

花粉流布

對水稻品種純度之可能影響

農試所生技組 曾清山

農試所作物組 賴明信

一、前言

農糧署於102年對市售食米抽檢結果發現，市售包裝米品質不符及品種標示不實。意即標示水稻品種「台梗9號」包裝米被混摻其它的稻米品種。對於包裝米混摻情形嚴重，廠商將原因推給農業改良場所與育苗中心所提供的秧苗品種不純，才導致市售包裝米被驗出其他品種的稻米。然而水稻育苗業者駁斥是「混淆視聽」，台灣有「水稻良種三級繁殖制度」，就算再怎麼「不純」，也不可能出現在包裝米內「十粒米內只有七粒是台梗9號」的情形，可見品種混雜問題，漸受外界注視。

「水稻良種三級繁殖制度」行之有年是指，稻種經過原原種田、原種田與採種田的設立，逐漸增加種子數量。原原種田通常是由育成機關農試所或各區改良場設置；再由縣(市)政府輔導優良農民設置原種田，最後由鄉鎮公所或農

會委託農民設置採種田；並對原原種、原種、採種三者進行種苗品質檢查作業，確保國內水稻種子能維持優良品種之遺傳特性，避免農民自行留種繁殖以至發生品種退化、混雜，使品質下降。

二、水稻品種混雜原因

嚴謹的稻種三級繁殖制度，維繫了國內稻種純度與品質。然而去年包裝米問題不斷，因應之道除公告農民種植優良水稻推廣品種才能繳交公糧外，亦需提供經檢查合格之種子供農民推廣種植，提升國產米品質及包裝米競爭力。水稻品種經過多年的生產利用後，會產生混雜降低純度。造成混雜的原因很多，從育苗介質準備、播種、田間生長、收穫、收穫後處理、運輸、儲藏等過程中，皆可能混入了不同水稻品種的種子。而其中最為忽略的是花粉流布所引起的混雜。所謂花粉流布是在自然環境條件下，和周圍不同水稻品種發生天然雜交，將進而影響品種純度。

水稻為自花授粉作物，其天然異交率雖低於1%，但發生天然雜交後，雜交

作者：曾清山助理研究員
連絡電話：04-23317312

種子在翌年種植時其後代會發生性狀分離，出現不良個體，從而降低原品種的純度。在水稻的育種過程中，研究人員仍舊關注花粉流布的問題。Oka (1988) 發現印度型(*Indica*)栽培稻和野生種比日本型(*Japonica*)栽培稻易發生雜交，其結果造成*Indica*栽培稻和野生種的株高和開花時間趨近於栽培稻。

水稻藉由花粉流布而影響品種純度，必須滿足以下三個要件：

- (1) 在空間上不同水稻品種必須在同一區域或相鄰種植，水稻花粉才會有發生雜交的機會，若不是同區域種植，混雜的風險是可以忽略。
- (2) 在時間上不同水稻品種的開花時間要重疊。水稻的開花習性隨栽培時間、環境因子（溫度、濕度、光及強度）和種植品種(如感光、感溫型)不同而有較大的差異。一般開花時間從早上10:00到下午1:00，在早上8:00前或下午4:00後沒有開花，單穗開花後第二及第三天最旺盛。若當天環境為高溫、高濕及充足陽光時水稻會提早開花。水稻開花時其內外穎會打開，花藥伸長裸露在外面，開花後約46-70分鐘即關閉。水稻花粉活力一般約可維持5-10分鐘。柱頭活力可以維持比較久時間約2至4天。與花粉相比，水稻柱頭對於溫度有較高的忍耐力，在水溫40-44℃或0-6℃中，整個水稻花序組織將受到傷害，其花粉活力受到破壞，但不影響柱頭活性。在開花前就完成了授精過程，柱頭接受的外來花粉授精的成功率很低，然

而如果水稻本身由於某些因素如抽穗前10-16天連續低溫 (16℃)，可能會導致花粉發育不完全而造成花粉沒有活力或無法產生花粉，就有機會接受外來花粉以完成授精。雖然水稻並不依賴昆蟲授粉，但有些水稻育種家如David觀察到當蜜蜂存在時會增加授粉機會。由此推論，如果不同水稻品種開花期重疊，包括一年之內的開花時期和一天之內的開花時間一致，就有機會發生雜交。

- (3) 在生物學上不同水稻品種間有一定的雜交親合性且雜種後代可以正常繁殖。目前的栽培種水稻均可相互雜交，雜交種子發育正常，一般均能順利獲得雜交的 F_1 植株。在水稻的農田內或周圍常常會有一些與其親緣關係較遠的植物種類，即非近緣種，如禾本科的稗屬(*Echinochloa*)植物。Song et al.,利用水稻與稗草雜交以瞭解二者之間的雜交親和性，結果顯示水稻花粉無法在稗草柱頭上正常萌發生長，亦無法穿過稗草柱頭。由此推論水稻與稗草的雜交成功可能性極小。

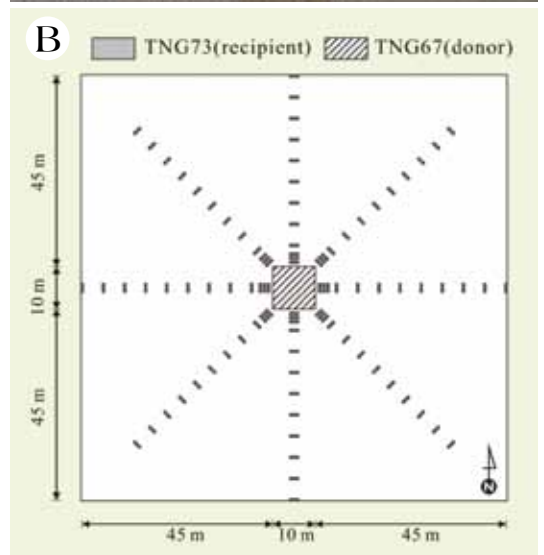
三、水稻花粉流布的相關研究

近年由於基改水稻環境釋放可能帶來的生態風險和環境問題，一直受到各國生態學家的關注，其中藉由花粉所引起的基因流布問題最引人注目。在過去十多年間，許多研究人員利用栽培稻、紅米 (*red rice*, *Oryza sativa* L.) 及野生稻 (*Oryza rufipogon*) 為材料，以不同種植距離來探討水稻的花粉流布程度，

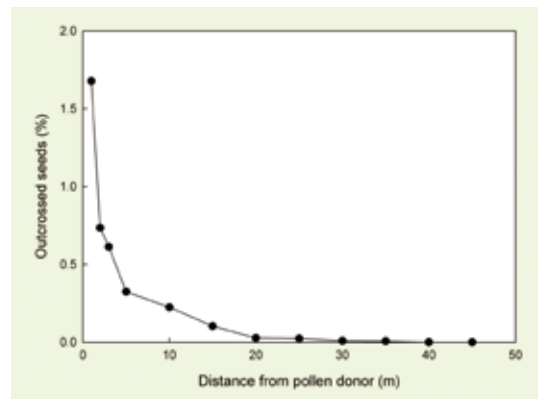
藉以估算花粉流布的頻率。結果顯示花粉流布頻率從栽培種水稻至野生稻及紅米分別為1.21~2.94%及0.011~0.046%，最遠距離在250 m處，仍然發現雜交種子 (Messegueret al. 2004; Song et al. 2002, 2004; Wang et al. 2006)。農試所也進行水稻花粉流布田間評估之研究（圖一），結果顯示花粉流布頻率受到接受親種植距離和方向所影響，花粉流布頻率隨著種植距離增加而下降，在相距1 m時其花粉流布平均頻率為1.68%，在2 m及3 m處分別為0.74%及0.61%，距離10 m時花粉流布頻率降為0.23%，最遠在35m處仍可以檢測到頻率極低的花粉流布，其頻率平均為0.01%（圖二）。位在1 m南方處測得最高花粉流布頻率為4.45%，在距離5 m處仍有六個方向測得雜交種子，其頻率平均為0.33 %。在25 m、30 m及35 m處分別有一處測得雜交種子，其花粉流布頻率平均為0.02%、0.01%和0.01%，超過40 m並未發現有任何雜交種子(Tseng et al., 2012)。藉由花粉媒介而產生的基因流布，主要是受到氣候條件，如風向、風速、溫度及濕度等影響，因此不同國家地區所調查的結果也不同。

四、防範水稻花粉流布的措施

水稻在台灣栽培面積達二十二萬公頃，是種植面積最廣的糧食作物。台灣稻米產業屬小農制，平均每戶可耕作面積低於1公頃。在水稻生產區內，栽種許多不同水稻品種的現象非常普遍。在同一地點相鄰栽種時，不同水稻品種可能藉由花粉傳播而相互雜交，將可能會污



圖一、台農67號水稻(TNG 67)花粉流布田間評估試驗。



圖二、台農67號水稻(TNG 67)在不同距離的雜交種子頻率(%)。

染水稻種子的純度和品質。因此在水稻良種繁殖過程中應注意花粉流布，防止種子污染。

防範花粉流布之方法主要在阻斷花粉交流的過程，目前在商業生產上，控制花粉流布最簡單的措施是利用距離來進行隔離及調整作物開花期。各國政府為防止基改作物與一般作物之間的雜交及混雜，依不同作物訂定參考隔離距離。歐盟依國家不同訂定相關法定隔離距離，玉米為25~200 m、甜菜50~2000 m、馬鈴薯2~50 m、油菜500~3000 m。中國大陸在農業生物基因工程安全管理實施辦法中明訂水稻的隔離距離為100 m、玉米300 m、大豆100 m、棉花150 m、油菜1000 m。日本水稻的隔離距離為26 m、大豆10 m、玉米600 m、油菜600 m。然而日本北海道因地域關係另外訂定的隔離距離水稻為30 m、大豆20 m、玉米1200 m、油菜1200 m。台灣主要作物生產栽培依行政院農業委員會種苗改良繁殖場種子檢查室的田間檢查標準皆有訂定隔離距離，如水稻3 m、大豆3 m、玉米300 m、馬鈴薯200 m。隔離距離之制訂一般是根據作物種類及授粉距離而定，然而授粉距離受到很多因素之影響，例如風力、風向、氣溫、濕度、昆蟲地域性、栽種面積等，相關研究顯示利用距離隔離並不能充分防止基因轉殖作物的基因流布，因此引作他用時其安全及實用性尚需進一步進行檢證。

對於降低花粉基因流布的措施另可設置綠籬 (green fence) 或緩衝區 (buffer zone) 隔離。所謂綠籬隔離即在水稻周

圍種植灌木或小喬木成叢聚形成綠色屏障，以防止花粉的遠距離擴散，除降低風速減少花粉的傳播距離外，亦可以直接阻擋一部分花粉。農試所在基改作物隔離試驗田內利用朱槿當綠籬，進行水稻花粉流布之研究，結果顯示總計檢測108000粒的台農糯73(TNG 73)種子，並未發現有來自基改水稻AAN轉殖品系的雜交種子，其花粉流布頻率為0%。顯示在本試驗條件下，利用朱槿當綠籬可以有效地防止TNG 73受到相鄰田區AAN轉殖品系水稻花粉的污染。

而設置緩衝區即在作物田間周圍種植相同或不同品種作物作為緩衝區加強屏障，該緩衝區種子則另外收穫。這種方法也可以防止一部分花粉離開作物的種植地點。OECD在生物技術的生物安全專家會議中，認為大豆是高度自交作物，只採取物理隔離措施即可控制花粉流布，緩衝區可有效地阻擋花粉的傳播，大大縮短傳粉距離。基改棉花直接相鄰處的傳粉率最高為1.8%，平均為0.75%，在緩衝區為1 m、10 m、和20 m時，其傳粉率依次為0.4%、0.06%和0.0001%。對甜菜而言，在30 m處的緩衝區中，檢測不到甜菜的花粉。利用12 m寬的緩衝作物區可使油菜的傳粉率降至0.7%。顯示利用緩衝區設置可有效地阻擋花粉的傳播，降低花粉飛散距離。

農試所在基改作物隔離試驗田進行緩衝區設置對水稻花粉流布之研究，結果顯示有無緩衝區設置的效果受到距離及風向所影響。在順風狀況下，位於下風南方與東南方7 m之內，有無緩衝區設

置對花粉流布頻率差異不大，然而在9 m處其花粉流布頻率有顯著的差別。緩衝區設置南方與東南方9 m處的花粉流布頻率分別為0.83%和0.84%，而無緩衝設置則分別為1.53%和1.65%。在逆風狀況下，位於上風北方與東北方1、3和5 m處有緩衝區設置的花粉流布頻率高於無緩衝區設置，但在7 m以後有緩衝區設置的花粉流布頻率則明顯低於無緩衝區設置，顯示在上風處之風速較小的情況下，7 m的緩衝區設置可減少花粉流布頻率。

五、結語

台灣地狹人稠，現有耕地主要栽種水稻，當不同水稻品種在同一地點相鄰栽種時，可能藉由花粉傳播污染種子的純度和品質。從目前的研究來看，在開放的田區條件下，由於受到氣象因子如風速和風向的影響，利用隔離距離或緩衝區的設置並無法有效地防止水稻花粉流布。綠籬的設置是可以有效降低水稻花粉流布的污染。選用綠籬種類時應考量生長速率的快慢、是否容易維護管理、植株高度的匹配、植株枝葉是否茂密等因素。然而無論規範如何地完善，能否嚴格地執行將是控制水稻花粉污染的關鍵環節。

六、參考文獻

- David, R. G., H. M. Donna, and J. N. Rutger. 2003. Gene Flow Between Red Rice (*Oryza sativa*) and Herbicide-Resistant Rice (*O. sativa*): Implications for Weed Management. *Weed Technol.* 17:627-645.
- Mascia, P. N. and R. B. Flavell. 2004. Safe and acceptable strategies for producing foreign molecules in plants. *Curr. Opin. Plant Biol.* 7:189-195.
- Messeguer, J., V. Marfà, M. M. Català, E. Guiderdoni, and E. Melé. 2004. A field study of pollen-mediated gene flow from Mediterranean GM rice to conventional rice and the red rice weed. *Mol. Breed.* 13:103-112.
- Oka, H. I. 1988. Origin of Cultivated Rice. Japan Sci. Soc. Press, Tokyo. 254 pp.
- Song, Z. P., B. R. Lu, Y. G. Zhu, and J. K. Chen. 2002. Pollen competition between cultivated and wild rice species (*Oryza sativa* and *O. rufipogon*). *New Phytol.* 153:289-296.
- Song, Z.P., B. R. Lu, and J. K. Chen. 2004. Pollen flow of cultivated rice measured under experimental conditions. *Biodivers. Conserv.* 13:579-590.
- Tseng, C. S., M. T. Wu, H. C. Huang, and Y. R. Lin. 2012. The green fence of Chinese hibiscus (*Hibiscus rosa-sinensis* L.) prevents pollen dispersal of transgenic Rice (*Oryza sativa*). *Plant Prod. Sci.* 15: 100-108.
- Wang, F., Q. H. Yuan. L. Shi, Q. Qian, W. G. Liu, B. G. Kuang, D. L. Zeng, Y. L. Liao, B. Cao, and S. R. Jia. 2006. A large-scale field study of transgene flow from cultivated rice (*Oryza sativa*) to common wild rice (*O. rufipogon*) and barnyard grass (*Echinochloa crusgalli*). *Plant Biotech. J.* 4:667-676.