

歐盟農業土壤品質管理

黃德秀 研究員、林庭安 研究助理 編譯

摘 要

土壤是農業生產資源中的重要元素，提供初級生產、養份循環、棲地支持及氣候水文調節的土壤功能，與供給糧食作物、乾淨水源、動植物的營養、保育棲地多樣性與維持氣候條件的生態系服務。本文探討歐盟在農業土壤品質管理上的因應對策、提出及排序所面臨土壤威脅以及政策設計所考量的因素等，均可作為我國推動土壤管理政策的參考依據。歐盟訂定土壤品質管理政策的重點內容摘錄如下：

1. 目前亟需透過政策行動解決的土壤威脅的五大問題，依序為：(1)泥炭土或有機土的流失與退化；(2)傳統林牧業系統面的挑戰；(3)土壤密封的影響；(4)水造成表層土壤侵蝕的問題；(5)農機械對底土壓實的問題。
2. 農民不願意投入土壤管理：儘管大部份的農民認同土壤對經濟層面的影響，但由於土壤品質對作物影響不顯著及不易察覺、藉由外部投入可彌補土壤條件的不佳以及農民常未知解決方案等原因，使得農民不願意採取行動。
3. 土壤資源具有公共財特性，需跨域治理：由於環境及經濟的影響不分國界且具有跨區域的特性，富含有機碳土壤資源空間分布不均，且歐盟層級允許干預措施的空間優化和成本分攤，土壤威脅改善待高層支持，故應以歐盟層級訂定土壤政策。
4. 土壤管理應以生物物理機制為優先：土壤可應用生物物理的機制進行土壤管理，像是土壤覆蓋、有機質的加入、土壤擾動、管制農機重量與通行頻率以及施行作物輪作等土壤管理實務。
5. 重視土壤品質管理所支持的生態系服務，並根據區域條件，訂定土壤保育策略的優先順序，階段性達成目標。

關鍵詞：土壤品質管理、土壤服務、土壤威脅

歐盟農業土壤品質管理

第六十八屆聯合國大會將 12 月 5 日定為「國際土壤日」，並宣布 2015 年為「國際土壤年」(International Year of Soils)，以提高人們對土壤在糧食安全和基本生態系統功能的認識和了解，當年出版之《世界土壤資源狀況》指出，全球絕大多數土地資源狀況不佳，許多實例顯示土壤條件惡化的情形遠超過其改善的情況，約有 33% 的土地因侵蝕、鹽鹼化、酸化和化學污染等出現中度到高度退化，進而造成糧食安全危機、氣候變遷等衝擊。當今於水、空氣與棲地等環境保護政策相對成熟，但是具體的土壤保育措施仍屬欠缺。其它環境政策(促進空氣品質、地表水和地下水、保護生物多樣性、減少殺蟲劑使用等)和土壤保護之間彼此存在連結、協同或競合，若能將土壤保護的環境效益也列為優先政策，環境保護則能更加有效且一致，故應促進土地資源的永續管理、有效保護土壤之政策和行動。

本篇主要摘自 Berge 等人(2017)關於歐盟土壤品質管理之論述，透過整理歐盟地區採取土壤品質管理的背景因素，瞭解其政策管理的設計思維，並於文末提出可供我國實施土壤品質管理的借鏡之處。

壹、歐盟土壤品質管理現況與趨勢

一、農業土壤品質管理未普遍受到重視的原因

雖然可以直接藉由相關指標(例：穿透阻力¹、滲透力、保水度、疾病抑制性、蚯蚓豐度)看出土壤品質的變化，但是土壤品質對作物生產力的影響仍不明確或效果不彰，土壤特性的改善程度也受限於區域氣候和土壤母質條件。此外，產量的效益或損失往往僅於極端條件下(乾旱、水災)才能凸顯，或因病蟲害的抑制而未能注意。綜整農民未選擇改善或進行土壤保育的原因如后：

1. 作物收穫的豐欠年和極端氣候事件對作物實際產能和品質有相對較強的影響，土壤品質的影響較不易察覺。
2. 作物品種的改良掩蓋土壤正在緩慢退化的事實。

¹穿透阻力(penetrometer resistance)：為用來評估土壤強度和壓密度的物理性質，通常使用穿刺阻力計(penetrometer)測量。

3. 土壤威脅目前不存在或於農場中不易被察覺。
4. 農民不知道土壤問題的解決方法，目前也沒有立即可用的解決方案。
5. 農民可以透過肥料和作物保護劑的投入，或是藉由深耕犁和灌溉的方式修正因土壤所導致的作物生長壓力。
6. 日前研究不易證明土壤改善之具體作法對作物產能的效益，其結果也常因地而異。

儘管難以證明土壤品質對作物產量的效益，但是無論在何種時空環境下，土壤大規模退化造成土地不適農作的事實是不證自明的。農地生產力的下降，意謂需另闢土地以滿足糧食需求，導致邊際和原始土地的開墾，犧牲當地生態系，故為了公共利益，應維護土壤品質以確保農地生產力。

二、以歐盟層級執行土壤威脅的因應行動

土壤威脅對生物物理和經濟層面的影響非僅止於單一國家境內，又歐盟層級允許干預措施的空間優化和成本分攤，故研擬土壤威脅的解決對策時應以歐盟尺度而非國家層級為佳，以避免受地方利益導致的阻礙。本文分項說明採取土壤威脅因應行動宜以「歐盟層級」出發的理由如下：

(一) 生物物理的威脅影響不分國界

生態系統範圍具有跨區域的性質，產生的影響通常不分國界，具體的案例包含：

1. 河流攜帶之污染物會連帶危害他國環境，過度施肥造成優養化與土壤酸化。
2. 水土保持不善等導致下游區的淹水問題等。
3. 因生物遷徙、人為或自然傳播等，生物多樣性資源非限於地區。
4. 荒漠化成因相當複雜，不可能止於地方和地中海沿岸地區，或有擴張的風險。

除此之外，土壤碳庫的流失會加劇全球氣候變遷衝擊，可見區域的環境問題具有跨時空的影響。

(二) 跨區域之經濟層面影響

應歐盟共同市場²之要求，呼籲於土壤品質管理制定一致性的規則，避免汙染排放及其他具外部成本的活動。然而在區域或成員國間的競爭脈絡下，可能導致「逐底競爭」³(race to the bottom) (Cumberland, 1981)，因短期利益而犧牲當地資源。

(三) 土壤保護資源的重新分配

半自然棲地或低投入農地具有較高的生物多樣性，是極需保護的重要資產，理應投入較多的保育基金。泥炭地和濕地為重要的碳庫來源，與其嘗試在其他地區增加土壤有機碳庫，保護泥炭地和濕地是更有效的選擇。然而保護泥炭地的成本高於增加碳吸存，有機土壤主要分布於高緯度地區，由於歐盟層級允許干預措施的空間優化和成本分攤，故有必要依據有機土壤的空間分布進行資金的重新分配。

(四) 研究與創新努力的效率

透過研究、創新和農業技術的改善，調整土壤改善實務以適於地方條件。若眾所周知的瓶頸問題能妥善解決並將經驗分享於成員國間並應用於更廣泛的地理區域，便能有效地利用資源。為鼓勵科學發展、消除創新障礙，使公私部門更容易合作，故歐盟於 2014-2020 年投入 800 億歐元以推動「歐盟地平線 2020 計劃(EC Horizon 2020 Program)」，並成立歐洲創新聯盟(European Innovation Partnerships, EIP)。在農業及森林領域，歐洲創新農業聯盟(EIP-AGRI)則利用主題式網路(Thematic Networks)的工具蒐集既有知識與工具，並轉譯給第一線業者使用，達成資源永續利用的目標。

(五) 土壤威脅改善需要高層的支持

保護土壤及服務不免引入義務或約束制度，然而卻可能遭到當地的懷疑和抵制，相關案例像是：1.2012 年於良好農業和環境條件(GAEC, Good agricultural and environmental conditions)提出「保護各成員國的有機和濕地土壤」卻遭到拒絕；2.委員會於 2014 年撤銷《土壤綱要指令(Soil framework

²歐盟共同市場(Common market):共同市場的成員國們打破彼此經濟往來的藩籬，達成內部貨物、人員、服務與資金之自由流通，為促進歐盟整合的主要動力之一。

³逐底競爭(race to the bottom):政府放鬆對商業環境的管制或調降稅率，以吸引或保留轄區內的經濟活動資本。全球化的過程中，為求得最高報酬率可能導致政府在有關福利體系、環境標準和勞工保障的政策執行受到限制。

directive)》。⁴

上開案例說明於歐盟層級設定政策架構的難度，但也凸顯出各成員國內遊說團體的強大力量。缺乏中央政策支持，地方短期利益彼此衝突時，會使成員國面臨尋求有效保護措施的困難。

貳、歐盟土壤品質管理政策設計

本節探討土壤管理實務如何保護土壤，以維護和促進生態系服務，說明目前土壤於生態系統過程及功能中所扮演的角色或面臨的威脅，並釐清土壤管理不止於土壤狀態的維持，也包涵土壤提供的生態系服務所產生的影響。

土壤政策應解決土壤本身的保育問題或是提倡永續土壤管理的概念。首先提出土壤管理「無悔行動」的優先事項，並說明實務和流程如何減輕對土壤的威脅。目標是透過監控、評估實務的有效性和土壤保存計畫的參與情形，以應用於解決施行障礙的農業知識和創新系統的需求。

一、土壤品質管理政策標的

土壤管理政策不該僅聚焦於保護或改善土壤條件(物理、生物、化學特性)，應強調政策所支持的生態系統服務。關於土壤品質和其所支持的生態系服務的關係包含：

1. 生態系服務(碳吸存、土壤生物多樣性)與土壤品質有關；
2. 部份生態系服務(糧食安全、水循環調節)仰賴土壤品質的支持；
3. 土壤管理實務直接影響部份生態系服務⁵(乾淨水源的提供；地上部的生物多樣性)，並非土壤條件品質本身。

生態系統服務之間具有錯綜複雜的機制，上述關係的區隔並沒有那麼嚴格，甚至有重疊性，如：土壤品質與氣候調節。基於促進土壤品質有時會和維持生態系服務之間產生競合，加上監控生態系服務比土壤特性本身

4《土壤綱要指令》：為確保土壤資源的永續利用，已及在土壤威脅與退化的危機中能全面性地保護土壤功能，故歐盟於2006年採取《土壤主題策略》，其中涵蓋《土壤綱要指令》。資料來源：歐盟網站，取自：http://ec.europa.eu/environment/soil/process_en.htm

⁵ 直接影響生態系服務的案例：1.對地下水和地表水體排放除草劑、營養素和其它農業化學藥劑；2.對大氣排放氮以及他處的相關沉積物、產生酸化和優養化；3.受耕種、有機投入物和礦物肥料性影響之溫室氣體一氧化二氮的排放；4.受輪種、雜草控制、和農作物殘體管理所影響的地上生物多樣性；5.受投入品節約所影響之淨農場收入，如：燃料。

相對容易，故政策上應著重於強調土壤生態系的服務功能。此外，土壤學雖為一門專業學問，透過強調生態系統服務功能可促進利害關係人間的討論，可使其瞭解土壤管理的必要性與急迫性，以防止水災、土石流、氣候變遷和生物多樣性下降等。

二、「無悔」行動

為解決現況面臨的土壤威脅，提出兩項不會後悔的土壤保育行動如下：

(一)極力保護原始泥炭地，活化土地衰退區。

不論是北歐泥炭地、濕地、高地的有機質土壤，或是南歐大範圍的放牧農林系統('dehesa')(東歐也有類似系統)，均有豐富的生物多樣性和碳庫存。360 萬公頃的農業泥炭土(drained peat soils)估計可儲存 2,000 至 2,800 萬噸的碳，假如碳庫存流失，平均每公頃要增加 17 到 23 噸碳才得以再次固定於各成員國的礦業農產土壤中(99%)。即便是利於草地生長和有機碳累積的地區，如透過耕地轉為草地的方式，每年每公頃也僅能增加約一噸的碳吸存 (Taghizadeh-Toosi & Olesen, 2016)。此外，碳位移(C-translocation)的過程將因泥炭降解而排放一氧化二氮(Bos 等人，2016)。

林放牧業⁶具有增強生物多樣性和生態系統服務的功能(Torralba 等人，2016)，但部分林放牧區的生態系統退化正是歐盟土壤即將面臨的威脅。Garrido 等人(2017)分析伊比利半島的林放牧業認為，業者的困境是共同農業政策給付計畫的不夠完善，甚至具有負面影響，像是不採計農場的所有面積，樹冠下的土地面積便不符合資格，此認定方式忽略樹木具有保護土壤與其他生態系統服務等功能，但多數成員國卻不願意修改直接給付的規定(Torralba 等人，2016)。然而共同農業政策的間接影響，和因移除樹木所獲取的短期收入，將使林放牧系統面臨破滅，故需要更為主動的政策介入(Gaspar 等人，2016)。值得注意的是，如植樹造林的補助遠超過林放牧的收入，也可能造成林放牧產業的威脅。

綜合而論，必須提供粗放農業系統全面性的保護，非僅改善實務。透過適當的關注與保護，以減緩氣候變遷與保育生物多樣性，並借由政策修

⁶ Garrido(2017)等人定義林放牧乃是結合育林和豬、羊、牛等動物放牧的產業，在地方被稱為「montado(葡萄牙)」或「dehesa(西班牙)」。林放牧區可見於許多其它國家(Beaufoy, 2014)。

訂等儘可能活化土地衰退區，如何永續經營仍是目前的一大挑戰。

(二) 嚴格保護具生產力的農田土地

伴隨與日俱增的全球糧食需求，各國已呼籲集約化使用所有適於生產的農耕土地(Buckwell 等人，2014)。具生產力土地的損失將加速剩餘農田的集約化，增加對粗放系統的壓力，並影響兩者土壤所能提供的服務。巧合的是，最好的土壤常因都市化而先行消失，故應嚴格保護具生產力的農田土地，使其免受其他土地利用掠奪的威脅。

三、土壤改良實務

土壤保育措施取決於地方的氣候、土壤、地形、農場和作物類型等因子，綜合考量農業生態系的機制，土壤保育措施可藉由土壤覆蓋物與新鮮有機材料的使用、土壤擾動管理、改變寄主作物種類和種植順序、管理農用機械重量負載和通行頻率等。根據上開原則，整理土壤改良實務如表：

表 1 土壤改良實務內容與功能

土壤改良實務	實施內容	功能或影響
作物輪作	於土地輪流種植不同作物；適用區域尺度，需根據作物品種改變基礎設施(收集、加工)	1. 促進土壤的生物多樣性 2. 減緩土壤病原傳播的壓力
耕犁	傳統耕犁-土工板犁(mouldboard plough)	1. 重建土壤結構，助於修復因農機收割所造成的土壤損壞。 2. 混合根域(Root zone)之營養與有機質，並掩蓋作物殘株、雜草等以營造適於作物萌芽的環境條件
	減少耕犁&免耕系統(zero tillage)	1. 降低產量，但同時也節省成本(燃料、人力及設備等)支出 2. 增加雜草及真菌的危害，伴隨保護劑的引入可能造成環境隱憂。 3. 效果受地方地理條件影響極深

土壤改良實務	實施內容	功能或影響
使用有機肥料	使用堆肥、糞肥等有機肥料取代化學肥料	1. 助於土壤有機碳庫存的維持 2. 營造棲地、提供食物來源，促進生物擾動，藉分泌物、排泄物形成團粒，助於建立土壤結構，提升滲透、儲留和排水功能
保留農作物殘體	保留穀物秸稈、殘株、蔬菜等作物於農地	3. 保護土壤免受風和水侵蝕 4. 作物殘體腐植化產生之有機質，提供營養和酸鹼緩衝的功能
間作、覆蓋作物及綠肥使用	於主要作物生長季期間種植覆蓋作物及綠肥作物	1. 減緩淡季硝酸鹽的淋洗與流失，提高氮肥利用率 2. 提升淨初級生產量與淨土壤碳吸存的功能 3. 降低消解作用、逕流沖刷和風蝕 4. 提供地上部生物庇護和食物來源
輪作草生	於耕作系統加入階段草生(如：黑麥草、草苜蓿、紫苜蓿等)	1. 可維持或建立土壤有機質，增加土壤肥力 2. 提升生物多樣性 3. 加強土壤對作物病原的抑制 4. 可為畜牧食草

四、土壤監測服務的困境與施行策略

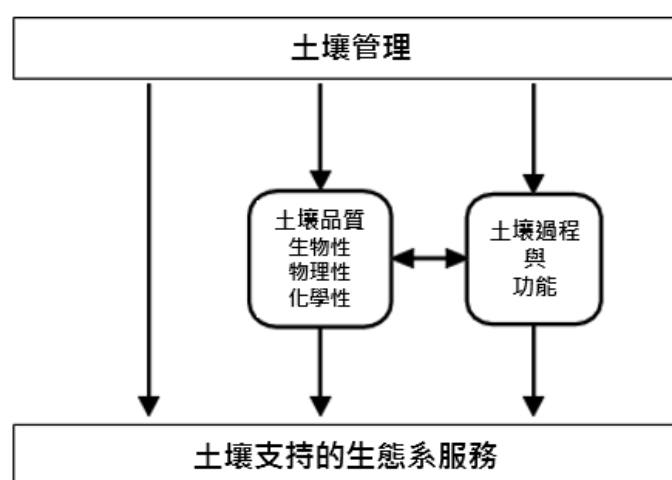
(一) 施行土壤監測服務的限制

土壤於空間上具有高度異質性，故土壤監測也需有極高的採樣密度，又測定成本昂貴、耗時或施作困難，也容易產生大量採樣和測量誤差，而指標數值的詮釋相當複雜，需和當地進行校正，才能確定可接受或期望的範圍及對應的服務目標。土壤「恢復力」使得監測變得複雜且困難，因為土壤能藉由外部系統的投入以維持平衡狀態，時間上不易看出變化，也難以評估土壤管理實務中補助或罰款依據的合規性。

(二) 土壤監測服務的施行建議

試驗研究能得出土壤指標結果，模組也可建立管理實務與生態系服務之間的關係，卻少有「土壤監測方式於地方適用性」的指標，然而監控管

理實務施行狀況，比監測其提供之服務更為可行。建議可先行實務評估地方條件以及所要強調的服務功能，並依據欲促進的土壤服務或緩解的土壤威脅，安排地方上土壤政策的優先順序，瞭解預期成果以研擬困境解決的對策。方法包含定期評估並指導計畫執行農場提交之綜合性的土壤管理計畫(Integrated soil management planning, ISMP)，透過階段性目標、過程交流，與計畫推廣的鼓勵，方能有效落實地方全面的土壤管理。此外，也可藉由遙測或其它調查方法來驗證農民是否實行建議措施，農民將對施行的實務負責，而非目標的達成與功能服務的改善。惟部分功能服務的評估需



進行田野調查，包含土壤生物多樣性、植物生物多樣性和碳吸存，要驗證或監督此方法的執行狀況或目的仍有困難。監測系統應與決策支持系統攜手並進，持續土壤和作物科學相關領域的知識與工具創新。

圖 1 土壤管理模組圖

資料來源：歐洲議會。

五、農業知識及創新系統(Agricultural Knowledge and Innovation Systems, AKIS)

歐洲農民清楚土壤管理有助於土壤品質，但也表示對「新」實務的成效和困境，故應聚焦在降低「認知困難」的策略，藉由結合技術創新與從業人員經驗交流，來降低巨額成本的困境。

Buckwell 等人(2014)認為永續的集約化代表著更多的「知識投入」和每公頃農地更多的「服務產出」。農業集約化並非在每公頃農地使用更多的肥料、殺蟲劑與機械，而是如何在有限資源中進行更知識密集的管理，

不僅利於糧食生產，也使其對自然環境的干擾降至最低，並提升環境產出。

既然生物物理的機制無法被改變，長期而言所面臨的障礙可能是最具有挑戰性的，需要重大改變生產系統才能解決如此困境。在航測、電腦視覺和作物感應、自動化運輸、GPS 導航、作物育種和基因重組等技術的發展，或許能解決長期存在的瓶頸，但將技術發展轉變為解決土壤管理的衝突和權衡乃是最有前途的進展。

藉由網絡語義、公開數據和手持裝置決策支援系統等通訊工具的改善，有助於創新知識的存取與支援學習網絡和諮詢系統(EU SCAR, 2015)。水平線 2020(Horizon-2020)和歐洲創新農業聯盟(EIP-AGRI)則透過重點小組設定的議程、調查主題網絡瓶頸、可能的解決方案和連結各供應鏈不同角色的營運團隊，然而要將土壤管理的傳統智慧與現代技術整合至農業系統十分複雜，也是尚待解決的困境之一。

透過立法制定需求及研擬解決方案可以促進更永續的管理，但必須認知農民對瓶頸感受的巨大差異、生物物理和經濟限制、以及其對當地條件的依賴。可分別給予個別諮詢，協助農民規劃、實施和評估土壤管理，研擬組合最佳方案、評估當地管理實務的預期結果，於地方代表性的農場進行應用研究(Ingram 等人, 2016)。然而過去數十年來，部分歐洲地區的個別諮詢反而將重點局限於商業利益，無助於注入或改善生態系統服務的知識。

六、綜合性的土壤管理計劃 (Integrated soil management planning, ISMP)

綜合性土壤管理計劃(ISMP)以土壤保育和生態系統服務的角度出發，施行全面性的土壤管理，Berge 等人(2017)建議以此作為農場尺度的管制工具。藉由專家個別指導，結合農場土壤的重要指標(像是部分丘塊的病原體的出現)與大尺度(集水區、景觀)的土壤生態系服務監測。Molendijk(2015)建議將病蟲害整合管理⁷(Integrated pest management, IPM)列入綜合性的土

⁷病蟲害整合管理 (Integrated pest management, IPM)：於農業經營系統下，能兼顧公眾健康、保護環境及有益生物之作物整合管理方法。可利用多元化之防治方法控制有害生物族群，維持生態平衡，使其低於經濟危害水準、減少作物損失，並配合正確的農藥使用而生產高品質作物。

壤管理計劃，以有效控制土壤病原的傳播。

七、土壤威脅程度排序

土壤威脅可透過模式模擬，並利用與土壤特性和驅動因子發生相關的脆弱度資訊進行推估，大部份以風險或脆弱度的方式呈現。由於數據過於分散，各成員國的監測報告缺乏一致性的敘述與對空間區位的確定性，故量化土壤威脅的過程十分不易，排序的成果也無法直接進行比較，相同情形也發生在風險的量化和評估。

鑒於歐盟報告指標及監測程序達成協議和標準化耗時，又土壤威脅依然存在甚至加劇，且具有不可逆的特性，故仍嘗試依迫切程度來對土壤威脅進行排序，並評估管控措施項目施行的難易程度，除了提高大眾對土壤議題的議論與關注，也可作為政策研擬的參考依據。

表 2 土壤威脅與管制措施之評估標準

評估項目	評估標準
土壤威脅排序	1.土壤威脅發生的速度和恢復到受損前狀態所需的時間
	2.對土壤退化過程的科學認知狀態
	3.受到威脅的地理範圍：是否僅出現在特定部分地區或是出現於歐盟各地
管控措施排序	1.是否清楚了解該領域應為之事
	2.該措施成功的確定程度
	3.實施該措施的難易度：
	(1)對政策施行而言： 「容易」：實施不需或鮮少需區分當地條件，包含從農業技術可行性的角度考慮。 「非常容易」：有普遍禁止或義務的特性。 (2)對農民執行而言： 和成本或收入損失及農業技術解決方案之可用性有關。

依據表 2 所列之標準評估，威脅排序最高且亟需採取迫切行動者為「提供對富含碳土壤的完整保護」，通常是泥炭地和大範圍的牧場系統。該類土壤的退化影響生物多樣性、水文調節，尤其是氣候變遷，影響範圍

遍及全球。此外，由於農業部門對經濟永續和糧食安全長期影響的關注，卻可能擴大剩餘生產型土地及具高價值氣候與生物多樣性體系之粗放農業的壓力。

在(更為)集約化耕作體系的範圍內，包含三個主要的土壤威脅如下：

(一) 水對土壤表層的侵蝕

歐盟有許多地區蒙受水患，必需根據當地情況選擇補救措施，像是劃定脆弱地區，維持有效的土壤覆蓋、耕作制度及重視當地需求，以減少侵蝕所導致的表土流失。

(二) 農業機械對地下土壤的壓實

田地機械化的趨勢，會對底土造成持續性的損害，又隨著氣候極端事件發生的強度與頻率日益增加，底土水力特性與支持植物深根能力變得備受重視。應針對農業機械車輪制訂允許載重限制(Wheel load carrying capacity, WLCC; Schjønning 等人, 2015)，並根據土壤的脆弱程度，賦予差異化的標準。這將啟發對更輕量機械、收割作業自動化等系統的創新及發展，雖然減少輪胎壓力和使用履帶牽引車能有緩解對地表結構的損傷，但對於底土壓實仍相當不利。

(三) 生產性土地因都市化造成土壤密封。

土壤密封(Soil Sealing)為因都市化等基礎建設而在土地上覆蓋不透水層，如柏油的鋪設等，不僅影響農業土地，也危害生物多樣性，增加水澇及缺水風險，甚至加劇全球暖化的問題。又土壤密封為不可逆，伴隨氣候變遷將惡化歐盟和其它地區多數作物的生產條件，故為一亟需解決的問題，若要阻止都市擴張最好的策略則有賴於適宜的空間規劃。

參、歐盟成員國土壤保護政策工具制訂

以下摘自 Frelüh-Larsen 等人(2016)的研究，以瞭解目前歐盟在土壤保育的推動與執行情形，區分國家層級與歐盟層級政策，並綜整歐盟在採用政策過程中可能面臨的問題與困境。

一、歐盟採取土壤保護政策工具使用情形

歐盟與其成員國之間有許多不同的土壤保育政策工具，類型包含為明確提到土壤威脅或土壤功能、暗示性地為土壤提供某種形式的保護。目前

適於歐盟層級之政策工具有 35 種，而適於成員國者則有 671 種業已確定。

在歐盟層面，這些手段包含策略性文件到指令、條例以及融資工具。在成員國層面，四分之三的工具為監管工具；大部份(671 種中的 61%)具有約束性質。

成員國工具有近半數(45%)與歐盟政策有直接相關，主要依據歐盟法案委託執行。另有 21%與歐盟具有約束力的工具有部分聯繫：他們實施了歐盟具有約束力的立法、但也超越既有制度，不是關於它們為歐盟要求所設定的程度、就是這些工具規範了不是源自歐盟既有制度的其它領域。

總而言之，共有 225 種確定的工具(35.5%)屬於「由國家發起」的政策，例：部分與歐盟非約束性政策相關、或與歐盟任何要求無關的政策。成員國工具的數量和多樣性反映出土壤的交叉性質，凸顯出政策工具整合和協調的重要性的挑戰，以確保能一致地解決土壤問題。

二、土壤保護政策工具的使用限制

歐盟層級的土壤保育政策缺乏連貫、共同且整合性的策略架構，儘管原先擬藉由《土壤綱要指令》來彌補這項缺失，卻未能成功。雖借現有政策工具得以解決部份土壤議題，仍缺少歐盟層級的政策或立法驅動整合策略性的目標和宗旨。

分析歐盟 28 個成員國由國家所發起的政策工具(國家倡議)也指出，缺少策略性的協調乃是現況待解決的問題。土壤保育政策應強化整合需求與目標，雖然部分成員國已能制訂綜合性的政策工具，仍難以解決跨區域性質的問題，故需透過歐盟層級來協助推動，包含農業土地管理、污染預防、水和生物多樣性資源等保護相關的重大措施。

為有效保護土壤，或可善加利用現有法令和即將施行的歐盟政策。如以第 7 屆環境行動計劃(Environmental Action Programme, EAP)的核心作為立論基礎，促進全面的土壤管理，達成永續土地管理目標，並追求具約束力的立法提案。此外，歐盟制訂 2020-2030 年的氣候和能源計劃將土壤保護的潛在機會與溫室氣體減排的目標進行串聯，計畫內容則包含對土壤有機物質的保護與管理、以及對無機肥料(特別是氮肥)與糞肥的永續利用。然而上述策略是否利於土壤保護，取決於如何進行整合土壤問題並排定各項政策工具使用的優先順序，該計畫執行過程產生的問題如下：

1. 無法確保農業部門的溫室氣體排放能按照責任分配規定的優先順序進行，因為非排放交易體系部門的努力乃是由各自成員國所決定。
2. 即便成員國將農業列為減少淨溫室氣體排放的優先事項，但未將永續的土壤管理技術列為必要，但此類技術卻能提供其它土壤功能。
3. 與氣候變化政策類似，水資源保護政策亦為歐洲土壤保護的重要現行文件。水立法的目標乃是防止對水體的負面影響，故未具體要求修復或保護現地土壤。

肆、值得我國借鏡之處

國內因地理條件之故，土壤生產力不高，故農民已習於透過外部的投入來改善農地生產條件，卻也時常過度施肥，約為合理施肥量之 1.5 倍。國內工業化及都市化影響農地面積，又氣候變遷將加速土壤退化的問題，伴隨資源短缺，未來將面臨肥料資源取得之困難。回顧了歐盟農業土壤品質管理政策后，下文提出可供我國參考的執行政策建議：

一、結合現有研究能量與資源，推動執行土壤綜合管理計畫

Buckwell 等人(2014)認為永續的集約化，非代表於農地上進行外部投入，而是更多的「知識投入」和每公頃農地更多的「服務產出」。目前地方農業改良場等試驗單位已建置「土壤檢測服務系統⁸」的諮詢及服務，農業試驗所則開發「小農農場經營管理系統⁹」，內容涵蓋個別農場之土壤基本資料、氣象資訊與災害預警與農民經營之參考依據，國內或可用已研發之研究資源為基礎，效仿施行綜合性的土壤管理計畫，透過專家個別指導，協助農民從土壤保育和生態系統服務的層面，研擬行動方案、評估預期成果，以施行全面性的土壤管理。

土壤品質管理鏈接現行的有機農業政策，可透過階段性的目標的推動，逐漸降低農民對外部投入的依賴(如化肥及農藥的使用)，善用智慧技術精

⁸土壤檢測服務系統：<http://taiwansoil.tari.gov.tw/slimsdemouser/index.aspx>

⁹小農農場經營管理系統：<http://farmcloud.tari.gov.tw/FarmerWeb/>

準施肥等減輕土壤負擔(蕭代基&黃德秀,2017),除利於維護農業生產環境,亦可提升農業土地生產力,因應氣候變遷衝擊並實踐農業永續發展。

二、重視土壤生態系服務價值，提高農民對土壤品質管理之關注

Berge 等人(2017)研究整理指出歐盟農民未重視土壤品質的原因包含：對作物生產的影響不顯著；未取得土壤管理相關資訊及技術；或透過育種及外部的投入得以彌補土壤條件不良的問題等。陳郁蕙等人(2015)調查農民對化肥的認知發現，雖有 81.7%的受訪農民同意「過度使用肥料將對農地造成負擔」，有 94.4%的農民知道政府推動的合理化施肥措施，儘管有 86.5%認同合理化施肥不影響收穫並可減少肥料成本，卻仍超量施肥。由此可知，大部份農民具有「土壤品質會影響作物生產的認知」，基於情意與技術的不足，未能施行土壤品質管理措施。

土壤品質雖可借由檢測服務及量化的數據分析呈現，但誠如本文不停提及，土壤品質本身對作物生產的影響不易察覺，因農民習於施肥及撫育等，故不易從數據呈現其關連性。但長期未做好完善且全面的土壤管理，將造成土壤退化的危機是不證自明。故應一改過去追求作物生產及利潤目標之土壤肥力管理，轉型重視永續的糧食生產系統(蕭代基&黃德秀,2017)。應評估並重視土壤生態系服務價值，像是提高生物多樣性、氣候變遷的減緩及調適等。此外，鑒於土壤威脅不易在農場中被察覺，或可效仿 Berge 等人(2017)提出並排序國內面臨的土壤威脅，使相關利害關係人意識土壤管理的急迫性，提高農民對土壤品質的重視。

三、整合國內土壤資訊，以建立適於我國之土壤品質管理政策架構

Berge 等人(2017)指出歐盟各成員國訂定之土壤管理政策標準不一，在歐盟層級欠缺整合性的策略架構、未有相關法令提升管理效力。國內和土壤直接相關的法條為《土壤及地下水污染整治法》並制訂《土壤汙染管制標準》等，由此可知國內土壤政策多著重於污染整治，於土壤品質管理也尚未法制化也未有相關政策正在推行。

目前農試所已建置「台灣土壤資源與農地土地覆蓋圖資瀏覽查詢系統」¹⁰，資訊及數據仍不斷更新，建議可透過現有的調查資訊進行加值應用，

¹⁰台灣土壤資源與農地土地覆蓋圖資瀏覽查詢系統：<http://soilsurvey.tari.gov.tw/SOA/home.html>

跨領域、跨部會以整合相關政策法令(如有機農業、土壤汙染等)，為我國建立適宜之土壤品質管理策略架構，研擬行動方案並進行排序，透過長期的預先規劃，以因應未來農業土地退化的風險，保障糧食安全。

伍、參考文獻

1. Berge, H.F.M. ten, Schroder, J.J., Olesen, J.E. and Giraldez Cervera, J.V. (2017). Research for AGRI Committee – Preserving agricultural soils in the EU. European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels.
2. Bos, J. F. F. P., H. F. M. ten Berge, J. Verhagen and M. K. van Ittersum, . (2015). Trade- offs in soil fertility management on arable farms. *Agricultural Systems*.
3. Buckwell, A., A.N. Uhre, A. Williams, J. Poláková, W.E.H. Blum, J. Schiefer, G.J. Lair, A. Heissenhuber, P. Schießl, C. Krämer, W. Haber, . (2014). The Sustainable Intensification of European Agriculture. A review sponsored by the RISE foundation. Institute for European Environmental Policy, London and Brussels. 96 pp.
4. Cumberland JH. (1981). Efficiency and equity in interregional environmental management. *Rev Reg Stud*2:1–9.
5. EU SCAR. (2015). Agricultural Knowledge and Innovation Systems Towards the Future-a Foresight Paper, Brussels. European Union. ISBN 978-92-79-54547-4 doi:10.2777/388087.
6. Frelih-Larsen, A., Bowyer, C., Albrecht, S., Keenleyside, C., Kemper, M., Nanni, S., Naumann, S., Mottershead, D., Landgrebe, R., Andersen, E., Banfi, P., Bell, S., Brémere, I., Cools, J., Herbert, S., Iles, A., Kampa, E., Kettunen, M.,. (2016). Updated inventory and assessment of soil protection policy instruments in EU member states. Ecologic Institute, Berlin.
7. Garrido, P., Elbakidze, M., Angelstam, P., Plieninger, T., Pulido, F., Moreno, G. . (2017). Stakeholder perspectives of wood-pasture ecosystem

- services: A case study from Iberian dehesas. *Land Use Pol.* 60:324-333.
8. Gaspar, P., Escribano, M., Mesías, F.J. . (2016). A qualitative approach to study social perceptions and public policies in dehesa agroforestry systems. . *Land Use Pol.* 58:427- 436.
 9. Ingram, J., Mills, J., Dibari, C., Ferrise, R., Ghaley, B.B., Hansen, J.G., Iglesias, A., Karaczun, Z., McVittie, A., Merante, P., . (2016). Communicating soil carbon science to farmers: Incorporating credibility, salience and legitimacy. *Journal of Rural Studies* 48, 115-128.
 10. Molendijk, L. P. G. (2015). EIP Focus group IPM practices for soil-borne diseases. . EIP - agri report, European commission.
 11. Schjønning, P., van den Akker, J.J.H., Keller, T., Greve, M.H., Lemandé, M., Simojoki, A., Stettler, M., Arvidsson, J., Breuning-Madsen, H.,. (2015). Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) Analysis and Risk Assessment for Soil Compaction—A European Perspective. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*, pp. 183–237.
 12. Torralba, M., Farjgerholm, N., Burgess, P.J., Moreno, G., Plieninger, T. . (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta- analysis. . *Agric. Ecosyst. Environ.* 230:150-161.
 13. 陳郁蕙、鍾孟佳. (2015). 農民對未來肥料補貼政策之意向分析. *農政與農情*, 第 280 期.
 14. 蕭代基、黃德秀. (2017). 自然資源與農業生產. 於 *台灣糧食自給率之影響及因應* (頁 93-108). 臺北市: 中技社.
 15. 聯合國糧食及農業組織. (2015). 2015 國際土壤年. 擷取自 聯合國糧食及農業組織: <http://www.fao.org/soils-2015/zh/>