

基因轉殖與非轉殖玉米 共存栽培制度之研究

沈翰祖¹、張芳銘²、郭寶錚³

一、前言

現今農業作物新品種的育成，遺傳工程技術提供傳統育種突破物種間基因交換障礙的捷徑，實施人為的基因操作，許多基因轉殖（以下簡稱 GM）作物如雨後春筍般的出現，但亦發生對於生態的衝擊及食用安全的疑慮。

植物的基因特性可經花粉的傳遞而產生轉移，所造成基因漂流（gene flow）的情形稱為花粉式基因漂流（pollen-mediated gene flow, PMGF）。在開放的環境下種植 GM 作物，可能與野生近緣種，或者傳統栽培種發生雜交，導致遺傳物質的交換，造成基因漂流的現象，也牽涉到許多雜交世代（F1、F2、BC1、BC2 等），轉殖的外源基因在這些後裔中發生交換，甚至是共存許多年。自然環境中的基因漂流，對植物本身而言是種常見的演化現象，然而轉殖之外源基因，是否會輕易地由此路徑轉移至其他非 GM 物種中，進而改變生態鏈的平衡，並對傳統農業的經濟生產造成負面影響。

在許多商業種植 GM 作物的國家，為降低 GM 外源基因漂流或污染傳統栽培種風險，致力研究 GM 作物花粉可能的散播模式，希望能夠針對不同種類的作物，制定到一個適當的隔離緩衝距離。在現今

歐洲的農業環境裡，農民可選擇要種植慣行農法、有機農法或是 GM 作物，而消費者也可自由選擇購買不同生產方式的農產品，但因種植 GM 作物的田區會污染鄰近傳統栽培作物田區，使得慣行農法、有機農法與 GM 作物之共存栽培，衍生經濟損失的問題。

不同國家或地區對於非 GM 商品內含 GM 成分皆有限制，例如歐盟要求有機商品不得含有 GM 成分，非 GM 農產品不得含有超過 0.9% 的 GM 成分，美國標準為 5%，而我國之標準為有機商品不得檢出，非 GM 農產品含量不得超過 5%，因此要如何使 GM 商品可以符合法規限制是個重要議題。如何在 GM 和非 GM 作物之間取得一個適當的共存（coexistence）管理方式是目前極須妥善處理之課題，藉此 GM 作物才有在國內發展的機會。

耕種者不論是種植 GM、非 GM，甚至有機作物時，他們都擁有自由選擇栽種作物類型的權利；就消費者而言，選擇購買各類商品也是每個人應享有的權利，因此，共存的理念就因應而生。制定明確規範，如歐盟所能容許市面上所販售之產品其內容物含有 GM 成分達 0.9% 時，必須強制標示此為 GM 產品，許多學者們就開始進行田間試驗以建立經驗模式，確定保護行數目與隔離距離大為了收穫物以符合門檻的標準。

1 種苗改良繁殖場生物技術課 副研究員

2 農糧署技士

3 國立中興大學農藝學系 教授

二、玉米隔離距離

玉米 (*Zeamays* L.) 為雌雄同株異花之風媒作物，並且會產生大量的花粉，花粉散佈為其造成基因漂流的主要方式，昆蟲所造成的花粉傳播可被忽略，為一種典型的風媒花，可當作一般風媒花建立模式之參考作物，由於此種生理特性，會造成鄰近非 GM 玉米田區遭受 GM 花粉污染，因此進行田間試驗建立玉米花粉飄散模式，可預測非 GM 玉米田受到外來 GM 玉米花粉污染比率之嚴重程度，如此便可制定在此環境氣候下種植 GM 玉米與非 GM 玉米間所需要的隔離距離。

歐盟目前已鬆綁 GM 作物的種植，並在西班牙 SeivII 設立一個事務處，制定共存法律是各會員國的義務責任，不同會員國有不同的隔離距離規定。因此，針對於開放 GM 商業種植後其與非 GM 作物共存的議題，以玉米為例，同一種作物歐盟各會員國法律，對於所需隔離距離大小之

規範差異相當大（圖 1.），故花粉飄散之研究是實施共存前所迫切必須進行的。

三、玉米花粉飄散模式

花粉散佈是造成基因漂流的主因之一，在農業及生態的領域上，學者花粉飄散距離早先的研究，主要著重在於探討種子生產的純度，以及族群遺傳結構上的改變。在流行病學方面，花粉飄散的研究，大多是針對花粉過敏症發生的預測。在實際農業生產上，異交作物的花粉常藉由風力、動物作為媒介，散播到相當遠的距離，在共存管理評估的研究中，基因轉殖作物田區的花粉飄散至鄰近非基因轉殖作物田區所造成的污染程度，是最為研究者所關心。

早期研究者使用常態分布函數描述風媒授粉植物的花粉密度，在距離花粉來源植株為 r 處的花粉密度：

$$\psi_r(r) = C \cdot e^{-r^2 / 2\sigma_p^2} (2-1)$$

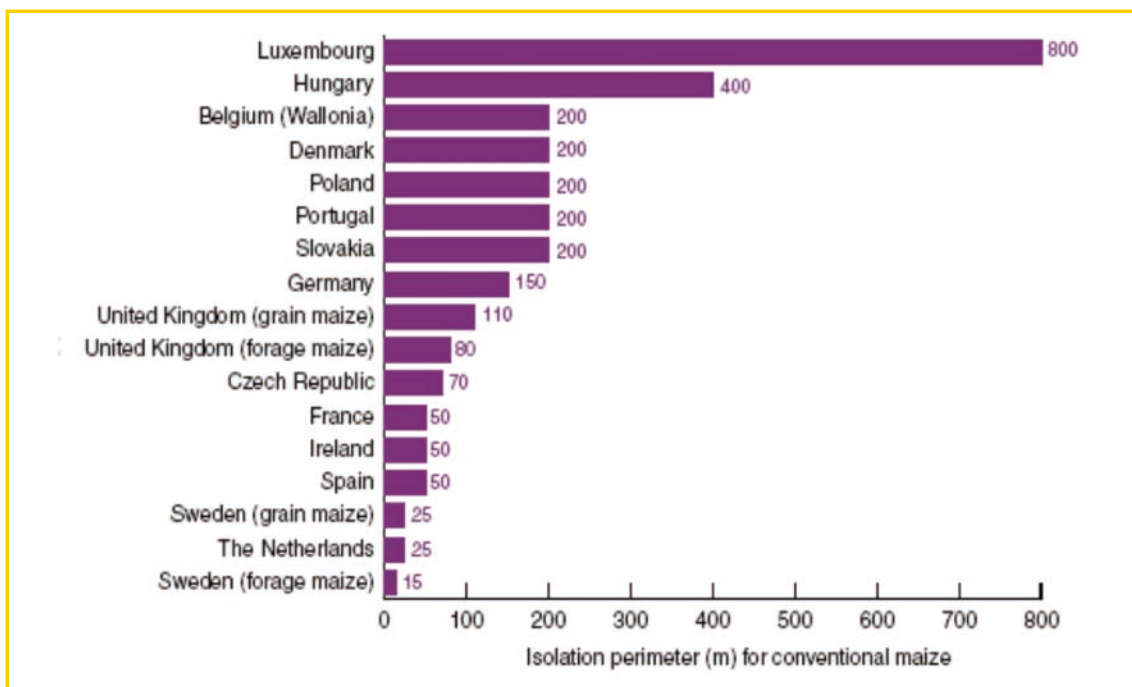


圖1. 歐盟各會員國針對種植GM與非GM玉米的隔離距離(m)規定。

研究成果

其中為常數， σ_p 為花粉飄散估計參數。一般而言，風媒授粉植物的花粉密度，是服從一個尖峰分布（leptokurtic distribution），此分布具有厚尾（fat tail）的特性，大部分的花粉在近距離處落下，而厚尾則描述在遠距離仍有飄散的機率。

文獻中的田間試驗對於異交率的定義不盡相同，可分成兩大類：一是以分子層面（基因）去定量，其中進行分析的樣本又因不同的收穫目的，區分為全株樣本（如飼料用青貯玉米）或純穀粒用樣本；二是利用花粉直感效應直接觀察受汙染的程度，並計算被汙染之穀粒數。以歐盟標示門檻標準為例，根據這些田間試驗大部

分結果可推估隔離距離大約 50 公尺內即可達到 0.9% 以下，除此之外根據這些田間試驗，基因轉殖與非基因轉殖田區的相對大小也是影響異交率汙染的重要因素之一，學者也建議如果單一非基因轉殖田區種植面積達到 5 公頃以上，則甚至可以不用任何隔離距離，基因轉殖汙染率即可達到歐盟標準 0.9% 以下。

花粉飄散模式發展至今，陸續有許多學者發展出不同的經驗模式（empirical model），常見的經驗模式如回歸分析、尖峰分布，或一些使用 negative exponential、exponential power 或 inverse power-law 等簡單的模式如下。

Reference	Expression	Type
Austerlitz <i>et al.</i> , 2004	$p_e(a; x, y) = \frac{1}{2\pi a^2} \exp\left(-\left(\frac{r}{a}\right)^2\right)$	Exponential model
Austerlitz <i>et al.</i> , 2004	$p_{ep}(a, b; x, y) = \frac{b}{2\pi a^2 \Gamma(2/b)} \exp\left(-\left(\frac{r}{a}\right)^b\right)$	Exponential power
Bateman, 1947c	$\frac{F}{1-F} = \frac{ye^{-kD}}{D}$	Exponential model
Della Porta <i>et al.</i> , 2008	$f(x) = ce^{kx}$ $f(x) = cx^k$ $f(x) = c10^{k\sqrt{x}}$	Exponential Log/Log Log/square
Goggi <i>et al.</i> , 2006	$\lambda_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 d_i)} + \beta_2 W_i$	Exponential model
Gustafson <i>et al.</i> , 2006	$PMGF = AP + \left(F_{GM} P_0 10^{-\left[\left(0.1\sqrt{TD}\right) + \left(0.2 + \sqrt{(x+BR)}\right)\right]}\right)$	Exponential + Linear
Weeks <i>et al.</i> , 2007	$y = y_0 + a \cdot \ln(x) + b \cdot \ln(x)^2$ $m = (1-y) \times \left(\frac{v}{v+w}\right)$	Empirical-statistical

四、臺灣玉米栽培狀況

臺灣玉米生產主要以飼料玉米及食用玉米為主，依行政院農業委員會農糧署資料民國 101 年臺灣飼料玉米種植面積約為 6,612 公頃，產量 29,825 公噸，食用玉米種植面積約 10,039 公頃，產量 75,359 公噸，主要飼料玉米產區為嘉義縣(3,690 公頃)、臺南市(2,472 公頃)、花蓮縣(170 公頃)、臺東縣(122 公頃)及雲林縣(50 公頃)，主要食用玉米產區為雲林縣(4,752 公頃)、嘉義縣(1,141 公頃)、臺南市(1,137 公頃)、屏東縣(660 公頃)、高雄市(618 公頃)、花蓮縣(329 公頃)、彰化縣(263 公頃)、臺中市(225 公頃)、南投縣(225 公頃)、臺東縣(225 公頃)、苗栗縣(190 公頃)、新竹縣(75 公頃)。

五、基因轉殖玉米共存栽培制度之建議

玉米 (*Zea mays*) 是雌雄同株 (monoecious) 異花授粉 (allogamous) 作物，花粉是造成基因流動 (gene flow) 的主因。影響異花授粉比例的因子有：花粉貢獻親與接受親間距離；花粉貢獻親與接受親田區大小、形狀及相對方位；風的強度與風向；雨量；花粉生命力及其含水量；其他氣候狀況；雄不稔程度。所有的研究顯示，在距離 30 公尺時異花授粉比例可維持 1 % 以下。雄花與雌花開花期的同步與否是決定異花授粉比例的重要因子。大部分的花粉都落在距來源處 30 公尺內，30-50 公尺處花粉飄散的量已非常的少但仍可發現。

為了達到整個花粉接受田區 0.9% 的

歐盟門檻值，國外研究顯示：依據花粉接受區的面積大小，以下三種不同的案例可供參考：

- (一)、當花粉來源與花粉接受區相鄰或被完全環繞時，發現當接受花粉田區面積大於 5 公頃時，整個異花授粉率仍可維持在 0.9% 的門檻值以下。主要由於在接受花粉田區上空形成大量的花粉雲，因此不需要隔離距離。
- (二)、當面接受花粉田區積在 1 到 5 公頃時，可能就必須考慮一些防堵 (containment) 措施。可以考慮以下策略或混合使用。
 1. 當花粉接受田區面積減少時，隔離距離應增加，有必要保留 10 到 50 公尺的隔離距離。如無法提供適當的隔離距離，則可考慮設置花粉藩籬。
 2. 可以將在花粉接受田區外圍的玉米視為花粉藩籬。收穫時，如果所含基因轉殖物質比例超過門檻值，可將花粉接受區外圍玉米行拋棄或當成基因轉殖玉米。
- (三)、對面積小於 1 公頃或較窄的花粉接受田區，推薦的隔離距離至少 50 公尺，特別是位在主要風向處。

在現行的農業操作下，使用隔離距離、花期隔離、利用花粉藩籬或同時使用是降低異花授粉的最重要方法。另外農民間彼此協調作物順序及播種期，選擇不同成熟期的品種等，均可改善共存的成果，而基因轉殖專區亦是最終的考量辦法。