

國際農業科技新知 No. 108

Agricultural Science and Technology Newsletter International Quarterly

精準育種科技 技術應用與發展趨勢

DNA分子標誌：開啟作物育種的新時代

表型體分析技術應用於重要種苗作物研究

推陳出新的作物精準育種分子工具



漂綠式再生農業無助於碳封存

作者\郭華仁（臺灣大學農藝學系名譽教授）

前言

蔡英文前總統在 2021 年 4 月宣告我國將於 2050 年完成淨零轉型，國家發展委員會於次年 3 月 30 日提出《臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明》，詳述國家多項因應政策，其中在生活轉型上指出了「低碳健康的飲食需求鼓勵更多農民採行再生型的農法，增加土壤微生物和碳含量，進而增進植物健康，營養和產量」。

這句寓意深遠的話可能是我國政府部門首次在官方文書中提到再生農業。而美國農部在 2024 年也把「免耕犁」與「覆蓋作物」這兩個再生農法重點列為氣候智慧型農業的重要措施。

再生農業一詞先後由 Medard Gabel（1979）、R. Neil Sampson（1982）、與 Robert Rodale（1983）提出。R. Rodale 認為農法應該揚棄與自然對抗的心態，轉成為以最少的力氣讓自然釋出最大的利益，而能達到永續農業的目標。

在完成技術開發之後，Rodale 研究所於 2014 年發表文章，闡述「再生有機農法」如何藉者覆蓋作物、免耕犁等友善土壤農法，將空氣中二氧化碳存於土壤之中。隨之，國際再生組織（Regeneration International）也在 2015 年成立，致力於推廣再生有機農業。

該研究所發展出免耕犁農機，cover crop roller-crimper（滾筒碾壓機），在播種作物前用滾壓機把覆蓋作物折歪平壓覆蓋於土面，作物莖部仍與根部相連，因此不會重新長出枝條，而且莖葉會逐漸枯萎，有助於防止雜草滋長與提供有機質。播種時採用播種機壓過覆蓋作物殘骸，開溝將種子直接植入土中。

美國免耕犁農法的起源

其實美國免耕犁技術的發起早於再生有機農法。過去在播種前都要先犁田整平，不過犁田本身有若干缺點，主要是耕犁讓土面裸露，容易因風、雨而遭沖蝕；翻土後氧氣易進入土中，分解有機質釋出二氧化碳。缺乏有機質使得土壤變硬，保水保養分的能力下降；土壤原有許多真菌菌絲在保護土壤結構，並協助農作物吸收養分以及抵抗蟲害，但可能因耕犁而遭切斷。

由於 20 世紀初期拖拉機與大型農機具普及，使得翻土犁與其他耕作工具如圓盤犁、旋耕機得以頻繁使用。密集翻耕加上乾旱引發 1930 年代的美國「黑風暴」災難，風蝕嚴重導致數百萬英畝農地荒廢，保育耕作概念因而興起。

早在 1935 年，美國就成立「土壤保育局（Soil Conservation Service）」，開

始推廣輪作、覆蓋作物、免耕犁等保育耕作技術。覆蓋作物可以減少土壤暴露以及雜草滋長，但是種下一季作物前需要處理覆蓋作物，因此推廣的面積相當有限。

隨著化工產業快速發展與農業機械化推進，以及綠色革命的興起，除草劑開始大量使用，因此 1970 年代農藥公司就開始研究用除草劑來處理覆蓋作物的免耕犁農法，以取代機械耕犁。當時還有「用巴拉刈取代耕犁」的廣告，可見一斑。

耐除草劑基改作物在 1996 年問世後，除草劑如嘉磷塞用得更兇，也造成覆蓋作物 - 免耕犁農法的進一步擴大。

拜耳公司在 2018 年併購孟山都得到嘉磷塞的經營權之後，開始廣告使用化學除草劑的免（少）耕犁農法，稱為氣候智慧型農業，並佔用 1980 年代才出現的「再生農業」一詞，推廣其覆蓋作物 - 除草劑 - 免耕犁的作業，認為可以讓土壤蓄碳。

美國免耕犁農法的面積目前約占全美耕地總面積的 28%，其中至少 93% 的田使用化學除草劑，主要是玉米與大豆田。漂綠式的再生農業多少讓再生有機農業的推廣面臨困境。

漂綠式再生農業無助碳封存

由於淨零排放的國際趨勢，加上大農企業的宣傳，使得採用除草劑等農藥與化學肥料，配合覆蓋作物與免耕犁的所謂「再生農業」受到重視，不少文獻也指出該等農法可以增加土壤碳封存。然而，進一步分析，發現所謂增加土壤有機碳，其研究方法是有問題的。一般測量農地的碳含量，通常是取表土 30 公分以內的部位，雖然農作物根可以長得更深，如玉米的就可達 200 公分（圖 1）。

但是在進行耕犁與免耕犁對於土壤碳封存的六篇比較研究，免耕犁的碳封存在最上層 20 分表土是有增加，20-55 公分的部位反而減少（圖 2），因此只採樣淺層會高估免耕的碳封存效益。若全面考量根系層與耕作層，則免耕與碳封存間關係並不顯著。

漂綠式的所謂「再生農業」，其免耕犁所以無法增加整個土壤剖面的碳封存，主要的原因就在於除草劑的使用。除草劑對土壤生態的破壞比翻耕還嚴重。

除草劑會破壞土壤微生物群，會干擾菌根菌與植物根系的共生，會傷害土壤無脊

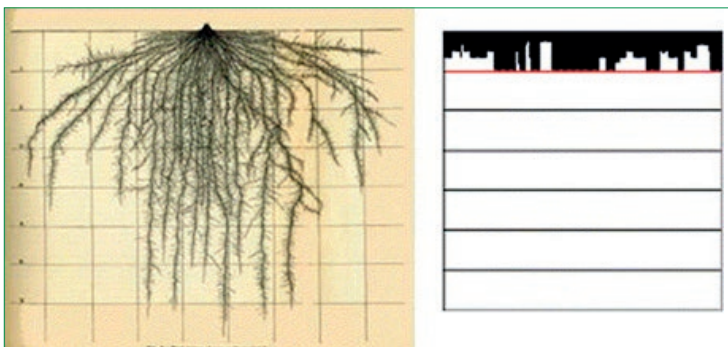


圖 1. (左) 玉米根系與 (右) 140 篇耕犁影響土壤碳含量論文的取樣深度 (每個刻度 30 公分)；取樣深度都不超過 30 公分，半數的研究不超過 20 公分。

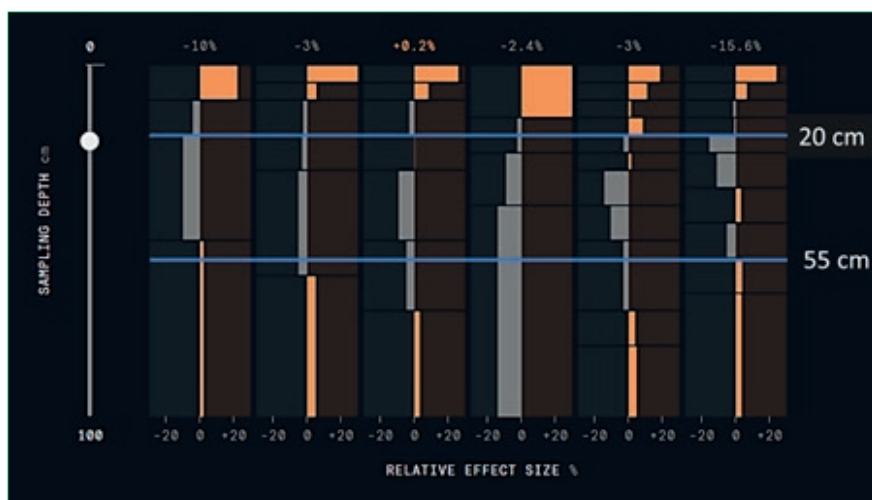


圖2. 免耕犁對於土壤碳含量的影響（六篇論文；橘色增加，灰色降低）。

椎動物如蚯蚓的數量與活動。而微生物與無脊椎動物的損害會降低土壤有機物的分解效率；蚯蚓不見，就無法將有機碳帶入較深的土中。土壤的缺氧、酸化會使得有機碳更易轉化為二氧化碳排放到大氣中，而不是穩定封存在土壤內。土壤結構變差、水分保持力下降，碳更難固定於土壤中。

化學肥料的製造、運輸與施用與農藥一樣，本來就需要能源，排放出二氧化碳。田間施用肥料導致近海汙染，造成所謂死域（Dead zone），這些區域氧濃度的下降，會造成海床沉積物的釋放氧化亞氮，其溫室氣體效應是二氧化碳的300倍。

過剩的氮素化肥在土壤會形成氧化亞氮，逸出空中；氮肥也會刺激分解有機物細菌的滋長，減少土壤有機質含量，讓有機碳長期封存能力下降。此外，化肥酸化土壤、破壞團粒，也會增加碳流失風險。若能減少化學肥料的施用，將有助於降低溫室氣體釋放。

整體而言，在慣行農田進行覆蓋作物、免耕犁的措施，由於農藥、化肥本身的副作用，縱使短期間可提升表土有機質含量，但有機質也容易再分解，致使土壤碳吸存的功效受到影響。

有機再生農法的碳封存

首先檢討有機農法的碳封存。透過74篇比較研究論文，統合分析指出有機農法的土壤碳封存能力比慣行農法高（圖3），這與Rhodale Institute長達30年的比較研究結果相符。Lori等人的統合分析也指出有機農法下，土壤有機質含量比慣行多出19%，而土壤微生物的重量與活性也都比慣行田者高。美國農業部與明尼蘇達大學長期試驗顯示，有機農法平均每英畝每年可多封存400-600磅碳，生物多樣性比慣行農法高50%，土壤微生物活性與病害抵抗力顯著提升，土壤團粒結構高出30-50%，水分滲透率多出

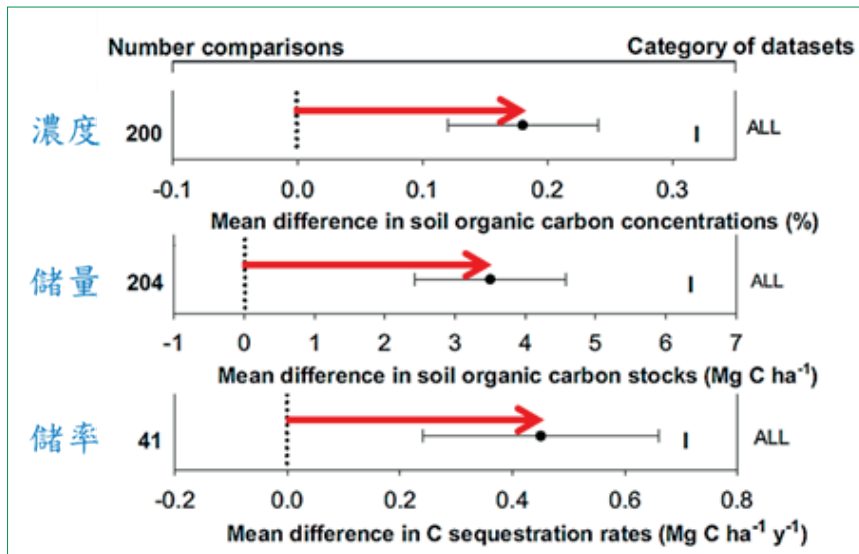


圖3. 多篇研究的統合分析顯示有機農法可提升土壤碳封存的濃度、儲量與儲率。

10 倍，因此可望讓農作物有更高的抗旱耐澇能力。

可是這些研究大多只採表土樣去作分析，對整個土壤的情況仍有待進一步探討；但在瑞士的研究指出生物動力法可增加 0-80 公分表土的有機質。

有機農法除了不用化學肥料與農藥、不種基改作物以外，其他的措施相當多元，包括輪作、間作、施用有機肥等不一而足。這些有機農法除了增加土壤碳吸存以外，更有利於改善土壤結構，土壤猶如海綿一般，雨水多時可以迅速吸水，較乾燥時可以緩慢釋出水。植物殘骸的轉化成有機質較為快，土壤生物多樣性與數量也都較高。這些都有助於提高農業生產對於氣候變遷的韌性。

在諸多有機操作外，若再加上覆蓋作物與免耕犁的措施，那就是再生有機農法。

不種覆蓋作物 / 有耕犁的有機法 (OF) 與再生有機農法 (ROF) 相比較，OF 可以提升有機碳，但較為頻繁的耕犁可能損失部分碳。反之，ROF 可望封存更多碳，也可望更能避免土壤的侵蝕；由於更少攪動土壤，因此土壤微生物的活性會更高，更有益於土壤健康，讓農作物對氣候的韌性更高。

然而再生有機所謂的免耕犁，其實並非絕對，需要的時候，例如土壤太硬，當然也需要用耕犁來打破硬塊。在部分案例中，適度翻耕反而有助於混入有機質、刺激生物活性與碳穩定化。因此再生農業的驗證準則中，並沒有強調免耕犁，而是少耕犁：犁田不得深過 20 公分，最好只犁 5 公分深，而且銅級對於蔬菜類生產每年不得多於三次、非蔬菜類不多於兩次；銀級對於蔬菜類生產每年不得多於三次、非蔬菜類不多於一次，而且整年的種植不可

高過四回；金級對於蔬菜類生產每年不得多於三次、非蔬菜類不多於一次，而且整年的種植不可高過三（蔬菜類）或二回（非蔬菜類）。

後語

跨國農工大公司，所謂的「食農霸主 Food Barons」，推展高度依賴農藥、化肥、基改種子、大型農機、智慧型農業的工業農法，企圖掌控全球食農產業，而將「再生農業」加以漂綠，與再生的原意背道而馳。對此各國亟需提高警覺，不宜將農業環境改革簡化為單一技術操作，而應聚焦於整體農業系統的生態重建與投入品減量策略。

免耕犁並非萬靈丹，有機農法才是基礎。若能成功整合有機農法與免耕技術（如使用滾壓器覆蓋作物等），可能進一步提升碳封存與土壤健康。至於檢討再生有機農法提升土壤碳封存能力的研究，需要揚棄過

去僅採表層土壤的作法，才可以作正確的評估。

總而言之，對土壤碳封存、土壤健康而言，再生有機農法 > 有機農法 > 漂綠式再生農法 > 一般慣行農法。

不論在一般有機，或者再生有機農法，在實務推廣時，應先確保農民具備相關技術、機具與管理能力，並針對在地氣候與土壤條件進行調整。由於我國農田整年可以分季生產，雨量有相對充沛，因此覆蓋作物的選擇與免耕犁技術較諸溫帶國家應更為困難，需要農業試驗單位亟力研發，才可望推廣給農家使用。

後記：

本文內容主要參考美國地球之友會在2025年四月發表的論文《Rethinking No-Till》，但該文所引用的188篇報告，在本文只標記五篇（第一作者用粗體字者）。

（參考文獻請逕洽作者）

