植物基因轉移

曾夢蛟

摘　要

近年來生物技術快速發展，已成爲改良重要經濟作物的主要方法之一。生物技術開啓了一個契機，讓我們可能創造出任何適合特定農業上需要的植物。在 1983 年，首度有外來基因轉殖到植物且正常表現的報導。此劃時代的成果，開發了往後許多對植物基因分析及調節基因表現的研究；在實際應用上，基因轉移能獨特、有效地改造作物。目前已研發出許多的植物基因轉移方法，其中少數方法也已成功地應用於許多作物。植物基因轉移方法有：將分離的 DNA 直接轉移到植物原生質體、細胞或器官的直接基因轉移法，例如 PEG (polyethylene glycol) 法、電穿孔 (electroporation)、微量注射法 (microinjection)、鉅量注射法 (macroinjection)、花粉管途徑 (pollen tube pathway) 等方法；將 DNA 沾粘到金或鎢粒子，再利用粒子鎗 (particle gun) 打擊到植物組織的方法；以及利用土壤中的農桿菌 (Agrobacterium) 之自然基因轉移特性的農桿菌法。本報導簡要的回顧到目前爲止有關植物基因轉移的方法、策略及成果，並探討將來植物基因轉移研究的方向。集中在抗殺草劑、抗病蟲害、延緩後熟、改善營養成份、改變花色或植株形態及耐環境逆境之植物基因轉移等項目，加以探討。

關鍵字：生物技術、基因轉移

國立中興大學園藝學系教授

一、前　言

植物生物科技近年來受到各界的關注，因爲它將是目前與未來開發農藝、園藝、食品科學及醫藥工業的重要依據。1980~1990 年代早期，生物技術應用在植物上的研究，使得一些基因被分離及選殖出，提供了瞭解植物基因調控及在分子層次上調節複雜代謝過程的方法，並因而創造出具有獨特性及嶄新的轉殖植物。未來的十年，有關於植物生長、發育與合成經濟上有用物質的基因及其生化上的知識，將會大量增加。並藉由研究基因和基因產物之功能及特性，對植物生長發育的調控會有一全盤的了解。因而設計出新方法，將新基因轉移到許多不同的植物物種。

表一是美國 1992~2002 年之生物科技市場值，包括醫藥，檢驗試劑，農業等。農業的生物科技， 1992 年的市場值爲 7 千萬美元，預估到 2002 年會增加到 14 億美元（王， 1993）。此市場值比起醫藥，檢驗試劑或許少一點，但是計算其每年變動率有 35% ，是各項目中最高的。此還不包括農業生物科技中的一些附屬產品；例如，食品及畜牧用醫藥等的利用。如果將其一併考量，到 2002 年，其市場值大約會有 45 億美元。其中生物性農藥約佔 20% ，基因轉殖植物的種子約佔 50%，動物醫藥（包括疫苗、檢驗市試劑等）約佔 30%（王，1993）。因此 ，基因轉殖植物在整個農業科技，是很被看好與期待的。

世界各國過去幾年在植物基因轉移有很輝煌的成果，許多基因轉移作物都已進入田間試驗的階段，一些並已生產上市銷售。本報導即簡要的回顧到目前爲此植物基因轉移在抗病、抗蟲、殺草劑、延緩後熟、改善品質、改變花色或植株形態及抗環境逆境的成功例子，並探討其方法、策略及將來的發展方向。

二、世界各國目前植物基因轉移之研究概況

表二爲到目前爲止，基因轉殖成功之作物包括單子葉植物之蘆荀、玉米、水稻等及雙子葉植物之豆科、茄科、蔬菜、果樹作物、特用作物（棉花、亞麻、甜菜、向日葵）等都有報導，已經有蠻多作物的基因轉移技術已開發成功 (Kung and Wu, 1993) 。這些生物科技作物在 1986 年到 1993 年，世界各國申請進行田間試驗的轉殖作物，以馬鈴薯、油菜、番茄、玉米與煙草爲最多的。從最早期的基因轉殖模式植物－番茄、煙草及馬鈴薯，到重要的經濟作物，例如水稻、大豆、玉米等，均有基因轉殖作物的田間試驗 (Dale, 1995)。從國家來看，自 1986 年到 1993 年，總計有 31 個國家已在進行基因轉殖作物的田間試驗，其中以美國爲最多，七年間進行了 385 個田間試驗，其次爲法國與加拿大，分別爲 138 及 115 個田間試驗

(Dale, 1995)。台灣分別於 1996 與 1997 年，經農委會正式核准抗木瓜輪點病毒(PRSV) 之轉殖木瓜及抗胡瓜嵌紋病毒 (CMV) 之轉殖番茄，進行田間試驗。

已在進行基因轉殖作物的田間試驗，所改變的植物特性包括有：抗殺草劑、抗蟲、抗病毒、抗細菌性病害、抗眞菌性病害及改善品質（例如延遲後熟、增加產量、改變內含物、及耐逆境等）及標誌基因等特性（表三）。這些基因轉移植物的試驗中以抗殺草劑爲最多，其次是抗病蟲害及抗病毒之研究。目前在美國已核准商品化上市的基因轉殖作物計有：抗蟲的玉米、棉花、及馬鈴薯，抗殺草劑的油菜、大豆、玉米及棉花，抗病毒的南瓜，具有特別油脂成份的油菜，延遲後熟的番茄，與增加果膠成份的番茄（表四）(Thayer, 1997)。

三、抗病蟲害之基因轉移

由眞菌、細菌及病毒等病原菌所造成的病害與蟲害，是導致全球作物減產的主要因素之一。所有植物與生俱來，都具有保護自己的抗病蟲害之自然機制。但現代農業所栽培的品系通常缺乏抗某種病蟲害的能力。雖然抗病蟲害之特性，通常都會合併到傳統的植物育種計畫中，且也有一些成功的例子。但有效的抗一些嚴重的病蟲害仍然缺乏。這也是現代農業生產上仍然使用大量的化學藥劑，而很少使用生物防治來防治病蟲害的原因。利用化學藥劑來防治病蟲害，每年在全球的市場上約佔87億美元。然而即使使用殺蟲劑，全球農業因病蟲害的損失仍有 12~13% (Boulter, 1993)。

九十年代植物基因轉移的發展，證實利用基因工程來改善植物抗病蟲害是可行的。一些具有農業價值的作物品種，利用基因轉移抗蟲及抗病毒病原基因已經研發成功，且快速朝向商品化的開發。抗眞菌及細菌性病害的基因轉移作物之研究的進展較爲遲緩。然而在過去五年已有抗眞菌及細菌病害的轉殖植物之研究報導。更者，選殖抗病基因及對眞菌、細菌性病原菌與作物之間相互作用的了解，已爲將來研發出具有抗病性的作物奠定了良好的基礎。

1. 抗蟲害

過去幾年利用基因轉移育成抗蟲作物，有很大的成就。第一個抗蟲菸草及番茄的報導分別在 1987 和 1988 年 (Fischoff et al., 1987; Vaeck et al.,1988)。主要是利用蘇力菌 (Bacillus thuringiensis) 胞子的 δ-endotoxins 蛋白毒素，經昆蟲幼蟲攝食後，昆蟲中腸的高 pH 值之環境，可使毒蛋白結晶活化，而使昆蟲的腸麻痺及穿孔，因而死亡。目前已分離出約 60 種的蘇力菌毒素基因 (BT)，轉譯成 26 種不同

的晶體蛋白，可分爲六大類。已有報導，利用農桿菌法轉移 BT 基因至菸草 (Vaeck et al.,1988) 、棉花 (Perlak et al., 1990) 、蔓薑屬蔬菜 (尤等 , 1996; 張與曾 , 1997) 、馬鈴薯 (Perlak et al., 1993) 、玉米 (Koziel et al., 1993) 、水稻 (Fuzimoto et al., 1993) 及番茄 (Vaeck et al.,1988) ，成功地獲得抗蟲植株。在 1987 和 1988 年，轉殖蕃茄的田間試驗，顯示顯著的減少田間蟲害。但所表現的蛋白質量太低，而被評估爲沒有商品價值。此問題已經由重新設計合成 BT 基因而得解決，較野生型的基因增強了 100 艹義潔穌 { (Perlak et al., 1991) 。抗蟲的玉米、棉花、及馬鈴薯目前都已上市銷售。

在表現 BT 蛋白的抗蟲作物之開發，積極朝向市場商品化的同時，目前的研究也積極朝向非 BT 蛋白做爲防治蟲害之用。幾個源自於植物的殺蟲蛋白，例如 lactins 、 amylase inhibitors 、 proteases inhibitors 等，當昆蟲消化高劑量時，能阻礙昆蟲生長與發育。將豇豆種子內之胰凝乳蛋白酵素抑制物 (chymotrypsin inhibitor, CpTI) 基因 (Hilder et al.,1987) 、 cowpea 之 cowpea trypsin inhibitor (CPT1) 基因、馬鈴薯之 wound-induced protease inhibitors (PI-I 及 PI-II) 基因 (Hilder et al., 1987) 轉殖至菸草中，均獲得抗蟲植株。將菜豆之 α - amylase inhibitors(α -AI) 基因，轉殖到豌豆種子中大量表現，可有效地防治在田間及種子貯存時的蟲害 (Shade et al., 1994; Schroeder, et al., 1995) 。但上述研究中，並未具有像 BT 那麼有效的殺蟲效果。從鏈絲菌 (streptomyces) 中分離出具有 cholesterol oxidase 活性的殺蟲蛋白基因，轉殖到菸草可抗棉鈴象鼻蟲 (Purcell et al., 1993) 。在許多研究人員致力開發不同的新殺蟲蛋白之努力下，將來利用農業生物科技來防治病蟲害是很有展望的。

2. 抗毒素病

抗病毒植物的基因工程主要是利用來自病毒本身的基因，包括外鞘蛋白 (coat protein, CP) 基因、replicase 基因、衛星 RNA(satellite RNA) 基因及反義 RNA 基因。第一個轉殖菸草抗 TMV(tobacco mosaic virus) 的基因，是來自表現 CP 的基因。抗 TMV 的菸草植物於 1987 年進行田間試驗，顯示轉殖植物有很高的抗病性 (Abel, et al., 1986) 。隨後在轉移 CP 基因的瓜類、水稻、木瓜、馬鈴薯和甜菜等作物，都能有效地抗病毒爲害 (Fitchen and Beachy 1993) 。 CP 基因的機制包括防止病毒 uncoating ； CP 與病毒 RNA 交互作用影響轉譯作用 (translation) ； CP 在細胞與細胞間及長距離病毒擴散有關。抗 ZYMV (zucchini yellow mosaic virus) 及 WMVII(watermelon mosaic virus II) 的黃色南瓜 "Freedom II" 目前已上市 (Tricoli et al., 1995) 。商業上生產此南瓜將使農民減少使用殺蟲劑來防治昆蟲擴散

病毒。在將來幾年可預見，具有 CP 基因抗不同毒素病的馬鈴薯、胡瓜及蕃茄品系將會陸續上市。

TMV 、 PVY(potato virus Y) 及 PLRV (potato leafroll virus) 的 replicase 已被証實具有高抗病毒效果 (Wilson, 1993; Mueller et al., 1995) 。 Replicase 所媒介的抗性主要是由於具有相同序列的 RNA ，可以使 RNA 降解。初步實驗顯示沒有經過修飾全長的基因較經過缺失修飾的 replicase 基因具有廣泛性，但有較差的專一抗性效果。目前，在田間 replicase 基因的研究還不多。轉 PLRV 之全長 replicase 基因到馬鈴薯，已有初步的結果，在田間的試驗顯示抗 PLRV 的感染 (Kaniewski, 1994) 。

轉移 TRSV(tobacco ring spot virus) (Gerlach et al., 1987) 及 CMV (cucumber mosaic virus) (Harrison et al., 1987) 之衛星 RNA 到菸草植株，轉殖植株具有抗病毒之特性。轉殖反義 RNA 可使病毒基因與之相結合且無法表現，因此可獲得抗 TMV 之植株 (Powell et al., 1989) 。此外，轉殖菸草表現有雙重作用的移動蛋白 (dysfunctional movement protein) 可抑制毒素入侵的擴散；此主要是阻礙細胞與細胞間的移動 (Lapidot et al., 1993) 。目前還不完全了解利用源自病毒抗性的機制，在田間長期使用是否仍具有效力，開發長效及廣效性的抗各式病毒，是今後要努力的目標。

3. 抗真菌性病害

利用基因工程防治眞菌病害，主要所採取的對策，是讓植物大量表現分解眞菌細胞壁的酵素、抑制眞菌活性的蛋白或化學物、感應病原菌感染及啓動植物防禦系統之訊息傳遞蛋白或 polypeptides 、或活化氧化物 (active oxygen species) ，使得病原菌死亡或隔絕其感染及傳播途徑 (Shah et al., 1995) 。

分解眞菌細胞壁的酵素 (chitin 及 β-1,3-glucan) 已在植物中廣泛被研究；此類酵素的基因也已被選殖。早期研究顯示轉移細菌 chitinase 基因可抗眞菌性病原菌；最近證實轉殖煙草及蕃茄同時大量表現細菌 chitinase 及 glucanase 可協同加強抗病效果 (Zhu et al., 1994) 。在轉殖煙草同時表現大麥 chitinase 及 glucanase 基因，也得到相同的效果 (Jach et al., 1995) 。

最近的研究顯示抑制眞菌活性的蛋白，例如 chitin-binding protein 及ribosome-inactivating protein (RIP) ，具有抗眞菌的效果。轉移大麥的 RIP 及 chintinase 基因到煙草，其轉移植物有很高的抗眞菌效果 (Jach et al., 1995) 。低分子量的抗微生物化合物稱之爲 phytoalexin ，已被認爲在抗眞菌及細菌性病原菌扮演著重要的角色。將來自葡萄的 stibene synthase 基因 (產生 resveratrol) 轉移到煙草，顯

著的抗 Botrytis cinerea 感染 (Hein et al., 1993) 。因此，利用外來 phytoalexin 基因，轉移到作物，以增加抗病性是將來的研究重點。

與抗性系統認知 (systemic acquired resistant, SAR) 有關的病原相關 (pathogenesis-related, PR) 蛋白質，例如 PR1-a ，在轉殖煙草大量表現可抗 2 種 oomycete 病原菌 (Alexander et al., 1993) 。大量表現煙草的 PR-5(osmotin) ，顯著的延緩 Phytophthora infestant 所造成的壞疽 (Liu et al., 1994) 。因此同時轉移幾個 PR 基因，可能會研發出商業上有用的抗眞菌轉殖植物。除了 PR 蛋白外，許多的抗眞菌 polypeptides ，稱爲 plant defensins ，也已被發現具有殺眞菌的效果。例如胡蘿蔔的 Rs-afp2 轉殖到煙草植物可抗 Alternaria longipes 。其它植物的 defensins ，還包括來自大麥及小麥的 thionin ，其它作物的 lectin 及 lipid-transfer proteins (Brears and Ryals, 1994) 。

活性氧物質 (例如 H_2O_2) 在預防病原菌感染上扮演了一個重要的角色。轉移 glucose oxidase 到馬鈴薯，加強 H_2O_2 的產生，已證實可抗眞菌性及細菌性病原菌 (Wu et al., 1996) 。因此提高植物的活性氧物質，可能是使植物耐多樣性病害的可行途徑。

4. 抗細菌性病害

抗細菌性病原菌之植物基因工程的研究進展緩慢。最近選殖出幾個抗細菌性的基因，例如抗阿拉伯芥的 Rps2 (Bent et al., 1994) 及蕃茄的 Pto 基因 (Martin et al., 1993) ，可提供我們一個植物和細菌間相互作用之分子層次上的了解。這些抗病基因屬於 hypersensitive response (HR) 相關基因。第一類的 HR 相關基因爲 serine/threoine protein kinase(例如蕃茄的 Pto 基因) ，顯示其與訊息傳導過程有關 (Martin, et al., 1993) 。另一類的 HR 相關基因之蛋白都具有 leucine-rich-repeats (LRR) (例如蕃茄的 Cf9 基因) ，顯示蛋白質間相互作用的機制與扮演接受者的功能 (Staskwawicz et al., 1995) 。

轉移噬菌體的 T4 lysozyme 基因到馬鈴薯球可抗 Erwinia ，是利用非源自植物的抗細菌蛋白質的例子 (During et al., 1993) 。轉移大麥的 α -thionin 到煙草，顯著增加抗細菌性病害 Pseudomonas (Herbers et al., 1992; Anzai et al., 1989) 。也有轉移毒素不活化酵素基因成功的報導，例如轉移 tabtoxin-specitic-acetyltransferase 到煙草及轉移 toxin-resistance ornithine carbamoyltransferase 到煙草及菜豆，有抗細菌性病害的效果 (Carmona et al., 1993) 。

四、抗殺草劑

利用生物技術育成抗殺草劑作物是植物基因轉移研究工作上最早成功的例子。抗殺草劑基因與殺草劑之作用機制有密切的關聯。目前已篩選到抗殺草劑基因可分成五大類：*1.*抑制乙醯乳酸合成酵素 (acetolactate synthase, ALS) 的殺草劑，包括抗 chlorsulfuron 的 csrl 基因、抗 imidazolinone 的 imr 基因；*2.*抑制 5-enolpyruvyl-shikimate-3-phosphate 合成酵素 (EPSPS) 的殺草劑，包括抗嘉磷塞 (glyphosate) 的 aroA 基因、抗膦蔑麻鹼 (phosphinothricin, PPT) 的 bar 及 pat 基因；*3.*抑制光合系統II電子傳遞的殺草劑，包括抗 bromoxynil 的 bxn 基因、抗草脫淨 (triazine) 的 psbA 基因、抗 phenmedipham 的 PMPH 基因；*4.*競爭 Auxin 受體的殺草劑，包括抗 2,4-D 的 tfdA 及 dhfr 基因；*5.*干擾類胡蘿蔔素的形成的殺草劑，包括抗 norflurazon 的 crt-1 及 pds 基因 (葉等 , 1995) 。

利用生物技術，將抗殺草劑基因導入作物之中，主要由三個可能的機制，獲得抗性：⑴改變標的基因產物，⑵改善解毒機制，及⑶基因大量表現 (Dyer et al., 1993; Mazur and Falco, 1989; Hinchee et al., 1993) 。轉移上述基因到作物已有許多報導，在許多作物也已獲得抗各式殺草劑的轉殖植株。其中抗 Roundup (glyphosate類) 的油菜及大豆、抗 bromoxynil 的棉花與抗 gluphosinate 的油菜及玉米都已上市銷售。

此外，在研究抗殺草劑基因轉移至植物的過程中，更發展出以抗殺草劑基因，做爲作物基因轉殖時的篩選標誌基因之用。利用抗殺草劑基因，當做篩選標誌基因，而以殺草劑作爲篩選藥劑，適合用在單、雙子葉植物在基因轉移時的篩選。以 bar 基因做爲篩選標誌基因，用膦蔑麻鹼當做篩選藥劑，可以成功的用在燕麥 (Somer et al. 1992) 、小麥 (Vasil et al., 1992; 1993; Nehra et al., 1994) 及黑麥 (Castillo et al., 1994) 等作物的轉殖植株之篩選。以 aroA 基因爲篩選標誌基因，嘉磷塞爲篩選藥劑，可以篩選大豆、小麥等轉殖植物。此外，以 csr-1 、 bxn 、 psbA 、 tfdA 等基因，做爲標誌基因，分別以硫醯尿素、 bromoxynil 、草脫淨及 2,4-D 做篩選藥劑，進行轉殖植株的篩選，可以提高轉殖系統的效率 (Wilmink and Dons, 1993) 。以 EPSPS 基因，做爲篩選標誌基因，嘉磷塞爲篩選藥劑，在馬鈴薯轉殖植物的篩選，已成爲例行的方法 (Wu et al., 1995) 。

五、延緩老化與後熟

許多果實及蔬菜的成熟是藉由乙烯來調控。調節果實內乙烯的生產，是用來調

控果實成熟及增加貯櫃的壽命的方法。基因工程所採取的對策主要是導入與乙烯生合成途徑中的二個關鍵性酵素， ACC 合成酵素與乙烯合成酵素 (ethylene forming enzyme, EFE) 的反義基因，因而抑制乙烯的生成。Oeller et al. (1991) 首先轉殖反義 ACC 合成酵素到番茄中，發現番茄成熟果果實不轉色，但是外加乙烯或丙烯仍可轉色後熟。同樣的轉殖反義 EFE 合成酵素到番茄中，亦觀察到成熟果轉色較慢 (Hamilton et al., 1990) 、而且葉片乙烯生成量少、植株老化較慢、甚至果實不轉色 (Picton et al., 1993) 。目前，番茄及洋香瓜都已育成延緩後熟之品系 (Ayub et al., 1996) 。再者，將此理念應用到花卉作物，在矮牽牛及康乃馨之轉殖植株，均可延長其開花日數 (Wilkinson et al., 1997) 。

細胞質地的改變主要是細胞結構或細胞間隙產生變化所致，緊接著會引起果實軟化與老化，而聚半乳糖醛酵素 (polygalacturonase, PG) 則爲其關鍵酵素。將反義的 PG 基因轉移到番茄中可得到軟化較慢之果實，而果實著色、風味、乙烯生成量未有變化 (Sheehy et al., 1988; Smith et al., 1990) 。第一個基因工程作物，銷售到市場的即是，轉殖抑制 polygalacturonase 表現的 FLAVR SAVRTM 番茄。

六、改善品質

種子是許多植物採收後最有價值之部分。因此在種子貯存蛋白基因上有許多的研究。改善種子貯存蛋白，對於許多開發中國家會有許多幫助。在過去幾年，植物基因工程研究大多集中在探討油脂及澱粉之合成、代謝與在種子貯存之機制，以及碳素參與澱粉、油脂及蛋白質貯存型式之形成。澱粉、油脂及蛋白質，做爲食品及工業原料之用途，使得它們一直成爲研究的焦點。導入一個 E. coli 突變的 ADP-glucose pyrophosphorylase 基因到馬鈴薯，顯著的增加薯球澱粉的累積 (Kinney, 1994) 。導入豌豆突變的澱粉支鏈酵素 (starch-branching enzyme) 基因到馬鈴薯，改變直鏈澱粉 (amylose) 及膠澱粉 (amylopectin) 之比例與澱粉的特性 (Martin and Smith, 1996) 。導入穀蛋白 (glutenin) 基因到小麥，改變其種子蛋白的組成，此對改善麵包品質將會有很大的幫助 (Blechl and Anderson, 1996) 。導入脂肪酸去飽合酵素 (fatty acid desaturases) 基因到油菜，改變其油脂組成份 (Voekler, et al., 1992) 。可以想像，在不久的將來，許多作物品系具有各式脂肪酸及不同比例油脂組成份，將會被研發出來。

基因轉移的技術，對植物提供了可以累積外來的蛋白質於根及葉之可行性，因而改善了植物的品質，甚至能提供一個新的醫藥來源。肝炎病毒基因轉移到煙草及馬鈴薯，已有報導 (Johnson, 1996) 。此轉殖馬鈴薯餵食老鼠，老鼠獲得免疫效果

。以植物做爲生產高價值蛋白的廉價來源，將是可預期的 (Ma and Hein, 1995; van-Rooijen and Moloney, 1995)。此將對醫藥工業提供一個新的契機。

七、改變花色、花型或植株形態

傳統育種藉由連續雜交及選種來改變花卉，有其限制，例如從未育成一個藍色的玫瑰或橘色的矮牽牛。但導入個別基因到植物體內的技術，使得開發出具有創新美學特性的花卉品種變成可行的。形成花朵色素常見的化合物爲花青素 (anthocyanin) 。在花青素生合成的途徑中，苯丙胺酸經由 CHS(chalcone synthase) 、CHI(chalcone isomerase) 及 DFR(dihydroflavonol 4-reductase) 等三個關鍵酵素，控制合成天竺葵素 (pelargonid) 、菊色素 (cyanidin) 、以及飛燕草素 (delphinidin) 。因此可藉由遺傳工程的方式改變這些酵素的量以改變色素及變化花朵色彩。最近利用互補 mRNA 、反義 mRNA 或是插入關鍵酵素基因以增加表現在矮牽牛及金魚草花色的改變上，已有顯著的成果。將反義的 CHS 基因導入煙草、矮牽牛中，花冠 (corolla) 、花管 (tube) 有明顯的顏色變化，但是花藥的顏色卻沒有改變 (Krol et al., 1988) 。將反義的 DFR 基因導入矮牽牛中，可抑制天竺葵素的生成 (Huits et al., 1994) 。將 CHS 基因轉入矮牽牛中，發現顏色更多樣化，花冠、花管、花藥的顏色也有變化 (Blokland et al., 1994; Martin et al., 1993) 。將反義的 CHS 導入金魚草中，金魚草的花冠皆有不同層次的變化 (Martin et al., 1991) 。去年已有報導，棉花經過基因轉移，開出來的花即是黑色、褐色、藍色、或是紅色 (Francisco, 1996) 。一般來說供紡織業利用的棉花都是白色，因爲白色棉花的產量高，纖維質佳，再經染色成其他顏色。經基因轉移之棉花也具有相同優點，此棉花大約在明年即可開始商業生產。藉由基因的調節常常有出乎意料的顏色出現，因此創造出新花色及多樣式的花卉作物，將是指日可待。

近年來，很多研究開始試圖了解控制植物器官 (花、葉、根) 發生的基因及調控器官大小，數目、形狀樣式及功能的基因 (Couplan, 1995) 。最近，導入阿拉伯芥幾個與器官形成有關的基因到矮牽牛及康乃馨之研究，顯示創造出多辦花朵及改變形態的可行性。導入與光敏素 (phytochrome) 合成有關的基因到煙草之研究，顯示調解植株高度及產量的可行性 (Robson et al., 1996) 。探討荷爾蒙及光敏素是如何發生作用的研究，將會對未來植物的改進有很大的幫助。將來可藉由轉殖的基因，調控植物對特殊環境或化學刺激之反應，創造出嶄新外表型的植物。

八、抗環境逆境之作物

植物的外表形通常是基因型及環境交互作用的結果。植物的發育受到光、溫度、水、pH、鹽分、養分及毒物質的影響。植物對於逆境的忍受性增加，可以擴大栽培的地域、減少環境逆境危害及穩定農產品的生產。目前針對耐逆境研究的主題非常的多，如耐熱基因－熱休克蛋白及與代謝相關的基因 (transketolase)，耐寒基因－抗凍蛋白基因及脂肪酸不飽和基因，耐重金屬基因－鎘結合蛋白基因，耐淹水基因－酒精脫氫酵素，耐鹽分基因－膽鹼脫氫酵素 (choline dehydrogenase) 等等。近年來更朝向綜合性的逆境研究如 SOD(superoxide dismutase)、AP(ascorbate peroxidase)、GR(glutathione reductase)、catalase 等基因。將與耐逆境有關之基因，轉移到作物，以增加其耐逆境的能力之研究報導，也非常地多。舉例如下：將熱休克蛋白基因轉殖入阿拉伯芥 (Lee et al., 1995; 1996)，可增加其耐熱性；將 SOD 基因轉殖入煙草 (Bowler et al., 1991) 及番茄，可較對照組增加對二氧化硫、殺草劑及臭氧的逆境；轉移阿拉伯芥葉綠體中與膜磷脂醯甘油脂肪酸 (phophatidylglycerol fatty acid) 合成有關的基因 (Murata et al., 1992) 或轉移 cyanobacterial 的脂肪酸去飽合酵素 (desaturase) 基因 (Ishizaki-Nishizawa et al., 1996)，可獲得脂肪酸不飽合程度較高之耐寒煙草；轉移 E. coli 的 choline dehydrogenase 基因，可使煙草增加耐 NaCl 的能力 (Lilius et al., 1996)。

目前，最急需要的是，轉移能夠減少環境逆境危害的基因到熱帶作物，此將可幫助舒解熱帶地區對食物之匱乏。同時利用基因工程開發出植物更新(phytoremediation) 技術，利用植物抽出、根系過濾及植物穩定性來吸收及過濾土壤中之重金屬污染及毒害物質，以挽救日益惡化的生態環境，將是克不容緩的工作。

九、結　語

當植物生物科技產品開發出來，工商業及社會必須評估大衆之接受性及消費者之福利。生物科技產品將成爲研究科學家、工商業投資者、政治家及立法人員探討的一個重要課題。將來的十年，很可能重要作物基因組將完全被定序，且大部分調節植物發育的基因都會被分析；抗農業上重要的蟲害、菌害與病毒的基因將會被分離，且應用於農業上；商業上有用油類，蛋白質和澱粉的種子，將會被開發出來。因此許多嶄新的植物，將會被創造出來，提供消費者及工商業一個新的選擇。消費者之反應及國家所訂之法律將會決定，轉殖基因產品是否被接受。轉殖基因產物的道德倫理與食品安全的爭辨將會繼續持續下去 (Nasto and Lehrer, 1997)。明確的

規範轉殖基因產品的使用及生產與教育社會大衆正確的基因轉殖觀念，是同等重要的。此對於利用生物技術，改善人類生活品質的機會，是很重要的。

爲了發展成一個對環境友善的農業，農業生物技術的發展必須朝向：降低作物生產成本，減少施用化學藥劑（農藥、肥料），增加作物對抗環境逆境的的抗性－乾旱、高溫、低溫、酸或鹼土、病蟲害，且必須在市場上提供一個優良品質的農產品。藉由植物基因轉移與育種技術，可針對特定的作物解決以上所有的需求。

參考文獻

1. 王文山。 1993 。農業技術產業的現在與未來。生物技術醫藥產業透析 1(6): 2-21。
2. 尤進欽、曾夢蛟、陳良築。 1996 。蘇力菌殺蟲晶體蛋白基因轉移到青花菜、花椰菜及小白菜。中國園藝 42 (4): 312-330 。
3. 張隆武、曾夢蛟。 1997 。蘇力菌殺蟲晶體蛋白基因轉移至甘藍之研究。興大園藝 22 (1): 61-73 。
4 葉大振、李國權、曾夢蛟。 1995 。抗殺草劑基因轉移之利用。興大園藝 20: 15-26 。
5. Abel, P. P., R. S. Nelson, B. De, N. Hoffmann, S. G. Rogers, R. T. Fraley, and R. N. Beachy. 1986. Delay of disease development in transgenic plants that express the tobacco mosaic virus coat protein gene. Science 232: 738-743.
6. Alexander, D., R. M. Goodman, M. Gut-Rella, C. Glascock, K. Weymann, L. Friedrich, D Maddox, P. Ahl-Goy, T. Luntz, and E. Ward. 1993. Increased tolerance to two oomycete pathogens in transgenic tobacco expressing pathogenesis-related protein 1a. Proc. Natl Acad. Sci. USA. 90(15): 7327-7331.
7. Anzai, H., K. Yoneyama, and I. Yamaguchi. 1989. Transgenic tobacco resistant to a bacterial disease by the detoxification of a pathogenic toxin. Mol. Gen. Genet. 219 (3) : 492-494.
8. Ayub, R., M. Guis, M. B. Amor, L. Gillot, J.-P. Roustan, A. Latche, M. Bouzayen, and J.-C. Pech. 1996. Expression of ACC oxidase antisense gene inhibits ripening of cantaloupe melon fruits. Nature 14: 862-866.
9. Bent, A. F., B. N. Kunkel, D. Dahlbeck, K. L. Brown, R. Schmidt, J. Giraudat, J. Leung, and B. J. Staskawicz. 1994. RPS2 of Arabidopsis thaliana: a leucine-rich repeat class of plant diseaseresistance genes. Science. 265(5180):

1856-1860.

10. Blechl, A. E., and O. D. Anderson. 1996. Expression of a novel high-molecular-weight glutenin subunit gene in transgenic wheat. Nature Biotechnology 14: 875-879.

11. Blokland, R. V., N. van der Geest, J. N. M. Mol, and J. M. Kooter. 1994. Transgene-mediated suppression of chalcone synthase expression in Petunia hybirda results from an increase in RNA turnover. Plant J. 6(6): 861-877.

12. Boulter, D. 1993. Insect pest control by copying nature using genetically engineered crops. Phytochemistry 34(6): 1453-1466.

13. Bowler, C., S. Luit, V. Saskia, D. R. Riet, B. Johan, S. Chris, V. Marc M., and I. Dirk. 1991. Manganese superoxide dismutase can reduce cellular damage mediated by oxygen radicals in transgenic plants. EMBO J. 10(7): 1723-1732.

14. Carmona, M. J. A. Molina, J. A. Fernandez, J .J. Lopez-Fando, and F. Garcia-Olmedo. 1993. Expression of the alpha-thionin gene from barley in tobacco confers enhanced resistance to bacterial pathogens. Plant J. 3(3) : 457-462.

15. Castillo, A. M., V. Vasil, and I. K. Vasil. 1994. Rapid production of fertile transgenic plant of rye (Secale cereale L.). Bio/Technology 12:1366-1371.

16. Couplan, G. 1995. Genetic and environmental control of flowering time in Arabidopsis. Trends Genet. 11: 393-397.

17. Dale, P. J. 1995. R & D regulation and field trialling of transgenic crops. Bio/Technology 13: 398-403.

18. During, K., P. Porsch, M. Fladung, and H. Lorz. 1993. Transgenic potato plants resistant to the phytopathogenic bacterium Erwinia carotovora. Plant J. 3 (4): 587-598.

19. Dyer, W. E., F. D. Hess, J. S. Holt, and S. O. Duke. 1993. Potential benefits and risks of herbicide resistant crops produced by biotechnology. Hort. Rev. 15: 367-408.

20. Fischhoff, D. A., K. S. Bowdish, F. J. Perlak, P. G. Marrone, S. M. McCormick, J. G. Niedermeyer, D. A. Dean, K. Kusano-Kretzmer, E. J. Mayer, D. E. Rochester, S.G. Rogers, and R.T. Fraley. 1987. Insect tolerant transgenic tomato plants. Bio/Technology 5(8): 807-813.

21. Fitchen, J. H. and R. N. Beachy. 1993. Genetically engineered protection against viruses in transgenic plants. Annu. Rev. Microbiol. 47 : 739-763.

22. Francisco, M., 1996. Calgene moves into the black, brown, blue, and red. Nature Biotechnology 14: 1072.

23. Fuzimoto, H., K. Itoh, M. Yamamoto, J. Kyozuka and Shimamoto. 1993. Insect resistant rive regenerated by introduction of a modified endotoxin gene of Bacillus thuringiensis. Bio/technology 11: 1151-155.

24. Gerlach, W., D. Llewellyn, and J. Haseloff. 1987. Construction of a plant disease resistance gene from the satellite RNA of tobacco ring spot virus. Nature 328: 802-805.

25. Hamilton, A. J., G. W. Lycett, and D. Grierson. 1990. Antisense gene that inhibit synthesis of the hormone ethylene in transgenic plants. Nature 346: 284-287.

26. Harrison, B. D., M. A. Mayo, and D. C. Baulcombe. 1987. Virus resistance in transgenic plants that express cucumber mosaic virus satellite RNA. Nature 328: 799-802.

27. Hein, R., H. Reif, E. L. Kraus, H. Langebartels, H. Kindle, B. Vornam, W. Wiese, E. Schmeizer, P. H. Schreier, R. H. Stocker, and K. Stenzel. 1993. Disease resistance results from foreign phytoalexins expression in a novel plant. Nature 361: 153-156.

28. Herbers, K., J. Conrads-Strauch, and U. Bonas. 1992. Race-specificity of plant resistance to bacterial spot disease determined by repetitive motifs in a bacterial avirulence protein. Nature 356: 172-174.

29. Heyer, A. H., D. Mozley, V. Landschutze, B. Thomas, and C. Gatz. 1995. Function of phytochrome A in potato plants as revealed through the study of transgenic plants. Plant Physiol. 109: 53-61.

30. Hilder, V. A., A. M. R. Gatehouse, S. E. Sheerman, R. F. Barker, and D. Boulter. 1987. A novel mechanism of insect resistance engineered into tobacco. Nature 330: 160-160.

31. Hinchee, M. A. W., S. R. Padgette, G. M. Kishore, X. Delannay, and R. T. Fraley. 1993. Herbicide-Tolerant crops. In: "Transgenic Plants". Kung, S. D. and R. Wu, eds. Vol. I. pp.243-263. Academic Press, Inc. New York.

32. Huits, H. S. M., A. G. M. Gerats, M. M. Kreike, J. N. M. Mol, and R. E. Koes. 1994. Genetic control of dihydroflavonol 4-reductase gene expression in Petunia hybirda. Plant J. 6(3): 295-310.

33. Jach, G., B. Gornhardt, J. Mundy, J. Logemann, E. Pinsdorf, R. Leah, J. Schell and C. Maas (1995). Enhanced quantitative resistance against fungal disease by combinatorial expression of different barley antifungal proteins in tobacco. Plant J. 8:97-109.

34. Johnson, E.. 1996. Edible plant vaccines. Nature Biotechnology 14: 1532-1533.

35. Koziel, M. G. G. L. Beland, C. Bowman, N. B. Carozzi, R. Crenshaw, L. Crossland, J. Dawson, N. Desai, M. Hill, and S. Kadwell. 1993. Field performance of elite transgenic maize plants expressing an insecticidal protein derived from Bacillus thuringiensis. Bio/Technology 11(2): 194-200.

36. Kung, S. D. 1993. Introduction: from hybrid plants to transgenic plants. In: "Transgenic Plants". Kung, S. D. and R. Wu, eds. Vol. I. pp.1-12. Academic Press, Inc. New York.

37. Kung, S. D., and R. Wu. 1993. Transgenic Plants. Academic Press, New York. p.8.

38. Lapidot, M., R. Gafny, B. Ding, S. Wolf, W. J. Lucas, R. N. Beachy. A dysfunctional movement protein of tobacco mosaic virus that partially modifies the plasmodesmata and limits virus spread in transgenic plants. Plant J. 4:959-970, 1993.

39. Lee, J. H., A. Hubel, and F. Schoffl. 1995. Derepression of the activity of genetically engineered heat shock factor causes constitutive synthesis of heat shock proteins and increased thermotolerance in transgenic Arabidosis. Plant J. 8(4), 603-612.

40. Lee, J. H., and F. Schoffl. 1996. An Hsp70 antisense gene affects the expression of HSP/HSC 70, the regulation of HSF, and the acquisition of thermotolerance in transgenic Arabidosis thaliana. Mol. Gen. Genet. 252: 11-19.

41. Lilius G., N. Holmberg, and L. Bulow. 1996. Enhanced NaCl stress tolerance in transgenic tobacco expressing bacterial choline dehydrogenase. Bio/Technology 14(2): 177-180.

42. Liu, D., K. G. Raghothama, P. M. Hasegawa, and R. A. Bressan. 1994. Osmotin overexpression in potato delays development of disease symptoms. Proc. Natl Acad. Sci. USA. 91 (5): 1888-1892.

43. Ma, K. C., and M. B. Hein. 1995. Immunotherapeutic potential of antibodies produced in plants. Trends Biotechnology. 13(12): 522-527.

44. Martin, C. and, T. Gerats. 1993. Control of pigment biosynthesis genes during petal development. Plant Cell. 5(10): 1253-1264.

45. Martin, C., A. Prescott, S. Mackay, J. Bartlett, and E. Vrijlandt. 1991. Control of anthocyanin biosynthesis in flowers of Antrrhinum Majus. Plant J. 1 (1): 37-49.

46. Martin, C.and A. M. Smith. 1995. Starch biosynthesis. Plant Cell. 7(7): 971-985.

47. Martin, G. B., S. H. Brommonschenkel, J. Chunwongse, A. Frary, M. W. Ganal, R. Spivey, T. Wu, E. D. Earle, and S. D. Tanksley. 1993. Map-based cloning of a protein kinase gene conferring disease resistance in tomato. Science. 262(5138): 1432-1436.

48. Mazur, B.J. and S. C. Falco. 1989. The development of herbicide resistant crops. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant. Mol. Biol. 40: 441-70.

49. Mueller, E., J. Gilbert, G. Davenport, G. Brigneti, and D. C. Baulcombe. 1995. Homology-dependent resistance: transgenic virus resistance in plants related to homology-dependent gene silencing. Plant J. 7(6): 1001-1013.

50. Murata, N., O. Ishizaki-Nishizawa, S. Higashi, H. Hayashi, Y. Tasaka, and I. Nishida. 1992. Genetically engineered alteration in the chilling sensitivity of plants. Nature 356: 710-713.

51. 51.Nasto, B., and J. Lehrer. 1997. Antibiotech week raises tension over transgenic food. Nature Biotechnology 15: 499-500.

52. Nehra, N. S., R. N. Chibbar, N. Leung, K. Caswell, C. Mallard, L. Steinhauer, M. Baga, and K. K. Kartha. 1994. Self-fertile transgenic wheat plants regenerated from isolated scutellar tissues following microprojectile bombardment with two distinct gene constructs. Plant J. 5(2):285-297.

53. Nishizawa, O. I., T. Fujii, M. Azuma, K. Sekiguchi, N. Murata, T. Ohtani, and T. Toguri. 1996. Low-temperature resistance of higher plants is significantly enhanced by a nonspecific cyanobacterial desaturase. Bio/Technology 14: 1003-1006.

54. Oeller, P. W., L. Min-Wong, L. P. Taylor, D. A. Dike, and A. Theologies. 1991. Reversible inhibition of tomato fruit senescent by atisense RNA. Science 254: 437-439.

55. Perlak, F. J. R. L. Fuchs, D. A. Dean, S. L. McPherson, and . Fischhoff.

1991. Modification of the coding sequence enhances plant expression of insect control protein genes. Proc. Natl Acad. Sci. U S A. 88(8): 3324-3328.

56. Perlak, F. J., R. W. Deaton, T. A. Armstrong, R. L. Fuchs, S. R. Sims, J. T. Greenplate, and D. A. Fischhoff. 1990. Insect resistant cotton plants. Bio/Technology 8: 939-943.

57. Perlak, F. J., T. B. Stone, Y. M. Muskopf, L. J. Petersen, G. B. Parker, S. A. McPherson, J. Wyman, S. Love, G. Reed, and D. Biever. 1993. Genetically improved potatoes: protection from damage by Colorado potato beetles. Plant Mol. Biol. 22(2): 313-321.

58. Picton, S., S. L. Barton, M. Bouzayen, A. J. Hamilton, and D. Grierson. 1993. Altered fruit ripening and leaf senescence in tomatoes expressing an antisense ethylene-forming enzyme transgene. Plane J. 3(3): 469-481.

59. Powell, P. A., D. M. Stark, P. R. Sanders, and R. N. Beachy. 1989. Protection against tobacco mosaic virus in transgenic plants that express tobacco mosaic virus antisense RNA. Proc. Natl Acad. Sci. USA. 86(18): 6949-6952.

60. Purcell, J. P., J. T. Greenplate, M. G. Jennings , J. S. Ryerse, J. C. Pershing, S. R. Sims, M. J. Prinsen, D. R. Corbin, M. Tran, and R. D. Sammons. 1993. Cholesterol oxidase: a potent insecticidal protein active against boll weevil larvae. Biochem. Biophys. Res. Commun. 196 (3): 1406-1413.

61. Robson, P. H., A. C. McCormac, A. S. Irvine, and H. Smith. 1996. Genetic engineering of harvest index in tobacco through overexpression of a phytochrome gene. Nature Biotechnology 14: 995-998.

62. Rommens, C. M. T., J. M. Salmeron, G. E. D. Oldroyd, and B. J. Staskawicz,. Intergenetic transfer and functional expression of the tomato disease resistance gene Pto. Plant Cell. 7(10): 1537-1544.

63. Schroeder, H. E., S. Gollasch, A. Moore, L. M. Tabe, S. Craig, D. C. Hardie, M. J. Chrispeels, D. Spencer, and T. J. V. Higgins. 1995. Bean α -amylase inhibitor confers resistance to the pea weevil (Bruchus Pisorum) in transgenic peas (Pisum sativum L.). Plant Physiol. 107: 1233-1239.

64. Shade, R. E., H. E. Schroeder, J. J. Pueyo, L. M. Tabe, L. L. Murdock, T. J. V. Higgins, and M. .J. Chrispeels. 1994. Transgenic pea seeds expressing the α -amylase inhibitor of the common bean are resistant to bruchid beetles. Bio/Technology 12:793-796.

65. Shah, D. M., C. M. T. Rommens, and R. N. Beachy. 1995. Resistance to diseases and insects in transgenic plants: progress and applications to agriculture. Bio/Technology 13: 362-368.

66. Sheehy, R. E., M. Kramer, and W. R. Hiatt. 1988. Reduction of polygalacturonase activity in tomato fruit by antisense RNA. Proc. Natl Acad. Sci. USA. 95: 8805-8807.

67. Smith, C. J. S., C. F. Watson, P. C. Morris, C. R. Bird, G. B. Seymour, C. Arnold, G. A. Tucker, W. Schuch, S. Harding, and D. Grierson. 1990. Inheritance and effect on ripening of antisense polygalacturonase gene in transgenic tomatoes. Plant Mol. Biol. 14: 369-379.

68. Somers, D. A., H. W. Rines, W. Gu, H. F. Kaeppler, and W. P. Bushnell. 1992. Fertile, transgenic oat plants. Bio/Technology 10:1589-1594.

69. Staskawicz, B. J., F. M. Ausubel, B. J. Baker, J. G. Ellis, and J. D. G. Jones. 1995. Molecular genetics of plant disease resistance. Science. 268(5211): 661-667.

70. Thayer, A. M. 1997. Betting the transgenic farm. Chemical & Engineering news. April 28.

71. Tricoli, D. M., K. J. Carney, P. F. Russell, J. R. McMaster, D. W. Groffi, K. C. Hadden, P. T. Himmel, J. P. Hubbard, M. L. Boeshore, and H. D. Quemada.1995. Field evaluation of transgenic squash containing single or multiple virus coat protein gene constructs for resistance to cucumber mosaic virus, watermelon mosaic virus 2, and zucchini yellow mosaic virus. Bio/Technology 13: 1458-1465.

72. Vaeck, M., A. Reynaerts, H. Hofte, S. Jansens, M. de Beuckeller, C. Dean, M. Zabeau, M. van Montagu, and J. Leemans. 1987. Transgenic plants protected from insect attack. Nature 328: 33-37.

73. Van der Krol, A. R., P. E. Lenting, J. Veenstra, I. M. van der Meer, R. E. Koes, A. G. M. Gerats, J. N. M. Mol, and A. R. Stuitje. 1988. An antisense chalcone systhase gene in transgenic plants inhibits flower pigmentation. Nature 333: 866-869.

74.Van Rooijen, G. J. H., and M. M. Molony. 1995. Plant seed oil-bodies as carriers for foreign proteins. Bio/Technology 13: 72-77.

75.Vasil, V., A. M. Castillo, M. E. Fromm, and I. K. Vasil. 1992. Herbicide resis-

tant fertile transgenic wheat plants obtained by microprojectile bombardment of regenerable embryogenic callus. Bio/Technology. 10:667-674.

76. Vasil, V., V. Srivastrava, A. M. Castillo, M. E. Fromm and I. K. Vasil. 1993. Rapid production of transgenic wheat plants by direct bombardment of cultured immature embryos. Bio/Technology 11:153-1558.

77. Voelker, T. A., A. C. Worrell, L. Anderson, J. Bleibaum, C. Fan, D. J. Hawkins, S. E. Radke, and H. M. Davies. 1992. Fatty acid biosynthesis redirected to medium chains in transgenic oilseed plants. Science. 257(5066): 72-74.

78. Wilkinson, J. Q., M. B. Lanahan, D. G. Clark, A. B. Bleecker, C. Chang, E. M. Meyerowitz, and H. J. Klee. 1997. A dominant mutant receptor from Arabidopsis confers ethylene insensitivity in heterologous plants. Nature Biotechnology 15: 444-447.

79. Wilmink, A. and J .J. M. Dons. 1993. Selective agents and marker genes for use in transformation of monocotyledonous plants. Plant Mol. Biol. Rep. 11:165-185.

80. Wilson, T. M. A. 1993. Strategies to protect crop plants against viruses: pathogen-derived resistance blossoms. Proc. Natl Acad. Sci. U S A. 90(8): 3134-3141.

81. Wu, G., B. J. Shortt, E. B. Lawrence, E. B. Levine, K. C. Fitzsimmons, and D. M. Shah, 1995. Disease resistance conferred by expression of a gene encoding H2O2-generating glucose oxidase in transgenic potato plants. Plant Cell. 7 (9): 1357-1368.

82. Zhu, Q., E. A. Maher, S. Masoud, R. A. Dixon, and C. J. Lamb. 1994. Enhanced protection against fungal attack by constitutive coexpression of chitinase and glucanase genes in transgenic tobacco. Bio/technology 12:807-812.

表一、美國1992~2002年之生物科技市場預估值[a]

Table 1. Estimated marketing values of biotechnology in USA from 1992 to 2002[a]

單位：百萬美元

	1992	1997	2002	每年平均變動率(%)
醫　藥	2,250	4,800	9,200	15
檢驗試劑	1,050	1,700	2,500	9
農　業	70	375	1,400	35
特用化學	95	400	1,300	30
其　他	10	100	250	38
總　計	3,465	7,375	14,650	16

[a] Data resource:王文山, 1993.

表二、基因轉殖成功已有報導之植物[a]

Table 1.1. Transgenic plants produced[a]

Type of plant	Examples
Monocotyledons	asparagus, maize, millet, wheat, orchard grass, rice, rye
Dicotyledons	
Legumes	alfalfa, clover, peas, soybean, moth bean
Solanaceae	eggplant, petunia, peas, soybean, moth bean
Vegetable and fruit crops	cabbage, carrot, cauliflower, celery, cucumber, rape, horseradish, lettuce, grape, muskmelon, strawberry
Special crop	cotton, flax, lotus, sugar beet, sunflower
Woody plants	apple, pear, poplar, walnut
Special plant	Arabidopsis
Other groups	Medicago varia, Vigna aconitifolia, Stylesanithes humilis, morning glory, kalanchoe

[a] Data resource: Kung, 1993.

表三、1986-1993年間在世界各地，改變植株特性的基因轉殖作物所進行之田間試驗數目[a]

Table 3. Examples of plant characteristics modified by transformation during 1886-1993[a]

Modified characteristic	Total number of field releases
Insect resistance	127
Antifeedant protein	
Bt protein	
Viral resistance	164
Alfalfa mosaic	
Cucumber mosaic	
Papaya ringspot	
Plum pox	
Potato leafroll	
Potato virus X, Y	
Rice stripe	
Soybean mosaic	
Tobacco etch	
Tobacco mosaic	
Tomato mosaic	
Bacterial resistance	11
Cecropin	
Fungal resistance	29
Chitinase/glucanase	
Lysozyme	
Herbicide tolerance	340
2,4-Dichlorophenoxyacetic a cid	
Asulam	
Atrazine	
Bromoxynil	
Fosametin	
Glufosinate	
Glyphosate	
Pyridine	
Sulfonylurea	
Modified quality	184
Delayed ripening	
Dry matter content	
Improved processing	
Increased soluble solids	
Increased yield	
Modified oil content	
Phytase content	
Seed storage proteins	
Starch metabolism	
Stress tolerance	
Marker genes-resistance to:	93
Chloramphenicol	
Gentamycin	
Hygromycin	
Kanamycin	
Multiple traits	26
Unspecified	31

[a] Data resource: Dale, 1995.

表四、已上市銷售之基因轉殖作物[a]

Table 4.Genetically engineered crops are reaching the market[a]

Genetic Trait	Crop	Companies
Insect resistance	Corn	Mycogen, Novartis, Monsanto, DeKalb Genetics
	Cotton	Monsanto
	Potato	Monsanto
Herbicide resistance	Canola, Soybeans	Monsanto
	Cotton	Monsanto, Calgene
	Corn	DeKalb Genetics, Pioneer Hi-Bred
Virus resistance	Squash	Asgrow Seeds
Specialty oils	Canola	Calgene
Slower ripening	Tomato	Calgene, Monsanto, DNA Plant Technology
Increased pectin	Tomato	Zeneca Plant Sciences

[a]Data resource: Thayer, 1997.

Plant Gene Transfer

Menq-Jiau Tseng

Summary

Biotechnology has rapidly emerged as a practical means of improving economically important crops. Biotechnology opens up the possibility of creating modified plant forms tailored to meet specific agricultural needs. Expression of a foreign in transgenic plants was first reported in 1983, and this breakthrough has facilitated direct analysis of gene function and gene regulation mechanism. Moreover, in the applied arena, gene transfer has allowed the engineering of specific, useful modifications in transgenic crops. Of the many strategies devised for gene transfer, only a few have been successful in a wide range of plant species. Direct gene transfer, in which naked DNA is introduced into protoplasts or intact cells, may be achieved by polyethylene glycol (PEG), electroporation, microinjection, macroinjection or pollen tube pathway. Alternatively, plant tissue can be bombarded by DNA-coated particles using particle gun; Agrobacterium-mediated gene transfer exploits the natural gene transfer capacity of this soil bacterium. This report draws together the results so far reported on the emerging strategies and opportunities for crop improvement by gene transfer, to provide an overview and suggest the way forward for future work on plant gene transfer. Major focus is the recent success in engineering resistance to herbicide, insect pests, viruses, disease, delaying ripening, nutrient improvement, alternations of flower and growth patterns, and environmental stresses.

Key words : Biotechnology, Gene transfer.

Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.