生物技術在作物品種改良上之應用

王強生
行政院農委會農業試驗所農藝系

摘要

目前地球有限的耕地面積及農業生產體系，已無法負擔急速增加的世界人口。如何應用生物技術改良作物品種，提高農業生產量或產值，已成爲農業研究的首要目標之一。傳統育種方法屬於雜交育種，品種改良主要受種原變異之限制，而不同物種 (species) 間之雜交頗爲困難，育種成果難有大突破，「綠色革命」(green revolution) 很難再發生。利用生物技術進行作物品種改良，係指以遺傳工程 (genetic engineering) 技術，將特定基因或性狀導入缺乏此基因或特性之目標作物 (target crop) 的育種方法；因此利用生物技術進行作物品種改良，可以突破種原之限制及種間雜交之瓶頸，創造新性狀或新品種，亦即未來「基因革命」(gene revolution) 很可能迅速取代「綠色革命」。今後利用生物技術進行作物品種改良，可朝下列重點努力：創造高附加價值之轉基因作物品種；育成具環保特性之抗病、抗蟲及抗殺草劑等作物品種，減少農藥之施用；育成具耐旱、耐寒、耐熱及耐重金屬等具環境忍受性之作物品種。

利用生物技術進行作物品種改良之主要步驟如下：1. 目標基因 (性狀) 之選殖與改造；2. 基因轉殖載體 (vector) 之構築；3. 將基因轉殖至目標作物；4. 轉基因植株 (transgenic plants) 之基因表現與遺傳分析；5. 轉基因品種之育成與上市。國內正積極開發生物技術，重要基因之選殖及基因轉移技術之開發等試驗，正蓬勃進行，預期今後陸續會有下列轉基因作物品種之育成：抗輪點病毒及耐儲運之木瓜品種；延緩切花老化及抗病毒之蘭花品種；抗真菌病害之番茄及蕃椒品種；生產高附加價值成分之水稻品種；抗病、抗蟲之蔬菜品種；耐冷、耐熱之蔬菜品種；具新花色、花型及株型之花卉品種，及具特殊木材品質之林木品種等。這些生技改良的作物品種，除具有較高產值外，更可申請品種、基因或產品專利，未來我們更將進入「基因農場」(gene farming) 的時代，使農業真正邁入永續化，值得大家拭目以待。

前言

農業生產主要依賴土地、水分及空氣等，然而在全球環境巨大變遷下，加上土地漠質化(desertification)、空氣及工業污染等因素，

使土壤、水分及空氣品質等農業生產所依賴之自然資源急遽衰退。因此今後的農業生產需較以往克服更多的土地、水分及空氣等自然資源之限制。

目前世界人口已超過60億，根據人口學家之估計，將於公元2050年超過 100 億。目前世界農耕總面積爲六百萬平方英里，如果單位面積糧食產量沒有提高，至公元 2050 年需要一千五百萬平方英里耕地面積。以目前糧食生產狀況預估，傳統農業將受到土地、環境及經濟等因素之限制，屆時地球有限的耕地面積及農業生產體系，將無法負擔急速增加的世界人口，在可預見的未來，人類將會面臨重大糧食危機，因此必須先未雨綢繆。

傳統農業產量之提高，主要依賴品種改良。1950 至 1960 年間，在菲律賓的國際稻米研究所(IRRI)及在墨西哥的國際玉米及小麥研究所(CIMMYT)的農業學家將矮性(dwarf)基因自日本型(japonica)水稻品種低腳烏尖，導入印度型(indica)水稻品種台中在來一號(Taichung Native 1, TN1)育成世界上第一個半矮性(semi-darwf)的新品種 IR20。相同的，在 CIMMYT 的農業學家，也育出半矮性的小麥品種。具半矮性株型的水稻及小麥品種，具有強稈、不易倒伏，對肥料反應敏感及株型佳、受光態勢良好等農藝特性，配合良好的施肥及水分管理等栽培技術，可顯著提高產量達 50% ，此一農業史上的重大成就，稱爲綠色革命(Green Revolution)。

以小麥、玉米及水稻等世界三大穀類作物爲例，雖然其平均年產量，自 1967 年以來每年均有小幅增加。然而，大多數的農藝學家及育種家均一致認爲，這些作物已達到其產量潛能或生產瓶頸。目前產量的微幅增加，係因栽培技術改進及病蟲害控制得當所致，因此產量很難再有突破，亦即第二次綠色革命很難再發生。今後必須尋求新科技，結合傳統育種技術，方可能使糧食生產有新的突破。

「生物技術」被視爲二十一世紀最重要的科技之一，如何應用此一新興科技，結合傳統育種（一個古老的技術），進行作物品種改良，提高農業生產量或產值，以因應未來重大的糧食需求，已成爲現階段農業研究的首要目標之一。

生物技術之重要性

「生物技術」爲一應用科學，其範圍很廣，泛指經由人爲操作的方式，控制生物生長、發育甚或產生變異等現象的技術。而狹義的生物技術則指，利用組織培養、基因工程及基因轉移等分子生物技術，進行生物品種改良及生產改進的技術。生物技術的應用範圍，涵蓋醫藥、食品、環保及農、林、漁、牧等產業，關係國計民生及人類福祉甚鉅，因此已被公認爲二十一世紀最具發展潛力之明星科技。歐、美、日等先進國家都競相投入大量資源，積極進行生物技術之研究與開發。

目前栽培由傳統育種所育成之大多數作物品種，幾乎已達到其

生產瓶頸，產量很難再提高。如何改良作物對各種環境逆境之忍受性、提高產量及改良品質等特性是利用生物技術進行育種之重要課題。

農業生物技術之可能應用範圍很廣，本文僅針對生物技術在作物品種改良上之應用，比較傳統育種與生物技術育種方法之差異，並以矮牽牛 (petunia) 的磚紅花色品種及水稻抗紋枯病品種之育成爲例，說明如何利用生物技術進行作物品種改良及其可行性。此外，繼以國外農業生物技術育種之發展現況爲例，說明生物技術品種之特性及生物技術育種對未來農業之重要性。

傳統育種法及其限制

傳統育種方法屬於雜交育種，每次雜交即將二親本所有好、壞基因型及性狀合併至其子代，在經由世代選拔去蕪存菁，選出包含所欲改良的性狀之子代植株，因此品種改良主要決定於提供性狀或基因型之父本及母本。傳統育種方法係二親本染色體的重組。除基因突變發生外，二親本所沒有的性狀是無法出現在其雜交子代的，亦即子代性狀不會「無中生有」。因此傳統育種法之品種改良主要受種原變異之限制。雖然，育種所欲引進之性狀可由異種或異屬之種原取得，惟不同種、屬間進行「種間雜交」或「屬間雜交」頗爲困難，其後代分離性狀難以掌握，更因遺傳拖迤(genetic drag)現象導致所欲改良之性狀，不易固定、純化，或與其他不良性狀聯鎖，或易於育種過程遺失等缺點，因此種、屬間雜交育種成果難有大突破。傳統育種方法的原理簡單，惟育種過程耗力費時，以一般禾穀類作物爲例，通常自雜交開始至新品種育成，約需時八至十年。「綠色革命」的盛況很難再發生。親本種原限制及種、屬間雜交困難爲利用傳統育種方法進行品種改良的主要限制因子。

生物技術育種法

利用生物技術進行作物品種改良，稱爲生物技術育種或分子育種(molecular breeding)，事實上生物技術育種是傳統作物育種之延伸，係指利用遺傳工程 (genetic engineering) 技術，將自生體內(*in vivo*)分離或在生體外(*in vitro*)改造之特定基因(gene)或性狀(trait)，利用基因轉移技術(gene transfer techniques)導入缺乏此一基因或特性之目標作物 (target crop) 的育種方法。因此，生物技術育種係屬特定基因的嵌入(insert)，每次基因轉移步驟只將一個，或少數個基因導入目標作物的染色體內，與傳統雜交育種之整個基因組(genome)的合併是不同的。利用生物技術育種法所育成之作物品種，統稱爲遺傳修飾作物(genetically modified crop, GM crop)或轉基因植物(transgenic plants)。

由於所有生物的基因，皆由 ATGC 四個遺傳密碼排列組合而成，

理論上自任何生物，如魚類、昆蟲、微生物、甚至人類所選殖之基因，均可利用基因轉移技術，轉移至植物基因組，使其適當表現。因此，利用生物技術進行作物品種改良，可以突破種原之限制及種、屬間雜交之瓶頸，亦即生物技術育種法可以「無中生有」，創造出原來種、屬內所未有之新性狀或新品種。利用生物技術進行作物品種改良，因爲可以僅將所選定之基因，或包含目標性狀之 DNA 片段嵌入目標作物的基因組內，因此準確性高，其結果更是可以預期的。

雖然，利用生物技術進行作物品種改良，初期需花費許多嘗試錯誤的時間、人力與金錢進行研發。由於生物技術育種每此僅改良少數性狀，若能選用現有優良品種爲材料導入新性狀或基因。一旦生物技術育種系統建立完成，可以縮短育種年限及選拔次數，新品種將可於短期內（單一品種約需三至五年）育成，且品種之更新速度，將遠較傳統育種方法快，所需花費亦遠較傳統育種方法低。

若傳統育種所造成之農業改革稱爲「綠色革命」，則利用生物技術進行育種所產生之農業突破或成就，應可稱爲「基因革命」(Gene Revolution)，目前我們已進入基因革命或利用生物技術育種的時代潮流。可以預見的，未來生物技術育種將迅速取代部分傳統育種所不能扮演的角色，以育成更符合人類整體需求的作物品種。

利用生物技術輔助傳統育種

隨著分子生物技術之迅速發展，產生許多具革命性的技術提供精確的育種選拔工具，可用以偵測基因型輔助育種選拔，使育種家能更有效率的選出優良性狀。例如，結合聚合酵素連鎖反應(polymerase chain reaction, PCR) 及限制酵素片段長度多型性(restriction fragment length polymorphisms, RFLP)等多項分子生物技術所發展出的「分子標誌輔助選拔法」(marker-assisted selection, MAS)，直接進行基因型選拔，可以高準確度的方式，成功的偵測基因型(genotype)並予選拔或淘汰。此一方法取代傳統育種方法之外表型(phenotype)選種，可顯著提高育種效率、縮短育種年限，迅速育成新品種。目前可供應用之分子標誌種類有：限制片段長度多型性；逢機擴大多型性 DNA (random amplified polymorphic DNA, RAPD)；定性序列擴增區(sequence characterized amplified regions, SCAR)；連續重複片段數差異(variable number of tandem repeat, VNTR)；簡單序列重複(simple sequence repeats, SSR)；增殖片段長度多型性(amplification fragment length polymorphism, AFLP)等多種。

分子標誌於作物遺傳育種之應用尚有下列多項：製作遺傳圖譜；基因標定與分離；數量性狀基因座(QTL)之釐定；遺傳與分子遺傳研究；輔助育種選拔進行分子育種；引進基因之追蹤；品種鑑定與專利；偵測遺傳性差異；作物親緣關係研究；作物系統分類分

析；作物基因組演化研究等，其他可能的應用領域正迅速發展中。分子標誌在作物遺傳育種之應用，說明其在未來作物育種扮演重要角色。

爲增進水稻抗病、蟲育種效率，農試所發展「水稻抗褐飛蝨分子育種系統」，此系統利用 RAPD 及 RFLP 等技術，配合抗蟲檢定與傳統遺傳分析，目前並選殖獲得與抗褐飛蝨相關之分子標誌 B4-450。經定序分析開發出具抗蟲基因特異性的 SCAR 分子標誌。利用我們所研發之「核酸快速萃取法」及「核酸快速萃取機」可迅速純化 DNA，配合 PCR 技術，可於短時間內利用分子標誌輔助選種，直接於實驗室內進行抗褐飛蝨之基因型選拔，將分子遺傳技術實際應用於傳統育種中，顯著提高選拔效率與準確性。因此，今後如何繼續加強研發，將日新月異的分子生物技術，直接應用於育種，爲傳統育種家與分子生物學者，所亟需共同解決的課題。

生物技術育種步驟與實例

利用生物技術進行作物品種改良之主要步驟如下：

一、目標基因 (性狀) 之選殖與改造

利用生物技術進行作物品種改良與傳統育種方法相同的是，需先決定所要改良作物之目標性狀，尋找具有此一特性之生物（可能爲作物或其他生物）做爲基因來源，利用基因標記(gene tagging)、據圖選殖(map-based cloning)、功能選殖(functional cloning)及差異表現法(differential display)等分子生物技術選殖目標基因。

二、基因轉殖載體 (vector) 之構築

所選殖之目標基因經各種基因操作技術，接上啓動子(promoter)、促進子(enhancer)或調節子(regulatory element)等 DNA 片段，使目標基因更易於控制與表現後，構築於含有適當選拔標誌(selection marker)或基因之轉殖載體，即可進行基因轉移。

三、將基因轉殖至目標作物

基因轉移的方法很多，主要有基因槍(particle gun)、農桿菌(*Agrobacteria tumefacine*)及電穿孔法(electroporation)等。依據作物種類及再生特性，選擇適當的基因轉移系統，將業經改造構築於載體之基因，轉移至目標作物。經過抗生素篩選、聚合酵素連鎖反應（PCR）、南方(Southern)、北方(northern)及西方(western)型雜交等各種篩檢步驟與方法，選出含有目標基因及表現正常之轉基因植株。

四、轉基因植株 (transgenic plants) 之基因表現與遺傳分析

由於目標基因屬外來基因，可能嵌入目標作物的基因組之任一位置，可能影響原有基因之正常表現。因此，含有目標基因之轉基因植株需經數代的基因表現分析、基因穩定性測試及

遺傳分析，以確定此一外來基因可於世代間穩定表現，方爲成功的基因轉移。

五、轉基因品種之育成與上市

生物技術品種經常包含一外來基因，屬非自然生成作物品種。因此世界各國對轉基因植株之育成及其產品上市過程均有嚴格之規定，以維護現有作物品種之安全，除避免轉基因(transgene)在自然界隨意擴散，更要保障消費者之安全。

一般言之，轉基因品種從育成至上市需經過多層政府認可單位及主管單位之隔離溫室試驗，隔離試驗田之田間觀察，田間試驗，及多年、多地點之性狀、產量試驗及環境風險評估等冗長安全評估過程方可通過命名。此外，生技產品更必須通過衛生管理單位如衛生署之檢驗證實對人畜無害，方可獲准上市。除此之外，生物技術產品更須通過消費者，尤其是保守的衛道人士層層之考驗，方能被大眾接受。

世界上第一個轉基因作物爲抗殺草劑嘉磷塞(glyphosate)之大豆品種 Roundup Ready，係由孟山都公司(Monsato)所育成。此品種經基因轉殖、田間試驗、殺草劑抗性評估及安全評估等測試程序，至通過美國 FDA、EPA 等單位，產品安全性及環境評估等過程，終於在 1996 年正式商品化上市，前後共歷時 14 年。目前美國轉基因品種之育成技術已臻成熟階段，並成爲各農業生物技術公司之經常性工作，育成新品種現僅需五至八年，至今每年都有數十個新品種問世，預計未來將會大量佔有市場。

利用生物技術進行作物品種改良之範例

一、利用生物技術創造新花色之分子育種法

爲使大眾易於瞭解生物技術育種方法，在此以花卉作物之花色育種爲實例，說明生物技術在花色改良之應用。眾所皆知，花色爲決定切花作物產業及商品價值之重要因素。台灣有許多花卉作物，如晚香玉、蝴蝶蘭及百合等，具有花型優美、高貴等高級切花所需優點，但因可供消費者選擇之花色少，而無法大眾化。就花卉作物而言，改變花色，甚至創造新花色，已成爲現今花卉育種之重要目標。

利用傳統方法進行花色育種時，經常因可供選擇利用之花色種原有限，育種家所能育出之花色種類亦受到限制。另一傳統花色育種工作之困難在於，特定育種目標可用之基因有限，即一物種所包含之花色變異有限，又因普遍存在有種間雜交限制，無法直接以傳統雜交方法進行育種。由於控制色素合成之基因數目頗多，且基因間相互作用相當複雜，實際花色育種工作並不容易。雖然已有少數新花色品種係經由誘變或種間雜交而獲得，然而以傳統方法進行花色育種成果有限，進展亦頗爲緩慢。

欲利用生物技術進行花色創造，必須先對目標作物色素生合成途徑基因之功能及作用機制充分了解，探討其色素生合成途徑之生化或分子層次之障礙(lesion)。方能利用分子生物技術，將特定之花色基因，由另一物種分離，再轉移至缺乏此基因之目標作物品種，突破種間雜交之障礙，造新的花色品種。。

以矮牽牛(petunia)磚紅色(brick red)花的育種爲例，在矮牽牛的種原中，並無可生產磚紅色花色素 pelargonidin 的種原可做爲雜交親本。因矮牽牛根本就缺乏一將無色前驅物 dihydrokaempferol 生成磚紅色 pelargonidin 色素的 DFR 基因。因此如欲以傳統雜交育種法育成磚紅色系列之花色品種是絕不可能的。玉米花色素生合成途徑中，正好有此一矮牽牛所需要可生產 pelargonidin 之 DFR 基因。經基因選殖後，Meyer 等人利用農桿菌基因轉移法，將玉米 DFR 基因轉移到矮牽牛，終於育成可生產磚紅色 pelargonidin 之矮牽牛新花色品種，這是利用生物技術育種法進行花色育種之成功首例。就目前生物技術發展迅速情形估計，以生物技術控制、改變甚至創造新花色，將成爲今後花卉作物育種主流之一，相信未來育種家將可以依照消費者之喜好，創造具有新花色的花卉品種。

二、水稻抗紋枯病新品種之育成

理論上，只要有基因可供利用，未來利用生物技術更可針對許多作物性狀進行改良，育出以傳統育種法所無法育成的新品種。以水稻抗紋枯病(sheath blight)之生物技術育種爲例，水稻紋枯病是由病原菌 *Rhyzoctonia solani* 所危害，已知在水稻中並無抗性種原可供利用，而在其他作物亦無有效抗性基因可供利用，因此傳統育種方法對水稻紋枯病之抗性改良可說是束手無策。Phosphinothricin (PPT)是一種氨基酸，其左型異構物(L-isomer) L-PPT 爲一種殺草效果極爲廣泛的殺草劑，普遍使用於多種作物。自微生物 *Streptomyces hygroscopicus* 分離所得的 *bar* (*bial*aphos-*r*esistance)基因，可分解 Bialaphos 殺草劑而具有抗性，目前已有大豆、油菜、玉米等多種具有 *bar* 基因之轉基因作物被育成並已上市。由於 Bialaphos 殺草劑對 *R. solani* 病原菌具有良好的殺菌效果，最近將抗殺草劑 Bialaphos 之 *bar* 基因轉移至水稻，使水稻抗 Bialaphos 殺草劑，再於稻田中噴施 Bialaphos 來抑制 *R. solani* 可達到控制抗紋枯病之效果。這是利用生物技術轉移微生物基因至高等植物，成功的進行作物品種改良範例之一。

由上述二個利用生物技術育成新品種之實例可知，利用生物技術進行作物育種可以突破基因來源之限制，更可將現有的基因轉移到任何目標作物進行品種改良，因此生物技術爲目前可突破傳統育種限制的新興科技。

生物技術品種之特性

生物技術產品具有高產量、高產值、高利潤，低生產成本，含高或特殊營養價值，格外新鮮、耐儲運等優點。此外生物技術品種更因具抗病、抗蟲特性，可減少農藥施用次數、低農藥殘留，因此較爲乾淨。生技產品依作物產品特性及其使用方式，其受益人由生產者到產品上市，可分爲作物栽培者即農民，食品加工業者，及消費者等三個層次來說明。

對農民而言，生物技術產品之優點爲：1.減少施藥次數與劑量，降低曝露於農藥之危險性，2.生物技術品種具有對各種環境逆境、病蟲害及殺草劑等之忍受力，對環境之對抗能力較高，爲「人定勝天」產品，作物因栽培失敗之損失較少；3. 栽培生物技術品種，減少投資成本，且因多收或產值較高，使農作物生產較具效率。在 1997 年調查結果，有 90%以上栽植轉基因玉米的農民，新的生技品種表示滿意，並願意於將來繼續種植生物技術育成的品種。

對加工業者而言，生物技術產品汁優點如下：1.生產較高品質之有效成分(active ingredient)，2. 生產較多、較高純度之有效成分，3.生產較少毒性成分之產品及 4.生技產品具有較新鮮、耐儲運等優點，故可降低加工、純化及儲藏之成本提高收益。

對消費者而言，生物技術產品具有 1.新鮮、全年均可購買得到 2.含較少農藥殘毒，因此乾淨安全、高品質及 3.特殊健康或療效之天然產品等優點。此外，栽培生物技術產品更可因減少殺菌劑、殺蟲劑及殺草劑等農藥之施用，對環境危害降低，間接達到對環保之貢獻，不但可使有機栽培較爲可行，更可使農業永續經營。所以生物技術產品可視爲「環保產品」。

雖然生物技術產品優點頗多，然而目前已知生物技術產品至少有下列缺點：1.大量栽培生物技術品種容易導致生物多樣性(biodiversity)降低，使未來有用種質(germplasm)減少，2. 大量栽培生技品種會迫使昆蟲、病原菌及雜草基因突變，產生抗藥性或成爲超級變種，3. 部分生技品種可能將人工改造基因傳遞至其他相近物種造成對環境及微生物等之危害，4.生技產品可能改變作物原有代謝途徑或生產出未知的成分，對體質易過敏的消費者造成傷害，5. 大量栽培生技產品，可能改變動植物之生態相，影響自然界之生態平衡。

轉基因作物之生物安全性問題

美國康乃爾大學研究人員最近發現，一種在 1996 年經美國環保署核准栽種的基因改造含 BT 抗蟲基因的玉米，會導致一種保育類的帝王蝴蝶之幼蟲死亡，而引起科學家、環保人士及社會大眾的恐慌及高度重視。但該玉米品種的生產商 Monsanto 公司堅稱該玉米安全無虞。全美目前大約有八百萬英畝農地栽種這種轉基因抗蟲玉

米品種，佔全美玉米產量四分之一。

美國政府在五年前核准大量栽植基因工程改造的蕃茄以來，在當今的美國超市貨架上，有超過六成的食品含有基因工程有機體(genetically modified organism，GMO)，生物科技者業更打算在未來使基因改造食物取代目前的傳統食品。

目前美國政府並未要求食品製造商，將食物內所含的基因改造食物告知消費者。歐盟(EU)十五國環境部長在 1999 年 6 月 25 日通過一項行政命令草案，將加強規範基因改造有機體的買賣，此一課題並將成爲歐美未來在世貿組織(WTO)新回合談判的重要議題。可以預料的是，歐盟今後將加強基因改造食品上市前的風險評估，並將訂出基因改造產品之檢測、標示及運送的全球性標準，以保障民眾安全並避免危及全球環境與動植物的安全。因此轉基因植物產品的生物安全性的問題，是未來從事生物技術育種者所必須考慮的，以免歷經多年研究發展的產品無法被社會大眾所接受。

國外之生物技術育種現況

1986 至 1998 年已有超過 60 種農作物之轉基因植株育成，在全世界 45 個國家，共進行 25,000 次以上之田間試驗。可見生物技術育種是如何的蓬勃發展，雖然如此 80% 以上之轉基因植株乃種植在美國。1996 年美國正式核准田間種植轉基因植株，而至 1997 年許多轉基因作物，如含 Bt 基因之抗蟲玉米，抗殺草劑之棉花、大豆，含 CP 基因之抗病毒木瓜、馬鈴薯及南瓜等作物，不需規範就可種植於田間。1998 年在美國進行田間試驗之轉基因植株，主要可分爲下列五項：1.殺草劑忍受性，佔 29.6% ，2.昆蟲抗性，佔 23.8% ，3. 品質改良，佔 20.2% ，4. 抗病性，佔 14.6% ，其中抗病毒，佔 9.9% ；抗真菌，佔 4.7，5. 其他農藝性狀改良，佔 4.8% ，6.另有 6.9% 屬於其他性狀之改良。目前已經商品化之轉基因作物有 1. 抗殺草劑作物：大豆、玉米、棉花、馬鈴薯；2.抗病毒作物：蕃茄、馬鈴薯、南瓜；3.抗蟲作物：玉米、棉花；4.延遲成熟作物：蕃茄；5.改良性狀作物：油分品質改良之油菜及雄不稔玉米品種等。

目前全世界所育成之轉基因作物頗多，依作物種類分項敘述如下：

一、糧食作物: 大麥、玉米、馬鈴薯、油菜、大豆、小麥、水稻等。
二、特用作物: 棉花、亞麻、甜菜、甘蔗、菸草、向日葵等。
三、果樹: 蘋果、梨、奇異果、木瓜、葡萄、胡桃、草莓等。
四、蔬菜作物：蘆筍、花椰菜、甘藍、碗豆、胡蘿蔔、萵苣、西瓜、山葵、胡瓜、芹菜、菊苣、甜椒、蕃茄、白苜蓿、紫花苜蓿等。
五、花卉作物：菊花、矮牽牛、玫瑰、康乃馨、蘭花、天竺葵、大理花等。
六、林木作物：白陽樹、由加利樹等。

美國是擁有最多成功轉基因作物的國家，最主要的轉基因作物

爲大豆、玉米、菸草、棉花、油菜、蕃茄及馬鈴薯等。至 1998 年，全美國已有五千八百萬英畝之轉基因植株種植於田間，且種植面積更有大幅擴增之趨勢。 1998 年全美國已有 50 % ，約 6 百萬英畝的棉花田栽培轉基因植株，其中 4 百萬英畝爲含 Bt 基因之抗蟲植株。栽培轉基因抗棉蛉害蟲之棉花，使原本每年需施藥四、五次，減少至一次，每英畝施藥成本降低 15 美元。此外，目前全美國已有 35 % 的油菜；38% 大豆及 25% 玉米爲轉基因植株。

種植抗殺草劑之轉基因大豆品種，使雜草防治成本每英畝減少 4.5 元，其結果不但減少雜草種子混雜、提高大豆種子之品質，更使大豆不整地耕作(no-till farming)制度提高至總栽培面積之 46% ，使總耕作成本降低 10-20% 。抗蟲玉米品種之栽培，使每英畝產量提高 13.5 bushel，減少農藥施用次數，更可提高玉米品質。

目前市售傳統大豆品種含 14% 飽和脂肪酸、22% 油酸(oleic acid)及 63% 多聚不飽和脂肪酸(poly unsaturated fatty acids)，而遺傳工程育成之高油酸大豆品種含 10% 飽和脂肪酸、83% 油酸及 6% 多聚不飽和脂肪酸，顯著提高油品品質。

國內之生物技術品種改良狀況

國內正積極開發生物技術，鼓勵學者利用生物技術開發新品種，以因應未來農業產業之需求。行政院農委會亦選定利用生物技術開發新作物品種爲目標，支持國內學術界發展農業生物技術，計畫重點有：「作基因轉移技術之開發應用」，利用基因轉殖技術育成新作物品種；及「重要基因與相關分子標誌之選殖」，進行重要作物基因圖譜之建立及與抗病、抗蟲相關分子標誌之篩選與選殖；最近更選定以「利用生物技術育成高附加價值之水稻品種」計畫爲重點目標，希望能於短期內利用生物技術育成具有高附加價值之水稻品種。

國內利用生物技術育種最具成效的爲，中興大學植病系利用農桿菌轉移木瓜輪點病毒之鞘蛋白基因，所育成之抗輪點病毒之轉基因木瓜植株。目前以達田間試驗階段，轉基因植株之抗病性效果顯著，木瓜產量高、果實品質極佳，待通過衛生署「食品衛生管理法」後即可命名上市。

以目前國內生物技術發展現況，預期今後將陸續有：耐儲運之木瓜品種；延緩切花老化及抗病毒之蘭花品種；抗真菌病害之番茄及蕃椒品種；可生產高附加價值(value-added)成分之水稻品種；各種抗病、抗蟲、耐冷、耐熱之蔬菜品種；具新花色、新花型及新株型之花卉品種，及具特殊木材品質之林木品種等轉基因作物品種之育成。

未來生物技術育種的發展方向

今後利用生物技術進行作物品種改良，可朝下列重點努力：創造高附加價值品種(high-added-value-variety)之轉基因作物，或利用植物做爲生物反應器(bioreactor)生產高附加價值產品；育成具環保特性之抗病、抗蟲、抗殺草劑及耐重金屬等作物品種，減少農藥之施用；育成具耐旱、耐寒、及耐熱等具環境忍受性之作物品種，減少栽培作物之損失。未來生物技術可以「整株利用型品種」(whole-plant-use-variety)爲育種目標，方能有效提高作物生產效率，解決糧食短缺危機。

爲因應生物技術發展，避免生物技術產品侵犯他人智慧財產權(IPR)，我們必須擁有自己的基因與技術，方能真正落實試驗研究成果。因此可供植物利用的基因之選殖極爲重要，未來植物需要之基因種類至少有下列諸項：

一、抗病原菌(病毒、細菌、真菌、線蟲)基因：鞘蛋白基因 (coat protein)，幾丁質酵素(chitinase)，醣解酵素(β-glucanase)，抗真菌蛋白 AFP（antifungal protein），抗性基因(R genes)及防禦基因(defense gene) 等。

二、抗蟲基因：BT 基因，蛋白質抑制因子 (protein inhibitor)，如胰蛋白抑制因子 (trypsin inhibitor, TI)，費洛蒙 (pheromones) 等。

三、抗殺草劑基因：如抗固殺草(glufosinate)，嘉磷塞(glyphosate)，達拉本(dalapon)，sulfonylurea，imidazolinone，bromoxynil 等殺草劑之抗性基因。

四、品質基因：蛋白質、油分、澱粉合成、甜味、香味、特殊代謝物，如維生素、胡蘿蔔素(β-carotene)等。

五、性狀基因：延緩老化、控制開花、早熟、花色、花型、株型等。

六、環境相關基因：耐寒、耐熱、感光、耐旱、抗紫外線、耐重金屬、污染等基因。

七、工業基因：賀爾蒙、垃圾分解、生物塑膠、木材纖維、化妝品、色素等相關基因。

八、調節基因：可調控、可誘導、高效率或組織特異啓動子等基因。

九、醫藥基因：生產紅豆杉醇、皂甘、黃酮醇等基因。

未來生物技術之育種應以育成「整株利用型品種」(whole-plant-use-variety)、具高附加價值品種(high-added-value-variety)、具環保特性品種及具環境忍受性品種爲目標。

結語

因應二十一世紀農業需求，無論各階層之農業研究人員，均需學習如何將生物技術納入自己工作領域，應用生物技術提高研究效率或加速研究成果，方能符合時代潮流。利用生物技術進行作物品

種改良已是一必然趨勢，而如何利用生物技術及整合傳統育種技術，乃生物技術育種能否成功之關鍵。此外，利用生物技術進行作物品種改良必須注意：如何提高生物技術產品之生物安全性(biosafety)，如何維持現有作物之生物多樣性(biodiversity)，避面生物遺傳變異的流失；及如何降低生技產品對農業環境與生態之衝擊，方能使地球農業能永續經營。經生物技術改良的作物品種，除具有較高產值外，更有品種專利、基因專利或產品專利之保護，應予尊重。在生物技術引導下未來我們將進入「基因農場」(gene farming) 的時代，使農業真正邁入永續化，值得大家拭目以待。

參考文獻：

葉錫東。1999。轉基因作物應用於植物保護之現況。植物保護學會會刊。4：87-106。

Cai, D., Kleine, M., Kifle, S., Harliff, H. J., Sandal, N.N., Marcker, K. A., KleinLankhorst, R. M., Salentijn, E. M. J., Lange, W., Wyss, U., Grundler, F. M. W., and Jung, C. 1997. Positional cloning of a gene for nematode resistance in sugar beet, Science 275:832-834.

Dixon, B. 1994. Keeping an eye on B. thuringiensis. Bio/Technology. 12: 435.

Gressel, J. 1997. Burgeoning resistance requires new strategies. Weed and Crop Resistance to Herbicides, Dordrecht; Boston, Mass., Kluer Academic pp. 3-14.

Lin, W., Anuratha, C. S., Datta, K., Potrykus, I., Muthukrishnan, S., and Datta, S. K. 1995. Genetic engineering of rice for resistance to sheath blight. Bio/Technology 13:686-691.

Losey, L. E., Rayor, L. S., and Carter, M. E. 1999. Tranagenic pollen harms monarch larvae. Nature 399:214.

Mann, C. C. 1997. Reseeding the green revolution. Science. 277:1038-1043.

Mann, C. C. 1999. Crop scientists seek a new revolution. Science. 283:310-314.

Meyer, P., Heidmann, I., Forkmann, G., and Saedler, H. 1987. A new petunia flower colour generated by transformation of a mutant with a maize gene. Nature 333:677-678.

Potrykus, I., Bilang, R., Futterer, J., Sautter, C., Schrott, M., and Spnagenberg, G. 1998. Genetic engineering of crop plants. In "Agricultural biotechnology" Altman, A. ed., pp.119-159. Marcel Derkker, Inc. NY, USA.

Sony, W. Y., Wang, G. L., Chen, L. L., Kirn, H. S., Pi, L. Y., Holsten, T., Gardner, J., Wang, B., Zhai, W. X., and Zhu, L. H. 1995. A Receptor kinase-like protein encoded by the rice disease gene, Xa21. Science 270:18-4-1806.

Thompson, C. J., Movva, N. R., Tizard, R., Crameri, R., Davies, J. E., Lauwereys, M. and Botterman, J. 1987. Characterization of the

herbicide-resistance gene *bar* from *Streptomyces hygroscopicus*. EMBO Journal 6:2519-2523.

Wang, C. S., You, S. J., Tseng, T. H., Cheng, C. H., Chern, C. G., Lin, J. L., and Kuo, Y. C. 1996. Development of RAPD markers linked to brown planthopper resistance gene from rice mutants. Proceeding for The 5th international rice biotechnology symposium, Taipei, Taiwan.