

歐盟基改與非基改作物 間共存研究-SIGMEA、 TransContainer、 Co-Extra之成果說明

撰文/林汶鑫·徐永衡·李孟昭·聶碩成·鍾昀軒·郭寶錚

前言

隨著農業生技技術的快速發展，對於農產品從量轉為對質的需求之外，更要求在耕作過程中能降低成本並增加收益，因而造就基因改造 (genetically modified, GM) 作物的日漸增加。自 1996 年在美國首度開放 GM 作物的田間種植後，依據 ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Application) 之統計資料顯示，迄今 (2012)，總種植面積已高達 17,000 萬公頃，其中開放種植的國家也增加到 28 國 (James, 2012)。雖然種植面積已大幅度增加，但一般大眾對於 GM 作物及食品的認知卻遠不及其種植的程度。以美國的消費者調查報告為例，儘管在超市中已有將近 60-70% 含有 GM 組成的相關食品，但卻只有將近 30% 的消費者相信他們曾經食用過 GM 相關食品 (Bryne, 2006)。此外，同時也引起供應鏈中農民、管理員及消費者的疑慮，包括對於生態環境之影響、食品之安全性，以及伴隨而來之經濟及貿易的影響問題等。因此，

為確保農民在 GM 作物、傳統作物和有機作物中自由栽種的權利，以及消費者自由選擇購買品項的權益，世界各國均逐漸重視 GM 作物之相關議題的規範及研究。歐盟行政命令 (2001/18-26) 開始規範 GM 作物在開放環境中應遵守之原則，以避免 non-GM 作物遭到 GM 作物的污染，並且更包括試驗完成後之推廣及生產後上市等的相關原則。此外，1829/2003 以及 1830/2003 等的歐盟管理規章更開始針對基因改造食品、飼料以及產品等，規範其標示及追溯規定。

面對 GM 作物及其衍生產品的生產及銷售已逐漸受到重視的同時，對於其衍生的環境風險進行評估則是需要多領域的整合研究 (Hill, 2005)。而對於 GM 與 non-GM 作物共存時的方式則更需有妥善的因應之道，如此 GM 作物才得以持續妥善的發展 (陳等, 2008)。因此，從 2004 年起，歐盟各國在第 6 科研架構計畫 (The Sixth Framework Programme for Research 6, FP6) 的架構下，開始對於 GM 作物相關的各項研究計畫提供研究經費，期望能提昇對

於 GM 與 non-GM 共存之應用及施行的瞭解程度，並且給予現存以及未來即將設立的法規與政策得以參考的依據。其中 SIGMEA、TransContainer、Co-Extra 則是歐盟 FP6 中三個關於 GM 作物最主要的研究計畫，而其結果亦逐漸成為世界各國研究者在進行相關研究時參考的資料。

回顧國內，近年來在 GM 作物的技術研究上日益成熟，而相關作物也相繼投入田間試驗。但無論在試驗時期或是種植推廣時期，GM 作物與傳統作物及有機作物之共存問題同樣是急待解決的重要議題。因此，詳盡且適切的瞭解國外在共存問題上之相關研究及規範，以及國內在共存研究之結果與困境，期望得以兼顧消費者的消費選擇和農民的栽植自由，並且使得國內在共存研究的能力與世界各國得以齊頭並進。因此，本文將對 SIGMEA、TransContainer、Co-Extra 等三個 GM 相關計畫對於其研究方向及其主要成果的進行概述，以利相關研究人員進行相關研究時之參考。

基因改造作物與傳統、有機作物之共存及全球之概況

自 1983 年由比利時及美國發展植物基因工程以來，由於基因改造生物體 (genetic modified organism, GMO) 的延伸技術而發展的 GM 作物所造成的優勢或風險，以及伴隨的經濟議題已逐漸為研究者所注意。而 GM 作物的發展進程大致可分為三個階段：(1) 著眼於經濟、環境以及減少農業耕作上之考量：例如發展抗病、抗蟲，或耐除草劑的作物，使農民減少除草劑和除蟲劑的使用，並減少農民暴露在除草劑中的程度；(2) 著眼於消費者的利益：例如食品品質中增加維生素或微量金屬；(3) 額外附加考量：例如提供較佳之纖維素以適合造紙的作物、抗旱耐鹽作物、生質能源作物，與醫藥使用的 GM 作物等 (Davison & Bertheau, 2007)。近來，美國農業部首度開始正視共存議題的存在，並朝共存的方向開始進行，並認為共存是需要雙邊保護的選擇

權，GM 作物與 non-GM 作物（有機或傳統作物）的雙邊利益都需要被保護，而非著重在單一選項的作物選擇上。如此可見，對於全球農業發展而言，GM 作物逐漸成為農業耕作選擇的選項之一，其中 GM 作物以大豆、玉米、棉花、及油菜等為最主要作物，其中又以大豆的種植面積為最多。累計至 2012 年，種植面積前 5 大的國家依序分別為美國（6,900 萬公頃）、巴西（3,600 萬公頃）、阿根廷 2,300 萬公頃）、加拿大（1,100 萬公頃）和印度（1,000 萬公頃），其總種植面積約為全球 GM 作物總種植面積的 90% (James 2012)。以 GM 性狀區分仍以耐除草劑為主，其次是混合抗蟲和耐除草劑的複合性狀作物，再來是抗蟲品種。而就已推廣種植的商業品種而言，目前約有 30 個左右的商業 GM 品項 (commercial GM event) 已經開始實地種植。學者預期在 2015 年將會超過 120 種，其中除了抗蟲及耐除草劑的 GM 作物外，還會涵蓋提昇作物成分（例如：優化油脂、增加澱粉及營養成分）及抗非生物逆境（例如：抗旱、耐鹽逆境），並且大部分將會由亞洲或拉丁美洲國家所生產 (Stein & Rodríguez-Cerezo, 2009)。

在 GM 作物日漸增加的同時，世界各國逐漸開始重視 GM 作物以及共存相關的研究。例如：歐盟行政命令 (2001/18-26) 開始規範 GM 作物釋放到環境中應遵守的原則；1829/2003、1830/2003 等之歐盟規定，更開始針對 GM 食品、飼料及產品規範其標示及追溯規定。而在 GM 作物、食品及其衍生物的規範上，世界各國亦逐漸跟進，訂定該國之相關 GM 含量規範（表一）。

在開放的環境下，若種植 GM 作物，則其作物可能會與野生近緣種 (wild relative)，或者傳統栽培作物發生異交，導致遺傳物質的交換，因而造成基因漂流的現象。在植物中，有超過 70% 是經由異交而產生後代，其中花粉是最主要的媒介。在玉米作物中，花粉常會因大氣的因素散播到相當遠的距離而造成前述基因漂流的現象。因而在 GM 作物安全評估的研究中，GM 花粉的最遠飄散距離及散佈趨

表一 部分國家對於GM標示法規的現況

Major Country	Labeling type	Product/process	Coverage	Threshold level
Asia				
Bangladesh	No labeling regulation	Product		n.d.
China	Mandatory	Process	Products derived from GM	none (0%) (under discussion)
Hong Kong	Voluntary& Mandatory (Substantial equivalence)	Product	All products based on content	5%
Indonesia	Mandatory	Product	Introduced but not implement	5%
India	Mandatory	Process	Foods, ingredients and additives cannot be produced, sold, imported or used	
Israel	Mandatory	Product	Maize and soybeans and their products	0.9%
Japan	Mandatory & Voluntary	Product & Process	All products based on content	5%
Malaysia	Mandatory	Product	All products based on content	3%
Philippines	Voluntary (Substantial equivalence)	Product	All products based on content	5%
Republic of Korea	Mandatory & Voluntary	Product & Process	List of food items	3%
Saudi Arabia	Mandatory & Voluntary	Product & Process	List of food items	1%
Sri Lanka	Ban on GM products			
Taiwan	Mandatory & Voluntary	Product & Process	All products based on content	5%
Thailand	Mandatory & Voluntary	Product & Process	List of food items & raw product	3% or 5%
Vietnam	Mandatory	Product	Introduced but not implement	
Russia	Mandatory& Voluntary	Product	All products based on content, includes derived products	0.9%
Europe				
European Union (EU-27)	Mandatory & national Voluntary guidelines	Process	Food, feed, additives, flavorings, products derived from GM	0.9%(Traceability requirements)
Norway	Mandatory	Process	All products based on content	2%
Switzerland	Mandatory	Process	Food products (including additives) and animal feed	2%or3% (feed), 0.5% (imported seeds)
North & South America				
Argentina	Voluntary (Substantial equivalence)	Product	All products based on content	5%
Brazil	Mandatory& Ban	Process	Food, feed, products derived from GM, meat and animal products	1%
Canada	Voluntary (Substantial equivalence)	Product	All products based on content	5%
Chile	Mandatory	Product	Introduced but not implement	

(待續)

表一 部分國家對於GM標示法規的現況

Major Country	Labeling type	Product/process	Coverage	Threshold level
Ecuador	Mandatory	Product	Introduced but not implement	
Mexico	Mandatory	Product	Food	n.d.
United States	Voluntary (Substantial equivalence)	Product	All products based on content	5%
Australasia				
Australia – New Zealand	Mandatory	Product & Process	All products based on content	1%
Africa				
Ethiopia	Mandatory	Product	Introduced but not implement	
Kenya	No labeling addressed in draft bill	Process		No established
South Africa	Voluntary& Mandatory (Substantial equivalence)	Product	All products based on content	1%

資料來源：Phillips & McNeill (2000), Jia (2003), Viljoen et al. (2006), Gruère and Rao (2007), Ramessar et al. (2008), and Gruère (2009).

勢最為研究者所關心，其中以非線性模式常用於配適玉米花粉的異交率 (cross pollination (CP) rate) 與飄散距離間之關係 (Ma *et al.*, 2004; Gustafson *et al.*, 2006; Della Porta *et al.*, 2008)。

而為保護 non-GM 作物或相關衍生產品因為非故意發生的異交因素而造成污染，歐盟各國將非 GM 農產品的可容忍標準訂定為 0.9%，亦即偶發性 (adventitious presence, AP) 的容忍標準。但在歐盟的規範下，目前制訂共存法律係視為各會員國自行的義務及責任，因而不同的隔離距離規定就常出現在歐盟各國的規範之間。以玉米為例，歐盟各國之間對於所需及認知的隔離距離大小間的規範差異是相當明顯的，例如：從瑞典 (Sweden) 在青割玉米的 15 公尺規定到盧森堡 (Luxembourg) 的 800 公尺 (表二) (Devos *et al.*, 2008; Ricroch *et al.*, 2009)。可見對於隔離距離而言，歐盟各國仍有相當大之歧見。因此，為能符合實際條件訂定配適之隔離距離，明確的掌握花粉飄散距離之分佈則顯得相當重要。然而根據歐盟研究的玉米異交分析資料指出，部分訂定的目標隔離距離並非與實際共存原則相符。而其原因大多是來自於：(1) 過度的從科學觀點來審視、(2) 執行上的困難度、(3) 耕作地的區域異質性，以及 (4)

與農民的經濟收益不成比例 (Devos *et al.*, 2009a)。此外，部分研究指出超過 20 公尺之外，玉米花粉的異交率就已經低於 0.9% 的歐盟門檻 (Web *et al.*, 2007; Messeguer *et al.*, 2006)；抑或是在花粉飄散的研究中採用雄不稔的品種，因而少了花粉競爭的影響而高估了花粉飄散的趨勢及程度 (Wang *et al.*, 2006)；影響花粉飄散的因素之中，除了花粉接受親及貢獻親田區的大小、花粉的相對濃度、風速風向的問題，以及隔離距離之外，開花期的重疊與否更是其中重要的因素 (Alluntt *et al.*, 2008; Messeguer *et al.*, 2006)；而在農民經濟的收益上，主要是產量的增加，加上耕作成本的降低，而非農產品單價的提高 (Gómez-Barbero *et al.*, 2008) 等。

此外，除了上述因為花粉飄散所帶來的異交問題是影響 AP 發生的因素之外，諸如種子純度、自生族群 (volunteer) 的存在與否、收穫儲藏設備、運輸工具，以及倉儲過程等 (Messeguer *et al.*, 2006; Messéan *et al.*, 2006; Palauldelmàs *et al.*, 2009) 都是在進行 AP 估計時所需詳加考量的重要因素。

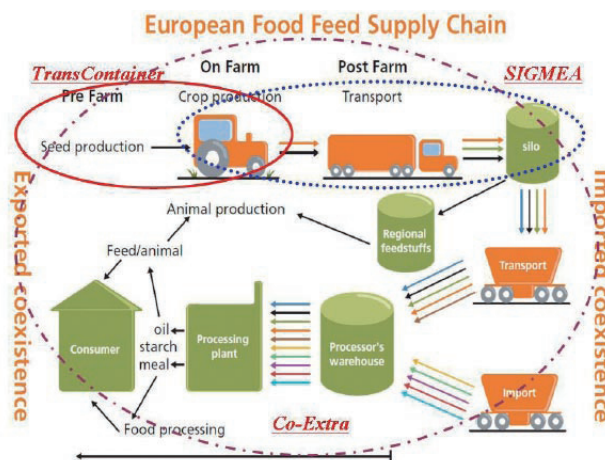
面對日漸增加的 GM 作物、食品所衍生的環境風險進行評估以及如何確保 GM 作物與一般作物間的共存是需多方面領域的整合進行。歐盟委員會

表二 歐盟各國對於GM玉米所制訂之隔離距離

Country	for conventional maize	for organically grown maize	for maize seed production
Sweden (forage maize)	15	15	-
Sweden (grain maize)	25	25	-
The Netherlands	25	250	250
Spain	50	50	300
Ireland	50	75	-
France	50	-	-
Czech Republic	70	200	-
United Kingdom (forage maize)	80	-	-
United Kingdom (grain maize)	110	-	-
Germany	150	300	-
Slovakia	200	300	-
Portugal	200	300	-
Poland	200	300	-
Denmark	200	200	200
Belgium (Wallonia)	200	-	-
Hungary	400	800	800
Luxembourg	800	800	800

資料來源：Devos et al.(2008), Devos et al., (2009)a,b, Ricroch et al.(2009)

也對“共存”的原則給予定義：在服從標示及純度標準的規範下，農民及消費者在傳統、有機及 GM 作物產品間具有自由選擇的能力。為確保上述共存的條件，以及如何使共存在供應鏈中進行應用和提供在法律及政策上之參考，FP6 進行 SIGMEA、TransContainer、Co-Extra 三項重要的 GM 作物研究計畫。若以供應鏈的關係說明（圖一），TransContainer 是基於種子生產到田間作物生產的階段進行研究；SIGMEA 則是介於田間種植到收穫倉儲運輸間的共存研究，其範圍包含耕作系統、成本分析、共存措施的架構、意見調查、檢測方法、管理及責任補償議題等。而最後 Co-Extra 則是整合上述的兩個特別議題研究專案 (specific targeted



資料來源：Bertheau, Y., and Davison, J. (2008).

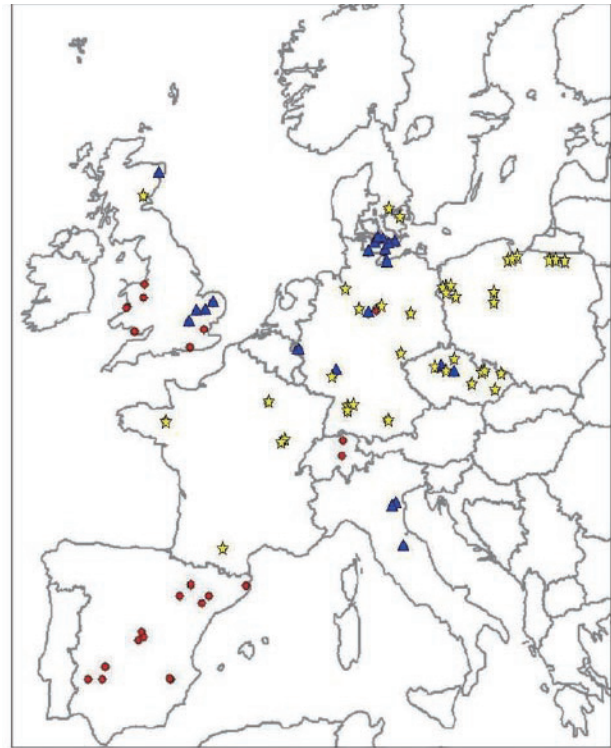
圖一 TransContainer、SIGMEA與Co-Extra在歐洲供應鏈共存中的關係

research projects; STREPS) 之外，更增加在進出口及運輸間的共存議案研究，並且研究領域遍及歐洲整個供應鏈系統上所會遇到之共存問題。而本文將在下列章節中逐一進行說明。

Sustainable introduction of GMO's into European Agriculture (SIGMEA)

由 Dr. A. Messéan 與 Dr. J. B. Sweet 所統籌規劃的 SIGMEA (<http://www.inra.fr/sigmea>) 計畫，成員包含澳洲與北美在內的 12 國，共計 44 個參與單位，從 2004 年開始為期 35 個月 (2004/05/03-2007/05/02)，耗費資金 754 萬歐元。其主要考量如果能在一定門檻的維持之下將 GM 作物引進歐洲，則需要哪些需求使得共存可行。因而設立 SIGMEA 研究計畫以提供共存相關的科學基礎資訊，以及所需可追溯性方法 (Messéan & Sweet, 2009)。在 SIGMEA 的研究中，以持續累積屬於地景層級 (landscape-scale) 與跨多年度 (累計約有 150 個試驗年 (experiment-years) 的實地種植數據 (約超過 100 組的研究資料) 進行下列主要的研究：(1) 整理並分析因花粉飄散所引起的基因漂流以及所造成的環境影響進行分析；(2) 建立地景層次的基因漂流預測模型；(3) 分析共存技術的可行性與經濟影響；(4) 研發新穎的 GM 作物偵測方法；(5) 說明共存相關的法律議題，以及 (6) 提出共存相關之決策工具，和管理及支配之準則。

在 SIGMEA 的計畫研究中，若以植物的研究類別區分，則作物及自生族群 (volunteers) 各佔 35%，野生近緣種佔 16%，還原野生種 (feral) 佔有 6%，其餘種類總和則僅佔 8%。其中選擇進行研究的作物主要為油菜 (約佔三分之二)，其次為甜菜與玉米 (約各佔六分之一)，其餘為水稻及小麥。而最主要的 GM 作物研究類別為耐除草劑 (Herbicide Tolerant, HT) 油菜、Bt 玉米及 HT 甜菜，在歐盟各國之研究分佈如圖二所示。此外，2007 年針對六個主要的玉米以及油菜生產國家 (德國、法國、西班牙、匈牙利、英國及捷克)，經由問卷調查的方式瞭解歐盟農民最可能種植的 GM 作物分別為 HT 油菜、HT 玉米，以及 Bt/HT 玉米，雖然其中有部分 GM 作物已在世界上廣泛的種植，但尚未在歐盟核准種植 (Messéan *et al.*, 2009)。平均而言，約有 41% 的訪談農民表示對於種植 GM 作物已經做好準備 (表三)，但最主要的影響關鍵因素仍是在於法定門檻下的隔離距離之長短。然而，目前歐盟各會員國中制訂實行的隔離規定仍採用「隔離距離一致」的原則，無論地景環境的條件為何均採取一致性隔離距離的方式。雖說各國之隔離距離差異甚大，但 SIGMEA 的結果報告指出，如此的施行並不理想，可能導致額外不必要花費或無法於實際操作中進行。而此也造成部分農民及管理單位的壓力 (Messéan & Sweet,



註：Locations of main GM crops are labeled as circle (maize), star (oilseed rape) and triangle (beet). Some locations involved several experiments.

資料來源：Messéan *et al.*, 2009

圖二 SIGMEA計畫中油菜、玉米及甜菜在歐盟各國之研究分佈

利、英國及捷克)，經由問卷調查的方式瞭解歐盟農民最可能種植的 GM 作物分別為 HT 油菜、HT 玉米，以及 Bt/HT 玉米，雖然其中有部分 GM 作物已在世界上廣泛的種植，但尚未在歐盟核准種植 (Messéan *et al.*, 2009)。平均而言，約有 41% 的訪談農民表示對於種植 GM 作物已經做好準備 (表三)，但最主要的影響關鍵因素仍是在於法定門檻下的隔離距離之長短。然而，目前歐盟各會員國中制訂實行的隔離規定仍採用「隔離距離一致」的原則，無論地景環境的條件為何均採取一致性隔離距離的方式。雖說各國之隔離距離差異甚大，但 SIGMEA 的結果報告指出，如此的施行並不理想，可能導致額外不必要花費或無法於實際操作中進行。而此也造成部分農民及管理單位的壓力 (Messéan & Sweet,

表三 2007年針對六個主要的玉米以及油菜生產國共41個地區之農民針對GM作物的問卷調查結果

Trait/Crop	Country	Total number of valid responses	(1)Likely+very-likely %	(2) Unlikely+ Very-unlikely %	Ratio(1)/(2)
HT rapeseed	Germany	208	53.4	31.8	1.7
	United Kingdom	200	44	25.4	1.7
	Czech Republic	196	43.9	28.1	1.6
HT maize	Spain	103	36.5	38.4	0.9
	France	101	37.6	33.6	1.1
	Hungary	100	38	38	1
Bt/HT maize	Spain	100	48.3	35	1.4
	France	101	46.5	28.7	1.6
	Hungary	99	25.3	57.5	0.4
Total average		1208	41.5	35.2	1.2

資料來源：Messéan et al.(2009)

2009)。因此，SIGMEA 建議應根據當地氣候、農藝條件及環境因素，並盡可能使共存方法更具執行彈性，以期產生更具經濟效益的措施。然而，支持此方法的法規架構目前仍處於研議階段。

在部分針對 GM 玉米異交率與距離的研究結果中指出，大約在 10 公尺左右，異交率即可達到 1%，50 公尺左右即可低至 0.1%，而花粉飄散的方向大多與盛行風的方向有關。並且錯開開花期的方式是降低異交率中較有效率的方法。此外，針對玉米而言，常會在溫帶地區出現自生族群的問題。雖說自生族群常會有無法結穗、或是較少授粉的情況發生，但其雄花的花粉仍會飄散到旁邊的玉米植株而污染該植株。但由於自生族群通常較當前的植株更不具活力，僅會有少部分的雄花花粉具有較強繁殖力。Palau-del-màs *et al.* (2009) 指出，自生族群的轉殖基因確實會提高收穫時的 GM 含量比例，但其影響仍低於歐盟所設定的 0.9% 之門檻。

除了隔離距離為各國自行設定之外，SIGMEA 的研究計畫對於共存施行時的措施主要設計以 non-GM 緩衝區 (buffer zone)，以及捨棄區塊 (discard zone) 為主。non-GM 緩衝區是利用在 GM 田區設立足夠之緩衝區，藉以避免使得種植在相鄰田區的

non-GM 的同種作物之異交率超過設定的門檻。另外，捨棄區塊則是捨棄 non-GM 田區內的部分區塊，使得其餘 non-GM 田區內之作物之異交率得以符合規定的門檻。但捨棄區內之 non-GM 作物則需視為是 GM 作物，其農民之損失需由 GM 作物農民予以賠償或由保險理賠。以玉米為例，non-GM 緩衝區以及捨棄區塊的寬度則大約為 20-30 公尺。

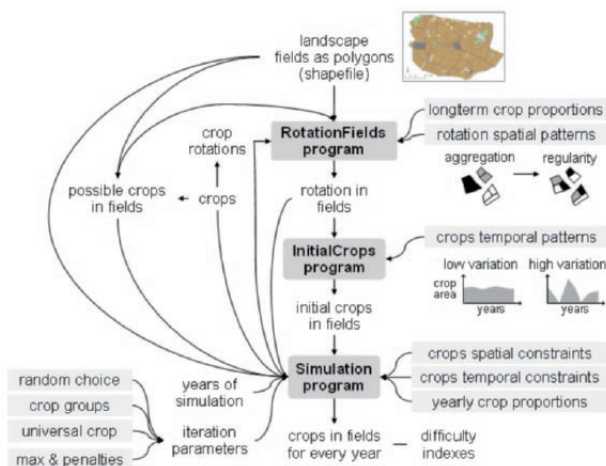
而除了上述之 non-GM 緩衝區及捨棄區塊之外，SIGMEA 的研究計畫亦研究利用樹林列 (the row of tree) 的種植位置以降低異交率的效率之比較，結果呈現係將樹林列種植在 non-GM 玉米田區旁的效果會比種植在 GM 玉米田為佳。

然而，除了相關花粉飄散的研究之外，其最重要的成果則是研發在種植 GM 時用以評估或規劃的軟體：

(一) LandSFACTS (Landscape Scale Functional Allocation of Crops Temporally and Spatially)

LandSFACTS 是整合農業地景傳統作物的輪作規則與時間空間的分配，用以模擬決定田間作物分佈種植情形的決策軟體 (<http://www.rothamsted>).

ac.uk/pie/LandSFACTS/)。經由將目標研究之作物長時間以來之種植面積、當地的輪作模式、作物生長的模式以及在空間和時間上的限制予以輸入至系統需求之中，經由 LandSFACTS 的模擬之後，再搭配地理資訊系統 (geographic information system; GIS) 的標示，將該區域適合種植 GM 作物的區域予以標示 (圖三、圖四)。



註：optional inputs have a grey background.

圖三 LandSFACTS的模式架構



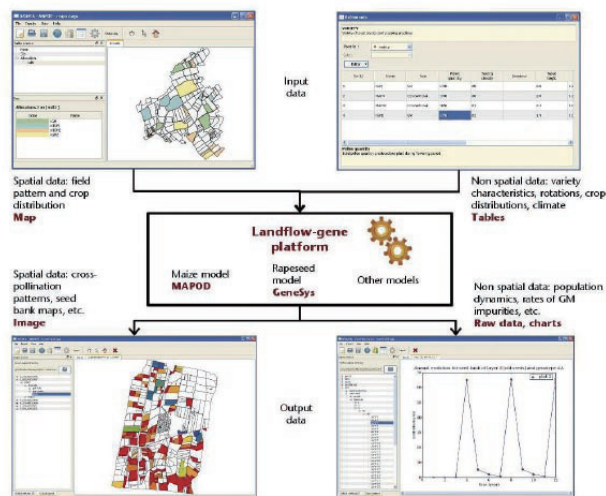
資料來源：LandSFACTS 網站 (<http://www.rothamsted.ac.uk/pie/LandSFACTS/>)

圖四 LandSFACTS搭配地理資訊系統(GIS)的結果標示

(二) LandFlow-Gene

LandFlow-Gene 軟體允許使用者依據地景、氣候、耕作系統、農業施行規劃，藉以評估 GM 作物的偶發性 (AP) 情況及共存的可行性。首先是針對玉米與油菜為對象開發軟體，爾後再推行至其他作物，其軟體分別為 Landflow-gene-MAPOD (玉米) 與 Landflow-gene-GeneSys (油菜)。軟體執行過程中經由模擬花粉和種子在空間、時間，以及地景層級上的散播情況，並透過 Landflow-gene-Viewer 以及 Shpconv 將其轉換為 GIS 的檔案形式輸出，給定在農業上有關地景、氣候、耕作系統 (crop system) 與作物管理實施參考的方法，以及 AP 的發生機率 (圖五、圖六)。以圖六為例，依照地景資料、氣候、耕作品種及種類，模擬不同之耕作規劃後之 AP 發生機率，其中圖六 (B) 的 AP 發生會較圖六 (A) 規劃之方式為低。

然而，上述之 LandSFACTS 以及 LandFlow-Gene 僅提供研究者在收穫資料後，進行模擬規劃及計算，並無法使末端使用者以及現場實地工作者 (例如：農民、管理工作、政策擬定者) 在現場



圖五 LandFlow-Gene在給定空間資訊，例如：地景、氣候、耕作系統與作物管理實施參考時的分析流程。



註：This landscape is simulating conditions in Alsace (France) where 70% of the arable land is sown with maize, 10% of maize fields are GM maize. A) and B) are two different allocations of GM maize: in case B) the GM fields are less scattered and the overall GM adventitious presence in non-GM fields is lower (0.18%) than in allocation A (0.23%). Map: courtesy of AUP (Agence Unique de Paiement/French Payment Agency CAP Support).

圖六 LandFlow-Gene的成果輸出

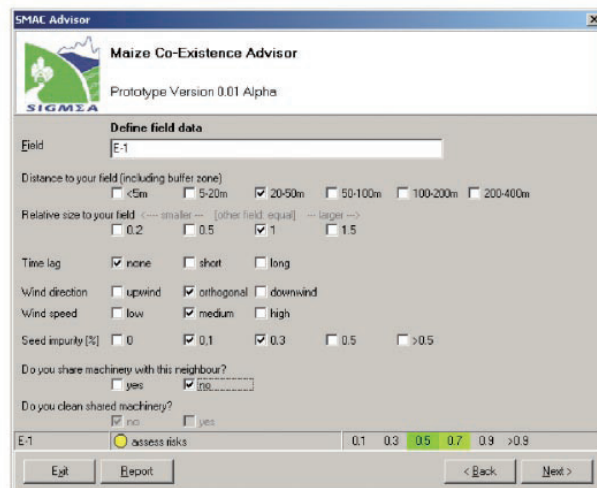
已知的地景描述及氣候時，進行即時的田野診斷。因此，SIGMEA 便針對 GM 玉米發展即時診斷的決策支援工具。

(三) SIGMEA maize coexistence advisor (SMAC advisor)

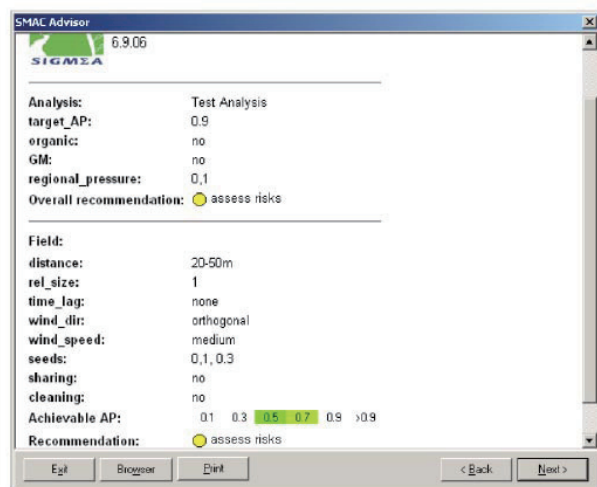
整合上述 Landflow-gene-MAPOD 與專家所提供的規則而發展的田野即時診斷系統 SMAC (SIGMEA MAize Coexistence) advisor，經由給定風速、風向以及種子純度等等簡易條件，透過有顏色的代碼，即時提供農民以及決策者（顧問、管理工作人員、政策決定者）在特定田區及當時農業地景環境下可行的玉米共存評估報告。例如：綠色：GM 的種植是允許或可行的；紅色：GM 的種植是不允許的；黃色：共存是可達到的，但未來可能還需進行風險評估；橘色：所設定的 AP 門檻現今達不到，但可繼續評估增加共存措施後之情況（圖七、圖八）。

除上述即時田野診斷系統 SMAC advisor 之外，同時亦針對 GMO 現場檢測方法進行研究，其中包含針對 GM 玉米以蛋白質為設計基礎之半定量檢測 (semi-quantitative) 試紙，以及結合 Cepheid

SmartCyclerII 儀器與雙重即時定量 PCR (duplex RT-PCR) 並通過國際能力測試的 GMO 檢測方法等。此外，在田間調查時之取樣規劃策略，SIGMEA 則是建議需將田間的異花授粉的分佈情況納入考量，並且指出在田區邊界處之異花授粉率較高。並且，應從不同之玉米植株中抽取玉米粒，經由從大量的玉米穗之中調查少量的玉米粒，而非集中在單一植株之玉米，以期減少植株間之變異程度以及取樣上之誤差，並正確估計異花授粉的情況。



圖七 SMAC advisor的輸入視窗



圖八 SMAC advisor的報表呈現

SIGMEA 的報告中亦指出部分由於 GM 作物的種植所引發但尚未完備之議題。諸如：生物多樣性（例如野生型甜菜，以及未來育種上的基因來源）的保護問題，以及 GM 作物的責任、損失補償、民事及保險等管理相關制度的完備。另一方面，不僅 GM 作物有隔離問題需研究，在非 GM、有機及非有機作物也有污染危害、責任考量及損失賠償的議題存在。

TransContainer

TransContainer 計畫 (<http://www.transcontainer.wur.nl/UK/>) 是由國際植物研究中心 (Plant Research International B.V., Netherlands) Dr. R. A. de Maagd 進行統籌規劃。由大學、研究機構、政府機構、中小企業，以及歐洲最主要的植物育種公司等，共計 13 個參與單位組成，共執行 36 個月 (2006/05/01 - 2009/04/30)，投入執行資金約 538 萬歐元。在作物經濟以及發展更加簡化的共存法規考量上，期望藉由發展穩定、具環境安全且可施行的生物性阻遏方法，限制 GM 作物的生長及過程，以提升 GM 與 non-GM 作物（含傳統及有機作物）同時存在的施行。因此主要從技術、環境以及社會經濟的層面，針對 GM 植物發展有效且穩定的生物阻遏系統 (biological containment systems) 進行考量 (Boutillier, 2008)。這些生物阻遏方法主要透過 (1) 利用質體轉殖作為預防傳播的工具；(2) 以預防開花作為主要的生物阻遏策略；(3) 經由花粉及種子阻遏轉殖基因的傳遞，例如雄不稔性。以減少經由花粉、種子或此二者一起所造成之改造基因的散播。並且在發展的同時更詳加評估在歐洲實施生物阻遏策略在經濟、環境以及消費者間的影響。更在部分共存措施的重要議題中，與利害關係者 (stakeholders) 及一般民眾公開討論，增加他們對與 GM 共存上的瞭解。

一般而言，在 GM 作物的研究及規範中使用的阻遏措施 (containment measures) 可分為物理性、時間性或生物性等三種，其中物理性阻遏措施則是目

前共存方法中最普遍使用。例如在 SIGMEA 計畫中使用的非基改緩衝區及捨棄區塊。經由利用 GM 作物與傳統或有機作物田地間之最短隔離距離及花粉藩籬 (pollen barriers) 的方式，在收穫或是耕作過程中預防偶發混合的發生 (De Maagd & Boutillier, 2009)。此外，錯開開花期屬於時間性阻遏方法，而 TransContainer 則是著重在生物性阻遏方法的研究。

在研究計畫中共分為六個工作群組 (workpackages): 計畫管理及協調 (project management and coordination)、葉綠體轉殖 (chloroplast transformation)、開花控制 (controllable flowering)、生育控制 (controllable fertility)、技術影響 (technology impact)、傳播與推廣 (dissemination)。

首先在計畫管理及協調的工作群組中，主要是負責所有研究計畫的適當執行時程規劃，以及計畫執行時的監測和進度的交付等協調性的事務。並且負責所有報告的交付，包含財務及科學的進度報告和結案報告，與負責與管理委員會和社會團體的互動及溝通等。其次，質體轉殖的工作群組主要是針對油菜及甜菜進行葉綠體轉殖的方法研究。並且在基因漂流的研究中，希望藉由葉綠體轉殖的方法開發出不帶有篩選標誌（抗抗生素基因）的抗除草劑基因改造植物。再者，在開花的可控制性群組中，利用抑制或誘導不開花的阻遏策略來進行研究，主要是針對甜菜、紫羊毛 (red fescue)、黑麥草 (ryegrass)、白樺樹 (birch) 和楊樹 (poplar) 為主要研究作物。並且還對於商業生產中重要的飼料及牧草，以及乙醇誘導系統 (the ethanol induction system) 在非開花作物中提供開花恢復之效率性進行研究。而生育控制的工作群組主要是針對雄不稔性基因的控制進行繁殖的可控制性研究，而主要的研究作物為油菜、蕃茄、茄子、牧草以及歐洲飼料作物等，經由果實單性結實、植株雄不稔，以及以雄不稔性為基礎發展的交配育種系統等方法進行研究。然而，針對每一個被發展的 GM 策略，針對其在經濟以及環境上的均需進行評估。在技術影響的工作群組之

中，則是針對所發展的 GM 策略之後續發展進行評估研究。例如：(1) 改造基因以及其功能在農藝性狀上之後續表現情況；(2) 在健康上之影響，諸如：基因產品、植物代謝產物和整個 GM 作物的潛在毒性和致過敏性的研究；(3) 由於生物阻遏策略的失敗所造成在環境及消費者上的影響；(4) 由於轉殖基因的轉移所造成在環境和消費者上之影響；(5) 生物阻遏策略的改善在共存制度上所造成的好處，以及潛在的經濟及成本效益；(6) 共存規則簡化後的影響，以及對於整體環境及經濟上的評估等。最後，再經由傳播與推廣的工作群組對於更廣泛的群眾，例如歐洲和各國決策者、政界人士和新聞記者，在技術、生物安全和社會經濟的研究上進行公開交流。並且，與歐洲農業中的管理機關、生物技術產業、種子公司、食品 / 飼料生產者、零售商和消費者、環境以及傳統 / 有機農民組織等，對於使用生物控制的 GM 作物所造成的潛在社會經濟和管理的影響進行深入的意見交換。更藉由舉行利害關係者與大眾的面談、研討會、計畫網站及製作 DVD 的方式，傳達共存議題及計畫結果給利害關係者及一般大眾，並引發利害關係者在社會經濟和環境議題上進行對談。

然而，由於大部分民眾及農夫僅參與引進 GM 作物及相關的共存措施之間的關係，所以要利害關係者再進一步的瞭解生物阻遏方法並加入 TransContainer 計畫中會是一件困難的任務。而這也會造成許多利害關係者會因此而無從瞭解還有其他不同的生物阻遏選擇，或是無暇考慮這些選擇。所以當對於生物阻遏技術選擇的意見形成時，他們通常會跟隨歐洲極端陣營的想法。例如：當反對者的立場是站在譴責所有基因改造作物的釋出，並且從壞處來看待這些種植且已被接受的 GM 作物，或是由於「Terminator」的技術所造成的疑慮。終結者 (terminator) 是美國一家大豆公司培育的 GM 品種，它的種子雖可開花結果，但是胚的部份將不再發育。換言之，將會沒有下一代植株的產生。而

此方法原為保護種子公司的智慧財產及利益，但若將來該 GM 作物取代了傳統品種，則所有優良種子僅能向少數幾間種子公司購買。這不但威脅著廣大的農民，更威脅著某些以農業為主國家的生存，因而引起歐洲許多小國的憂慮，並造成一般大眾則會認為他們根本不需要該項技術。而這也是在執行 TransContainer 計畫時所遇到之困境。生物阻遏方法雖非歐盟政策重點，但當造成危及人類健康風險或是與野生近緣種產生異交造成風險時，轉殖基因的散播會是一件令人擔憂的問題時，此時生物阻遏方法會是解決的選項之一。當然，在生物阻遏策略進行應用時，同樣必須證明是相當安全的 (De Maagd & Boutilier, 2009)。其中，針對阿拉伯芥以及甜菜的生物阻遏技術結果業已完成，並且進行討論 (Colombo *et al.*, 2008; De Marchis *et al.*, 2008)。

GM and non-GM supply chains: Their CO-EXistence and TRAcability (Co-Extra)

以提供實用的工具，而使得 GM 作物、傳統作物以及有機農業的衍生產品中得以施行其共存及可追溯性為目標 (Bertheau, 2009a) 的 Co-Extra 計畫 (<http://www.coextra.eu/>)，由法國國家農業技術研究院 (Institut National de la Recherche Agronomique; INRA) 的 Dr. Y. Bertheau 所統籌規劃，成員包括 18 國 52 個參與單位。從 2005 年 4 月起開始執行，預定為期 48 個月 (2005/04/01-2009/03/31)，但實際至 2009 年 9 月方才完成，執行總經費達 2,214 萬歐元。並且是歐盟 FP6 科研計畫中著重於食品安全及品質領域，並且以消費者為導向的研究計畫，主要是讓前述 SIGMEA 及 TransContainer 更加完整的整合型研究計畫 (圖一)。其中，可追溯性係指透過文件紀錄以及可追溯性分析的研究以達到在供應鏈中的共存管理以及結果控制。

其計畫目標並非鼓勵推動 GM 作物的田間種植，而是在農場到零售商間供應鏈共存的前提下，提供給歐洲供應鏈中的利害關係者，在技術、經

濟、科學及法律的基礎上進行 GM 作物種植時正確詳實的研究資料，以利於在進行決策及選擇上之參考，並且確保製造商和消費者的選擇自由。一方面，讓農夫在自由選擇農產品生產同時，確保消費者仍具有自由選擇的權力；另一方面，也期望透過工具及方法的研究，使得食品及飼料的製造商得以更確實並更具成本效益的貼近消費者的需求。而這也是在 GM 與 non-GM 衍生產品的供應鏈領域之中，第一次以顧客導向進行的研究計畫。

而 Co-Extra 的研究主要考量為 (1) 基因漂流的管理；(2) 隔離 GM 作物與 non-GM 作物時的成本及方法；(3) GMO 的取樣及偵測，以及 (4) 責任與賠償，發展具有成本效益以及可信賴的工具，以期達到 GM 作物、傳統或有機作物在供應鏈中的共存及可追溯性。因此，計畫中共分為 9 個工作群組（圖九），分別針對不同之研究工作領域進行，包括計畫管理、生物阻遏方法、供應鏈模式分析、取樣及檢測方法、經濟效益成本分析、未知或未授權 GMO 的檢測方式、可追溯性工具的發展及整合、法律層

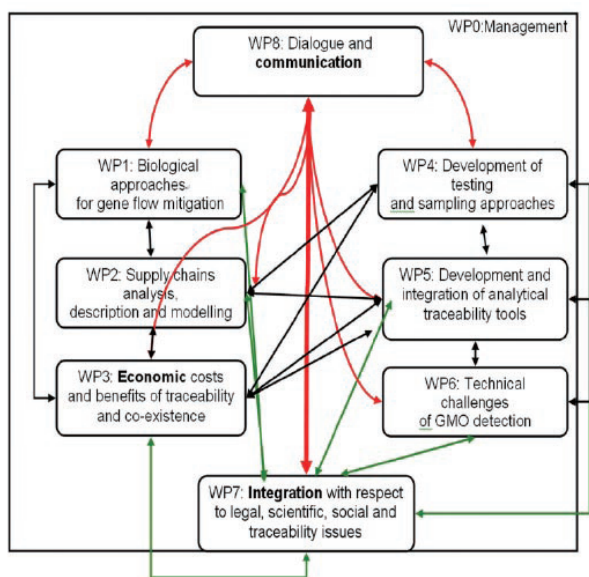
面的研究，以及溝通與協調等。若以領域區分：針對共存研究共佔 35%、針對可追溯性及偵測方法研究則佔 35%，剩餘的 30% 則是針對社會經濟、法律層面、溝通及協調等 (Bertheau & Davison, 2007)。而本文將從田區及供應鏈的共存針對 Co-Extra 計畫之研究方向以及預期在共存中會遇到的問題進行說明。

（一）田區的共存

在田區共存研究中，主要針對花粉飄散的議題進行研究，尋求防止 GM 花粉污染傳統及有機作物的方法，分為 (1) 農業方法 (agricultural methods)，以及 (2) 生物阻遏方法 (biological containment methods) 兩個類別。

在農業方法中作為田區共存方法的研究主要是朝向 (1) 建立在 GM 與 non-GM 田區間最小的隔離距離；(2) 開花期的彼此區隔；(3) 在 GM 田區邊緣設置與傳統 (有機) 作物的緩衝區，以及 (4) 在收穫後期對於田區自生族群的控制等方向。而在生物阻遏方法，Co-Extra 的目標也與 TransContainer 相同，均是為了減少隔離距離而發展穩定且可信的生物阻遏工具。包含在玉米作物中雄不稔性的研究指出利用穩定的 T- 及 C- 細胞質，可以建立玉米穩定的雄不稔性，並且有效的減少或杜絕 GM 花粉飄散，而使 GM 基因飄散至附近田地。而且可以透過雄不稔性的玉米與傳統玉米的混合種植，亦可使收穫增加並減少 GM 基因的飄散。此外，還有在油菜作物的閉穎受精之研究以及在煙草上的葉綠體轉殖以減少基因飄散的研究。而在研究中亦指出葉綠體轉殖的確可以減少 GM 作物因花粉飄散而造成的基因漂流問題，但仍須配合其他的生物阻遏方法以確實杜絕殘餘之異交的機會 (Bertheau, 2009b)。

此外，研究中亦指出影響 non-GM 玉米偶發性 (AP) 發生的主要來源為：(1) 種子純度、(2) GM 作物的異交，以及 (3) 在收穫及運送途中，因機械因素而夾帶的問題。其中以種子純度的問題最為嚴重，種



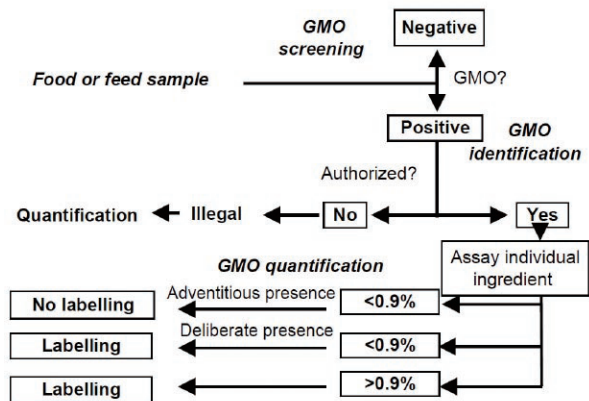
資料來源: Bertheau & Davison (2007).

圖九 Co-Extra工作群組的相互關係

子純度越高，AP 的發生就越小（互為折衝 (trade-off) 關係），而共存也就更容易確保。但種子純度卻也容易在收穫時因為地區性的因素而受到影響，例如：開花期的問題、地區，以及氣候的條件因素等。

（二）供應鏈的共存

由於歐盟法規的 178/2002 以及 1830/2003 規定（圖十），可追溯性以及標示 (labeling) 在 GM 食品及飼料中是須強制執行，以便在供應鏈中進行共存管理及控制。從大部分的程序而言，GM 食品及飼料的供應鏈管理與現在正在歐洲施行的系統並沒有太大的差異，僅是增加對於 GM 相關衍生產品的隔離，因而研判對於歐洲供應鏈的成本並不會造成太大的影響。而此 GM 作物的可追溯性的文件與一般供應鏈中最大的不同在於增加了較長時間的文件保存期。另外，此隔離議題的主要標準為歐盟所建議的標示門檻 (0.9%)，並且是以 DNA 的層級來進行測量 (Bertheau, 2009b)，而其標示門檻的決策流程如圖十一所示。此外，已有部分在供應鏈上的利害關係者是以 0.1% 的高標準來管制自己的產品。另外，針對無基因改造成份 (GMO-free) 食品則是使



資料來源: Davison and Bertheau (2007)

圖十一 GM作物與飼料標示門檻的決策流程

用 0.1% 的標示門檻標準。當標示門檻清楚界定後，可追溯性的文件是在供應鏈中一個具最低成本來追溯產品的簡易且有效率的方法。

除了在產品標示上的隔離措施之外，根據生產流程，歐洲供應鏈中針對 GM 產品的隔離策略可分為 3 類：空間隔離 (spatial isolation)、生產線隔離 (line isolation)、時間限定 (temporal specialization) (Bez *et al.*, 2009) (圖十二)。

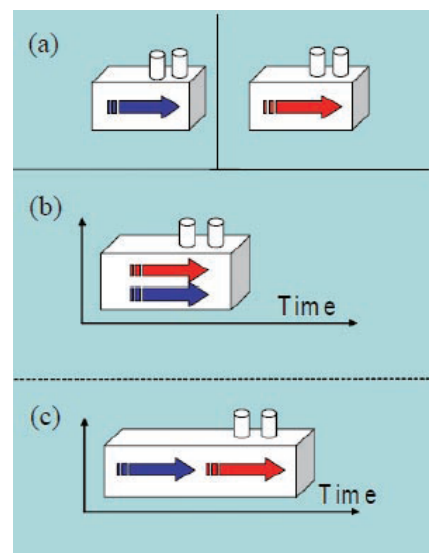
Year	Field trials, cultivation, import, processing	Feed	Food	Labelling	Traceability	Co-existence
1990	D 90/220					
1991						
1992						
1993						
1995						
1996						
1997						
1998						
1999						
2000						
2001	D 2001/18					
2002	R 178/2002, R 178/2002, R 178/2002					
2003	R 1829/2003, R 1830/2003, R 65/2004, R 641/2004					
2004	R 641/2004, R 65/2004, R 641/2004					
2005						
2006						

Abbreviations: D = directive; R = regulation

Grey zone: *de facto* moratorium on the commercialisation of new GM crop events

資料來源: Devos (2008).

圖十 自1990年起歐洲對於GM作物法規的發展歷史



註：(a)spatial isolation, (b)line isolation, (c)temporal specialization. 資料來源：Gryson. (2009)

圖十二 歐洲供應鏈中針對GM產品的3種隔離策略

其中，空間隔離係指制訂專用工廠，以杜絕 GM 材料的互相污染。雖然能大幅降低混雜的風險，但須付出較多之後勤成本，以及容易有部分工廠閒置不用，因此較適用於小型工廠生產。而生產線隔離生產方式，係指在同一生產工廠但卻使用不同（或專屬）之生產線進行生產。而其生產過程較為彈性，因此適用於具有多項 GM 產品生產之公司。但相對於空間隔離而言，混雜的風險也會相對提高，以及容易會有部分生產線閒置。最後，時間限定則是指利用生產線製程時間來加以區隔。相較於前兩項隔離策略，時間限定的策略更加具有彈性，但需更多時間在清洗生產線以及容易使 non-GM 產品不易符合設定門檻。然而，由於在歐洲家畜及家禽類等產品並不用標示其是餵食 GM 或 non-GM 飼料，因此已經有部分利害關係者已經開始停止隔離生產 GM 與 non-GM 的飼料。若在食品工業的供應鏈的共存中確實施行隔離生產系統，則會相對減少因倉儲或重複檢驗而帶來的成本支出。

此外，由於面對日漸增加的 GM 作物，為了降低消費者在 non-GM 產品混雜 GM 成分的疑慮以及確實進行 GM 產品的可追溯性及控制，Co-Extra 計畫亦在共存及可追溯性的考量下，進行現場取樣以及檢測方法進行研究及開發。而其目的在於設計有效且具經濟效益之取樣方法、可信賴的取樣步驟及具代表性的樣本，以及可確信且足以應付與日俱增的 GM 作物的檢測方法。在取樣策略的研究上，不僅參考在調查黴菌毒素時使用的取樣方法。並且進行取樣軟體的開發，諸如：利用 visual jackknife 的方法決定試驗收集時最適樣本數的 SISSI (Shortcut In Sample Size Identification) 軟體，以及利用部分取樣 (sub-sampling) 的方式以及成本函數以尋找在分析時可靠並具經濟效益之取樣模式 OPACSA (Optimal Acceptance Sampling by Attributes) 軟體。而為了克服 GM 作物定量方法上的限制，Co-Extra 提出 SIMQUANT (single molecule quantification) 方法，其目的在於解決微量 (low copy number)

DNA 在進行即時定量 PCR 時所遭遇之困難。SIMQUANT 是基於最大可能數法 (most probable number method) 的分析定量方法，其將樣品連續稀釋後進行分析，利用其陽性與陰性反應之比值，估計其最可能之樣品濃度與信賴區間。而 SIMQUANT 是為了因應 GM 作物在經由高度加工後之食品或飼料，造成 DNA 斷裂成小片段，進而影響可增幅 (amplifiable) 之 DNA 濃度，提高其樣品在定量上的難度。而目前透過 SIMQUANT 方法，已經可以針對黃豆加工製品如大豆卵磷脂或黃豆油的基因改造成份檢驗分析上 (Berdal *et al.*, 2008; Bertheau, 2009b)。此外，Co-Extra 更應用 Matrix approach 的概念，藉以檢測出未經許可、授權獲核准販售的 GM 產品，而目前應用 Matrix approach 的概念的方法有 the differential quantitative PCR、DaulChip® GMO microarray (PCR-microarray method)、SNPlex 等。而在現場即時檢測的方法上，已經發展針對油菜 GT73 的偵測系統 -RoundUP® Ready Soybean。此外，還有多個 non-PCR 基礎的檢驗方法、以蛋白質為基礎的檢驗方法，以及嘗試利用近紅外光譜 (near infrared spectroscopy (NIRS) methods) 的方式對大豆進行 GM 檢驗測試研究，惟效果仍不顯著，尚需改進。

針對因為 GM 作物的共存所引發的數個問題，例如：產品內是否有 GMO、是否為已授權或未授權之 GMO、何種檢驗方法以及取樣方法是最適合檢驗或取樣目的，以及在規定門檻下含有 GMO 成分的產品其衍生的成本為何等，都是需面對並加以決策的問題。而根據在計畫中所進行研究的部分成果，Co-Extra 也預計透過電腦資訊系統將要其整合為數個決策支援系統 (Decision Support System (DSS))。

此外，Co-Extra 研究計畫更與供應鏈上的利害關係者進行溝通，而利害關係者普遍傳達的重點，諸如 GM 標示門檻的規範與否、共存制度對於增加成本的問題、實際執行面上取樣及檢測策略的實用性、未經授權品項 (unauthorized events) 污染問題

的預防、在標示規定中 GM 成分的呈現是“偶發性 (adventitious)”以及“技術上無法避免 (technically unavoidable)”在法律上之定義，以及在實作層次上較具有彈性的共存模式等。另外，更也指出共存不僅是一個經濟或選擇的議題，同時也是環境及社會的議題。

Co-Extra 是歐盟執委會贊助 GM 及 non-GM 作物供應鏈之共存及可追溯性中的最大型計畫，也是歐洲研究計畫中首次同時將整個供應鏈中包含種子、農田、到零售商之 GM 共存及可追蹤性和其個別影響列入考量的研究。在為期 4 年的 Co-Extra 研究，共有超過 200 位的研究人員共同參與，並嘗試提供目前在共存議題上所遭遇之問題的解決方法，以及對於未來偵測未經授權基因，亦或是無法預測之狀況時的解決方法。Co-Extra 研究重點在於 GM 及 non-GM 作物的共存在供應鏈上的相關問題，除如上述的層面之外，其中尚包含本文未提及之經濟、成本法律、政策，以及追溯文件上的研究分析。通盤考量了從種子研究、田間耕作、收穫及倉儲、檢驗技術、貨架操作，甚至到呈現在消費者面前的標示等各個層面的研究，並陸續將其結果逐一刊錄在期刊之中。其研究結果亦逐漸成為世界各國競相仿效以及參考的重要指標。

結論

近年來，因應在產量、耕作以及食用營養層面上的問題而衍生的需求，基因工程技術因而快速發展。但對於生態環境的衝擊、GM 作物食用的安全性，以及生物技術或種苗業者的市場壟斷等許多未

知的效應及疑慮亦隨之接踵而來。因此，在供應鏈上，GM 作物、傳統作物與有機作物的共存問題日益重要，並儼然成為趨勢。在歐盟的 FP6 中 3 個關於 GM 作物共存研究計畫 -SIGMEA、TransContainer、Co-Extra 等，便開始針對供應鏈上的利害關係者，包括農民、消費者以及生產者的立場，探討 GM 作物共存所引發的各個相關議題，並提供管理者在擬定規範時的參考依據。

然而，Whitty *et al.* (2013) 亦指出，發展中國家在擬訂 GM 作物政策時，除避免在情感層面上討論 GM 技術之外，亦不可盲目跟隨特定國家的標準，而是需在生物安全規定的管理下，依據在地化的環境背景，在不同解決方案的優缺點衡量下建立屬於自己國家的決策系統。反觀國內，耕作方式屬於小農耕作制度，與報告中常見的大面積耕作方式大不相同。因此，如何借鏡歐盟研究經驗，針對國內特殊的小農制度，在尚未核准 GM 作物於田間種植時，提供農場到餐桌間供應鏈的利害關係者及政府相關部門，在技術、經濟、科學及法律的基礎上正確詳實的研究資料，以利於進行決策及選擇上之參考，並且確保農民、製造商以及消費者的選擇自由，乃是當前尚待解決的重要議題。

誌謝

本文之資料蒐集感謝行政院農委會農糧署計畫編號：98 農糧 -2.2- 作 -02 之經費補助。 AgBIO

林汶鑫	國立屏東科技大學	農園生產系	助理教授
徐永衡	國立中興大學	農藝學系	博士班研究生
李孟昭	國立中興大學	農藝學系	碩士班研究生
聶碩成	國立中興大學	農藝學系	碩士班研究生
鍾昀軒	國立中興大學	農藝學系	碩士班研究生
郭寶錚	國立中興大學	農藝學系	教授

參考文獻

1. 陳烈夫、丁孟宜、吳明哲、吳惠卿、魏夢麗、呂秀英 (2008) 基因轉殖作物共存模式與隔離距離。科學農業，56: 35-47。
2. Allnutt, T. R., Dwyer, M., McMillan, J., Henry, C., and Langrell, S. (2008) *Sampling and modeling for the quantification of adventitious genetically modified presence in maize*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56: 3232-3237.
3. Berdal, K. G., Boydler, C., Tengs, T., and Holst-Jensen, A. (2008) *A statistical approach for evaluation of PCR results to improve the practical limit of quantification (LOQ) of GMO analyses (SIMQUANT)*. European Food Research and Technology 227:1149-1157.

參考文獻

4. Bertheau, Y. (2009a) *Co-Extra introduction*. In: Proceeding of the CO-Extra International Conference, Paris, France, 2–5/6/2009, pp. 15-16.
5. Bertheau, Y. (2009b) *Summary of main Co-Extra deliverables & results, perspectives, information dissemination & application*. In: Proceeding of the CO-Extra International Conference, Paris, France, 2–5/6/2009, pp. 79-95.
6. Bertheau, Y., and Davison, J. (2007) *The theory and practice of European traceability regulations for genetically modified food and feed (Access only for subscribers)*. In: International Symposium on Traceability for Food Safety. Cheol-Hi Lee Ed. pp 187-204. Rural Development Administration of Korea.
7. Bertheau, Y., and Davison, J. (2008) *Implementation of GMO labeling legislation: technical issues and corresponding outcomes of Co-Extra*. In: First Global Conference on GMO Analysis – GMO Global Conference, Como, Italy, 24 -27/6/2008, pp. 39.
8. Byrne, P. (2006). *Safety and public acceptance of transgenic products*. *Crop Science* 46(1): 113-117.
9. Davison, J., and Bertheau, Y. (2007) *EU regulations on the traceability and detection of GMOs: difficulties in interpretation, implementation and compliance*. In: CAB reviews: perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources. CABI: published online, ISSN 1749-8848. No. 77:1-14.
10. De Maagd, R. A., and Boutilier, K. (2009) *TransContainer: overview and progress*. In: Proceeding of the CO-Extra International Conference, Paris, France, 2–5/6/2009, pp. 13-14.
11. Della Porta, G., Ederle, D., Bucchini, L., Prandi, M., Verderio, and A. Pozzi, C. (2008) *Maize pollen mediated gene flow in the Po valley (Italy): source–recipient distance and effect of flowering time*. *European Journal of Agronomy*. 28: 255–265.
12. Devos, Y., Demont, M., and Sanvido, O. (2008) *Coexistence in the EU-return of the moratorium on GM crops?* *Nature Biotechnology* 26: 1223–5.
13. Devos, Y, Demont, M, Dillen, K, Reheul, D, Kaiser, M, and Sanvido, O. (2009a) *Coexistence of genetically modified (GM) and non-GM crops in the European Union. A review*. *Agronomy for Sustainable Development* 2009, 29:11-30.
14. Devos, Y., Demont, M., Dillen, K., Reheul, D., Kaiser, M., and Sanvido, O. (2009b) *Coexistence of genetically modified and non-GM crops in the European Union: a review*. *Sustainable Agriculture (part 2)* pp. 203-228. Springer, Dordrecht, The Netherlands. doi: 10.1007/978-90-481-2666-8.
15. Gómez-Barbero, M., Berbel, J. and Rodríguez-Cerezo, E. (2008) *Adoption and performance of the first GM crop introduced in EU agriculture: Bt maize in Spain*. Technical Report EUR 22778 EN. Institute for Prospective Technological Studies, Joint Research Centre, European Commission, Seville, Spain.
16. Gruère, G. P. (2009) *International trade-related regulations of GM food: What policies for developing countries?* International Food Policy Research Institute.
17. Gustafson, D. I., Brants, I. O., Horak, M. J., Remund, K. M., Rosenbaum, E. W., and Soteres, J. K. (2006) *Empirical modeling of genetically modified maize grain production practices to achieve European Union labeling thresholds*. *Crop Science* 46: 2133–2140.
18. Hill, R.A. (2005) *Conceptualizing Risk Assessment Methodology for Genetically Modified Organisms*. *Environmental Biosafety Research* 4: 67-70.
19. James, C. (2012) *Global status of commercialized biotech/GM crop: 2012*. ISAAA Brief No.44. ISAAA, Ithaca, NY.
20. Jia, H. (2003) *GM labeling in China beset by problems*. *Nature Biotechnology* 21, 835–836.
21. Ma, B. L., Subedi, K. D., and Reid, L. M. (2004) *Extent of cross-fertilization in maize by pollens from neighboring transgenic hybrid*. *Crop Science* 44: 1273–1282.
22. Messeguer, J., Penas, G., Ballester, J., Bas, M., Serra, J., Salvia, J., Palauelmas, M., and Mele, E. (2006) *Pollen-mediated gene flow in maize in real situations of coexistence*. *Plant Biotechnology Journal* 4: 633–645.
23. Messéan, A., Angevin, F., Gómez-Barbero, M., Menrad, K., and Rodríguez-Cerezo, E. (2006) *New case studies on the coexistence of GM and non-GM crops in European Agriculture*. Technical Report EUR 22102 EN. Institute for Prospective

參考文獻

- Technological Studies, Joint Research Centre, European Commission, Seville, Spain.
24. Messéan, A., Squire, G. R., Perry, J. N., Angevin, F., Gómez-Barbero, M., Townend, D., Sausse, C., Breckling, B., Langrell, S., Džeroski, S., and Sweet, J. B. (2009) *Sustainable introduction of GM crops into European agriculture: a summary report of the FP6 SIGMEA research project*. OCL-OL Corps Gras Li 16:37-51.
 25. Messéan, A. and Sweet, J. (2009) *SIGMEA results on coexistence at the farm level*. In: Proceeding of the CO-Extra International Conference, Paris, France, 2–5/6/2009, pp. 11-12.
 26. Palau-del-màs, M., Peñas, G., Melé, E., Serra, J., Salvia, J., Pla, M., Nadal, A., and Messeguer, J. (2009) *Effect of volunteers on maize gene flow*. Transgenic Research 18:583–594.
 27. Phillips, P. W. B. and McNeill, H. (2000). *Labeling for GM foods: Theory and practice*. AgBioForum 3(4): 219-224.
 28. Ramessar, K., Capell, T., Twyman, R.M., Quemada, H., and Christou P. (2008) *Trace and traceability a call for regulatory harmony*. Nature Biotechnology 26:975-978
 29. Ricroch, A., Bergé, J. B., and Messéan, A. (2009) *Literature review of the dispersal of transgenes from genetically modified maize*. Comptes Rendus Biologies 332: 861–875.
 30. Stein, A. J., and Rodríguez-Cerezo, E. (2009.) *The global pipeline of new GM crops: implications of asynchronous approval for international trade*. Technical Report EUR 23486 EN. Institute for Prospective Technological Studies, Joint Research Centre, European Commission, Seville, Spain.
 31. Viljoen, C. D., Dajee, B. K. and Botha, G. M. (2006) Detection of GMO in food products in South Africa: Implications of GMO labeling. African Journal of Biotechnology 5(2): 73-82.
 32. Wang, J., Yang, X., Li, Y., and Elliott, P. (2006) *Pollination competition effects on gene-flow estimation: using regular vs. male sterile bait plants*. Agronomy Journal 98: 1060–1064.
 33. Weber, W. E., Bringezu, T., Broer, I., Eder, J., and Holz, F. (2007) *Coexistence between GM and non-GM maize crops – tested in 2004 at the field scale level (Erprobungsanbau 2004)*. Journal of Agronomy and Crop Science 193: 79–92.
 34. Whitty, C., Jones, M., Tollervey, A., and Wheeler, T. (2013) *Biotechnology: Africa and Asia need a rational debate on GM crops*. Nature 497: 31–33.