不同農業管理方式對淺山坡地土壤碳匯及微生物群落之影響

簡士濠[1]

[1]國立中興大學土壤環境科學系　教授

摘　要

為因應地狹人稠與糧食需求，再加上氣候變遷的影響，使土地利用與生態系統間失去平衡。不當的土地利用型態比例與農業管理，以明顯破壞淺山生態系統之結構、功能與多樣性，進而影響大氣循環及化學成分等。本計畫以臺灣南部荖濃溪流域淺山地區中的農業用地(六龜區，金黃芒果/蓮霧栽植)作為試驗區，建立荖濃溪淺山地區(六龜區)不同農業管理下土壤碳存量收支與各農業管理方式下土壤有機質品質比。計畫結果顯示，有機農法及友善多元農法可有效增加土壤有機碳存量，有機農法每年約可增加1.65 kg/m^2/50 cm；友善多元農法每年約可增加3.40 kg/m^2/50 cm。有機農法及友善多元農法分別可減少51%及56%之土壤沖蝕量。淺山坡地之淨土壤碳吸存量為有機農法＞友善多元＞慣行農法，顯示淺山地區果園以有機或友善多元農法除維持農民經濟生計之外，更可維持地區生態多樣性及穩定。

關鍵詞：土地利用、淺山地區、氣候變遷、友善多元農業、土壤碳匯。

一、前言

因應地狹人稠與糧食需求，再加上氣候變遷的影響，使得土地利用開發與生態系統間失去平衡。不當的土地利用型態比例與農業管理，不僅牽涉土地覆蓋變化之外，更破壞生態系統之結構、功能與多樣性，進而影響大氣循環及化學成分等，最後循環性造成全球氣候變化(Sala et al., 2000)。人類從生態系中獲得的利益，即生態系統，無論是直接或間接，提供於人類生活中相當的福利及必要的服務。然而在制訂政策時，卻常常只考慮經濟效益的層次，而忽略了環境所蘊藏的生態系統服務，加上

氣候變遷的催化，引起的災害循環將更加快速及劇烈(圖1)，災害主要包含：土壤碳匯失衡、生態(植生)穩定破壞、土壤沖刷甚至大規模崩坍或土石流(IPCC, 2021)。

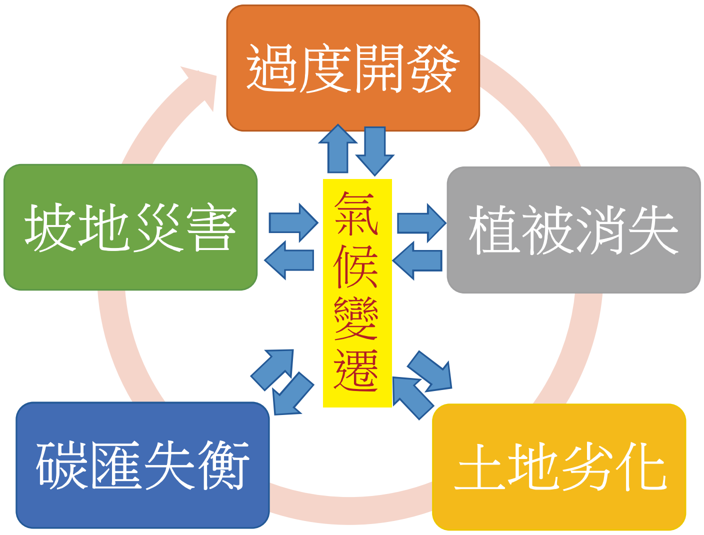

圖1. 人為開發及全球災害的循環關係
與氣候變遷的交互影響關係

全球土地中高達約45%的碳為存在全世界的森林(植物)中，其餘部分則為透過土地碳儲存的另一個主要型式：“土壤”(SOIL)來儲存，通常經由植物材料、作物殘材和動物糞便獲得碳(Lai, 2019)。全世界地下一公尺深的土壤所含碳量是整個大氣的三倍。土地雖然是碳的主要儲存處，但也可以排放出溫室氣體。土地釋出溫室氣體的主要原因是地表的人類活動(Gabriel et al., 2023)。2007-2016年度全球溫室氣體排放量中約有23%來自農業、森林砍伐、土地劣化和其他類型的土地利用；坡地或林地中二氧化碳釋出的主要因素是森林砍伐和其他類型的植被損失(IPCC, 2019)。IPCC在2019的氣候變遷與土地關聯的報告書中提出，儘管土地利用排放處於「高水平」，但土地仍然是淨碳匯，亦即土地目前吸收的二氧化碳超過排放的二氧化碳。

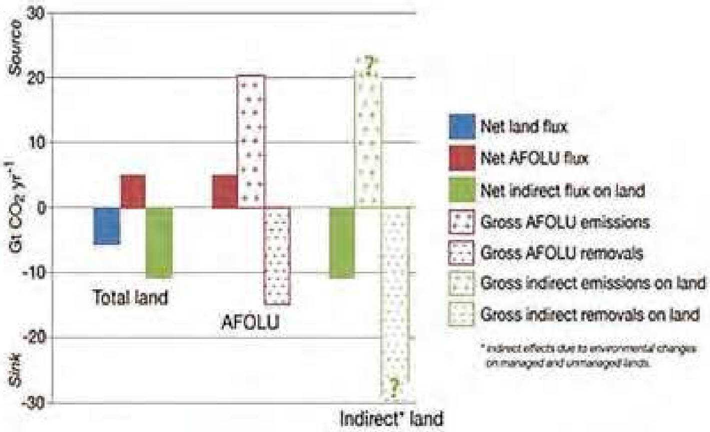

圖2. 2008-2017年土地淨排放量(藍色) 、人類活動(AFOLU；紅色) 和「 間接影響 」(綠色)。圖中進一步細分人類活動排放和「 間接影響 」排放，以顯示兩類二氧化碳排放量和移除量的多寡(IPCC, 2019)。

然而，與IPCC報告中大相逕庭之處，即為位處特殊氣候與地形的臺灣，土壤碳的排放與淨吸存顯著與IPCC的看法不同。臺灣位處熱帶/亞熱帶環境，年均降雨量接近3,000毫米，尤以近10年的降雨量與降雨強度幾乎為過去的1.5-2倍。加上臺灣位處板塊交接帶，地形獨特且地質破碎，沖蝕與崩坍災害更加頻繁(Chen et al., 2015)，顯示本國因應氣候變遷的緩衝時間或耐受度將較其他國家更為嚴峻。自1957-2010年，統計結果顯示，臺灣每年受5個颱風侵襲，共遭遇70個芮氏規模≧5的地震災害(Bosner and Chang, 2020)。由此可知，臺灣因氣候與地形的相對劣勢，土壤劣化(碳的吸存率)、坡地災害(沖蝕崩坍)與生態平衡(植生發展)更需要具有效益的管理方法。Dadson et al. (2003) 指出，臺灣山坡地平均土壤沖蝕率為3-18 mm yr^{-1}，屬於中度至極嚴重的沖蝕等級(FAO, 1984)。臺灣中部海拔更新造林表土30公分的有機碳累積速率為0.1 kg m^{-2} yr^{-1}。上述前人研究結果意喻，臺灣山坡地每年因土壤沖蝕(估算崩坍)移除的土壤有機碳(130 g m^{-2})遠高於天然回復或是造林每年所吸存於土壤中的有機碳(30 g m^{-2})。因此，本計畫嘗試於台灣南部荖濃溪流域之上淺山地區(六龜區)之森林崩坍地進行不同管理方式之評估，包含：土壤碳匯、土壤碳匯收支，與土壤流失等項目進行評估比較，並建議最佳管理方式及對土壤永續及生態多樣像最佳之策略。

二、結論

1. 建立�濃溪淺山地區(六龜區)，不同農業管理下土壤碳存量收支與各農業管理方式下土壤有機質品質比較，有機農法及友善多元農法可有效增加土壤有機碳存量(由施行農法算起)，有機農法每年約可增加1.35 kg/m^2/30 cm及1.65 kg/m^2/50 cm；友善多元農法每年約可增加2.45 kg/m^2/30 cm及3.40 kg/m^2/50 cm。
2. 有機農法及友善多元農法 (混農林業) 可顯著減少土壤沖蝕量：有機農法可減少51%之土壤沖蝕，而友善多元農法可減少56%之土壤沖蝕。同時，土壤有機碳的保存固持可有效增加淺山坡地果園之為生物多樣性。
3. 淺山坡地果園之「淨」土壤碳吸存量為：有機農法>友善多元>慣行農法；坡地果園土壤有機質品質(腐熟程度)：有機農法>友善多元(混農林業)>慣行農法，顯示淺山地區果園以有機或友善多元農法除維持農民經濟生計之外，更可維持地區生態多樣性及穩定。熱帶氣候下淺山地區，不同農業管理方式對果樹高產區土壤碳匯及土壤品質之評估。結果明確指出友善多元農業管理(混農農法)對碳匯具有明顯促進，同時增進土壤永續功能。

參考文獻

1. Bosner, L., and Chang, I-W. J. (2020). “Taiwan’s Disaster Preparedness and Response: Strengths, Shortfalls, and Paths to Improvement.” Global Taiwan Institute.
2. Chen, C.W., Saito, H. and Oguchi, T. (2015). “Rainfall intensity–duration conditions for mass movements in Taiwan.” Prog. in Earth and Planet Sci., 2, 14.
3. Dadson, S. J., Hovius, N., Chen, H. W., Dade, B., Hsieh, M. L., Willett, S. D., Hu, J. H., Horng, M. J., Chen, M. J., Stark, C. P., Lague, D., and Lin, J. C. (2003). “Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogen.” Nature, 426, 648-651.
4. FAO. (1984) Land Evaluation for Forestry. FAO Forestry Paper 48, Rome.

5. Gabriel, Y. K. M., Renske, H., Detlef, P., van Vuuren, Giller, K. E. (2023). “Carbon for soils, not soils for carbon.” Global change biology, 29, 2384-2398.
6. IPCC. (2019). “Special report on climate change and land.” Retrieved from https://www.ipcc.ch/srccl/.
7. IPCC. (2021). “Climate Change 2021: The Physical Science Basis.” Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
8. Lal, R., (2019). “Soil carbon sequestration to mitigate climate change.” Geoderma, 326, 204-219.
9. Sala, O. E., Chapin 3rd, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D. M., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N. L., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M., Wall, D. H. (2000). “Global biodiversity scenarios for the year 2100.” Science, 287(5459), 1770-1774.