

多元農作體系與環境風險管理

作者：陳宗禮（國立中興大學農藝學系兼任教授）

電話：(04) 22840777 # 309

前言

農業是人類培養動物、植物、微生物的生產事業。以生產觀點而言，農業包括農、林、漁、牧四種生產事業，故農業可定義為人類利用天然資源以從事農、林、漁、牧生產，以供給人類生活必需物質的生產事業。因此農業對於提供糧食安全、維護生態環境、穩定農村社會文化、提升綠色經濟等層面，扮演積極多功能的角色，與整體經濟結構轉型、社會安全網強化及國土規劃、區域發展與環境永續等國家發展的重大課題關係密切。

農業是供給人類生活必需物質的古老行業，據考證約起源於一萬至一萬二千年前的新石器時代，經由漁獵、遊牧和農耕等三個主要發展階段演變而成。隨著人類的活動，世界農業的演變可簡化經歷了原始農業、傳統農業和現代農業等三大階段。現代農業為二次世界大戰之後，各國為振興經濟與增產糧食，鼓勵大量使用化學肥料、農藥以及機械化耕作的慣行農法，依賴高投入化學肥料及合成農藥等合成資材，並以大型農機與種植單一作物來提高生產效率。現代農業的高效生產方式，雖然解決了糧食問題，舒緩人口增加所造成糧食需求之壓力，卻也造成土地及水源的污染，增加農作物農藥殘留的風險，也影響自然生態平衡的運作，這些弊端逐漸引起大眾對於農作方式的反思。

農業生產環境的危機

農業是利用天然資源的生產事業，主要的天然資源包括光熱輻射能、空氣、水、土地（壤）等自然環境因子及多樣性的生物，是集結這些天然資源從事生物性生產的事業，所以農業可以說是屬於高度環境依賴型的產業。全球農業目前正面臨著在有限的資源和氣候變遷的雙重壓力下，仍必須提供人類足夠的糧食、飼料、纖維及生質能源，以滿足不斷增加人口需求的挑戰。

以土地資源而言，可供農業用的可耕地資源受限於新開墾地不足，加上都市化、工業化和科技化，許多農地變為建築用地、都市用地、工業用地、科學園區、生活園區；再加上沙漠化、鹽鹼化等土壤劣化，使得農業土地急速減少，造成可供農業利用之土地增長率趕不上糧食需求的增加率。土地資源的另一問題為土壤品質，土壤品質是指土壤在自然或人為狀態下維持生物產量、環境品質、促進植物與動物健康的能力，土壤品質的好壞受土壤物理、化學及生物特性的影響。土壤中養分的含量是土壤品質好壞的指標，土壤提供作物生長的必要養分，如果養分不足，作物生長不良；若養分過多且超過土壤可保留的程度，則養分易被淋洗至地下水、河川、湖泊中，致使水質優養化，造成生態的失衡。在農耕作業中不當的施肥及耕作制度或特殊的乾旱可能使土壤累積過多的鹽類，鹽分濃度太高直接影響地上植物和土壤中生物的生長。土壤因物質、生物或能量之介入，導致品質改變不能作正常使用者稱為土壤汙染，土壤的汙染物都是人類各種活動所產生，包括水汙染、空氣汙染、廢棄物處理不當、及農業資材、農藥使用不當所引起；抽取地下水養殖，造成地層下陷、海水入侵，導致土壤鹽化。

另外森林砍伐和過度放牧等耕地不當管理也會造成土地劣化，水和風的侵蝕及沙漠化也是導致土地劣化的主要原因。過度的使用農藥和肥料加深了對土壤的劣化，如長期施用過量的氮肥，增加土壤可溶性鹽化致土壤鹽化，若長期施用酸性肥料，將導致土壤酸化。

以水資源利用而言，作物必須適量的水分供應才能生長，要生產高經濟價值的作物，更需完善的灌溉設施，飼養禽畜也需要足夠的水，養殖漁業更需要大量的水。全世界水資源利用以農業用水最多，約占整體用水量的70%，其他則為工業用水10%、民生用水20%等，農業用水又以灌溉為最大宗，約占農業用水的

85%，養殖占農業用水的 12.5%，畜牧占農業用水的 2.5%。近年隨著都市化及高科技科學的發展，民生用水與工業用水相繼激增，影響到農業用水，水資源匱乏已成為近年來農業生產的嚴重問題。水資源的另一問題為水的品質，水汙染的最大元兇為工業廢水、家庭及都市廢水及畜牧廢水等，這些汙染的水未經處理排入灌溉渠道或河流，造成水汙染，引水灌溉進而汙染農田。造成水汙染的另一禍首是農業上大量使用化學肥料及殺蟲劑、殺菌劑、除草劑及荷爾蒙等。因過度的濫用，造成河川的水汙染、土壤汙染及農產品的農藥殘毒等嚴重的問題。

空氣品質方面，工業化產生很多氣體和固體二大類的空氣汙染物，氣體汙染物如臭氧、一氧化碳、二氧化硫、氮氫化合物、二氧化碳、氟化物、乙烯、氯化物以及由重金屬工廠產生含鋅、鉛、溴、硼、銅、鎳等之氣體；固體汙染物為水泥工廠排出的塵埃，揚塵及焚燒亦產生細懸浮微粒。這些空氣汙染物對農作物造成傷害，氣體汙染物可隨風及大氣環流散佈各地，影響全球生態的變化。空氣汙染物中的 SO_2 、 NO_2 、 Cl^- 、 HF 等物質與雨水、雪、水、霧、露等沉降到大地形成酸雨，酸雨對動物和植物造成傷害，更對生態系中之水質、土壤、森林、湖泊造成影響，直接或間接影響農、林、漁、牧之農業生產。空氣汙染物中的 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 等是溫室氣體，溫室氣體導致全球氣候變遷及暖化，對農業的影響更嚴峻。

全球氣候變遷的主因歸因於工業革命以來長期溫室氣體累增，造成全球暖化，暖化衍生的效應造成降雨形態改變和極端天氣事件如熱浪、豪雨和乾旱發生的頻率、強度增加與改變，冰川大量溶解導致海平面的上升等。氣候改變所造成的直接效應，如低溫、高溫、乾旱、淹水、洪患、日夜溫差等，同時也會引起雜草、病蟲害的發生和流行，這些都不利作物的生長，因而造成作物減產。對全球農業產業、生態環境和人類生活均帶來嚴重的威脅與深遠的影響。

農業生產環境變化的另一危機為生物多樣性減少，為了滿足膨脹人口的糧食以及全球化農產品的市場需求，農牧土地急速擴充，導致自然棲地急速縮小且片段分離，造成全球性生物遺傳多樣性急遽減少。另外現代農業要求新

品種的遺傳一致性，透過種植單項作物以方便大面積經營來提高生產效率，導致主要糧食作物的遺傳多樣性急遽下降，增加了主要作物對病蟲害潛在遺傳脆弱性。

多元農作體系

栽培作物的主要目的是為了滿足人類的需求，其最終目標在於生產能廣為消費者所接受的高品質農產品，生產者從中可以獲取最高的利益。現代農業生產大量地使用速效型的化學肥料、殺蟲、殺菌和除草劑，並應用農業機械提升作業效率，顯著提高糧食生產量。現代農業高效的生產方式，雖然解決了糧食問題，舒緩人口增加所造成糧食需求之壓力，但長年集約的生產方式和大量的施用化學農藥和肥料，造成土壤理化性劣變、農藥殘留、環境汙染和農業生態平衡的破壞，作物的農藥殘留也影響消費者健康，現代農業所衍生的弊端逐漸引起大眾對於農業操作方式的檢討改進；因此提倡資源永續利用、環境友善與維護生物多樣性的生態循環農業趁勢而起，如今正邁入永續農業的關鍵期。

農業的永續性包含三個廣泛的目標，即追求環境、經濟和社會三方面的健康或福祉。一個永續的農業系統應該發展具備高生產力的農耕措施和系統，能夠生產足夠的食物、飼料、纖維、生質燃料和其他商品，提高水、土、空氣等環境品質並增加生物多樣性，允許生產者和勞動者獲得合理的經濟回報，也符合動物健康福祉，提供消費者安全、健康、負擔得起的食物，維持農業的經濟活力與社區經濟安全，並能保持或提升農業生產所依賴的自然資源基礎。

永續農業係指儘量少用或避免使用化學肥料及合成農業藥劑的農耕方式。世界各國因地域特性、歷史發展背景、民生消費習性及國家政策要求的不同，對此農耕法的使用名稱也不盡相同，較常見的有：永續農業、有機農業（農法）、自然農業（農法）、再生農業、生態農業（農法）、替代農業（農法）、生物動態性農業、低投入農業、低投資永續性農業、綜合農業、整合農耕法、生態農業等，最常使用的則是有機農業和永續農業。上述各種農耕法的

定義規範不一，本文並不討論各種農耕法的定義規範，主要針對農業永續發展的耕作方法、農耕系統及特定導入的栽培管理技術進行比較與說明介紹。

可以促成農業永續發展之多元農作體系（圖一）和先端栽培管理技術包括輪作、間作、深耕、休耕、低投入、低整地栽培、不整地栽培、覆蓋栽培、草生栽培、生物防治法、合理化施肥等等。

輪作是指在同一塊田區選擇若干種類的作物，依栽培季節、時間輪流種植。輪作主要可避免土壤養分片面的快速消耗，因為不同的作物，對於養分的需求不同，輪作可以均衡的利用土壤的養分，也可選擇其他作物改善土壤；輪作綠肥作物可以增加土壤中有機質的來源，固氮作物可以補充土壤中的氮素；深根的作物可以疏鬆土壤，改善土壤結構。不同的病蟲害有不同的宿主，將宿主與非宿主輪作，可以減輕病蟲害的影響。而不同雜草的生長條件也不同，例如水旱輪作可使得旱生雜草不易發芽滋長。



圖一、多元農作體系「水稻-馬鈴薯」輪作(上)及綠肥蜂群造訪(下)。(張素貞提供)

間作則指在相同的農地上，以及相同的生長期內種植兩種以上的作物。間作是指在主要作物旁種植其他作物，減少病蟲害侵襲主要作物以分攤風險；或是種植避忌作物，如檸檬香茅、迷迭香、艾草、萬壽菊，因為避忌作物本身會散發出昆蟲不喜歡的味道，可減少病蟲危害；或採高莖、矮莖作物交錯，以充分利用光輻射能。禾鴨米、魚菜共生、稻蟹共生也是一種間作的型式，只不過是指相同的生長期內培養兩種以上的生物。以禾鴨米為例，做法是在水稻田裡施放一定數量的鴨隻，鴨啄食雜草和害蟲，鴨排泄物則為有機肥，取代了農藥和化學肥料，而在水田間來回穿梭游動的小鴨，腳蹼攪動田內的泥土增加土壤含氧量，讓稻米可藉由根吸收大量氧氣和養分，使稻株強壯提高病蟲害抵抗力。鴨隻亦為農產收入之一，田間稻鴨共作、稻蟹共生，具有休閒活化景觀的功效。

休耕是指特定時間內可耕地不種植經濟作物的耕作方式，休耕可利用休養時段，搭配種植綠肥以恢復地力。深耕則指翻耕土壤至少深達約二十公分以上的耕犁作業，深耕改變土壤物理、化學及生物特性，有利於作物生長。

傳統的整地耕種方式，容易導致土壤侵蝕，增加逕流的發生，因此有些整地耕種方式採低整地或不整地，把對土壤的干擾降到最低，也稱作保育耕作法，一般多年生草地、果園適用，是促進永續發展的耕作操作方式之一。

草生栽培是在植株行間讓草類生長，或是種植非原生草類、綠肥作物等，並加以管理，其目的在於不用殺草劑除草。除了防除雜草外，亦能對土地具有水土保持的功能；過去研究顯示，草生栽培可提升有機質含量及增加土壤排水及通氣，草根也可截留土壤水分及養分，預防養分快速流失，老化草根腐化供應有益微生物豐富的碳及氮源，能促使土壤中的有益微生物活絡。

綠肥與覆蓋作物也是促進永續發展的常用耕作操作方式之一，臺灣屬亞熱帶氣候，雨量多且多豪雨，因此土壤中有機質分解甚速，一般耕地土壤常出現有機質缺乏的問題。在農田休耕期種植綠肥作物，為傳統有效保持土壤肥

力的方法。覆蓋作物亦具有做為綠肥增加土壤氮源的效益，防止土壤沖蝕、提高土壤水分，以及抑制雜草生長的功用。

生物防治法則是透過食物鏈天敵觀念，利用大量農業害蟲天敵來減少田中害蟲，使用包括草蛉、椿象、果實蠅寄生蜂、瓢蟲、螳螂等昆蟲防治蚜蟲、小綠葉蟬、介殼蟲、刺粉蝨等蟲害，或是利用一些害蟲的病原微生物如蘇力菌，來防治鱗翅目害蟲，如茶、捲葉蛾、尺蠖蛾、避債蛾等。性費洛蒙防治法則利用雌性昆蟲的費洛蒙來引誘雄性昆蟲，並加以黏捕以降族群的繁衍。

上述所介紹的多元農作體系為符合永續發展的耕作操作法，同時也可以有效降低農業生產環境所面臨的各種風險，臺灣農業生產環境所面臨的最大風險為氣象災害、水資源供應、水源汙染、土壤汙染、生物逆境、非生物逆境、作物多樣性、氣候變遷暖化等。農業生產係針對農業生產環境所面臨的各種生物逆境、非生物逆境所發展出來的農耕制度、農作方法，氣候變遷暖化造成農業生產環境所面臨的生物逆境、非生物逆境改變，增加不可預測的風險，因此在氣候變遷的威脅之下，除發展各項降低災損風險的防減災技術外，嘗試導入新的調適作為是避免風險的最穩當作法。

建立多樣化農業生態系統

欲建立健康的多樣化農業生態系並非立即可成（圖二），為達成推廣友善環境耕作的永續性經營，須先理解農業生產及生態服務的價值，開發相對應或解決的技術，以有效推動資源循環型、環境親和型農業的發展，讓農田長期保有碳積儲能力。

現有耕作系統宜評估休耕、輪作、原生物物的利用潛力、農林混合、耕牧混合及漁耕混合系統的經濟生產效率、生態服務功能，以及對農業生產及生態服務的價值。建立友善環境生產體系更須配合發展可有效判定農業是否達到友善環境、永續生產門檻的指標，當然這種指標可在農產品消費鏈中做宣導，以利於推廣友善環境耕作的永續性經營，提升經濟韌性。

可以促成永續發展的耕作方式和農作系統儘管有許多潛在的好處，但目前被採用的比率

仍遠低於社會大眾的期望，主要原因是缺乏來自社會大眾肯定的迴響，一般消費者的經濟消費支持和政策持續性激勵措施等的誘因，因此目前只有小眾符合永續發展的耕作方式和農作系統在執行而已。



圖二、建立多樣化農業生態系統田埂不噴除草劑。
（張素貞提供）

未來展望

全球農業面臨著要高生產的需求，隨著農業科技的進步，農業生產大量地使用速效型的化學肥料、殺蟲、殺菌和除草劑，並應用農業機械提升單一化生產作業，導致糧食生產顯著提高，但長年的集約作物的生產方式和大量的施用化學農藥和肥料，造成土壤理化性變劣、農藥殘留、環境汙染和農業生態平衡的破壞，對環境及人類健康帶來威脅的影響，因此世界各國積極地推行農業永續經營系統研究。展望臺灣農業未來的發展，永續農業是必然的趨勢，在此轉型的關鍵時刻，必須加強提升增進農業永續性的系統研究，例如多元農作體系及農場綜合管理技術研究。

臺灣有特定的地理環境，具備長期發展亞熱帶與熱帶農糧產業之優勢，若能適宜導入土壤、水資源、生物資源、農用資材、生物多樣性、耕作系統以及農業自然資源循環利用等的研發成果，結合土地合理規劃分配，配合水土資源、生物資源、農用資材、自然資源循環有效的經營管理利用，將可建立具地區性環境親合的友善農業，除達到提升友善農業生產面積的預定目標外，也提供安全農業推廣面積，創造安全農業附加產值，促進我國農業經濟永續發展。