

# 美國基改作物的初十年回顧

## 前言

在過去十年間，生物技術的發展可透過提供新研發技術與工具來增加農作物產量和農業生產力，進而達到拓展生物學的創新範疇。農業生技代表著許多科學或技術知識的集合，如基因工程（Genetic engineering, GE）應用於創造、改善或修飾植物、動物和微生物等，基因工程技術可令植物的性徵作精準的改變（意指非透過傳統植物育種方式達到促進植物特性的發展），甚至是以單一植物性徵為標的來改變（藉以減少傳統育種方式可能產生未預期特徵的數量）。

對於多樣化的基改農作物（GE crop）在商業上獲得成功，通常需要在成功培育作物品種時（即利用有效的農藝學特性獲得栽培多樣性）加以整合生物技術衍生的特徵改進法，如此的發展是需要傳統植物育種知識與可利用的遺傳物質（種原（germplasm））相互配合使然，該互補的效應則是位居種子及技術提供者之間的各機構進行管理協調所達到。

基改作物大略可被分成三代產品（倫敦 Panos 協會），第一代農作物為增進輸入的植物性徵，如耐除草劑（herbicide tolerance）、抗蟲害（insect resistance）和抵抗環境壓力（如乾旱）等，這使得種植基改作物的農民獲得利益也對環境提供幫助。第二代的基改作物則包含了對增加價值的輸出性徵，如增加動物飼料的營養價值，使消費者可在供應此類產品市場上直接受益；第三代作物著重生產藥品或改善生質能源合成過程，屬於超越傳統食品和纖維的產品。現階段而言，基改作物的接受度仍停留在第一代產品的表現，原因在於相關產品在 1980 年代接受過大規模田野測試以確定要求性徵可在生產力上表現，而第二及三代基改作物目前多處於研發的階段。

在第一代基改作物被商業化推展的十年間，美國農民因預期該類產品具有高產量、節省管理時間和低農藥成本支出等特性而廣泛地接受使用，但儘管基改作物具有上述的優勢存在，有關環境影響及消費者的使用疑慮仍限制著農業生技的發展，其中又以歐洲的情形最為顯著。自從美國 Food and Drug Administration（FDA）決定含有基改成份的食品具有充分等值（substantially equivalent）相對於無基改成份食品後（Shoemaker et al., 2003; FDA, 1992），含有基改產品的食物在美國市場便不需要特殊標示記載且推廣普及，使得美國消費者在過去這段期間並未發覺食用含有基改成份物的食品。

## 以快速的變化與研發活動的節奏描繪著種子產業與技術提供者

美國商業種子市場為全球最大的種子市場，在 1990 年代晚期預估每年約有 \$ 5.7 billion 產值，其次為中國市場的 \$3 billion 及日本的 \$ 2.5 billion（Fernandez-Cornejo, 2004）。而美國種子市場正以『產量』及『價值』二方面成

長中，主要原因來自農民購買種子數量增加且減少種植保留種子 (saved seed) 比例，種子市場的快速成長則特別顯示在主要農作物上，如玉米、大豆、棉花及小麥等，上述各產品在 1997 年共佔美國整體種子市場價值的三分之二。

美國種子產業在 1930 年代藉由推廣商業化可生長雜交種子開始轉型，這些雜交品種較非雜交者具有較高產量且屬於變性的，使得農民每年必須購買新種子栽種以維持高產量，而更進一步的改變則發生在 1970 到 1980 年間，由於智慧財產權保護概念興起，促使許多私人公司積極投入種子開發事業。他們主要受到二種法令基礎保護，一為由美國農業部 Plant Variety Protection Office 發佈的植物多樣性保護 (plant variety protection, PVP) 證書及由美國 Patent and Trademark Office 所頒布的專利證明，上述二種法令保機制授予私人農作物繁殖者擁有『專有權』去繁殖與行銷新發展的作物。然而相對於 PVP 證明書擁有研究免責 (research exemption) 權，使他人可因研究目的來使用新品種的特點，專利權則提供更多控制力，農業生技的專利主要著重植物培育方面，對整體美國經濟有勝過一般專利申請趨勢，統計 1996~2000 年間在 4,200 個新農業生技專利中有 75% 是來自於私人產業 (King and Heisey)。

智慧財產權的加強保護使私人投資於 R&D 的活動劇增，且對於美國種子產業的市場集中度產生變化。由多數主要農作物培育的研發支出來源可發現，已逐漸自政府單位轉向私人機構，統計從 1960 到 1996 年間這些私有單位在農作物品種研發上的支出已增加十四倍之多，然政府單位的 R&D 費用相對地無太大變動 (Fernandez-Cornejo, 2004)。

隨著大量的私人資金頻繁投入種子產業 R&D 活動的同時，致力於植物育種的私人公司數目也逐漸增加，並至 1990 年代早期達到高峰。在那之後，種子產業開始進行整合，使少數的企業可維持投資研發活動需求以開發新品種，而併購 (mergers & acquisitions) 行為則創造了一個由大型公司支配的種子產業結構，其可對相關領域，如藥物、石化及食品等進行直接投資活動 (Fernandez-Cornejo, 2004)。

在 1980 年代早期，生命科學的發展對私人企業產生了不同的刺激，促使他們投資 R&D 活動和種子生產，第一個生技農產品也在這段期間被進行大規模的測試，而種子產業的結構則發生附加變化，企業透過廣泛的合併、收購及創業合資過程來達到規模經濟，並抵消生技研發時的高成本支出。化學領域與種子業的企業以結盟方式獲得彼此產品互補需求的優勢 (Just and Hueth, 1993)，例如，嘉磷賽除草劑 (herbicide glyphosate) 與耐嘉磷賽的大豆種子會同時被一間公司銷售，而這些併購活動的結果，則令種子產業有集中化現象。在 1997 年之前，美國種子的銷售佔有率 (含基改和常見品種) 主要受到前四大企業控制，包括提供市場上 92% 的棉花、69% 的玉米及 47% 的大豆等作物種子 (表一)。

表一、1997 年美國主要田間作物的種子市場佔有率估計值

公司	玉米	大豆	棉花
Pioneer Hi-Bred	42.0	19.0	
Monsanto <sup>1</sup>	14.0	19.0	11.0
Novartis	9.0	5.0	
Delta & Pine Land <sup>2</sup>			73.0
Dow Agrosiences/Mycogen	4.0	4.0	
California Planting Seed Distributors			6.0
All-Tex			2.0
前四大佔有率總和	69.0	47.0	92.0

<sup>1</sup>Monsanto 公司分別在 1997 與 1998 年獲得 DeKalb 公司與 Asgrow 公司。

<sup>2</sup>1998 年 Monsanto 公司和 Delta & Pine Land 公司的合併計畫在 1999 年 12 月宣告取消。

資料來源：Fernandez-Cornejo, 2004

## 從實驗室到田地間

對於新品種發展過程中，田野試驗為一決定性步驟，可確認期望的植物性徵在生產過程中確實表現，含基改成份的有機物在環境中的釋放則會受到嚴格管制，需通過田野釋放許可證和接受美國農業部 Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS) 的監督（參見後面“法規管制上的監控”），而植物品種的田間釋放許可數目另提供農業生技在 R&D 成果上一有效指標。

統計 1987 到 2005 年 4 月之前，約有 11,600 個田間測試申請案被 APHIS 接受，其中超過 10,700 個 (92%) 申請被通過 (Virginia Polytechnic Institute and State University, 2005)，核准案件數也在 2002 年達到高峰的 1,190 件 (圖一)。多數田野測試申請是屬於主要農作物，特別以玉米品種約有 5,000 個核准申請案，其次為大豆、馬鈴薯、棉花、蕃茄及小麥 (圖二)。以品種性徵觀之，總計 1987 至 2005 年 4 月間的核准案，基改品種多應用於耐除草劑 (3,587 件)、抗蟲害 (3,141 件)、改善產品品質 (風味、外觀或營養成份) (2,314 件)、抗病毒 (1,239 件) 和農藝學特性如抗乾旱 (1,043 件) 及抗真菌 (647 件) 等 (圖三)。

APHIS 審查通過的田間試驗亦提供產品發展或未來通往產品線可能性的一個指標 (表二)，除了改善害蟲管制性徵的農作物外，審核案件還包括提供抗病毒/真菌的特性、對農藝學特性有助益 (抗凍、乾旱、鹽度及增加氮利用率等)、增加產品品質 (延遲成熟、增加蛋白質和油脂含量、修飾澱粉含量、具營養醫學功效 (增加維生素、鐵、抗氧化劑如  $\beta$ -carotene)) 和藥物等品種性徵，上述相關資訊可參考 Runge and Ryan and in Pew Initiative on Food and Biotechnology (2001)。

在對基改品種進行廣泛的田間試驗後，可進一步向 APHIS 提出解除對該品種管制的申請，若經歷一連串審查之後 APHIS 確認此新品種不會對農業或環境造成危害，便會給予准許證明，從 2005 年 4 月起 APHIS 已收到 103 件有關解除管制的申請書並已核准其中 63 件（圖四），統計這些核准品種有 36% 為具耐除草劑性徵、27% 具抗蟲性徵和 17% 具增加產品品質特性（圖五）。

## 法規管制上的監控

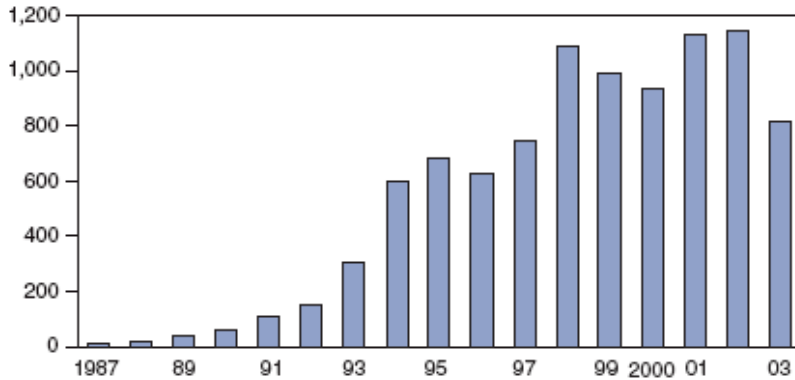
基改作物在商品化之前，必須符合 State and Federal statutes 的標準（USDA, 2005），在生物技術管制綜合體系（Coordinated Framework for the Regulation of Biotechnology）之下，聯邦政府的監控主要由美國農業部、Environmental Protection Agency（EPA）及 FDA 三機構共同分擔。

美國農業部內的 APHIS 在管理農業生技產品的田間試驗上扮演主要角色，藉由報告書與許可步驟，包括基因改造植物、微生物及無脊椎動物等產品，皆被視為”regulated articles”。APHIS 根據基改成份的釋放是否對農業或環境造成為害以決定是否核准該項測試，在經過數年的田間試驗後，則可進一步向 APHIS 提出裁定為非管制狀態的申請以促進產品商品化。當經過廣泛的審查後，APHIS 認定基改物質自由的釋放並不會對農業或環境造成危害，則該有機物可被解除管制（deregulated），在那之後該有機物將不再被列於”regulated articles”，且無須受到 APHIS 的核准便可自由搬移與種植（USDA, 2004）。

當一基改植物被用來生產可”防止、破壞、驅逐或減少害蟲”的成份時，將被認定為農藥且受到 EPA 的法規規範（*Federal Register*, November 23, 1994）。FDA 則管理所有食用農作物申請，包括使用生物技術發展的農作物，以確定由新品種所衍生的食品是安全可食用；有關更多 EPA 和 FDA 對基改產品的規範可參考 EPA（2003）和 FDA（1992, 2005）。

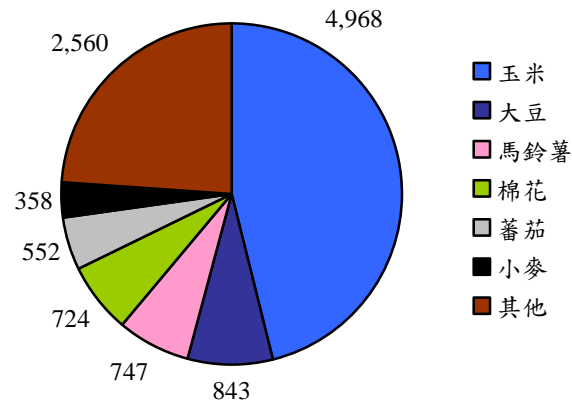
儘管通用的法規管理系統被視為有效率，美國農業部、EPA 和 FDA 仍持續向前進並對未來可能面臨的趨勢與問題即時作出變革，如 APHIS 分別在 1993 和 1997 年進行更新並普遍地考量規範的修訂議題（USDA, 2004）。National Academy of Sciences 亦曾發佈對法規的相關建議報告，藉由增加科學性審查、公開看法的懇求和”更明確的資料、方法、分析及說明的呈現”便可使過程更加”透明化與嚴謹”最終達到”更進一步的改善”成果（NRC, 2003）。

圖一、APHIS 審查通過的基改品種開放案件



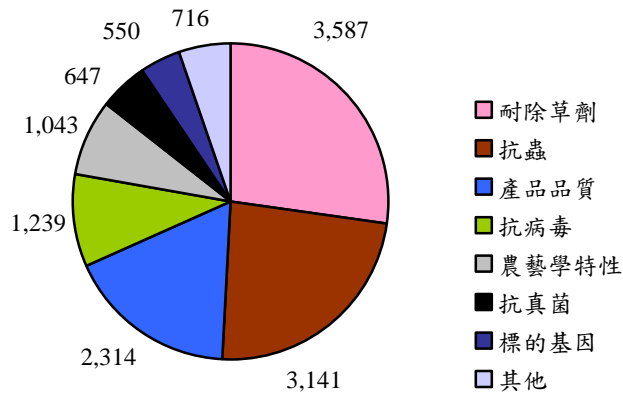
資料來源：Virginia Polytechnic Institute and State University, 2005

圖二、APHIS 核准案件總數（依農作物種類區分）



資料來源：Virginia Polytechnic Institute and State University, 2005

圖三、APHIS 核准案件總數（依基改性徵區分）



資料來源：Virginia Polytechnic Institute and State University, 2005

表二、美國境內可順利取得和發展的生技農作物

農作物	輸入性徵			輸出性徵		
	耐除草劑	抗蟲	抗病毒/ 真菌	農藝學 特性 <sup>9</sup>	產品品質 <sup>11</sup>	保健醫學產 品；藥品； 工業
玉米	C	C <sup>5</sup>	D	D	D	D
大豆	C	D		D	D	
棉花	C	C <sup>6</sup>		D	D	
馬鈴薯		W <sup>7</sup>	D	D	D	D
小麥	C <sup>2</sup>		D			
其他作物 <sup>1</sup>	C <sup>3</sup> D <sup>4</sup>	D	D	D	D	D
馬鈴薯、南 瓜、甜瓜			D	D	W <sup>12</sup> D	D
其他蔬菜	D				D	
鳳梨			C <sup>8</sup>			
果樹			D		D	
其他樹木				D <sup>10</sup>	D	
花卉					D	

C = 可順利取得；D = 在不同的研發和測試階段；W = 自市場上撤退

資料來源：Virginia Polytechnic Institute and State University；USDA, APHIS；  
Colorado State University；Shoemaker et al.；Pew

<sup>1</sup> 含大麥、油菜、花生、菸草、米、紫花苜蓿等。

<sup>2</sup> Monsanto 公司 2004 年未再對 GE Roundup Ready 小麥繼續培育與進行田野階段研究。

<sup>3</sup> 油菜。

<sup>4</sup> 大麥、稻米、糖、甜菜。

<sup>5</sup> Bt 玉米自 1996 年開始商品化具控制玉米螟蟲 (corn borer) 功效；Bt 玉米自 2003 年開始商品化具控制玉米根蟲 (corn rootworm) 功效。

<sup>6</sup> Bt 棉花自 1996 年開始商品化具控制 tobacco budworm、bollworm 及 pink bollworm 功效。

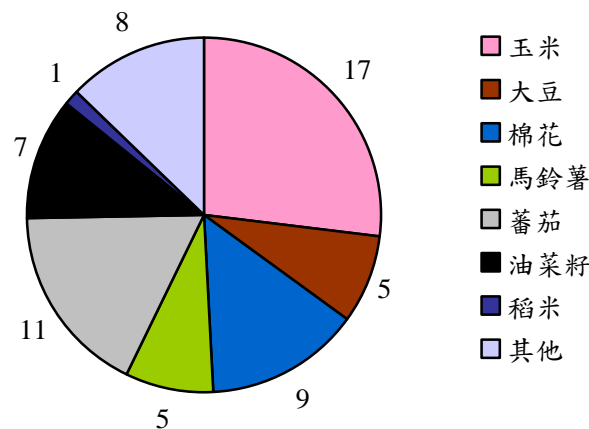
<sup>7</sup> Bt 馬鈴薯自 1996 年開始商品化，含抗 Colorado potato beetle 嵌入功能，但在 1999 年退出市場。

<sup>8</sup> 在 1990 年代中期，Cornell University 和 University of Hawaii 的研究者發展出二抗病毒的基改鳳梨品種，第一個商業化栽種在 1998 年，二品種皆被證實可成功對抗病毒傳染病，1999 年時已在夏威夷被種植超過在 30% 英畝面積的鳳梨田。

<sup>9</sup> 抗凍、乾旱、霜害、鹽濃度；氮利用率增加；增加產量。

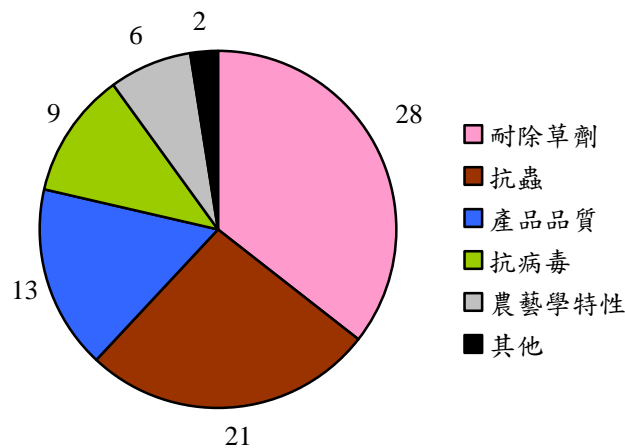
- <sup>10</sup> 修飾木質素含量（如：降低樹木造紙的成本）。
- <sup>11</sup> 含延緩成熟；增加蛋白質、碳水化合物、脂肪酸、微量元素、油脂和修飾澱粉含量；增加風味和質地（水果和蔬菜）；顏色（棉花和花卉）；纖維特性（棉花）；麩質含量；自然去咖啡因；和低植酸酵素。
- <sup>12</sup> 基改蕃茄不易掉落且在採收後成熟具有風味；普遍地自市場中退出（Colorado State University, 2004）。
- <sup>13</sup> 含增加維生素、鐵、 $\beta$ -carotene 含量；抗體、疫苗；特別是機械油。

圖四、由 APHIS 通過的解除管制申請案件（依農作物種類區分）



資料來源：Virginia Polytechnic Institute and State University, 2005

圖五、由 APHIS 通過的解除管制申請案件（依基改性徵區分）



資料來源：Virginia Polytechnic Institute and State University, 2005

## 美國農民持續增加對基改作物的接受度

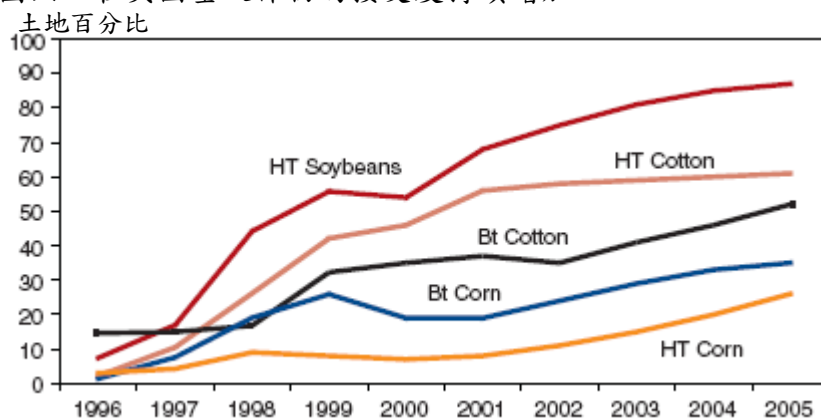
當農民預期新的技術與使用習慣可以帶來效益時會更願意接受它，這裡指的效益可能為金錢方面，但有時也可能為容易操作、節省時間、減少化學物質暴露和其他因素等，農民依據偏好、農地特性、產品需求和成本等原因，來選擇所需技術和使用習慣並預期產生最大的效益。

對美國及其他幾國的農民而言，高產量、節省管理時間和降低農藥成本的期待成為驅使他們快速地採用基改作物品種的主要原因，估計 2004 年全球 17 國境內約有 200 million 英畝的農地面積，種植著具耐除草劑和抗蟲性徵的基改作物，較 2003 年農地面積增加 20%，其中美國境內佔總種植面積的 59%，其次為阿根廷（20%）、加拿大（6%）、巴西（6%）和中國大陸（5%）（ISAAA, 2004）。

從 1996 年開始，大豆、玉米和棉花等基改品種已在美國市場商品化，且美國農民的接受比率逐年攀升（圖六），在被採用的基改作物中，耐除草劑（HT）品種為最主要的產品且成長速度較抗蟲（Bt）性徵品種快許多，HT 品種主要作用是可在某些除草劑使用下存活，在以往經驗中通常使用此類除草劑將會連同作物與雜草一同破壞，故耐除草劑品種可達到控制野草的同時維持農作物生長。

野草對大豆、玉米及棉花的栽種上容易造成困擾，近年來前述每一種農作物在美國超過 90% 的農耕地皆被施予除草劑以對抗野草生長；相較於 HT 棉花和玉米品種，種植 HT 大豆品種的土地面積快速增加，統計 2005 年約有 87% 的美國大豆田在種植著 HT 大豆品種。

圖六、在美國基改作物的接受度持續增加\*



\*對每種農作物種類的資料含同時具 HT 和 Bt 性徵的品種。

資料來源：Fernandez-Cornejo (2005)

抗蟲作物含有來自土壤菌 *Bacillus thuringiensis* (Bt) 的基因，可對某些特定昆蟲具有蛋白毒性達到抗蟲害目的，Bt 棉花和玉米的種植面積比率較 HT 大豆和棉花為低，然接受度在遭受高度特定蟲害的地區更為集中（昆蟲侵擾較雜草更多樣化且廣泛的跨越到其他地區），2005 年統計指出，農民在全美 52% 的棉花耕地

上種植 Bt 棉花，藉以控制 tobacco budworm、bollworm 和 pink bollworm 等昆蟲。Bt 玉米最初是被發展用來控制歐洲玉米螟蟲，2005 年時全美約有 35% 玉米田種植此基改品種，較 2002 年的 24% 增加，其原因在於 2003/04 時有新的 Bt 玉米品種被商品化上市且具有抗玉米根蟲作用，該種類昆蟲較歐洲玉米螟蟲對於玉米產量更具有影響性 (Comis)。

過去十年被美國農民種植的基改農作物，尚包括 HT 油菜、抗病毒鳳梨和抗病毒南瓜 (表二)，此外，Bt 馬鈴薯品種在 1996 年被商品化上市但在 2001 年季節過後便退出市場；具不易掉落且在採收後變成熟富含風味特性的基改蕃茄品種在 1994 年曾上市銷售，卻在數年後因為在市面上容易個別取得品種的原因而退出市場。

## 美國農民期望採用基改農作物獲得利潤

根據 2001~03 年間美國農業部內 Agricultural and Resource Management Surveys (ARMS) 的管理結果發現，多數的農民正慢慢採用基改玉米、棉花和大豆等品種，顯示出他們藉此來改善栽種上的控制而達到增加產量目的 (圖七)。其他採用基改作物的一般原因，包括節省管理時間、使用上更為容易及降低農藥成本，上述這些原因確認了其他研究結果，發現農民預期透過高產量和低成本 (勞力、農藥) 來增加利潤的想法，是正面影響著農業創新的接受度。

## 採用基改作物和產量

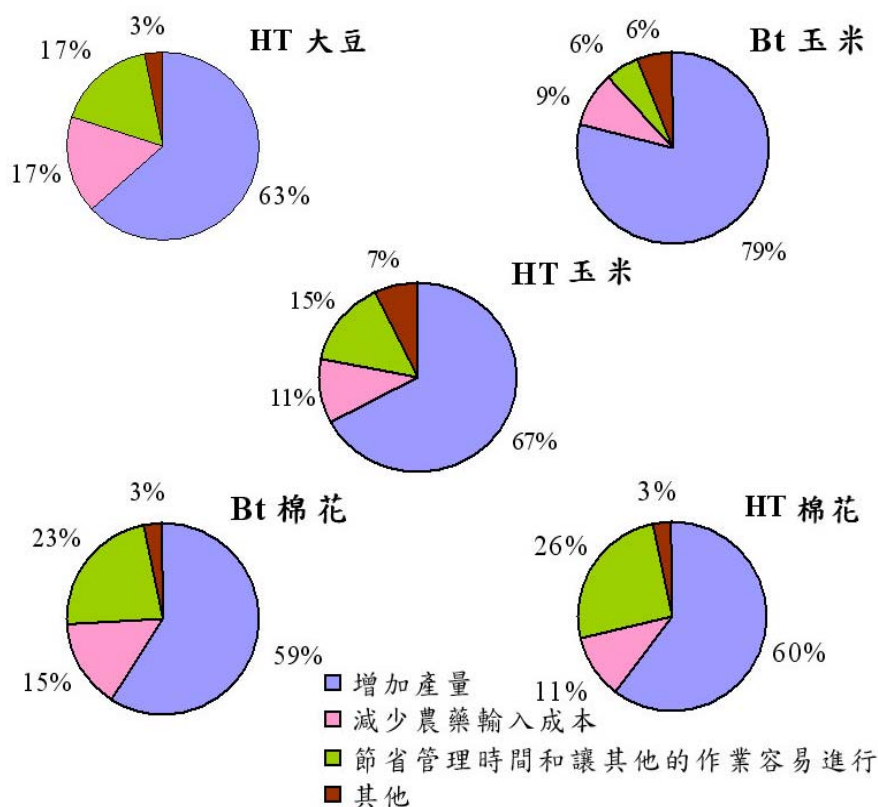
在一個混合的品種內，一般可取得的基改農作物並不具增加產量的潛力，事實上，當某些品種習慣帶有耐除草劑或抗蟲基因而屬非產量最高的品種作物時，種植作物產量結果可能甚至降低。然而，為保護植物不受某些有害物影響，基改農作物相較於非基改混合作物可預防產量損失，特別是在受到高度特定蟲害的地區內，而此影響結果在 Bt 作物特別重要。舉例而言，在 1996 年 Bt 玉米商品化之前，歐洲玉米螟蟲只會受到化學殺蟲劑部份控制住，然化學物質的使用並非完全有利且難掌握使用的適時度，使許多農民接受產量的流失勝於蒙獲支出和化學物質控制的不確定性，對那些農民而言，選擇使用 Bt 玉米而獲得高產量是更優於節省農藥。此外，最近上市的 Bt 玉米具有抗玉米根蟲性徵，在過去多是使用化學殺蟲劑控制的栽種習慣，現在更可節省大量殺蟲劑使用。

許多田間試驗和農地調查是檢測使用基改作物後影響的產量和成本 (表三)，最主要的結果顯示基改農作物較傳統作物有高產量。

一個 2002 年 ERS 研究發現，1997 年在東南部棉花產量的增加與接受使用 HT 和 Bt 棉花有相關，增加 10% 的 HT 棉花種植地可使產量增加 1.7%，而增加 10% 的 Bt 棉花種植地則可使產量增加 2.1%；大豆產量的增加與 HT 大豆的接受度有統計上的顯著相關性但值卻不高 (Fernandez-Cornejo and McBride, 2002)。

更多最近的 ERS 研究透過 2001 年調查資料發現，平均實際玉米產量約每英畝 12.5 bushels，Bt 玉米產量是高於傳統玉米品種約 9%（Fernandez-Cornejo and Li, 2005）。

圖七、農民接受使用基改農作物的原因



資料來源：美國農業部 Economic Research Service 利用 2001, 2002 和 2003 年 Agricultural Resource Management Survey 資料編輯產生。

### 採用基改物與淨報酬、家庭收入及農藥使用

美國農民採用基改農作物的衝擊會依據農作物種類和技術有所不同，許多研究曾評估接受並使用基改作物對報酬與農藥使用的影響，這些研究結果摘錄於表三中，ERS 研究者發現以下現象：

**種植 HT 棉花和 HT 玉米與增加生產者的報酬有相關性，但 HT 玉米的栽種土地面積被限制。**在有限的 HT 玉米栽種地上令技術可能具有最大的比較優勢，相對於常見品種，HT 玉米種子有低溢價特性，此結果令採用基改品種與財務表現有正向關聯，並藉以擴張市場佔有率（Fernandez-Cornejo and McBride, 2002）。

**當有害物造成的壓力高升時，採用 Bt 棉花和玉米與增加報酬有相關性。**1997 年使用 Bt 棉花與增加生產者報酬有正相關，但 1998 年在使用 Bt 玉米卻呈現負相關，此結果暗示 Bt 玉米可能曾被用於某些農耕地，當對抗歐洲玉米螟蟲的保

護價值是低於購買 Bt 種子的溢付費用。由於害蟲的侵害在各區域及每年都是多變的，來自 Bt 玉米的經濟效益可能由於害蟲所造成產量嚴重壓力而達到最高，農民必須在決定使用 Bt 玉米前確認當年將會受到歐洲玉米螟蟲侵害，且來自該昆蟲的傷害每年都將不一樣，然某些農民可能會由於害蟲的侵害而對侵擾程度、玉米價格或產量損失做錯誤預測，而造成過度採用基改作物的結果。此外，生產者願意支付來自 Bt 玉米的溢價部份的可能原因為，降低當超過預期發生害蟲危害所產生的顯著損失風險 (Fernandez-Cornejo and McBride, 2002)。

**儘管美國農民迅速的採用 HT 大豆，但在 1997 或 1998 年間發現採用基改大豆與淨栽種報酬無顯著關聯。**對某些採用 HT 大豆的農民而言，無法提昇收益率的結果暗示著某些不同於傳統農地報酬計算的因素存在，其驅動這些農民使用基改大豆，特別是在控制雜草更為容易且節省管理時間上，這促使 HT 大豆栽培者可控制大範圍的雜草和輕易快速採收，對農場管理者和他們的配偶在管理時間上，形成一個重要非傳統的用法即可僱用非農地操作者在田地中作業 (Fernandez-Cornejo and McBride, 2002)。

**採用 HT 大豆與增加家庭收入有相關性。**根據最近的 ERS 研究顯示，美國農民採用 HT 大豆與顯著增加農業外家庭收入有關聯，來自農地的家庭收入並不顯著地與採用基改作物有關，但採用者的總農業家庭收入是顯著較高，這提出採用 HT 大豆農民大部分節省的管理時間是挪用於農業外的工作 (Fernandez-Cornejo, 2005)。

**採用基改農作物與降低農藥使用有相關性。**自從 1996 年基改玉米和大豆上市後，農藥的使用率逐漸降低 (依據活性成份) (圖八)，此外，ERS 研究發現為控制其他因素，農藥的使用隨採用基改作物而減少，整體的農藥使用減少與採用基改作物的增加度有相關性 (利用 1997/1998 資料，為 Bt 和 HT 棉花、HT 玉米和 HT 大豆相加)，而產生顯著減少農藥暴露的可能性結果 (Fernandez-Cornejo and McBride, 2002)。儘管在大豆的除草劑使用量上有些微上升，玉米、大豆和棉花的整體農藥使用下降約 2.5 million 磅。此外，使用在 HT 作物的嘉磷賽量已少於對人體毒性的三分之一，且不像被取代的舊除草劑會殘留在環境中 (Fernandez-Cornejo and McBride, 2002)。

ERS 使用 2001 年資料發現，採用基改作物者在殺蟲劑的使用量相較於非採用者，每英畝種植面積約少 8% (Fernandez-Cornejo and Li, 2005)。

ERS 的研究結果一般同意田間試驗和其他農地調查結果 (檢測使用基改農作物的影響) (表三)，最主要結果顯示採用基改作物者對農藥的使用是低於傳統品種使用者。

**採用 HT 大豆似乎與保育耕作 (conservation tillage) 有相關性。**保育耕作對環境的影響已被完全證明，使用保育耕作可降低土壤受風化和水流的侵蝕，增加含水量且減少土壤剝蝕、水分和化學物質逕流。

根據 USDA 研究調查結果，1997 年約 60% 種植 HT 大豆的土地進行保育耕作，而種植傳統大豆品種的土地僅有 40% 進行該耕作法 (圖九)；比較種植 HT

大豆與傳統品種皆未進行保育耕作的差異可發現：種植 HT 大豆的農地上有 40% 未進行保育耕作，相同地在傳統大豆種植地則高於前者二倍之多，故可知接受 HT 農作物可能藉由鼓勵農民使用土壤保育法，而對環境產生間接效益。

表三、基改農作物對產量、農藥使用和報酬的影響的基礎研究摘要

農作物/研究者/發表日期	資料來源	影響		
		產量	使用農藥	報酬
<b>耐除草劑大豆</b>				
Delannay et al., 1995	試驗	相同	未分析	未分析
Roberts et al., 1998	試驗	增加	減少	增加
Arnold et al., 1998	試驗	增加	未分析	增加
Marra et al., 1998	調查	增加	減少	增加
Fernandez-Cornejo et al., 2002 <sup>1</sup>	調查	稍增加	稍增加	相同
McBride & El-Osta, 2002 <sup>2</sup>	調查	未分析	未分析	相同
Duffy, 2001	調查	稍增加	未分析	相同
<b>耐除草劑棉花</b>				
Vencill, 1996	試驗	相同	未分析	未分析
Keeling et al., 1996	試驗	相同	未分析	未分析
Goldman et al., 1998	試驗	相同	未分析	未分析
Gulpepper and York, 1998	試驗	相同	減少	相同
Fernandez-Cornejo et al., 2001 <sup>1</sup>	調查	增加	相同	增加
<b>耐除草劑玉米</b>				
Fernandez-Cornejo and Klotz-Ingram, 1998	調查	增加	減少	相同
McBride & El-Osta, 2002 <sup>2</sup>	調查	未分析	未分析	增加
<b>Bt 棉花</b>				
Stark, 1997	調查	增加	減少	增加
Gibson et al., 1997	調查	增加	未分析	增加
ReJesus et al., 1997	試驗	相同	未分析	增加
Bryant et al., 1999 <sup>3</sup>	試驗	增加	未分析	增加
Marra et al., 1998	調查	增加	減少	增加
Fernandez-Cornejo et al., 2001 <sup>1</sup>	調查	增加	減少	增加
<b>Bt 玉米</b>				
Rice and Pilcher, 1998	調查	增加	減少	依侵擾程度

Marra et al., 1998	調查	增加	減少	增加
Benbrook, 2001	調查	增加	未分析	減少
McBride & El-Osta, 2002 <sup>2</sup>	調查	未分析	未分析	減少
Duffy, 2001	調查	增加	未分析	相同
Pilcher et al., 2002	調查	增加	減少	未分析
Baute, Sears, and Schaafsma, 2002	試驗	增加	未分析	依侵擾程度
Dillehay et al., 2004 <sup>4</sup>	試驗	增加	未分析	未分析
Fernandez-Cornejo & Li, 2005 <sup>5</sup>	調查	增加	減少	未分析

<sup>1</sup> 使用 1997 年資料獲得結果。

<sup>2</sup> 使用 1998 年資料獲得結果。

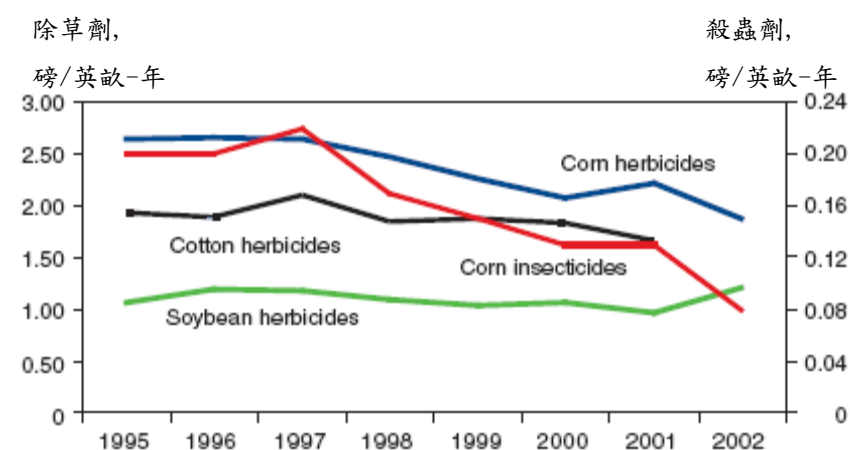
<sup>3</sup> 為 1996 及 1998 年結果，1997 年的結果因害蟲的傷害很低而有所不同。

<sup>4</sup> 使用 2000-2002 年資料獲得結果。

<sup>5</sup> 使用 2001 年資料獲得結果。

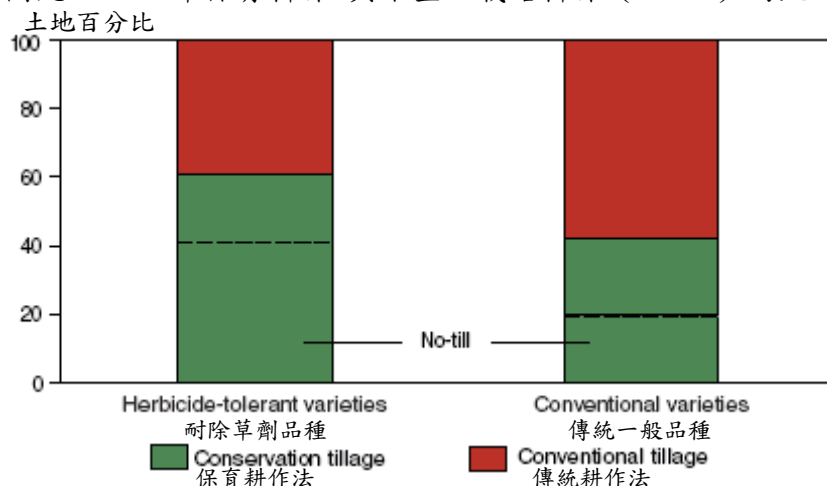
<sup>6</sup> 淨報酬為收益減變動成本。

圖八、主要田地農作物的農藥使用狀況



資料來源：NASS surveys

圖九、1997 年保育耕作\*與不整地栽培耕作 (no-till) 的大豆土地面積



\*保育耕作土地面積含 no-till、ridge till 及 mulch-till 系統。

資料來源：Fernandez-Cornejo and McBride (2005)

## 消費者需求影響基改衍生品的 R&D、接受度和行銷

生物技術相關 R&D 的投資、接受採用基改種子和基改衍生產品的行銷，皆受消費者需求所影響，雖然數個研究調查指出，美國某些消費者對基改食品仍有疑慮存在（表四），但這些疑慮卻未對美國市場上含基改成份的食品產生太大影響，而在歐盟和少數其他國家中，消費者疑慮則產生使用代替基改成份的產品之結果。

雖然意見調查指出消費者對基改食品的疑慮議題，卻少提供有關疑慮程度的結果。某些研究人員曾試圖使用定量的方法來衡量疑慮程度，透過詢問受訪者對有無含基改成份的食品所願意支付的金額進行調查，接續使用這些資料計算二假設價格之間是否存在差異。

在多數這些研究中（表五），消費者表現出願意支付高於平均價格的錢，去購買無基改成份食品或避免食物中含有基改物質，然這類研究中仍多數發現，儘管某些人表達完全不願意買含有基改成份食品，至少有一些消費者並不要求對購買基改食品價格有折扣，另有些回應則表達願意購買具某種特性的基改食品，如增加營養和環境效益（Li et al., 2001; Lusk, 2003, Bocaletti and Moro, 2000）。

儘管調查和願意付出價格的研究提供一些消費者觀點，但通常未反應消費者在實際市場上購買商品和服務的行為，每種食物產品本身具有許多特性，如味道、顏色和成熟狀態等，而一個生技衍生物質的存在僅代表一種特質，然經驗上，對於售價中來自消費者購買一特殊性質目的所佔比率是很難決定。沒有公開的研究結果指出有多少消費者實際付出溢價的部份以購買非基改商品，而仍有一些實證研究證實，商品的型態通常會被展示出來以作為行銷之用。在美國的調查發現許多產品含有基改成份，而有關生物技術的負面觀點顯然未對這些產品的需求產生影響，有少數特色品牌是以“無基改成份”為特點進行行銷販售，但他們僅佔超

級市場銷售額的小部份。然而某些國家中，消費者對非基改產品的強烈需求是會對基改產品的流通產生限制（見”生技產品的差異：二個市場的故事”）。

表四、含基改成份食品的消費者知覺調查研究

國家/群體	調查者	內容
美國	Pew Initiative/Mellman Group, 2003, 2004	27%受訪者幫助基改食品推廣，47%受訪者則反對。然而，有 64%不同意以下聲明：『即使 FDA 確信基改食品為安全的，該類產品也不應被准許銷售』，另 28%受訪者認為即使 FDA 認為安全無疑，此類食品仍不應被核准。
美國	Gallup, 2001	52%受訪者支持生技術的應用，38%則反對生物技術被用於食品製造上。
美國	Hallman, 2004	47%受訪者贊成和傾向同意利用基改方式製造植物類食品，41%不贊成且傾向不要核准基改產品，而 12%的受訪者則不確定。
美國	IFIC, 2005	分別有 50%受訪者願意和 45%不願意購買利用基改方法修飾出好味道或保持新鮮；而有 64%願意和 32%不願意購買利用基改方法減少農藥使用量的產品。
北京，中國大陸	Hu and Chen, 2004	67%受訪者對生物技術有疑慮。
南京，中國大陸	Zhong et al., 2002	40%受訪者願意購買基改食品，17%則不願意，有 34%受訪者回答不知道。
北京，中國大陸 Shijiazhuang, 中國大陸	Ho and Vermeer, 2004	有 40%受訪者願意或相當願意去食用含基改成份食品，51%受訪者保持中立，有 9%則不願意或相當不願意食用含基改成份食品。
在比利時說法蘭德斯語者	Verdurme and Viaene, 2003	有 15%受訪者反對基改食品，34%認為該類產品具微小風險和助益，26%則認為具中度風險和助益，23%受訪者認為有大助益。
英國	2003 GE Public Debate Steering board	86%受訪者認為不要食用基改食品較好，另有 8%受訪者很高興食用到該類食品。

資料來源：Compiled by USDA's Economic Research Service

表五、樂意支付金錢購買不含基改成份食品之研究<sup>1</sup>

國家	食品	研究者	願意支付的額外金額
美國	蔬菜油	Tegene et al., 2003	在實驗性的拍賣會中，消費者願意付出超過 14% 的金錢去購買非基改食品。
美國	馬鈴薯	Loureiro and Hine, 2002	消費者願意付出超過 5% 的金錢去購買非基改食品。
美國	黃金米 (Golden rice)	Lusk, 2003	消費者願意付出 93 cents 去購買增加維生素 C 的基改黃金米，另對於一般米則願意付出 65-75 cents。
英國	所有食品	Burton et al., 2001	消費者表示願意增加對食物的預算費 26-129% 以避免買到基改食品。
義大利	*	Bocaletti and Moro, 2000	消費者願意支付一確實的數量去購買具基改性質產品，約 66% 消費者不要求消費基改食品需付溢價部份。
美國、 法國、 德國和 英國	食用牛的 飼料	Lusk et al., 2003	美國消費者願意支付每磅 \$2.83 和 \$3.31 去避免基改產品，歐洲消費者則為每磅 \$4.86 到 \$11.01。
美國和 英國	穀片	Moon and Balasubramanian, 2001	調查發現 56% 的英國消費者願意支付額外的金錢去避免購買基改食品，相對於美國消費者則有 37%。
挪威、 美國、 日本和 台灣	蔬菜油	Chern et al., 2002	挪威的學生願意支付每升 \$1.51 (約 55-69% 溢價) 去購買非基改蔬菜油，美國學生則為 \$1.13 (50-62% 溢價)，日本學生為 \$0.88 (33-40% 溢價) 和台灣學生為 \$0.45 cents (17-21% 溢價)。
中國大 陸	稻米	Li et al., 2002	有 80% 的消費者並不要求購買基改米有溢價部位，且平均願意支付 38% 的溢價去購買基改稻米和 16% 溢價購買基改大豆油。
挪威	麵包	Grimsrud et al., 2004	消費者要求購買基改麵包要有 37-63% 的折扣，而有四分之一比率的消費者不要求折扣。
澳洲	啤酒	Burton and Pearse, 2002	較年輕的消費者會支付少於 \$A 0.72 去購買利用基改大麥製成的啤酒，而年長的消費者則願意支付少於 \$A 0.40。
加拿大	*	West et al., 2002	有 83% 消費者將許多基改食品歸列於低價值產品。

法國	*	Noussair et al., 2004	35% 消費者不願意購買基改食品，而 42% 表示當價格不貴時則願意購買這些產品。
美國	油脂、洋芋片和馬鈴薯	Rousu et al., 2004	消費者降低對每一種食品的需求 7-13%，該類食品對基改成份具 1~5% 容許範圍而相對視為無基改成份食品。

<sup>1</sup>可參考 Lusk et al., (2005)，他們摘錄 25 個研究包含 57 個基改議題評價研究，消費者願意支付確定的額外金額以購買無基改成份食品。

\*此研究無著重特殊食品項目。

資料來源：Compiled by USDA's Economic Research Service

## 生技產品的差異：二個市場的故事

基改農作物的商品化導致食品製造商需對每一個產品進行抉擇：一為可繼續生產與行銷非基改產品的策略，或根據成本和品質作原料來源輸入，更甚者可行銷或生產無差別性的產品。

若製造商繼續進行非基改商品策略，農民終會放棄基因改造的技術，而消費者必將被限制在購買可能具高成本的非基改食品中。若製造商尋求無差別性的策略，則農民使用新技術將取決於生產成本，消費者將面對市場上的基改和非基改食品之間無差異性存在。若製造商進行上述二種策略，部份農民可能將繼續使用新技術，但某些人亦可能會栽種傳統農作物以提供非基改產品市場，在此情境下，消費者將對部份基改和非基改產品擁有選擇的權利。

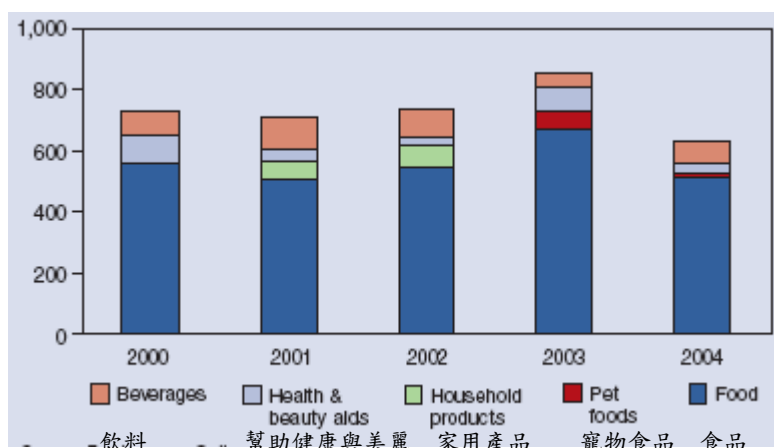
在美國，食品含有基改成份不需特別標示，而資料顯示製造商熱衷開創無基改食品市場，統計 2000 到 2004 年之間，製造商推出超過 3,500 個產品是標示無基改成份，其中大多為食品，2003 全年總數為 854 個而 2004 年則為 631 個，此數據是不包含有機食品（有機食品可能不是利用基改技術栽種）（Dimitri and Greene, 2002）。

由於歐盟和日本規定，未標示的食品是不可含有基改成份，製造商選擇非基改產品市場策略，僅少數標示具有基改成份的產品在歐洲和日本被商店銷售。

資料顯示在美國銷售基改產品有限制性存在，相對於新非基改產品的商品化，極少數的新基改產品被商品化，而大多數的基改產品是在 1990 年代上市，包含蕃茄（較好味道與較長儲藏時間為廣告訴求）、油菜籽油（高溫下保持油脂穩定為廣告訴求）、蝦子（具美食高品質）和牛肉（低脂肪）、營養補充品、香菸（低尼古丁）和水管清潔物。

## 美國每年非基改新產品推廣上市數量

### 新產品數量



資料來源：Productscan Online.

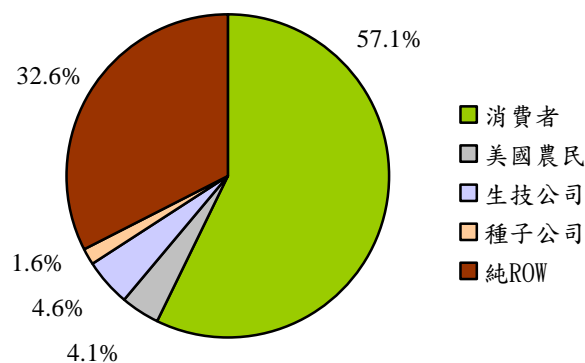
## 基改產品的採用對許多利益關係人提供市場助益

除了農民外，種子和技術提供者、消費者等皆自美國接受使用基改農作物中受惠，生物技術發展者和種子公司亦從接受基改品種者身上收取技術費用和種子相關溢酬中獲得利益，美國和其他國家消費者則可能自基改農作物的低商品售價產生高需求的狀況中直接受惠。

ERS 估計 1997 年來自三種基改農作物 HT 大豆、Bt 棉花和 HT 棉花的採用使美國總市場獲益增加 (Price et al., 2003)，估計 Bt 棉花對農民、種子生產者、和消費者所產生的效益大約為 \$210 million、HT 棉花則提供 \$230 million 和 HT 大豆產生的利益為 \$310 million，該項估計包含種子輸入與商品輸出市場的總體福利改變。關於其他國家 (rest of the world, ROW) 在消費者、農民、技術提供者 (生技公司)、種子公司和消費者與生產者的利益分佈狀況如圖十至十二所示，該利益分佈情形在農產品與技術之間是非常不同地，因為農民的經濟效益誘因 (如農作物價格和生產成本)、支付給技術提供者和種子公司的費用及技術對世界上各種農作物價格的影響等因素在各農作物與技術間不盡相同。例如，採用 HT 棉花主要對消費者產生助益，而 Bt 棉花卻是令農民與技術提供者獲得利益，種子公司則是在採用大豆產品下最大的受惠者。

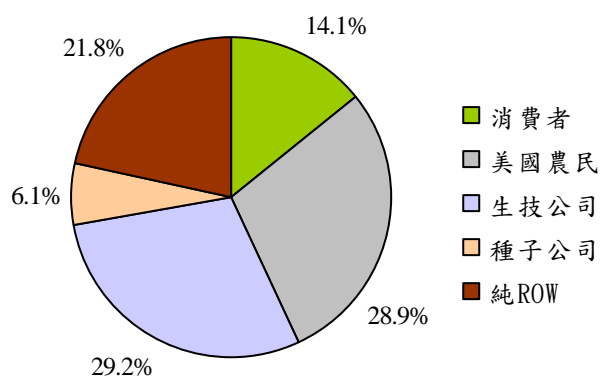
由於數據估計是根據少數幾年的資料所做的分析，故關於結果的解讀必須謹慎，而估計效益及其分佈狀況是依賴特別的分析架構、供給與需求彈性的假設、考量農作物和年度相關因子 (如氣候) 等，特別是來自 HT 大豆的效益和分佈是非常依賴大豆供給彈性，表六呈現 Bt 棉花與 HT 大豆的估計效益及來自其他研究者所獲得的分佈狀況。

圖十、1997 年採用耐除草劑棉花對各利益關係人所產生全球效益分佈比率



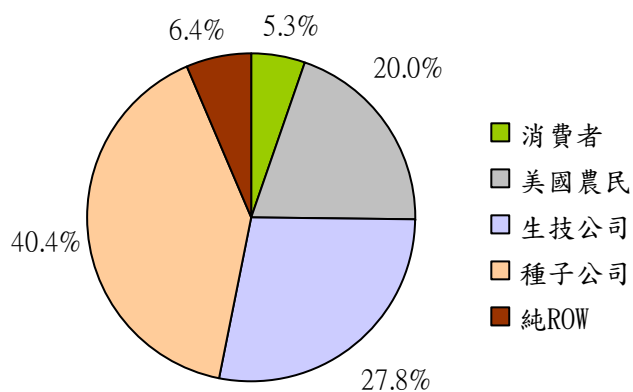
資料來源：Price et al., 2003

圖十一、1997 年採用 Bt 棉花對各利益關係人所產生全球效益分佈比率



資料來源：Price et al., 2003

圖十二、1997 年採用耐除草劑大豆對各利益關係人所產生全球效益分佈比率



資料來源：Price et al., 2003

表六、基因改造技術的效益及其分佈（來自相關研究的估計）

研究	年	總利益	佔總利益比重			
			美國農 民	創新者	美國消 費者	純 ROW
		\$ million	- - - - - 百分比 - - - - -			
<b>Bt 棉花</b>						
Falck-Zepeda et al. (1999)	1996	134	43	47	6	
Falck-Zepeda et al. (2000b)	1996	240	59	26	9	6
Falck-Zepeda et al. (2000a)	1997	190	43	44	7	6
Falck-Zepeda et al. (1999)	1998	213	46	43	7	4
Frisvold et al. (2000)	1996-98	131-164	5-6	46	33	18
EPA (2000) <sup>1</sup>	1996-99	16.2-45.9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Price et al. (2003)	1997	210	29	35	14	22
<b>耐除草劑大豆</b>						
Falck-Zepeda et al. (2000a)	1997-低彈 性 <sup>2</sup>	1,100	77	10	4	9
	1997-高彈 性 <sup>3</sup>	437	29	18	17	28
Moschini et al. (2000)	1999	804	20	45	10	26
Price et al. (2003)	1997	310	20	68	5	6

n.a. = 無法應用的。

ROW = 世界其他國家。

<sup>1</sup> 限制在美國農民。

<sup>2</sup> 假設美國大豆供給彈性為 0.22。

<sup>3</sup> 假設美國大豆供給彈性為 0.92。

資料來源：Price et al., 2003

## 結論

生物技術對美國和全球農業所扮演角色將受某些因子和不確定性所影響，如同 USDA Advisory Committee on Biotechnology and 21st Century Agriculture 報告

中所言”生技農業正處於許多爭論議題的轉折點上，包括美國和世界農業的未來、國際交易關係、生物多樣性與相關保護利用的國際指導發展、跨國公司間的角色及如何普遍建立大眾對快速發展的新興技術有信心等”。然而有一件事是確定的，即關於生技農業最主要的貢獻將有賴於我們對其定義，並評量潛在效益、風險和分佈的能力而達到。