

農地土壤自然碳匯管理技術

蔡正賢（副研究員）

前言

氣候變遷是全球共同面臨的挑戰，為減緩全球暖化，各國政府陸續制定淨零排放策略，「淨零排放」並不等於零排放，而是指溫室氣體排放量與移除量達到平衡的狀態，即是在特定一段時間內，努力讓人為造成的溫室氣體排放極小化，再用自然碳匯等方法抵消。自然碳匯主要為森林、土壤或海洋碳匯等，其中土壤有機質既能提供作物養分，也能把碳存在土裡，是全球第二大的自然碳庫，對於氣候變遷的調適及減緩扮演重要的角色。農業系統每年都會有大量有機質投入土壤，有機質由 50% 以上的碳所組成，當土壤有機碳加入的速率大於消失的速率時便具有碳匯效益；但原本存在於土壤有機碳也容易因為管理不當，又分解成為二氧化碳而逸散至大氣，亟需透過有效的管理來促進土壤碳匯，以達成 2040 年農業淨零之目標。

農業操作與土壤碳匯能力

全球土壤的碳儲量大於大氣及植生的總和，土壤碳儲量小幅的增加，即可對大氣中溫室氣體含量降低造成顯著的影響，進而緩和氣候變遷的衝擊。目前全世界土壤碳儲量約為 24,000 億公噸，只要每年增加表土有機碳含量千分之四，就可抵消約 80% 每年大氣中增加的二氧化碳濃度，這就是著名的「千分之四倡議」。若以每公頃表土有機碳含量 50 公噸計算，千分之四相當於每年每公頃農地表土增加 0.2 公噸的碳匯。以國際研究資料來看，農地土壤碳匯能力很大，田間添加禽畜糞肥、沼渣沼液或施用堆肥，每年每公頃可增加 0.3~0.6 公噸碳；將作物殘體回田，每年每公頃可增加 0.3~0.5 公噸碳，而透過不整地栽培，不僅減少土壤有機質被分解，也避免土壤被沖蝕而導致的有機碳損失，每年每公頃土地可增加 0.2~0.3 公噸碳。

表一、不同農法或土壤管理土壤增匯速率（公噸碳 / 公頃 / 年）

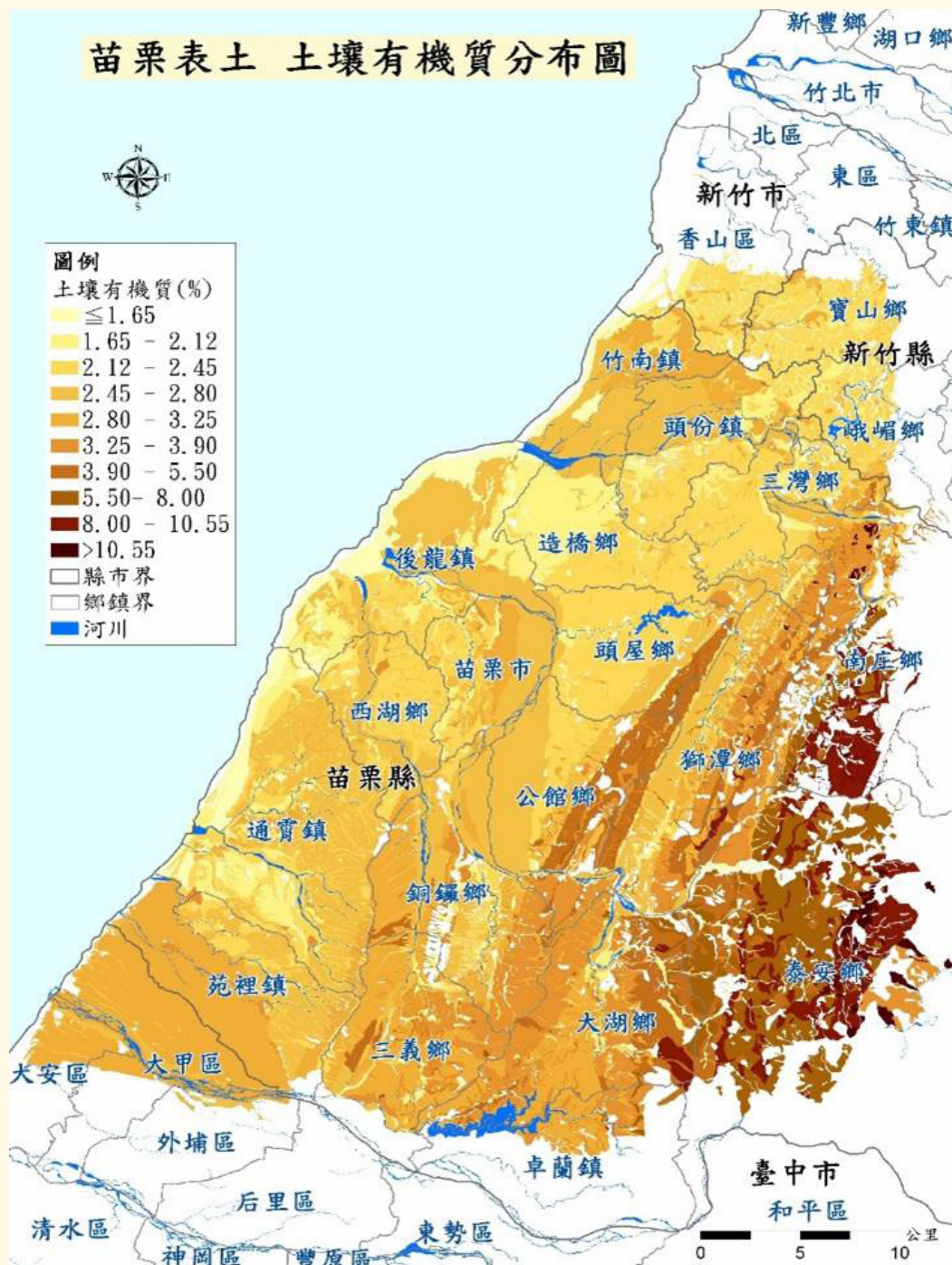
農法或土壤管理	國際	臺灣
添加有機物或施用堆肥	0.3~0.6	0.2~0.3
作物殘體回田	0.3~0.5	0.1~0.2
不整地栽培	0.2~0.3	--
水土保持式耕耘	0.25~0.5	--
地表覆蓋式耕作系統	0.1~0.5	--
農作轉牧草地	0.3~0.6	0.25
綠肥	--	0.05

資料來源：施雅惠、周孟群、陳琦玲。2022。氣候變遷下之土壤永續管理與增匯技術。土壤肥料推廣研發成果及氣候變遷下永續土壤管理技術說明會。（-- 原文無引用數據）

影響土壤碳匯的自然因素

土壤有機質含量受氣候、地形、土壤性質和植被類型等許多因子的影響。以苗栗縣為例（圖一），表土有機質最高的地方位於南庄鄉及泰安鄉等森林土壤，主要為溫度較低，且幾乎不受擾動，非常利於有機質儲存；

山谷間河道鄰近土壤，因河流沖刷或更頻繁的水分移動導致有機質流失。其餘農業區土壤，則因頻繁耕犁導致有機質儲量較低，而苑裡鎮等水稻耕作地區，由於水田可減緩有機質分解，土壤有機質可以維持在較高水準；沿海砂地土壤因黏粒含量太低，在相同的降



圖一、苗栗縣表土土壤有機質分布。（資料來源：農業部農業試驗所農業化學組）

雨、溫度及耕作制度下，無法形成良好的土壤團粒構造保護土壤有機質免於分解，因此有機質含量最低。

強化土壤保育作法

臺灣代表性農地每公頃表土有機碳含量約 28~38 公噸，土壤有機碳含量偏低，單位農地面積能增加的土壤碳匯量相當有限（表一），且根據長期試驗結果，土壤有機碳隨著時間達平衡後便不容易增加，後續的土壤增匯必須採取更有利土壤保育的作法，以盡可能留住土壤、強化土壤健康並增加土壤碳匯，主要有 3 原則：作物多樣化、減少土壤擾動及維持最大土壤覆蓋。

1. 作物多樣化：主要為透過輪作或間作，減少病蟲草害，降低風險，並有效使用作物殘質，增加土壤養分及有機碳等。
2. 減少土壤擾動：主要為透過減少耕犁，避免土壤密實及表層結皮，改進土壤構造，減少水蝕及風蝕，防止土壤有機碳的分解損失。
3. 維持最大土壤覆蓋：主要為透過草生栽培或前作敷蓋，降低土壤裸露並減緩土壤溫度、水分變化，防止地表沖刷，保持土壤肥力等。

本土碳匯方法學

促進土壤碳匯必須建立有效土壤管理技術，並根據本土的作物種類、耕作模式去進行調整。為了鼓勵農民能夠由慣行的耕作模式轉換成對於土壤保育的耕作模式，農業部正研擬適用本土之碳匯方法學，將各種可以增匯的耕作模式，例如減少耕犁 / 免耕犁、友善農法應用、草生栽培、肥培管理及以綠肥輪作等，整併成為單一方法學與應用範例，

後續農民則可透過實施這種方法學，增加土壤碳存量以取得「碳權」，提供交易給有需要的其他部門、公司企業進行抵換，進而增加農業與農民的額外收入。然而，這些耕作模式在不同環境與氣候下，其增匯的效益並非一致，必須透過第三方驗證方能取得碳權，還有下列事項必須注意：

1. 碳權是依據實施之後的土壤有機碳增加量來計算，現有的土壤有機碳量不算碳權。
2. 至少需要連續四年時間才能蒐集足夠數據證明土壤碳吸存。
3. 每件驗證費用高達數十萬元，且田間土壤碳量測的不確定性，故除非有足夠規模的專案場域，否則目前土壤增匯效益可能無法負擔驗證與定期查驗費用。
4. 由於申請碳權專案需要相當大的面積，且不同作物適用的操作方法顯然不一致，可能仍以大宗作物為主。

結語

農地土壤碳匯能力高，是農業淨零排放的重要手段，也是減緩氣候變遷的解方。促進土壤碳匯必須由廣大農地耕作者共同推動，而臺灣農友所擁有的平均農地面積僅約 0.5 公頃，為了鼓勵小農能夠配合，農業部正積極進行相關試驗研究，將各種可以增匯的耕作模式整併成為單一方法學，以供農友依循，並規畫整合大面積農地申請碳權專案，協助小農取得碳權收入。執行這些土壤增匯操作，同時也確保土壤的健康，或許這才是對於氣候變遷的最佳因應方式。