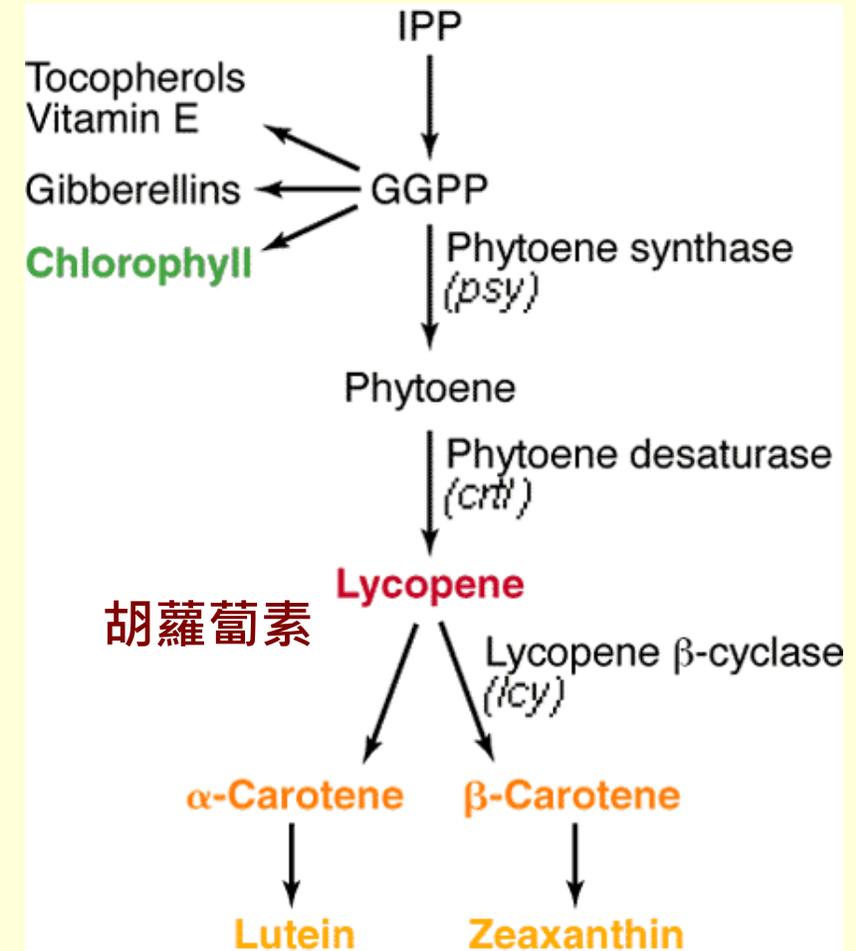
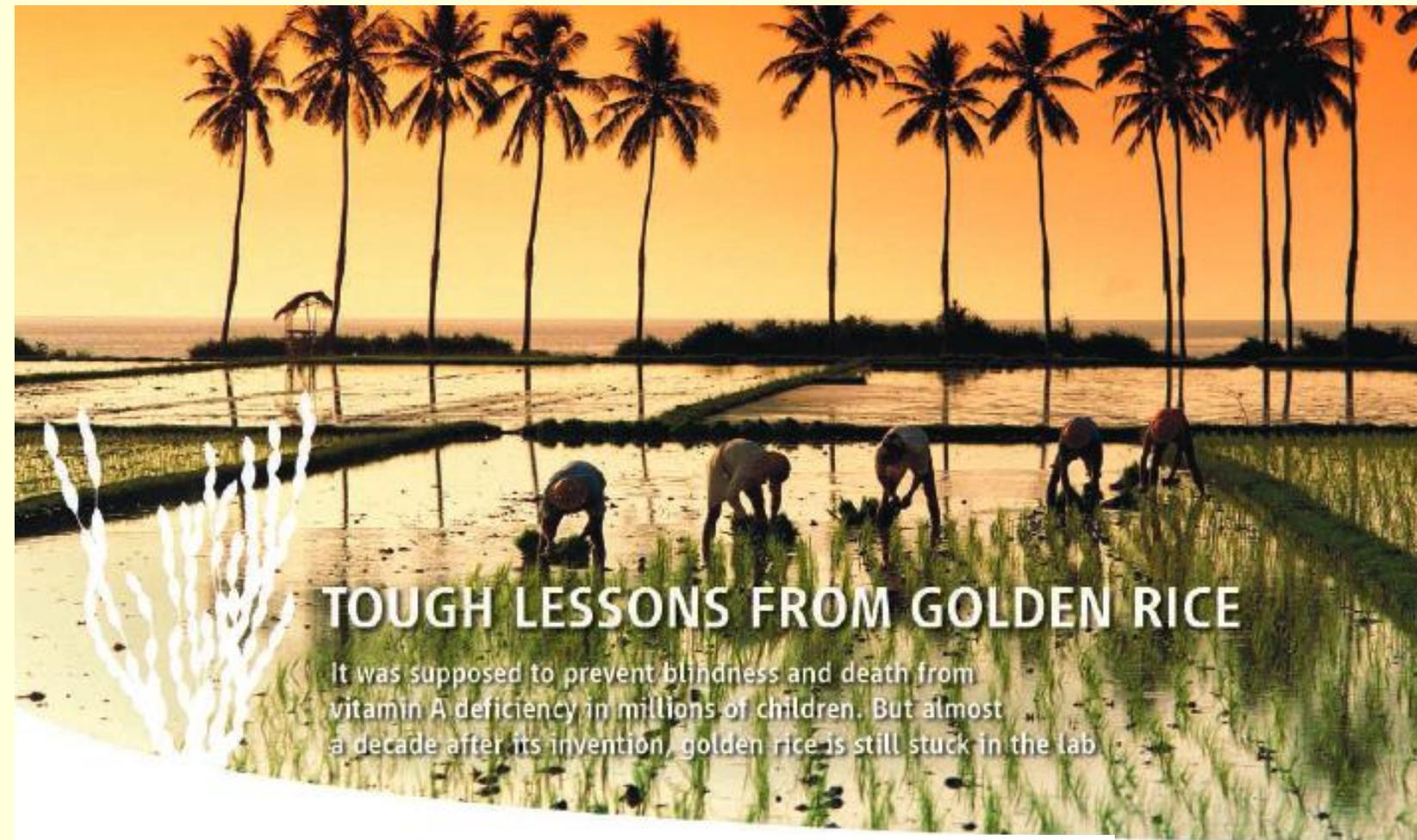


Rainbow

利用DNA重組技術，將輪點病毒 (Ringspot virus) 的表面蛋白 (coat protein) 基因，轉殖到木瓜。

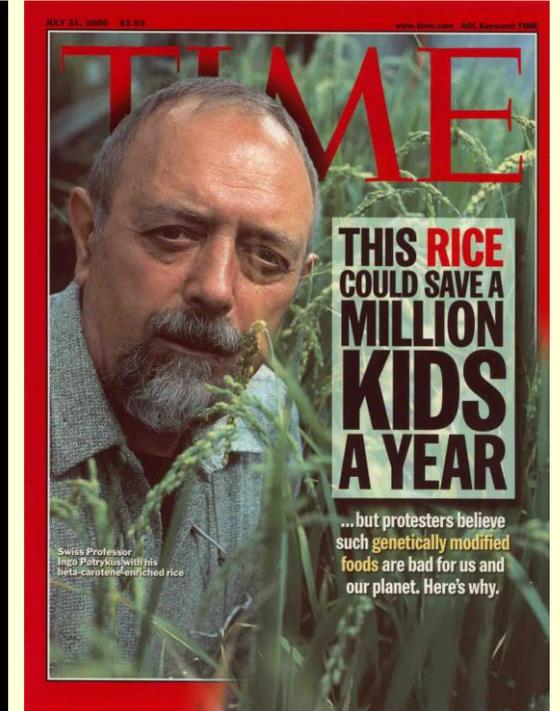


# 黃金米 Golden Rice



將植物和細菌中，與合成胡蘿蔔素有關的基因 *psy*, *crtl*, *lcy* 轉殖到水稻

# 黃金米 Golden Rice



<http://www.goldenrice.org/>

第一代 黃金米

第二代 黃金米

Provitamin A ( $\beta$ -carotene):

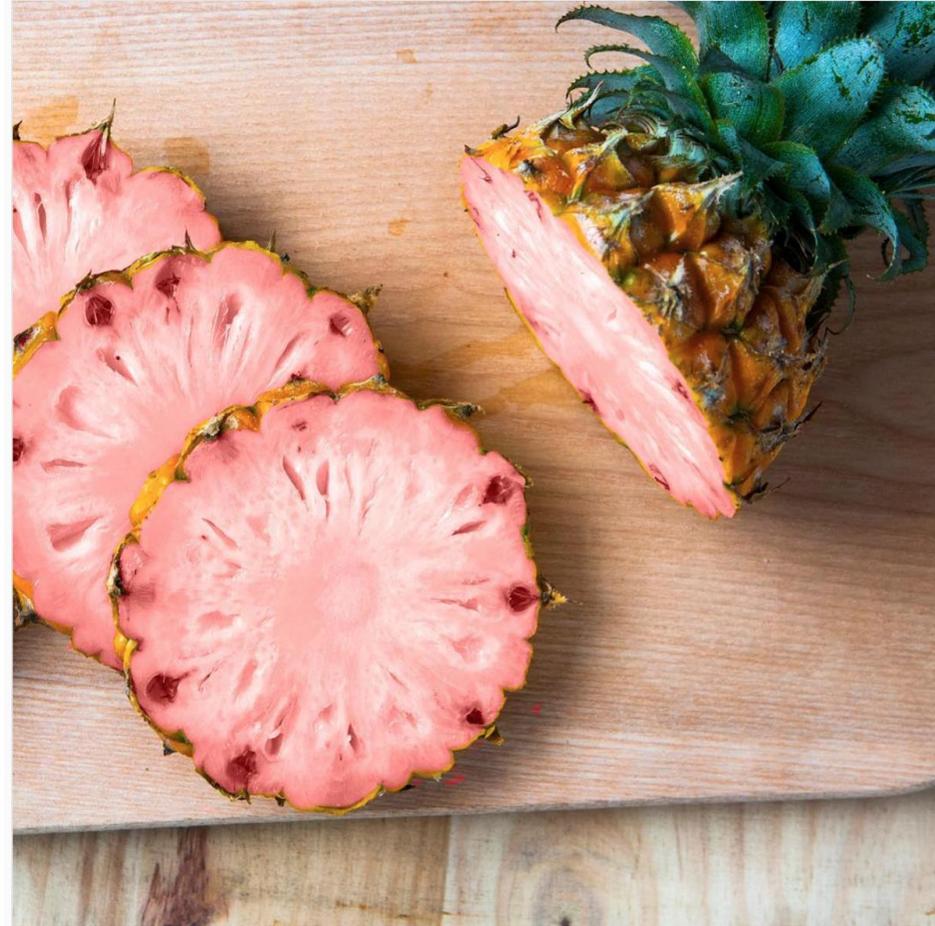
1.6  $\mu\text{g/g}$

31  $\mu\text{g/g}$

$\beta$ -胡蘿蔔素

粉紅色的鳳梨

Del Monte "ROSÉ" pink pineapples



- FDA approves pink, genetically engineered pineapple from Del Monte [Fox News](#) December 16, 2016

# 美國農業部於2022年9月批准紫色的基改番茄

HEALTH & WELLBEING

## Genetically modified purple tomato approved by US regulators

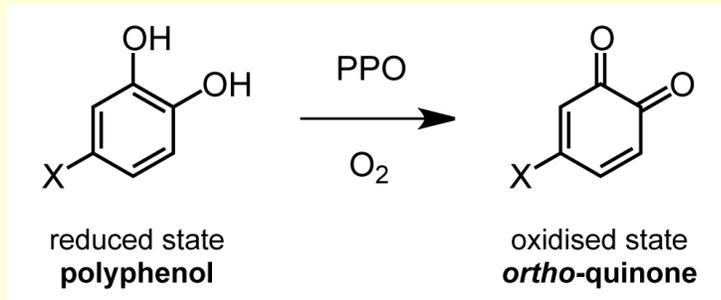
By Rich Haridy  
September 11, 2022



# 不易褐化變黑 (non-browning) 的基改蘋果



**PPO: polyphenol oxidase** 多酚氧化酶



利用“基因靜默 (gene silencing)”，  
即 RNA interference (RNAi) 的技術，  
來抑制 PPO 基因的表現。

# 美國已批准上市的基改馬鈴薯

***USDA Approves Modified Potato. Next Up: French Fry Fans.***

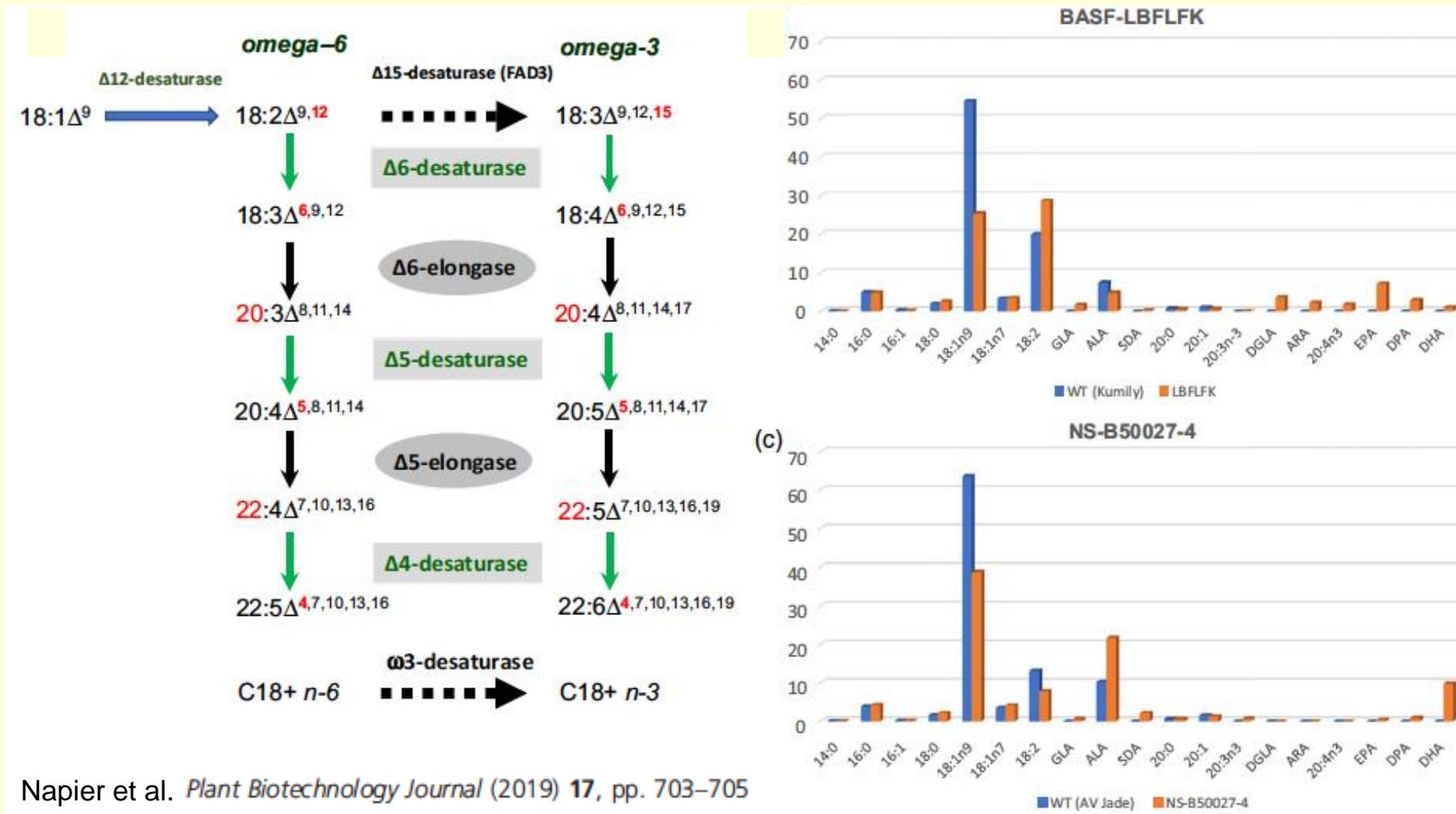
By ANDREW POLLACK NOV. 7, 2014 The New York Times



比較不會氧化變黑的馬鈴薯

A genetically modified **Innate potato™** (“天生”馬鈴薯) left, made by **J.R. Simplot**, next to a bruised conventional potato.

# BASF 與 Nuseed 的基改油菜含有高量的 EPA 與 DHA



- **BASF-LBFLFK 基改油菜轉殖了12個與 DHA 合成有關的基因（7種酵素），外加一個抗殺草劑基因。**

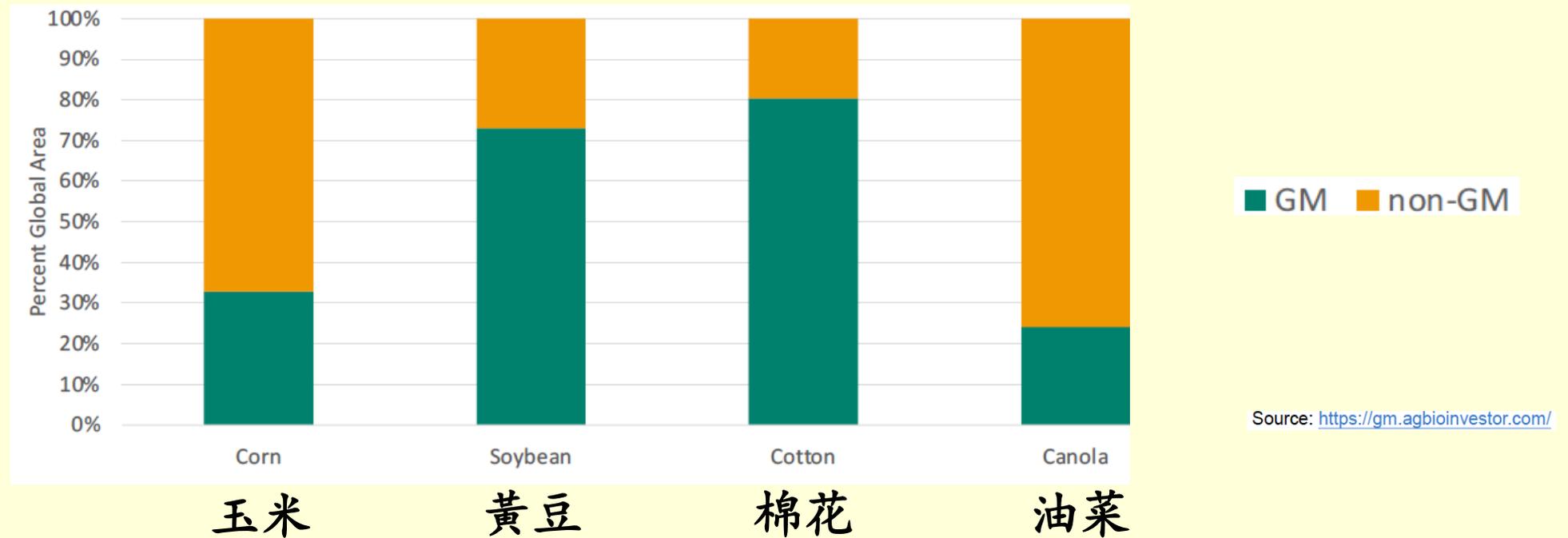
# BASF 與 Nuseed 公司的 DHA 基改油菜已獲美、加、澳等國批准上市



含有高量的 EPA 與 DHA  $\omega$ -3 多元不飽和脂肪酸的基改油菜

# 基改作物：台灣不准種植，但准許進口。

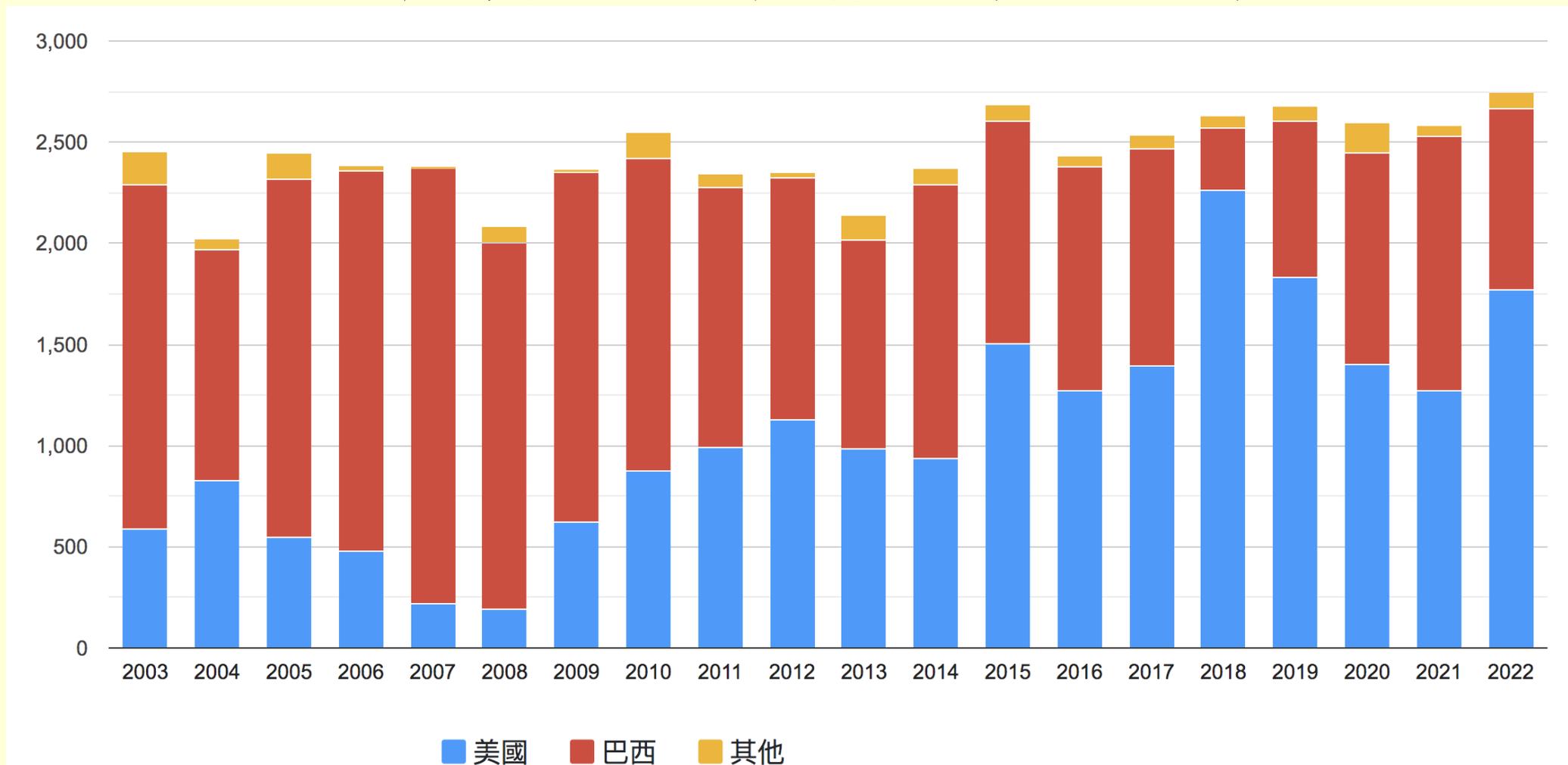
GM Crops grown on 200 million hectares in 2022



台灣目前已核准進口的基改作物有五種：玉米、黃豆、棉花、油菜、甜菜

# 歷年台灣進口黃豆來源國比較

2022年台灣進口黃豆**275萬噸**(美國177萬噸、巴西89萬噸)



# 2022年國產黃豆年產量為5,430公噸



- 註1：2013年，879公噸，調整耕作制度，活化農地計畫，國產黃豆量提升
- 註2：2017年，4,674公噸，實施大糧倉計畫，國產黃豆量增加
- 註3：2019年，4,776公噸，實施對地綠色環境給付計畫，國產黃豆量增加
- 註4：2022年，5,430公噸，持續實施大糧倉計畫，國產黃豆量增加

$$5430/2750000+5430 = 0.001970 (\sim 0.2\%)$$

2022年台灣 99.8% 以上的黃豆是進口黃豆

# 大豆 SOYBE



品名：大豆沙拉油  
成分：100%純大豆沙拉油  
內容量：2公升 (1.84公斤)  
原產地：台灣  
保存方法：請存放陰涼處  
保存期限：1年  
有效日期：(西元年/月/日) (本產品不含基因改造成分，  
2024.08.08 但為基因改造黃豆加工製成)

台灣糖業股份有限公司 消費者服務專線：  
地址：台南市東區生產路68號 消費者服務信箱：  
台糖公司砂糖事業部小港廠 製造

名  
類  
用  
石  
金





# 科學家能利用基因編輯做些什麼？

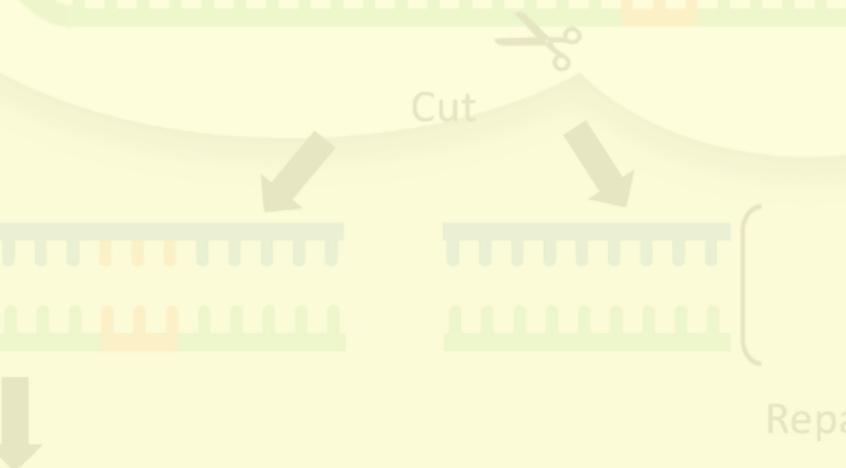
Genomic DNA

PAM

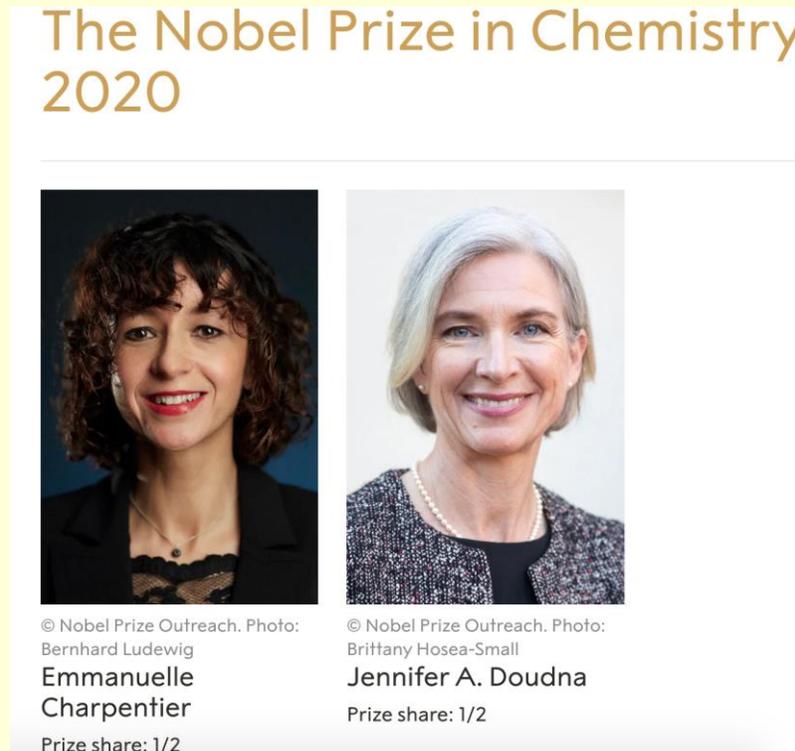
Guide RNA

Cut

Repa



# 研發 CRISPR/Cas9 技術的學者於 2020 年獲得諾貝爾化學獎



距離她們論文發表的時間，  
只有短短的八年！

The Nobel Prize in Chemistry 2020 was awarded jointly to Emmanuelle Charpentier and Jennifer A. Doudna **"for the development of a method for genome editing"**

# 什麼是 CRISPR/Cas9（常間回文重複序列叢集關聯蛋白系統）？

- “CRISPR” (pronounced “crisper”): **Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats**

1987年日本科學家在大腸桿菌的基因組發現有特別的規律序列，某一小段DNA會一直重複，重複片段之間又有等長的間隔，此序列稱為 CRISPR。它是存在於細菌中的一種基因，該類基因組中含有曾經攻擊過該細菌的病毒的基因片段。細菌透過這些基因片段來偵測並抵抗相同病毒的攻擊，並摧毀其DNA。這類基因組是細菌免疫系統的關鍵組成部分。

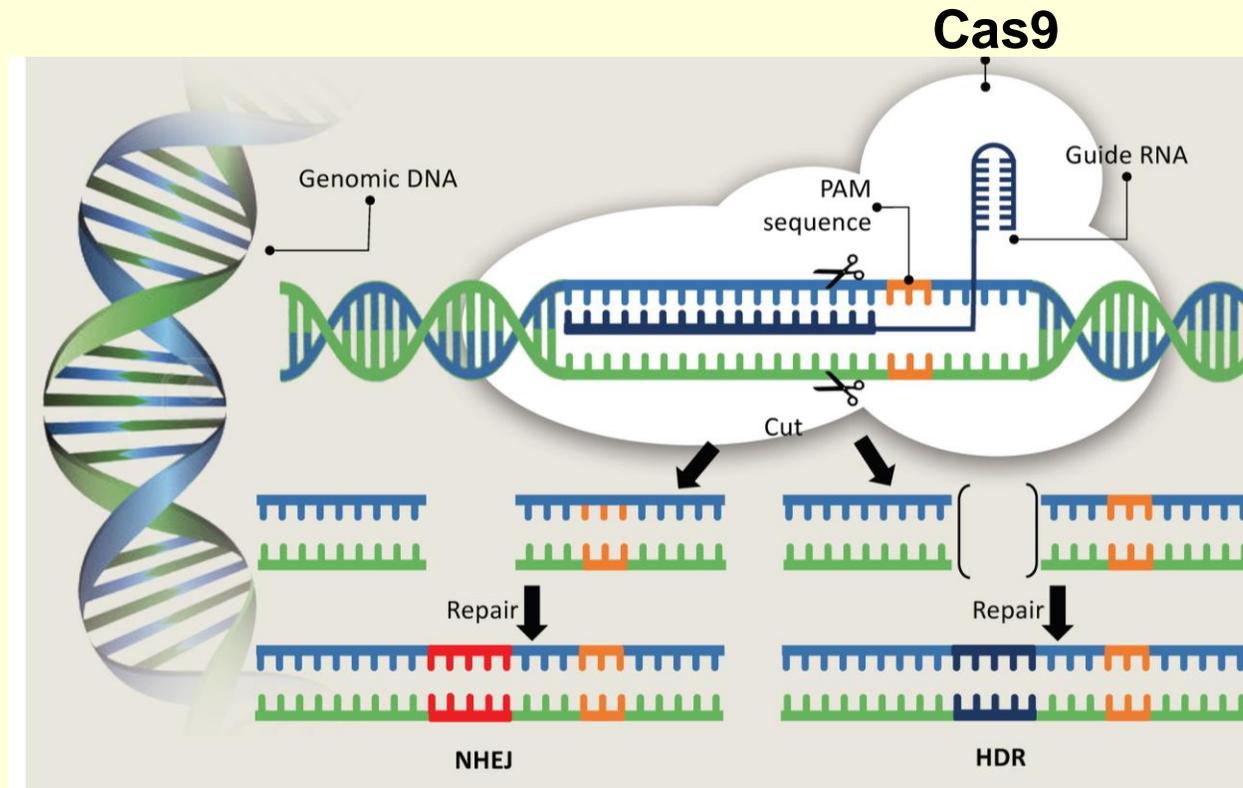
- **Cas9: CRISPR-associated protein 9**; an endonuclease that cuts DNA at a location specified by a guide RNA

Cas9 是第一個被廣泛應用的 CRISPR 核酸酶

(<https://zh.wikipedia.org/wiki/CRISPR>)

- **CRISPR/Cas9 原本是細菌免疫系統的一部分**

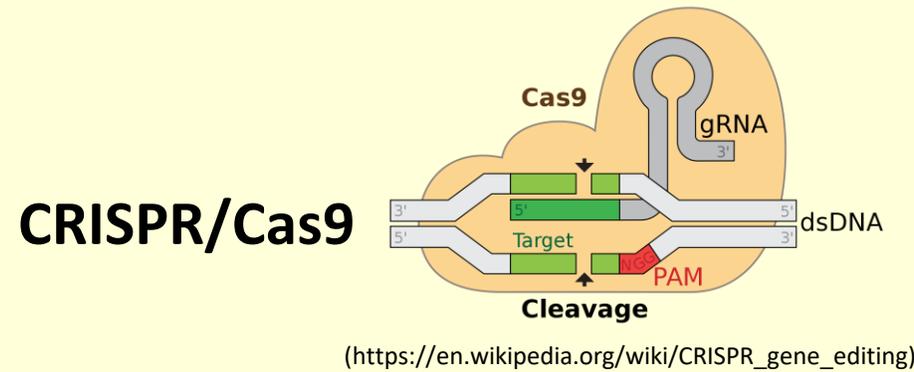
# 如何利用 CRISPR/Cas9 進行基因編輯? **Guide RNA + Cas9**



- 根據目標基因設計  
引導RNA (~20 bp)
- **Cas9**: CRISPR 核酸  
酶

- **Guide RNA** 與目標基因序列配對後，**Cas9** 蛋白質可以將雙股 DNA 切斷
- DNA 斷裂後，細胞會啟動 **DNA 修復系統**
- DNA 修補不完全，產生**突變**，破壞了目標基因

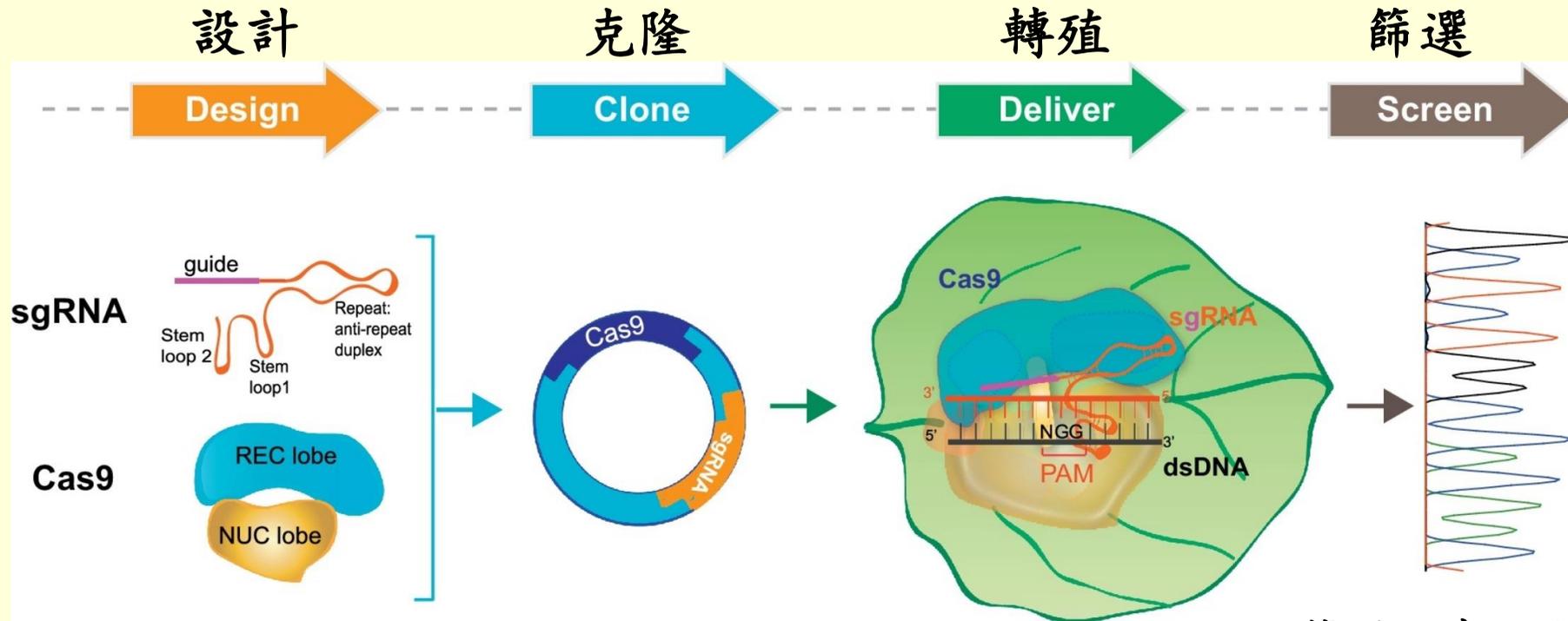
# 植物學家能利用基因編輯 (genome editing) 做些什麼？



- 基礎科學研究：研究進展更快速
- 農業科技應用：生技產品更多元

目前美國 90% 以上的 **CRISPR** 產品來自中小企業與學術界（令人意外！）

# 植物學家如何利用CRISPR/Cas9進行基因編輯



Current Opinion in Biotechnology 2015, 32:76–84

篩選具基因編輯且  
無外源DNA的植株

- 基因編輯作物的篩選，沒有倫理、道德的問題
- 基因編輯作物如果有脫靶效應 (off-target)，也不是問題

# 植物學家能利用基因編輯（CRISPR）做些什麼？

- 基礎科學研究（以我們實驗室的研究為例）

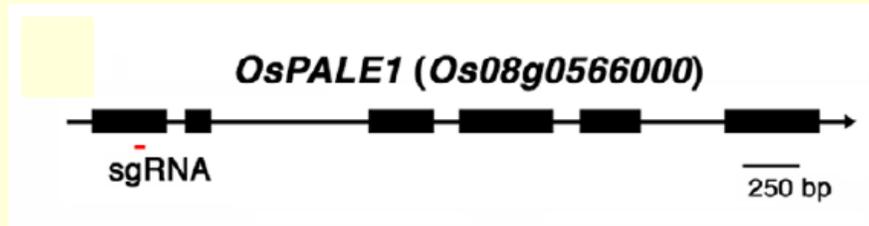
利用“分子遺傳”的方法，研究水稻未知基因之功能。

—透過**CRISPR**技術，製造該基因的**突變株**

—研究突變株的**性狀**，確認該基因的**功能**

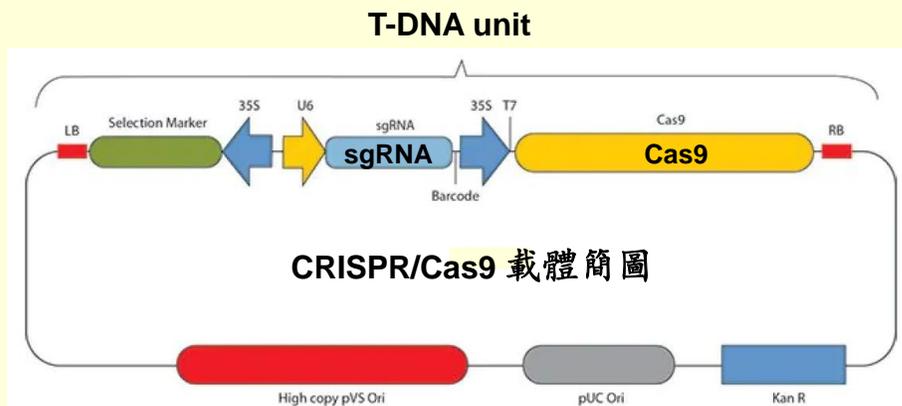
# 利用 CRISPR/Cas9 技術研究水稻 *OsPALE1* 基因的功能

設計



single guide RNA: 單股引導 RNA

克隆

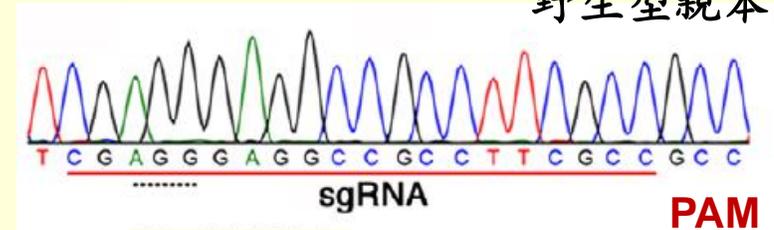


(<https://www.sigmaaldrich.com/TW/en>)

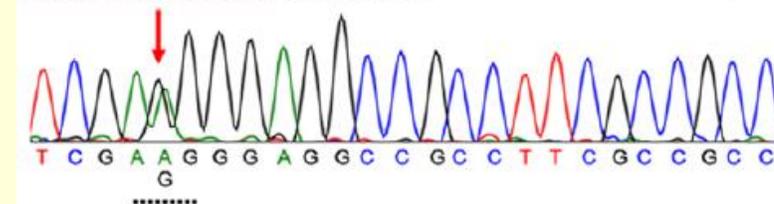
轉殖

“只要合成一段 DNA 序列 (20mer), clone 到 CRISPR/Cas9 載體, 再進行轉殖實驗。”

野生型親本

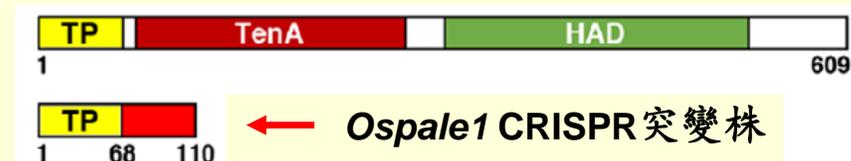


single nucleotide insertion CRISPR 突變株



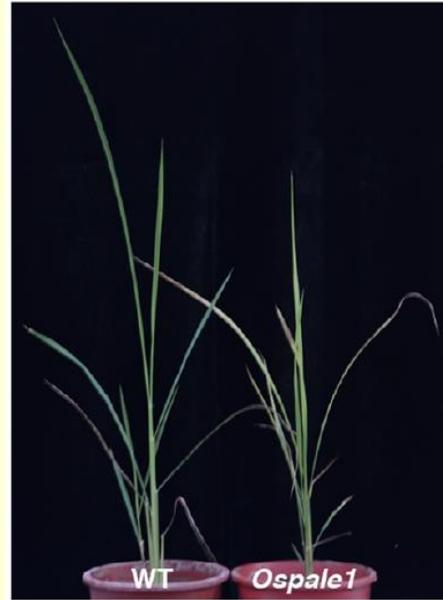
單一核苷酸插入, 破壞了基因編碼!

篩選

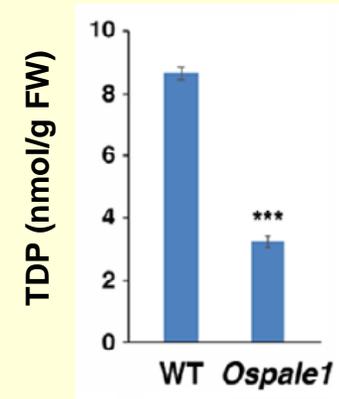


(Hsieh et al., 2021)

# 基因編輯水稻：以 CRISPR mutant 證明水稻 *OsPALE1* 基因的功能



維生素B1含量



(Hsieh et al., 2021)

Plant Biotechnology Journal

Open Access

aab  
Association of Applied Biologists  
S E B

The rice PALE1 homolog is involved in the biosynthesis of vitamin B1

*OsPALE1*與維生素B1的合成有關

在台灣的小實驗室，也可以進行簡單的 CRISPR 實驗

# 基因編輯樹木：以 CRISPR 製備低木質素的白楊樹 (poplar tree)

PLANT SCIENCE

SCIENCE science.org

14 JULY 2023 • VOL 381 ISSUE 6654

## Genetic editing of wood for sustainability

Trees engineered to have less lignin could make paper production less polluting



# 基因編輯樹木：低木質素的白楊樹可以減少造紙業的污染

## WOOD ENGINEERING

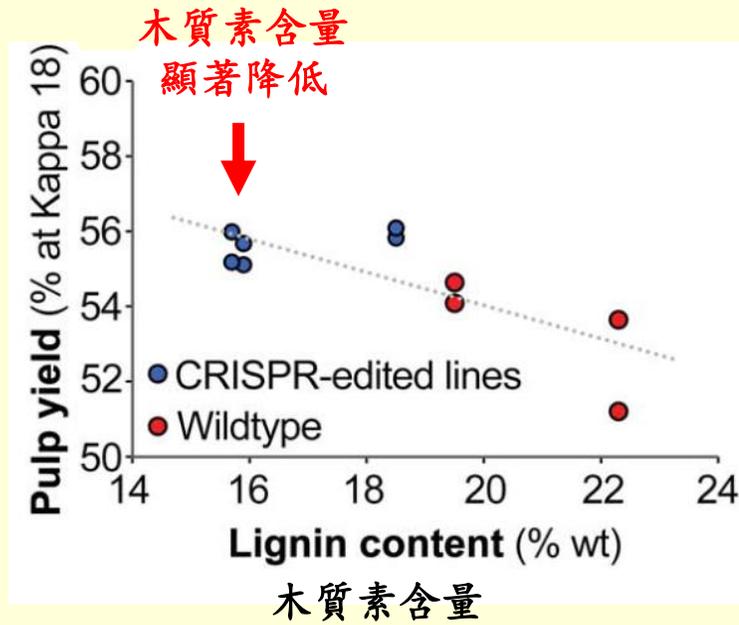
Sulis *et al.*, *Science* **381**, 216–221 (2023) 14 July 2023

## Multiplex CRISPR editing of wood for sustainable fiber production

Daniel B. Sulis<sup>1,2,3</sup>, Xiao Jiang<sup>4</sup>, Chenmin Yang<sup>1,2,3</sup>, Barbara M. Marques<sup>2,3</sup>, Megan L. Matthews<sup>5,6</sup>, Zachary Miller<sup>4</sup>, Kai Lan<sup>4</sup>, Carlos Cofre-Vega<sup>2,3</sup>, Baoguang Liu<sup>1,2,3,7</sup>, Runkun Sun<sup>4</sup>, Henry Sederoff<sup>2</sup>, Ryan G. Bing<sup>8</sup>, Xiaoyan Sun<sup>9</sup>, Cranos M. Williams<sup>3,5</sup>, Hasan Jameel<sup>4</sup>, Richard Phillips<sup>4</sup>, Hou-min Chang<sup>4</sup>, Ilona Peszlen<sup>4</sup>, Yung-Yun Huang<sup>10</sup>, Wei Li<sup>11</sup>, Robert M. Kelly<sup>8</sup>, Ronald R. Sederoff<sup>1,2,11</sup>, Vincent L. Chiang<sup>1,2,4,11</sup>, Rodolphe Barrangou<sup>1,3,12\*</sup>, Jack P. Wang<sup>1,2,3,11\*</sup>

基因編輯多達 6 個與木質素合成相關的基因

“... 21 lignin biosynthesis genes,... genome editing strategies targeting the concurrent alteration of up to 6 genes...”



Paper from CRISPR-edited wood

基因編輯白楊樹所造的紙

大一點的實驗室可以進行複雜一點的 CRISPR 實驗

# 植物學家能利用基因編輯（CRISPR）做些什麼？

- 農業科技應用：生技產品更多元

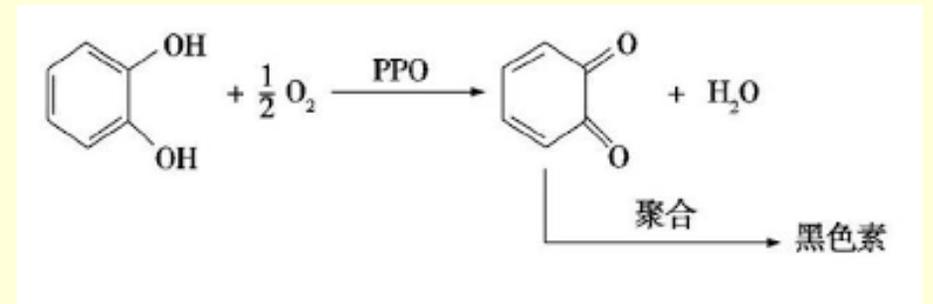
目前 **CRISPR** 產品多來自中小企業與學術界

# 美國於2016年認定不易變黑的基因編輯洋菇不算是GMO

BIOTECHNOLOGY  
**Gene-edited CRISPR mushroom escapes US regulation**  
*A fungus engineered using CRISPR-Cas9 can be cultivated and sold without oversight.*



多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, 簡稱PPO)



由美國賓州州立大學所研發的CRISPR洋菇，  
目前並沒有上市販售。

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

# 已經有基因編輯(CRISPR/Cas9)作物上市販售

- 基因編輯尚未應用於治療人類疾病

No human therapy based on CRISPR has yet been approved.

- 基因編輯作物已批准上市！

- 基因編輯作物相當容易製備
- 沒有倫理、道德的問題

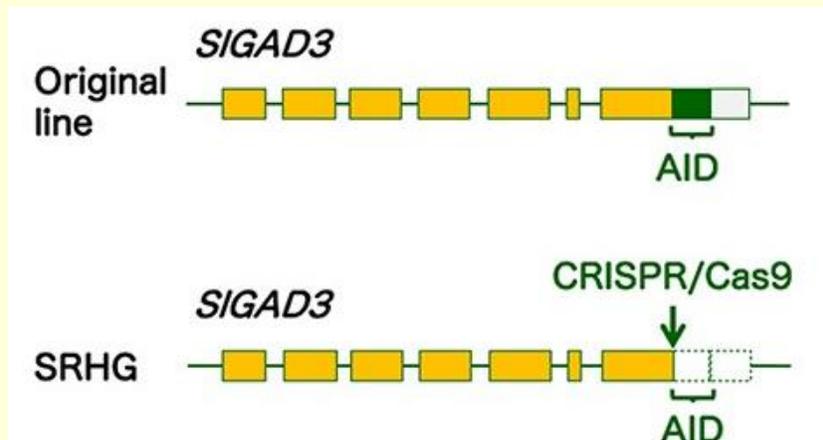


日本的高 GABA 番茄  
已於2021年9月開始販售

- 基因編輯作物不含外源基因，算不算是“基改作物”？

- 歐盟執委會 (European Commission) 已於2023年7月提議重新討論
- 台灣？ (基改作物：台灣准許進口，但不准種植！)

# 日本的 Sanatech 公司於2021年9月開始販售高GABA番茄



“自身抑制區域”  
讓GAD3不會合成過多的GABA

利用CRISPR/Cas9在  
“自身抑制區域”前產生“終止碼”。

GAD3: GLUTAMATE DECARBOXYLASE3 (合成GABA的基因)

# CRISPR 沙西米 來了! CRISPR sashimi is coming

22nd century sea bream



*Pagrus major*

“Madai” Red Sea Bream

(真鯛)

22nd century blowfish



*Takifugu rubripes*

“22-seiki fugu” Tiger Puffer

(torafugu, 虎河豚)

日本科學家利用基因編輯技術，剔除了會抑制肌肉生長的 **myostatin** 基因



**CRISPR 真鯛**  
增加了16%魚肉

真鯛

Scientists used CRISPR-Cas9 to “knock out” the fish’s **myostatin** gene, which restricts muscle growth.

The modified fish, top, has up to 16 percent more flesh than an equivalent unedited red seabream.

Photo courtesy of Masato Kinoshita/Kyoto University, and Kato/Kindai University

日本科學家利用基因編輯技術，破壞了能控制食慾的瘦體素受體基因

“Leptin receptor”



CRISPR 虎河豚  
吃更多，長更快！

虎河豚

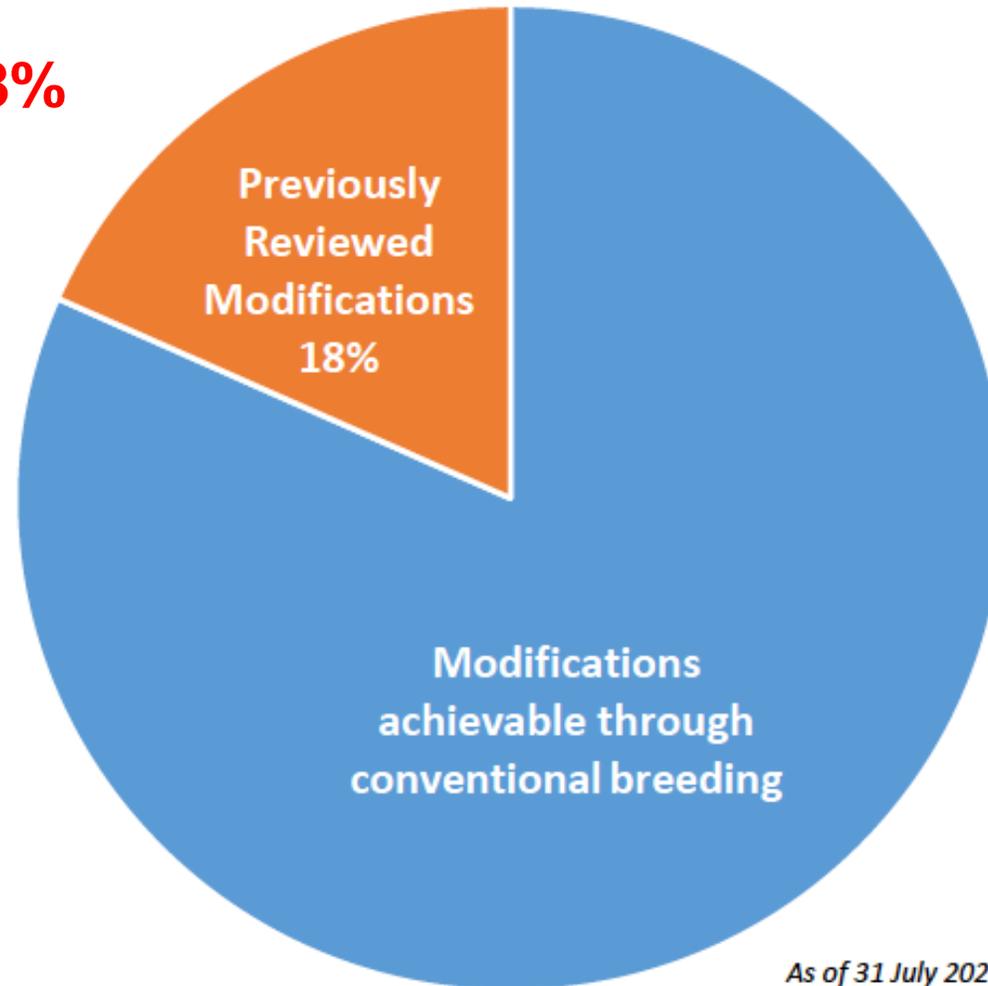
The gene-edited fish (2-year-old) is **1.9 times** heavier than the same species grown in the same farming period.

Regional Fish Institute Ltd.

# 美國不受基改規範的作物

## Regulatory Exemptions

基因編輯 18%

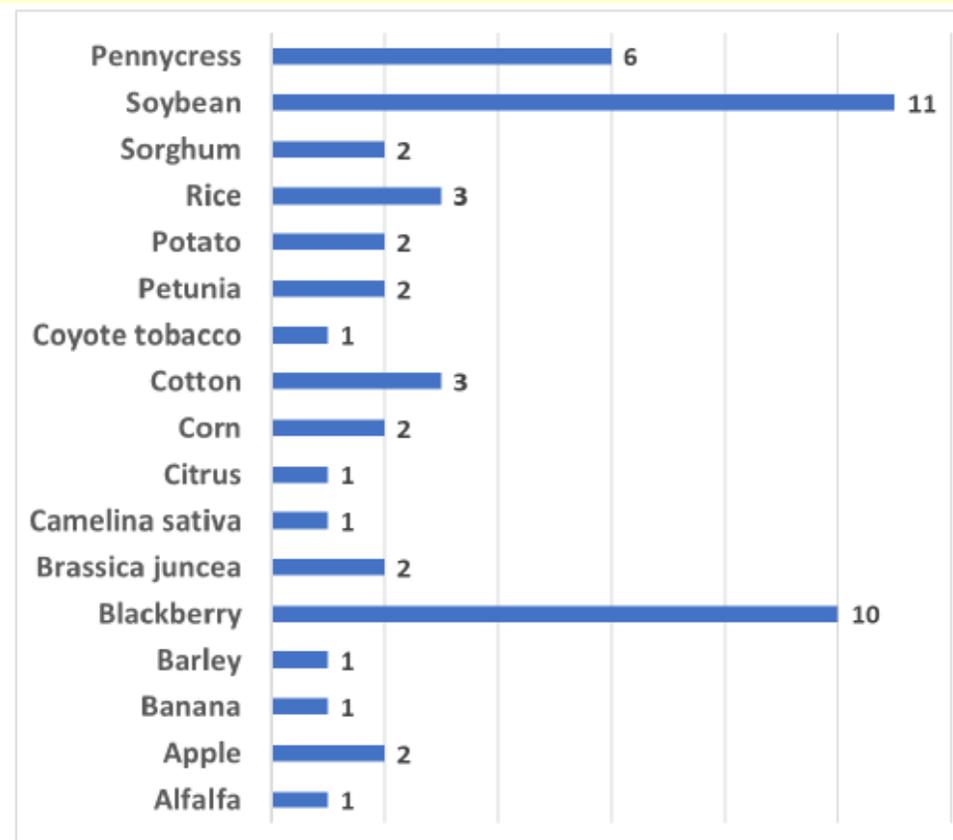
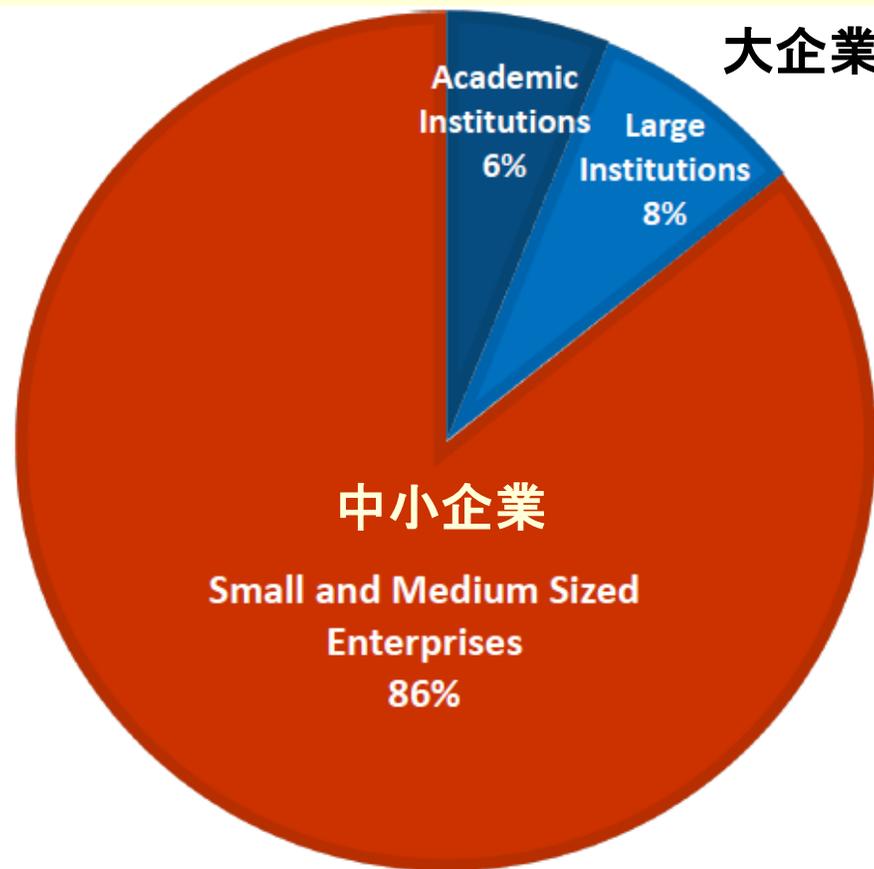


傳統育種 82%

# 美國90%以上的基因編輯作物來自小公司或學術單位

學界

大企業



As of 31 July 2023

# 「基因編輯」抗病玉米



09/08/2023 攝於 USA

# 「基因編輯」高胺基酸黃豆



高離胺酸、  
高甲硫胺酸

CRISPR  
Enhanced  
Amino Acid  
Soybean



09/08/2023 攝於 USA

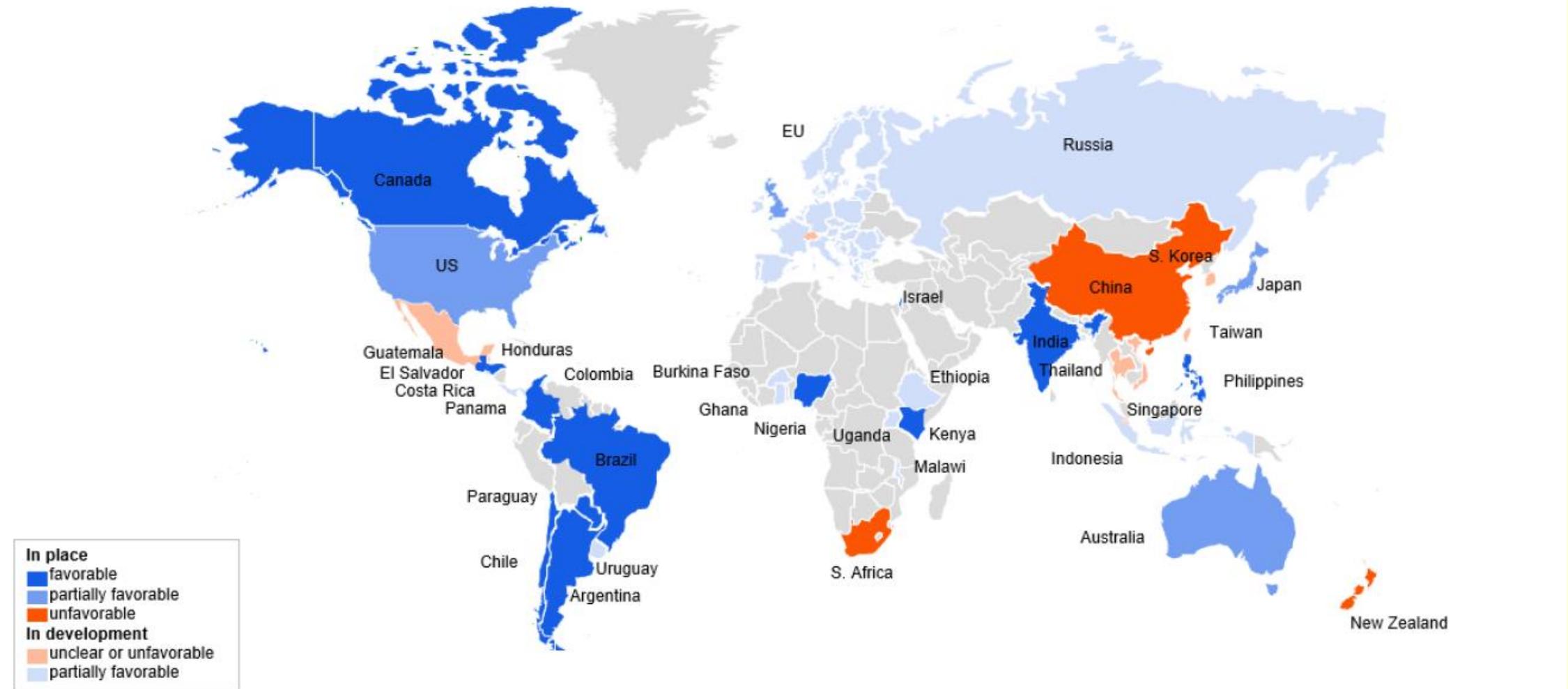
# 「基因編輯」高胺基酸黃豆



09/08/2023 攝於 USA

# 世界各國對基因編輯植物之規範

## Genome Editing Policy Advancement: a 2023 Snapshot



越來越多國家認為基因編輯作物不是GMO，因為“最終產品不含外源基因”<sup>60</sup>。

# 利用基因編輯技術把雜草變成作物 CoverCress™



THE WALL STREET JOURNAL.

SIGN IN

SUBSCRIBE



THE FUTURE OF EVERYTHING

## What Was Once a Weed Could Fuel Jet Engines

Scientists are developing nonfood plants to take the place of corn and soybeans as sources for biofuels

Aug. 9, 2023 10:50 am ET

By Yusuf K

A crop called CoverCress, a source for biofuel that is aimed for cultivation on farms in harvest offseasons, was developed from a plant considered a weed. COVERCRESS

# 利用基因編輯技術把 Pennycress (*Thlaspi arvense*) 變成作物



- 綠鈴草 (Pennycress) 是北美大部分地區常見的雜草
- 綠鈴草的種子含有 36% 的油 (黃豆的 2 倍)
- 綠鈴草種子的油可做為“生質柴油”
- 榨油後殘餘的物質可做為“動物飼料”
- 綠鈴草可於黃豆、玉米收成後種植 (冬季)

- From Weed to **Wonder Fuel** (November 28, 2008)
- Biotech Firm Develops Pennycress as the Next **Cash Crop** (February 25, 2015)
- Arvegenix Attempt to Domesticate Pennycress for **Biofuel** Production (March 18, 2015)
- **Scientists Use CRISPR to Turn Pennycress into an Oilseed Crop** (October 20, 2022)

“科學家利用基因編輯技術把綠鈴草變成油料作物”

# 作物改良：從傳統育種、基改作物到基因編輯作物

## How Crops Are Genetically Modified

**Traditional Breeding**



Crossing plants and selecting offspring

**Almost All Crops**

**Mutagenesis**



Exposing seeds to chemicals or radiation



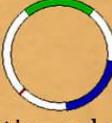
**RNA Interference**



Switching off selected genes with RNA



**Transgenics**



Inserting selected genes using recombinant DNA methods



Number of Genes Affected

10K - >300K

? No way to assess

1 - 2

(改變的基因數目)  
1 - 4

傳統育種

(最終產品不含外源基因)

非基改

誘導突變

非基改

RNA 干擾

(抑制基因)

基改

基因轉殖

(外加基因)

基改

基因編輯作物

基改？非基改？

2024年歐洲議會  
重新審視中！

我的看法：

如果最終產品  
不含外源基因

非基改