

第二十六章

基因改造食品之現況與未來發展

Genetically Modified Foods: Current Issues and Perspective

劉美安、賴博雄

統一生命科技股份有限公司

一、前言

由於生物醫學研究工具的開發與進步、生命科學與高科技結合的趨勢，加上物種基因體研究的成果應用，全球生物科技產業正以空前的速度向前邁進。其對人類生活、經濟、環保、國家生產力、競爭力，乃至國防、社會安全與倫理，均產生巨大的衝擊。事實上，生物科技已經完全融入傳統醫藥產業領域。每一跨國大藥廠都有相當大的部門從事生技的研發，而許多生技公司也都以開發新藥為主要訴求。生物科技除了在醫藥衛生領域的積極應用外，也被廣泛應用於農作物的改良，糧食的增產以及解決工業發展所帶來的環保問題。近年來，在國際間吸引很多注意力的基因改造食品（GMFs, Genetically Modified Foods）或是基因改造生物（GMOs, Genetically Modified Organisms）即是生物科技應用在農業與食品上的例證之一。基因改造生物指的可以是動物、植物、或微生物。而本章節將只以基因改造作物為例說明由其衍生而來的基因改造食品的現況與未來發展。

二、基因改造食品之相關技術

在生物科技發展之前，人們早以傳統的育種技術改良作物品質，但傳統方式只限於同種之間或是具有遺傳可交換性品種之間的遺傳物質交換，不僅費時、效率低、精準度不良，所能改變的遺傳特性也往往受到限制。自 1972-1973 年美國科學家 Boyer、Cohen、Berg 等開發基因重組技術以來，人們開始利用遺傳工程與分子生物技術，挑選具特定性質（例如：抗蟲、抗病、耐除草劑、耐寒、耐乾旱、耐高鹽或改善營養成分等）的基因，將之轉殖入生物體，以達到改變原生物體特定性質的目的，而無需考量物種間的演化差異。

1. 轉殖基因的選殖

目前上市的基因改造作物所帶有的外來基因種類包括抗蟲、耐除草劑、遲熟、遲軟化、雄性不孕、抗病毒、抗菌、改進特定營養成份等。抗蟲作物主要是利用蘇力菌（*Bacillus thuringiensis*）孢子的蛋白毒素（ δ -endotoxins），在昆蟲腸道中活化造成腸穿孔而殺死昆蟲。主要是針對某些鱗翅類及甲蟲類的幼蟲，目前已有 60 種蘇力菌毒素基因（BT）被分離出；

而耐除草劑基因依其對不同除草劑的作用機制而分類，目前已有十多種基因被分離出。這些基因的導入可改善植物的解毒機制而產生耐除草劑的特性；而延緩果實成熟（抑制乙烯合成）與軟化（細胞纖維與細胞結構的改變）的期限，可增加蔬果儲存時間及減少運送過程中造成的損失。1994 年 Calgene 公司首推上市的 Flavr Savr™ 番茄即是延遲軟化的基因改造作物；抗病毒作物主要是以表現來自病毒本身的基因，而達到抵抗病毒感染的效果，此些病毒基因包括外鞘蛋白（coat protein, CP）、複製（Replicase）等；而抗細菌/真菌基因則是利用可分解真菌細胞壁的酵素基因、增加植物防禦系統基因、抗毒素基因等方法，以達到殺死病原菌及防禦病原菌感染的效果。此外，也有基因改造作物係針對植物內澱粉、油脂、蛋白質、維生素及礦物質等組成成分，進行品質改善，讓食物更符合健康美味的需求⁽¹⁾。

2. 基因轉殖質體的架構與轉殖方法

製造基因轉殖作物最常使用的方法是利用農桿菌（例如 *Agrobacterium tumefaciens*）感染植物，將外來基因送入植物細胞內（圖一 A）。當農桿菌感染植物時，其內的 Ti 質體（Ti plasmid）的部分片段，即 T-DNA，會進入植物細胞內並嵌入染色體中（圖一 B），而要轉殖的基因及篩選標誌基因（通常是抗生素抗藥基因），則是利用基因重組技術，事先將之架構在 T-DNA 上⁽²⁾。基因轉殖之方法除農桿菌外（因農桿菌不易感染單子葉植物），也可使用其他方法，例如以改造過的植物病毒當載體（vector）利用去細胞壁植物原生質體（protoplast）直接接受重組 DNA⁽³⁾、PEG 融合法⁽⁴⁾、電壓穿孔法（electroporation）將重組 DNA 送入植物細胞內、或利用粒子槍將裹有金或鎢粒子的重組 DNA，直接打入植物組織內（particle bombardment）等之方法⁽⁵⁻⁷⁾。不同的基因轉殖方法各有其優缺點，有些方法產生穩定轉殖作物的效率較低，因而較適用於製造短暫表現型（transient expression）的基因轉殖作物。

3. 基因改造食品的檢驗法

要檢測作物或食品中是否含有轉殖基因，可從檢查其轉殖入的基因、基因產物（例如蛋白質）或其功能（例如酵素活性）著手，較常使用的方法簡述如下：

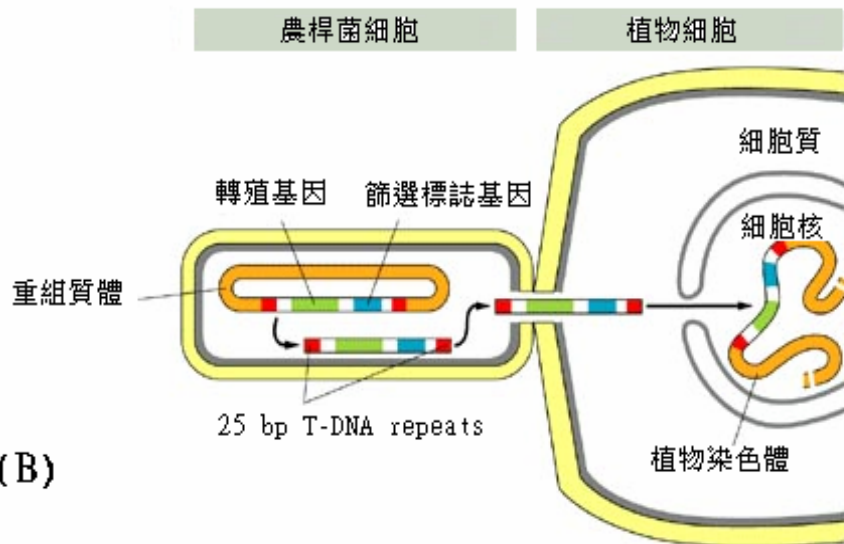
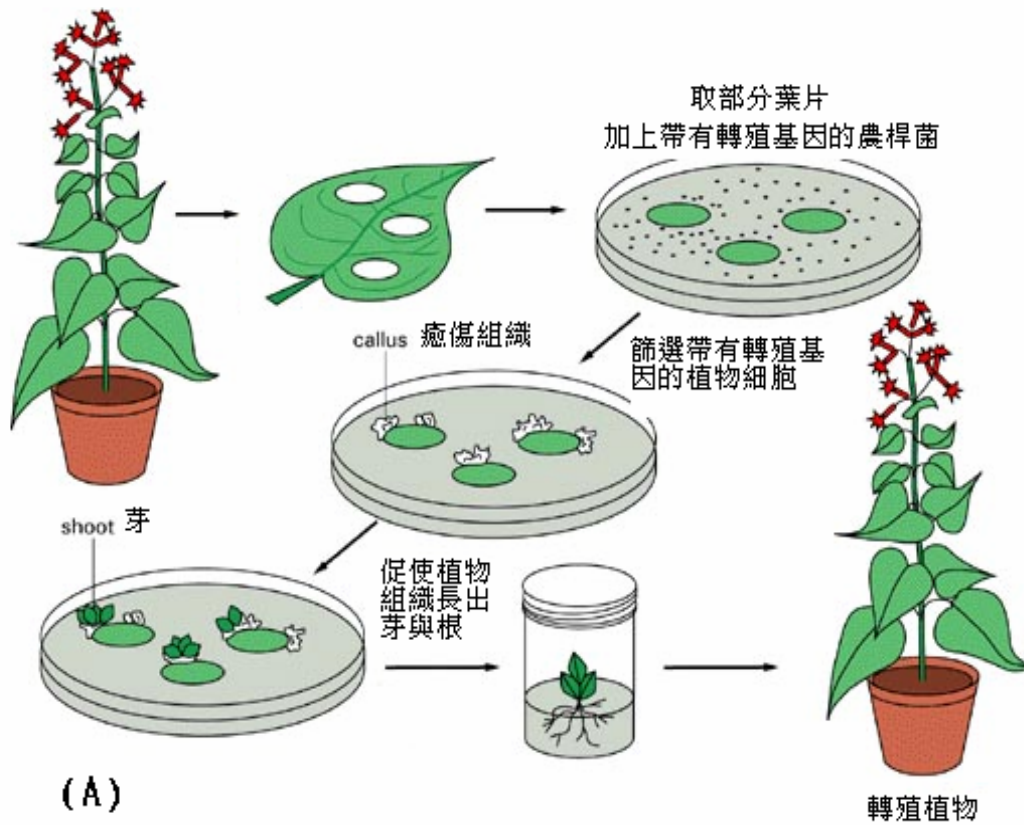
(a) 聚合 鏈鎖反應法（polymerase chain reaction, PCR）

此法為目前廣泛使用的方法，可根據植入基因片段設計引子而定性地檢測出轉殖基因，若要精確地定量，則須借助螢光染劑的標記。此方法的靈敏度範圍約在 0.01 % 到 0.1 % 之間，雖可適用於大量篩選，但相較於其他檢測法，聚合 鏈鎖反應法的成本高昂。且有時高度加工會分解產品中的 DNA，因而無法正確地檢測出轉殖基因。另外，若受植物中成分或加工添加物的干擾，也可能會產生不正確的訊號，這些都是必須加以評估的因素。

(b) 酵素免疫分析法（enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA）

利用具專一性的抗體，可定性及定量地檢測出轉殖基因的蛋白質產物，此方法的靈敏度介於 0.5 % 到 1 % 之間，由於此法成本低廉，可適用於大量篩選。但是，並非所有轉

殖基因的蛋白質產物，都有專一抗體存在，而且，有時加工過程容易分解產品中的蛋白質成分，因而無法正確地檢測出結果，這些都是酵素免疫分析法的限制。



圖一、 製造基因轉殖作物的步驟

(A)以帶有轉殖基因及篩選標誌基因重組質體的農桿菌感染植物葉片細胞，並以組織培養技術，製造帶有轉殖基因的改造植物。

(B)帶有轉殖基因及篩選標誌基因的T-DNA進入植物細胞並嵌入染色體。

(圖片來源：Alberts et al 1994. Molecular Biology of the Cell)

(c) 測定酵素活性的生化反應法

測定轉殖基因產品的活性為基本功能檢測法之一，可用來檢測生鮮產品中的轉殖基因含量，但是，加工過的產品中，往往蛋白質已經被破壞了，因而無法測得其活性。所以，此法並不能適用於許多加工過的產品。

除了上述檢測法之外，RNA 檢測或 amplified fragment length polymorphism (AFLP) 技術也是最近積極開發的檢測方法⁽⁸⁾。總之，每種方法都各自有其優缺點，目前就多種基因改造食品的官方定性檢測法來看，歐美各國與日本不是已經發展出來了，就是正在積極評估當中。但是，面對愈來愈多的基因改造作物種類，如何能快速且有效地將作物食品中所含轉殖基因的成分，正確地檢驗出來，將會是各國有關基因改造作物法規的重要議題⁽⁹⁾。

三、基因改造食品之市場

1. 基因改造作物的種類與栽種面積

根據國際農業生物技術獲取與應用協會 (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, 簡稱 ISAAA) 的統計，全球基因改造作物的 2001 年總種植面積，已由前一年的 4,420 萬公頃，以 19% 的增加率，增至 5,260 萬公頃。若以 1996 年到 2001 年的統計資料來分析，六年之間的基因改造作物種植面積，總共增加了超過 30 倍 (表一)。而全球種植基因改造作物的國家數也由 1996 年的五個增加到了 2001 年的十五個國家，絕大部分基因改造作物的種植面積分布於四個主要國家，美國的 3,570 萬公頃獨占鰲頭 (表二)。雖然 74% 的基因改造作物栽種面積集中在工業國家 (美國及加拿大)，但是，開發中國家所有基因改造作物所佔的種植面積比例，已逐步由 1997 的 14% 提升到 2001 年的 26%，其增加的速度是不容忽視的⁽¹⁰⁾。

若進一步分析基因改造作物的種類，其中仍是以高經濟價值的作物為主。在 2001 年，大豆佔所有基因改造作物的 63%，其次依序為玉米、棉花、油菜等 (表三)。若再進一步分析上述的四種主要作物，公元 2001 年時，全球大豆總種植面積中有 46% 是基因改造大豆；而棉花的全球總種植面積中，則有 20% 為基因改造棉花；基因改造油菜則佔了全球油菜總種植面積的 11%；而基因改造玉米則佔了全球玉米總種植面積的 7%⁽¹⁰⁾。若以改良的遺傳特性來分析，則以耐除草劑、抗蟲、兩者兼具及抗病毒為主。於 2001 年時，具耐除草劑特性的基因改造作物總種植面積約佔全球基因改造作物總面積的 77%；其次為有抗蟲特性的作物，所佔面積約為 15%；而同時具備耐除草劑與抗蟲基因的作物則佔了 8% 的總種植面積 (表四)，預計全球基因改造作物市場中，同時具備兩種以上不同轉殖基因特性的作物將會持續增加。由於許多生技公司積極投入基因改造作物的開發，自 1994 年起，美國已研發出超過 40 種以上的產品上市 (表五)⁽¹¹⁾，這些產品在核准上市前，均經過食品及藥物管理局就安全性與營養評估，作過完整的諮詢⁽¹²⁾。

表一、全球基因改造作物（1996年至2001年）總面積

	公頃（百萬）	英畝（百萬）
1996	1.7	4.3
1997	11.0	27.5
1998	27.8	69.5
1999	39.9	98.6
2000	44.2	109.2
2001	52.6	130.0

2000年至2001年之間，增加率為19%，即840萬公頃或2千80萬英畝

資料來源：Clive James，2001年

表二、全球基因改造作物（2000年至2001年）總面積：
依國家順序排列（單位：百萬公頃）

	2000	%	2001	%	+/-	%
美國	30.3	68	35.7	68	+5.4	+18
阿根廷	10.0	23	1.8	22	+1.8	+18
加拿大	3.0	7	3.2	6	+0.2	+6
中國	0.5	1	1.5	3	+1.0	+200
南非	0.2	<1	0.2	<1	<0.1	+33
澳大利亞	0.2	<1	0.2	<1	<0.1	+37
墨西哥	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	
保加利亞	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	
烏拉圭	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	
羅馬尼亞	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	
西班牙	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	
印尼			<0.1	<1	<0.1	
德國	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	
法國	<0.1	<1				
總數	44.2	100	52.6	100	+8.	+19%

資料來源：Clive James，2001年

表三、全球基因改造作物（2000年至2001年）總面積：
依作物順序排列（單位：百萬公頃）

作物	2000	%	2001	%	+/-	%
大豆	25.8	58	33.3	63	+7.5	+29
玉蜀黍	10.3	23	9.8	19	-0.5	-5
棉花	5.3	12	6.8	13	+1.5	+28
油菜	2.8	7	2.7	5	-0.1	-4
馬鈴薯	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	
南瓜	<0.1	<1	<0.1	<1	()	
木瓜	<0.1	<1	<0.1	<1	()	
總數	44.2	100	52.6	100	+8.4	+19

資料來源：Clive James，2001年

表四、全球基因改造作物（2000年至2001年）總面積：
依作物遺傳特性順序排列（單位：百萬公頃）

特性	2000	%	2001	%	+/-	%
耐除草劑	32.7	74	40.6	77	+7.9	+24
抗蟲（Bt）	8.3	19	7.8	15	-0.5	-6
Bt/耐除草劑	3.2	7	4.2	8	+1.0	+31
抗病毒/其他	<0.1	<1	<0.1	<1	<0.1	
全球總數	44.2	100	52.6	100	+8.4	19

資料來源：Clive James，2001年

表五、基因改造作物上市產品

食品項目	公司名稱	時間
玉米		
1. 抗蟲且耐除草劑 glufosinate 玉米	Dow AgroSciences	2001
2. 雄性不孕且耐 glufosinate 玉米	Aventis	2000
3. 耐除草劑 glufosinate 玉米	Monsanto Co.	2000
4. 抗蟲且耐除草劑 glufosinate 玉米	AgrEvo, Inc. (now Aventis)	1998

5. 耐除草劑 glyphosate 玉米	Monsanto Co.	1998
6. 雄性不孕玉米	Pioneer HiBred	1998
7. 抗蟲玉米	Dekalb Genetics Corp.	1997
8. 耐除草劑 glufosinate	Dekalb Genetics Corp.	1996
9. 抗蟲玉米	Monsanto Co.	1996
10. 耐除草劑 glyphosate 且抗蟲玉米	Monsanto Co.	1996
11. 抗蟲玉米	Northrup King Co.	1996
12. 雄性不孕玉米	Plant Genetic Systems NV	1996
13. 耐除草劑 glufosinate 玉米	AgrEvo Inc. (now Aventis)	1995
14. 抗蟲玉米	Ciba-Geigy Corp.	1995
棉花		
1. 耐除草劑 bromoxynil 且抗蟲棉花	Calgene Co.	1998
2. 耐除草劑 sufonylurea 棉花	DuPont	1996
3. 耐除草劑 bromoxynil 棉花	Calgene Inc.	1995
4. 耐除草劑 glyphosate 棉花	Monsanto Co.	1995
5. 抗蟲棉花	Monsanto Co.	1995
蕃茄		
1. 抗蟲蕃茄	Calgene Inc.	1998
2. 果實熟化改良型蕃茄	Agritope Inc.	1996
3. 延緩熟化蕃茄	DNA Plant Tech Corp	1995
4. 延緩熟化蕃茄	Monsanto Co.	1995
5. 延緩軟化蕃茄	Zeneca Plant Science	1995
6. FlavrSarr 蕃茄 (延緩成熟品種)	Calgene Inc.	1994
大豆		
1. 耐除草劑 glufosinate 大豆	AgrEvo Inc. (now Aventis)	1998
2. 高油酸 (oleic acid) 大豆	DuPont	1997
3. 耐除草劑 glyphosate 大豆	Monsanto	1995
油菜籽(Canola)		
1. Phytaseed 油菜籽	BASF AG	1999
2. 耐除草劑 bromoxynil 油菜籽	Rhone-Poulenc Ag Co.	1999
3. 雄性不孕且耐 glufosinate 油菜籽 恢復繁殖力且耐 glufosinate 油菜籽	AgrEvo Inc. (now Aventis)	1998
4. 耐除草劑 glufosinate 油菜籽	AgrEvo Inc. (now Aventis)	1997
5. 耐除草劑 glufosinate 油菜籽	AgrEvo Inc. (now Aventis)	1995

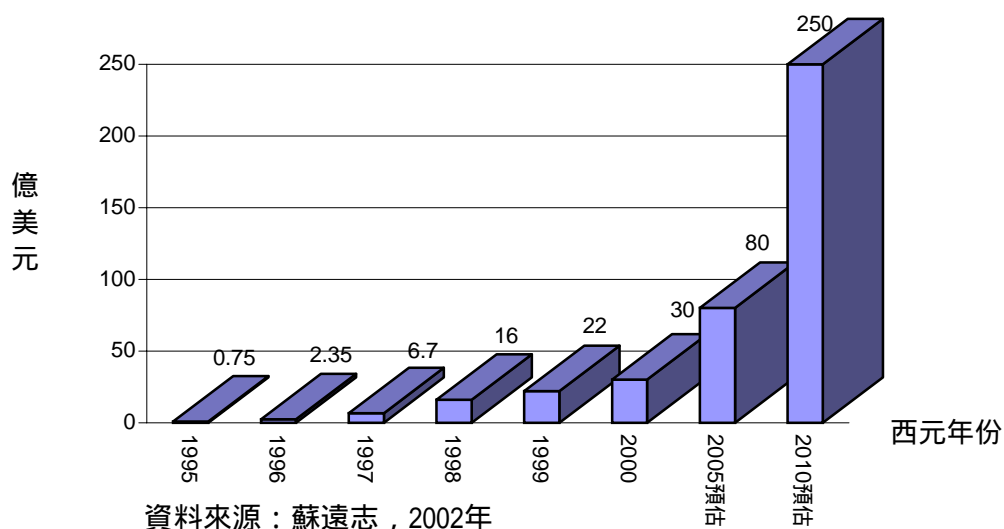
6. Laurate 油菜籽 (油份組成改良)	Calgene Inc.	1995
7. 耐除草劑 glyphosate 油菜籽	Monsanto Co.	1995
馬鈴薯		
1. 抗蟲且抗病毒馬鈴薯	Monsanto Co.	1998
2. 抗蟲馬鈴薯	Monsanto Co.	1996
3. 抗蟲馬鈴薯	Monsanto Co.	1994
甜瓜		
1. 果實熟化改良型甜瓜	AgriTope Inc.	1999
甜菜		
1. 耐除草劑 glufosinate 甜菜	Agr Evo Inc. (now Aventis)	1998
2. 耐除草劑 glyphosate 甜菜	Monsanto/Novartis	1998
亞麻		
1. 耐除草劑 sulfonylurea 亞麻	Saskatchewan 大學	1998
Radicchio rosso		
1. 雄性不孕	Bejo Zaden BV	1997
南瓜		
1. 抗病毒南瓜	Seminis Vegetable Seeds	1997
2. 抗病毒南瓜	Asgrow Seed Co.	1994
木瓜		
1. 抗病毒木瓜	夏威夷/康乃爾大學	1997
油菜		
1. 雄性不孕油菜	Plant Genetic Systems NV	1996
2. 恢復繁殖力油菜	Plant Genetic Systems NV	1996
稻米		
1. 耐除草劑 glufosinate 稻米	Aventis	2000

資料來源：美國食品藥物管理局，統一生命科技整理

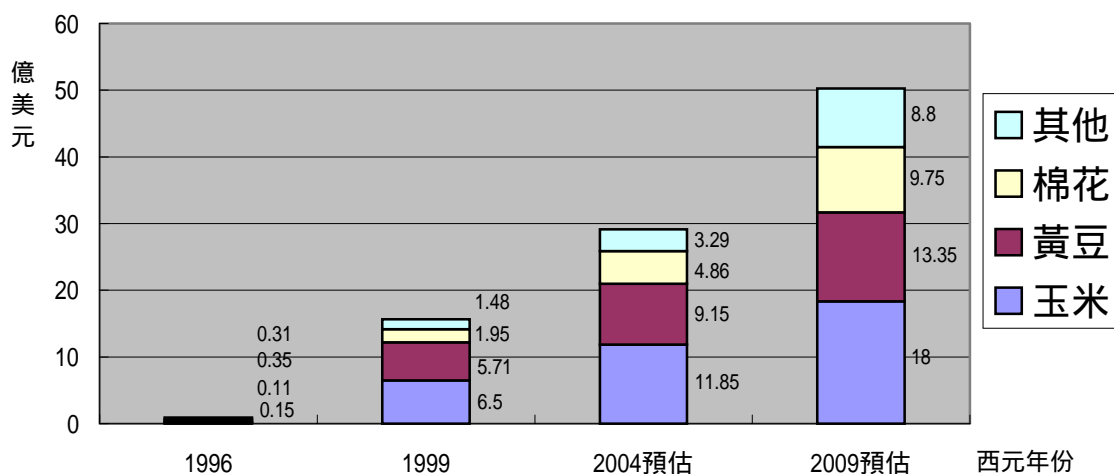
2. 基因改造作物的市場規模

全球基因改造作物的市場規模，成長非常的快速，自 1995 年的 0.75 億美元到 2000 年的 30 億美元，五年之間總共增加了 40 倍。預估到了公元 2010 年，市場銷售額將可高達 250 億美元（圖二）⁽¹³⁾。而其中約有五成的市場是來自大豆。此外，基因轉殖種子的銷售額，則由 1996 年的 0.92 億美元，每年以 13 % 的成長率增加，預計到了 2004 年，將會有 29 億美元的銷售額（圖三）⁽¹⁴⁾。可以想見的是，因為美國的基因改造作物總種植面積約佔全球總種植面積的 68 %，目前的市場規模應有六成以上是來自美國市場的；但是，開發中國家的市場

規模會以驚人的速度成長，則是預見的。



圖二、1995-2010 年全球基因改造作物銷售額



圖三、1996-2009 年全球基因轉植種子銷售額

四、基因改造食品對人類永續發展與環境保護之影響

1. 基因改造食品引起之不安與爭議

根據美國人口普查局統計，公元 2002 年時全球人口高達 62 億，而此數值將在 2050 年增加到 91 億總人口⁽¹⁵⁾。目前，約有 8 億 1 千 500 萬居住在開發中國家的居民，面臨著營養

不良的健康問題；另外，還有 13 億人口是在貧困中掙扎的⁽¹⁰⁾。基因改造作物的運用，能促使食糧的增產，對於滿足龐大人口對糧食、飼料及纖維的需求，勢必有所助益。但對應於基因改造食品日漸普及之趨勢，消費者同時也對基因改造作物產生很多的疑慮，許多環保團體及消費者保護協會也提出不少強烈的質疑與批評⁽¹⁶⁾。一般大眾對基因改造食品的主要不安包括：

(a) 對環境生態的影響

舉例來說，作物中的抗蟲基因，除了殺死針對作物的目標害蟲之外，也有可能同時傷害其他昆蟲，破壞整個生態平衡，進而影響自然界「一物剋一物」的生物防治機制。而在「物競天擇，適者生存」的選擇壓力下，長期種植抗蟲作物，反而提供目標害蟲可能產生抗性的演化機會。再者，轉殖入的基因也有可能會影響作物本身的防禦能力，因而增加作物感染其他疾病的可能性。再有甚者，轉殖入作物的耐除草劑基因，若經由受粉雜交轉移到週遭的雜草，反而造就了頑強的「超級雜草」。此外，也有報導指出，轉殖入的基因可能會加速，或者改變那些直接與基因改造產品接觸之生物體（例如：土壤中或哺乳動物腸道中的微生物）的演化過程^(17, 18)，這樣的可能性將來是否會造成人類潛在的威脅呢？這些都是目前無法完全解答的疑慮。雖然以上這些懷疑，當前尚未能有所定論，但是，仍然可以藉由一些保護措施的實行，來減低基因改造作物對環境生態可能造成的衝擊。例如，研發雄性不孕或不含轉殖基因花粉的作物，可以避免轉殖基因經由受粉雜交外流。另外，在基因改造作物周圍以種植非基因改造作物的方式，形成一個保護緩衝區，除了可以提供益蟲及其他昆蟲一個棲息地之外，也可以防止基因改造作物的花粉飛散出緩衝區而與其他作物雜交⁽¹⁶⁾。

(b) 對人體健康的危害

許多對基因改造食品存疑者擔心，作物中轉殖基因的蛋白質產物，可能成為人體新的過敏原，或者引起具過敏體質者的過敏反應，因而對人體健康產生負面的影響⁽¹⁶⁾。雖然基因改造食品的使用歷史尚短，不足以保證其絕對的安全性。但整體而言，科學家們相信基因改造食品，如同其他食品一般，都有產生過敏原、有害物質或產生會阻礙養分吸收的物質的可能性。因此，基因改造食品上市前的完整評估與產品的適度標示，對於降低危害人體健康的可能性，是有絕對的必要性。

(c) 經濟上的隱憂

基因改造食品自研發到產品上市，是既耗時而又所費不貲的過程，因此，專利權的維護勢必是生技公司的最高考量。消費者團體因此擔心，高價位種子會造成小型農場及第三世界農民更大的負擔，反而拉大貧富差距。而以不孕性種子的開發，迫使農民必須每年重新購買種子的銷售策略，更不是第三世界農民有限的經濟能力所能負擔的⁽¹⁶⁾。因此，非營利性機構或聯合國組織，對貧窮國家的人道援助機制，是我們保障地球村公民，能同享科技文明帶給人類福祉的方法之一。

2. 生物科技對人類永續發展與環境保護之影響

公元 2002 年八月在南非約翰尼斯堡舉行的「人類永續發展世界高峰會議」(World Summit on Sustainable Development , WSSD) 中，所討論的重要議題內容涵蓋有：(a) 水資源與衛生條件改善(water and sanitation);(b) 能源議題(energy);(c) 健康與環境(health and the environment);(d) 農業議題 (agriculture) (e) 生物多樣性與永續生態系統 (biodiversity and sustainable ecosystem)⁽¹⁹⁾。而聯合國組織個別針對這五大議題，所提出的報告中也特別指出，面對人口增加的壓力，水資源的嚴重匱乏已達到了警訊的階段。農業用地下水的過度汲取，導致地球每年減少至少 1,600 億立方米的地下水源，另外，全球有將近 30 % 的重要流域已經失去了 75 % 以上的森林覆蓋率。因此，在公元 2025 年來到之前，全球將會至少有 35 億的人口，面臨水荒的問題。而在能源議題方面，化石燃料燃燒所產生的氣體，是造成溫室效應的主要原因之一，其中約有 56 % 的溫室效應氣體，則是來自於工業國家化石燃料燃燒的結果⁽¹⁹⁾。

水資源的嚴重缺乏、污染及無度使用、加上環境的溫室化、地表的侵蝕、耕地的流失、土地的貧瘠化、化學肥料及殺蟲劑的濫用以及過度的耕種開發，種種導致整體農業生產力的嚴重降低、生態環境的急速惡化，以及生物多樣性無可挽回的消失。而生物多樣性，不僅僅是提供了人類糧食、醫藥品的來源，也是維持生態系統平衡的主要因素之一。但是，由於地球環境的嚴重破壞，熱帶雨林的持續砍伐，專家們預計，到了公元 2020 年間，地球上將會有 5 % - 15 % 的物種永遠地滅絕。這樣的處境，勢必會危害到人類的生計、健康乃至生命。

生物科技能為處理糧食缺乏、水土保持、環境復育、及生態重建等問題提供一些解決之道。例如，以模擬植物光合作用機制開發新生能源，或是利用植物工廠，生產低成本的人用/動物用藥物、疫苗等，來積極開發新的燃料、纖維、食物、醫藥品來源。又如，利用基因改造白楊樹來清除土壤中的重金屬污染⁽¹⁶⁾，或者，使用微生物進行垃圾、污水分解處理等應用。這些生物科技的應用都有助於土壤品質、環境衛生的改良與生態環境的復育，而進一步達到根除飢荒疾病、克服醫療難題、提昇人類生活品質與改善地球環境生態的終極目標。

五、基因改造食品之相關法規與社會經濟考量

1. 國際認知與法規

在全球人口持續擴張及老化、生態環境嚴重破壞的壓力下，人們逐漸領悟到，如何永續經營已是當前刻不容緩，亟待解決的問題。雖然各方面資訊均指出，生物科技的發展與應用可以對此提供一些解決方法，但是，由於基因改造生物，可能對生物多樣性保育及永續利用會有不利的影響，甚至對人類健康有產生危害的風險。因此，如何在享受科技帶來的便利與經濟效益之時，又能適切地避免其可能衍生的後遺症，並消弭大眾的不安，已是國際社會的共同認知與目標。基因改造作物與食品，從研發到產品上市過程中的管理措施，正是國際間所積極制定的政策之一。經過多年的討論與協商，於 2000 年，由超過 130 個國家簽署的「卡塔黑納生物安全議定書」(Cartagena Protocol on Biosafety)，其精神即是針對由現代生物技

術產生的改造生物活體 (Living Modified Organisms , LOMs) 的安全轉移、裝卸及利用的程序原則，尤其在越境移轉及提前告知等項目上所達成的國際協議⁽⁹⁾。

由於各國相當重視基因改造食品之安全性及其對環境影響之評估，故均有立法規範。一般是需要經過三階段的安全性評估：(a) 所選殖的基因、蛋白質與植株的安全性評估；(b) 生物與農藝同質性分析；(c) 產品的環境安全性評估，以便對基因改造作物進行適當的管理及監控。此外，環保單位的長期監控與配套管理及基因改造作物之適度標示也都成為全球努力之目標趨勢。雖然國際間有基本共識存在，但是，由於各國政經情勢及社會習慣的不同，所制定的法令規範，也各略有差異。茲將概略簡敘如下。

2. 各國法規

(a) 美國

有三個不同的政府機構同時監管基因改造作物與食品。環境保護局 (U.S. Environmental Protection Agency) 掌管基因改造作物對環境的安全評估；美國農業部 (U.S. Department of Agriculture) 評估基因改造作物田間試驗的安全性，並核發基因改造作物的栽種許可；而美國食品藥物管理局 (U.S. Food and Drug Administration) 則評估基因改造食品的安全性與標示問題。目前，只要基因改造作物符合 (i) 非有害雜草；(ii) 轉殖基因穩定地嵌入作物的基因體中；(iii) 已知轉殖基因功能且非為植物致病基因；(iv) 基因改造作物無害於非目標生物；(v) 轉殖基因不會創造出新的植物病毒；(vi) 基因改造作物不含來自動物或人類病原菌的基因等六項標準，就不需要獲得 USDA 的栽種許可，也無需經過 FDA 諮詢管理。基本上，若基因改造產品「實質等同」(Substantially equivalent) 非基因改造作物，則原則上是不需強制標示的。但是，消費者團體則強烈地要求所有基因改造產品在上市行銷前，都必須獲得 FDA 的許可。目前雙方仍就這些議題進行溝通與協調。加拿大的情形大抵是與美國相似的^(9, 16)。

(b) 歐盟/紐澳

反基因改造食品的抗議活動在歐洲最為活躍。目前歐盟強制規定所有含 1% 以上基因改造產品的原料、食品及添加物均須加以標示，並將在 2002 年成立「歐洲食品署」為監視食品安全性的獨立組織。紐西蘭與澳洲也規定含 1% 以上基因改造原料的食品須加以標示^(9, 16)。

(c) 日本/韓國

日本自 2001 年 4 月開始，強制基因改造食品的健康測試。並規定所有含 5% 以上基因改造原料的食品均須加以標示。韓國則規定含 3% 以上基因改造原料的食品須加以標示^(9, 16)。

(d) 台灣

衛生署訂有「基因改造食品查驗登記辦法」、「基因改造食品標示辦法」及「基因改造食品安全評估方法」，並規定基因改造食品自公元 2003 年起從原料開始進行標示，第

一階段鎖定含有 5 % 以上的基因改造大豆及玉米原料。農委會為基因改造作物於田間生產階段的生物安全及飼料安全的權責機關，已於公元 1998 年公告「基因轉移植物田間試驗管理規範」及「基因轉殖動物田間試驗管理規範」，明定所有基因轉殖動植物，均應先向農委會申請辦理隔離田間觀察試驗，審議核准前，不得於一般田間栽培或推廣。同

表六、基因改造食品的優劣分析

優點、特性	機會
1. 抗蟲害 2. 耐除草劑 3. 抗病 4. 耐寒 5. 耐乾旱/耐鹽 6. 營養成分基因之導入 7. 醫藥上的應用 8. 植物療法	1. 避免過度農藥使用所造成人體健康的危害、水質與土壤的污染。 2. 毋須使用農藥後，成本將可降低。 3. 避免病毒、真菌、細菌等引起的疾病及所造成的損失。 4. 避免寒害所造成農產品的損失。 5. 解決耕地不足，人們必須往不適耕種的土地上耕作之情況。 6. 可以改善第三世界營養缺乏的問題。 7. 利用作物生產疫苗或藥物，提供第三世界人口使用。 8. 利用改良之植物，清除受污染土壤中的重金屬。
批評	可能的威脅
環境上的危害： 1. 對其他生物的傷害 2. 降低殺蟲劑的有效性 3. 基因移轉至其他物種 4. 影響作物防禦能力 5. 加速與改造作物直接接觸的生物體的演化 人體健康的危害： 1. 過敏性 2. 未知的影響 經濟上的隱憂： 1. 改良的種子價格提高 2. 為保護其專利而研發成的不孕性種子	1. 由於設計出的抗蟲基因產物沒有專一性，因此其他無害的昆蟲有可能一樣被殺死，造成生態失衡。但仍未有定論，需進一步評估。 2. 昆蟲有可能產生抗藥性，造成失控。 3. 移轉至非目標生物的基因庫，產生出難以收拾的新品種。 4. 增加作物感染其他疾病的可能性。 5. 可能促成土壤中或動物腸道內微生物的突變，造成人類新病源。 1. 植入的基因產物有可能成為新的過敏原。 2. 食物中外來的基因是否會對人體健康有未知或負面的影響 1. 小型農場或第三世界國家農民將無法負擔，加深貧富差距。 2. 農民將必須每年採購種子，第三世界國家農民更將無法負擔。

資料來源：修改自賴博雄、葉椒華，2000⁽¹¹⁾

時農委會也將「基因改造產品安全性評估及檢驗技術的加強」列入 2002 年到 2005 年間中程施政計畫目標之一，以確保生物安全管理的成效^(1,9,20)。

六、結語

在一連串的討論與法規訂定之後，許多有關基因改造食品的問題與疑慮仍然有待持續謹慎地觀察。環境保護與消費者團體堅持政府必須採用的強制規範，事實上有執行的困難。例如，基因改造食品的標示若強制執行，則農人必須將基因改造作物與非基因改造作物從栽種、收成到運送都區隔清楚，不能任意混合。而食品工廠也必須建立兩條不同的生產線，結果是，消費者必須承擔成本提高所反應的價格上揚。而政府法規嚴加訂定之後，若缺乏足夠的時間、金錢及資源來執行每項基因改造食品繁瑣而複雜的檢驗工作，那就無法完全落實基因改造食品之有效管理，這些都是實際需要面臨的問題。

歐盟已經決定在公元 2020 年全面禁止農藥的使用，而未來的 50 年內，全球的人口預計將達到 91 億。屆時，安全的糧食供應及永續的環境生態與資源的維持，將會是人類最大的挑戰。面臨基因改造作物所帶來的機會與威脅（表六）⁽¹¹⁾，努力將基因改造技術運用於促進人類福祉，並避免其所可能為整個生態環境帶來的負面衝擊，同時教育民眾對基因改造產品具有正確的了解與合理的判斷，應該是現代人類身無旁怠的任務。

七、參考文獻

1. 杜姿瑩，華傑。(2002). *基因改造食品前景及市場接受度調查*，食品所 IT IS 報告。
2. Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. and Watson, J. D. (1994). *Molecular Biology of the Cell*. Chapter 7. Garland Publishing, Inc., New York, NY.
3. Gampala, S.S.L., Finkelstein, R.R., Sun, S.S.M., and Rock, C.D. (2002). ABI5 Interacts with Abscisic Acid Signaling Effectors in Rice Protoplasts. *J. Biol. Chem.* **277**, 1689-1694.
4. Lee, N., Wang, Y., Yang, J., Ge, K., Huang S., Tan, J., and Testa, D. (1991). Efficient transformation and regeneration of rice small cell groups. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **88**, 6389-6393.
5. Kemp, A., Parker, J., and Grierson, C. (2001). Biolistic transformation of Arabidopsis root hair: a novel technique to facilitate map-based cloning. *Plant J.* **27**, 367.
6. Rasco-Gaunt, S., Riley, A., Cannell, M., Lazzeri, P.A., Barcelo, P. (2000). Procedures allowing the transformation of a range of European elite wheat varieties via particle bombardment. *J. Exp. Botany* **52**, 865-874.
7. Jain, R. K. and Jain, S. (2000). Transgenic strategies for genetic improvement of Basmati rice. *Indian J. Exp. Bio.* **38**, 6-17.
8. Schreiber, G.A. (1999). Challenges for methods to detect genetically modified DNA in foods.

Food Control **10**, 351-352.

9. 蘇遠志(2001). 國際基因改造食品標示制度的發展趨勢，*基因改造食品之檢驗與管理研討會論文集*.
10. Clive, James. (2001). International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA) Brief 24.
11. 賴博雄，葉椒華 (2000). 新生物科技與食品革命，*中華食品工業雜誌*第 40 期.
12. U.S. Food and Drug Administration ; U.S. Department of Agriculture .
13. 蘇遠志 (2002). 台灣食品生物技術產業現況與發展趨勢，*食品生物技術研討會論文集*.
14. 杜姿瑩 (2001). 基因改造食品現況，*食品市場資訊* 90 卷第一期.
15. U.S. Bureau of the Census, International Data Base.
16. Whitman, D. B. (2000). Genetically Modified Foods: Harmful or Helpful? *Cambridge Scientific Abstracts*. <http://www.csa.com/hottopics/gmfood/oview.html>
17. Benbrook, C.M. (2002). A Perspective on Actual Versus Potential Environmental Benefits of Agricultural Biotechnology. Case Statement for the Pew Initiative on Food and Biotechnology Meeting: Environmental Savior or Saboteur? *Debating the Impacts of Genetic Engineering*. Feb. 4, 2002, San Francisco, California.
18. Ag BioTech InfoNet at <http://www.biotech-info.net/>
19. UN reports prepared for World Summit on Sustainable Development (WSSD). (2002).
20. 行政院農業委員會 (1998) 「基因轉移植物田間試驗管理規範」、「基因轉殖動物田間試驗管理規範」公告.

