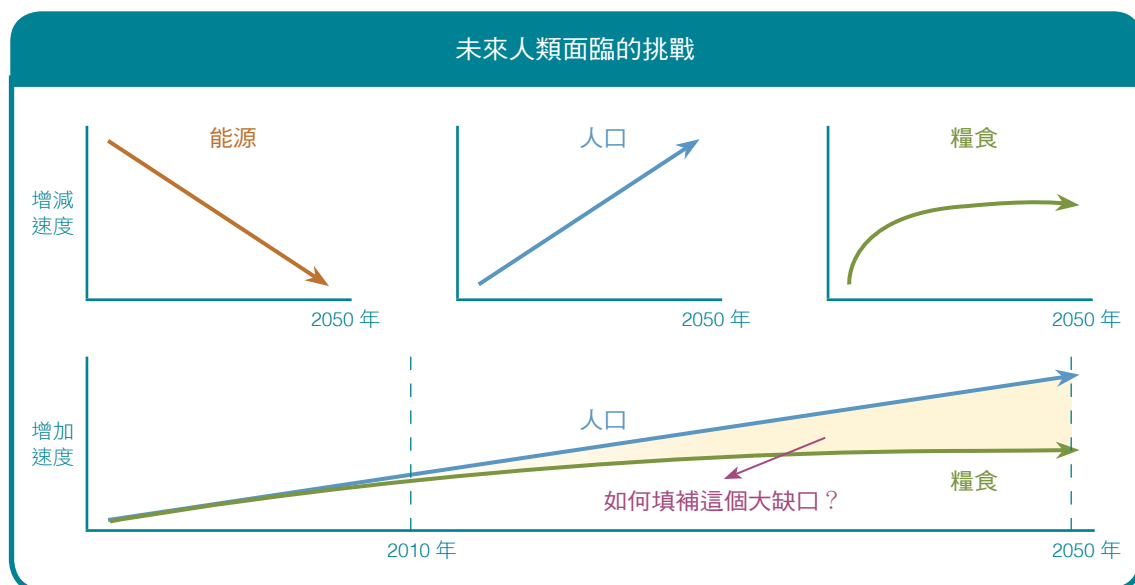


基因科技與作物改良

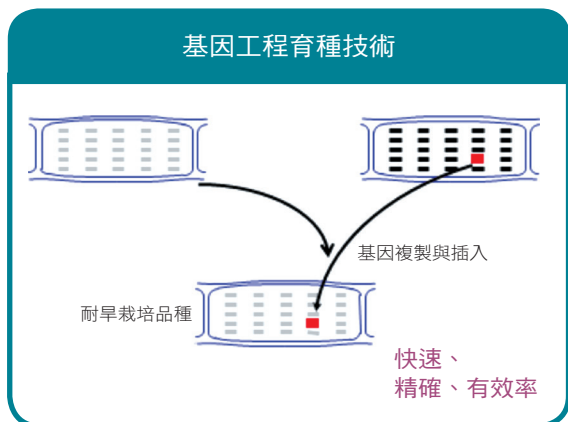
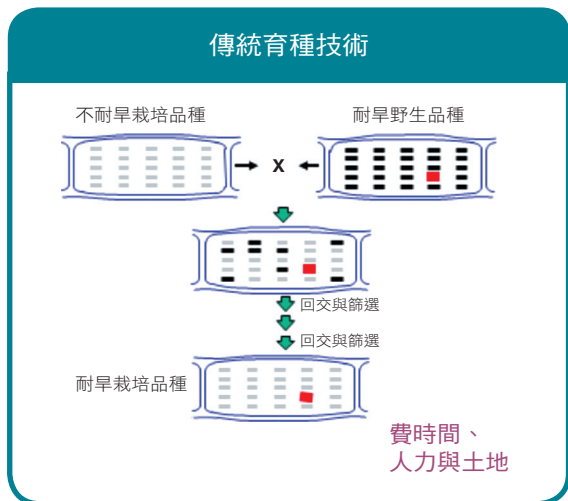
■ 余淑美

以科學為基礎的科技產品上市，可降低投入成本、增加作物產量、增進病蟲害防治、提高農民收入，以及降低對環境的負面影響，因此對農民、消費者、經濟及環境都有好處，對糧食安全也可發揮把關的功效。

近年全球人口快速增加，增產糧食已成為當務之急。聯合國預估 2050 年時世界人口會從目前的 72 億增加到 92 億，但是地球上適合耕種的土地大多已經利用，增加不易，且因工業化、城市化及汙染，耕作面積反而逐年減少。此外，全球氣候變遷極端化，造成乾旱、淹水等天災發生的頻率上升，土地、人工、肥料及農藥價格也逐年上漲，很多國家已逐漸浮現糧食安全問題。如何利用高科技育種以提高作物產量，是當前必須重視的課題。



未來人類會面臨：能源減少、人口快速增加、糧食增產有限的挑戰，如何填補人口與糧食之間越來越大的缺口呢？



傳統育種技術：費時間、人力與土地；基因工程育種技術：快速、精確、有效率。

傳統育種技術

傳統育種技術讓我們得以豐衣足食，尤其在 1960～1980 年第一次綠色革命期間，陸續育成了矮化及抗病的小麥與水稻新品種，使人類主食作物的單位面積產量倍增，舒緩了人口由 30 億增加到 60 億的壓力。但更讓人類自豪的是耕種面積僅增加了 20%，這例子見證了綠色革命的超級影響力。

育種技術降低了小麥和稻米的高度，使植物把能量全用於結實而非長高，而且高度降低使分枝增多，可長出更多穀粒提高產量。更重要的是，氮肥會增加高度，一旦植株矮化則可增加施肥量以提高產量，不必擔心長太高而倒伏。

但傳統育種技術的缺點是需要大量人力、土地及時間，對於應付快速增加的人口緩不濟急。加上大部分作物的遺傳資源有限，許多需要的基因不存在，而不同物種間又無法雜交以交換有利的基因。

分子育種技術

育種的目的是要育出表現良好的作物，包括產量高、品質佳及抗病蟲害，可是作物雜交產生的後代林林總總且表現性狀複雜，若利用分子生物技術來輔助，可大幅縮短育種時間。

例如某番茄品種優良，果實大、產量高，但不抗病，而另一野生品種雖然品質不佳，卻帶有抗病基因。傳統技術雖可透過雜交的方式把後者的抗病基因導入前者品種中，惟產生的後代繁多，從外觀不易看出哪株帶有抗病基因。這時若利用分子生物的方法，以基因標記篩選出帶有抗病基因的植株，再跟品種優良的母種不斷回交以稀釋不好的基因，直至剩下抗病基因，而其餘好的性狀都來自優良品種的基因。如此一來，原需 5～10 年的育種時間可縮短為 3～5 年。

基因改良育種

分子生物科學發展出的基因工程育種技術精確度更高，所需時間更短。因為傳統雜交育種仍會保留一些不好的基因帶入優良品種中，必須長時間進行回交篩選，

改良後的基因及其生產的蛋白質都需經過嚴格的動物及田間生物安全試驗才會上市，程序就跟新藥一樣。

但最後可能還是會保留些許不好的基因，沒辦法完全排除。然而現在的基因工程技術只要知道哪一段基因是重要的，就可以複製並精確地把它插入欲改良的基因體中完成育種。

也就是說，任何一個好的或有用的基因，可用基因工程的方法複製後接在合適的啟動子（就好像水龍頭開關）後面，然後插入作物基因體中來產生好的或有用的蛋白質（就好像流出自來水）。這些蛋白質與我們所吃米麵、蔬果中所含的一樣，都是由 20 種天然胺基酸組成，吃到腸胃內就會被消化酶消化而吸收。而且改良後的基因及其生產的蛋白質都需經過嚴格的動物及田間生物安全試驗才會上市，程序就跟新藥一樣。

基因工程育種的另一個優點就是基因轉移可跨物種，例如水稻有耐淹水基因，但傳統育種方式無法讓水稻與玉米、小麥雜交，自然也無法把這個基因植入後者的基因體。但是未來可以透過基因工程技術把水稻耐淹水的基因植入玉米或小麥基因體，以有效改良品種。

基改產品禁得起考驗

目前全球有超過 12 % 的農地種植基改作物，2013 年基改作物實際種植面積達 1.75 億公頃，約為全台灣面積的 50 倍或 1 / 5 個美國面積。基改種子從 1996 年上市以來產量已成長超過 80 倍，2013 年市場價值 156 億美金，約占全球商業種子市場的 35 %，共有 21 個國家種植，前 6 大國家是：美國、巴西、阿根廷、印度、加拿大、中國，占全球基改作物種植面積的 90 % 以上。

目前全球產量最大的基改作物依序是：油菜、玉米、棉花、大豆。而基改甜菜、木瓜、苜蓿、南瓜等雖以較小的規模栽種，也已上市多年。基改的性狀主要是提高抗殺草劑、抗蟲及抗病能力。自從 1994 年種植基改作物至 2011 年，全球的農藥使用量減少了 47.4 萬公噸，約為同期間全球農藥使用量的 8.9 %。此外，基改作物也因減少噴農藥及除草次數，減少了溫室氣體的排放，相當於減少 1 千萬輛車子的排放量。

未來育種目標

近 10 年來，全球糧食增產速度已經減緩，因此目前育種首要目標是提高產量，這可從提高作物光合作用效率、生長勢及結實率著手。其次是提高作物耐乾旱或少用水的能力，目前全球 70 % 的淡水是使用在農作物上，而生產所需糧食每人每天要消耗 3 公噸的水。以台灣而言，有 3 / 4 的水用於農業，卻又經常面臨缺水問題。非洲的乾旱問題更嚴重，預計 2020 年其主要的糧食作物——玉米——會減產 50 %。

農業耕作尚有其他亟待解決的問題，包括使用機械耕種產生許多二氧化碳，提高了氣候暖化的危機；必要的氮肥——尿素——的製造很耗費能源，油價的攀高使肥料跟著漲價；肥料的過度使用會使土壤酸化、鹽化；過度使用殺蟲劑會造成人體健康與環境生態不良的影響。因此，如何應用先進生物科技以改進作物的基因，使作物減少用水、農藥及肥料，又可提高產量，是相當大的挑戰。

未來可以透過基因工程技術把水稻耐淹水的基因植入玉米或小麥基因體，以有效改良品種。

基改作物的重要目標之一是減少農藥與化學肥料的使用。策略是讓作物含有少量足以防止病害入侵、害蟲咬噬，卻對人類、動物與有益昆蟲無害的特殊蛋白質；或讓作物的根系發達，提高土壤中肥料吸收的效率而減少肥料施用，或提高對水分吸收的效率而較耐乾旱。可見基改的目標相當「有機」。

水稻基因研究提高糧食產量

水稻是全球三大糧食作物（水稻、小麥及玉米）之一，是一半以上人口的主要能量來源。因此未來 40 年水稻產量必須比現今增加 40%，以應付漸增的人口對糧食的需求，但是主要產稻米的亞洲國家增產已達極限。

水稻基因體比其他穀類小而易於進行基因轉殖，且其基因體已完全被解碼。由於其他主要穀類作物多欠缺這些優點，因此水稻被當作穀類作物基因功能研究的模式植物，成為基礎及應用最佳的研究材料。利用歷年來研究水稻基因所得到的知識及經驗，與現代科技或傳統技術結合，可改良或育成水稻及其他穀類作物的新品種。

研究水稻基因的功能，過程是「向水稻借有用的基因」，再轉移到其他有需要的作物上。基因突變會改變外表性狀，就可以知道基因的功能。水稻性狀的表現受遺傳與環境因子控制，這些因子又受到近 40,000 個基因的控制。

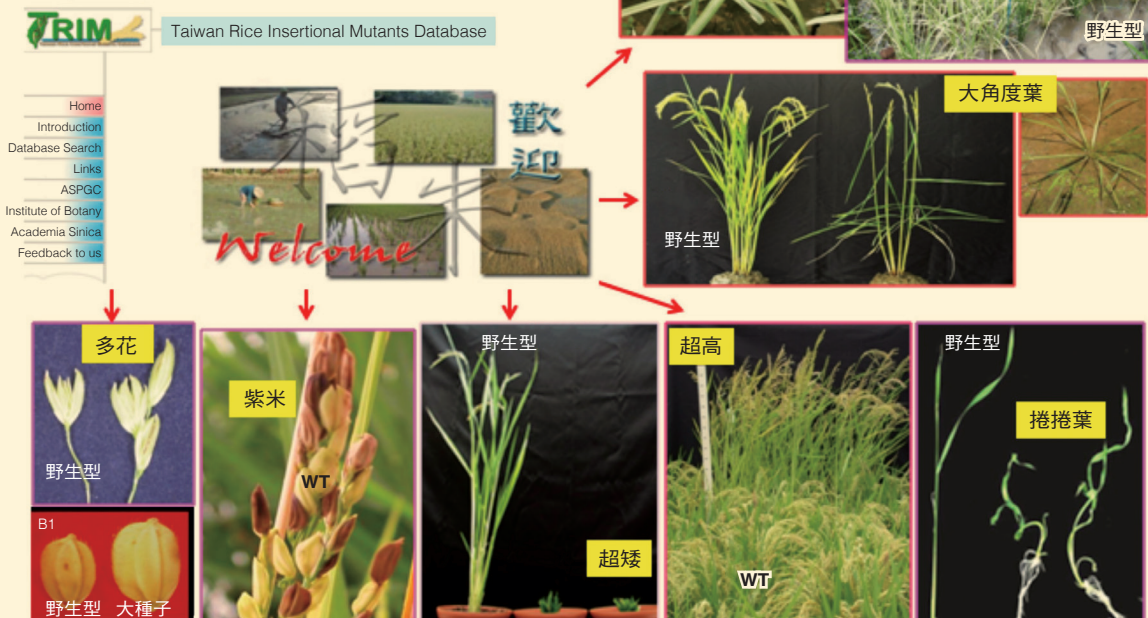


水稻產量受到各種遺傳及環境因子的影響

從 2002 至今，中央研究院已經培育出超過 10 萬個基因突變的水稻品系，以及建立 6 萬筆突變基因資料庫。這些重要的資源可供篩選具抗病蟲害、抗逆境（乾旱、高鹽、高低溫、淹水等）、高產量的新品種及研究基因功能，而知道功能的基因可用來改良作物品種，因此極具學術與應用價值。目前已有許多國內外研究室索取突變種子做為國際合作的研究題目，也發表了許多論文及申請到專利。

基改作物因減少噴農藥及除草次數，也減少了溫室氣體的排放。

台灣水稻突變種原庫與資料庫
Taiwan Rice Insertional Mutagenesis
(TRIM) Database (<http://trim.sinica.edu.tw/>)



台灣水稻突變種原庫包含各種突變水稻

基改作物可以提高營養成分

科學家也希望讓糧食更營養，例如含 β 胡蘿蔔素基因的改良水稻。 β 胡蘿蔔素是維他命A的前驅物，目前全球每年有25～50萬名孩童因缺乏維他命A而失明，因此瑞士科學家波崔庫斯（Ingo Potrykus）開發了極具突破性的技術，於2000年在《科學》期刊發表含有 β 胡蘿蔔素的「黃金米」時轟動一時。

然而在環保團體不斷要求下，相關單位花費了鉅資進行生物安全評估，經長時間的實驗都證明黃金米對人體及環境並無害處，且對補充人體維他命非常有效。然而14年過去了，黃金米還遲遲無法上市，因而未能推廣，其影響對開發中國家人民的健康傷害甚大。

另外，有科學家希望利用基改技術讓植物生產有醫藥價值的蛋白質產品，稱為「植物分子農場」。例如讓番茄、菠菜等植物生產口服疫苗，這樣只要把植物乾燥裝進膠囊，照醫生指示服用就等於接種了疫苗。這對落後地區非常重要，因為疫苗需要冷藏，但這些國家往往缺乏電力，沒有冰箱或沒有醫護人員可以協助定期接種，像這種口服疫苗就對於減少流行病大有幫助。

基改作物也可以取代兔子或老鼠來產生抗體，成為價格低廉又有效的蛋白藥物以嘉惠病患。基改作物還可以生產有用酵素，例如「植酸酶」不但能增進人或動物對食物中無機磷的吸收，而且減少無機磷排放到土壤中而流入湖泊造成的環境汙染。

基改作物可以取代兔子或老鼠來產生抗體，
成為價格低廉又有效的蛋白藥物以嘉惠病患。

植物分子農場：利用植物製造基因工程蛋白質



植物分子農場利用植物製造基因工程蛋白質

基改產品上市的過程

國際上，農業生技公司推基因工程產品上市，每一項產品研發都需經過好幾個階段，每一個階段都須經仔細評估，非常費錢耗時。因此，只有在技術可行性高、符合生物安全，以及具有商業價值的條件下，才會繼續推動。

開始階段是發現新基因及功能，工作包括高通量篩選以及利用模式作物驗證功能，約需時 4.5 年。接著第 1 階段確定基因功能符合需要，工作包括基因功能最佳化及進行商業作物品種的基因轉殖，約需時 2.3 年。第 2 階段開發早期產品，工作包括確定作物性狀、收集法規所需數據及大量進行商業作物品種的基因轉殖，約需時 2.5 年。第 3 階段開發進階產品，工作包括結合各種良好農藝性狀、田間試驗、收集更多法規所需資料及產品開發，約需 3 年。

第 4 階段準備產品上市，工作內容包括法規審查送件、大量繁殖種子、準備產品上市等，約需時 4 年。大致而言，研發時間共超過 10 年，總經費可能超過 1 億美金。

可想而知，一個基因工程產品的上市過程非常複雜、耗時及費錢。但是一旦以科學為基礎的科技產品上市，因為可降低投入成本、增加作物產量、改進病蟲害防治、提高農民收入，以及降低對環境的負面影響，因此對於農民、消費者、經濟及環境都有好處，對提供全球糧食安全也可發揮功效。

但是，目前只有資本雄厚的國際農業生技公司有長期投資於開發基改作物至產品上市，一般實驗室及小企業絕對無法勝任。這是非常可惜的，因為作物需要改進的性狀非常多，有些不一定有很大經濟價值，但是對於農民、社會及環境可以有非常大的貢獻。

發展基改產品需花費昂貴的成本，其中有相當大比重是用在食品及環境生物安全評估，以及專利技轉上。因此，應當根據已研究的學術基礎與實際應用的經驗，互相合作以加快研發速度，減少基改產品上市所需的經費與時間，以及提高食品安全的可預測性、農藝性狀的穩定性及法規上的透明度。如此才能有利於植物科學家以更多創新的技術開發符合食品安全、有益健康、保護環境、農業永續發展及可餵飽大家的基因改良作物。

余淑美

中央研究院分子生物研究所