

農業生物多樣性與農業永續經營

郭華仁(國立台灣大學農藝學系)

<http://seed.agron.ntu.edu.tw/publication/201305.pdf>

一、前言

生物多樣性是指生態系間，與生態系內之物種間以及物種內的多樣變異，即所謂的基因多樣性、物種多樣性與生態系多樣性。生物多樣性公約組織將農業與山地、森林、內陸、乾燥及半潮濕陸地、內陸水域、海岸與海洋並列為七大生物多樣系領域的主題計畫，可見其重要性。

農地生態系是經人類管理最大的生態系，在全球 130 億公頃的土地中，農地與牧場就佔了 50 億。農業生產型態相當多樣，從以自給農耕為主的移耕農業(Transitory agriculture)，包括遊牧或游墾，到以商業生產為主的定耕農業(Settled agriculture)。包括畜牧、農漁牧混合經營、小農農耕與大田農耕等不一而足。每個地區採取哪一類經營模式，乃是由地理環境、氣候、歷史、政治與經濟等各方面的因素塑造而成。不論哪種類型，共同點在於農業生態系會受到人類活動經常性或定期性地干擾；這些干擾如何影響到農業生態系內的生物多樣性，以及影響的幅度如何則各有差別。

本文的討論以定耕農業的農地生態系為主。

二、農業生物多樣性綜論

生物多樣性涵蓋了地球生命的各層次，而其保育與永續使用的終極目標則須由地方、區域，以及全球的分工與合作才能達成。農業生物多樣性範圍及於農業生態系，包括栽培的與野生的動植物以及微生物在遺傳上、物種上、以及生態系上的所有組成份。這些生物的組成份乃是農業生態系的結構與功能永續進行之所必需；然而非生物性的組成份如土壤養分、水土保持、以及經濟、社會、文化、與國際關係的層面，也都有相當大的關係。

人類未曾干擾前，林地平原有很高的生物多樣性，所有生物在整個生態系內皆各司其職，用之有無以及害之大小的分別在此並不具意義。農業的開發造就了人類的文明，卻也降低了生物多樣性，干擾了生態系的平衡。自古以來，農民必須花很大的力氣對抗雜草、害蟲以及病菌，而在長久的歷史中也發展出各種耕作方式

來減少損失，例如耕犁、中耕、輪作、間作，以及各種除去病蟲害的方法，包括人工防治、藥物防治等。

1. 農業生物多樣性的內涵

(1) 農業生態系多樣性

農地生態系即便是以農作物生產為主，但在健康的農地生態系上，其地面上生物種類的豐富程度仍然很高；主要的原因在於農作物以外的空間可以充滿各類一年生或多年生雜草，足以提供各類地上生物的食物。田籬與畸零地也有灌、喬木作為更大型動物的棲地。

健康的農地土中更充滿了種類繁多的生物，包括微生物如各類細菌、真菌、放射菌、藻類，微生動物如原生動物(鞭毛蟲、肉足蟲、纖毛蟲)與線蟲，中型動物如小型節肢動物與渦蟲，較大的動物如蚯蚓、蛞蝓、白蟻、千足蟲、蟎類、蜈蚣、甲蟲等，乃至於哺乳類動物。對人類而言，土中生物主要的功能在於有機質的分解、氮素之固定等，以提供養分的循環利用。菌根菌還可以依附在作物根系，擴張根部吸收養分的範圍。不僅如此，最近的研究更指出土中微生物有助於農作物的抗病抗蟲，如假單胞菌提高水稻抵抗捲葉蛾的危害(Saravanakumar et al., 2007)，植物根圈促生菌可以降低水稻白葉枯病(Chithrashree et al., 2011)、瓜類疫病(Zhang et al., 2010)、以及番茄葉片的感染細菌性斑點病(Ji et al., 2006)等。

(2) 農業物種多樣性

傳統自給農耕在有限空間內會種植多樣化的農作物，以提供農家所需的各樣糧食與纖維來源。例如魯凱族霧台區的田區中，可以同時生產台灣藜、玉米、高粱、稷、樹豆、米豆、番薯與南瓜等(巴清雄，待發表)。在此農耕系統，農民採用混作(Mix cropping)的方式播種，即作物的種植不成行列。由於山區不適中大型現代農業機械的操作，因此田間管理與採收都使用人力，所以可進行混作栽培；而其可見的好處即是同時提供多樣農產品自行利用，也能夠降低病蟲害蔓延的速度。

即便在商業性農業，也常見一塊田區種植兩種以上的作物，通常都是以間作(Intercropping)的方式進行；在相同的農地上，以及相同的生長期內種植兩種以上的作物，即稱為間作。條狀間作(Row intercropping)乃是作物各成一行排列種植，帶狀間作(Strip intercropping)乃是不同作物交叉種植，每樣作物種植數行或較寬的畦面。接替間作(Relay intercropping)或稱疊作、套作，即前作進入繁殖生長階段之後，在採收前於該作物旁先播種另一作物。我國在水田所進行接替間作時特稱為糊子栽培。此外在林木之下種植作物稱為農林間作(Agroforestry)，在作物田間成行列地種植田籬植物則稱為田籬間作(Alley cropping 或 Hedgerow Intercropping)。

間作之選擇何等作物種在同一田區，通常有其經濟上或者生態上的考量。不同作物種在一起而能促進彼此的生長，稱為共榮作物(Synergetic crops)。在間作或混作制度中，並不作為收成對象，但有助於作物的成長的植物，則稱為有益植物(Companions)。例如主作物為玉米時，共榮作物可栽培菜豆、豌豆、胡瓜、甜瓜、南瓜或馬鈴薯，而有益植物可選擇萬壽菊、牽牛花或天竺葵。

根據台中區農業改良場的研究，適宜之共榮作物組合為秋季甜玉米間作毛豆、矮性菜豆、豌豆、花豆、花生、油菜或蔓性菜豆。冬季主作為馬鈴薯時，可間作花豆、豌豆或矮性菜豆。春季主作為毛豆時，可間作蘿蔔、萵苣、白菜；而冬季主作為大蒜時，可間作胡蘿蔔、菠菜等。(王 1993)

(3) 農業基因多樣性

傳統農業生產體系由於農民長期的經營，孕育出適合當地特殊環境的、可用於不同用途的多款品種，此即同一物種的基因多樣性。一般而言，作物的起源中心附近，該作物的基因多樣性最為豐富。當這些方品種被帶出散佈，距離起源中心較遠的地方，其基因多樣性也會較低。作物在擴散到各處後，各處的農民又透過選種留種，而創造出新的地方品種。

我國面積雖小，但各鄉鎮的微環境差異頗大，早期漢人自閩粵地區引入水稻栽培於南北各地，所適應出來的地方品種就高達一千多種，平均一鄉約三個水稻品種。依照水的供應、栽培的方式、以及各式的食物需求，東南亞地區發展出相當多的稻品種；這些品種依照當地水分供應的自然條件，可以由不需浸於水中的陸稻，到能夠在高達 5 公尺深的積水區中存活至少一個月的浮稻，依照水的供應量而有不同的生態品系。我國原住民族行自給式農耕，也創造出不少的品系。例如以魯凱族霧台區而言，一塊田區內，小米、芋頭、甘薯、台灣藜等作物就分別種了 14、11、10、3 個品系(巴清雄，待發表)；而三十年前外國人來台蒐集小米，在 12 個部落也找到了 96 種小米，可見一斑。

2. 國際遺傳資源相關公約與農業生物多樣性

由於綠色革命高產品種的大幅度推廣，導致農作物地方品種的急劇消失。因此在 1970 前後在洛克菲勒基金會、福特基金會贊助下，聯合國糧農組織 (FAO) 成立了國際農業研究諮詢群 (CGIAR)，在 1973 年組成國際植物遺傳資源委員會，透過各國基農業研究機構大量蒐集與保存地方品系。迄今整個 CGIAR 系統 11 個種原庫已經保存了全球各類作物 70 萬份種原，提供各國育種栽培的材料。這些材料以糧食、蔬菜、果樹、工藝作物、牧草等主要農作物為主。

不過國際經貿組織從 GATT 到 WTO，設立有「與貿易有關之智慧財產權協定 (Trade-related aspects of intellectual property rights，簡稱 TRIPS)」，要求各會員國皆需立法保障智慧財產權。其結果是第三世界國家農作物地方品種透國際研究機

構被先進國家取得；進一步研發之後，經常就因智慧財產權的申請，有時候甚至於遺傳資源直接被拿去申請專利，成為先進國家的私有財產。這樣的行為就稱為生物剽竊(Biopiracy)。

(1) 生物多樣性公約與遺傳資源的取得

第三世界國家對生物剽竊的行為相當不滿，因此透過生物多樣性公約第 15 條將遺傳資源訂定為國家主權。其他國家若要到他國蒐集種原，需要經過 PIC-ABS 的程序；PIC (Prior informed consent 事先告知同意)指的是要向該國政府申請，獲准以後才得進行；ABS (Access and benefit sharing)表示要與該國達到利益分享的協定後才能取得種原。至於本條文的實施細節，可見諸 2002 年四月生物多樣性公約第六次締約方大會所批准的「波昂準則」草案(郭華仁，2011)。其要點包括：

1. 事先告知同意

在 PIC 方面，各國的設計應達到法律上的確定性和清晰性，要有助於以最低成本取得遺傳資源，在限制遺傳資源的取得時應公開透明並有法律依據。事先告知同意由國家主管機構授予，但各級政府也得要求之。擬取得同意時，應提供各項資料，如尋求取得的遺傳資源類型和數量、進行採集的地理區域、所涉活動的開始日期和持續時間、活動對於生物多樣性影響的評估結果、取得資源後的用途 (例如：生物分類、收集、科研、或商業化)、取得資源後的研發地點內容與預期結果、是否有第三者的參與、將來獲益的內涵以及利益分享的安排等。國家宜建立登記制度，以便記錄所有准許的案件。

2. 共同商定條件

申請探勘許可，雙方應商定出有共識的書面共同商定條件(Mutually agreed terms, MAT)，來分享開發的利益。制訂共同商定條件，同樣地要考慮法律上的確定和清晰，要列入資源使用者和資源提供者的義務，要儘量減少談判時間以及交易成本，例如訂標準化的材料轉讓協定(Material transfer agreement, MTA)以及相同資源和用途的利益分享安排等。對不同的資源和不同的用途，商定條件可以有不同的安排。

3. 利益分享

共同商定條件中，應包括利益分享的條件、義務、程序、型態、時間以及分配辦法和機制。利益應考慮近期、中期和長期的利益，例如一次性付款、階段性付款和使用費。利益的分享應公平合理地給與資源管理、研發、商業化的機構。這些機構可以包括政府、非政府或研發機構，以及地方社區和原住民社區。利益分享的內容則可以分成貨幣和非貨幣兩大項。貨幣利益如資源樣本費、首期付費、階段性付費、薪津、研究費、支付生物多樣性信託基金的特別費用、權利金、分享智財權等。非貨幣利益如研發成果的分享與技術

移轉、參與產品開發、捐助教育和培訓、允許利用使用者的遺傳資源設施和資料庫、對當地經濟的實質貢獻等。

(2) 國際種原條約與作物資源的取得

生物多樣性公約對遺傳資源的規範，雖然有助於遏止生物剽竊，但也可能使得將來育種工作上不易得到新的雜交親本，影響到糧食生產。這樣的考慮使得農業學者認為，應該對於重要農作物的遺傳資源的取得訂立國際條約，以便利其取得。因此在聯合國糧農組織(FAO)的協調努力下，於 2001 年由 112 個國家投票贊成，通過了「國際糧農植物種源條約 (International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture)」⁵。主要的內容包括：

1. 多邊系統的範圍

「國際糧農植物種源條約」最大的特色就是將植物遺傳資源依照取得的規範，區分為多邊系統與雙邊系統。多邊系統採正面表列，納入 60 多個植物屬清單，包括 35 種作物和 29 種飼料作物。清單涵蓋禾穀類、蔬菜類、菽豆類、塊根莖類、特用作物類與飼用作物類等，但甘蔗、大豆、花生、番茄除外；而果樹類則包括香蕉、蘋果、柑橘、麵包果、可可椰子等五種。國際農業研究機構種原庫應根據條約，在本條約生效 (2004 年 6 月 29 日) 後所收集到的多邊系統內的植物種原，應以簡便的程序提供給各締約方，不需採用 PIC-ABS 的規定。

2. 多邊系統內種原的取得與利用

條約締約方應對於其他締約方的自然人或法人提供多邊系統內種原的方便取得機會。種原的提供要能迅速，無需追蹤各批材料，並應無償提供；如收取費用，則不得超過所需的最低成本。多邊系統下種原的取得，應該根據標準的「材料轉讓協定」來進行。取得者若要將所得到的種原轉讓給第三者時，甚至於第三者後續的每次轉讓，都應要求比照「材料轉讓協定」的條件。但所提供的種原只限於作為糧食和農業研究、育種和培訓用，而不得作為化學、藥用或其他非食用與飼用業用途。然而若是種原受到智財權和其他產權的保護，則其取得不能違反相關的智財權國際協定和國家法律。隨著種原材料的全部各種非機密性資訊，也應一併提供。而取得者對於所取得的種原或其遺傳組成不得直接拿去申請智慧財產權。

3. 多邊系統中的利益分享

使用多邊系統內作物種原所得到的成果，應透過 1.) 資訊交流、2.) 技術取得和轉讓、3.) 能力建設以及 4.) 分享商業化產生的利益等方式，俾能與所有締約方公平合理地分享。資訊指多邊系統內種原的資訊，即目錄和清單、技術資訊、科技及社會經濟研究成果等，包括特性鑑定、評估和利用的資訊。材

料開發商業化所得到的貨幣收益和其他利益的分享，應直接或間接使用於保存並與利用作物種原的各國農民。種原取得者應就所得提撥合理利潤，由條約管理機構所設信託基金運用；開發後若免費提供他人進一步研究與育種者，則得免提撥。發展中國家小農也得免繳。

4. 非締約方

對於非締約方，條約也有所簡單的條文，要求方鼓勵不是締約方的糧農組織任何成員或其他國家接受本條約。這樣模糊的文字，引起不同的解讀。若干國家認為，非締約國就無法參與多邊系統的運作，共享系統內的遺傳資源。然而似乎比較多的國家代表則認為應該本著條約的基本精神，讓所有國家都可以貢獻於這個系統。不過這恐怕要等到締約方會議開始認真討論到非締約方參與的責任與權利時，才会有進一步明朗的機會。

國際糧農植物種源條約目的在於消弭生物多性公約對於主要農作物種原取得所產生的障礙，其他野生生物遺傳資源的規範仍然依照生物多性公約進行。雖然波昂準則的精神已呈現在 2010 年 10 月通過的名古屋議定書(The Nagoya Protocol on Access and Benefit-sharing)之中，但是此議定書目前即便已有 92 個簽約國簽屬，但通過各國批准僅 16 個，距離 50 國的下限尚早，因此何時能通過實施仍未能預知。不過本議定書常被認為難以完全解決遺傳資源的核心問題。主要是本議定書對於遺傳資源取得國的國內立法並沒有太大的強制性，也無法解決若干國家拒絕專利揭露來源的立場。此外一但種原離開國家，其後續的追蹤管理相當困難，學者所提出的若干種原驗證方式(見：林松蔚、郭華仁，2009)也未能在此議定書中加以處理。

三、綠色革命與生物多樣性

世界人口因農業的普及而逐漸增加，由三千年前的約兩千萬人慢慢地爬升到兩百年前的約十億人。從 1800 年之後，人口開始暴增，約 100 年間(1927)增加了十億人；再過來十億人的增加只花了 33 年(1960)，此後平均每 14 年就增加十億人。根據聯合國人口基金會的統計，全球在 2011 年 10 月 31 日達到 70 億的新高峰，而預期到了 2046 年全球將有九十億人。很顯然，馬爾薩斯 1798 年人口論(糧食算數級數的增長趕不及人口幾何級數的增加)的預言並未於兩百年後實現；最大的原因在於近代科學的跨足農業生產，高度提升農業生產力。諸如 1800 年代的罐頭及冷凍船運的發明逐漸將農產品推入世界貿易體系；1838 年聯合收穫機的出現象徵大農制的崛起；德國植物學者 Julius von Sachs 在 1842 用水耕法研究出九種無機元素乃是植物生長之所必需，為化學肥料施用奠基。孟德爾遺傳學定律在 1900 年重新被發現，提供植物育種的科學基礎；而 1960 年代的綠色革命創造了高產品種，可說是繼農業機械、化學肥料與化學農藥之後，慣行農業的第四大

支柱。

1. 化肥農藥與農業生物多樣性

石油農業讓世界糧食增產在 1960 到 1995 的三十五年間增加了將近兩倍，而其所本是耕地面積、灌溉、磷肥與氮肥的各增加 1.1、1.68、3.48 與 6.87 倍。然而糧食的增產幾乎已達到極限；耕地面積與灌溉系統的難以有效增加固不待言，化學肥料的施用有其邊際效應，用量再增加其增產的效果也不彰。然而，化學肥料的使用可說是造成地球環境惡化的原因之一；環境的惡化間接降低生物多樣性，其中尤以化學氮肥為甚。

化學氮肥施到土壤大大地改變土中微生物相；特別是具固氮能力者會被降低，與作物具共生的菌根菌族群受到抑制(Fitter et al., 2011)；但是其他菌種則因為氮肥的提供而迅速繁殖，因而分解土壤有機質以利生長，造成土中有機質的大量消失(Mulvaney et al., 2009)。有機質分解後，土壤保持有機氮的能力喪失，大量的氮素不是被細菌轉化成氧化亞氮而揮發到空中，就是以硝酸態氮的型態滲到地下水，造成人體與環境的傷害。

氧化亞氮吸到人體會導致，氣喘與其他呼吸道疾病，在空中會形成溫室氣體，其效應是二氧化碳的 296 倍，不但造成全球暖化而衝擊地球生物相，在空氣中與水氣結合形成酸性物質，而以酸雨的型態下降，也會改變湖泊與河流的酸鹼度，影響魚類的生存。滲到土中則會影響作物的吸收鈣、錳、與鉀，更會溶出鋁，抑制作物根的生長。氧化亞氮飛到大氣層上方，還會破壞臭氧層，增加人類罹患皮膚癌。

地下水中的硝酸態氮作為飲用水，會導致人類的疾病，包括藍嬰症、生殖問題與癌症等。硝酸態氮也造成水域藻類大量繁殖，藻類的分解導致缺氧，水質的優養化使得生物難以生存其中，而成為死域 (dead zone)。嚴重者如美國墨西哥灣曾有 21756 km² 淪為死域的紀錄；而其致因為遠從美國中西部農業區沿著密西西比河而來過多的肥料。根據 Diaz, and Rosenberg (2008)的統計，全球近海死域有記載者已超過 400 處，總面積大於 245,000 km²，可能是海域生物多樣性的主要殺手；我國西部沿海魚獲量的劇減，也應該與肥料的過度施用，或者大型畜養場污水的排放，導致海水缺氧有密切的關係？

農藥的使用雖然短暫解決農作物受損的問題，然而由於所噴施的農藥絕大部分由非目標生物承受，因此帶來世紀性浩劫。早在 1962 年《寂靜的春天》一書就披露美國鳥類受到農藥的影響；根據美國 Fish and Wildlife Service 的調查，被農藥殺死的鳥類每年就約有 7200 萬隻(Fimrite, 2011)。英國農地在 1979 到 1999 期間，因為農藥消滅了植物與無脊椎動物，有 10 種鳥的族群因缺乏食物而減少了 1000 萬隻；而歐洲整體因農藥的使用而導致 116 種鳥類族群面臨滅絕的危機(Kerbs et al., 1999)。農藥會抑制蚯蚓的生長與繁殖，因而影響土壤生態；而吃到累積有農

藥的蚯蚓與昆蟲的鳥類也受到影響。(Yasmin & D'Souza, 2010).

殺蟲劑也是蜂群崩潰症候群(Colony Collapse Disorder)的元兇。農藥施用導致蜜蜂族群消失五分之一，作物授粉減少，美國農民因而損失每年高達 2 億美元(Miller, 2004)。試驗證明新類尼古丁殺蟲劑會降低蜜蜂體重，導致蜂后族群的降低(Whitehorn et al., 2012)，這可以解釋為何歐盟在 2013 年宣布禁用賽速安、益達胺與可尼丁這三類的農藥。

2. 作物單一化與農業生物多樣性

綠色革命乃是農業企業化的推手；除了農藥化肥以外，綠色革命另一個特色是農地面積的擴大與作物的單一化(Monoculture)，在廣大的農田種植連續種植單一作物以及單一品種，透過農藥化肥的使用，減少農場的操作，期以最低的勞力獲取最大的產量，並且生產品質較為一致的農產品，以符合機械化產銷體系。

單一作物的企業化大農制系統雖然在近代創造出前所未有的生產力，但是作物單一化也發生了嚴重的後遺症，包括作物病蟲的迅速擴張。馬鈴薯的原產地南美洲有豐富的種原，早期引進歐洲者僅是其中一個基因型。十九世紀愛爾蘭爆發馬鈴薯晚疫病引起大饑荒，可以歸咎於廣大面積的馬鈴薯的基因型太過一致，無法抑制病菌的蔓延。美國玉米帶在 1970 遭受玉米葉斑病的侵襲，產量減少 15%，玉米價格上揚 20%，總損失達二億美元，也可以歸因於當時的玉米品種雖多，但是 70%來自同一個自交系，基因太過狹窄所致。

烏干達在 1998 年檢測出小麥稈銹病菌(*Puccinia graminis tritici*)的特定品系 Ug99，不多久此小麥病害就迅速擴張到東非、南非與中東，更已向亞洲蔓延。由於綠色革命後小麥品種遺傳歧異度大為降低，因此約九成的全球小麥品種都對此病菌無抵抗力，是現今全球小麥生產的威脅(Singh et al., 2011)。水稻是與小麥同列綠色革命奇蹟的兩大作物之一，其栽培經驗或許可以作為借鏡。在單一品系栽培的水稻田改用多個品種種在同一塊田，結果水稻病害發生率降低了 94%，不但增產了 89%，還大幅度減少農藥的用量(Zhu et al., 2000)。

純林相的方式造林，雖然產量可能較高，砍伐也很省事，但是會面臨單一化物種的同樣問題，就是更容易受到病蟲害或惡劣環境的侵襲(Richardson, 2000)。就生物多樣性的觀點，純林提供野生生物的棲地相當少，同時砍伐也會劇烈改變棲地環境，而機械砍伐也會造成土壤硬化，嚴重影響土中生物。

四、基因改造生物與生物多樣性

將透過遺傳工程所複製或者合成的 DNA 片段，轉殖到接受者生物體的細胞，使該生物體遺傳物質發生改變；以此技術改變的生物體就稱為基因改造生物(GMO, Genetically modified organism)。由基改改造生物所製造出來的食用產物或

加工品稱為基因改造食品(GMF，Genetically modified food)。

常見的基因轉殖技術是將微生物、植物、動物甚至於人類的某個有用的基因片段從試管中分離出來，然後接上若干個基因片段，形成一個構築體。這個構築體除了要轉殖的有用基因外，還包括啟動基因與篩選基因；啟動基因用來促進有用基因在接受者生物體上能夠表現出來；篩選基因通可以產生抗抗生素的能力，用來在細胞培養的階段篩選出轉殖成功的細胞。所轉殖的基因通常來自不同的物種，因此稱為「異源基因轉殖，transgenic」，一般直接叫做基因轉殖；若是來自相同物種，則是「同源基因轉殖，cisgenic」，其產物可簡稱為同源基改生物。

第一個基因改造細菌出現在 1973 年，隔年就有基改老鼠問世。能生產胰島素的基改菌從 1982 年開始商品化，而基改食品則於 1994 年上市。第一個基改植物體是 1982 年製造出來的基改菸草細胞，可以表現出忍受抗生素的細菌基因；1986 年美國首次進行基改植物田間試驗。抗病毒的基改菸草於 1992 年在中國農地種植，這是基改作物進行商業生產的全球首次。美國在 1994 年首次核准基改作物的生產，即是後來宣告失敗的基改番茄 FlavrSavr；1995 年以後美國大量核准基改作物的生產與食物、飼料的使用，而美國也在 2003 年首次上市觀賞用的基改魚。

由於基改生物的釋放生產對於生物具有潛在的威脅，因此生物多樣性公約組織在 1993 年通過後的第二年即著手進行如何防範基改生物造成危害的國際協商。不過由於各國的立場不一，直到 2000 年 1 月才簽署生物安全議定書(Cartagena Protocol on Biosafety)；本議定書於 2003 年 9 月正式生效，而具有生命的 GMO，即活體基改生物(LMO，Living modified organism)，就躍升為正式的法律名詞。LMO 是指任何經過基因轉殖或者分類學上不同「科」間非傳統育種方式的細胞融合所得活的生物實體。

雖然基改生物的應用已久，但迄今為止以基改作物的生產主規模最大、影響層面最廣、所累積的經驗也最多，因此以下關於基因改造生物的討論主要是侷限於基改作物。

1. 基改作物的種植現況

根據基因改造企業所資助 International Service for the Acquisition of Agribiotech Applications (ISAAA)的年度報告，在 2012 全球基改作物的種植面積為 1.703 億公頃，其中四大作物的佔有率就超過 99.9%。四大作物中以基改黃豆面積高達 8140 萬公頃(47.8%)居首，依次分別為玉米(5500 萬公頃，32.3%)、棉花(2460 萬公頃，14.4%)與油菜籽(930 萬公頃，5.5%)。這四類作物的轉殖特性主要有抗蟲、忍受除草劑，或者兩者兼具；全球基改作物面積中具抗蟲特性者佔 40.7%，具抗除草劑特性者佔 85.1%，其中包括雙抗的 25.8%。

就各別國家而言，這四類基改作物的栽培面積美國以國最大(6950 萬公頃)，佔 40.8%，依次為巴西、阿根廷、加拿大、印度、中國、巴拉圭、南非、巴基斯坦，各佔全球基改作物面積的 21.5、14、6.8、6.3、2.3、2、1.7、1.6%；合計這 9 個國家就佔了 97%。其餘國家有 19 個，面積各不超過 10 萬公頃。雖然在 2012 年第三世界國家的基改面積首次超過先進國家者，但是實際上就地理分布而言，高達 87%都在美洲大農制的地區，這是因為具抗除草劑特性的基改作物對此地區的農人來講，吸引力較大。南美洲的基改大國依次為巴西、阿根廷、巴拉圭，面積較小者依次有烏拉圭、玻利維亞、墨西哥、智利，面積更小的如宏都拉斯、哥倫比亞、哥斯達黎加、古巴等各都不到 5 萬公頃。

亞澳國家佔有率約 11%，印度、中國、巴基斯坦與緬甸都種的是抗蟲基改棉花，澳洲與菲律賓各少量種基改油菜與基改玉米。印度政府曾考慮核准種基改茄子，因各方的反對而作罷；中國在 2008 年就通過玉米與水稻的若干基改轉殖項，但也是考慮到基改食用作物所可能造成的影響，因此迄今尚未核准生產，不過民間有違法偷種者。日本目前核准種植的基改作物有 10 類作物共計 118 轉殖項，其中玉米(53)、棉花(21)、油菜(16)與大豆(14)就佔了 88%，另外也包括水稻與木瓜各一項；項目之多僅次於美國核准種植的 150 項，但是到現在日本國內都沒有進行基改作物的商業生產；主要是民間農民與消費者反對種植、食用基改產品的聲浪太大。

非洲所種的基改作物佔有率為 1.7%，其中以南非的 290 萬公頃最高，約整個非洲的九成；其餘有種植的國家為布吉納法索、埃及與蘇丹等。南非種有基改玉米、黃豆與棉花，布吉納法索與蘇丹只種基改棉，而埃及只種基改玉米。

整個歐洲，包括蘇俄，所種的基改作物的全球佔有率僅為 0.08%，種植的國家只有西班牙、葡萄牙、捷克、斯洛伐克、羅馬尼亞這幾國，其中西班牙就佔了 90%。歐盟核准種種植的是工業用基改馬鈴薯 Amflora 與基改玉米 MON 810，目前所種只限於基改玉米 MON 810；這個轉殖項的允許種植也即將到期，正在評估是否准許續種。基改馬鈴薯 Amflora 都已停種。

根據 ISAAA 的資料庫，除了四大作物外，目前已經研發成功，而且至少得到一個國家商業生產許可的作物與轉殖項數量分別有馬鈴薯(20)、康乃馨(15)、番茄(11)、水稻(7)、番木瓜(4)、甜菜(3)、苜蓿(3)、苦苣(3)、白楊木(2)、玫瑰(2)、美國南瓜(2)、菸草(2)、甜椒(1)、亞麻(1)、菜豆(1)、李子(1)、矮牽牛(1)等。

在目前世界過國所核准進行商業種植生產的各類植物的轉殖項一共有 247 項，而其中由四大跨國化工企業所研發者就佔了 64%，分別是孟山都的 90、拜耳的 44、杜邦的 17 與陶氏的 6 項。若以大豆的 21 項而言，這四家就囊括了 90%，分別是孟山都的 7、拜耳的 7、杜邦的 4 與陶氏的 1 項。其中轉殖特性乃是抗除草劑者有 144、抗蟲 115、改變品質 42、控制授粉機制 22、抗病 16、克服非生物逆境 4

項(某些轉殖項具兩個以上的特性，因此總合超過 247)；前兩者就佔了 76%。

2. 抗除草劑基改特性與農業生物多樣性

傳統品種只能在種植之初噴灑除草劑，以避免作物受傷；抗除草劑基改品種則不受影響，在整個生長季節，農民都可以在田間噴灑除草劑。因此種植抗除草劑基改作物會增加除草劑的使用，對環境與農地生物多樣性的影響會更加嚴重。鍵於基改作物對於環境可能有若干風險，而小規模試驗田難以正確反映其影響，因此英國政府在 2000 年進行三年的基改作物大田評估試驗 (Farm Scale Evaluation)。該試驗針對含抗除草劑基因的基改玉米、甜菜、與油菜品種，與傳統品種比較，看哪種會對生物多樣性產生影響。結果發現對於農田由於種植基改作物所產生的雜草相變化，草食性動物、食碎屑動物，以及許多其捕食者、寄生者等生物也會因而發生改變(Hawes et al., 2003)。不過迄今英國尚未有基改作物的商業生產。

Benbrook (2012) 詳細分析食多年來美國基改作物的種植對施用農藥的影響。美國所種植的基改作物面積高居全球第一；在 2012 年全美棉花、大豆與玉米的收穫面積各有 94、93、88%種的都是基改品系，其中大豆全都是抗除草劑品系。而棉花與玉米品系中，能抗除草劑的分別有 73 與 80%，能抗蟲的分別有 77 與 67%，而以能兼抗蟲與除草劑者居多。由於抗除草劑基改作物的大量種植，因此 2011 年比起 1996 年，除草劑的使用增加了 2 億 3900 萬公斤，殺蟲劑的使用減少了 5600 萬公斤，即美國農藥總用量在 15 年間因為種植基改作物而增加了 1 億 8300 萬公斤。

由於除草劑的頻繁使用，導致美國農地上出現了 22 種除草劑嘉磷賽殺不死的「超級雜草」，出現的農地面積估計在 570 萬公頃(美國雜草學會)到 4000 萬公頃(陶氏公司)之間；而全美基改作物種面積約 7000 萬公頃，意即過半的基改面積都有這樣的超級雜草。這使得第一代抗嘉磷賽基改作物的種植效果大打折扣。農民就得使用其他毒性更高的除草劑來對付超級雜草；而基改公司因應之道就是開發能忍受另一種除草劑的基改作物，然後要農民改用那種除草劑，包括越戰所使用橙劑的主成分 2,4-D；若美國農部核准生產，預估到了 2019 年每公頃玉米田會多用了 2.2 公斤的 2,4-D。

除了產生超級雜草之外，嘉磷賽對生物多樣性的副作用也相當大，研究發現此除草劑會影響土壤微生物族群，使得作物更容易得病，也較不容易攜手土壤的某些礦物質與微量要素，固氮作用也會降低。由於田間雜草相中超級雜草的獨大，因此讓倚賴其他雜草的昆蟲與鳥類數量降低；最有名的例子就是與我國「紫蝶幽谷」並列為世界二個大規模越冬型蝴蝶的墨西哥「帝王斑蝶谷」。由於基改作物的種植，在 1999-2010 年間馬利筋數量大為減少，使得仰賴此草的帝王斑蝶族群降低 (Brower et al., 2012)。此外嘉磷賽對蚯蚓、魚與哺乳類等都具有毒性。

阿根廷的嘉磷賽除草劑在 1996 用了 1998 萬公升。到了 2011 年則高達 2376 萬公

升；前後五年間增加了 11.9 倍，平均每年 2.4 倍。由於嘉磷賽的高度使用，導致這些南美洲國家發生了抗嘉磷賽的雜草，使得農民不得不用了更毒的除草劑如 2,4-D、巴拉刈、草脫淨等(Catacora-Vargas et al., 2012)。在南美洲種植基改作物而密集地施用農藥，被認為可能是造成當地多畸形兒的原因，而生物多樣性受到的影響則仍有待進一步的調查；不過類比美國的經驗，南美洲這幾國的情況堪憂。

3. 抗蟲基改特性與農業生物多樣性

抗蟲基改作物在美國雖然減少殺蟲劑的使用，但是每公頃的基改玉米也產生了 905 公克的殺蟲毒素蛋白質。這麼龐大的毒素蛋白質對於生物多樣性有何影響，研究做的並不多。但研究顯示，若毒素蛋白質攝取量大，對於非目標生物如帝王斑蝶的毛毛蟲也有致命的危險(Losey et al., 1999)；縱然實驗室情況不易在自然界發生，但昆蟲長期食用抗蟲基改花粉的風險也不能忽視。而且十餘年來種植全身上下每個細胞都會製造毒素的抗蟲基改作物，也已經導致「超級害蟲」的發生，例如某些地區的玉米切根蟲與棉鈴蟲都已對基改品種產生抗性。即使基改公司推出可以產生兩種毒素的基改作物，效果也可能不佳(Brévault et al., 2013)，還是需要恢復農藥的使用。

中國是種植基改棉花的主要國家之一，販賣基改棉花的公司說，種基改棉花可以抵抗棉蟲，不用再噴農藥，可讓農民減少殺蟲劑的使用，省錢又健康。然而根據康乃爾大學的研究，剛開始的時候，的確農藥用量減少很多，但是過了三年，採用基改棉花品種的農民，殺蟲劑的使用量並沒有減少。主要的原因是因為基改棉品種只針對最主要的害蟲，對其他害蟲就沒有作用。種植頭幾年，主要害蟲被控制住，所以不用噴農藥，棉花仍然有收成。但是種了幾年後，其他次要的害蟲就成為主要害蟲，基改棉花抵擋不住，因此還是需要噴藥(Wang et al., 2008)。這些蝽科次要害蟲數量急劇增加，還危害到該國北方數百萬甲的農田。因為這種害蟲不但會吃棉花，還會危害其他許多作物，包括葡萄、蘋果、桃子、梨、玉米等約 200 種作物。經過八年的調查結果證明，僅針對某一特別害蟲來控制，可能會導致其他非目標性害蟲的擴散(Lu et al., 2010)。

4. 基改作物與作物單一化

由 Catacora-Vargas 等人(2012)的文章可以看出基改黃豆的種植如何影響當地生物多樣性。南美洲的大豆栽培在阿根廷與烏拉圭於 1996 年開始核准種植基改大豆之後，大豆耕種面積呈現大幅度的成長；在 1996 年為 1760 萬公頃，到了 2009 年則已提高到 4275 萬公頃，增加了 1.42 倍；同時期亞洲僅增加 0.4 倍，北美洲 0.22 倍，而其中基改佔有率也逐年增加。目前主要的種植國家是巴西、阿根廷、巴拉圭與烏拉圭等國。基改作物的採用不但降低了其他作物的耕作面積(作物物種的減少)，大片自然棲地也轉成耕地(野生物種的減少)；以巴西為例，即使在 2006 年有禁止在亞馬遜森林地種大豆的政策，但是 2007、2008、2009 年森林面

積仍減少各 95、995 與 54 萬公頃。在 2010 年種植面積最廣的巴西，有 71% 種的都是基改品系；而第二大國阿根廷則約 95%。烏拉圭種的黃豆幾乎都是基改品系。

自從 1996 年全球開始大規模種植基改作物後，原本生產農藥的化工公司大肆併購種子公司。在 2009 年，在 2009 年，三大公司的種子國際貿易就佔全球種子國際貿易額的 53%。孟山都一家的基改種子就佔了全美國耕地面積的 40%，全世界 1 億 1 千 4 百萬公頃的農地(Food & Water Watch, 2013)。種子公司數量的降低就表示農民可用品種數量的減少。最極端的例子見諸美國甜菜產業。由於美國甜菜種子供應已有 95% 被孟山都一家公司所掌握，因此 2010 年當法院判決暫時不准種基改甜菜時，美國農部以不准種美國就會缺糖為理由讓孟山都可以違法繼續生產甜菜種子；美國總統更在 2013 年簽署所謂「孟山都保護條款」，將前述的案件合法化。由此可見大企業壟斷基改科技後，對於品種單一化的影響有多大。

五、生物安全議定書的發展及影響

基因改造科技的廣泛應用，已造成全球性紛爭的議題，討論重點在於基改產品的健康與環境風險，以及此等產品的管理規範。這些議題一旦涉及國際性事務，就不是單獨一國可以妥善處理的。

基因改造技術安全議題之國際規範，主要以生物多樣性公約的「生物安全議定書」以及國際糧農組織(FAO)與世界衛生組織(WHO)聯合成立的國際食品標準委員會(Codex Alimentarius Commission)所訂之「DNA 重組植物衍生食品之食品安全評估指引準則」為主。生物安全議定書是具有法律拘束力的國際規範，而後者並不具有法律拘束力，因此各國也無執行義務；不過其風險分析的運作模式，已逐漸被國際間採納為處理基因改造技術風險議題之標準作業程序，因此也顯出其重要性。

1. 生物安全議定書簡史

根據生物多樣性公約第十九條第三項的規定，締約國應考慮制定議定書，針對 LMO 的跨境運輸安全性加以規範，期能避免基改生物對生態保育以及生物多樣性的永續使用產生負面效應。在 1992 年生物多樣性公約通過之後各國開始就 LMO 此爭議性極高的議題進行研商，終於在 2000 年 1 月 29 日第一屆臨時締約方大會通過，《卡塔赫納生物安全議定書(Catagena Protocol on Biosafety)》。本「生物安全議定書」在 2003 年 9 月 11 日議定書正式生效，到 2013 年五月止在 193 個公約簽約方中已有 166 個簽約方通過並且實施。

「生物安全議定書」能夠有效實施，需要具備懲罰條款，但是議定書的相關條款(第 27 條)並未明確規範損失事情發生後如何進行賠償與補救，僅要求在議定書第締約方大會進行協商，在四年內加以處理。締約方大會計在期限之前的 2004 年

2月設立賠償責任和補救問題的法律與技術專家工作組，進行分析與研擬，而於2010年10月15日正式通過《卡塔赫納生物安全議定書關於賠償責任和補救的名古屋-吉隆坡補充議定書(Nagoya- Kuala Lumpur Supplementary Protocol on Liability and Redress to the Cartagena Protocol on Biosafety)》。本「補充議定書」目前雖已獲得54個簽署，但到2013年3月底僅12個簽約方通過批准或承認，與40個簽約方正式通過而方能正式生效的規定還有一段距離。而這12個簽約方中8個歐洲國家與歐盟政府就佔了四分之三，充分顯示歐洲人對基改生物的認知方向。

2. 生物安全議定書的內涵

生物安全議定書的要點在於規範具活性基改生物的國際間運輸、裝卸與使用，包括不能繁殖的生物體、病毒和類病毒等；不過作為醫療與科技研發等使用目的與在封閉場所使用的LMO，以及僅為過境但不入境的LMO則排除在規範之外。具活性的基改大豆、玉米等LMO當然也可以作為食物、飼料，可說本議定書牽涉到基改產品的商業利益，因此在協商中基改作物生產國與進口國的對立關係就反映在協商過程的折衝不斷；至今幾個基改大國，即美國、阿根廷、加拿大等都沒有簽署安全議定書，可見一斑。

為了避免締約國間由於立場觀點的不同，造成因決策機制的混亂而衍生出無謂之紛爭，因此本議定書就生產國與進口國的需求，設定主要的規範為事先通告程序、風險評估、風險管理、資訊與教育、以及損害之賠償與補救等；而各項措施都需要科學證據，作為判斷或評估該LMO是否將對於進口國之環境或人類健康構成風險或危害之基準，亦即進口決策之風險判定需要根據科學證據。然本議定書在科學證據之上更援用了預警原則(Precautionary principle)的基本精神。

1. 科學證據與預警原則

在生物安全議定書中，序文與第一條都指出預警理念乃基於里約宣言第十五項原則中所提之原則；第十條第六項與第十一條第八項則點出預警原則的上位性，若相關科學資訊或知識不充分，無從證實某LMO不會危及生態保育、生物多樣性之永續使用以及人類健康風險時，則簽約國可以做出條件進口、禁止進口、或出口國需補充資料等決定。

2. 事先通告與決定程序

當出口締約國首次有意向進口國引入LMO之前，需就此備妥相關資料，提前通知進口國，以獲得其事前許可；進口締約國則應於收到通知後在90天內以書面確認收到，並且應依合理和透明的方式進行風險的科學評估，於在270天內向進口國與生物安全資訊交換所通報所作決定，同時敘明進口條件及理由。

3. 風險之評估

進口國再作決定前，需要根據申請者所提供的科學技術資料以及相關科學證據進行風險評估。詳細的科學技術資料包括：受體生物以及基因來源生物的基本生物性資料、載體的特性資料、轉殖後特性改變的資料、LMO與受體生物在生物特性上的差別、LMO的偵測與鑑別方法、LMO預定用途、該LMO與非基改受體在用途上的差異、釋放環境的位置、釋放環境非生物、生物與生態的資料等。進口國可以要求出口者進行風險評估；若自己進行，也得要求申請者繳費。

3. 風險之管理

締約國應在考量社會經濟因素之前提下，制定風險管理機制與措施，以因應LMO利用、裝卸及越境轉移而造成的各種風險，包括對領土內生物多樣性保護、永續使用、以及對人類健康的危害。進口國也可以在某基改生物尚未釋放之前，就向出國締約國要求提供風險評估資訊，以資因應該LMO在仍未核准前就進到國境之內的情事。而締約國在發生未核准前就在環境中使用某LMO的情事時，有義務將可能發生的風險與應對方法通告生物安全資訊交換所與國基相關機構。締約國也應落實公眾參與，確實實施公眾意識和教育活動，並且公開進口LMO的資料，在LMO的決策過程中也須公開徵求公眾意見，然後在不違反機密資料的規定下，公開其決定。

4. 標識之規範

議定書要求出口國在其基改產品應附加說明文件，在包裝、儲存、運輸、處理、使用與銷售過程中都應加以標記，以資表明為基改產品，以及進口商資料。此規範及於LMO的三種使用類型；(1)若產品只是作為食用或飼料用，則在能識別時需標示為「LMO」，若無法識別時需標示為其中「可能」含有LMO兩者都要表明不作為環境釋放(如田間播種)用。(2)若作為封閉使用，則需標示「LMO」，並應敘述該LMO如何儲存、運輸、處理、使用等作業要求。(3)若作為環境釋放用，除了前述標示與具體要求項目外，還要具體表明該LMO的身分與相關特性。

5. 賠償與補救

「名古屋-吉隆坡補充議定書」確定了基改生物導致生物多樣性或人類健康時，其賠償責任與補救的國際規則及程序。本補充議定書規定，除非在天災、不可抗拒力、戰爭或內亂行為的情況下導致了損害可以免除責任之外，否則不論基改生物是提供環境釋放(田間播種)，或是無意中的釋放，或是違法的釋放，若能確定基改生物與損失的因果關係，「經營者」都應負賠償與補救之責，都需要向主管機關繳納評估損害和採取適當應對措施的費用和開支。

一旦發生損害，經營者應立即通知主管機關，並且評估損害程度以及採取適當的應對措施。而主管機關則應確定造成損害的肇禍者，並且評估損害程度以及決定經營者應當採取的應對措施。所謂經營者包括開發者、生產者、通知者、出口者、進口者、許可證持有者、將LMO置於市場者、承運人或供應者等。

6. 非締約國

我國並非締約國，但議定書的條文也針對非締約國加以處理，主要是締約國可就LMO的越境轉移與非締約國訂立雙邊、區域及多邊協定，並且應鼓勵非締約國遵守議定書，並且向生物安全資訊交換所提供管轄地區內LMO釋放或進出口的資訊。

3. 生物安全議定書的影響與效力

在 2012 年基改作物種植面積前九大的國家的六個，即巴西、印度、中國、巴拉圭、南非、巴基斯坦等都是生物安全議定書的簽約國，也都已在國內通過本議定書；不過美國、阿根廷與加拿大等這三個基改農產品主要輸出國都沒有簽約，其基改作物面積加起來佔全球基改面積的 61.69%。巴西早期其實也是禁種基改黃豆，2003 年 9 月議定書正式生效後，巴西於該年 11 月才通過議定書，而其主要的種植則是由 2004 年開始。目前全球有 64 個國家，包括我國，設有基改產品的標示規定，雖然程度上有所差別，但是前四大基改大國中只有巴西設有標示規定，其餘美國、阿根廷、加拿大則皆採自願性標示規定，而這三國恰好就是沒有簽署生物安全議定書的國家。由此事實可以看出來，基改產品輸出國的立場是與以 LMO 國際貿易當作規範標的議定書有根本的差別的。

中國是目前最大的基改大豆進口國。該國在 2000 年就簽署生物安全議定書，並於 2005 年年中通過後實施。中國自 2002 年 3 月 20 日開始，就規定基改產品須經過申請、評估，取得安全證明書後才可以進口；也要求基改產品需要標示才可出售。這些措施都符合生物安全議定書的精神。

日本、韓國也進口相當多的基改產品。日本在 2003 年 11 月通過生物安全議定書，2004 年 2 月開始實施，而在約同時也施行了《基因改造生物使用規範之生物多樣性確保法》，俾能預防基因改造生物越境移動而對生物多樣性造成不良影響。不過日本多次發現進口的基改油菜種子在運輸過程中可能不慎外洩，而導致在港口附近或高速公路旁自行發芽生長，甚或發生基改特性跨物種轉移的情事。韓國雖然在 2000 年簽署生物安全，但是一直到 2007/2008 年在國內通過並實施。韓國的基因轉殖生物越境移動相關法律則早在 2001 年就已制定，而在 2008 年議定書實施之後才正式施行此國內法。

雖然生物安全議定書提供給各簽約國一個國際法位階，用能制定相關的國內規

範。不過議定書主要是處理基改生物活體的國間運輸，而基改黃豆、基改玉米等大宗穀物通常仍具種子活性，因此其國際貿易實際上也適用於議定書的規範。所以要衡量生物安全議定書的效力，必須由國際貿易糾紛去檢視。美國與歐盟的基改產品貿易糾紛就是最佳的案例。

美國是基改作物研發、種植與產品外銷的大本營，因此對於限制基改生物運輸的生物安全議定書當然是興趣缺缺。而相對於議定書的預警理念，以及歐洲的根據製程的管理，美國則提倡實質等同原則，而根據產品去管理。歐洲認為基改生物的製成本身拒不確定風險，因此根據預警原則，在產品的試驗與商品化皆需要嚴格地管控，因此從 1998 年 10 月開始，歐盟對於美國等基改產品輸出國事實上採取了普遍性的禁令，禁止基改產品的進口與上市。2003 年美國、加拿大與阿根廷就在 WTO 對歐盟提出控訴，認為歐盟禁令違反 WTO 若干關於食品安全檢驗與動植物防疫檢疫措施協定等規定。

同年 8 月 WTO 下令爭端解決機構成立小組予以審理。經過三年的審理，爭端解決小組在 2006 年判決歐盟禁令的確違反國際貿易法規。實際上歐盟在 1998 實施基改禁令後，隨即展開基改法規的研擬，因此在 2001 到 2004 年陸續提出單獨立法，針對基改生物的環境釋放、作為食品與飼料、基改產品的產銷履歷及標示、基改生物跨國運輸、基改生物環境危害的復原與賠償等制定相關的法規或指令，可說相當完整，並於 2004 年就解除基改禁令，因而歐盟認為 WTO 的裁定歐盟敗訴並不具實質效應。不過小組爭端解決在裁決書中並不就預警原則是否為國際法原則加以裁決，亦不加以引用，因此論者認為預警原則的實際作用因此大受影響，未來若有類似案件，可能更不會直接援引預警原則(李貴英，2011)。再者，雖然從生物安全議定書到京都議定書等國際規範與森林生態系都具有相當大的關係，但事實上對於若干國家國的釋出或種植基改林木，這些國際公約都沒有達到讓政府嚴格審核基改林木生態及環境風險的效果(楊一晴，2010)。

實際上除了生物安全議定書的立法基礎，消費者的意志在避免基改生物危及生物多樣性上也居重要的關鍵。由於歐洲人民普遍的不信任基改科技，因此在民間團體的不斷監督下，歐盟得以在立法與行政上貫徹較為嚴格的基改審查、管控與監督，而即使基改產品上事實需要標示，實際上商店基改產品上架者並不多見：這乃是廠商認識到消費者態度後的反應，實不足為奇。再者，除了康乃馨外，目前農作物基改轉殖項中歐盟已核准商業生產者僅玉米兩項、馬鈴薯一項，其中馬鈴薯已停止生產，奧地利、希臘、匈牙利等國則加以禁種。玉米也僅西班牙有較大規模的生產，而且還有匈牙利、希臘、法國、保加利亞、奧地利、德國與盧森堡等國違抗歐盟的命令，在國內下達禁種令。違抗歐盟規範更為嚴重的則是非基改區的宣告。在 2010 年歐洲地區已有 31537 個個體、4712 個地方政府、169 個區域政府都已列入無基改生物區，對此歐盟政府也無力禁止。

六、生物多樣性與農業永續經營

在化學農業興起之後，早在早在 1930 年代前後。東西兩方世界都出現具前瞻性眼光的賢者，他們倡言石油農業的弊病，並點出有機農法的真諦。例如根據奧地利 Rudolf Steiner 1924 年農業演講而創立的生物動態性農業(Bio-Dynamic Agriculture)，視農場為一獨立系統，應盡量減少外來物質的投入。除了認為應尊重及善用農場各類生物之外，也強調非生物物質的影響，可說是有機農法的濫觴。英國 Sir Albert Howard 在 1940 年出版《農業聖典》一書，倡導土壤健康以及腐殖質在農業的重要性。在日本則有岡田茂吉(1935)與福岡正信(1937)倡導「自然農法」。

雖然賢者早在世界戰爭前就看出有機農業的必要性，然而終戰之後卻未能逐漸取代慣行農法，化肥農藥的使用反而蓬勃發展，與化工大企業的推動有關。硝酸鹽與有機磷劑乃是戰爭的重要物資，前者是火藥的原料，後者則可以提供為神經性化學武器。終戰之後化工公司為了消化龐大的庫存，使用對象就由軍方轉向農業部門。在其強力的推廣銷售下，當時各國農業政策又皆以提高作物產量、供應戰後糧食短缺現象為主軸，終於導致化學農業的普及。

化學農業雖然在短期間提高作物生產力，然而其後遺症常被忽視，一直要等到約《寂靜的春天》在 1962 年出版後，農藥對野生生物與人體健康的影響才逐漸為大眾瞭解。社會開始重視環境保育議題，有機農法強調尊重自然及環境保育的原則再度受到關注，有機農業運動才又復甦。到了 70 與 80 年代，肥料分子與農藥的大量出現於水域、土壤流失劣化嚴重、食品硝酸鹽與農藥殘留過多等負面影響的報告開始增加，而第一次石油危機又讓慣行農業仰賴外部能源的缺點浮現，因此化學農業可能造成人類無法永續經營的論點逐漸抬頭，永續農業的概念因而受到重視。

根據美國農藝學會對永續農業所下的定義是：永續農業是一種農業系統，長期行之，可以增進資源以及環境品質，以作為農業之所依據；可以提供人類糧食以及纖維之所需，並且在經濟上為可行，而能增進農民以及整體社會生活的品質。美國國會在 1990 年所通過的農業法案(Farm Bill)則認為永續農業是一種動植物生產操作的整合系統，依地區的不同而有所差別，長期行之可 1.)提供人類糧食與纖維之所需；2.)對非再生資源與農場資源作最有效的利用，而且能適當地整合自然的生物循環以及生物防治；3.)在經濟可行之下持續農業生產；以及 4.)增進農民以及整體社會生活的品質。此後美國許多大學都開始設置永續農業相關課程與研究中心。

歐洲在法國農協(Nature et Progrès)的推動下，於 1972 年成立國際有機農業運動聯盟(International Federation of Organic Agriculture Movements, IFOAM)，目前已

經集合了 116 個國家超過 750 個團體，為促進有機農業而努力。在政策上，從 1992 年以後，歐盟共同農業政策的法規由鼓勵生產逐漸轉變為環境補貼，要求各會員國針對農業多功能性的維護加強立法；其中有機農業補貼即為其中的方式之一。在教育方面德國、奧地利、芬蘭等國大學都設有農業生態、有機農業等方面的專門學系甚至於研究所。

國際有機農業運動聯盟揭櫫了有機農業四大原則：健康(health)、生態(ecology)、公平(fairness)、謹慎(care)。就中「健康」原則指的是有機農業應維護並增進土壤、植物、人類以及地球之間的健康。健康不僅是沒有疾病，也代表著生理、心理、社會，以及生態上維持良好的狀態。免疫力、恢復力、再生力三者是健康的特徵。無論是在耕種、加工、分配，或是在消費上來施行有機農業，皆可以支持與加強生態系與生物體的健康，包括從最小的土壤生物到人類。有機農業特別能生產高品質、高營養的食品，有助於預防保健、增進幸福。有鑑於此，有機農業不應使用有害健康的肥料、殺蟲劑、動物藥劑、與食品添加劑等物質。

生態原則指的是有機農業乃是基於生態系統及其循環，其操作需要仰賴、學習、以及維護生態循環的生產體系。本原則將生態系統視為有機農業的根源，說明生產是建立在生態的運行與循環上。透過特定生產環境的生態系可以達到良好的營養狀況以及健康狀態；例如就作物而言就是有生命的土壤，對動物而言就是農場生態系；對魚類和海洋生物來說就是水中環境。有機耕種、牧場，以及野採系統應符合自然界的生態平衡與循環。這些循環雖具普遍性，但在運作上則應因地制宜。有機管理一定要隨著地區條件、生態、文化以及規模加以調整。施行回收再使用，配上物質與能源的有效管理，來減少物資的投入，以維持並增進環境品質以及資源的保育。有機農業應設計耕種系統、建立棲息地並維持農業上的多元，以達到生態平衡。從事生產、加工、交易，或消費有機產品者有義務保護且維持公共環境的利益，包括地景、氣候、棲地、生物多樣性、空氣與水等。

謹慎原則是指有機農業的運作需要採取預警的以及負責的態度，來保護環境與今生來世人類的健康與福祉。有機農業是一個有生命、動態的系統，對內外的需求以及條件皆需加以回應。從事有機農業能增強效率並提高生產力，但不應在可能危害健康以及福祉的情況下進行。因此，新科技必須經過評估，現有的方法也應重新檢視。考量到目前對生態系統以及農業在認知上的不足，必須以謹慎的態度來對待。本原則指出有機農業不論在管理、發展以及科技的選擇上，重要的關鍵在於預警和負責。儘管在確保有機農業的健康、安全，以及生態健全上，皆仰賴科學，然而僅有科學知識是不夠的。實作經驗、累積的智慧，以及傳統知識都經過時間的驗證，能提供有效的解決方法。有機農業應採用適當的科技，屏除無法預測的科技如基因工程。科技的選擇與決定應透過公開與參與的過程，反映出所有可能受影響之相關者的價值與需求。

此三原則乃是針對農業生產體系的內涵加以建構有機生產的操作準則。然而，農

業的層面除了生產以外，還包括生活、經濟、社會與政治的領域，因此有機四原則還包括「公平」。

公平原則指出有機農業的運作需要建立各種關係，以確保各類環境與生命機會的公平。公平的特點在於所有人類以及人與其他生物都應該平等、尊重與公正地照顧這個共享的世界。有機農業相關者在每個層面，包括農民、工人、加工者、分配者、交易者，以及消費者之間的各層面與各部門，皆應依本原則履行人際關係，以確保公平。有機農業應提供每個人優質的人生，提升食物自主，和消除貧窮。其主要目標在於生產足夠且高品質的食物以及其他產品。本原則堅持應該依據動物的生理、天生行為以及其健康來提供生活條件與生存機會。用於生產消費的自然與環境資源應以符合社會上以及生態上公平的方式來管理，並且應能讓未來世代使用。公平原則要求生產、分配、交易系統應該開放且平等，並且注意到環境和社會的實際成本。本原則實際上也呼應生物多樣性公約中一再強調的「公平合理」分享使用遺傳資源所得利益的精神。

農業生態學(Agroecology)乃是近代農業歷經綠色革命、基因革命後遺症，而產生糧食缺乏危機之後，逐漸發展出來，由生產到消費，用以平衡自然資源之使用與環境之保護，兼顧糧食生產、經濟可行以及社會正義，以期達到長期永續經營的新領域。農業生態學發展的初期只要是強調農業系統中的生態過程，專注於使用生態學概念與原理來設計永續的農業生產系統。後來能夠跳脫自然科學領域，引入社會學門的觀念以及方法，用以進一步探討無法自外於政治、社會、文化等的複雜農業問題。近十年來這方面的研究更加熱烈，農業生態學已演變成關注多面向、更為寬廣的農業、食品、社會、經濟與政治等跨領域的學門，其目標乃是如何解決飢餓、貧窮鄉村、永續發展等全球糧食不足與食品主權的嚴苛課題。因此農業生態學除了有機農業、生態農法等另類生產模式之外，還會是建構於公平、正義、關係、彈性、抗爭與永續等的社會運動，企圖尋求生態與社會文化的結合。

相對於慣行農業，基於生物多樣性的永續農業是農業思想典範的大轉移。慣行農業乃是奠基於「機械論 Mechanism」、「化約論 Reductionism」科學哲學觀，認為自然系統是可瞭解的、可預期的、可量化的、可化約的、可操控的、以及四海皆準的。化學農業透過此等哲學基礎上的科學研究，雖然提高作物產量，但是將生態、社會、美感等不易量化的外部成本切割於研究的標的之外，卻已導致諸多後遺症。基因改造作物更是化約論的極致，把農業問題簡化到一個基因，而其應用的結果，環境與健康的風險已經浮現。反之，生態農業、有機農業等則是強調「有機體論 Organism」與「整體論 Holism」，也就是說，農業研究與農業政策要納入過去被忽略的事項，例如仿效生物多樣性與生態原則研發作物生產與管理制度、對此新生產制度進行經濟分析時納入外部成本、新生產制度應針對小農與各農村的特殊需求提出多元解決方法，而非單一手段、農業政策應著眼於小農，而非大企業的扶持等。換言之，農業的永續經營需要奠基在生物多樣性的體現。

七、結語

農業是文明的基石。農業養活更多的人，然而更多的人反過來需要更多的農業來支撐。在這樣的循環下，農業發展若不考慮環境承載力的侷限，就可能因環境的破壞而讓農業無法繼續經營。文明因農業的過度開發而毀滅的殷鑑不少，諸如蘇美文明、雅美文明等都是顯著的案例。人類文明若還要有明天，需要將生物多樣性及其背後所蘊含形而上的思想提升其位階，並且在政治、經濟、社會與農業生產上加以體現。唯有維護地球的健康，以及豐富的農業系生物多樣性，農業乃至於人類文明才得永續經下去。

引用資料

- 王錦堂 1993 永續農法之共榮作物栽培。見：黃秀華、謝順景、陳慶忠(編)永續農業研討會專集，臺中區農業改良場，頁 127~139。
- 李貴英 2011 歐洲化對歐洲聯盟平衡生技風險與貿易利益之影響。《歐美研究》41: 547-603。
- 林松蔚、郭華仁 2009 遺傳資源來源的驗證方案。見：黃鵬、林學詩、張建生、陳吉村、林文華 (編) 《水生植物多樣性開發與利用研討會專刊》，頁 1-25。行政院農業委員會花蓮區農業改良場。
- 郭華仁 2011 植物遺傳資源取得的國際規範。見：張哲瑋、楊儒民、張淑芬 (編) 2010 『熱帶及亞熱帶果樹種原保存利用研討會專刊』，農委會農試所。
- 楊一晴 2010 國際規範對基因改造林木發展與管理之影響—從生物安全議定書到京都議定書。科技法律透析 22: 13-36。
- Benbrook, C.M. 2012 Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the U.S. – the first sixteen years. *Environmental Sciences Europe* 24, 1-13.
- Brévault, T., Heuberger, S., Zhang M., Ellers-Kirk, C., Ni, X., Masson, L., Li, X., Tabashnik, B.E., & Carrière, Y. 2013 Potential shortfall of pyramided transgenic cotton for insect resistance management. doi: 10.1073/pnas.1216719110.
- Brower, L.P., Taylor, O.R., Williams, E.H., Slayback, D.A., Zubietta, R.R., & Ramírez, M.I. 2012 Decline of monarch butterflies overwintering in Mexico: is the migratory phenomenon at risk? *Insect Conservation and Diversity* 5, 95–100.
- Catacora-Vargas, G., Galeano, P., Agapito-Tenfen, S.Z., Aranda, D., Palau, T., & Nodari, R.O. 2012 *Soybean Production in the Southern Cone of the Americas: Update on Land and Pesticide Use*. GenØk – Centre for Biosafety, Norway. pp. 1-50.
- Chithrashree, C., Udayashankar, A.C., Nayaka, S.C., & Redd, M.S. 2011 Plant growth-promoting rhizobacteria mediate induced systemic resistance in rice

- against bacterial leaf blight caused by *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae*. *Biological Control* 59, 114-122.
- Diaz, R.J., & Rosenberg, R. 2008 Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science* 321: 926-929.
- Fimrite, P. 2011 Suit says EPA fails to shield species from poisons. *The San Francisco Chronicle*. January 21, 2011.
- Fitter, A.H., Helgason, T. & Hodge, A. 2011 Nutritional exchanges in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: Implications for sustainable agriculture. *Fungal Biology Reviews* 25: 68-72.
- Food & Water Watch 2013 *Monsanto: a Corporate Profile*. Pp. 28. Food & Water Watch, USA.
- Hawes, C., Houghton, A.J., Osborne, J.L., Roy, D.B., Clark, S.J., Perry, J.N., Rothery, P., Bohan, D.A., Brooks, D.R., Champion, G.T., Dewar, A.M., Heard, M.S., Woiwod, I.P., Daniels, R.E., Young, M.W., Parish, A.M., Scott, R.J., Firbank, L.G., & Squire, G.R. 2003 Responses of plant and invertebrate trophic groups to contrasting herbicide regimes in the Farm Scale Evaluations of genetically-modified herbicide-tolerant crops. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 358, 1899-1913.
- Ji, P., Campbell, H.L., Kloepper, S.C., Jones, J.B., Suslow, T.V., & Wilson, M. 2006 Integrated biological control of bacterial speck and spot of tomato under field conditions using foliar biological control agents and plant growth-promoting rhizobacteria. *Biological Control* 36, 358-367.
- Kerbs J.R., Wilson, J.D., Bradbury, R.B., & Siriwardena, G.M. 1999 The second silent spring. *Nature* 400: 611-612.
- Losey, J.E., Rayor, L.S., & Carter, M.E. 1999 Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature* 399, 214-214.
- Lu, Y., Wu, K., Jiang, Y., Xia, B., Li, P., Feng, H., Wyckhuys, K.A.G., & Guo, Y. 2010 Mirid bug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China. *Science* 328, 1151-1154.
- Miller, G.T. 2004 *Sustaining the Earth*. 6th edition. Thompson Learning, Inc. Pacific Grove, California. Chapter 9, p. 211-216.
- Mulvaney, R.L., Khan, S.A., & Ellsworth, T.R. 2009 Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production. *Journal of Environmental Quality* 38, 2295-2314.
- Richardson, D.M., ed. 1998 *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Saravanakumar, D., Muthumeena, K., Lavanya, N., Suresh, S., Rajendran, L., Raguchander, T., & Samiyappan, R. 2007 Pseudomonas-induced defence

- molecules in rice plants against leaffolder (*Cnaphalocrocis medinalis*) pest. *Pest Management Science* 63:714–721.
- Singh, R.P., Hodson, D.P., Huerta-Espino, J., Jin, Y., Bhavani, S., Njau, P., Herrera-Foessel, S., Singh, P.K., Singh, S. and Govindan, V. 2011 The emergence of Ug99 races of the stem rust fungus is a threat to world wheat production. *Annual Review of Phytopathology* 49: 465–481.
- Wang, S., Just, D.R., & Pistrup-Andersen, P. 2008 Bt-cotton and secondary pests. *International Journal of Biotechnology* 10, 113-121.
- Whitehorn, P.R., O'Connor, S., Wackers, F.L. and Goulson D. 2012 Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. *Science* 336: 351-352.
- Yasmin, S. & D'Souza, D. 2010 Effects of pesticides on the growth and reproduction of earthworm: A Review. *Applied and Environmental Soil Science* 27: 1-9.
- Zhang, S., White, T.L., Martinez, M.C. , McInroy, J.A. , Kloepper, J.W., & Klassen, W., 2010 Evaluation of plant growth-promoting rhizobacteria for control of *Phytophthora* blight on squash under greenhouse conditions. *Biological Control* 53, 129–135.
- Zhu, Y., Chen, H., Fan, J., Wang, Y., Li, Y., Chen, J., Hu, L. and Mundt, C.C., 2000 Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406:718–722.

延伸閱讀

牛惠之、郭華仁、滕沛倫、彭英泰、陳詩欣。2005。基因改造產品的發展、爭議、管理與規範。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局。

郭華仁、牛惠之。2006。基改食品與生物安全議定書。生物多樣性-社會經濟篇。教育部。

郭華仁。2002。農業生物多樣性與農業政策。「生物多樣性保育研習會」，臺灣大學生物多樣性研究中心，台北。

郭華仁。2006。種子戰爭：植物遺傳資源權 V.S. 智慧財產權。生物多樣性概論。教育部。

陳思穎(譯)。2010。大地，非石油——氣候危機時代下的環境正義。巨流，台北。
(Shiva, V. 2008 *Soil Not Oil: Environmental Justice in an Age of Climate Crisis*. South End Press, Cambridge, USA.)

楊佳蓉、陳若盈(譯)。2010。生物剽竊：自然及知識的掠奪。巨流，台北。(Shiva, V. 1997 *Biopiracy: the Plunder of Nature and Knowledge*. South End Press, Cambridge Massachusetts.)

楊恩誠、石正人(編)。2010。農業生態系生物多樣性研討會專刊。行政院農業委員會林務局。