

# 無性種子的綠色革命

張松彬

借助大自然的無性種子繁殖技術，可以大幅降低育種成本和種子價格、促進種子產業的競爭力、提高農民收益，以及解決糧食不足的問題。

## 上世紀的綠色革命

20 世紀的綠色革命是 60 年代時利用傳統雜交育種技術，使小麥和稻米的莖稈變矮後，大大提升了收穫量。當時有兩個國際研究機構貢獻卓著。

第一個是在墨西哥的國際玉米和小麥改良中心，布勞格（Norman Borlaug）博士使矮莖的日本農林 10 號小麥和有抗銹病的墨西哥小麥雜交，育出了莖高 40～50 公分且具有抗倒伏、抗銹病及高產量的新雜交物種，並推廣到墨西哥、巴基斯坦、印度，使各國小麥產量增加一倍以上，解決了當地糧荒的問題。布勞格博士因此獲得 1970 年的諾貝爾和平獎，被稱為「綠色革命之父」。

另一個是在菲律賓的國際水稻研究中心，當時在這中心的台灣水稻育種專家張德慈博士與該中心的育種學家，使台灣的低腳烏尖、矮子尖等具半矮性的水稻與高莖的印尼品種雜交，成功育出具半矮莖、耐肥、抗倒伏及高產量的國際稻 8 號品種，並在東南亞推廣，其產量可提高 3 倍之多。這解決了東南亞當時的糧荒問題，其貢獻與布勞格不相上下，獲得國際多項榮譽，包括 1999 年泰勒世界環境成就獎。

## 無性種子開始受重視

雖然 20 世紀末因分子生物技術開創了作物育種的新領域，但也引發人們對基因改造作物的爭論與疑慮。利用分子生物技術中的分子標記技術輔助育種，使得傳統雜交育種技術在近年也有了進展。即從近親緣具優良性狀的品種或野生種，透過分子標誌與優良性狀的關聯性，在傳統雜交的後代以這分子標記篩選出優良的雜交品種。這方法是不必透過細菌載體或基因槍等方式的基因改造。

無性種子可以無止境且大幅節省成本地維持優良的雜交品種，不受維護親本純系與雜交的困擾，進而解決糧食不足的問題，很有潛力造成下一波的綠色革命。

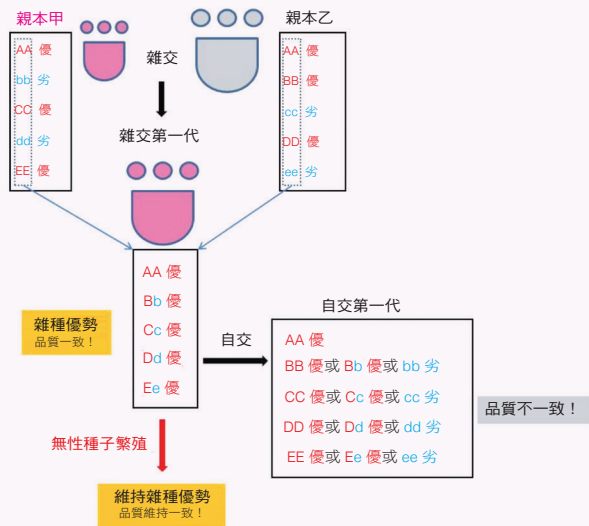
但傳統雜交育種仍必須面臨維持親本的純系和克服雜交困難的問題，於是在 20 世紀末無性種子（asexual seed）開始受到重視，認為無性種子可以無止境且大幅節省成本地維持優良的雜交品種，不受維護親本純系與雜交的困擾，進而解決糧食不足的問題，很有潛力造成下一波的綠色革命。

## 下一波綠色革命

為什麼無性種子可能引起下一波的綠色革命呢？主要因為目前大多數的栽種作物是農民必須向種子公司購買雜交第一代作物種子。那是透過兩個純系的優良親代雜交產生的（純系是指其基因型無論顯性或隱性都是同型的，例如 AA 或 aa，而不是異型的 Aa），因此雜交第一代會有「雜種優勢」的現象，即它同時具有雙親所有的優良性狀，更優於兩個親代，且每一個雜交第一代都是一樣的優良。

農民以栽種這優良的作物賣給消費者，但農民無法保留收穫的種子當作下一次播種之用。因為若這作物是自交型的，在自交第 1 代的性狀組合就會有很多樣，品質參差不齊，若是異交者，親本的基因型未知，品質更難掌控。因此，農民每次要栽種時，必須向種子公司購買雜交第一代種子，種子公司則以此不斷獲利。

因此，如何獲得及維持雜種優勢的雜交第一代是很關鍵的技術。無性種子的開



農民或種子公司透過無性種子繁殖具「雜種優勢」的雜交第一代，可以維持比親本還優良且品質一致的種子。

發就是要以低成本無限制地無性繁殖具雜種優勢的雜交第一代，將來可使種子公司具競爭力，甚至農民可以保留種子無止盡地栽培品質相同的優良作物，不必再高價向種子公司購買。

根據預估，光是把這性狀導入水稻作物，就有約 25 億美元的價值，更可以解決種子公司掌控種子價格的問題，也讓貧窮、糧食不足的國家能保存高產量、抗旱、抗淹或抗病蟲害等品質優良的種子，解決糧荒的問題。如同上一世紀布勞格與張德慈的貢獻一樣，造就下一次的綠色革命。

## 自然界有無性種子存在

無性種子是无融合生殖產生的，即卵不經過花粉受精就可以產生種子的一種無性繁殖方式，在自然界中是會天然發生的。因為卵沒有受精，所以卵發育生成的種子在發芽後長出的植株，遺傳背景跟母株一樣，就像複製植物。若母株是優良的品種，透過無融合生殖的無性種子一樣具有優良的性狀。這種複製植物是透過「種子」進行無性繁殖，有別於過去大家認知的種子是有性生殖的結果。

但以無性繁殖複製優良的植株並非新鮮事，過去無性繁殖的方法有扦插、壓條、分芽、塊莖、鱗莖等，甚至利用組織培養技術大量繁殖植物細胞所產生的優良分生苗，都可無性繁殖雜種優勢的雜交第一代。透過無性繁殖可以馬上保留固定優良的雜交種和突變種，也可以省去保存優良純系親代的花費，以及栽種人力跟土地成本。

有些自交作物要雜交育種，常需耗工、耗時地去雄蕊以防自交，才能達成兩親本的異花雜交。更別提雜交育種若遇到雜交不親合性或不稔性，常無法獲得雜交種子的情況。因此，以無性種子繁殖雜種優勢的雜交第一代可以省時、省力和省成本。

為什麼透過無性種子比其他無性繁殖有特別的優勢？因為大部分的種子不易受到母株上病原菌的垂直感染。其他無性繁殖如馬鈴薯塊莖或百合鱗莖，在採收、運輸及儲藏時，常因為有部分染病的個體經接觸而傳染病原菌。種子還有一個優勢是其個體較小且質地堅硬。

以教室般大小所儲藏的馬鈴薯塊莖數量，無性種子只需一包五香乖乖的大小，儲藏空間因而減少很多，為維持低溫、溼



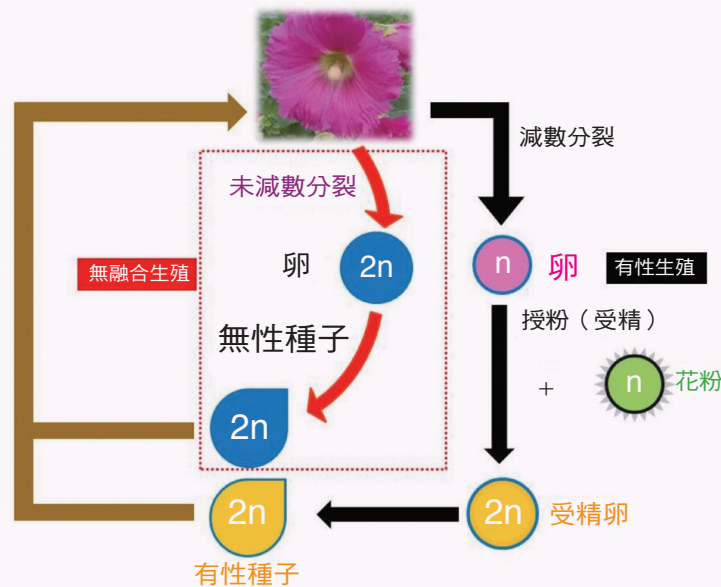
自然界裡的野生植物如蒺藜草和蒲公英都能以無融合生殖產生無性種子

度所耗的電力成本也可大大降低。而種子成熟過程中常會脫水以延長壽命，因此變得堅硬，在採收、運輸及儲藏時不易受傷。無性種子就好比大自然在幫我們做組織培養產生分生苗一樣，省去了人事操作成本，且種子壽命較長，不用像組織培養常要做繼代培養。

在開花植物中，約 40 科或約 400 種的植物具有無融合生殖產生無性種子的現象，且大都分布在禾本科、菊科和薔薇科中。但在目前常見的作物或果樹中很少發現，只有在如柑橘、芒果和一些牧草中有，在野生的雀稗、蒺藜草或蒲公英中也有無融合生殖的現象，在常見的小麥、玉米、水稻等作物中則尚未發現。

## 無性種子的生成機制

無融合生殖是如何產生無性種子呢？一般有性生殖時，二倍體的卵母細胞會經減數分裂產生單倍體的卵，再與花粉的單倍體精核受精產生二倍體的種子，因此植



無融合生殖是不經減數分裂的二倍體卵在未受精下產生無性種子

物世世代代都維持二倍體。若經減數分裂的單倍體卵不受精直接產生單倍體的種子，下一代就無法繼續減數分裂產生卵和花粉。無融合生殖就是透過卵不經過減數分裂或不完整的減數分裂產生二倍體的卵，或許是因花部的組織器官以為二倍體的卵是已經受精的卵，於是發育成成熟的二倍體種子。因為這種子未受精，所以它的遺傳物質與母株相同且等量。

另外一種無融合生殖是花部的組織可能因訊息傳導錯誤給受精卵旁二倍體的體細胞，而發育成無性的種子，這個體細胞是屬於母株的細胞。

無論是哪一種生成機制，無融合生殖的無性種子其遺傳物質和母系是等量且相同的，因此能以這性狀複製優良的作物。由此可看出，植物自己在做組織培養技術的無性

繁殖，只是透過種子的方式延續下去，經濟效益因而大幅提升，造成農業的大躍進。

既然卵細胞不經受精可發育成無性種子，要如何雜交導入想獲得無融合生殖性狀的優良植株中？關鍵在於這性狀只會造成卵細胞無法完成減數分裂，其花粉仍可正常進行減數分裂形成單倍體的花粉。於是可以把含有這基因的單倍體花粉導入優良植株正常減數分裂的單倍體卵中，產生的有性種子在下一代則可進行無性種子的繁殖。

### 無性種子的優勢與衝擊

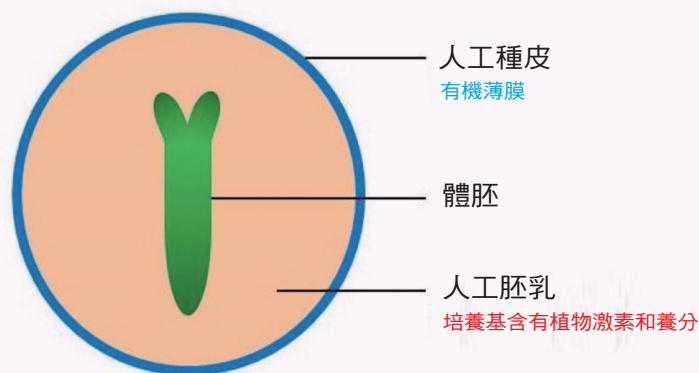
人工種子也是透過組織培養技術，以含有植物激素和養分的培養基（人工胚乳）包覆無性繁殖產生的體胚，在外層則以有機

無性種子就好比大自然在幫我們做組織培養產生分生苗一樣，省去了人事操作成本，且種子壽命較長，不用像組織培養常要做繼代培養。

薄膜（人工種皮）包裹而成。但這種人工種子仍需要組織培養的成本，甚至成本可能更高，且比無性種子的壽命短。因此，無性種子比人工種子更有潛力。倘若種子公司能獲得這無性生殖性狀的親代，就可以加速其育種時程和節省成本，但必須面對農民只需購買一次種子而不再消費的問題。

農民只需購買這無性種子一次，就可無止境地在一世代獲得優良雜交第一代無性種子。若在栽培過程中因為環境或自然發生突變株產生新的優良個體株，農民可自行保存這個新品種。這個新品種因為含有無融合生殖性狀，可以簡便、低成本、無止盡地無性繁殖下去，甚至可以把這新品種賣給種子公司。但因為農民一次性消費問題可能會面對種子公司提高種子價格或不賣，種子公司和農民在無性種子的利益衝突上，目前是希望透過合作的方式達成利益共享。

因為無性繁殖的作物不如有性繁殖的基因或種原有多樣性，所以會形成單一栽培的現象。單一栽培倘若因病蟲突變或環境變遷後，造成所有性狀一致的作物會全面得病或產量大減，進而影響糧食供給和全球經濟。另外，含有無融合生殖性狀的花粉可能會飄散外逸授粉到其他野生種，使其他野生種從有性繁殖變成無性繁殖，造成生物多樣性降低的生態環境浩劫，因此在操作無性種子和田間栽培時必須更加謹慎。



人工種子模擬植物種子體胚、胚乳和保護的種皮而成。

台灣的地地面積不大且逐年減少，未來的農業勢必走向高價值及精緻化。領土面積和台灣相近的荷蘭，其農業因種子種苗的高經濟效益而成為農產輸出大國。因此，發展種子或種苗產業是台灣農業未來可以思考的方向。近年來，許多國家包括亞洲的日本、大陸、印度等都相繼投入無融合生殖研究和開發無性種子的產業，台灣應該結合產官學急起直追。

張松彬  
成功大學生命科學系