基改水稻風險評估與管理

農試所生技組 曾清山 陳涵葳 關政平 杜元凱

一、前言

全球基改作物種植面積持續增長，根據ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications)資料顯示，2015年全球基改作物商業栽培面積已達1億8千萬公頃。由於基改作物及其產物對人畜食用安全性、基因污染及生態環境安全問題，使得各界對基改作物仍存有疑慮。我國基改作物之管理主要依據農委會頒布之「基因轉殖植物田間試驗管理辦法」，執行基改作物遺傳特性調查與生物安全評估，在確保國民健康及不影響環境生態安全的前提下，採取『積極研發，有效管理，以非食用作物優先』之政策。

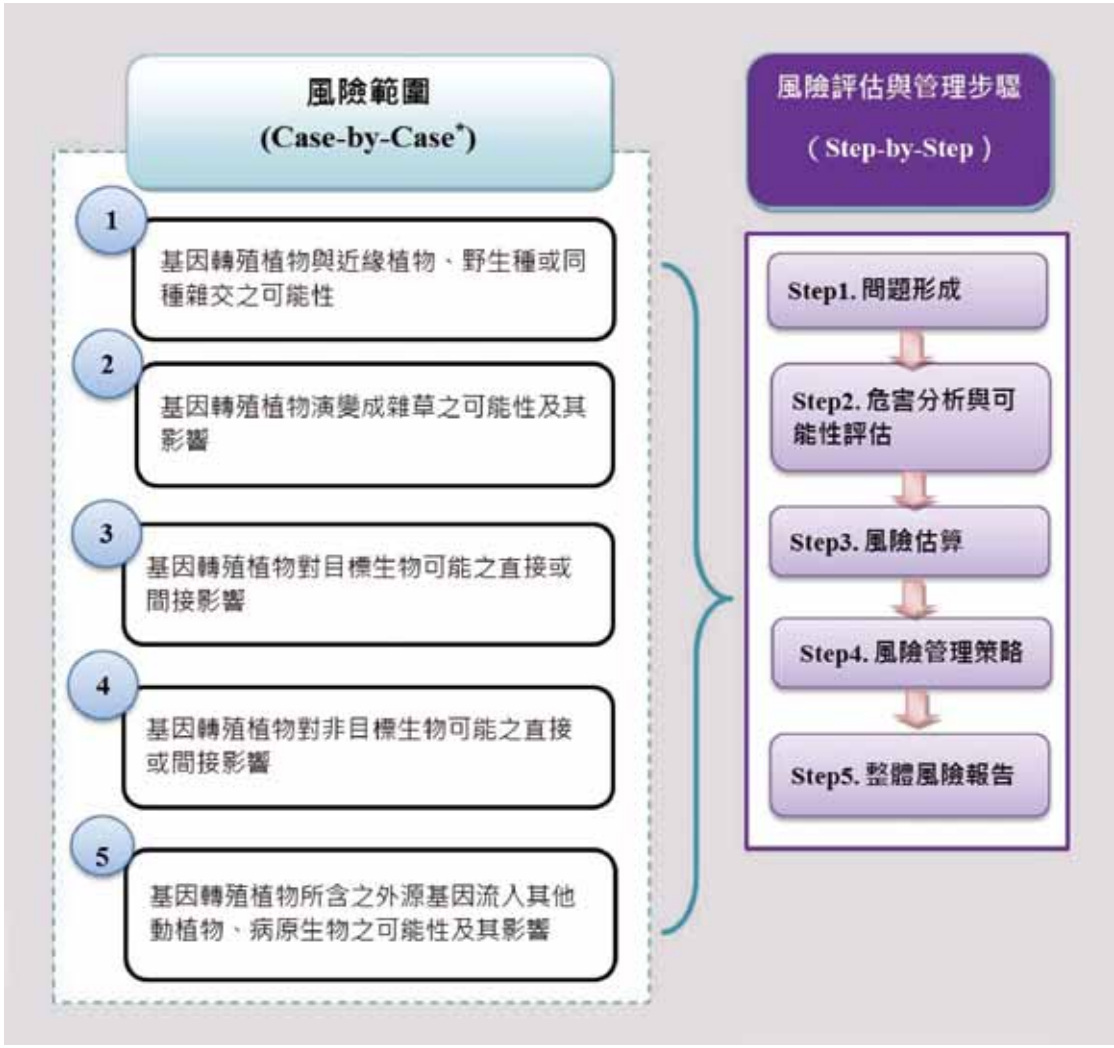
二、風險管理步驟

為維護糧食安全以及生態環境永續經營，基改作物之研發、管理及規範，逐漸為各國所重視。經濟合作與發展組織(Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD）於1986年首度發表基改植物安全評估報告，其內容涵蓋人類健康、環境與農業議題，並針對基改植物所帶來的風險，劃分為六個須確認之風險範圍，每一個風險範圍，需經六個步驟依序進行風險評估。聯合國糧農組織(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO）於2009年生物安全報告書中詳述基改植物風險評估與管理原則架構。歐盟之歐洲食品安全局(European Food Safety Authority，EFSA)於2010年提出基改植物之風險評估與管理流程，根據基改植物所帶來的風險，劃分為七個需確認之風險範圍，並經由六個步驟依序進行風險評估。

台灣農業科技資源運籌管理學會參酌國際之風險評估與管理原則與流程，依據個案處理(Case-by-Case)、循序漸進(Step-by-Step)之風險評估原則，建立基改作物風險評估與管理架構(圖一)。其風險管理步驟為：1、問題形成：在進行風險評估時，必須確認所有用來進行風險特性分析的重要問題，進行風險評估的基本假設為何，可使風險評估的目標對象更為明確。2、危害分析與可能性評估：在問題形成階段中所假設的危害，進行質化或量化的風險評估，將每個潛

作　　者：曾清山助理研究員
連絡電話：04-23317312

在不良環境影響的嚴重性，盡可能以如高度、中度、低度，或是可忽略的順序類別描述，若能以量化方式敍述，將能更精確表達危害程度與嚴重性程度之不同尺度。辨識基改作物相關的表徵與基因型特性，其可能在種植環境中對生物多樣性產生不利影響，以及對人類健康產生威脅。對上述不利影響進行可能性評估，並將其種植環境之暴露程度及種類納入考量。3、風險估算：要進行風險估算，便要將危害結果的嚴重性，以及危害結果發生的可能性，兩者結合起來進行分析。依據這些不利影響的可能性及後果評估，來估算基改植物所衍生的可能風險。4、風險管理策略：根據風險估算的結果，同時考慮社會、經濟等各方面相關因素，選擇和實施適當的防止、控制和監測方案，最終目的是降低基改作物所衍生的可能風險發生。5、整體風險報告：評估基改作物的整體風險時，



圖一、台灣基改植物風險評估範圍與管理步驟。

必須參考大量資料，充分了解基改作物對環境與人類健康的影響。個案風險評估必須公正，一一衡量基改作物的潛在風險，對風險管理者，提供量化或質化的指導建議，才可以進行農業應用與環境釋放。

三、風險評估範圍

依據農委會基因轉殖植物田間試驗管理辦法訂定之基因轉殖植物遺傳特性調查和生物安全評估原則，將其風險評估範圍可歸類為競爭優位性(Competitiveness)、基因流布(Gene flow)和有害物質產生性(Harmful substances)。本文將依照風險評估範圍與管理步驟，對基改水稻進行風險管理分析。

(一)競爭優位性

1、問題形成：基改水稻本身或接受其所導入外源基因的野生近緣植物之適應性是否發生改變，使其存續更久並成為難以控制的野草。

2、危害分析與可能性評估：包括(1).環境適應性評估：主要評估項目包括株高、葉數、乾重、種子數目、種子休眠力、花粉量及開花期等特性。(2).競爭及野化能力評估：主要評估項目包括種子數目、種子萌芽力、生長速率、乾重、花粉量等特性。(3).植株及繁殖體長存性評估：主要評估項目包括種子數目、種子壽命、種子休眠性、營養生長期、開花期、老化期及越冬性等特性。

3、風險估算：研究顯示轉殖植酸酵素基因水稻之發芽率及幼苗生長勢與台農67號差異不顯著，且後代生殖率顯著較低(單位面積稻穀產量)，其轉殖之基因為提高水稻植酸酵素含量，添加於飼料中可改善單胃動物對植酸-磷的消化率，為改變營養成分，其演變成雜草之可能性與台農67號沒有差異。(Tseng et al., 2008)。

4、風險管理策略：雖然基改水稻演變成雜草之可能性與台農67號沒有差異，其管理策略建議(1).專區種植：在申請許可的所在地及限定下的環境中(隔離農場)進行培育、保管、搬運、廢棄等行為，降低對生物多樣性產生的衝擊。(2).若非專區種植建議每期作收穫後應灌水、耕犁以減少自生苗發生率。

5、整體風險報告：基改水稻僅轉入改變營養成分之基因，非轉殖抗病、抗蟲或抗除草劑基因，該外源基因並不會形成其獨特的競爭優勢。研究推論其演變成雜草之可能性與台農67號沒有差異(Tseng et al., 2008)。

(二)基因流布

1、問題形成：須先蒐集相關資料，說明基改水稻之近緣植物、野生種存在狀況及其繁殖方式，包括花器構造、開花期間、授粉方式等之異同。若可證實無雜交可能，則不需進行調查。若無法證實無雜交可能，則需在適當的隔離設施內進行雜交可能性之調查。

2、危害分析與可能性評估：水稻近緣種如禾本科的稗屬(Echinochloa)植物，

研究顯示基改水稻花粉無法在稗草柱頭上正常萌發生長。另外將基改水稻花粉授在去雄稗草上，同樣無法獲得雜交種子(Song et al., 2002)。水稻野生種具有多種基因組(genome)，如普通野生稻(AA)、*O. officinalis* (CC)、*O. meyeriana* (GG)。除AA基因組可與栽培種雜交外，不同基因組稻種間有非常嚴格的生殖隔離，其遺傳關係也相對較遠，很難發生天然雜交。台灣野生稻*O. rufipogon* Griff.為多年生型，屬於AA基因組，早期分布於桃園至新竹縣若干池塘中，後可能與雜草李氏禾(*Leersia hexandra*)競爭而衰退滅絕(Chang, 1976)。因此在台灣基改水稻沒有機會在自然環境下透過漸滲雜交(introgression)，將外源基因轉入野生稻。水稻栽培種有2個即亞洲栽培稻(*O. sativa*)和非洲栽培稻(*O. glaberrima*)，均為二倍體(2n=24)，屬於AA基因組，因此需要評估基改水稻與栽培稻間的基因流布情形。

3、風險估算：基改水稻在台灣和同為稻屬的野生種及近緣種交配出雜種的可能性很低，由此推論基改水稻與非稻屬的稗草間基因流布的可能性極小。但研究顯示基改水稻可以藉由花粉流布至相鄰非基改栽培種水稻(Tseng et al., 2012, Tseng et al., 2013a, 2013b)。

4、風險管理策略：由於基改水稻可以藉由花粉流布將外源基因轉入鄰近的非基改水稻，因此管理策略建議(1).專區種植：在申請許可的所在地及限定下的環境中(隔離農場)進行培育、保管、搬運、廢棄等行為，降低對生物多樣性產生的衝擊。(2).若非專區種植建議設置綠籬及緩衝區防範花粉飛散。相隔距離大小視所能接受的風險程度而定。(3).嚴格管控生產流程，包含田間管理、收穫調製、運輸過程、倉儲管理，防止基改水稻種子流布。

5、整體風險報告：水稻花粉數量越多，花粉活力越強，對異交就越有利，從花粉性狀的結果來看，基改水稻藉由花粉媒介基因流布的頻率不會高於對照品種台農67號。以隔離距離來防範花粉流布，35m距離仍有發現雜交種子，若要達到零風險尚非安全隔離距離。利用緩衝區設置則至少需要7m以上可減少花粉流布頻率。而以2m高的朱槿綠籬設置可有效防範水稻花粉流布。

(三)有害物質產生性

1、問題形成：須先瞭解基改水稻是否會產生有害物質，對生物多樣性在不同層級中的功能性，造成不良影響。基改水稻外源基因進入到土壤或是食用草料的動物內臟中，與土壤微生物或動物消化系統中腸道菌進行基因水平轉移的可能性為何，對人類、動物健康及環境是否會造成潛在不良影響。

2、危害分析與可能性評估：需要評估基改水稻對昆蟲族群密度改變及危害、對害蟲抗性和主要天敵之影響。對於病害之評估包含病害發生種類及情形、病害傳播、發病生態和病原性強弱比較及引發病原之可能性。對於土

壤微生物相之評估則包含總細菌數、總真菌數、土壤細菌群落、尿素氧化菌、游離性固氮菌、溶磷菌等

3、風險估算：利用轉殖植酸酵素基因水稻進行根部分泌物與殘株對指標植物發芽影響研究，結果顯示後作試驗(succeeding crop test)中基改水稻與對照品種台農67號對指標植物發芽率沒有顯著差異。同樣地在鋤入試驗(plow-in test)，亦未達顯著差異。對土壤微生物群落之影響，以平盤塗佈法結果顯示，基改水稻並無抑制微生物生長情形，且與台農67號根圈土壤微生物菌落數量消長趨勢一致，無明顯差異。

4、風險管理策略：由於基改水稻有害物質產生性對於病蟲微生物影響層面比較廣泛，管理策略建議(1).保護植物(refuge)：栽種抗蟲基改作物田區附近一定距離內，種植一定比率的非基改的同種作物，使來自抗蟲與非抗蟲植物上所生長發育的成蟲，得以相互交配，而產生非抗性的子代。(2).高毒性(high toxicity)：抗蟲基因基改作物所表現的毒性成份需足夠，殺蟲效果必須達到使絕大多數目標害蟲致死的程度，降低抗性蟲的族群密度，以減少互相交配而產生抗性後代的情形(EPA, 1999)。(3).預防次要病原菌或害蟲之大發生：抗病蟲基因基改作物將目標病蟲族群密度壓制之後，受到同一寄主植物上昆蟲族群改變之影響，次要病害蟲族群密度的變化值得重視。

5、整體風險報告：基改水稻有害物質產生性影響層面比較廣泛，對於生態系影響之長期預測仍有相當難度，因此基改作物即使通過評估而釋出種植，其對於環境生態系之長期影響，仍需要做持續的追蹤監控，一旦發現有不利於環境生態的情形，立即採取管制或禁止之措施，才可能使基改作物對環境產生破壞之風險降至最低。希望能在獲取現代科技所衍生利益的同時，盡量避免對環境生態造成任何負面影響。

四、結語

全球基改作物種植面積持續增長，目前政府並未核准基改作物進行商業化生產種植，然而基改作物生物安全評估為近年來該等作物商業化生產與利用所衍生出來的新興領域，也是必須審慎面對的課題。各國對於基改作物之共識為生物安全評估應以科學化證據為基礎，惟所需評估項目繁多且基改作物對環境衝擊之生物安全性評估有地域上的差異，某國家所得到的結果可能不適用於另外的國家，宜針對基改作物進行個案處理、循序漸進之評估，以確保國內生態安全。

五、參考文獻

劉麗飛、顏雯玲（主編）。（民96）。基因轉殖植物田間試驗參考手冊。南投市：行政院農委會農糧署。

Biotechnology and Biosafety Workshop. (2009). Biosafety of genetically modified organisms: basic concepts, methods, and

issues. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Bergmans, H. (2006). Basic framework for risk assessment for transgenic plants developed by the OECD: 20 years after the OECD "Blue Book". Environmental Biosafety Research, 5(04), 213-218.

Chang, T. T. 1976. The origin, evolution, cultivation, dissemination, and diversification of Asian and Afirican rices. Euphytica. 25:425-441.

EPA. 1999. EPA and USDA position paper on insect resisitance management on bt crops.

European Food and Safety Authority (EFSA). (2010). Guidance on the environmental risk assessment of genetically modified Plants. EFSA Journal, 8 (11), 1879.

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.

Tseng, C. S., M. T. Wu, H. C. Huang, M. H. Lai and C. G. Chern. 2008. Field assessment of agronomic performance and biosafety of phytase-gene transformed rice. J. Taiwan Agric. Res. 57:175-182.

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.

Tseng, C. S., Y. R. Lin, C. P. Kuan, M. H. Lai and M. T. Wu. 2013. Field assessment of agronomic traits and pollen-mediated gene flow of transgenic rice. J. Taiwan Agric. Res. 62:21-31.

Tseng, C. S., Y. R. Lin, C. P. Kuan, M. H. Lai and M. T. Wu. 2013. Effect of buffer zones on pollen-mediated gene flow of transgenic rice. J. Taiwan Agric. Res. 62:259-267.